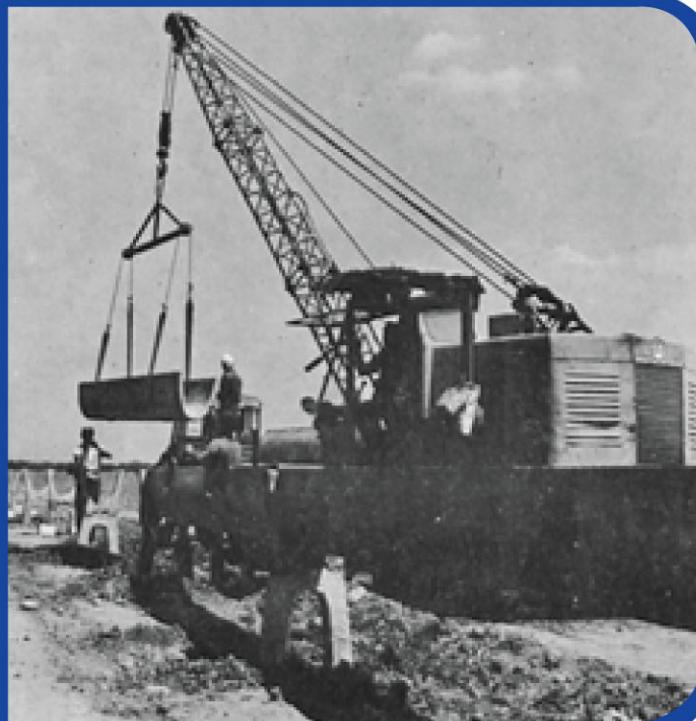




Γ' ΤΑΞΗ ΛΥΚΕΙΟΥ

ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ

Χρήστου Ε. Τσόγκα
ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ





1954

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ο Ευγένιος Ευγενίδης, ο ιδρυτής και χορηγός του «Ιδρύματος Ευγενίδου», πολύ νωρίς προέβλεψε και σχημάτισε την πεποίθηση ότι η άρτια κατάρτιση των τεχνικών μας, σε συνδυασμό με τήν εθνική αγωγή, θα ήταν αναγκαίος και αποφασιστικός παράγων για την πρόοδο του Έθνους μας.

Την πεποίθησή του αυτή ο Ευγενίδης εκδήλωσε με τη γενναιόφρονα πράξη ευεργεσίας, να κληροδοτήσει σεβαστό ποσό για τη σύσταση Ιδρύματος, που θα είχε ως σκοπό να συμβάλλει στην τεχνική εκπαίδευση των νέων της Ελλάδας.

Έτσι, το Φεβρουάριο του 1956 συστήθηκε το «Ίδρυμα Ευγενίδου», του οποίου τη διοίκηση ανέλαβε η αδελφή του Μαρ. Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη. Το έργο του Ιδρύματος συνεχίζει από το 1981 ο κ. Νικόλαος Βερνίκος - Ευγενίδης.

Από το 1956 έως σήμερα η συμβολή του Ιδρύματος στην τεχνική εκπαίδευση πραγματοποιείται με διάφορες δραστηριότητες. Όμως απ' αυτές η σημαντικότερη, που κρίθηκε από την αρχή ως πρώτης ανάγκης, είναι η έκδοση βιβλίων για τους μαθητές των Τεχνικών και Επαγγελματικών Σχολών και Λυκείων.

Μέχρι σήμερα, με τη συνεργασία με τα Υπουργεία Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων και Εμπορικής Ναυτιλίας, εκδόθηκαν εκατοντάδες τόμοι βιβλίων, που έχουν διατεθεί σε πολλά εκατομμύρια αντίτυπα. Τα βιβλία αυτά κάλυπταν ή καλύπτουν ανάγκες των Κατωτέρων και Μέσων Τεχνικών Σχολών του Υπ. Παιδείας, των Σχολών του Οργανισμού Απασχολήσεως Εργατικού Δυναμικού (ΟΑΕΔ), των Τεχνικών και Επαγγελματικών Λυκείων, των Τεχνικών Επαγγελματικών Σχολών και των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού.

Μοναδική φροντίδα του Ιδρύματος σ' αυτή την εκδοτική του προσπάθεια ήταν και είναι η συγγραφή και έκδοση βιβλίων ποιότητας, από άποψη όχι μόνον επιστημονική, παιδαγωγική και γλωσσική, αλλά και ως προς την εμφάνιση, ώστε το βιβλίο να αγαπηθεί από τους μαθητές.

Για την επιστημονική και παιδαγωγική αρτιότητα των βιβλίων τα κείμενα υποβάλλονται σε πολλές επεξεργασίες και βελτιώνονται πριν από κάθε νέα έκδοση συμπληρούμενα καταλλήλως.

Ιδιαίτερη σημασία απέδωσε το Ίδρυμα από την αρχή στη γλωσσική διατύπωση των βιβλίων, γιατί πιστεύει ότι και τα τεχνικά βιβλία, όταν είναι γραμμένα σε γλώσσα σωστή και ομοιόμορφη αλλά και κατάλληλη για τη στάθμη των μαθητών, μπορούν να συμβάλλουν στη γλωσσική κατάρτιση των μαθητών.

Έτσι, με απόφαση που ίσχυσε ήδη από το 1956, όλα τα βιβλία της Βιβλιοθήκης του Τεχνίτη, δηλαδή τα βιβλία για τις τότε Κατώτερες Τεχνικές Σχολές, όπως αργότερα και για τις Σχολές του ΟΑΕΔ, ήταν γραμμένα σε γλώσσα δημοτική, με βάση τη γραμματική του Τριανταφυλλίδη, ενώ όλα τα άλλα βιβλία ήταν γραμμένα στην απλή καθαρεύουσα. Σήμερα ακολουθείται η γραμματική που διδάσκεται στα σχολεία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσεως. Η γλωσσική επεξεργασία των βιβλίων ανατίθε-

ται σε φιλολόγους του Ιδρύματος και έτσι εξασφαλίζεται η ενιαία σύνταξη και ορολογία κάθε κατηγορίας βιβλίων.

Η ποιότητα του χαρτιού, το είδος των τυπογραφικών στοιχείων, τα σωστά σχήματα, η καλαίσθητη σελιδοποίηση, το εξώφυλλο και το μέγεθος του βιβλίου, περιλαμβάνονται και αυτά στις φροντίδες του Ιδρύματος και συμβάλλουν στη σωστή «λειτουργικότητα» των βιβλίων.

Το Ίδρυμα θεώρησε ότι είναι υποχρέωσή του, σύμφωνα με το πνεύμα του ιδρυτή του, να θέση στη διάθεση του Κράτους όλη αυτή την πείρα του των 20 ετών, αναλαμβάνοντας το 1978 και την έκδοση των βιβλίων για τις νέες Τεχνικές Επαγγελματικές Σχολές και τα Τεχνικά και Επαγγελματικά Λύκεια, σύμφωνα πάντοτε με τα εγκεκριμένα Αναλυτικά Προγράμματα του Π.Ι. και του ΥΠΕΠΘ.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Μιχαήλ Αγγελόπουλος, ομ. καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος.

Αλέξανδρος Σταυρόπουλος, ομ. καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς, Αντιπρόεδρος.

Ιωάννης Τεγόπουλος, καθηγητής ΕΜΠ.

Σταμάτης Παλαιοκρασάς, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, Σύμβουλος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.

Χρήστος Σιγάλας, Δ/ντής Σπ. Δευτ. Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ.

Σύμβουλος εκδόσεων του Ιδρύματος Κ. Α. Μανάφης, καθηγ. Φιλ. Σχολής Παν/μίου Αθηνών.

Γραμματέας της Επιτροπής, Γεώργιος Ανδρεάκος.

Διατελέσαντα μέλη ή σύμβουλοι της Επιτροπής

Γεώργιος Κακριδής (1955-1959) Καθηγητής ΕΜΠ, Άγγελος Καλογεράς (1957-1970) Καθηγητής ΕΜΠ, Δημήτριος Νιάνιας (1957-1965) Καθηγητής ΕΜΠ, Μιχαήλ Σπετσιέρης (1956-1959), Νικόλαος Βασιώτης (1960-1967), Θεόδωρος Κουζέλης (1968-1976) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Παναγιώτης Χατζηωάννου (1977-1982) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Αλέξανδρος Ι. Παππάς (1955-1983) Καθηγητής ΕΜΠ, Χρυσόστομος Καβουνίδης (1955-1984) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Γεώργιος Ρούσσος (1970-1987) Χημ.-Μηχ. ΕΜΠ, Δρ. Θεοδόσιος Παπαθεοδοσίου (1982-1984) Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Ιγνάτιος Χατζηευστρατίου (1985-1988) Μηχανολόγος, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Γεώργιος Σταματίου (1988-1990) Ηλεκτρολόγος ΕΜΠ, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Σωτ. Γκλαβάς (1989-1993) Φιλόλογος, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ.





ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ

ΧΡΗΣΤΟΥ Ε. ΤΣΟΓΚΑ
ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΘΗΝΑ
1998



J. T. L.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το βιβλίο αυτό απευθύνεται στους μαθητές των Τεχνικών Λυκείων, τμήμα Δομικών.

Καταβλήθηκε προσπάθεια από το συγγραφέα να ακολουθήσει πιστά το νέο αναλυτικό πρόγραμμα του Κ.Ε.Μ.Ε. Ορισμένα θέματα αναπτύσσονται διεξοδικά, γιατί αποτελούν βασικά στοιχεία της σύγχρονης τεχνολογίας με την οποία θα κληθεί να ασχοληθεί ο τεχνικός και ειδικά ο Έλληνας τεχνικός. Έτσι το θέμα της ποιότητας του νερού, με τα αυξανόμενα καθημερινά προβλήματα ρυπάνσεως του επιφανειακού νερού, επέβαλε ιδιαίτερη ανάπτυξη των μεθόδων καθίζσεως, διυλισεως και αποστειρώσεως. Η επεξεργασία εξάλλου των λυμάτων εξαιτίας της έντονης αστικοποιήσεως του πληθυσμού και της μεγάλης βιομηχανικής αναπτύξεως, εμφανίζει ραγδαία εξέλιξη στις αναπτυγμένες χώρες. Τούτο άρχισε ήδη να εμφανίζεται και στην Ελλάδα και πιστεύεται ότι με το ρυθμό και τὸν τρόπο αναπτύξεως της χώρας μας θα αποτελέσει σοβαρό πρόβλημα, για το οποίο πρέπει από τώρα να προετοιμασθούν οι τεχνικοί.

Το βιβλίο διαιρείται σε εννέα κεφάλαια. Στα πρώτα τέσσερα περιλαμβάνονται στοιχεία υδραυλικής υδροστατικής (υδροστατική πίεση, μονάδες πίεσεως κλπ.), στοιχεία ροής του νερού και στοιχεία υδρεύσεως, ενώ στα άλλα τέσσερα περιλαμβάνονται τα φράγματα, οι πλημμύρες, οι αποχετεύσεις και οι αρδεύσεις. Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται λόγος για τα λιμενικά έργα (διάκριση έργων, κατασκευές).

Για να αποφευχθεί η ξερή περιγραφή μεθόδων και κατασκευαστικών στοιχείων και για να γίνει ευκολότερη η ταξινόμηση και αφομοίωση των προσφερόμενων γνώσεων, χρησιμοποιήθηκαν πολλά σχήματα και φωτογραφίες από τεχνικά έργα, κατά προτίμηση Ελληνικά.

Οι πίνακες και τα νομογραφήματα που υπάρχουν πιστεύωνται ότι θα βοηθήσουν στην επίλυση ασκήσεων στο μάθημα και ότι θα χρησιμοποιηθούν από τους αιριανούς τεχνικούς στην πράξη.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά όλους όσους συνέβαλαν για την αρτιότερη εμφάνιση του βιβλίου. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον κ. Τ. Τλούπα για τη διάθεση του φωτογραφικού του αρχείου.

Ο Συγγραφέας

Α' ΕΚΔΟΣΗ 1980

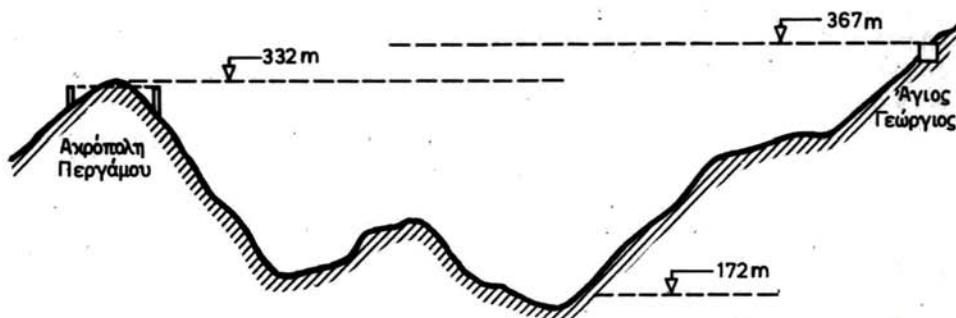


ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

1.1 Γενικά.

Η **Υδραυλική** είναι ένα τμήμα της μηχανικής των ρευστών και ασχολείται με τη μελέτη των νόμων που καθορίζουν τη συμπεριφορά των υγρών όταν αυτά είναι ακίνητα ή βρίσκονται σε κίνηση. Το πεδίο εφαρμογής των συμπερασμάτων και πορισμάτων της Υδραυλικής είναι σήμερα μεγάλο στο εκτεταμένο κεφάλαιο των Υδραυλικών, έργων, που περιλαμβάνει τις υδρεύσεις, αποχετεύσεις, διευθέτηση ποταμών και χειμάρρων, αρδεύσεις, τα ύδροηλεκτρικά καθώς και τα κάθε είδους συναφή έργα.



Σχ. 1.1.

Κατά μήκος τομή του υδραγωγείου της Ακροπόλεως της Περγάμου.

Η Υδραυλική απασχόλησε τον άνθρωπο από τα αρχαία χρόνια. Είναι γνωστά μεγάλα υδραυλικά έργα καθώς και θαυμάσια έργα υδρεύσεως και αποχετεύσεως αρχαίων ελληνικών πόλεων. Χαρακτηριστικό έργο υδρεύσεως είναι το υδραγωγείο της Ακροπόλεως της Περγάμου (κατά μήκος τομή του φαίνεται στο σχήμα 1.1), που μετέφερε με υπόγειο αγώγο μήκους πενήντα χιλιομέτρων, νερό από τον αρχαίο Πήδασο (υψόμετρο υδροληψίας 516 m) στο βουνό Άγ. Γεώργιος, στο υψόμετρο 367 m όπου ήταν μεγάλη υδατοδεξαμενή.

Από εκεί το νερό διοχετεύόταν στην Ακρόπολη της Περγάμου μέσα από ξύλινους ή μολυβένιους σωλήνες με διάμετρο 30 cm. Οι σωλήνες αυτοί συναρμόζονταν μεταξύ τους με πέτρινους δακτύλιους.

Ένα από τα μεγαλύτερα τεχνικά έργα στον τομέα της Υδραυλικής στην έποχή της αρχαιότητας είναι η διώρυγα του Πτολεμαίου, η οποία συνέδεε τη Μεσόγειο με τήν Ερυθρά Θάλασσα χρησιμοποιώντας ένα τμήμα του ποταμού Νείλου.

Η διώρυγα άρχιζε από το ανατολικό ρεύμα του Δέλτα του Νείλου (Πηλούσιος) και κατέληγε στο μυχό της Ερυθράς Θάλασσας (αρχαία πόλη Αρσινόη). Κατά τον Στράβωνα, η κατασκευή της τελείωσε την εποχή του Πτολεμαίου του II γι' αυτό και πήρε το όνομά του. Η διώρυγα του Πτολεμαίου υπήρξε ο πρόδρομος της διώρυγας του Σουέζ.

Η Υδραυλική υπήρξε ένας από τους βασικούς παράγοντες στους οποίους στηρίχθηκε η οικονομική και κοινωνική άνθηση του 20ου αιώνα, με την εκμετάλλευση μεγάλων πηγών ενέργειας (υδροηλεκτρικά έργα), την αύξηση της παραγωγής αγροτικών προϊόντων με τις αρδεύσεις, την επέκταση της ακτίνας δράσεως και μείωση του κόστους μεταφοράς προϊόντων, με την κατασκευή διωρύγων ναυσιπλοΐας, τη βελτίωση της ποιότητας ζωής με τα έργα υδρεύσεων και αποχετεύσεων των πόλεων, και τέλος την ασφάλιση των οικισμών και αγροκτημάτων από τις καταστρεπτικές πλημμύρες των χειμάρρων και ποταμών.

1.2 Ιδιότητες των υγρών.

Υγρά λέγονται τα ρευστά που παρουσιάζουν σταθερότητα όγκου, σε αντίθεση με τα αέρια που είναι συμπιεστά. Χαρακτηριστικό των υγρών και όλων φυσικά των ρευστών, είναι η μεταβολή του σχήματός τους χωρίς καμιά ή με πολύ μικρή αντίσταση.

Τα υγρά διακρίνονται σε **φυσικά ή πραγματικά** και **ιδεώδη ή τέλεια**. Η θεωρητική μελέτη των υγρών στηρίζεται στην αρχή ότι τα υγρά είναι τέλεια. Με τη παραδοχή αυτή τα προβλήματα απλοποιούνται χωρίς να επηρεάζουν ή να παραμορφώνουν σημαντικά αποτελέσματα της μελέτης και την εφαρμογή τους στα φυσικά υγρά.

Στα ιδεώδη υγρά δεχόμαστε ότι:

- Η εσωτερική τριβή είναι μηδενική.
- Τα μόρια γλιστρούν μεταξύ τους χωρίς καμιά αντίσταση στην κίνησή τους.
- Οι δυνάμεις που ενεργούν είναι πάντοτε κάθετες στις επιφάνειες του θερούμενου στοιχείου.
- Είναι ασυμπίεστα.
- Το σχήμα τους μπορεί να μεταβάλλεται χωρίς να χάνεται έργο.

Οι περισσότερες και σημαντικότερες εφαρμογές της Υδραυλικής αναφέρονται στο νερό, το οποίο παρουσιάζει ιδιάζουσες ιδιότητες. Έτσι, ενώ όλα τα υγρά αν ψυχθούν συστέλλονται, το νερό κάτω από τους 4° C διαστέλλεται απότομα και αυξάνει τον όγκο του 10% περίπου. Αυτή η ιδιότητά του δημιουργεί προβλήματα με το σπάσιμο των σωλήνων που μεταφέρουν νερό και είναι εκτεθειμένοι στις καιρικές μεταβολές.

Το ειδικό βάρος του νερού (Πίνακας 1.2.1) (όπως και όλων των υγρών) μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία, την πίεση και την ύπαρξη διαλυμένων ή αιωρουμένων ούσιών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2.1

Ειδικό βάρος νερού

$^{\circ}$ C	– 10 $^{\circ}$	0 $^{\circ}$	4 $^{\circ}$	10 $^{\circ}$	20 $^{\circ}$	40 $^{\circ}$	80 $^{\circ}$	100 $^{\circ}$
$\rho(kg/m^3)$	998,10	997,87	1000,00	999,73	998,23	992,24	971,80	958,40

Κατά τους υπολογισμούς το ειδικό βάρος του νερού το δεχόμαστε ίσο με τη μονάδα:

$$1 \text{ tn/m}^3 = 1 \text{ kp/lit} = 1 \text{ p/cm}^3$$

Το θαλάσσιο νερό έχει μεγαλύτερο ειδικό βάρος σε σύγκριση με το γλυκό νερό και ίσο με:

$$\rho_\theta = 1,026 \cdot \rho_g$$

Κατάλογος συμβόλων

A = άνωση (kp ή N)
E = εμβαδόν διατομής (m^2)
b = πλάτος πυθμένα (m)
B = πλάτος ελεύθερης επιφάνειας (m)
C _A = συντελεστής απορροής
C = συντελεστής Chezy ($m^{1/2}/sec$)
C _d = συντελεστής παροχής (υπερχειλιστές)
D = διάμετρος σωλήνα (m)
F = δύναμη (kp ή N)
P = πίεση (kp/m^2 ή N/m^2)
Q = παροχή (m^3/s ή l/s)
q = ειδική παροχή = Q/b ($m^3/m.s$)
R = υδραυλική ακτίνα = E/P (m)
Π = βρεχόμενη περίμετρος (m)
H = υδραυλικό φορτίο ή ύψος νερού
η = συντελεστής τραχύτητας Manning
J = κλίση αγωγού (συνήθως %)
u = ταχύτητα νερού = Q/E (m/s)
h = βάθος νερού σε ανοιχτό αγωγό (m)
λ = συντελεστής τριβής
γ = ειδικό βάρος = ρ.g
g = επιτάχυνση της βαρύτητας (9.81 m/s^2)
ρ = πυκνότητα (1000 kp/m^3 για το νερό)
Re = αριθμός Reynolds
v = συνεκτικότητα του νερού (m^2/s)
h _A = απώλειες φορτίου λόγω τριβών
i = ένταση βροχής (mm/hr ή mm/min)

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ

1. Ατμόσφαιρα (atm)	: 10333 kg/m ² 76 cm στήλης Hg 10,33 m στήλης νερού 1,013 bars
2. Watt	: 0.001 kW 0.102 kg.m/s 0.00134 HP 1 Joule
3. Εκτάριο (ha)	: 10.000 m ² 100 acres 10 στρέμματα
4. Ίντσα (inch)	: 2.54 cm
5. Κιλοβάτ (kW)	: 1000 Watts 1,341 HP
6. Κιλοβατώρα (kWh)	: 3.67.10 ⁵ kg.erm 3,67.10 ⁶ joules
7. Κυβικό μέτρο (m ³)	: 1000 λίτρα (l) 1.000.000 cm ³ 220 gal (γαλόνια Αγγλίας) 264 gal (γαλόνια ΗΠΑ) 35,314 ft ³
8. Λίτρο (l)	: 1000 cm ³ 0.001 m ³ 0.035 ft ³ 0,22 gal (Αγγλίας) 0,264 gal (ΗΠΑ)
9. Μέτρο (m)	: 100 cm 1000 mm 0.001 km 39.37 inches 3.280 ft 1,093 yards
10. Μίλι (mile)	: 1,609 km 5280 ft 1760 yards 0.868 ναυτικά μίλια
11. Μίλι ναυτικό	: 1,853 km
12. Newtons	: 1,15 miles (μίλια ξηράς)
13. Πόδια (ft)	: 1 kgm/s ² 10 ⁵ dynes
14. Τόννος (tn)	: 30,48 cm 12 inches 0,33 yards
15. Χιλιόγραμμο (kg)	: 1000 kg 2204 pounds 9806 Newtons
	: 980665 dynes 9,806 Newtons 0.001 tn

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

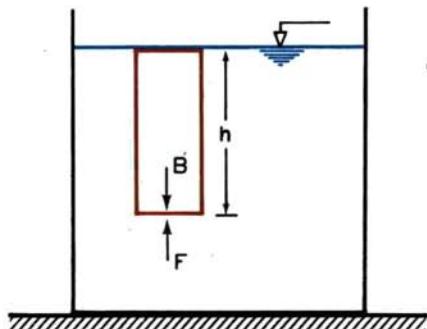
ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ

2.1 Υδροστατική πίεση.

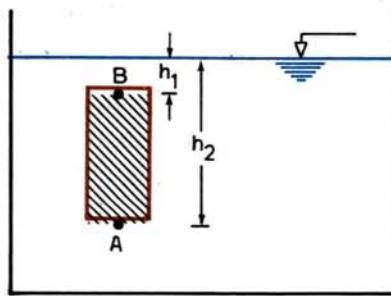
Όταν λέμε **πίεση**, εννοούμε τη δύναμη που ασκείται στη μονάδα μιας επιφάνειας και εκφράζεται με τη σχέση:

$$P = \frac{F}{E} = \frac{\text{Δύναμη}}{\text{επιφάνεια}}$$

Κάθε σώμα που βυθίζεται μέσα στο νερό υφίσταται μια πίεση από το νερό που το περιβάλλει. Έπειδή αυτή η πίεση προέρχεται από το νερό λέγεται **υδροστατική πίεση**.



Σχ. 2.1α.



Σχ. 2.1β.

Ας θεωρήσουμε ένα δοχείο γεμάτο με νερό (σχ. 2.1α). Στο εσωτερικό του δοχείου ασκείται πίεση που προέρχεται από το βάρος των υπερκειμένων στρωμάτων του νερού και αυξάνεται από πάνω προς τα κάτω. Έτσι σε ένα σημείο που βρίσκεται σε βάθος h από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού και έχει επιφάνεια E , αντιστοιχεί στήλη νερού με όγκο $V = E \cdot h$. Το βάρος της στήλης τότε είναι:

$$B = \rho \cdot V = \rho \cdot E \cdot h$$

Το βάρος αυτό εξουδετερώνεται από μια δύναμη P που πιέζει την επιφάνεια E από κάτω προς τα επάνω και αφού το σώμα ισορροπεί, η δύναμη αυτή είναι ίση με το βάρος B :

$$B = P$$

$$\text{Η δύναμη όμως αυτή είναι: } P = p \cdot E$$

$$\text{οπότε η σχέση } B = P \text{ γίνεται: } p \cdot E = p \cdot h \cdot E$$

Από τη σχέση αυτή συμπεραίνομε ότι η πίεση πάνω σε μια οριζόντια επιφάνεια μέσα σε ένα υγρό, είναι ανάλογη με το βάθος της επιφάνειας από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού καθώς και με το ειδικό βάρος του.

Ας θεωρήσουμε τώρα σώμα βυθισμένο μέσα σε υγρό (σχ. 2.1β). Η επάνω επιφάνεια του σώματος απέχει h_1 , από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού, ενώ η κάτω επιφάνεια του σώματος απέχει h_2 .

Η πίεση που ασκείται στην επάνω επιφάνεια του σώματος είναι:

$$p_1 = p \cdot h_1$$

ίση δηλαδή με το βάρος υγρής στήλης, που έχει βάση τη μονάδα (1 cm^2) και ύψος h_1 .

Η πίεση στην κάτω επιφάνεια του σώματος είναι:

$$p_2 = p \cdot h_2$$

Η διαφορά των δύο πιέσεων μας δίνει τη συνισταμένη πίεση:

$$\Delta p = p_2 - p_1 = p (h_2 - h_1)$$

Η σχέση αυτή εκφράζει το θεμελιώδες θεώρημα της Υδροστατικής που λέει πως η **διαφορά των πέσεων ανάμεσα σε δύο σημεία A και B** (σχ. 2.1β) **τα οποία βρίσκονται μέσα σε υγρό που ιστορροπεί και σε διαφορετικό βάθος από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού, είναι ίση με το βάρος υγρής στήλης που έχει βάση τη θάση του σώματος και ύψος την κατακόρυφη απόσταση των δύο σημείων.**

Η συνισταμένη των δύο δυνάμεων λέγεται **άνωση** και το θεώρημα αποτελεί την **αρχή του Αρχιμήδη**:

«Κάθε σώμα βυθισμένο μέσα σε ένα υγρό, υφίσταται άνωση που είναι ίση με το βάρος του υγρού που εκτοπίζει».

2.2 Μονάδες πιέσεως.

Όπως αναφέρθηκε:

$$P = \frac{F}{E}$$

- Όταν στην εξίσωση αυτή η δύναμη $F = 1 \text{ Nt}$ και $E = 1 \text{ m}^2$, τότε η πίεση είναι σε Pascal. $P = 1 \text{ Nt/m}^2$ (σύστημα S.I.).
- Όταν η δύναμη $F = 1 \text{ dyn}$ και $E = 1 \text{ cm}^2$, τότε $P = 1 \text{ dyn/cm}^2$.
- Όταν η δύναμη $F = 1 \text{ kp}$ ή kg^* και $E = 1 \text{ m}^2$, τότε $P = 1 \text{ kp/m}^2$ (τεχνικό σύστημα).

Στις πρακτικές εφαρμογές χρησιμοποιείται ως μονάδα ο όρος **τεχνική ατμόσφαιρα**, που είναι:

$$1 \text{ at} = 1 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$$

Εκτός από την τεχνική ατμόσφαιρα χρησιμοποιείται και η λεγόμενη **φυσική ατμόσφαιρα** (1 Atm) που είναι:

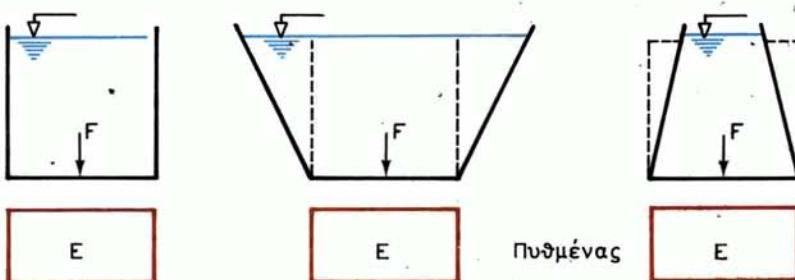
$$1 \text{ Atm} = 1,033 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$$

Η φυσική ατμόσφαιρα (1 Atm) είναι η πίεση που ασκεί κατά μέσο όρο, ο ατμοσφαιρικός αέρας επάνω στην επιφάνεια της θάλασσας. Η πίεση αυτή εμφανίζεται σε cm ή mm στήλης Hg:

$$1 \text{ Atm} = 1,033 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} = 1033 \frac{\text{P}}{\text{cm}^2} = 76 \text{ cmHg} = 760 \text{ mm Hg}$$

2.3 Πίεση υγρού πάνω στα τοιχώματα δεξαμενών.

Από το θεμελιώδες θεώρημα της Υδροστατικής, που αναφέραμε προηγουμένως, συμπεραίνομε πως η δύναμη που ασκείται στον πυθμένα ενός δοχείου από το βάρος του περιεχόμενου υγρού, είναι ίση με το βάρος στήλης που έχει βάση τον πυθμένα και ύψος την κατακόρυφη απόσταση του πυθμένα από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού. Αυτό σημαίνει πως η δύναμη με την οποία πιέζεται ο πυθμένας είναι ανεξάρτητη από το σχήμα του δοχείου, δηλαδή ανεξάρτητη από το βάρος του περιεχόμενου υγρού (σχ. 2.3α).



Σχ. 2.3α.

Τα πλευρικά τοιχώματα ενός δοχείου δέχονται πίεσεις από το υγρό. Επειδή η πίεση είναι πάντοτε κάθετη στην επιφάνεια, ανεξάρτητη από τη μορφή και τον προσανατολισμό της επιφάνειας, για τα διαδοχικά σημεία 1, 2, 3, ... η από την ελεύθερη επιφάνεια προς τον πυθμένα θα έχουμε πίεσεις (σχ. 2.3β).

$$p_1 = \rho \cdot h_1$$

$$p_2 = \rho \cdot h_2$$

$$p_3 = \rho \cdot h_3$$

.....

$$p_n = \rho \cdot h_n$$

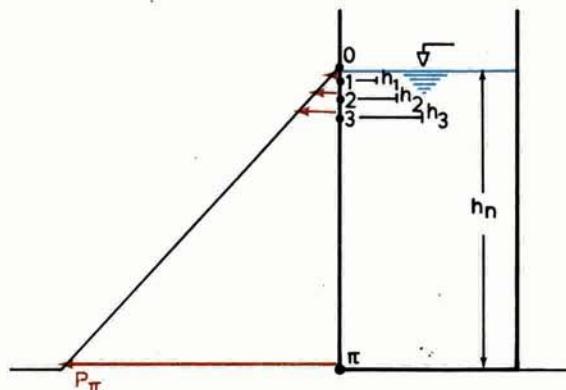
Από τις σχέσεις αυτές προκύπτει ότι η κατανομή των πιέσεων στο πλευρικό τοίχωμα ενός δοχείου είναι τριγωνικής μορφής. Η συνισταμένη των πιέσεων αυ-

των εφαρμόζεται σε ένα σημείο που απέχει από την ελεύθερη επιφάνεια απόσταση:

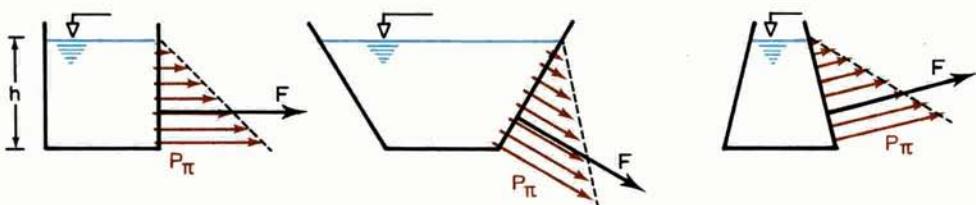
$$h_K = \frac{2}{3} h_n$$

και λέγεται **κέντρο πιέσεως**.

Αν τα πλευρικά τοιχώματα του δοχείου δεν είναι κατακόρυφα, αλλά πλάγια, τότε και οι πιέσεις επάνω τους δεν θα είναι οριζόντιες, αλλά πλάγιες, κάθετες πάντα στην επιφάνεια του τοιχώματος (σχ. 2.3γ).



Σχ. 2.3β.



Σχ. 2.3γ.

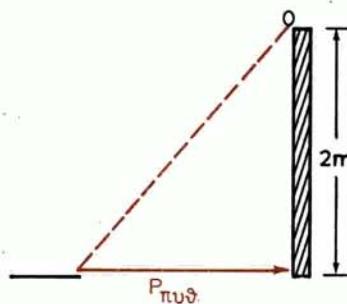
a) Ποια δύναμη δέχεται ο κατακόρυφος τοίχος μιας δεξαμενής με διαστάσεις 2 m ύψος και 3 m πλάτος (σχ. 2.4α). Η δεξαμενή είναι γεμάτη με νερό.

Λύση:

Η πίεση στο κατώτερο σημείο του τοίχου είναι ίση με το βάρος της στήλης του νερού που έχει βάση τη μονάδα επιφάνειας, ύψος από το κατώτερο αυτό σημείο μέχρι την ελεύθερη στάθμη (2 m) και ειδικό βάρος $\rho = 1 \text{ t/m}^3$. Είναι δηλαδή:

$$P_{\text{πυθ.}} = \rho \cdot h = 1 \text{ (t/m}^3\text{)} \cdot 2 \text{ (m)} = 2 \text{ t/m}^2$$

Η συνισταμένη των πιέσεων που ασκούνται στον τοίχο από την ελεύθερη επιφάνεια μέχρι τον πυθμένα για πλάτος τοίχου 1 m, είναι η συνισταμένη ενός τριγωνικού συνεχούς φορτίου και είναι ίση με:



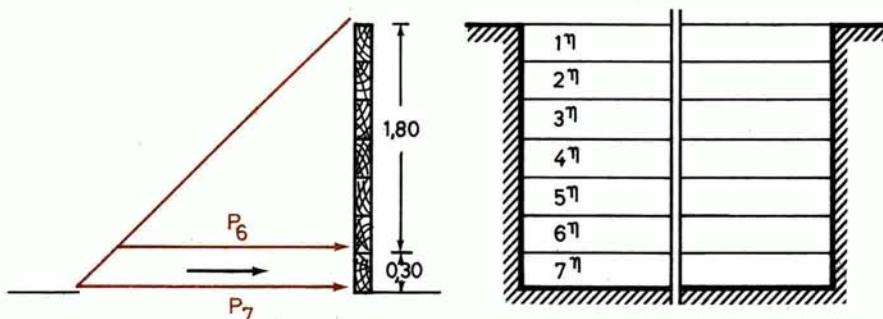
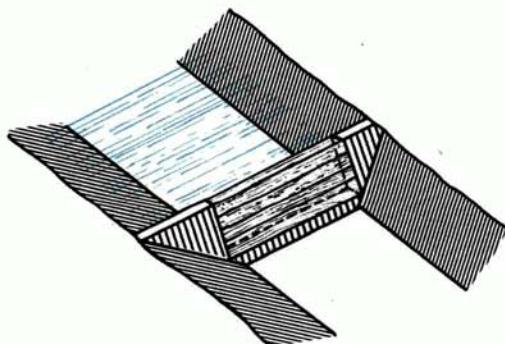
Σχ. 2.4a.

$$R = \frac{1}{2} P_{\pi\psi\theta} h = \frac{1}{2} 2 \text{ (t/m}^2\text{)} \cdot 2 \text{ m} = 2 \text{ t/m}$$

Η συνολική δύναμη σε όλο το πλάτος του τοίχου είναι:

$$R_{\text{ολ}} = 3 \text{ (m)} \cdot 2 \text{ t/m} = 6,0 \text{ t}$$

β) Η ροή ενός ρεύματος παρεμποδίζεται από τεχνητό ξύλινο φράγμα (σχ. 2.4β). Το ελεύθερο μήκος των σανίδων του φράγματος είναι 5,00 m και το πλάτος τους 0,30 m. Το ύψος του φράγματος είναι 2,10 m και συμπίπτει με την ελεύθερη στάθμη του νερού. Αν οι σανίδες αντέχουν σε μέγιστη ροπή $M = 1,50 \text{ tm}$, να βρεθεί αν η 7η σανίδα αντέχει στην πίεση του νερού.



Σχ. 2.4b.

Λύση:

Η πίεση στο ανώτερο σημείο της 7ης σανίδας είναι:

$$p_6 = \rho \cdot h = 1(t/m^3) \cdot 1,80(m) = 1,80 t/m^2$$

ενώ στο κατώτερο σημείο της ίδιας σανίδας έχομε:

$$p_7 = \rho \cdot h = 1(t/m^3) \cdot 2,10(m) = 2,10 t/m^2$$

Η μέση πίεση στην 7η σανίδα είναι:

$$p = \frac{p_6 + p_7}{2} = \frac{1,80 + 2,10}{2} \cdot 0,30 = 0,585 t/m$$

Η πίεση αυτή ασκείται σε όλο το μήκος της σανίδας και αποτελεί ομοιόμορφο συνεχές φορτίο. Η σανίδα στηρίζεται στα δύο άκρα της μόνο. Αποτελεί κατά συνέπεια αμφιέριστη δοκό με ομοιόμορφο φορτίο $q = 0,585 t/m$. Η αναπτυσσόμενη γωνία του φορτίου αυτό ροπή, κατά τα γνωστά από τη Μηχανική, είναι:

$$M = \frac{q l^2}{8} = \frac{0,585 \times 5^2}{8} = 1,83 tm$$

Είναι, όπως φαίνεται, η ροπή αυτή μεγαλύτερη από τη μέγιστη επιπρεπόμενη. Κατά συνέπεια η σανίδα δεν αντέχει στην πίεση του νερού.

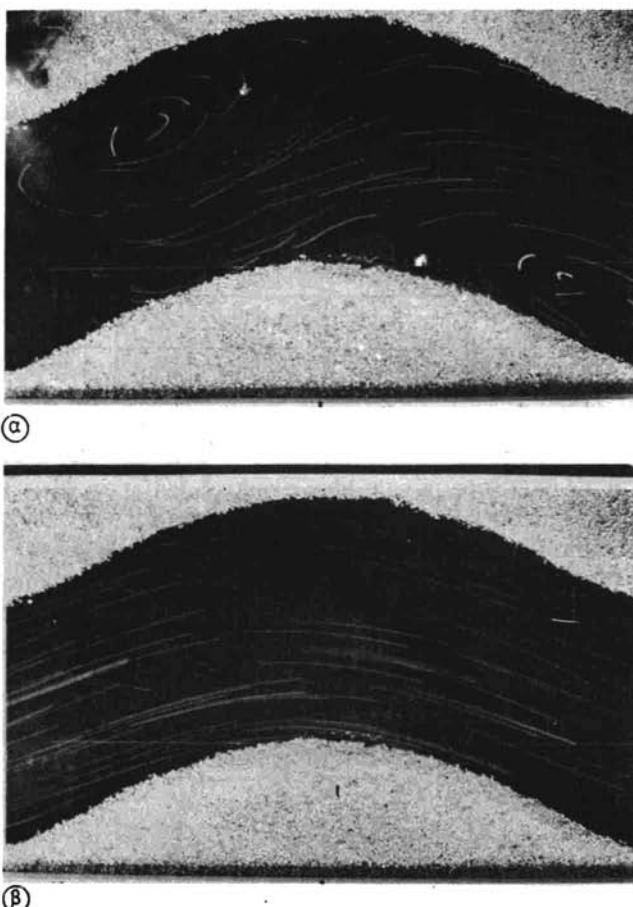
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΡΟΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

3.1 Γενικές έννοιες.

Το κεφάλαιο που εξετάζει την κίνηση του νερού και τα συναφή με αυτήν προβλήματα λέγεται **Υδροδυναμική**.

Τη **ροή** τη διακρίνομε σε **παράλληλη** ή **μόνιμη**, όταν σε κάθε σημείο του πεδίου ροής η ταχύτητα των μορίων του ρευστού είναι ανεξάρτητη από το χρόνο, δηλαδή η ταχύτητα παραμένει συνέχεια σταθερή κατά τιμή και διεύθυνση και σε **στροβιλώδη** ή **μη μόνιμη** (σχ. 3.1), όταν η ταχύτητα ροής δεν είναι ανεξάρτητη από το χρόνο, αλλά σε κάθε σημείο του πεδίου ροής μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου τόσο στην αριθμητική τιμή όσο και στη διεύθυνση.



Σχ. 3.1.

Στροβιλώδης και παράλληλη ροή κατά τη διάρκεια εργαστηριακών δοκιμών.

Η ροή ενός ρευστού μπορεί να μεταβληθεί από μόνιμη (παράλληλη) σε μη μόνιμη (στροβιλώδη) ροή και αντίστροφα. Η μέση ταχύτητα στην οποία μετατρέπεται η παράλληλη ροή σε στροβιλώδη, λέγεται **ανώτερη κρίσιμη ταχύτητα**, ενώ η αντίστοιχη ταχύτητα που παύουν οι στροβιλισμοί, με αποτέλεσμα να έχομε παράλληλη ροή, λέγεται **κατώτερη κρίσιμη ταχύτητα**.

O Osborne Reynolds μελέτησε την κίνηση των υγρών και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η κρίσιμη ταχύτητα εξαρτάται από την τραχύτητα, τη θερμοκρασία του υγρού καθώς και από εξωτερικά αίτια που μπορεί να δημιουργήσουν στροβιλώδη ροή με τιμή ταχύτητας μικρότερη από την κρίσιμη. Μετά τα πειράματά του ο Reynolds κατέληξε στη διατύπωση σχέσεως ανάμεσα στην κρίσιμη ταχύτητα και στους παράγοντες που την επηρεάζουν. Έτσι για σωλήνα με διάμετρο D , η κρίσιμη ταχύτητα V_K είναι:

$$V_K = \frac{Re \cdot v}{\gamma \cdot D}$$

όπου: Re αριθμός Reynolds, v συντελεστής συνεκτικότητας και γ πυκνότητα του υγρού.

Ο αριθμός Reynolds είναι για την Υδραυλική πολύ σημαντικός. Από τις διάφορες μελέτες που έγιναν, βρέθηκε ότι όταν η τιμή του Re είναι μεγαλύτερη από 3000, η ροή είναι στροβιλώδης. Αντίθετα, όταν είναι μικρότερη από 2000 η ροή είναι παράλληλη.

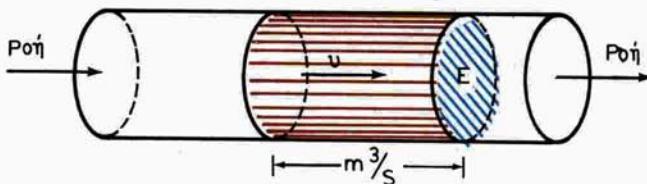
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.1

Σχέση θερμοκρασίας και συνεκτικότητας του νερού

θ°	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	$\sigma \text{ } ^{\circ}\text{C}$
v	1,79	1,52	1,31	1,15	1,01	0,90	0,80	$\times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$

3.2 Παροχή — Εξίσωση συνέχειας της ροής.

Όταν σε έναν αγωγό έχομε μόνιμη ροή, η διερχόμενη ποσότητα υγρού από μια διατομή του αγωγού σε ορισμένο χρόνο είναι σταθερή και αμετάβλητη. Η διερχόμενη αυτή ποσότητα του υγρού στη μονάδα του χρόνου λέγεται **παροχή του υγρού**. Εφόσον η ταχύτητα όλων των μορίων του υγρού είναι η ίδια, η παροχή ι-



Σχ. 3.2a.

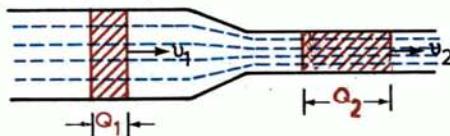
σούται με τον όγκο του υγρού που έχει βάση την υγρή διατομή και ύψος την ταχύτητα (σχ. 3.2a).

Επειδή η ταχύτητα ροής στην πραγματικότητα δεν είναι ίδια σε όλα τα σημεία

της διατομής, γι' αυτό γίνεται λόγος για **μέση ταχύτητα** του υγρού:

$$Q = E \cdot u_{\mu}$$

Σε περίπτωση αγωγού μεταβλητής διατομής και εφόσον δεν συμβαίνει καμιά ισιορή ή εκροή υγρού από και προς τον αγωγό, η παροχή παραμένει η ίδια σε όλα τα τμήματα του αγωγού (σχ. 3.2β).



Σχ. 3.2β.

Είναι δηλαδή: $Q_1 = Q_2$

Ξέρομε όμως ότι: $Q = E \cdot u$

Άρα: $Q_1 = E_1 \cdot u_1$

$$Q_2 = E_2 \cdot u_2$$

Επειδή $Q_1 = Q_2$

είναι και $E_1 u_1 = E_2 \cdot u_2$

Παρατηρούμε δηλαδή ότι η ταχύτητα ροής μεταβάλλεται αντίστροφα προς τη μεταβολή της διατομής. Όσο δηλαδή μεγαλώνει η διατομή τόσο μειώνεται η ταχύτητα. Δηλαδή:

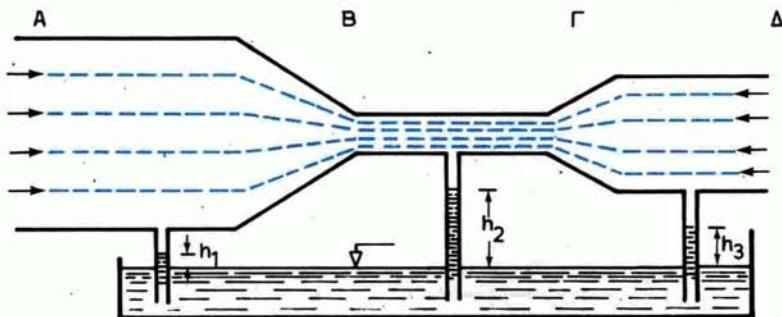
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{u_2}{u_1}$$

Η σχέση αυτή αποτελεί θεμελιώδη σχέση της Υδροδυναμικής και μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: **Η παροχή ενός σωλήνα σε οποιαδήποτε διατομή του είναι σταθερή.**

3.3 Θεμελιώδης εξίσωση Υδροδυναμικής (Νόμος Bernoulli).

Ας θεωρήσουμε σωλήνα Α - Β - Γ - Δ μεταβλητής διατομής και υγρό που κινείται μέσα στο σωλήνα με παράλληλη ροή (σχ. 3.3α). Στα σημεία 1, 2, 3 του σωλήνα είναι συνδεδεμένα κατακόρυφα σωληνάκια, που τα άκρα τους είναι βυθισμένα σε λεκάνη που περιέχει υγρό με μεγαλύτερο ειδικό βάρος.

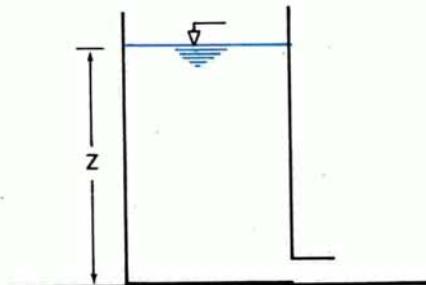
Κατά τη ροή του νερού μέσα στο σωλήνα Α - Β - Γ - Δ παρατηρούμε ότι το ύψος του υγρού στα σωληνάκια ανεβαίνει ανομοιόμορφα. Έτσι βλέπομε ότι στον πρώτο σωλήνα το υγρό ανεβαίνει επάνω από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού που βρίσκεται στο δοχείο κατά h_1 , στο δεύτερο σωλήνα κατά h_2 και στον τρίτο σωλήνα κατά h_3 . Αν συγκρίνουμε τα ύψη θα δούμε ότι στο σωλήνα με τη μεγαλύτερη διάμετρο, όπου έχουμε τη μικρότερη ταχύτητα (σχέση $E_1 u_1 = E_2 u_2 = E_3 u_3$), το υγρό ανεβαίνει πολύ λιγότερο από ό,τι στους άλλους σωλήνες, που σημαίνει ότι έχουμε πίεση. Αντίθετα στο σωλήνα με τη μικρότερη διάμετρο όπου έχουμε τη μεγαλύτερη ταχύτητα, έχουμε τη μικρότερη πίεση, αφού το υγρό ανεβαίνει ψηλότερα από ό,τι στους άλλους σωλήνες.



Σχ. 3.3α.

Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι κατά τη ροή ενός υγρού μέσα σε ένα σωλήνα, η πίεση είναι μικρή σε περιοχές όπου η ταχύτητα είναι μεγάλη ή ότι το άθροισμα:

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = C = \text{σταθερό}$$



Σχ. 3.3β.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι το υγρό που τροφοδοτεί τον μεταβλητής διαμέτρου σωλήνα, είναι σε δοχείο και ότι η ελεύθερη στάθμη του υγρού στο δοχείο απέχει z από τον πυθμένα (σχ. 3.3β). Στην επιφάνεια του υγρού η πίεση είναι ίση με μηδέν (ατμοσφαιρική). Όσο προχωρούμε προς τον πυθμένα, όσο δηλαδή το z μεγαλώνει, τόσο η πίεση αυξάνει. Αν στην πλευρά του δοχείου ανοίξουμε μια τρύπα κοντά στον πυθμένα, θα παρατηρήσουμε ότι κάτω από την επίδραση του βάρους της υπερκείμενης στήλης (πιέσεως) το νερό αποκτά ταχύτητα. Έχουμε δηλαδή μετατροπή της δυναμικής ενέργειας σε κινητική που σημαίνει ότι το άθροισμα:

$$z + \frac{u^2}{2g} = C = \text{σταθερό}$$

Μετά από αυτά η θεμελιώδης εξίσωση της Υδροδυναμικής (Νόμος Bernoulli) μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

$$z + \frac{P}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = C = \text{σταθερό}$$

Δηλαδή η ενέργεια των διαφόρων σημείων κατά μήκος της ροής ενός υγρού σε ένα σωλήνα παραμένει σταθερή.

Το γ αντιπροσωπεύει τη **δυναμική ενέργεια**, δηλαδή την ενέργεια που έχει ένα μέριο του υγρού εξ αιτίας του ύψους στο οποίο βρίσκεται και ορίζεται ως απόσταση του εξεταζόμενου σημείου από ένα οριζόντιο άξονα αναφοράς.

Το P/γ αντιπροσωπεύει τη **θλιπτική ενέργεια**, δηλαδή την ενέργεια που οφείλεται στην υδροστατική πίεση του μορίου.

Το $u^2/2g$ αντιπροσωπεύει την **κινητική ενέργεια** που οφείλεται στην ταχύτητα που αποκτά το μέριο.

Η θεμελιώδης εξίσωση της Υδροδυγαμικής ισχύει υπό την προϋπόθεση ότι το υγρό θα είναι τέλειο, ασυμπίεστο και ότι η ροή θα είναι παράλληλη.

Στα φυσικά υγρά, στα οποία δεν ισχύουν οι παραπάνω προϋποθέσεις, και όπου υπάρχουν απώλειες εξ αιτίας των τριβών, η εξίσωση μπορεί να πάρει τη μορφή:

$$z + \frac{P}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} + H_{\text{απ}} = G$$

όπου: $H_{\text{απ}}$ οι απώλειες των τριβών.

Αν στα σημεία του άξονα ενός τέλειου υγρού που κινείται, υψώσομε κατακόρυφες γραμμές και πάρομε σε αυτές μήκη ίσα με το άθροισμα:

$$z + \frac{P}{\gamma} + \frac{u^2}{2g}$$

τότε τα σημεία που θα προκύψουν θα μας δώσουν μια γραμμή που ονομάζεται **γραμμή ενέργειας** ή ιδεώδης **στάθμη**.

Αν στις κατακόρυφες γραμμές πάρομε μήκη ίσα με P/γ , τότε τα άκρα τους θα μας δώσουν την **πιεζομετρική γραμμή**.

3.4 Τριβές – Αντιστάσεις.

Κατά την κίνηση των φυσικών υγρών μέσα στους αγωγούς, αναπτύσσονται τριβές ανάμεσα στα τοιχώματα και στα ακραία στρώματα του υγρού, με αποτέλεσμα η ταχύτητα σ' αυτά τα στρώματα να είναι μικρότερη από την ταχύτητα των εσωτερικών στρωμάτων.

Η μείωση αυτή της ταχύτητας δεν γίνεται απότομα, αλλά από στρώμα σε στρώμα και μέχρι το οριακό, το οποίο εφάπτεται στα τοιχώματα του αγωγού και το οποίο κινείται με την ελάχιστη ταχύτητα. Έτσι σε δύο διαδοχικά στρώματα, το ένα επηρεάζει την κίνηση του άλλου.

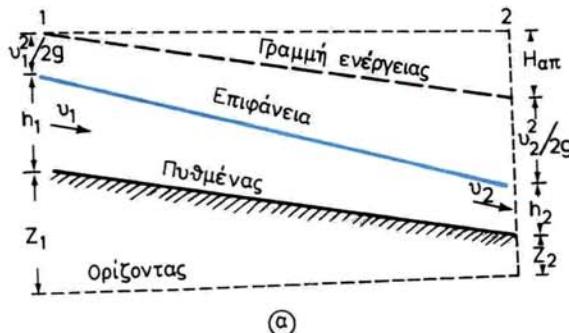
Οι αναπτυσσόμενες έτσι αντιστάσεις και η ενέργεια που διατίθεται για την υπερικησή τους είναι σοβαρή και υπολογίζεται πάντα όταν γίνεται χρήση της εξισώσεως του Bernoulli για φυσικά υγρά.

Στο σημείο λοιπόν του διαγράμματος του σχήματος 3.4α μετά την τιμή $u^2/2g$ πρέπει να προσθέσσομε και το ύψος των αντιστάσεων ή τριβών που εκφράζεται με την ενέργεια που χάνεται για να υπερνικηθούν οι αντιστάσεις. Το ύψος αυτό λέγεται **απώλεια φορτίου** και η εξίσωση Bernoulli γίνεται:

$$z + \frac{P}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} + H_{\text{ap}} = C'$$

Αν υποθέσουμε ότι έχουμε ένα αγωγό ανοικτό (με ελεύθερη στάθμη) που έχει νερό, τότε η εξίσωση του Bernoulli σε δύο σημεία του αγωγού θα είναι:

$$z_1 + h_1 + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{u_2^2}{2g} + H_{\text{ap}}$$



(a)



(b)

Σχ. 3.4a.

Όταν ο αγωγός είναι κλειστός (το νερό μέσα βρίσκεται υπό πίεση), τότε θα έχουμε:

$$z_1 + h_1 + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{u_2^2}{2g} + H_{\text{ap}}$$

Αν η ταχύτητα δεν μεταβάλλεται και το βάθος και στα δύο σημεία είναι ίδιο, τότε θα έχουμε:

$$z_1 + h_0 + \frac{u_0^2}{2g} = z_2 + h_0 + \frac{u_0^2}{2g} + H_{\text{ap}}$$

$$H_{\text{ap}} = z_1 - z_2$$

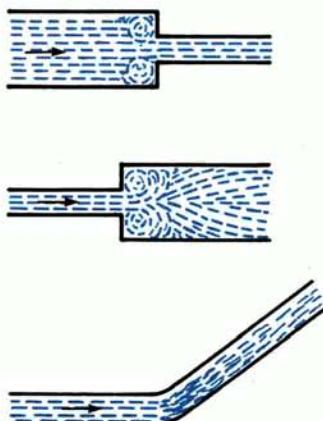
Παρατηρούμε λοιπόν ότι η υψομετρική διαφορά διατίθεται για την υπερνίκηση των αντιστάσεων και η γραμμή ενέργειας στην περίπτωση αυτή είναι παράλληλη στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού.

Εκτός από τις τριβές που υπάρχουν σε όλο το μήκος του σωλήνα και που το μέγεθός τους βρίσκεται από τον τύπο του Darcy-Weisbach:

$$H_{\text{απ}} = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{u^2}{2g}$$

υπάρχουν και απώλειες που δεν μπορούν να χαρακτηρισθούν γραμμικές, γιατί οφείλονται σε τοπικές ανωμαλίες του αγωγού (σχ. 3.4β) όπως π.χ.:

- Απότομη στένωση του αγωγού.
- Απότομη διεύρυνση του αγωγού.
- Άλλαγή κλίσεως ή διελεύσεως.

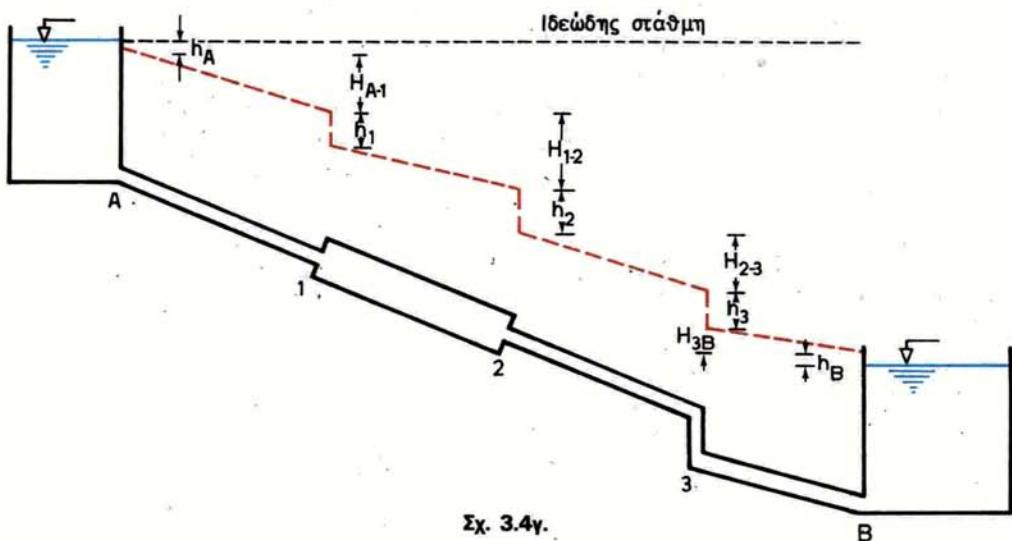


Σχ. 3.4β.

Οι τοπικές απώλειες, όταν το μήκος του αγωγού είναι μεγάλο και αυτές, σχετικά με τις γραμμικές απώλειες, είναι πολύ μικρές, δεν υπολογίζονται. Όταν όμως ο αγωγός είναι μικρού μήκους, οπότε επηρεάζουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων, υπολογίζονται. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι οι τοπικές απώλειες είναι υπολογίσιμες όταν το μήκος L του αγωγού είναι $L < 500 \cdot D$ (όπου D η διάμετρος του αγωγού).

Ας υποθέσουμε ότι έχομε έναν αγωγό (σχ. 3.4γ) που έχει διαφορετικές διατομές με απότομες αλλαγές διαμέτρων. Τότε η πιεζομετρική γραμμή δεν θα είναι μια κεκλιμένη ευθεία, αλλά μια τεθλασμένη γραμμή με κατακόρυφα τμήματα τις απώλειες (τοπικές) και κλίση των ευθυγράμμων τμημάτων αντίστοιχη με τις γραμμικές απώλειες κάθε τμήματος.

Στην περίπτωση του σχήματος 3.4γ αρχικά έχομε πτώση h_A που οφείλεται στην είσοδο του νερού στον αγωγό. Στη συνέχεια έχομε γραμμικές απώλειες του τμήματος A-1, τις H_{A1} , και μετά την απώλεια h_1 , εξ αιτίας της διευρύνσεως της διατομής. Ακολουθούν οι γραμμικές απώλειες H_{12} , οι απώλειες στενώσεως h_2 , οι γραμμικές H_{23} για το τμήμα του αγωγού 2-3, οι απώλειες αλλαγής κατευθύνσεως h_3 , οι γραμμικές H_{3B} και τελικά οι απώλειες εξόδου H_B .



3.5 Εφαρμογές Υδροδυναμικής.

α) Παροχή $Q = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ρέει σε αγωγό που έχει διάμετρο $D_1 = 0,30 \text{ m}$. Ο αγωγός στη συνέχεια στενεύει ομαλά και αποκτά διάμετρο $D_2 = 0,15 \text{ m}$.

Ζητείται να βρεθούν οι ταχύτητες ροής στους δύο σωλήνες, πριν και μετά τη στένωση.

Λύση:

Όπως είναι γνωστό από την εξίσωση συνέχειας, έχομε:

$$Q = E_1 \cdot u_1 = E_2 \cdot u_2$$

Εφαρμόζοντας τη σχέση αυτή για κάθε περίπτωση του προβλήματος προκύπτει:

$$u_1 = \frac{Q}{E_1} \quad \text{και} \quad u_2 = \frac{Q}{E_2} \quad (3.5.1)$$

Από τις σχέσεις αυτές το Q δίνεται και το E μπορεί να βρεθεί από τη διάμετρο με τη σχέση:

$$E = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Έτσι έχομε:

$$E_1 = \frac{3,14 \times 0,3^2}{4} = 0,07 \text{ m}^2$$

$$E_2 = \frac{3,14 \times 0,15^2}{4} = 0,017 \text{ m}^2$$

Αν αντικατασταθούν τα E_1 και E_2 στις σχέσεις, προκύπτει:

$$u_1 = \frac{0,1 \text{ (m}^3/\text{sec)}}{0,07 \text{ (m}^2)} = 1,43 \text{ m/sec}$$

$$u_2 = \frac{0,1 \text{ (m}^3/\text{sec)}}{0,017 \text{ (m}^2)} = 5,88 \text{ m/sec}$$

β) Η ταχύτητα ενός υγρού σε ένα σωλήνα που έχει διάμετρο $D_1 = 12 \text{ cm}$, είναι $u_1 = 0,1 \text{ m/sec}$. Ποια είναι η ταχύτητα του υγρού αν η διάμετρος του αγωγού στενεύει σε $D_2 = 8 \text{ cm}$;

Λύση:

Από την εξίσωση συνέχειας έχομε: $E_1 \cdot u_1 = E_2 \cdot u_2$

$$\text{ή } u_2 = \frac{E_1}{E_2} \cdot u_1 \quad (3.5.2)$$

Τα εμβαδά των διατομών υπολογίζονται ως εξής:

$$E_1 = \frac{3,14 \times 0,12^2}{4} = 0,011 \text{ m}^2$$

$$E_2 = \frac{3,14 \times 0,08^2}{4} = 0,005 \text{ m}^2$$

Αντικαθιστούμε τις τιμές αυτές και την τιμή της u_1 στη σχέση (3.5.2), οπότε:

$$u_2 = \frac{E_1}{E_2} \cdot u_1 = \frac{0,011 \text{ (m}^2)}{0,005 \text{ (m}^2)} \times 0,1 \text{ (m/sec)} = 0,22 \text{ m/sec}$$

γ) Σωληνωτός αγωγός από ένα σημείο και πέρα στενεύει. Ο λόγος των διαμέτρων είναι $D_1 : D_2 = 3$.

Ζητείται ο λόγος των ταχυτήτων στους δύο αγωγούς.

Λύση:

Είναι γνωστό ότι: $E_1 \cdot u_1 = E_2 \cdot u_2$ και $\frac{E_1}{E_2} = \frac{u_2}{u_1}$ (3.5.3)

$$\text{Αλλά } E_1 = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \quad \text{και} \quad E_2 = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4}$$

Αντικαθιστούμε τις τιμές αυτές στην (3.5.3) και έχομε:

$$\frac{\frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{\frac{\pi \cdot D_2^2}{4}} = \frac{u_2}{u_1} \rightarrow \frac{D_1^2}{D_2^2} = \frac{u_2}{u_1} \rightarrow \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 = \frac{u_2}{u_1}$$

Είναι όμως: $\frac{D_1}{D_2} = 3$

$$\text{Άρα} \quad 3^2 = \frac{u_2}{u_1} \quad \text{ή} \quad u_2 = 9 \cdot u_1$$

δ) Στενούμενος σωλήνας έχει σε δύο σημεία του τα ακόλουθα στοιχεία:

Σημείο 1 : $D_1 = 12 \text{ cm}$, $P_1 = 10 \text{ m}$ στήλης νερού, $z_1 = 2 \text{ m}$.

Σημείο 2: $D_2 = 24 \text{ cm}$, $P_2 = ?$, $z_2 = 4 \text{ m}$.

Η παροχή του αγωγού είναι $Q = 0,1 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Ζητείται να βρεθεί η πίεση σε μέτρα στήλης νερού στο σημείο 2.

Λύση:

Αρχικά μετατρέπομε τις μονάδες:

$$D_1 = 12 \text{ cm} = 0,12 \text{ m}$$

$$D_2 = 24 \text{ cm} = 0,24 \text{ m}$$

Στη συνέχεια βρίσκομε τις διατομές E_1 και E_2 :

$$E_1 = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} = \frac{3,14 \times 0,12^2}{4} = \frac{0,0452}{4} = 0,011 \text{ m}^2$$

$$E_2 = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} = \frac{3,14 \times 0,24^2}{4} = \frac{0,180}{4} = 0,045 \text{ m}^2$$

Από την εξίσωση συνέχειας προκύπτει:

$$u_1 = \frac{Q}{E_1} = \frac{0,1 \text{ (m}^3/\text{sec)}}{0,011 \text{ (m}^2\text{)}} = 9,1 \text{ m/sec}$$

$$u_2 = \frac{Q}{E_2} = \frac{0,1 \text{ (m}^3/\text{sec)}}{0,045 \text{ (m}^2\text{)}} = 2,2 \text{ m/sec}$$

Εφαρμόζομε τώρα το θεώρημα του Bernoulli:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}$$

Αντικαθιστούμε και έχομε:

$$2 \text{ (m)} + 10 \text{ (m)} + \frac{9,1^2}{19,62} \frac{\text{(m}^2/\text{sec}^2\text)}}{\text{(m/sec}^2\text)}} = 4 \text{ (m)} + P_2 \text{ (m)} + \frac{2,2^2(\text{m}^2/\text{sec}^2)}{19,62 \text{ (m/sec}^2\text)}}$$

$$12 \text{ (m)} + \frac{9,1^2}{19,62} \text{ (m)} = P_2 \text{ (m)} + 4 \text{ (m)} + \frac{2,2^2}{19,62} \text{ (m)}$$

$$P_2 = 8 \text{ (m)} + 4,22 \text{ (m)} - 0,24 \text{ (m)} = 12,22 - 0,24 = 11,98 \text{ m}$$

3.6 Εκροή υγρού από οπή δοχείου.

Ας θεωρήσουμε ότι έχομε ένα δοχείο γεμάτο με νερό και ότι η ελεύθερη στάθμη του νερού βρίσκεται σε ύψος h από τον πυθμένα. Αν στην πλευρά του δοχείου ανοίξομε μια τρύπα κοντά στον πυθμένα, θα παρατηρήσουμε ότι κάτω από την επίδραση του βάρους της υπερκείμενης στήλης (πίεση), το νερό αποκτά ταχύτητα. Έχομε δηλαδή μετατροπή της δυναμικής ενέργειας σε κινητική:

$$\frac{1}{2} m \cdot u^2 = m \cdot g \cdot h$$

και

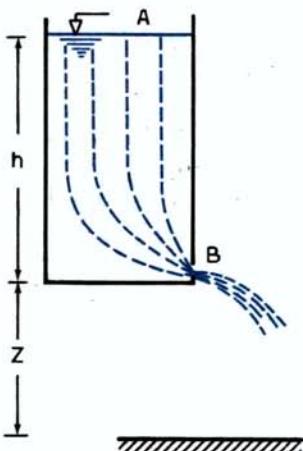
$$u = \sqrt{2gh}$$

Στο ίδιο αποτέλεσμα καταλήγομε αν χρησιμοποιήσουμε το νόμο Bernoulli για δύο σημεία A και B του υγρού (σχ. 3.6α). Δηλαδή:

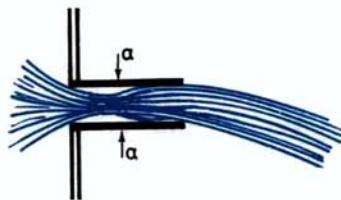
$$z_A + P_{Atm} + \frac{u_A^2}{2g} = z_B + P_{Atm} + \frac{u_B^2}{2g}$$

$$\text{και } u_B^2 = 2g(z_A - z_B) = 2gh$$

$$u_B = \sqrt{2gh}$$



Σχ. 3.6α.



Σχ. 3.6β.

Όταν ένα υγρό εκρέει από μια οπή παρουσιάζει απώλειες που οφείλονται στην τριβή μεταξύ των μορίων, στην απότομη είσοδο των μορίων από το δοχείο στην οπή και στη μείωση της υγρής διατομής της υδάτινης δέσμης. Γι' αυτούς τους λόγους η σχέση που μας δίνει την ταχύτητα πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή φ που βρίσκεται μεταξύ 0,960 και 0,994.

Πολλές φορές αντί για οπή χρησιμοποιείται ένα κομμάτι από σωλήνα που υποχρεώνει τη ροή να ακολουθήσει τη μορφή του. Με την προσθήκη επιστομίου τροποποιούνται ουσιαστικά οι συνθήκες εκροής. Κατά την εκροή του υγρού η δέσμη του νερού παρουσιάζει μια στένωση α-α (vena contracta). Η στένωση αυτή αρχίζει από την είσοδο του νερού στο επιστόμιο, παίρνει τη μέγιστη τιμή της στη θέση α-α και μετά η δέσμη αρχίζει να αυξάνει την υγρή διατομή της καλύπτοντας όλο το πλάτος του σωλήνα (σχ. 3.6β).

3.7 Εκχειλιστές.

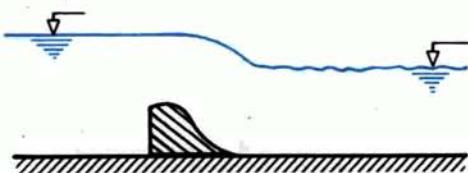
Είναι έργα που, τις περισσότερες φορές, κατασκευάζονται κάθετα στη διεύθυν-

ση της ροής μέ σκοπό την υπερύψωση της ελεύθερης στάθμης του νερού ανάντη (προς το πριν από τον εκχειλιστή τμήμα του ρεύματος) και έτσι ώστε όλη η ποσότητα του νερού να περάσει επάνω από το διαμορφωμένο σώμα του εκχειλιστή. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να γίνει η μέτρηση της παροχής ενός ρεύματος, μπορεί να γίνει διανομή του νερού σε άλλες διώρυγες για άρδευση και να μειωθεί η κλίση ενός ρεύματος. Οι εκχειλιστές διακρίνονται σε διάφορους τύπους όπως:

— **Ελεύθεροι.** Λέγονται οι εκχειλιστές όταν η στάθμη του νερού κατάντη (μετά τον εκχειλιστή) είναι χαμηλότερη από τη στέψη του εκχειλιστή (σχ. 3.7α).



Σχ. 3.7α.

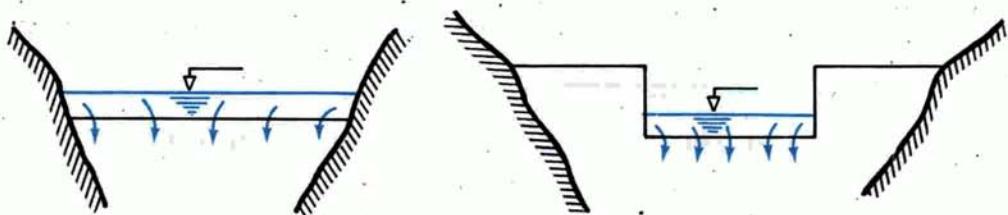


Σχ. 3.7β.

— **Βυθισμένοι.** Λέγονται οι εκχειλιστές όταν η στάθμη του νερού κατάντη βρίσκεται ψηλότερα από τη στέψη του εκχειλιστή (σχ. 3.7β).

— **Καθολικοί.** Είναι αυτοί που η στέψη τους εκτείνεται σε όλο το πλάτος της κοίτης του ρεύματος (σχ. 3.7γ).

— **Μερικοί.** Είναι αυτοί που το πλάτος της στέψεως τους δεν εκτείνεται σε όλο το πλάτος της κοίτης του ρεύματος (σχ. 3.7δ).



Σχ. 3.7γ.

Σχ. 3.7δ.

Η εγκάρσια διατομή ενός εκχειλιστή μπορεί να πάρει διάφορες μορφές, όπως του σχήματος 3.7ε, ανάλογα με το σκοπό και τις επιδιώξεις του μελετητή.

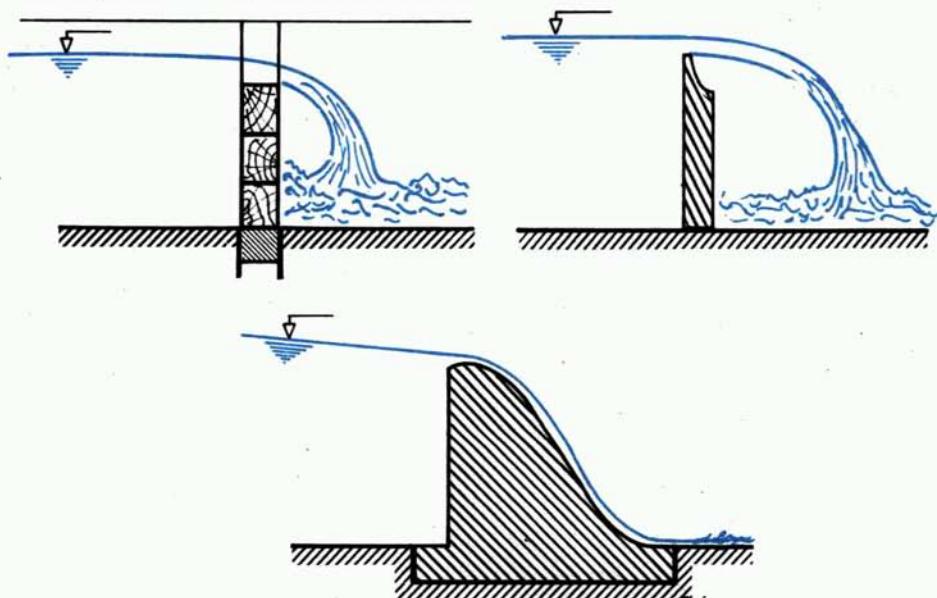
Ο υπολογισμός της παροχής ενός ρεύματος με τη βοήθεια εκχειλιστή γίνεται μετά από μετρήσεις και εφαρμογή της γενικής σχέσεως:

$$Q = \frac{2}{3} C_d L \cdot H \cdot \sqrt{2gH}$$

Η τιμή του συντελεστή παροχής C_d εξαρτάται από το φορτίο (στάθμη του νερού ανάντη). Αν το φορτίο H είναι μικρότερο από το φορτίο με το οποίο έγινε η μελέτη του υπερχειλιστή, τότε ο συντελεστής C_d μπορεί να πάρει τιμές από 0,58 μέχρι 0,75. Όταν το φορτίο είναι ίσο με αυτό της μελέτης, τότε $C_d = 0,75$. Όταν τέλος το φορτίο είναι μεγαλύτερο από αυτό της μελέτης, τότε η τιμή του C_d

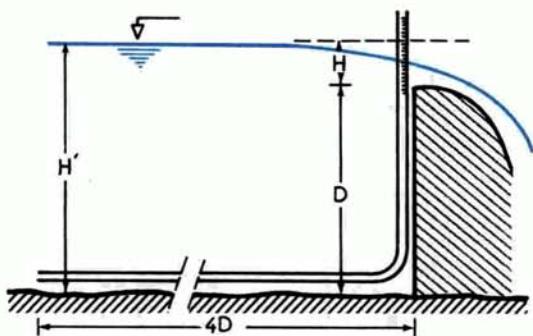
κυμαίνεται από 0,75 μέχρι 0,81. Οριακή τιμή φορτίου είναι $H/H_m = 1,7$. Στην περίπτωση που το φορτίο αυξηθεί περισσότερο υπάρχει κίνδυνος σπηλαιώσεως (καταστροφής της επιφάνειας του υπερχειλιστή λόγω χαμηλών πιέσεων) γιατί η πίεση πέφτει κάτω από το μηδέν. Έτσι μπορούμε να γενικεύσουμε με τον παρακάτω παραστατικό πίνακα (H_m = φορτίο μελέτης, H = μετρημένο φορτίο).

Φορτίο	C_d	Πίεση	Παρατηρήσεις
$H = H_m$	0.75	$P_a = \text{ατμόσφ.}$	
$H < H_m$	$0.58 < C_d < 0.75$	$P > P_a$	λειτουργία φαρδύ υπερχειλιστή
$H > H_m$	$0.75 < C_d < 0.81$	$P < P_a$	'Όριο $H/H_m = 1.70$ αλλοιώς κίνδυνος σπηλαιώσεως



Σχ. 3.7ε.

Το φορτίο H (σχ. 3.7στ) μπορεί να μετρηθεί με ένα σωλήνα που τοποθετείται κάτω από τον εκχειλιστή ή δίπλα ακριβώς από την όχθη πριν από τον εκχειλιστή. Ο σωλήνας μπορεί να είναι πλαστικός ή ελαστικός. Το τμήμα όμως που θα γίνουν οι μετρήσεις (το τμήμα που βρίσκεται κοντά στη στέψη) πρέπει να αποτελείται από γυάλινο διαφανή και διαιρέμενο σωλήνα, που το μηδέν του αντιστοιχεί στη στέψη του εκχειλιστή. Μετά τη σταθεροποίηση της στάθμης, το νερό ανεβαίνει στο σωλήνα στήν ίδια στάθμη που βρίσκεται ανάντη στην απόσταση 4D. Διαβάζομε την ένδειξη στο σωλήνα και έχομε το φορτίο H .

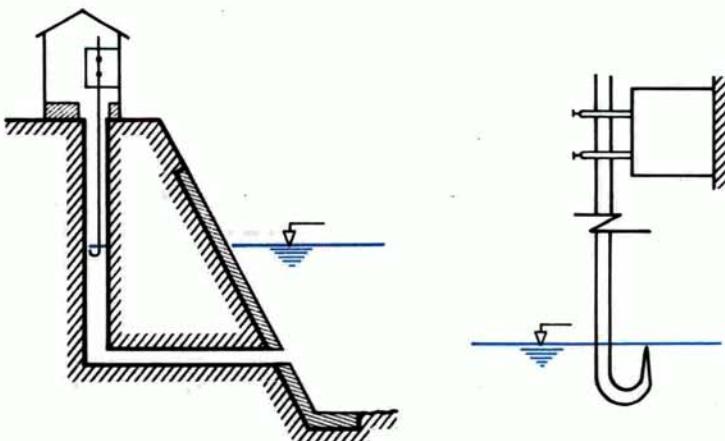


Σχ. 3.7στ.

Σε περιπτώσεις μετρήσεων με απαιτήσεις ακρίβειας, χρησιμοποιείται ο μετρητής στάθμης με άγκιστρο, γιατί δίνει τη στάθμη του νερού με ακρίβεια χιλιοστου. Το όργανο τοποθετείται σε σταθερό ξύλινο πλαίσιο που κατασκευάζεται επάνω από φρεάτιο, ειδικά κατασκευασμένο για τη μέτρηση. Το φρεάτιο συγκοινωνεί με το ρεύμα με ένα βυθισμένο αγωγό για να βρίσκεται η ελεύθερη επιφάνειά του σε ηρεμία. Το άγκιστρι του μετρητή κατεβαίνει με κοχλίες και βυθίζεται στο νερό έτσι που η αιχμή του να βρίσκεται σε επαφή με την ήρεμη ελεύθερη στάθμη. Στη θέση αυτή γίνεται η ανάγνωση του φορτίου (σχ. 3.7ζ).

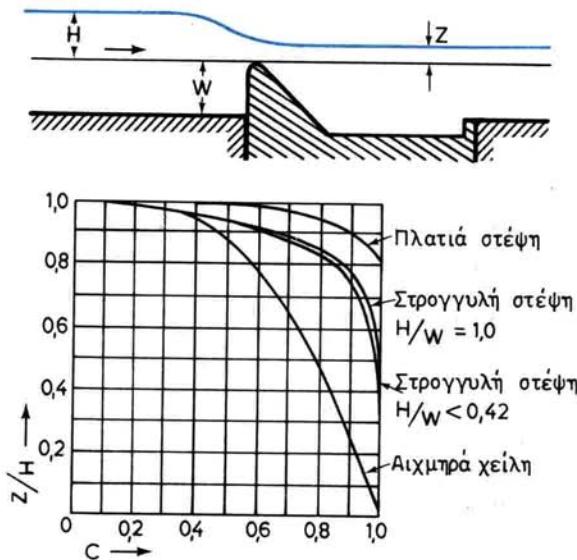
Σε περίπτωση βυθισμένου εκχειλιστή ισχείει η σχέση του Poleni:

$$Q = \frac{2}{3} C_d C L \cdot \sqrt{2g} H^{3/2} \quad \text{ή} \quad Q = 2,95 \cdot C_d C L \cdot H^{3/2}$$



Σχ. 3.7ζ.

Ο συντελεστής C προσδιορίζεται πειραματικά και βρίσκεται από το διάγραμμα του σχήματος 3.7η σε συνάρτηση από το λόγο Z/H .



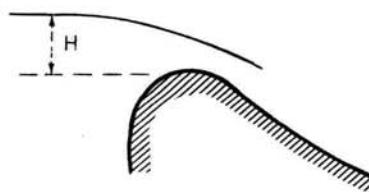
Σχ. 3.7η.

Ο υπολογισμός της παροχής όταν ο εκχειλιστής είναι βυθισμένος γίνεται με τον προσδιορισμό ενός συντελεστή C που βρίσκεται από το διάγραμμα του σχήματος.

Παράδειγμα.

Στην κοίτη ενός ρεύματος κατασκευάστηκε εκχειλιστής με μήκος $L = 10$ m για να μετράει την παροχή του. Η μελέτη του έγινε με βάση πλημμυρική παροχή με φορτίο $H_m = 1,50$ m. Ζητείται να υπολογισθεί η παροχή του ρεύματος στις περιπτώσεις που το φορτίο είναι:

- a) $H = 0,50$ m, b) $H = 1,50$ m, c) $H = 2,50$ m, d) $H = 3,50$ m (σχ. 3.7θ).



Σχ. 3.7θ.

Λύση.

α) Επειδή το φορτίο είναι πολύ μικρότερο ($H < H_m$) από το φορτίο μελέτης παίρνουμε $C_d = 0,58$

Έτσι έχομε (σελ. 22):

$$Q = \frac{2}{3} \times 0,58 \times 10 \times 0,5 \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,5} = 6,05 \text{ m}^3/\text{s}$$

β) Αφού $H = H_m$, $C_d = 0,75$ και

$$Q = \frac{2}{3} \times 0,75 \times 10 \times 1,50 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 1,50} = 40,69 \text{ m}^3/\text{s}$$

γ) Το φορτίο είναι μεγάλο. Ελέγχομε το λόγο $\frac{H}{H_\mu} = \frac{2,50}{1,50} = 1,67$ στο ανώτατο επιτρεπτό όριο. Άρα $C_d = 0,81$.

$$Q = \frac{2}{3} \times 0,81 \times 10 \times 2,50 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 2,50} = 94,55 \text{ m}^3/\text{s}$$

δ) Το φορτίο είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό της μελέτης $\left(\frac{H}{H_\mu} > 1,7 \right)$ και ο λόγος πολύ μεγαλύτερος από το ανώτατο επιτρεπτό όριο. Κατά συνέπεια αν έρθει τέτοια πλημμύρα ο εκχειλιστής θα υποστεί αρνητικές πιέσεις και θα καταστραφεί.

Παρατήρηση:

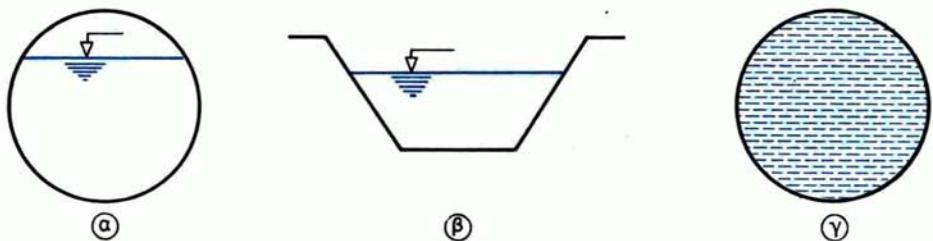
Στην πράξη οι τιμές του φορτίο ποικίλλουν, και ο υπολογισμός με την προαναφερθείσα σχέση δίνει προσεγγιστική τιμή αφού η επιλογή της τιμής C_d υπόκειται στην κρίση του μελετητή. Για ακριβή αποτελέσματα χρησιμοποιούνται οι σχέσεις για την κρίσιμη ροή πάνω από εκχειλιστή, που όμως δεν μπορούν να αναφερθούν εδώ.

3.8 Ροή σε κλειστούς αγωγούς.

Οι αγωγοί μεταφοράς διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Στους ανοικτούς ή αγωγούς ελεύθερης ροής και
- Στους κλειστούς ή αγωγούς υπό πίεση.

Ένας αγωγός θεωρείται ανοικτός, όταν η επιφάνεια του νερού που ρέει είναι ελεύθερη. Στο σχήμα 3.8α οι αγωγοί (α) και (β) είναι ανοικτοί, ενώ ο (γ) κλειστός (υπό πίεση).



Σχ. 3.8α.

Στους κλειστούς αγωγούς το νερό βρέχει όλη τη διατομή. Το σχήμα των αγωγών είναι συνήθως κυκλικό, χωρίς να αποκλείεται και το ελλειπτικό ή ακόμη και το ωοειδές.

Οι κλειστοί αγωγοί εφαρμόζονται πολύ στην πράξη, γιατί εκτός από τις άριστες συνθήκες υγιεινής που εξασφαλίζουν στο νερό, κατασκευάζονται εύκολα, μπορούν να μεταφέρουν το νερό ανεξάρτητα από την κλίση του εδάφους και παρουσιάζουν για την ίδια υγρή διατομή τη μικρότερη βρεχόμενη περίμετρο, γεγονός που επιδρά στις απώλειες του υδροδυναμικού φορτίου.

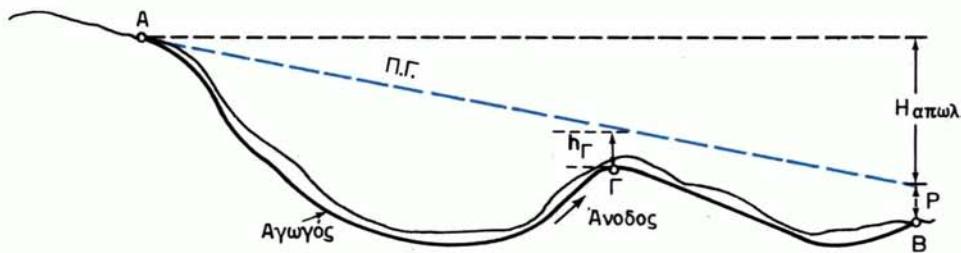
Όταν λέμε πώς είναι ανεξάρτητοι από την κλίση του εδάφους, εννοούμε ότι το

νερό μπορεί στους αγωγούς αυτούς να ακολουθήσει αρνητική κλίση. Να ανεβεί δηλαδή σε ύψωμα.

Στους κλειστούς αγωγούς χαρακτηριστικό μέγεθος αποτελεί η πίεση του νερού στον αγωγό, η οποία εμφανίζεται με τη μορφή της πιεζομετρικής γραμμής. Η πιεζομετρική γραμμή, όπως είπαμε και στα προηγούμενα, είναι ο γεωμετρικός τόπος των άκρων των ευθυγράμμων τμημάτων που έχουν μέτρο την πίεση στο θεωρούμενο σημείο του αγωγού.

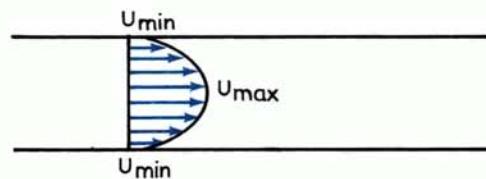
Έτσι στο σχήμα 3.8β βλέπομε το νερό να ανεβαίνει στο ύψωμα Γ και μετά να κατεβαίνει πάλι στο B . Αυτό συμβαίνει, γιατί στο Γ υπάρχει φορτίο h_r , που προέρχεται από το υψόμετρο του A μειωμένο κατά τις γραμμικές απώλειες του τμήματος από το A μέχρι το Γ . Το νερό που τρέχει σε έναν αγωγό υπό πίεση, υφίσταται μια αντίσταση στην κίνησή του, η οποία εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Στην ταχύτητα ροής.
- Στο εμβαδό και στη φύση της επιφάνειας επαφής νερού-σωλήνα.
- Στη θερμοκρασία.
- Στη διάμετρο του αγωγού.



Σχ. 3.8β.

Οι τριβές του νερού με τα τοιχώματα του σωλήνα προκαλούν διαφοροποίηση της κατανομής των ταχυτήτων σε μια διατομή του αγωγού. Έτσι, κοντά στα τοιχώματα του αγωγού η ταχύτητα έχει μικρότερη τιμή, ενώ στο κέντρο μεγαλύτερη. Η κατανομή των ταχυτήτων σε μια διατομή παρουσιάζει τη μορφή του σχήματος 3.8γ.



Σχ. 3.8γ.

Στα προβλήματα τα σχετικά με τους κλειστούς αγωγούς τα μεγέθη που υπολογίζονται είναι τέσσερα. Η παροχή Q , η διάμετρος D του αγωγού, η ταχύτητα ροής

υ του νερού και η κλίση J της πιεζομετρικής γραμμής. Οι σχέσεις για τον υπολογισμό των στοιχείων που ζητούνται είναι οι:

$$Q = E \cdot u = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot u$$

$$h_A = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{u^2}{2g} \text{ (Darcy - Weisbach)}$$

όπου: h_A = απώλειες φορτίου σε m

λ = συντελεστής τριβής

L = το μήκος του αγωγού σε m

D = η διάμετρος του αγωγού σε m

u = η ταχύτητα ροής σε m/s

g = η επιτάχυνση της βαρύτητας ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Για τον ακριβή προσδιορισμό της τιμής του λ έγιναν κατά καιρούς από πολλούς μελετητές πειραματικές έρευνες και συντάχθηκαν πίνακες, όπως ο 3.8.1, οι οποίοι δίνουν την τιμή του λ για διάφορες ταχύτητες ροής. Τα αποτέλεσματα όμως των μετρήσεων διαφέρουν μεταξύ τους, όχι από λάθη, αλλά από τις φυσικές διαφορές στις επιφάνειες ροής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.8.1

Οι τιμές του συντελεστή λ κατά τον Russel

Διάμετρος D αγωγού σε cm	Ταχύτητα σε m/sec						
	0,30	0,60	0,90	1,20	1,50	1,80	2,50
10,00	0,0285	0,0255	0,0240	0,0230	0,0225	0,0220	0,0210
12,70	0,0275	0,0245	0,0230	0,0225	0,0215	0,0210	0,0200
15,20	0,0265	0,0240	0,0225	0,0215	0,0210	0,0200	0,0195
20,30	0,0255	0,0230	0,0215	0,0205	0,0200	0,0195	0,0185
25,40	0,0245	0,0220	0,0205	0,0200	0,0190	0,0185	0,0180
30,50	0,0235	0,0215	0,0200	0,0190	0,0185	0,0180	0,0175

Σωστότερο είναι να υπολογίζεται ο λ σε κάθε περίπτωση, με τα στοιχεία που έχομε. Για τον υπολογισμό του λ μπορεί ανάλογα με το είδος ροής να χρησιμοποιηθεί μια από τις σχέσεις:

$$1. \quad \lambda = \frac{64}{Re} \text{ για παράλληλη ροή } (Re < 2000). \text{ Υπενθυμίζεται ότι ο αριθμός}$$

$$\text{Reynolds (Re) είναι ίσος με } Re = \frac{u \cdot D}{v}$$

2. $\lambda = \frac{0,3164}{Re^{1/4}}$ για στροβιλώδη ροή σε λείους σωλήνες (Blasius 1913)

3. $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{K}{3,7 D} + \frac{5,1286}{Re^{0,89}} \right)$ (Barr 1975)

όπου: K = τραχύτητα σωλήνα σε m

D = διάμετρος σε m.

Τα αποτελέσματα από μεγάλο αριθμό μετρήσεων ο Moody το 1944 τα έβαλε σε ένα διάγραμμα που πήρε το ονομά του και από όπου μπορούμε πιο εύκολα να βρούμε το λ χωρίς υπολογισμό (σχ. 3.8δ).

Παράδειγμα.

Θέλομε να υπολογίσουμε τις απώλειες που θα έχει ο αγωγός υδρεύσεως με διάμετρο $D = 0,10$ m και τραχύτητα τοιχωμάτων $K = 0,0005$. Η ταχύτητα ροής προβλέπεται ίση με 1,0 m/s και το μήκος του αγωγού $L = 1000$ m ($v = 10^{-6}$ m²/s πιν. 3.1.1).

Λύση 1. (Αναλυτική).

1. Βρίσκομε το είδος ροής από τον αριθμό Reynolds:

$$Re = \frac{u \cdot D}{v} = \frac{1,0 \text{ (m/s)} \cdot 0,10 \text{ (m)}}{10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}} = 100.000$$

Άρα η ροή είναι στροβιλώδης ($Re > 3000$) και ο σωλήνας όχι λείος.

2. Κατά συνέπεια ο λ υπολογίζεται από τη σχέση του Barr:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{\lambda}} &= -2 \log \left(\frac{0,0005}{3,7 \cdot 0,1} + \frac{5,1286}{100.000^{0,89}} \right) = \\ &= -2 \log (0,0013 + 0,00018) = \\ &= -2 \log 0,00153 = 5,63, \end{aligned}$$

$$\sqrt{\lambda} = \frac{1}{5,63} = 0,1776$$

$$\text{και } \lambda = 0,031$$

(Σημ. Η απολογαρίθμηση γίνεται με απλό τρόπο με τη βοήθεια ενός οποιουδήποτε υπολογιστή ταξέπης).

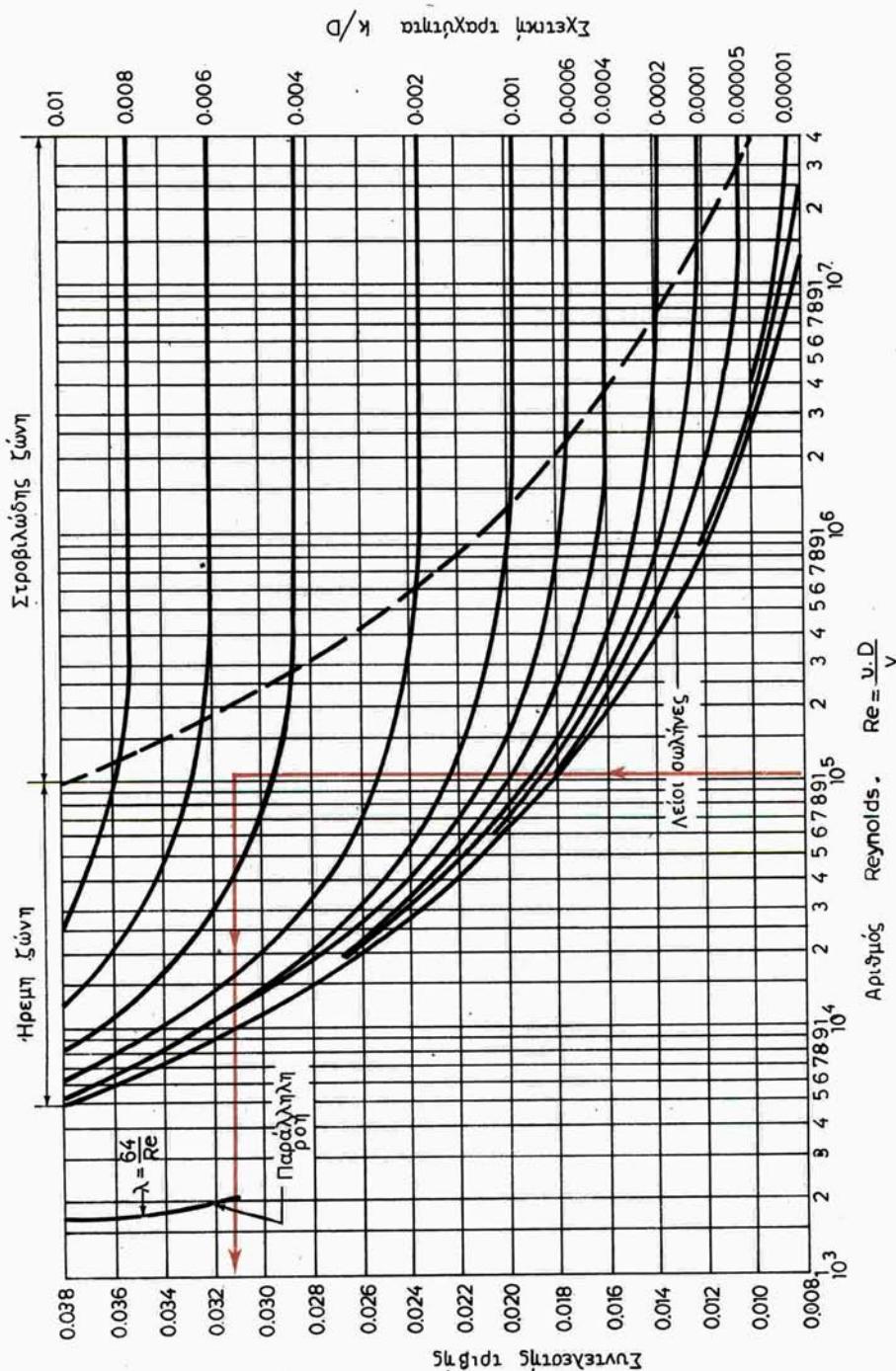
3. Οι απώλειες σύμφωνα με τις σχέση Darcy-Weisbach είναι:

$$h_A = \lambda \frac{L}{D} \frac{u^2}{2 g} = 0,031 \frac{1000}{0,1} \frac{1^2}{19,62} = 15,80 \text{ m}$$

Λύση 2. (Γραφικά).

Από το διάγραμμα Moody (σχ. 3.8δ) βρίσκομε το λ με τον ακόλουθο τρόπο:

1. Βρίσκομε πρώτα τον $Re = 100.000 = 10^5$



Σχ. 3.86.
Διάγραμμα Moody.

$$2. \text{ Βρίσκομε το λόγο } \frac{K}{D} = \frac{0,0005}{0,1} = 0,005$$

Στον οριζόντιο άξονα βρίσκομε την τιμή $Re = 10^5$. Υψώνομε κάθετο στο σημείο αυτό μέχρι να συναντήσουμε την καμπύλη $K/D = 0,005$. Η καμπύλη αυτή δεν υπάρχει. Γιαυτό γίνεται παρεμβολή και προσδιορίζομε το μέσο της αποστάσεως ανάμεσα στην καμπύλη 0,004 και 0,006. Από το σημείο τομής της κάθετης και της καμπύλης 0,005 φέρνομε προς τα αριστερά οριζόντια η οποία μας δίνει την τιμή $\lambda = 0,031$.

Άν βάλομε την τιμή αυτή στη σχέση Darcy-Weisbach έχομε τις απώλειες $h_A = 15,80 \text{ m}$.

Σημείωση. Οι σύγχρονες βιομηχανίες κατασκευής σωλήνων συνήθως δίνουν διαγράμματα απωλειών από τα οποία χωρίς κόπο βγάζομε τις απώλειες. Σχετικά στο τέταρτο κεφάλαιο περί υδρεύσεων.

3.9 Ροή σε ανοικτούς αγωγούς.

Ανοικτοί αγωγοί είναι οι αγωγοί ελεύθερης ροής. Οι ανοικτοί αγωγοί μπορεί να είναι 2 ειδών: **Τεχνητοί ή φυσικοί**.

Στους τεχνητούς ανοικτούς αγωγούς ανήκουν οι διώρυγες, οι τάφροι, τα καναλέπτα κλπ., ενώ στους φυσικούς, οι ποταμοί, οι χείμαρροι και τα διάφορα ρεύματα.

Η διαφορά ανάμεσα στους κλειστούς και τους ανοικτούς αγωγούς βρίσκεται στην κλίση τους. Λέγοντας κλίση στους κλειστούς αγωγούς, εννοούμε την κλίση της πιεζομετρικής γραμμής, ενώ στους ανοικτούς εννοούμε την κλίση του πυθμένα τους.

Κατά τη ροή του νερού στους ανοικτούς αγωγούς αναπτύσσονται τριβές, που εξ αιτίας τους δημιουργείται μια συνεχής πτώση της διαθέσιμης ενέργειας.

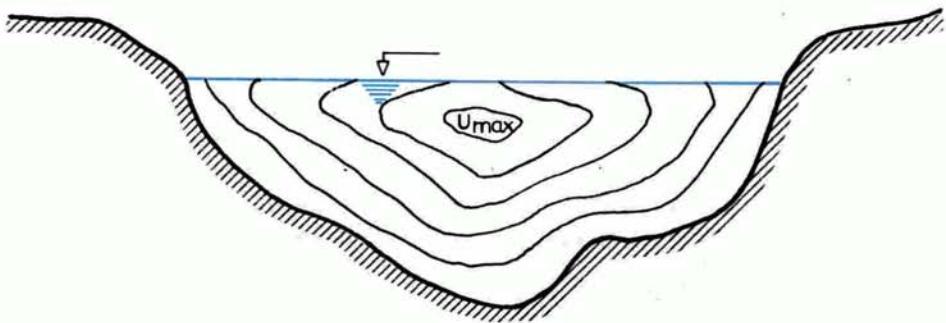
Οι ταχύτητες ροής του νερού στους ανοικτούς αγωγούς πρέπει να μην ξεπερνούν τις οριακές τιμές, ώστε κατά την κίνησή του το νερό να μην αποθέτει τα μεταφερόμενα φερτά υλικά (ελάχιστη ταχύτητα) ούτε και να διαβρώνει τις παρείες του αγωγού όταν αυτός δεν είναι επενδυμένος (μέγιστη ταχύτητα). Έτσι η ταχύτητα δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 0,40 m/sec για να αποφεύγονται οι αποθέσεις και μεγαλύτερη από 1,50 ως 2,00 m/sec για να αποφεύγονται οι διαβρώσεις.

Όταν λέμε **ταχύτητα ροής** εννοούμε τη μέση ταχύτητα του νερού σε μία διατομή, γιατί η ταχύτητα στα διάφορα σημεία μιας διατομής ποικίλλει. Γενικά παρατηρείται μια μείωση της ταχύτητας κοντά στα τοιχώματα του αγωγού εξ αιτίας των τριβών που αναπτύσσονται.

Η μέγιστη ταχύτητα σε μια διατομή ενός ανοικτού αγωγού βρίσκεται στον κατακόρυφο άξονα της διατομής και σε βάθος $5\% \div 25\%$ του βάθους του αγωγού κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια (σχ. 3.9.). Αν ο αγωγός έχει διατομή γεωμετρική (օρθογωνική, τραπεζοειδής, ημικυκλική κλπ.) η θέση της μέγιστης ταχύτητας προσδιορίζεται ευκολότερα.

Τα στοιχεία από τα οποία χαρακτηρίζεται ένας τεχνητός ανοικτός αγωγός είναι το σχήμα της διατομής του, η κλίση και η φύση των πρανών του και η κατά μήκος κλίση του.

Η διατομή ενός ανοικτού αγωγού ποικίλλει ανάμεσα σε διάφορα σχήματα, εξαρτώμενη από τεχνικοοικονομικά στοιχεία που προκύπτουν από τη μελέτη των υδραυλικών δεδομένων. Στην πράξη μεγάλη εφαρμογή έχει η τραπεζοειδής διατο-



Σχ. 3.9.

μή, ενώ δεν είναι σπάνια η εφαρμογή της ορθογωνικής διατομής, κυρίως όταν επενδύονται τα πρανή. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί η τριγωνική, η ημικυκλική, η ημιελλεπτική και άλλες μορφές. Στον πίνακα 3.9.1 δίνονται τα γεωμετρικά στοιχεία κάθε διατομής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.9.1

Στοιχεία διατομών ανοικτών αγωγών

Διατομή	Εμβαδό	Βρεχόμενη περίμετρος	Υδρ. ακτίνα	Πάνω πλάτος
	$b \cdot t$	$b + 2t$	$\frac{b \cdot t}{b + 2t}$	b
	$(b + zt)t$	$b + 2t\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zt)t}{b + 2t\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zt$
	$z \cdot t^2$	$2t\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zt}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2z \cdot t$
	$\frac{1}{8} (\theta - \eta\mu\theta)d_0^2$	$\frac{1}{2} \theta \cdot d_0$	$\frac{1}{4} (1 - \frac{\eta\mu\theta}{\theta}) d_0$	$2\sqrt{t(d_0 - t)}$

Για τον υπολογισμό των ανοικτών αγωγών χρησιμοποιούνται δύο σχέσεις: Η εξίσωση συνέχειας:

$$Q = E \cdot u$$

και η σχέση που συνδέει τις ταχύτητες ροής με την κατά μήκος κλίση του αγωγού και τα υπόλοιπα στοιχεία της διατομής.

Ο Manning, μετά από θεωρητικές και πειραματικές έρευνες κατέληξε στην παρακάτω σχέση, η οποία συνδέει την ταχύτητα ροής, την κλίση, τα γεωμετρικά στοιχεία της διατομής και τις τριβές:

$$u = \frac{1}{\eta} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}$$

όπου: η είναι ο συντελεστής τραχύτητας (βλέπε Πίνακα 3.9.2),

R η υδραυλική ακτίνα, που ισούται με το λόγο του εμβαδού E προς τη βρεχόμενη περίμετρο P. Δηλαδή $R = E/P$ και

J η κατά μήκος κλίση του αγωγού.

Η ταχύτητα u μπορεί να βρεθεί και με τη χρησιμοποίηση του νομογραφήματος του Πίνακα 3.9.3 που δίνει την ταχύτητα για τιμές $\eta = 0,025$ και $0,030$.

Ο Antoine De Chezy το 1775 πρότεινε μια σχέση που συνδέει τις ταχύτητες, την κλίση, την υδραυλική ακτίνα και ένα συντελεστή τραχύτητας:

$$u = C \cdot \sqrt{R \cdot J}$$

όπου: C είναι ο συντελεστής κατά Bazin ίσος με $C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$

R η υδραυλική ακτίνα = E/P και J η κατά μήκος κλίση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.9.2

Τιμές του συντελεστή τραχύτητας η και $1/\eta$ του τύπου του Manning

a/a	Είδος αγωγού	Κατάσταση επιφάνειας ροής			
		Καλή κατάσταση		Κακή κατάσταση	
		η	1/η	η	1/η
1	Σωλήνες χυτοσιδερένιοι	0,013	76,92	0,015	66,67
2	Σωλήνες από σφυρήλατο σίδηρο	0,013	76,92	0,015	66,67
3	Σωλήνες ορειχάλκινοι λεζοί	0,010	100,00	0,013	76,92
4	Σωλήνες υπονόμων εφυαλωμένοι	0,013	76,92	0,017	58,82
5	Σωλήνες από σκυροκονίαμα	0,013	76,92	0,016	62,50
6	Επιφάνειες τσιμεντοκονίαματος	0,011	90,91	0,015	66,67
7	Τάφροι με όχθες γαιώδεις	0,020	50,00	0,025	40,00
8	Τάφροι με όχθες βραχώδεις	0,040	25,00	0,045	22,22
9	Τάφροι με ανώμαλο λιθένδυτο πυθμένα	0,030	33,33	0,040	25,00
10	Τάφροι με τραχείες πλευρές	0,030	33,33	0,035	28,57
11	Τάφροι με υδροχαρή φυτά	0,100	10,00	0,050	6,67
12	Ρεύματα με ομαλό πυθμένα	0,027	37,04	0,033	30,30
13	Ρεύματα με μαιάνδρους και ανώμαλο πυθμένα	0,035	28,57	0,045	22,22
14	Ποταμοί βραδυκίνητοι με υδροχαρή φυτά κλπ.	0,060	16,67	0,080	12,50

Η σχέση του Chezy μετά την εύρεση του C από τον Bazin πήρε τη μορφή:

$$u = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \sqrt{R \cdot J}$$

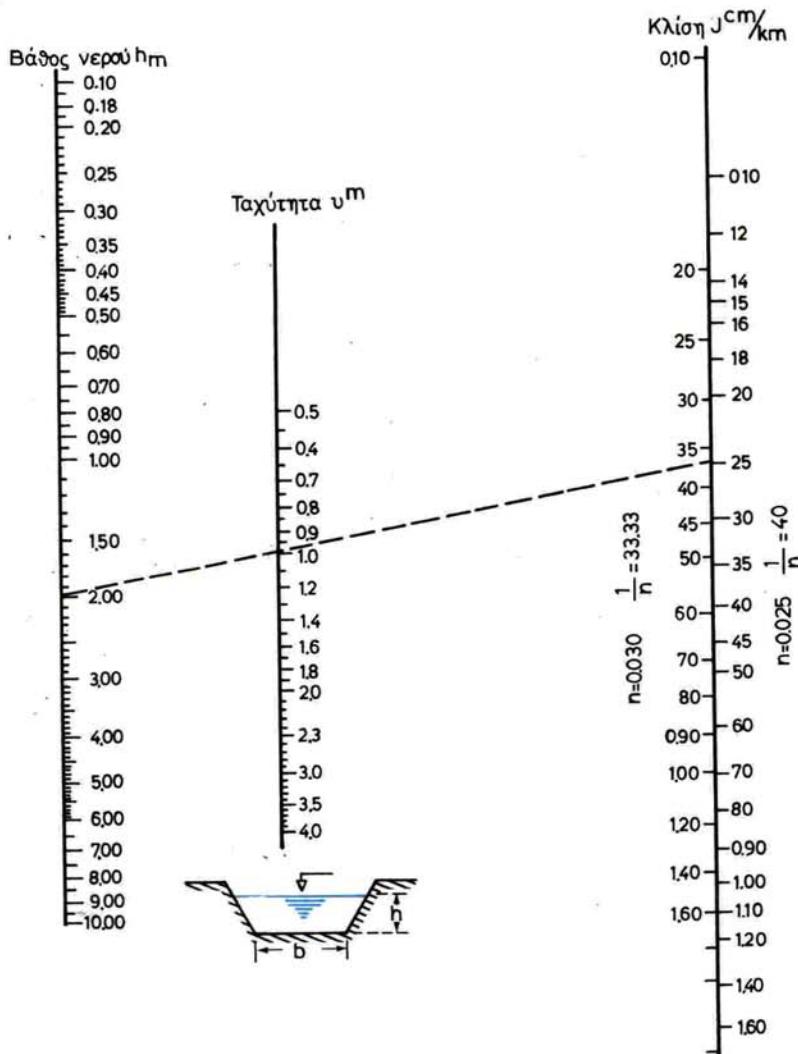
Το γ είναι συντελεστής τραχύτητας. Η τιμή του φαίνεται στον Πίνακα 3.9.4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.9.3

Νομογράφημα

Υπολογισμός ανοικτών διωρύγων

Συντελεστής τραχύτητας $\eta = 0,025$ και $0,030$



Παράδειγμα: Δίνονται: $h = 2,00$ m, $J = 25$ cm/km και $n = 0,025$.
Παίρνομε: $u = 1,0$ m/sec

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.9.4

Τιμές του συντελεστή τραχύτητας γ του τύπου του Bazin

a/a	Είδος αγωγού	Τιμή του γ
1	Επιφάνειες από τσιμεντοκονίαμα λείες	0,11
2	Σκυρόδεμα	0,30
4	Λίθινα πρανή	0,46
5	Γαιώδη, επίπεδα πρανή σε καλή κατάσταση	1,30
6	Γαιώδη πρανή σε κακή κατάσταση	2,40
7	Γαιώδη πρανή με ανώμαλη επιφάνεια και υδροχαρή φυτά	3,15

Ο ελβετός Μηχανικός Kutter έδωσε στο συντελεστή C του τύπου του Chezy την παρακάτω τιμή:

$$C = \frac{100 \cdot \sqrt{R}}{m + \sqrt{R}}$$

Οπότε ο τύπος του Chezy γίνεται: $u = \frac{100 \cdot \sqrt{R}}{m + \sqrt{R}} \sqrt{R \cdot J}$

Η εφαρμογή του τύπου αυτού είναι μεγάλη, κυρίως στον υπολογισμό των δικτύων των υπονόμων και μικρών διωρύγων.

Η τιμή του συντελεστή m φαίνεται στον Πίνακα 3.9.5.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.9.5

Τιμές του συντελεστή τραχύτητας m του τύπου του Kutter

a/a	Είδος αγώγου	Τιμή του m
1	Πρανή λεία από τσιμεντοκονία	0,12 - 0,15
2	Πρανή από σκυρόδεμα ή λιθενδύσεις	0,30 - 0,40
3	Γαιώδη πρανή σε καλή κατάσταση	1,00 - 1,50
4	Γαιώδη πρανή και υδροχαρή φυτά	2,00 - 2,50

Οι συντελεστές τραχύτητας των διαφόρων σχέσεων που δόθηκαν προηγούμενα συνδέονται μεταξύ τους με την ακόλουθη σχέση, που προκύπτει από τους απλούς αλγεβρικούς μετασχηματισμούς των σχέσεων:

$$u = \frac{1}{\eta} R^{2/3} \cdot J^{1/2}, \quad u = C \sqrt{RJ} \quad \text{και}$$

$$h_A = \lambda \frac{L}{D} \frac{u^2}{2g} \quad \text{και είναι: } C = \frac{R^{1/6}}{\eta} = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$$

Έτσι αν υπολογίσομε τον λ βρίσκομε εύκολα το συντελεστή η του Manning και C του Chezy.

3.10 Εφαρμογές.

a) Διώρυγα τραπεζοειδούς διατομής έχει τα παρακάτω στοιχεία:

- Πλάτος πυθμένα $b = 1,00 \text{ m}$.
- Κλίση πρανών $2 : 1$.
- Κατά μήκος κλίση 1% .
- Συντελεστή τραχύτητας $n = 0,027$.
- Βάθος νερού $t = 1,50 \text{ m}$.

Ζητείται η παροχή της διώρυγας.

Λύση:

Βρίσκομε πρώτα την υγρή διατομή:

$$E = \frac{1 + 7}{2} \times 1,5 = 6,0 \text{ m}^2$$

Η βρεχόμενη περίμετρος είναι:

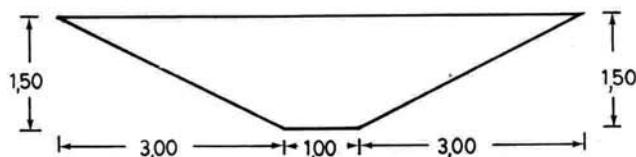
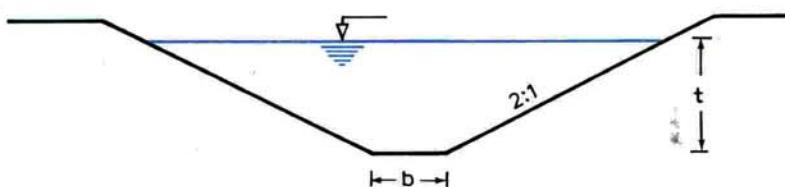
$$\pi = 1 + 2\sqrt{3^2} + 1,5^2 = 1 + 2\sqrt{11,25} \quad \text{και} \quad \Pi = 7,70 \text{ m}$$

Η υδραυλική ακτίνα $R = E/\Pi$ είναι:

$$R = \frac{6,0}{7,7} \frac{(\text{m}^2)}{(\text{m})} = 0,779 \text{ m}$$

$$R^{2/3} = 0,845.$$

Η κλίση $J = 1\%$ ή $J = 0,001$, οπότε: $J^{1/2} = 0,031$.



Προσθέτομε τα στοιχεία στον τύπο του Manning και λαμβάνομε:

$$u = \frac{1}{n} R^{2/3} \cdot J^{1/2} = \frac{1}{0,027} \times 0,845 \times 0,031 = 0,97 \text{ m/sec.}$$

Οπότε η παροχή από την εξίσωση συνέχειας είναι:

$$Q = E \cdot u = 6,0 \text{ (m}^2\text{)} \times 0,97 \text{ (m/sec)} = 5,82 \text{ m}^3/\text{sec}$$

β) Δύο διώρυγες τραπεζοειδούς διατομής έχουν τα παρακάτω στοιχεία κοινά:

- Πλάτος πυθμένα $b = 1,20 \text{ m}$.
- Κλίση πρανών $1 : 1$.

— Συντελεστή τραχύτητας $\eta = 0,017$.

Το βάθος του νερού στην Α διώρυγα είναι $t_A = 0,5 \text{ m}$ και η κλίση του πυθμένα $J = 6\%$, ενώ στη διώρυγα Β το βάθος είναι $t_B = 1,80 \text{ m}$ και η κλίση $J = 0,6\%$.

Ποια από τις δύο διώρυγες έχει μεγαλύτερη παροχή και πόση;

Λύση:

Αγωγός Α: $b = 1,00$, $z = 1$, $t = 0,5 \text{ m}$. Εφαρμόζομε τις σχέσεις του Πίνακα 3.9.1 και έχουμε:

$$E = (b + z \cdot t)t = (1,20 + 0,5) \times 0,5 = 0,85 \text{ m}^2$$

$$\Pi = b + 2t\sqrt{1 + z^2} = 1,20 + 2 \times 0,5 \times \sqrt{2} = 2,61 \text{ m}^2$$

$$R = \frac{E}{\Pi} = \frac{0,85}{2,61} = 0,325 \text{ m}$$

$$R^{2/3} = 0,473$$

$$J = 0,006$$

$$J^{1/2} = 0,077$$

$$u_A = \frac{1}{0,017} \times 0,473 \times 0,077 = 2,14 \text{ m/sec}$$

$$Q_A = 0,85 \times 2,14 = 1,82 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Αγωγός Β: $b = 1,20$, $z = 1,0$, $t = 1,80$

$$E = (b + z \cdot t)t = (1,20 + 1,80) \times 1,80 = 5,40 \text{ m}^2$$

$$\Pi = 1,20 + 2 \cdot 1,80 \sqrt{2} = 6,29 \text{ m}^2$$

$$R = \frac{E}{\Pi} = \frac{5,4}{6,29} = 0,858 \text{ m}$$

$$R^{2/3} = 0,903$$

$$J = 0,0006$$

$$J^{1/2} = 0,0024$$

$$u_B = \frac{1}{0,017} \times 0,858 \times 0,024 = 1,21 \text{ m/sec}$$

$$Q_B = 5,40 \cdot 1,21 = 6,53 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Σημείωση:

Οι τιμές του $R^{2/3}$ και $J^{1/2}$ βρίσκονται από τους Πίνακες 3.10.1 και 3.10.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.10.1**Τιμές της τετραγωνικής ρίζας της κλίσεως J ενός ρεύματος**

I°/∞	\sqrt{I}								
0,10	0,0100	1,70	0,0412	4,20	0,0648	6,70	0,0818	9,20	0,0959
0,15	0,0122	1,80	0,0424	4,30	0,0655	6,80	0,0824	9,30	0,0964
0,20	0,0141	1,90	0,0463	4,40	0,0663	6,90	0,0830	9,40	0,0969
0,25	0,0158	2,00	0,0447	4,50	0,0671	7,00	0,0836	9,50	0,0974
0,30	0,0173	2,10	0,0458	4,60	0,0678	7,10	0,0842	9,60	0,0979
0,35	0,0187	2,20	0,0469	4,70	0,0685	7,20	0,0848	9,70	0,0985
0,40	0,0200	2,30	0,0479	4,80	0,0693	7,30	0,0854	9,80	0,0990
0,45	0,0212	2,40	0,0490	4,90	0,0700	7,40	0,0860	9,90	0,0995
0,50	0,0223	2,50	0,0500	5,00	0,0707	7,50	0,0866	10,00	0,1000
0,55	0,0234	2,60	0,0509	5,10	0,0714	7,60	0,0871	11,00	0,1048
0,60	0,0245	2,70	0,0519	5,20	0,0721	7,70	0,0877	12,00	0,1095
0,65	0,0255	2,80	0,0529	5,30	0,0728	7,80	0,0883	13,00	0,1140
0,70	0,0264	2,90	0,0538	5,40	0,0735	7,90	0,0888	14,00	0,1183
0,75	0,0274	3,00	0,0548	5,50	0,0741	8,00	0,0894	15,00	0,1225
0,80	0,0282	3,10	0,0557	5,60	0,0748	8,10	0,0900	16,00	0,1265
0,85	0,0291	3,20	0,0566	5,70	0,0755	8,20	0,0905	17,00	0,1304
0,90	0,0300	3,30	0,0574	5,80	0,0761	8,30	0,0911	18,00	0,1341
0,95	0,0308	3,40	0,0583	5,90	0,0768	8,40	0,0916	19,00	0,1378
1,00	0,0310	3,50	0,0591	6,00	0,0774	8,50	0,0921	20,00	0,1412
1,10	0,0331	3,60	0,0600	6,10	0,0781	8,60	0,0927		
1,20	0,0346	3,70	0,0608	6,20	0,0787	8,70	0,0932		
1,30	0,0360	3,80	0,0616	6,30	0,0793	8,80	0,0938		
1,40	0,0374	3,90	0,0624	6,40	0,0800	8,90	0,0943		
1,50	0,0387	4,00	0,0632	6,50	0,0806	9,00	0,0948		
1,60	0,0400	4,10	0,0640	6,60	0,0812	9,10	0,0954		

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.10.2

Τιμές του $R^{2/3}$ από την υδραυλική ακτίνα R

R	$R^{2/3}$	R	$R^{2/3}$												
0,02	0,074	0,52	0,647	1,02	1,01	1,52	1,32	2,02	1,60	2,52	1,85	3,02	2,09	3,60	2,34
0,04	0,117	0,54	0,663	1,04	1,03	1,54	1,33	2,04	1,61	2,54	1,86	3,04	2,10	3,70	2,39
0,06	0,153	0,56	0,679	1,06	1,04	1,56	1,34	2,06	1,62	2,56	1,87	3,06	2,11	3,80	2,44
0,08	0,186	0,58	0,696	1,08	1,05	1,58	1,36	2,08	1,63	2,58	1,88	3,08	2,12	3,90	2,48
0,10	0,215	0,60	0,712	1,10	1,07	1,60	1,37	2,10	1,64	2,60	1,89	3,10	2,13	4,00	2,52
0,12	0,241	0,62	0,727	1,12	1,08	1,62	1,38	2,12	1,65	2,62	1,90	3,12	2,14	4,50	2,73
0,14	0,270	0,64	0,743	1,14	1,09	1,64	1,39	2,14	1,66	2,64	1,91	3,14	2,15	5,00	2,92
0,16	0,295	0,66	0,758	1,16	1,10	1,66	1,40	2,16	1,67	2,66	1,92	3,16	2,16	5,50	3,12
0,18	0,319	0,68	0,773	1,18	1,12	1,68	1,41	2,18	1,68	2,68	1,93	3,18	2,17	6,00	3,29
0,20	0,342	0,70	0,788	1,20	1,13	1,70	1,42	2,20	1,69	2,70	1,94	3,20	2,17	6,50	3,48
0,22	0,364	0,72	0,803	1,22	1,14	1,72	1,44	2,22	1,71	2,72	1,95	3,22	2,18	7,00	3,66
0,24	0,386	0,74	0,818	1,24	1,15	1,74	1,45	2,24	1,71	2,74	1,96	3,24	2,19	7,50	3,83
0,26	0,407	0,76	0,832	1,26	1,17	1,76	1,46	2,26	1,72	2,76	1,97	3,26	2,20	8,00	4,00
0,28	0,428	0,78	0,847	1,28	1,18	1,78	1,47	2,28	1,73	2,78	1,98	3,28	2,21	8,50	4,17
0,30	0,448	0,80	0,863	1,30	1,19	1,80	1,48	2,30	1,74	2,80	1,99	3,30	2,22	9,00	4,33
0,32	0,468	0,82	0,876	1,32	1,20	1,82	1,49	2,32	1,75	2,82	2,00	3,32	2,23	10,00	4,63
0,34	0,487	0,84	0,890	1,34	1,21	1,84	1,50	2,34	1,76	2,84	2,01	3,34	2,24	11,00	4,93
0,36	0,506	0,86	0,904	1,36	1,23	1,86	1,51	2,36	1,77	2,86	2,01	3,36	2,25	12,00	5,22
0,38	0,524	0,88	0,918	1,38	1,24	1,88	1,53	2,38	1,78	2,88	2,02	3,38	2,26	13,00	5,52
0,40	0,543	0,90	0,932	1,40	1,25	1,90	1,54	2,40	1,79	2,90	2,03	3,40	2,26	14,00	5,80
0,42	0,561	0,92	0,946	1,42	1,26	1,92	1,55	2,42	1,80	2,92	2,04	3,42	2,27	15,00	6,10
0,44	0,579	0,94	0,960	1,44	1,27	1,94	1,56	2,44	1,81	2,94	2,05	3,44	2,28	-	-
0,46	0,596	0,96	0,973	1,46	1,29	1,96	1,57	2,46	1,82	2,96	2,06	3,46	2,29	-	-
0,48	0,613	0,98	0,987	1,48	1,30	1,98	1,58	2,48	1,83	2,98	2,07	3,48	2,29	-	-
0,50	0,630	1,00	1,00	1,50	1,31	2,00	1,59	2,50	1,84	3,00	2,08	3,50	2,30	-	-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΥΔΡΕΥΣΕΙΣ

4.1 Γενικά.

Απόλυτα καθαρό νερό δεν υπάρχει στη φύση. Καθώς το νερό ανεβαίνει εξατμιζόμενο στην ατμόσφαιρα και πέφτει ως βροχή, απορροφάει μόρια σκόνης και διάφορα αέρια (οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα κ.ά.), ενώ επάνω στην επιφάνεια του εδάφους εμπλουτίζεται με ανόργανα και οργανικά συστατικά, καθώς και με βακτηρίδια. Το επιφανειακό νερό διατηρεί και αυξάνει τις ποσότητες αυτές, ενώ το υπόγειο χάνει ένα μεγάλο μέρος τους, γιατί διηθείται και φίλτραρεται μέσα στους πόρους του εδάφους. Τα πρόσθετα αυτά συστατικά του επιφανειακού νερού μποραύν να χαθούν με συστηματική επεξεργασία του νερού (καθίζση, διύλιση, χημική επεξεργασία) ώστε να γίνει κατάλληλο για να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο (πόσιμο νερό).

Ως πόσιμο χαρακτηρίζεται το νερό που είναι αβλαβές για την υγεία, ευχάριστο στη γεύση και χρησιμοποιήσιμο για οικιακούς σκοπούς. Πρέπει επίσης να είναι άχρωμο, άσσομο, απαλλαγμένο από νοσογόνα μικρόβια ή αποσυντεθημένες οργανικές ύλες και να είναι διαυγές.⁷ Η θερμοκρασία του πρέπει να είναι σταθερή στους 10° ως 15° C.

4.2 Ποιότητα του νερού.

Πριν από κάθε χρησιμοποίηση το νερό πρέπει να αναλύεται χημικά για να διαπιστωθεί η ποιότητά του. Κατά τον ποιοτικό έλεγχο του νερού μελετούνται τα ακόλουθα χαρακτηριστικά του:

α) Οσμή – Γεύση.

Είναι ιδιότητες που η ύπαρξή τους διαπιστώνεται με τα αισθητήρια του ανθρώπου και κατά ένα μεγάλο ποσοστό τα κριτήρια αυτά είναι υποκειμενικά. Η έρευνα της οσμής και γεύσεως φανερώνει πολλές φορές και την πηγή προελεύσεως του νερού. Έτσι υπόγειο νερό με περιεκτικότητα αλάτων Νατρίου έχει γεύση γλυφή.

β) Χρώμα.

Το χημικά καθαρό νερό είναι άχρωμο, πράγμα σπάνιο στη φύση. Ο χρωματισμός του νερού οφείλεται στην ύπαρξη διαλυμένων ουσιών που ανάλογα με τη φύση και προέλευσή τους δίνουν το χαρακτηριστικό τους χρώμα. Έτσι, νερό προερχόμενο από ασβεστολιθικά πετρώματα έχει ελαφρή πράσινη απόχρωση, ενώ όταν προέρχεται από σιδηρούχα έχει, αντίστοιχα, κοκκινοκίτρινο χρώμα.

Στην έννοια του χρώματος δεν περιλαμβάνεται η θολότητα που οφείλεται στην αιώρηση στερεών σωματιδίων. Για το λόγο αυτό όταν εξετάζεται το χρώμα, αφαιρέται η θολότητα του δείγματος με φυγοκέντρηση ή άλλες μεθόδους.

γ) Θολότητα.

Αντίθετα με το χρώμα, που οφείλεται σε ουσίες διαλυμένες μέσα στο νερό, η θολότητα οφείλεται στη διασπορά και αιώρηση ελάχιστων σωματιδίων μέσα στο νερό (άργιλος, λάσπη κλπ.). Η θολότητα οφείλεται βασικά στη διάχυση και απορρόφηση του ηλιακού φωτός από τα λεπτότατα σωματίδια και τη μείωση της διεισδύσεώς του μέσα στο νερό. Το γεγονός αυτό εμποδίζει τη δημιουργία φωτοχημικών αντιδράσεων και υποβαθμίζει την ποιότητά του.

Η θολότητα εμφανίζεται εντονότερη στο επιφανειακό νερό, γιατί αυτό εξ αιτίας της διαβρωτικής του ικανότητας παρασύρει γαιώδη συστατικά με λεπτότατο καταμερισμό. Αυτό το γεγονός εξηγεί και το φαινόμενο της μεγαλύτερης θολότητας του νερού των επιφανειακών ρεύματων μετά από έντονη βροχή. Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι απαλλαγμένο από τη θολότητα.

δ) Θερμοκρασία.

Η θερμοκρασία του νερού εξαρτάται από την προέλευσή του. Το υπόγειο νερό έχει σταθερή θερμοκρασία με μικρές διακυμάνσεις. Το επιφανειακό αντίθετα νερό δεν έχει σταθερή θερμοκρασία. Η θερμοκρασία του εξαρτάται από την εποχή, τη θέση του ρεύματος και άλλους τοπικούς παράγοντες. Έτσι η θερμοκρασία ενός ρεύματος μπορεί να είναι το χειμώνα 4°C και το καλοκαίρι 22°C .

Η θερμοκρασία του νερού είναι βασικό κριτήριο της ποιότητάς του, γιατί η αύξηση της θερμοκρασίας βοηθά την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό των μικροβίων και των μικροοργανισμών. Εκτός όμως από αυτό, η αύξηση της θερμοκρασίας συμβάλλει στην έκλυση των διαλυμένων αερίων, με συνέπεια το νερό να γίνει λιγότερο εύγευστο.

ε) Αλκαλικότητα – οξύτητα pH.

Το υπόγειο νερό σε ένα μεγάλο ποσοστό του είναι αλκαλικό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα αλκαλικά άλατα είναι πολύ διαδεδομένα στο έδαφος. Η αλκαλικότητα αυτή στο νερό εκφράζεται σε mg/lit νερού και έχει βασική σημασία, γιατί από αυτήν εξαρτάται ο προσδιορισμός του τρόπου επεξεργασίας του νερού.

Εκτός από την αλκαλικότητα, η ποιότητα του νερού επηρεάζεται και από την οξύτητά του. Αυτή οφείλεται βασικά στο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) που ενώνεται με το νερό και δίνει το ασταθές ανθρακικό οξύ (H_2CO_3).

Το καθαρό νερό δεν είναι ούτε όξινο ούτε αλκαλικό. Είναι ουδέτερο. Βρέθηκε ότι τα μόρια του νερού δίστανται σε ένα ελάχιστο ποσοστό σε ιόντα H^+ και OH^- . Η συγκέντρωση αυτή των ιόντων υδρογόνου και υδροξειδίου στο νερό είναι ίση με 10^{-14} mg/lit, γεγονός που σημαίνει ότι $\text{H}^+ = \text{OH}^- = 10^{-7}$ ή $\text{pH} = 7$ αφού το νερό είναι ουδέτερο.

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά το νερό κρίνεται:

- Ως όξινο αν $\text{pH} < 7$
- Ως βασικό αν $\text{pH} > 7$
- Ως ουδέτερο αν $\text{pH} = 7$

Η γνώση του pH έχει μεγάλη σημασία για την επεξεργασία του νερού.

στή Μικρόβια.

Μέσα στο νερό βρίσκονται πάντα διάφορα είδη μικροβίων. Το πιο πλούσιο σε μικρόβια είναι το επιφανειακό νερό και κυρίως αυτό που βρίσκεται κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Από τα παθογόνα μικρόβια σπουδαιότερα είναι τα μικρόβια της εντερικής χλωρίδας, τα οποία εισέρχονται στο νερό με τα περιπτώματα των ανθρώπων και ζώων. Τα παθογόνα μικρόβια ζουν μικρό μόνο χρονικό διάστημα μέσα στο νερό, ικανό όμως για να προκαλέσουν μόλυνση αν το νερό χρησιμοποιείται ως πόσιμο.

Οι σημαντικότερες από τις ασθένειες που μπορεί να προκληθούν από το μολυσμένο νερό είναι ο τυφοειδής και παρατυφοειδής πυρετός, η δυσεντερία, η γαστρεντερίτιδα, η λοιμώδης ηπατίτιδα και η χολέρα. Βέβαια τον τυφοειδή πυρετό και τη δυσεντερία δεν τα προκαλεί μόνο το νερό, αλλά και οι μύγες ή η επαφή μεταξύ των ανθρώπων.

Το πόσιμο νερό πρέπει να εξετάζεται για να διαπιστώνεται η ύπαρξη ή όχι βακτηριδίων. Με την εξέταση προσδιορίζονται δύο δείκτες:

- Ο δείκτης βακτηριδίων.
- Ο δείκτης κολοβακτηριδίων.

Ω Σκληρότητα.

Το νερό που ρέει επιφανειακά ή εισέρχεται μέσα στο έδαφος εμπλουτίζεται με ένα πλήθος ανοργάνων ουσιών του στερεού φλοιού της γης. Η πρόσληψη των υλών από το έδαφος επιτυγχάνεται με τη διαλυτική ικανότητα του νερού, με την επίδραση του διαλυμένου διοξειδίου του άνθρακα επάνω στα ανθρακικά και πυριτικά άλατα και με αμοιβαία διαλυτική επίδραση των διαφόρων αλάτων επάνω σε άλλα άλατα.

Η διαλυμένη ποσότητα ασβεστίου και μάγνησίου μαζί αποτελούν τη συνολική σκληρότητα του νερού. Ο σίδηρος και το μαγγάνιο, που συναντούνται σε ελάχιστες ποσότητες δεν υπολογίζονται τις περισσότερες φορές.

Η σκληρότητα εκφράζεται σε βαθμούς σκληρότητας με μια από τις παρακάτω κλίμακες:

- Γερμανική
 - Γαλλική
 - Αγγλική
- 1 γερμανικός βαθμός σκληρότητας = 10 mg CaO σε 1 lit νερού.
 1 γαλλικός βαθμός σκληρότητας = 10 mg CaCO₃ σε 1 lit νερού.
 1 αγγλικός βαθμός σκληρότητας = 14,3 mg CaCO₃ σε 1 lit νερού.
- Ανάμεσα στις τρεις κλίμακες που αναφέρθηκαν υπάρχει η ακόλουθη σχέση:
 1 γερμ. βαθμός = 1,79 γαλλικοί βαθμοί = 1,25 αγγλικοί βαθμοί.

Εφόσον το νερό δεν περιέχει ελεύθερα ανόργανα οξέα βρίσκεται το κύριο ποσοστό των διαλυμένων, με μορφή όξινων ανθρακικών αλάτων, υλών, που δίνουν τη σκληρότητα. Το ποσοστό αυτό χαρακτηρίζεται ως σκληρότητα ανθρακικών αλάτων σε αντίθεση με τα θειικά και χλωριούχα άλατα του ασβεστίου και μαγνησίου.

Η ανθρακική σκληρότητα (παροδική σκληρότητα) οφείλεται στα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου και μαγνησίου, που είναι ενώσεις **αδιάλυτες** στο νερό. Η ύπαρξη όμως διοξειδίου του άνθρακα τις μετασχηματίζει σε ενώσεις ασταθείς. Οι ε-

νώσεις αυτές με το βρασμό, ελευθερώνουν το CO_2 αφήνοντας υπολείμματα ανθρακικών αλάτων (πουρί).

Η μη ανθρακική σκληρότητα (μόνιμη σκληρότητα) οφείλεται στα θειικά και χλωριούχα άλατα του ασβεστίου και μαγνησίου και δεν απομακρύνεται με το βρασμό.

Ο χαρακτηρισμός του νερού γίνεται με βάση τους βαθμούς σκληρότητας με τον ακόλουθο τρόπο:

- 0 ως 10 γερμανικοί βαθμοί μαλακό νερό.
- 10 ως 20 γερμανικοί βαθμοί μέτριο νερό.
- 20 και άνω γερμανικοί βαθμοί σκληρό νερό.

Τα όρια αυτά δεν χωρίζουν τις κατηγορίες με απόλυτο τρόπο, αλλά ενδεικτικά. Πολλοί μελετητές αναφέρουν διάφορες κατατάξεις όπως:

- 0 ως 7 γαλλικοί βαθμοί πολύ μαλακό νερό.
- 7 ως 14 γαλλικοί βαθμοί μαλακό νερό.
- 14 ως 22 γαλλικοί βαθμοί μέσης σκληρότητας νερό.
- 22 ως 30 γαλλικοί βαθμοί επαρκούς σκληρότητας νερό.
- 30 ως 54 γαλλικοί βαθμοί σκληρό νερό.
- 54 και πάνω γαλλικοί βαθμοί πολύ σκληρό νερό.

Η καλύτερη σκληρότητα για ένα πόσιμο νερό είναι περίπου από 8 ως 12 γερμανικούς βαθμούς.

4.3 Προσδιορισμός αναγκών σε νερό.

4.3.1 Γενικά.

Η ποσότητα του νερού που απαιτείται για την κατανάλωση αποτελεί το πρώτο στάδιο επάνω στο οποίο θα στηριχθεί η μελέτη ενός δικτύου υδρεύσεως, αφού όλες οι εγκαταστάσεις εξαρτώνται από την παροχή που καλείται να εξασφαλίσει η μελέτη.

Η απαιτούμενη για ύδρευση ποσότητα νερού δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με την ανάπτυξη της πόλεως. Η ανάπτυξη αυτή εξαρτάται από το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων, τη βιομηχανία, τον τουρισμό και άλλους επιπόπιους παράγοντες.

Η κατασκευή ενός δικτύου υδρεύσεως δεν πρέπει να γίνεται με βάση τις σημερινές ανάγκες μιας πόλεως, αλλά να προβλέπονται και να καλύπτονται ανάγκες μετά από χρονική περίοδο 30-50 χρόνια. Όταν η πρόβλεψη γίνεται για περισσότερα χρόνια υπάρχει κίνδυνος αστοχίας.

Η κατανάλωση του νερού βασικά διακρίνεται σε τέσσερις κατηγορίες:

- Οικιακή κατανάλωση.
- Εμπορική κατανάλωση.
- Βιομηχανική κατανάλωση.
- Δημόσια κατανάλωση.

Όταν λέμε οικιακή κατανάλωση, εννοούμε το νερό που χρησιμοποιείται για πόση, πλύση, παρασκευή φαγητών κλπ. Η ποσότητα που καταναλίσκεται κατά κάτοικο ποικίλλει από 70 μέχρι 200 lit. την ημέρα. Μπορούμε να πούμε, χωρίς να απέχομε από την πραγματικότητα, ότι η ποσότητα καταναλώσεως νερού για χωριά και κωμοπόλεις υπολογίζεται σε 70-100 lit/κατ. ημ., ενώ για πόλεις υπολογίζεται σε 100-150 και για μεγαλουπόλεις 150-200 lit/κατ. ημ.

Το εμπόριο και η βιομηχανία καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες νερού για τις λειτουργικές τους ανάγκες. Υπάρχουν περιπτώσεις που οι βιομηχανίες μιάς πόλεως απορροφούν ποσοστό μεγαλύτερο από το 40% της καταναλώσεως.

Όταν λέμε δημόσια κατανάλωση, εννοούμε το νερό που απαιτείται για το πότισμα των κήπων, το πλύσιμο των δρόμων, την υδροδότηση δημόσιων και δημοτικών καταστημάτων και για την κατάσβεση πυρκαϊών.

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης παροχής πρέπει να υπολογισθεί ο αριθμός των κατοίκων που θα έχει στο μελλοντικό χρόνο η πόλη. Όταν η πόλη αυξάνει γρήγορα, τότε ο μελλοντικός αριθμός των κατοίκων της θα είναι:

$$E = E_0 \left(1 + \frac{a}{100}\right)^v$$

όπου: E_0 είναι ο σημερινός αριθμός κατοίκων,

α η εκατοστιαία αύξηση πληθυσμού,

ν ο αριθμός των έτών και

Ε ο μελλοντικός αριθμός των κατοίκων μετά για χρόνια.

Αν η αύξηση της πόλεως δεν είναι μεγάλη, μπορεί να εφαρμοσθεί η σχέση:

$$E = E_0 + v \cdot a$$

Ο χρόνος υπολογισμού που θα επιλεγεί απαιτεί προσοχή, ώστε τα αποτελέσματα να βρίσκονται κοντά στην πραγματικότητα.

Εκτός από τους δύο αυτούς τρόπους υπολογισμού του μελλοντικού αριθμού των κατοίκων μιας πόλεως, υπάρχουν και άλλοι που δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Υπάρχει π.χ. η μέθοδος υπολογισμού της αυξήσεως τού πληθυσμού με χάραξη των καμπυλών εξελίξεως του πληθυσμού και η μαθηματική μέθοδος, που προϋποθέτει όμως ομοιόμορφη ανάπτυξη γύρω από το κέντρο της πόλεως.

Παράδειγμα.

Η κοινότητα Νεοχωρίου παρουσίασε κατά τις απογραφές 1971 και 1981 την ακόλουθη πληθυσμιακή εξέλιξη:

1971	3.275 κάτοικοι
1981	3.990 κάτοικοι

Ζητείται να υπολογισθεί ο πιθανός αριθμός των κατοίκων, προκειμένου να μελετηθεί το δίκτυο υδρεύσεως της κοινότητας με ικανότητα καλύψεως των αναγκών για τα προσεχή 20 χρόνια (μέχρι δηλαδή το έτος 2001).

Λύση Α.

Μια πρώτη προσέγγιση μπορούμε να έχομε από την αύξηση του πληθυσμού κατά τη δεκαετία 1971-81. Έτσι, για 10 χρόνια, έχομε αύξηση 715 κατοίκους. Στα επόμενα 20 χρόνια (και εφ' όσον δεν υπάρχουν πληθυσμιακές ανακατατάξεις) ο πληθυσμός θα αυξηθεί κατά:

$$2 \times 715 = 1430 \text{ κατοίκους}$$

Κατά συνέπεια ο συνολικός πληθυσμός του οικισμού το 2001 θα είναι:

$$3990 + 1430 = 5420 \text{ κάτοικοι}$$

Λύση Β.

Από την αύξηση του πληθυσμού των ετών 1971-1981 έχομε ετήσια ποσοστιαία αύξηση περίπου 2%, γιατί ο πληθυσμός του 1971 (3275 κατ.) αυξήθηκε το 1981 κατά 715 κατοίκους. Έτσι στους 100 κατοίκους αντιστοιχεί αύξηση:

$$\frac{715}{3275} \times 100 = 21,8 \text{ κάτοικοι στα 10 χρόνια ή}$$

$$\frac{21,8}{10} = 2,18 \text{ κατ./χρόνο ή για στρογγύλευση } 2 \text{ κατ./χρ.}$$

Εφαρμόζοντας τη σχέση:

$$E = E_0 \left(1 + \frac{a}{100}\right)^v \text{ έχομε}$$

$$E = 3990 \left(1 + \frac{2}{100}\right)^{20} = 3990 (1,00 + 0,02)^{20} = 3,990 \cdot 1,02^{20} = 5929 \text{ κατ.}$$

Σημείωση: Βλέπομε ότι με τη λύση Β ο αριθμός των κατοίκων είναι μεγαλύτερος. Γενικά η μέθοδος του ανατοκισμού (λύση Β) δίνει μεγαλύτερα αποτελέσματα από την απλή αριθμητική αύξηση.

4.3.2 Διακύμανση της καταναλώσεως.

Η κατανάλωση κατά κάτοικο δεν είναι σταθερή. Αλλάζει από χρόνο σε χρόνο (πίνακας 4.3.1) από μήνα σε μήνα, από μέρα σε μέρα και από ώρα σε ώρα. Η ποικιλία αυτή του απαιτούμενου ποσού οφείλεται σε διάφορους λόγους. Το καλοκαίρι ή κατανάλωση είναι μεγαλύτερη από το χειμώνα, τις εργάσιμες μέρες μεγαλύτερη από τις Κυριακές και γιορτές και τις πρωινές ώρες μεγαλύτερη από τις νυκτερινές.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.1
Διακύμανση της καταναλώσεως για ένα χρόνο στην Αθήνα

Μήνας	ποσοστό καταναλώσεως	Μήνας	ποσοστό καταναλώσεως
Ιανουάριος	6,2%	Ιούλιος	11,7%
Φεβρουάριος	6,0%	Αύγουστος	10,9%
Μάρτιος	7,1%	Σεπτέμβριος	9,3%
Απρίλιος	7,4%	Οκτώβριος	8,5%
Μάϊος	8,8%	Νοέμβριος	7,3%
Ιούνιος	9,9%	Δεκέμβριος	6,9%

Η διακύμανση της καταναλώσεως μέσα στο 24ωρο έχει ιδιαίτερη σημασία, γιατί σ' αυτή στηρίζονται οι υπολογισμοί τόσο του δικτύου όσο και της χωρητικό-

τητας των δεξαμενών. Απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό αποτελούν οι μέγιστες και οι ελάχιστες ποσότητες, οι μέσες τιμές της καταναλώσεως και η χρονική διάρκεια των δύο πρώτων. Γι' αυτό και συντάσσονται διαγράμματα που εμφανίζουν χαρακτηριστικά όλα τα μεγέθη αυτά (σχ. 4.3).



Σχ. 4.3.
Τυπικό διάγραμμα ημερήσιας καταναλώσεως νερού σε μια πόλη.

Από παρατηρήσεις που έγιναν επί πολλά χρόνια προκύπτει ότι η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση είναι μεγαλύτερη από τη μέση ημερήσια κατά 1,50 περίπου.

$$\text{Έτσι έχομε: } Q_{\max \text{ ημερ}} = 1,5 \cdot Q_{\text{μέση ημερ}}$$

$$\text{Κατά τον ίδιο τρόπο έχομε: } Q_{\max \text{ ωρ}} = 1,5 \cdot Q_{\text{μέση ωρ}}$$

$$\text{Η μέση ωριαία όμως είναι: } Q_{\text{μέση ωρ}} = \frac{Q_{\max \text{ ημ}}}{24}$$

και κατά συνέπεια:

$$Q_{\max \text{ ωρ}} = 1,5 \cdot \frac{Q_{\max \text{ ημ}}}{24} = 1,5 \cdot \frac{1,5 Q_{\text{μέση ημ}}}{24} = \frac{2,25 \cdot Q_{\text{μέση ημ}}}{24}$$

ή

$$Q_{\max \text{ ωρ}} = 0,1 \cdot Q_{\text{μέση ημερ}}$$

Στον πίνακα 4.3.2 φαίνεται η μέση ημερήσια κατανάλωση νερού για το καλοκαίρι και το χειμώνα σε διάφορες ελληνικές πόλεις.

Παράδειγμα.

Η ποσότητα νερού που καταναλώνεται από τους κατοίκους της κοινότητας Νεοχωρίου είναι περίπου 220 χιλιάδες κυβικά μέτρα το χρόνο ($22 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{χρ}$). Ποια είναι η μέση ημερήσια κατανάλωση και ποια η μέγιστη ημερήσια; Ποια η ωριαία αιχμή;

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.2

Μέση ημερήσια κατανάλωση νερού για το καλοκαίρι και το χειμώνα σε διάφορες ελληνικές πόλεις το 1972 και 1982

α/α	ΠΟΛΗ	Κατανάλωση σε m ³ /ημέρα			
		1972		1982	
		Καλοκαίρι	Χειμώνας	Καλοκαίρι	Χειμώνας
1	ΑΘΗΝΑ	541.324	427.555	992.200	550.300
2	Αλεξανδρούπολη	1.700	1.300	17.948	14.871
3	Άργος	6.500	3.700	—	—
4	Άρτα	1.800	1.400	—	—
5	Βόλος*	9.300	4.400	29.000	13.000
6	Θεσσαλονίκη	—	—	238.500	130.000
7	Καβάλα	4.265	3.000	—	—
8	Κομοτινή	5.000	4.000	8.500	5.500
9	Λάρισα	12.000	9.500	21.850	12.250
10	Μυτιλήνη	4.500	2.700	—	—
11	Πολύγυρος	600	400	1.130	900
12	Πρέβεζα	1.540	1.200	—	—
13	Τρίκαλα	6.000	4.500	9.100	6.500
14	Τρίπολη	3650	2500	—	—
15	Χίος	5.800	2.600	6.400	4.000

* Η κατανάλωση το 1972 ήταν μόνο για το Δήμο Βόλου. Το 1982 συμπεριλαμβάνεται και η κατανάλωση της Νέας Ιωνίας.

Όπου υπάρχουν παύλες δεν δόθηκαν στοιχεία, από τους οργανισμούς υδρεύσεως για το χρόνο που αναφέρεται.

Λύση.

— Όλο το χρόνο καταναλώνονται 220.000 M³. Ένας χρόνος όμως έχει 365 μέρες. Άρα σε μια μέρα κατά μέσο όρο θα καταναλώνονται:

$$\frac{220.000}{365} = 603 \text{ m}^3/\text{ημ.}$$

Βέβαια στην πραγματικότητα αυτό δεν συμβαίνει. Να καταναλώνονται δηλαδή κάθε μέρα 603 m³. Σε ζεστή καλοκαιρινή μέρα θα καταναλώνονται πολύ περισσότερα, ενώ σε κρύα χειμωνιάτικη μέρα λιγότερα. Κατά μέσο όρο όμως η καταναλισκόμενη ποσότητα θα είναι 603 m³/ημ.

— Η μέγιστη ηοερήσια κατανάλωση ξέρομε ότι είναι:

$$\text{Ομαχημ} = 1,5 \cdot \text{Ομέσηημ.}$$

ή

$$\text{Ομαχημ.} = 1,5 \cdot 603 = 904,5 \text{ m}^3/\text{ημ}$$

Άρα σε πολύ ζεστή καλοκαιρινή μέρα η μέγιστη κατανάλωση μπορεί να φτάσει τα 905 m³.

— Όταν λέμε ωριαία αιχμή εννοούμε τη μεγαλύτερη ωριαία κατανάλωση της μέρας που έχει τη μεγαλύτερη ημερήσια κατανάλωση. Βρήκαμε ποι πάνω ότι την πιο ζεστή μέρη του καλοκαιριού η κατανάλωση νερού για όλο το 24ωρο θα είναι

905 m³. Το μεσημέρι όμως η κατανάλωση νερού θα είναι μεγαλύτερη από ό,τι το βράδυ. Αυτή τη μεγαλύτερη μεσημεριάτικη κατανάλωση τη λέμε **ωριαία αιχμή**. Αναλυτικότερα για την περίπτωσή μας έχουμε: 905 m³ σε μια μέρα. Δηλαδή σε 24 ώρες. Άρα κατά μέσο όρο σε μια ώρα θα καταναλώνονται:

$$\text{Ομέσηωρ.} = \frac{905}{24} = 37,7 \text{ m}^3/\text{ώρα}$$

Είπαμε όμως ότι το μεσημέρι η κατανάλωση είναι μεγαλύτερη και ξέρομε ότι:

$$\begin{aligned} \text{Ομαχωρ.} &= 1,5 \text{ Ομέσηωρ.} \\ \text{άρα} \end{aligned}$$

$$\text{Ομαχωρ.} = 1,5 \cdot 37,7 = 56,5 \text{ m}^3/\text{ώρα.}$$

Στο αποτέλεσμα αυτό μπορούμε να φτάσουμε αν πάρομε την τελευταία σχέση της παραγράφου 4.3.2 που λέει:

$$\text{Ομαχωρ.} = 0,1 \cdot \text{Ομέσημερ.}$$

Για την περίπτωσή μας είναι:

$$\text{Ομαχωρ.} = 0,1 \cdot 603 = 60,3 \text{ m}^3/\text{ώρα.}$$

Έτσι αμέσως έχουμε την προσεγγιστική τιμή της μέγιστης ωριαίας αιχμής χωρίς τους ενδιάμεσους υπολογισμούς.

4.4 Έργα υδροληψίας.

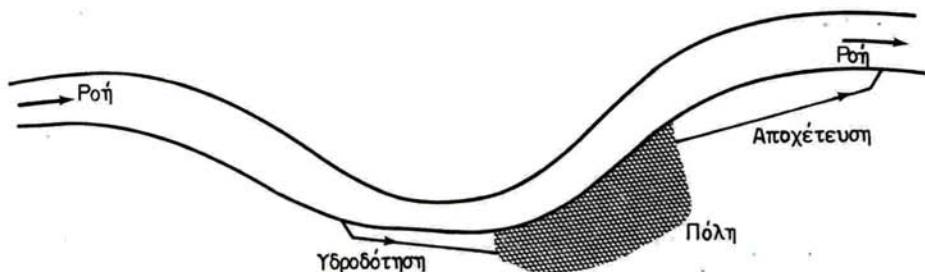
Η ύδρευση μιας πόλεως αρχίζει από το έργο της υδροληψίας, που αποτελεί το έργο συλλογής του επιφανειακού ή υπόγειου νερού και διαφοροποιείται ανάλογα με την προέλευση του νερού σε:

- Υδροληψία από επιφανειακούς υδάτινους πόρους.
- Υδροληψία από πηγαίους υδάτινους πόρους
- Υδροληψία από υπόγειους υδάτινους πόρους.
- Υδροληψία από βρόχινο νερό.

4.4.1 Υδροληψία από επιφανειακούς υδάτινους πόρους.

Εννοούμε την υδροληψία από τους ποταμούς και τις λίμνες.

Η υδροληψία από ποταμό (σχ. 4.4a) είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος σήμερα

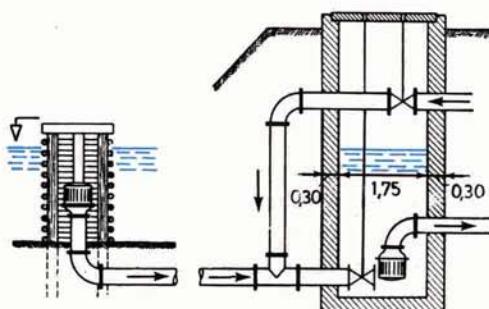


Σχ. 4.4a.

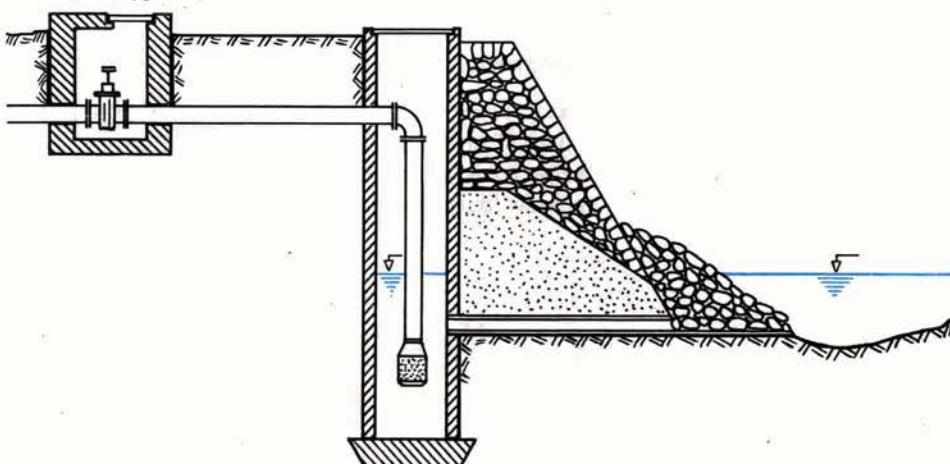
Διάταξη της υδροληψίας σε περίπτωση υδρεύσεως από ποταμό. Η απορροή των ακαθάρτων πρέπει να γίνεται μετά την πόλη.

στην Ελλάδα. Πρέπει να γίνεται ανάντη της πόλεως για να αποφύγομε τη μόλυνση του νερού από τις αποχετεύσεις.

Πριν από την εγκατάσταση της υδροληψίας, πρέπει να μελετάται η διακύμανση της στάθμης του νερού και η δίαιτα του ποταμού (ταχύτητα, πλημμύρες, φερτά υλικά). Το στόμιο της υδροληψίας τοποθετείται κοντά στην όχθη, ενώ γύρω από τον αγωγό υπάρχει ένα μηχανικό φίλτρο (ποτήρι) για να μην εισέρχονται στον αγωγό αντικείμενα που μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στις εγκαταστάσεις του υδραγωγείου (σχ. 4.4β). Η υδροληψία πρέπει να τοποθετείται στα κοίλα των μαιάνδρων των ποταμών, γιατί εκεί το βάθος του νερού είναι μεγαλύτερο και κατά συνέπεια οι αγωγοί δεν αποκαλύπτονται στην περίοδο της χαμηλής στάθμης του ποταμού. Αν η στάθμη του ποταμού το καλοκαίρι κατεβαίνει πολύ, τότε η υδροληψία γίνεται με τη βοήθεια ενός βοηθητικού θαλάμου σε μορφή πηγαδιού (σχ. 4.4γ). Το βάθος του πηγαδιού είναι μεγαλύτερο από το βάθος του ποταμού. Έτσι, και όταν ακόμη ο ποταμός έχει βάθος 0,50 m, οπότε είναι προβληματική η άντληση, το βάθος στο πηγάδι θα είναι περίπου 1,50 m.

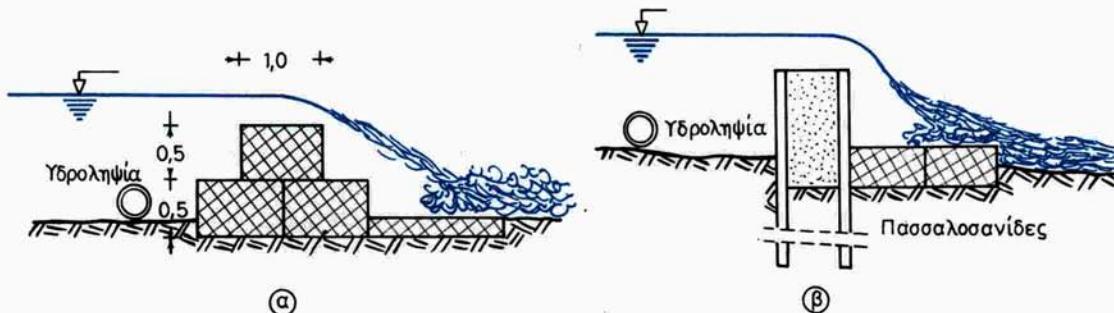


Σχ. 4.4β.
Στόμιο υδροληψίας με μηχανικό φίλτρο.



Σχ. 4.4γ.
Υδροληψία με τη βοήθεια βοηθητικού φρέατος.

Όταν ο ποταμός σε όλο το χρόνο έχει στάθμη χαμηλή, κατασκευάζεται εγκάρπιο έργο στην κοίτη (φράγμα ή εκχειλιστής) που ανυψώνει τη στάθμη δημιουργώντας την άπαιτούμενη συγκέντρωση του νερού ανάπτη. Το έργο αυτό μπορεί να κατασκευασθεί με σκυρόδεμα, με πασσαλοσανίδες, με χώμα και επένδυση των πρανών ή τέλος με συρματόπλεκτα κιβώτια (σχ. 4.4δ).



Σχ. 4.4δ.

Τεχνικά ανυψώσεως της στάθμης.

α) Με συρματόπλεκτα κιβώτια. β) Με πασσαλοσανίδες και λιθορριπή.

Η υδροληψία από λίμνη συνηθίζεται πολύ στην Ευρώπη και στην Αμερική.

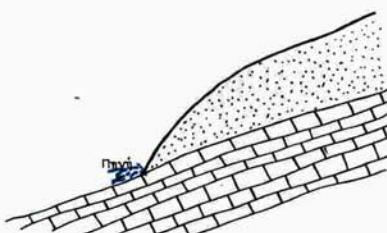
Η υδροληψία πρέπει να γίνεται μακριά από την πόλη και μάλιστα σε τόση απόσταση όση απέχει από την άλλη πλευρά η έξοδος του αποχέτευτικού αγάγοντος. Πριν από την ύδρευση ή την αποχέτευση πρέπει να μελετούνται τα ρέυματα της λίμνης, οπότε η θέση υδροληψίας και εκβολής λυμάτων εκλέγεται κατά τη σειρά:

Υδροληψία — Πόλη — Αποχέτευση

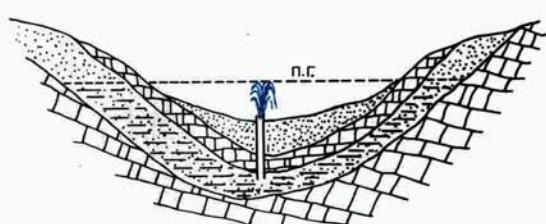
Το βάθος των αγάγων αναρροφήσεως δεν πρέπει να βρίσκεται ούτε σε επιφανειακά στρώματα ούτε στον πυθμένα για την αποφυγή αναρροφήσεως φερτών υλικών ή λάσπης.

4.4.2 Υδροληψία από πηγαίους υδάτινους πόρους.

Η παροχή μιας πηγής προέρχεται από το υπόγειο νερό ενός υδροπερατού στρώματος του εδάφους που κινείται εξ αιτίας της κλίσεως του υποκείμενου αδιαπέραστου στρώματος και αναβλύζει στην επιφάνεια ή αναπηδάει κάτω από την πίεση των υπερκειμένων στρωμάτων (σχήματα 4.4ε και 4.4στ).



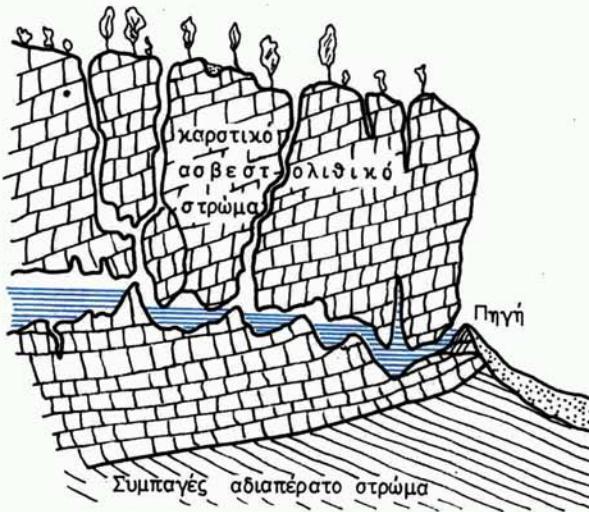
Σχ. 4.4ε.
Εμποτισμός μιας πηγής.



Σχ. 4.4στ.
Δημιουργία αρτεσιανών φρεάτων.

Αρχικά πριν από κάθε εργασία γίνεται γεωλογική έρευνα για να εξακριβωθεί το μέγεθος του υδροφόρου στρώματος και η λεκάνη υδροσυλλογής, στοιχεία από τα οποία εξαρτάται η παροχή της πηγής.

Στη συνέχεια γίνεται η ανάπτυξη της πηγής με διάφορα έργα που μεγαλώνουν το μέτωπο της υδροληψίας. Η πηγή είναι δυνατόν να είναι καρστική* ή να προέρχεται από σχισμή στερεού βράχου (σχ. 4.4ζ).



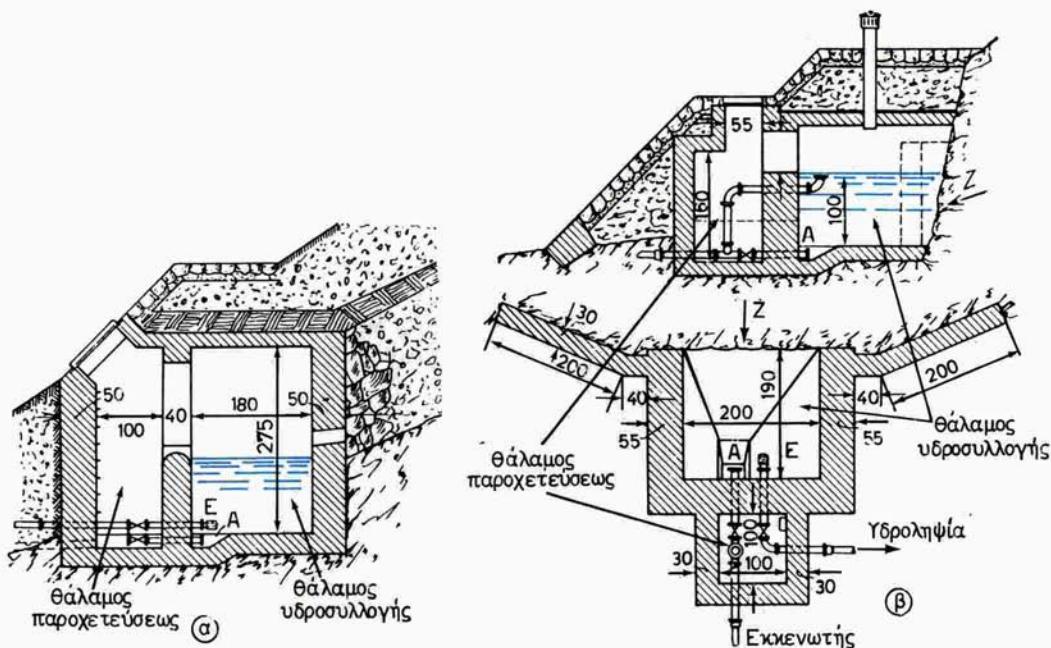
Σχ. 4.4ζ.
Πηγή προερχόμενη από σπήλαιο.

Το τεχνικό έργο υδροληψίας (σχ. 4.4η) έχει σκοπό να δέχεται το νερό της πηγής, να το μαζεύει και να το παροχετεύει με σύστημα σωληνώσεων στην επιθυμητή κατεύθυνση. Το όλο έργο περιλαμβάνει δύο σκέλη. Τη **συλλογή** και την **παροχή-τευση**.

Η υδροσυλλογή περιλαμβάνει.

- Το θάλαμο συλλογής του νερού.
- Το σωλήνα υδροληψίας Ε, που βρίσκεται λίγο ψηλότερα από τον πυθμένα του θαλάμου για να μην παρασύρονται στο δίκτυο οι φερτές ύλες.
- Τον εκκενωτή Α, που έχει σκοπό την εκκένωση του θαλάμου ώστε να είναι δυνατός ο καθαρισμός του, χαμηλότερα βέβαια από τον πυθμένα και
- τον υπερχειλιστή Ζ σε αρκετό ύψος από τον πυθμένα, για να απομακρύνει το νερό που περισσεύει.

* Καρστική πηγή: Το νερό της βροχής κατεβαίνει μέσα από τις σχισμές και τα ανοίγματα των ασβεστολιθικών πετρωμάτων (κάρστ) και οδηγούμενο στα χαμηλότερα μέρη των ασβεστολιθικών κλιτών εκρέει στην επιφάνεια του εδάφους σχηματίζοντας καρστικές πηγές (κεφαλάρια) με μόνιμη ή περιοδική παροχή.



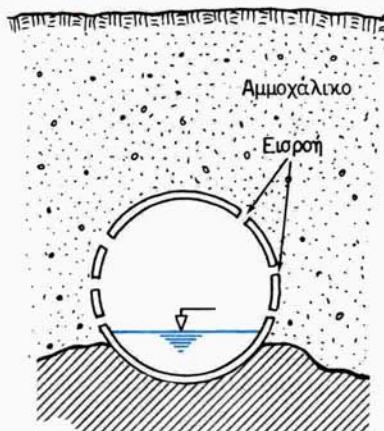
Σχ. 4.4η.

Τεχνικά έργα υδροληψίας. Διακρίνονται ο θάλαμος υδροσυλλογής και διοχετεύσεως.

α) Υδροσυλλογή από διαπεράτο υδροφόρο στρώμα σε τομή. β) Υδροσυλλογή από βραχώδες καρστικό πέτρωμα σε τομή και κάτωψη.

Ο Θάλαμος παροχετεύσεως περιλαμβάνει τις δικλείδες του αγωγού τροφοδοσίας Ε και του εκκενωτή Α. Στην οροφή του έργου κατασκευάζεται αεραγωγός και η όλη κατασκευή για λόγους μονώσεως επιχωματώνεται.

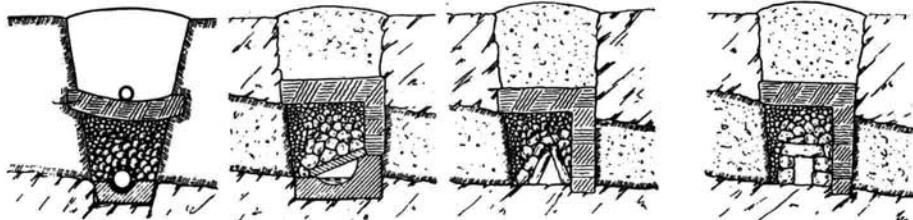
Όταν το υδροφόρο στρώμα εμφανίζεται σε μεγάλο μέτωπο και η αποκάλυψή του με μορφή πηγής δίνει μικρή παροχή, εφαρμόζεται η συγκέντρωση του νερού με υδρομάστευση. Η υδρομάστευση γίνεται με διάτρητους αγωγούς (σχ. 4.4θ) ή



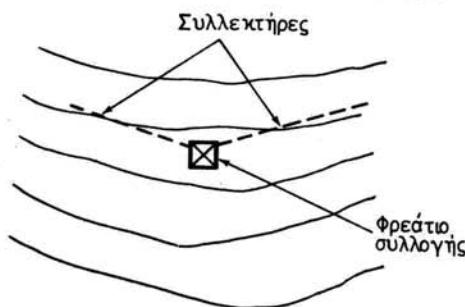
ΣΥ. 4.49.

Σ. 4.46.
Αγωγός με οπές για τη συλλογή του νερού.

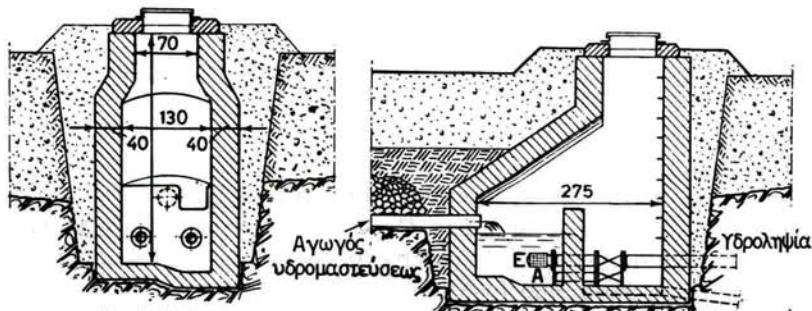
στοές (σχ. 4.4ι) που τοποθετούνται παράλληλα σχεδόν στις υψομετρικές καμπύλες (σχ. 4.4ια), κάθετα δηλαδή προς τη ροή του νερού, και εκβάλλουν στα φρεάτια υδροσυλλογής. Τα φρεάτια υδροσυλλογής (σχήματα 4.4ιβ και 4.4ιγ) είναι κατασκευασμένα τις περισσότερες φορές όπως οι θάλαμοι υδροληψίας από τις πηγές.



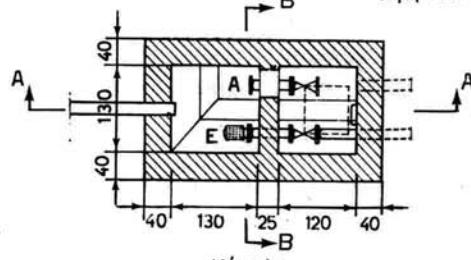
Σχ. 4.4ι.
Στοές υδρομαστεύσεων.



Σχ. 4.4ια.
Διάταξη συλλεκτήρων υδρομαστεύσεων.

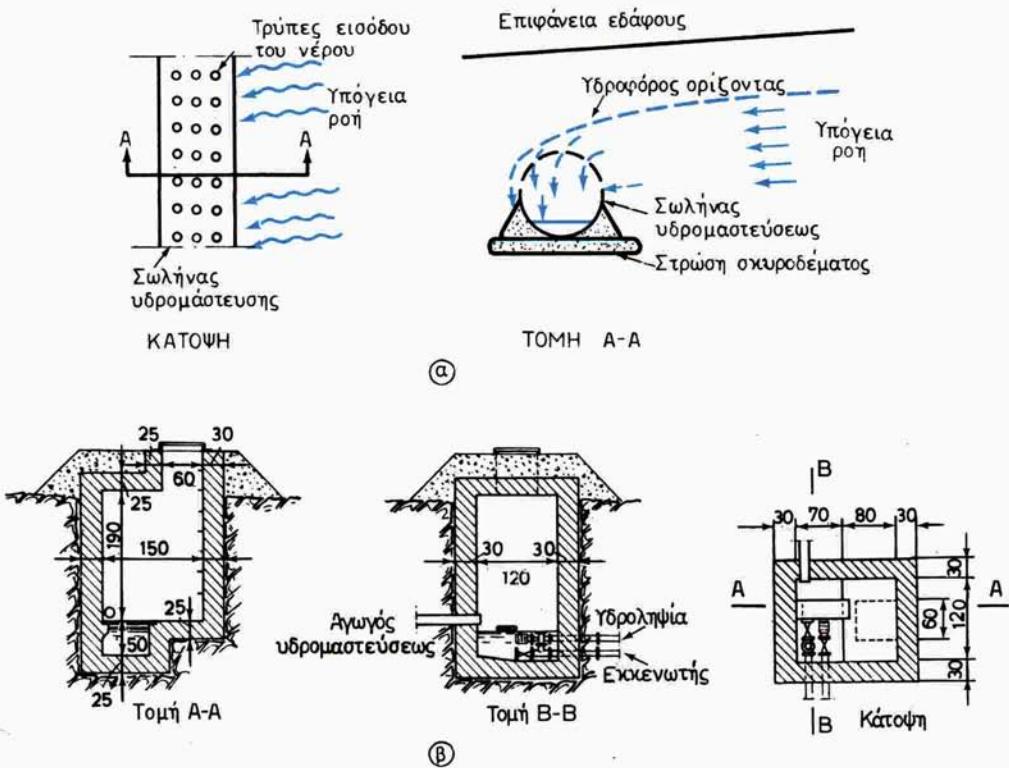


Τομή B-B Τομή A-A



Σχ. 4.4ιβ.

Φρεάτιο υδροσυλλογής υδρομαστεύσεων σε κάτοψη και δύο τομές. Διακρίνεται ο αγωγός της υδρομαστεύσεως.



Σχ. 4.4γ.

α) Τρόπος υδρομαστεύσεως. β) Μικρό φρεάτιο υδροσυλλογής υδρομαστεύσεως.

Παράδειγμα:

Η υπόγεια ροή ενός υδροφόρου στρώματος με μεγάλη έκταση μετρήθηκε και βρέθηκε ίση με $q = 0,5 \text{ m}^3/\text{m}$ ημέρα. Πόσα μέτρα υδρομαστευτικού αγωγού (σχ. 4.4γ) πρέπει να κατασκευασθούν για την κάλυψη των αναγκών υδρεύσεως γειτονικού οικισμού με πληθυσμό (μελλοντικό) 1.000 κατοίκους.

Λύση.

Αρχικά υπολογίζονται οι ανάγκες υδρεύσεως του οικισμού. Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.3.1, η κατανάλωση ανά κάτοικο κυμαίνεται για οικισμούς γύρω στα $100 \text{ l}/\text{κατ. ημ}$. Έτσι 1000 κάτοικοι χρειάζονται:

$$Q = 1000 \text{ (κατ)} \cdot 100 \text{ (l/κατ. ημ)} = 100 \text{ m}^3/\text{ημ}.$$

Το νερό όμως πρέπει να μπορεί να καλύψει τις ανάγκες μιας καλοκαιρινής μέρας. Δηλαδή:

$$Q_{max} = 1,5 \cdot 100 = 150 \text{ m}^3/\text{ημ}.$$

Η ειδική παροχή του υπόγειου υδροφόρου στρώματος ανά μέτρο μήκους είναι $0,5 \text{ m}^3/\text{m}$. ημ. Δηλαδή 1 m αγωγού μαζεύει σε μια μέρα $0,5 \text{ m}^3$ νερό. Άρα αφού

Θέλομε $150 \text{ m}^3/\text{ημ}$. Θα χρειαστούμε:

$$L = \frac{150 (\text{m}^3/\text{ημ})}{0,5 (\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{ημ})} = 300 \text{ m αγωγού}$$

4.4.3 Υδροληψία από υπόγειους υδάτινους πόρους.

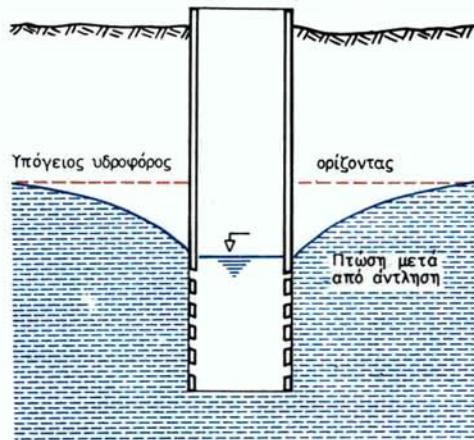
Το υπόγειο νερό δημιουργείται από τη διήθηση του νερού μέσα στο έδαφος. Όταν η στρωματογραφία δεν δεσμεύει το νερό σε υδατοσυλλογές αλλά επιτρέπει την κίνηση, τότε το νερό κινείται με διεύθυνση ανάλογη με την κλίση του αδιαπέραστου στρώματος. Όταν το αδιαπέραστο στρώμα δεν έχει κλίση αλλά παρουσιάζει κοιλότητα, τότε έχουμε συγκέντρωση του νερού σε υπόγεια υδροσυλλογή (υπόγεια λεκάνη).

Η υδροληψία από υπόγειο νερό μπορεί να γίνει με:

- Κοινά πηγάδια.
- Σωληνωτά πηγάδια.
- Αρτεσιανά φρέατα (πηγάδια).

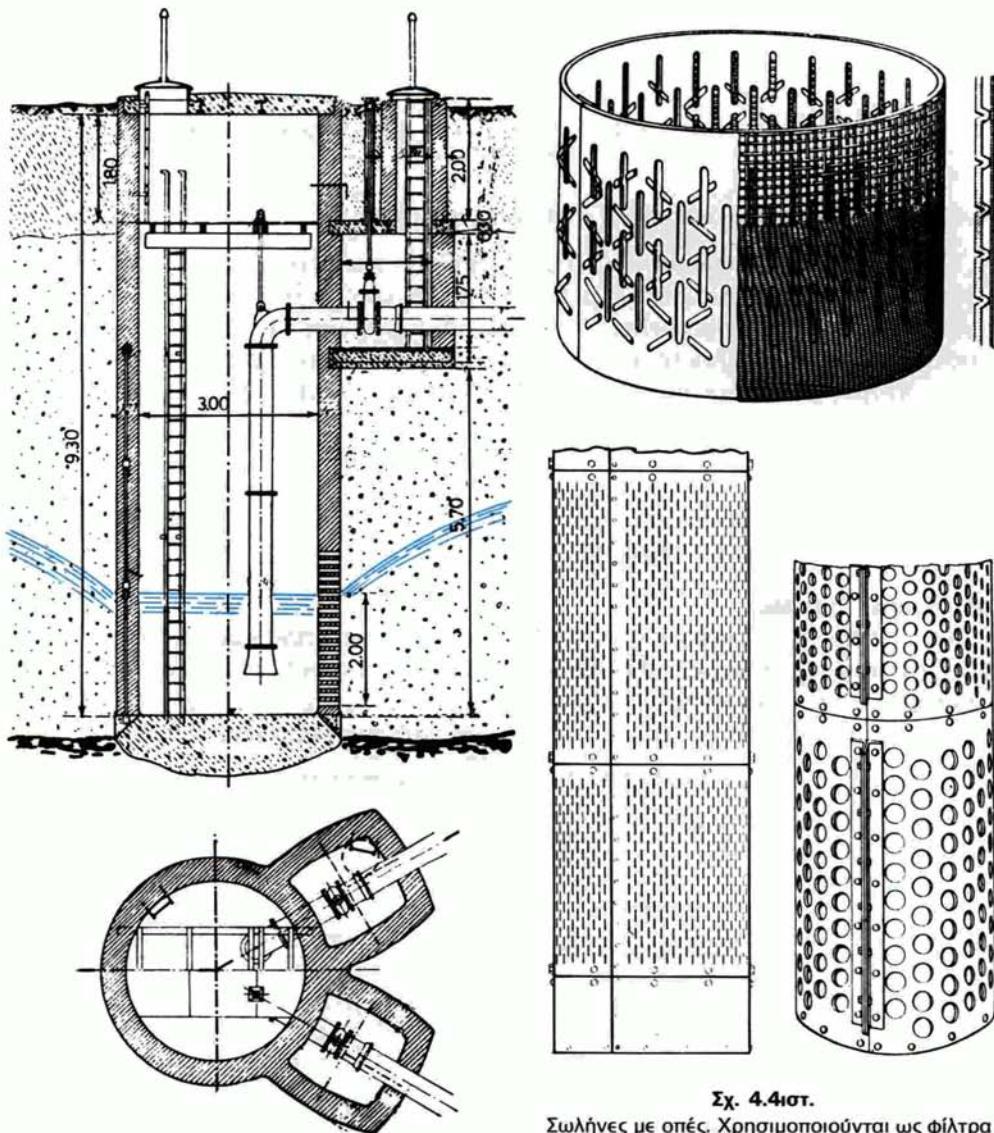
a) Τα κοινά πηγάδια.

Τα πηγάδια που κατασκευάζονταν παλιότερα, αποτελούσαν μεμονωμένες μονάδες υδρεύσεως για μικρούς οικισμούς ή αγροτικά συγκροτήματα. Η χρήση τους σήμερα έχει περιορισθεί πολύ. Τα πηγάδια (σχ. 4.4ιδ) πρέπει να ανοίγονται μακριά από βόθρους, υπονόμους, στάσιμο νερό και γενικά από εστίες που μπορεί να μο-



Σχ. 4.4ιδ.
Κοινό πηγάδι.

λύνουν το νερό τους. Το βάθος τους πρέπει να φθάνει τουλάχιστον τα 2,00 m κάτω από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, για να εξασφαλίζεται η παροχή και σε περίοδο χαμηλής στάθμης. Συνήθως το βάθος τους δεν είναι μεγαλύτερο από 25 m και η διάμετρός τους από 3 m. Μεγαλύτερες διαστάσεις είναι βέβαια δυνατές, αλλά δεν είναι οικονομικές. Η επένδυση των πηγαδιών γίνεται, τις περισσότερες φορές, ανεξάρτητα από την ποιότητα του εδάφους. Όταν όμως το έδαφος είναι συνεκτικό σε όλο του το βάθος αποφεύγεται η επένδυση. Στο σχήμα 4.4ιε φαίνεται λεπτομερώς η τομή και η κάτοψη ενός κοινού πηγαδιού.



Σχ. 4.4ιε.

Πηγάδι σε τομή και κάτοψη.

Σχ. 4.4ιστ.

Σωλήνες με οπές. Χρησιμοποιούνται ως φίλτρα για την αποφυγή εισροής άμμου. Το είδος του φίλτρου εξαρτάται από το είδος του εδάφους.

β) Τα σωληνωτά πηγάδια.

Αποτελούνται από σιδεροσωλήνα ή σωλήνες από χυτοσίδηρο και η εσωτερική διάμετρό τους κυμαίνεται μέσα σε μεγάλα όρια. Οι σωλήνες εμβυθίζονται στο έδαφος με γεωτρύπανα. Οι μέθοδοι γεωτρήσεως είναι τρεις:

- Κρουστική.
- Περιστροφική.
- Καλιφορνιακή.

Οι σωλήνες βιδώνονται μεταξύ τους και αποτελούν έτσι ένα ενιαίο σωλήνα. Ο

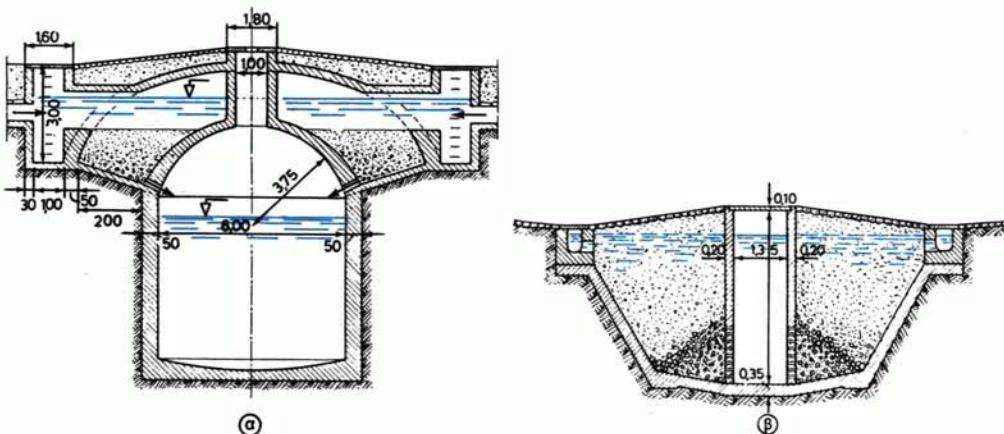
πρώτος έχει στο άκρο του αιχμές που τον βοηθάνε στην εισχώρησή του μέσα στο έδαφος.. Σε μήκος έχει μέτρο περίπου έχει οπές διαμήκεις που διευκολύνουν τη δίοδο του νερού (σχ. 4.4ιστ). Όταν το έδαφος είναι κοκκώδες και πλούσιο σε νερό είναι δυνατό να έχουμε ικανοποιητική παροχή.

γ) Τα Αρτεσιανά φρέατα.

Έτσι ονομάζονται τα πηγάδια όπου το νερό ανεβαίνει σε υψόμετρο μεγαλύτερο από το υψόμετρο στο οποίο συναντάνται το υδροφόρο στρώμα. Αυτό οφείλεται στα ψηλότερα τμήματα του ίδιου υδροφόρου στρώματος (σχ. 4.4στ). Όταν η πιεζομετρική γραμμή βρίσκεται πολύ ψηλότερα από το έδαφος, τότε το νερό αναπτύδαι από τη γεώτρηση επάνω στο έδαφος. Όταν η πιεζομετρική γραμμή βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, τότε η στάθμη του νερού βρίσκεται λίγο χαμηλότερα από αυτή.

4.4.4 Υδροληψία από βρόχινο νερό.

Το νερό της βροχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ύδρευση μικρών οικισμών, αρκεί να κατασκευασθούν τα κατάλληλα έργα για τη συγκέντρωση και τη βελτίωση της ποιότητάς του. Η συγκέντρωση μπορεί να γίνει με συλλεκτήριες τάφρους που τροφοδοτούν μια δεξαμενή (σχ. 4.4ιζ).



Σχ. 4.4ιζ.

Δύο μορφές δεξαμενών συγκεντρώσεως του βρόχινου νερού.

Ο συλλεκτήριος θάλαμος είναι κυλινδρικός και σε ορισμένες περιπτώσεις [σχ. 4.4ιζ (β)] κατασκευάζεται με τη βάση του διάτρητη για να εισρέει το νερό. Ο χώρος γύρω από το θάλαμο γεμίζει με αρμοχάλικο που λειτουργεί ως φίλτρο. Το νερό της βροχής είναι βέβαια καλής ποιότητας, χρειάζεται όμως προσοχή για την απομάκρυνση του νερού των πρώτων φθινοπωρινών βροχών, που ξεπλένουν το έδαφος και μεταφέρουν τις ακαθαρσίες που έχουν συσσωρευθεί στην επιφάνεια του εδάφους στην ξερή περίοδο του καλοκαιριού. Το βάθος εκσκαφής και η διάμετρος της βάσεως του θαλάμου ρυθμίζονται ανάλογα με τις ανάγκες και με μέγιστο όριο

τα 3m βάθος και 5m διάμετρο. Όλες οι δεξαμενές πρέπει να είναι εφοδιασμένες με σωλήνα για την υπερχείλιση και κατά καιρούς να ρίχνεται χλώριο για την αποστέρωση του νερού.

4.5 Αντλίες.

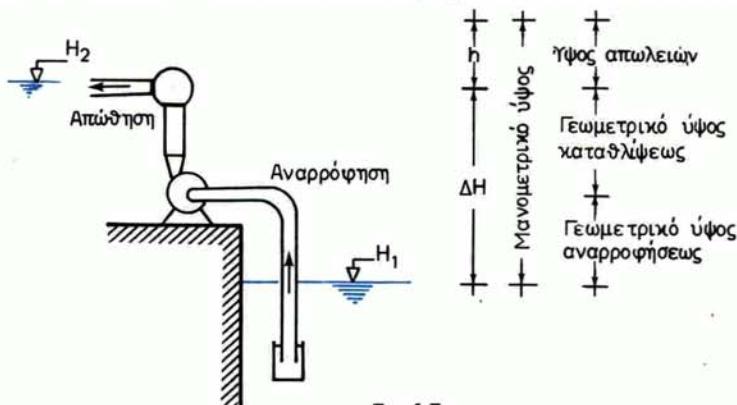
Για την ανύψωση της στάθμης του νερού στις διάφορες φάσεις των εργασιών υδραυλικών έργων χρησιμοποιούνται αντλητικά συγκροτήματα (σχ. 4.5 a) τα οποία διακρίνονται σε δύο μέρη: Τον **κινητήρα** και την **αντλία**. Για την κίνηση των κινητήρων χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια, χωρίς όμως να αποκλείεται και η χρησιμοποίηση των υγρών καυσίμων. Ο κινητήρας μεταδίδει την κίνηση στην αντλία, που με αναρρόφηση και κατάθλιψη μεταφέρει το νερό από μια στάθμη H_1 , (στάθμη αναρροφήσεως) σε μια άλλη H_2 (στάθμη ανυψώσεως). Στην πράξη το ύψος που πρέπει να υπερνικηθεί είναι μεγαλύτερο από τη διαφορά

$$\Delta H = H_1 - H_2$$

κατά τις απώλειες h , που οφείλονται στις τριβές του νερού μέσα στα τοιχώματα των σωλήνων, στη μειωμένη απόδοση του κινητήρα, της αντλίας κλπ. Έτσι έχουμε:

$$H = \Delta H + h$$

όπου: H είναι το μανομετρικό ύψος, το ύψος δηλαδή που πρέπει να υπερνικηθεί για να φθάσει το νερό στη στάθμη H_2 , και ΔH το γεωμετρικό ύψος.



Σχ. 4.5.
Αντλητικό συγκρότημα και τα διάφορα ύψη.

Τα χαρακτηριστικά στοιχεία των αντλιών είναι:

- Η παροχή.
- Το μανομετρικό ύψος.
- Η απορροφούμενη ισχύς.
- Ο βαθμός αποδόσεως της αντλίας.
- Το ύψος αναρροφήσεως.

4.5.1 Η παροχή.

Όταν λέμε παροχή εννοούμε την ποσότητα του νερού που βγαίνει από την

αντλία στη μονάδα του χρόνου. Την ποσότητα αυτή τη μετράμε σε κυβικά μέτρα ανά ώρα (m^3/h), σε λίτρα ανά δευτερόλεπτο (lit/sec) ή σε αμερικανικά γαλόνια ανά λεπτό (gal/min). Η αντιστοιχία των μονάδων αυτών είναι:

$$1 m^3/h = 0,278 \text{ lit/sec} = 4,4 \text{ gal/min}$$

$$1 \text{ lit/sec} = 3,6 m^3/h = 15,9 \text{ gal/min}$$

$$1 \text{ gal/min} = 0,227 m^3/h = 0,63 \text{ lit/sec}$$

4.5.2 Μανομετρικό ύψος.

Λέγεται το γεωμετρικό κατακόρυφο ύψος από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού μέχρι το σημείο που βγαίνει το νερό, **συν** το ύψος που προέρχεται από τις τριβές του νερού μέσα στους σωλήνες αναρροφήσεως και καταθλίψεως καθώς και στα άλλα μηχανικά μέρη. Όσο πιο μεγάλο είναι το ύψος των τριβών τόσο μικρότερο θα είναι το γεωμετρικό ύψος για μια συγκεκριμένη αντλία που το μανομετρικό της ύψος δίνεται από την εταιρία κατασκευής ίσο με H. Αν λοιπόν επιδιώκεται η ανύψωση του νερού σε μεγαλύτερο γεωμετρικό ύψος, πρέπει να μειωθεί το ύψος των αντιστάσεων. Το ύψος των αντιστάσεων αυτών εξαρτάται από το μήκος των σωλήνων. Γί' αυτό οι σωληνώσεις πρέπει να έχουν όσο το δυνατό μικρότερο συνολικό μήκος.

4.5.3 Η απορροφούμενη ισχύς.

Για να μπορέσει η αντλία να ανεβάσει μια ποσότητα νερού Q σε ορισμένο μανομετρικό ύψος H_μ , χρειάζεται μια ορισμένη ισχύ. Η **ισχύς** είναι ανάλογη με το ύψος και την παροχή. Όσο πιο μεγάλη είναι η παροχή τόσο μεγαλύτερη είναι η απαιτούμενη ισχύς και όσο πιο ψηλά θέλουμε να ανυψώσουμε το νερό τόσο μεγαλύτερη ισχύς χρειάζεται.

Για να βρούμε την ισχύ που χρειάζεται μια αντλία για να μεταφέρει παροχή π.χ. $40 m^3$, σε μανομετρικό ύψος π.χ. $20m$, πολλαπλασιάζομε τα στοιχεία αυτά (δηλαδή $Q \times H_\mu$) και το γινόμενο το διαιρούμε με το 270 για να βρούμε την ισχύ σε ίππους. Δηλαδή:

$$HP = \frac{40 \times 20}{270} = 3$$

Η ισχύς αυτή είναι η ισχύς ανυψώσεως ή η θεωρητική ισχύς.

Στην πράξη όμως για να μπορέσει η αντλία να ανυψώσει το νερό θα χρειασθεί μεγαλύτερη ισχύ η οποία εξαρτάται από το βαθμό αποδόσεως της αντλίας.

4.5.4 Βαθμός αποδόσεως της αντλίας.

Λέγεται το ποσοστό της ιπποδυνάμεως που δίνει η αντλία σε σχέση με την ιπποδύναμη που παίρνει από τον κινητήρα. Στο προηγούμενο παράδειγμα ας υποθέσουμε ότι ο κινητήρας που κινεί την αντλία δίνει ιπποδύναμη 5 ίππους. Αυτό σημαίνει ότι η αντλία παίρνει 5 ίππους και δίνει 3. Έχει λοιπόν απόδοση η αντλία 60%, πράγμα που σημαίνει ότι η αντλία χάνει 2 ίππους στους 5 (40%). Η απώλεια αυτή

οφείλεται στις τριβές του νερού μέσα στην αντλία και στις τριβές των ρουλεμάν και των άλλων μηχανικών εξαρτημάτων της αντλίας.

4.5.5 Το ύψος αναρροφήσεως.

Είναι ένα μέρος του μανομετρικού ύψους από τη στάθμη του νερού μέχρι τον άξονα της αντλίας (σχ. 4.5). Το ύψος αυτό θεωρητικά δεν μπορεί να ξεπεράσει τα 10,33 m, ενώ στην πράξη και κάτω από τέλειες συνθήκες λειτουργίας, δεν περνάει τα 7-8 m. Από δοκιμές που έχουν γίνει αποδείχθηκε ότι όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος αναρροφήσεως τόσο πιο λίγο νερό μπορεί να αντλήσει η αντλία. Ένα πείραμα έδωσε τα παρακάτω κυβικά για διάφορα ύψη αναρροφήσεως:

Ύψος σε (m)	3	4,5	6	7
Παροχή σε (m^3/sec)	333	324	250	195

Τα αποτελέσματα αυτά είναι χαρακτηριστικά, δεν ισχύουν όμως ακριβώς για όλες τις αντλίες. Περισσότερες πληροφορίες για όλων των τύπων τις αντλίες περιέχονται στο βιβλίο της Γ' τάξεως του τεχνικού Λυκείου «Κινητήριες Μηχανές», σσ. 329-385.

4.6 Καθαρισμός του νερού.

Το νερό, στην κατάσταση που βρίσκεται στη φύση, τις περισσότερες φορές δεν είναι πόσιμο. Για να γίνει πόσιμο πρέπει να καθαρισθεί και να βελτιωθεί η ποιότητά του. Λέγοντας βελτίωση της ποιότητας του νερού, εννοούμε τη βελτίωση των φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων του, δηλαδή της γεύσεως, της οσμής, της διαύγειας του χρώματος (φυσικές ιδιότητες), της οξύτητας, της σκληρότητας (χημικές ιδιότητες) και της περιεκτικότητας σε βακτηρίδια (βιολογικές ιδιότητες).

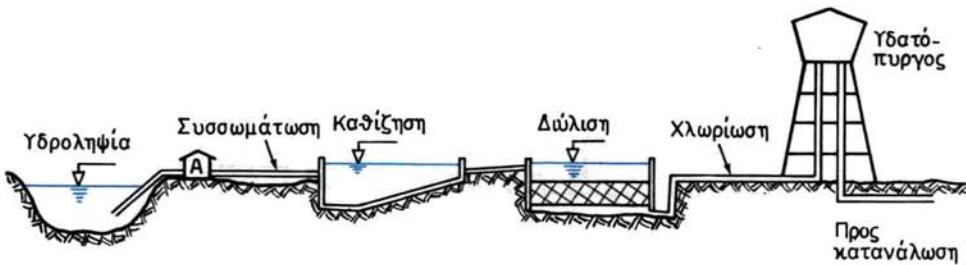
Για τη βελτίωση της ποιότητάς του, το νερό περνάει από μια σειρά εγκαταστάσεων καθαρισμού (σχ. 4.6α).

Αν το νερό από την υδροληψία είναι καθαρό, τότε μπορούμε να παραλείψουμε τις εγκαταστάσεις καθίζησεως. Υπάρχουν περιπτώσεις πηγαίου νερού που οδηγείται στην κατανάλωση χωρίς καν χλωρίωση.

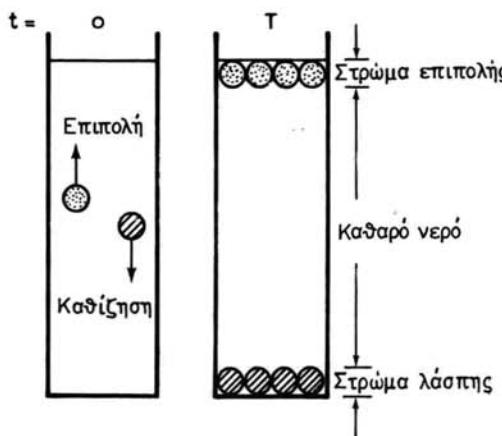
4.6.1 Συσσωμάτωση.

Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας του ακάθαρτου νερού είναι η συσσωμάτωση και στη συνέχεια η καθίζηση των αιωρουμένων σωματιδίων. Με την καθίζηση των αιωρουμένων σωματιδίων μειώνεται η θολότητα, βελτιώνεται το χρώμα και μειώνεται ο αριθμός των βακτηριδίων.

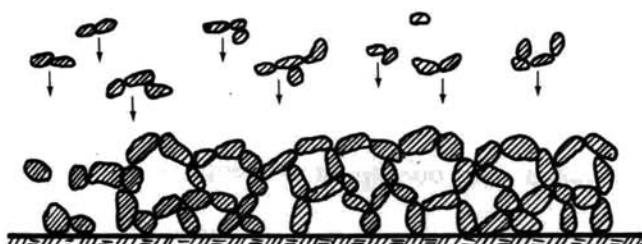
Αιωρούμενα σωματίδια, με ειδικό βάρος λίγο μεγαλύτερο από το ειδικό βάρος του περιβάλλοντος υγρού, εξ αιτίας του βάρους τους βυθίζονται, ενώ τα ελαφρότερα ανέρχονται στην επιφάνεια. Με αυτό τον τρόπο τα σωματίδια συγκεντρώνονται στον πυθμένα και σχηματίζουν ένα στρώμα από λάσπη ή επιπλέουν στην επιφάνεια και σχηματίζουν την **επιπολή** (σχ. 4.6β). Η ταχύτητα καθίζησεως είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερο είναι το βάρος του αιωρούμενου σώματος. Επειδή τα αιωρούμενα στο νερό είναι πολύ μικρού βάρους και όγκου, με αποτέλεσμα να απαιτείται πολύς χρόνος για την καθίζηση, επινοήθηκαν μέθοδοι για την αύξηση των διαστάσεων των σωματιδίων ώστε ο χρόνος καθίζησεως να είναι μικρότερος.



Σχ. 4.6α.
Σχηματική διάταξη εγκαταστάσεων ενός υδραγωγείου.



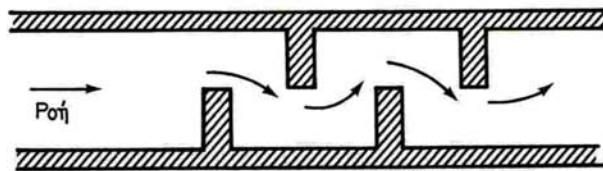
Σχ. 4.6β.
Καθίζηση και επιπολή σε ένα δοχείο με νερό.



Σχ. 4.6γ.
Συσσωμάτωση και καθίζηση σωματιδίων.

Λέγοντας αύξηση των διαστάσεων εννοούμε φυσικά τη συνένωση σωματιδίων (σχ. 4.6γ) και τη δημιουργία ενός συσσωματώματος με τη βοήθεια χημικών μέσων. Το συνηθέστερο μέσο συσσωματώσεως είναι το θειικό αργίλιο (στύψη). Εκτός από το θειικό αργίλιο μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλατα του σιδήρου, που δίνουν σε σύντομο χρόνο μεγάλους και πυκνούς φλόκους (συσσωματώματα).

Με την προσθήκη της χημικής ουσίας μέσα στο φυσικό νερό, επιδιώκεται η ομοιογενέστερη δυνατή ανάμιξη της ουσίας μέσα στο νερό. Για να το επιτύχεμε παρεμβάλλομε μετά την προσθήκη της ουσίας, διατάξεις βίαιης αναμίξεως (σχ. 4.6δ).



Σχ. 4.66.

Διαμόρφωση του αγωγού έτσι ώστε η ροή να γίνεται έντονα στροβιλώδης.

Μετά το στάδιο της συσσωματώσεως το νερό οδηγείται στις δεξαμενές καθιζήσεως, όπου με ταχύτητα πολύ μικρή επιδιώκεται η αργή και ήρεμη κίνηση του νερού, ώστε να καθίσει στον πυθμένα και το ελαφρότερο σωματίδιο.

4.6.2 Καθιζηση.

Η καθιζηση μέσα σε μια δεξαμενή με ακίνητο νερό δεν έχει πια εφαρμογή στους τομείς της υδρεύσεως. Αντί γι' αυτήν εφαρμόζεται η καθιζηση μέσα σε νερό κινούμενο με μικρή ταχύτητα. Η κίνηση αυτή μπορεί να έχει διεύθυνση οριζόντια ή κατακόρυφη.

Η οριζόντια κίνηση του νερού δεν περιορίζει το φαινόμενο της καθιζήσεως και δίνει βαθμό καθαρισμού που πλησιάζει το βαθμό καθαρισμού μέσα σε ακίνητο νερό. Για να επιτευχθεί αυτό η δεξαμενή πρέπει να παρουσιάζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Η διεύθυνση της ροής πρέπει να είναι οριζόντια και η ταχύτητα ροής η ίδια σε όλα τα σημεία της δεξαμενής.
- Στην είσοδο της δεξαμενής η σύγκεντρωση σωματιδίων οποιουδήποτε μεγέθους πρέπει να είναι ομοιόμορφη.
- Ένα σωματίδιο αφού καθίσει στον πυθμένα, συνεχίζει την κίνησή του απομακρυνόμενο με διάφορα μέσα από τον πυθμένα.

Αυτές οι προϋποθέσεις δημιουργούν στην δεξαμενή τέσσερις (σχ. 4.6e) ζώνες:

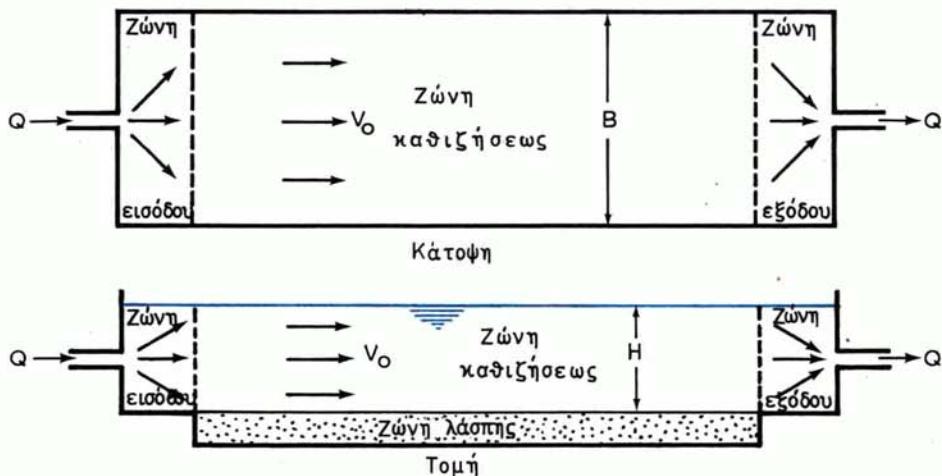
- **Μια ζώνη εισόδου**, όπου διασπείρεται ομοιόμορφα και σε όλη τη διατομή της δεξαμενής η ροή και τα σωματίδια.
- **Μια ζώνη καθιζήσεως**, όπου τα αιωρούμενα σωματίδια κατακάθονται στον πυθμένα.
- **Μια ζώνη εξόδου**, όπου συλλέγεται το καθαρό νερό από όλη τη διατομή της δεξαμενής.

— **Μια ζώνη λάσπης** (ιλύος) στον πυθμένα, όπου συλλέγονται τα σωματίδια σχηματίζοντας ένα στρώμα λάσπης που απομακρύνεται χωρίς αναμόχλευση.

Εκτός από τις δεξαμενές με σχήμα ορθογωνίου εφαρμόζονται συχνά και οι κυκλικές δεξαμενές με κεντρική, ή περιφερειακή τροφοδότηση [σχήματα 4.6σ (α) και (β)].

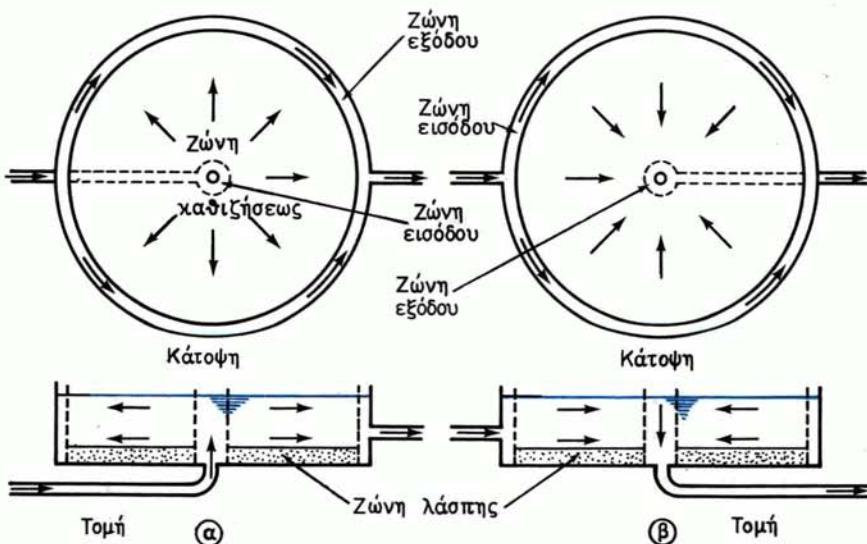
Η ταχύτητα ροής στις δεξαμενές καθιζήσεως δεν επιτρέπεται να είναι μεγαλύτερη από 0,80 μέχρι 1,00 m/min.

Η χωρητικότητα των δεξαμενών εξαρτάται από το χρόνο ή περίοδο καθιζήσεως, που δεν είναι παρά ο απαιτούμενος χρόνος για να κατακαθίσει στον πυθμένα το σωματίδιο με τις μικρότερες συμβατικές διαστάσεις. Η περίοδος καθιζήσεως ποικίλλει από 2 μέχρι 8 ώρες και εξαρτάται από τα χημικά της συσσωματώσεως, τον τρόπο αναμίξεως, την ποιότητα του νερού κλπ.



Σχ. 4.6ε.

Κάτοψη και τομή μιας ορθογωνικής δεξαμενής καθιζήσεως όπου φαίνονται οι ζώνες εισόδου, καθιζήσεως, εξόδου και λάσπης.



Σχ. 4.6στ.

Κυκλική δεξαμενή καθιζήσεως.

α) Με κεντρική τροφοδότηση. β) Με περιφερειακή τροφοδότηση.

Το βάθος της δεξαμενής μπορεί να είναι μικρό, 1,60-2,00 m ή ακόμη και 3,00 ή 4,00 m. Τον υπολογισμό του βάθους επηρεάζει και η ποσότητα των υλικών που πρόκειται να αποτεθούν στον πυθμένα. Η απομάκρυνση της λάσπης έχει απασχολήσει πολλούς μελετητές και υπάρχουν διάφοροι τρόποι για την αντιμετώπιση του προβλήματος όπως φαίνεται στα σχήματα 4.6ζ, 4.6η, 4.6θ και 4.6ι.

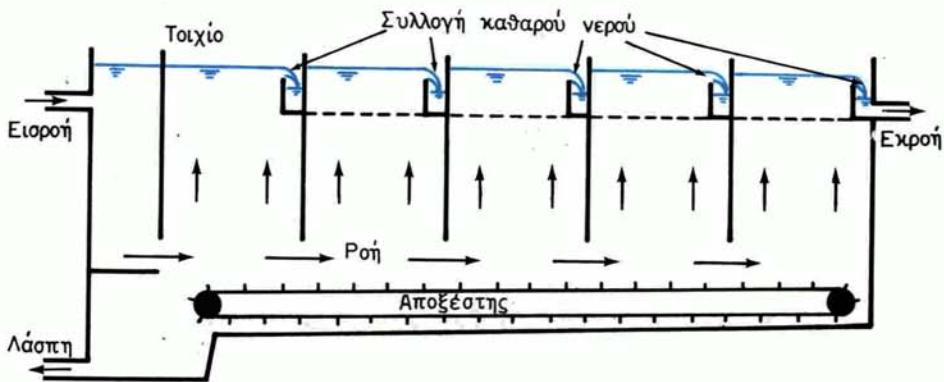
Στις κυκλικές δεξαμενές η λάσπη απομακρύνεται με περιστρεφόμενους αποξέστες (σχήματα 4.6ια και 4.6ιβ) και συλλέγεται σε χοάνη. Η λάσπη απομακρύνεται



Σχ. 4.6ζ.

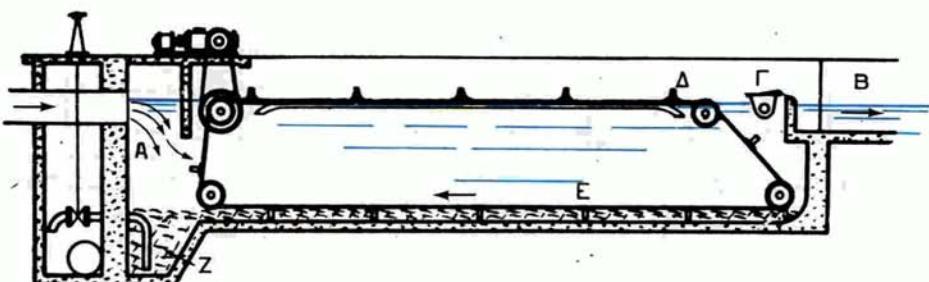
Δεξαμενή καθιζήσεως.

Η λάσπη απομακρύνεται με την κλίση του πυθμένα ύστερα από έκπλυση.



Σχ. 4.6η.

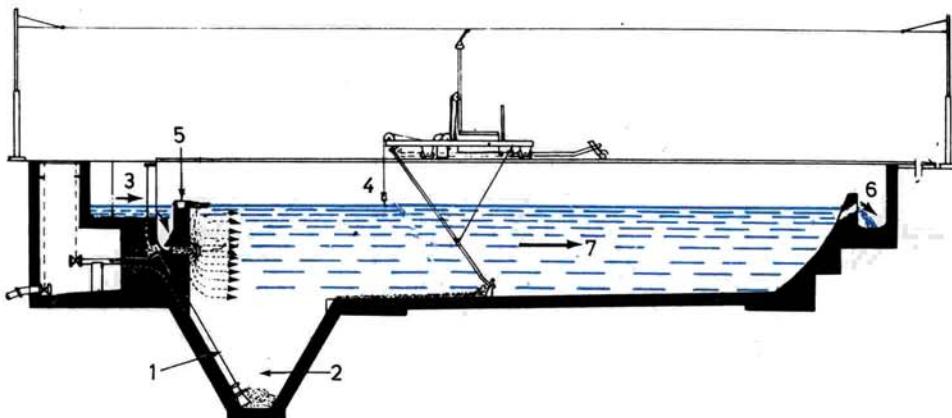
Δεξαμενή καθιζήσεως με ανοδική ροή του νερού.



Σχ. 4.6θ.

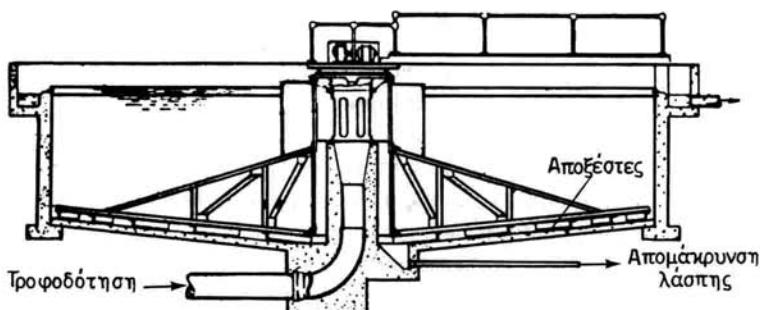
Η συνεχής συγκέντρωση λάσπης γίνεται με δύο ατέρμονες ιμάντες που ανά αποστάσεις έχουν αποξέστες (Ε). Η λάσπη συγκεντρώνεται στη χοάνη (Ζ) από όπου απομακρύνεται με άντληση. Στην επιφάνεια (Δ) οι αποξέστες συλλέγουν τα επιπλέοντα σωματίδια που απομακρύνονται από το συλλεκτήρα (Γ). Είσοδος νερού (Α). Έξοδος καθαρού νερού (Β).

με άντληση ή αντλείται απ' ευθείας από τη χοάνη χωρίς να χρησιμοποιείται απόξεση, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.6ιγ.



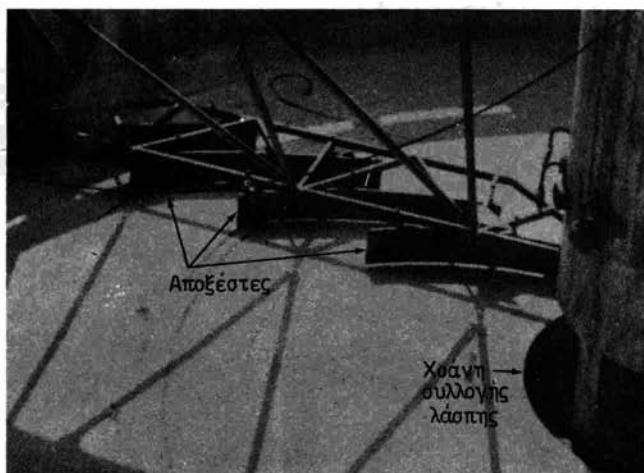
Σχ. 4.6ι.

Ορθογωνική δεξαμενή καθίζσεως με μηχανικό αποξέστη παλινδρομικής κινήσεως και άντληση της λάσπης. Ο αποξέστης κινείται κατά ορισμένα χρονικά διαστήματα. 1) Σωλήνας αναρροφήσεως λάσπης. 2) Χοάνη συλλογής λάσπης. 3) Διώρυγα προσαγωγής. 4) Οδηγός αποξέστη. 5) Υπερχειλιστής. 6) Εκροή καθαρού νερού. 7) Κίνηση νερού.



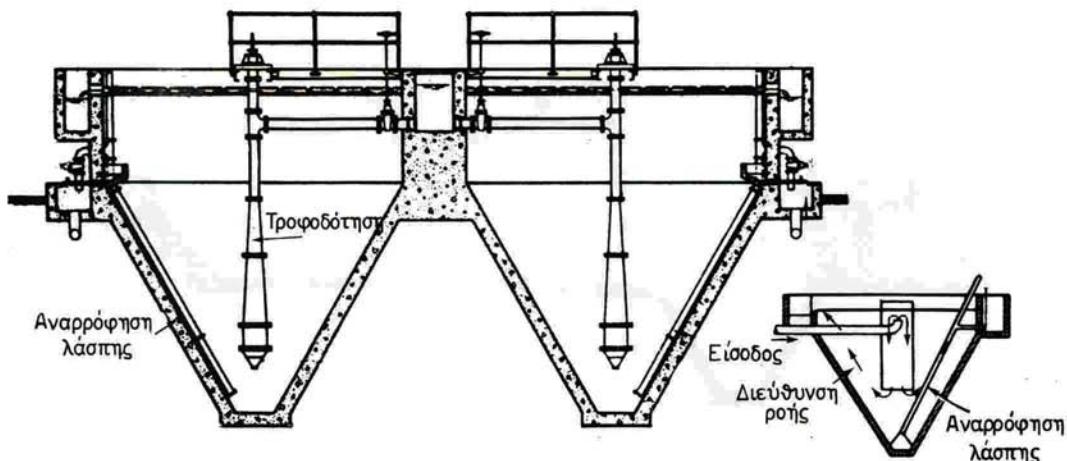
Σχ. 4.6ια.

Σύστημα καθαρισμού (αποξέστες) μιας κυκλικής δεξαμενής καθιζήσεως.



Σχ. 4.6ιβ.

Κυκλική δεξαμενή καθιζήσεως με αποξέστες.

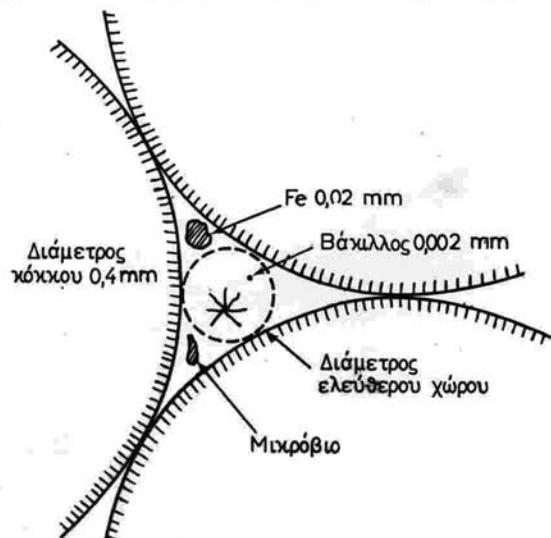


Σχ. 4.6ιγ.

Κυκλικές δεξαμενές καθιζήσεως με απομάκρυνση της λάσπης με άντληση. Λειτουργικό διάγραμμα μιας τέτοιας δεξαμενής.

4.6.3 Διύλιση.

Η διύλιση είναι το στάδιο καθαρισμού κατά το οποίο το νερό περνάει υπό χρεωτικά μέσα από πορώδες στρώμα (άμμος). Κατά τη διάρκεια της διόδου από το στρώμα η ποιότητα του νερού βελτιώνεται με τη συγκράτηση των διαφόρων σωματιδίων του στο στρώμα της άμμου, που αποτελείται από υλικό κατάλληλης κοκκομετρικής διαβαθμίσεως με κόκκους από 0,5 μέχρι 2 mm ή ακόμη και μεγαλύτερους. Στο σχήμα 4.6ιδ φαίνονται ενδεικτικά μεγέθη κόκκων άμμου και μικροοργανισμών. Η ταχύτητα διυλίσεως είναι περίπου $1,5 \times 10^{-3}$ m/s. Η ταχύτητα αυτή είναι σχετικά μεγάλη και τα σωματίδια διεισδύουν σε βάθος μέσα στην άμμο.



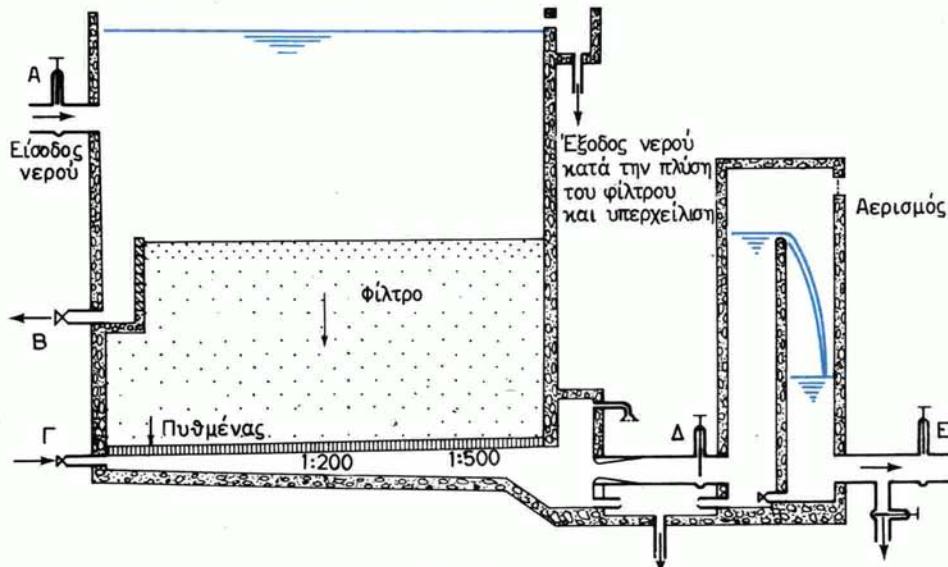
Σχ. 4.6ιδ.

Ενδεικτικά μεγέθη κόκκων άμμου και μικροοργανισμών.

Τα διυλιστήρια τα διακρίνομε ανάλογα με το είδος τους στις εξής κατηγορίες:

- Διυλιστήρια με φίλτρα βαρύτητας.
- Διυλιστήρια με φίλτρα πέσεως.
- Διυλιστήρια με φίλτρα ανοδικής ροής.
- Διυλιστήρια με φίλτρα ξερά.

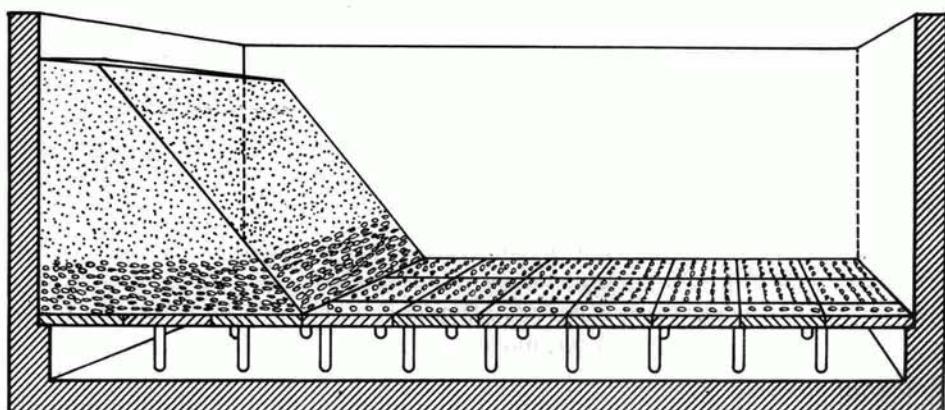
Στα σχήματα 4.6ιε και 4.6ιστ αντίστοιχα φαίνονται η λειτουργία ενός διυλιστηρίου και το στρώμα του φίλτρου με τον πυθμένα.



Σχ. 4.6ιε.

Λειτουργία διυλιστηρίου.

Α) Είσοδος νερού στη δεξαμενή. Β) Έξοδος πλεονάζοντος νερού σε περίπτωση διακοπής της λειτουργίας. Γ) Είσοδος συμπληρωματικού καθαρού νερού. Δ) Δικλείδα ρυθμίσεως ταχύτητας διυλίσεως. Ε) Έξοδος καθαρού νερού.



Σχ. 4.6ιστ.

Το στρώμα του φίλτρου και ο πυθμένας ενός διυλιστηρίου.

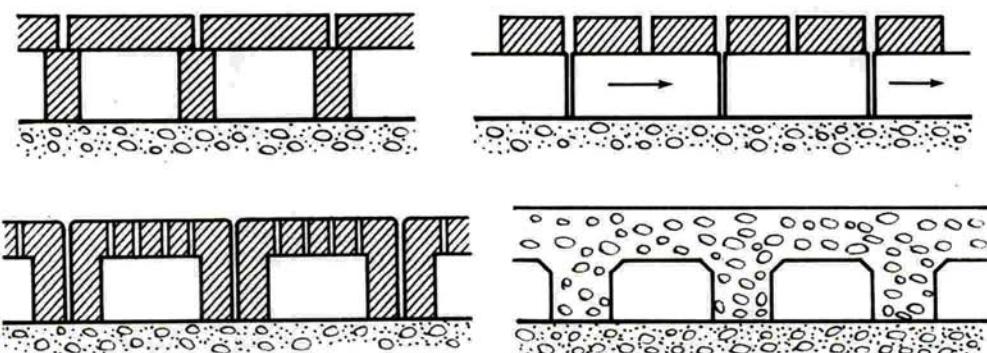
α) Φίλτρα βαρύτητας (φίλτρα ελεύθερης επιφάνειας).

Στα φίλτρα αυτά η ταχύτητα διόδου του νερού εξαρτάται από το ύψος του νερού (φορτίο) που βρίσκεται επάνω από το φίλτρο. Όμως το ύψος αυτό δεν μπορεί να αυξηθεί πολύ, γιατί έτσι θα δημιουργούνταν πολύ ψηλές δεξαμενές.

Το νερό εισέρχεται στη δεξαμενή διυλίσεως και καθώς χύνεται ομοιόμορφα με τη βοήθεια ενός εκχειλιστή σχηματίζει στρώμα πάνω από την άμμο. Κάτω από την επίδραση του βάρους του στρώματος, το νερό αρχίζει να διηθείται μέσα στην άμμο και αφού περάσει από το στρώμα της άμμου, πάχους 1,00 μέχρι 1,50 m, στραγγίζει στον πυθμένα και απομακρύνεται. Ο τρόπος διαμορφώσεως του πυθμένα του φίλτρου φαίνεται στο σχήμα 4.6ι.

Με τη συνεχή δίοδο του νερού σχηματίζεται στην επιφάνεια της άμμου μια γλοιώδης μεμβράνη (βιολογική μεμβράνη), που συμβάλλει κατά πολύ στη συγκράτηση των μικροοργανισμών. Όταν αυξηθεί το πάχος της η δίοδος του νερού γίνεται δύσκολα. Για το λόγο αυτό διακόπτεται η λειτουργία του διυλιστηρίου και καθαρίζεται το φίλτρο (έκπλυση του στρώματος της άμμου).

Υπάρχουν, παράλληλα με την πλύση η οποία γίνεται με την αντιστροφή της ροής του νερού, διάφοροι τρόποι καθαρισμού του φίλτρου.



Σχ. 4.6ι.

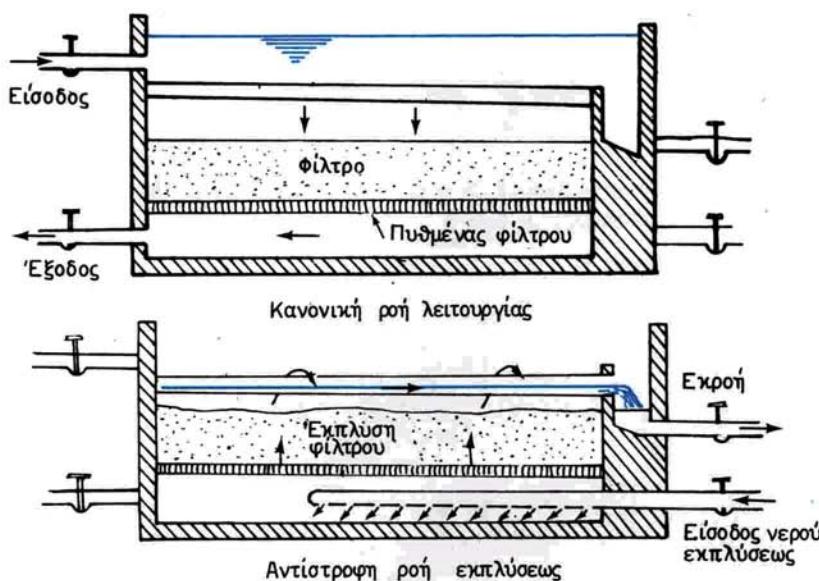
Διάφοροι τρόποι διαμορφώσεως του πυθμένα του φίλτρου.

Το νερό καθαρισμού με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα διυλίσεως, κινείται προς τα επάνω παρασύροντας τα σωματίδια που συγκρατήθηκαν στους πόρους του φίλτρου, στην επιφάνεια, από όπου απομακρύνονται με το νερό (σχήματα 4.6η, 4.5ιθ και 4.6κ).

Επειδή ο καθαρισμός με αντιστροφή της ροής δεν απομακρύνει όλα τα σωματίδια που συγκρατήθηκαν, χρησιμοποιούνται πρόσθετοι τρόποι, όπως ο μηχανικός αναμοχλευτής, η διοχέτευση μέσα στο φίλτρο αέρα υπό πίεση ή τέλος εκτόξευση από ειδικούς εκτοξευτήρες νερού υπό υψηλή πίεση (σχ. 4.6κα).

β) Φίλτρα πιέσεως.

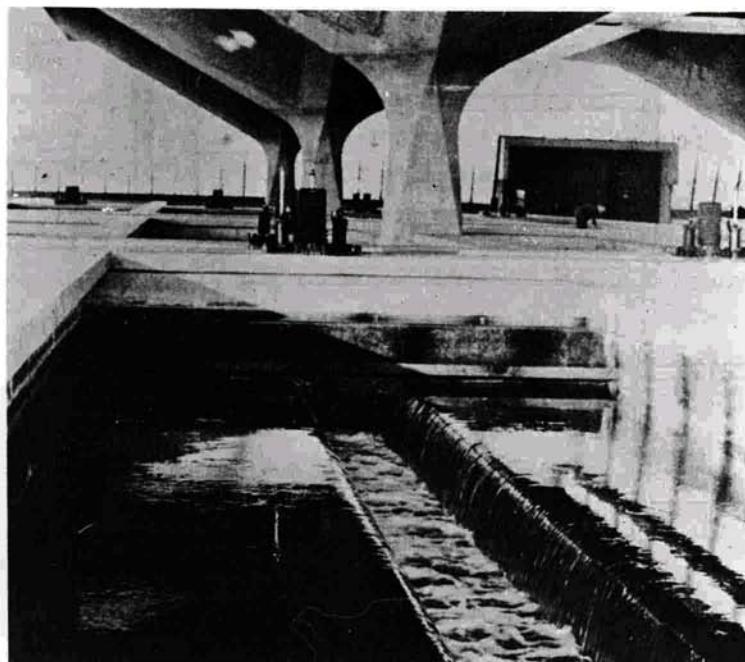
Τα φίλτρα πιέσεως (καταθλιπτικά φίλτρα) στηρίζονται στις ίδιες αρχές που στηρίζονται και τα φίλτρα βαρύτητας, με τη διαφορά ότι το στρώμα του φίλτρου, ο



Σχ. 4.6ιη.
Έκπλυση του φίλτρου με αντίστροφη ροή.

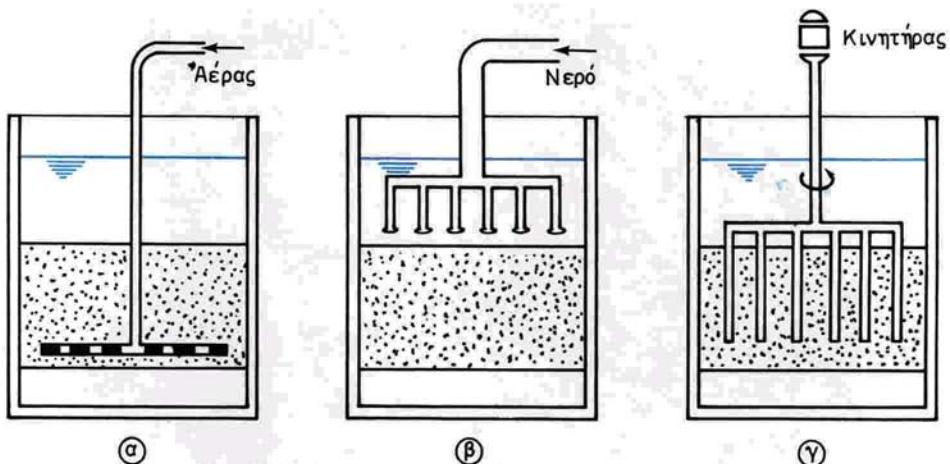


Σχ. 4.6ιθ.
Έκπλυση του φίλτρου με αέρα και αντίστροφη ροή του νερού.



Σχ. 4.6κ.

Έκπλυση του φίλτρου μόνο με αντίστροφη ροή του νερού.



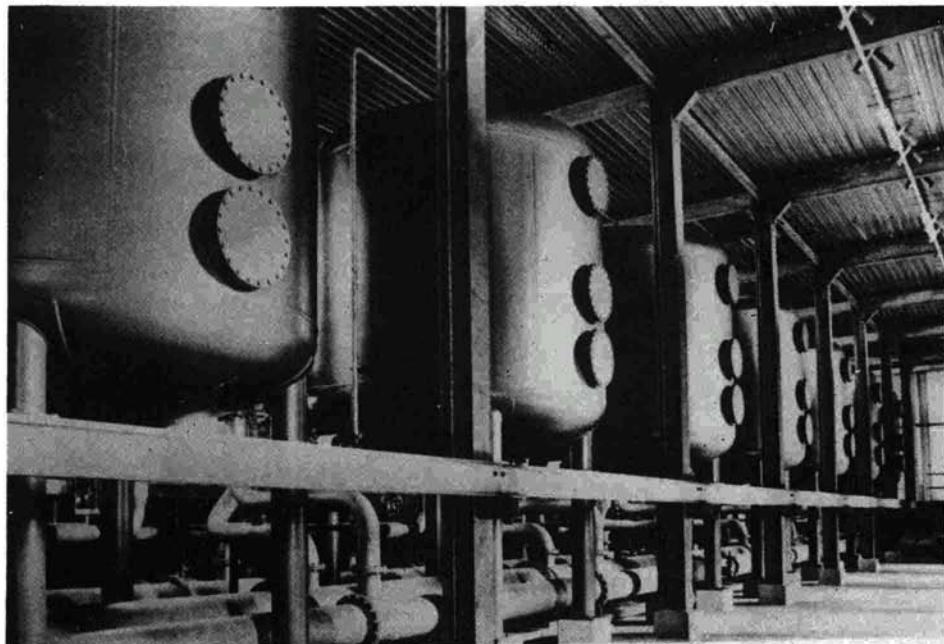
Σχ. 4.6κα.

Καθαρισμός φίλτρου.

α) Με αέρα υπό πίεση. β) Με νερό υπό πίεση. γ) Με μηχανικό αναμοχλευτή.

πυθμένας και η υπερκείμενη στήλη νερού βρίσκονται σε υδατοστεγή χαλύβδινο κύλινδρο και κάτω από πίεση (σχ. 4.6κβ).

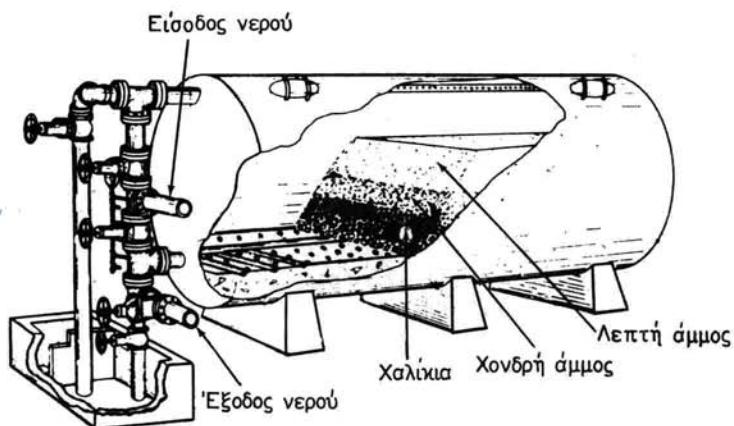
Το νερό αναγκάζεται να περάσει από το φίλτρο, κάτω από πίεση πολύ μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική, με ταχύτητα 2×10^{-3} μέχρι $15 \times 10^{-3} \text{ m/sec}$.



Σχ. 4.6κβ.

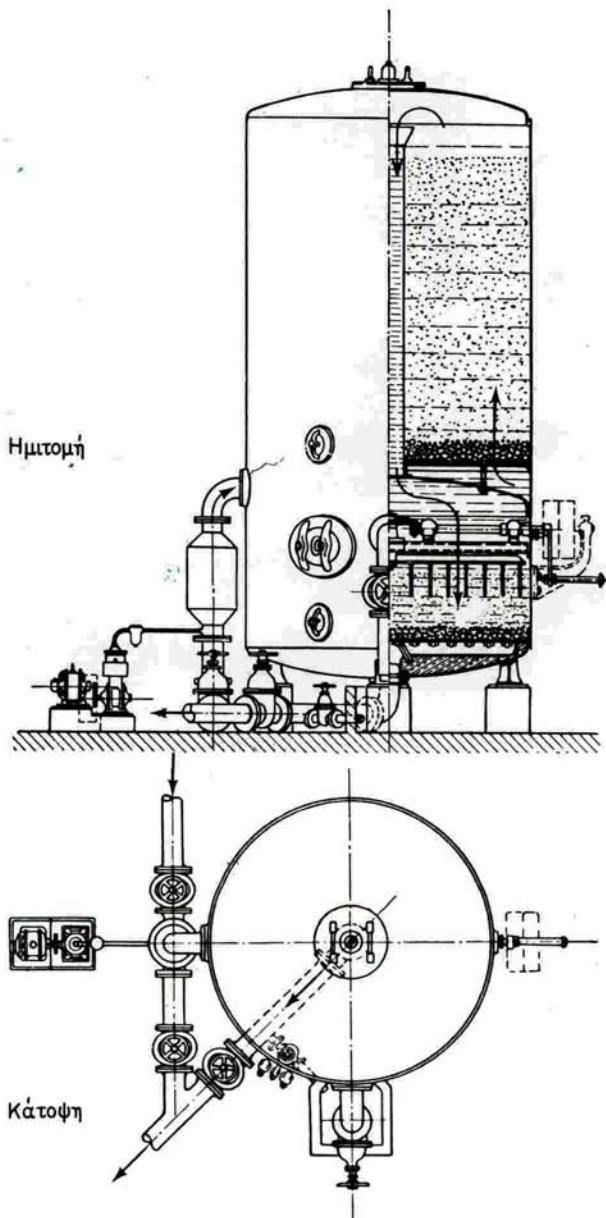
Φίλτρα πιέσεως από το υδραγωγείο της πόλεως Braakman της Ολλανδίας.

Τα φίλτρα πιέσεως, τα οποία μπορεί να έχουν οριζόντιο (σχ. 4.6κγ) ή κατακόρυφο άξονα (σχ. 4.6κδ), έχουν μεγάλη εφαρμογή στην ύδρευση βιομηχανικών μονάδων. Η διάμετρος των κυλίνδρων τους δεν μπορεί να ξεπεράσει τα 4-5 m και το μήκος τους τα 10-15 m.



Σχ. 4.6κγ.

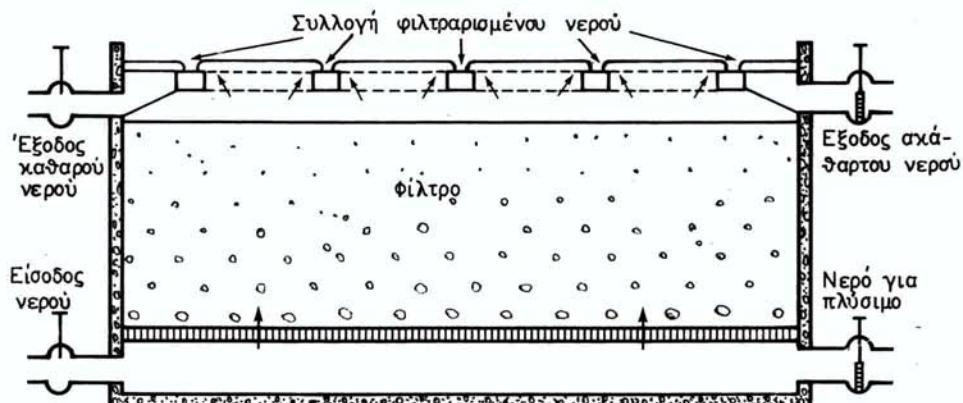
Φίλτρο πιέσεως με οριζόντιο άξονα.



Σχ. 4.6κδ.
Φίλτρο πιέσεως με κατακόρυφο άξονα.

γ) Φίλτρα ανοδικής ροής.

Στα φίλτρα ανοδικής ροής το νερό ακολουθεί αντίθετη πορεία από την πορεία των φίλτρων βαρύτητας. Το καθαρό νερό συλλέγεται σε ορθογωνικές διώρυγες που βρίσκονται πάνω από το στρώμα της άμμου (σχ. 4.6κε).



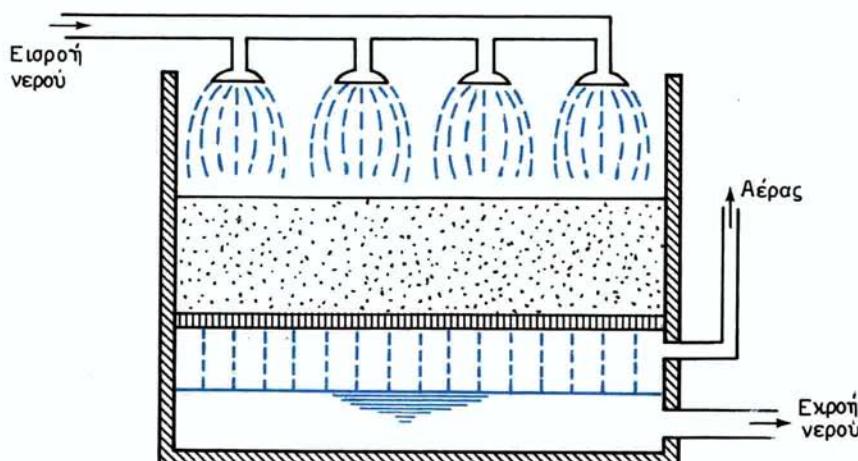
Σχ. 4.6κε.
Φίλτρο ανοδικής ροής.

δ) Ξερά φίλτρα.

Τό μειονέκτημα όλων των διυλιστηρίων είναι το περιορισμένο ποσό του διαλυμένου οξυγόνου που μεταφέρει το νερό.

Κατά τη διάρκεια της διυλίσεως, μια ποσότητα οξυγόνου καταναλώνεται για την διείδωση του σιδήρου, μαγνησίου και άλλων ουσιών. Όταν το νερό περιέχει αμμωνία και ουσίες που απαιτούν πολύ οξυγόνο για την οξείδωσή τους, τότε χρειάζεται διπλή διύλιση και ενδιάμεσα αερισμός. Αντί όμως για τη διαδικασία αυτή μπορούν, με καλύτερα μάλιστα αποτελέσματα, να χρησιμοποιηθούν ξερά φίλτρα.

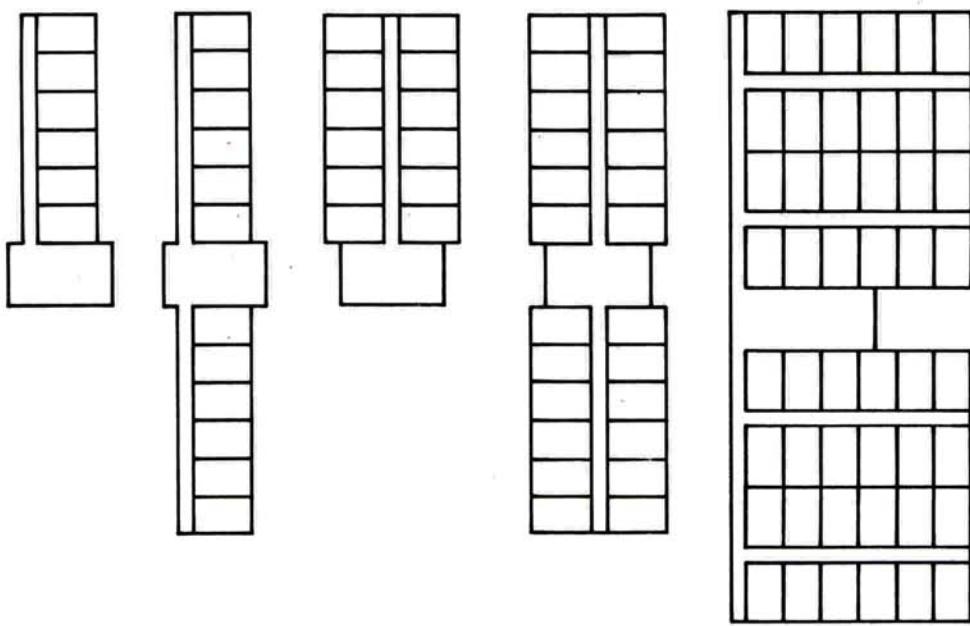
Στα ξερά φίλτρα (σχ. 4.6κστ.) το νερό διασπείρεται στο στρώμα της άμμου αναμιγνύμενο με ποσότητα αέρα, από την οποία συμπληρώνεται το απαιτούμενο για την οξείδωση των ουσιών οξυγόνο.



Σχ. 4.6κστ.
Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας ξερών φίλτρων.

Όλα τα είδη των διυλιστηρίων που αναφέρθηκαν αποσκοπούν στον καθαρισμό και την απαλλαγή του νερού από τα αιωρούμενα σωματίδια και τα κολλοειδή. Δεν έχουν δηλαδή σοβαρή επίδραση στην ύπαρξη οσμής και γεύσεως. Για την αντιμετώπισή τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα διυλιστήρια ως στρώμα φίλτρου θραυστός ενεργός άνθρακας.

Ένα συγκρότημα διυλιστηρίων αποτελείται πάντα από ένα αριθμό δεξαμενών που μπορεί να είναι από 4 μέχρι 40. Οι μονάδες αυτές διατάσσονται στις περισσότερες περιπτώσεις δεξιά και αριστερά από ένα διάδρομο, ενώ ένα κεντρικό κτίριο στεγάζει τα ειδικά μηχανήματα (αντλίες, αεροσυμπιεστές, μονάδες κλιματισμού, εργαστήρια κλπ.) (σχ. 4.6κζ).



n=6

12

12

24

48

Σχ. 4.6κζ.

Διάταξη δεξαμενών για αριθμό $\eta = 6, 12, 24, 48$ δεξαμενών.

4.6.4 Αποστείρωση του νερού.

Λέγοντας αποστείρωση εννοούμε την καταστροφή όχι μόνο των νοσογόνων μικροβίων που περιέχονται μέσα στο νερό, αλλά και των σπορίων που είναι μεγάλης αντοχής και συντελούν στον πολλαπλασιασμό του είδους.

Οι μέθοδοι αποστείρωσεως του νερού είναι:

- Χλωρίωση.
- Οζόνωση.
- Υπεριώδεις ακτίνες κλπ.

Η εκλογή της καταλληλότερης μεθόδου εξαρτάται από τη χημική ανάλυση του νερού, την απαιτούμενη δαπάνη εφαρμογής της μεθόδου και άλλους παράγοντες.

α) Χλωρίωση.

Το χλώριο χρησιμοποιείται ως μέσο αποστειρώσεως του νερού. Η ύπαρξή του ακόμα και σε μικρές ποσότητες (0,1-0,6 mg/lit), επιδρά καταστρεπτικά επάνω στους μικροοργανισμούς, ενώ δεν επηρεάζει καθόλου τον άνθρωπο. Σε ποσότητα όμως μεγαλύτερη από 0,6 mg/lit, γίνεται αντιληπτό από την ειδική γεύση που παρουσιάζει το νερό, χωρίς όμως να είναι βλαβερό μέχρις ενός ορίου για τον άνθρωπο.

Η δράση του χλωρίου στα βακτηρίδια δεν είναι γνωστή. Έχουν διατυπωθεί διάφορες θεωρίες που αιτιολογούν την καταστρεπτική του ενέργεια επάνω στους μικροοργανισμούς. Πιστεύεται ότι η καταστροφή οφείλεται στην οξείδωση των οργανικών υλών από τις οποίες αποτελούνται τα βακτηρίδια ή ότι το χλώριο προσβάλλει τη μεμβράνη των βακτηριδίων.

Εκτός όμως από τη βακτηριολογική δράση του, το χλώριο συγκρατεί το σίδηρο, το μαγνήσιο και το ασβέστιο που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό και δεσμεύει την αμμωνία σχηματίζοντας νιτρικά και νιτρώδη προϊόντα.

Η δράση του χλωρίου επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία του νερού, το pH, η αλκαλικότητα, οξύτητα κ.α.

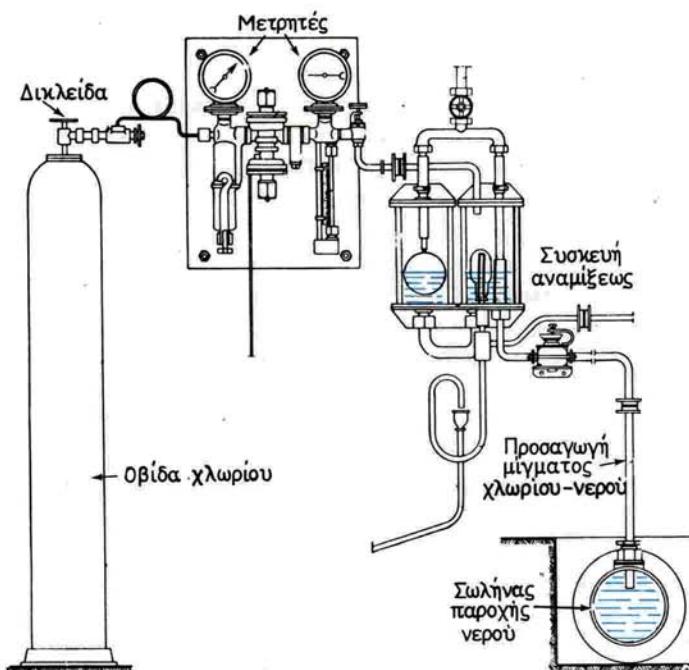
Το χλώριο που χρησιμοποιείται για την αποστείρωση του νερού εφαρμόζεται τις περισσότερες φορές με αέρια μορφή, χωρίς να αποκλείεται και χρησιμοποίηση υγρού χλωρίου κάτω από υψηλή πίεση μέσα σε χαλύβδινες οβίδες. Η αποθήκευση των οβίδων πρέπει να γίνεται σε χώρους ασφαλείς, όχι θερμούς και καλά αεριζόμενους. Οι χώροι όπου υπάρχουν οι εγκαταστάσεις χλωριώσεως πρέπει να αερίζονται καλά, γιατί το χλώριο που διαφεύγει από τις ενώσεις των σωλήνων είναι βαρύτερο από τον αέρα και συσσωρεύεται επάνω στο πάτωμα κι' αυτό συνεπάγεται κίνδυνο για το προσωπικό (το χλώριο είναι επικίνδυνο αέριο όπως ξέρομε από τη Χημεία).

Η χλωρίωση του νερού γίνεται με διάφορους τρόπους. Πιο συνηθισμένος είναι ο εξής:

Το χλώριο βγαίνει από την οβίδα από μια δικλείδα (σχήματα 4.6κη και 4.6κθ) με αέρια μορφή και περνάει από ένα ρυθμιστή παροχής στον οποίο υπάρχει φίλτρο και αυτόματος ρυθμιστής πίεσεως. Τελικά βγαίνει στον θάλαμο αναμίξεως, αφού περάσει από ένα αυτόματο διακόπτη που σταματάει την παροχή του χλωρίου όταν διακοπεί η παροχή του νερού στο θάλαμο. Το χλώριο αναμιγνύεται με το νερό μέσα στο σωλήνα και το μίγμα πρέπει να παραμείνει για ένα χρονικό διάστημα στη δεξαμενή αποθηκεύσεως για την αποφυγή υπάρξεως ελεύθερου χλωρίου στο δίκτυο διανομής.

β) Οξόνωση.

Το **όξον** αποτελείται από τρία άτομα οξυγόνου. Η σύνδεση του τρίτου ατόμου είναι πολύ ασθενική και είναι εύκολη η αποδέσμευση του ενός ατόμου και η ένωσή του με οργανικές ενώσεις. Η ένωση αυτή μέσα στο νερό υποβαθμίζει τις οργανικές ενώσεις και επιτυγχάνει την αποστείρωση του νερού, χωρίς τις δυσμενείς, συνέπειες της οσμής και γεύσεως του χλωρίου. Εκτός από αυτά, η χρησιμοποίησή του κάνει το νερό διαυγές (αφαιρεί το χρώμα από το νερό), δεν εισάγει χημικά βλαβερά και αυξάνει την ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου. Έτσι το νερό είναι εύγεστο και εύπεπτο. Η ικανότητα ενός οζοντιστή εξαρτάται από την κατασκευή του (από τους διηλεκτρικούς σωλήνες που περιέχει) και μπορεί να φτάσει τα 80 kg



Σχ. 4.6κη.
Σχηματική διάταξη χλωριώσεως.

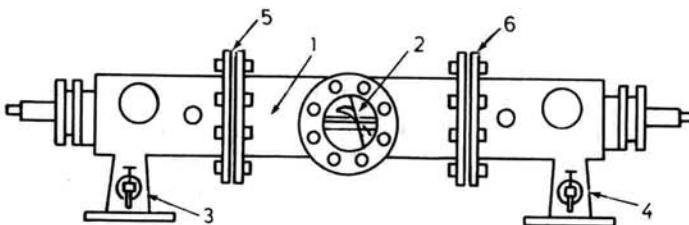


Σχ. 4.6κθ.
Οβίδες χλωρίου και σύστημα αυτόματης χλωριώσεως.

O_3 την ώρα. Ένα kg O_3 μπορεί να αποστειρώσει περισσότερα από 1000 m³ νερού. Η δαπάνη όμως εγκαταστάσεως και λειτουργίας είναι μεγαλύτερη από ό,τι στη χλωρίωση.

γ) Υπεριώδεις ακτίνες.

Οι υπεριώδεις ακτίνες είναι αποτελεσματικές στην καταστροφή και εξόντωση τόσο των μικροβίων όσο και των σπορίων. Οι ακτίνες δημιουργούνται από τη δίοδο ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από ατμούς υδραργύρου ο οποίος βρίσκεται μέσα σε σωλήνες με χαλαζιακά τοιχώματα. Το νερό σε λεπτές στιβάδες περνάει γύρω από τους σωλήνες που εκπέμπουν τις ακτίνες. Η θολότητα του νερού δρα αναστατικά στον καθαρισμό. Και η μέθοδος αυτή δεν αφήνει οσμή ούτε προκαλεί κινδύνους. Μειονέκτημά της είναι το μεγάλο κόστος. Η μονάδα καθαρισμού με υπεριώδεις ακτίνες αποτελείται από έναν κύλινδρο μέσα στον οποίο βρίσκεται η λυχνία εκπομπής. Το νερό αντλείται μέσα στο θάλαμο (1) (σχ. 4.6λ), όπου ακολουθεί ελικοειδή τροχιά γύρω από τη λυχνία εκπομπής.



Σχ. 4.6λ.

Σχηματική διάταξη συσκευής καθαρισμού με υπεριώδεις ακτίνες.

1. Θάλαμος λειτουργίας με τις λυχνίες.
2. Φινιστρίνι παρατηρήσεων.
3. Δικλείδα εισόδου του νερου.
4. Δικλείδα εξόδου του νερού.
- 5.6. Σύνδεσμοι με ατίδες και φλάντζες.

Εκτός από τις μεθόδους αποστειρώσεως που αναφέραμε υπάρχουν και άλλες, όπως π.χ. η χρήση ιωδίου και βρωμίου, η αποστείρωση με άργυρο, με ασβέστιο κ.α. Από τις μεθόδους αυτές η πιο διαδεδομένη είναι η μέθοδος του ιωδίου που εφαρμόζεται με επιτυχία σε περιπτώσεις επιδημιών, σε μεγάλο εύρος pH (από 3 μέχρι 8) και σε κανονικές θερμοκρασίες, χωρίς απαιτήσεις συσκευών και βοηθητικών μέσων, όπως στη χλωρίωση και οζόνωση.

4.6.5 Αποσκλήρυνση.

Όπως έχομε αναφέρει, σκληρότητα είναι η περιεκτικότητα του νερού σε άλατα ασβέστιου, μαγνησίου και άλλων μετάλλων. Διακρίνεται σε παροδική (ανθρακική σκληρότητα) και μόνιμη (μη ανθρακική σκληρότητα).

Για να προσδιορισθεί η σκληρότητα του νερού, ερευνάται όχι μόνο ο βαθμός, αλλά και το είδος της σκληρότητας και με βάση τα δεδομένα αυτά βελτιώνεται η ποιότητά του. Η βελτίωση αυτή γίνεται με χημικές μεθόδους που συνίστανται στη χρήση **ασβέστη** ή **ζεολίθων**.

Για την αποσκλήρυνση του νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί το οξείδιο του ασβέστιου (CaO) ή το υδροξείδιο του ασβέστιου [$Ca(OH)_2$]. Η ποσότητα του CaO κυμαίνεται από 10 μέχρι 20 g/m³ νερού. Οι εγκαταστάσεις αποτελούνται από ένα

μεγάλο δοχείο που γεμίζει με νερό. Στο δοχείο προστίθενται οι κατάλληλες ποσότητες χημικών ουσιών. Στη συνέχεια το μίγμα κατακάθεται σε διάστημα 5 ωρών. Αν η απαιτούμενη παροχή είναι μεγάλη, οι εγκαταστάσεις είναι συνεχούς λειτουργίας και για την καθίζηση χρησιμοποιούνται μεγάλες δεξαμενές, όπως στον καθορισμό των αιωρουμένων ουσιών (παράγρ. 4.6.2).

Οι **ζεόλιθοι** είναι σύνθετες χημικές ενώσεις νατρίου, αργιλίου καί πυριτίου που έχουν την ιδιότητα να αλλάζουν τη βάση τους, να αντικαθιστούν δηλαδή τα ιόντα του Na με ιόντα άλλων μετάλλων. Η σπουδαιότητά τους έγκειται στο ότι η αντίδραση είναι παλινδρομική.

Η πιο γνωστή μορφή ζεολίθων είναι η πράσινη άμμος. Η εφαρμογή των ζεολίθων αποφεύγεται όταν έχουμε νερό με μεγάλη θολότητα, γιατί εμποδίζει τη δραστηριότητά τους.

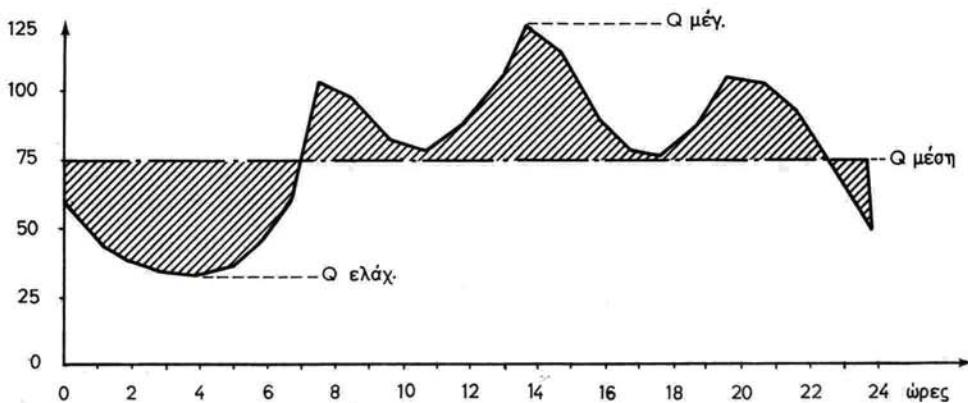
Οι συσκευές αποσκληρύνσεως με ζεολίθους μοιάζουν με ταχυδιυλιστήρια. Η μόνη διαφορά τους είναι ότι αντί για στρώμα κοινής άμμου τοποθετείται στρώμα πάχους 0,75-1,00 m ζεολιθικής άμμου.

4.7 Αποθήκευση του νερού.

Όπως είπαμε, η κατανάλωση του νερού κατά τη διάρκεια του 24ώρου δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται (σχ. 4.7a).

Η διακύμανση της καταναλώσεως δημιουργεί προβλήματα στο σύστημα υδρεύσεως, γιατί σε ορισμένα διαστήματα της μέρας εμφανίζεται έλλειψη νερού, ενώ στη διάρκεια της νύχτας περίσσευμα.

Το διάγραμμα του σχήματος 4.7a δείχνει τη μορφή της καμπύλης καταναλώσεως και τη μέση ημερήσια παροχή. Εύκολα συμπέραίνεται ότι η ιδανική λύση θα ήταν η αποθήκευση του νυκτερινού περισσεύματος και η χρησιμοποίησή του τις ώρες έλλειψεως. Η αποθήκευση νερού σε δεξαμενές τις ώρες της μικρής καταναλώσεως, δεν επιφορτίζει τα αντλητικά συγκροτήματα και επιπλέον επιτρέπει σ' αυτά να δουλεύουν με μειωμένο (νυκτερινό) τιμολόγιο, πράγμα που σημαίνει οικονομία στη λειτουργία του υδραγωγείου. Έτσι λοιπόν θα μπορούσαμε να πούμε πως η κατασκευή των δεξαμενών αποσκοπεί:



Σχ. 4.7a.

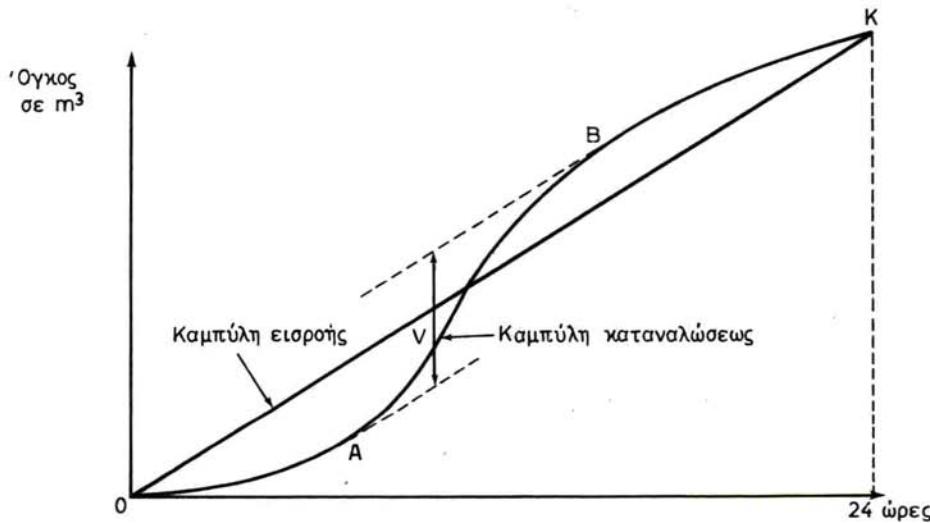
Διακύμανση της καταναλώσεως κατά τη διάρκεια του 24ώρου.

- Στην αποθήκευση του νερού για τη χρησιμοποίηση του σε ώρες ελλείψεως.
- Στην ανακούφιση των εγκαταστάσεων, δηλαδή μείωση του φόρτου των αντλιών, μείωση των εγκαταστάσεων καθαρισμού, μείωση των διαστάσεων του αγωγού μεταφοράς.
- Στη δυνατότητα παροχής νερού σε περίπτωση βλάβης των κεντρικών εγκαταστάσεων.

4.7.1 Χωρητικότητα των δεξαμενών.

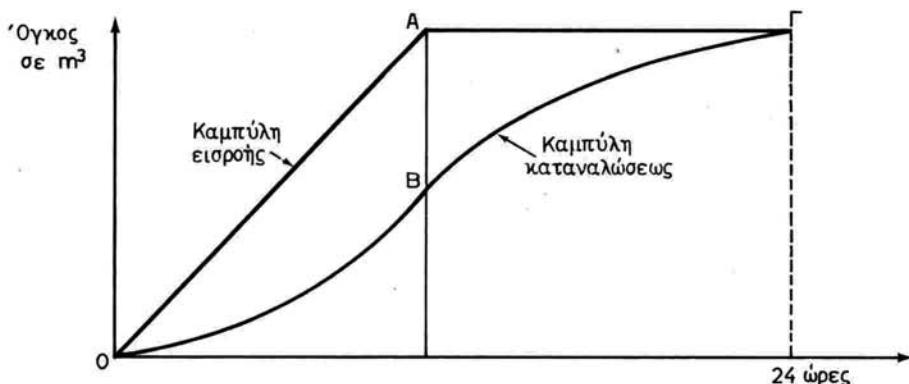
Ο υπολογισμός της χωρητικότητας μιας δεξαμενής γίνεται με βάση την αθροιστική καμπύλη της καταναλώσεως η οποία προκύπτει από το ανάπτυγμα του αθροίσματος της καταναλώσεως σε εκατοστιαία αναλογία.

Αν υποθέσουμε ότι η τροφοδοσία της δεξαμενής γίνεται σε όλη τη διάρκεια του 24ώρου, ότι δηλαδή τα αντλητικά συγκροτήματα λειτουργούν συνέχεια, τότε το τέλος της καμπύλης εισροής θα συμπίπτει με το πέρας της καμπύλης καταναλώσεως. Η έλλειψη νερού κατά την ημέρα, εξουδετερώνεται από το νερό που αποθηκεύεται κατά τη νύκτα (σχ. 4.7β).



Σχ. 4.7β.
Διάγραμμα αθροιστικής καμπύλης καταναλώσεως μέσα στο 24ωρο.

Θα πρέπει λοιπόν η χωρητικότητα της δεξαμενής να είναι ίση με τη μέγιστη κατακόρυφη απόσταση στα μέγιστα (B) και ελάχιστα (A) της καμπύλης καταναλώσεως, να έχει δηλαδή όγκο V. Αν η λειτουργία των αντλητικών συγκροτημάτων δεν είναι συνεχής σε όλο το 24ωρο, τότε θα πρέπει οι αντλίες στο χρόνο λειτουργίας τους να εξυπηρετούν όλη την κατανάλωση του 24ώρου. Η καμπύλη εισροής στην περίπτωση αυτή θα είναι τεθλασμένη (σχ. 4.7γ) και ο απαιτούμενος όγκος της δεξαμενής θα είναι η μέγιστη τεταγμένη AB ανάμεσα στη γραμμή εισροής και στην καμπύλη καταναλώσεως. Το αποτέλεσμα αυτό επιβάλλει εμπειριστατωμένη τεχνικοοικονομική μελέτη για την εκλογή της πιο συμφέρουσας λύσεως.



Σχ. 4.7γ.

Αθροιστική καμπύλη σε περίπτωση λειτουργίας των αντλητικών συγκροτημάτων μόνο τη νύχτα.

Παράδειγμα.

Ο οικισμός Κρανιάς παρουσιάζει την ακόλουθη διακύμανση καταναλώσεως το 24ωρο:

0—2	κ	31.98 m^3	10—12	$260,60 \text{ m}^3$	20—22	194.40 m^3
2—4		27.06 m^3	12—14	$351,62 \text{ m}^3$	22—24	51.66 m^3
4—6		46.68 m^3	14—16	$228,62 \text{ m}^3$		
6—8		$361,46 \text{ m}^3$	16—18	$226,32 \text{ m}^3$		
8—10		$395,90 \text{ m}^3$	18—20	$223,70 \text{ m}^3$		

Ζητείται να βρεθεί ο όγκος της δεξαμενής αποθηκεύσεως, αν οι πηγές που τροφοδοτούν τον οικισμό δίνουν $100 \text{ m}^3/\text{h}$.

Λύση.

Από την κατανάλωση βλέπομε πρώτα-πρώτα ότι ορισμένες ώρες η κατανάλωση είναι μεγαλύτερη από την ποσότητα νερού που δίνουν οι πηγές. Κατά συνέπεια χωρίς δεξαμενή αποθηκεύσεως ο οικισμός δεν μπορεί να υδρευθεί. Αρχίζομε λοιπόν να υπολογίζουμε πόσο νερό περισσεύει τις ώρες της χαμηλής καταναλώσεως και πόσο λείπει τις ώρες της μεγάλης καταναλώσεως. Από τα μεσάνυχτα μέχρι τις

αρα έχομε 200 και καταναλώνονται 31.98 . Μένουν συνεπώς για αποθήκευση:

$$0-2 \quad 200 - 31.98 = + 168.02 \text{ περίσσευμα}$$

Αυτό το περίσσευμα πρέπει να το αποθηκεύσουμε στη δεξαμενή για να χρησιμοποιηθεί άλλη ώρα που έχομε μεγαλύτερη ζήτηση (κατανάλωση) και η προσφορά των πηγών δεν επαρκεί, όπως π.χ 6-8 το πρωί, που έχομε $2 \times 100 = 200 \text{ o}^3$ και χρειαζόμαστε 361.46 , πράγμα που σημαίνει ότι για το δίωρο αυτό μας λείπουν $200 - 361.46 = -161.46 \text{ m}^3$ έλλειμμα.

Με βάση το σκεπτικό αυτό βρίσκομε τα πλεονάσματα και τα ελλείμματα.

0- 2	200— 31,98	=	+ 168,02	περίσσευμα
2- 4	200— 27,06	=	+ 172,94	»
4- 6	200— 46,68	=	+ 153,32	»
6- 8	200—361,46	=	- 161,46	έλλειμμα
8-10	200—395,90	=	- 195,90	»
10-12	200—260,60	=	- 60,60	»
12-14	200—351,62	=	- 151,62	»
14-16	200—228,62	=	- 28,62	»
16-18	200—226,32	=	- 26,32	»
18-20	200—223,70	=	- 23,70	»
20-22	200—194,40	=	+ 5,60	περίσσευμα
22-24	200— 51,66	=	+ 148,34	»

Αν αποθηκεύσομε το περίσσευμα από 0-2 πρέπει να έχομε όγκο 168,02 m³. Άλλα από 2-5 το πρώτι έχομε κι άλλο περίσσευμα, 172,94 m³ που πρέπει κι αυτό να αποθηκευθεί. Ήρα πρέπει να έχομε διαθέσιμο όγκο ίσο με:

$$168,02 + 172,94 = 340,96 \text{ m}^3$$

Από 4-6 το πρώτι έχομε πάλι περίσσευμα 153,32 m³, που για να το αποθηκεύσομε κι αυτό χρειαζόμαστε όγκο:

$$168,02 + 172,94 + 153,32 = 494,28 \text{ m}^3$$

Για το δίωρο 6-8 χρειάζεται ο οικισμός 341,46 m³. Οι πηγές δίνουν μόνο 200 m³. Το υπόλοιπο νερό 341,46—200=141,46 m³ θα καλυφθεί από αυτό που αποθηκεύσαμε. Δηλαδή θα έχομε:

$$494,28 - 161,46 = 332,82 \text{ m}^3$$

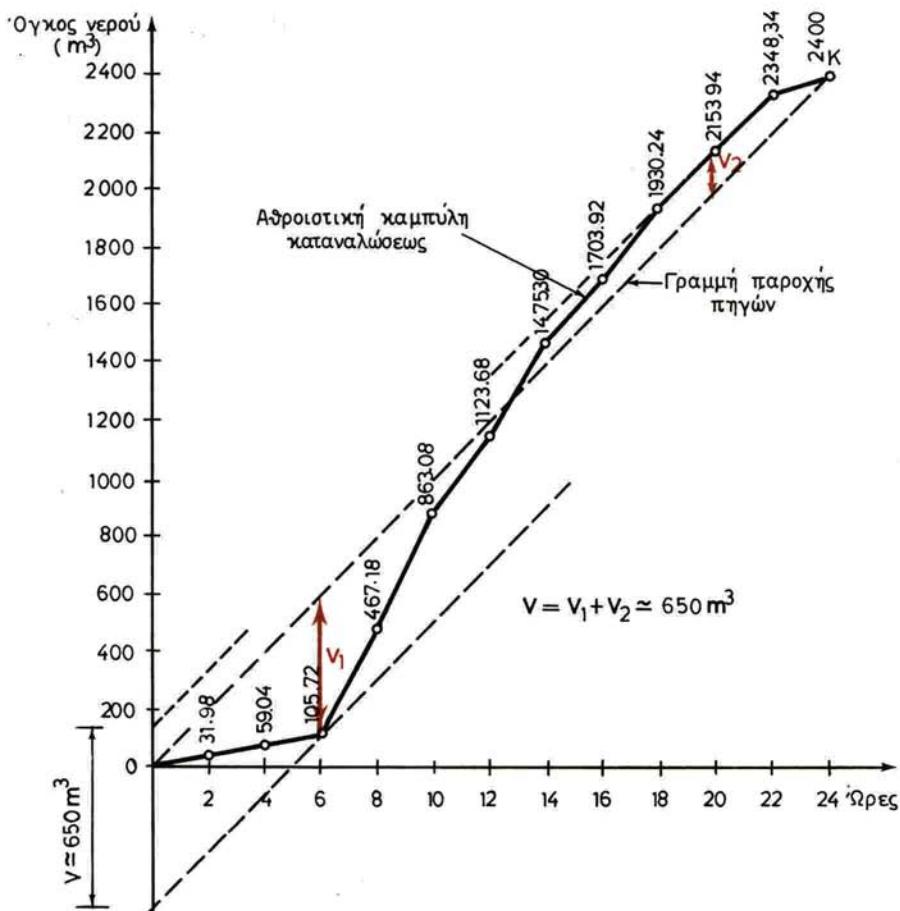
Το ίδιο συμβαίνει και το δίωρο 8-10 που έχομε έλλειμμα 395,90 — 200 = 195,90. Δηλαδή θα μείνει αποθηκευμένη ποσότητα:

$$\begin{aligned} 8-10 & 332,82 - 195,90 = 136,92 \text{ m}^3 \\ 10-12 & 136,92 - 60,60 = 76,32 \text{ m}^3 \\ 12-14 & 76,32 - 151,62 = -75,30 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Βλέπομε όμως ότι παρόλο που αποθηκεύθηκαν τα πλεονάσματα των μεταμεσονύχτιων ωρών, δεν επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών της ημέρας. Προχωρούμε στον υπολογισμό των αναγκών για να βρούμε πόσος όγκος νερού μας λείπει για να καλυφθούν οι ανάγκες του οικισμού:

$$\begin{aligned} 14-16 & - 75,30 - 28,62 = -103,92 \\ 16-18 & -103,92 - 26,32 = -130,24 \\ 18-20 & -130,24 - 23,70 = -153,94 \\ 20-22 & -153,94 + 5,60 = -148,34 \\ 22-24 & -148,34 + 148,34 = \emptyset \end{aligned}$$

Από τις ελλείψεις βλέπομε ότι η μεγαλύτερη είναι -153,94 m³. Αν λοιπόν έχομε προβλέψει να κρατήσουμε όγκο νερού 153,94 m³ θα μπορέσουμε να καλύψουμε τις ελλείψεις. Ήδη όμως έχόμε αποθηκευμένα τα περισσεύματα που έχουν όγκο 494,28 m³. Ήρα ο συνολικός όγκος της δεξαμενής πρέπει να είναι:



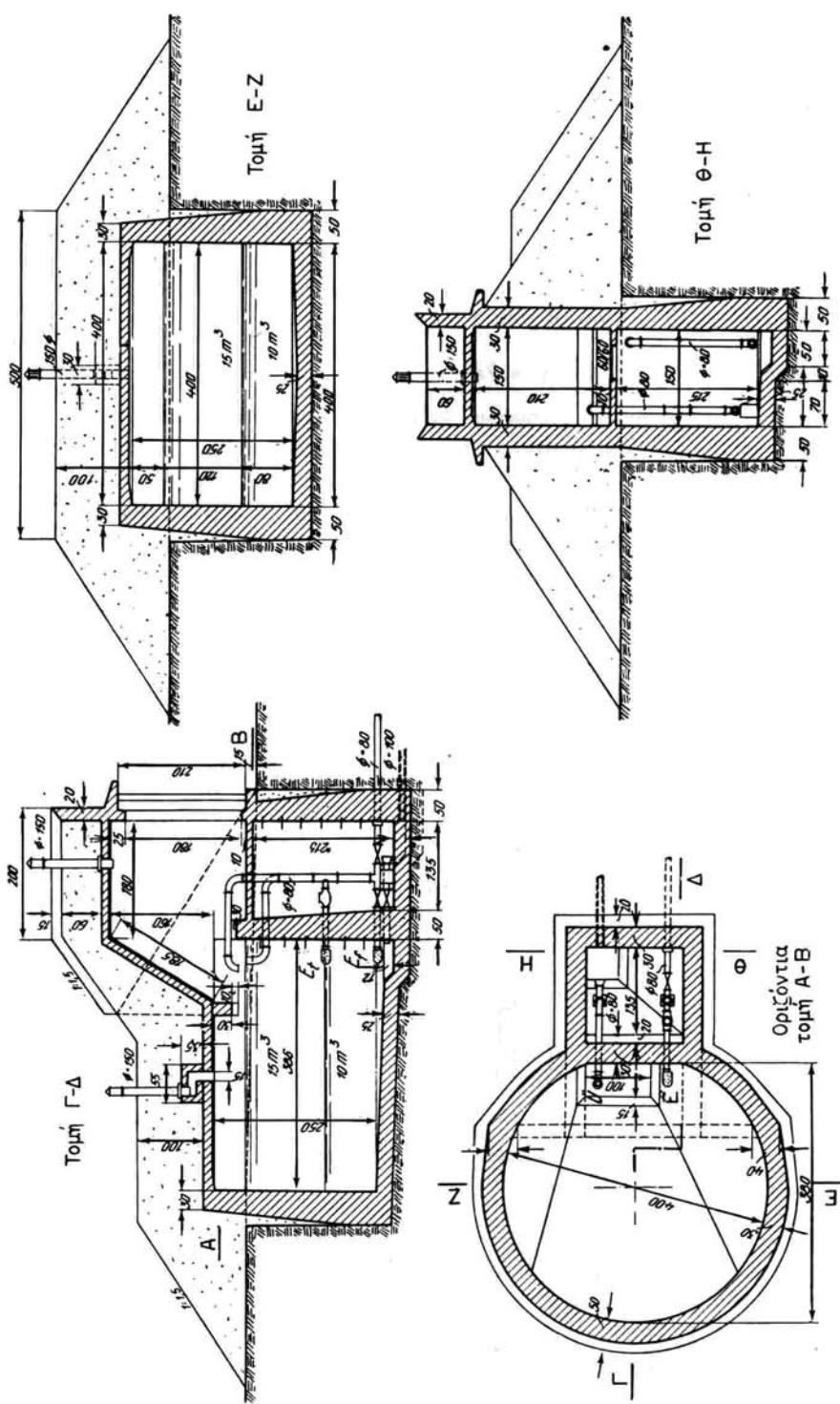
Σχ. 4.7γ'.

$$V = 494,28 + 153,94 = 648,22 \text{ m}^3 \approx 650 \text{ m}^3$$

Σημείωση: Στο ίδιο αποτέλεσμα μπορούμε να φτάσουμε με γραφική λύση. Αθροίζομε τις ανάγκες και τις τοποθετούμε στο διάγραμμα με συντεταγμένες τον όγκο του νερού και τη διάρκεια της ημέρας (24 ώρες). Έχομε έτσι την αθροιστική καμπύλη. Φέρνομε την ευθεία ΟΚ και βρίσκομε τον όγκο της δεξαμενής (σχ. 4.7γ') από το μήκος V που με την κλίμακα σχεδιάσεως αντιστοιχεί σε 650 m^3 . Η γραφική λύση δεν δίνει απόλυτη ακρίβεια αλλά προσεγγιστικά τον όγκο.

4.7.2 Είδη δεξαμενών.

- Οι δεξαμενές αποθηκεύσεως του νερού μπορεί να είναι:
- Υπόγειες.



ΣΥ. 4.76. Η μυητόγεια δεξαμενή σε μία οριζόντια ($A - B$) και τρεις κατακόρυφές τουές ($\Gamma - \Delta$, $E - Z$ και $H - \Theta$).

- Ημιυπόγειες.
- Επίγειες.
- Υπερυψωμένες.
- Υδατόπυργοι.

α) Οι υπόγειες δεξαμενές.

Κατασκευάζονται μέσα στο έδαφος σε όλο τους το μέγεθος. Το γεγονός αυτό δημιουργεί τεχνικές δυσκολίες και βαρύνει οικονομικά την κατασκευή. Όταν έχομε μεγάλους όγκους αποφεύγεται η κατασκευή υπογείων δεξαμενών.

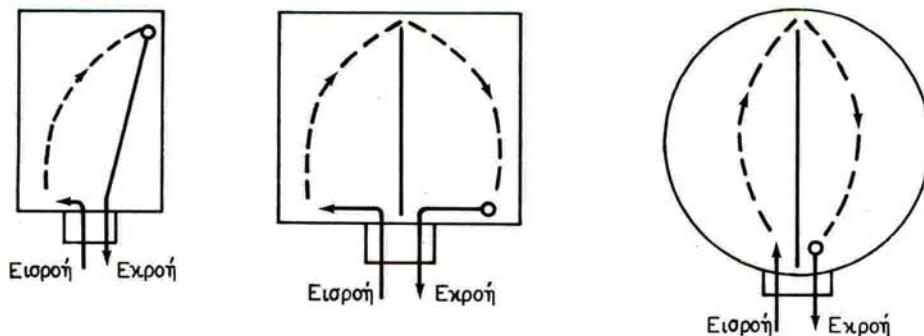
Οι υπόγειες δεξαμενές προφυλάσσουν το νερό από τις κλιματολογικές μεταβολές και το εξασφαλίζουν από αεροπορικές επιδρομές.

β) Οι ημιυπόγειες δεξαμενές (σχ. 4.7δ).

Είναι η πιο συνηθισμένη κατηγορία δεξαμενών, γιατί παρουσιάζουν όλα τα πλεονεκτήματα των υπογείων χωρίς να έχουν σοβαρά μειονεκτήματα.

Οι δεξαμενές του τύπου αυτού κατασκευάζονται κατά το μεγαλύτερο μέρος τους μέσα στο έδαφος, ενώ ένα μικρό μέρος εξέχει από τη φυσική επιφάνεια του έδαφους. Η όλη κατασκευή επιχωματώνεται με στρώμα πάχους περίπου 0,80 m. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η μόνωση του νερού από τις εξωτερικές επιδράσεις και η προστασία και ασφάλεια του έργου.

Ο συνολικός αποθηκευτικός χώρος των δεξαμενών χωρίζεται, όπως αναφέραμε, σε δύο ή περισσότερους θαλάμους που διατάσσονται σε διαφορετικές μορφές, όπως φαίνεται στα σχήματα 4.7ε και 4.7στ. Τα στόμια εισροής και εκροής βρίσκονται σε τέτοια θέση ώστε το νερό να αναγκάζεται να κυκλοφορεί και να μη λιμνάζει στις γωνίες της δεξαμενής.



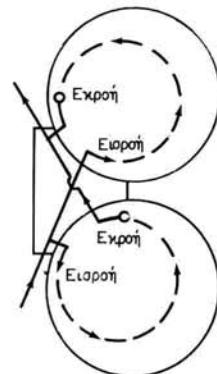
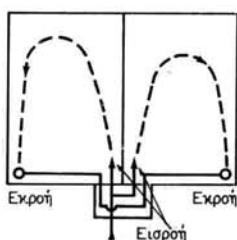
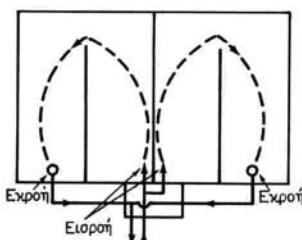
Σχ. 4.7ε.
Μονοθάλαμες δεξαμενές.

γ) Οι επίγειες δεξαμενές.

Αυτές δεν διαφέρουν σε γενικές γραμμές από τις ημιυπόγειες, εκτός από το υπόγειο τμήμα τους που μπορεί να είναι πολύ μικρό ή μηδενικό. Η μορφή τους σε κάτωψη είναι σχεδόν ίδια με τις ημιυπόγειες.

δ) Οι υπερυψωμένες δεξαμενές.

Όταν οι επίγειες δεξαμενές έχουν μεγάλο ύψος, μεγαλύτερο από τη διάμετρο



Σχ. 4.7στ.
Διθάλαμες δεξαμενές.

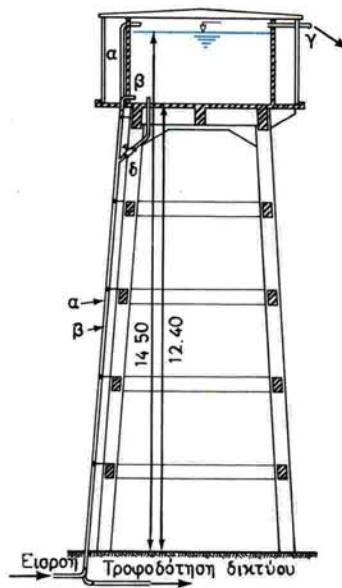
της βάσεως, λέγονται χαρακτηριστικά **υπερυψωμένες** δεξαμενές. Είναι υπερυψωμένες και τις περισσότερες φορές κυλινδρικές για να διατηρείται το νερό επάνω από ένα ορισμένο υψόμετρο.

ε) Οι υδατόπυργοι.

Είναι δεξαμενές που κατασκευάζονται με τον πιθμένα τους ψηλότερα από την επιφάνεια του εδάφους (σχήματα 4.7ζ και 4.7η). Το ύψος στο οποίο τοποθετούν-



Σχ. 4.7ζ.
Κατασκευή υδατόπυργου από οπλισμένο σκυρόδεμα (Γερμανία).



Σχ. 4.7η.

Τομή υδατόπυργου από οπλισμένο σκυρόδεμα.

α) Προσαγωγή. β) Απορροή. γ) Υπερχειλιστής. δ) Εκκενωτής.

ται, εξαρτάται βασικά από το υψόμετρο της πόλεως που πρόκειται να υδρευθεί ή και από άλλους παράγοντες όπως οικονομία, κατασκευαστικές δυσκολίες κλπ.

Κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα ή από μέταλλο και έχουν σχήμα κυλινδρικό ή ορθογωνικό. Σε περίπτωση μεταλλικών κατασκευών μπορεί να πάρουν και σφαιρικό σχήμα. Η δεξαμενή στηρίζεται επάνω σε υποστυλώματα κατασκευασμένα ομοίως από οπλισμένο σκυρόδεμα ή από μέταλλο.

Εφαρμόζονται σε πεδινές πόλεις και γενικά σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν γύρω φυσικά υψώματα για να κατασκευασθεί δεξαμενή που να εξασφαλίζει το απαιτούμενο πιεζομετρικό ύψος.

Ο θάλαμος των δικλείδων και των άλλων οργάνων ελέγχου της λειτουργίας βρίσκονται στη βάση του υδατόπυργου, όπου υπάρχει ο σχετικός θάλαμος από τον οποίο περνούν όλες οι σωληνώσεις.

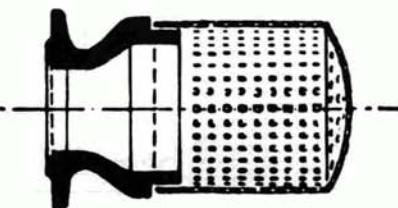
4.7.3 Όργανα λειτουργίας.

Τα όργανα που εξασφαλίζουν την καλή λειτουργία μιας δεξαμενής είναι:

- Η υδροληψία.
- Ο υπερχειλιστής.
- Ο εκκενωτής.
- Οι αεροεξαγωγοί.
- Τα σταθμήμετρα.

a) Η υδροληψία.

Πραγματοποιείται από τη δεξαμενή με σωλήνα που το άκρο του είναι εφοδιασμένο με μηχανικό φίλτρο. Ο σωλήνας τοποθετείται περίπου 0,30-0,40 m επάνω

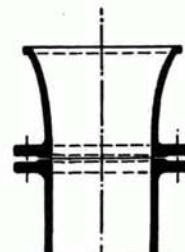
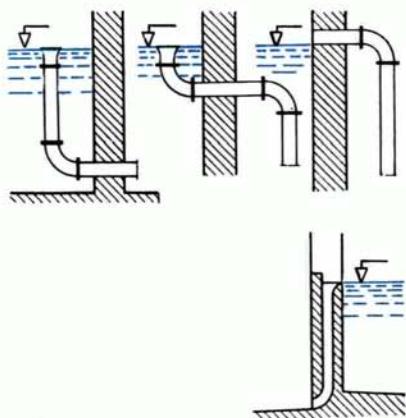


Σχ. 4.7θ.
Στόμιο υδροληψίας.

από τον πυθμένα της δεξαμενής προς αποφυγή **εισόδου στο σωλήνα** υλικών που κατακάθονται στον πυθμένα. Στο σχήμα 4.7θ φαίνεται ένα στόμιο υδροληψίας.

β) Ο υπερχειλιστής.

Απομακρύνει το νερό από το θάλαμο της δεξαμενής μόλις η στάθμη ανέβει επάνω από ένα ορισμένο ύψος προς αποφυγή κατακλίσεως των οργάνων λειτουργίας ή προκλήσεως άλλων ζημιών στη δεξαμενή. Οι υπερχειλιστές (σχ. 4.7ι) μπορεί να είναι σωλήνες ενσωματωμένοι στην κατασκευή ή μεμονωμένα στόμια που απάγουν το νερό. Στο σχήμα 4.7ια φαίνεται στόμιο υπερχειλιστή.



Σχ. 4.7ια.
Στόμιο υπερχειλιστή.

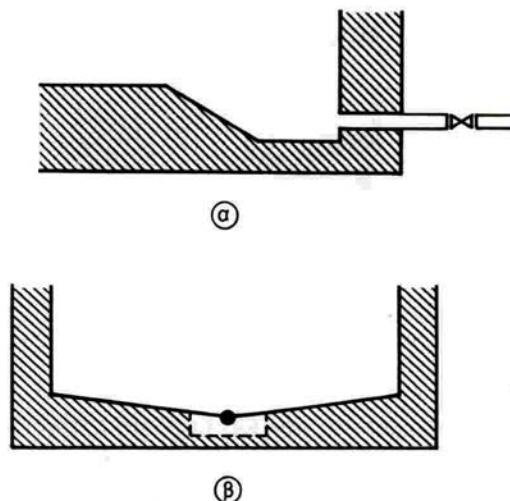
Σχ. 4.7ι.
Διάφορες μορφές υπερχειλιστών.

γ) Οι εκκενωτές.

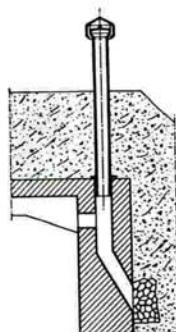
Είναι, όπως και οι υπερχειλιστές, σωλήνες, που τοποθετούνται στο χαμηλότερο σημείο της δεξαμενής για να αδειάζουν το νερό της δεξαμενής, όταν απαιτείται η εκκένωση της για να καθαρισθεί ή για να διορθωθούν τυχόν βλάβες (σχ. 4.7ιβ).

δ) Οι αεροεξαγωγοί.

Τοποθετούνται στην οροφή των δεξαμενών και έχουν ως σκοπό την ανανέωση του αέρα της δεξαμενής και την αποφυγή δημιουργίας ψηλών ή χαμηλών πιέσεων στο εσωτερικό από την ανύψωση ή πτώση της στάθμης του νερού και τον εγκλωβισμό του αέρα στο επάνω μέρος της δεξαμενής. Στο επάνω μέρος των αεροεξα-



Σχ. 4.7ιβ.
Εκκενωτής.
α) Τομή κατά μήκος. β) Εγκάρσια τομή.

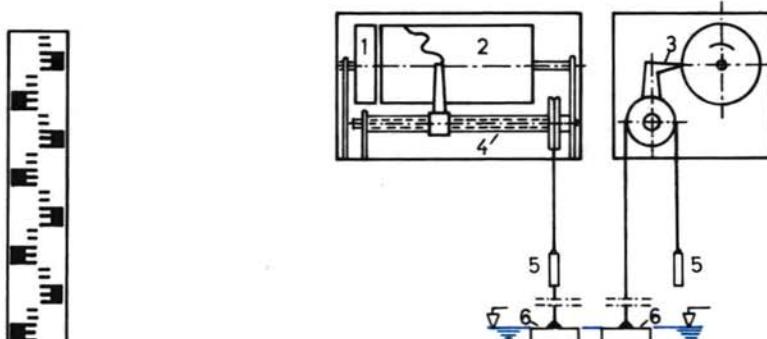


Σχ. 4.7ιγ.
Αεροεξαγωγός.

γωγών υπάρχει φίλτρο για την αποφυγή εισόδου στη δεξαμενή πουλιών, μικρών οργανισμών ή άλλων υλικών (σχ. 4.7ιγ).

ε) Τα σταθμήμετρα.

Είναι απαραίτητα για τον έλεγχο της στάθμης του νερού σε κάθε στιγμή και την αποφυγή έτσι δυσμενών αυξήσεων της στάθμης και άσκοπής λειτουργίας των αντλητικών συγκροτημάτων. Η απλούστερη μορφή σταθμήμετρου είναι ένας πλωτήρας που συνδέεται με ένα δείκτη στριζόμενο σε κατακόρυφο οδηγό. Ο δείκτης κινείται με κατάλληλο σύστημα και δείχνει τη στάθμη του νερού σε μια βαθμολογημένη κλίμακα που βρίσκεται στο εξωτερικό της δεξαμενής (σχ. 4.7ιδ).



1. Ωρολογιακός μηχανισμός
 2. Κύλινδρος καταγραφής
 3. Γραφίδα 4. Οδηγός γραφίδας
 5. Αντίβαρο 6. Πλωτήρας

Σχ. 4.7ιδ.

Σταθμήμετρο και σύστημα σταθμηγράφου.

4.8 Προσαγωγή και διανομή του νερού.

Οι εγκαταστάσεις υδροληψίας βρίσκονται πολλές φορές μακριά από τις εγκαταστάσεις καθαρισμού. Η μεταφορά του νερού στις περιπτώσεις αυτές γίνεται με τον αγωγό μεταφοράς ο οποίος μπορεί να έχει μήκος από μερικά μέτρα μέχρι μερικά χιλιόμετρα και διακρίνεται σε:

- Ανοικτό αγωγό (ελεύθερης ροής).
- Κλειστό αγωγό (υπό πίεση).

Η εκλογή του είδους του αγωγού, η κλίση και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του αγωγού μεταφοράς εξαρτώνται από το διαθέσιμο υδραυλικό φορτίο και την τοπογραφική διαμόρφωση της περιοχής. Συνήθως συντάσσεται οικονομοτεχνική μελέτη των διαφόρων λύσεων και εκλέγεται η πιο συμφέρουσα.

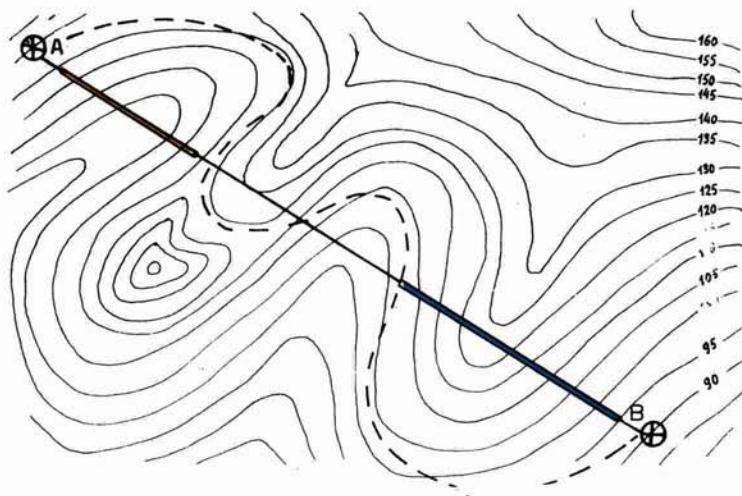
4.8.1 Χάραξη του αγωγού.

Η χάραξη του αγωγού εξαρτάται από την εκλογή του είδους του αγωγού (ανοικτός ή κλειστός).

Για τους αγωγούς ελεύθερης ροής η χάραξη εξαρτάται από τις κλίσεις του εδάφους και το ότι ο αγωγός δεν πρέπει να έχει κλίση μεγαλύτερη από 5%.

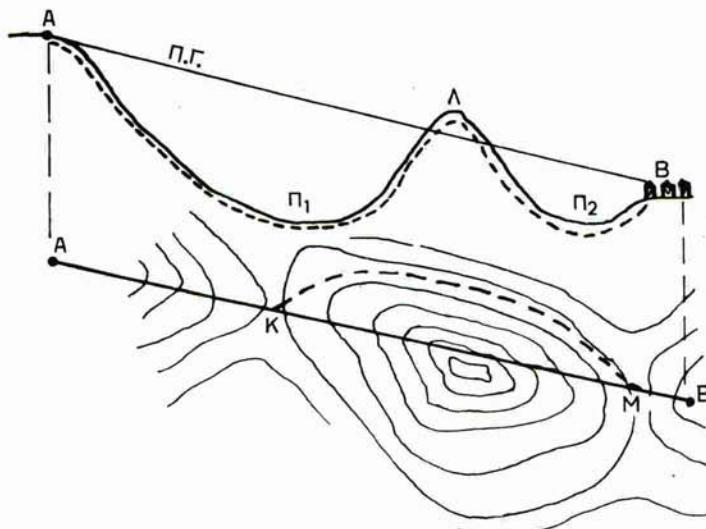
Αν η υδροληψία βρίσκεται στο Α (σχ. 4.8α) και ο οικισμός στο Β, πρέπει να χαραχθεί αγωγός από το Α στο Β. Αν Λ η οριζόντια απόσταση ΑΒ και Η η υψομετρική διαφορά, τότε η κλίση του αγωγού θα είναι: $\phi = H/L$.

Επειδή η κλίση αυτή είναι τις περισσότερες φορές πολύ μεγαλύτερη από την επιτρεπόμενη, ακολουθούμε την ισοκλινή με κλίση 5% κατεβαίνομε δηλαδή από το Α περίπου 5 m/km. Μετά τη χάραξη της ισοκλινούς εξετάζομε ορισμένα σημεία για παράκαμψη, όπως π.χ. η κατασκευή σήραγγας στον αυχένα ή κοιλαδογέφυρας στην κοιλάδα. Με τα έργα αυτά μειώνεται το μήκος, οπότε έχομε αλλαγή των υδραυλικών συνθηκών. Τα έργα αυτά είναι δαπανηρά και γι' αυτό εφαρμόζονται περισσότερο οι κλειστοί αγωγοί.



Σχ. 4.8α.

Χάραξη του αγωγού ανάλογα με τη μορφή του εδάφους.

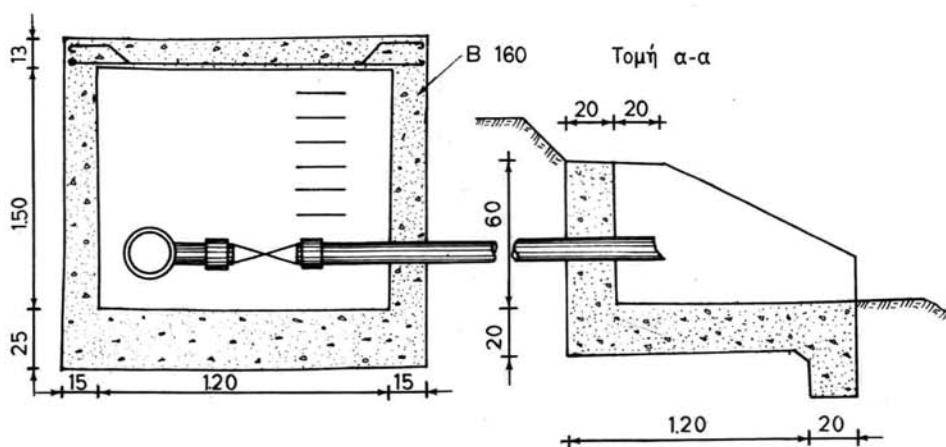
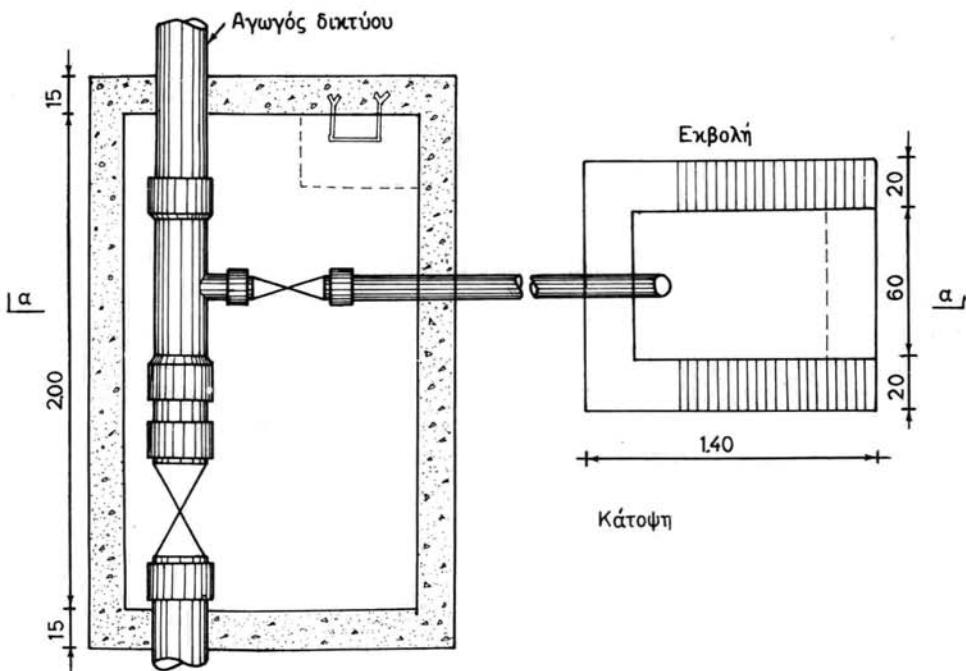


Σχ. 4.8β.

Χάραξη κλειστού αγωγού.

Αν ο αγωγός μεταφοράς είναι κλειστός (υπό πίεση), τότε η κλίση του εδάφους δεν μας ενδιαφέρει. Η ροή σ' αυτή την περίπτωση εξαρτάται μόνο από την πιεζομετρική γραμμή του αγωγού. Έτσι με τους κλειστούς αγωγούς επιτυγχάνεται η εφαρμογή αρνητικών κλίσεων (πρός τα επάνω).

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στα σημεία του εδάφους που βρίσκονται πάνω α-



Σχ. 4.8γ.

Φρεάτιο εκκενωτή σε κάτοψη και τομή α-α.

πό την πιεζομετρική γραμμή (σχ. 4.8β). Ο αγωγός στην περίπτωση αυτή θα ακολουθήσει τη διακεκομένη γραμμή Α-Κ-Μ-Β, δηλαδή θα παρεκλίνει από την ευθυγραμμία, τουλάχιστον κοντά στο τμήμα που η χάραξη βρίσκεται ψηλότερα από την πιεζομετρική γραμμή.

Την κατασκευή του αγωγού μεταφοράς ακολουθεί η κατασκευή άλλων έργων που συμπληρώνουν και εξασφαλίζουν την καλή λειτουργία του.

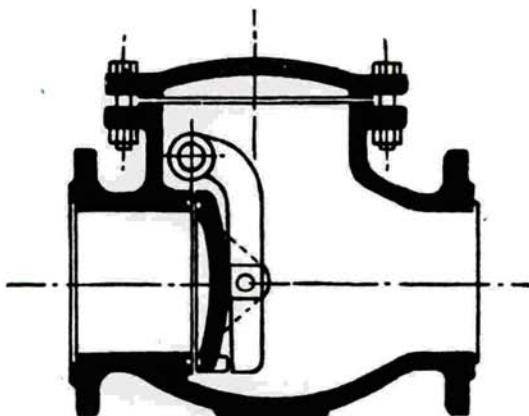
4.8.2 Τεχνικά έργα του αγωγού μεταφοράς.

Η καλή λειτουργία του αγωγού μεταφοράς απαιτεί την ύπαρξη τεχνικών έργων όπως:

- Οι εκκενωτές.
- Οι αεροεξαγωγοί.
- Τα φρεάτια διακοπής πιέσεως.
- Οι δικλείδες.
- Οι διασταυρώσεις με τεχνικά έργα και ρεύματα.

α) Εκκενωτές.

Χρησιμεύουν για την εκκένωση του αγωγού μεταφοράς ή τμημάτων του για επισκευή ή καθαρισμό. Τοποθετούνται στα χαμηλότερα σημεία της χαράξεως. Μέσα στο φρεάτιο (σχ. 4.8γ.) βρίσκεται μια δικλείδα που με ένα αγωγό επιτρέπει ή διακόπτει τη ροή και τη διοχέτευση σε κάποιο ρέμα της περιοχής. Στο άκρο του αγωγού υπάρχει σύστημα αυτόματης καλύψεως του στομίου του αγωγού (σχ. 4.8δ).



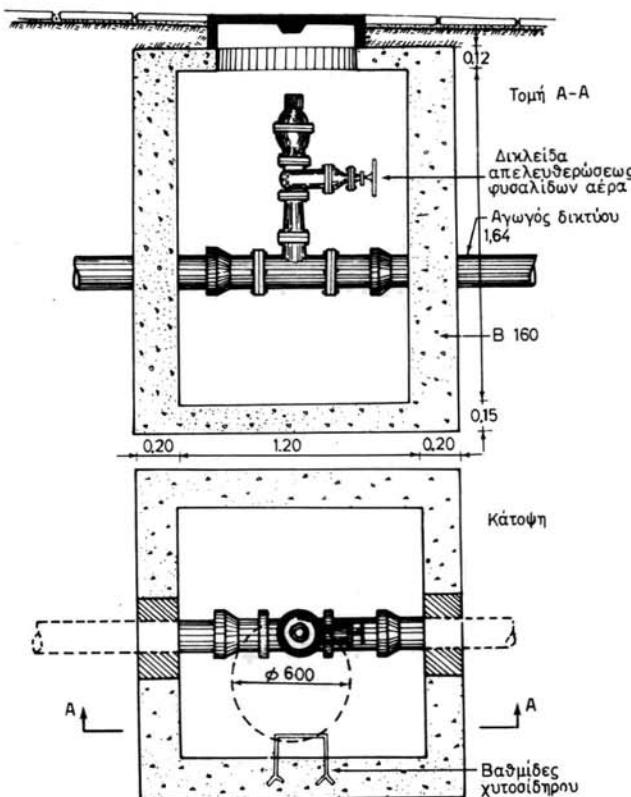
Σχ. 4.8δ.
Κλαπέ εξόδου.

β) Αεροεξαγωγοί.

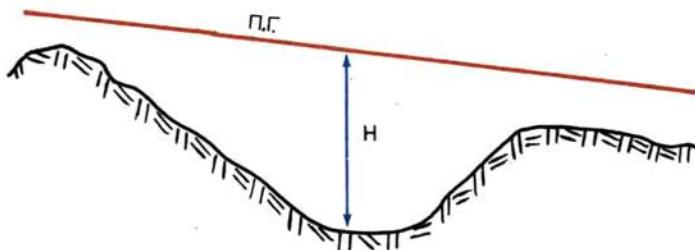
Τοποθετούνται στα ψηλότερα σημεία της χαράξεως και χρησιμεύουν για την απομάκρυνση του αέρα που συγκεντρώνεται στα υψηλότερα σημεία του αγωγού. Ο απελευθερωμένος από το νερό αέρας, όπου βρίσκεται σε μικρές ποσότητες διαλυμένος, συγκεντρώνεται στα υψηλότερα σημεία του αγωγού και δημιουργεί προβλήματα στη ροή. Το σύστημα αεροεξαγωγής λειτουργεί αυτόματα ή με δικλείδα, η οποία όταν ανοίγει αφήνει ελεύθερη την έξοδο του αέρα. Στο σχήμα 4.8ε φαίνεται σε κάτωφη και σε τομή Α-Α φρεάτιο αεροεξαγωγού.

γ) Φρεάτια διακοπής της πέσεως.

Όταν ο αγωγός είναι κλειστός και ακολουθεί την κλίση του εδάφους, στα χαμηλά σημεία το υδροδυναμικό του φορτίο αυξάνεται (σχ. 4.8στ). Τα φρεάτια διακοπής της πιέσεως έχουν σκοπό τη μείωση του μεγάλου υδροδυναμικού φορτίου και την ελάφρυνση των εσωτερικών πιέσεων του αγωγού. Η θέση τους εκλέγεται ύ-



Σχ. 4.8ε.
Φρέατιο αεροεξαγωγού σε τομή Α-Α και κάτοψη.

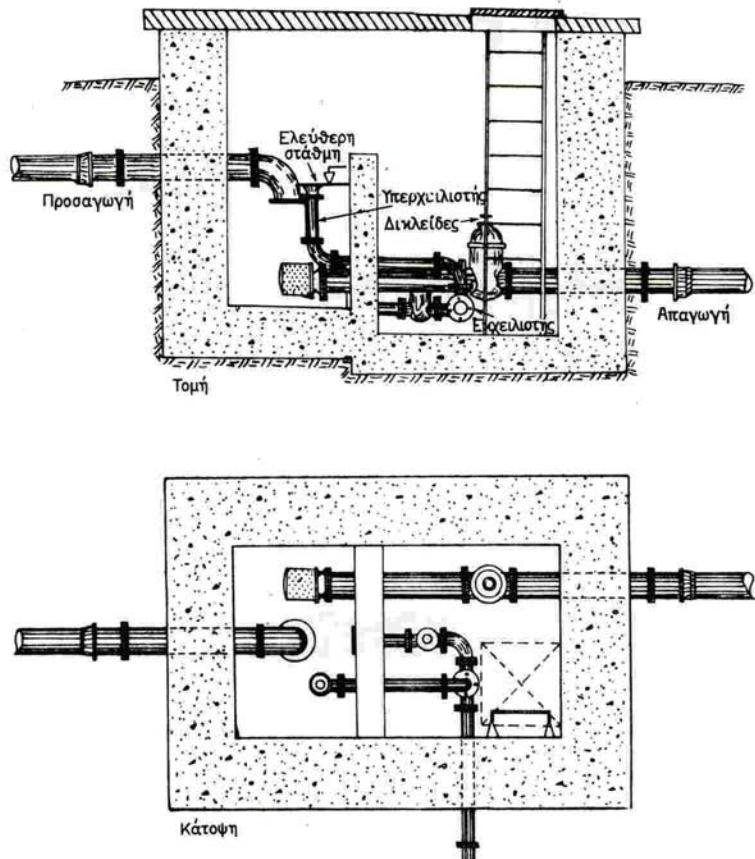


Σχ. 4.8στ.
Στα χαμηλά σημεία της χαράξεως το υδροδυναμικό φορτίο H μπορεί να είναι πολύ μεγάλο.

στέρα από μελέτη, σε συνδυασμό όμως με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του αγωγού. Στο σχήμα 4.8ζ φαίνεται τομή και κάτοψη φρεατίου διακοπής πιέσεως.

δ) Δικλείδες.

Επειδή η ύπαρξη ενός συνεχούς αγωγού με μεγάλο μήκος δημιουργεί λειτουρ-



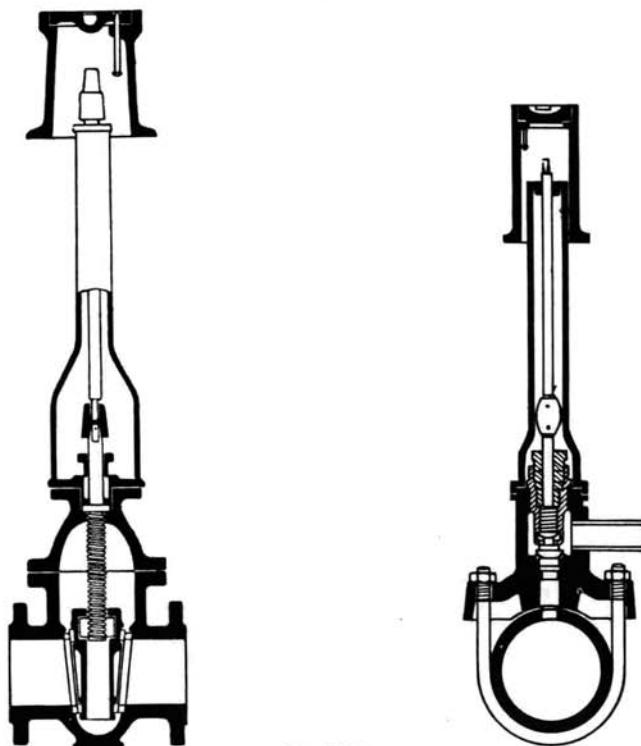
Σχ. 4.8ζ.
Τομή και κάτοψη φρεατίου διακοπής πιέσεως.

γικά προβλήματα στη μεταφορά του νερού, γι' αυτό ανά αποστάσεις τοποθετούνται δικλείδες (σχήματα 4.8η και 4.8θ) που διακόπτουν τη συνέχεια. Η ύπαρξη των δικλείδων υποδιαιρεί τον αγωγό σε τμήματα που είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και μπορούν έτσι να έπισκευάζονται. Οι δικλείδες τοποθετούνται μέσα σε φρεάτια με προστατευτικό κάλυμμα (σχ. 4.8ι). Οι αποστάσεις ανάμεσα σε δύο διαδοχικές δικλείδες κυμαίνονται ανάλογα με το είδος και τα χαρακτηριστικά του αγωγού και μπορεί να είναι από 400 m μέχρι 5 km.

ε) Τεχνικά έργα διασταυρώσεων.

Ο αγωγός μεταφοράς είναι φυσικό να διασταυρώνεται με διάφορα τεχνικά έργα και φύσικά εμπόδια που δημιουργούν προβλήματα. Τα προβλήματα αυτά λύνονται με την κατασκευή τεχνικών έργων που εξασφαλίζουν τη συνέχεια στη χάραξη. Τα έργα αυτά μπορεί να είναι:

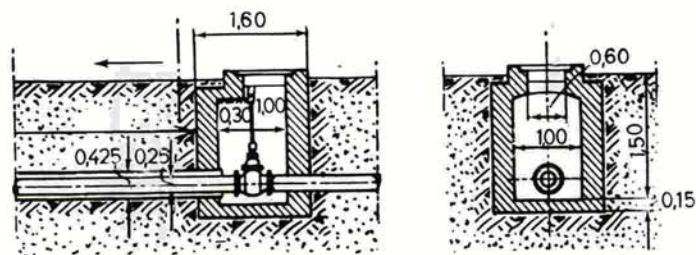
- Οι σίφωνες (σχήματα 4.8ια και 4.8ιζ).
- Οι υδατογέφυρες (σχήματα 4.8ιβ, 4.8ιγ, 4.8ιδ, 4.8ιε και 4.8ιστ).
- Οι σήραγγες.



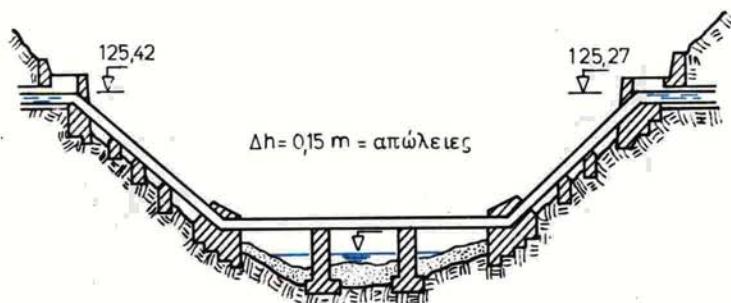
Σχ. 4.8η.
Τομές διαφόρων μορφών δικλείδων.



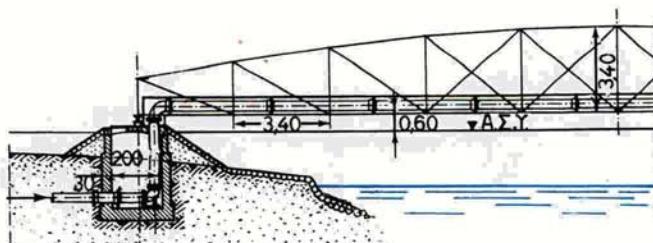
Σχ. 4.8θ.
Δικλείδες διαφόρων ειδών και μορφών.



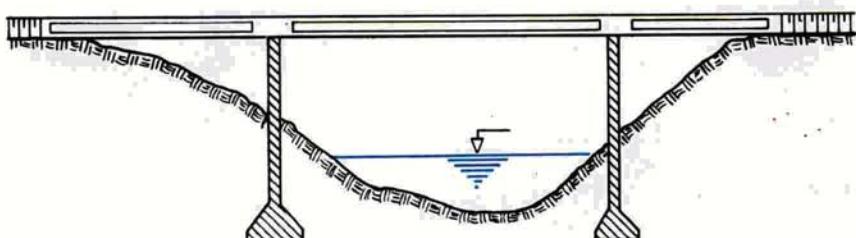
Σχ. 4.8ι.
Φρεάτιο με δικλείδα.



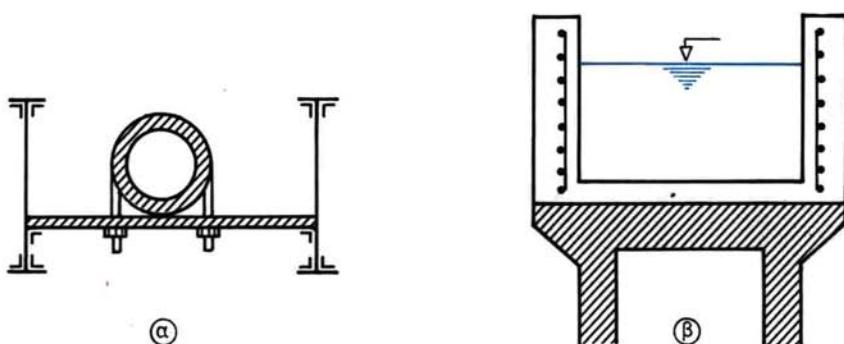
Σχ. 4.8ια.
Επιφανειακή κατασκευή ανεστραμμένου σίφωνα.



Σχ. 4.8ιβ.
Μεταλλική υδατογέφυρα.

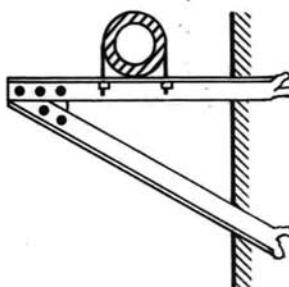


Σχ. 4.8ιγ.
Υδατογέφυρα από οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα.



Σχ. 4.8ιδ.

Δύο μορφές υδατογέφυρας σε τομή. α) Μεταλλική. β) Από σκυρόδεμα.



Σχ. 4.8ΙΕ.

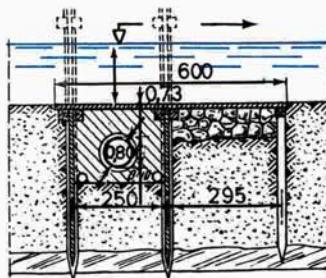
Στήριξη σωλήνα στο φορέα γέφυρας από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Σχ. 4.8ιστ.

Υδατογέφυρα μικρής παροχής.

Το μεσαίο άνοιγμα γεφυρώνεται με μεταλλικό δικτύωμα ενώ τα άλλα με σκυρόδεμα.



Σχ. 4.8ιζ.

Διάβαση αγωγού σίφωνα κάτω από ρεύμα.

4.9 Δίκτυα διανομής.

Το δίκτυο διανομής αποτελείται από σωληνώσεις μέσα στις οποίες το νερό βρίσκεται πάντοτε κάτω από πίεση, ώστε να εξασφαλίζεται η ανύψωσή του σε όλους τους ορόφους των οικοδομών και να αποκλείεται η εισροή στο δίκτυο μολυσμένου νερού από τυχαία ρωγμή ή από άνοιγμα.

Το έργο της διανομής περιλαμβάνει εκτός από τις σωληνώσεις, αριθμό δικλείδων, κοινόχροστες παροχετεύσεις, παροχές για πυροσβεστικές ανάγκες, υδρόμετρα και άλλα βοηθητικά ειδικά κομμάτια για την παροχέτευση στις οικοδομές.

Η τοποθέτηση των σωλήνων πρέπει να γίνεται έτσι που να εξασφαλίζεται η καλύτερη δυνατή μόνωση (θερμική-μολυσματική) από τη δεξαμενή μέχρι τή βρύση του καταναλωτή. Η θερμομόνωση επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση των αγωγών μέσα στο έδαφος σε βάθος 1,50 m περίπου, ενώ η μόνωση για να αποφευχθεί κάθε μόλυνση, με τη συνεχή κατάθλιψη του νερού και τη στεγανότητα αγωγών και δεξαμενών.

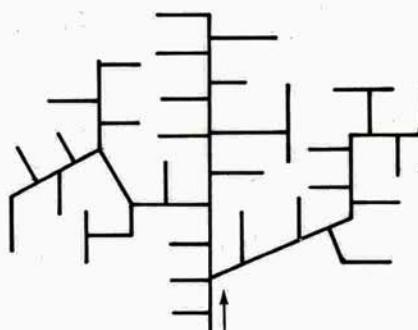
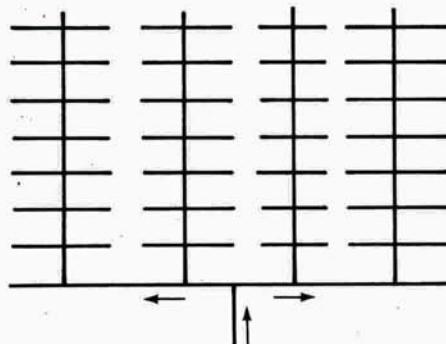
4.9.1 Συστήματα διανομής.

Το δίκτυο διανομής ανάλογα με τον τρόπο κυκλοφορίας του νερού μπορεί να ταξινομηθεί σε τρεις κατηγορίες:

- Ακτινωτό σύστημα.
- Κυκλικό σύστημα.
- Κυκλοφοριακό σύστημα.

a) Ακτινωτό σύστημα.

Στο ακτινωτό σύστημα (σχ. 4.9a) το νερό διακλαδίζεται από τον κύριο αγωγό



Σχ. 4.9a.

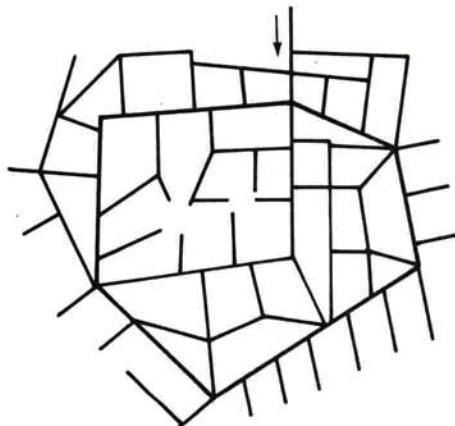
Ακτινωτό σύστημα διανομής.

προς τους δευτερεύοντες. Το νερό μέσα στις σωληνώσεις κινείται με την ίδια πάντα φορά, δηλαδή από τη δεξαμενή προς τα áκρα. Οι διαστάσεις των αγωγών όσο απομακρύνονται από τη δεξαμενή μειώνονται. Το σύστημα αυτό παρουσιάζει βασικά μειονεκτήματα που περιορίζουν την εφαρμογή του στην εξυπηρέτηση αναγκών σε μικρούς οικισμούς. Τα μειονεκτήματα αυτά είναι:

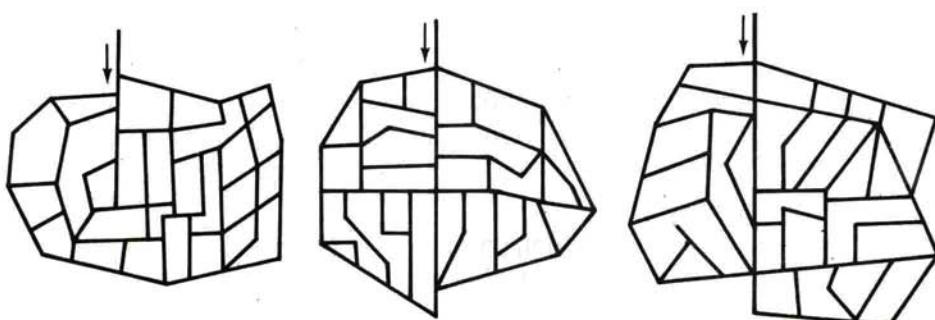
- Στα áκρα του δικτύου το νερό παραμένει σε ακινησία, με κίνδυνο μολύνσεως και αναπτύξεως βλαβερών μικροοργανισμών. Το μειονέκτημα αυτό εξουδετερώνεται αν στα áκρα των αγωγών τοποθετήσουμε παροχές με συνεχή ροή (κοινοτικές βρύσες).
- Σε περίπτωση βλάβης ενός κεντρικού αγωγού, τότε ολόκληρη περιοχή μπορεί να παραμείνει χωρίς νερό για αρκετό χρονικό διάστημα.

β) Κυκλικό σύστημα.

Το σύστημα αυτό (σχ. 4.9β) αποτελεί βελτιωμένη μορφή του ακτινωτού και αποτελείται από ένα κύριο αγωγό που χαράζεται περιμετρικά και καταλήγει στο σημείο εκκίνησεώς του. Από τον αγωγό αυτό αναχωρούν διακλαδώσεις, όπως και στο ακτινωτό σύστημα.



Σχ. 4.9β.
Κυκλικό σύστημα.



Σχ. 4.9γ.
Διάφορες μορφές κυκλοφοριακού συστήματος.

γ) Κυκλοφοριακό σύστημα.

Εφαρμόζεται στις περισσότερες περιπτώσεις υδρεύσεως πόλεων, γιατί παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα απέναντι στα άλλα δύο συστήματα. Στο κυκλοφοριακό σύστημα (σχ. 4.9 γ) οι διακλαδώσεις επικοινωνούν μεταξύ τους και δίνουν τη δυνατότητα στο νερό να κυκλοφορεί όχι σε μια μόνο διεύθυνση, αλλά από σημεία υψηλής σε σημεία χαμηλής πιέσεως. Έτσι όλοι οι αγωγοί βρίσκονται υπό πίεση.

4.10 Σωλήνες υδρεύσεων.

4.10.1 Είδη σωλήνων.

Σημαντική πρόοδο στον τομέα της υδρεύσεως αποτέλεσε η εφαρμογή των κλειστών σωλήνων.

Η εξέλιξη της τεχνικής βελτίωσε και αύξησε τις ιδιότητες και τις μορφές των σωλήνων. Έτσι σήμερα υπάρχουν πολλά είδη σωλήνων που διακρίνονται ανάλογα με το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένοι οι σωλήνες. Κάθε υλικό έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε σύγκριση με τα άλλα υλικά και ανάλογα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του έργου προτιμάται το ένα ή άλλο είδος. Η συνέχης ανάπτυξη νέων μεθόδων και μηχανημάτων για την παραγωγή σωλήνων, η παράλληλη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων τους και η μείωση του κόστους παραγωγής διεύρυναν τη χρησιμοποίησή τους.

Οι σωλήνες για ύδρευση ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους, διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Χυτοσιδερένιοι.
- Χαλύβδινοι.
- Σιδεροσωλήνες.
- Αμιαντοσιμεντοσωλήνες.
- Πλαστικοί σωλήνες.

α) Χυτοσιδερένιοι σωλήνες.

Κατασκευάζονται από χυτοσίδηρο (μαντέμι) και χύνονται σε κατακόρυφα καλούπια, ή μέσα σε ελαφρά κεκλιμένες μήτρες που περιστρέφονται. Όταν το υλικό στερεοποιηθεί, οι σωλήνες αλείφονται με ασφαλτικό υλικό και στη συνέχεια αποθηκεύονται έτοιμοι για εφαρμογή.

Οι συνηθισμένες διάμετροι των χυτοσιδερένιων σωλήνων είναι:

0,06 – 0,08 – 0,10 – 0,15 – 0,20 – 0,25 – 0,30 – 0,35 – 0,40 – 0,45 –
0,60 – 0,70 – 0,80 – 0,90 – 1,00 – 1,10 – 1,25 m.

Τα βάρη τους αναφέρονται στους κατάλογους των εργοστασίων, ενώ τα μήκη τους κυμαίνονται μεταξύ 2,00 και 5,00 m. Η σύνδεση μεταξύ δύο σωλήνων γίνεται με ασφαλτικό υλικό (σχ. 4.10α). Στό σχήμα 4.10β δίνεται νομογράφημα τριβών χυτοσιδερένιων σωλήνων.

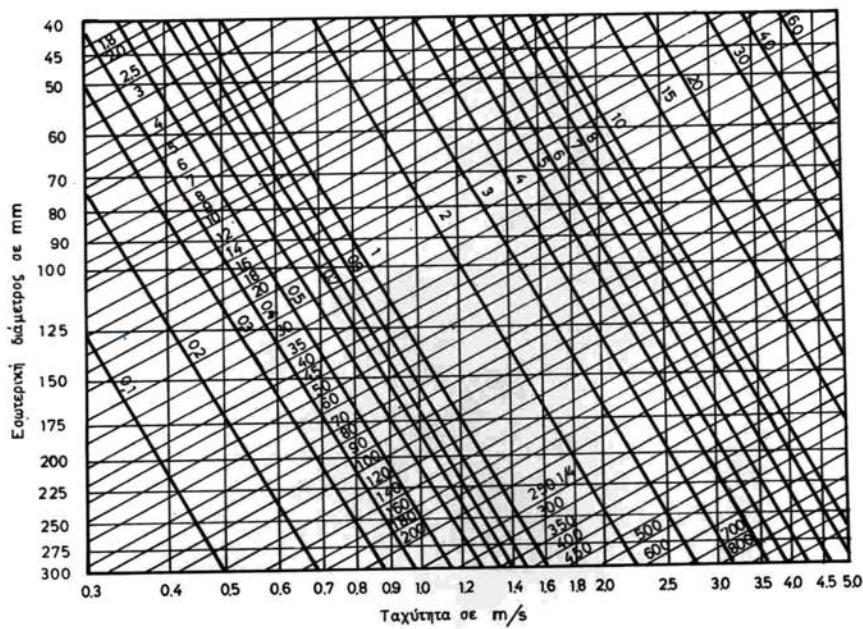
β) Χαλύβδινοι σωλήνες.

Προέρχονται από τη συγκόλληση χαλύβδινων φύλλων (σωλήνες με ραφή) ή με διάτρηση του θερμού μετάλλου (σωλήνες χωρίς ραφή). Οι σωλήνες χωρίς ραφή λέγονται και σωλήνες Mannesmann, από το όνομα του εφευρέτη της μεθόδου παραγωγής τους.

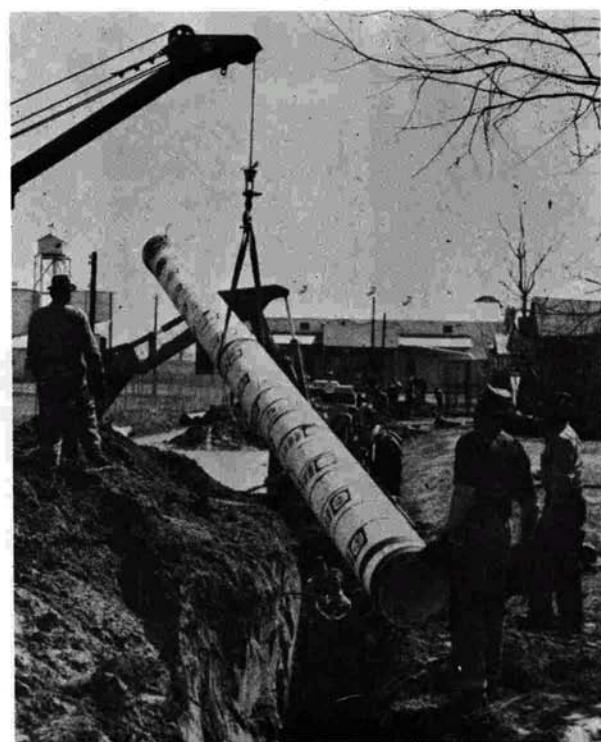
Το μήκος των χαλύβδινων σωλήνων είναι μεγαλύτερο από το μήκος των χυτοσιδερένιων, έχουν όμως το μειονέκτημα ότι παρουσιάζουν ευπάθεια στην οξείδω-

**Σχ. 4.10α.**

Εργασία συνδέσεως δύο σωλήνων.
Χύνεται ασφαλτικό υλικό στον αρμό.

**Σχ. 4.10β.**

Νομογράφημα τριβών χυτοσιδερένιων σωλήνων ($L = 100$ m).



Σχ. 4.10γ.
Τοποθέτηση σωλήνα στο σκάμα με μηχανικά μέσα.



Σχ. 4.10δ.
Τοποθέτηση σωλήνα με τα χέρια.

ση με αποτέλεσμα να διατηρούνται μόνο λίγα χρόνια μέσα στο έδαφος. Το μειονέκτημα αυτό εξουδετερώνεται με την επάλειψη ασφαλτικού υλικού εξωτερικά.

Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα έχουν μεγάλη αντοχή σε ψηλή πίεση και μικρότερο βάρος από τους χυτοσιδερένιους. Χυτοσιδερένιοι σωλήνες με διάμετρο 0,6 π ζυγίζουν 236 kg ενώ χαλύβδινοι (με την ίδια διάμετρο) 88 kg. Επίσης έχουν μικρότερο κόστος κατασκευής σωληνώσεων, γιατί τοποθετούνται και συναρμόζονται ευκολότερα. Η τοποθέτησή τους μπορεί να γίνει με τη βοήθεια μηχανικών μέσων (σχ. 4.10γ) ή με τα χέρια (σχ. 4.10δ).

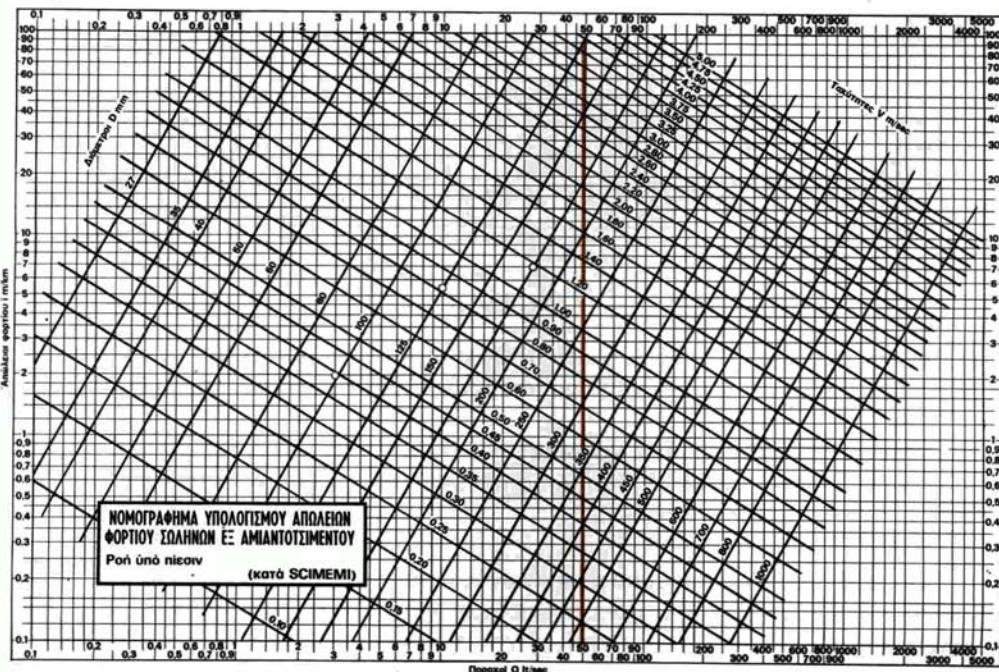
γ) Σιδεροσωλήνες.

Κατασκευάζονται από ελατό σίδερο και συγκολλούνται με μια διαμήκη ραφή. Στο εμπόριο κυκλοφορούν ως μαύροι και γαλβανισμένοι. Παρουσιάζουν το πλεονεκτήμα ότι λυγίζουν εύκολα με θέρμανση του σωλήνα και μηχανική πίεση. Μπορούν επίσης να κοπούν εύκολα με σιδεροπρίονο ή άλλο μηχάνημα κοπίς.

δ) Αμιαντοτσιμεντοσωλήνες (σχ. 4.10ε).

Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται σε μεγάλη έκταση σωλήνες κατασκευασμένοι από αμιαντοτσιμέντο, που είναι μίγμα από τσιμέντο και ίνες αμιάντου. Παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως η μεγάλη αντοχή, η στεγανότητα, το μικρό βάρος, η οικονομία, η εύκολη χρήση τους. Επίσης δεν σκουριάζουν και εμφανίζουν μειωμένη τραχύτητα και πολύ μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.

ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΑΜΙΑΝΤΟΤΣΙΜΕΝΤΟΣΩΛΗΝΩΝ

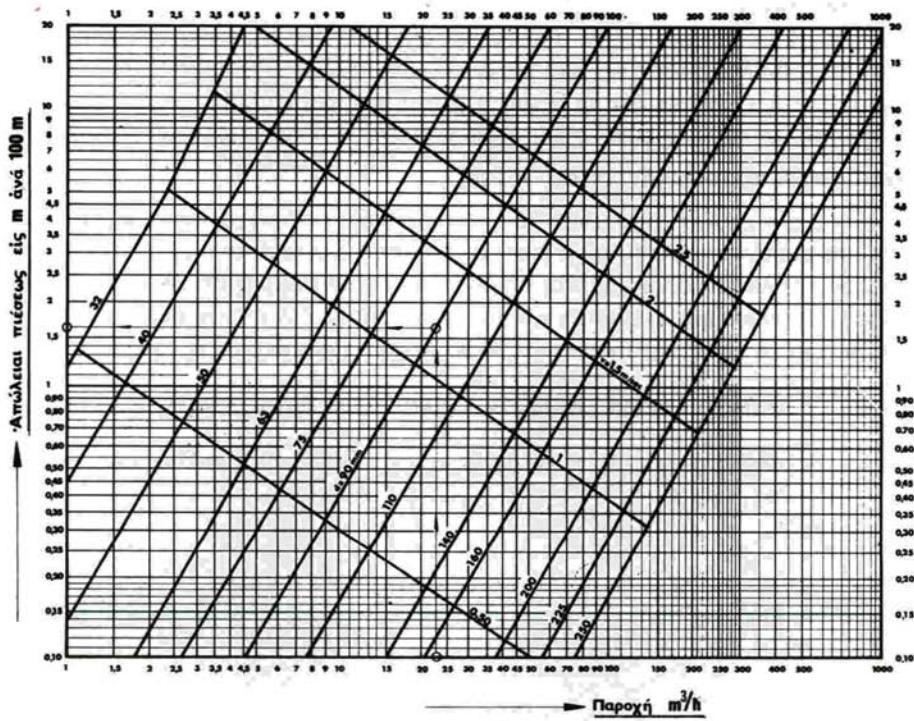


Σχ. 4.10ε.

ε) Πλαστικοί σωλήνες (σχ. 4.10στ και 4.10ζ).

Είναι προϊόντα των τελευταίων τεχνολογικών εξελίξεων. Παρουσιάζουν σε σύγκριση με άλλους σωλήνες (μέχρι $\Phi 200$ mm) μικρότερο βάρος, είναι ανθεκτικοί, δεν διαβρώνονται και δεν εμφανίζουν μείωση της υγρής διατομής τους εξ αιτίας των αλάτων. Έχουν μεγάλη ελαστικότητα και αποσβένουν τα χτυπήματα κριού. Σε χαμηλή θερμοκρασία δεν σπάζουν και είναι αθόρυβοι. Σοβαρό μειονέκτημα αποτελεί η μειωμένη αντίσταση στη θερμότητα.

ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ HELIDUR 10 Atm



Σχ. 4.10στ.

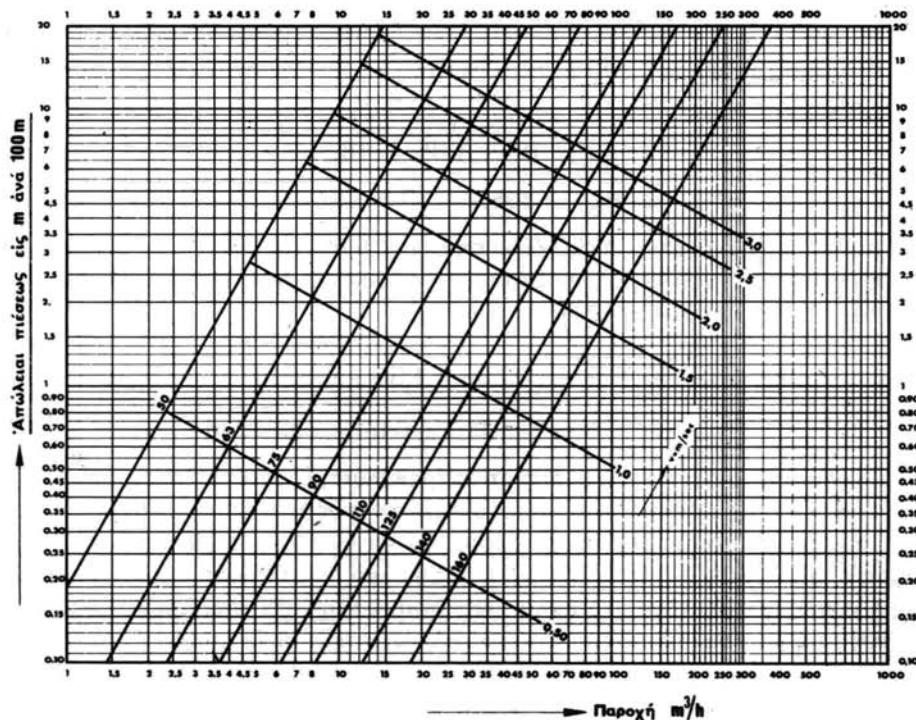
Γενικά μπορούμε να πούμε, χωρίς βέβαια αυτό να αποτελεί τον κανόνα, ότι:

- Μέχρι $\Phi 200-250$ mm χρησιμοποιούνται πλαστικοί ή αμιαντοσιμεντοσωλήνες.
- Μέχρι $\Phi 250-500$ mm χρησιμοποιούνται αμιαντοσιμεντοσωλήνες.
- Μεγαλύτερες από 500 mm χρησιμοποιούνται χαλύβδινοι σωλήνες.

Παράδειγμα.

Προκειμένου να κατασκευαστεί ο αγωγός μεταφοράς νερού από τις πηγές στον οικισμό Πουρναρίου, ζητείται να προσδιορισθεί η διάμετρος του αγωγού. Υλικό κατασκευής αμιαντοσωλήνες. Οι πηγές (στάθμη νερού στη δεξαμενή συλλογής) είναι σε υψόμετρο 305,70 m και η ανώτατη στάθμη της δεξαμενής αποθηκεύσεως στο 298,35. Το μήκος του αγωγού υπολογίσθηκε στα 1850 m και η απαιτούμενη παροχή $Q = 50$ l/s.

ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΑΠΟΛΕΙΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ HELIDUR 16 Atm



ΣΧ. 4.10ζ.

Λύση.

Έχοντας σαν δεδομένο το υλικό κατασκευής, πάμε στο διάγραμμα απωλειών των αμιαντοσιμεντοσωλήνων (σχ. 4.10ε) και στον άξονα των παροχών βρίσκομε την τιμή των 50 l/s. Από κει πάμε προς τα επάνω και συναντάμε διαδοχικά τις λοξές γραμμές των διαμέτρων (500, 450, 400, 350, 300, 250, 200, 150, 125). Από οικονομική άποψη συμφερότερη λύση είναι η επιλογή μικρότερης διαμέτρου και στην περίπτωσή μας είναι D125 (125 mm ή 12,5 cm). Βλέπομε όμως ότι στο σημείο τομής της λοξής γραμμής 125 και της κάθετης στον άξονα της παροχής στο 50 τέμνονται πολύ ψηλά στο διάγραμμα. Αν από το σημείο τομής φέρομε παράλληλη στον άξονα των παροχών τέμνει τον άξονα των γ (άξονας των απωλειών) στο 90, που σημαίνει ότι αν διαλέξουμε διάμετρο D125 οι απώλειές μας θα είναι 90 m στο 1 km, δηλαδή στα 1.850 m του αγωγού θα έχουμε απώλειες:

$$90 \times 1.85 = 166.50 \text{ m}$$

Που σημαίνει ότι από τις πηγές (υψόμετρο 305,70) πρέπει να αφαιρέσουμε το 166,50 μ που χάνονται σε τριβές και έτσι έχουμε το ύψος της δεξιαμενής ίσο με:

$$305.70 - 166.50 = 139.20 \text{ m}$$

που είναι πολύ χαμηλότερα από το υψόμετρο της δεξαμενής, ή με άλλα λόγια με σωλήνα D125 το νερό δεν πάει στη δεξαμενή. Πάμε στον αμέσως μεγαλύτερο σωλήνα D150. Η τομή μας δίνει απώλειες περίπου 41 m στο km. Κι αυτός δεν κάνει γιατί δίνει απώλειες:

$$\Delta h = 41 \times 1,85 = 75,85 \text{ m}$$

$$\text{και } H_{\delta\epsilon\xi} = 305,7 - 75,85 = 229,85 \text{ m}$$

Ο επόμενος σωλήνας D200 δίνει 10m στο km. Πολλές απώλειες και αυτός και απορρίπτεται.

$$\Delta h = 10 \times 1,85 = 18,5$$

$$\text{και } H_{\delta\epsilon\xi} = 305,7 - 18,5 = 287,2$$

Ο σωλήνας με διάμετρο D250 δίνει απώλειες (κάθετος στο X στο 50, τομή με τη λοξή χωρίς νούμερο (250), οριζό τια στις απώλειες και διαβάζομε το νούμερο) 3,50 m στο km. Άρα στα 1850 m δίνει:

$$\Delta h = \frac{3,50 \times 1850}{1000} = 3,50 \times 1,85 \approx 6,50 \text{ m}$$

$$H_{\delta\epsilon\xi} = 305,7 - 6,50 = 299,20 \text{ m}$$

Το υψόμετρο αυτό είναι ικανοποιητικό (μεγαλύτερο από το επιθυμητό). Κατά συνέπεια οι απώλειες που έχουμε μπορούν να καλυφθούν από την υψομετρική διαφορά πηγής-δεξαμενής. Βέβαια θα μπορούσε να διαλέξει κανείς και μεγαλύτερη διάμετρο, π.χ. D300 ή D400. Τεχνικά η λύση είναι σωστή, γιατί οι απώλειες είναι ακόμα μικρότερες. Οικονομικά όμως είναι ασύμφορη γιατί επιβαρύνει το κόστος του έργου χωρίς να προσθέτει σοβαρά πλεονεκτήματα. Γι' αυτό πάντα; τέτοιες επιλογές γίνονται μετά από εμπειρισταρμένη **οικονομοτεχνική μελέτη**.

Σημείωση: Την ίδια διαδικασία θα ακολουθούσαμε αν τα υλικά κατασκευής ήταν χυτοσιδερένιοι ή πλαστικοί σωλήνες.

4.10.2 Σύνδεσμοι σωλήνων.

Ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται η σύνδεση (σχ. 4.10η) δυο διαδοχικών σωλήνων διακρίνομε:

- Τις συνδέσεις με εναρμογή.
- Τις συνδέσεις με ωτίδες και φλάντζες.
- Τις συνδέσεις Gibault κ.ά.

α) Εναρμογή.

Οι σωλήνες έχουν στη μία άκρη προεξέχουσα κεφαλή στην οποία μπαίνει το άκρο του επόμενου σωλήνα. Στο σχηματιζόμενο διάκενο εισάγεται αρχικά ασφαλτόπανο που σπρώχνεται στο βάθος του αρμού, ενώ στη συνέχεια εξωτερικά και περιμετρικά το κενό καλύπτεται με άργιλο. Αφήνεται ένα μικρό άνοιγμα στο οποίο χύνεται όσον αφορά τους χυτοσιδερένιους σωλήνες λυωμένο μολύβι και έτσι συμπληρώνεται το κενό. Στη συνέχεια αφαιρείται η άργιλλος (σχ. 4.10θ). Στους αμιαντοτισμένους σωλήνες τοποθετείται ασφαλτικό υλικό (σχ. 4.10ι).

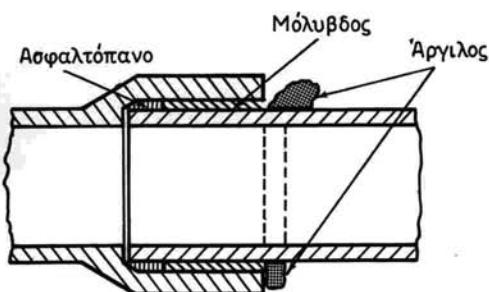
β) Ωτίδες και φλάντζες.

Οι σωλήνες αυτοί έχουν στα άκρα τους διαμορφωμένους επίπεδους δακτύλιους με μορφή κυκλικού δίσκου. Το επίπεδό τους είναι κάθετο στον άξονα του σωλήνα. Ο δίσκος έχει ένα αριθμό οπών που ποικίλλει ανάλογα με τη διάμετρο του σωλήνα. Οι σωλήνες τοποθετούνται ο ένας μετά τον άλλο και σε αντιστοιχία οπών. Η

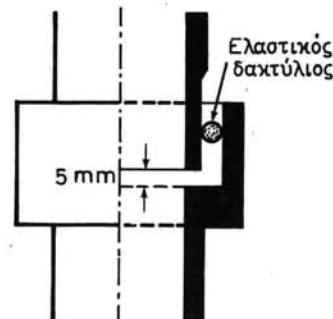
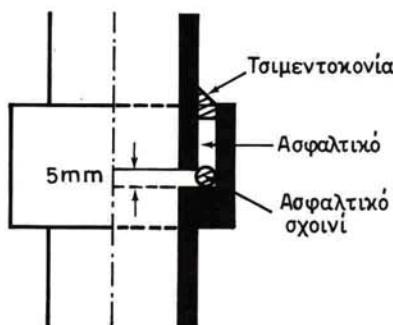
σύνδεσή τους (σχ. 4.10ια και 4.10ιβ) γίνεται με μπουλόνια που διέρχονται από τις οπές, σφίγγουν με τα παξιμάδια και συγκρατούν τους δακτύλιους σε απόλυτη επαφή. Για την εξασφάλιση στεγανότητας κατά τη σύσφιξη, τοποθετείται ανάμεσα και περιμετρικά μονωτικό υλικό. Η σύνδεση αυτή παρουσιάζει το πλεονέκτημα της γρήγορης συνδέσεως και αποσυνδέσεως.



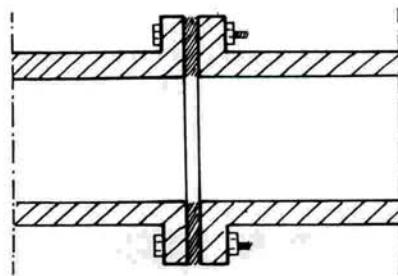
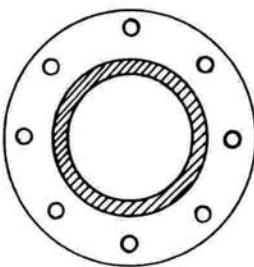
Σχ. 4.10η.
Σύνδεση σωλήνων.



Σχ. 4.10θ.
Εναρμογή χυτοσιδερένιων σωλήνων.

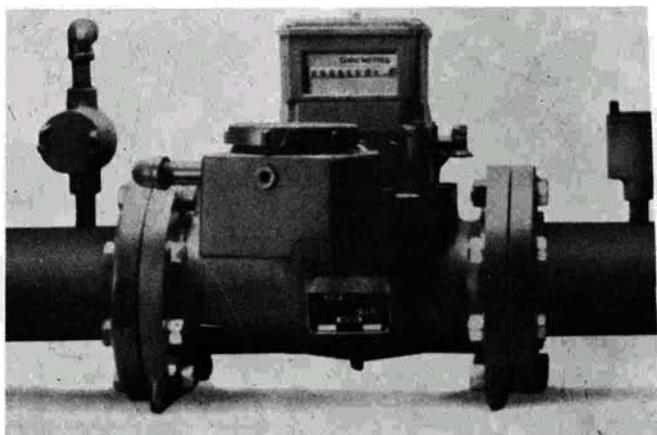


Σχ. 4.10ι.
Εναρμογή αμιαντοσιμεντοσωλήνων.



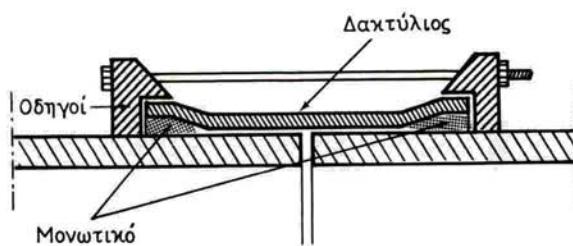
Σχ. 4.10ια.

Σύνδεση σωλήνων με ωτίδες και φλάντζες.



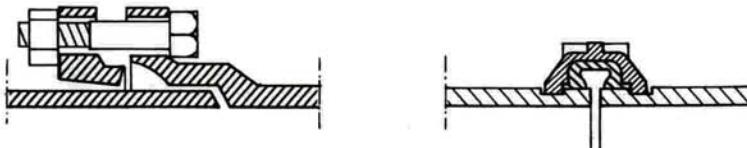
Σχ. 4.10ιβ.

Σύνδεση με ωτίδες.



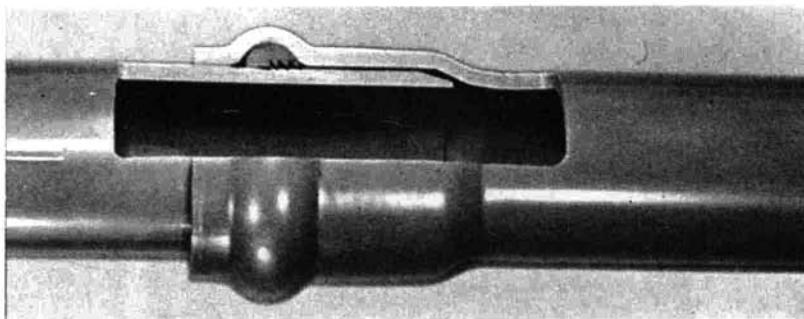
Σχ. 4.10ιγ.

Σύνδεση Gibault.



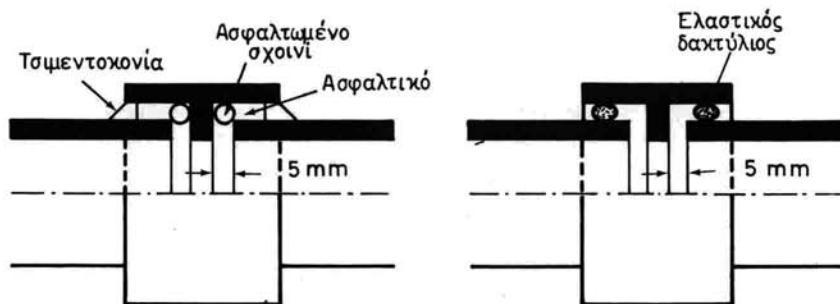
Σχ. 4.10ιδ.

Διάφοροι τρόποι συνδέσεως.



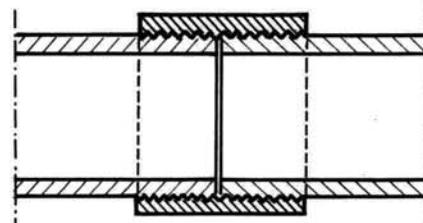
Σχ. 4.10ιε.

Σύνδεση πλαστικών σωλήνων από σκληρό Ρ.Β.Κ.



Σχ. 4.10ιστ.

Σύνδεση αμιαντοσιμεντοσωλήνων χωρίς κεφαλή.



Σχ. 4.10ιζ.

Σύνδεση με ελικώσεις.

γ) Σύνδεση Gibault.

Οι σωλήνες αυτοί είναι σε όλο το μήκος τους κυλινδρικοί και χωρίς ειδικές διατάξεις στα άκρα τους. Η σύνδεσή τους γίνεται με τη βοήθεια ενός δακτύλιου και δύο οδηγών που συνδέονται μεταξύ τους με μπουλόνια. Όταν σφίγγομε τα μπουλόνια, οι οδηγοί πιέζουν το ελαστικό υλικό στο δακτύλιο επιτυγχάνοντας στεγανότητα.

Η σύνδεση Gibault (σχ. 4.10ιγ) είναι πολύ διαδεδομένη και εφαρμόζεται πολύ γιατί είναι απλή, εύκολη και έχει το πλεονέκτημα ότι εφαρμόζεται σε σωλήνες που δεν είναι ανάγκη να έχουν κεφαλή ή ειδική διάταξη στα άκρα τους.

Εκτός από τους τύπους που αναφέραμε, υπάρχουν και άλλοι (σχήματα 4.10ιδ, 4.10ιε και 4.10ιστ) που αποτελούν ευρεσιτεχνίες διαφόρων κατασκευαστικών οίκων. Έτσι έχομε από την απλούστερη με ελικώσεις (σχ. 4.10ιζ) των άκρων και περιλαίμιο, μέχρι τις πιο σύνθετες Victaulic, dressel, lauril, bauer κ.α.

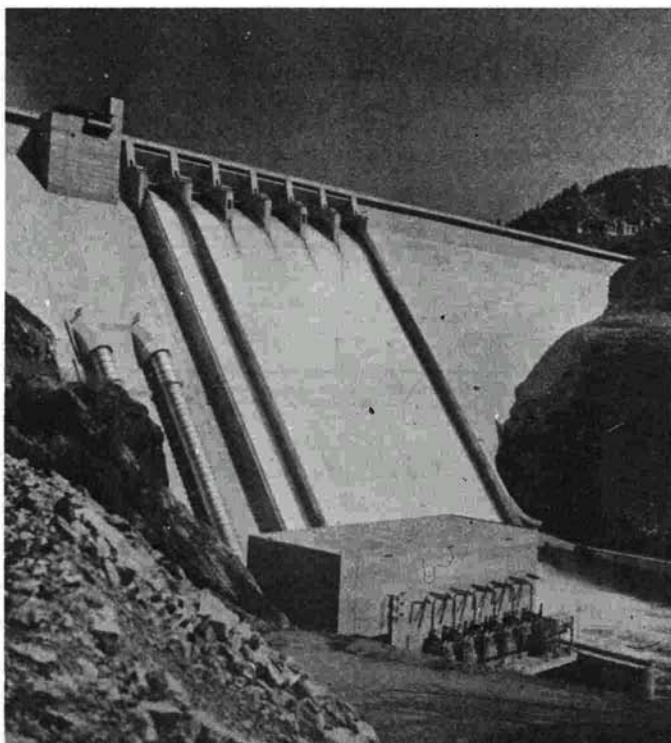
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΦΡΑΓΜΑΤΑ

5.1 Γενικά.

Φράγμα είναι τεχνικό έργο που κατασκευάζεται κάθετα στην κοίτη ενός φυσικού ρεύματος (ποταμού) για την αποκοπή της ροής, με σκοπό την αποθήκευση, παροχέτευση ή ανάσχεση της πλημμυρικής παροχής του ρεύματος (σχ. 5.1α και 5.1β).

Με την κατασκευή των φραγμάτων το νερό δεσμεύεται και χρησιμοποιείται για άρδευση, ύδρευση ή, επειδή περικλείει ενέργεια εξ αιτίας της διαφοράς στάθμης, για την κίνηση υδροστροβίλων και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το φράγμα



Σχ. 5.1α.

Φράγμα βαρύτητας κατά τη διάρκεια λειτουργίας των εκχειλιστών του.

του Ταυρωπού στην Καρδίτσα π.χ. χρησιμοποιεί το συγκρατούμενο νερό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (υδροηλεκτρικός σταθμός Ταυρωπού), για την ύδρευση της Καρδίτσας και των γύρω κοινοτήτων και για την άρδευση της πεδιάδας της Καρδίτσας (αρδευτικό δίκτυο Ταυρωπού).

Αρχικά, η ανάγκη εξασφαλίσεως νερού για άρδευση ανάγκασε τους ανθρώπους να κατασκευάσουν φράγματα. Αργότερα ακολούθησε η υδροδυναμική αξιοποίηση του αποθηκευμένου νερού και η τόσο μεγάλη χρησιμότητα των φραγμάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα φράγματα είναι έργα δαπανηρά, αλλά με μεγάλη οικονομική απόδοση και γι' αυτό επιδιώκεται η κατασκευή τους.

Η κατασκευή ενός φράγματος μελετάται ανάλογα με τον σκοπό που πρόκειται να εξυπηρετήσει και βρίσκεται τόσο ο καλύτερος τύπος του φράγματος όσο και οι απαιτούμενες διαστάσεις του. Τα φράγματα είναι έργα ιδιόμορφα και δεν είναι δυνατόν να τυποποιηθούν. Κάθε φράγμα έχει τη δική του λειτουργικότητα, τους δικούς του φυσικούς παράγοντες και το δικό του φυσικό περιβάλλον.



Σχ. 5.1β.
Σχηματική διάταξη φράγματος και της τεχνητής λίμνης.

Η κατασκευή ενός φράγματος και η δημιουργία τεχνητής λίμνης (σχ. 5.1β) δημιουργεί διαταραχές στο φυσικό περιβάλλον, μεγαλύτερες και εντονότερες από οποιοδήποτε άλλο έργο, γιατί στην περιοχή που κατακλύζεται από το νερό του ποταμού (λίμνη) συσσωρεύονται τεράστιες ποσότητες νερού με αποτέλεσμα το υπέδαφος να καταπονείται από τις αναπτυσσόμενες πιέσεις. Εκτός όμως από τις πιέσεις, οι μεγάλες ποσότητες του νερού δημιουργούν προβλήματα διαβρώσεων, διαρροών ή ακόμη και κατολισθήσεων στην περιοχή του φράγματος, που αν δεν προβλεφθούν για να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα μπορεί να οδηγήσουν στην καταστροφή του.

Από τις στατιστικές για τα αίτια που προκαλούν την καταστροφή των διαφόρων φραγμάτων στον κόσμο προκύπτει ότι τα σημαντικότερα είναι:

- Ανεπαρκής μελέτη των γεωλογικών συνθηκών της περιοχής του φράγματος.

- Ανεπαρκής στατική μελέτη.
- Θεομηνία που δεν προβλέφθηκε (υπερχείλιση).
- Σεισμική καταπόνηση.
- Κακότεχνη κατασκευή.

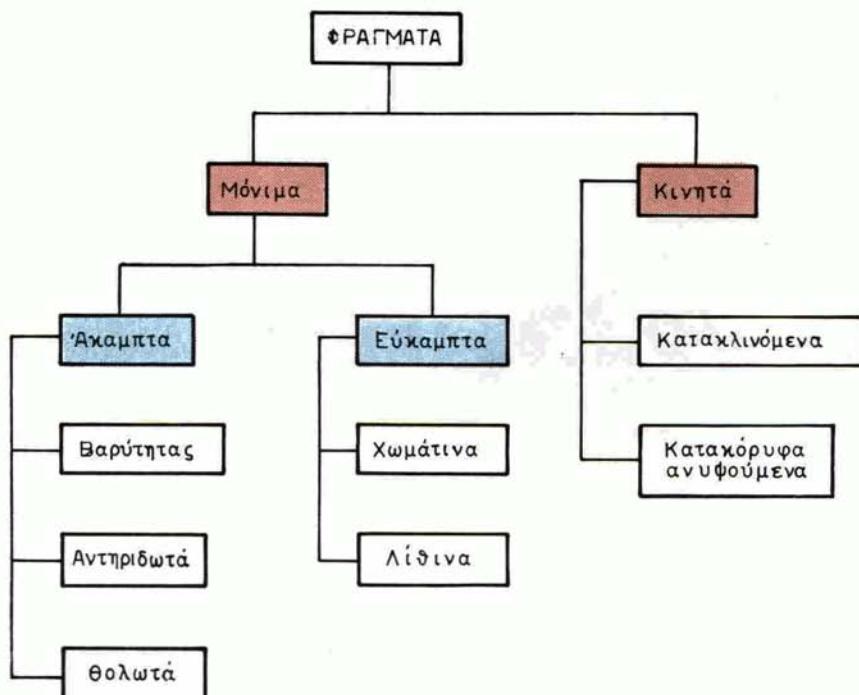
5.2 Είδη φραγμάτων.

Τα φράγματα διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την κατασκευή τους, τη λειτουργία τους και τη σκοπιμότητά τους.

Από κατασκευαστική πλευρά κατατάσσονται σύμφωνα με το διάγραμμα του σχήματος 5.2α.

Ανάλογα με τη λειτουργία διακρίνονται σε φράγματα ανυψώσεως της στάθμης, φράγματα αποθηκεύσεως και φράγματα παροχετεύσεως.

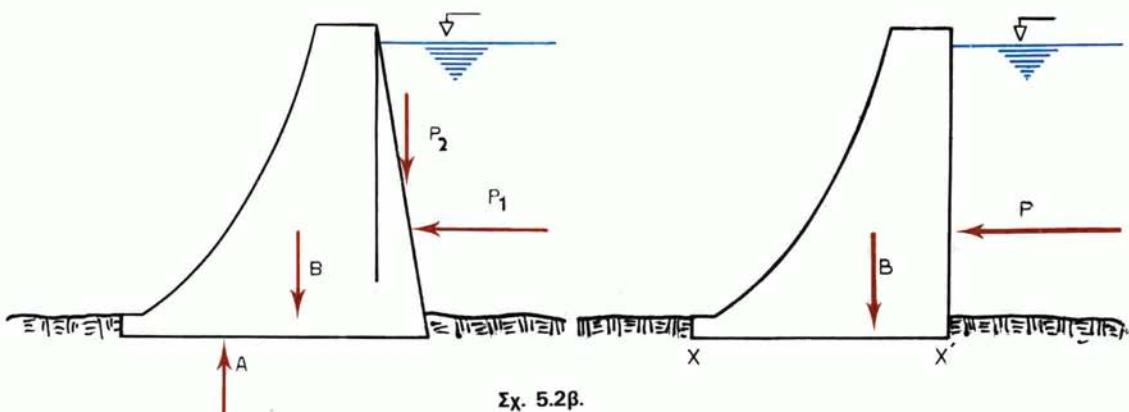
Τέλος, ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο γίνονται, χαρακτηρίζονται σαν φράγματα για άρδευση, για ύδρευση, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχ. 5.2α.

5.2.1 Φράγματα βαρύτητας.

Τα φράγματα βαρύτητας κατασκευάζονται έτσι, που να αντέχουν στις πιέσεις του νερού, με μόνο στοιχείο το μεγάλο βάρος τους. Η χάραξη του φράγματος σε οριζοντιογραφία μπορεί να είναι ευθύγραμμη ή καμπύλη, ανάλογα με την τοπογραφική διαμόρφωση της περιοχής και τις λειτουργικές ανάγκες.



Σχ. 5.2β.

Κατακόρυφη τομή ενός φράγματος βαρύτητας.

Οι δυνάμεις που ασκούνται σε ένα φράγμα βαρύτητας είναι (σχ. 5.2β).

α) Βάρος του φράγματος Β: Είναι η μεγαλύτερη δύναμη με διεύθυνση κατακόρυφη, που με την ύπαρξή της αντισταθμίζει τις άλλες δυνάμεις που τείνουν να ανατρέψουν το φράγμα.

β) Η πίεση του νερού Ρ: Η συνισταμένη δύναμη που ασκείται στην κατα-

κόρυφη παρειά του φράγματος έχει μέτρο $P = \frac{1}{2} \gamma h^2$.

Όταν η ανάντη παρειά του φράγματος δεν είναι κατακόρυφη, υπάρχουν δύο πιέσεις: μια οριζόντια P_1 , και μια κατακόρυφη P_2 .

γ) Άνωση Α: Οφείλεται στην υποπίεση του νερού που διηθείται κάτω από το φράγμα. Υπάρχει πάντοτε ανεξάρτητα από τα μέτρα στεγανοποιήσεως που παίρνονται.

δ) Πίεση των φερτών υλών: Είναι μικρή και δεν επηρεάζει σημαντικά την ισορροπία του φράγματος.

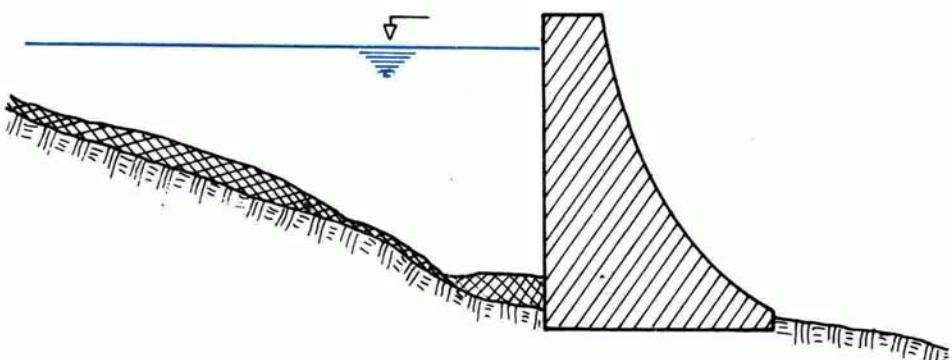
ε) Πίεση των πάγων.

στ) Σεισμικές δονήσεις.

ζ) Σεισμική πίεση του νερού.

Η σταθερότητα του όλου έργου χαρακτηρίζεται από την ασφάλεια σε ανατροπή και ολίσθηση. Η κατασκευή εδράζεται στην επιφάνεια Χ-Χ' (σχ. 5.2β) και μπορεί, κάτω από την υδροστατική πίεση P , να περιστραφεί γύρω από την ακμή Χ, όταν η συνισταμένη ροπή όλων των δυνάμεων προς το σημείο Χ τείνει να ανατρέψει το φράγμα. Μπορεί επίσης να γλυστρίσει επάνω στην επιφάνεια Χ-Χ' όταν η συνισταμένη των οριζόντιων δυνάμεων υπερβεί την οριακή τιμή του γινομένου των κατακόρυφων δυνάμεων με το συντελεστή τριβής.

Η εκλογή της θέσεως και των άλλων χαρακτηριστικών ενός φράγματος γίνεται ύστερα από μελέτη και πάντα σε συνάρτηση με την τοπογραφική διαμόρφωση της περιοχής, τη γεωλογική σύστασή της και τα υδρολογικά δεδομένα. Ο όγκος των μεταφερόμενων υλικών (στερεοπαροχή) από τον ποταμό που τροφοδοτεί την τεχνητή λίμνη (ταμιευτήρα) πρέπει να υπολογίζεται (πίεση φερτών υλών), γιατί επη-



Σχ. 5.2γ.

Τα φερτά υλικά μειώνουν τη χωρητικότητα του ταμιευτήρα.

ρεάζει τον όγκο της με τις συνεχείς αποθέσεις (σχ. 5.2γ).

Μερικά από τα μεγαλύτερα φράγματα στον κόσμο δίνει ο πίνακας 5.2.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.1

Μερικά από τα μεγαλύτερα φράγματα βαρύτητας στον κόσμο.

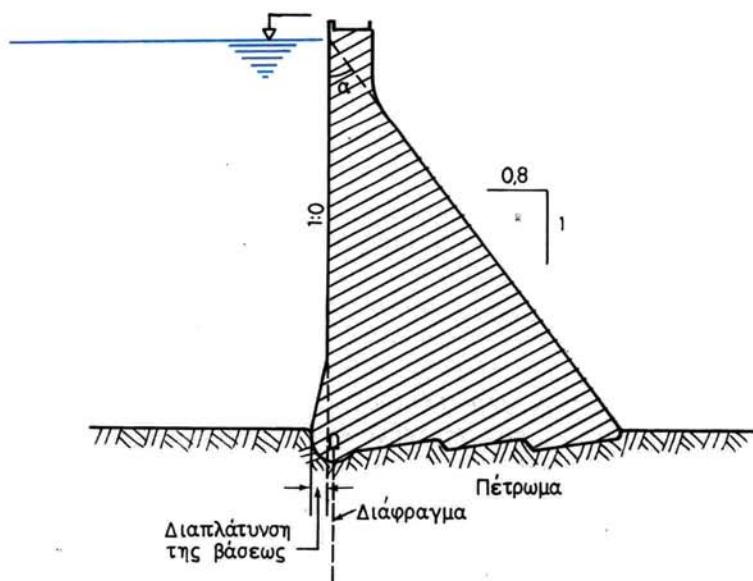
Όνομασία	Χώρα	Όγκος σε 10^3m^3	Υψος σε m	Μήκος σε m	Πλάτος στέψης σε m	Πλάτος βάσης σε m	Όγκος λίμνης σε m^3
Grand Coulee	H.Π.Α.	7.450	168	1.270	9,2	122	$11,7 \cdot 10^9$
Bratsk	Ε.Σ.Σ.Δ.	4.800	125	1.500	—	—	$169 \cdot 10^9$
Shasta	H.Π.Α.	4.765	184	1.055	9,2	173	$5,40 \cdot 10^9$
Solina	Πολωνία	2.034	80	805	—	—	$4,94 \cdot 10^8$
Friant	H.Π.Α.	1.550	97	1.060	6,1	82	$6,40 \cdot 10^8$
Guri	Βενεζουέλα	1.470	106	695	—	—	$17,6 \cdot 10^9$
Norris	H.Π.Α.	916	81	480	6,1	62	$3,35 \cdot 10^8$
New Croton	H.Π.Α.	654	73	217	6,7	57	$1,05 \cdot 10^8$
Warsak	Πακιστάν	369	72	198	—	—	$2,46 \cdot 10^8$
Beaumont	Καναδάς	242	72	405	—	—	$4,24 \cdot 10^8$
Parambikulum	Ινδία	230	73	320	—	—	$9,03 \cdot 10^8$
Somerset	Αυστραλία	205	50	282	—	—	$8,92 \cdot 10^8$
Λούρος	Ελλάδα	12	23	97	—	5,80	$37 \cdot 10^4$

Για την αποφυγή διηθήσεως νερού κάτω από το φράγμα και τη μείωση των υποπιέσεων που τείνουν να ανατρέψουν το φράγμα, κατασκευάζεται στο βραχώδες υπέδαφος ένα διάφραγμα (κοινώς κουρτίνα) με τσιμεντενέσεις που δεν επιτρέπει τη διόδο του νερού ενώ ταυτόχρονα δημιουργούνται στραγγιστικές γεωτρήσεις που συγκεντρώνουν το διηθούμενο νερό και ανακουφίζουν τη θεμελίωση (σχ. 5.2ε).



Σχ. 5.2δ.

Το φράγμα Limberg της Αυστρίας κατά τηδιάρκεια της κατασκευής του. Το φράγμα ανυψώνεται κατά τμήματα για την αποφυγή αναπτύξεως υψηλής θερμότητας ενυδατώσεως και τη δημιουργία ρηγμάτωσεων λόγω συρρικνώσεως της μάζας κατά τη σκλήρυνση. Οι αρμοί ανάμεσα στα διάφορα τμήματα κλείνουν με τη χρήση μονωτικών υλικών όπως π.χ. φύλλα χαλκού, ταινίες hydrofoil κλπ.



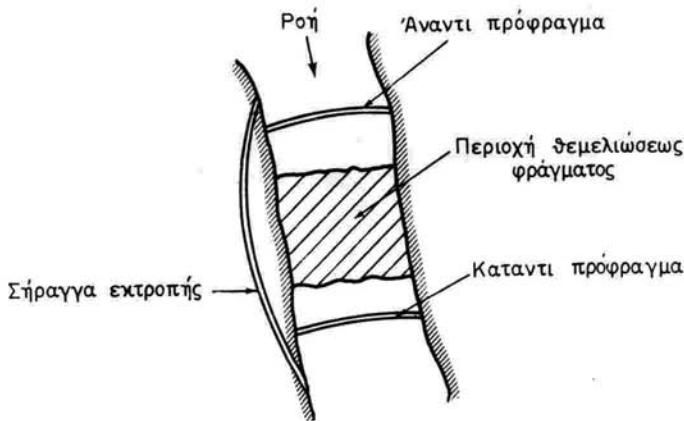
Σχ. 5.2ε.

Φράγμα βαρύτητας σε διατομή. Το διάφραγμα εμποδίζει τη διήθηση κάτω από το φράγμα.

Σημαντικό πρόβλημα στην κατασκευή ενός φράγματος μέσα στην κοιλάδα είναι το νερό του ποταμού. Η εκσκαφή για τη θεμελίωση εκτείνεται σε βάθος και η ύπαρξη νερού δυσκολεύει τις εργασίες. Έτσι πριν αρχίσει η κατασκευή, η περιοχή θεμελιώσεως πρέπει να απαλλαγεί από την ύπαρξη επιφανειακού και υπόγειου νερού.

Αυτό μπορεί να γίνει με δυο τρόπους:

α) Κατασκευή μιας σήραγγας πριν από τη θεμελίωση. (Σήραγγα εκτροπής) (σχ. 5.2στ). Στη σήραγγα αυτή διοχετεύεται όλη η παροχή του ρεύματος, αφού κατασκευαστεί λίγο πιο κάτω από το στόμιο της σήραγγας μικρό ανασχετικό φράγμα. Έτσι η περιοχή που θα γίνει η κατασκευή διατηρείται ξερή. Η σήραγγα μετά το πέρας της κατασκευής χρησιμοποιείται συνήθως σαν εκκενωτής της λίμνης. Πολλές φορές κατασκευάζεται και κατάντη λίγο πριν από την έξοδο της σήραγγας μικρό πρόφραγμα για την αποφυγή της αναστροφής της ροής κατά τις εκσκαφές των θεμελίων.

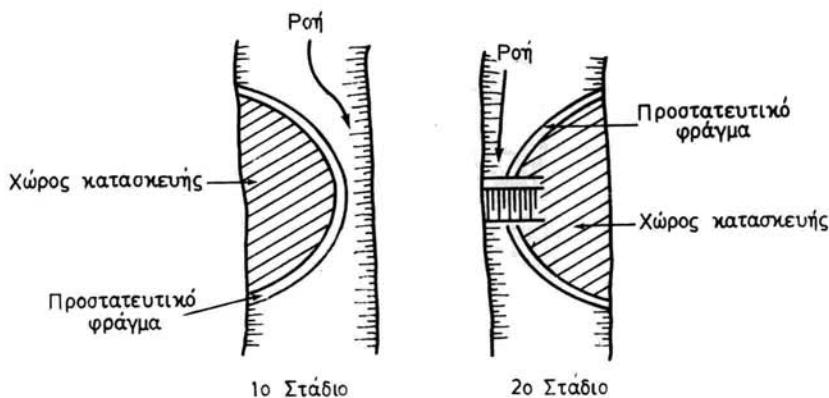


Σχ. 5.2στ.
Κατασκευή με σήραγγα εκτροπής.

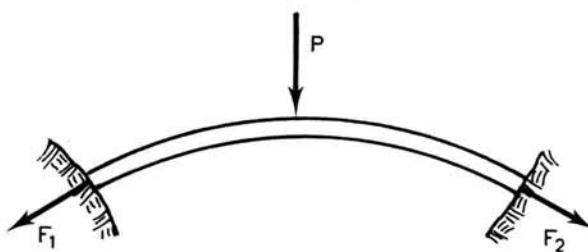
β) Σταδιακή κατασκευή του φράγματος (σχ. 5.2ζ). Στη σταδιακή κατασκευή δημιουργείται αρχικά ένα δακτυλιοειδές μικρό φράγμα που απομονώνει ένα χώρο της κοίτης από την επίδραση της ροής. Στο χώρο αυτό κατασκευάζεται ένα τμήμα του φράγματος. Η ροή του νερού γίνεται στο υπόλοιπο τμήμα της κοίτης (1ο στάδιο). Μετά το τέλος της κατασκευής του τμήματος αυτού δημιουργείται στο άλλο μισό της κοίτης ένα περιμετρικό δακτυλιοειδές φράγμα που συνδέεται με τη μέχρι τότε κατασκευή και απομονώνει το χώρο της νέας κατασκευής. Το νερό στο στάδιο αυτό περνά από τον εκκενωτή, που μπορεί να είναι ενσωματωμένος στο φράγμα, ή από θυρίδες που έχουν αφεθεί.

5.2.2 Φράγματα θολωτά.

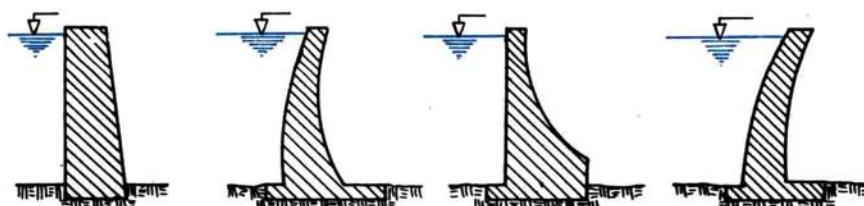
Τα φράγματα αυτά έχουν σε κάτοψη τοξοειδή μορφή (σχ. 5.2η). Η πίεση του νερού εφαρμόζεται στην κυρτή επιφάνεια του φράγματος από την οποία μεταβιβάζεται στις όχθες του ρεύματος. Τα θολωτά φράγματα κατασκευάζονται με τα κοίλα



Σχ. 5.2ζ.
Σταδιακή κατασκευή.



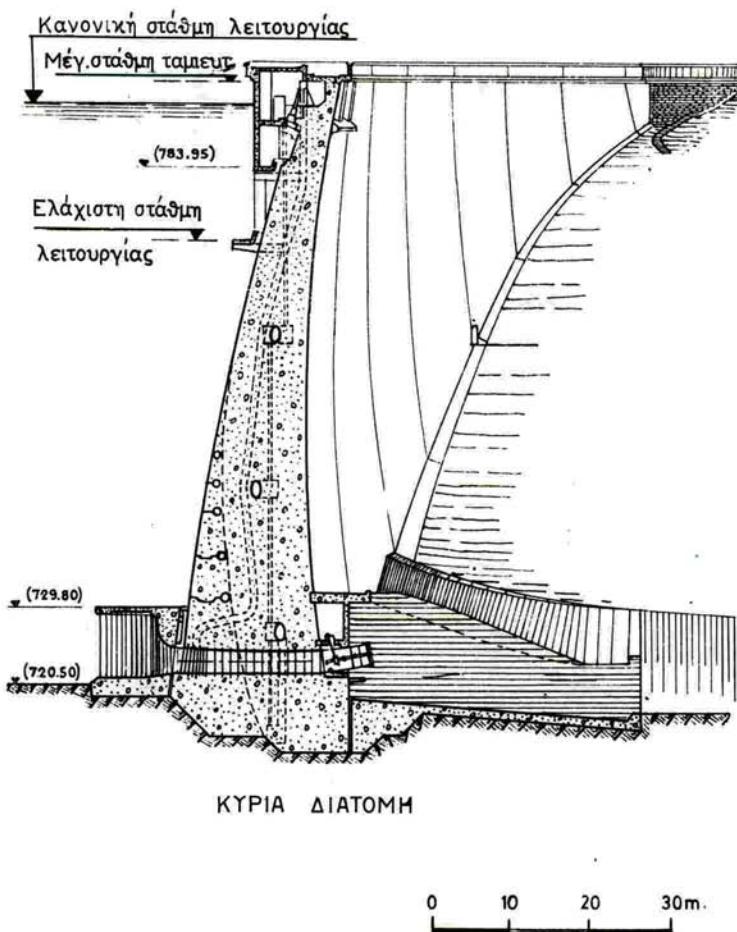
Σχ. 5.2η.
Σχηματική διάταξη θολωτού φράγματος (οριζοντιογραφία).



Σχ. 5.2θ.
Διατομές θολωτών φραγμάτων.

στραμμένα προς τα κατάντη και το όλο έργο υπόκειται σε τάσεις θλίψεως. Η διατομή ενός θολωτού φράγματος είναι λεπτή και μπορεί να φτάσει το 60% του όγκου ενός αντίστοιχου φράγματος βαρύτητας (σχ. 5.2θ).

Από πλευράς υπολογισμού ένα θολωτό φράγμα είναι μια πλάκα απλής ή σε πολλές περιπτώσεις διπλής καμπυλότητας (σχ. 5.2ι), μικρού πάχους, πακτωμένη στις δύο στηρίξεις της. Βασική αρχή για τον υπολογισμό ενός θολωτού φράγματος είναι η αποκοπή του σε σειρές οριζόντιων και κατακόρυφων τόξων και η αυτοτελής στατική μελέτη του κάθε τόξου σαν να μην υπήρχε σύνδεση του ενός τόξου με το προηγούμενό του.



Σχ. 5.2ι.

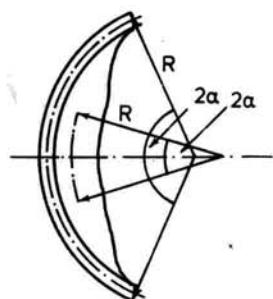
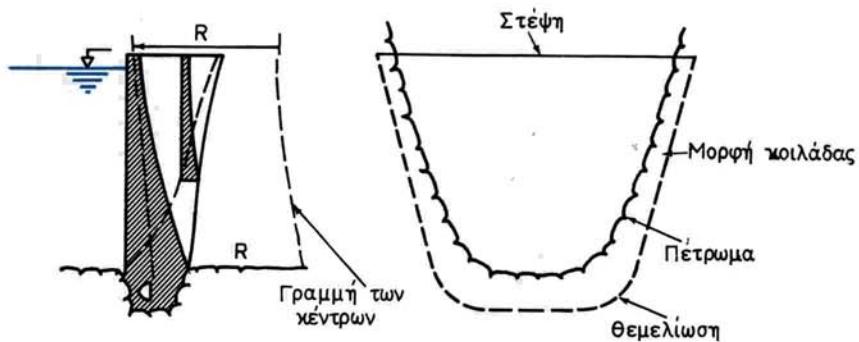
Το φράγμα του Ταυρωπού της Καρδίτσας, είναι θολωτό φράγμα διπλής καμπυλότητας.

Το άνοιγμα του θόλου προκύπτει από την παραδοχή ότι το ελάχιστο κόστος κατασκευής αντιστοιχεί στον ελάχιστο όγκο του φράγματος, κι αυτός είναι ελάχιστος αν η επίκεντρη γωνία είναι 120° περίπου.

Στην επιλογή της μορφής του θόλου παίζει ρόλο και η μορφή της κοιλάδας μέσα στην οποία θα κατασκευαστεί το φράγμα (σχ. 5.2ια, 5.2ιβ).

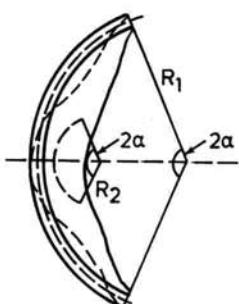
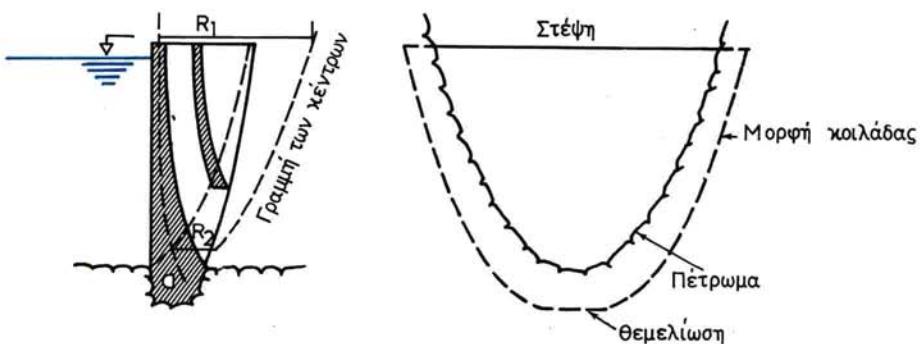
Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η κατασκευή θολωτών φραγμάτων επιβάλλεται σε περιπτώσεις που η κοιλάδα έχει απότομες κλίσεις και το φράγμα πρέπει να γίνει ψηλό, γιατί η κατασκευή οποιασδήποτε άλλης μορφής φράγματος θα απαιτούσε υπερβολικά μεγάλο πλάτος βάσεως και φυσικά όγκου.

Στις μέρες μας, με την εξέλιξη της εδαφομηχανικής και τη μεγάλη ανάπτυξη των εκσκαπτικών μηχανημάτων, κατασκευάζονται χωμάτινα φράγματα. Τα θολωτά φράγματα εφαρμόστηκαν κυρίως από τις αρχές του αιώνα μέχρι το 1960 και σή-



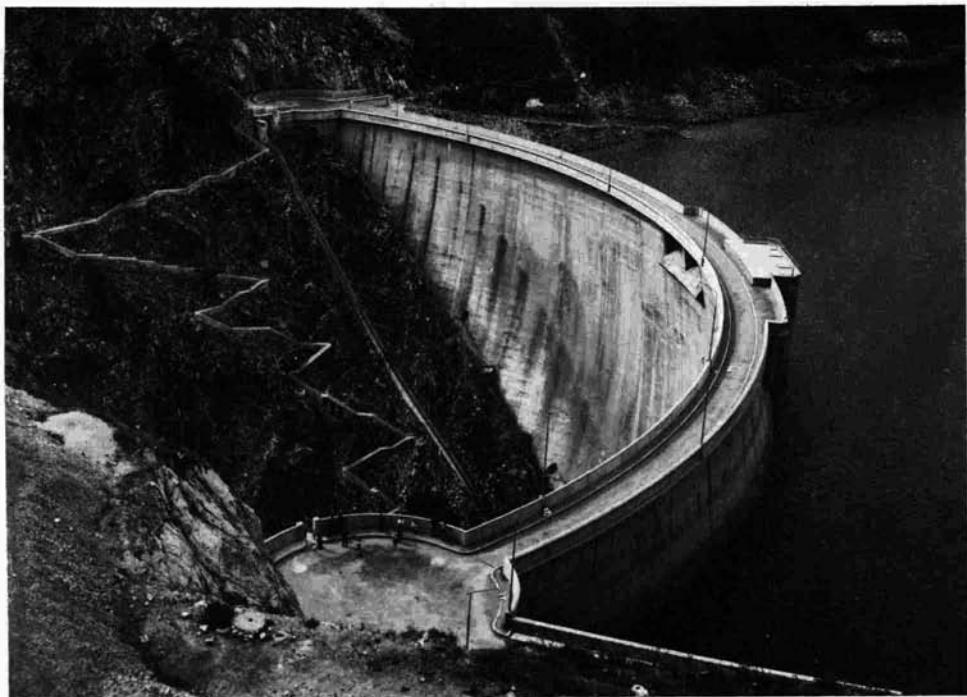
Σχ. 5.2ια.

Κάτοψη και διατομή θολωτού φράγματος με τόξο σταθερού ανοίγματος.



Σχ. 5.2ιβ.

Κάτοψη και διατομή θολωτού φράγματος με κυλινδρική παρειά ανάτη.



Σχ. 5.2ιγ.
Το φράγμα του Ταυρωπού Καρδίτσας.

μερα σε περιπτώσεις που δεν είναι εφικτή η κατασκευή χωμάτινου φράγματος. Απαιτούν πολύπλοκο ξυλότυπο και δύσκολη κατασκευή. Στην Ελλάδα θολωτό φράγμα είναι μόνο το φράγμα του Ταυρωπού της Καρδίτσας (σχ. 5.2ιγ).

Από τα μεγαλύτερα θολωτά φράγματα του κόσμου δίνει ο πίνακας 5.2.2.

5.2.3 Φράγματα χωμάτινα.

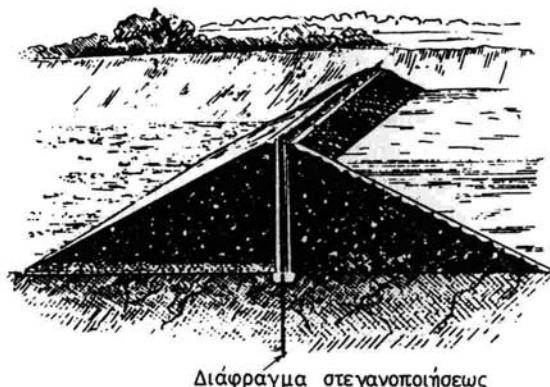
a) Γενικά.

Σαν χωμάτινα χαρακτηρίζονται τα φράγματα που κατασκευάζονται από γαιώδη υλικά (σχ. 5.2ιδ). Η μορφή των φραγμάτων αυτών έχει τραπεζοειδή διατομή (σχ. 5.2ιε) και στέψη διαμορφωμένη σε δρόμο. Στο κέντρο της διατομής του φράγματος και κατά μήκος του άξονα κατασκευάζεται ένα στρώμα αδιαπέρατο, αποτελούμενο συνήθως από συμπυκνωμένη, καλής ποιότητας άργιλλο, που αποτελεί το λεγόμενο πυρήνα (σχ. 5.2στ). Κάτω από τον πυρήνα και μέχρι ορισμένο βάθος κατασκευάζεται διάφραγμα για την ανακοπή της υπόγειας ροής του νερού. Γύρω από τον πυρήνα τοποθετούνται υλικά όχι απαραίτητα αδιαπέρατα, που διαμορφώνουν το σώμα του φράγματος (σχ. 5.2ιη).

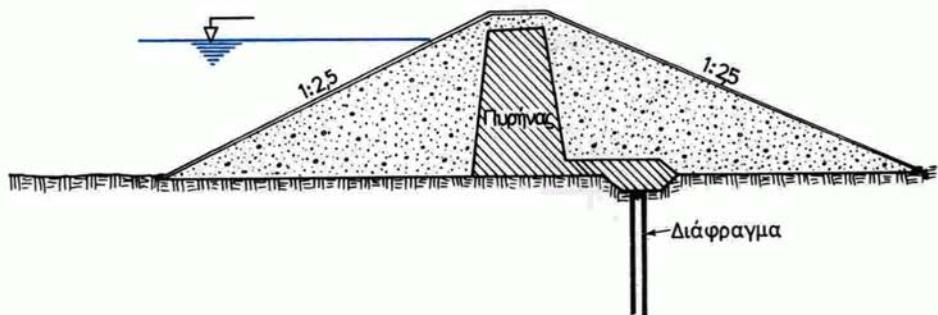
Τα χωμάτινα φράγματα προτιμούνται από τα μονολιθικά σε περιπτώσεις που απαιτείται μεγάλου ύψους και μήκους φράγμα και σε περιπτώσεις όχι καλού εδάφους θεμελιώσεως, όπου ενδείκνυται η εύκαμπτη κατασκευή από γαιώδη υλικά,

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.2
Μερικά από τα μεγαλύτερα θολωτά φράγματα στον κόσμο.

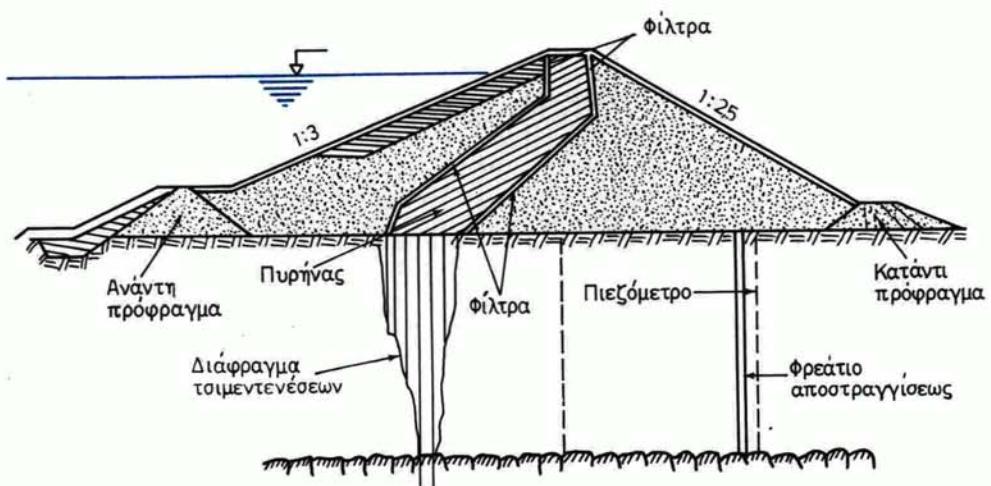
Όνομασία	Χώρα	Ύψος σε m	Μήκος σε m	Πλάτος στέψεως σε m	Πλάτος βάσεως σε m	Όγκος σε 10^3 m^3	Όγκος λίμνης σε 10^6 m^3
Contra	Ελβετία	230	380	—	—	660	86,5
Hoover	Η.Π.Α.	222	380	13,7	202	2485	38.400
Glen Canyon	Η.Π.Α.	214	473	7,6	104	3700	34.600
Kurobegawa	Ιαπωνία	186	490	—	—	1365	200
Tignes	Γαλλία	181	376	8,0	43,5	635	230
Vidraru	Ρουμανία	166	β	—	—	500	452
Ross	Η.Π.Α.	165	369	10,5	58	—	—
Hungry Horse	Η.Π.Α.	159	645	11,9	101	2220	4.320
Bhumiphol	Ταϊλάνδη	154	486	—	—	1000	1.220
St. Giustina	Ιταλία	153	125	3,5	16,5	112	—
Morrow Point	Η.Π.Α.	143	230	3,7	16	275	144
Lumiei	Ιταλία	136	138	3,1	16	104	—
Owyhee	Η.Π.Α.	127	254	9,2	81	373	1.380
Sautet	Γαλλία	126	80	4,0	75	—	—
Pacoima	Η.Π.Α.	114	195	3,1	30	172	7,5
Diablo	Η.Π.Α.	111	160	4,9	43	268	—
Arrowrock	Η.Π.Α.	107	350	4,9	68	442	352
Gastillon	Γαλλία	100	200	4,0	17	125	—
Morse Mesa	Η.Π.Α.	93	239	2,4	13	112	302
Ponte Racli	Ιταλία	92,5	120	2,4	6	18	—
Angostura	Μεξικό	92	178	3,5	31	—	1.270
Aigle	Γαλλία	90	290	5,5	45	—	—
Cachi	Κόστα Ρίκα	87	70	—	—	25	53
Bimont	Γαλλία	87	140	4,0	18	180	—
Forte Buso	Ιταλία	85	316	5,0	34	—	—
Ταυρώπου	Ελλάδα	83	220	5,5	23	100	400
Rossernes	Ελβετία	83	320	5,0	28	250	—
Mareges	Γαλλία	83	198	3,0	19	185	—
Pian Telessio	Ιταλία	83	467	5,8	32,8	—	—



Σχ. 5.2ιδ.
 Μορφή ενός χωμάτινου φράγματος.



Σχ. 5.2ιε.
Διατομή χωμάτινου φράγματος.



Σχ. 5.2ιστ.
Αυτοκινούμενο κατσικοπόδαρο.

που μπορούν να παραμορφωθούν και να παρακολουθήσουν μικρές μετακινήσεις της θεμελιώσεως χωρίς να διαταραχθεί η συνοχή τους.

Η φύση του εδάφους της θεμελιώσεως είναι δυνατόν να επιβάλλει τη λήψη ειδικών μέτρων για την εξασφάλιση της σταθερότητας όχι μόνο του σώματος του φράγματος αλλά και της θεμελιώσεως.

Τα χωμάτινα φράγματα είναι οικονομικότερα από τα φράγματα από σκυρόδεμα, εκτός από ειδικές περιπτώσεις που η χωματοληψία (κατάλληλα γαιώδη υλικά, άργιλλος) βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση.

Ο όγκος ενός χωμάτινου φράγματος είναι τεράστιος και η μεταφορά των ποσοτήτων αυτών επηρεάζει οικονομικά το έργο. Τόσο η άργιλλος όσο και τα υπόλοιπα γαιώδη υλικά πρέπει να βρίσκονται σε κοντινή απόσταση, γιατί σε αντίθετη περίπτωση το κόστος μεγαλώνει υπερβολικά. Η μεταφορά των χωμάτων γίνεται από δανειοθαλάμους με οχήματα μεγάλης χωρητικότητας και η διάστρωσή τους με



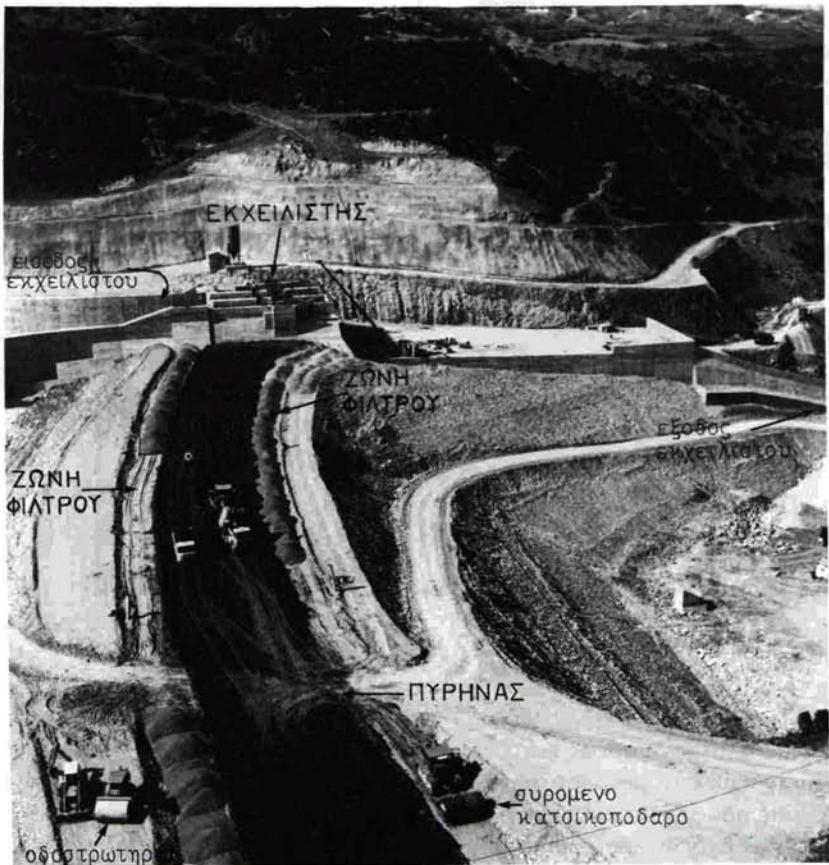
Σχ. 5.2ιζ.
Διατομή χωμάτινου φράγματος με κεκλιμένο πυρήνα.

σκρέιπερς ή ισοπεδωτήρες κατά στρώσεις 0,30 m. Κάθε στρώση κυλινδρώνεται και συμπυκνώνεται με οδοστρωτήρες, κατσικοπόδαρα (σχ. 5.2ιζ) ή ειδικούς δονούμενους οδοστρωτήρες. Η υγρασία των υλικών πρέπει να είναι η βέλτιστη για να επιτυχάνεται η προδιαγραφόμενη κατά Proctor συμπύκνωση.

Οι δανειοθάλαμοι (χωματοληψία) πρέπει να εξετάζονται τόσο από άποψη αποσάσεως όσο και ποιότητας. Η ποιότητα του υλικού του δανειοθαλάμου ελέγχεται με γεωτρήσεις. Στα δείγματα που παίρνονται από τα διάφορα βάθη μετριέται η περιεκτικότητα σε υγρασία και η κοκκομετρική σύνθεση. Η κοκκομετρική σύνθεση πρέπει να δίνει κόκκους όλων των διαμέτρων, γιατί τα χονδρόκοκκα στοιχεία εξασφαλίζουν την ευστάθεια, ενώ τα λεπτόκοκκα την απαραίτητη στεγανότητα.

Τα γαιώδη υλικά από τα οποία αποτελείται ένα χωμάτινο φράγμα παρουσιάζουν μεγάλη διαπερατότητα. Η στεγανότητα του φράγματος επιτυγχάνεται με την κατασκευή του αδιαπέρατου πυρήνα από άργιλλο. Ο πυρήνας εκτείνεται περισσότερο ή λιγότερο μέσα στο έδαφος ενώ στη συνέχεια και μέχρι το αδιαπέρατο στρώμα κατασκευάζεται διάφραγμα διακοπής της υπόγειας ροής με πασσάλους, τσιμεντενέσεις και εγχύσεις τσιμέντου. Ο πυρήνας δεν κατασκευάζεται πάντα κατακόρυφα κατά την έννοια της διατομής αλλά και κεκλιμένος (σχ.5.2ιστ).

Τα πρανή προστατεύονται από τη διαβρωτική επίδραση των κυματισμών της λίμνης με ειδική επίστρωση από λιθορριπή, που έχει πάχος 0,50 - 1,00 μέτρο. Η υψομετρική τοποθέτηση της στέψεως είναι θέμα μελέτης. Μπορούμε όμως να πούμε ότι τοποθετείται 3,00 m τουλάχιστον επάνω από την ανώτατη στάθμη του νερού για να αποφευχθεί τυχόν υπερχείλιση, που θα είχε καταστρεπτικές συνέπειες για το κατάντη πρανές και φυσικά για το ίδιο το φράγμα.



Σχ. 5.2η.

Το χωμάτινο φράγμα των Ασωμάτων που κατασκεύασε η εταιρία ΑΕΓΕΚ. Διακρίνεται ο πυρήνας, δυο ζώνες φίλτρων δεξιά και αριστερά από τον πυρήνα και στο βάθος ο υπερχειλιστής του φράγματος.

β) Θεμελίωση ενός χωμάτινου φράγματος.

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των χωμάτινων φραγμάτων είναι ότι μπορούν να θεμελιωθούν σε έδαφος όχι πάντα καλό. Για μικρά φράγματα (ύψος 3-5 m) η μελέτη θεμελιώσεως περιορίζεται σε μερικές γεωτρήσεις όχι μεγάλου βάθους με τις οποίες διαπιστώνεται η φύση του υπεδάφους. Το υπέδαφος και το έδαφος της θεμελιώσεως κρίνονται ικανοποιητικά για τη θεμελίωση αν δεν παρουσιάζουν:

- α) Αργιλλώδη στρώματα.
- β) Στρώματα με ρωγμές.
- γ) Ασταθή εδάφη (κατολισθαίνοντα).
- δ) Εδάφη έντονα διαπερατά.

Τα μεγαλύτερα φράγματα απαιτούν μεγαλύτερη προσοχή στις γεωτεχνικές ερ-

γασίες. Πρέπει να εξακριβωθεί η φύση και το βάθος για τις διάφορες στρώσεις του υπεδάφους, η έκτασή τους και η κατανομή τους.

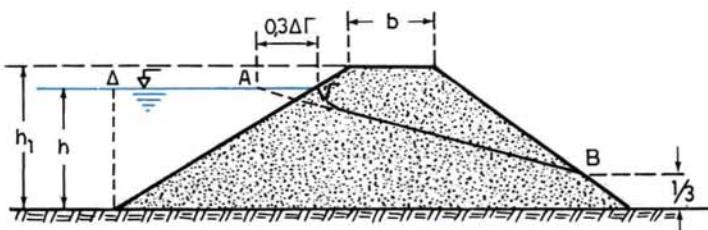
γ) Διήθηση του νερού μέσα στο φράγμα.

Κανένα φράγμα δεν μπορεί να θεωρηθεί αδιαπέρατο. Όλα τα φράγματα παρουσιάζουν διήθηση νερού μέσα στο σώμα τους κάτω από αυτό. Κάτω από την επιρροή της διηθήσεως τα λεπτότατα σωματίδια τείνουν να ακολουθήσουν τη διεύθυνση της ροής και τελικά να φύγουν από το κατάντη άκρο του φράγματος.

Για την αποφυγή μεταφοράς λεπτόκοκκου υλικού από το σώμα του φράγματος προς τους στραγγιστήρες που βρίσκονται στο κατάντη άκρο, τα φίλτρα που περιβάλλουν τον πυρήνα κατασκευάζονται με υλικό διαβαθμισμένο κατά στρώσεις.

Η επιφάνεια διαχωρισμού ανάμεσα στο ξερό τμήμα του φράγματος και το κορεσμένο, με νερό τμήμα λέγεται **γραμμή κορεσμού** και μπορούμε να πούμε χωρίς μεγάλο λάθος ότι είναι η επιφάνεια όπου θα βρίσκαμε νερό αν ανοίγαμε γεωτρήσεις στο σώμα του φράγματος. Η γραμμή τέμνει την ελεύθερη επιφάνεια του νερού σε απόσταση περίπου $3/10$ της οριζόντιας αποστάσεως από το σημείο τομής φράγματος ελεύθερης επιφάνειας και του άκρου του ανάντη πρανούς του φράγματος (σχ. 5.2ιθ), δηλαδή:

$$\Delta \Gamma = 0,3 \cdot \Delta \Gamma$$



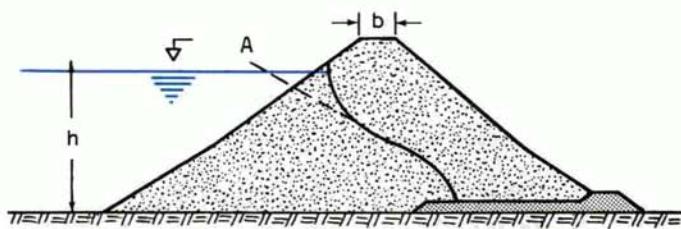
Σχ. 5.2ιθ.

Η γραμμή κορεσμού σε φράγμα με ομοιογενές γαιώδες υλικό. Πρέπει να αποφεύγεται η τομή της με την κατάντη παρεία του φράγματος.

Όταν το υλικό κατασκευής του φράγματος είναι ομοιογενές, τότε η γραμμή κορεσμού μπορεί χωρίς μεγάλο σφάλμα να παρασταθεί με ευθεία. Στο σημείο εισροής του νερού (ανάντη πρανές) η γραμμή κορεσμού είναι κάθετη στην επιφάνεια του πρανούς του φράγματος, ενώ στο κατάντη άκρο, όταν υπάρχει φίλτρο, είναι σχεδόν κατακόρυφη (σχ. 5.2κ).

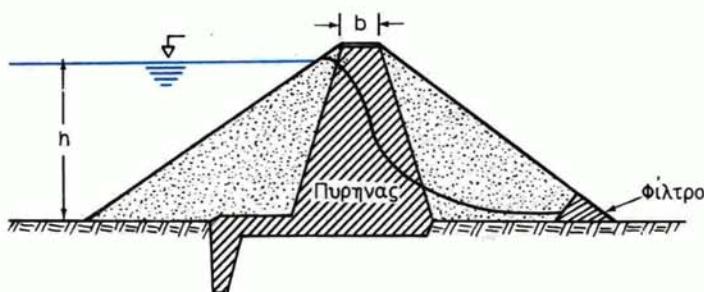
Όταν το φράγμα κατασκευάζεται με πυρήνα, η γραμμή κορεσμού πέφτει από τομα προς το έδαφος, αφού η ύπαρξη του πυρήνα περιορίζει στο ελάχιστο τη διήθηση και κίνηση του νερού μέσα στη μάζα του φράγματος (σχ. 5.2κα).

Η ύπαρξη φίλτρου στο άκρο του κατάντη πρανούς κατεβάζει τη γραμμή κορεσμού στο επιθυμητό επίπεδο. Η κατασκευή του φίλτρου πρέπει να γίνεται έτσι που οι κόκκοι να είναι διαβαθμισμένοι για να μην παρασύρονται από τη ροή του νερού (σχ. 5.2κβ).



Σχ. 5.2κ.

Η ύπαρξη φίλτρου στο άκρο του κατάντη πρανούς απομακρύνει τη γραμμή κορεσμού από το κατάντη πρανές.



Σχ. 5.2κα.

Όταν το φράγμα έχει πυρήνα, η γραμμή κορεσμού πέφτει απότομα.



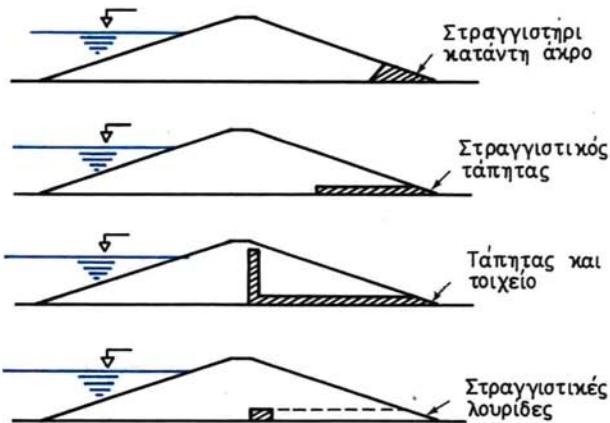
Σχ. 5.2κβ.

Διαμόρφωση του τάπητα και του φίλτρου ενός χωμάτινου φράγματος.

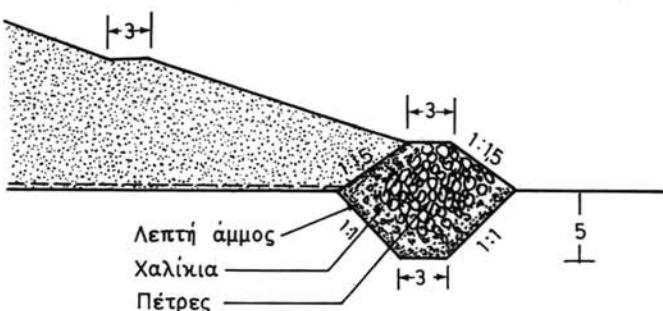
Εκτός από το φίλτρο η γραμμή κορεσμού μπορεί να κατεβεί με την τοποθέτηση στο κατάντη άκρο του φράγματος ενός στραγγιστικού τάπητα παράλληλα με το φίλτρο (σχ. 5.2κδ, 5.2κε).

δ) Τοποθέτηση φίλτρου και στραγγιστήρων.

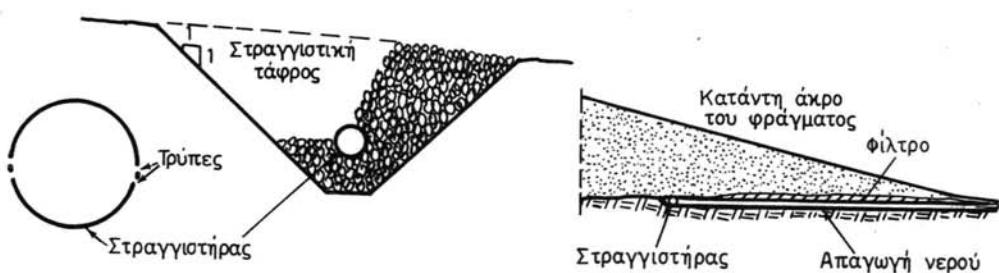
Φίλτρα και στραγγιστήρια που συλλέγουν και απομακρύνουν το νερό της διηθήσεως μπορούν να τοποθετηθούν κατά πολλούς τρόπους και σε διάφορες θέσεις που η καθεμιά παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα (σχ. 5.2κγ). Για τις περισσότερες περιπτώσεις μπορούμε να πούμε πως ο καλλίτερος τρόπος απομακρύνσεως του διηθούμενου νερού είναι η κατασκευή φίλτρου και τάπητα (σχ. 5.2κβ) με διαβάθμιση υλικών από λεπτόκοκκο σε χονδρό, για την αποφυγή μεταφοράς με το νερό των λεπτών υλικών από το φράγμα και το έδαφος.



Σχ. 5.2κγ.
Διάφοροι τρόποι διαμορφώσεως του στραγγιστικού τάπητα.



Σχ. 5.2κδ.
Το φίλτρο που μπορεί να κατασκευαστεί κατά ένα τρήμα μέσα στο έδαφος αποτελείται από διαβαθμισμένο υλικό (πέτρες, χαλίκια, άμμος).



Σχ. 5.2κε.

Ο στραγγιστήρας συγκεντρώνει το νερό και το απομακρύνει κατάντη του φράγματος.

ε) Διήθηση κάτω από το φράγμα.

Είναι πολλές οι περίπτωσείς που ένα χωμάτινο φράγμα θεμελιώνεται σε αλλου-

βιακές αποθέσεις, διαπερατά στρώματα άμμου και χαλικιών καθώς και σε αδιαπέρατα ρηχά στρώματα.

Όταν η θεμελίωση του φράγματος γίνεται σε διαπερατά στρώματα, τότε η διήθηση του νερού κάτω από το φράγμα μπορεί να πάρει ανησυχητικές διαστάσεις. Για την αποφυγή των προβλημάτων αυτών γίνονται έργα που αποσκοπούν στη διακοπή (ουσιαστικά πρόκειται για μεγάλη μείωση) της διηθήσεως.

Παράδειγμα.

Η διαπερατότητα του εδάφους θεμελιώσεως ενός φράγματος είναι $K = 7,52 \cdot 10^{-4}$ m/s. Το αδιαπέρατο στρώμα βρίσκεται σε βάθος $B = 15,25$ m. Το φορτίο ανάμεσα στην κατάντη και ανάντη στάθμη του νερού είναι 26,00 m. Ο συντελεστής διαπερατότητας ενός διαφράγματος από άργιλλο είναι $K = 0,3 \cdot 10^{-7}$ m/s. Το μήκος της διηθήσεως είναι $L = 122$ m και το μήκος του διαφράγματος $L' = 6,00$ m. Ζητείται η διήθηση πριν και μετά την κατασκευή του διαφράγματος.

Λύση.

Η επιφάνεια που περνά το νερό είναι $E = 1$ m (πλάτος) . 15,25 m (βάθος) = 15,25 m².

$$Q = K \cdot i \cdot E = K \frac{h}{L} \cdot E$$

Η παροχή Q_1 ανά μέτρο πλάτους χωρίς το διάφραγμα θα είναι:

$$Q_1 = \frac{7,54 \cdot 10^{-4} \text{ (m/s)} \cdot 26 \text{ (m)} \cdot 15,25 \text{ (m)}}{122 \text{ (m)}} = \frac{0,299}{122} = 0,0025 \text{ m}^3/\text{m.s}$$

ή $Q_1 = 0,0025 \cdot 86400 = 216 \text{ m}^3/\text{μέρα}$ (1μέρα = 86400 sec).

Η παροχή Q_1 ανά μέτρο πλάτους μετά την κατασκευή του διαφράγματος θα είναι:

$$\sigma = K \cdot \frac{\Gamma}{\mu} \cdot E$$

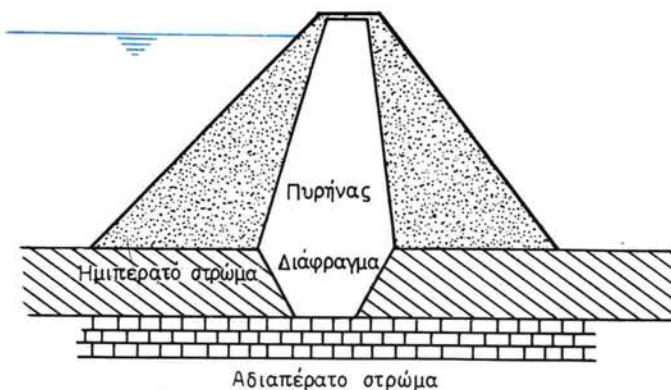
$$Q_2 = \frac{0,3 \cdot 10^{-7} \text{ (m/s)} \cdot 26 \text{ (m)} \cdot 15,25 \text{ (m)}}{6,0 \text{ (m)}} = \frac{0,000012}{6} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m.s}$$

$$\text{ή } 2 \cdot 10^{-6} \cdot 86400 = 0,17 \text{ m}^3/\text{μέρα}$$

Η διήθηση με την κατασκευή διαφράγματος από 216 m³/μέρα γίνεται 0,17. Δηλαδή γίνεται λιγότερο από το ένα χιλιοστό. Η μείωση αυτή της ποσότητας της διηθήσεως είναι πολύ σημαντική για τη λειτουργία του φράγματος.

στή Μέτρα μειώσεως της διηθήσεως κάτω από το φράγμα.

Όταν το βάθος του διαπερατού στρώματος δεν ξεπερνάει τα 10 m η οικονομικότερη λύση είναι η διάνοιξη μιας τάφρου μέχρι το αδιαπέρατο στρώμα και η πλή-



Σχ. 5.2κστ.

Θεμελίωση φράγματος σε ημιπερατό στρώμα μικρού πάχους και κατασκευή διαφράγματος από άργιλλο.

ρωσή της με κατάλληλα γαιώδη υλικά (άργιλλος) που κυλινδρώνονται, συμπυκνώνονται και αποτελούν ένα αδιαπέρατο στρώμα (σχ.5.2κστ.).

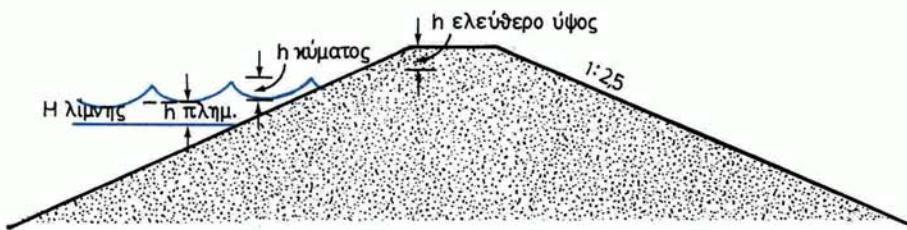
Όταν όμως τό βάθος ξεπερνά τα 10 m, τότε προσφέρεται περισσότερο η λύση της κατασκευής διαφράγματος (κουρτίνα), που γίνεται με την έγχυση τσιμέντου ή άλλου μίγματος υλικών. Προϋπόθεση τέτοιων κατασκευών είναι η δυνατότητα εφαρμογής τσιμέντενέσεων (ενέσιμο έδαφος) και η χρήση τσιμέντου με ειδική άλεση για τσιμεντενέσεις.

Το υλικό για την κατασκευή του διαφράγματος πρέπει να είναι λεπτόρρευστο για να μπορεί να διεισδύει στις σχισμές του υπεδάφους και να κλείνει τα ανοίγματα. Αν στο μίγμα περιέχονται κόκκοι τότε φράζεται η δίοδος του μίγματος στο υπέδαφος, και εμποδίζεται η εξάπλωση του διαφράγματος.

Υπάρχουν διάφορα είδη μιγμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τη δομή του υπεδάφους, όπως φαίνεται στον πίνακα 5.2.3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.3.

α/α	Υπέδαφος	Υλικό
1	Βράχος με μεγάλες κοιλότητες	<ul style="list-style-type: none"> – Τσιμέντο + άμμος – Τσιμέντο + άργιλλος + άμμος – Άργιλλος + άμμος
2	Βράχος με μικρές κοιλότητες	<ul style="list-style-type: none"> – Τσιμέντο + άργιλλο + λεπτή άμμος – Τσιμέντο + λεπτή άμμος
3	Βράχος με λεπτές σχισμές	<ul style="list-style-type: none"> – Τσιμέντο – Τσιμέντο + ιπτάμενη τέφρα
4	Χοντρόκοκκα χαλίκια	<ul style="list-style-type: none"> – Τσιμέντο – Τσιμέντο + λεπτή άμμος
5	Λεπτή άμμος	<ul style="list-style-type: none"> – Τσιμέντο – Χημικά
6	Λεπτόκοκκο έδαφος (πηλώδες)	<ul style="list-style-type: none"> – Χημικό διάλυμα με μικρό ιεώδες και αργή αντίδραση.



Σχ. 5.2κζ.

Το ύψος του φράγματος είναι $H_{φρ} = H_{λίμνης} + h_{πλημμύρας} + h_{κύματος} + h_{ελεύθερο}$.

δ) Ύψος του φράγματος.

Το απαιτούμενο ύψος ενός χωμάτινου φράγματος είναι το ύψος από τη θεμέλιωσή του μέχρι την ελεύθερη στάθμη του νερού, αυξημένο κατά ένα ελεύθερο ύψος επάνω από την επιφάνεια της λίμνης, για την εξασφάλισή του από τους κυματισμούς, τον παγετό ή μια απρόβλεπτη πλημμυρική παροχή (σχ.5.2κζ).

Στατιστικές καταστροφής χωμάτινων δραγμάτων απέδειξαν ότι το 40% οφείλονταν σε υπερχείλιση του νερού πάνω από τη στέψη του φράγματος (αδυναμία του υπερχειλιστή να παραλάβει το φορτίο πλημμύρας).

η) Όγκος του φράγματος.

Έχοντας σαν βάση όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, προσδιορίζονται οι κύριες διαστάσεις του φράγματος. Ο όγκος του μπορεί να προσδιοριστεί κατά προσέγγιση με τη βοήθεια του τοπογραφικού διαγράμματος της θέσεως κατασκευής (υψομετρικές καμπύλες).

θ) Πλάτος στέψεως.

Το πλάτος της στέψεως ενός χωμάτινου φράγματος πρέπει να είναι αρκετό για να κρατήσει τη γραμμή κορεσμού μέσα στο σώμα του φράγματος, όταν η λίμνη γεμίσει. Πρέπει να μπορεί επίσης να αντιμετωπίσει τις σεισμικές δονήσεις.

Το πλάτος στα χαμηλά φράγματα ρυθμίζεται με άλλα (απλά) κριτήρια, όπως π.χ. το ελάχιστο πλάτος δρόμου (4,00 m), ενώ για μεγάλα μπορεί να φθάσει στο 1/3 με 1/4 του ύψους του φράγματος.

ι) Πλάτος της βάσεως.

Το πλάτος της βάσεως ενός χωμάτινου φράγματος πρέπει να καλύπτει όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω για τη γραμμή κορεσμού. Είναι δυνατό όμως να προσδιορισθεί από τη σχέση:

$$L = 10 + (3,0 \div 5) \cdot H$$

όπου: L = το ελάχιστο πλάτος στη βάση σε m

H = το ύψος του φράγματος σε m.

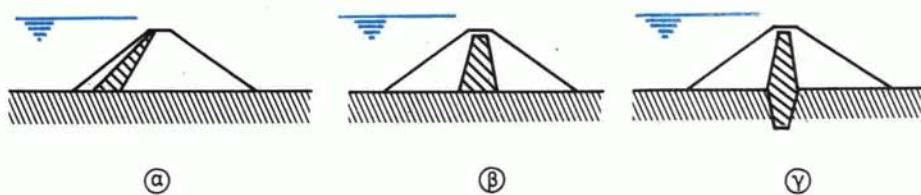
Η σχέση αυτή δεν αποτελεί κανόνα αλλά απλώς την ελάχιστη διάσταση στη βάση ενός χωμάτινου φράγματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις το πλάτος της βάσεως είναι μεγαλύτερο (πολλαπλάσιο) από το ύψος, π.χ. φράγματος Di Nocelle, ύ-

ψος 35 m πλάτος της βάσεως 190 m δηλαδή περίπου $L = 5,50$. H. Το ύψος του φράγματος «Παληοδερλί» Θεσσαλίας είναι $H = 77,00$ m ενώ το πλάτος της βάσεως $L = 535$ m ($L = 7,00$. H).

ια) Ο Πυρήνας.

Η διάταξη του πυρήνα στο σώμα του φράγματος καθορίζεται από πολλούς παράγοντες, με σημαντικότερο τη διακοπή της διηθήσεως του νερού.

Η τοποθέτησή του στο ανάντη τμήμα [σχ. 5.2κη(α)] μειώνει την πίεση των πόρων του κατάντη τμήματος και αυξάνει την ασφάλεια. Επί πλέον το χαμηλότερο τμήμα του πυρήνα λειτουργεί σαν πρόφραγμα, προστατεύοντας το μεγαλύτερο τμήμα της θεμελιώσεως. Η κατασκευή του πυρήνα με τη μορφή αυτή γίνεται μετά την κατασκευή του κατάντη σώματος, επάνω στο οποίο πατά, γεγονός που αποτελεί πλεονέκτημα από κατασκευαστική σκοπιά. Παρουσιάζει όμως η λύση αυτή το μειονέκτημα του μεγαλύτερου όγκου για δεδομένο πάχος και της μικρότερης ευστάθειας.



Σχ. 5.2κη.

Η τοποθέτηση του πυρήνα στο κέντρο της διατομής [σχ. 5.2κη(β)] έχει μεγαλύτερη ευστάθεια και απαιτεί μικρότερο όγκο. Η κατασκευή του γίνεται ταυτόχρονα με το υπόλοιπο σώμα του φράγματος. Από έρευνες που έχουν γίνει έχει προκύψει ότι για πολλές περιπτώσεις η καλύτερη απόσταση του πυρήνα από το ανάντη άκρο είναι στο ένα τρίτο της βάσεως του φράγματος.

Η συνέχιση του πυρήνα για τη διακοπή της διηθήσεως κάτω από το φράγμα, όταν προβλέπεται, πρέπει να γίνεται όπως στο σχήμα 5.2κη(γ).

Το πάχος του πυρήνα εξαρτάται από τη διήθηση, που πρέπει να διατηρείται σε πολύ χαμηλά επίπεδα (σχεδόν ασήμαντη). Στον υπολογισμό του πάχους βέβαια σημαντική επίδραση έχει το κόστος της κατασκευής (ύπαρξη αργιλλικού υλικού, κόστος μεταφοράς του υλικού, κ.α.). Από έρευνες έχει προκύψει μια εμπειρική σχέση που δίνει το πάχος του πυρήνα σε συνάρτηση με το βάθος:

$$b = 6 + 0,2 \cdot h$$

όπου: b = το πάχος του πυρήνα σε βάθος h
 h = η απόσταση σε m από τη στέψη.

ιβ) Σταθερότητα των πρανών.

Η πιο συνηθισμένη αστοχία σε μια συσσώρευση χωμάτων είναι η ολίσθηση

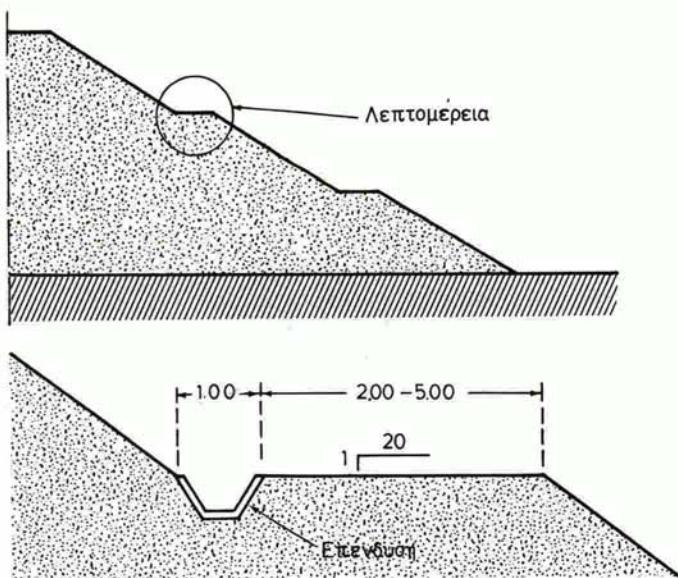
μιας μεγάλης μάζας χωμάτων κατά μήκος μιας καμπύλης επιφάνειας. Για τον έλεγχο και την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι που αναφέρονται στη βιβλιογραφία της εδαφομηχανικής.

Για φράγματα ύψους μέχρι 30 m και ανάλογα με το υλικό του φράγματος, μπορεί να εφαρμοστούν οι κλίσεις που αναφέρονται στον πίνακα 5.2. 4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.4

α/α	Υλικό	Ανάντη πρανές		Κατάντη πρανές	
		οριζόντια	κατακόρυφα	οριζόντια	κατακόρυφα
1	Χαλίκια-Αμμοχάλικο	2,5	1,0	2,0	1,0
2	Άμμος χοντρή	3,0	1,0	2,5	1,0
3	Άμμος λεπτή-Λεπτόκοκκο χώμα	3,5	1,0	3,0	1,0

Για μεγάλου ύψους φράγματα τα πρανή κατασκευάζονται με παρεμβολή οριζόντιων ζωνών (σχ. 5.2κθ). Το πλάτος των οριζόντιων ζωνών είναι μεγαλύτερο από 2,50 m. Για την αποφυγή προβλημάτων διαβρώσεως από το νερό της βροχής, στο εσωτερικό των ζωνών κατασκευάζονται αποχετευτικές τάφροι επενδεδυμένες με σκυρόδεμα.



Σχ. 5.2κθ.

ιγ) Ασφάλεια χωμάτινου φράγματος.

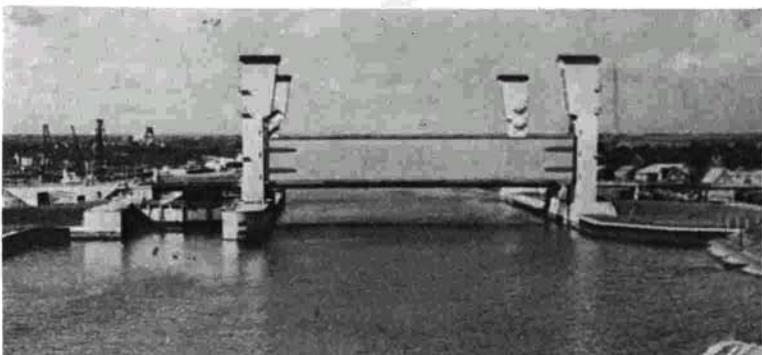
Τα πρακτικά κριτήρια για την ασφάλεια ενός χωμάτινου φράγματος μπορούν να συνοψισθούν στα παρακάτω:

- Δεν πρέπει να υπάρχει κίνδυνος υπερχειλίσεως του φράγματος. Οι διαστάσεις και ο σχεδιασμός του υπερχειλιστή πρέπει να μπορούν να παραλάβουν όλες τις πιθανές αιχμές πλημμύρας.
- Η γραμμή κορεσμού να βρίσκεται μέσα στο φράγμα.
- Η κλίση του ανάντη και κατάντη πρανούς να είναι μικρή.
- Το νερό που περνά μέσα και κάτω από το φράγμα και απορρέει προς τα κατάντη να έχει πολύ μικρή ταχύτητα, ανίκανη να παρασύρει και να μεταφέρει υλικά από την κατασκευή προς τα κάτω.
- Το ανάντη πρανές να προστατευθεί σε ικανοποιητικό βαθμό (επένδυση με λιθορριπτή, συρματόπλεκτα κιβώτια, κ.α) απέναντι στη δράση των κυμάτων της λίμνης και το κατάντη να προστατευθεί επίσης από τη διαβρωτική επίδραση της βροχής.

5.2.4 Κινητά φράγματα.

Η κατασκευή ενός μόνιμου φράγματος μεταβάλλει τα υδραυλικά χαρακτηριστικά ενός ρεύματος, γεγονός που πολλές φορές δεν είναι επιθυμητό. Για να αποφευχθούν οι δυσάρεστες συνέπειες από την κατασκευή ενός μόνιμου φράγματος, κατασκευάζονται φράγματα που λειτουργούν μόνο κατά επιθυμητά χρονικά διαστήματα. Η κατασκευή π.χ. ενός μόνιμου φράγματος στον ποταμό Hollandische IJssel στην Ολλανδία θα δημιουργούσε δυσκολίες στην ναυσιπλοΐα (7,5 εκατομμύρια τόννοι εμπορευμάτων το χρόνο διακινούνται).

Το μειονέκτημα αυτό αντιμετωπίσθηκε με την κατασκευή κινητού φράγματος (σχ. 5.2λ). Στην Ολλανδία πάλι έπρεπε να παροχετευθεί τό 11% από την παροχή του Ρήνου προς τη λίμνη IJssel (παλιά θάλασσα Zuiderzee). Το έργο που έγινε για το σκοπό αυτό ήταν ένα κινητό φράγμα (σχήματα 5.2λα, 5.2λβ).



Σχ. 5.2λ.

Κινητό φράγμα επί του ποταμού Hollandische IJssel στην Ολλανδία.

Τα κινητά φράγματα όπως και τα σταθερά, πρέπει να έχουν καλή θεμελίωση, οικονομική και ανθεκτική κατασκευή, να μην απαιτούν μεγάλα έξοδα συντηρήσεως και οι χειρισμοί λειτουργίας τους να είναι γρήγοροι και ασφαλείς.

Τα κινητά μέρη των φραγμάτων αυτών ανοίγουν και κλείνουν αυτόματα από τα τμήματα ελέγχου (γραφεία ελέγχου).



Σχ. 5.2λα.

Ένα από τα κινητά φράγματα παροχετεύσεως νερού στη λίμνη Ijssel.



Σχ. 5.2λβ.

Μια από τις ανυψούμενες πόρτες στο φράγμα Haringvliet στην Ολλανδία.

Στον κύκλο διακρίνεται το μέγεθος ενός ανθρώπου.

Τα κινητά φράγματα διακρίνονται οε **κατακόρυφα ανυψούμενα, κατακλινόμενα, κλπ.**

Το άνοιγμα και το κλείσιμο των φραγμάτων που ανυψώνονται κατακόρυφα γίνεται με κατακόρυφη μετακίνηση μεταλλικών θυρών.

Η πόρτα γλιστράει μέσα σε οδηγούς και η ανύψωση γίνεται με υδραυλικά πιεστήρια και άλλους κατάλληλους μηχανισμούς.

Τα κατακλινόμενα φράγματα αποτελούνται από πλαίσια που περιστρέφονται γύρω από άξονα και κατεβαίνουν (κατακλίνονται) στην κοίτη διακόπτοντας τη ροή (σχ. 5.2λα και 5.2λβ).

5.3 Βοηθητικά τεχνικά έργα.

Για τη σωστή λειτουργία και την εξασφάλιση ενός φράγματος κατασκευάζονται βοηθητικά τεχνικά έργα που είναι:

1. Υπερχειλιστής ή εκχειλιστής.
2. Εκκενωτής.
3. Υδροληψία.
4. Έργα σκεδασμού της ενέργειας του νερού.

5.3.1 Υπερχειλιστής.

Ο υπερχειλιστής είναι έργο που αποσκοπεί στη διατήρηση της στάθμης του νερού στο προκαθορισμένο απόλυτο υψόμετρο. Σε περίοδο πλημμυρών τα ρεύματα που τροφοδοτούν τον **ταμιευτήρα** (λίμνη) ανυψώνουν τη στάθμη του. Η ανύψωση αυτή της στάθμης του ταμιευτήρα, όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα, πρέπει να διατηρείται μέχρι μια μέγιστη στάθμη κάτω από τη στέψη του φράγματος για να μην υπάρχει κίνδυνος υπερχειλίσεως του νερού πάνω από το φράγμα. Έτσι ο υπερχειλιστής είναι, μπορούμε να πούμε, η δικλείδα ασφάλειας ενός φράγματος.

Η μορφή του υπερχειλιστή εξαρτάται από την ασφάλεια και την προστασία που απαιτεί το φράγμα και που είναι συνάρτηση του τύπου του φράγματος, της θέσεώς του, των τοπικών συνθηκών και της μέγιστης πλημμυρικής παροχής. Στα φράγματα από σκυρόδεμα η πιο οικονομική λύση είναι η τοποθέτηση του υπερχειλιστή μέσα στο φράγμα (σχ. 5.2ιγ) ενώ στα χωμάτινα που αποφεύγεται αυτή η λύση είναι δυνατή η κατασκευή του πλευρικά (σχ. 5.3α) ή κάτω από το φράγμα (σπανιότερα). Η πιο συνηθισμένη θέση του υπερχειλιστή είναι δεξιά ή αριστερά από το φράγμα.

α) Μελέτη σχεδιασμού.

Βασικά στοιχεία για το σχεδιασμό ενός υπερχειλιστή είναι:

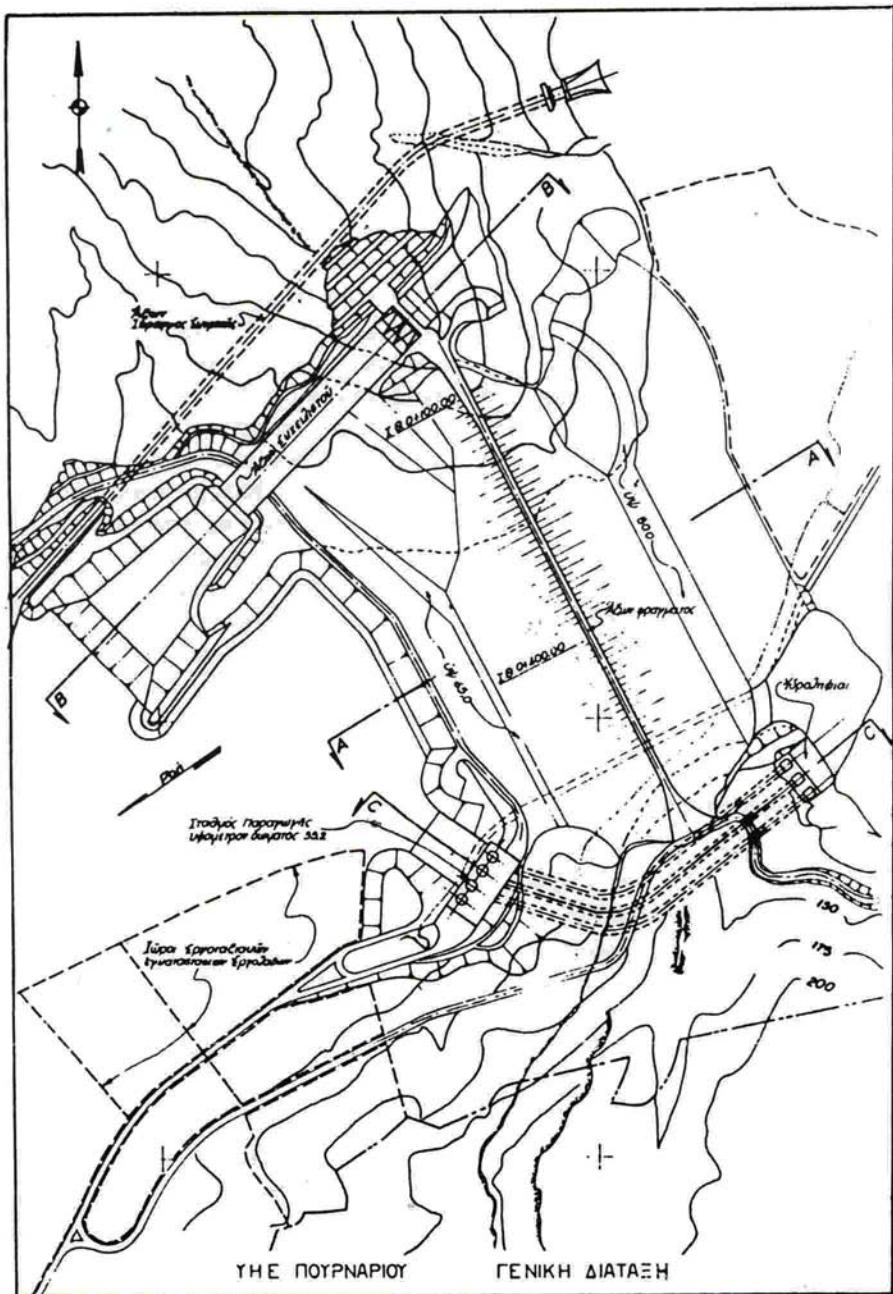
- Η ικανότητά του να παραλάβει την απαιτούμενη παροχή.
- Η στάθμη της στέψεως.
- Οι εγκαταστάσεις ελεγχου.

α) Η ικανότητα ενός υπερχειλιστή πρέπει να προσδιοριστεί κατά τρόπο σαφή με βάση τη δυνατότητα παροχετεύσεως της μέγιστης δυνατής πλημμύρας, για να μην ανυψώνεται η στάθμη του ταμιευτήρα πάνω από το μέγιστο επιτρεπτό υψόμετρο. Ο προσδιορισμός της μέγιστης αυτής στάθμης που προκαλείται από την πλημμυρική παροχή του ποταμού προκύπτει από τα υδρογραφήματα του ποταμού και τα υδρολογικά στοιχεία της λεκάνης.

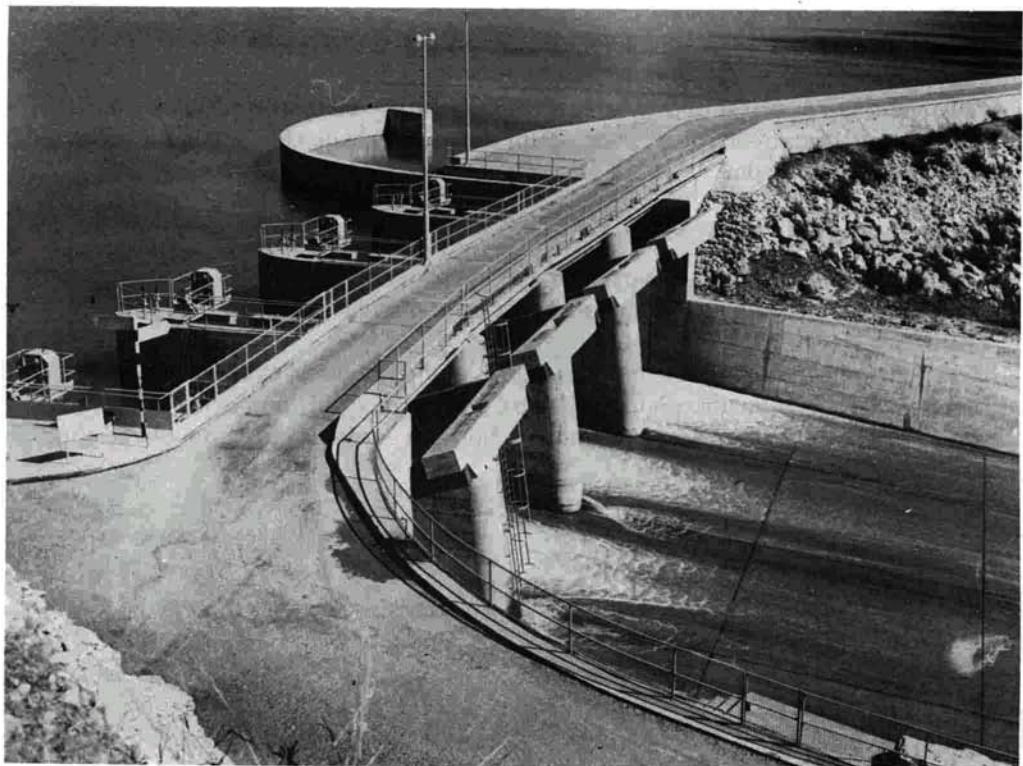
β) Η στέψη του υπερχειλιστή μπορεί να είναι ελεύθερη (σχ. 5.3γ) ή ελεγχόμενη (σχ. 5.3β), και επιτρέπει το νερό να υπερχειλίσει, όταν η στάθμη του στον ταμιευτήρα ανεβαίνει πάνω από τη στέψη του υπερχειλιστή ή όταν αυτό κρίνεται αναγκαίο με το άνοιγμα των θυρών στη στέψη.

Το μήκος της στέψεως είναι συνάρτηση της παροχής που καλείται να απομακρύνει και άλλων δευτερεύουσας σημασίας λόγων. Αν δεν υπάρχουν άλλοι περιορισμοί, η σχέση ανάμεσα στο μήκος και την πλημμυρική παροχή προσδιορίζεται με βάση τη σχέση:

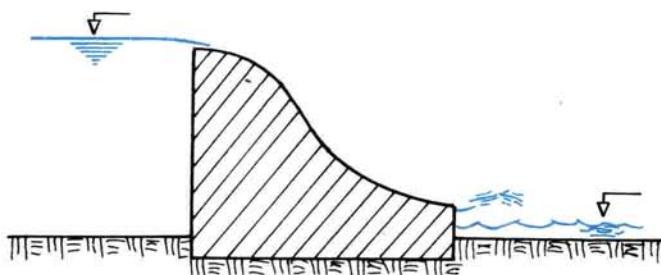
$$Q = 2/3 \cdot C_d \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}$$



ΣΧ. 5.3α.
Το χωμάτινο φράγμα Πουρναρίου στον ποταμό Άραχθο της Ηπείρου σε γενική διάταξη.



Σχ. 5.3β.
Υπερχειλιστής του φράγματος Γερμασόγειας Κύπρου.



Σχ. 5.3γ.
Υπερχειλιστής ελεύθερης ροής.

γ) Μερικές από τις πιο συνηθισμένες εγκαταστάσεις ελέγχου της υπερχειλίσεως είναι οι περιστρεφόμενες, οι κατακλινόμενες, οι κυλιόμενες και οι κατακόρυφα ανυψούμενες θύρες. Επειδή υπάρχουν διαφορετικές συνθήκες σε κάθε φράγμα, η επιλογή της κατάλληλης θύρας βγαίνει από το κόστος της και την υδραυλική της συμπεριφορά.

β) Μορφές υπερχειλιστών.

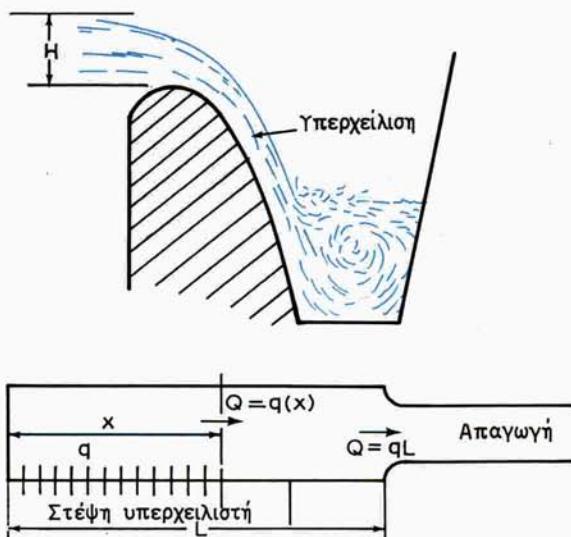
Ελεύθεροι υπερχειλιστές.

Το νερό υπερχειλίζει από τη στέψη και ακολουθεί τον αγωγό που τις περισσότερες φορές είναι ανοικτός αγωγός ορθογωνικής διατομής κατασκευασμένος από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Πλευρικοί υπερχειλιστές (σχ. 5.3δ, 5.3ε).

Στους πλευρικούς υπερχειλιστές το νερό περνάει από τη στέψη και απομακρύνεται μέσα από έναν αγωγό που κατασκευάζεται παράλληλα στη στέψη του υπερχειλιστή.

Η μορφή αυτή υπερχειλιστή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις στενών κοιλάδων όπου δεν μπορεί να αναπυχθεί η στέψη σε μεγάλο μήκος. Η ροή στις περιπτώσεις υπερχειλιστών της μορφής αυτής απαιτεί ιδιάτερη μελέτη, γιατί οι συνθήκες ροής διαφοροποιούνται.



Σχ. 5.3δ.

Πλευρικός υπερχειλιστής σε κάτωψη (κάτω) και τομή (επάνω).

Φρεατοειδείς υπερχειλιστές (σχ. 5.3στ, 5.3ζ).

Στους φρεατοειδείς υπερχειλιστές το νερό πέφτει μέσα σε ένα κατακόρυφο φρέατιο και οδηγείται μετά κατάντη του φράγματος. Η λύση αυτή επιλέγεται όταν είναι αδύνατη οποιαδήποτε από τις προαναφερθείσες μεθόδους.

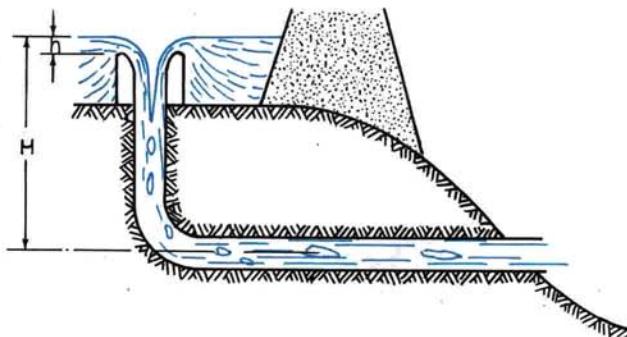
Οι φρεατοειδείς υπερχειλιστές προτιμούνται σε περιπτώσεις χαμηλών φραγμάτων και το κατακόρυφο τμήμα τους κατασκευάζεται από σκυρόδεμα (οπλισμένο) ή από μεταλλική κατασκευή. Το χείλος του φρέατος είναι διαπλατυσμένο σχετικά με την υπόλοιπη διατομή (χοάνη). Το οριζόντιο τμήμα του τις περισσότερες φορές αποτελείται από σήραγγα που ανοίγεται πλευρικά του φράγματος.

Οι συνθήκες ροής σε ένα φρεατοειδή υπερχειλιστή μπορεί να είναι:



Σχ. 5.3ε.

Πλευρικός υπερχειλιστής του φράγματος Kielder βόρειας Αγγλίας. Το νερό περνά πάνω από την καμπύλη στέψη και απομακρύνεται μέσα από τον αγωγό.



Σχ. 5.3στ.

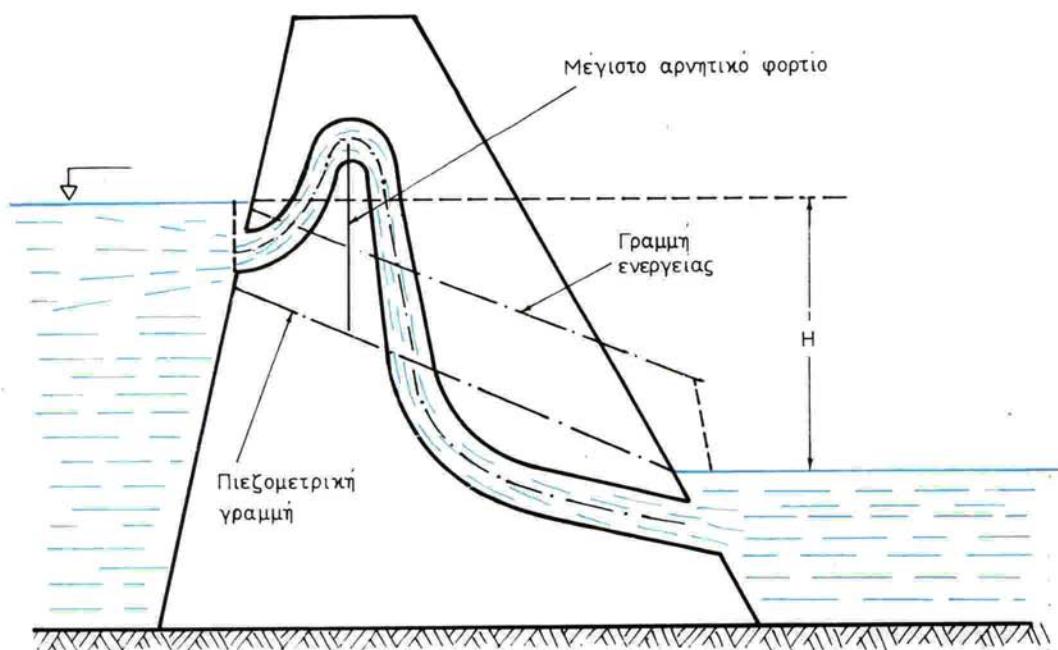
Λειτουργία φρεατοειδούς υπερχειλιστή.

Χαμηλό φορτίο. Ο υπερχειλιστής δουλεύει με μερική πλήρωση και το νερό μπαίνει περιμετρικά από το χείλος του κατακόρυφου αγωγού. **Όσο το φορτίο αυξάνει,** το πάχος του νερού που υπερχειλίζει αυξάνει με αποτέλεσμα ο αγωγός να δουλεύει σαν ανοιχτός (ελεύθερη ροή νερού) ή με πλήρη γέμιση. **Όταν το φορτίο είναι πολύ μεγάλο,** το στόμιο του υπερχειλιστή είναι βυθισμένο. Η αύξηση του φορτίου πάνω από το όριο αυτό δεν έχει σαν συνέπεια ανάλογη αύξηση της απορρόφουσας παροχής.



Σχ. 5.3ζ.

Φρεατοειδής υπερχειλιστής σε λειτουργία (φράγμα Hungry Horse Η.Π.Α.).



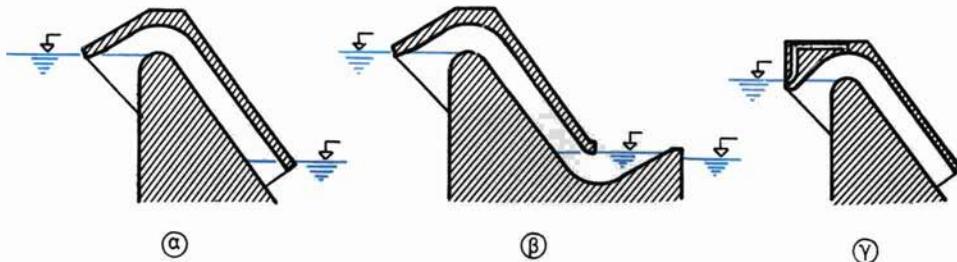
Σχ. 5.3η.

Υπερχειλιστής μορφής σίφωνα με βυθισμένο το κάτω άκρο.

Ο ακριβής υπολογισμός της οριακής παροχής δεν είναι εύκολος με αναλυτικές σχέσεις και συνήθως βρίσκεται με εργαστηριακές έρευνες σε ομοιώματα.

Υπερχειλιστές μορφής σίφωνα (σχ. 5.3η, 5.3θ, 5.3ι).

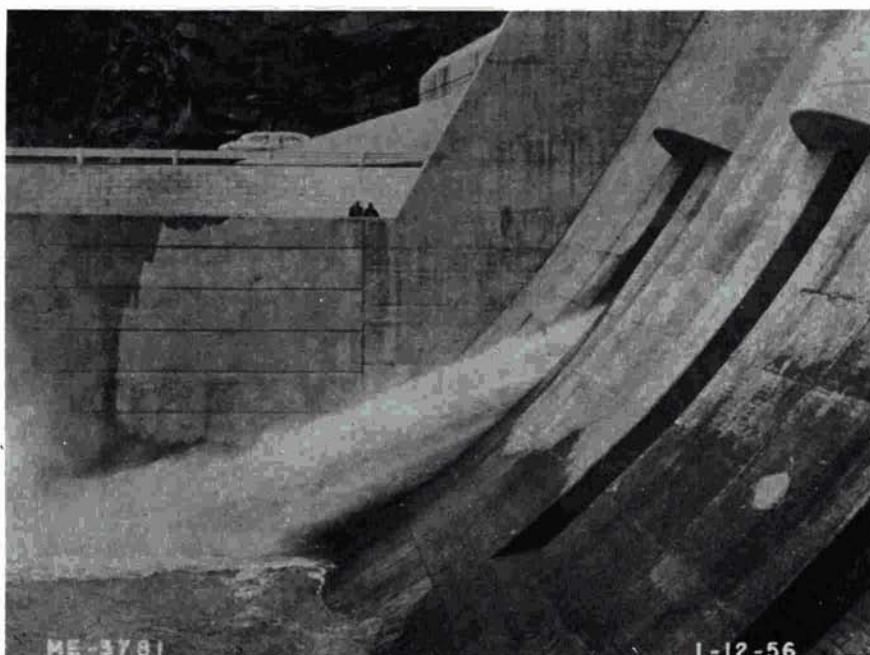
Όταν η ποσότητα υπερχειλίσεως δεν είναι πολύ μεγάλη και ο χώρος για διαμόρφωση υπερχειλιστή ανεπαρκής, εφαρμόζεται η λύση του σίφωνα. Το πλεονέκτημα υπερχειλιστή της μορφής αυτής είναι ότι η υπερχειλίση γίνεται αυτόματα. Η έξοδος του υπερχειλιστή μπορεί να είναι ελεύθερη ή βυθισμένη (σχ. 5.3θ). Μειονέκτημα αποτελεί η διακοπή της ροής με τη συγκέντρωση αέρα στο ανώτερο ση-



Σχ. 5.3θ.

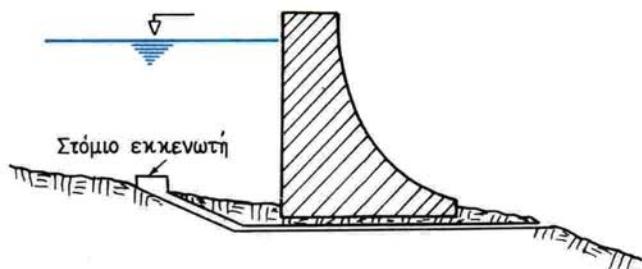
Υπερχειλιστές μορφής σίφωνα.

(α) Έξοδος χαμηλότερη από την κατάντη στάθμη του νερού. (β) Αναστροφή του άκρου και δημιουργία λεκάνης. (γ) Διαμόρφωση αεροεξαγωγού στο ανώτερο άκρο.

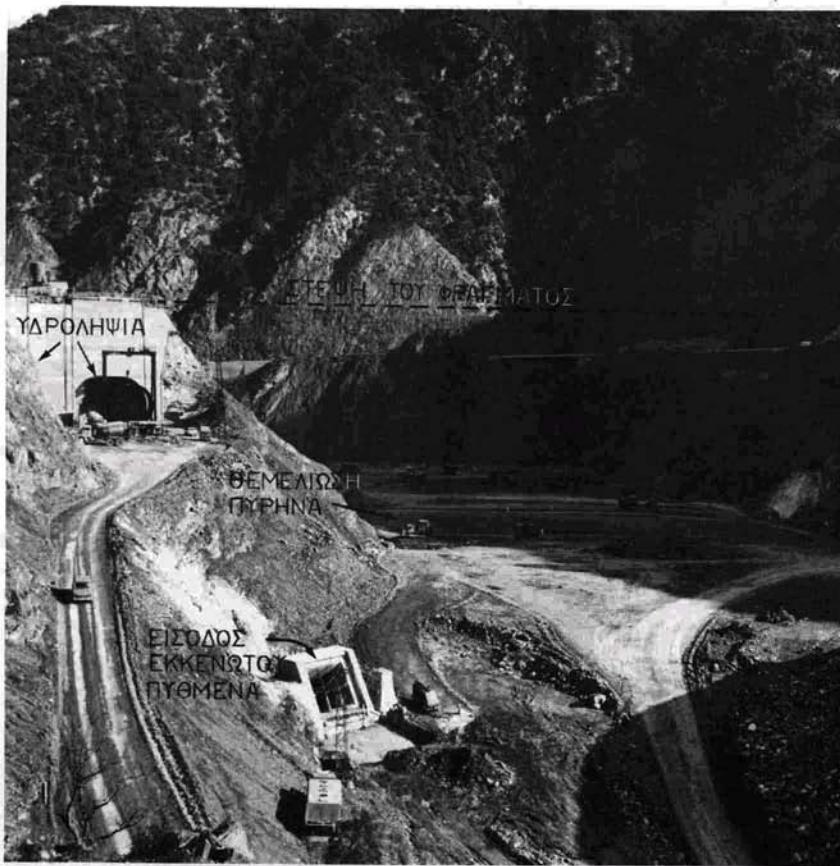


Σχ. 5.3ι.

Έξοδος υπερχειλιστή μορφής σίφωνα σε λειτουργία.



Σχ. 5.3ια.
Σχηματική διάταξη εκκενωτή.



Σχ. 5.3ιβ.

Η υδροληψία, η θεμελίωση του πυρήνα και η είσοδος του έκκενωτή του πυθμένα κατά τη διάρκεια της κατασκευής τους. (Φράγμα Σφακιάς στον ποταμό Αλιάκμονα).

μείο του σίφωνα. Το μειονέκτημα αυτό αντιμετωπίζεται με τη κατασκευή αεροεξαγωγού [σχ. 5.4θ(γ)].

5.3.2 Εκκενωτής (σχ. 5.3ια, 5.3ιβ).

Τοποθετείται στο χαμηλότερο σημείο του ταμιευτήρα (σχ. 5.3ια) και δουλεύει πάντοτε υπό πίεση. Αποτελείται από το στόμιο εισόδου, τον αγωγό, τις θυρίδες και δικλείδες και τέλος το έργο εξόδου.

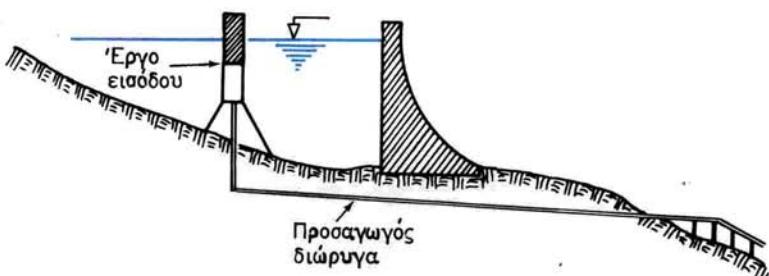
Το στόμιο εισόδου διαμορφώνεται έτσι που να δημιουργούνται κατά το δυνατόν λιγότεροι στροβιλισμοί κατά την είσοδο του νερού στον αγωγό.

Η διατομή του αγωγού, που μπορεί να είναι σωληνώτος ή δίδυμος αγωγός, υπολογίζεται με βάση τις ποσότητες νερού που πρόκειται να δεχθεί και την ταχύτητα ροής. Σε κατάλληλη θέση τοποθετούνται οι ρυθμιστικές δικλείδες και σε ειδικό θάλαμο ώστε να είναι επισκέψιμες.

Η χάραξη του αγωγού πρέπει να είναι κατά το δυνατόν ευθύγραμμη.

5.3.3 Υδροληψία (σχ. 5.3ιβ, 5.3ιγ, 5.3ιδ).

Η υδροληψία είναι τεχνικό έργο που παίρνει το νερό από τη λίμνη και το παραχετεύει στις τουρμπίνες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή στον αγωγό μεταφοράς για άρδευση, κατάντη του φράγματος.



Σχ. 5.3ιγ.
Σχηματική διάταξη υδροληψίας σε φράγμα αλό σκυρόδεμα.

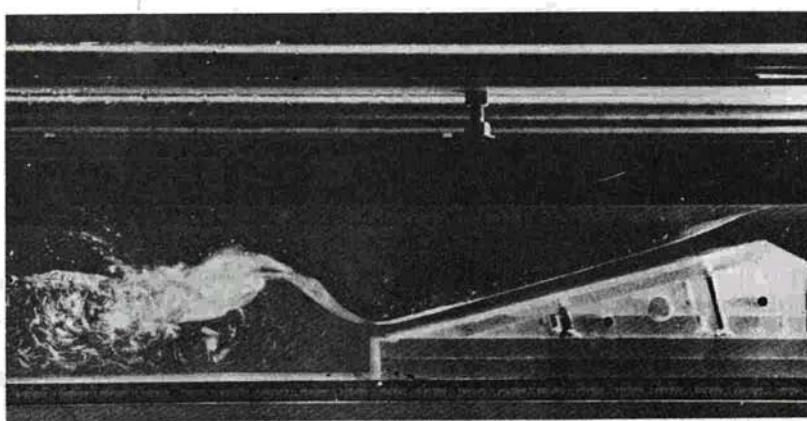
Βασικό τμήμα της υδροληψίας αποτελεί το τεχνικό έργο εισόδου που μπορεί να έχει μορφή πύργου θεμελιωμένου στον πυθμένα της λίμνης (σχ. 5.3ιγ, 5.3ιδ) ή στομίου αγκυρωμένου στο δεξιό ή αριστερό αντέρισμα κοντά στο φράγμα. Το άνοιγμα της εισόδου βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια της λίμνης και προστατεύεται με σχάρα για τη συγκράτηση υλικών που μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στους αγωγούς και τις τουρμπίνες. Συνήθως χρησιμοποιείται ο ίδιος αγωγός με τον εκκενωτή από ένα τμήμα και μετά. Σε άλλες περιπτώσεις η υδροληψία μπορεί να κατασκευαστεί σαν σίφωνας επάνω από το φράγμα ή κάτω από αυτό.

5.3.4 Διατάξεις μειώσεως της ενέργειας.

Τα σύγχρονα φράγματα έχουν συχνά μεγάλο ύψος και δεσμεύουν μεγάλες ποσότητες νερού.



Σχ. 5.3ιδ.
Το φράγμα και η υδροληψία Kielder στη βόρεια Αγγλία.



Σχ. 5.3ιε.
Εργαστηριακές δοκιμές προσδιορισμού της μορφής της δέσμης και της αποσβέσεως της ενέργειας δέσμης νερού.

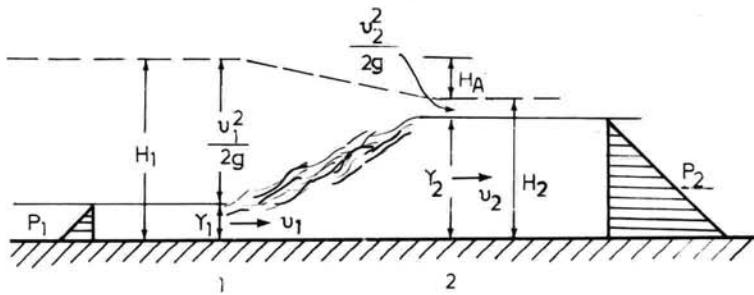
Η ενέργεια κατά την έξοδο του νερού από τον υπερχειλιστή (ταχύτητα εξόδου μεγαλύτερη από 15 m/s) είναι συχνά πολύ μεγάλη, όσχετο αν η εκροή γίνεται από κλειστούς αγωγούς ή ελεύθερους υπερχειλιστές. Έτσι απαιτείται η μείωση της ενέργειας που προέρχεται από τη μεγάλη ταχύτητα του νερού, για να αποφευχθεί

η διάβρωση της κοίτης του αποδέκτη ποταμού, να ελαχιστοποιηθεί η υποσκαφή και να προστατευθεί το ίδιο το φράγμα, στο κατάντη άκρο του οποίου εκβάλλει το νερό. Όλα αυτά μπορούν να γίνουν με την παρεμβολή, στη ροή του εξερχόμενου νερού, διατάξεων που μειώνουν την ενέργεια του νερού και εξασφαλίζουν συνθήκες ήρεμης ροής στον αποδέκτη ποταμό.

Βασικά έργα μειώσεως της ενέργειας στα φράγματα είναι η λεκάνη ηρεμίας που κατασκευάζεται στην έξοδο του νερού από τον αγωγό υπερχειλίσεως και που μειώνει την κινητική ενέργεια του νερού με τη δημιουργία του υδραυλικού άλματος (σχ. 5.3ιε) και τα αντεστραμμένα άκρα σε συνδυασμό με τη λεκάνη αποτονώσεως.

α) Υδραυλικό άλμα.

Το υδραυλικό άλμα προκαλεί μείωση της ταχύτητας και κατά συνέπεια μείωση της ενέργειας που έχει το νερό κατά την εξοδό του.



Σχ. 5.3ιε.

Με το υδραυλικό άλμα μειώνεται η ταχύτητα του νερού.

Αν ονομάσομε H_A τις απώλειες ενέργειας ανάμεσα σε δύο σημεία 1 και 2 ενός ανοικτού αγωγού, που λειτουργεί σαν διάταξη μειώσεως της ενέργειας του νερού, σύμφωνα με το σχήμα 5.3ιε, θα έχομε:

$$\begin{aligned} H_A &= H_1 - H_2 = \left(y_1 + \frac{u_1^2}{2g} \right) - \left(y_2 + \frac{u_2^2}{2g} \right) = \\ &= (y_1 - y_2) + \left(\frac{u_1^2}{2g} - \frac{u_2^2}{2g} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

Για ορθογωνικό αγωγό με πλάτος τη μονάδα ($E = 1 \cdot \gamma$) έχομε:

$$u = \frac{Q}{1 \cdot \gamma} \quad \text{και κατά συνέπεια}$$

$$H_A = (y_1 - y_2) + \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{y_1^2} - \frac{1}{y_2^2} \right) = (y_1 - y_2) + \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{y_2^2 - y_1^2}{y_1^2 y_2^2} \right) \quad (2)$$

Η διαφορά της υδροστατικής πιέσεως ανάμεσα στα σημεία (1) και (2) υπολογίζεται από το ολικό βάθος σε κάθε διατομή:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \frac{1}{2} \gamma (y_2^2 - y_1^2) \quad (3)$$

Η αλλαγή στην κινητή ενέργεια υπολογίζεται από τις ταχύτητες στις δυο διατομές:

$$\Delta E = \frac{\gamma \cdot Q (u_1 - u_2)}{g} \quad (4)$$

Αλλά η διαφορά ανάμεσα σε δυο σημεία της θλιππικής ενέργειας ισούται με τη διαφορά της κινητικής (νόμος Newton):

$$\Delta P = \Delta E$$

οπότε οι σχέσεις (3) και (4) γίνονται:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} (y_2^2 - y_1^2) &= \frac{Q \cdot (u_1 - u_2)}{g} \quad \text{ή αν αντί u βάλομε } u = \frac{Q}{1.y} \\ \text{έχομε} \quad \frac{y_2^2 - y_1^2}{2} &= \frac{Q^2}{g} \cdot \frac{y_2 - y_1}{y_2 \cdot y_1} \\ \text{και} \quad \frac{Q^2}{g} &= \frac{y_1 y_2 (y_2 + y_1)}{2} \end{aligned} \quad (5)$$

Αν η τιμή αυτή του $\frac{Q^2}{g}$ αντικαταταθεί στη (2) θα έχομε:

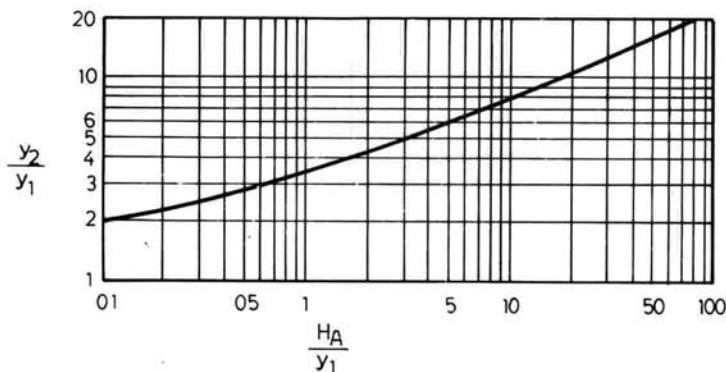
$$\begin{aligned} H_A &= (y_1 - y_2) + \frac{y_1 y_2 (y_2 + y_1)}{4} \cdot \frac{y_2^2 - y_1^2}{y_1^2 \cdot y_2^2} = \\ &= \frac{4y_1 y_2 (y_1 - y_2) + (y_2 + y_1) (y_2^2 - y_1^2)}{4y_1 y_2} = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_2 y_1} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{και} \quad \frac{H_A}{y_1} = \frac{\left(\frac{y_2}{y_1} - 1 \right)^3}{4 \frac{y_2}{y_1}}$$

Η σχέση αυτή μπορεί να παρασταθεί σε ένα διάγραμμα (σχ. 5.3iζ) από το οποίο βρίσκεται η απώλεια H_A εξαιτίας του υδραυλικού άλματος, χωρίς την ανάγκη επιλύσεως των σχέσεων που προαναφέρθηκαν.

Παράδειγμα 1o.

Το βάθος ροής στην έξοδο ενός υπερχειλιστή είναι 0,30 m, ενώ μετά το υδραυλικό άλμα το βάθος γίνεται 1,80 m. Ποιά είναι η απώλεια ενέργειας;



Σχ. 5.3iζ.

$$\text{Διαγραμματική σχέση} \quad \frac{H_A}{y_1} \quad \text{και} \quad \frac{y_2}{y_1}$$

Λύση.

$$\text{Βρίσκομε το λόγο} \quad \frac{y_2}{y_1} = \frac{1,80}{0,30} = 6.$$

Στον κατακόρυφο άξονα του σχήματος 5.3iζ βρίσκομε το 6 και από το σημείο αυτό φέρνομε παράλληλη στον άξονα H_A/y_1 που τέμνει την καμπύλη σε ένα σημείο. Βρίσκομε την προβολή του στον οριζόντιο άξονα (H_A/y_1).

$$\frac{H_A}{y_1} = 5$$

και

$$H_A = 5y_1 = 5 \cdot 0,30 = 1,50 \text{ m}$$

Παράδειγμα 2o.

Στο κατώτερο άκρο ενός υπερχειλιστή, πλάτους 30 m, που μεταφέρει νερό από τη τεχνητή λίμνη ενός φράγματος, μετρήθηκε ταχύτητα ροής 12 m/s και βάθος ροής 0,96 m. Η ενέργεια του νερού ζητείται να διασκεδαστεί με υδραυλικό άλμα. Πόσο πρέπει να είναι το ύψος των πλευρικών τοιχωμάτων της λεκάνης.

Λύση.

α) Σύμφωνα με το νόμο του Newton έχομε:

$$\Delta P = \Delta E$$

$$\frac{1}{k_2} \gamma(y_2^2 - y_1^2) = \frac{\gamma \cdot Q (u_1 - u_2)}{g} \quad (1)$$

Είναι όμως:

$$Q = E \cdot U = 12 \text{ (m/S)} \cdot 0,96 \text{ (m)} \cdot 1 \text{ (m)} = 11,52 \text{ m}^3/\text{s.m}$$

και $u_2 = \frac{Q}{1 \cdot y_2} = \frac{11,52}{y_2}$

μετά από αυτά η σχέση (1) γράφεται:

$$\frac{1}{2} \gamma \cdot g(y_2^2 - y_1^2) = \gamma \cdot Q (u_1 - u_2)$$

$$\frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 9,81 (y_2^2 - 0,96^2) = 1 \cdot 11,52 \left(12 - \frac{11,52}{y_2} \right)$$

και μετά τις πράξεις έχομε:

$$4,9 \cdot y_2^2 + \frac{132,7}{y_2} = 142,76$$

Δίνομε στο y_2 τιμές ώστε το πρώτο μέλος να είναι ίσο με το δεύτερο.

Δίνομε $y_2 = 2,0 \text{ m}$ και έχομε.

$19,6 + 66,35 < 142,76$ ára $y_2 = 2 \text{ m}$ είναι μικρό βάθος

$y_2 = 5,0 \text{ m}$

$122,54 + 26,54 > 142,76$ ára $y_2 = 5,0 \text{ m}$ είναι μεγάλο βάθος

$y_2 = 4,9$

$117,65 + 27,10 \simeq 142,76$ η τιμή αυτή είναι η πλησιέστερη.

Άρα δεχόμαστε βάθος $y_2 = 4,90 \text{ m}$, οπότε το βάθος της λεκάνης πρέπει να είναι τουλάχιστον $5,0 \text{ m}$.

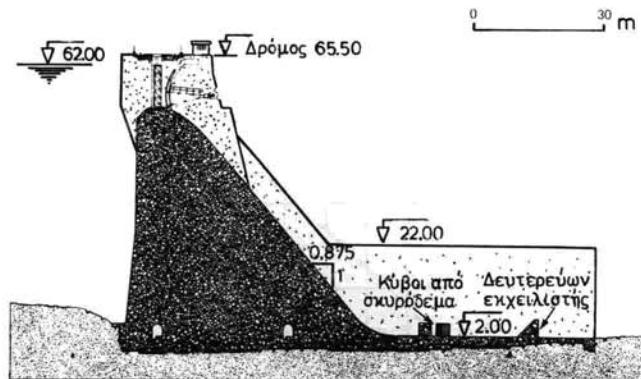
β) Λεκάνη ηρεμίας.

Όπως αναφέρθηκε, στη λεκάνη ηρεμίας συμβαίνει η μείωση της ενέργειας του νερού που φεύγει από τον ταμιευτήρα και καταλήγει στον αποδέκτη ποταμό. Οι διαστάσεις της λεκάνης (μήκος, πλάτος) αποτελούν τα βασικά της στοιχεία (σχ. 5.3η).

Το μήκος μιας λεκάνης ηρεμίας πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με το μήκος του υδραυλικού άλματος. Για κοίτες ρευμάτων, που πρόκειται να δεχθούν το νερό από ένα έργο εξόδου, με βραχώδη και σταθερά εδάφη, το μήκος της λεκάνης μπορεί να είναι μικρότερο από το μήκος του υδραυλικού άλματος σε ποσοστό όμως όχι μικρότερο από το 60% του μήκους του.

Το μήκος του υδραυλικού άλματος είναι στοιχείο βασικής σημασίας, που όμως δεν είναι εύκολο να υπολογιστεί. Αυτό οφείλεται στην αδυναμία προσδιορισμού με ακρίβεια της αρχής και του τέλους του υδραυλικού άλματος.

Ο καθηγητής του Πολυτεχνείου του Βερολίνου κ. Macha, μετά από πειραματι-



Σχ. 5.3ιη.

Διατάξεις αποσβέσεως της ενέργειας του νερού με κύβους από σκυρόδεμα.

κές έρευνες σε ομοιώματα διαμόρφωσε σε διάγραμμα το λόγο L/y (μήκος λεκάνης / βάθος ανάντη) και τη βοήθεια του αριθμού Froude:

$$Fr = \frac{u_1}{\sqrt{gy_1}}$$

Παράδειγμα.

Στο κατώτερο άκρο ενός υπερχειλιστή μετρήθηκαν:

ταχύτητα $u_1 = 18 \text{ m/s}$

βάθος ροής $y_1 = 0,45 \text{ m}$

Ποιο πρέπει να είναι το μήκος της λεκάνης που θα γίνει το υδραυλικό άλμα και ποιο το ύψος των πλευρικών τοιχωμάτων της;

Λύση.

a) Για τον υπολογισμό του μήκους της λεκάνης βρίσκομε τον αριθμό Froude:

$$Fr = \frac{18}{\sqrt{9,81 \cdot 0,45}} = \frac{18}{2,10} = 8,57$$

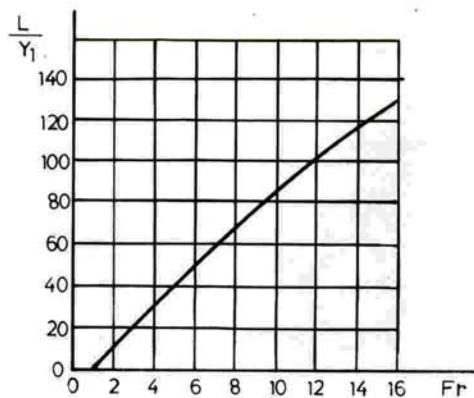
Για $Fr = 8,57$ στο διάγραμμα του σχήματος 5.3ιθ βρίσκομε το λόγο $L/y_1 = 70$.

Άρα $L = 70 \cdot 0,45 = 31,50 \approx 32 \text{ m}$

b) Ύψος τοιχωμάτων:

$$\frac{1}{2} (y_2^2 - y_1^2) = \frac{Q(u_1 - u_2)}{g}$$

$$\frac{1}{2} 9,81 (y_2^2 - 0,45^2) = 8,10 \left(18 - \frac{8,10}{y_2} \right)$$



Σχ. 5.3ιθ.

Σχέση ανάμεσα στον αριθμό Fr και το βάθος ροής πριν από το υδραυλικό άλμα.

$$\text{και } 4,9 \cdot y_2^2 + \frac{65,6}{y_2} = 145$$

$$y_2 = 5,20 \text{ m}$$

Τουλάχιστον ύψος 5,50 m τα πλευρικά τοιχώματα.

Διάφοροι άλλοι μελετητές έδωσαν το μήκος του άλματος με σχέσεις που, όπως φαίνεται από τον πίνακα 5.4.1, διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4.1

Προσδιορισμός του μήκους του υδραυλικού άλματος κατά διάφορους μελετητές.

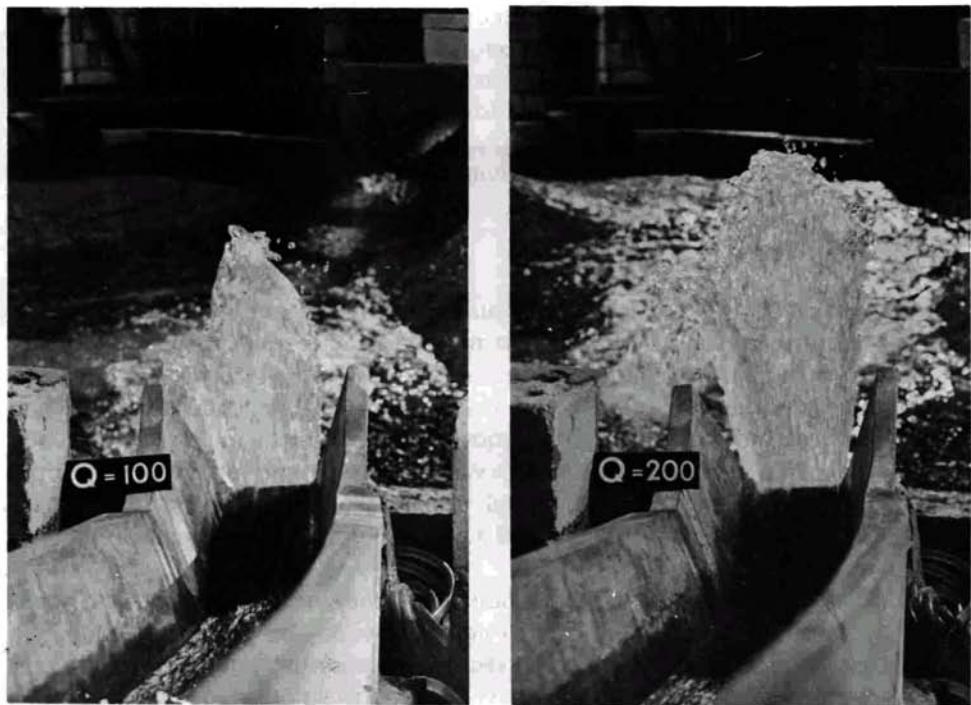
Μελετητής	Σχέση
Safraner	$L = 5,2 \cdot y_2$
Posey	$L \approx 5 \div 7 (y_2 - y_1)$
Smetana	$L \approx 6 \cdot (y_2 - y_1)$
Kinney	$L = 6,02 (y_2 - y_1)$
Page	$L = 5,6 \cdot y_2$
Aravin	$L = 5,4 (y_2 - y_1)$

Γενικά η τιμή $L = 7(y_2 - y_1)$ θεωρείται η πιο ασφαλής και τις περισσότερες φορές διαλέγεται αυτή σαν μήκος του υδραυλικού άλματος.

Το πλάτος μιας λεκάνης ηρεμίας είναι συνήθως ίσο με το πλάτος του υπερχειλιστή.

γ) Αντεστραμμένα άκρα (σχ. 5.3κ, 5.3κα).

Δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις που η λύση της κατασκευής λεκάνης ηρεμίας δεν



Ⓐ

Σχ. 5.3κ.

Ⓑ

Εργαστηριακές δοκιμές του άλματος καταστροφής ενέργειας (κάδος εκτροπής) γιά παροχή $Q_a = 100$ και $Q_b = 200$.



Σχ. 5.3κα.

Τμήμα του κάτω άκρου του υπερχειλιστή και η λεκάνη αποτονώσεως του φράγματος Πουρνάρι, στον Άραχθο.

είναι ούτε η καλύτερη ούτε η οικονομικότερη. Έχει αποδειχθεί ότι υπερχειλιστές με αντεστραμμένο το κατάντη άκρο τους, που πετούν το νερό ψηλά για να πέσει λόγω βαρύτητας στη λεκάνη αποτονώσεως καλύπτουν τις απαιτήσεις καταστροφής της κινητικής ενέργειας του νερού (σχ. 5.3κ). Το κατώτερο άκρο αποτελείται από ένα κυκλικό τόξο με ακτίνα εξαρτώμενη από τα αποτελέσματα των πειραμάτων (σχ. 5.3κ). Συνήθως κυμαίνεται ανάμεσα σε 10 με 20 m.

5.4 Υδατοπτώσεις.

Η κατασκευή ενός φράγματος δημιουργεί ανάντη μια συσσώρευση μεγάλης ή μικρής ποσότητας νερού, που ανυψώνει την ελεύθερη στάθμη του νερού και δίνει τη δυνατότητα εκμεταλλεύσεως της περικλειόμενης ενέργειάς του. Τα έργα που γίνονται για την εκμετάλλευση της δυναμικής ενέργειας του νερού λέγονται **υδροδυναμικές εγκαταστάσεις**. Οι εγκαταστάσεις αυτές, που περιλαμβάνουν αγωγούς, τουρμπίνες και ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις, αποσκοπούν στη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού σε κινητική. Στη συνέχεια με την πρόσκρουσή του το νερό στους υδροστρόβιλους κινεί τις γεννήτριες παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα.

Η ιδέα της εκμεταλλεύσεως του νερού είναι πολύ παλιά. Σήμερα όμως η προσπάθεια έφθασε στο ψηλότερο σημείο με την παγκόσμια ενεργειακή κρίση.

Η ισχύς και η παραγόμενη ενέργεια εξαρτώνται από την παροχή και το ύψος της πτώσεως του νερού. Οι δυο αυτοί παράγοντες μπορεί να διακυμανθούν σε μεγάλα όρια σε ένα ρεύμα. Με την κατασκευή όμως του φράγματος και τη δημιουργία τεχνητής λίμνης σταθεροποιείται το ύψος πτώσεως και η παροχή μπορεί να ρυθμισθεί κατά τις επιθυμίες.

Ανάλογα με το ύψος πτώσεως του νερού οι υδατοπτώσεις διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- α) Υψηλές υδατοπτώσεις.
- β) Μέσες υδατοπτώσεις.
- γ) Χαμηλές υδατοπτώσεις.

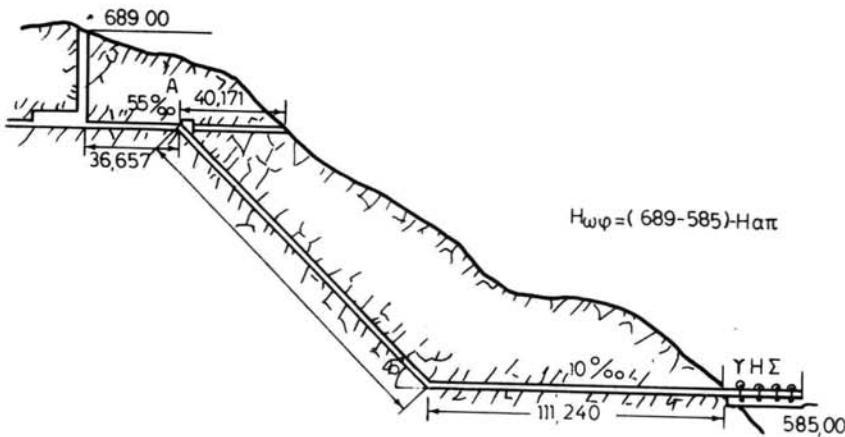
Σαν υψηλές χαρακτηρίζονται οι υδατοπτώσεις που έχουν ύψος πτώσεως μεγαλύτερο από 200 m. Μέσες αυτές που έχουν ύψος πτώσεως από 30 μέχρι 200 m και χαμηλές αυτές που έχουν ύψος πτώσεως μέχρι 30 m. Οι αριθμοί αυτοί δεν αποτελούν αυστηρά όρια διαχωρισμού αλλά αναφέρονται ενδεικτικά.

5.4.1 Ύψος πτώσεως.

Το αφέλιμο ύψος πτώσεως του νερού δεν είναι το γεωμετρικό ύψος H αλλά ένα άλλο ύψος $H_{ωφ}$ μικρότερο του T κατά τις τοπικές και γραμμικές απώλειες (σχ. 5.4α). Το σύνολο των απωλειών $H_{απ}$ μειώνει το γεωμετρικό ύψος κατά τη σχέση:

$$H_{ωφ} = H - H_{απ}$$

Το νερό από την υδροληψία οδηγείται μέσα από μια σήραγγα και με μικρή κατά μήκος κλίση στο σημείο A, μπαίνει στον κλειστό αγωγό υπό πίεση και οδηγείται στις εγκαταστάσεις του υδροηλεκτρικού σταθμού (Υ.Η.Σ.), όπου με τη μεγάλη ταχύτητα ή με το φορτίο του κινεί τους υδροστρόβιλους και αυτοί με τη σειρά τους



Σχ. 5.4a.

Το αφέλιμο ύψος πτώσεως δεν είναι γεωμετρικό αλλά μειωμένο κατά τις τοπικές και γραμμικές απώλειες.

μετατρέπουν την ενέργεια του νερού σε ηλεκτρική.

Χρησιμοποιώντας τη θεμελιώδη εξίσωση της υδροδυναμικής, γνωστή σαν εξίσωση του Bernoulli, έχομε:

$$Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = C$$

Η ενέργεια λοιπόν του νερού έχει μια σταθερή στάθμη αναφοράς που λέγεται **γραμμή ενέργειας** και ταυτίζεται με την ελεύθερη στάθμη του νερού στον ταμιευτήρα.

Η ενέργεια σύμφωνα πάντα με την εξίσωση του Bernoulli αποτελείται από τη δυναμική ενέργεια Z , οφειλόμενη στο υψόμετρο του νερού, τη θλιπτική ενέργεια (πιεζομετρική) που οφείλεται στην πίεση (P/γ) του νερού και την κινητική ενέργεια ($V^2/2g$) που οφείλεται στην ταχύτητα που αποκτά το νερό. Τα τρία αυτά στοιχεία μεταβάλλονται, το άθροισμά τους όμως παραμένει σταθερό.

Η ισχύς μιας υδατόπτωσεως παίρνει τη μέγιστη τιμή της για περιορισμένη ταχύτητα του νερού που λέγεται **κρίσιμη ταχύτητα**. Όταν η τιμή της ταχύτητας περάσει την οριακή αυτή τιμή, αυξάνονται υπερβολικά οι απώλειες λόγω τριβών του νερού με τα τοιχώματα του σωλήνα και η ισχύς που παίρνομε είναι μικρότερη.

5.4.2 Ισχύς υδροδυναμικών εγκαταστάσεων.

Όπως είναι γνωστό, η ισχύς που δίνει μια υδατόπτωση βρίσκεται από τη σχέση:

$$P = \gamma \cdot Q \cdot H \quad \text{kgm/sec} \quad (1)$$

όπου γ = το ειδικό βάρος του νερού σε tn/m^3 ή 1000 kg/m^3

Q = η παροχή σε m^3/sec

H = ύψος πτώσεως σε m

Αν δεχτούμε απόδοση των εγκαταστάσεων η και αντιστοιχία $1\text{HP} = 75 \text{ kgm/sec} = 0,736 \text{ kW}$, έχουμε:

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot n \quad \text{σε kW}$$

ή

$$P = 13,33 \cdot Q \cdot H \cdot n \quad \text{σε HP}$$

Ο βαθμός αποδόσεως του στροβίλου για μια συγκεκριμένη εγκατάσταση είναι:

$$n = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3$$

όπου n_1 = βαθμός αποδόσεως του στροβίλου με τιμή $0,82 - 0,90$

n_2 = βαθμός αποδόσεως της γεννήτριας με τιμή $0,95 - 0,96$

' = βαθμός αποδόσεως του

μετασχηματιστή με τιμή $0,98$.

5.4.3 Τύποι υδροδυναμικών εγκαταστάσεων.

Όπως αναφέρθηκε, μια πρώτη βασική διάκριση των υδροδυναμικών εγκαταστάσεων γίνεται ανάλογα με το ύψος πτώσεως του νερού σε χαμηλές, μέσες και υψηλές υδατοπτώσεις.

Από πλευρά ενεργειακή οι εγκαταστάσεις διακρίνονται σε:

- Εγκαταστάσεις βάσεως.
- Εγκαταστάσεις αιχμής.
- Εγκαταστάσεις αντιστρεπτής λειτουργίας.

α) Οι εγκαταστάσεις βάσεως παράγουν ενέργεια με συνεχή λειτουργία, προϋποθέτουν όμως μεγάλη λεκάνη απορροής και συνεχή παροχή του ποτασού.

Κατά κανόνα οι υδροδυναμικές εγκαταστάσεις είναι εγκαταστάσεις αιχμής, ενώ τις εγκαταστάσεις βάσεως αποτελούν οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί (με πετρέλαιο, κάρβονο ή πυρηνική ενέργεια).

β) Οι εγκαταστάσεις αιχμής δεν είναι συνεχούς λειτουργίας αλλά δουλεύουν μόνο για να καλύψουν ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα που δεν μπορούν να δώσουν οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί.

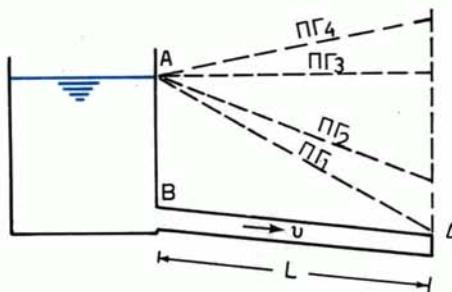
Με το άνοιγμα των υδροστροβίλων δίνουν ηλεκτρική ενέργεια που διοχετεύεται αμέσως στο ηλεκτρικό δίκτυο διανομής, σε αντίθεση με τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς βάσεως που για να δώσουν ηλεκτρικό ρεύμα πρέπει να περάσουν αρκετές ώρες μέχρι να φτάσει η θερμοκρασία στα επίπεδα παραγωγής.

γ) Οι εγκαταστάσεις αντιστρεπτής λειτουργίας δουλεύουν σαν εγκαταστάσεις αιχμής και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για να καλύψουν ανάγκες αιχμών κατά τη διάρκεια της μέρας με νερό που αντλείται από τα κατάντη προς τη λίμνη (αντιστροφή) κατά τη διάρκεια της νύκτας, όταν υπάρχει διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Για να είναι συμφέρουσα η κατασκευή ενός σταθμού αναστρεφόμενης λειτουργίας, ανάγεται η νυκτερινή ενέργεια αντλήσεως στα ετήσια έξοδα του σταθμού και συγκρίνονται τα οφέλη από την παραγόμενη ενέργεια με τα έξοδα λειτουργίας του σταθμού. Στην Ελλάδα υδροηλεκτρικός σταθμός αναστρεφόμενης λειτουργίας είναι στη Σφηκιά της Βέροιας, που αντλεί τη νύχτα νερό από τον ταμιευτήρα των Ασωμάτων και τη μέρα παράγει ενέργεια με ροή από τον ταμιευτήρα Σφηκιάς προς το κατάντη (Ασώματα).

5.4.4 Το υδραυλικό πλήγμα.

Όπως είναι γνωστό από την Υδραυλική, αν έχουμε μια δεξαμενή γεμάτη με νερό





Σχ. 5.4β.

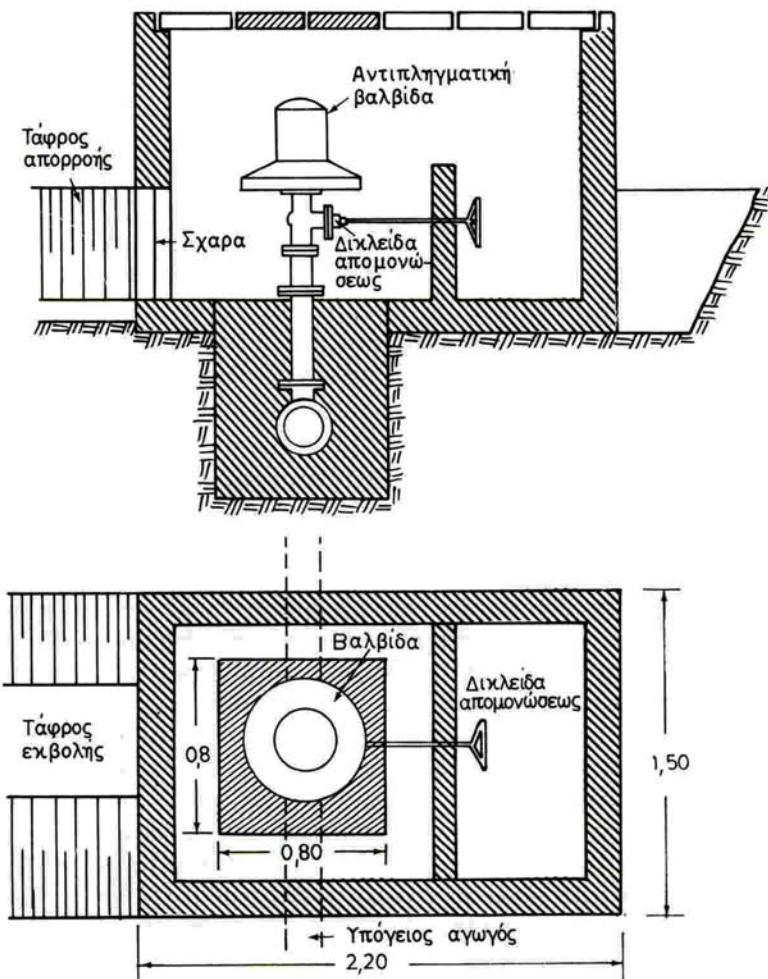
$\Pi\Gamma_4$ = θετικό φορτίο πλήγματος. $\Pi\Gamma_3$ = στατικό φορτίο πλήγματος. $\Pi\Gamma_2$ = αρνητικό φορτίο πλήγματος.

που στο κατώτερο σημείο της έχει σωλήνα απορροής με μια δικλείδα Δ για τη ρύθμιση της παροχής, τότε, όταν η δικλείδα είναι ανοικτή, η πιεζομετρική γραμμή $\Pi\Gamma_1$ περνάει από το σημείο εκροής Δ (σχ. 5.4β). Όταν η δικλείδα δεν είναι ανοικτή εντελώς, τότε υπάρχει φορτίο πάνω από το Δ και η $\Pi\Gamma$ παίρνει τη μορφή $\Pi\Gamma_2$. Αν η δικλείδα είναι κλειστή, τότε η πιεζομετρική γραμμή είναι προέκταση της ελεύθερης επιφάνειας του νερού $\Pi\Gamma_3$. Αν η δικλείδα για έναν οποιοδήποτε λόγο κλείσει απότομα, τότε η κατάσταση ροής αλλάζει και η κινητική ενέργεια της κινούμενης μάζας του νερού μετατρέπεται απότομα σε θλιπτική με απότομη αύξηση της πιέσεως στο σωλήνα $B\Delta$ και μετατροπή της $\Pi\Gamma$ από την $\Pi\Gamma_1$, στη θέση $\Pi\Gamma_4$. Η αύξηση της πιέσεως εξ αιτίας της απότομης διακοπής της ροής του νερού στο σωλήνα $B\Delta$, αποτελεί **υδραυλικό πλήγμα**.

Η αύξηση αυτή της πιέσεως, που μεταδίδεται από το Δ προς το B με μορφή κύματος, ανυψώνει τη στάθμη A και επιστρέφει στο Δ για να ξαναεπιστρέψει στο A με μειωμένη ένταση και να συνεχίσει μέχρι να μηδενισθεί (φθίνουσα ταλάντωση). Η αυξομείωση της στάθμης του νερού στο A εξαρτάται από το μήκος L του σωλήνα εκροής, την ταχύτητα και τον τρόπο (απότομο ή όχι) του κλεισίματος της δικλείδας. Η αύξηση της πιέσεως κάτω από ορισμένες συνθήκες μπορεί να πάρει μεγάλες τιμές και για το λόγο αυτό πρέπει πάντα να υπολογίζεται και να ελέγχεται ο υπολογισμός των διαστάσεων και η αντοχή του υλικού του σωλήνα. Η υπερπίεση αντιστοιχεί σε ένα μέγιστο πιεζομετρικό φορτίο $\Pi\Gamma_4$, στο οποίο πρέπει να υπολογίζεται η σωλήνωση, για να αντέχει κάθε σημείο της τις μεγάλες θετικές πιέσεις του υδραυλικού πλήγματος. Παράλληλα όμως με τις υπερπίεσεις αναπτύσσονται υποπίεσεις όταν απομακρύνεται το κύμα (αρνητικά φορτία). Σε περιπτώσεις που ακολουθείται το φυσικό έδαφος με ανυψώσεις και καταπτώσεις, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή ώστε ο αγωγός να μη βρίσκεται υψηλότερα από την $\Pi\Gamma$, γιατί υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας κενών και καταστροφές του σωλήνα.

5.4.5 Προστατευτικά έργα.

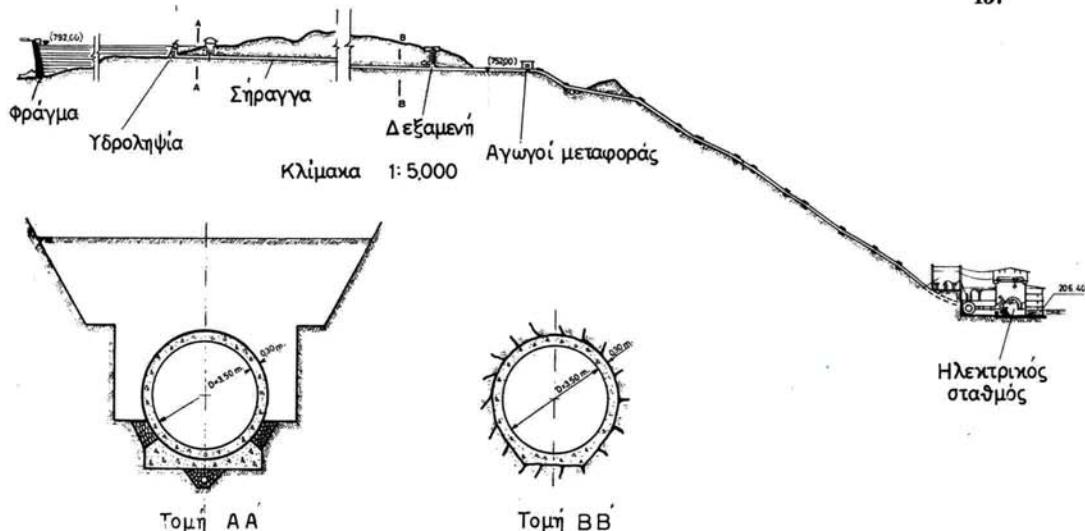
Ο υπολογισμός του υδραυλικού πλήγματος για υδροηλεκτρικά έργα που έχουν συνήθως αγωγούς μεγάλου μήκους δίνει αποτελέσματα που είναι αντιοκονομικά στην υλοποίησή τους. Η απλούστερη μέθοδος για την αντιμετώπιση του υδραυλι-



Σχ. 5.4γ.
Αντιπληγματική βαλβίδα.

κού πλήγματος είναι η κατασκευή βαλβίδων ή δεξαμενών αναπλάσεως (σχ. 5.4γ, 5.4δ, 5.4ε).

Οι βαλβίδες είναι δραστικό μέσο αλλά δεν μπορούν να δώσουν το πλεόνασμα του νερού που χρειάζεται ο αγωγός στην περίπτωση υποπιέσεων. Τοποθετούνται κοντά στο στρόβιλο όταν το μήκος του αγωγού είναι σημαντικό και βγάζουν το πλεόνασμα του νερού σε τάφρο εκβολής. Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι αυτόματης λειτουργίας. Ανοίγουν αυτόμata όταν εμφανίζονται υπερπιέσεις που ξεπερνούν ένα προκαθορισμένο όριο και κλείνουν αυτόμata όταν η πίεση πάρει την κανονική της τιμή. Λειτουργούν με υδραυλική ενέργεια χωρίς να χρειάζεται ο πλεόνασμα τους με οποιεσδήποτε συνθήκες.



Σχ. 5.4δ.

Οι δεξαμενές τοποθετούνται στην αρχή του αγωγού.

Οι δεξαμενές τοποθετούνται στην αρχή του αγωγού (σχ. 5.4δ). Όταν κλείσει η δικλείδα, το νερό που επιστρέφει με τον κυματισμό, μπαίνει στη δεξαμενή και η στάθμη του νερού ανεβαίνει προκαλώντας επιβραδυντικό φορτίο στον ανάντη της δεξαμενής αγωγό (σχ. 5.4στ., 5.4ζ).

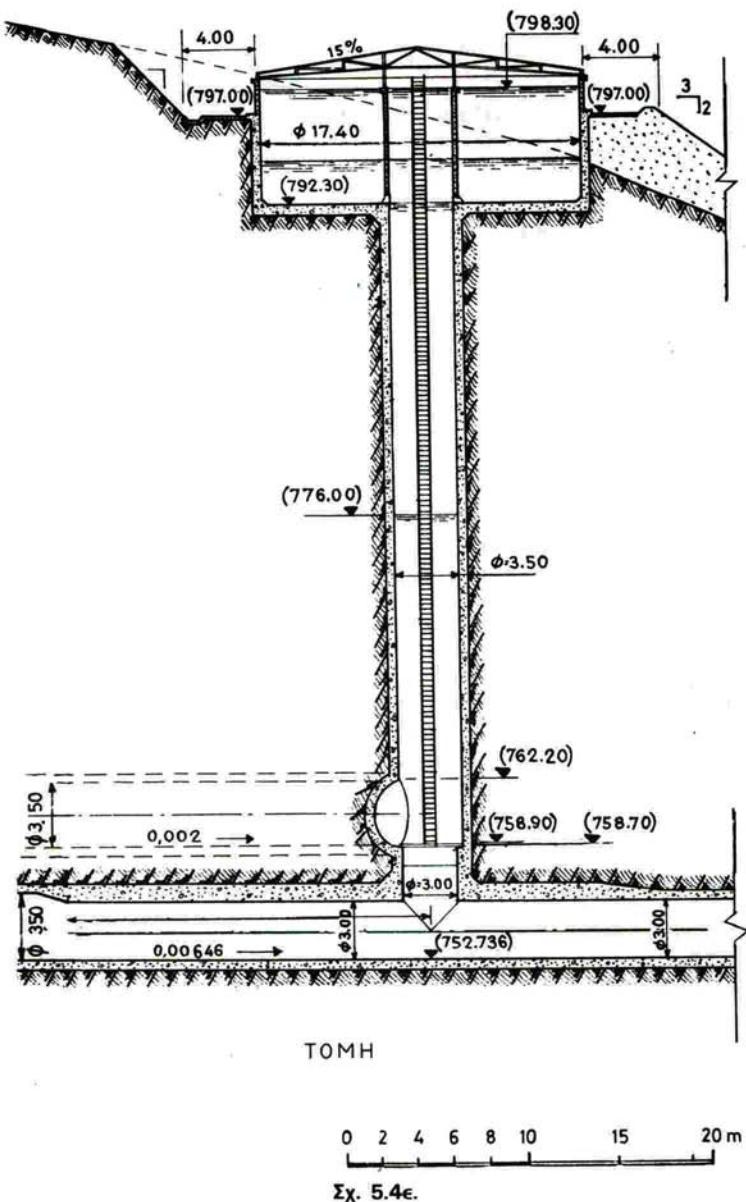
Οι δεξαμενές κατασκευάζονται συνήθως ανοιχτές. Βασικός σκοπός τους είναι να συμβάλλουν στην ομαλοποίηση της ροής του νερού με την εκφόρτιση των έντονων φαινομένων του υδραυλικού πλήγματος. Η διατομή της δεξαμενής είναι στοιβείο μελέτης γιατί η μικρή διατομή δίνει μεγάλες υψομετρικές διαφορές ανάμεσα στην ανώτερη και κατώτερη στάθμη, ενώ η μεγάλη εκτός από τη μεγάλη δαπάνη έχει το μειονέκτημα να αποσβήνει το πλήγμα μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα. Για το λόγο αυτό συνήθως έχουν σύνθετη διατομή (σχ. 5.4ζ).

5.4.6 Υδροστρόβιλοι.

Οι υδροστρόβιλοι είναι μηχανήματα που με τη βοήθειά τους γίνεται η εκμετάλλευση της ενέργειας που περιέχεται στο νερό λόγω της ταχύτητάς του (κινητική ενέργεια) ή του φορτίου του (θλιπτική ενέργεια). Το νερό μπαίνει με ορμή στο στρόβιλο, χτυπάει τα πτερύγια και προκαλεί την περιστροφή τους, που μεταδίδεται στην ηλεκτρογεννήτρια.

Τους υδροστρόβιλους τους διακρίνομε, ανάλογα με τον τρόπο που δρα το νερό, σε δύο κατηγορίες:

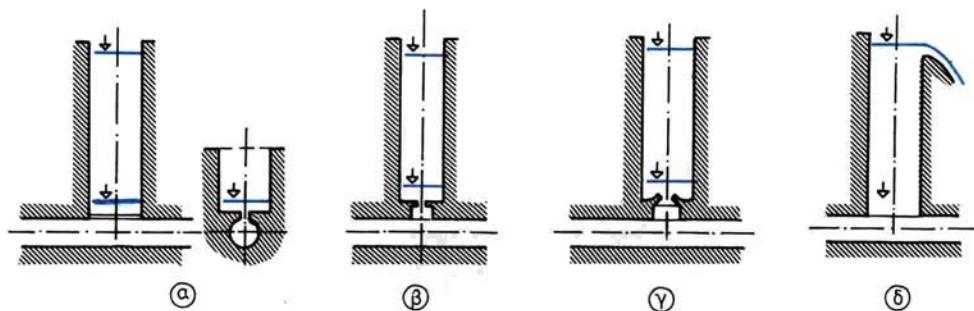
- Υδροστρόβιλους **εκτοξεύσεως** ή **δράσεως** (Pelton) (σχ. 5.4η).
 - Υδροστρόβιλους **υπερπέσεως** ή **αντιδράσεως** (Francis - Kaplan) (σχ. 5.4θ).
- Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι υδροστρόβιλοι στους οποίους το νερό χτυ-



Δεξαμενή αναπάλσεως του φράγματος Ταυρωπού Καρδίτσας.

πάει στα πτερύγια του στροβίλου και προκαλεί την περιστροφή τους. Έτσι πριν και μετά την κρούση του νερού η πίεση είναι ίση με το μηδέν (ατμοσφαιρική). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι στρόβιλοι τύπου Pelton.

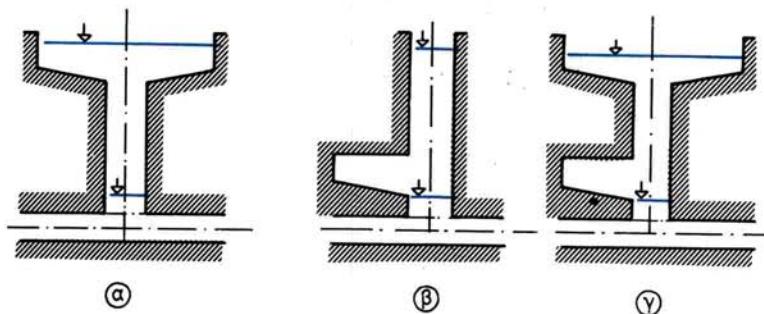
Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι υδροστρόβιλοι στους οποίους το νερό λόγω του φορτίου του (θλιπτική ενέργεια) πιέζει τα πτερύγια του στροβίλου και προκαλεί την περιστροφή τους. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι στρόβιλοι Francis και Kaplan.



Σχ. 5.4στ.

Δεξαμενές αναπάλσεως.

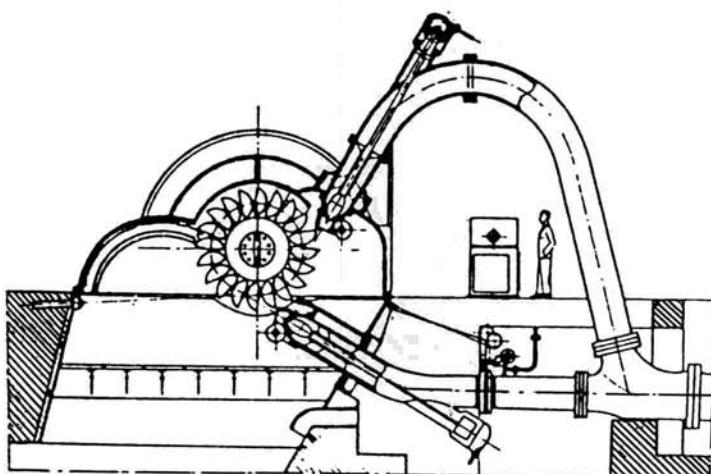
- α) Χωρίς στραγγαλισμό. β) Με στραγγαλισμό. γ) Με στραγγαλισμό και διαφορετική αντίσταση κατά την άνοδο και κάθοδο του νερού. δ) Με υπερχείλιση.



Σχ. 5.4ζ.

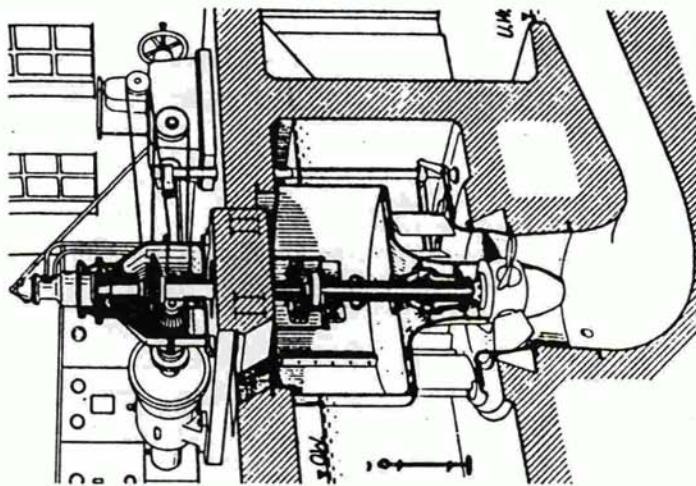
Δεξαμενή αναπάλσεως με θαλάμους.

- α) Με υπερκείμενο. β) Με χαμηλό. γ) Με δυο (υπερκείμενο και χαμηλό).



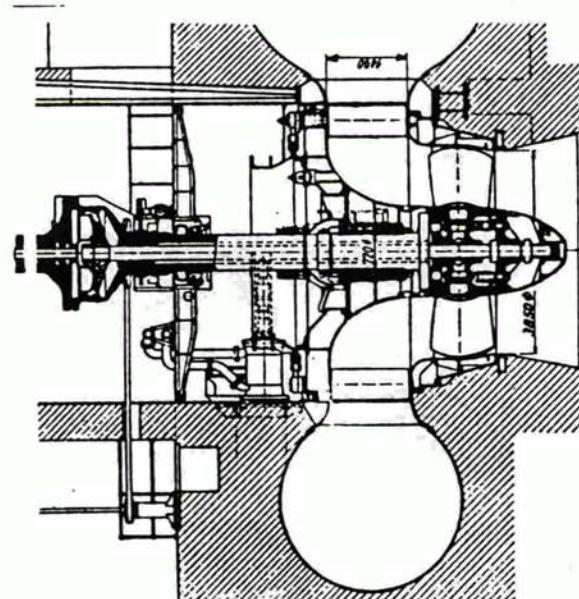
Σχ. 5.4η.

Τομή κάθετη στον άξονα στροβίλου τύπου Pelton.



Σχ. 5.48.

Υδροστρόβιλος τύπου Kaplan με κατακόρυφο δύνα. Αριστερά προσαγωγή μέσα από αγωνό από βετον και δεξιά με αγωγό μεταλλικό κυκλικής διατομής κοχλιωτό.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

6.1 Σχηματισμός των ρευμάτων.

Ένα μόνο μέρος από την ποσότητα του νερού που πέφτει στην επιφάνεια του εδάφους ρέει επιφανειακά με μορφή μικρών στην αρχή ρευμάτων. Τα ρεύματα αυτά στα χαμηλότερα σημεία του εδάφους ενώνονται και έτσι δημιουργούνται μικρά ρυάκια. Αυτά στη συνέχεια ενώνονται και σχηματίζουν μεγαλύτερα ρεύματα τα οποία καθ' οδόν και μέχρι να φθάσουν στη θάλασσα μεγαλώνουν. Έτσι σχηματίζονται οι **χείμαρροι**.

Οι χείμαρροι είναι ρεύματα ορμητικά, πρόσκαιρης τις περισσότερες φορές ροής, με κίνδυνο να προκαλέσουν πλημμύρα μετά από ραγδαία βροχή και με μικρή ή μηδαμινή, σε περίοδο καλοκαιρίας, παροχή. Η παροχή των χειμάρρων προέρχεται από την απορροή του νερού της βροχής και το γρήγορο λιώσιμο του χιονιού. Γι' αυτό το λόγο και οι πλημμύρες των χειμάρρων διαρκούν λίγο και σχεδόν πάντοτε συμβαίνουν ξαφνικά. Το νερό που συγκεντρώνεται απορρέει γρήγορα και προκαλεί διαβρώσεις στις ορεινές λεκάνες, με αποτέλεσμα η ροή όλων σχεδόν των χειμάρρων να γίνεται σε χαραδρώδεις κοίτες.

Η δημιουργία των χειμάρρων εξαρτάται από τις εδαφικές συνθήκες. Μετά από την καταστροφή π.χ. δάσους ο συντελεστής απορροής μεταβάλλεται, η ποσότητα που απορρέει αυξάνεται και η διαβρωτική ικανότητα φθάνει στο σημείο να προκαλέσει τον αφανισμό του εδάφους. Η διαβρωτική ικανότητα του νερού που ρέει ορμητικά, προκαλεί ταπείνωση των υψωμάτων, μεταφορά των υλικών στα χαμηλότερα σημεία και όπου η ταχύτητα ροής είναι μικρή, εμφανίζονται αποθέσεις των μεταφερθέντων από τα βούνα υλικών. Οι αποθέσεις αυτές με την πάροδο του χρόνου προκαλούν ανύψωση του εδάφους της περιοχής. Το αποτέλεσμα είναι ότι ο πυθμένας μετά από χρόνια βρίσκεται ψηλότερα από το έδαφος και δημιουργείται ο λεγόμενος **κώνος προσχώσεων** (σχ. 6.1).

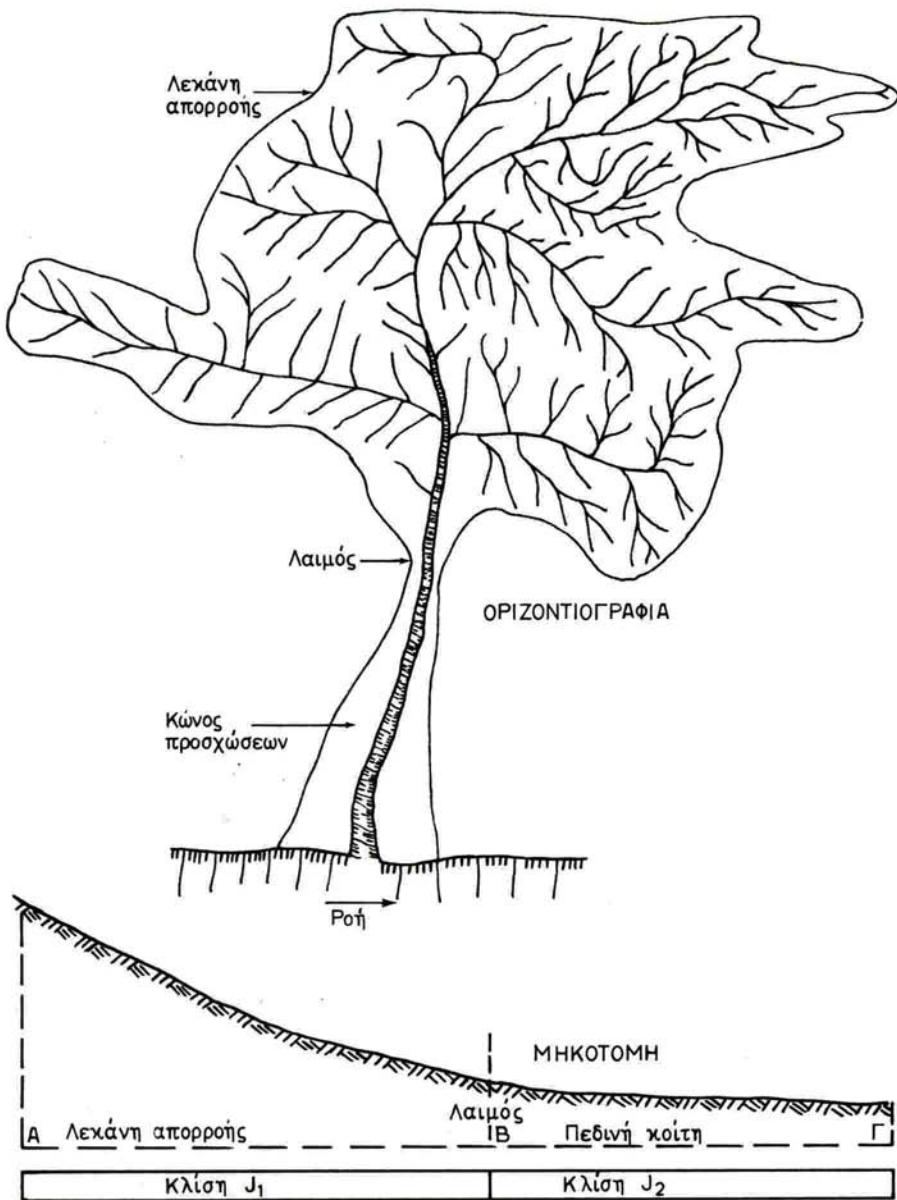


Σχ. 6.1.

Μία τομή του εδάφους κάθετη στη διεύθυνση της ροής του χειμάρρου μας δείχνει το μέγεθος της προσχώσεως.

6.2 Χαρακτηριστικά του χειμάρρου.

Ο χείμαρρος διακρίνεται σε τρία μέρη (σχ. 6.2):



Σχ. 6.2.
Τυπική μορφή χειμάρρου σε οριζοντιογραφία και σε μηκοτομή.

a) Στη λεκάνη απορροής.

Είναι η επιφάνεια του εδάφους που συγκεντρώνει το νερό της βροχής σε μια κοινή κοίτη.

β) Στο λαιμό.

Αποτελεί ένα στένωμα από το οποίο ο χείμαρρος χύνεται στην πεδιάδα. Οι όχθες του λαιμού τις περισσότερες φορές είναι απότομες και βραχώδεις. Σ' αυτόν δεν συμβαίνουν ούτε διαβρώσεις ούτε αποθέσεις. Η μηκοτομή του ρεύματος παρουσιάζει ένα σπάσιμο (γόνατο) με μεγάλη κλίση προς τα ανάντη και μικρή προς τα κατάντη.

γ) Στην πεδινή κοίτη.

Σ' αυτή ο χείμαρρος εκφορτώνει τα μεταφερόμενα προϊόντα της διαβρώσεως (κώνος προσχώσεων). Σπουδαίος παράγοντας για τη διαμόρφωση της δίαιτας ενός ρεύματος είναι το ποσοστό της φυτοκαλύψεως της λεκάνης απορροής.

Αν η κατάσταση στη λεκάνη απορροής δεν μεταβληθεί με δενδροφύτευση και κατάλληλα τεχνητά έργα, τότε με τις συνεχείς βροχοπτώσεις επέρχεται πλήρης διάβρωση και αποσάθρωση που φθάνει μέχρι το σκληρό υπόστρωμα της λεκάνης, ενώ ο κώνος ανυψώνεται και εξαπλώνεται με καταστρεπτικές συνέπειες.

Για να υπάρχει μια μόνιμη κατάσταση στην κοίτη του χειμάρρου και για να μην διαβρώνεται τόσο ο πυθμένας όσο και οι όχθες του, κατασκευάζονται κατάλληλα έργα με τα οποία επιδιώκεται μια κλίση ισορροπίας που να ανταποκρίνεται στην ιδιομορφία του ρεύματος.

Η διευθέτηση της κοίτης μπορεί να αρχίσει από το λαιμό και να προχωρήσει προς τα κατάντη, δηλαδή διευθέτηση της πεδινής κοίτης, ή προς τα ανάντη, δηλαδή σταθεροποίηση των εδαφών της λεκάνης απορροής και συγκράτηση των φερτών υλών στη λεκάνη.

Η προτεραιότητα σε κάθε περίπτωση δίνεται ανάλογα με τις ανάγκες.

6.3 Φερτά υλικά.

Το νερό που ρέει επιφανειακά προκαλεί διάβρωση του εδάφους, χαλαρώνει τη συνοχή των κόκκων και μεταφέρει όσα γαιώδη υλικά έχει καταφέρει να αποσπάσει από το έδαφος. Η ποσότητα και το μέγεθος των μεταφερομένων υλικών εξαρτώνται από την ορμή του νερού η οποία είναι συνάρτηση της κλίσεως του εδάφους. Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του νερού και κατά συνέπεια και η διαβρωτική δύναμή του. Τα υλικά που αποσπά το νερό τα μεταφέρει προς τα κατάντη και όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος μεταφοράς τόσο λεπτότερα γίνονται. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι οι παρασυρόμενοι όγκοι συντρίβονται κατά τη διαδρομή τους και τέλος φθάνουν στην πεδιάδα σε ένα μεγάλο ποσοστό ως άμμος.

Το ειδικό βάρος των στερεών υλικών είναι βασικής σημασίας και επηρεάζει τη «συρτική» ικανότητα του ρεύματος: όσο μεγαλύτερο είναι το ειδικό βάρος γ του υλικού τόσο μεγαλύτερη «συρτική» ταχύτητα χρειάζεται για να μετακινηθεί. Όσο λοιπόν μεγαλύτερο είναι το ειδικό βάρος του υλικού τόσο δυσκολότερα παρασύρεται, σε σύγκριση με άλλο που έχει την ίδια μορφή τον ίδιο όγκο και μικρότερο ειδικό βάρος.

Η μετακίνηση μιας πέτρας που βρίσκεται μέσα στην κοίτη, εξαρτάται από τη μορφή και τη θέση της. Έτσι πέτρες που είναι στρωμένες με τη μικρή τους διάσταση κατά μήκος του άξονα του ρεύματος, μετακινούνται ευκολότερα από εκείνες

που «κάθονται» με τη μεγαλύτερή τους επιφάνεια. Η ικανότητα του νερού για μεταφορά επηρεάζεται από το βαθμό κορεσμού του νερού σε φερτά. Η αύξηση των στερεών υλικών μειώνει την ταχύτητα του ρεύματος. Το αποτέλεσμα είναι ότι, όταν αυξάνονται οι ποσότητες των μεταφερομένων υλικών, επιβραδύνεται η πορεία της μικτής μάζας (στερεή και υγρή παροχή) και έτσι το βάρος των σωμάτων που μπορούν να μετακινηθούν μικράνει.

Αν όμως δεν μπορεί να γίνει πρόσθεση νέων υλικών, μπορεί να συμβεί ανταλλαγή των βαρυτέρων ή μεγαλυτέρων υλικών με ελαφρότερα ή μικρότερα. Έτσι, όταν ένα ρεύμα, που είναι φορτωμένο με υλικά ενός ορισμένου όγκου και βάρους βρεθεί σε κοίτη που είναι στρωμένη με λεπτόκοκκα και ελαφρά υλικά, τότε συμβαίνει μια ανταλλαγή υλικών, δηλαδή κατακάθονται τα μεταφερόμενα βαριά υλικά και αποσπώνται τα ελαφρά και λεπτά. Το φαινόμενο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, τη συνεχή διαβάθμιση των φερτών, έτσι που στις εκβολές του το ρεύμα να μεταφέρει μόνο λεπτή άμμο.

Τα υλικά που δεν μπορούν πια να αιωρούνται στο νερό, πέφτουν στον πυθμένα, οπότε αρχίζουν να κυλούν. Η μετάβαση αυτή από την αιώρηση στην κύλιση εναλλάσσεται από τη μια κατάσταση στην άλλη εξαρτώμενη από την ταχύτητα και τον κορεσμό του ρεύματος σε φερτά.

6.4 Διαβρώσεις.

Αν μεταβληθεί η κλίση ενός ρεύματος ή περιορισθεί το πλάτος της κοίτης με την κατασκευή προστατευτικών έργων, τότε το ρεύμα προκαλεί διάβρωση στα πρανή ή στον πυθμένα. Είναι γνωστό ότι:

$$Q = E_1 u_1 = E_2 u_2$$

όπου: E_1 η διατομή πριν από το έργο

E_2 η διατομή μετά το έργο

u_1 η ταχύτητα πριν και

u_2 η ταχύτητα μετά.

Έτσι έχομε:

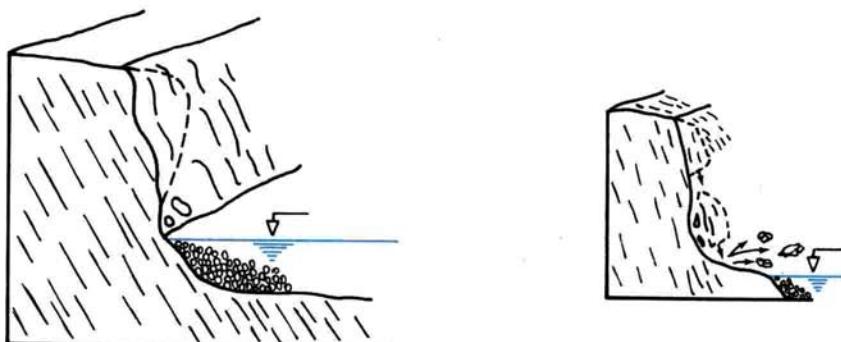
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{u_2}{u_1}$$

που σημαίνει πως όταν περιορίζεται η διατομή, δηλαδή $E_2 < E_1$ αυξάνεται η ταχύτητα $u_2 > u_1$.

Η αύξηση αυτή της ταχύτητας προκαλεί μετά από ένα όριο (2,00 m/sec), τις διαβρώσεις στα πρανή (σχήματα 6.4α και 6.4β) ή, αν υπάρχουν προστατευτικά έργα στις οχθες, τις διαβρώσεις στον πυθμένα.

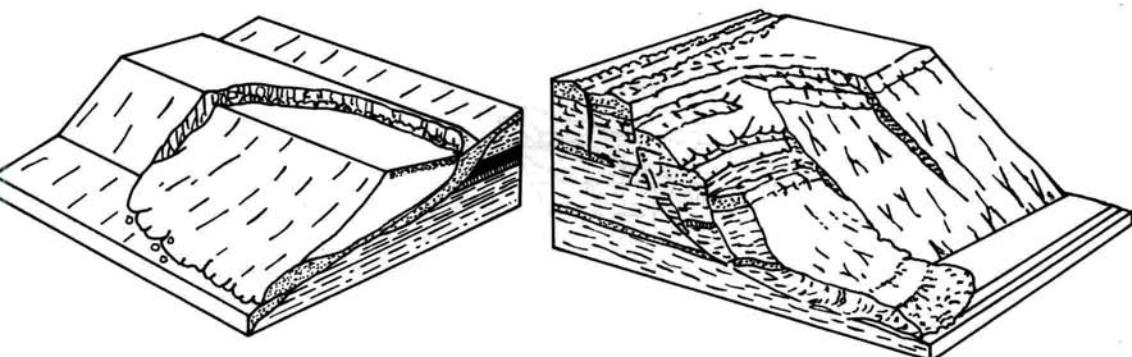
Ενδιαφέροντα φαινόμενα συμβαίνουν σε περιπτώσεις συμβολής ρευμάτων (σχ. 6.4γ). Η διαφορά κορεσμού σε δύο ρεύματα που συμβάλλουν, δημιουργεί είτε απόθεση και υπερύψωση είτε διάβρωση και εκβάθυνση του πυθμένα. Πάντως η προσθήκη της παροχής του παραπόταμου σε κάθε περίπτωση, προκαλεί μεταβολή στη μηκοτομή του πυθμένα.

Αν στο ρεύμα Α συμβάλλουν δύο άλλα ρεύματα Β και Γ από τα οποία το Β έχει ελάχιστα φερτά ενώ το Γ πολλά, θα έχομε στα σημεία συμβολής Α-Β διάβρωση



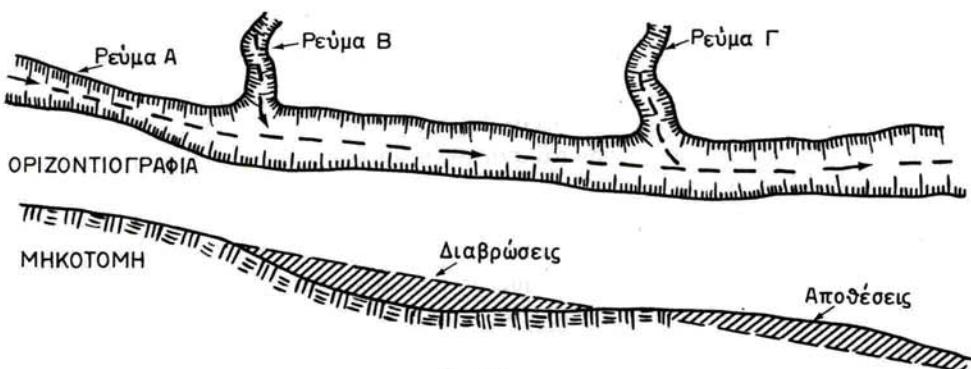
Σχ. 6.4α.

Πτώση πρανούς που προκαλείται από την υποσκαφή του εδάφους.



Σχ. 6.4β.

Ολίσθηση πρανούς που προκαλείται από τον εμποτισμό του εδάφους με νερό.



Σχ. 6.4γ.

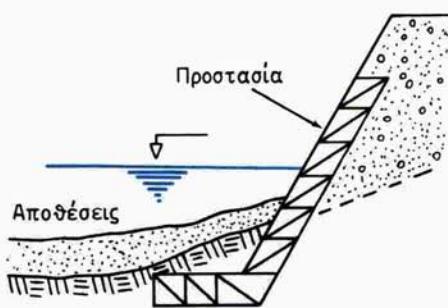
Η συμβολή δύο ρευμάτων στο κύριο ρεύμα προκαλεί μετατροπή της μηκοτομής του πυθμένα.

του πυθμένα, ενώ στο Α-Γ αποθέσεις. Αυτό συμβαίνει, γιατί το ρεύμα Β δεν έχει πολλά φερτά και έτσι η «συρτική» δύναμη μετά τη συμβολή μεγαλώνει, ενώ το ρεύμα Γ είναι κορεσμένο και η «συρτική» δύναμη μικραίνει.

6.5 Σκοπός των έργων προστασίας.

Κύριος σκοπός των έργων προστασίας είναι η πρόληψη και η αναστολή της επιταχυνόμενης διαβρώσεως στη λεκάνη απορροής καθώς και η προστασία των πεδινών εκτάσεων από τις πλημμύρες.

Έχει αποδειχθεί ότι τα έργα προστασίας στην πεδινή κοίτη των ρευμάτων είναι τις πιο πολλές φορές ανίσχυρα να προστατεύουν για μεγάλο χρονικό διάστημα την περιοχή, γιατί τα φερτά υλικά μεταφερόμενα στην πεδιάδα τα αχρηστεύουν γρήγορα, προσχώνοντας τις δημιουργηθείσες κοίτες και μειώνοντας το ύψος της αντιπλημμυρικής προστασίας (σχ. 6.5α).



Σχ. 6.5α.

Τα φερτά υλικά μεταφερόμενα στην πεδιάδα προσχώνουν την κοίτη και αχρηστεύουν τα έργα προστασίας.

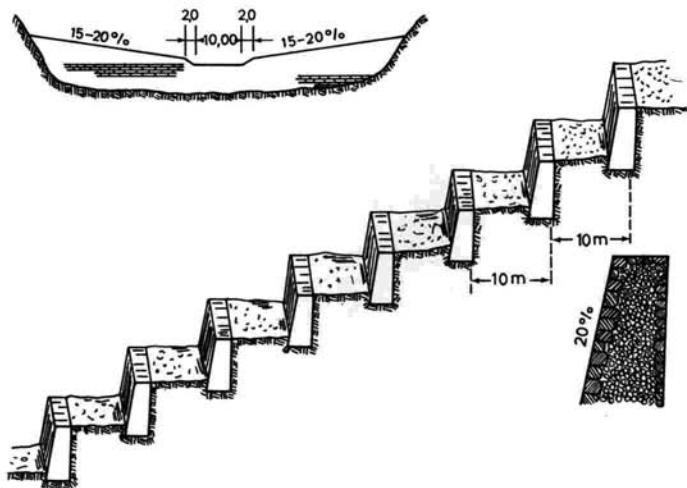
Τα έργα πρέπει να αρχίζουν από τα ψηλότερα σημεία του ρεύματος (ορεινές κοίτες), γιατί έτσι προλαμβάνεται η μεταφορά των φερτών υλών προς τα χαμηλότερα τμήματα στα οποία η συγκράτησή τους απαιτεί σοβαρότερα και δαπανηρότερα έργα. Η προστασία ορεινών ρευμάτων μπορεί να γίνει αποτελεσματικά με την κατασκευή εγκαρσίων έργων (αναβαθμών) τα οποία δημιουργούν με την κατασκευή τους μια νέα, υπερυψωμένη περισσότερο ή λιγότερο κοίτη (σχ. 6.5β). Με τα έργα αυτά εκτός από την αποφυγή διαβρώσεως επιτυγχάνεται:

- Μείωση της κλίσεως και του βάθους της κοίτης.
- Μείωση της ταχύτητας και της συρτικής δυνάμεως.
- Συγκράτηση των φερτών.
- Εξασφάλιση της προσχώσεως της κοίτης και
- η σωστή με τη σκάφη απορροής τους κατεύθυνση της ροής.

Η απόσταση των έργων μεταξύ τους και ο αριθμός τους καθορίζονται με βάση την υπολογιζόμενη κλίση, το ύψος κάθε έργου κ.ά.

Τα έργα αυτά διακρίνονται σε:

- Εγκάρσια φράγματα.
- Λίθινους αναβαθμούς.



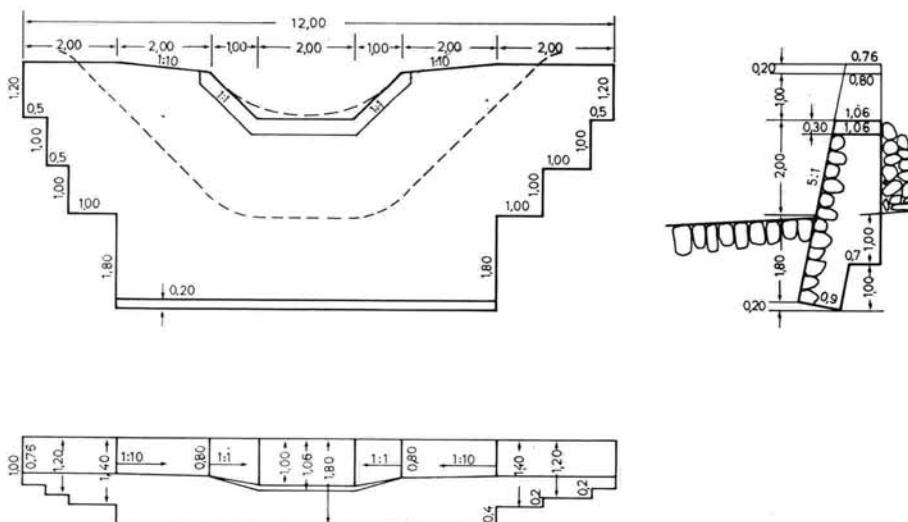
Σχ. 6.5β.

Με τους αναβαθμούς επιτυγχάνεται η συγκράτηση των φερτών και η μείωση της κλίσεως του εδάφους.

- Ξύλινους αναβαθμούς.
- Ξύλινα πλέγματα.

a) Εγκάρσια φράγματα.

Αυτά θεμελιώνονται κάθετα στη ροή και τις περισσότερες φορές κατασκευάζονται από σκυρόδεμα ή λιθοδομή (σχ. 6.5γ).



Σχ. 6.5γ.
Κατασκευαστικό σχέδιο εγκάρσιου φράγματος.

β) Λίθινοι αναβαθμοί.

Κατασκευάζονται σε μικρές κοίτες, όπου η παροχή είναι μικρή. Είναι χαμηλοί και κατασκευάζονται με τή χωρίς κονίαμα (σχ. 6.5δ).



Σχ. 6.5δ.
Λίθινοι και ξύλινοι αναβαθμοί.

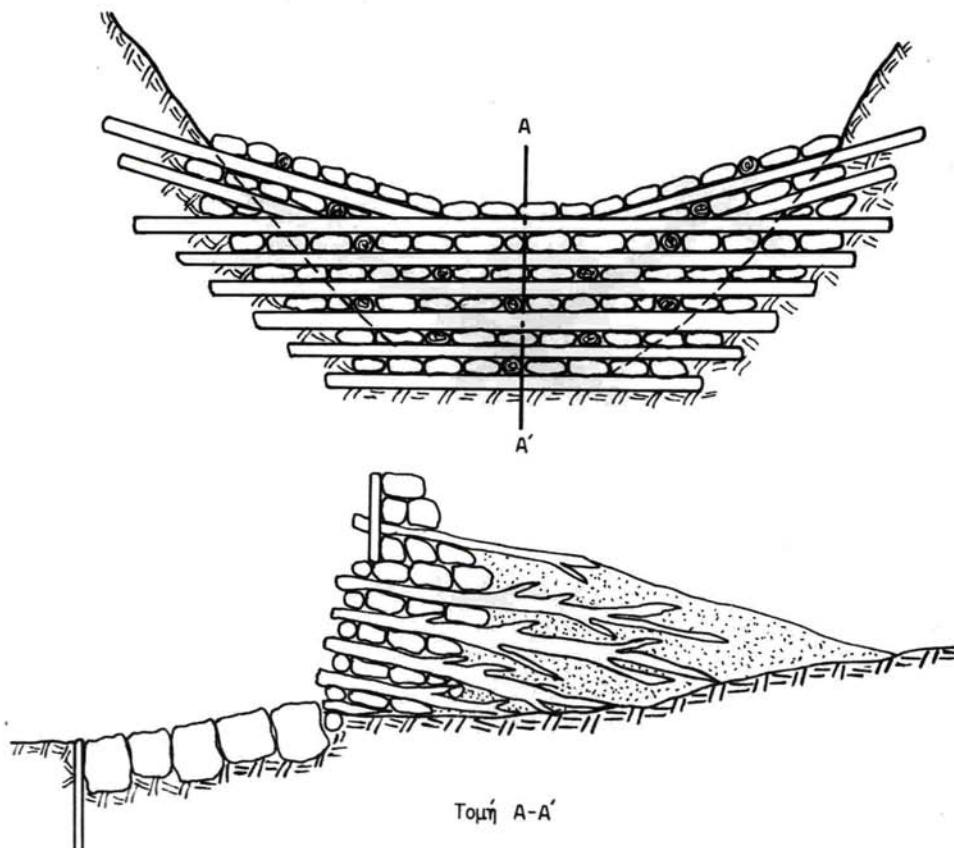
γ) Ξύλινοι αναβαθμοί.

Κατασκευάζονται από κορμούς ξύλων με διάμετρο 20 cm. Οι κορμοί τοποθετούνται οριζόντιοι σε στρώσεις και κάθετα στη ροή. Ανάμεσα στους κορμούς αυτούς παρεμβάλλονται κορμοί κατά τη διεύθυνση της ροής και προσχώνονται για να σταθεροποιηθεί η κατασκευή (σχ. 6.5ε).

Η στέψη του τεχνικού έργου στρώνεται με πέτρες (λιθένδυση) ενώ προς τα κάτωντι κατασκευάζεται κοιτόστρωση με προστατευτικά τοιχία για να μην καταστρέφονται οι όχθες.

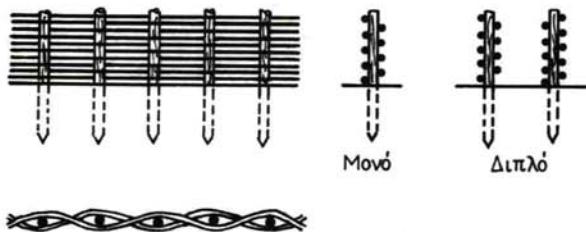
δ) Ξύλινα πλέγματα.

Για την κατασκευή τους ανοίγεται μικρό θεμέλιο στο οποίο υπάρχει μια σειρά από τρύπες για την τοποθέτηση των πασσάλων. Ανάμεσα στους πάσσαλους πλέκονται κλαδιά ιτιάς (σχήματα 6.5στ και 6.5ζ).



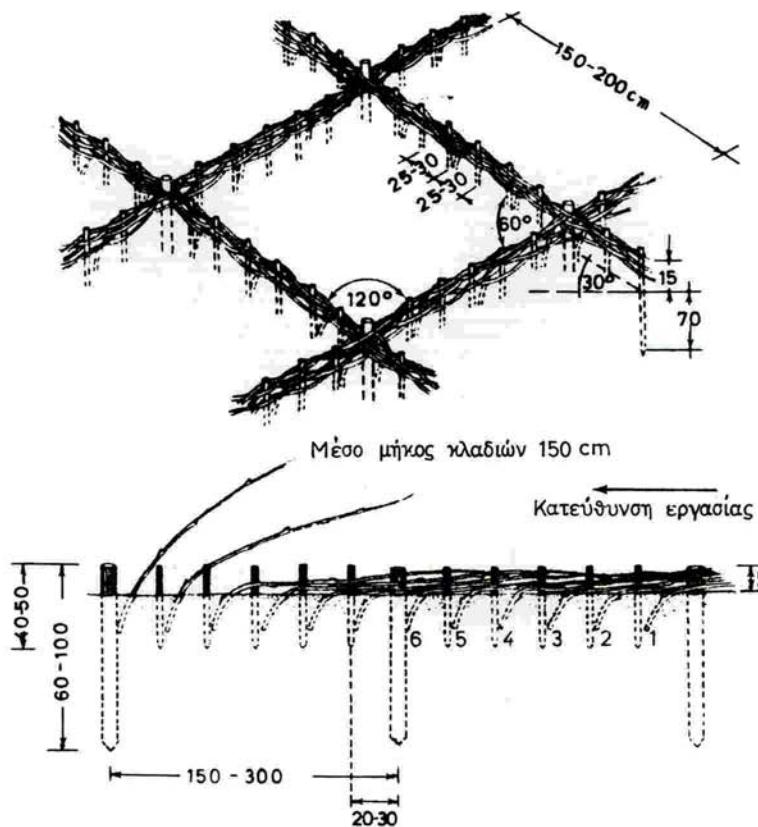
Σχ. 6.5ε.

Πρόσωψη και τομή μικρού ξύλινου αναβαθμού.
Στα ανάντη διακρίνεται η πρόσχωση με φερτά υλικά.

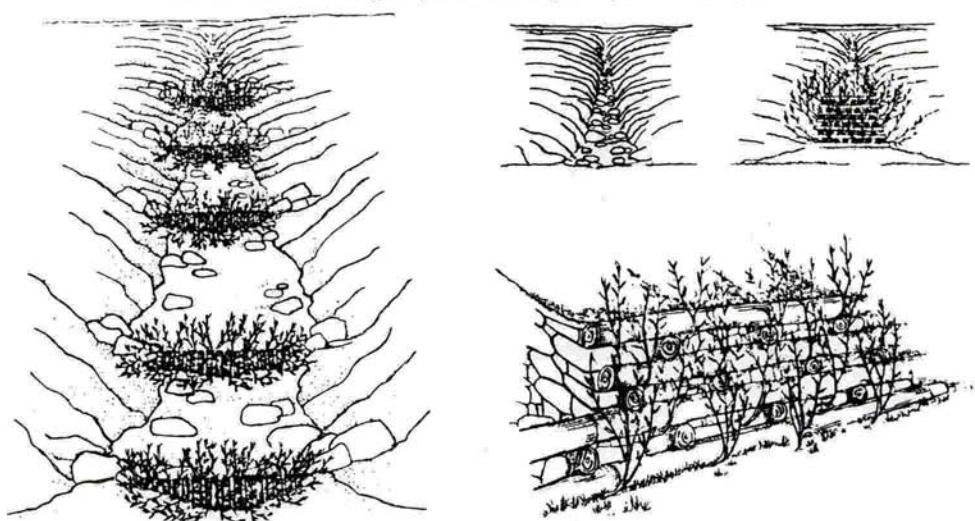


Σχ. 6.5στ.
Ξύλινο πλέγμα.

Τα ξύλινα πλέγματα μπορεί να είναι από νεκρά ή ζωντανά κλαδιά. Όταν υπάρχει αρκετή υγρασία τα κλαδιά αναπτύσσονται (σχ. 6.5η). Τα έργα αυτά έχουν προσώρινό χαρακτήρα, χωρίς όμως να αποκλείεται η μονιμότητά τους (σχ. 6.5θ).



Σχ. 6.5ζ.
Κατασκευαστικά στοιχεία για κλαδοπλέγματα με διαστάσεις σε cm.



Σχ. 6.5η.
Προστασία με κλαδοπλέγματα από ζωντανά κλαδιά.



Σχ. 6.50.
Κλαδοπλέγματα και λίθινοι αναβαθμοί.

6.6 Έργα διευθετήσεως χειμάρρων.

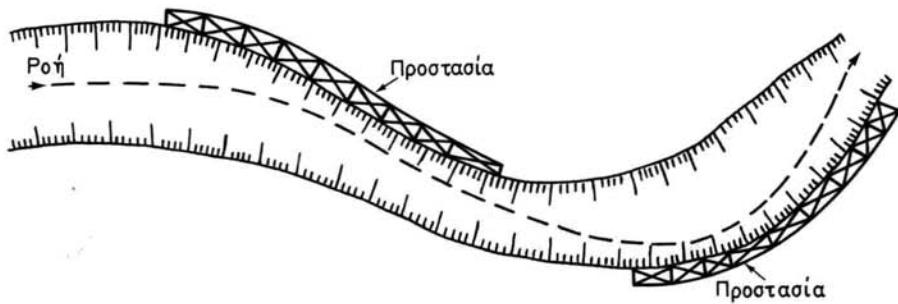
Για να προστατευθούν οι όχθες ενός ρεύματος και να σταθεροποιηθούν τα πρανή και ο πυθμένας μιας κοίτης, πρέπει να γίνουν ορισμένα έργα.

Τα έργα αυτά διακρίνονται σε:

- Παράλληλα και
- σε εγκάρσια έργα.

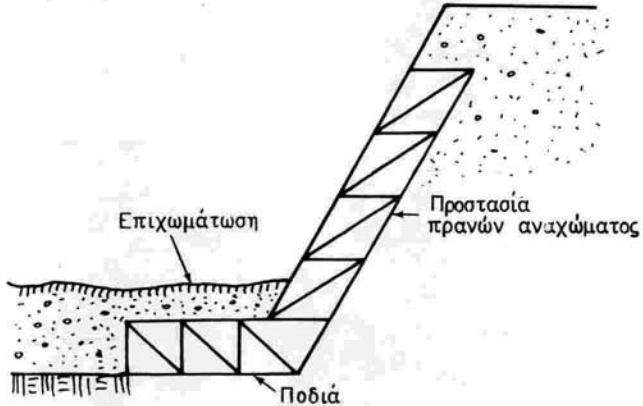
6.6.1 Παράλληλα έργα.

Ως παράλληλα χαρακτηρίζονται τα έργα που κατασκευάζονται κατά μήκος του άξονα του ρεύματος και που ως σκοπό έχουν να προστατεύσουν, να ενισχύσουν και να σταθεροποιήσουν τις όχθες (σχ. 6.6α).



Σχ. 6.6α.
Παράλληλα έργα προστασίας σε κοίτη.

Το έργο τις περισσότερες φορές συνίσταται από ένα προστατευτικό ανάχωμα, όταν δεν υπάρχει φυσική ψηλή όχθη, και από μια επένδυση της όχθης με υλικά που δεν καταστρέφονται από τη συνεχή επίδραση του νερού (σχ. 6.6β). Το βάθος θεμελιώσεως πρέπει να είναι τουλάχιστον στην ίδια ή βαθύτερη στάθμη από τη βαθιά κοίτη του ρεύματος. Ήτοι δεν υπάρχει κίνδυνος υποσκαφής τους. Το ύψος των έργων πρέπει να είναι τόσο, ώστε η ανώτατη στάθμη πλημμύρας να μην το υπερκαλύπτει.



Σχ. 6.6β.

Σχηματική διάταξη προστασίας της όχθης αναχώματος.

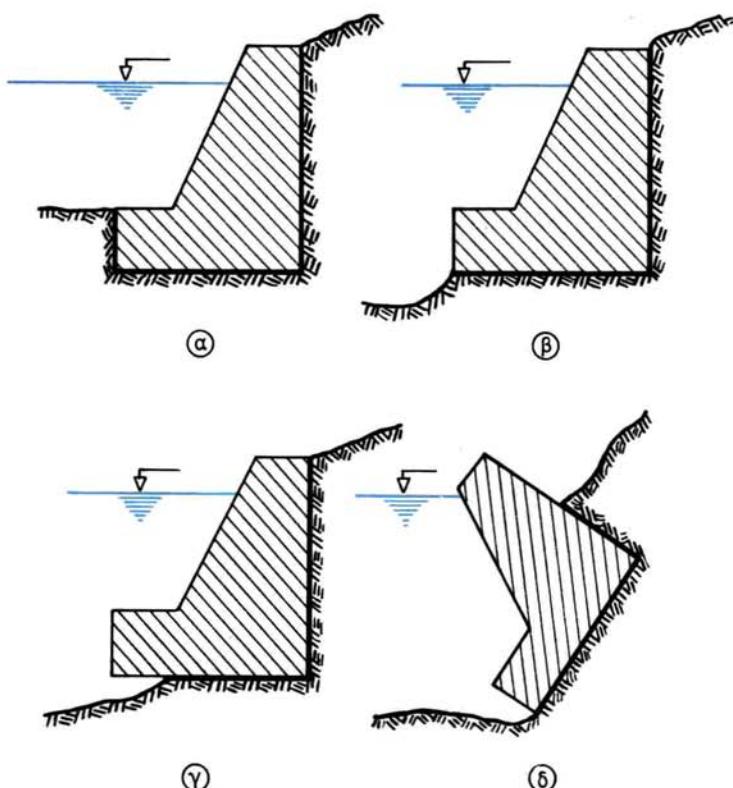
Τα παράλληλα έργα κατασκευάζονται από διάφορα υλικά και κατατάσσονται όπως στο διάγραμμα του σχήματος 6.6γ.



Σχ. 6.6γ.

a) Μονολιθικά έργα.

Ως μονολιθικά χαρακτηρίζονται τα έργα που δεν μπορούν να ακολουθήσουν τις παραμορφώσεις της επιφάνειας στην οποία εδράζονται. Το αποτέλεσμα είναι ότι όταν συμβεί μια παραμόρφωση ή υποσκαφή του εδάφους (σχ. 6.6δ), αυτή όχι μόνο δεν μπορεί να καλυφθεί και να προστατευθεί από το μονολιθικό έργο, αλλά απεναντίας γίνεται αιτία υποσκαφής και τελικά καταστροφής του όλου προστατευτικού έργου.



Σχ. 6.6δ.

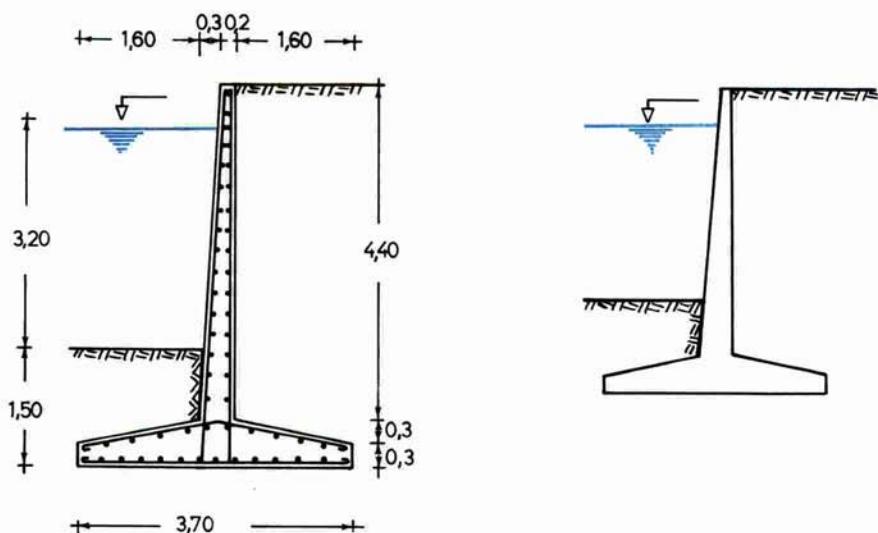
Το μονολιθικό έργο δεν μπορεί να καλύψει τη διάβρωση με τελικό αποτέλεσμα την πλήρη καταστροφή του.

- α) Ο τοίχος κατασκευάσθηκε για να προστατεύσει την όχθη του ποταμού από τη διάβρωση του νερού.
- β) Αν σε μια πλημμυρική παροχή το νερό υποσκάψει το έδαφος,
- γ) το έργο δεν είναι ικανό να σταματήσει τη διάβρωση,
- δ) που συνεχώς αυξάνεται και τελικά προκαλεί την καταστροφή του έργου.

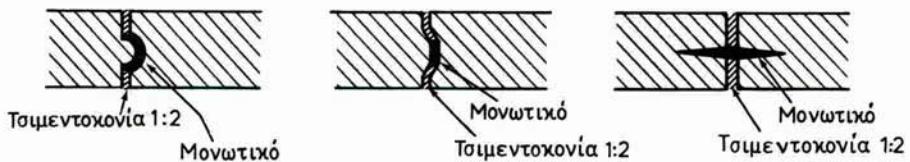
Οι τοίχοι προστασίας κατασκευάζονται όταν το έδαφος είναι συνεκτικό και έχει την απαιτούμενη αντοχή (σχ. 6.6ε). Ανά αποστάσεις διακόπτονται από αρμούς διαστολής (σχ. 6.6στ). Η κατασκευή τους μπορεί να είναι από λιθοδομή ή από σκυρόδεμα.

β) Παραμορφούμενα έργα.

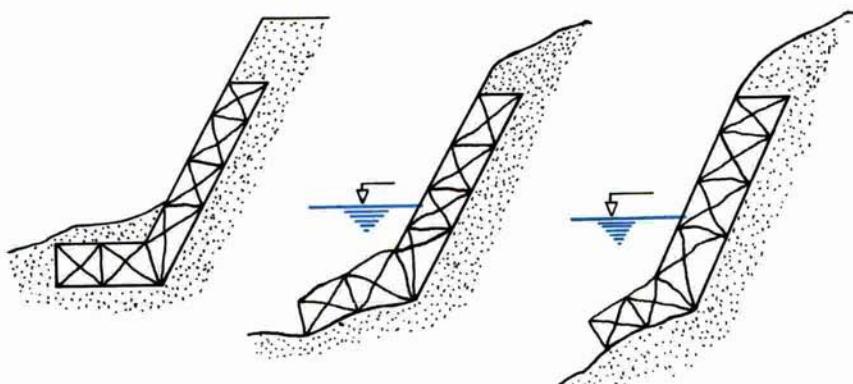
Είναι τα έργα που μπορούν να παρακολουθήσουν τις παραμορφώσεις της επιφάνειας στην οποία εδράζονται. Το γεγονός αυτό επιτρέπει τη συνεχή κάλυψη του έδαφους από το προστατευτικό έργο και την αποφυγή της παραπέρα διαβρώσεως (σχ. 6.6ζ).



Σχ. 6.6ε.
Τοίχοι από οπλισμένο σκυρόδεμα.



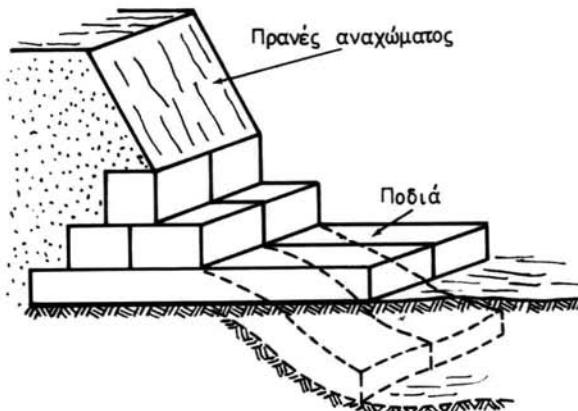
Σχ. 6.6στ.
Αρμοί σκυροδέτων τοίχων.



Σχ. 6.6ζ.
Το έργο παρακολουθεί τις παραμορφώσεις του εδάφους και έτσι προστατεύει σε κάθε περίπτωση το
έδαφος από τη διάβρωση.

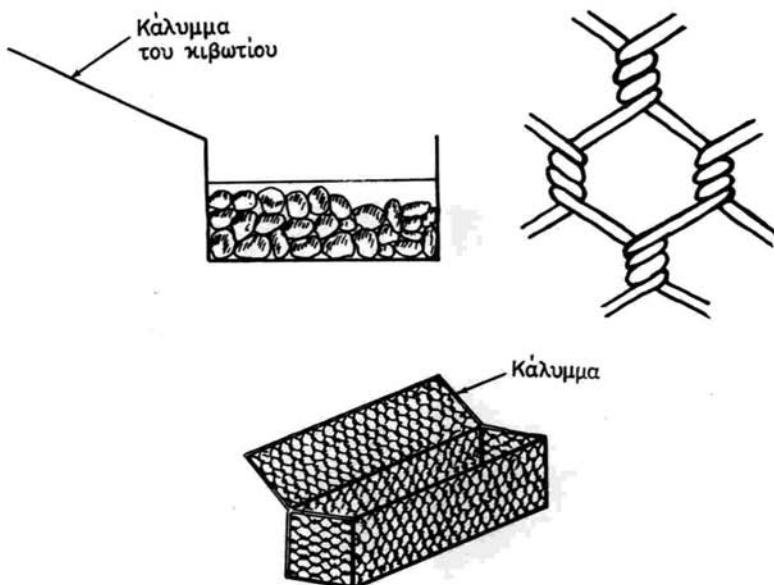
1) Συρματόπλεκτα κιβώτια.

Τα προστατευτικά έργα από συρματόπλεκτα κιβώτια αποτελούνται από δύο τμήματα (σχ. 6.6η): το **θεμέλιο (ποδιά)** και το **κύριο σώμα (κυρίως προστασία)**. Το συρματόπλεγμα που χρησιμοποιείται έχει βρόχους εξαγωνικού σχήματος (σχ. 6.6θ). Τα συρματόπλεκτα κιβώτια γεμίζονται με πέτρες. Οι πέτρες πρέπει να είναι μεγαλύτερες από το βρόχο του συρματοπλέγματος.



Σχ. 6.6η.

Η ποδιά κάθεται επάνω στην υποσκαφή και προστατεύει το έδαφος από τη διάβρωση.

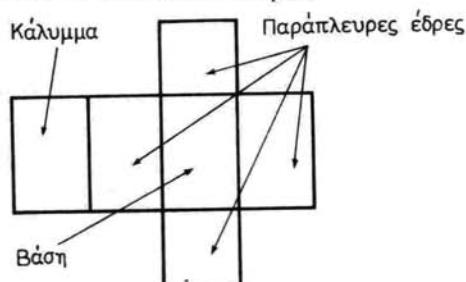


Σχ. 6.6θ.

Το συρματόπλεγμα αποτελείται όποιο βρόχους εξαγωνικού σχήματος. Με το συρματόπλεγμα αυτό σχηματίζεται ένα συρματοκιβώτιο που γεμίζει με κροκάλες.

Ο τρόπος κατασκευής τους είναι ο εξής:

Το συρματόπλεγμα απλώνεται στο έδαφος και κόβεται κατά το ανάπτυγμα του κιβωτίου (σχ. 6.6ι). Μετά υψώνονται και ράβονται μεταξύ τους με σύρμα οι παράπλευρες έδρες (σχ. 6.6ια). Η έδρα που αποτελεί το κάλυμμα του κιβωτίου παραμένει ανοικτή (σχ. 6.6ιβ). Μετά τη διαμόρφωσή του το κιβώτιο τοποθετείται στη θέση του και ράβεται μέ τά άλλα κιβώτια. Στη συνέχεια γεμίζει με πέτρες και κλείνει το κάλυμμά του (σχ. 6.6ιγ). Το ράψιμο των κιβωτίων γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε το κάθε κιβώτιο να αποτελεί ένα στερεό πρίσμα, αλλά και όλα μαζί να αποτελούν έναν ελαστικό, συνεκτικό και αδιάσπαστο όγκο.



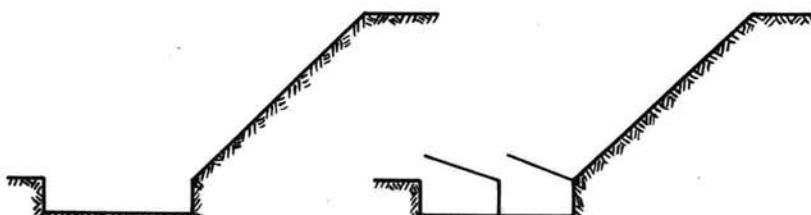
Σχ. 6.6ι.
Ανάπτυγμα συρματοκιβωτίου.



Σχ. 6.6ια.
Οι πλευρές του κιβωτίου ράβονται με σύρμα
κατά τις ακμές του παραλληλεπιπέδου.



Σχ. 6.6ιβ.
Τα κιβώτια τοποθετούνται στο διαμορφωμένο
πρανές και γεμίζουν με πέτρες.



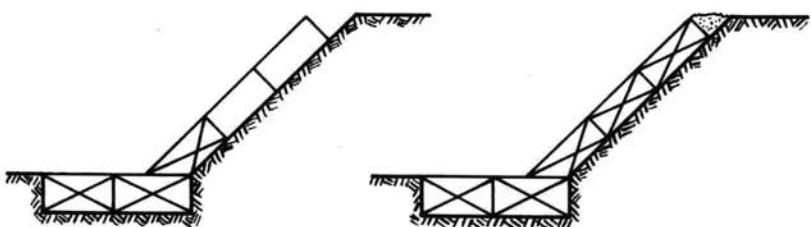
1. Εκσκαφή και διαμόρφωση της ποδιάς.

2. Τοποθέτηση συρματοκιβωτίων της ποδιάς.



3. Λιθοπλήρωση των κιβωτίων της ποδιάς.

4. Τοποθέτηση των κιβωτίων της χυρίας προστασίας.



5. Λιθοπλήρωση και τοποθέτηση.

6. Λιθοπλήρωση, επιχωμάτωση και διαμόρφωση του έργου.

Σχ. 6.6ιγ.

Φάσεις κατασκευής της προστασίας αναχώματος με συρματοκιβώτια.

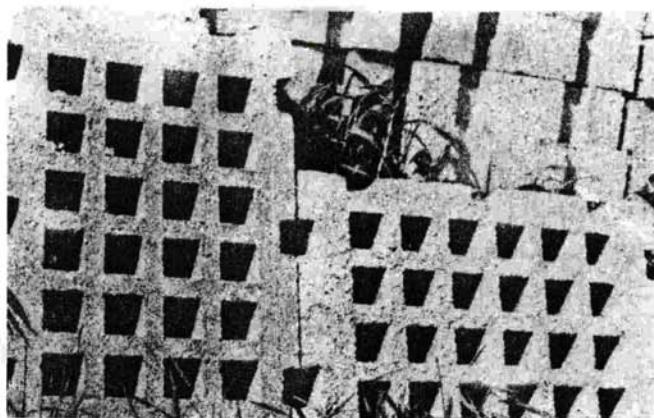
2) Συρματοκύλινδροι.

Αυτοί έχουν συνήθως διάμετρο 0,30-0,50 m και μήκος 2-3 m. Τοποθετούνται (ξαπλώνονται) επάνω στο πρανές του αναχώματος που θέλομε να προστατεύσουμε και ράβονται μεταξύ τους κατά μία γενέτειρα. Το γέμισμα του κυλίνδρου με πέτρες γίνεται από την επάνω βάση, που γι' αυτόν ακριβώς το λόγο παραμένει ανοικτή.

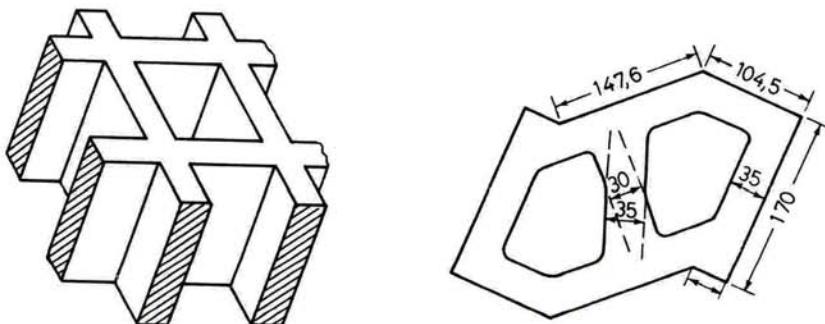
'Όταν το γέμισμα τελειώσει η επάνω βάση κλείνεται και ράβεται με την παράπλευρη επιφάνεια.

3) Τσιμεντόπλακες.

Οι τσιμεντόπλακες (*πλάκες από σκυρόδεμα*) έχουν διάφορες διαστάσεις και μεταξύ τους μικρά ή μεγάλα κενά (σχήματα 6.6ιδ και 6.6ιε). Στις άκρες τους έχουν εγ-



Σχ. 6.6ιδ.
Διάτρητες πλάκες από σκυρόδεμα.



Σχ. 6.6ιε.
Μορφές πλακών από σκυρόδεμα.

κοπές που συναρμόζονται μεταξύ τους. Τοποθετούνται επάνω στο πρανές του αναχώματος και συνδέονται με σιδερένιους συνδέσμους οι οποίοι περνούν από τις εγκοπές τους (σχ. 6.6ιστ).

Έτσι σχηματίζεται μία επένδυση εύκαμπτη που επιτρέπει μέσα στα κενά των πλακών την ανάπτυξη βλαστήσεως (σχ. 6.6ιζ).

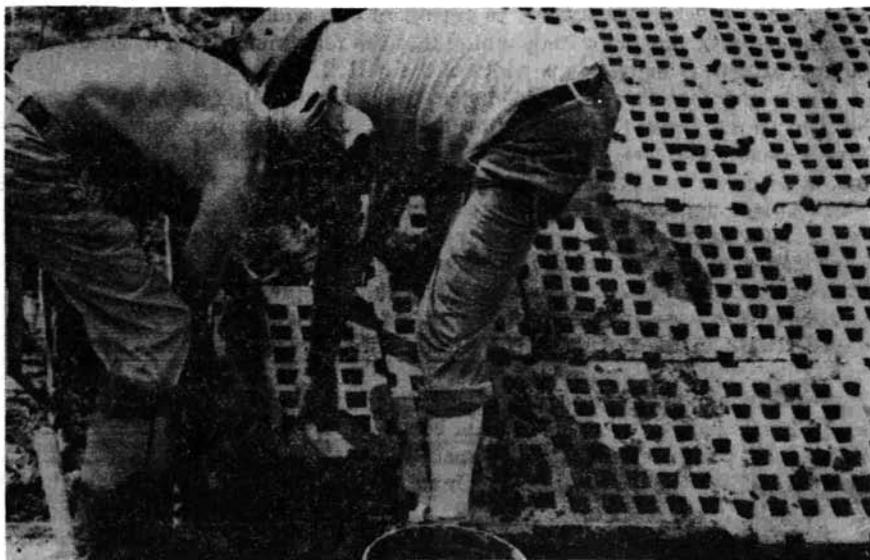
Με τον τρόπο αυτό προστασίας επιτυγχάνεται η αποφυγή της διαβρώσεως και η ενίσχυση του αναχώματος με την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος.

γ) Ειδικές κατασκευές.

Είναι οι **μεταλλικές πασσαλοσανίδες** (σχ. 6.6ιη) και οι **ξύλινοι πάσσαλοι** (σχ. 6.6ιθ).

1) Πασσαλοσανίδες μεταλλικές.

Η τοποθέτηση των πασσαλοσανίδων στο έδαφος γίνεται με τη βοήθεια καταλλήλων μηχανημάτων, που ονομάζονται πασσαλομπήχτες.

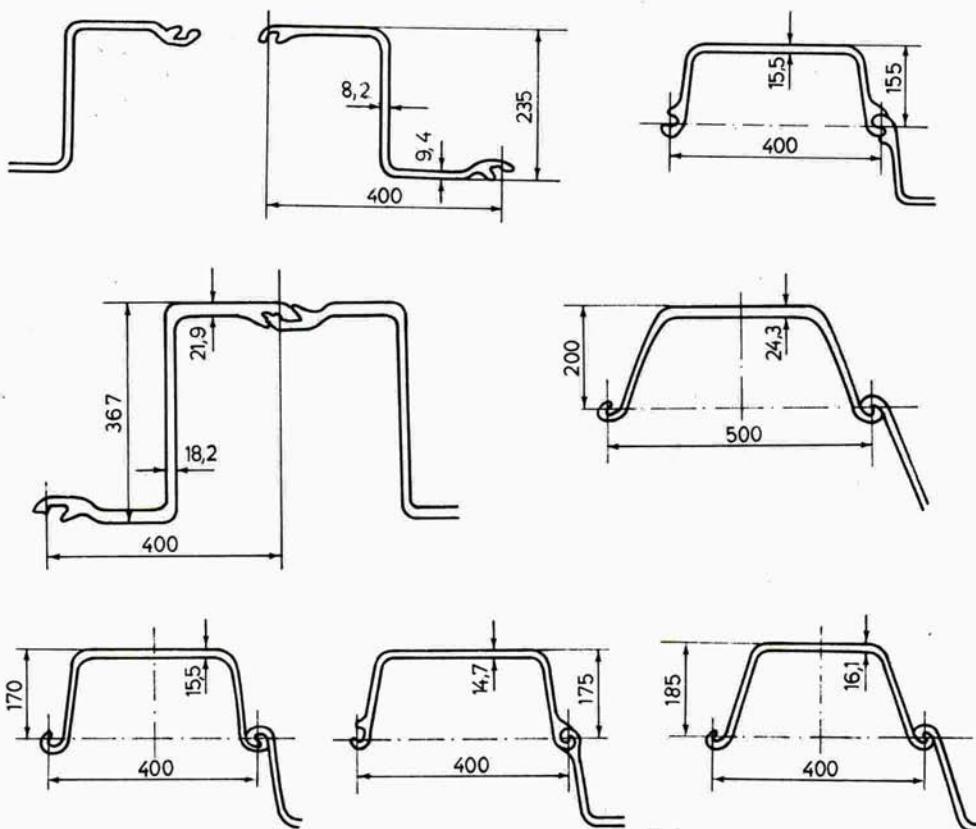


Σχ. 6.6ιστ.
Τοποθέτηση των διάτρητων πλακών.



Σχ. 6.6ιζ.
Με τον τρόπο αυτό προστασίας επιτυγχάνεται η αποφυγή της διαβρώσεως και η ενίσχυση του αναχώματος με την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος.

Η κατασκευή τοίχου με πασσαλοσανίδες παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα: Εξασφαλίζει μονιμότητα στις όχθες, δεν εμφανίζει κινδύνους υποσκαφής και διαβρώσεως, αφού το βάθος στο οποίο φθάνει η πασσαλοσανίδα είναι πολύ μεγαλύ-

**Σχ. 6.6η.**

Διάφορα προφίλ πασσαλοσανίδων και τρόποι συνδέσεώς τους.

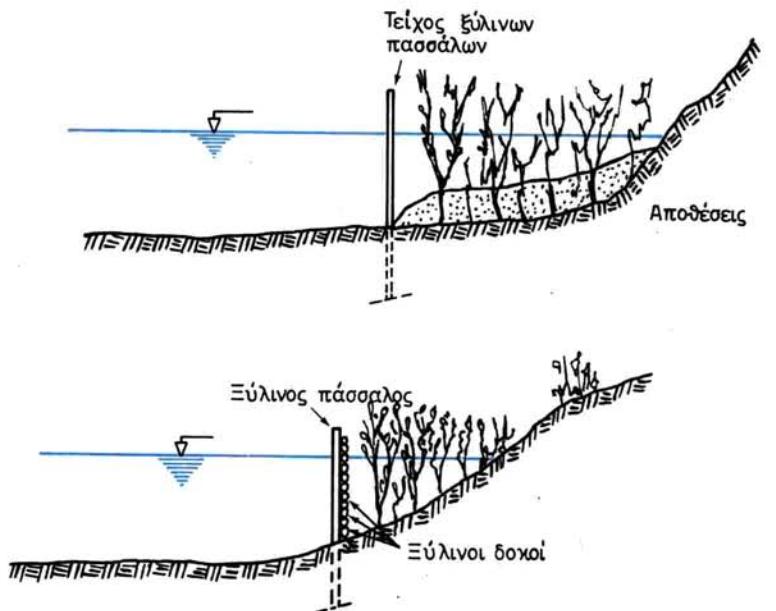
τέρο από το βάθος της θεμελιώσεως οποιουδήποτε άλλου έργου. Χρειάζεται όμως προσοχή ώστε το τμήμα επάνω από την επιφάνεια του πυθμένα να μην είναι μεγάλο. Έτσι δεν υπάρχει κίνδυνος ανατροπής από την ώθηση του εδάφους. Σε παρόμοιες περιπτώσεις μεγάλου ύψους γίνεται αγκύρωση του άκρου (σχ. 6.6κ).

2) Ξύλινοι πάσσαλοι.

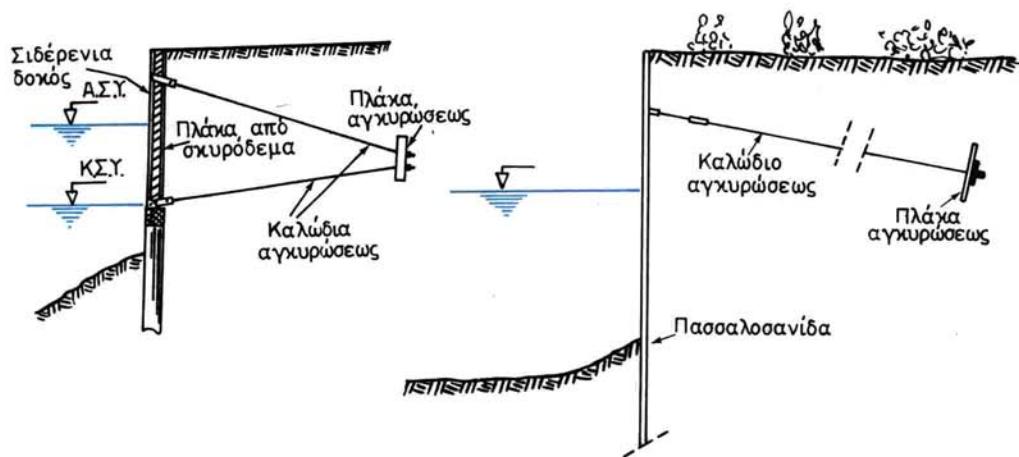
Εμβυθίζονται σε κοίλα τμήματα της κοίτης και προκαλούν μείωση της ταχύτητας του νερού που περνάει το τείχος τους. Έτσι το ρεύμα εκφορτώνει πίσω από τους πασσάλους τα φερτά υλικά και σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα (σχ. 6.6θ) επιχωματώνεται ο χώρος που περιβάλλουν οι πάσσαλοι.

6.6.2 Εγκάρσια έργα.

Τα έργα αυτά κατασκευάζονται κάθετα ή σχεδόν κάθετα στη ροή του ρεύματος και διακρίνονται σύμφωνα με το διάγραμμα του σχήματος 6.6κα.



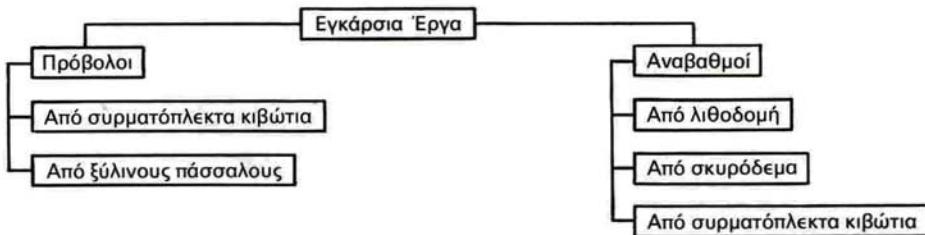
Σχ. 6.6ιθ.
Προστατευτικά έργα με ξύλινους πάσσαλους.



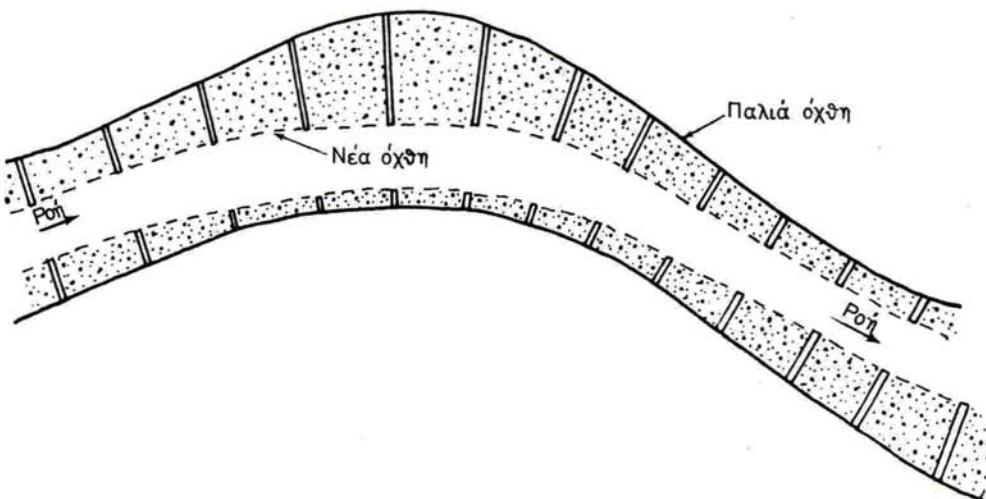
Σχ. 6.6κ.
Αγκύρωση πασσαλοσανίδων.

α) Πρόβολοι.

Κατασκευάζονται με σκοπό να απομακρύνουν τη ροή από την όχθη, για να αποφευχθεί η διάβρωσή της. Με τη μείωση της ταχύτητας του νερού στα μεταξύ τους διαστήματα προκαλούν την απόθεση φερτών και τη δημιουργία με την πάροδο του χρόνου, μιας νέας όχθης κατά μήκος της κεφαλής τους (σχ. 6.6κβ).



Σχ. 6.6κα.



Σχ. 6.6κβ.

Κατά μήκος των κεφαλών των προβόλων με την πάροδο του χρόνου σχηματίζεται νέα όχθη.

Η διεύθυνση του προβόλου, σχετικά με τον άξονα του ρεύματος, μπορεί να είναι κάθετη ή με μικρή κλίση προς τα ανάντη ή τα κατάντη (σχ. 6.6κγ).

Οι πρόβολοι κατασκευάζονται από συρματόπλεκτα κιβώτια που τοποθετούνται τό ένα επάνω στο άλλο (σχ. 6.6κδ). Ο πρόβολος διακρίνεται στα εξής μέρη:

Στη βάση του, που αποτελεί το τμήμα που συνδέεται με το παράλληλο έργο.

Στο κύριο σώμα, που αποτελείται από ένα πρίσμα με διατομή που εκλέγεται ανάλογα με τη διαμόρφωση της κοίτης και τη δίαιτα του ρεύματος και με στέψη που μπορεί να είναι οριζόντια, κεκλιμένη ή κλιμακωτή (σχ. 6.6κε).

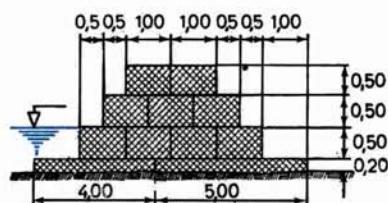
Στην κεφαλή, που είναι το ελεύθερο άκρο του κύριου προβόλου.

Η πίεση του νερού στην ελεύθερη άκρη (κεφαλή) των προβόλων είναι μεγάλη γιατί η ταχύτητα ροής είναι μεγαλύτερη και γιατί η στένωση της διατομής αυξάνει τις αντιστάσεις που καλείται να υπερνικήσει το νερό (σχ. 6.6κάτ). Οι αντιστάσεις αυτές προκαλούν προς τα ανάντη του προβόλου και υπερύψωση της στάθμης. Ε-



Σχ. 6.6κγ.

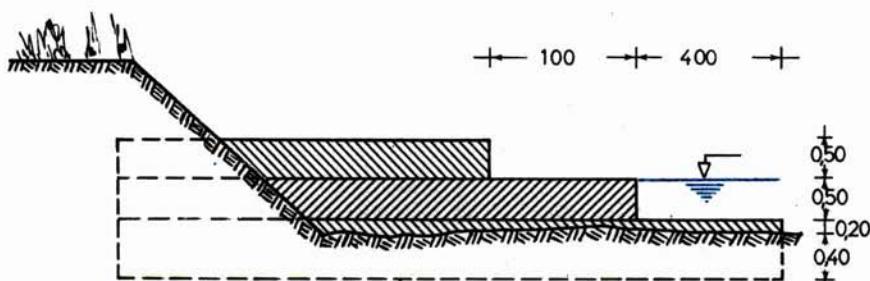
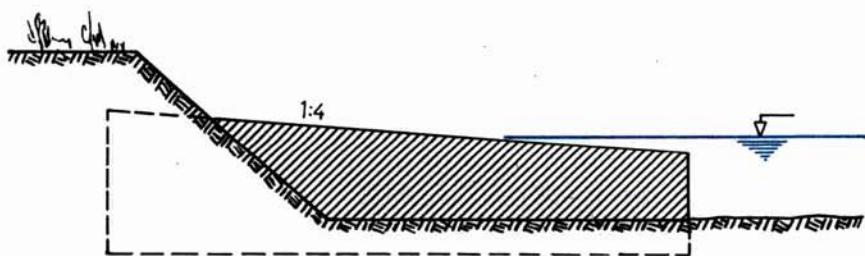
Η απόθεση των φερτών ποικίλλει ανάλογα με τη θέση του άξονα του προβόλου ως πρός τη ροή.



Σχ. 6.6κδ.

Τομή κάθετη στον άξονα του προβόλου.

Ο πρόβολος προστατεύεται από τις περιδινήσεις του νερού με λιθορριπή.



Σχ. 6.6κε.

Πρόβολος με κεκλιμένη και κλιμακωτή στέψη.

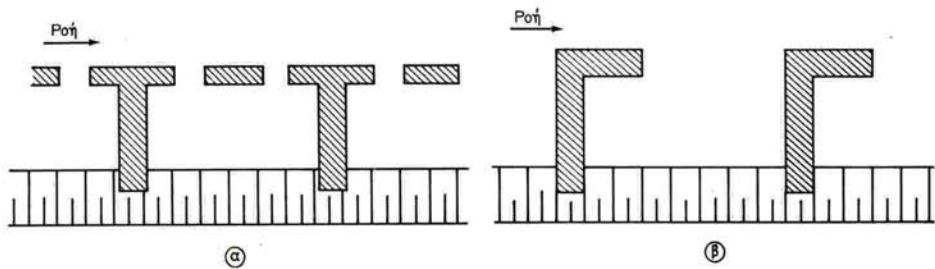


Σχ. 6.6κστ.

Πρόβολος με στέψη κλιμακωτή.

κτός όμως από αυτά, η κάθετη πρόσκρουση του νερού στον πρόβολο προκαλεί στροβιλισμούς, υποσκαφές και αποθέσεις που δεν υπακούουν σε νόμους, αλλά διαμορφώνονται και διαφοροποιούνται πολλές φορές στο διάστημα μιας πλημμύρας.

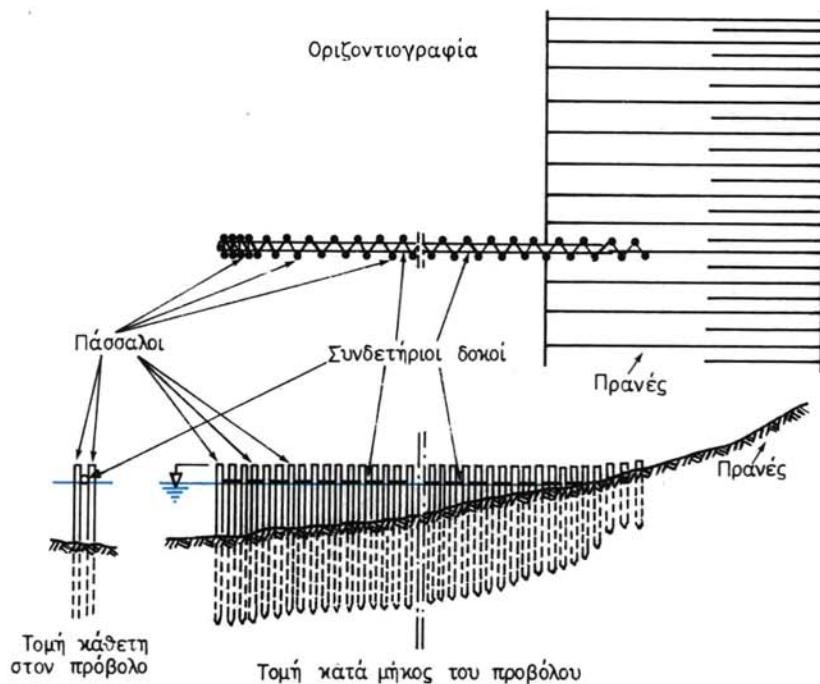
Για να ενισχυθεί η κεφαλή του προβόλου, κατασκευάζεται με μορφή Τ ή Γ (σχ. 6.6κζ).



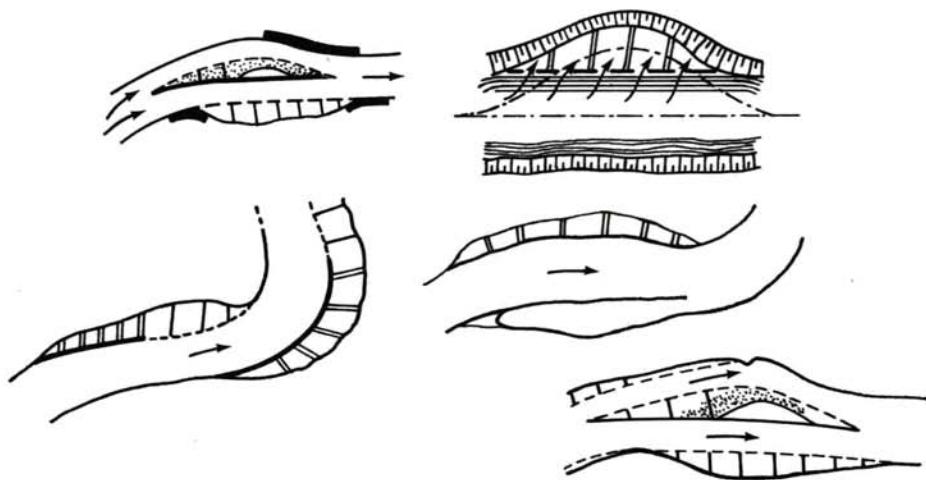
Σχ. 6.6κζ.

Η κεφαλή των προβόλων μπορεί να διαμορφωθεί σε σχήμα Τ (α) ή σε σχήμα Γ (β).

Πρόβολοι μπορεί να κατασκευασθούν σπανιότερα και από ξύλινους πάσσαλους (σχ. 6.6κη). Οι πάσσαλοι εμβυθίζονται κάθετα στη ροή, μειώνοντας την ταχύτητα του νερού κοντά στην όχθη και αναγκάζοντας το νερό να αποθέσει πίσω τους τα φερτά που μεταφέρει (σχ. 6.6κθ).



Σχ. 6.6κη.
Κατασκευή προβόλου με ξύλινους πάσασαλους.



Σχ. 6.6κθ.

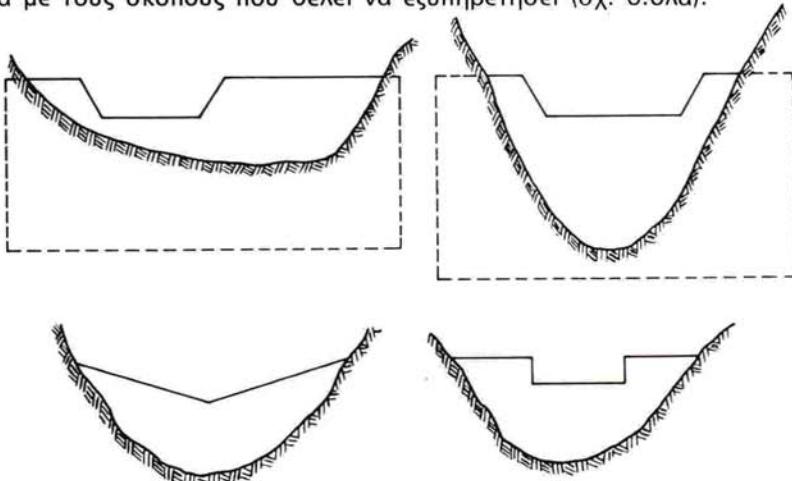
Για να αποφευχθεί η διάβρωση των οχθών, κατασκευάζονται πρόβολοι των οποίων το άνοιγμα μεταξύ των κεφαλών κλείνει με παράλληλο έργο.

β) Αναβαθμοί.

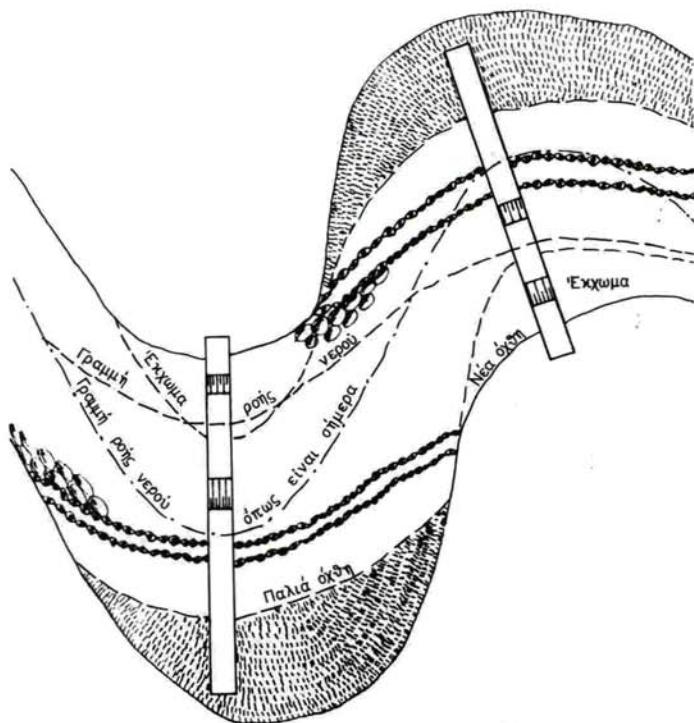
Κατασκευάζονται κάθετα στη διεύθυνση της ροής και έχουν σκοπό τη συγκράτηση των φερτών και τη μείωση της κλίσεως. Τα υλικά κατασκευής μπορεί να είναι

από συρματόπλεκτα κιβώτια, λιθοδομή ή σκυρόδεμα. Από άποψη μορφής κατασκευάζονται **θολωτοί ή επίπεδοι**. Η επάνω επιφάνειά τους διαμορφώνεται με μια σκάφη σε σχήμα τριγωνικό, ορθογωνικό, τραπεζοειδές ή κυκλικό (σχ. 6.6λ).

Η σκάφη μπορεί να βρίσκεται στον άξονα συμμετρίας του έργου ή έκκεντρα, ανάλογα με τους σκοπούς που θέλει να εξυπηρετήσει (σχ. 6.6λα).



Σχ. 6.6λ.
Τρόποι διαμορφώσεως της σκάφης απορροής.



Σχ. 6.6λα.

Λειτουργία αναβαθμών σε ένα μαιανδρισμό. Η σκάφη απορροής απομακρύνει τη ροή από τα κοίλα και εξομαλύνει τις οξύτητες που δημιουργήθηκαν.

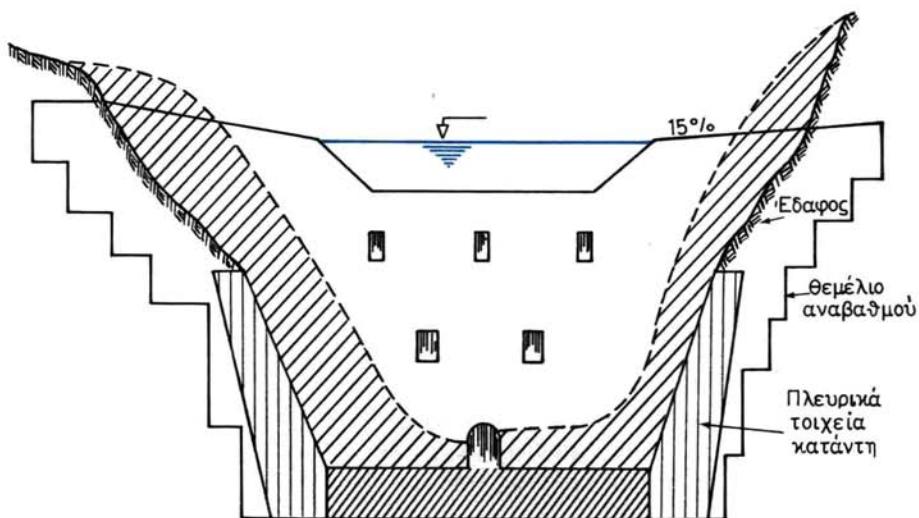
Επειδή η συσσώρευση φερτών και η ύπαρξη νερού προκαλεί πολλές φορές προβλήματα στη σταθερότητα και ισορροπία των αναβαθμών, κατά την κατασκευή άφηνονται ανοίγματα στο σώμα του αναβαθμού που λειτουργούν ως στραγγιστήρια (σχ. 6.6λβ) και μειώνουν ή εκμηδενίζουν την υδροστατική πίεση. Οι διαστάσεις τους εξαρτώνται από το μέγεθος του αναβαθμού. Συνήθως είναι ορθογώνια 10×20 , 20×30 ή 20×40 cm² (σχ. 6.6λγ).



Σχ. 6.6λβ.

Ψηλός αναβαθμός.

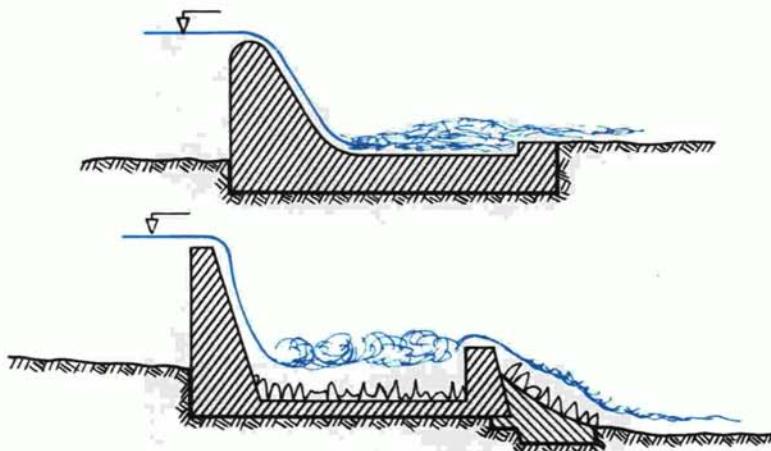
Διακρίνονται τα στραγγιστήρια και οι βοηθητικές δευτερεύσυσες πτώσεις κατάντη.



Σχ. 6.6λγ.

Στο σώμα του αναβαθμού αφήνονται ορθογωνικά ανοίγματα για να φεύγει το νερό και να εκμηδενίζεται η υδροστατική πίεση.

Ο μεγαλύτερος κίνδυνος για ένα αναβαθμό είναι η υποσκαφή του εδάφους στο οποίο εδράζεται. Η υποσκαφή μπορεί να προκληθεί από την πτώση του νερού ή από την υπερχείλιση και πλευρική διάβρωση. Όταν το έδαφος είναι βραχώδες, ο κίνδυνος είναι περιορισμένος, όταν όμως το έδαφος είναι σαθρό, επιβάλλεται η λήψη προστατευτικών μέτρων. Τα μέτρα αυτά είναι επένδυση του προς τα κατάντη τμήματος όπου πέφτει το νερό και επένδυση των πρανών της κοίτης (σχ. 6.6λδ).



Σχ. 6.6λδ.

Διάφορες διατάξεις για την καταστροφή της ενέργειας του νερού και τη προστασία από τη διάβρωση.

6.7 Έργα διευθετήσεως των ποταμών.

6.7.1 Μορφολογία των ποταμών.

Οι ποταμοί είναι ρεύματα ήρεμα, με συνεχή ροή και σταθερή σχετικά παροχή. Δεν παρουσιάζουν τα βίαια φαινόμενα των χειμάρρων, γιατί η βασική τροφοδότησή τους γίνεται από πηγαίο νερό. Η βροχόπτωση απλώς αυξάνει την παροχή αυτή σε βαθμό μικρό.

Η παροχή των ποταμών είναι σταθερή με ελαφρές μόνο διακυμάνσεις, οι ταχύτητες ροής μικρότερες από τις αντίστοιχες των χειμάρρων και τα φερτά υλικά περιορισμένα σε όγκο και ποσοστό.

Η κοίτη των ποταμών ακολουθεί μαιανδρική διαδρομή η οποία προκαλεί υποσκαφή και διάβρωση στις όχθες (σχ. 6.7α).

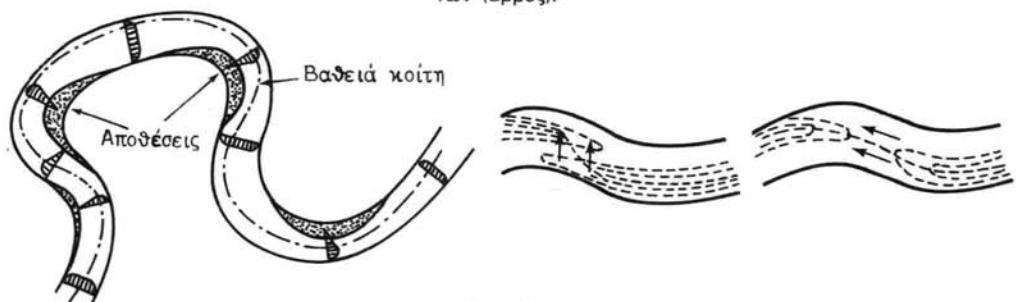
Το ρεύμα πέφτοντας στην όχθη δημιουργεί κοιλότητα που αυξάνεται με τη συνεχή μετωπική κρούση του νερού. Το ρεύμα μετά την πρόσκρουσή του ανακλάται στην απέναντι όχθη δημιουργώντας κοίλωμα και έτσι συνεχίζει την κίνησή του «μαιανδρίζοντας» (σχ. 6.7β).

Η παροχή ενός ποταμού μπορεί να είναι **βασική ή πηγαία** και **επιφανειακή ή παροχή των βροχών** (σχ. 6.7γ).



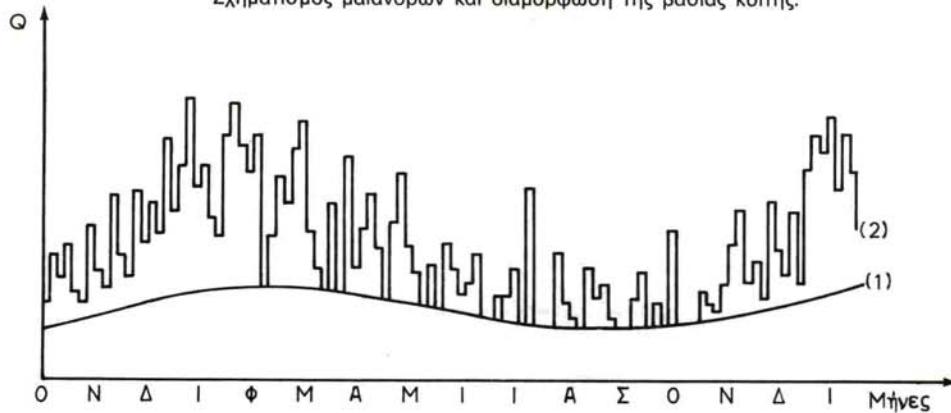
Σχ. 6.7α.

Το ρεύμα διαβρώνει τα κοίλα των μαιανδρισμών και αποθέτει στα κυρτά μέρη τους ποσότητες φερτών (άρμος).



Σχ. 6.7β.

Σχηματισμός μαιανδρων και διαμόρφωση της βαθιάς κοίτης.



Σχ. 6.7γ.

Η παροχή ενός ποταμού αποτελείται από δύο επί μέρους παροχές. Την πηγαία παροχή (1) και την παροχή των βροχών (2).

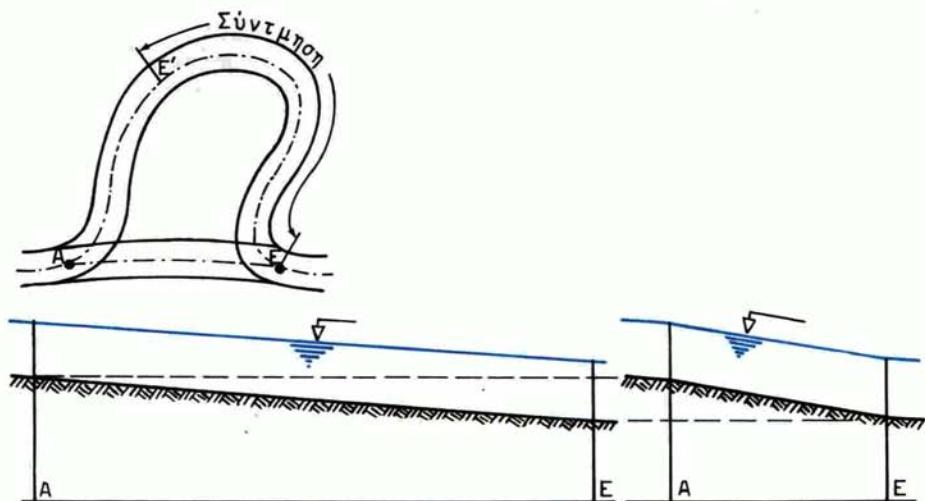
6.7.2 Βελτίωση συνθηκών ροής.

α) Καθαρισμός της κοίτης.

Στις πεδινές κοίτες των ποταμών εμφανίζονται νησίδες που προέρχονται από αποθέσεις στην κοίτη. Με την πάροδο του χρόνου αναπτύσσεται βλάστηση από θάμνους ή δένδρα. Οι νησίδες εκτρέπουν τη ροή προς τις όχθες προκαλώντας έτσι τη διάβρωσή τους. Ο καθαρισμός της κοίτης και η αφαίρεση των νησίδων αυξάνει πολλές φορές την απορροή σε ποσοστό που φθάνει το 50%.

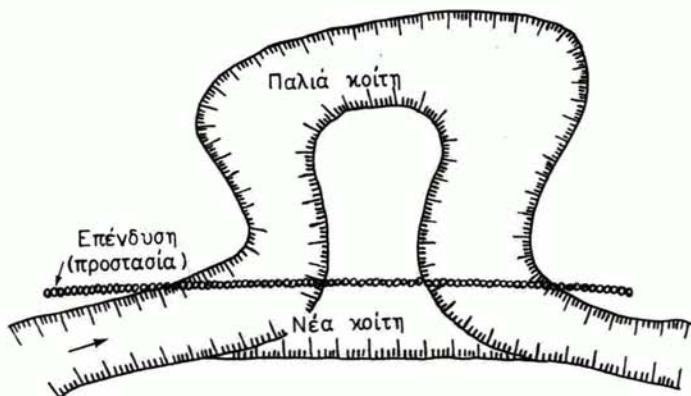
β) Η αποκοπή των μαιανδρισμών διευκολύνει και επιταχύνει τη ροή.

Πρέπει όμως να γίνεται ύστερα από προσεκτική μελέτη, γιατί από τη σύντμηση του μήκους αυξάνεται η κατά μήκος κλίση, η ταχύτητα και η διαβρωτική ικανότητα του νερού (σχ. 6.7δ).



Σχ. 6.7δ.

Μείωση του μήκους με την αποκοπή των μαιανδρισμών.



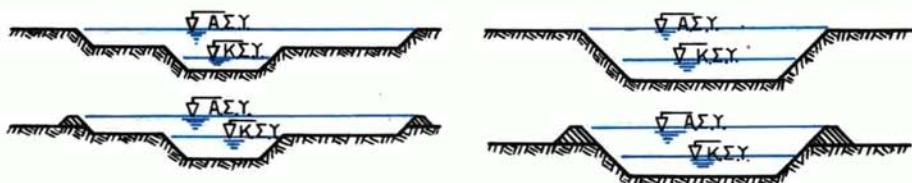
Σχ. 6.7ε.

Κατά τη διάνοιξη νέας κοίτης στο λαιμό ενός μαιάνδρου, η επένδυση που φράζει το τμήμα της παλιάς κοίτης πρέπει να εκτείνεται σε μήκος μέσα στο στερεό έδαφος.

Όταν η διάβρωση στις όχθες προχωρεί και οι μαιανδρισμοί συνεχώς μεγαλώνουν, με αποτέλεσμα ο λαιμός του μαιανδρου να είναι πολύ λεπτός (σχ. 6.7ε), η σύντημηση γίνεται ακριβώς στα σημεία αυτά και αποφεύγονται μεγάλες εκσκαφές.

γ) Δημιουργία διπλής τραπεζοειδούς διατομής.

Σε ποταμούς με μικρή κατά μήκος κλίση όπου η ταχύτητα ροής είναι μικρή, μπορεί να αυξηθεί η παροχετευτικότητα, με την εφαρμογή διπλής τραπεζοειδούς διατομής. Η διατομή μπορεί να πάρει μια από τις μορφές του σχήματος 6.7στ.



Σχ. 6.7στ.
Διάφορες μορφές διευρύνσεως της κοίτης.

6.7.3 Συγκράτηση πλημμυρικών παροχών σε τεχνητές λίμνες.

Τα μεγάλα φράγματα συγκρατούν τεράστιες ποσότητες νερού οι οποίες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για άρδευση ή ύδρευση. Από την οικονομική πλευρά αντεδείκνυται η κατασκευή ενός φράγματος με αποκλειστικό σκοπό την αποθήκευση της πλημμυρικής παροχής, γιατί η ώφέλεια από την προστασία των καλλιεργουμένων εκτάσεων είναι τις περισσότερες φορές μικρότερη από τις δαπάνες συντηρήσεως και αποσβέσεως των αρχικών εξόδων κατασκευής.

Για την επιτυχή αντιμετώπιση των πλημμυρικών παροχών (σχ. 6.7ζ), η λίμνη ενός μεγάλου φράγματος πολλαπλής χρήσεως (ύδρευση, άρδευση, ηλεκτρική ενέργεια), πρέπει να έχει ελεύθερο χώρο, ικανό να δεχθεί και να αποθηκεύσει την πλημμυρική παροχή. Η παροχή π.χ. πλημμυρών που δημιουργεί το λιώσιμο των χιονιών από τις ανοιξιάτικες βροχές, αποθηκεύεται στη λίμνη, η οποία πρέπει να διατηρεί ελεύθερο χώρο.

Αν όμως οι βροχές δεν πέσουν, η λίμνη θα μένει με χαμηλή στάθμη και μικρή αποθηκευμένη ποσότητα το καλοκαίρι που οι απαιτήσεις σε νερό είναι μεγάλες. Συνήθως στις λίμνες των μεγάλων φραγμάτων δεν υπάρχει αυτό το πρόβλημα, γιατί η έκταση της λίμνης είναι πολύ μεγάλη και η πλημμυρική παροχή δεν επηρεάζει το ύψος της.

Παράδειγμα.

Ένα ρεύμα π.χ. μπορεί να παραλάβει παροχή $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ στα κατάντη ενός φράγματος. Μια έντονη βροχή με διάρκεια 2 μέρες προκαλεί συνεχή πλημμυρική παροχή $Q = 28 \text{ m}^3/\text{sec}$. Αν ο καθρέπτης της λίμνης (εμβαδό της ελεύθερης επιφάνειας) είναι 20 km^2 ζητείται να βρεθεί πόσο θα ανυψωθεί η στάθμη της λίμνης από τη συγκράτηση της πλημμυρικής παροχής.



Σχ. 6.7ζ.

Πλημμύρα του Πηνειού λίγο πριν από τα στενά των Τεμπών.
Η τεράστια παροχή κατά τους χειμερινούς μήνες χύνεται ανεκμετάλλευτη στη θάλασσα.

Η παροχή που συγκρατεί η λίμνη είναι:

$$Q = Q_1 - Q_2$$

όπου: Q είναι η συγκρατούμενη παροχή

Q_1 η πλημμυρική παροχή και

Q_2 η παροχή που μπορεί να παραλάβει το ρεύμα.

Αντικαθιστούμε: $Q = 28 - 10 = 18 \text{ m}^3/\text{sec}$

Οι δύο μέρες αντιστοιχούν σε: $T = 2 \times 86\,400 = 172\,800 \text{ sec}$

Άρα ο συνολικός όγκος νερού που συγκρατείται είναι:

$$V = Q \cdot T = 18 \times 172\,800 = 3\,110\,400 \text{ m}^3$$

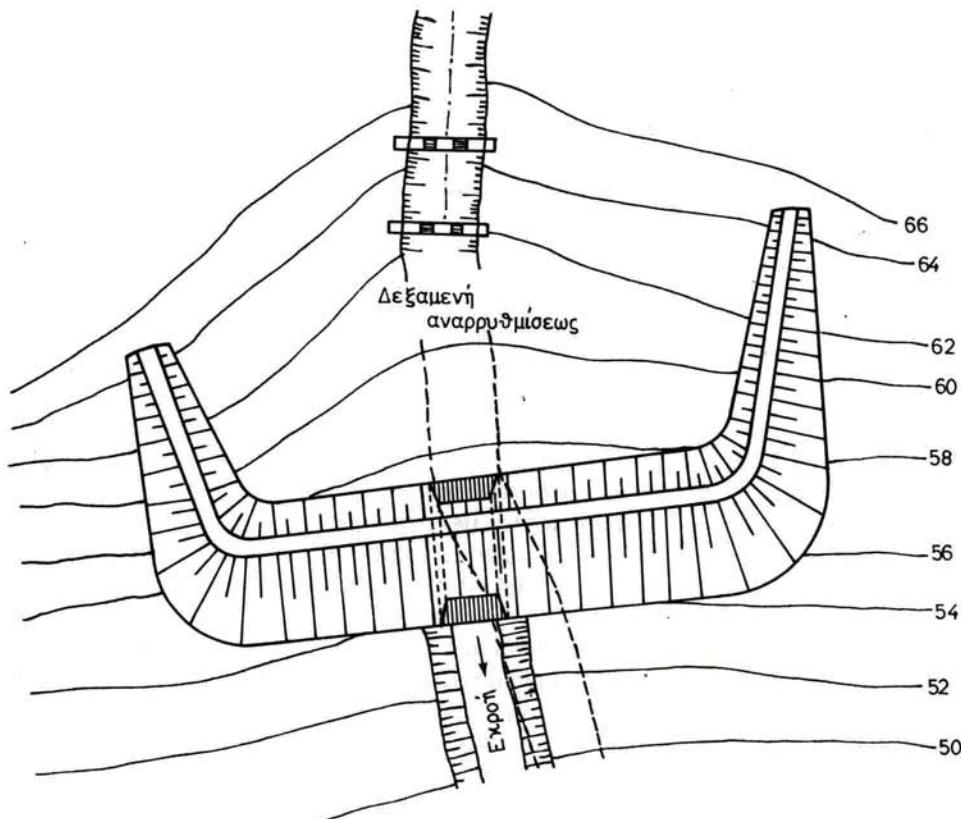
Ο όγκος αυτός κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλη τη λίμνη. Ο καθρέπτης, δηλαδή το εμβαδό της λίμνης $E = 20 \text{ km}^2 = 20\,000\,000 \text{ m}^2$.

Άρα η ανύψωση της στάθμης θα είναι:

$$h = \frac{V}{E} = \frac{3\,110\,400}{20 \times 10^6} = 0,155 \text{ m} = 15,5 \text{ cm}$$

Δηλαδή 15,5 cm.

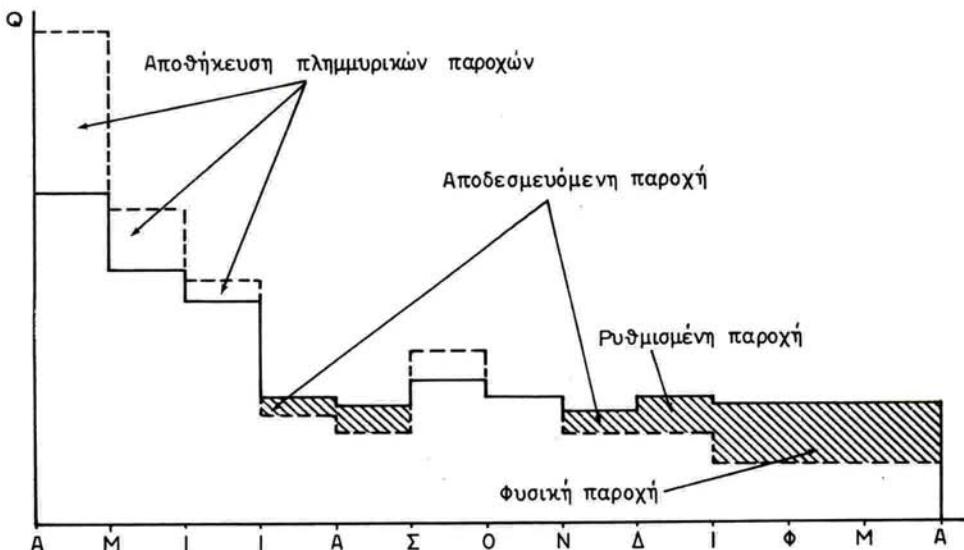
Εκτός από τα μεγάλα φράγματα και τις τεχνητές λίμνες μπορεί να κατασκευασθούν μικρότερα έργα τα οποία αναρρυθμίζουν το νερό των πλημμυρών και γι' αυτό λέγονται συνήθως αναρρυθμιστικές λίμνες ή αναρρυθμιστικές δεξαμενές (σχ. 6.7η). Η απαιτούμενη χωρητικότητα της λίμνης και το αντίστοιχο ύψος του φράγματος καθορίζονται με βάση τη μέγιστη επιτρεπόμενη παροχή που μπορεί χωρίς κίνδυνο πλημμυρών να δεχθεί η κοίτη κατάντι (σχ. 6.7θ). Για να εκπληρώσουν το σκοπό τους οι αναρρυθμιστικές λίμνες πρέπει να εκκενώνονται μετά από κάθε πλημμύρα ώστε να έχουν το διαθέσιμο χώρο για τη συγκράτηση της επόμενης πλημμύρας.



Σχ. 6.7η.
Αναρρυθμιστική δεξαμενή.

6.7.4 Αναχώματα.

Τα αναχώματα είναι σωρός από χώματα που συσσωρεύονται κατά μήκος της κοίτης ενός ποταμού. Ο σωρός αυτός εμποδίζει την πλημμυρική παροχή να εξαπλώνεται στην πεδιάδα και να προκαλεί ζημιές. Ανάλογα με τη συμπίεσή τους τα αναχώματα διακρίνονται σε:



Σχ. 6.70.

Σχηματικό διάγραμμα της κανονικής παροχής νερού της βροχής και της παροχής του ρεύματος όπως ρυθμίζεται με την αναρρυθμιστική δεξαμενή.

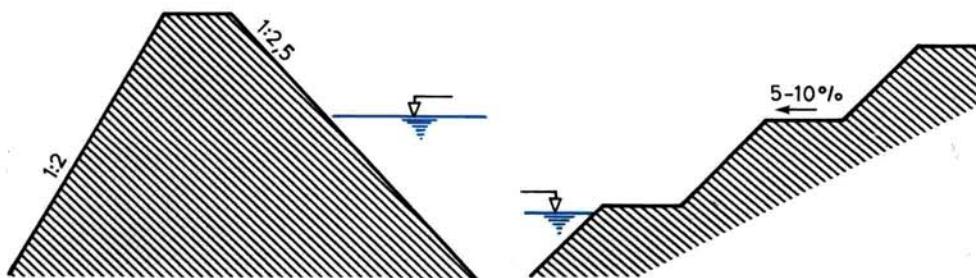
- **Απλά.** Προκύπτουν από απλή συσσώρευση χωμάτων απαλλαγμένων από κορμούς δένδρων, μεγάλες κροκάλες και άλλα ακατάλληλα υλικά.
- **Συμπιεσμένα.** Κατασκευάζονται κατά στρώσεις (πάχος 30 cm) με χώματα κατάλληλα. Τα χώματα συμπιέζονται με μηχανήματα.
- **Συμπυκνωμένα.** Κατασκευάζονται όπως τα συμπιεσμένα με την προσθήκη ότι η συμπυκνωσή τους ελέγχεται με τις προβλεπόμενες από τις προδιαγραφές μεθόδους (Proctor).

Το ύψος των αναχωμάτων εξαρτάται από τη μεταξύ τους απόσταση και από την ανάμενόμενη αιχμή πλημμύρας. Η ανώτατη στάθμη πλημμύρας πρέπει να βρίσκεται κατά 1,00 m τουλάχιστον κάτω από τη στέψη των αναχωμάτων, για να μην υπάρχουν πιθανότητες υπερχειλίσεως τους.

Η απόσταση ανάμεσα στα αναχώματα πρέπει να μπορεί να παραλάβει τη μέγιστη παροχή και, οπωδήποτε, να περιβάλλει τη βαθιά κοίτη του ποταμού. Η χάραξή τους γίνεται κατά το δυνατό ευθύγραμμη και σε ίση απόσταση από τη βαθιά κοίτη. Όταν η βαθιά κοίτη ακολουθεί μαιανδροειδή διαδρομή, τότε τα αναχώματα πρέπει να περιβάλλουν τους μαιανδρισμούς χωρίς να πλησιάζουν πολύ στα κοίλα.

Η χάραξη οριζοντιογραφικά πρέπει να γίνεται με μεγάλες ακτίνες καμπυλότητας. Η στέψη τους κατασκευάζεται με πλάτος τουλάχιστον 4,00 m ανεξάρτητα από τα υδραυλικά κριτήρια, για να κυκλοφορούνται από τα οχήματα.

Η κλίση των πρανών (σχ. 6.71) αποτελεί βασικό παράγοντα για την ασφάλειά τους και εξαρτάται από την ποιότητα των υλικών κατασκευής και το ύψος του αναχωμάτος. Ο υπολογισμός της κλίσεως των πρανών, όπου πρέπει να γίνει ακριβής προσδιορισμός, γίνεται με τις γνωστές από την εδαφομηχανική μεθόδους. Στις πε-



Σχ. 6.7ι.

Κλίση πρανών των αναχωμάτων και κατασκευή πρανούς μέ βαθμίδες.

ρισσότερες περιπτώσεις αναχωμάτων η κλίση της εξωτερικής πλευράς γίνεται 1:2 και της εσωτερικής 1:2,5. Όταν τα αναχώματα πρέπει να γίνουν ψηλά, τότε η εσωτερική πλευρά κατασκευάζεται κατά βαθμίδες, με κλίση στην επιφάνεια τής βαθμίδας (μπαγκίνας) 5-10% για τη διευκόλυνση της απορροής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΕΙΣ

7.1 Γενικά.

Η διαρκής αύξηση του πληθυσμού, η άνοδος του βιοτικού επιπέδου, η εκβιομηχάνιση, ο τουρισμός και η συνεχής αστικοποίηση του πληθυσμού, δημιουργούν όλο και μεγαλύτερες ανάγκες σε νερό. Απέναντι στις αυξανόμενες αυτές ανάγκες, το υδάτινο δυναμικό παραμένει σταθερό. Το γεγονός αυτό έκαμπε επιτακτική την κατασκευή έργων (φραγμάτων) που δεσμεύουν τις περισσευόμενες ποσότητες νερού κατά την περίοδο του χειμώνα που οι ανάγκες σε νερό είναι μικρές και τις αποδίδουν το καλοκαίρι που οι ανάγκες είναι μεγάλες και που η προσφορά των φυσικών πόρων είναι μειωμένη.

Η χρησιμοποίηση του νερού για την ύδρευση, για τη βιομηχανία και για τις άλλες αστικές ανάγκες δεν συνεπάγεται κατανάλωση, χάσιμο του νερού, αλλά μόνο υποβάθμιση της ποιότητάς του. Το 70 - 80% από το νερό που χρησιμοποιείται επιστρέφει στη φύση με μικρό ή μεγάλο ποσοστό μολύνσεως. Έτσι οι αυξανόμενες ανάγκες σε νερό δημιουργούν ανάλογους όγκους ακάθαρτου νερού που ως λύματα, βιομηχανικά απόβλητα ή ως άλλη μορφή υποβαθμισμένου νερού οδηγούνται στον πιο κοντινό αποδέκτη (ποταμό, λίμνη, θάλασσα) τον οποίο καί μολύνουν. Ο αποδέκτης με αυτό τον τρόπο υποβαθμίζεται και από υδάτινη **αρτηρία** (καθαρό νερό) μετατρέπεται σε **φλέβα** (υποβαθμισμένο νερό). Έτσι η δυνατότητα χρησιμοποίησεως του νερού του αποδέκτη είναι περιορισμένη.

Για να εξασφαλισθεί η απαραίτητη ιαφροπία ανάμεσα στο διαθέσιμο υδάτινο δυναμικό και στις ανάγκες σε νερό, χρειάζεται εκτός από τη σωστή διαχείριση των υδατίνων πόρων και συστηματική προστασία τους από τη ρύπανση που προέρχεται αναπόφευκτα από τη σύγχρονη τεχνολογική εξέλιξη.

7.2 Αντικείμενο των αποχετεύσεων. Αποχετευτικό δίκτυο.

Λέγοντας αποχέτευση εννοούμε την απομάκρυνση μέσα από ένα δίκτυο αγωγών: **α) Του νερού της βροχής** που προέρχεται από τις στέγες σπιτιών, δρόμους, πεζοδρόμια, κήπους. **β) Του νερού που έχει χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο** και έχει έτσι υποβαθμισθεί η ποιότητά του (νερό από λουτήρες, κουζίνες, μαγειρεία, στερεά, ή υγρά απόβλητα του ανθρώπινου οργανισμού). **γ) Του νερού που έχει χρησιμοποιηθεί από τη βιομηχανία** και έχει και αυτό σε μεγάλο ή μικρό βαθμό υποβαθμισθεί. Τα βιομηχανικά απόβλητα περιέχουν συνήθως ισχυρά οξέα, λίπη, ανόρ-

γανες και οργανικες επιβλαβεις ουσίες, ψηλή θερμοκρασία. Γι' αυτό και πρέπει ο πιωσδήποτε πριν από τη διάθεσή τους να καθαρίζονται.

Η μεταφορά τόσο των λυμάτων όσο και του νερού της βροχής γίνεται με κλειστούς αγωγούς ελεύθερης στάθμης. Επειδή η περιεκτικότητα του νερού αυτού σε στερεές ύλες είναι σχετικά μικρή, η επίδρασή τους στο ειδικό βάρος του υγρού είναι αμελητέα και έτσι μπορούν να εφαρμοσθούν χωρίς αλλαγές οι γνωστοί νόμοι της υδραυλικής. Η διάταξη των αγωγών είναι τέτοια, ώστε να αποτελούν δίκτυο. Έτσι, από μια μικρή έκταση (δύο, τρία ή τέσσερα οικοδομικά τετράγωνα) παραλαμβάνει ο τριτεύων αγωγός τα ακάθαρτα και τα ρίχνει στο δευτερεύοντα. Ο δευτερεύων παραλαμβάνει την παροχή πολλών τριτεύοντων και ο πρωτεύων την παροχή πολλών δευτερεύοντων. Τέλος την παροχή των πρωτεύοντων παραλαμβάνει ο συλλεκτήρας που τελικά μεταφέρει δόλη την παροχή στις εγκαταστάσεις καθαρισμού για επεξεργασία.

Το ακάθαρτο και βρόχινο νερό, όπως αναφέραμε, οδηγείται με υπόγειους αγωγούς έξω από την πόλη. Η μεταφορά πρέπει να γίνεται με τον πιο σύντομο και οικονομικό τρόπο. Οι αγωγοί τοποθετούνται κάτω από τον άξονα του δρόμου ή κάτω από τα κράσπεδα των πεζοδρομίων. Η θέση των αξόνων των αγωγών εξαρτάται κυρίως από το σύστημα της αποχέτεύσεως που εφαρμόζεται καθώς και από το πλάτος του δρόμου.

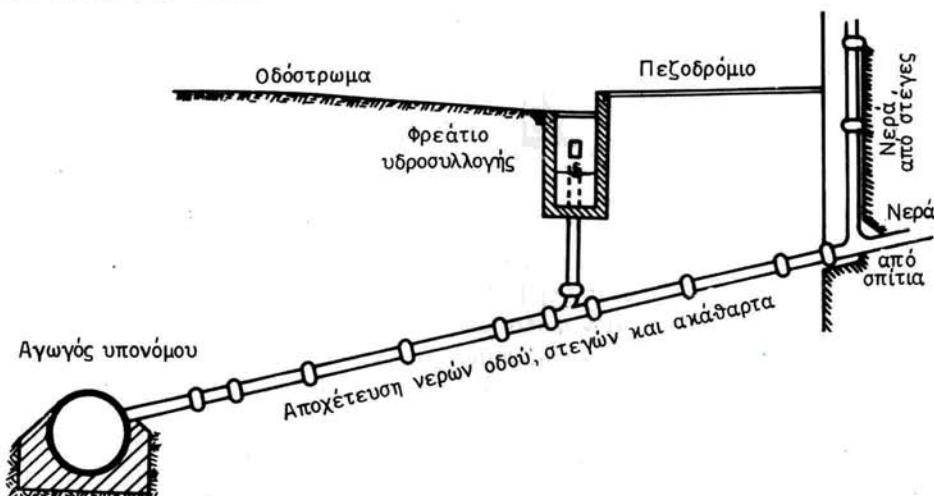
Τα συστήματα που εφαρμόζονται για την αποχέτευση είναι, βασικά δύο:

- Το παντορροϊκό σύστημα και
- το χωριστικό σύστημα.

7.3 Συστήματα αποχέτεύσεων.

7.3.1 Παντορροϊκό σύστημα.

Είναι το απλούστερο σύστημα συλλογής λυμάτων και βρόχινου νερού στον ίδιο αγωγό (σχ. 7.3α).



Σχ. 7.3α.

Διαμόρφωση της συνδέσεως των αγωγών στο παντορροϊκό σύστημα.

Εφαρμόζεται όταν:

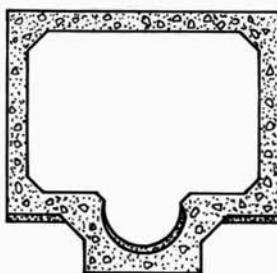
- Η τοπογραφική διαμόρφωση του εδάφους δεν απαιτεί άντληση, γιατί ο μεγάλος όγκος του νερού αυξάνει τις διαστάσεις των κατασκευών και φυσικά το κόστος.
 - Δεν απαιτείται επεξεργασία των λυμάτων, γιατί η μεγάλη ποσότητά τους επιβαρύνει υπέρογκα τις εγκαταστάσεις καθαρισμού.
 - Πρόκειται να συμπληρωθεί παντορροϊκό δίκτυο που ήδη υπάρχει.
 - Πρόκειται για μικρές κωμοπόλεις χωρίς μεγάλα φορτία λυμάτων.
- Στο σχήμα 7.3α φαίνεται η σύνδεση των αγωγών στο παντορροϊκό σύστημα.

α) Πλεονεκτήματα του παντορροϊκού.

- 1) Με ένα αγωγό μπορεί να αποχετεύονται και το βρόχινο και το ακάθαρτο νερό όταν βέβαια η ποσότητα των λυμάτων είναι μικρή.
- 2) Δεν κατασκευάζεται διπλό σύστημα σωληνώσεων (οικονομία).
- 3) Εμφανίζεται απλούστερο στην κατασκευή από το χωριστικό, όταν πρόκειται για μικρές παροχές.

β) Μειονεκτήματα του παντορροϊκού.

- 1) Οι διάμετροι των αγωγών που αποχετεύουν μαζί ακάθαρτο και βρόχινο νερό είναι συνήθως μεγάλες.
- 2) Οι αγωγοί για να μην κινδυνεύουν από τα φορτία του δρόμου, τοποθετούνται σε μεγάλο βάθος, με αποτέλεσμα να δίνουν πολλές φορές λύσεις με μεγάλο κόστος κατασκευής, ιδίως στην Ελλάδα που η ξερή περίοδος διαρκεί πολύ.
- 3) Δημιουργούνται αποθέσεις στον πυθμένα των σωλήνων. Για την αποφυγή του μειονεκτήματος αυτού μπορεί να χρησιμοποιηθούν αγωγοί με διπλή διατομή (σχ. 7.3β).



Σχ. 7.3β.
Αποχετευτικός αγωγός διπλής διατομής.

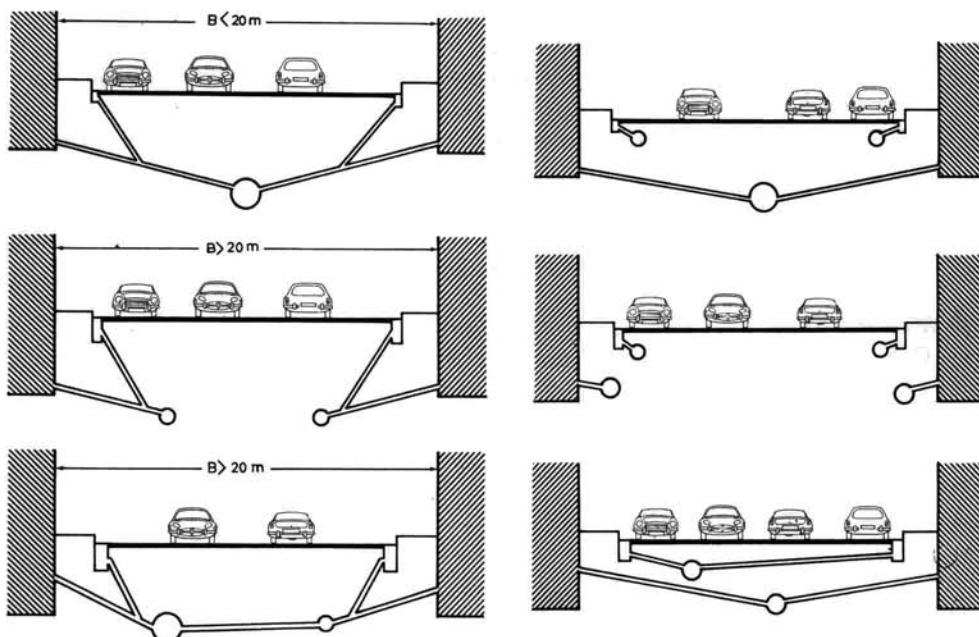
- 4) Δημιουργούν σε περιόδους ξηρασίας, που δεν υπάρχει νερό στα φρεάτια υδροσυλλογής, δυσάρεστο περιβάλλον στην ατμόσφαιρα από τις οσμές που εξέρχονται διά μέσου των φρεατίων.
- 5) Ο μεγάλος όγκος νερού επιβαρύνει τις εγκαταστάσεις καθαρισμού.
- 6) Η υπερφόρτιση των αγωγών κατά τη διάρκεια καταιγίδων μπορεί να δημιουργήσει υπερχειλίσεις με κίνδυνο για τη δημόσια υγεία.

γ) Τοποθέτηση των αγωγών του παντορροϊκού.

Η τοποθέτηση των αγωγών κάτω από τους δρόμους πρέπει να γίνεται έτσι, ώστε με τον οικονομικότερο τρόπο να επιτυγχάνονται τα καλύτερα αποτελέσματα.

Όταν ο δρόμος έχει πλάτος μικρότερο από 20 m, τότε ο αγωγός τοποθετείται κάτω από τον άξονα του δρόμου.

Όταν ο δρόμος έχει πλάτος μεγαλύτερο από 20 m, τότε μπορεί να τοποθετηθούν δύο αγωγοί με την ίδια ή διαφορετική διάμετρο και μάλιστα έτσι, ώστε ο αγωγός με τη μικρότερη διάμετρο να βρίσκεται ψηλότερα από τον αγωγό με τη μεγαλύτερη διάμετρο. Οι δύο αγωγοί συνδέονται κατά διαστήματα με εγκάρσιο αγωγό (σχ. 7.3γ).



Σχ. 7.3γ.

Τοποθέτηση των αγωγών στο παντορροϊκό σύστημα για διάφορα πλάτη καταστρώματος οδού.

Σχ. 7.3δ.

Τοποθέτηση των αγωγών στο χωριστικό σύστημα.

7.3.2 Χωριστικό σύστημα.

Το χωριστικό σύστημα αποτελείται από δύο χωριστά δίκτυα, ένα για το νερό της βροχής (δίκτυο ομβρίων), που χαράζεται και κατασκευάζεται δίπλα και κάτω από τα κράσπεδα των πεζοδρομίων και ένα δίκτυο για το ακάθαρτο νερό που τις περισσότερες φορές χαράζεται και κατασκευάζεται κάτω από τον άξονα του δρόμου, όταν το πλάτος του είναι μικρότερο από 20 m ή λίγο χαμηλότερα από τους δίδυμους αγωγούς του βρόχινου νερού (σχ. 7.3δ).

Το δίκτυο αυτό κατασκευάζεται όταν:

- Προβλέπεται εγκατάσταση καθαρισμού του ακάθαρτου νερού.
- Παρουσιάζεται πιεστικό το πρόβλημα της αποχετεύσεως ακάθαρτου νερού.
- Απαιτείται άντληση για τη διάθεση και όταν
- γιά λόγους οικονομικούς, απαιτείται σταδιακή κατασκευή του δίκτυου.

α) Πλεονεκτήματα του χωριστικού συστήματος.

- 1) Οι αγωγοί έχουν μικρότερη διάμετρο, επειδή η παροχή των ακαθάρτων είναι μικρή.
- 2) Οι αγωγοί που αποχετεύουν το βρόχινο νερό έχουν μικρότερη διάμετρο από τους αντίστοιχους αγωγούς του παντορροϊκού συστήματος. Αυτό γιατί δεν είναι ανάγκη να μεταφέρουν το περιεχόμενό τους σε μεγάλη απόσταση στις εγκαταστάσεις καθαρισμού, αλλά μπορούν εύκολα και με μικρό μήκος να το χύσουν στον πλησιέστερο αποδέκτη, αφού δεν περιέχει λύματα.
- 3) Η τοποθέτηση των αγωγών, επειδή είναι μικροί, γίνεται ευκολότερα και όχι τόσο βαθιά όσο η τοποθέτηση ενός αγωγού με μεγάλες διαστάσεις.
- 4) Η ύπαρξη ιδιαίτερου αγωγού για το ακάθαρτο νερό μειώνει τον κίνδυνο μολύνσεως και χαρακτηρίζει το σύστημα αυτό ως το πιο υγιεινό.
- 5) Η ύπαρξη δικτύου μόνο για ακάθαρτο νερό όταν προβλέπεται εγκατάσταση καθαρισμού μειώνει τα έξοδα λειτουργίας του, επειδή η παροχή είναι πολύ μικρότερη.
- 6) Παρουσιάζει μεγαλύτερη ευκολία στη σταδιακή κατασκευή, γιατί τόσο τα μήκη όσο και οι διαστάσεις των αγωγών δεν είναι πολύ μεγάλες.

β) Μειονεκτήματα του χωριστικού συστήματος.

Ος μειονέκτημα μπορούμε να χαρακτηρίσουμε το γεγονός ότι επειδή οι ταχύτητες είναι μικρές, τα στερεά κατακάθονται και απαιτείται συχνά καθαρισμός του δικτύου.

Όσον αφορά την τοποθέτηση των αγωγών στο χωριστικό σύστημα αυτή φαίνεται στο σχήμα 7.3δ.

7.4 Υπολογισμός του δικτύου.

7.4.1 Αποχέτευση βροχής.

Για τον υπολογισμό της παροχής και γενικότερα του δικτύου αποχετεύσεως του νερού της βροχής, χρειάζονται ορισμένα στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά είναι:

- Οι διαστάσεις της λεκάνης απορροής, η έκταση δηλαδή του τμήματος της επιφάνειας του εδάφους που συγκεντρώνει το νερό της βροχής σε έναν αποδέκτη αγωγό. Η έκταση υπολογίζεται από χάρτες ή τοπογραφικά διαγράμματα με γεωμετρικές μεθόδους, με εμβαδόμετρο, με τη βοήθεια μιλλιμετρέ διαφανούς χάρτη ή με άλλες μεθόδους.
- Η κλίση και η διαπερατότητα της λεκάνης.
- Η ποσότητα της βροχής που έπεσε στη μονάδα του χρόνου. Βασικό στοιχείο στον υπολογισμό της παροχής αποτελεί η εκτίμηση του ποσού της βροχής. Από το ύψος και τη διάρκεια μιας βροχής υπολογίζομε την έντασή της.

$$I = \frac{H}{T} \text{ σε (mm/min) ή (mm/h)}$$

όπου: Η είναι το ύψος της βροχής σε mm και
Τ η διάρκεια της βροχής σε min ή h.

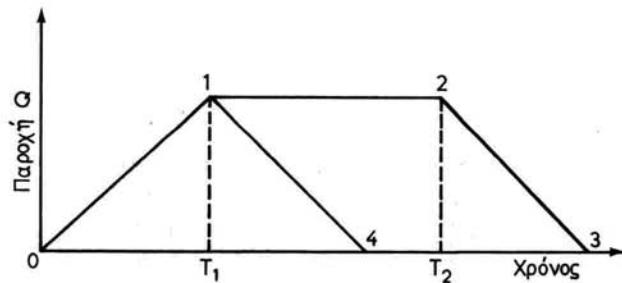
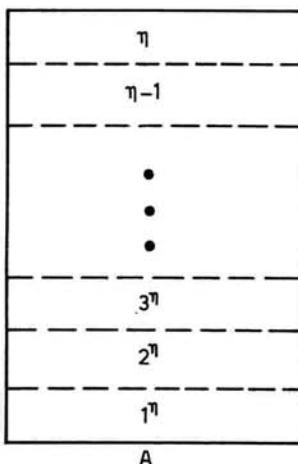
a) Συντελεστής απορροής.

Το νερό που πέφτει επάνω στην επιφάνεια του εδάφους, ρέει από τα ψηλότερα σημεία προς τα χαμηλότερα. Είναι όμως γνωστό ότι ένα μόνο μέρος από το νερό της βροχής φθάνει στους αγωγούς. Το υπόλοιπο μέρος από το νερό της βροχής, μεγάλο ή μικρό, εξατμίζεται ή απορροφάται από το έδαφος και μέρος μόνο παραμένει στις στέγες και στα φυλλώματα των δένδρων.

Όταν λέμε απορροή, εννοούμε το ποσοστό της βροχής που ρέει επιφανειακά και εισέρχεται στους αγωγούς. Η απορροή δεν αποτελεί παρά ένα μέρος από το νερό, που έπεισε ή καλύτερα το υπόλοιπο από το νερό που έπεισε αν εξαιρέσουμε τις απώλειες. Από αυτό προκύπτει η έννοια του συντελεστή απορροής που είναι, για μια χρονική περίοδο, για μια ορισμένη λεκάνη και έναν ορισμένο αγωγό, ο λόγος ανάμεσα στην ποσότητα του νερού που εκρέει από το δεδομένο σημείο του αγωγού και της ποσότητας της βροχής που έπεισε στη λεκάνη κατά τη θεωρούμενη χρονική περίοδο.

Σχετικά με το συντελεστή απορροής μπορούμε να δεχθούμε προσεγγιστικά τις παραπάνω τιμές:

— Επιφάνειες στεγών	0,70 - 0,90
— Ασφαλτόστρωτοι δρόμοι	0,80 - 0,90
— Λιθόστρωτοι δρόμοι	0,50 - 0,70
— Αμμοχαλικόστρωτοι δρόμοι	0,15 - 0,30
— Αυλές και κήποι	0,10 - 0,30



Σχ. 7.4a.
Διάγραμμα απορροής λεκάνης.

Ας θεωρήσουμε μια λεκάνη με κανονικό σχήμα, με επίπεδη επιφάνεια και ομοιόμορφη διαμόρφωση (σχ. 7.4a). Ας θεωρήσουμε επίσης σταθερή την ένταση της βροχής και που πέφτει στη λεκάνη. Από την αρχή της βροχής θα περάσει χρόνος T_0 , μέχρι να αρχίσει το νερό της βροχής να απορρέει. Κατά τη διάρκεια του χρόνου T_0 , το νερό διηθείται μέσα στο έδαφος και γεμίζει τους πόρους και τις κοιλότητές του. Όταν σχηματισθεί μια κορεσμένη επιφάνεια, τότε αρχίζει η απορροή που όμως χρειάζεται ένα χρόνο T_1 , για να φθάσει στη θεωρούμενη διατομή A (σχ. 7.4a).

Άρα το νερό της βροχής για να φθάσει μέχρι τη θεωρούμενη διατομή του συλλεκτήρα, απαιτεί ένα χρόνο:

$$T_a = T_0 + T_1$$

από την έναρξη της βροχής.

Ο χρόνος αυτός λέγεται **χρόνος συρροής**.

Στη θεωρούμενη διατομή Α θα φθάσει πρώτα το νερό που προέρχεται από τα πλησιέστερα στη διατομή σημεία της λεκάνης και μετά, αφού η βροχή συνεχίζεται θα φθάνει το νερό από τις πιο απομακρυσμένες περιοχές, μέχρι να φθάσει στη διατομή Α το νερό της πιο απομακρυσμένης ζώνης η. Έτσι, αν συνεχισθεί η βροχή, θα έλθει η στιγμή που το νερό που έπεσε σε διαφορετικούς χρόνους από όλες τις ζώνες θα διέρχεται την ίδια στιγμή από τη διατομή. Ο χρόνος που περνάει από την αρχή της βροχής μέχρι τη στιγμή που το νερό από όλα τα σημεία της λεκάνης θα περάσει από τη διατομή Α, συμβάλλοντας στη δημιουργία παροχής Ω του συλλεκτήρα, λέγεται **χρόνος ολικής συρροής**. Αν η βροχή συνεχισθεί ομοιόμορφα και μετά το χρόνο αυτό, τότε η παροχή θα εξακολουθήσει να έχει την ίδια ένταση μέχρις ότου η βροχή σταματήσει εντελώς, οπότε θα σταματήσει να τροφοδοτείται με νερό η γειτονική στο συλλεκτήρα περιοχή και σιγά-σιγά ολόκληρη τη λεκάνη. Η παροχή στη θεωρούμενη διατομή Α, αρχίζει τότε να ελαττώνεται και φθάνει στο μηδέν μετά από χρόνο:

$$T_\sigma = T_a + T + T_\epsilon$$

από την αρχή της βροχής. Ο συνολικός αυτός χρόνος λέγεται **χρόνος ολικής διαρροής**.

Από το διάγραμμα του σχήματος 7.4 όσον αφορά τις μεταβολές αυτές παρατηρούμε ότι:

- Αν η βροχή διαρκεί περισσότερο από το χρόνο ολικής συρροής, έχομε το διάγραμμα 0-1-2-3 (τραπέζιο).
- Αν η βροχή διαρκεί ίσα με το χρόνο ολικής συρροής έχομε το διάγραμμα 0-1-4 (τρίγωνο).
- Αν η βροχή διαρκεί λιγότερο από το χρόνο ολικής συρροής έχομε ένα τραπέζιο που περιέχεται στο τρίγωνο 0-1-4.
- Ο χρόνος συρροής της βροχής μέχρι τα στόμια υδροσυλλογής δεν πρέπει να ξεπερνάει για τις συνηθισμένες συνθήκες μέσα στην πόλη, τα 10-15'.

β) Ενταση βροχής

Η επεξεργασία των βροχομετρικών στοιχείων μας δίνει το ημερήσιο, το μηνιαίο και το ετήσιο ύψος βροχής, ενώ από τα διαγράμματα του βροχογράφου μπορούμε να πάρομε τα ωριαία ή άλλα μικρότερου χρόνου ύψη βροχής, για μια ορισμένη περιοχή. Έτσι, υπολογίζομε τα μέγιστα, μέσα ή ελάχιστα, μηνιαία η ετήσια ύψη βροχής, τα αντίστοιχα ημερήσια ύψη κλπ. Έχει διαπιστωθεί από μακροχρόνιες παρατηρήσεις ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση μιας ραγδαίας βροχής τόσο η διάρκεια, η έκταση και η συχνότητά της είναι μικρότερη.

Για την περιοχή της Αττικής ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις που δίνουν την ένταση μιας βροχής σε συνάρτηση με τη συχνότητα.

– Συχνότητα 1:2

$$= \frac{34,7}{T + 20,2} \cdot 60$$

— Συχνότητα 1:5

$$I = \frac{50,6}{T + 23,4} \cdot 60$$

— Συχνότητα 1:10

$$I = \frac{62,2}{T + 24,4} \cdot 60$$

Οι μέθοδοι για τον υπολογισμό της παροχής που δίνει η βροχή είναι πολλές. Η πιο συχνά εφαρμοζόμενη, η οποία δίνει και τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα είναι η ορθολογιστική μέθοδος.

Η παροχή κατά τη μέθοδο αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$Q = K \cdot C_A \cdot I \cdot E$$

όπου: Q = η παροχή (lit/sec)

I = η ένταση της βροχής (mm/hr)

E = η επιφάνεια της λεκάνης (h_a εκτάρια)

C_A = ο συντελεστής απορροής και

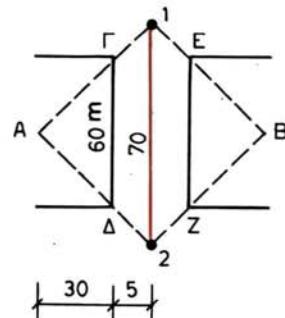
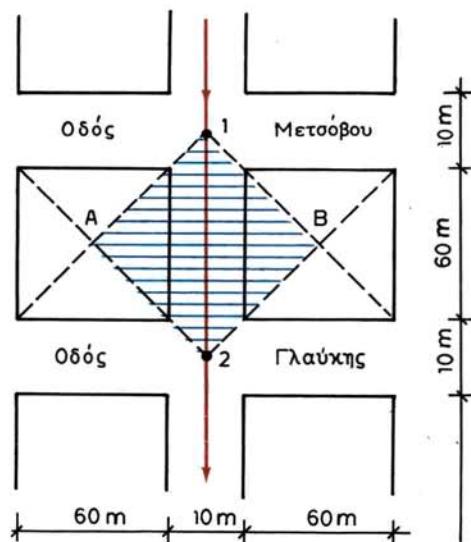
K = ο συντελεστής μονάδων.

Όταν Q σε m^3/sec $K = 1/360$

όταν Q σε lit/sec $K = 1/0,36$

Παράδειγμα:

Να βρεθεί η παροχή που πρόκειται να δεχθεί ο αγωγός 1-2 από βροχή συχνότητας 1:5 χρόνια, σε κατοικημένη περιοχή, όπου ο συντελεστής απορροής είναι $C_A = 0,9$. Οι διαστάσεις των οικοδομικών τετραγώνων δίνονται στο σχήμα 7.4β.



Σχ. 7.4β.

Λύση:

Για να εφαρμόσομε τη σχέση:

$$Q = K \cdot C_A \cdot i \cdot E$$

πρέπει να βρούμε τα στοιχεία i και E . Είναι γνωστός ο συντελεστής απορροής $C_A = 0,9$ και ο συντελεστής μετατροπής μονάδων $K = 1/_{0,36}$.

α) **Ένταση βροχής.** Δεχόμαστε ότι ο χρόνος που κάνει μια σταγόνα για να φτάσει από το πιο μακρινό σημείο στον αγωγό είναι 4 λεπτά, και ότι στον αγωγό κάνει ένα λεπτό για να τον διανύσει. Δηλαδή συνολικός χρόνος (χρόνος συρροής) είναι $T = 5'$.

Στη σχέση:

$$i = \frac{50,6}{T+23,4} \cdot 60 \quad \text{βάζομε την τιμή } T = 5.$$

$$\text{και } \text{έχομε } i = \frac{50,6}{5+23,4} \cdot 60 = \frac{50,6}{28,4} \cdot 60 = 106,9 \simeq 107 \text{ mm/h}$$

β) **Έκταση αποχετευόμενη.** Η επιφάνεια που αποχετεύει ο αγωγός χωρίζεται σε απλά γεωμετρικά σχήματα και βρίσκεται το εμβαδόν τους. Έτσι έχομε συνολικό εμβαδόν (σχ. 7.4β) $A1B2 = \Delta\Gamma + \Delta21 + 12ZE + EZB$. Λόγω συμμετρίας $A12 = 12B$ (Στην πράξη βέβαια δεν συμβαίνει πάντα αυτό).

$$\Delta\Gamma = \frac{1}{2} \cdot \Gamma \cdot u = \frac{1}{2} \cdot 60 \cdot 30 = \frac{1800}{2} = 900 \text{ m}^2$$

$$\Delta21 = \frac{\Gamma\Delta+1-2}{2} \quad u = \frac{60+70}{2} \cdot .5 = 325 \text{ m}^2$$

Άρα $E = 2 \cdot 900 + 2 \cdot 325 = 1800 + 650 = 2450 \text{ m}^2$. Αλλά $1 \text{ ha} = 10.000 \text{ m}^2$. Κατά συνέπεια το εμβαδόν αυτό σε εκτάρια (ha) είναι:

$$E = \frac{2450}{10.000} = 0,245 \text{ ha}$$

Αφού λοιπόν βρήκαμε την ένταση της βροχής ($i = 107 \text{ mm/h}$) και το εμβαδόν ($E = 0,245 \text{ ha}$) αντικαθιστούμε τις τιμές στη σχέση της παροχής και έχομε:

$$Q = K \cdot C_A \cdot i \cdot E = \frac{1}{0,36} \cdot 0,9 \cdot 107 \cdot 0,245 = 65,5 \text{ lit/sec}$$

7.4.2 Αποχέτευση ακαθάρτων.

Η ποσότητα του ακαθάρτου νερού που πρέπει να αποχετευθεί εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Τον πληθυσμό της πόλεως κατά το μελλοντικό χρόνο A που πιστεύομε ότι θα εξυπηρετείται από το δίκτυο.
- Την ημερήσια κατανάλωση και αποβολή νερού από κάθε κάτοικο.

- Τη μορφή εργασίας και απασχολήσεως των κατοίκων σε κάθε τμήμα της πόλεως.
 - Τις εισροές στο δίκτυο από διήθηση.
- α) Ο πληθυσμός μιας πόλεως δεν είναι σταθερός, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με την εξέλιξη της πόλεως, το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων και άλλους παράγοντες. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο μελλοντικός αριθμός των κατοίκων δίνεται από τη σχέση:

$$E = E_0 \left(1 + \frac{a}{100}\right)^v$$

όπου: E ο αριθμός των κατοίκων της πόλεως μετά από v χρόνια
 E_0 ο αριθμός των κατοίκων σήμερα και
 v ο αριθμός των ετών.

α) η ετήσια αύξηση του πληθυσμού σε 100 κατοίκους.

β) Η κατανάλωση του νερού για οικιακή χρήση εξαρτάται από την πολιτιστική στάθμη και την ανάπτυξη του πληθυσμού. Η οικιακή κατανάλωση σήμερα στις Ελληνικές πόλεις υπολογίζεται γύρω στα 100-200 lit/ημέρα. Έχοντας δεδομένη την πυκνότητα κατοικήσεως κατά ζώνες, μπορούμε να αναγάγομε την κατανάλωση όχι πια ανά κάτοικο, αλλά να υπολογίσουμε την ειδική απορροή ακάθαρτου νερού ανά εκτάριο.

γ) Οι εισροές στο δίκτυο αποχετεύσεως αποτελούν σοβαρό πρόβλημα για τη μελέτη ενός δικτύου. Οι εισροές που μπορούν να ξεπεράσουν το 50% από την κανονική παροχή ενός αγωγού, οφείλονται:

- Στον υψηλό υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.
- Στη διαπερατότητα του εδάφους.
- Στην κακή κατασκευή του δικτύου και κυρίως των αρμών μεταξύ των σωλήνων.

lit/κατ. ημ. η παροχή θα είναι:

$$Q = \frac{80 \times 2000}{86.400} \left(\frac{\text{lit/ημ.}}{\text{sec/ημ.}} \right) = 1,85 \text{ lit/sec}$$

Αν η πυκνότητα κατοικήσεως είναι 500 κατ/ h_a θα έχομε:

$$Q = \frac{80 \times 500}{86.400} \left(\frac{\text{lit/ημ } h_a}{\text{sec/ημ.}} \right) = 0,463 \text{ lit/sec} \cdot h_a$$

7.4.3 Βάσεις υπολογισμού-παραδοχές.

Πολλές φορές από τους υπολογισμούς του δικτύου προκύπτουν στοιχεία αγωγών ή ροής τα οποία στην πράξη δεν μπορούν να ικανοποιήσουν τις λειτουργικές ανάγκες του δικτύου. Έτσι πολλές φορές η διάμετρος ενός αγωγού υπολογίζεται σε 5 cm ή η ταχύτητα ροής 0,40 m/sec ή το βάθος ροής πολύ μικρό. Αντί για τα

στοιχεία αυτά και παρά το γεγονός ότι προκύπτουν από αναλυτικές σχέσεις και υπολογισμούς, κάνομε τις παρακάτω παραδοχές:

α) Ελάχιστη ονομαστική διάμετρος.

Η διάμετρος για έναν αγωγό δικτύου δεν μπορεί να είναι ποτέ μικρότερη από 200 mm όταν πρόκειται για αγωγό ακαθάρτων και 400 mm για αγωγό βρόχινου νερού.

β) Ελάχιστη ταχύτητα ροής.

Η ταχύτητα ροής δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 0,6 m/sec γιατί αν συμβεί κάτι τέτοιο υπάρχει κίνδυνος αποθέσεων.

γ) Μέγιστη ταχύτητα ροής.

Εξαρτάται από το υλικό και την ποιότητα των σωλήνων. Σε τσιμεντοσωλήνες δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 6,0 m/sec γιατί τα τοιχώματα των τσιμεντοσωλήνων διαβρώνονται εύκολα με την τριβή του νερού και της μεταφερόμενης άμμου.

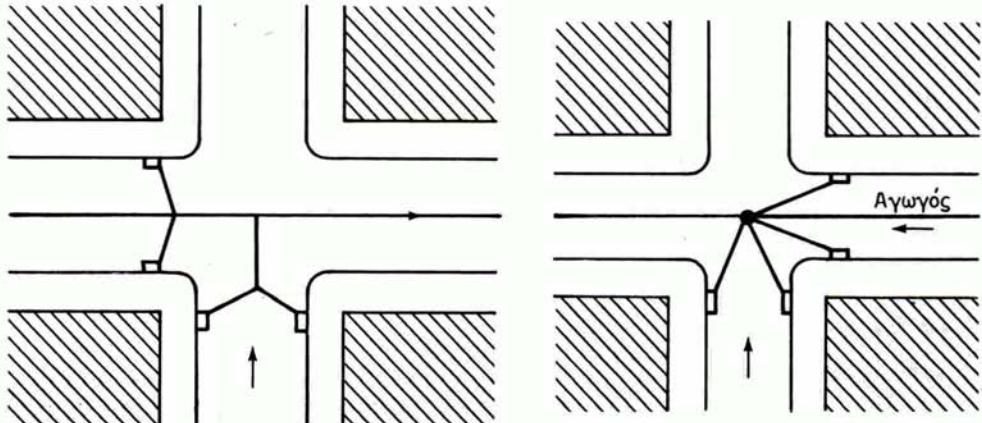
δ) Βάθος ροής.

Επειδή οι αγωγοί ενός αποχετευτικού δικτύου είναι αγωγοί ελεύθερης ροής, το βάθος ροής ποικίλλει από ένα μέγιστο (πλήρη γέμιση αγωγού) μέχρι σχεδόν μηδέν. Ανάλογα με τη διάμετρο του αγωγού ορίζεται και το βάθος της ροής (συνήθως ορίζεται σαν ύψος πληρώσεως) που πρέπει να κυμαίνεται από το 50% μέχρι το 70% της διαμέτρου.

7.5 Τεχνικά έργα του δικτύου.

7.5.1 Στόμια υδροσυλλογής.

Είναι φρεάτια που κατασκευάζονται κοντά στις γωνίες διασταυρώσεως των δρόμων, ανεξάρτητα από το αν το σύστημα είναι μικτό ή χωριστικό (σχ. 7.5a).

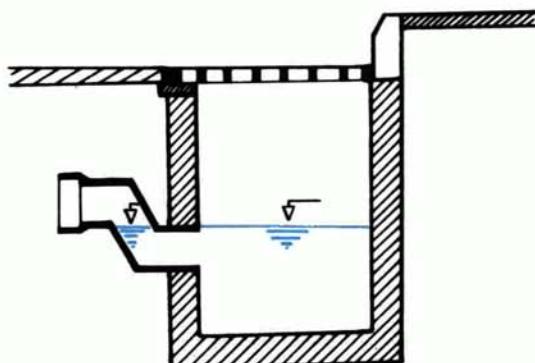


Σχ. 7.5α.

Θέσεις των στομίων υδροσυλλογής σε διασταυρώσεις.

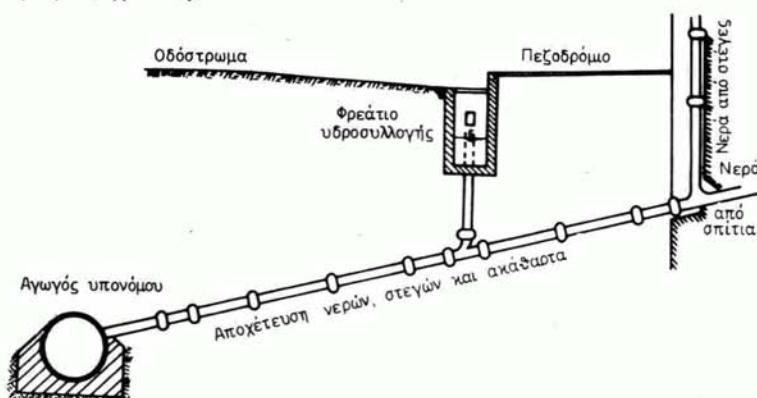
Όταν η απόσταση ανάμεσα σε διαδοχικές διασταυρώσεις είναι μεγαλύτερη από 150 m, τότε τοποθετούνται πρόσθετα στη μέση του οικοδομικού τετραγώνου για να αποφεύγεται η πλημμύρα στους δρόμους. Η θέση τους, όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.5a, δεν είναι ακριβώς επάνω στην καμπύλη, γιατί έτσι καταστρέφονται από τα διερχόμενα αυτοκίνητα.

Τα στόμια υδροσυλλογής (σχ. 7.5β) αποτελούνται από ένα μακρύ φρεάτιο που ο πυθμένας του βρίσκεται λίγο χαμηλότερα από το συνδετήριο αγωγό για να συγκρατούνται τα μεταφερόμενα από το νερό της βροχής υλικά (χώμα, άμμος, χαλίκια). Το επάνω μέρος του στομίου αποτελείται από μια μεταλλική σχάρα που καλύπτει το κενό που δημιουργούν και συγκρατεί τα μεταφερόμενα από το νερό της βροχής ογκώδη υλικά.



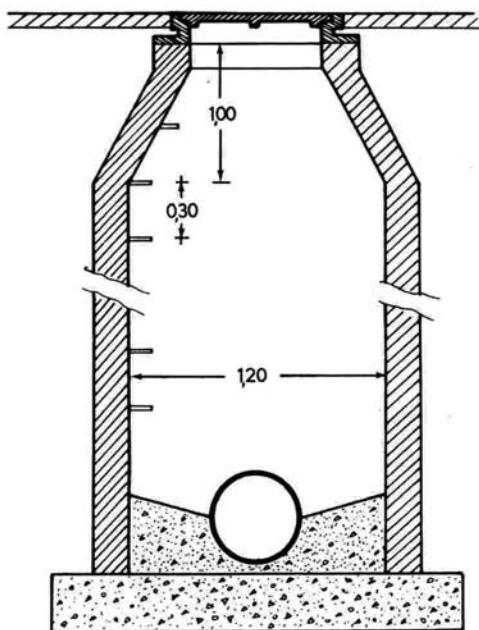
Σχ. 7.5β.
Στόμιο υδροσυλλογής.

Οι αγωγοί που συνδέουν τα στόμια υδροσυλλογής με το συλλεκτήρα βρόχινου νερού πρέπει να χύνονται σε κοινό φρεάτιο, συνήθως στην τομή αξόνων των συλλεκτήρων ή να συνδέονται μεταξύ τους και να ενώνονται με το συλλεκτήρα στο πλησιέστερο σημείο (σχ. 7.5α), χωρίς να αποκλείεται και η απ' ευθείας σύνδεση με τον αγωγό (σχ. 7.5γ).



Σχ. 7.5γ.
Σύνδεση του στομίου υδροσυλλογής με τον κεντρικό αγωγό.

Στο παντορροϊκό σύστημα τα νερά από τα στόμια υδροσυλλογής, τις στέγες και τα οικιακά λύματα χύνονται στον κεντρικό αγωγό (σχ. 7.5δ).



Σχ. 7.5δ.

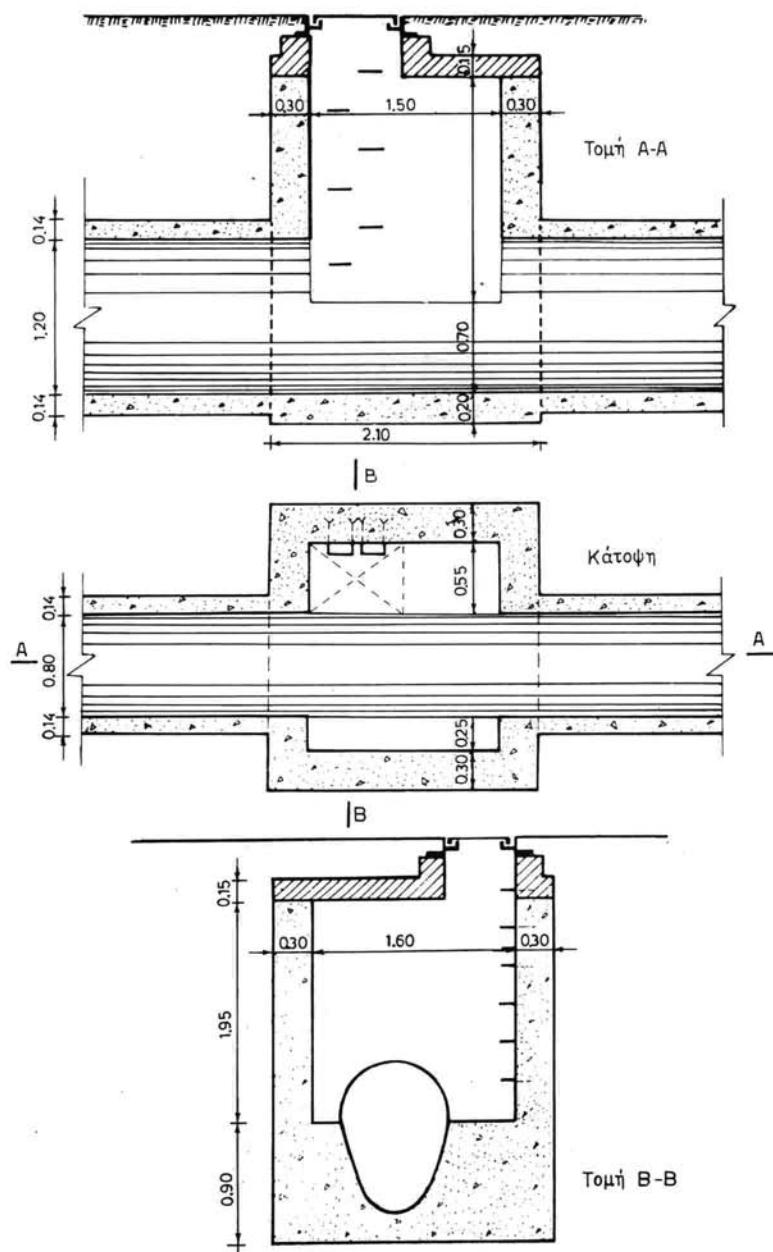
Φρεάτιο επισκέψεως.

Το δάπεδο του φρεατίου έχει κλίση προς τον αγωγό.

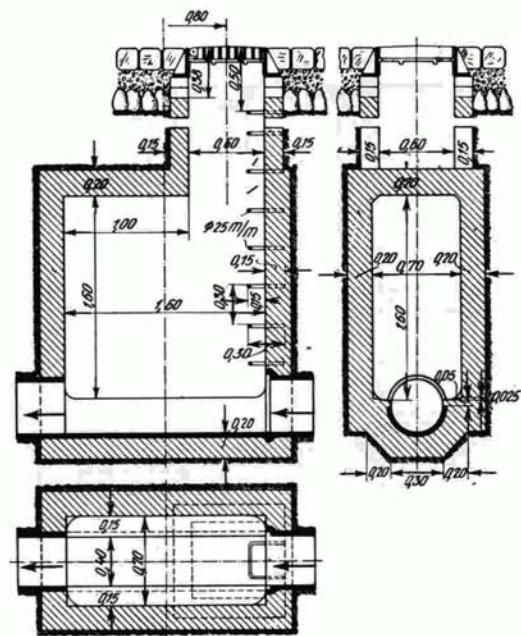
7.5.2 Φρεάτια επισκέψεων-συμβολών.

Τα φρεάτια αυτά (σχήματα 7.5δ, 7.5ε, 7.5στ, 7.5ζ και 7.5η) χρησιμεύουν για την επίσκεψη και τον καθαρισμό των αγωγών. Κατασκευάζονται ανά αποστάσεις 40 - 50 m και σε σημεία στα οποία αλλάζει η διεύθυνση, η διατομή ή η κλίση των αγωγών. Αγωγοί με διάμετρο 1,50 m και πάνω είναι επισκέψιμοι και τα φρεάτια τοποθετούνται σε μεγαλύτερες αποστάσεις.

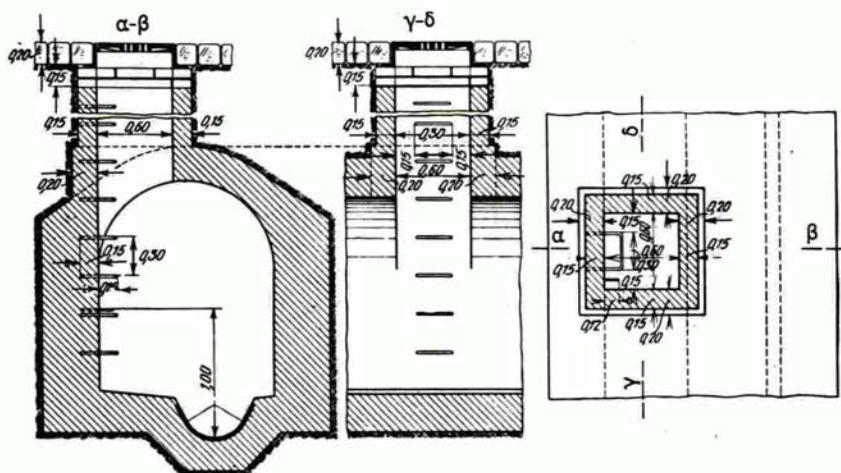
Αποτελούνται από ένα σιδερένιο πλαίσιο με διαστάσεις $0,5 \times 0,60 \text{ m}^2$ όταν πρόκειται για ορθογωνικό ή με διάμετρο 0,50 - 0,70 m, όταν πρόκειται για κυκλικό αγωγό. Το πλαίσιο εδράζεται σε βάση από σκυρόδεμα. Η διατομή διαπλατύνεται προς τα κάτω μέχρι πλάτος 1,50 m. Ο πυθμένας του φρεατίου κατασκευάζεται από σκυρόδεμα με κλίση προς τον αγωγό. Για την κάθοδο μέσα στο φρεάτιο στερεώνονται εναλλάξ αριστερά και δεξιά στο τοίχωμά του σιδερένιες ράβδοι σε σχήμα Π και σε απόσταση η μια από την άλλη 0,25 m.

**Σχ. 7.5ε.**

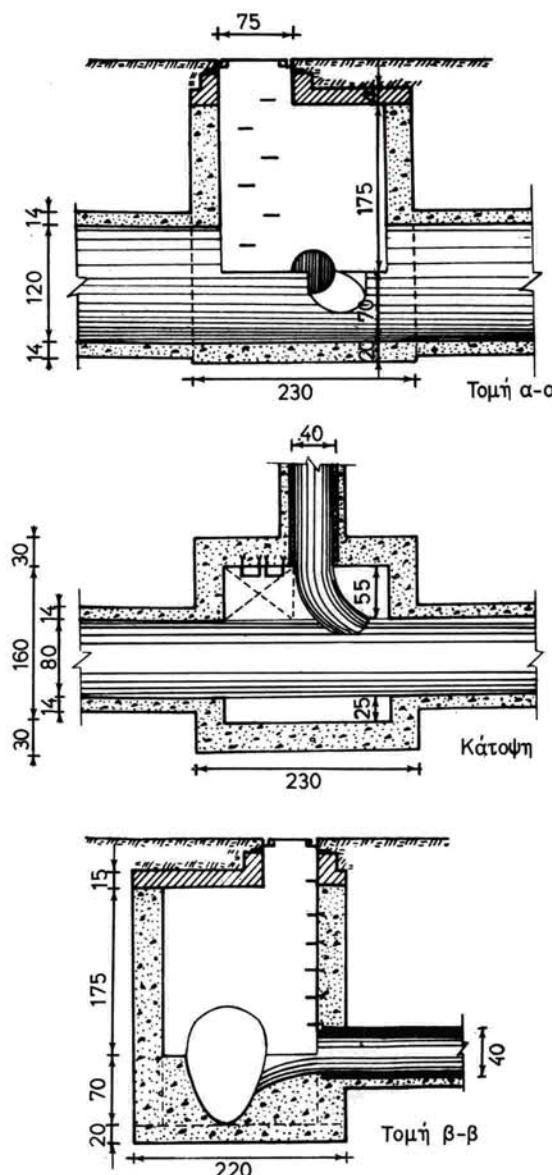
Φρεάτιο επισκέψεως για αγωγό ωοειδούς διατομής και για βάθη μικρότερα από 2,50 m.



Σχ. 7.5στ.



Σχ. 7.5ζ.



Σχ. 7.5η.

Φρεάτιο συμβολής αγωγού κυκλικής διατομής σε αγωγό ωσειδούς διατομής 80×120.

7.6 Κατασκευή του δικτύου.

7.6.1 Μελέτη και οργάνωση.

Η μελέτη και στη συνέχεια η κατασκευή ενός δικτύου για την αποχέτευση μιας περιοχής απαιτεί μια σειρά εργασιών που θα δώσουν τα στοιχεία στα οποία θα

στηριχθεί η μελέτη και η μετέπειτα κατασκευή. Οι εργασίες αυτές είναι εργασίες υπαίθρου και εργασίες γραφείου.

Στις εργασίες υπαίθρου περιλαμβάνονται:

- Έρευνα υπάρξεως δικτύου ή κατάσταση από την πλευρά ροής και ποιότητας των σωλήνων.
- Αποτύπωση, όταν δεν υπάρχει, και λήψη στοιχείων εδάφους (χωροστάθμηση αξόνων).
- Έλεγχος στάθμης νερού πλημμύρας σε ρεύματα που θα δεχθούν τους αγωγούς βρόχινου νερού.
- Έλεγχος υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.
- Εδαφοτεχνική έρευνα.

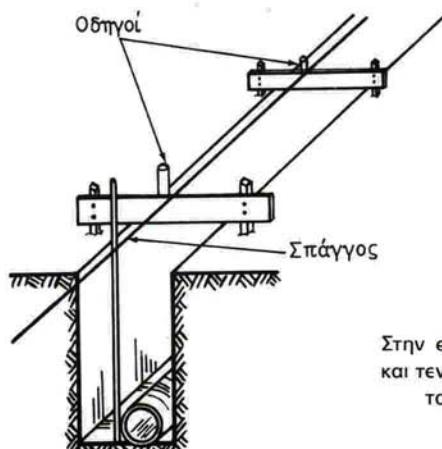
Στις εργασίες γραφείου περιλαμβάνονται:

- Μελέτη του σχεδίου της πόλεως με τις μελλοντικές επεκτάσεις της.
- Σχεδίαση των βασικών αποχετευτικών έργων και μελέτη τους.
- Προσδιορισμός των κλίσεων των βασικών αποχετευτικών αγωγών με βάση το υψόμετρο εκβολής τους.
- Σχεδίαση του δικτύου δευτερευόντων και τρίτευόντων αγωγών.
- Προμέτρηση, προϋπολογισμός, συγγραφή υποχρεώσεων κλπ.

7.6.2 Κατασκευή.

Η κατασκευή του δικτύου γίνεται σύμφωνα με τα σχέδια της μελέτης. Πριν από την κατασκευή εκτελούνται οι απαραίτητες τοπογραφικές εργασίες που προσδιορίζουν με μεγάλη ακρίβεια την οριζοντιογραφική και υψομετρική θέση του αγωγού (σχ. 7.6α). Κατά τη διάρκεια της κατασκευής γίνονται συνέχεια έλεγχοι (τοπογραφικοί), που αποτελούν τη βάση πάνω στην οποία στηρίζονται οι επιμετρήσεις και η αμοιβή του κατασκευαστή.

Το **σκάμμα** που κατασκευάζεται για να δεχθεί στον πυθμένα του τον αγωγό, έχει διαστάσεις ανάλογες με τη διάμετρο του αγωγού. Τις περισσότερες φορές τα πρανή αντιστηρίζονται για να αποφευχθούν οι καταπτώσεις (σχ. 7.6β). Το είδος της αντιστηρίζεως και το μέγεθός της σε βάθος και μήκος, εξαρτώνται από το είδος



Σχ. 7.6α.

Στην επάνω επιφάνεια τοποθετούνται οδηγοί και τεντώνεται ράμμα (σπάγγος) με τη βοήθεια του οποίου τοποθετείται ο αγωγός.



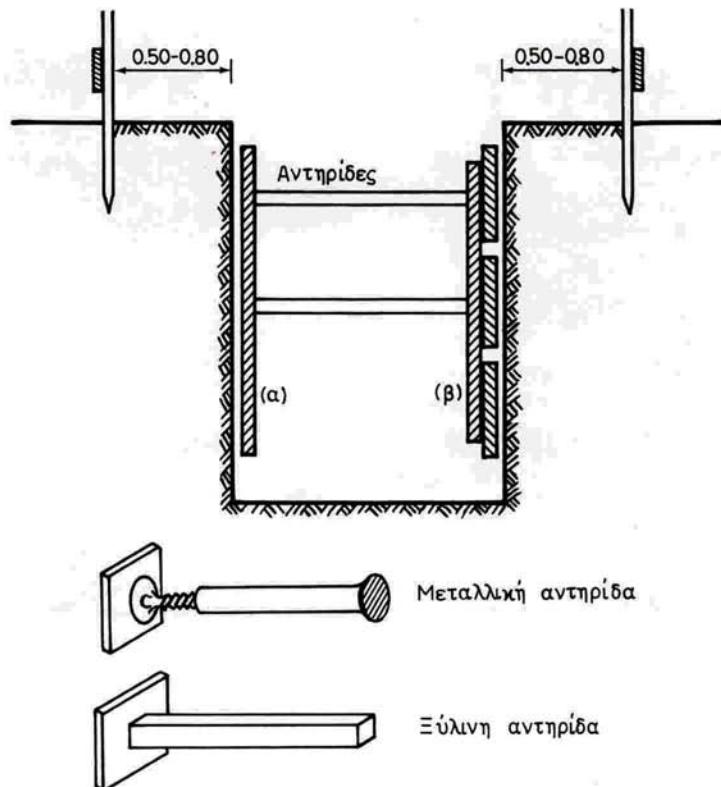
Σχ. 7.6β.

Τα πρανή του σκάμματος αντιστηρίζονται με οριζόντιες σανίδες.
Ο αγωγός είναι στοματοειδούς διατομής και κατασκευάζεται επί τόπου.



Σχ. 7.6γ.

Όταν το έδαφος είναι συνεκτικό τότε κατά τη διάνδιξη δεν χρειάζεται αντιστήριξη όπως στην κατασκευή του δίδυμου αποχετευτικού αγωγού Βάρκιζας - Πειραιά.



Σχ. 7.6δ.

Η αντιστήριξη των πρανών του σκάμματος πραγματοποιείται με σανίδες που τοποθετούνται κατακόρυφα και σφηνώνονται με τις αντηρίδες ή ορίζοντια. Όταν τοποθετούνται ορίζοντια, τότε συνδέονται ανά αποστάσεις με κατακόρυφες σανίδες. Οι αντηρίδες μπορεί να είναι ξύλινες ή μεταλλικές με μεταβλητό μήκος.

του εδάφους, το βάθος και πλάτος του σκάμματος, την ύπαρξη υπόγειου νερού κ.α. (σχ. 7.6γ, 7.6ε).

Στο σχήμα 7.6δ φαίνεται αναλυτικά πώς γίνεται η αντιστήριξη των πρανών.

Όταν ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας είναι ψηλά, χρησιμοποιούνται αντλίες με τις οποίες αντλείται το νερό και έτσι διατηρείται ο πυθμένας ξερός. Η άντληση δυσκολεύεται όταν το έδαφος είναι αιμώδες οπότε με το νερό αντλείται και άμμος με αποτέλεσμα να καταστρέφεται η δομή του εδάφους.

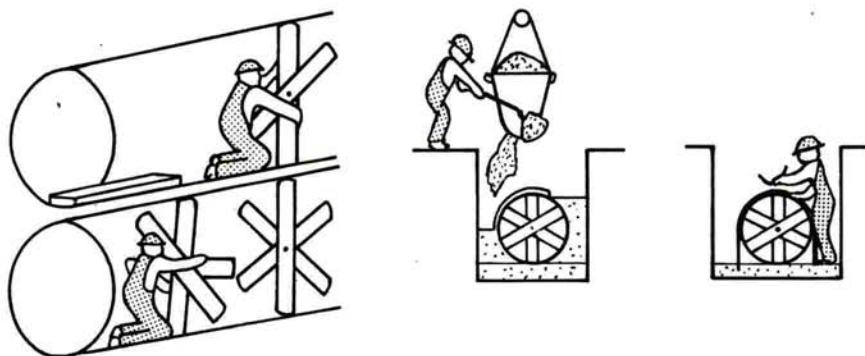
Οι πλαστικοί σωλήνες μεγάλης διαμέτρου πρέπει να υποστηρίζονται εσωτερικά για να μην παραμορφώνονται κατά την τοποθέτηση και να σταθεροποιείται εξωτερικά η θέση τους. Έτσι αποφεύγονται οι μετακινήσεις τους κατά την επιχωμάτωση (σχ. 7.6στ).

Η τοποθέτηση των σωλήνων κυκλικής διατομής δεν πρέπει να γίνεται επάνω σε αδιαμόρφωτο πυθμένα (σχ. 7.6ζ). Πρέπει να προηγείται η επίπεδη διαμόρφωση του πυθμένα, ή όταν το έδαφος είναι βραχώδες να προηγείται στρώση άμμου πάχους τουλάχιστον 10 cm (σχ. 7.6η).



Σχ. 7.6ε.

Αντιστήριξη των πρανών κατά την κατασκευή του αποχετευτικού δικτύου του Βόλου.



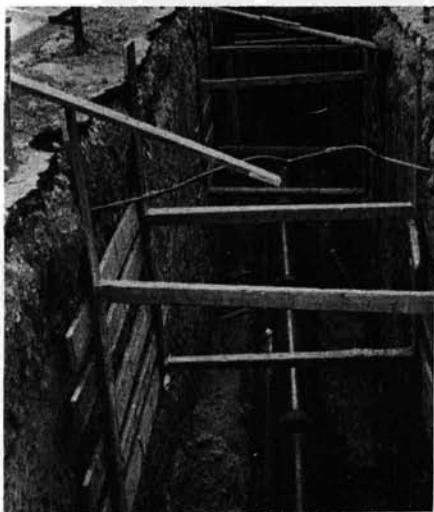
Οι σωλήνες μεγάλων διαμέτρων υποστηρίζονται εσωτερικά

Οι σωλήνες σταθεροποιούνται εξωτερικά

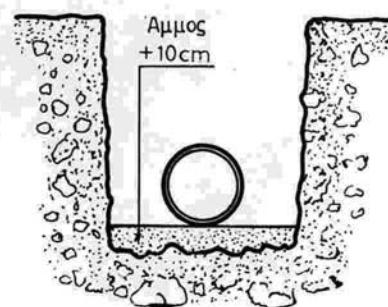
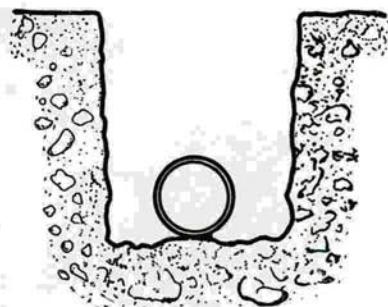
Σχ. 7.6στ.

Στήριξη πλαστικών σωλήνων μεγάλης διαμέτρου.

Η επιχωμάτωση πρέπει να γίνεται με προσοχή και η συμπίεση του χώματος με μηχανικά μέσα να μην γίνεται στο τμήμα επάνω από τον αγωγό για την αποφυγή τραυματισμών του ή άλλων αστοχιών (σχ. 7.6θ).

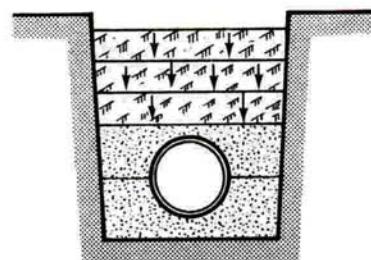
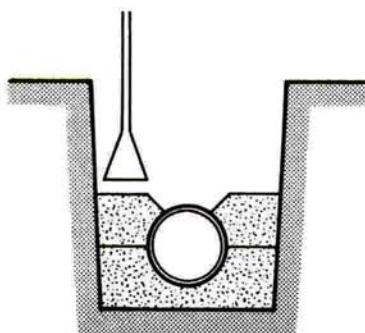


Σχ. 7.6ζ.
Τοποθέτηση σωλήνων κυκλικής διατομής
μικρής διαμέτρου.



Σχ. 7.6η.

Όταν ο πυθμένας της τάφρου είναι βραχώδης, η τοποθέτηση δεν γίνεται απ' ευθείας, αλλά μετά από στρώση λεπτής άμμου πάχους τουλάχιστον 10 cm.



Σχ. 7.6θ.

Τοποθέτηση των σωλήνων και συμπίεση του υλικού επιχωματώσεως με μηχανικά μέσα. Το επάνω από τον αγωγό τμήμα συμπιέζεται κατά διαδοχικές στρώσεις πάχους 30 cm.

7.7 Αποχετευτικοί αγωγοί.

Το ακάθαρτο νερό από κάθε σπίτι ή άλλη εστία διοχετεύεται στο δίκτυο των

σωλήνων το οποίο, όπως αναφέραμε, τοποθετείται κάτω από τον áξονα του δρόμου ή κάτω από τα κράσπεδα των πεζοδρομίων. Οι σωλήνες συνδέσεως κατοικιών και αγωγών έχουν διáμετρο 15-20 cm και κατά μήκος κλίση συνήθως 2%. Η κλίση των αγωγών ακαθάρτων κατασκευάζεται έτσι, ώστε να επιτυγχάνεται υψηλή ταχύτητα για να αποφεύγεται η καθίζηση των μεταφερομένων στερεών στον αγωγό. Ελάχιστη ταχύτητα θεωρείται η ταχύτητα ανάμεσα σε 0,60-0,80 m/sec.

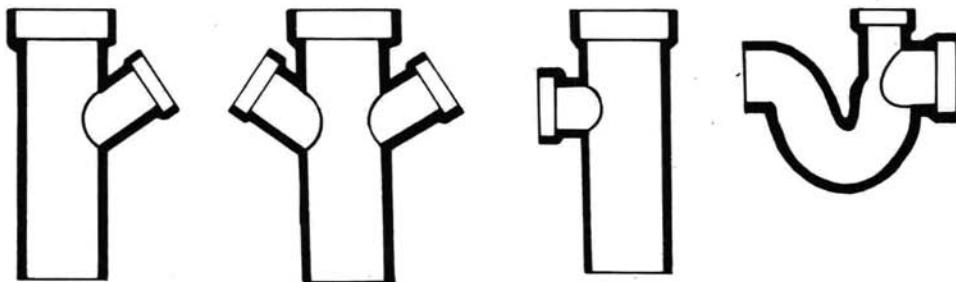
Από την πλευρά κατασκευαστικού υλικού οι αγωγοί του δικτύου μπορεί να διακρίνονται σε:

- Πηλοσωλήνες.
- Χυτοσδερένιοι σωλήνες.
- Αμιαντοσιμεντοσωλήνες.
- Πλαστικοί σωλήνες.
- Τσιμεντοσωλήνες.
- Ειδικές κατασκευές από σκυρόδεμα.

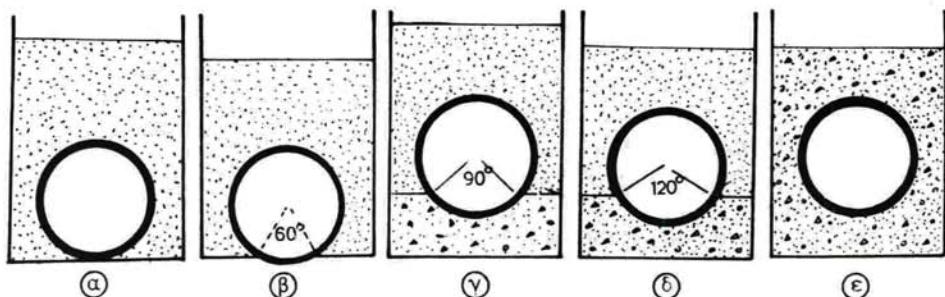
7.7.1 Πηλοσωλήνες.

Πρώτη ύλη για την κατασκευή τους αποτελούν ο κοινός πηλός, η αργιλική μάργα ή μίγματά τους.

Το υλικό διαμορφώνεται σε ειδικά μηχανήματα και βγαίνει σε μορφή σωλήνων με διαφορετικές διαμέτρους. Στη μία άκρη τους έχουν κεφαλή για τη μεταξύ τους συναρμογή και εφαρμογή. Το εσωτερικό της κεφαλής και η εξωτερική επιφάνεια της άλλης άκρης έχουν χαραγμένες αυλακώσεις για την καλύτερη πρόσφυση του κονιάματος συνδέσεως. Ειδικά κομμάτια πηλοσωλήνων, όπως είναι οι γωνίες, οι διασταυρώσεις, τα ταυ κλπ. (σχ. 7.7a) διαμορφώνονται με συγκόλληση με ωμό πηλό και ψήσιμο. Οι πηλοσωλήνες χρησιμοποιούνται πολύ και σχεδόν αποκλειστικά για μικρές παροχές και κυρίως για την αποχέτευση οξίνων λυμάτων. Για την αύξηση της ανθεκτικότητάς τους περιβάλλονται συχνά από άοπλο σκυρόδεμα. Όταν το έδαφος δεν είναι σταθερό, ο αγωγός τοποθετείται επάνω σε κοιτόστρωση. Ο τρόπος τοποθετήσεως των πηλοσωλήνων εξαρτάται, βασικά, από την αντοχή τους και τα αναπτυσσόμενα φορτία επάνω στην επιφάνεια του εδάφους. Η τοποθέτηση του αγωγού σύμφωνα με τη μορφή (a) του σχήματος 7.7β χρησιμοποιείται συ-



Σχ. 7.7a.
Ειδικά κομμάτια πηλοσωλήνων.



Σχ. 7.7β.

Διάφοροι τρόποι τοποθετήσεως των αγωγών στην τάφρο.

χνά, μειονεκτεί όμως, γιατί δεν προσφέρει στον αγωγό τη δυνατότητα αυξήσεως της αντοχής του απέναντι στα εξωτερικά φορτία. Ο τύπος (β) είναι προτιμότερος από τον προηγούμενο από την πλευρά αντοχής, μειονεκτεί όμως από οικονομική άποψη γιατί η έδρασή του γίνεται σε μία καμπύλη επιφάνεια η οποία για να κατασκευαστεί χρειάζεται χειρωνακτική εργασία και μεγαλώνει έτσι το κόστος κατασκευής. Οι τύποι (γ) και (δ) πλεονεκτούν από τους προηγούμενους, γιατί εκτός από τη μεγαλύτερη αντοχή απέναντι στα εξωτερικά φορτία, παρουσιάζουν ευκολία στην κατασκευή. Οι τύποι αυτοί αναφέρονται σε σωλήνες άριστης ποιότητας, ενώ ο τύπος (ε) που παρουσιάζει μεγάλη αντοχή μπορεί να κατασκευαστεί και με σωλήνες χωρίς μεγάλες αντοχές, αφού το σύνολο των φορτίων παραλαμβάνεται από το σκυρόδεμα.

Οι διάμετροι των πηλοσωλήνων φθάνουν τα 0,40 m και σε εξαιρετικές περιπτώσεις τα 0,50 m. Για μεγαλύτερες διαμέτρους προτιμούνται αμιαντοσιμέντοσωλήνες ή μόνο τσιμεντοσωλήνες.

7.7.2 Χυτοσιδερένιοι σωλήνες.

Αναφέρονται στην παράγραφο 4.10.9.

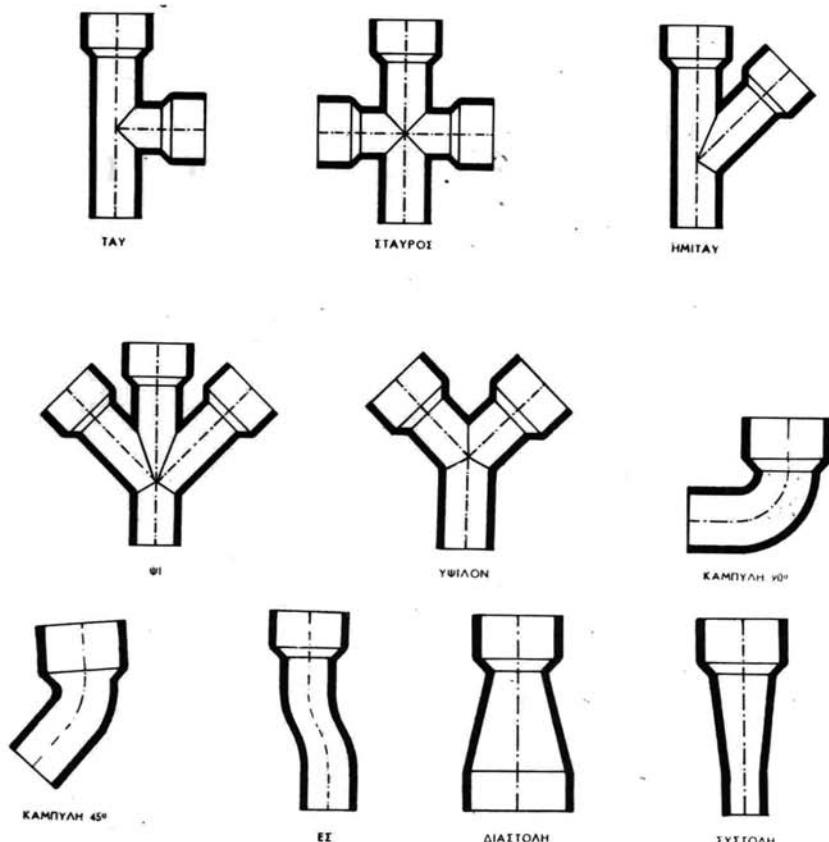
7.7.3 Αμιαντοσιμέντοσωλήνες.

Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται όλο και πιο πολύ σωλήνες κατασκευασμένοι από αμιαντοσιμέντο. Παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή, ευκολία στην τοποθέτηση και δεν προσβάλλονται από το όξινο νερό.

Οι σωλήνες κατασκευάζονται με ή χωρίς κεφαλή. Όταν οι σωλήνες δεν έχουν κεφαλή, τότε απαραίτητα, από τα εργοστάσια κατασκευάζονται εξαρτήματα για τη μεταξύ τους σύνδεση (σχ. 7.7γ). Η εσωτερική και εξωτερική επιφάνειά τους μπορεί, αν αυτό κρίνεται αναγκαίο, να επεξεργασθεί. Το μήκος τους είναι σταθερό, 3,00 mm, μπορεί όμως σε περίπτωση ειδικής παραγγελίας από το εργοστάσιο να παραχθούν σωλήνες με μήκη 1,00 - 1,50 - 2,00 - 2,50 και 4,00 m.

7.7.4 Πλαστικοί σωλήνες.

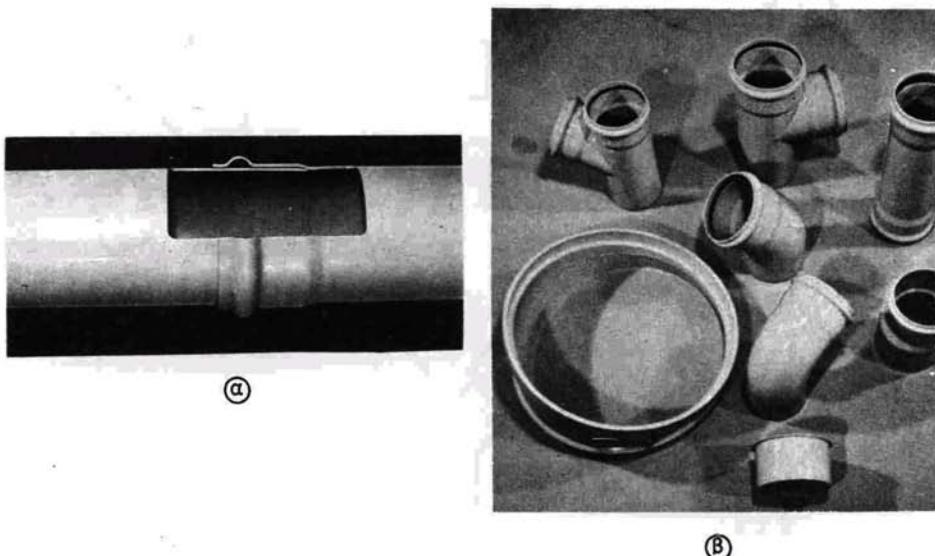
Ανάμεσα σε μια μεγάλη ποικιλία πλαστικών υλών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή πλαστικών σωλήνων το χλωριούχο πολυυθινό



Σχ. 7.7γ.
Διάφορα εξαρτήματα αμιαντοσιμεντοσωλήνων.

(P.V.C.) παρουσίασε τα περισσότερα πλεονεκτήματα, τεχνικά και οικονομικά. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του P.V.C. σε συνδυασμό με την υψηλή μηχανική αντοχή και την αντοχή τόσο στις επιδράσεις του περιβάλλοντος όσο και των λυμάτων καθιέρωσαν το υλικό.

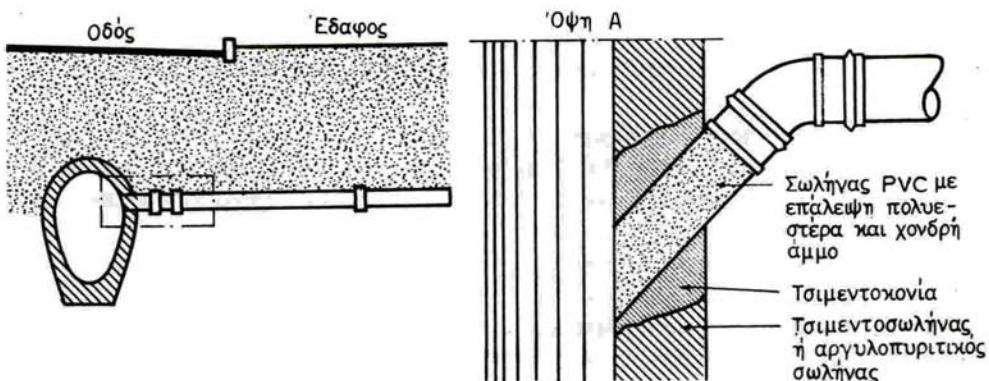
Οι πλαστικοί σωλήνες από P.V.C. (σχ. 7.7δ) δεν διαβρώνονται από τα λύματα τόσο τα οικιακά όσο και τα βιομηχανικά, έχουν ικανοποιητική αντοχή στα εξωτερικά και εσωτερικά φορτία και, επειδή παρουσιάζουν λεία εσωτερική επιφάνεια δεν δημιουργούνται επικαθήσεις, με συνέπεια να αποφεύγεται η μείωση της διατομής και η αύξηση των απωλειών. Η σύνδεσή τους είναι εύκολη και γρήγορη. Επειδή το βάρος τους, κυρίως για μεγάλα μήκη 5,00 και 6,00 m, είναι μικρό, παρουσιάζουν ευκολία στην τοποθέτηση, γεγονός πολύ σημαντικό, όταν πρόκειται για κατοικημένες περιοχές, όπου ενδιαφέρει η γρήγορη αποκατάσταση της κυκλοφορίας. Η σύνδεση των πλαστικών σωλήνων είναι στεγανή, γεγονός που εξασφαλίζει την αποφυγή διαρροών και εισροών υπόγειου νερού στο δίκτυο. Μειονέκτημα των σωλήνων είναι ότι φθείρονται γρήγορα και ότι δεν αντέχουν στους τραυματισμούς και στην υψηλή ή χαμηλή θερμοκρασία.



Σχ. 7.7δ.

α) Πλαστικοί σωλήνες από σκληρό P.V.C. β) Εξαρτήματά τους.

Η σύνδεση των πλαστικών σωλήνων με τα φρεάτια συμβολής και επισκέψεων γίνεται με την παρεμβολή ειδικού συνδέσμου φρεατίων από αιμιαντοσιμέντο, γιατί η απ' ευθείας σύνδεση των σωλήνων με το σκυρόδεμα επειδή δεν υπάρχει πρόσφυση και συνοχή δεν είναι στεγανή. Στο σχήμα 7.7ε φαίνεται η σύνδεση σωλήνων P.V.C. με τσιμεντοσωλήνες ή πηλοσωλήνες.



Σχ. 7.7ε.

Σύνδεση σωλήνων από P.V.C.

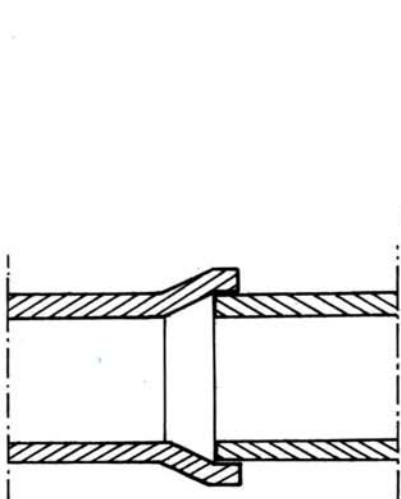
Η σύνδεση σωλήνων από P.V.C. με τσιμεντοσωλήνες ή πηλοσωλήνες μπορεί να γίνει με ένα κομμάτι σωλήνα από P.V.C. που έχει επαλειφθεί εξωτερικά με στρώμα πολυεστέρα και χοντρή άμμο. Η επάλειψη αυτή δημιουργεί την απαραίτητη συνοχή με το τσιμέντο.

7.7.5 Τσιμεντοσωλήνες.

Κατασκευάζονται από οπλισμένο ή σπανιότερα από άοπλο σκυρόδεμα και μπο-

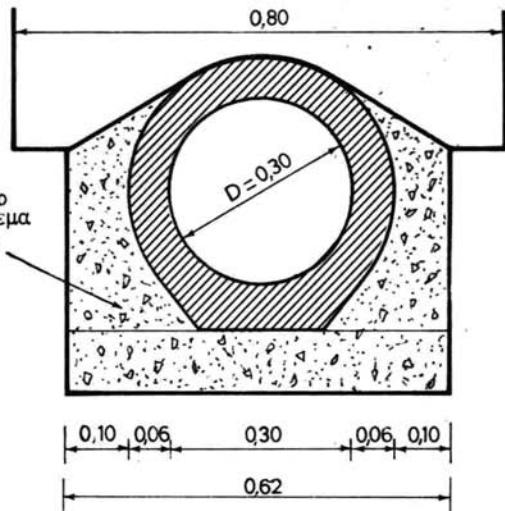
ρούν να είναι προκατασκευασμένοι ή να κατασκευάζονται επί τόπου. Συνηθέστερη περίπτωση αποτελούν οι προκατασκευασμένοι τσιμεντοσωλήνων από άοπλο σκυρόδεμα.

Ο οπλισμός των προκατασκευασμένων τσιμεντοσωλήνων αποτελείται συνήθως από πλέγμα $\varnothing 6$ ή $\varnothing 8$. Το μήκος τους ποικίλλει από 1,00 μέχρι 1,50 m και στη μια τους άκρη διαμορφώνεται ειδική εγκοπή ή κεφαλή για τη μεταξύ τους συναρμογή (σχ. 7.7στ). Ο αρμός ανάμεσα στην κεφαλή και την άκρη του άλλου σώληνα κλείνει με τσιμεντοκονία ή ασφαλτικό υλικό.



Σχ. 7.7στ.

Σύνδεση τσιμεντοσωλήνων.



Σχ. 7.7ζ.

Τοποθέτηση τσιμεντοσωλήνων μέσα σε σκυρόδεμα.

Οι τσιμεντοσωλήνες τοποθετούνται επάνω σε διαμορφωμένη βάση συνήθως από άοπλο σκυρόδεμα ή στρώμα άμμου (σχ. 7.7ζ). Παρουσιάζουν ικανοποιητική αντοχή στις εξωτερικές πιέσεις, μειονεκτούν όμως, γιατί παρουσιάζουν διαρροές, διαβρώνονται από το όξινο νερό και δεν επισκευάζονται εύκολα.

7.7.6 Ειδικές κατασκευές από σκυρόδεμα.

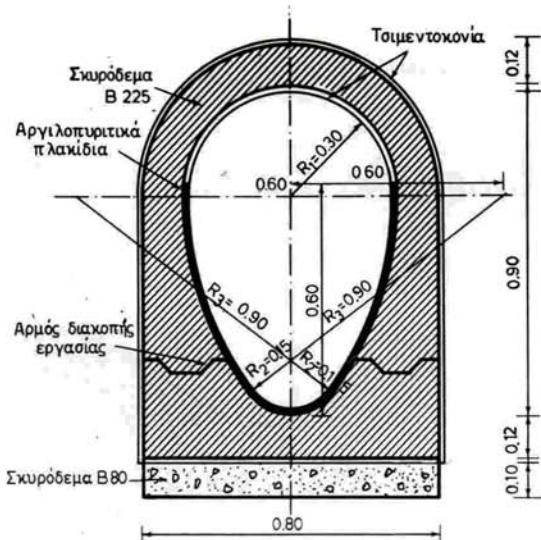
Όταν η παροχή είναι μεγάλη και απαιτείται μεγάλη διατομή, τότε ο αγωγός κατασκευάζεται επί τόπου και με διατομή ελλειπτική, ωοειδή, στοματοειδή, σκουφειδή ή και ορθογωνική.

Το συνηθέστερο υλικό κατασκευής των αγωγών της μορφής αυτής είναι το σκυρόδεμα, γιατί μπορεί να πάρει σχετικά εύκολα οποιαδήποτε μορφή.

Η ωοειδής διατομή (σχ. 7.7η) χρησιμοποιείται για κύριους αγωγούς ή συλλεκτήρες. Το πλεονέκτημα των αγωγών της μορφής αυτής συγκριτικά με τους κυκλικούς είναι ότι:

- Είναι επισκέψιμοι.
- Δεν παρουσιάζουν τα προβλήματα των αποθέσεων των κυκλικών αγωγών.
- Η ταχύτητα ροής για μικρές παροχές λυμάτων είναι μεγαλύτερη.

Οι αγωγοί ωοειδούς διατομής με ύψος μεγαλύτερο από 1,80 m παρουσιάζουν το σοβαρό μειονέκτημα ότι απαιτούν μεγάλο βάθος εκσκαφής και η κατασκευή γί-



Σχ. 7.7η.

Στοιχεία αγωγού ωοειδούς διατομής διαστάσεων 60/90.

νεται δύσκολη και δαπανηρή. Για την αποχέτευση των λυμάτων χρησιμοποιούνται ωοειδείς αγωγοί με διαστάσεις: 0,40/0,60, 0,50/0,75, 0,60/0,90, 070/1,05, 0,80/1,20, 0,90/1,30, 1,00/1,50, 1,10/1,65 και 1,20/1,80.

Επειδή το σχήμα τους το επιτρέπει παραλαμβάνουν μεγαλύτερα εξωτερικά φορτία από τους κυκλικούς.

Όταν ο μικρός κύκλος του αγωγού βρίσκεται στην κάτω άκρη πάρουσιάζουν δυσκολία κατασκευής (σχ. 7.7θ). Το υλικό κατασκευής τους είναι οπλισμένο σκυρόδεμα (συνήθως B225), ενώ μπάνια χρησιμοποιούνται τούβλα.

Μια ωοειδής διατομή έχει ακτίνα του μεγάλου ημικύκλιου ίση με το 1/3 του βάθους και ακτίνα του κάτω ημικύκλιου ίση με το 1/6 του βάθους. Στοιχεία αγωγού



Σχ. 7.7θ.

Κατασκευή αποχετευτικού αγωγού με ωοειδή διατομή.



Σχ. 7.7ι.

Το εσωτερικό των μεγάλων αγωγών που κατασκευάζονται στον τόπο του έργου επενδύεται με αργιλοπυριτικά πλακίδια ή με στρώση τσιμεντοκονίας, για να δημιουργείται επιφάνεια ροής λεία και να αποφεύγονται οι διαβρώσεις.

ωοειδούς διατομής διαστάσεων 60/90 φαίνονται στο σχήμα 7.7η, ενώ στο σχήμα 7.7θ φαίνεται ο τρόπος κατασκευής αγωγού ωοειδούς μορφής.

Οι αγωγοί με σκουφοειδή ή στοματοειδή διατομή (σχήματα 7.7ι και 7.7ια) εφαρμόζονται, όταν από τους υδραυλικούς υπολογισμούς προκύψει ότι χρειάζεται ωοειδής διατομή με ύψος μεγαλύτερο από 1,80 m. Στοιχεία κατασκευής εμφανίζονται στα σχήματα 7.7ιβ και 7.7ιγ.

Ο υπολογισμός της παροχής και της ταχύτητας των αγωγών της μορφής αυτής γίνεται με αναγωγή σε αγωγό κυκλικής διατομής.

Παράδειγμα.

Αγωγός με σκουφοειδή διατομή με διαστάσεις 2,00/1,78 και πολύ καλή επιφάνεια ροής, αποχετεύει τη δυτική πλευρά μιας πόλεως. Κατά τη διάρκεια μιας βροχής βρέθηκε ότι έχει ύψος πληρώσεως $h = 0,60$ m. Ποια είναι η παροχή του, αν η κλίση είναι $j = 0,001$;

Λύση.

Ο συντελεστής τραχύτητας για αγωγό με καλή επιφάνεια ροής είναι $\eta = 0,013$ και $1/\eta = 76,92$.

Από το νομογράφημα του σχήματος 7.7ιδ έχομε:

$$Q_{\Pi} = 0,8964 Q_K$$

Δηλαδή η παροχή με πλήρη γέμιση του αγωγού αυτού είναι ίση με το 0,8964 της παροχής κυκλικού αγωγού με διάμετρο $D = 2,00$ m.



Σχ. 7.7α.

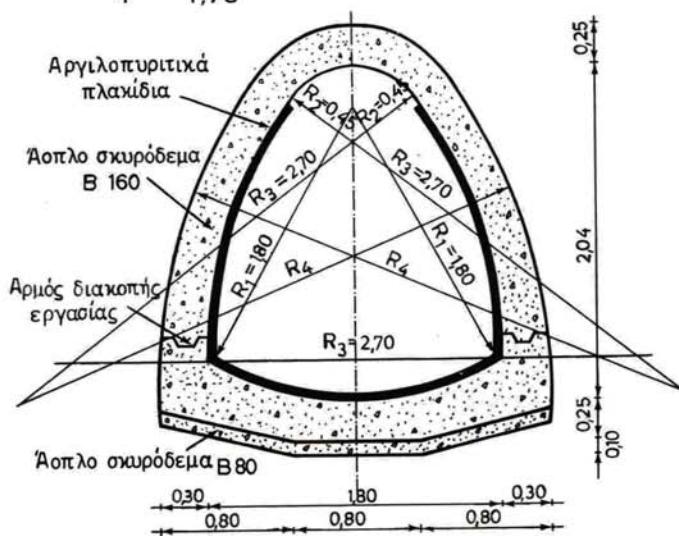
Κατασκευή αγωγού στοματοειδούς διατομής. Διακρίνονται τα διάφορα στάδια κατασκευής.
Μπροστά η κατασκευή του πυθμένα, στη μέση της ανωδομής, πίσω η επιχωμάτωση.

Βρίσκομε την παροχή του κυκλικού αγωγού που είναι:

$$Q = 4,815 \text{ lit/sec}$$

Άρα: $Q_{\pi} = 0,8964 \times 4,815 = 4,316 \text{ lit/sec}$

$$\frac{h}{4} = \frac{0,6}{1,78} = 0,337 \simeq 0,34$$



Σχ. 7.7β.

Στοιχεία αγωγού με σκουφοειδή διατομή διαστάσεων 180/200.



Σχ. 7.7ιγ.

Κατά την κατασκευή προηγείται η διαμόρφωση και η κατασκευή της βάσεως.

Στην κατακόρυφη στήλη του διαγράμματος της σκουφοειδούς διατομής βρίσκομε την τιμή 0,34. Από το ύψος αυτό φέρνομε ευθεία που τέμνει την καμπύλη Q. Το σημείο τομής το κατεβάζομε στη βάση του διαγράμματος και βρίσκομε τιμή 0,3.

Άρα η παροχή για ύψος $h = 0,6$ είναι

$$Q = 0,3 \cdot Q_{\pi} = 0,3 \times 4,316 = 1,29 \text{ lit/sec}$$

Παράδειγμα 1ο: Δίκτυο ομβρίων.

Ζητείται να υπολογιστεί το δίκτυο ομβρίων της περιοχής για συχνότητα 1:5 χρόνια και συντελεστή απορροής $C_A = 0,9$. Τα γεωμετρικά στοιχεία των τετραγώνων που προέκυψαν από τοπογραφική αποτύπωση δίνονται στο σχήμα 7.7ιδ. Η κλίση των αγωγών ενιαία $J = 7,5\%$.

Λύση.

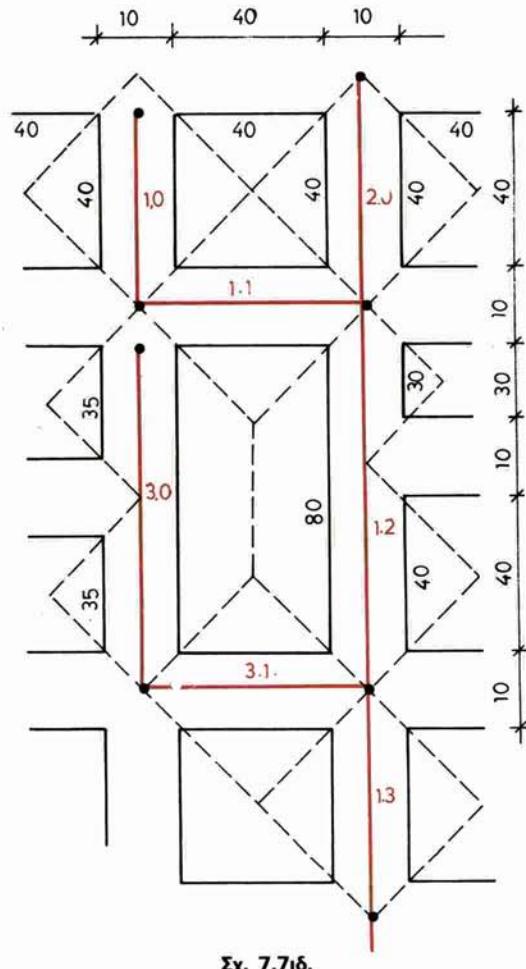
Αριθμούμε τους αγωγούς. Ξεκινάμε από τον τελευταίο και βρίσκομε το πιο μακρινό σημείο. Εκείνο τον αγωγό τον ονομάζομε 1.0. Τον επόμενο 1.1, τον άλλο 1.2 κ.ο.κ. Στη συνέχεια βρίσκομε αυτούς που συμβάλλουν. Αν είναι μόνο ένας, τότε είναι 2.0 ή 3.0 κ.ο.κ. Έτσι στον κεντρικό αγωγό 1 συμβάλλουν κατά σειρά οι 2.0 και 3.0, 3.1.

Για να βρούμε τις παροχές και τις διατομές των αγωγών εργαζόμαστε ως εξής:

1) Αγωγός 1.0.

— Χρόνος συρροής $T = 5'$

$$— \text{Ένταση βροχής } i = \frac{50,6}{28,4} \cdot 60 = 107 \text{ mm/hr}$$



— Έκταση $E = 1250 \text{ m}^2 + 0,125 \text{ ha}$

$$- Q = \frac{1}{0,36} \cdot 0,9 \cdot 107 \cdot 0,125 = 33,4 \text{ l/s}$$

Από τον πίνακα 7.1 βλέπουμε ότι ο αγωγός που μπορεί να παραλάβει την παροχή $33,4 \text{ l/s}$ για κλίση $7,5\%$ έχει διάμετρο $D = 200 \text{ mm}$ (Για την ακρίβεια η ικανότητα του αγωγού είναι μεγαλύτερη αφού μπορεί να παραλάβει παροχή ίση με $38,19 \text{ l/s}$). Όπως όμως είπαμε [παράγρ. 7.4(2a)] η ελάχιστη επιτρεπόμενη διάμετρος για αγωγό ομβρίων είναι $D = 400 \text{ mm}$. Δηλαδή, παρόλο που ο αγωγός με διάμετρο 200 mm μπορεί να πάρει την παροχή που υπολογίσαμε, εμείς βάζομε αγωγό με διάμετρο $D = 400 \text{ mm}$. Ο αγωγός αυτός μπορεί με πλήρη γέμιση να παραλάβει παροχή $Q = 238,5 \text{ l/s}$. Άρα με τα $33,4 \text{ l/s}$ που θα πέσουν μέσα ο αγωγός δεν θα είναι γεμάτος.

Για να βρούμε το ύψος πληρώσεως (βάθος ροής) του αγωγού, βρίσκομε το λόγο της παροχής που πέφτει στον αγωγό (33,4 l/s) προς την παροχή πληρώσεως (238,5 l/s):

$$\frac{Q}{Q_{\pi}} = \frac{33,4}{238,5} = 0,14$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1.

Παροχή σε συνάρτηση από την κλίση του αγωγή και τη διάμετρό του, για πλήρη γέμιση και όχι υπό πίεση (σε l/s).

Διάμετρος σε mm	150	200	250	300	350	400	450	500
Κλίση	150	200	250	300	350	400	450	500
4 ‰	12,82	27,54	49,68	80,37	121,90	174,17	239,00	316,43
4,5 ‰	13,65	29,28	52,80	85,40	129,32	184,74	253,50	335,16
5 ‰	14,44	30,94	55,78	90,21	136,32	194,73	267,21	353,78
5,5 ‰	15,18	32,52	58,61	94,76	142,97	204,24	280,25	371,04
6 ‰	15,90	34,02	61,31	99,11	149,33	213,32	292,72	387,53
6,5 ‰	16,56	35,46	63,90	103,29	155,42	222,03	304,67	403,36
7 ‰	17,22	36,85	66,39	107,31	161,29	230,42	316,18	418,60
7,5 ‰	17,85	38,19	68,80	111,19	166,95	238,50	327,27	433,28
8 ‰	18,46	39,50	71,13	114,95	172,43	246,32	338,00	447,50
8,5 ‰	19,05	40,75	73,39	118,58	177,73	253,91	348,41	461,26
9 ‰	19,62	41,97	75,58	122,12	182,88	261,27	358,51	474,63
9,5 ‰	20,18	43,16	77,72	125,55	187,89	268,52	368,33	487,64
10 ‰	20,73	44,32	79,79	128,90	192,78	275,40	377,90	500,31

Στο σχήμα 7.7ιε για κυκλική διατομή βρίσκομε την τιμή $Q/Q_{\pi} = 0,14$ στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος και υψώνομε κάθετο μέχρι να συναντήσει την καμπύλη Q. Από εκεί φέρνομε παράλληλο στον οριζόντιο άξονα και στο άκρο του διαγράμματος στην κατακόρυφη στήλη εκτιμούμε την τιμή γ = 0,22 που σημαίνει ότι το βάθος ροής θα είναι τα εικοσιδύο εκατοστά (0,22) του βάθους του αγωγού που είναι 400 mm όση δηλαδή η διάμετρός του.

Άρα το βάθος ροής θα είναι:

$$h = 0,22 \cdot 400 = 88 \text{ mm}$$

2) Αγωγός 1.1.

Χρόνος συρροής: T = 10' (5' για τον 1.0 και 5' για τον 1.1).

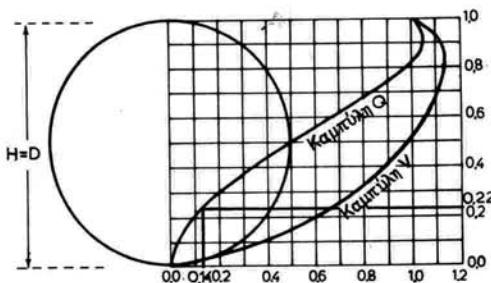
Ένταση βροχής: $i = \frac{50,6}{10 + 23,4} \cdot 60 = \frac{50,6}{33,4} \cdot 60 = 90,8 \approx 91 \text{ mm/h}$

Έκταση που παροχετεύεται: E = 0,25 h_a (0,125 του αγωγού 1.0 και 0,125 του αγωγού 1.1).

Παροχή: $Q = \frac{1}{0,36} \cdot 0,9 \cdot 91 \cdot 0,25 = 56,92 \text{ l/s}$

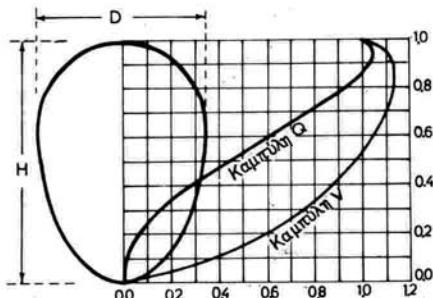
Κυκλική διατομή

$$\begin{aligned} H &= D \\ E &= 0,7854 \cdot D^2 \\ \Pi &= 3,1416 \cdot D \\ R &= 0,2500 \cdot D \\ V_x &= I/\eta \cdot R \cdot J \\ Q_x &= E/\eta \cdot R \cdot J \end{aligned}$$



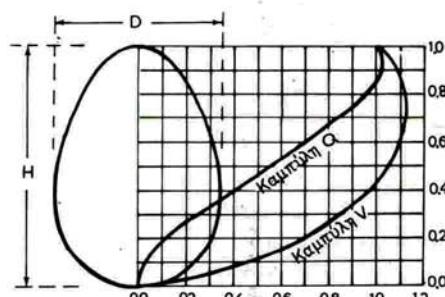
Ωσειδής διατομή

$$\begin{aligned} H &= 1,5 \cdot D \\ D &= 0,67 \cdot H \\ E &= 1,1485 \cdot D^2 \\ \Pi &= 3,9649 \cdot D \\ R &= 0,2897 \cdot D \\ V &= 1,103 \cdot V_x \\ Q &= 1,612 \cdot Q_x \end{aligned}$$



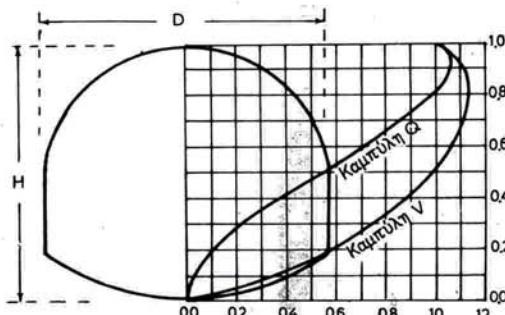
Ανεστραμμένη ωσειδής

$$\begin{aligned} H &= 1,5 \cdot D \\ D &= 0,67 \cdot H \\ E &= 1,1485 \cdot D^2 \\ \Pi &= 3,9649 \cdot D \\ R &= 0,2897 \cdot D \\ V &= 1,103 \cdot V_x \\ Q &= 1,612 \cdot Q_x \end{aligned}$$



Σκουφοειδής διατομή

$$\begin{aligned} H &= 0,88 \cdot D \\ D &= 1,13 \cdot H \\ E &= 0,7332 \cdot D^2 \\ \Pi &= 3,1180 \cdot D \\ R &= 0,2351 \cdot D \\ V &= 0,9598 \cdot V_x \\ Q &= 0,8964 \cdot Q_x \end{aligned}$$



Σχ. 7.7ie.

Τα νομογραφήματα δίνουν τις τιμές της ταχύτητας και της παροχής για διάφορες διατομές αγωγών και για διάφορα ύψη πληρώσεως.

Διάμετρος: Από τον πίνακα 7.1 για κλίση 7,5% και παροχή $Q = 56,92 \text{ l/s}$ έχουμε $D = 250 \text{ mm}$. Άρα κι αυτός ο αγωγός θα έχει την ελάχιστη διάμετρο των 400 mm.

$$\text{Βάθος ροής: } \frac{Q}{Q_{\pi}} = \frac{56,92}{238,5} = 0,238 \approx 0,24.$$

Από το σχήμα 7.7 ιε για $Q/Q_{\pi} = 0,24$ βρίσκομε $y = 0,38$ και $h = 0,38 \cdot 400 = 152 \text{ mm}$.

3) Αγωγός 2.0.

Δεν υπάρχει άλλος πριν από αυτόν. Άρα:
Χρόνος συρροής: $T = 5'$

$$\text{'Ενταση βροχής } i = \frac{50,6}{5 + 23,4} \cdot 60 = \frac{50,6}{28,4} \cdot 60 = 107 \text{ mm/h}$$

Έκταση που αποχετεύεται: $E = 0,125 h_a$

$$\text{Παροχή: } Q = \frac{1}{0,36} \cdot 0,9 \cdot 107 \cdot 0,125 = 33,4 \text{ l/s}$$

Διάμετρος: Θεωρητική $D = 200$. Βάζομε όμως $D = 400 \text{ mm}$
Βάθος ροής: $0,22 \cdot 400 = 88 \text{ mm}$.

4) Αγωγός 1.2.

Πριν από αυτόν υπάρχουν οι 1.0 και 1.1. Άρα:

Χρόνος συρροής: $T = 15'$ (5' για τον 1.0 συν 5' για τον 1.1 συν 5' για τον 1.2).

$$\text{'Ενταση βροχής: } i = \frac{50,6}{15 + 23,4} \cdot 60 = \frac{50,6}{38,4} \cdot 60 = 79 \text{ mm/h}$$

Έκταση που αποχετεύεται: $E = 0,640 h_a$ (0,125 για τον αγωγό 1.0, 0,125 για τον 1.1, 0,125 για τον 2.0 και 0,265 για τον 1.2).

$$\text{Παροχή: } Q = \frac{1}{0,36} \cdot 0,9 \cdot 79 \cdot 0,64 = 126,4 \text{ l/s}$$

Διάμετρος: Από τον πίνακα 7.1 για $Q = 126,4 \text{ l/s}$ έχουμε $D = 350 \text{ mm}$. Βάζομε την ελάχιστη επιτρεπτή $D = 400 \text{ mm}$.

$$\text{Βάθος ροής: } \frac{Q}{Q_{\pi}} = \frac{126,4}{238,5} = 0,53.$$

Από το σχήμα 7.7 ιε βρίσκομε $y = 0,51$ και $h = 0,51 \cdot 400 = 204 \text{ mm}$.

5) Αγωγός 3.0.

Δεν υπάρχει άλλος πριν από αυτόν. Άρα:
Χρόνος συρροής: $T = 5'$

$$\text{Ένταση βροχής: } i = \frac{50,6}{5 + 23,4} \cdot 60 = 107 \text{ mm/h}$$

Έκταση που αποχετεύεται: $E = 0,264 h_a$.

$$\text{Παροχή: } Q = \frac{1}{0,36} \cdot 0,9 \cdot 107 \cdot 0,264 = 70,62 \text{ l/s}$$

Διάμετρος: Από τον πίνακα 7.1 για $Q = 70,62 \text{ l/s}$ έχομε $D = 300 \text{ mm}$. Βάζομε τη ελάχιστη επιτρεπτή $D = 400 \text{ mm}$.

$$\text{Βάθος ροής: } \frac{Q}{Q_{\pi}} = \frac{70,62}{238,5} = 0,296.$$

Από το σχήμα 7.7ιε βρίσκομε $y = 0,38$ και $h = 0,38 \cdot 400 = 152 \text{ mm}$

6) Αγωγός 3.1.

Έχει πριν από αυτόν τον αγωγό 3.0. Άρα:
Χρόνος συρροής: $T = 10'$ ($5'$ για τον 3.0 και $5'$ για τον 3.1).

$$\text{Ένταση βροχής: } i = \frac{50,6}{10 + 23,4} \cdot 60 = 91 \text{ mm/h}$$

Έκταση που αποχετεύεται: $E = 0,389 h_a$ ($0,264$ από τον 3.0 και $0,125$ από τον 3.1).

$$\text{Παροχή: } Q = \frac{1}{0,36} \cdot 0,9 \cdot 91 \cdot 0,389 = 88,5 \text{ l/s}$$

Διάμετρος: Από τον πίνακα 7.1 για $Q = 88,5 \text{ l/s}$ έχομε $D = 300 \text{ mm}$. Βάζομε την ελάχιστη επιτρεπτή $D = 400 \text{ mm}$.

$$\text{Βάθος ροής: } \frac{Q}{Q_{\pi}} = \frac{88,5}{238,5} = 0,37.$$

Από το σχήμα 7.7ιε βρίσκομε $y = 0,41$ και $h = 0,41 \cdot 400 = 164 \text{ mm}$

7) Αγωγός 1.3.

Πριν από αυτόν υπάρχουν οι 1.0, 1.1, 1.2, 2.0, 3.0, 3.1. Άρα:
Χρόνος συρροής: $T = 20'$ ($5'$ για τον 1.0, $5'$ για τον 1.1, $5'$ για τον 1.2 και $5'$ για τον 1.3).

Ένταση βροχής: $i = \frac{50,6}{20 + 23,4} \cdot 60 = 69,95 \approx 70 \text{ mm/h}$

Έκταση που αποχετεύεται: $E = 1.154 h_a$ (0,125 από τον 1.0, 0,125 από τον 1.1, 0,125 από τον 2.0, 0,264 από τον 1.2, 0,265 από τον 3.0, 0,125 από τον 3.1 και 0,125 από τον 1.3).

Παροχή: $Q = \frac{1}{0,36} \cdot 0,9 \cdot 70 \cdot 1.154 = 201.95 \approx 202 \text{ l/s}$

Διάμετρος: Από τον πίνακα 7.1 για $Q = 202 \text{ l/s}$ παίρνουμε $D = 400 \text{ mm}$.

Βάθος ροής: $\frac{Q}{Q_o} = \frac{202}{238,5} = 0,845.$

Από το σχήμα 7.7ιε παίρνουμε $\gamma = 0,7$.

Το βάθος αυτό είναι μεγάλο (για $D = 400$ το γ πρέπει να είναι μικρότερο από 0,5) και γι αυτό επιλέγομε διάμετρο μεγαλύτερη: $D = 450 \text{ mm}$.

Για τον αγωγό $D = 450 \text{ mm}$ έχουμε $Q_{\pi} = 327,27$.

Άρα $\frac{Q}{Q_{\pi}} = \frac{202}{327,27} = 0,617.$

Από το σχήμα 7.7ιε παίρνουμε $\gamma = 0,57$ και συνεπώς το βάθος ροής θα είναι $h = 0,57 \cdot 450 = 256,5 \text{ mm}$.

Παράδειγμα 2ο: Δίκτυο Ακαθάρτων.

Ζητείται να υπολογισθεί η παροχή ακαθάρτων για την περιοχή (σχ. 7.7ιδ) μιας πόλεως με πυκνότητα κατοικήσεως 1500 κατοίκους ανά εκτάριο (1500 κατ/ h_a) και κατανάλωση νερού ανά κάτοικο ίση με 200 $l/\text{ημ}$.

Λύση:

*Στη παράγραφο 7.4.2 είδαμε ότι η απορροή είναι το 80% της καταναλώσεως. Στη περίπτωσή μας δηλαδή θα απορρέουν από κάθε κάτοικο:

$$0,8 \cdot 200 = 160 \text{ lit}$$

Αυτό σημαίνει ότι η ειδική απορροή ανά εκτάριο θα είναι:

$$q = 1500 \frac{\text{κατ.}}{h_a} \cdot 160 \frac{l}{\text{κατ. ημ.}} \cdot \frac{1}{86.400 \frac{\text{sec}}{\eta\mu.}} = 2,78 \text{ l/s} \cdot h_a$$

Έτσι θα έχουμε:

$$\text{Αγωγός 1.0: } Q_{10} = E_{1.0} \cdot q = 0,125 (h_a) \cdot 2,78 \frac{l}{s \cdot h_a} = 0,347 \text{ l/s}$$

Αγωγός

$$\gg 1.1: Q_{1,1} = E_{1,1} q = 0,250 (h_a) \cdot 2,78 \left(\frac{l}{s \cdot h_a} \right) = 0,695 l/s$$

$$\gg 2.0: Q_{2,0} = E_{2,0} q = 0,125 (h_a) \cdot 2,78 \left(\frac{l}{s \cdot h_a} \right) = 0,347 l/s$$

$$\gg 1.2: Q_{1,2} = E_{1,2} = q = 0,640 (h_a) \cdot 2,78 \left(\frac{l}{s \cdot h_a} \right) = 1,78 l/s$$

$$\gg 3.0: Q_{3,0} = E_{3,0} q = 0,265 (h_a) \cdot 2,78 \left(\frac{l}{s \cdot h_a} \right) = 0,74 l/s$$

$$\gg 3.1: Q_{3,1} = E_{3,1} q = 0,390 (h_a) \cdot 2,78 \left(\frac{l}{s \cdot h_a} \right) = 1,08 l/s$$

$$\gg 1.3: Q_{1,3} = E_{1,3} \cdot q = 1,154 (h_a) \cdot 2,78 \left(\frac{l}{s \cdot h_a} \right) = 3,21 l/s.$$

7.8 Μόλυνση του νερού.

Η συνεχής αστικοποίηση του πληθυσμού και η άνοδος του βιοτικού επιπέδου σε συνδυασμό με την εκβιομηχάνιση, τον τουρισμό και την έπεκταση των αρδεύσεων, καθιστούν ολοένα και επιτακτικότερη την ανάγκη νερού.

Η χρησιμοποίηση του νερού από τον άνθρωπο υποβαθμίζει την ποιότητά του με αποτέλεσμα όσο αυξάνεται η κατανάλωσή του τόσο αυξάνεται και η ποσότητα του ακάθαρτου νερού που πρέπει να απομακρυνθεί. Έτσι δημιουργείται επιτακτική η ανάγκη σωστής διαχειρίσεως του νερού και συστηματικής προστασίας του περιβάλλοντος και μάλιστα των φυσικών ρευμάτων, λιμνών ή θαλασσών στις οποίες χύνονται τα λύματα.

Κάθε επιφανειακό ρεύμα έχει το δικό του φυσικό περιβάλλον, μέσα στο οποίο αναπτύσσονται αρμονικά, η υδρόβια χλωρίδα και πανίδα και μέσα στο οποίο γίνονται οι διάφορες φυσικοχημικές μεταβολές. Βρίσκεται δηλαδή το κάθε ρεύμα σε μια βιολογική ισορροπία που κινδυνεύει να μεταβληθεί όταν επιδρούν εξωτερικοί παράγοντες. Έτσι, η διάθεση σε ένα ρεύμα λυμάτων με μεγάλη περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά, μεταβάλλει τη διαφάνεια και το φωτισμό μέσα στο νερό, επιβραδύνει τη χλωροφυλλική δράση, ανακόπτει την ανάπτυξη της χλωρίδας και μειώνει την έκλυση οξυγόνου. Το αποτέλεσμα είναι ότι κάτω από αναερόβιες συνθήκες αποσυντίθενται οι οργανικές ουσίες και δημιουργούνται εστίες σήψεως και μολύνσεως.

Ο ορισμός της ρυπάνσεως ενός ρεύματος δεν είναι εύκολος. Η παγκόσμια οργάνωση υγείας (World Health Organisation) ορίζει ότι:

Ένα ρεύμα θεωρείται ότι έχει ρυπανθεί όταν η σύνθεση ή η κατάσταση του νερού έχει αλλοιωθεί από τις δραστηριότητες του ανθρώπου σε βαθμό που να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλες τις χρήσεις, όπως θα μπορούσε αν διατηρούνταν στη φυσική του κατάσταση.

7.9 Μορφές ρυπάνσεως.

α) Μηχανική ρύπανση.

Προκαλείται από τη διάθεση αποβλήτων με μεγάλη περιεκτικότητα σε αιωρού-

μενα στερεά. Τα σωματίδια αυτά εμποδίζουν τη διείσδυση των ηλιακών ακτίνων με αποτέλεσμα την αναστολή της φωτοσυνθέσεως και της αναπτύξεως της χλωρίδας που συμβάλλει στην αύξηση της περιεκτικότητας σε οξυγόνο.

β) Χημική ρύπανση.

Προκαλείται από τον εμπλουτισμό του νερού με διάφορες χημικές ουσίες προερχόμενες από τη βιομηχανία. Οι ουσίες αυτές μπορεί να είναι:

- Οξέα και βάσεις.
- Άλατα του θείου.
- Βαριά μέταλλα (κυανιούχα κ.ά.).
- Πετροχημικά παράγωγα (χλωριούχο βινύλιο, βενζόλιο κ.ά.).
- Τοξικές ουσίες (φωσφόρος).
- Απορρυπαντικά διαφόρων μορφών (οικιακής χρήσεως).
- Ζιζανιοκτόνα.
- Υδρογονάνθρακες (πετρέλαιο και συναφή).

γ) Θερμική ρύπανση.

Προκαλείται από τη διάθεση θερμών βιομηχανικών αποβλήτων. Η ανύψωση της θερμοκρασίας είναι αποφασιστικός παράγοντας για την καταστροφή της υδρόβιας ζωής. Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει τη μικροβιακή δράση και μειώνει την περιεκτικότητα σε διαλυμένο οξυγόνο. Αυξάνει επίσης τη δηλητηριώδη δράση των τοξικών ουσιών.

δ) Ρύπανση από φυτοφάρμακα.

Τα φυτοφάρμακα είναι χημικά συνθετικά προϊόντα που έχουν ως σκοπό την καταπολέμηση των οργανισμών που κρίνονται επιβλαβείς για την ανάπτυξη φυτών και ζώων. Το μεγαλύτερο μέρος τους καταναλώνεται στις καλλιέργειες από τις οποίες μεταφέρονται με το νερό της αρδεύσεως στους αποδέκτες.

ε) Ρύπανση από ραδιενέργεια κατάλοιπα.

Προέρχονται από πυρηνικές βιομηχανίες. Οι ουσίες αυτές διαλύονται, διαχέονται, αποθέονται, δεσμεύονται, ανασυγκροτούνται και διασκορπίζονται στο χώρο μεταφερόμενες από το νερό.

στ) Οργανική ρύπανση.

Προκαλείται από τα οικιακά λύματα και τα απόβλητα των βιομηχανιών επεξεργασίας ή μεταποίησεως γεωργικών και κτηνοτροφικών προϊόντων που περιέχουν οργανικές ουσίες. Οι ουσίες αυτές απορροφούν το διαλυμένο οξυγόνο για τη βιολογική τους αποδόμηση, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται το διαθέσιμο διαλυμένο οξυγόνο και να διαταράσσεται η βιολογική ισορροπία του νερού.

ζ) Μικροβιακή μόλυνση.

Οφείλεται στην παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών και ιών που μέσα στο νερό βρίσκουν το κατάλληλο περιβάλλον και πολλαπλασιάζονται.

7.10 Ικανότητα αυτοκαθαρισμού.

Είναι γνωστό ότι ένα επιφανειακό ρεύμα το οποίο έχει δεχθεί μια ποσότητα α-

κάθαρτου νερού, αποκτά την αρχική του καθαρότητα λίγο πιο κάτω από τη διάθεση χωρίς την επέμβαση του ανθρώπου. Η ικανότητα αυτή του αυτοκαθαρισμού οφείλεται στη δράση ζώντων οργανισμών που αναπτύσσονται μέσα στο νερό. Οι οργανισμοί αυτοί αποδομούν, ανοργανοποιούν δηλαδή τις οργανικές ουσίες με ζυμώσεις που για να γίνουν καταναλώνουν το διαλυμένο οξυγόνο και στη συνέχεια ανασυνθέτουν τα προϊόντα που προκύπτουν από την αποδόμηση σε νέα, ζωντανή, οργανική ύλη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.10.1

Μετατροπή βιομηχανικών αποβλήτων σε ανθρώπινα ισοδύναμα κατά Imhoff (Παραδοχή $B.O.D_5 = 60 \text{ g/κατ. ημ]$)

a/a	Είδος Βιομηχανικού προϊόντος	Ανθρώπινο ισοδύναμο (αριθμός ανθρώπων)
1	Βιομηχανία γάλατος με τυροκομείο για 1.000 lit γάλατος	45 - 230
2	Σφαγείο, 1 βόδι	65 - 180
3	Βουστάσιο, 1 ζώο	5 - 10
4	Χοιροστάσιο, 1 ζώο	3
5	Πτηνοτροφείο, 1 ζώο	0,12 - 0,25
6	Εργοστάσιο παραγωγής ζάχαρης για επεξεργασία 1 tn τεύτλων	45 - 70
7	Εργοστάσιο μπύρας, για 1.000 lit μπύρας	150 - 350
8	Εργοστάσιο παραγωγής ζύμης (για μπύρα, αρτοποιία, ζωτροφές κλπ.), 1 tn ζύμης	5.000 - 7.000
9	Οινοποιείο, 1.000 lit. οίνου	100 - 140
10	Βυρσοδεψείο, 1 tn ακατέργαστου δέρματος	1.000 - 3.000
11	Πλυντήρια μαλλιού, 1 tn μαλλιού	2.000 - 4.500
12	Εργοστάσιο κυτταρίνης, 1 tn κυτταρίνης	3.500 - 5.500
13	Εργοστάσιο παραγωγής χαρτιών, 1 tn χαρτιού	300 - 900
14	Διαρροή ορυκτέλαιου, 1 tn ορυκτέλαιου	11.000

Η διαφορά ανάμεσα στους αριθμούς που αναφέρονται στα ανθρώπινα ισοδύναμα, οφείλεται στη διαφορά επεξεργασίας του προϊόντος. Οι μικρότεροι αριθμοί αντιστοιχούν στην τελειότερη και πιο επιμελημένη μέθοδο επεξεργασίας του προϊόντος.

Μια όχι και τόσο τελειοποιημένη βιομηχανία παραγωγής κυτταρίνης, που παράγει π.χ. 20 tn κυτταρίνης, μολύνει ένα ρεύμα όσο και μια πόλη 20 tn x 5.500 κατ/tn . ημ = 110.000 κατ. εκατόν δέκα χιλιάδων κατοίκων. Ενώ μια σύγχρονη και τελειοποιημένη βιομηχανία μολύνει κατά 20 tn x 3.500 κατ/tn. ημέρα = 70.000 κατ. εβδομήντα χιλ. κατοίκων.

Το νερό παίρνει το οξυγόνο, που όπως αναφέραμε είναι απαραίτητο για την αποδόμηση, από την ατμόσφαιρα. Η ταχύτητα προσλήψεως του οξυγόνου στα φυσικά ρεύματα είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η ελεύθερη επιφάνεια σχετικά με τον όγκο του νερού. Ακόμη αυξάνεται ανάλογα με την ταχύτητα ροής και το βαθμό στροβιλισμού του.

7.11 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο.

Το B.O.D. (Biochemical Oxygen Demand) ή B.A.O (Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο) είναι η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου για την αποσύνθεση με οξείδωση και με την παρέμβαση των βακτηριδίων των οργανικών ουσιών ενός λύματος.

Ο προσδιορισμός της βιοχημικής απαιτήσεως σε οξυγόνο αποβλέπει στην ανασύσταση στο εργαστήριο των φαινομένων αποσυνθέσεως τα οποία συμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον. Οι διάφοροι μικροοργανισμοί που βρίσκονται μέσα σε ένα ποταμό, χρησιμοποιούν τις οργανικές ουσίες για τις θρεπτικές τους ανάγκες και το οξυγόνο για την αναπνοή και κινητικότητα. Με αυτό τον τρόπο οι πολύπλοκες οργανικές ενώσεις οξειδώνονται σε απλά και αβλαβή ανόργανα συστατικά, όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα, η αμμωνία, το νερό και τα νιτρικά.

Η εύρεση του B.O.D. στο εργαστήριο γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο. Τοποθετείται μετρημένη ποσότητα δείγματος από το προς εξέταση λύμα σε γυάλινα δοχεία των 300 ml, για την πλήρωση των οποίων προστίθεται αποσταγμένο νερό. Μετρείται η περιεκτικότητα σε διαλυμένο οξυγόνο πριν και μετά την επώαση του δείγματος σε συσκευή επώασεως για 5 μέρες σε θερμοκρασία 20°C και στο σκοτάδι. Η διαφορά αρχικού-τελικού διαλυμένου οξυγόνου χρησιμοποιείται για το υπολογισμό του B.O.D. από τη σχέση:

$$\text{mg/lit B.O.D.} = \frac{\text{mg/lit αρχικού B.O.D.} - \text{mg/lit τελικού B.O.D.}}{\frac{\text{mlit λύματος}}{\text{mlit όγκου δοχείου}}}$$

ή

$$\text{mg/lit B.O.D.} = \frac{\text{mg/lit B.O.D}_0 - \text{mg/lit B.O.D}_5}{\frac{\text{mlit λύματος}}{300}}$$

7.12 Έλεγχος της ρυπάνσεως. Επεξεργασία λυμάτων.

Η μικρή ή μεγάλη ρύπανση που υφίσταται ένας αποδέκτης (π.χ. ποταμός), από τη ροή σ' αυτόν αποβλήτων, καθορίζεται από το βαθμό αραιώσεως. Η αραιώση τις περισσότερες φορές είναι τέτοια που δεν κρίνεται σκόπιμη η διάθεση των αποβλήτων στον αποδέκτη χωρίς να υποστούν από πριν μια επεξεργάσια που θα ελαττώσει το φορτίο τους.

Η επεξεργασία αυτή διακρίνεται σε δύο βασικά στάδια καθαρισμού που το κάθε ένα περιλαμβάνει έναν αριθμό εργασιών.

α) Πρωτοβάθμιος καθαρισμός.

Έχει ως σκοπό την αφαίρεση των αιωρουμένων, στερεών, ανοργάνων ή οργανικών που γίνεται με:

- Εσχαρισμό.
- Κατατεμαχισμό.
- Αμμοσυλλογή.
- Αφαίρεση λιπων.
- Καθίζηση.

β) Δευτεροβάθμιος καθαρισμός.

Έχει ως σκοπό την αφαίρεση των αιωρουμένων ουσιών που παρέμειναν από την αποδόμηση των οργανικών ουσιών και γίνεται με:

- Βιολογική καθίζηση (διύλιση).
- Επεξεργασία με ενεργό ιλύ.
- Σηπτικές δεξαμενές.
- Δευτεροβάθμια καθίζηση.

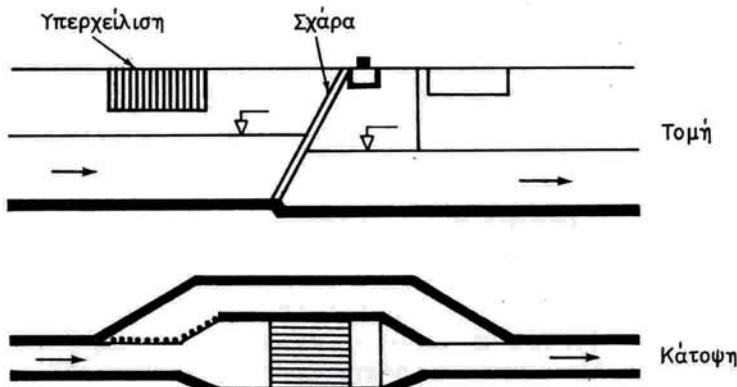
7.12.1 Εσχαρισμός.

Είναι η εργασία με την οποία τα λύματα πέρνονται από μια σχάρα και συγκρατούνται έτσι τα αιωρούμενα ή επιπλέοντα αντικείμενα.

Η σχάρα αποτελείται από ράβδους με πάχος 1 μέχρι 1,5 cm και διαφορετική κατά περίπτωση διατομή. Η μεταξύ των ράβδων απόσταση μπορεί να είναι από 4 μέχρι 5 cm ενώ το μήκος τους περίπου 1,00 μέχρι 1,50 m.

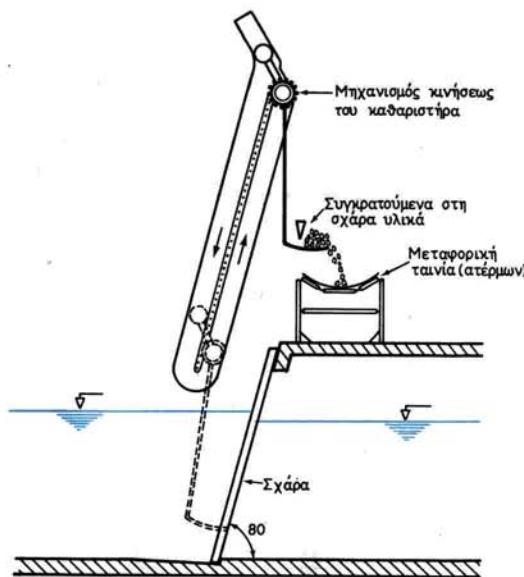
Τοποθετείται κάθετα στη διεύθυνση της ροής και με κλίση ως προς την κατακόρυφο (σχ. 7.12α). Η γωνία κλίσεως της σχάρας θεωρητικά καθορίζεται από διάφορους τύπους. Στην πράξη η κλίση είναι 1:3 ή 1:4 (1 μήκος, 3 ύψος). Ο καθαρισμός της σχάρας γίνεται μηχανικά και έτσι ώστε το σύστημα καθαρισμού να διαθέτει τα υλικά, κατ' ευθείαν στο μεταφορικό μέσο που τα απομακρύνει (σχ. 7.12β).

Επειδή στις μεγάλες εγκαταστάσεις τα φερτά υλικά είναι πολλά και πολλές φο-



Σχ. 7.12α.

Τοποθέτηση του εσχαρισμού στην προσαγωγό διώρυγα.



Σχ. 7.12β.

Μηχανικός καθαρισμός της σχάρας και απόρριψη των υλικών σε ατέρμονα ταινία που μεταφέρει τα υλικά σε μια προκαθορισμένη θέση.

ρές ογκώδη, χρησιμοποιείται πολτοποιητής. Ο πολτοποιητής είναι εγκατάσταση που κόβει τα αιωρούμενα υλικά σε μικρά κομμάτια, μικρότερα από 2 cm, ώστε να προχωρούν από τη σχάρα και να διοχετεύονται στη συνέχεια στο μηχανικό καθαρισμό.

7.12.2 Αρμοσυλλέκτης.

Είναι μια δεξαμενή με πυθμένα χαμηλότερα από τη διώρυγα που διοχετεύει τα λύματα (σχ. 7.12γ). Η ταχύτητα των λυμάτων πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να κατακάθονται οι ορυκτές ύλες (άμμος, χαλίκια), ενώ οι οργανικές ουσίες και τα κολλοειδή αιωρούμενα συμπαρασύρονται. Η τιμή της ταχύτητας κυμαίνεται από 0,25 μέχρι 0,35 m/sec.

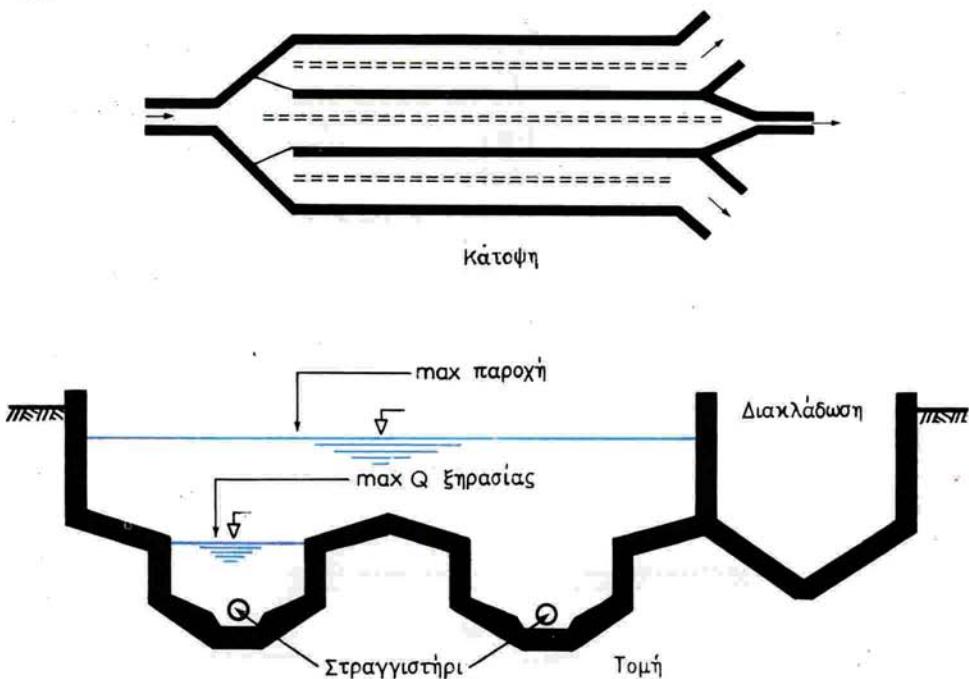
7.12.3 Δεξαμενές επιπολής (λιποσυλλέκτες).

Είναι δεξαμενές στις οποίες τα αιωρούμενα σωματίδια με ειδικό βάρος λίγο μικρότερο από το ειδικό βάρος του υγρού συγκεντρώνονται στην επιφάνεια. Η ταχύτητα ροής (οριζόντια) πρέπει να είναι πολύ μικρή και η επιφάνεια του νερού ήρεμη. Η απαιτούμενη επιφάνεια μιας δεξαμενής επιπολής είναι:

$$E = \frac{Q}{U} = \frac{\text{παροχή νερού σε } m^3/h}{\text{ελάχιστη ταχύτητα ανόδου σε } m/h}$$

Παράδειγμα.

Από εργαστηριακές έρευνες προέκυψε ότι το λινέλαιο στους 15°C έχει ελάχι-



Σχ. 7.12γ.
Κάτωφη και τομή αμμοσυλλέκτη με διακλαδώσεις.

στη ταχύτητα ανόδου 14,4 m/h για να καθαρίσει το νερό κατά 95%. Αν η παροχή στο λιποσυλλέκτη είναι $Q = 200 \text{ lit/sec} = 720 \text{ m}^3/\text{h}$ η απαιτούμενη επιφάνειά του είναι:

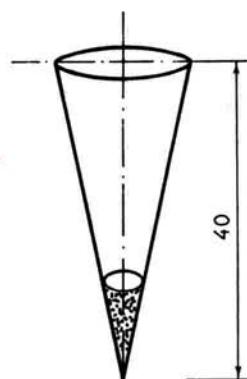
$$E = \frac{Q}{U} = \frac{720}{14,4} = 50 \text{ m}^2$$

Για να επιταχυνθεί η ανοδική πορεία των αιωρουμένων υλικών χρησιμοποιούνται αεροσυμπιεστές (κομπρεσέρ) που διοχετεύουν αέρα από τον πυθμένα του λιποσυλλέκτη, αναγκάζοντας κομμάτια, ακόμη και βαρύτερα από το νερό, να ανεβούν στην επιφάνεια παρασυρόμενα από την έντονη ανοδική πορεία των φυσαλίδων.

7.12.4 Καθίζηση.

Οι περισσότερες από τις αιωρούμενες ουσίες στα λύματα είναι τόσο λεπτές που περνούν από τον εσχαρισμό ή και από άλλης μορφής αραιά φίλτρα. Η απομάκρυνση των ουσιών αυτών επιτυγχάνεται μέσα στις δεξαμενές καθίζησεως.

Το φαινόμενο της καθίζησεως μπορούμε να το παρακολουθήσουμε σε ειδικούς γυάλινους κώνους που έχουν περιεκτικότητα 1 lit και διαβαθμίσεις σε κυβικά εκατοστά (cm^3) από την κορυφή του κώνου προς τη βάση. Ο χρόνος καθίζησεως στους κώνους αυτούς που λέγονται και κώνοι του Imhoff (πρόσ τιμή του, γιατί αυτός πρώτος τους χρησιμοποίησε) λαμβάνεται ίσος με 2 ώρες. Το ύψος των κώνων είναι 40 cm (σχ. 7.12δ).

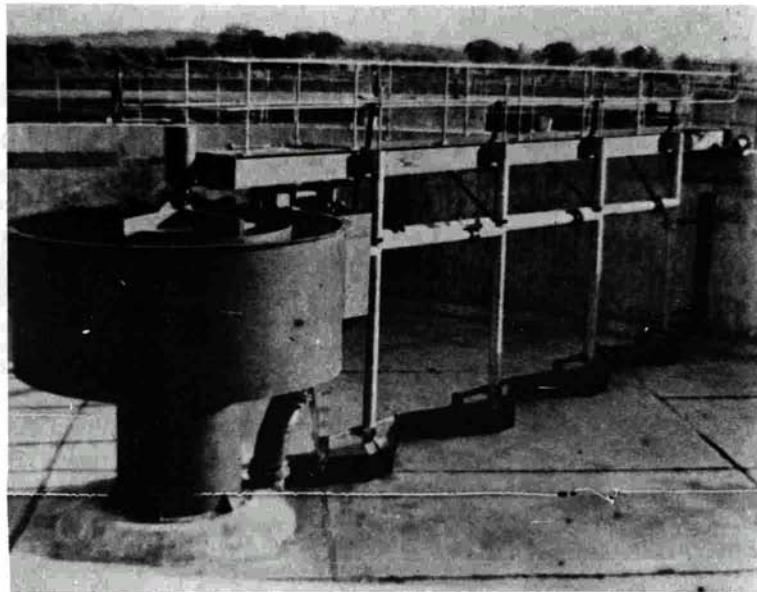


Δοχείο IMHOFF χωρητικότητας
ενός λίτρου

Σχ. 7.12δ.
Κώνος Imhoff.

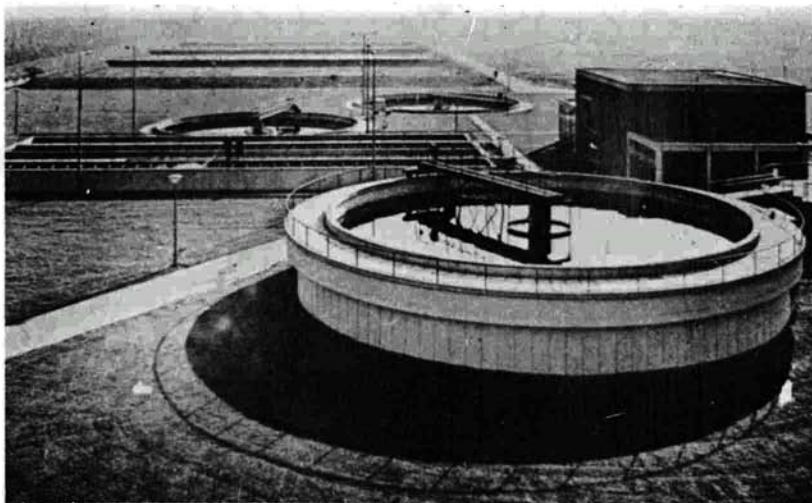
Ένα λίτρο λύματος κατακάθεται για δύο ώρες ενώ 15' μετά τη διοχέτευσή του στον κώνο χτυπούμε το δοχείο για να αποκολληθούν και να πέσουν προς τα κάτω ουσίες που έχουν επικολληθεί στα τοιχώματα. Σε διάφορα χρονικά διαστήματα μετράμε την καθίζηση και με βάση τις αναγνώσεις αυτές μπορούμε να σχεδιάσουμε την καμπύλη καθιζήσεως του λύματος.

Οι δεξαμενές καθιζήσεως (σχ. 7.12ε και 7.12στ) είναι ίδιες με τις δεξαμενές καθιζήσεως που αναφέραμε στην ύδρευση και ο υπολογισμός τους γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο:



Σχ. 7.12ε.

Κυκλική δεξαμενή καθιζήσεως εκτός λειτουργίας. Διακρίνονται οι αποξέστες της λάσπης.



Σχ. 7.12στ.
Κυκλική δεξαμενή καθίζησεως σε λειτουργία.

Αν η παροχή λυμάτων σε ένα οικισμό είναι $52 \text{ m}^3/\text{h}$ και αν από δοκιμή του Imhoff στον κώνο προέκυψε διάρκεια καθίζησεως 4 ώρες, σημαίνει ότι έχομε ταχύτητα καθίζησεως $0,40 \text{ m}/4\text{h} = 0,1 \text{ m}/\text{h}$. Κατά συνέπεια η επιφάνεια της δεξαμενής πρέπει να είναι:

$$E = \frac{Q}{U} = \frac{52}{0,1} = 520 \text{ m}^2$$

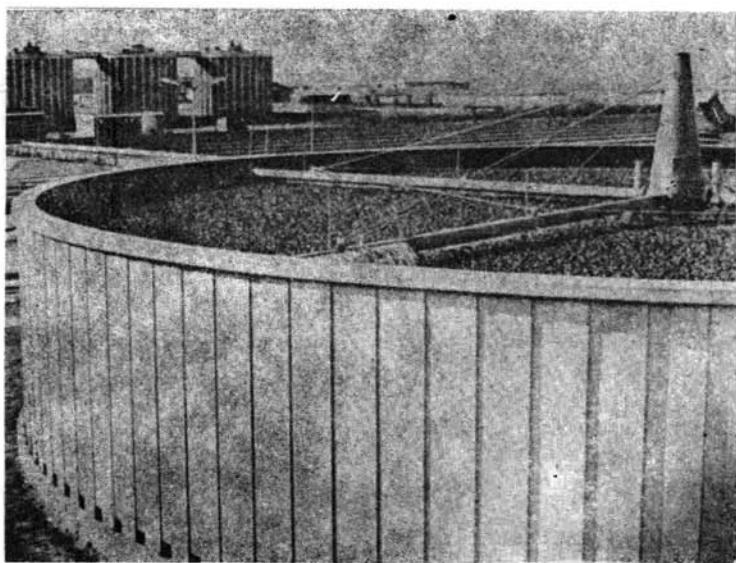
7.12.5 Χαλικοδιυλιστήρια.

Είναι κυκλικές ή ορθογωνικές δεξαμενές με βάθος 1,80 - 2,00 m και στρώμα φίλτρου από διάφορα υλικά (πέτρες, χαλίκια, πλαστικά). Η μέθοδος καθαρισμού στα χαλικοδιυλιστήρια (σχ. 7.12ζ) βασίζεται στην αρχή της οξειδώσεως των οργανικών ενώσεων, αφού έχουν ήδη υποστεί καθίζηση, από τη βιολογική μεμβράνη που αναπτύσσεται στην επιφάνεια των υλικών, καθώς τα λύματα περνούν μέσα από το στρώμα του φίλτρου. Η δράση της μεθόδου δεν εξαρτάται από τη διήθηση των λυμάτων μέσα από τα χαλίκια, αλλά από τη βιολογική ενέργεια της μεμβράνης που περιβάλλει τα χαλίκια.

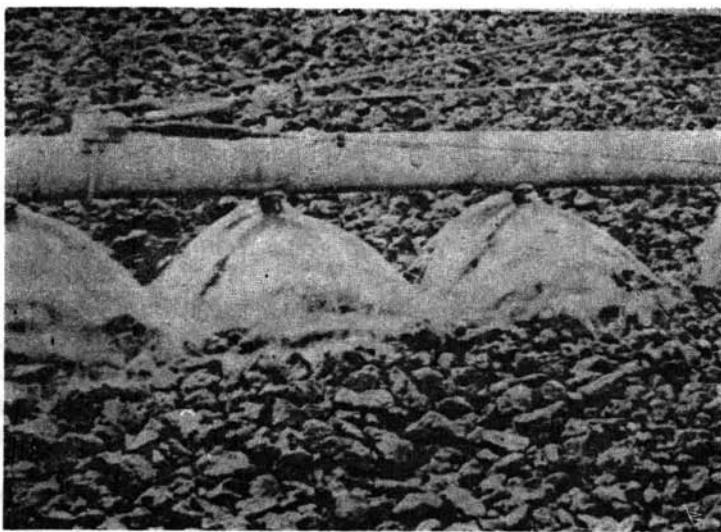
Τα λύματα διοχετεύονται ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια του φίλτρου με τη χρησιμοποίηση περιστρεφόμενου εκτοξευτήρα (σχ. 7.12η) (σε κυκλικές δεξαμενές) ή παλινδρομικά κινούμενου εκτοξευτήρα (σε ορθογωνικές κλίνες). Διηθούνται μέσα από τα κενά που αφήνουν τα υλικά και στραγγίζουν στους συλλεκτήριους αγωγούς που βρίσκονται στόν πυθμένα του φίλτρου.

7.12 · Επεξεργασία με ενεργό ιλύ.

Για πολλά χρόνια ο καθαρισμός των λυμάτων απαιτούσε μεγάλη χρονική διάρκεια παραμονής των λυμάτων μέσα σε δεξαμενές μεγάλης εκτάσεως για την πλήρη οξείδωσή τους. Το 1913-14 οι Ardern και Locett μείωσαν κατά πολύ το χρόνο αυ-

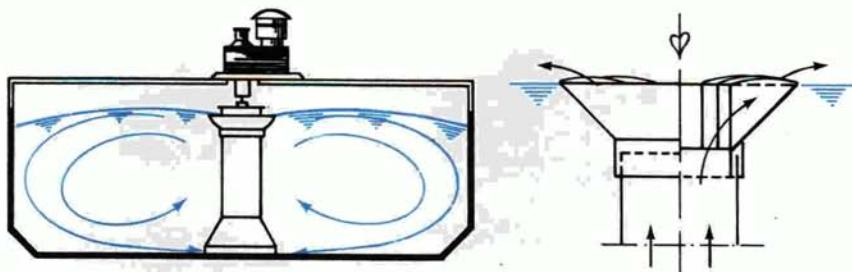


Σχ. 7.12ζ.
Χαλικοδιυλιστήριο σε λειτουργία.



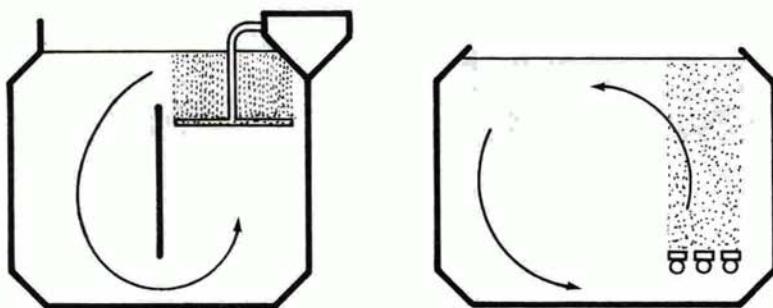
Σχ. 7.12η.
Λεπτομέρεια της διασποράς των λυμάτων.

τό, διοχετεύοντας μέσα στη δεξαμενή με τα λύματα αέρα με φυσητήρες. Μετά την καθίζηση και απομάκρυνση του καθαρού νερού διοχετεύθηκε νέα ποσότητα λυμάτων. Το μίγμα (λύματα-ιλύς) αναμοχλεύθηκε με την εμφύσηση αέρα και αφέθηκε



Σχ. 7.12θ.

Επιφανειακός αερισμός των λυμάτων με μηχανικές τουρμπίνες και διάγραμμα ροής του αέρα.



Σχ. 7.12ι.

Αερισμός των λυμάτων με πορώδη διάχυση.

να κατακαθήσει. Η καθίζηση αυτή τη φορά πήρε λιγότερο χρόνο. Το πείραμα επαναλήφθηκε πολλές φορές μέχρι να φθάσουν σε χρόνο καθαρισμού 4-6 ώρες. Διαπιστώθηκε λοιπόν ότι η ιλύς του ιζήματος επιδρούσε ενεργά στην αποσύνθεση των οργανικών λυμάτων και η όλη λειτουργία ονομάσθηκε «μέθοδος της ενεργού ιλύος».

Σε μια εγκατάσταση καθαρισμού η ενεργός ιλύς είναι το ίζημα που αφήνουν τα λύματα στη δεξαμενή τελικής καθίζησεως, αφού πρώτα αναμοχλευθούν στη δεξαμενή αερισμού (σχ. 7.12θ και 7.12ι). Η ανακύκλωση της ενεργού ιλύος στη δεξαμενή αερισμού φορτίζει τη δεξαμενή με μικροοργανισμούς. Έτσι απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα οξυγόνου για τη διάσπαση των οργανικών λυμάτων και για την αναμοχλευση της ιλύος (σχ. 7.12ια).

Οι τυπικές εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος είναι επιμήκεις ορθογωνικές δεξαμενές (σχ. 7.12ιβ) με τέασερα τουλάχιστον διαμερίσματα για να είναι δυνατή η αλλαγή ροής σε περίπτωση κακής λειτουργίας ή συντηρήσεως.

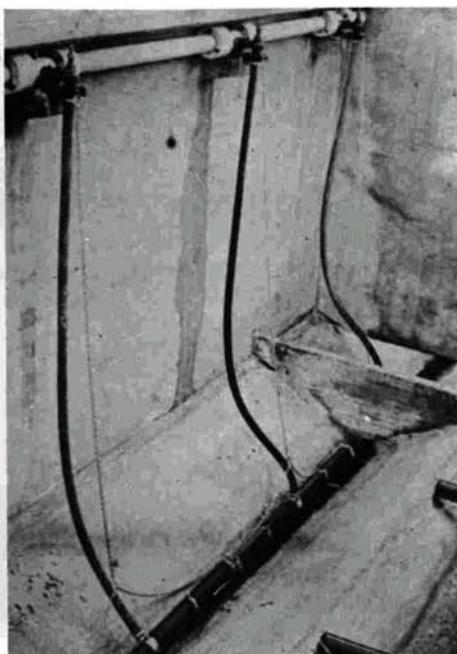
7.12.7 Οξειδωτικές τάφροι.

Είναι τάφροι σε σχήμα κυκλικό ή πεπλατυσμένο κυκλικό (σχ. 7.12ιγ) και δέχονται τα λύματα μικρών οικισμών. Μέσα στην τάφρο τα λύματα κινούνται με μικρή ταχύτητα 0,20-0,30 m/sec για να μην κατακάθεται η ιλύς ενώ κατά την κίνησή



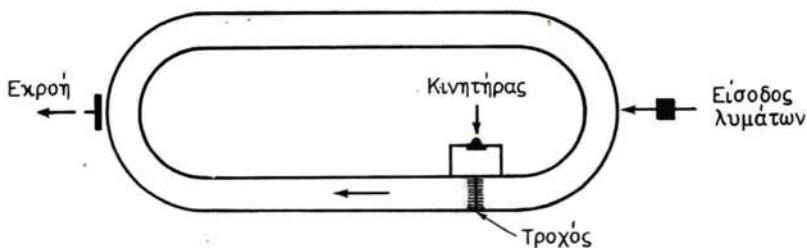
Σχ. 7.12ια.

Επιφανειακός αερισμός των λυμάτων με μηχανικές τουρμπίνες σε μια δεξαμενή ενεργής ιλύος.



Σχ. 7.12ιβ.

Σωλήνες διοχετεύσεως αέρα σε μια δεξαμενή ενεργής ιλύος.



Σχ. 7.12ιγ.

Απλή οξειδωτική τάφρος με τροχό περιστροφής.

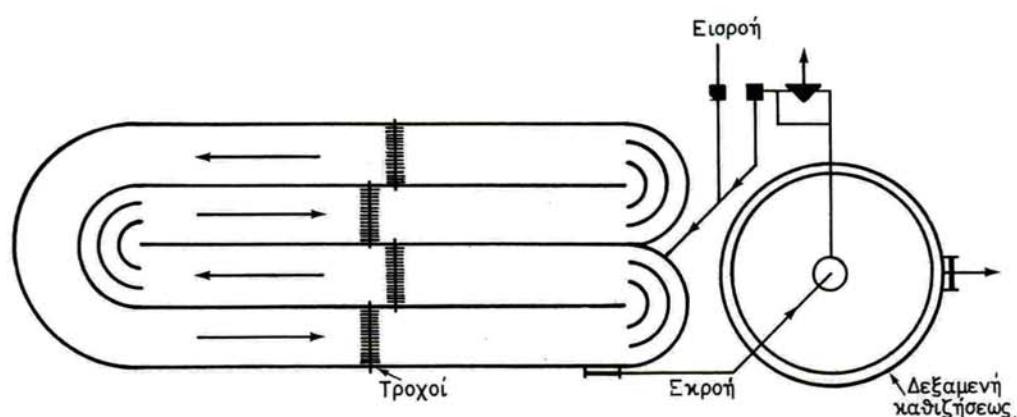
τους παίρνουν από τον ατμοσφαιρικό αέρα το απαιτούμενο οξυγόνο (σχ. 7.12ιδ).

Για να επαυξηθεί ο αερισμός και ταυτόχρονα να διευκολυνθεί η κίνηση του νερού, τοποθετείται σε προκαθορισμένη θέση τροχός με πτερύγια ή κυλινδρική βούρτσα με βάθος εμβαπτισμού ανάλογο με το φορτίο των λυμάτων.

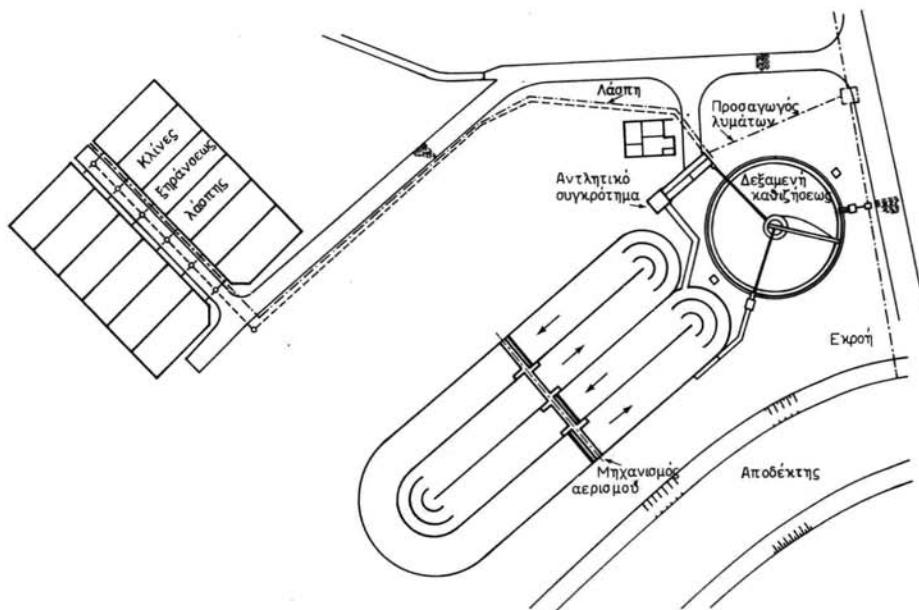
Τις περισσότερες φορές η τάφρος κατασκευάζεται δίδυμη, για να λειτουργεί η μια ως οξειδωτική και η άλλη ως δεξαμενή καθιζήσεως, με εναλλασσόμενες τις δύο αυτές λειτουργίες. Μπορεί όμως η εγκατάσταση να περιλαμβάνει ιδιαίτερη δεξαμενή καθιζήσεως (σχ. 7.12ιε και 7.12ιστ).



Σχ. 7.12ιδ.
Απλή οξειδωτική τάφρος σε μικρό οικισμό της Ολλανδίας.



Σχ. 7.12ιε.
Πολλαπλή οξειδωτική τάφρος με ισάριθμους μηχανισμούς αερισμού και δεξαμενή καθιζήσεως.



Σχ. 7.12ιστ.

Εγκαταστάσεις καθαρισμού στο χωρίο Scherpenzeel της Ολλανδίας.

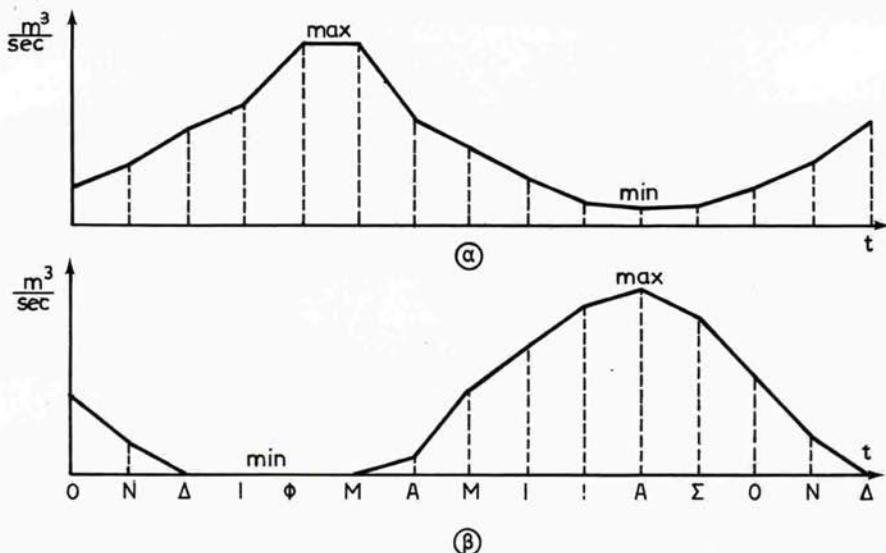
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

ΑΡΔΕΥΣΕΙΣ

8.1 Γενικά.

Το νερό αποτελεί τα $3/4$ της ύλης των φυτών και είναι το σπουδαιότερο από τα πέντε βασικά στοιχεία αναπτύξεως του φυτού, δηλαδή του φωτός, του αέρα, της θερμότητας και των θρηπτικών ουσιών.

Τα φυτά παίρνουν το αναγκαίο για την ανάπτυξή τους νερό από τα αποθέματα της υγρασίας του εδάφους. Όταν η εδαφική υγρασία επαρκεί για τις ανάγκες αναπτύξεως του φυτού, δεν απαιτείται πότισμα. Σε αντίθετη όμως περίπτωση και ιδιαίτερα κατά την περίοδο αναπτύξεως του φυτού, το πότισμα είναι απαραίτητο. Η περίοδος αυτή συμπίπτει με τους τελευταίους μήνες της ανοίξεως και όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού. Για τα ελληνικά δεδομένα η ανάγκη παροχής νερού σ' αυτές τις περιόδους είναι μεγαλύτερη, γιατί οι ποσότητες που υπάρχουν μέσα στο έδαφος σ' αυτές τις περιόδους είναι μικρές. Η έλλειψη αυτή του νερού μπορεί να καλυφθεί με προσαγωγή από φυσικές ή τεχνητές υδαταποθήκες (τεχνητές λίμνες) και παροχέτευσή του στους αγρούς (άρδευση). Αν συγκρίνομε την καμπύλη καταναλώ-



Σχ. 8.1.

Καμπύλες απαιτήσεων: των φυτών (a) και παροχής των ρευμάτων (b).

σεως νερού διαφόρων καλλιεργειών με την καμπύλη παροχής των ρευμάτων (που αποτελούν κύρια πηγή παροχής νερού) διαπιστώνομε πλήρη αντίθεση. Σε περίοδο δηλαδή ελάχιστης υδατοπαροχής έχομε τη μέγιστη αύξηση της καταναλώσεως (σχ. 8.1).

Η επέμβαση του ανθρώπου στη ρύθμιση και συστηματική τροφοδότηση των φυτών με νερό, επιτυγχάνεται με την προσαγωγή και τη δημιουργία συστήματος για τη διανομή του. Η προσαγωγή αυτή του νερού εκτός από την κάλυψη της ελλείψεως του απαιτούμενου νερού, δίνει και άλλα οφέλη, όπως αερισμό, οξείδωση του εδάφους, γονιμότητα, θέρμανση. Τα οφέλη αυτά στο σύνολό τους δικαιολογούν τις καταβαλλόμενες φροντίδες και δαπάνες που απαιτούνται για την εξασφάλιση της επάρκειας του νερού.

8.2 Το έδαφος.

Το έδαφος ως φορέας του νερού για την ανάπτυξη των φυτών, μπορεί να διακριθεί στο **επιφανειακό έδαφος** με βάθος 10 - 20 cm, το οποίο διαταράσσεται από τα καλλιεργητικά μέσα και στο **ριζικό στρώμα** μέσα στο οποίο αναπτύσσονται οι ρίζες των φυτών.

Ανάλογα με την κοκκομετρική του δομή το έδαφος διακρίνεται σε αμμώδες, ιλιώδες, αργιλώδες, αμμοπηλώδες, αμμοαργιλώδες κλπ. Ο διαχωρισμός των εδαφών και ο χαρακτηρισμός τους από άποψη συστάσεως γίνεται με βάση την κοκκομετρική τους διαβάθμηση. Τα χονδρόκοκκα εδάφη (αμμώδη, με διάμετρο κόκκου 2-0,05 mm) λέγονται **χαλαρά** ενώ τα λεπτόκοκκα **βαριά** (ιλιώδη, με διάμετρο κόκκου 0,05-0,002 mm, αργιλώδη με διάμετρο κόκκου μικρότερη από 0,002 mm). Τα βαριά εδάφη όταν υγραίνονται είναι πρακτικά αδιαπέρατα, εξ αιτίας της διογκώσεως των κολλοειδών, ενώ όταν ξεραίνονται συστέλλονται και παρουσιάζουν ρωγμές.

Ο χώρος των κενών του εδάφους ανάμεσα στους κόκκους αποτελεί το πορώδες του εδάφους και είναι δυνατόν να καταλαμβάνεται από τον αέρα, από το νερό ή και από τα δύο. Όταν όλα τα κενά του εδάφους είναι γεμάτα με νερό, τότε το έδαφος χαρακτηρίζεται ως κορεσμένο. Η περιεχόμενη υγρασία στο έδαφος μπορεί να είναι από 0% όταν το έδαφος είναι απόλυτα ξερό, μέχρι μια μέγιστη τιμή όταν αυτό είναι κορεσμένο. Ο βαθμός κορεσμού ενός εδάφους εκφράζει την περιεχόμενη στο έδαφος υγρασία ως ποσοστό της μέγιστης ποσότητας που θα μπορούσε να περιέχει, αν ήταν κορεσμένο.

Πριν από την κατασκευή οποιουδήποτε αρδευτικού έργου θα πρέπει να γίνουν γεωτεχνικές εργασίες με τις οποίες θα χαρακτηρισθεί ο τύπος του εδάφους της περιοχής (τις περισσότερες φορές περισσότεροι τύποι). Οι γεωτεχνικές εργασίες πραγματοποιούνται με γεωτρήσεις και με λήψη δειγμάτων του εδάφους. Τα δείγματα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά όλης της περιοχής. Τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών θα δώσουν τα στοιχεία εκείνα από τα οποία θα προκύψει το είδος της αρδεύσεως, η πυκνότητα του δικτύου, η ισαποχή των προσαγωγών και πλήθος άλλα στοιχεία, απαραίτητα για τη μελέτη του δικτύου.

8.3 Σχέση νερού-φυτού.

Ο ρόλος του νερού στην ανάπτυξη των καλλιεργειών, όπως ήδη έχομε αναφέ-

ρει είναι σημαντικός. Τα φυτά, εκτός από τον αέρα, το φως, τη θερμότητα και τις θρεπτικές ουσίες, χρησιμοποιούν σημαντική ποσότητα νερού που το βάρος του είναι 500 φορές μεγαλύτερο από την ξηρά ουσία που παράγουν. Υπερβολικές όμως ποσότητες νερού στο έδαφος αποκλείουν τον αερισμό και εμποδίζουν την ανάπτυξη (λανάγκη αποστραγγίσεως). Αντίθετα, η έλλειψη νερού μειώνει τη γονιμότητα. Κατά τη διάρκεια της αναπτύξεως των φυτών, παρατηρείται συνεχής κίνηση νερού από το έδαφος προς το φυτό με ταχύτητα 0,30-1,20 m/h που μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο σε εποχή έντονης ηλιοφάνειας. Το φυτό αντλεί το νερό με τα τριχοειδή ριζίδια του από την εδαφική ζώνη στην οποία αναπτύσσεται και χρησιμοποιεί ένα μέρος του για την κατασκευή των ιστών, ενώ το μεγαλύτερο μέρος το αποδίδει στην ατμόσφαιρα με τη **διαπνοή** από τα φύλλα. Το νερό αποβάλλεται με μορφή υδρατμών για τη δημιουργία των οπίων απαιτείται θερμότητα που την παίρνει από τον ήλιο.

8.4 Το νερό στο έδαφος.

Τα φυτά αντλούν το απαιτούμενο για την ανάπτυξή τους νερό με τις ρίζες από το ριζικό στρώμα του εδάφους, όταν βέβαια υπάρχει. Το νερό στο έδαφος μπορεί να χαρακτηρισθεί, ανάλογα με τις δυνάμεις με τις οποίες συγκρατείται από τους κόκκους του εδάφους σε:

α) Υγροσκοπικό νερό.

Είναι τόσο στενά προσκολλημένο στους κόκκους του εδάφους ώστε δεν μπορεί να απομυζηθεί από τα ριζίδια των φυτών. Το έδαφος με τόσο ποσοστό υγρασίας λέγεται ξερό.

β) Τριχοειδές νερό.

Συγκρατείται ανάμεσα στους κόκκους του εδάφους (στα τριχοειδή του εδάφους) με δυνάμεις συνάφειας. Το νερό αυτό μπορεί να απορροφηθεί από τα φυτά και να χρησιμεύσει για τη διατήρησή τους στη ζωή, όχι όμως για την ανάπτυξή τους.

γ) Ελεύθερο νερό.

Γεμίζει τους πόρους του εδάφους και στη συνέχεια κινείται ελεύθερα προς τα κατώτερα στρώματα γιατί η βαρύτητα είναι μεγαλύτερη από τις δυνάμεις συνάφειας.

Το σημείο διαχωρισμού ανάμεσα στο υγροσκοπικό και τριχοειδές λέγεται **σημείο μαράνσεως** ενώ το σημείο ανάμεσα στο τριχοειδές και το ελεύθερο λέγεται **όριο υδατο-ικανότητας**. Τέλος, πέρα από το ελεύθερο νερό υπάρχει το **όριο κορεσμού**. Μετά το όριο κορεσμού και εφόσον προστίθεται νερό έχομε το **νερό βαρύτητας**.

δ) Νερό βαρύτητας.

Γεμίζει όλους τους πόρους του εδάφους και είναι βλαβερό για τα φυτά γιατί εμποδίζει τον αερισμό.

Τα όρια που αναφέραμε παραπάνω ποικίλουν ανάλογα με τη δομή του εδάφους. Έτσι η υδατο-ικανότητα αρχίζει από 5-10% για την άμμο και φθάνει το 25-40% για την άργιλο.

Για την κανονική ανάπτυξη των φυτών πρέπει το έδαφος κάθε στιγμή να περιέ-

χει ποσοστό υγρασίας ανάμεσα στο «σημείο μαράνσεως» και το «όριο υδατο-ικανότητας». Το τμήμα αυτό της υγρασίας λέγεται **διαθέσιμη υγρασία**. Σκοπός των αρδεύσεων είναι να παρέχουν στο έδαφος τόσο νερό, ώστε ποτέ η περιεχόμενη υγρασία να μην πέσει κάτω από το σημείο μαράνσεως.

Η ποσότητα του νερού που πρέπει να παρέχεται στο έδαφος για ορισμένο χρόνο, πρέπει να είναι ίση με την ποσότητα του νερού που καταναλώνει το φυτό για βλάστηση, για διαπνοή, για την κατασκευή των ιστών και για εξάτμιση. Η ποσότητα αυτή του νερού λέγεται **ωφέλιμη υδατοκατανάλωση** και δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{\text{Όγκος νερού για βλάστηση}}{\text{Όγκος νερού για διαπνοή}} + \frac{\text{Όγκος νερού για εξάτμιση}}{\Omega} = V_{\beta} + V_{\delta} + V_{\epsilon}$$

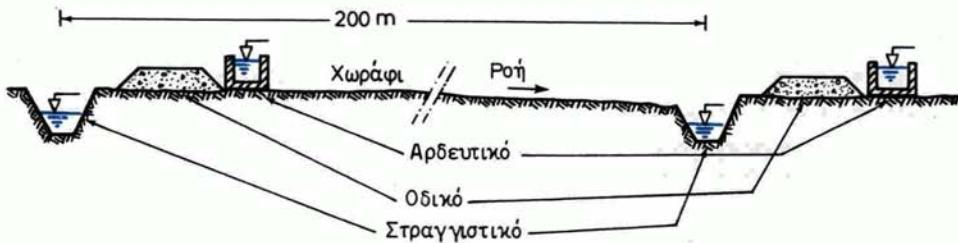
Από τα παραπάνω συμπεραίνομε ότι η ολική ποσότητα του αρδευτικού νερού που απαιτείται για τον εμπλουτισμό σε υγρασία ενός εδάφους είναι ανεξάρτητη από την ποιότητα του εδάφους, η οποία επηρεάζει μόνο την κατανομή του. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι σε εδάφη με μεγάλη περιεκτικότητα άμμου η ποσότητα του νερού που καθορίσθηκε πρέπει να παρέχεται σε μικρό χρονικό διάστημα, με μεγάλη δηλαδή παροχή. Αντίθετα, σε έδαφος με μεγάλη περιεκτικότητα σε άργιλο πρέπει να παρέχεται σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, με μικρή δηλαδή παροχή. Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται στο ελάχιστο οι απώλειες του αρδευτικού νερού από επιφανειακή απορροή ή από διήθηση προς το υπέδαφος.

8.5 Αρδευτικά δίκτυα.

Είναι το σύνολο των εργασιών με τις οποίες δημιουργείται ένα δίκτυο αγωγών, δρόμων και τάφρων που αποσκοπούν στη μεταφορά και διανομή του νερού από την πηγή μέχρι το χωράφι. Τα αρδευτικά δίκτυα αποτελούνται από ορισμένο αριθμό ανοικτών ή κλειστών αγωγών που ανάλογα με το είδος τους κατασκευάζονται στην επιφάνεια του εδάφους (ανοικτοί) ή τοποθετούνται υπόγεια (κλειστοί). Διακρίνονται σε δίκτυα **ελεύθερης ροής** και σε δίκτυα **υπό πίεση**. Από αυτά τα πρώτα αποτελούνται από ανοικτούς αγωγούς τραπεζοειδούς, ορθογωνικής, τριγωνικής ή ημιελλεπτικής διατομής που όνομάζονται **διώρυγες**, ενώ τα δεύτερα από **σωληνώτις αγωγούς** με ροή υπό πίεση.

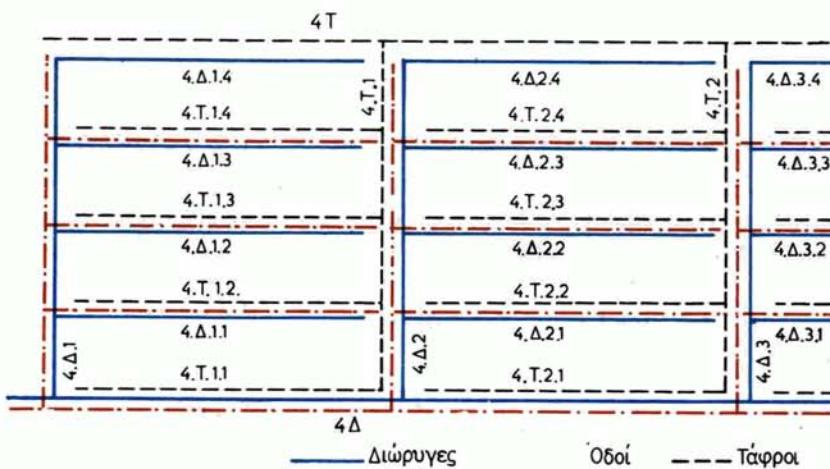
Τα δίκτυα ανοικτών αγωγών εφαρμόζονται όταν έχουμε ομαλή επιφάνεια εδάφους, με μικρές κλίσεις, χαμηλή δαπάνη για συστηματοποίηση και όταν απαιτείται μεγάλη παροχή νερού (σχ. 8.5a).

Τα δίκτυα σωληνωτών αγωγών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τις παραπάνω συνθήκες με τη διαφορά ότι η κατασκευή κοστίζει περισσότερο. Παρ' όλο που έχουν υψηλό κόστος προτιμούνται γιατί παρουσιάζουν λιγότερες απώλειες, εξοικονομούν νερό και απαιτούν μικρότερη δαπάνη για τη συντήρησή τους. Κατασκευάζονται πάντοτε όταν έχουμε ανώμαλο έδαφος και απαιτείται άρδευση με τεχνητή βροχή (καταιονισμός).



Σχ. 8.5α.

Κάθετη τομή στον άξονα του τριτεύοντος δικτύου. Άρδευση με κατάκλιση.



Σχ. 8.5β.

Γενική διάταξη αρδευτικού δικτύου.

8.5.1 Αρδευτικά δίκτυα ανοικτών αγωγών.

Ένα αρδευτικό δίκτυο ανοικτών αγωγών αποτελείται από διώρυγες που διακρίνονται σε **πρωτεύουσες**, **δευτερεύουσες** και **τριτεύουσες**. Μια κεντρική διώρυγα ή **Κύρια Διώρυγα** ή **Προσαγωγός Διώρυγα** (Κ.Δ.) ξεκινάει από την υδροληψία και χαράζεται κατά μήκος των υψηλοτέρων σημείων του εδάφους, για να μπορεί το νερό να φθάσει με βαρύτητα σε όλα τα σημεία. Η χάραξη της διώρυγας πρέπει να είναι τέτοια ώστε να παρουσιάζει το μικρότερο δυνατό μήκος και τα λιγότερα τεχνικά έργα. Γενική διάταξη αρδευτικού δικτύου φαίνεται στο σχήμα 8.5β.

Σκοπός της Κ.Δ. είναι η μεταφορά του νερού από την υδροληψία στο κέντρο βάρους της αρδευόμενης περιοχής. Εκεί υπάρχει στις περισσότερες περιπτώσεις τεχνικό έργο, **ο μεριστής**, που διαμοιράζει την παροχή στις επί μέρους **πρωτεύουσες διώρυγες** (σχ. 8.5γ):

8.5.2 Πρωτεύουσες, δευτερεύουσες, τριτεύουσες διώρυγες.

α) Πρωτεύουσες διώρυγες.

Πάιρνουν το νερό μιας μεγάλης περιοχής και το διανέμουν στις δευτερεύουσες (σχ. 8.5δ). Πρέπει να έχουν μικρή σχετικά κατά μήκος κλίση και να είναι, όπως εί-



Σχ. 8.5γ.

Ο μεριστής του αρδευτικού δικτύου Ταυρωπού Καρδίτσας λίγο πριν από την ολοκλήρωση της κατασκευής του.



Σχ. 8.5δ.

Προσαγωγός διώρυγα. Η διατομή της είναι τραπεζοειδής και επενδυμένη με σκυρόδεμα. Ανά απόστασεις έχει μονωμένους αρμούς διαστολής.

ναι αυτονόητο, ψηλότερα από τις δευτερεύουσες. Ονομάζονται με το γράμμα Δ και τον αύξοντα αριθμό τους. Έτσι αν σε ένα δίκτυο υπάρχουν 4 πρωτεύουσες διώρυγες, ονομάζοντας 1Δ, 2Δ, 3Δ, 4Δ.

β) Δευτερεύουσες διώρυγες.

Είναι πολύ περισσότερες από τις πρωτεύουσες, αφού από κάθε πρωτεύουσα υδροδοτείται ένας αριθμός από δευτερεύουσες διώρυγες. Ονομάζονται από το όνομα της πρωτεύουσας από την οποία παίρνουν νερό και με τον αύξοντα αριθμό τους μετά το γράμμα Δ. Η πρώτη δευτερεύουσα που υδροδοτείται από την 1Δ ονομάζεται 1Δ.1, η δεύτερη 1Δ.2, η τρίτη 1Δ.3 κλπ. ένώ η πρώτη δευτερεύουσα της 2Δ ονομάζεται 2Δ.1, η δεύτερη 2Δ.2, η τρίτη 2Δ.3 κλπ.

γ) Τριτεύουσες διώρυγες.

Υδροδοτούνται από τις δευτερεύουσες και δίνουν νερό στα χωράφια. Είναι μικρότερης διατομής και η χάραξή τους εξαρτάται από το σχήμα και τη διασπορά των χωραφιών, το κλίμα, τη σύσταση του εδάφους και το είδος των καλλιεργειών. Ονομάζονται με το χαρακτηριστικό της δευτερεύουσας και τον αύξοντα αριθμό της τριτεύουσας. Έτσι η πρώτη τριτεύουσα της 1Δ.3 λέγεται 1Δ.3.1, η δεύτερη 1Δ.3.2, η τρίτη 1Δ.3.3 κλπ.

Με τον ίδιο τρόπο ονομάζονται και οι τάφροι του στραγγιστικού δίκτυου, με τη διαφορά ότι το χαρακτηριστικό γράμμα είναι Τ (τάφροι) και ότι ενώ στο αρδευτικό δίκτυο το νερό διακλαδίζεται από την πρωτεύουσα στις δευτερεύουσες και από εκεί στις τριτεύουσες, στο στραγγιστικό, το νερό που πλεονάζει στα χωράφια συλλέγεται στις τριτεύουσες τάφρους που εκβάλλουν στις δευτερεύουσες και αυτές στις πρωτεύουσες, για να συγκεντρωθεί όλο το νερό που πρέπει να απομακρυνθεί στον **Κεντρικό Συλλεκτήρα** (Κ.Σ.).

Το οδικό δίκτυο παρεμβάλλεται ανάμεσα στο αρδευτικό και το στραγγιστικό δίκτυο και διακρίνεται σε δρόμους πρωτεύοντες, δευτερεύοντες και τριτεύοντες. Εύκολα αντιλαμβάνεται κανείς ότι το τριτεύον δίκτυο είναι μικρού πλάτους και ελαφρής κατασκευής (αμμοχαλικόστρωτοι). Οι δευτερεύοντες δρόμοι δέχονται την κυκλοφορία πολλών τριτεύοντων και φυσικά έχουν μεγαλύτερο πλάτος και καλύτερη υποδομή. Τέλος οι πρωτεύοντες έχουν πλάτος περίπου 6,00 m και διαστρώνονται με θραυστό υλικό χωρίς να αποκλείεται και η ασφαλτόστρωσή τους.

8.5.3 Διώρυγες και τάφροι.

Όπως αναφέραμε το αρδευτικό δίκτυο με ανοικτούς αγωγούς αποτελείται από ένα δίκτυο από διώρυγες που φέρνουν το νερό (προσαγωγή) και ένα δίκτυο τάφρων που παίρνουν το νερό (απαγωγή).

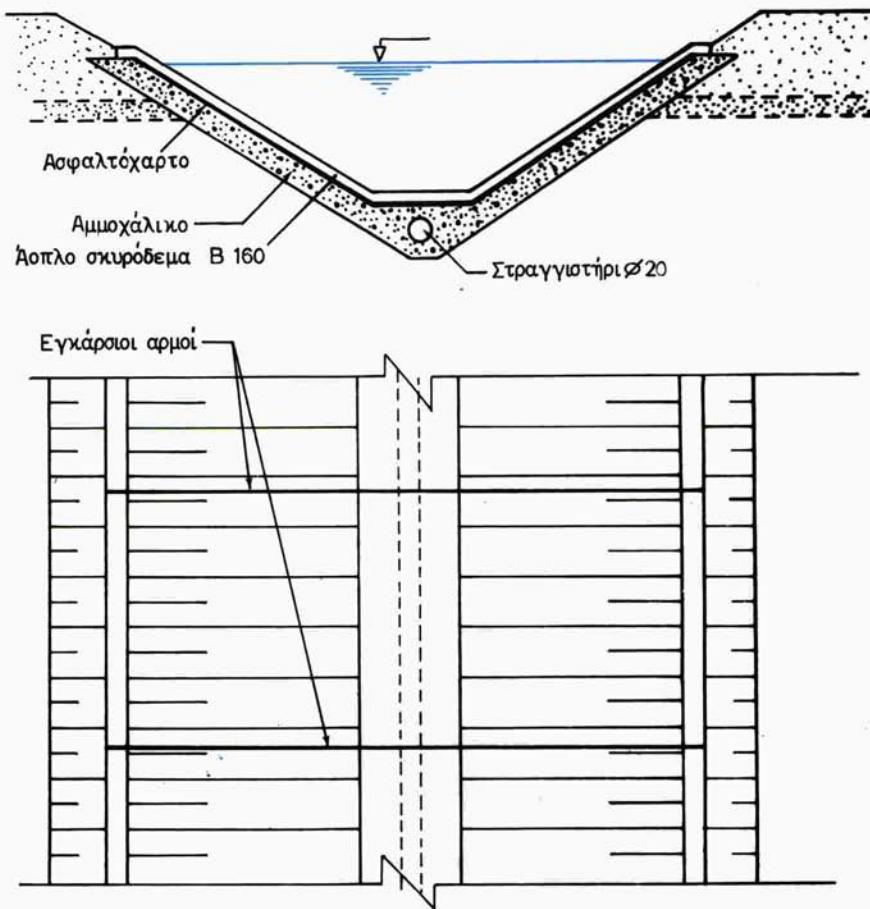
Οι διώρυγες πρέπει να μεταφέρουν το νερό με ελάχιστες κατά το δυνατόν απώλειες. Τα αίτια απώλειας νερού είναι:

- Εξάτμιση.
- Διήθηση.
- Διαρροές.

Οι απώλειες από την εξάτμιση είναι πολύ μικρές και δεν μπορούν να παραλειφθούν. Οι απώλειες από διήθηση όμως είναι σημαντικές και πολλές φορές επιβλα-

βεις για την περιοχή. Η διήθηση εξαρτάται από τη βρεχόμενη περίμετρο της διατομής, το βαθμό διαπερατότητας της επιφάνειας και την ποιότητα του εδάφους.

Οι διαρροές τέλος είναι δυνατόν να προκαλέσουν και διακοπή ακόμη παροχετεύσεως του νερού μετά το σημείο διαρροής. Για να αποφευχθούν τα μειονεκτήματα τόσο της διηθήσεως όσο και των διαρροών, οι διώρυγες επενδύονται. Με την επένδυση αποφεύγονται τα μειονεκτήματα που αναφέραμε και ακόμα οι διώρυγες μπορούν να πάρουν μεγάλες κλίσεις. Μπορούν επίσης να αναπτυχθούν μεγάλες ταχύτητες, αφού τα πρανή δεν κινδυνεύουν από διάβρωση. Η επένδυση γίνεται για την τραπεζοειδή διατομή από σκυρόδεμα άοπλο ή οπλισμένο (σχ. 8.5ε) που ανά αποστάσεις 2,00 m έχει αρμούς διαστολής που γεμίζουν με μονωτικό υλικό ώστε να αποφεύγονται οι απώλειες. Οι ορθογωνικής διατομής διώρυγες (σχήματα 8.5στ και 8.5ζ) κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα (B160 και πλέγ-



Σχ. 8.5ε.

Κάτοψη και τομή τραπεζοειδούς επενδυμένης διώρυγας.



Σχ. 8.5τ.

Ξυλότυποι ορθογωνικής διώρυγας ενός αρδευτικού δικτύου ανοικτών αγωγών.

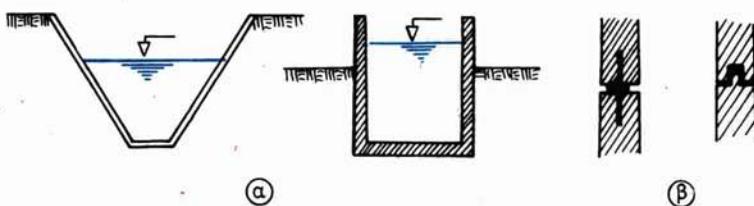


Σχ. 8.5ζ.

Κατασκευαστική λεπτομέρεια των μεταλλικών τύπων μιας διώρυγας ορθογωνικής διατομής.

μα Ø8) και ανά αποστάσεις 4 ή 5 m δημιουργείται αρμός διαστολής με την παρεμβολή κατάλληλου μονωτικού (σχ. 8.5η).

Οι τάφροι έχουν διπλή λειτουργία, την αποχέτευση του νερού της βροχής (χειμερινές βροχές) και την αποστράγγιση του νερού που περισσεύει κατά την αρδευτική περίοδο. Όπως είναι φυσικό, οι τάφροι δεν επενδύονται και έτσι το νερό μπορεί να φθάσει στην τάφρο με διήθηση. Κατασκευάζονται τις περισσότερες φορές με διατομή τραπεζοειδή και μικρή κατά μήκος κλίση. Οι επιτρεπόμενες ταχύτητες είναι από 0,50 μέχρι 2,00 m/sec.



Σχ. 8.5η.

- α) Τραπεζοειδής και ορθογωνική διώρυγα. β) Λεπτομέρεια του αρμού διαστολής μιας ορθογωνικής διώρυγας.

8.5.4 Προκατασκευασμένες τσιμενταύλακες (καναλέττα).

Αποτελούν διώρυγες ημιελλεπτικής διατομής μήκους 5,00 m. Κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Οι κυριότεροι τύποι και διαστάσεις κάθε διατομής φαίνονται στον πίνακα 8.5.1.

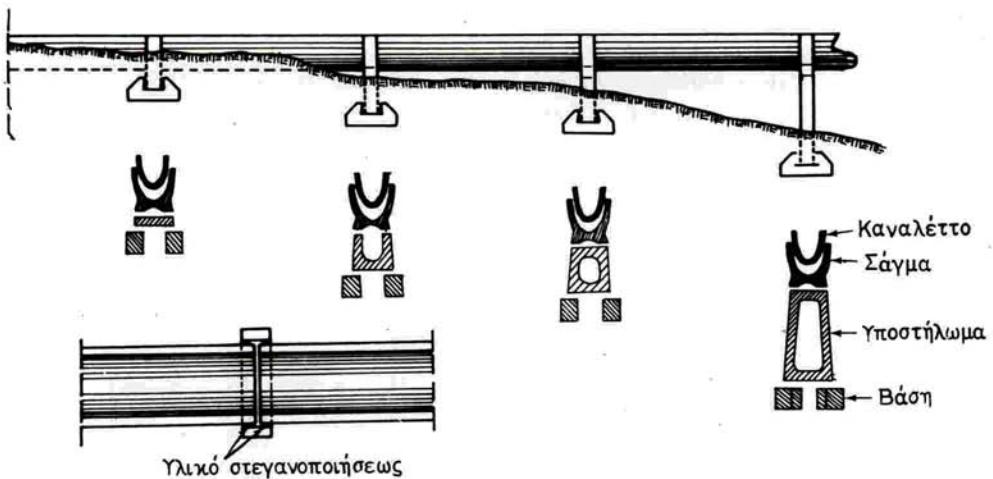
ΠΙΝΑΚΑΣ 8.5.1
Προκατασκευασμένες τσιμενταύλακες (καναλέττα)
(Τύποι κατ διαστάσεις διατομών)

Τύπος	Εσωτερικός ημιάξονας		Εξωτερικός ημιάξονας	
	Κατακόρυφος	Οριζόντιος	Κατακόρυφος	Οριζόντιος
A 70	33,38	13,35	37,88	17,35
A 100	39,89	15,95	43,89	19,95
A 135	46,35	18,54	50,35	22,54
A 180	51,62	22,19	55,62	26,19
A 215	55,86	28,48	60,36	32,48
A 315	59,82	33,81	63,82	37,81

Η εσωτερική επιφάνεια των καναλέττων πρέπει να είναι όσο το δυνατό λεία.

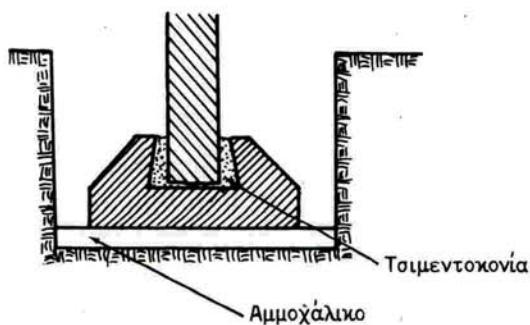
Η σύνδεσή τους γίνεται με τη στήριξή τους επάνω στα σάγματα που ενεργούν με την παρεμβολή μονωτικού υλικού ως αρμοκαλύπτρες. Οι αρμοί πρέπει να εξασφαλίζουν στεγανότητα και να δίνουν τη δυνατότητα μικρών παραμορφώσεων στο καναλέττο (σχ. 8.5θ).

Τα σάγματα τοποθετούνται επάνω σε υποστηλώματα με τα οποία συνδέονται



Σχ. 8.5θ.

Διώρυγμα με καναλέττα: Όψη, στηρίζεις και τρόπος συνδέσεως δύο καναλέττων.



Σχ. 8.5ι.

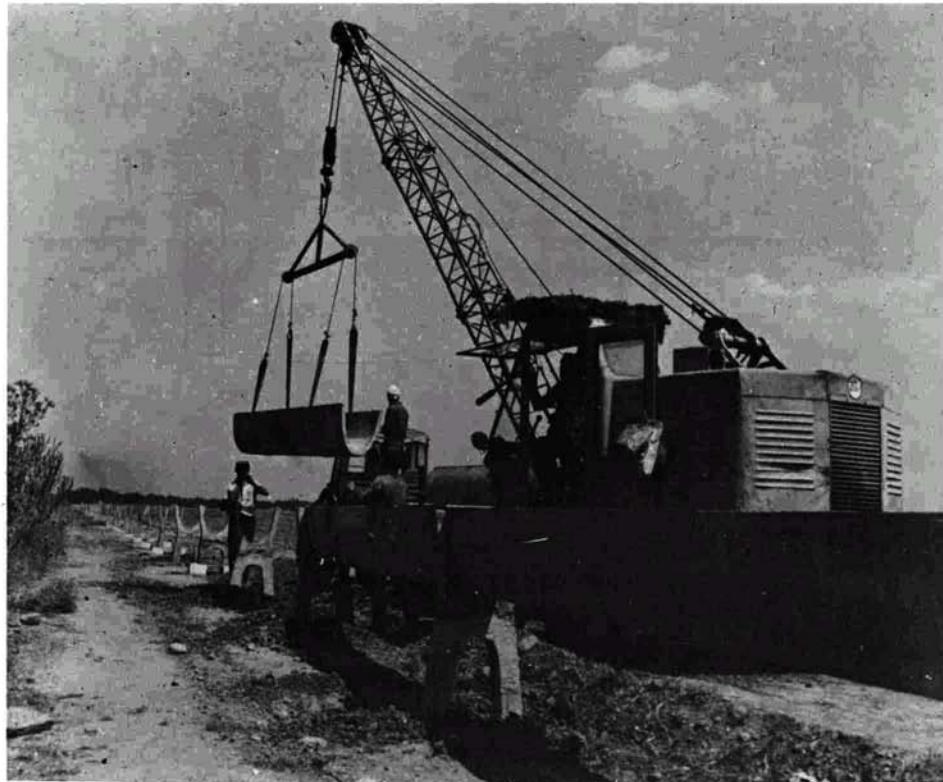
Τρόπος στηρίξεως των υποστηλωμάτων.

σταθερά. Τα υποστηλώματα εδράζονται σε προκατασκευασμένες πλάκες εδράσεως και μέσα σε ειδικές εγκοπές για να γίνει σταθερότερη η πάκτωση (σχ. 8.5ι).

Η τοποθέτησή τους γίνεται με βάση τη χάραξη του άξονα της διώρυγας επάνω στο έδαφος και τα υψομετρικά στοιχεία του εδάφους και της διώρυγας. Η μεταφορά τους από τη θέση κατασκευής στη θέση τους στο έργο γίνεται με μηχανικά μέσα (σχ. 8.5ια).

8.5.5 Αρδευτικά δίκτυα σωληνωτών αγωγών.

Οι υπό πίεση αγωγοί αποτελούνται από ευθύγραμμα τμήματα σωλήνων που τοποθετούνται υπόγεια και από τους απαραίτητους συνδέσμους (γωνίες, ταυ, παρο-



Σχ. 8.5ια.
Τοποθέτηση καναλέττων.

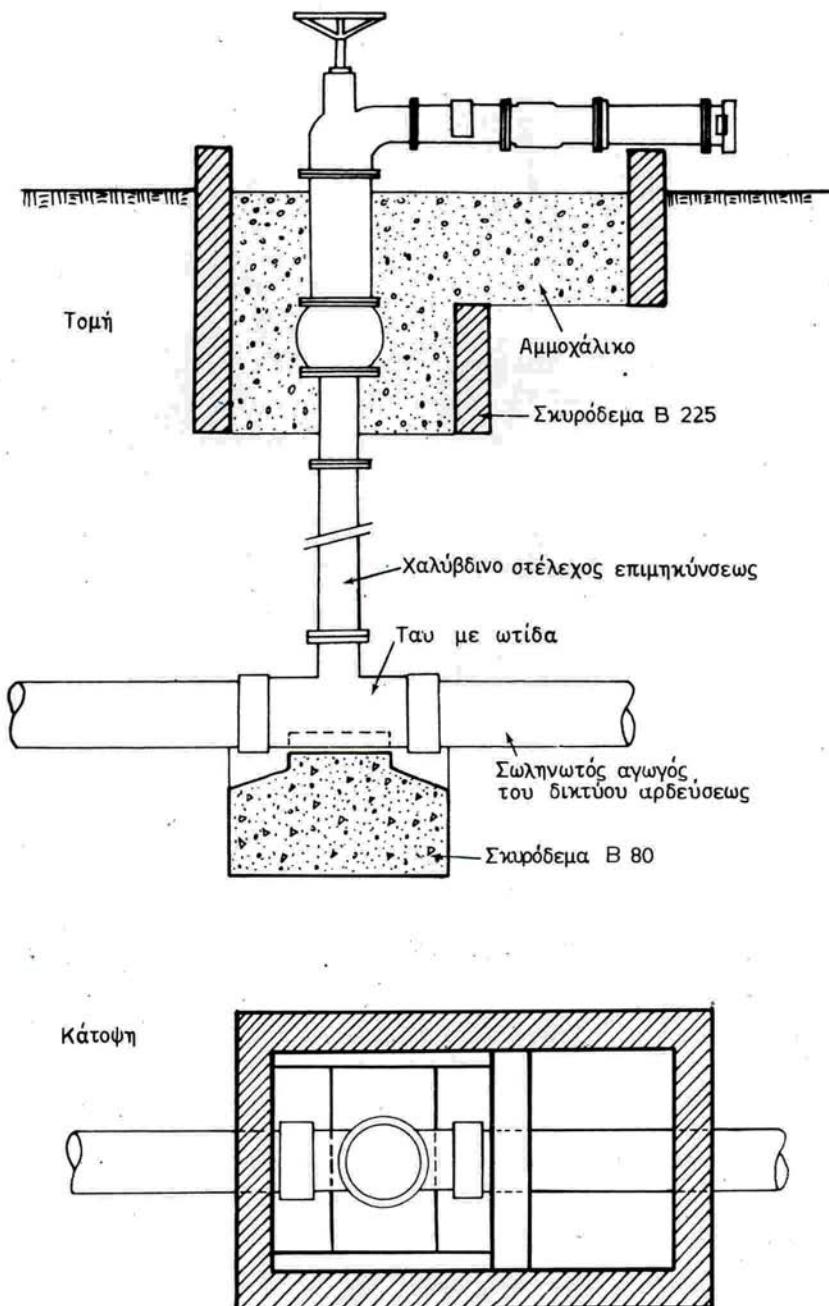
χές). Στο σχήμα 8.5ιβ φαίνεται αρδευτικό δίκτυο με σωληνωτούς αγωγούς. Το υλικό κατασκευής μπορεί να είναι χυτοσίδηρος, χάλυβας, αμιαντοτσιμέντο, πλαστική ύλη κ.ά. Η εκλογή του υλικού εξαρτάται από τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του κάθε υλικού στο συγκεκριμένο κάθε φορά έργο.

Στο κέντρο βάρους της προς άρδευση περιοχής τοποθετείται αντλιοστάσιο που δίνει τη απαιτούμενη πίεση στο νερό.

Το σύστημα αυτό, εκτός από τα πλεονεκτήματα που αναφέραμε (εφαρμογή σε ανώμαλα εδάφη, οικονομία νερού κ.ά.), παρουσιάζει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι δεν απαιτεί μεγάλες απαλλοτριώσεις, αφήνοντας έτσι για την καλλιέργεια τις εκτάσεις που θα καταλάμβαναν τα έργα κατασκευής των διωρύγων ($200 \text{ km} \text{ μήκος} \times 2,5 \text{ m} \text{ πλάτος} \text{ κατά μέσο όρο} = 500 \text{ στρέμματα}$).

8.6 Μέθοδοι αρδεύσεως.

Τα τελευταία χρόνια καταβλήθηκαν προσπάθειες για την αύξηση της αποδοτικότητας των καλλιέργειών, με την εφαρμογή διαφόρων τρόπων μεταφοράς και διάθεσεως του νερού στα χωράφια. Η παραδοσιακή μέθοδος της επιφανειακής αρδεύσεως με κατάκλιση αντικαταστάθηκε από σωληνωτά δίκτυα που λειτουργούν υπό πίεση. Η μέθοδος αυτή επιτυγχάνει μείωση των δαπανών λειτουργίας και κα-



Σχ. 8.5ιβ.

Αρδευτικό δίκτυο σωληνωτών αγωγών. Παροχή σε χωράφι.

ταναλώσεως νερού, καθώς επίσης και ανεξαρτοποίηση των δικτύων από την τοπογραφική διαμόρφωση και διάταξη των κτημάτων.

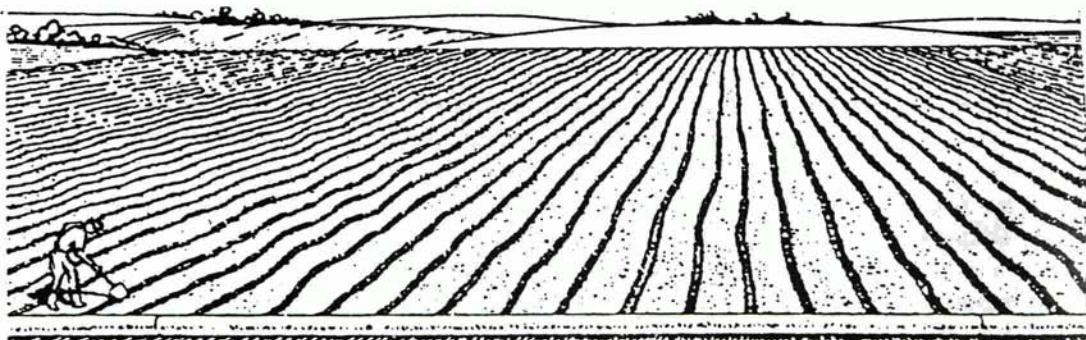
Οι σημαντικότερες μέθοδοι αρδεύσεως μπορούμε να πούμε πως είναι:

- Η επιφανειακή άρδευση.
- Η υπόγεια άρδευση ή υπάρδευση.
- Η άρδευση με τεχνητή βροχή (καταιονισμός).
- Η στάγδην άρδευση ή άρδευση με σταγόνες.

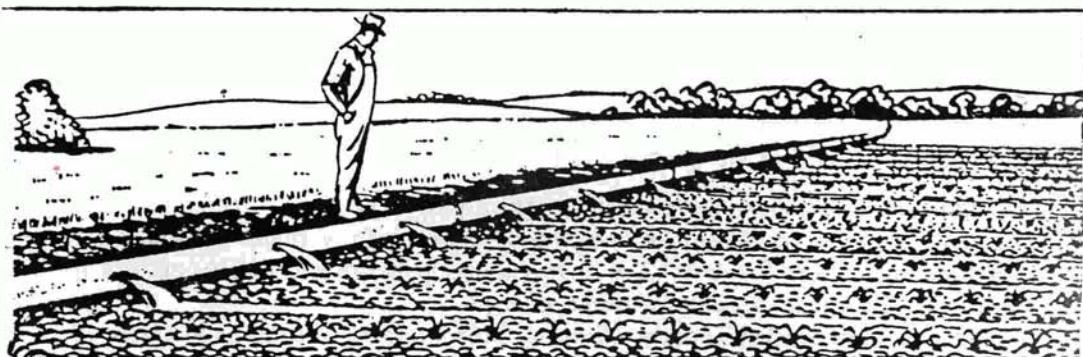
8.6.1 Επιφανειακή άρδευση.

Είναι η πιο παλιά μέθοδος αρδεύσεως και διακρίνεται σε **άρδευση με αυλάκια** ή **με κατάκλιση**.

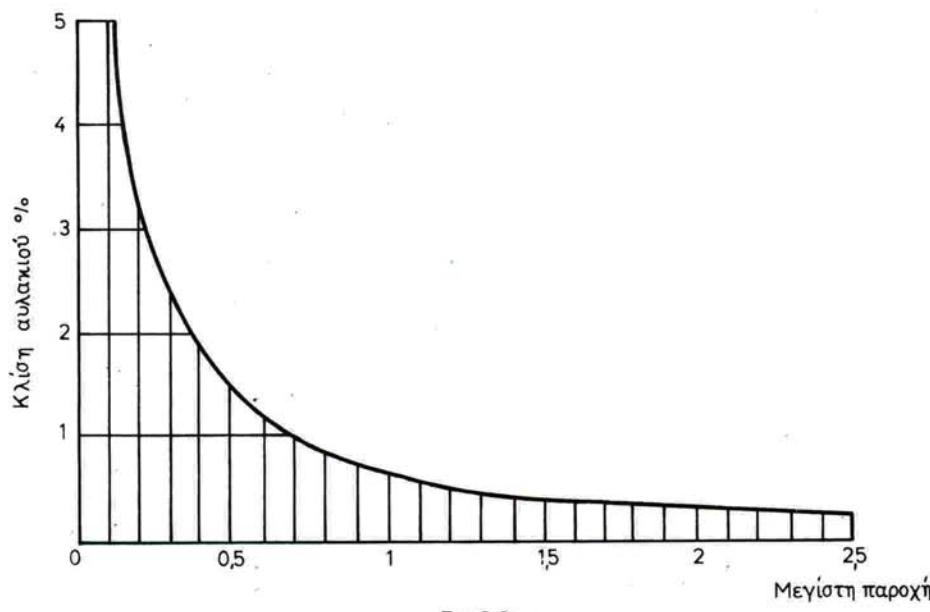
Η επιφανειακή άρδευση με αυλάκια γίνεται με το άνοιγμα στο έδαφος αυλακιών κατά σειρές ανάμεσα στα καλλιεργούμενα φυτά (σχ. 8.6α). Ο αριθμός των αυλακιών εξαρτάται από το είδος των φυτών. Το νερό μεταφέρεται στην ψηλότερη πλευρά του αγρού και από κει διοχετεύεται στα αυλάκια (σχ. 8.6β). Με τον τρόπο αυτό το νερό διηθείται μέσα στο έδαφος μέχρι να συμπληρωθεί η απαιτούμενη για την καλλιέργεια υγρασία του εδάφους χωρίς να έχομε απώλειες και διάβρωση του εδάφους. Ο καθορισμός της μέγιστης παροχής σε κάθε αυλάκι είναι δύσκολος, για-



Σχ. 8.6α.



Σχ. 8.6β.



Σχ. 8.6γ.

Διαγραμματική σχέση ανάμεσα στην κλίση J και τη μέγιστη παροχή Q για εδάφη μέσης συστάσεως.

τί επηρεάζεται από την κλίση, το έδαφος και την κλίση των πρανών. Πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή για να μην παρατηρηθεί διάβρωση στο χωράφι. Θολότητα επιτρέπεται μόνο για τα 5' της αρδεύσεως. Αν η θολότητα συνεχίζεται τότε πρέπει να μειωθεί η παροχή. Η κατά μήκος κλίση βρίσκεται γύρω στο 1% και προσδιορίζεται σε συνδυασμό με τη διαθέσιμη παροχή κοντά στο χωράφι που είναι 30 lit/sec. Η σχέση ανάμεσα στην κλίση και την παροχή δίνεται από το διάγραμμα του σχήματος 8.6γ. Έτσι για κλίση 1% έχομε $Q = 0,65 \text{ lit/sec}$ κατά αυλάκι. Συνολικά θα έχομε:

$$\frac{30 \text{ lit/sec}}{0,65 \text{ lit/sec}} = 45 \text{ περίπου αυλάκια}$$

Το μέγιστο μήκος διαδρομής του νερού προσδιορίζεται πειραματικά και είναι κατά μέσο όρο:

350 m για συνεκτικά εδάφη.

250 m για μέσα εδάφη.

150 m για χαλαρά εδάφη.

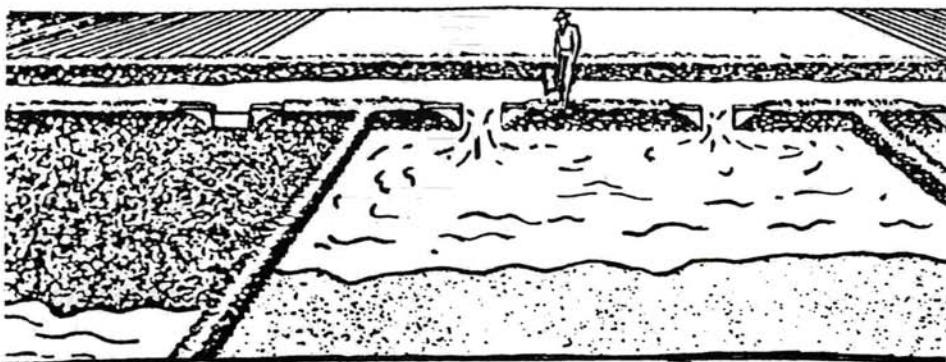
Κατά την επιφανειακή άρδευση με κατάκλιση (σχ. 8.6δ, 8.6στ) το νερό από την τριτεύουσα διώρυγα χύνεται σε σιφώνια σε ολόκληρη την επιφάνεια του χωραφίου που έχει κλίση (σχ. 8.6ε). Στη συνέχεια απορροφάται από το έδαφος και διηθεύται σε βαθύτερα στρώματα (ριζικό στρώμα).

Το μήκος της κατακλυζόμενης ζώνης εξαρτάται από τη σύσταση του εδάφους, την κλίση της επιφάνειας του εδάφους και την παροχετεύομενη ποσότητα νερού (κυμαίνεται μεταξύ 100 με 150 m). Στην άλλη άκρη του χωραφίου (σχ. 8.5α) u-



Σχ. 8.6δ.

Άρδευση με κατάκλιση. Διακρίνονται τα σιφώνια που παίρνουν το νερό από την τριτεύουσα διώρυγα και το ρίχνουν στο χωράφι.



Σχ. 8.6ε.

πάρχει αποστραγγιστική τάφρος στην οποία εξ αιτίας της ελαφρής κλίσεως του εδάφους ρέει το νερό που πλεονάζει και το οποίο στη συνέχεια απομακρύνεται.

Το γεγονός αυτό παρουσιάζει το σοβαρό μειονέκτημα της εκπλύσεως των εδαφών και της δύσκολης ή κακής λιπάνσεως των χωραφιών.

Η άρδευση με κατάκλιση μπορεί να γίνει και με λεκάνες που περιβάλλονται από μικρό περιμετρικό ανάχωμα.

Παράδειγμα.

Η απαιτούμενη παροχή για την άρδευση ενός χωραφιού είναι 30 l/s . Η άρδευση



Σχ. 8.6στ.

'Αρδευση με κατάκλιση.

Θα γίνει από προσαγωγό τριτεύουσα διώρυγα με σιφώνια. Η στάθμη του νερού στη διώρυγα είναι 25 cm πάνω από τη στάθμη του χωραφίου. Πόσα σιφώνια και τι διαμέτρου χρειάζονται για την άρδευση (σχ. 8.6στ).

Λύση.

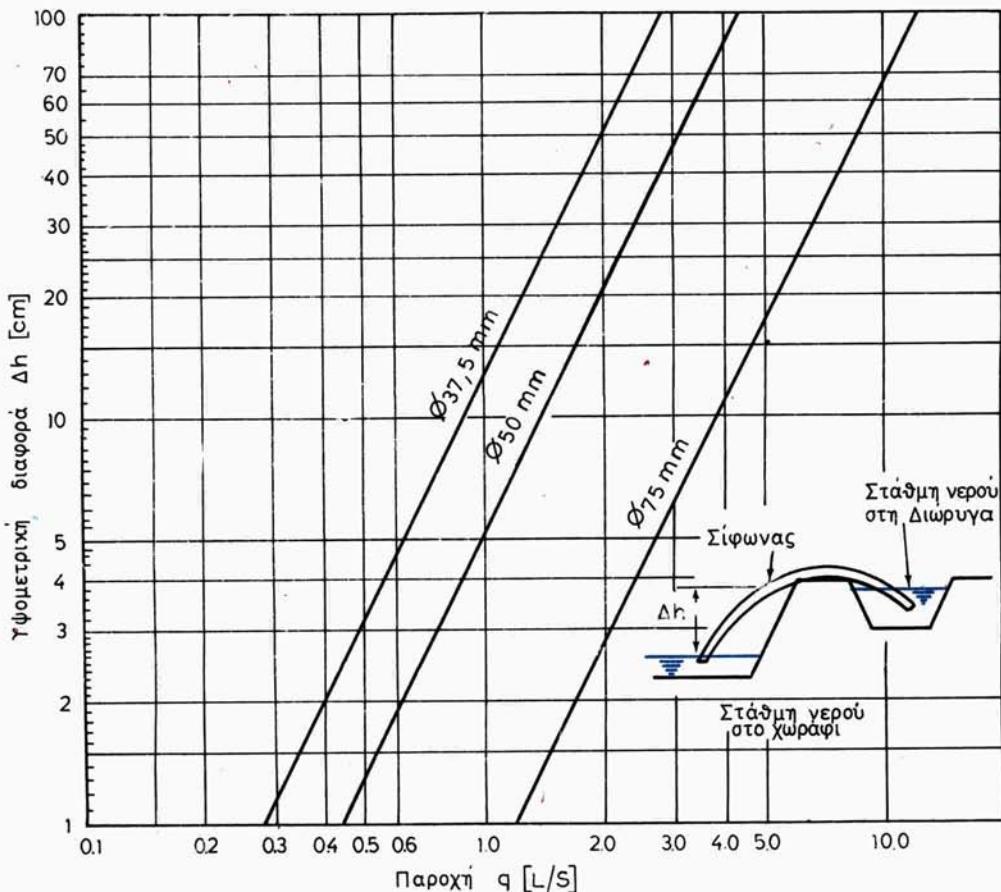
Αρχικά υπολογίζομε το ελεύθερο ύψος του νερού (φορτίο) ανάμεσα στην επιφάνεια της διώρυγας και την επιφάνεια του νερού στο χωράφι. Δεχόμαστε ότι το νερό στο χωράφι θα συσσωρευθεί σε ύψος 5 cm (σχ. 8.6ζ). Έτσι η υψομετρική διαφορά $\Delta h = h_1 + h_2 = 25 - 5 = 20$ cm.

Στο διάγραμμα του σχήματος 8.6ζ βρίσκομε την τιμή $\Delta h = 20$ cm. Από το σημείο αυτό φέρνομε κάθετο στον άξονα των Δh και βρίσκομε τα σημεία τομής της κάθετης αυτής με τις γραμμές των σιφωνιών A, B, Γ. Έτσι, αν διαλέξουμε σιφώνι με διάμετρο 37,5 mm η παροχή του θα είναι περίπου 1,30 l/s και για την άρδευση του χωραφίου θα χρειαστούμε:

$$n = \frac{30 \text{ (l/s)}}{1,30 \text{ (l/s)}} = 23 \text{ σιφώνια}$$

Αν διαλέξουμε σιφώνια με διάμετρο 50 mm θα πάρομε παροχή $q = 2$ l/s και συνεπώς χρειαζόμαστε:

$$n = \frac{30 \text{ (l/s)}}{2 \text{ (l/s)}} = 15 \text{ σιφώνια}$$



Σχ. 8.6ζ.

Αν τέλος διαλέξουμε σιφώνια με διάμετρο 75 mm θα πάρομε παροχή 5,5 l/s και έτσι χρειαζόμαστε για όλο το χωράφι:

$$n = \frac{30 \text{ (l/s)}}{5,5 \text{ (l/s)}} \simeq 6 \text{ σιφώνια}$$

Η επιλογή της καλύτερης λύσεως εξαρτάται από την τιμή κόστους των σιφώνιών και φυσικά από τη δουλειά που χρειάζεται για να τοποθετηθούν και να μετακινηθούν τα 23, 15 ή 6 σιφώνια.

8.6.2 Υπόγεια άρδευση ή υπάρδευση.

Σύμφωνα τη μέθοδο αυτή το νερό διοχετεύεται μέσα σε ανοικτές τάφρους και με την πλευρική διήθηση εμπλουτίζει το έδαφος. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε πολύ διαπερατά έδαφη και όταν υπάρχει σε μικρό από την επιφάνεια βάθος αδιαπέρατο στρώμα εδάφους ή υψηλός υδροφόρος ορίζοντας (υψηλή υπόγεια στάθμη νερού).

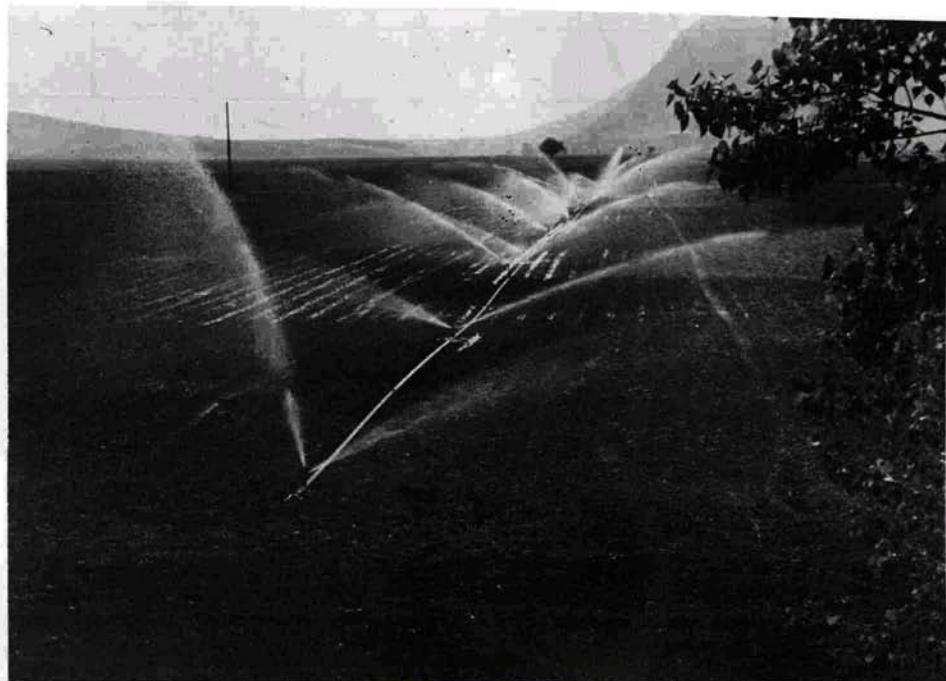
Η υπάρδευση εφαρμόζεται σε πολύ μικρή έκταση σε όλο τον κόσμο και μόνο ως συμπληρωματική άρδευση.

8.6.3 Άρδευση με τεχνητή βροχή (καταιονισμός).

Με τη μέθοδο αυτή το νερό παροχετεύεται υπό πίεση μέσα σε σωλήνες και εκτοξευόμενο από ειδικούς εκτοξευτήρες, πέφτει στο έδαφος με μορφή σταγόνων βροχής (8.6δ). Η απαιτούμενη για την εκτόξευση πίεση δίνεται από αντλιοστάσιο το οποίο τροφοδοτεί το δίκτυο των σωλήνων. Το μανομετρικό ύψος της αντλίας πρέπει να καλύπτει τις γραμμικές απώλειες και το ύψος εκτοξεύσεως που αντιστοιχεί σε πίεση 2 με 4 ατμόσφαιρες.

Η μέθοδος της τεχνητής βροχής παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Τα κυριότερα είναι:

- Η δυνατότητα εφαρμογής σε επικλινή εδάφη (κλίση > 4%).
 - Η δυνατότητα εφαρμογής χωρίς λεπτομερή ισοπέδωση των χωραφιών (συστηματοποίηση).
 - Η δυνατότητα καλύτερης εφαρμογής του συστήματος διανομής του νερού με ελεύθερη ζήτηση.
 - Η οικονομία νερού.
- Ως μειονεκτήματα μπορούμε να αναφέρομε:
- Το μεγάλο κόστος κατασκευής.
 - Την αδυναμία χρησιμοποιήσεως νερού με άλατα ή φερτές ύλες.



Σχ. 8.6δ.

Το νερό εκτοξεύεται από ειδικούς εκτοξευτήρες και πέφτει όπως οι σταγόνες βροχής.

— Την αδυναμία εφαρμογής όταν επικρατούν άνεμοι.

Ανάλογα με τον τρόπο εγκαταστάσεως των σωληνώσεων τα δίκτυα διακρίνονται σε μόνιμα, ημιμόνιμα και φορητά συγκροτήματα.

— Μόνιμα.

Χρησιμοποιούν σωλήνες από αμιαντοτσιμέντο, χάλυβα ή πλαστικό και τοποθετούνται υπόγεια με μόνιμες θέσεις παροχών (σχ. 8.5ιβ). Έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής, μικρή δαπάνη λειτουργίας και δυνατότητα χρησιμοποιήσεως σωληνών με μεγάλη διάμετρο.

— Ημιμόνιμα.

Έχουν υπόγειους μόνο τους κύριους αγωγούς. Οι σωληνώσεις αρδεύσεως είναι φορητές. Έτσι μικράνει το κόστος κατασκευής, αυξάνει όμως το κόστος λειτουργίας (σχ. 8.6δ).

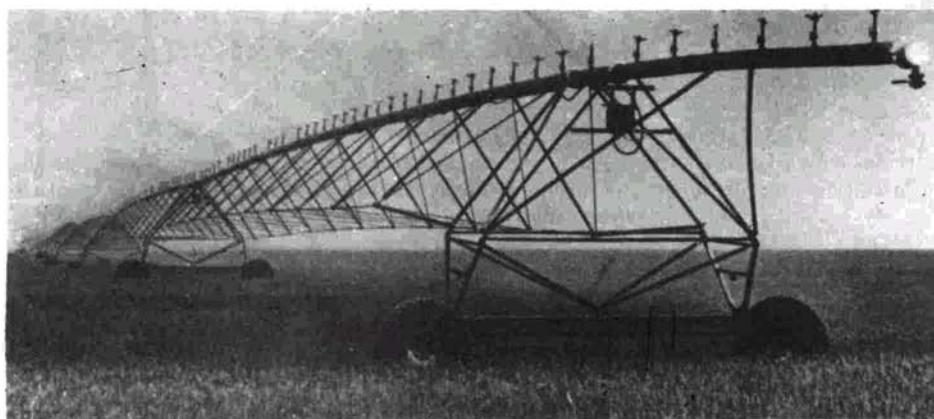
— Φορητά συγκροτήματα.

Σ' αυτά όλα (σώληνώσεις αντλιατικό συγκρότημα) είναι επιφανειακά. Έχουν χαμηλό κόστος εγκαταστάσεως, αλλά ψηλό κόστος λειτουργίας (σχήματα 8.6ε και 8.6στ).

Το δίκτυο για την άρδευση με τεχνητή βροχή αποτελείται από τα εξής μέρη:

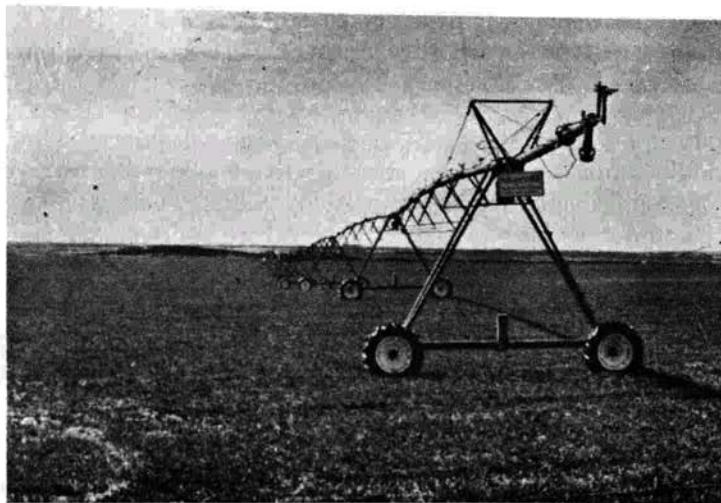
a) Το αντλητικό συγκρότημα.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εξαρτώνται από την παροχή και το μανομετρικό ύψος. Τις περισσότερες φορές χρησιμοποιούνται φυγόκεντρες αντλίες για άντληση από αβαθή ρεύματα ή πηγάδια [σχ. 8.6ζ(α)]. Όταν όμως ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας είναι χαμηλός χρησιμοποιούνται αξονικές αντλίες (πομόνες). Ο σωλήνας αναρροφήσεως είναι μεταλλικός ή πλαστικός και στο κάτω μέρος του έχει φίλτρο για να μην εισέρχονται στερεές ύλες [σχ. 8.6ζ(β)].

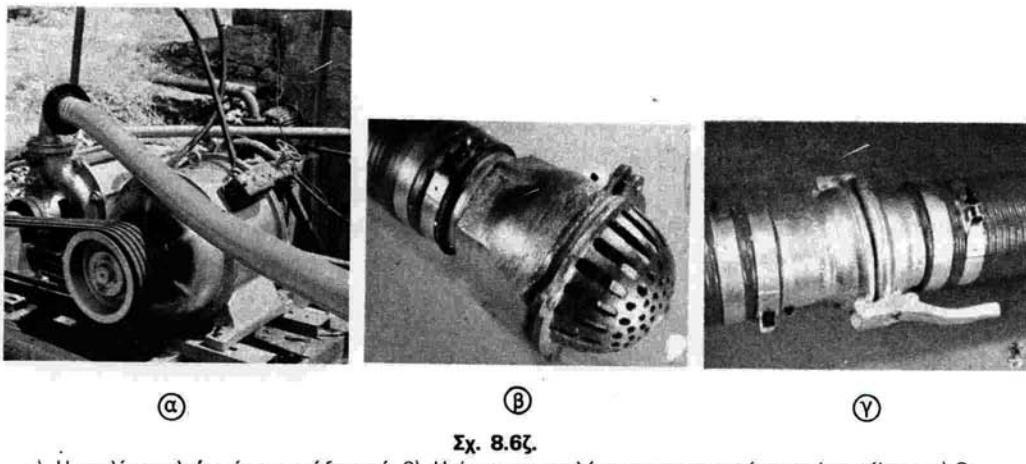


Σχ. 8.6ε.

Στις ΗΠΑ και σε μεγάλα αγροκτήματα οι σωληνώσεις τοποθετούνται σε ένα δίκτυο που μπορεί να μετακινείται ποτίζοντας όλη την έκταση.



Σχ. 8.6στ.
Μια εικόνα μετακινουμένων σωληνώσεων.



α) Η αντίλια αντλεί από το πηγάδι νερό. β) Η άκρη του σωλήνα της αναρροφήσεως έχει φίλτρο. γ) Οι σωλήνες ενώνονται μεταξύ τους με ταχυσύνδεσμους που συνδέουν και αποσυνδέουν εύκολα και γρήγορα τους σωλήνες μεταξύ τους.

β) Οι σωληνώσεις.

Αποτελούνται από τις γραμμές διανομής και περιλαμβάνουν τους σωλήνες, τους ταχυσύνδεσμους [σχ. 8.6ζ(γ)] και ειδικά κομμάτια για την καλή λειτουργία του δικτύου. Οι σωλήνες είναι χυτοσιδερένιοι, χαλύβδινοι, αλουμινένιοι ή πλαστικοί. Τα τελευταία χρόνια η χρησιμοποίηση των πλαστικών σωλήνων εξ αιτίας του μικρού βάρους τους είναι πολύ μεγάλη στις φορητές εγκαταστάσεις.

γ) Εκτοξευτές.

Οι εκτοξευτές (σχ. 8.6η) διακρίνονται σε χαμηλής, μέσης και ψηλής πιέσεως με

αντίστοιχες τιμές 2 ή 4 ή 6,5 ατρόσφαιρες. Έχουν αντίστοιχα παροχές 2,5 ή 7 ή 50 m³/h και ακτίνα εκτοξεύσεως 13 ή 30 ή 50 m περίπου αντίστοιχα.

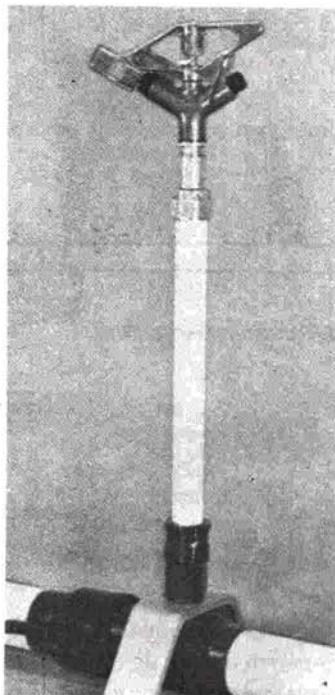
Το ύψος τους είναι περίπου 0,40 m από την επιφάνεια του εδάφους.

8.6.4 Στάγδην άρδευση.

Η έλλειψη εργατικού δυναμικού στην ύπαιθρο, η τάση για μεγαλύτερη απόδοση και μικρότερο κόστος παραγωγής καθώς και η πρόοδος της τεχνολογίας στον τομέα παραγωγής υλικών, είχε ως αποτέλεσμα την εύρεση νέων μεθόδων αρδεύσεως. Άλλα και η ανύψωση του βιοτικού επιπέδου των αγροτών επέβαλε την υιοθέτηση μεθόδων αρδεύσεως που θα ήταν λιγότερο κοπιαστικές και περισσότερο παραγωγικές.

Μια τέτοια μέθοδος είναι η άρδευση με σταγόνες. Χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι η παροχή στο ριζικό στρώμα του εδάφους μικρών ποσοτήτων νερού με μορφή σταγόνων, ώστε η υγρασία να βρίσκεται μέσα στα επιθυμητά όρια. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται καλύτερη θρέψη του φυτού και περιορισμός της κατανάλωσεως του νερού, αφού μόνο κοντά στις ρίζες υγραίνεται το έδαφος. Παρουσιάζει οικονομία νερού 20% συγκριτικά με τη μέθοδο τεχνητής βροχής και 50% συγκριτικά με την κατάκλιση.

Εκτός από αυτά, η μέθοδος πλεονεκτεί γιατί παρουσιάζει ευκολία λιπάνσεως, άνετη κυκλοφορία στο χωράφι και δυνατότητα αρδεύσεως των έντονα επικλινών έδαφών.



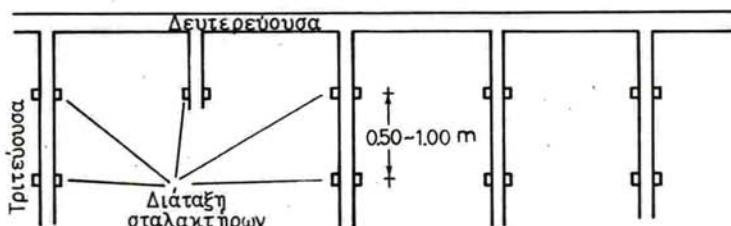
Σχ. 8.6η.

Εκτοξευτής νερού σε αρδευτικό δίκτυο με τεχνητή βροχή.

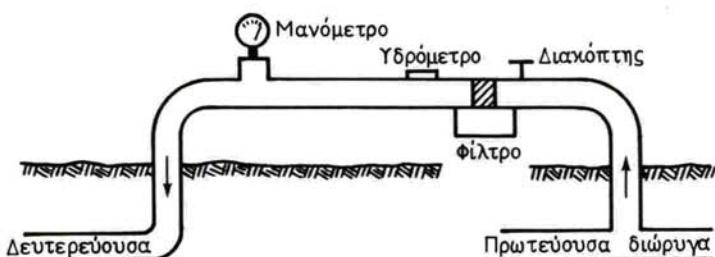
Το συγκρότημα αποτελείται από τους **σωλήνες προσαγωγής του νερού**, την **εγκατάσταση παροχής** και τους **σταλακτήρες**. Οι σωληνώσεις διακρίνονται και εδώ σε **πρωτεύουσες**, **δευτερεύουσες** και **τριτεύουσες**. Στις τριτεύουσες σωληνώσεις είναι κολλημένοι οι σταλακτήρες (σχ. 8.6θ).

Η εγκατάσταση παροχής (σχ. 8.6ι) αποτελείται από μια δικλείδα που διακόπτει ή παροχετεύει το νερό, το φίλτρο, το υδρόμετρο, το μανόμετρο και τέλος το δοχείο που περιέχει λίπασμα διαλυμένο στο νερό. Το σύστημα λειτουργεί με πίεση 1-3 ατμόσφαιρες.

Οι σταλακτήρες (σχήματα 8.6ια και 8.6ιβ) αποτελούν το μηχανισμό με τον οποίο το κάτω από πίεση νερό βγαίνει από τους σωλήνες σε σταγόνες (τομή σταλακτήρα βλέπε στο σχήμα 8.6ια). Δεν αποκλείεται, σε περιπτώσεις επιφανειακής τοποθετήσεως τους, η παροχή τους να είναι μεγαλύτερη (σχ. 8.6ιβ). Είναι πλαστικοί και έχουν βαλβίδα που επιτρέπει την εκτόξευση του νερού (παροχή 11 lit/h), όταν η πίεση είναι κάτω από 1,5 ατμόσφαιρα. Όταν η πίεση είναι μεγαλύτερη, τότε η βαλβίδα αναγκάζει το νερό να βγαίνει με μορφή σταγόνων (παροχή 2-3 lit/h). Η



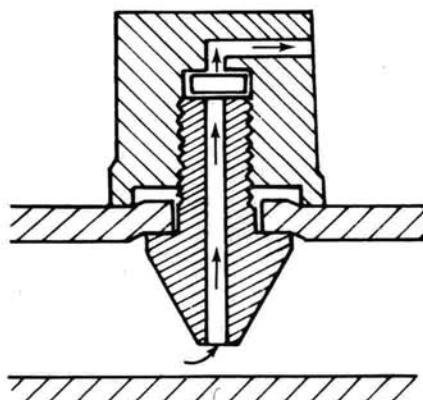
Σχ. 8.6θ.
Διάταξη δικτύου αρδεύσεως με σταγόνες.



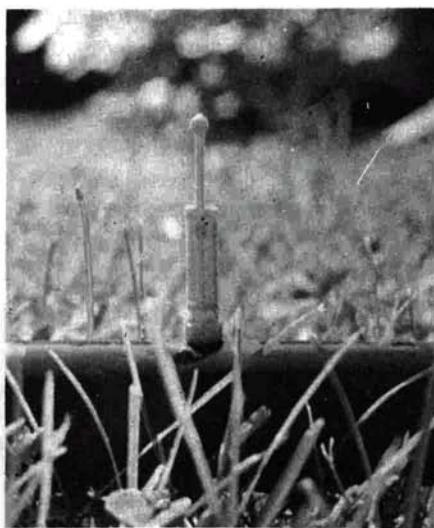
Σχ. 8.6ι.
Εγκατάσταση παροχής.

λειτουργία του συγκροτήματος είναι απλή και με το άνοιγμα της δικλείδας όλη η έκταση αρδεύεται ταυτόχρονα.

Όταν το υδρόμετρο δείχει ότι το χωράφι απόκτησε την απαιτούμενη υγρασία, τότε η δικλείδα κλείνει. Σε ξερές περιοχές με αρμώδη εδάφη η καθημερινή άρδευση δίνει μεγαλύτερες αποδόσεις παρά όταν γίνονται σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα. Σε συνεκτικά εδάφη που έχουν μεγαλύτερη υδατο-ικανότητα η άρδευση μπορεί να γίνεται και σε αραιότερα χρονικά διαστήματα.



Σχ. 8.6ια.
Τομή σταλακτήρα.



(a)



(b)

Σχ. 8.6ιβ.

α) Μία μορφή εκτοξευτή μικρής παροχής. β) Οι εκτοξευτήρες μικρής παροχής τοποθετούνται δίπλα στο ριζικό σύστημα.

8.7 Τεχνικά έργα αρδευτικών δίκτυων.

Τα τεχνικά έργα που απαιτούνται σε ένα αρδευτικό δίκτυο διακρίνονται σε 3 βασικές κατηγορίες:

- 'Έργα υδροληψίας με τα οποία το νερό συγκεντρώνεται και διοχετεύεται στην προσαγωγό διώρυγα.
- 'Έργα παροχετεύσεως (αναβαθμοί, σίφωνες, σιφώνια, υδατογέφυρες κ.α.).

- Έργα διανομής του νερού (μεριστές, ρουφράκτες, ρυθμιστές στάθμης Amil, θυρίδες παροχετεύσεως module).

8.7.1 Έργα υδροληψίας.

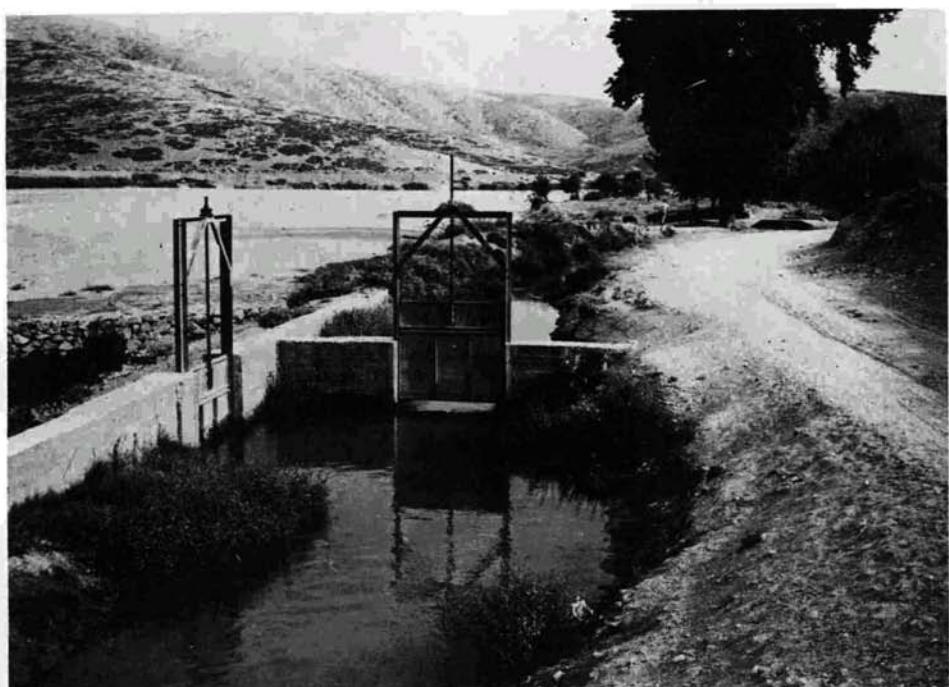
Η υδροληψία μπορεί να γίνει από ποταμούς (σχήματα 8.7α και 8.7β), πηγάδια ή από βαθιές γεωτρήσεις. Τους τρόπους υδροληψίας τους αναφέραμε λεπτομερώς στο κεφάλαιο των υδρεύσεων [παράγρ. 4.4(1)].

8.7.2 Έργα παροχετεύσεως.

Η δημιουργία ενός αρδευτικού δικτύου προσκρούει σε περιορισμούς και εμπόδια που πρέπει να υπερπηδηθούν για να εξασφαλισθεί η κανονική λειτουργία του δικτύου. Για να γίνει αυτό κατασκευάζονται τεχνικά έργα που αντιμετωπίζουν τις δυσκολίες, όπως τη διασταύρωση π.χ. μιας διώρυγας με ένα ρεύμα, τη μεγάλη κλίση, ένα ύψωμα κλπ.

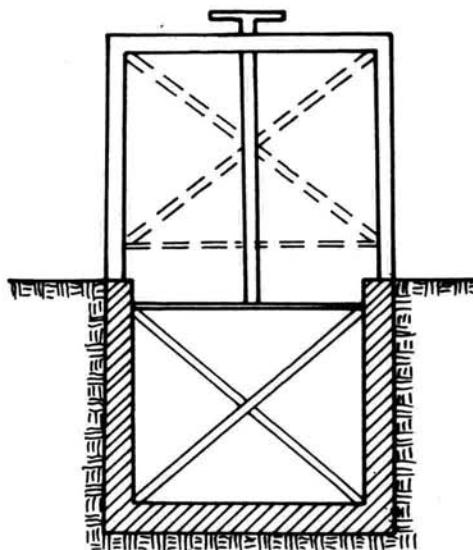
Οι υδατογέφυρες (σχ. 8.7γ) είναι έργα που κατασκευάζονται για να εξασφαλίσουν τη συνέχεια στη ροή πάνω από ένα ρεύμα. Κατασκευάζονται από οπλισμένο ή κατά προτίμηση από προεντεταμένο σκυρόδεμα. Έχουν το πλεονέκτημα ότι παρουσιάζουν μικρή απώλεια υδροδυναμικού φορτίου σε σύγκριση με το σίφωνα.

Οι σίφωνες παρουσιάζουν πολλές φορές κατασκευαστικές δυσχέρειες και μειο-

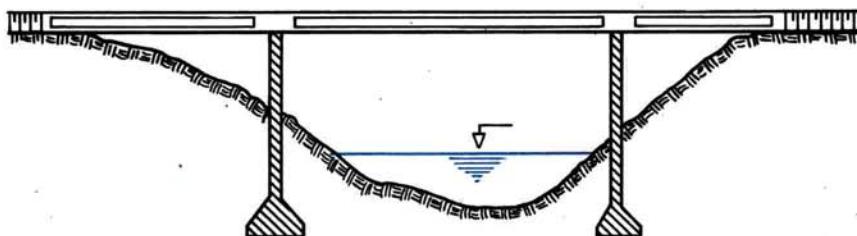


Σχ. 8.7α.

Ρυθμιστικές πόρτες για την είσοδο του νερού στο δίκτυο (ρουφράκτες).



Σχ. 8.7β.
Σχηματική λειτουργία ρουφράχτη.



Σχ. 8.7γ.
Υδατογέφυρα.

νεκτούν, γιατί παρουσιάζουν απώλειες υδροδυναμικού φορτίου κατά την είσοδο και έξοδο του νερού.

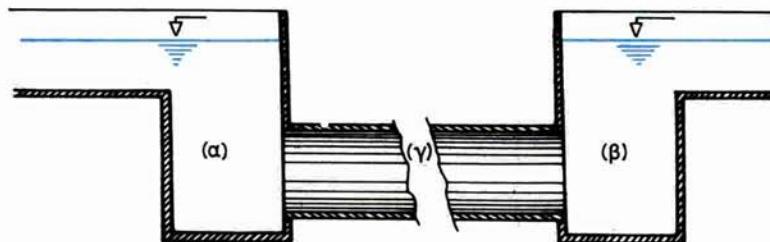
Αποτελούνται από το θάλαμο εισόδου (α), το θάλαμο εξόδου (β) και τον κύριο αγωγό (γ) που μπορεί να έχει διατομή κυκλική ή ορθογωνική (σχ. 8.7δ).

Για την αποφυγή μεγάλων κατά μήκος κλίσεων των διωρύγων κατασκευάζονται αναβαθμοί. Στους αναβαθμούς, όπως αναφέραμε στο σχετικό κεφάλαιο των χειμάρρων, πρέπει να κατασκευάζεται κατάντη λεκάνη αποσβέσεως της ενέργειας του νερού. Στο σχήμα 8.7ε(α) και 8.7ε(β) φαίνεται ο κατακόρυφος και κεκλιμένος αντίστοιχα αναβαθμός.

8.7.3 Έργα διανομής.

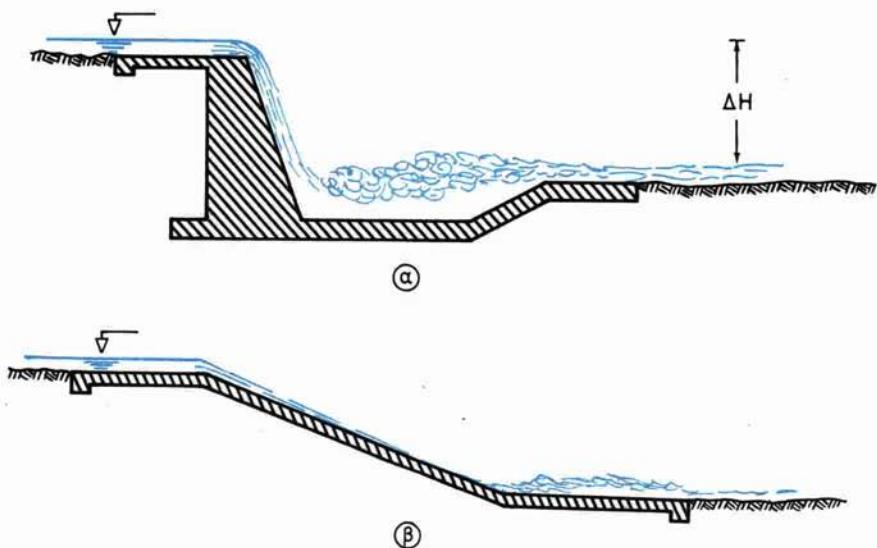
Η διανομή του νερού στους διάφορους κλάδους του δικτύου και η κατανομή της παροχής γίνεται με ορισμένα τεχνικά έργα, όπως είναι:

- Έργα διανομής ή μεριστές.



Σχ. 8.7δ.

Διαμόρφωση αντεστραμμένου σίφωνα: α) Θάλαμος εισόδου. β) Θάλαμος εξόδου. γ) Κυρίως αγωγός.



Σχ. 8.7ε.

Κατακόρυφος (α) και κεκλιμένος αναβαθμός (β).

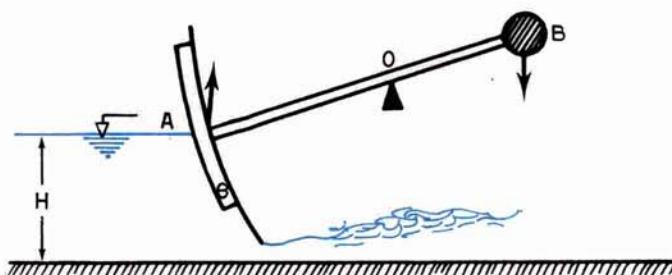
- Έργα που διατηρούν, σταθερή τη στάθμη του νερού ανάντι.
- Ρυθμιστές παροχής.

α) Ο μεριστής.

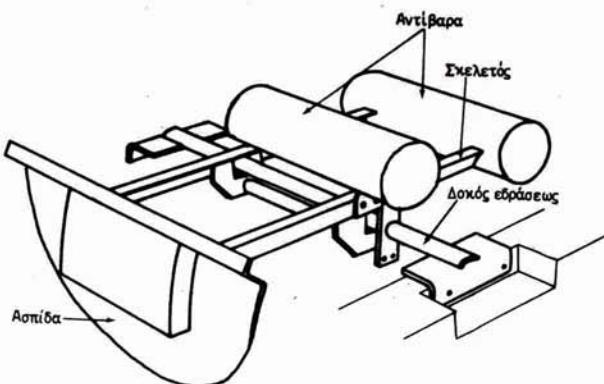
Συνήθως είναι μια λεκάνη στην οποία μεταφέρεται το νερό από την κύρια διώρυγα (Κ.Δ). Από εκεί διακλαδίζεται στις πρωτεύουσες διώρυγες σύμφωνα με τα προβλεπόμενα από τη μελέτη (σχ. 8.5γ).

β) Τα έργα που διατηρούν σταθερή τη στάθμη του νερού στα ανάντι (Amil).

Έχουν ως σκοπό τη διατήρηση σε ένα ορισμένο υψόμετρο της στάθμης του νερού στη διώρυγα προσαγωγής, ανεξάρτητα από την παροχετευόμενη στη διώρυγα παροχή. Ο ρυθμιστής (σχ. 8.7ζ) μένει κλειστός για μικρές παροχές και ανυψώνεται ανάλογα με την αύξηση της παροχής. Στη μέγιστη παροχή δεν προκαλεί σημαντική απώλεια φορτίου.



Σχ. 8.7στ.
Σχηματική διάταξη τομῆς Amil.

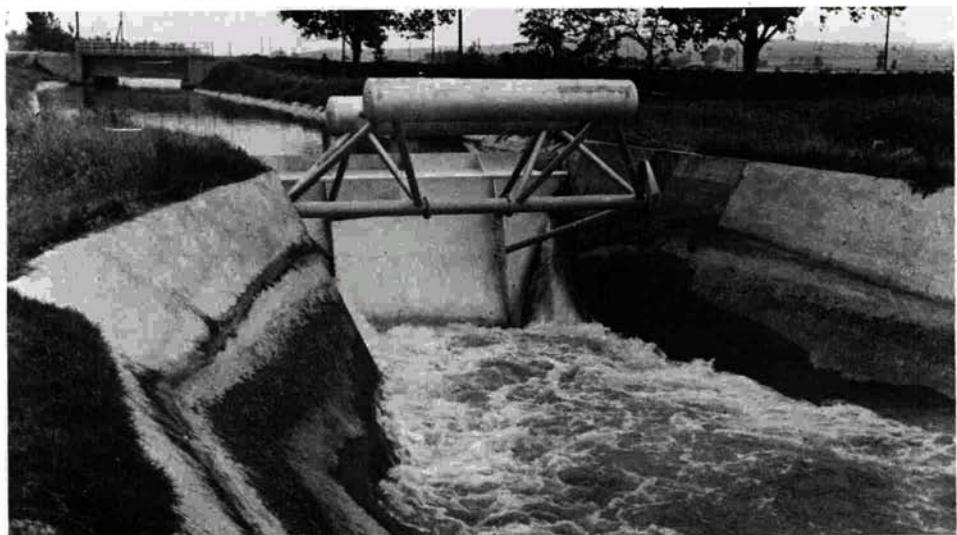


Σχ. 8.7ζ.
Ρυθμιστής στάθμης Amil.

Τα Amil αποτελούνται από πλωτήρα Θ και από αντίθαρο Β που στηρίζονται σε ένα άξονα Ο. Η ασπίδα Α ανυψώνεται και κατεβαίνει ανάλογα με την παροχή, αυτόματα και έτσι η στάθμη του νερού είναι πάντα Η. Το αντίθαρο Β είναι ρυθμισμένο έτσι, ώστε η ασπίδα ανεβαίνει και κατεβαίνει με την επίδραση της υδροστατικής πίεσεως (σχ. 8.7στ.). Όταν η παροχή και φυσικά και το ύψος του νερού ανάντι αυξάνει, τότε η ασπίδα ανυψώνεται κάτω από την επίδραση της αυξανόμενης υδροστατικής πίεσεως. Ανυψούμενη όμως η ασπίδα Α επιτρέπει τη δίοδο από το κάτω μέρος της, μεγαλύτερης ποσότητας νερού (σχ. 8.7η) (αυτής που προκαλεί την αύξηση). Η τοποθέτησή τους σε διώρυγες που κατασκευάζονται με σκυρόδεμα γίνεται σε ειδικές θέσεις (σχ. 8.7θ).

γ) Οι ρυθμιστές παροχής (module).

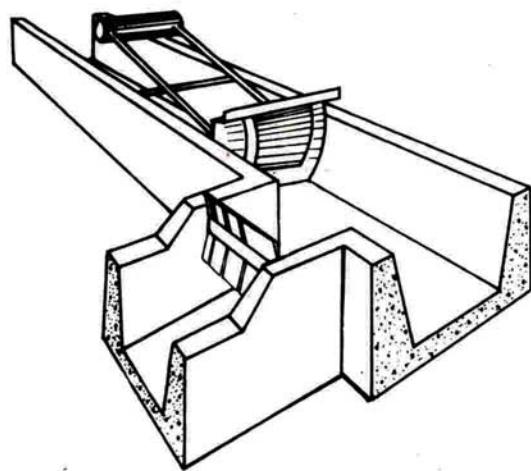
Έχουν σκοπό τη διανομή του νερού προς τις διώρυγες κατώτερης στάθμης και από εκεί στα χωράφια με σταθερή παροχή, ρυθμιζόμενη κατά τις ανάγκες (σχήματα 8.7ι, 8.7ια και 8.7ιβ). Η παροχή ρυθμίζεται με το άνοιγμα ή κλείσιμο των θυρίδων οι οποίες έχουν διαφορετικό πλάτος και επιτρέπουν τον προκαθορισμό της διερχόμενης παροχής και όταν ακόμη η προς τα ανάντι και κατάντη στάθμη του νερού δεν είναι σταθερή (σχ. 8.7ιγ).



Σχ. 8.7η.

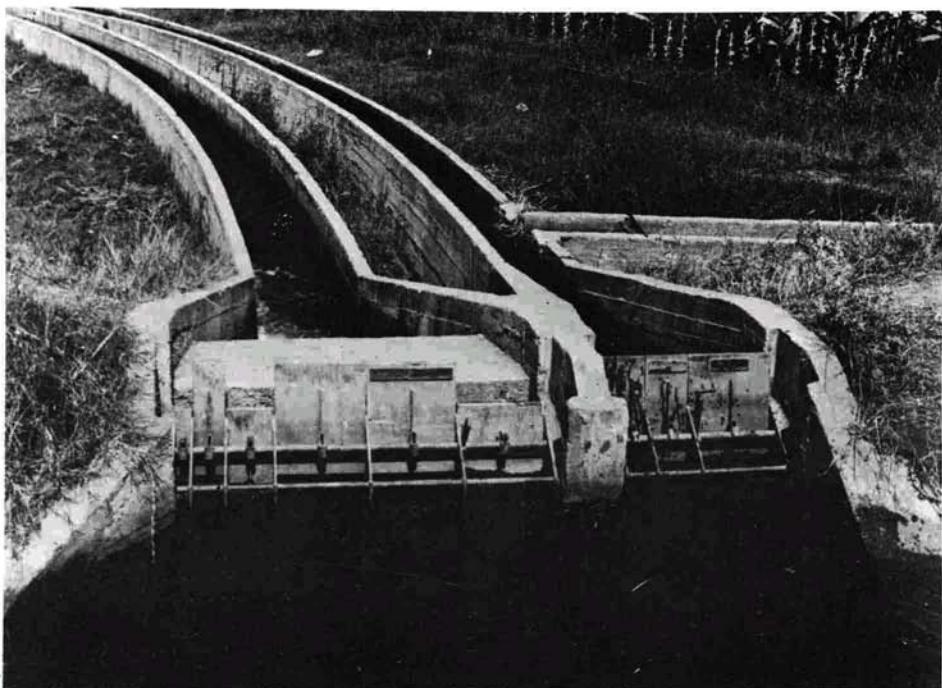
Ρυθμιστής στάθμης ανάντη (Amil).

Το νερό που περισσεύει περνάει κάτω από την ασπίδα και έτσι η στάθμη διατηρείται σταθερή.



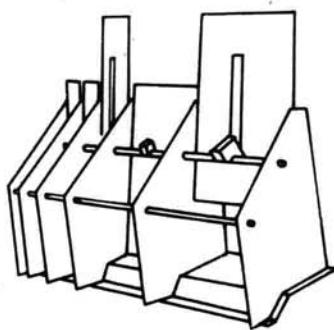
Σχ. 8.7θ.

Συστοιχία ρυθμιστή Amil που κρατάει τη στάθμη σταθερή για να παροχετευθεί στη διπλανή διώρυγα η ανάλογη ποσότητα νερού.

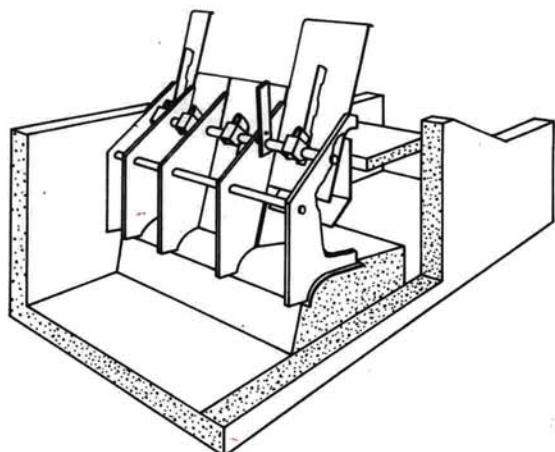


Σχ. 8.7ι.

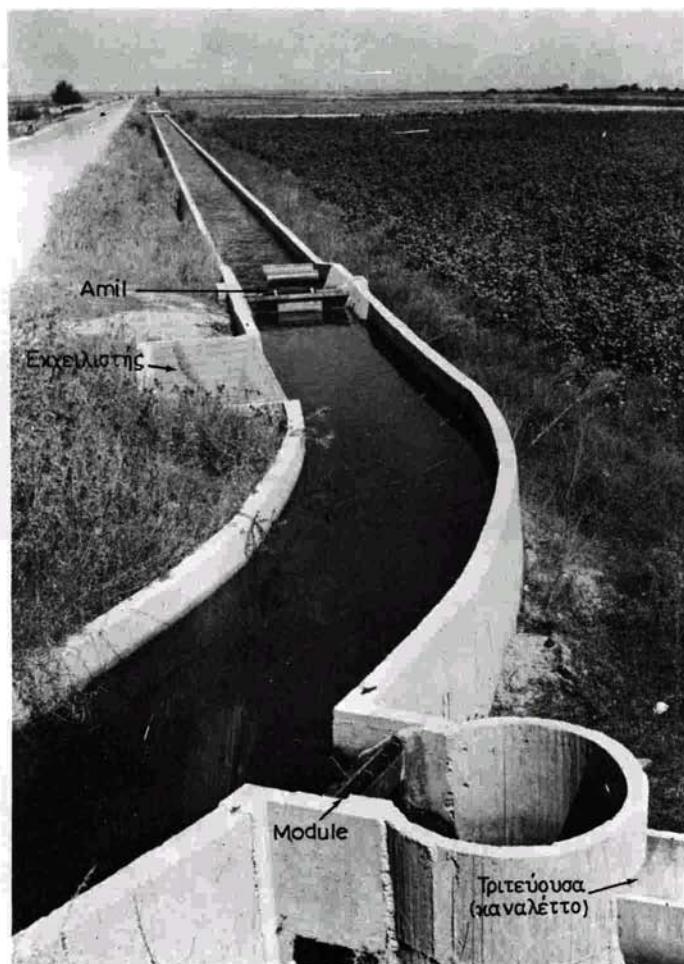
Ρυθμιστές παροχής (module). Όπως φαίνεται, στην αριστερή διώρυγα είναι ανοικτές τρεις θυρίδες που επιτρέπουν την παροχέτευση της απαιτούμενης ποσότητας.



Σχ. 8.7ια.
Ρυθμιστές παροχής (module).



Σχ. 8.7ιβ.
Συστοιχία θυρών σε ρυθμιστή παροχής.



Σχ. 8.7γ.

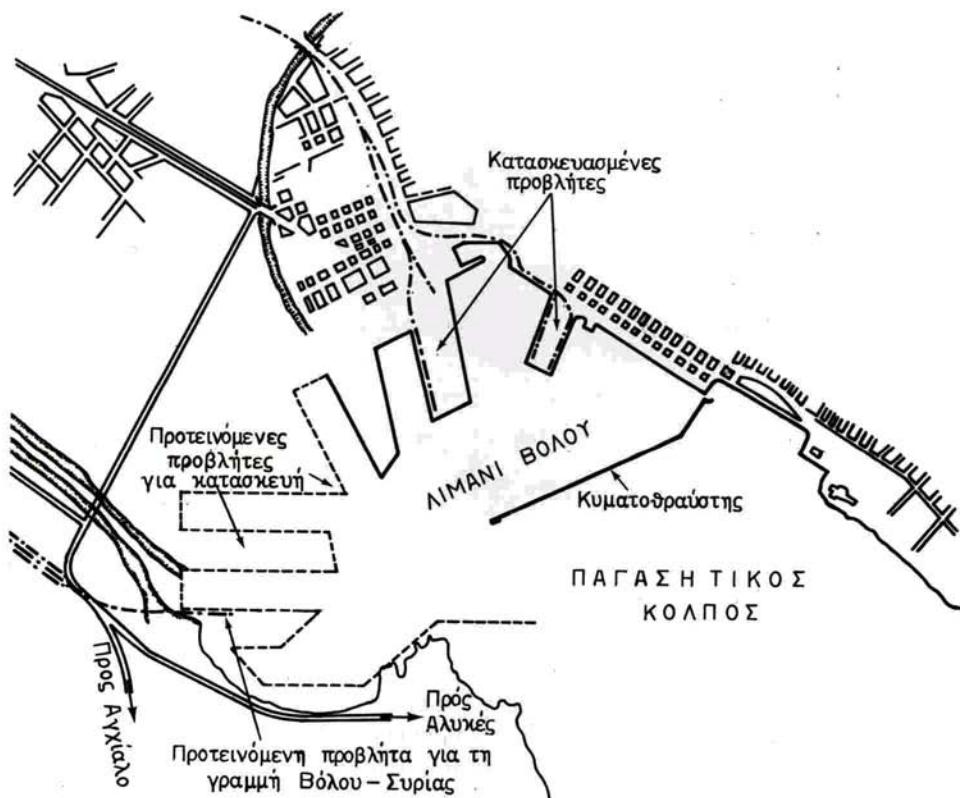
Διώρυγα ορθογωνικής διατομής. Διακρίνονται στο βάθος ο ρυθμιστής στάθμης ανάπτη (Amil), αριστερά με σχάρα ο εκχειλιστής της διώρυγας που απομακρύνει το νερό όταν αυτό ξεπέρασει την προκαθορισμένη στάθμη και μπροστά δεξιά ρυθμιστής παροχής (module) με φρέάτιο αποσβέσεως κυματισμών από το οποίο παίρνει νερό η τριτεύουσα διώρυγα (καναλέττο).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ

9.1 Ορισμός και κατηγορίες λιμανιών.

Λιμάνι μπορεί να χαρακτηρισθεί ένα τμήμα της θάλασσας κοντά στην ακτή, σε θέση απάνεμη και με βαθύ πυθμένα, που έρχεται σε συνεχή ή περιοδική επαφή με την ανοικτή θάλασσα και που έχει όλα τα κατάλληλα μέσα και εγκαταστάσεις για να εξυπηρετεί τους σκοπούς των πλοίων (σχ. 9.1α). Λέμε ότι έρχεται σε συνεχή ή περιοδική επαφή με την ανοικτή θάλασσα, γιατί δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις λι-



Σχ. 9.1α.

Το λιμάνι του Βόλου. Προβλέπεται σημαντική επέκταση μετά τη σύνδεση του με ferry-boat με την Ταρσό της Συρίας.

μανιών που εξ αιτίας παλιρροιακών φαινομένων φράζονται με τεχνικά μέσα για την επίτευξη του σκοπού τους.

Ανάλογα με τον τόπο στον οποίο βρίσκονται και το σκοπό που έχουν μπορούν να διακριθούν σε θαλάσσια ή ποτάμια σε φυσικά ή τεχνητά, σε πολεμικά, εμπορικά ή ελεύθερα λιμάνια.

9.1.1 Πολεμικά λιμάνια.

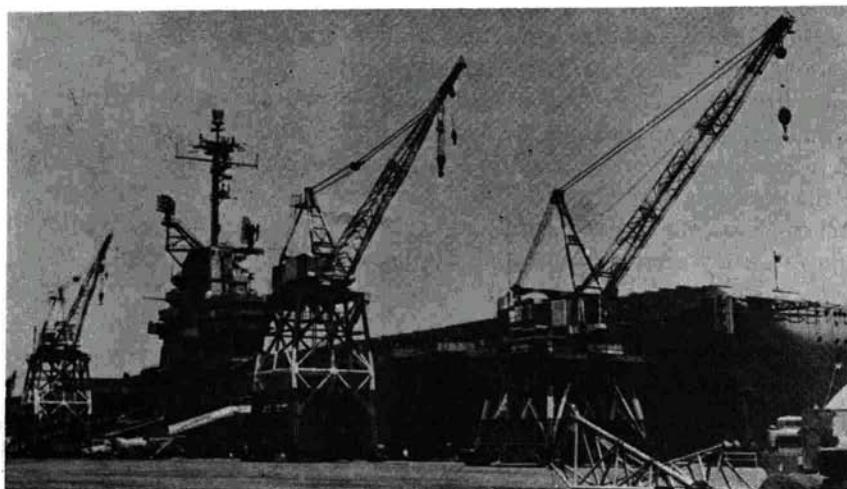
Είναι λιμάνια εφοδιασμένα με τα κατάλληλα μέσα για την εξυπηρέτηση πολεμικών σκοπών (σχ. 9.1β). Η θέση τους εκλέγεται με κριτήρια τη στρατηγική τους θέση, τις προβλεπόμενες εγκαταστάσεις κλπ. Από άποψη λειτουργίας και διατάξεως των χώρων του το πολεμικό λιμάνι χωρίζεται σε τρία μέρη:

- Στο χώρο των διατεταγμένων πλοίων, όπου τα πλοία που είναι σε ετοιμότητα δεν πλευρίζουν σε κρηπιδώματα, αλλά δένονται σε αγκυροβόλια. Ο χώρος αυτός πρέπει να βρίσκεται κοντά στο στόμιο του λιμανιού.



Σχ. 9.1β.
Πλεύρισμα αεροπλανοφόρου για ανεφοδιασμό.

- Στο χώρο για εφοδιασμό, που πρέπει να έχει εύκολη προσπέλαση από την ξηρά για τη μεταφορά εφοδίων και που πρέπει επίσης να έχει κρηπιδώματα, γερανούς, αποθήκες υλικών σε κατάλληλες θέσεις για να διαφυλάσσεται η ασφάλεια του λιμανιού, κτιριακές εγκαταστάσεις, παροχές καυσίμων και καταυλισμό ανδρών (σχ. 9.1γ).
- Στο χώρο της επισκευής των πλοίων. Στο χώρο αυτό απαιτούνται ναυπηγικές εγκαταστάσεις και δεξαμενές, μόνιμες ή πλωτές.

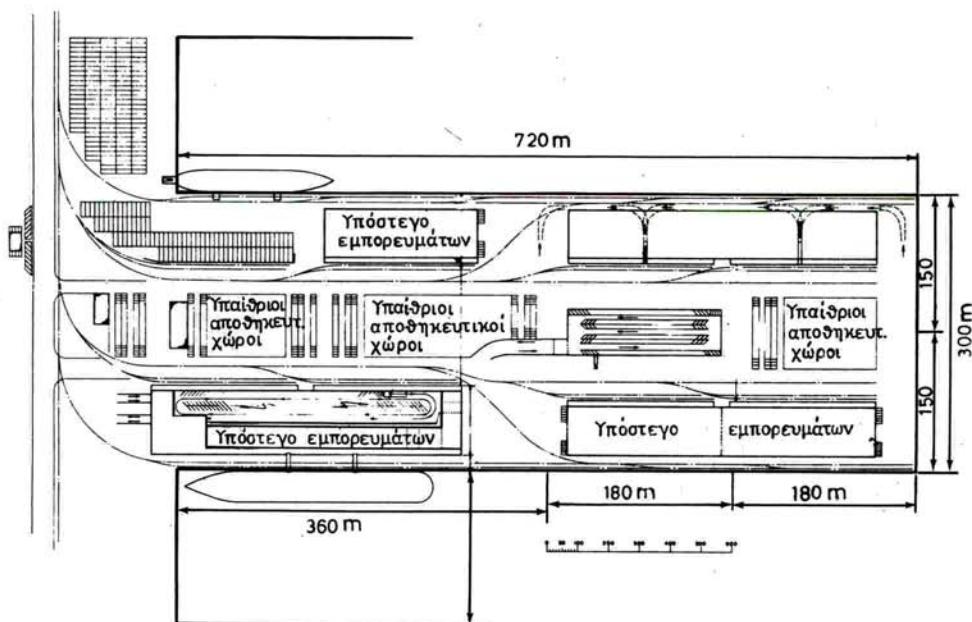


Σχ. 9.1γ.

Όταν το λιμάνι είναι εξοπλισμένο αυξάνεται κατά πολύ η μετακομιστική του ικανότητα.

9.1.2 Εμπορικά λιμάνια.

Για τη σωστή λειτουργία τους πρέπει να εκπληρώνουν ορισμένες προϋποθέσεις. Πρέπει π.χ. να ελαχιστοποιείται ο χρόνος μεταφοράς των εμπορευμάτων, να είναι εύκολη η διακίνηση των πλοίων (χώρος ελιγμών) και η διακίνηση των εμπορευμάτων (σχ. 9.1δ).



Σχ. 9.1δ.

Διάταξη των εγκαταστάσεων σε προβλήτα.

α) Κρηπιδώματα.

Απόδοση κρηπιδωμάτων είναι ο αριθμός των τόννων εμπορευμάτων που διακινούνται σε ένα χρόνο ανά μέτρο κρηπιδώματος.

Πυκνότητα εμπορευμάτων είναι ο αριθμός των τόννων εμπορευμάτων που αντιστοιχούν σε 1 m² κρηπιδωμάτων. Για τον υπολογισμό των κρηπιδωμάτων γίνεται δεκτή πυκνότητα 1 t/m². Σε άρτια εξοπλισμένο λιμάνι μια θέση παραλαβής μήκους 150 m εξυπηρετεί περίπου 100.000 τόννους. Η ποσότητα αυτή μπορεί να μειωθεί στο μισό για κρηπιδώματα που δεν είναι άρτια εξοπλισμένα. Όταν τα εμπορεύματα μεταφέρονται σε μικρούς όγκους η απόδοση μειώνεται.

β) Διάκριση κρηπιδωμάτων.

Τα κρηπιδώματα διακρίνονται σε:

- **Ειδικά κρηπιδώματα εμπορευματοκιβωτίων (containers).**

Τελευταία χρησιμοποιείται πολύ ο τρόπος μεταφοράς των εμπορευμάτων μέσα σε κιβώτια. Ο τρόπος αυτός απλοποιεί τις πράξεις φορτοεκφορτώσεως τυποποιεί τις διαστάσεις και γίνεται έτσι καλύτερη εκμετάλλευση του χώρου.

- **Κρηπιδώματα οπωρικών.**

Από αυτά φορτοεκφορτώνονται εμπορεύματα που είναι ευπαθή και απαιτούν εγκαταστάσεις κλιματισμού, ψύξεως κλπ.

- **Κρηπιδώματα δημητριακών.**

Απαιτούν βάθος για τα πλοία και εγκαταστάσεις αντλιών αναρροφήσεως, αυλάκια εκφορτώσεως, κινούμενες ταινίες, σιλό κλπ.

- **Κρηπιδώματα μεταλλευμάτων.**

Εξοπλίζονται με ειδικά μηχανήματα, όπως π.χ. είναι οι ταινιόδρομοι, οι μεγάλοι γερανοί κλπ.

9.1.3 Ελεύθερα λιμάνια.

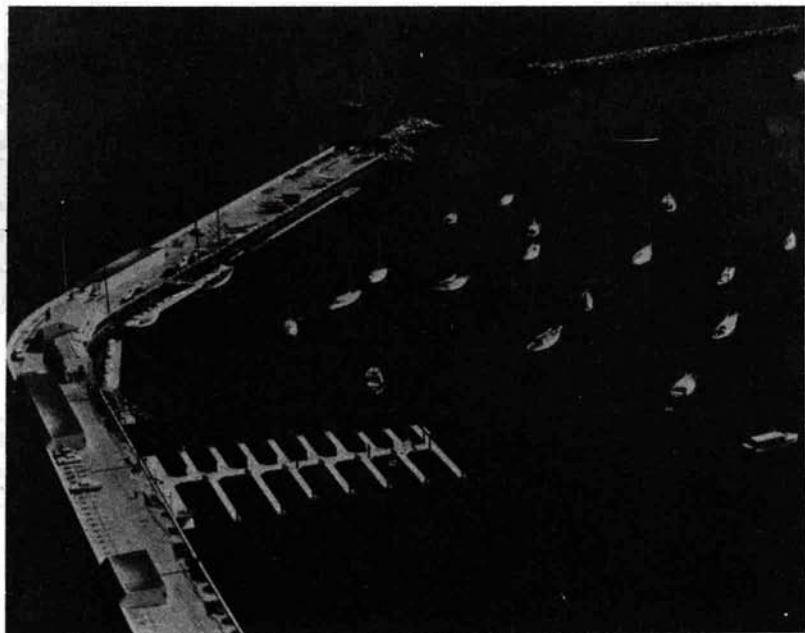
Προορίζονται για την εξυπηρέτηση του διαμετακομιστικού εμπορίου. Σ' αυτά, για εμπορεύματα που αποθηκεύονται προσωρινά ή μετασχηματίζονται βιομηχανικά καταργούνται οι τελωνιακοί δασμοί. Στις περισσότερες περιπτώσεις, αντί για ελεύθερα λιμάνια υπάρχουν τμήματα λιμανιού, οι λεγόμενες **ελεύθερες ζώνες**, από όπου φορτώνονται και ξεφορτώνονται προϊόντα άλλων χωρών.

9.1.4 Λιμάνια αναψυχής ή τουριστικά λιμάνια (μαρίνες).

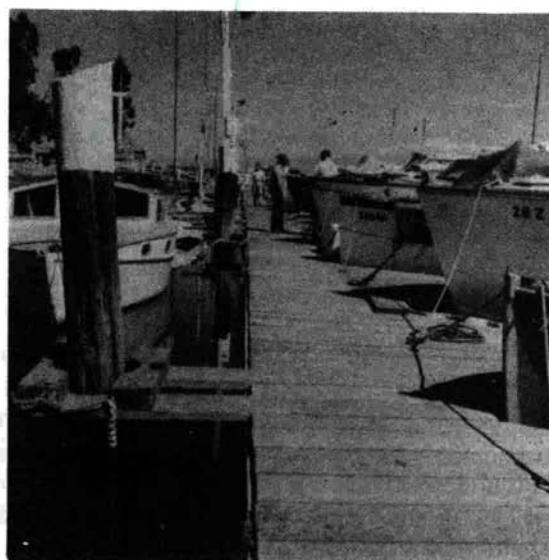
Κατασκευάζονται για να εξυπηρετήσουν θαλαμηγούς και μικρά σκάφη αναψυχής (σχήματα 9.1ε και 9.1στ).

Ονομάζονται και «μαρίνες». Οι μαρίνες, που μπορεί να είναι και πλωτές, διακρίνονται σε τρείς κατηγορίες.

- Μαρίνα για ένα αστικό κέντρο (π.χ. Πασσαλιμάνι).
- Μαρίνα για μια τουριστική εγκατάσταση.
- Μαρίνα που ανήκει σε ένα όμιλο (ιδιωτικό ή όχι).



Σχ. 9.1ε.
Πλωτή μαρίνα για τουριστικά σκάφη.

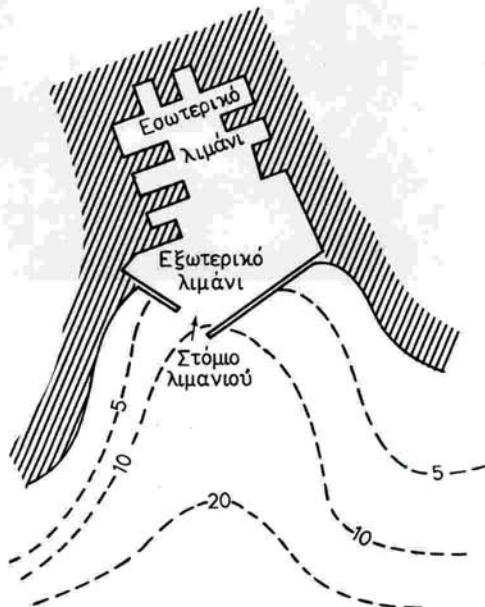


Σχ. 9.1στ.
Λεπτομέρεια μαρίνας.

9.2 Τμήματα λιμανιού.

9.2.1 Εξωτερικό λιμάνι ή προλιμάνι.

Είναι το εξωτερικό (προς την ανοικτή θάλασσα) τμήμα του λιμανιού στο οποίο σταθμεύουν τα πλοία όταν είναι αδύνατη η είσοδος τους στο εσωτερικό λιμάνι. Σε πολλά λιμάνια δεν υπάρχει διαχωρισμός εξωτερικού και εσωτερικού λιμανιού, ενώ σε άλλα το εξωτερικό λιμάνι ταυτίζεται με φυσικούς όρμους. Σε λιμάνια που βρίσκονται σε κοίτες ποταμών ως εξωτερικό λιμάνι χρησιμοποιείται το ίδιο το ποτάμι. Στα λιμάνια όπου παρουσιάζεται το φαινόμενο της παλίρροιας, το εξωτερικό λιμάνι διαχωρίζεται από το εσωτερικό στο οποίο η στάθμη του νερού διατηρείται σταθερή (σχ. 9.2α).



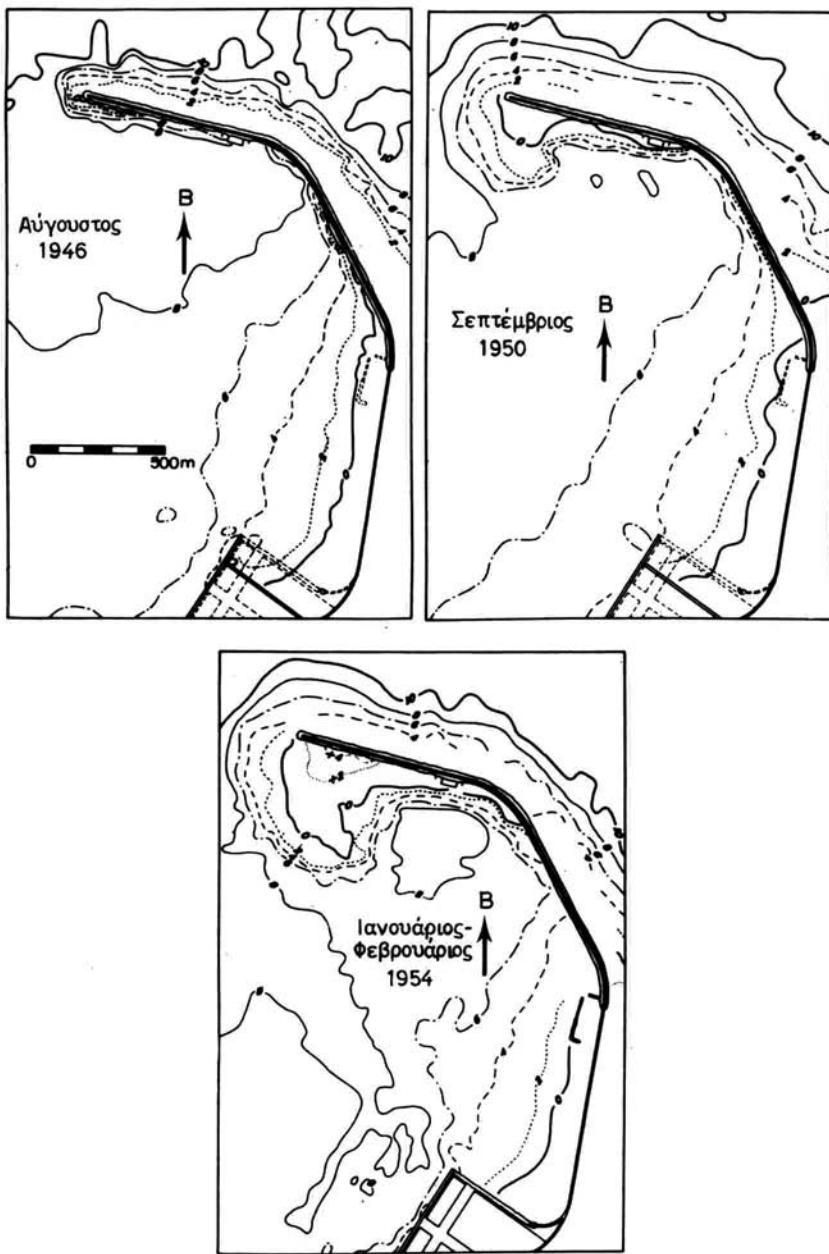
Σχ. 9.2α.
Χαρακτηριστικά τμήματα ενός λιμανιού.

9.2.2 Εσωτερικό λιμάνι.

Περιλαμβάνει τους χώρους όπου εκτελούνται όλες οι απαραίτητες λειτουργίες (φορτοεκφόρτωση εμπορευμάτων, επισκευές κλπ). Στο εσωτερικό λιμάνι σταθμεύουν τα πλοία όσο χρόνο διαρκεί η φόρτωση ή η εκφόρτωσή τους.

Το λιμάνι πρέπει να είναι καλά προφυλαγμένο από τα κύματα, να έχει μεγάλο βάθος και να μην προσαμμώνεται εύκολα. Η προφύλαξη του λιμανιού (σχ. 9.2β) από τους κινδύνους της προσαμμώσεως και των κυμάτων, επιτυγχάνεται με τη σωστή επιλογή του στομίου του λιμανιού και την κατασκευή καταλλήλων έργων (σχ. 9.2γ).

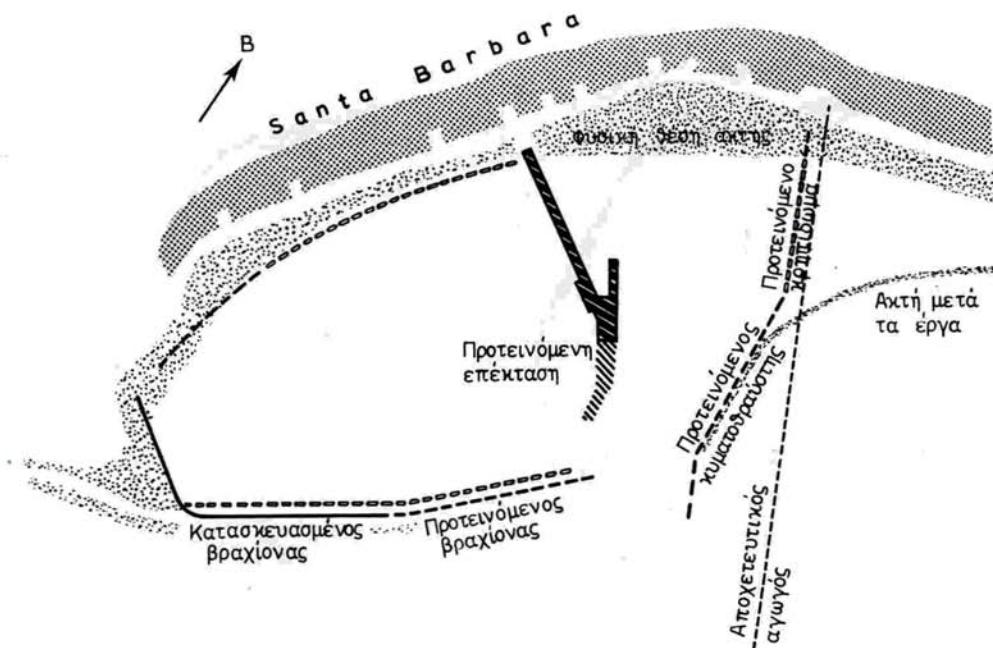
Το στόμιο ενός λιμανιού μπορεί να είναι εκτεθειμένο ή όχι στα ισχυρά κύματα



Σχ. 9.2β.

Προσάρμωση του λιμανιού Portaleza της Βραζιλίας σε 3 διαφορετικές χρονολογίες.

της ανοικτής θάλασσας χωρίς να εμποδίζει την εύκολη και άνετη είσοδο των πλοίων. Πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερο για να εμποδίζει την είσοδο των κυμάτων στο λιμάνι και συγχρόνως αρκετά φαρδύ για να επιτρέπει την άνετη είσοδο των πλοίων. Στόμια που βλέπουν απ' ευθείας στην ανοικτή θάλασσα επιτρέ-



Σχ. 9.2γ.

Το λιμάνι της Santa Barbara στην California.
Διακρίνονται τα ήδη υπάρχοντα και τα προτεινόμενα έργα (έτος 1960).

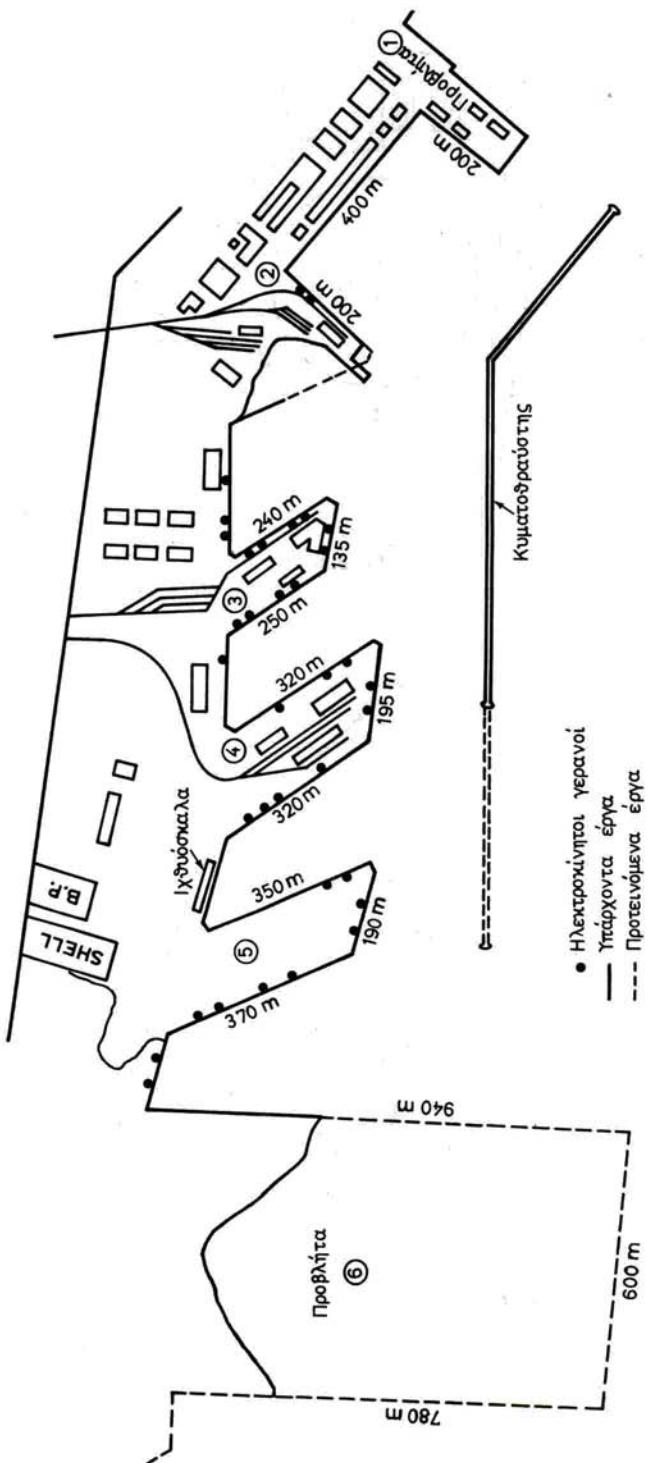
πουν πιο εύκολα την είσοδο των πλοίων παρά τα λιμάνια με προστατευτικές διατάξεις (σχ. 9.2δ). Το στόμιο πρέπει να εξέχει από κάθε άλλο μέρος του λιμανιού. Οι διαστάσεις τους κυμαίνονται από 80-300 m. Το ελάχιστο βάθος ενός λιμανιού εξαρτάται από τη σπουδαιότητά του, τις ανάγκες που πρόκειται να καλύψει και το έδιος των πλοίων που πρόκειται να δεχθεί (βύθισμα πλοίων). Μπορεί να είναι από 1 m μέχρι 30 m σε περιπτώσεις μεγάλων λιμανιών. Αν δεχθούμε ότι πλοία των 15.000 τόννων έχουν βύθισμα περίπου 9,00 m, μπορεί να γίνει δεκτό ένα βάθος 10-12 m.

9.3 Εξωτερικά λιμενικά έργα.

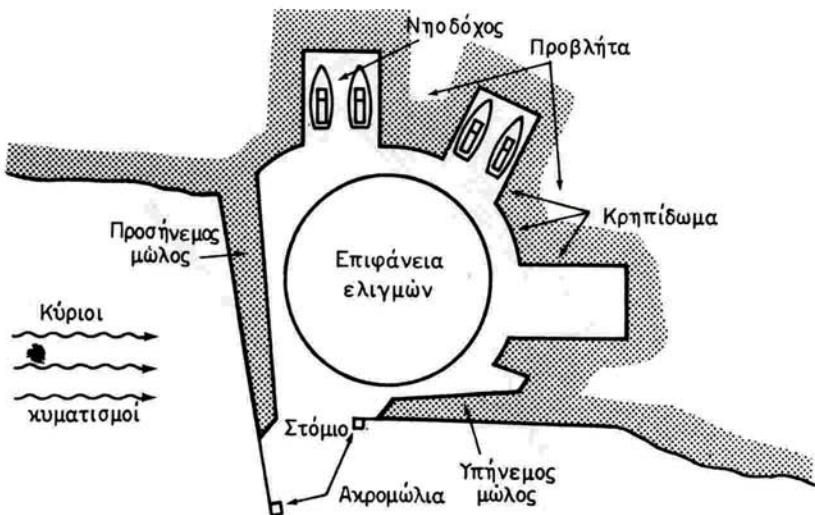
Κατασκευάζονται για να προστατεύουν τα λιμάνια από τους κυματισμούς της θάλασσας και τις προσχώσεις (προσαμμώσεις). Διακρίνονται στα εξής μέρη (σχ. 9.3α):

a) Μώλος.

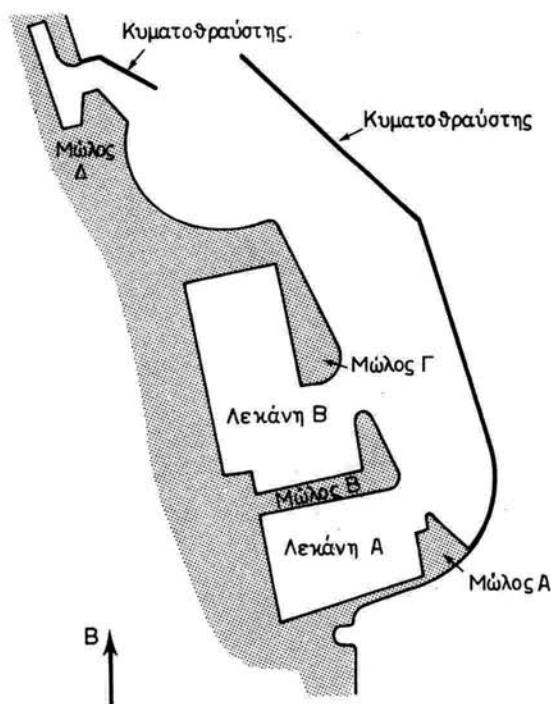
Είναι ένας πρόβολος μέσα στη θάλασσα (σχ. 9.3β). Διακρίνεται ανάλογα με τη θέση του ως προς τον κύριο κυματισμό σε **προσήνεμο μώλο** (σχ. 9.3γ) όταν είναι αντιμέτωπος με τον κύριο κυματισμό και σε **υπήνεμο μώλο** όταν δέχεται τους δευτερεύοντες κυματισμούς.



Σχ. 9.26.
Το λιμάνι της Θεσσαλονίκης.



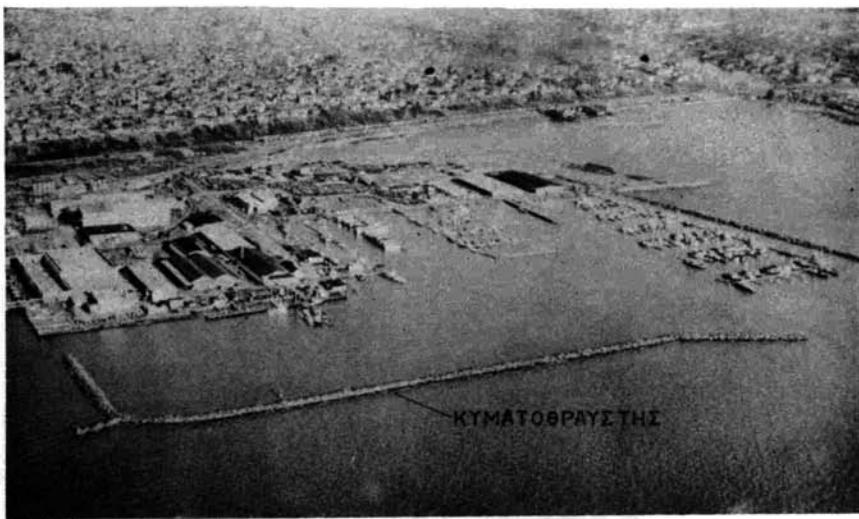
Σχ. 9.3α.
Χαρακτηριστικά τρήματα λιμανιού.



Σχ. 9.3β.
Το λιμάνι King στην California.



Σχ. 9.3γ.
Χτύπημα κυμάτων σε προσήνεμο μώλο.



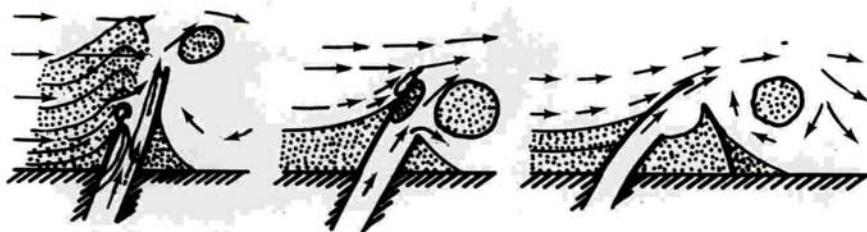
Σχ. 9.3δ.
Κυματοθραύστης στο λιμάνι Bellingham των ΗΠΑ.

β) Κυματοθραύστης.

Είναι μια λωρίδα η οποία τοποθετείται κάθετα στους κυματισμούς και η οποία δεν συνδέεται με την ξηρά (σχ. 9.3δ).

γ) Βραχίονας.

Είναι μια λωρίδα που κατασκευάζεται από την ξηρά προς τη θάλασσα, με κύριο



Σχ. 9.3ε.

Η θέση του βραχίονα επηρεάζει τὸν τρόπο προσχώσεως.

σκοπό την αποφυγή προσαμμώσεως (προσχώσεις). Αν π.χ. κοντά στο λιμάνι υπάρχει ποτάμι που φέρνει φερτά υλικά (άμμο λεπτή) με τη βοήθεια των θαλάσσιων ρευμάτων μεταφέρονται στο λιμάνι και το προσχώνουν (σχήματα 9.2β και 9.3ε).

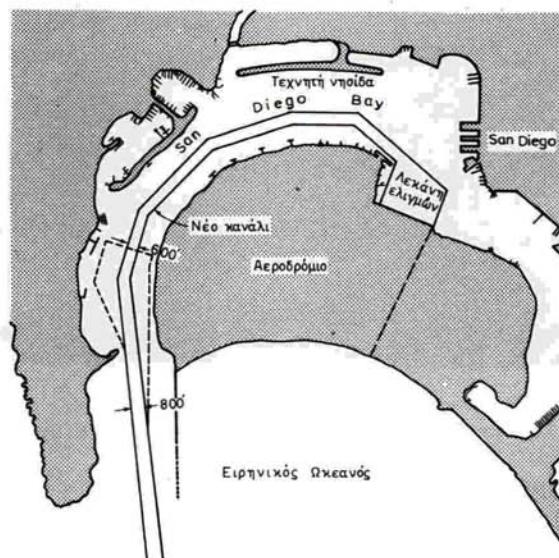
9.4 Εσωτερικά λιμενικά έργα.

α) Στόμιο λιμανιού.

Είναι η είσοδος στο λιμάνι από την ανοικτή θάλασσα.

β) Επιφάνεια ή λεκάνη ελιγμών.

Είναι ο χώρος του εσωτερικού λιμανιού στον οποίο τα πλοία μπορούν να κάνουν τις απαιτούμενες κινήσεις για να έλθουν σε κατάλληλη θέση και να προσδεθούν (σχ. 9.4α).



Σχ. 9.4α.

Ο κόλπος και το λιμάνι του San Diego στην California. Η συνεχής γραμμή δείχνει το σκαμμένο δίαυλο. Στο βάθος του κόλπου διακρίνεται η τεχνητή νησίδα.

γ) Κρηπίδωμα.

Είναι ο χώρος στην ξηρά όπου γίνεται η φορτοεκφόρτωση των εμπορευμάτων. Στην άκρη του κρηπιδώματος δένουν τα πλοία (σχ. 9.4δ).

δ) Νηοδόχος.

Ο χώρος στη θάλασσα που δέχεται τα πλοία. Εδώ δένουν τα πλοία για να φορτώσουν ή να ξεφορτώσουν (σχήματα 9.4β και 9.4γ).



Σχ. 9.4β.

Αεροφωτογραφία του Βόρειου San Diego.

Διακρίνεται το αεροδρόμιο και η θέση της τεχνητής νησίδας (New Island) πριν από την κατασκευή της. Αριστερά διακρίνονται οι νηοδόχοι του παλιού λιμανιού.

ε) Προβλήτα.

Μπορούμε να χαρακτηρίσουμε ως προβλήτα ένα κοντό πρόβολο, γύρω από τον οποίο δένουν τα πλοία (σχ. 9.4ε).

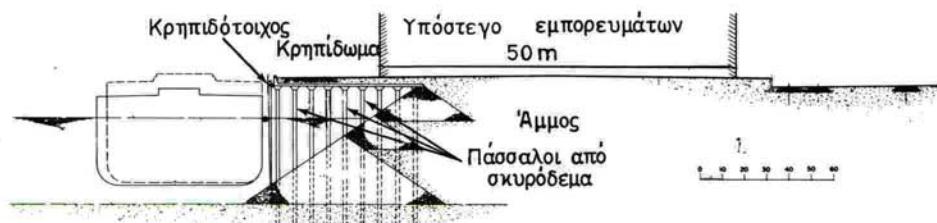
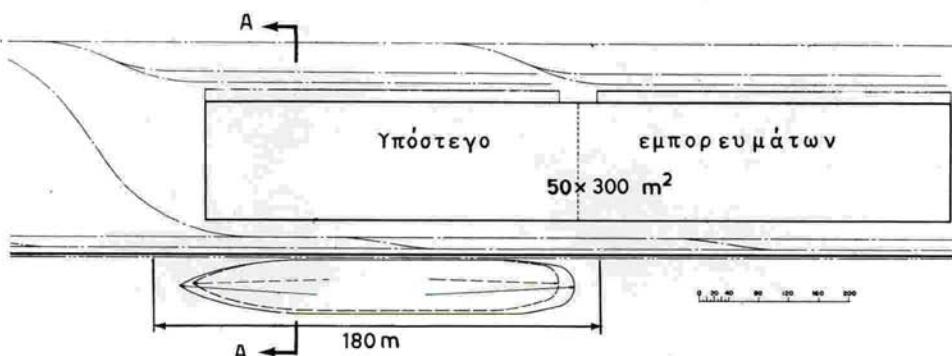
στ) Ναύδετα (Δελφίνες).

Είναι έργα για να δένουν τα πλοία. Τις περισσότερες φορές είναι πάσσαλοι από μπετόν ή από ξύλο τρεις ή τέσσερις μαζί. Μπορεί να είναι και κινητές ή πλωτές κατασκευές (σχ. 9.4ε).



Σχ. 9.4γ.

Αεροφωτογραφία του κόλπου του San Diego μετά την κατασκευή των έργων. Διακρίνεται η τεχνητή νησίδα.



Τομή Α-Α

Σχ. 9.4δ.

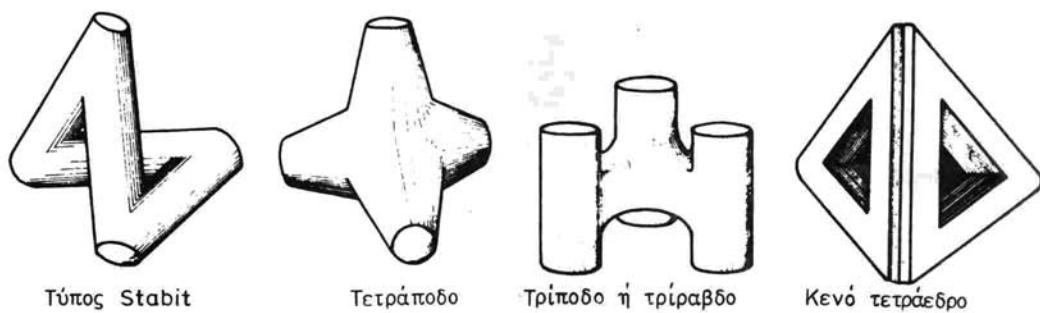
Λεπτομέρεια προβλήτας σε κάτοψη και τομή.



Σχ. 9.4ε.
Δελφίνα, μεμονωμένο αγκυροβόλιο.

9.5 Κατασκευή εξωτερικών λιμενικών έργων.

Η κορυφή τους επιτρέπει την υπέρβαση των μεγαλυτέρων ή μικροτέρων κυμάτων. Τα πρανή κατασκευάζονται συνήθως με κλίση 2:3. Όταν το κύμα χτυπάει τα πρανή, οι ογκόλιθοι που τα καλύπτουν είναι υπό άνωση (σχ. 9.5β) και χάνουν ένα μέρος από το βάρος τους, ενώ οι μεγάλες ταχύτητες του νερού μέσα στα διάκενα των ογκολίθων τείνουν να τους αποκολλήσουν από τη θέση τους. Για το λόγο αυτό πρέπει να έχουν μεγάλο βάρος.



Σχ. 9.5α.
Διάφορες μορφές τεχνητών ογκολίθων.

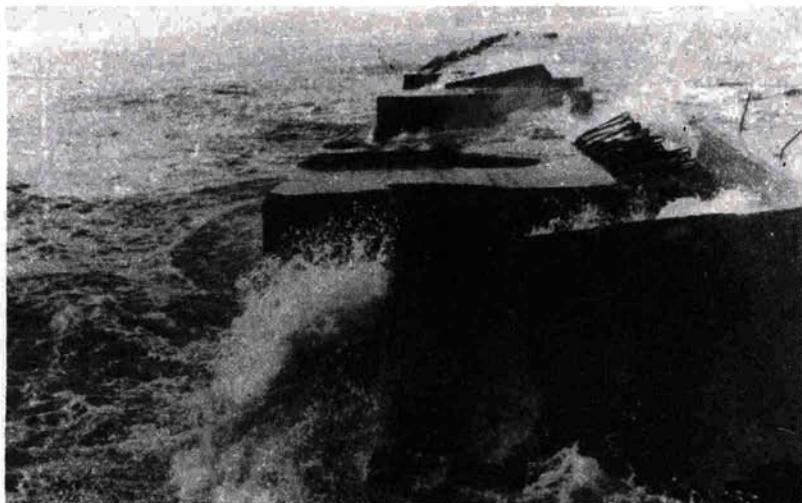
Το σχήμα των ογκολίθων που χρησιμοποιούνται για την επικάλυψη των πρανών μπορεί να είναι κανονικό γεωμετρικό (σχ. 9.5γ) ή πολύπλοκο (σχ. 9.5α). Τα βάρη τους είναι από 20 t μέχρι 400 t και κατασκευάζονται από άοπλο σκυρόδεμα πολ-

λαπλής δονήσεως, επιμελημένης αναμίξεως και υψηλής αντοχής. Με τους ογκόλιθους επιτυγχάνεται μεγάλη τραχύτητα της εξωτερικής επιφάνειας και διάσπαση έτσι της ενέργειας των κυμάτων (σχ. 9.5δ).



Σχ. 9.5β.

Διατομή ενός εξωτερικού έργου με επικάλυψη από τετράποδα.

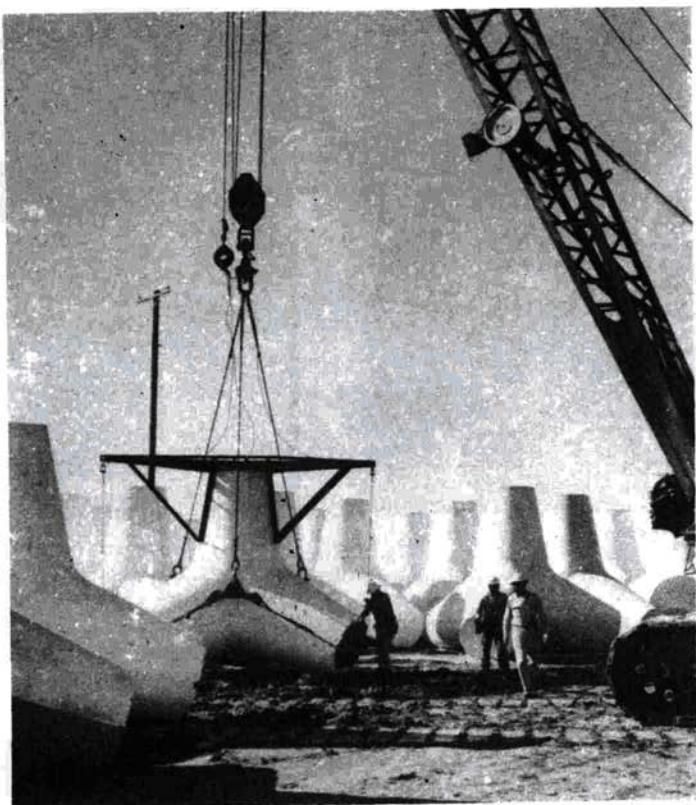


Σχ. 9.5γ.

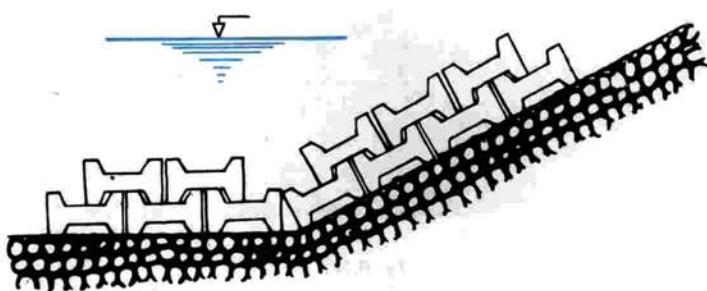
Κατασκευή εξωτερικού έργου με ογκόλιθους κανονικού γεωμετρικού σχήματος από σκυρόδεμα.

Το βάρος των τεχνητών ογκολίθων είναι $1,0 \div 1,5$ φορά μεγαλύτερο από το βάρος των φυσικών ογκολίθων. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται και ογκόλιθοι πολύπλοκης γεωμετρικής μορφής που δημιουργούν, καλή εμπλοκή μεταξύ τους (σχήματα 9.5ε και 9.5στ). Κατασκευάζονται από σκυρόδεμα με 300 kg/m^3 τσιμέντο και αναλογία αναμίξεως $1:2:4$. Η μετωπική ανάκλαση των κυμάτων και η ποσότητα κυματισμού που υπερπηδά είναι πολύ μικρή (σχ. 9.5ζ).

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην κατασκευή των ακρομωλίων, των άκρων δηλαδή των μώλων, γιατί θίγονται κάτα διάφορους τρόπους και διάφορες διευθύνσεις από τους κυματισμούς. Τα ακρομώλια με κεκλιμένα πρανή δημιουργούν μεγάλα στόμια λιμανιών, γιατί χάνεται απόσταση, ανάμεσα στα ακρομώλια. Γι' αυτό

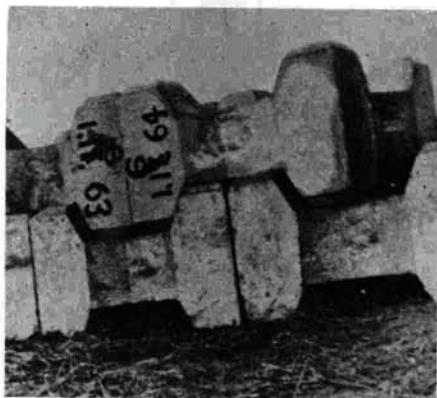


Σχ. 9.5δ.
Ανάρτηση ενός ογκόλιθου (τετράποδο) από γερανό.



Σχ. 9.5ε.
Διατομή της εξωτερικής παρείας με ογκόλιθους πολύπλοκης γεωμετρικής μορφής.

προτιμούνται τα ακρομώλια με κατακόρυφα πρανή, που προκαλούν αντανάκλαση του κυματισμού και κρατούν τα σκάφη μακριά από τον τοίχο, σε αντίθεση με τα κεκλιμένα, όπου η ενέργεια των κυμάτων μετατρέπεται σε μεταφορική και παρασύρει τα επιπλέοντα σώματα.

**Σχ. 9.5α.**

Τοποθέτηση ογκολίθων με πολύπλοκο γεωμετρικό σχήμα.

**Σχ. 9.5ζ.**

Προστασία εξωτερικής πλευράς με κενά τετράεδρα βάρους 2 tn.

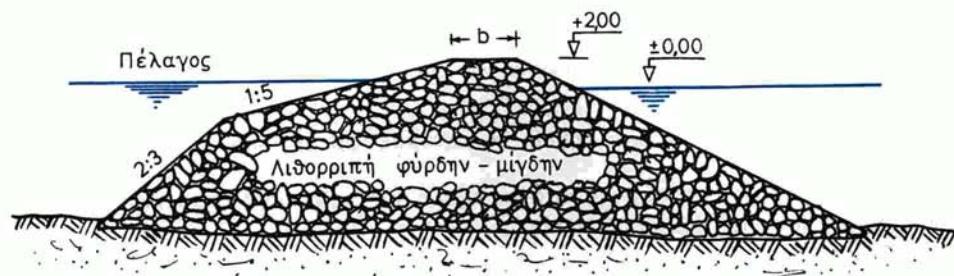
Τα εξωτερικά έργα με κατακόρυφα μέτωπα αποτελούνται από ψηλό τοίχο ο οποίος στηρίζεται σε αρκετό βάθος κάτω από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Η κορυφή του εξέχει από τη μέση στάθμη τόσο ώστε να μηδενίζεται η ποσότητα κυματισμού που υπερπηδάει.

Ο υπολογισμός της ευστάθειας των κατακορύφων πρανών πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή.

9.6 Κατασκευή εξωτερικών έργων φύρδην-μίγδην.

Σύμφωνα με το σύστημα αυτό οι πέτρες τοποθετούνται χωρίς καμιά διαλογή. Τη διατομή και το μέγεθος των λίθων καθορίζει ο υπεύθυνος μελετητής.

Τα έργα με το σύστημα φύρδην-μίγδην απαιτούν μεγάλες διαστάσεις διατομής, για να μπορούν να αντισταθούν στη δράση των κυμάτων. Γι' αυτό, είναι δαπανηρά. Εκτός όμως από τη δαπάνη κατασκευής τους απαιτείται σημαντική δαπάνη για τη συντήρησή τους, επειδή τα ανώτερα στρώματα συχνά καταρρέουν. Όσον αφορά όμως την κατασκευή τους είναι πολύ εύκολη.



Σχ. 9.6.

Διατομή εξωτερικού λιμενικού έργου κατασκευασμένου με λιθορριπή σύμφωνα με το σύστημα φύρδην-μίγδην.

9.7 Κατασκευή εξωτερικών έργων σύμφωνα με το σύστημα κατά διαλογή.

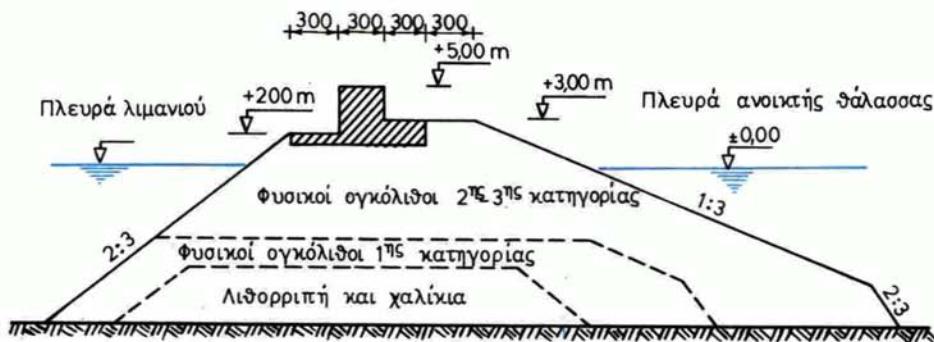
Η κατασκευή με το σύστημα αυτό γίνεται από διαλεγμένα υλικά τα οποία ανάλογα με το βάρος τους διακρίνονται στις εξής για την Ελλάδα κατηγορίες:

1η κατηγ. με βάρος Β μικρότερο από 3 kg	(B < 3 kg)
2η κατηγ. με βάρος Β από 3 ως 100 kg	(3 < B < 100 kg)
3η κατηγ. με βάρος Β από 100 ως 1300 kg	(100 < B < 1300 kg)
4η κατηγ. με βάρος Β από 1300 ως 3900 kg	(1300 < B < 3900 kg)
5η κατηγ. με βάρος Β μεγαλύτερο από 3900	(B > 3900 kg)

Στό κάτω μέρος τοποθετούνται τα έλαφρότερα υλικά και στο επάνω τα βαρύτερα για να μην παρασύρονται από τους κυματισμούς (σχ. 9.5β).

Επειδή όμως πρακτικά δεν είναι δυνατό οι πέτρες να τοποθετηθούν κατά αυξανόμενο βάρος και να δημιουργηθούν έτσι ακριβώς διαχωρισμένες στρώσεις, η τοποθέτηση τους γίνεται κατά στρώματα πάχους 2-3 m τα οποία περιλαμβάνουν μια ή και δύο κατηγορίες υλικών.

Όταν το εύρος του κύματος είναι μεγάλο, οπότε με το σπάσιμό του στο πρανές υπερπηδά τη στέψη, κατασκευάζεται επάνω στη στέψη της λιθορριπής και σε όλο το πλάτος της ή σε μέρος της, ένας προστατευτικός τοιχός από σκυρόδεμα ή λιθοδομή (σχ. 9.7).



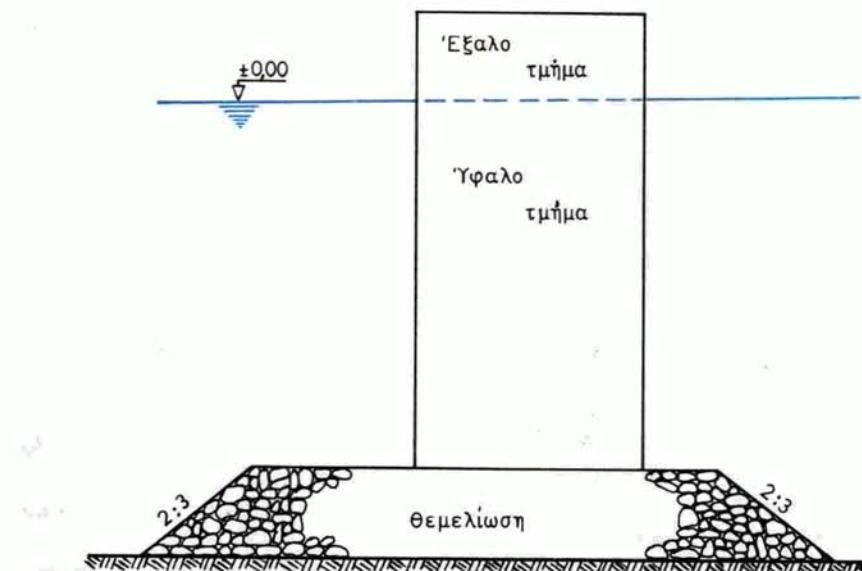
Σχ. 9.7.
Διατομή μώλου με τόχο στη στέψη του.

9.8 Κατασκευή εξωτερικών έργων με κατακόρυφα μέτωπα.

Ο τρόπος αυτός εφαρμόζεται όταν εκτός από το βασικό τους σκοπό χρησιμοποιούνται για την παραβολή πλοίων.

Ένα τέτοιο έργο μπορούμε να το διακρίνομε στα εξής μέρη (σχ. 9.8α).

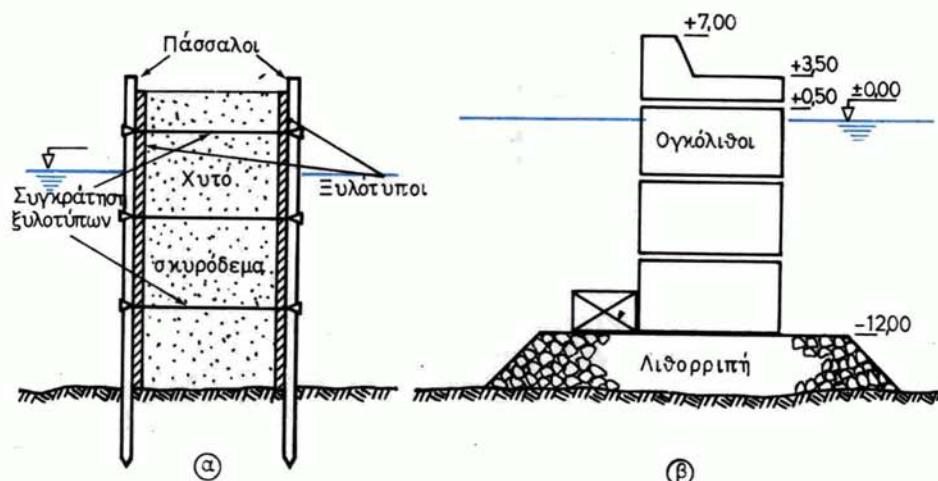
- Τη θεμελίωση ή υποδομή.
- Το ύφαλο τμήμα, αυτό δηλαδή που βρίσκεται κάτω από τη μέση στάθμη της θάλασσας (Μ.Σ.Θ.).
- Το έξαλο τμήμα, αυτό δηλαδή που βρίσκεται επάνω από τη Μ.Σ.Θ.



Σχ. 9.8α.
Εξωτερικό λιμενικό έργο με κατακόρυφα μέτωπα.

Τα έργα με κατακόρυφα μέτωπα (σχ. 9.8α) προκαλούν τη δημιουργία στάσιμου κύματος. Στο στάσιμο κύμα κάθε μόριο νερού διαγράφει κατακόρυφη τροχιά, παράλληλη προς το μέτωπο. Παρατηρείται δηλαδή για κάθε σημείο μια επιτόπια ανύψωση και καθίζηση που γίνεται διαδοχικά κορυφή και κοίλωμα. Το αποτέλεσμα από αυτή την κίνηση του νερού επάνω στο κατακόρυφο μέτωπο είναι ότι αναπτύσσεται η υδροστατική μόνο πίεση.

Η οριζόντια πίεση δεν υπάρχει, αφού το νερό κινείται κατακόρυφα. Έτσι απλουστεύονται οι υπολογισμοί. Χρειάζεται όμως προσοχή, γιατί κατακόρυφή κίνηση προκαλεί φόρτιση του πυθμένα με κίνδυνο υποσκαφής του κοντά στο έργο και κατ' επέκταση ανατροπής ολόκληρου του έργου.



Σχ. 9.8β.

Διατομή έργου με κατακόρυφα μέτωπα: α) Από χυτό σκυρόδεμα. β) Από τεχνητούς ογκόλιθους.

Τα έργα με κατακόρυφα μέτωπα ανάλογα με τον τρόπο και τα υλικά κατασκευής τους διακρίνονται:

- Σε έργα από χυτό σκυρόδεμα [σχ. 9.8β(α)].
- Σε έργα από προκατασκευασμένους τεχνητούς ογκόλιθους [σχ. 9.8β(β)].
- Σε έργα από μεγάλα πλωτά κιβώτια (caissons) (σχ. 9.8γ).
- Σε έργα από πασσαλοφράγματα που γεμίζουν ενδιάμεσα με αμμυνοχάλικο.

9.9 Εσωτερικά λιμενικά έργα.

Τα έργα αυτά γίνονται μέσα στο λιμάνι και διακρίνονται σε **έργα προσορμήσεως** (κρηπίδες, γέφυρες πλευρίσεως, δελφίνες), **έργα εγκαταστάσεων** και **μηχανικού εξοπλισμού**.

Στις κρηπίδες και στις γέφυρες πλευρίσεως γίνεται η φορτοεκφόρτωση των εμπορευμάτων και η επιβίβαση ή αποβίβαση των επιβατών. Όταν το φυσικό



Σχ. 9.8γ.

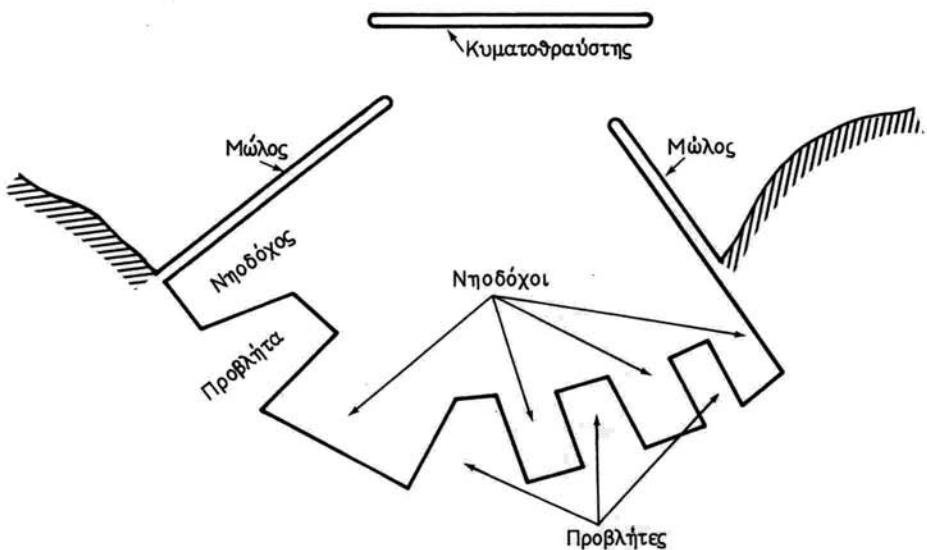
Μεταφορά του τελευταίου caisson με το οποίο έκλεισε ο θαλάσσιος δίαυλος του Grevelingen στην Ολλανδία.

ανάπτυγμα της ακτής δεν είναι αρκετό αυξάνεται με τη δημιουργία νηοδόχων ή προβλητών (σχ. 9.9α).

Οι νηοδόχοι δημιουργούνται στην ξηρά με την εκσκαφή μιας λιμενολεκάνης. Ενώ οι προβλήτες δημιουργούνται από την ακτή προς τη θάλασσα.

Η αύξηση του μήκους με τη δημιουργία νηοδόχων προτιμάται όταν τα εδάφη είναι μαλακά και η επιφάνεια τους ομαλή. Αντίθετα η κατασκευή προβλητών όταν τα εδάφη είναι βραχώδη και απότομα. Σε κάθε πάντως περίπτωση η δημιουργία νηοδόχων έχει αποτέλεσμα να προκύπτουν προβλήτες, ενώ στην περίπτωση κατασκευής προβλητών έχουμε ως αποτέλεσμα νηοδόχους.

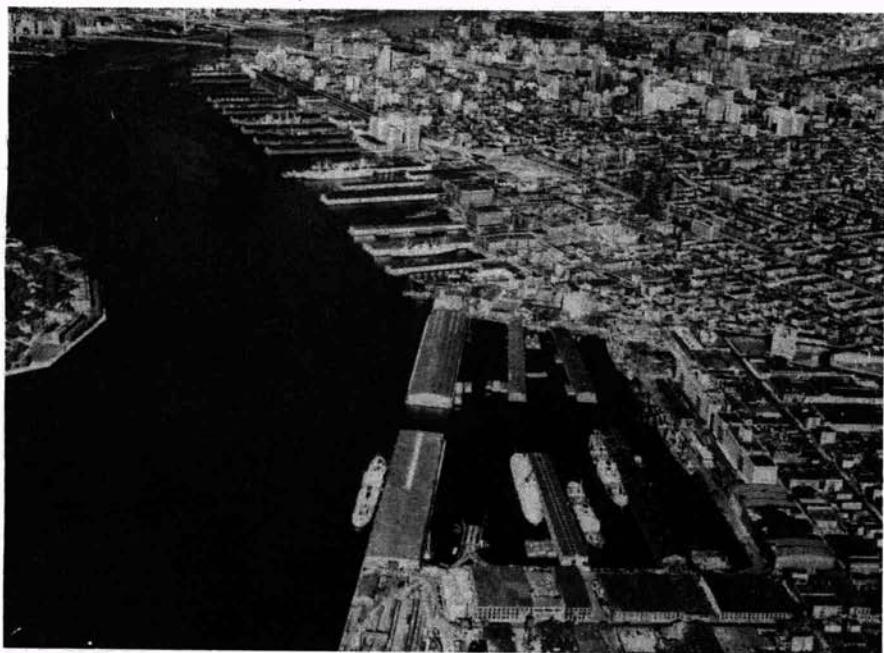
Η διάταξη των προβλητών και των νηοδόχων (σχ. 9.9α) εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και τα πορίσματα των μελετών λειτουργίας του λιμανιού (σχήματα 9.9β και 9.9γ). Το μήκος τους εξαρτάται από το μέγεθος και τον αριθμό των πλοίων. Για κάθε πλοίο πρέπει να διατίθεται μήκος κρηπιδώματος 30-40 m μεγαλύτερο από το μήκος πλοίου. Το πλάτος της προβλήτας πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μπορεί εύκολα να γίνει η εγκατάσταση δρόμων, σιδηροδρομικών γραμμών, υποστέγων (πλάτος 150 m) (σχ. 9.9δ). Οι νηοδόχοι πρέπει να έχουν πλάτος 100-150 m.

**Σχ. 9.9α.**

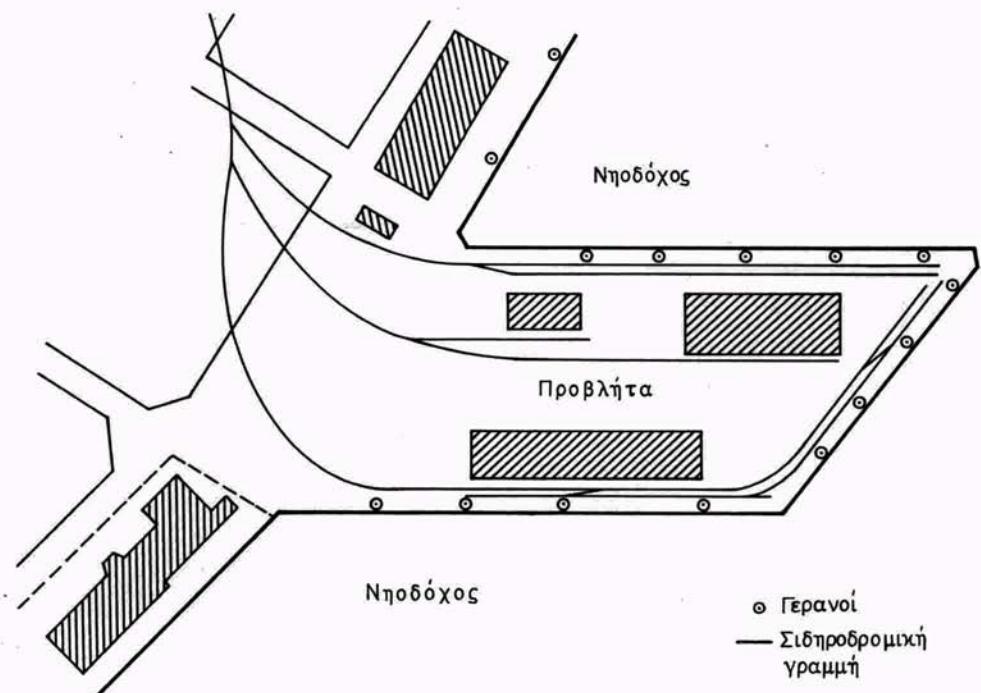
Σχηματική διάταξη κρηπιδώσεως της ακτής. Αύξηση της κρηπιδωμένης ακτής με νηοδόχους και προβλήτες.

**Σχ. 9.9β.**

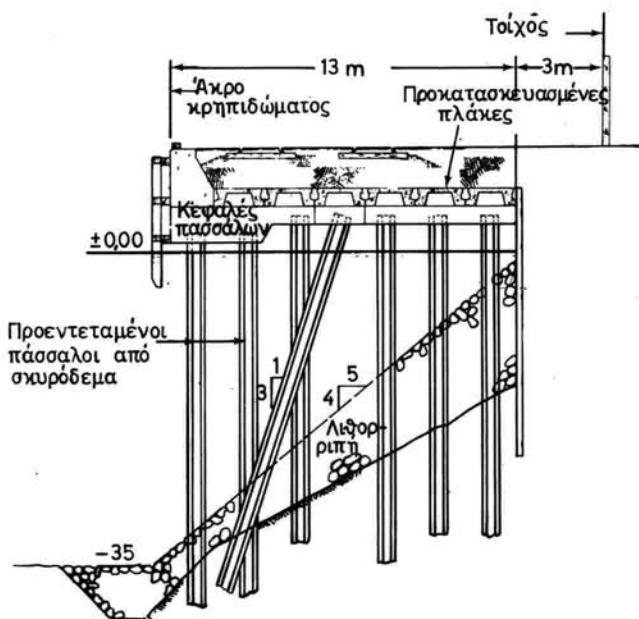
Τμήμα του λιμανιού της Νέας Υόρκης στην περιοχή Brooklyn.



Σχ. 9.9γ.
Αεροφωτογραφία τμήματος του λιμανιού της Νέας Υόρκης.

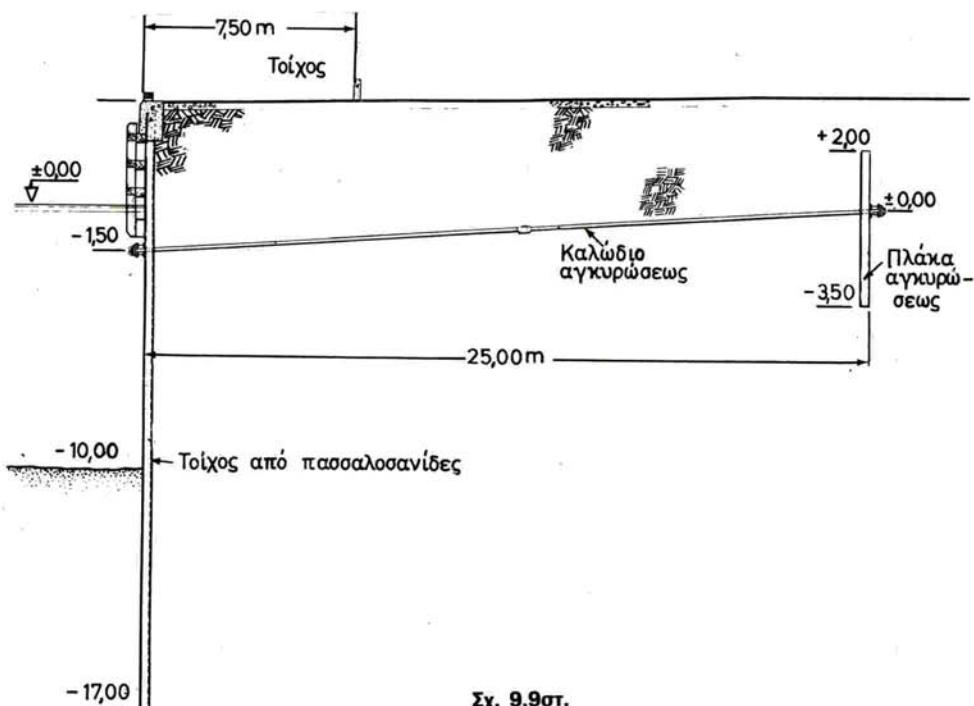


Σχ. 9.9δ.
Διάταξη εγκαταστάσεων σε προβλήτα.



Σχ. 9.9ε.

Τυπική διατομή εσωτερικού έργου. Κατασκευή του κρηπιδώματος με τη βοήθεια προεντεταμένων πασσάλων.



Σχ. 9.9στ.

Τυπική διατομή κρηπιδώματος, με τη βοήθεια πασσαλοσανίδων.

Ένα **κρηπίδωμα** αποτελείται από δύο στοιχεία: **τον κρηπιδότοιχο** (κατακόρυφο στοιχείο) και **τη ζώνη εξοπλισμού** (γερανοί μόνιμοι ή κινητοί, αποθήκες, σιδ. γραμμές κλπ.) Οι κρηπιδότοιχοι είναι τοίχοι που στην Ελλάδα κατασκευάζονται από τεχνητούς ογκόλιθους, χωρίς να αποκλείεται και η κατασκευή τους από πάσσαλους (σχήματα 9.9€ και 9.9στ).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Στοιχεία Υδραυλικής

1.1 Γενικά	1
1.2 Ιδιότητες των υγρών	2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Υδροστατική

2.1 Υδροστατική πίεση	5
2.2 Μονάδες πιέσεως	6
2.3 Πίεση υγρού πάνω στα τοιχώματα δεξαμενών	7
2.4 Εφαρμογές	8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Ροή του νερού

3.1 Γενικές έννοιες	11
3.2 Παροχή – Εξίσωση συνέχειας της ροής	11
3.3 Θεμελιώδης εξίσωση υδροδυναμικής (Νόμος Bernoulli)	13
3.4 Τριβές – Αντιστάσεις	15
3.5 Εφαρμογές υδροδυναμικής	18
3.6 Εκροή υγρού από οπή δοχείου	20
3.7 Εκχειλιστές	21
3.8 Ροή σε κλειστούς αγωγούς	26
3.9 Ροή σε ανοικτούς αγωγούς	31
3.10 Εφαρμογές	36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Υδρευση

4.1 Γενικά	40
4.2 Ποιότητα του νερού	40
4.3 Προσδιορισμός αναγκών σε νερό	43

4.3.1 Γενικά	43
4.3.2 Διακύμανση της καταναλώσεως	45
4.4 Έργα υδροληψίας	48
4.4.1 Υδροληψία από επιφανειακούς υδάτινους πόρους	48
4.4.2 Υδροληψία από πηγαίους υδάτινους πόρους	50
4.4.3 Υδροληψία από υπόγειους υδάτινους πόρους	55
4.4.4 Υδροληψία από βρόχινο νερό	57
4.5 Αντλίες	58
4.5.1 Η παροχή	58
4.5.2 Μανομετρικό ύψος	59
4.5.3 Η απορροφούμενη ισχύς	59
4.5.4 Βαθμός αποδόσεως της αντλίας	59
4.5.5 Το ύψος αναρροφήσεως	60
4.6 Καθαρισμός του νερού	60
4.6.1 Συσσωμάτωση	60
4.6.2 Καθίζηση	62
4.6.3 Διώλιση	66
4.6.4 Αποστείρωση του νερού	74
4.6.5 Αποσκλήρυνση	77
4.7 Αποθήκευση του νερού	78
4.7.1 Χωρητικότητα των δεξαμενών	79
4.7.2 Είδη δεξαμενών	82
4.7.3 Όργανα λειτουργίας	86
4.8 Προσαγωγή και διανομή του νερού	89
4.8.1 Χάραξη του αγωγού	89
4.8.2 Τεχνικά έργα του αγωγού μεταφοράς	92
4.9 Δίκτυα διανομής	98
4.9.1 Συστήματα διανομής	98
4.10 Σωλήνες υδρεύσεων	100
4.10.1 Είδη σωλήνων	100
4.10.2 Σύνδεσμοι σωλήνων	106

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

Φράγματα

5.1 Γενικά	110
5.2 Είδη φραγμάτων	112
5.2.1 Φράγματα βαρύτητας	112
5.2.2 Φράγματα θολωτά	116
5.2.3 Χωμάτινα φράγματα	120
5.2.4 Κινητά φράγματα	133
5.3 Βοηθητικά τεχνικά έργα	135
5.3.1 Υπερχειλιστής	135
5.3.2 Εκκενωτής	143
5.3.3 Υδροληψία	143
5.3.4 Διατάξεις μειώσεως της ενέργειας	143
5.4 Υδατοπτώσεις	152
5.4.1 Ύψος πτώσεως	152
5.4.2 Ισχύς υδροδύναμικών εγκαταστάσεων	153
5.4.3 Τύποι υδροδύναμικών εγκαταστάσεων	154
5.4.4 Το υδραυλικό πλήγμα	154
5.4.5 Προστατευτικά έργα	155
5.4.6 Υδροστρόβιλοι	157

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Έλεγχος πλημμυρών

6.1 Σχηματισμός των ρευμάτων	161
6.2 Χαρακτηριστικά του χειμάρρου	161
6.3 Φερτά υλικά	163
6.4 Διαβρόσεις	164
6.5 Σκοπός των έργων προστασίας	166
6.6 Έργα διευθετήσεως χειμάρρων	171
6.6.1 Παράλληλα έργα	171
6.6.2 Εγκάρσια έργα	180
6.7 Έργα διευθετήσεως ποταμών	188
6.7.1 Μορφολογία των ποταμών	188
6.7.2 Βελτίωση συνθηκών ροής	190
6.7.3 Συγκράτηση πλημμυρικών παροχών σε τεχνητές λίμνες	191
6.7.4 Αναχώματα	193

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

Αποχετεύσεις

7.1 Γενικά	196
7.2 Αντικείμενο των αποχετεύσεων – Αποχετευτικό δίκτυο	196
7.3 Συστήματα αποχετεύσεων	197
7.3.1 Παντορροϊκό σύστημα	197
7.3.2 Χωριστικό σύστημα	199
7.4 Υπολογισμός του δικτύου	200
7.4.1 Αποχέτευση βροχής	200
7.4.2 Αποχέτευση ακαθάρτων	204
7.4.3 Βάσεις υπολογισμού – παραδοχές	205
7.5 Τεχνικά έργα του δικτύου	206
7.5.1 Στόμια υδροσυλλογής	206
7.5.2 Φρεάτια επισκέψεων-συμβολών	208
7.6 Κατασκευή του δικτύου	211
7.6.1 Μελέτη και οργάνωση	211
7.6.2 Κατασκευή	212
7.7 Αποχετευτικοί αγωγοί	216
7.7.1 Πηλοσωλήνες	217
7.7.2 Χυτοσιδερένιοι σωλήνες	218
7.7.3 Αμιαντοσιμεντοσωλήνες	218
7.7.4 Πλαστικοί σωλήνες	218
7.7.5 Τσιμεντοσωλήνες	220
7.7.6 Ειδικές κατασκευές από σκυρόδεμα	221
7.8 Μόλυνση του νερού	232
7.9 Μορφές ρυπάνσεως	232
7.10 Ικανότητα αυτοκαθαρισμού	233
7.11 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο	235
7.12 Έλεγχος της ρυπάνσεως – Επεξεργασία λυμάτων	235
7.12.1 Εσχαρισμός	236
7.12.2 Αμμοσυλλέκτης	237
7.12.3 Δεξαμενές επιπολής (λιποσυλλέκτες)	237
7.12.4 Καθίζηση	238
7.12.5 Χαλικοδιύλιστηρια	240
7.12.6 Επεξεργασία με ενεργό ιλύ	240
7.12.7 Οξειδωτικές τάφροι	242

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

Αρδεύσεις

8.1	Γενικά	246
8.2	Το έδαφος	247
8.3	Σχέση νερού-φυτού	247
8.4	Το νερό στο έδαφος	248
8.5	Αρδευτικά δίκτυα	249
8.5.1	Αρδευτικά δίκτυα ανοικτών αγωγών	250
8.5.2	Πρωτεύοντες, δευτερεύοντες, τριτεύοντες διώρυγες	250
8.5.3	Διώρυγες και τάφροι	252
8.5.4	Προκατασκευασμένοι τσιμενταύλακες (καναλέττα)	255
8.5.5	Αρδευτικά δίκτυα σωληνωτών αγωγών	256
8.6	Μέθοδοι αρδεύσεως	257
8.6.1	Επιφανειακή άρδευση	259
8.6.2	Υπόγεια άρδευση ή υπάρδευση	263
8.6.3	Άρδευση με τεχνητή βροχή (καταιονισμός)	264
8.6.4	Στάγδην άρδευση	267
8.7	Τεχνικά έργα αρδευτικών δικτύων	269
8.7.1	Έργα υδροληψίας	270
8.7.2	Έργα παροχετεύσεως	270
8.7.3	Έργα διανομής	271

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

Λιμενικά έργα

9.1	Ορισμός και κατηγορίες λιμανιών	278
9.1.1	Πολεμικά λιμάνια	279
9.1.2	Εμπορικά λιμάνια	280
9.1.3	Ελεύθερα λιμάνια	281
9.1.4	Λιοάνια αναψυχής ή τουριστικά λιμάνια (μαρίνες)	281
9.2	Τμήματα λιμανιού	283
9.2.1	Εξωτερικό λιμάνι ή προλιμάνι	283
9.2.2	Εσωτερικό λιμάνι	283
9.3	Εξωτερικά λιμενικά έργα	285
9.4	Εσωτερικά λιμενικά Έργα	289
9.5	Κατασκευή εξωτερικών λιμενικών έργων	292
9.6	Κατασκευή εξωτερικών έργων φύρδην-μίγδην	296
9.7	Κατασκευή εξωτερικών έργων σύμφωνα με το σύστημα κατά διαλογή	296
9.8	Κατασκευή εξωτερικών έργων με κατακόρυφα μέτωπα	297
9.9	Εσωτερικά λιμενικά έργα	298

COPYRIGHT ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

