



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΛΕΙΣΤΩΝ
ΑΓΩΓΩΝ ΣΤΑ ΚΑΤΑΝΤΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ
ΒΡΑΧΟΥ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ**

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΚΟΡΟΜΠΛΙΑ ΣΟΦΙΑ-ΜΠΟΥΡΓΟΥ ΕΛΕΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΖΗΣΙΜΑΤΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή μας κ. Κλουκίνα Παναγιώτη, Πολιτικό Μηχανικό και τον επιβλέποντα καθηγητή μας για την πτυχιακή εργασία μας κ. Ζησιμάτο Γεώργιο για την κατατόπιση, καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές καθ' όλη τη διάρκεια της πραγματοποίησης της εργασίας μας.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Πολιτικό Μηχανικό κ. Ματσουλιάδη Βασίλειο και τη γεωλόγο Κυριαζοπούλου-Βατσιάδου Θωμαής για τη συνεργασία τους και τη διάθεση των στοιχείων της μελέτης που ήταν απαραίτητα για τη διεξαγωγή της εργασίας μας.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στον σχεδιασμό και στην κατασκευή αρδευτικού δικτύου κλειστών αγωγών με σκοπό την αξιοποίηση των νερών του φράγματος «Βράχου Ν. Καστοριάς». Το έργο αυτό έχει το πλεονέκτημα ότι αξιοποιεί ύδατα ανανεώσιμα όπως το νερό της βροχής, των χειμάρρων και των ποταμών (επιφανειακές απορροές) τα οποία διαφορετικά θα χάνονταν στην θάλασσα με αποτέλεσμα να δημιουργούν αποθέματα επιφανειακά, που είναι πιο εύκολα αξιοποιήσιμα.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται η γεωμορφολογική και γεωγραφική θέση της περιοχής που θα κατασκευαστεί το έργο καθώς επίσης και η χρησιμότητα του.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εκτενή αναφορά πάνω στην θεωρία που σχετίζεται με την ροή υπό πίεση σε κλειστούς αγωγούς. Μελετάμε την πιεζομετρική γραμμή και την γραμμή ενέργειας όταν προκαλούνται τοπικές διαταραχές στον αγωγό(συστολή, απότομη διεύρυνση, κ.λπ.). Περιγράφεται ο τρόπος σύνδεσης σωληνώσεων και ο υπολογισμός τους με τα θεωρήματα ενέργειας και συνέχειας.

Παρακάτω γίνεται αναφορά στις δεξαμενές ,στις αντλίες, στις συσκευές ελέγχου και ασφάλειας που υπάρχουν στο δίκτυο μας. Στο τελευταίο κεφάλαιο λαμβάνοντας ορισμένες παραδοχές υπολογίζουμε τη βέλτιστη διαμέτρηση του πρώτου δικτύου του έργου που μελετάμε. Τέλος έγινε αναλυτική παρουσίαση του σχεδιασμού του δικτύου και προσθέσαμε φωτογραφίες κατά τη διάρκεια κατασκευής του έργου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Χρήση ταμιευτήρων για την αξιοποίηση των επιφανειακών απορροών

1.1. Η σημασία της αξιοποίησης του επιφανειακού νερού (απορροών)	6
1.2. Διερευνήσεις για την επιλογή κατάλληλης περιβαλλοντικά θέσης, για την κατασκευή δεξαμενής συγκράτησης	7
1.3. Παρουσίαση και χρησιμότητα του έργου	8
1.4. Γενικά τεχνικά στοιχεία λειτουργίας του αρδευτικού δικτύου	10
1.5. Προβλήματα ποιότητας του αρδευτικού νερού	11

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Στοιχεία σχεδιασμού δικτύων κλειστών (υπό πίεση) αγωγών

2.1 Ροή υπό πίεση σε κλειστούς αγωγούς	13
2.1.1 Χαρακτηρισμός της ροής	13
2.1.2 Στρωτή και τυρβώδης ροή – Αριθμός Reynolds	14
2.2 Πιεζομετρική γραμμή – Γραμμή ενέργειας – Τοπικές απώλειες σε ροή υπό πίεση	17
2.2.1 Απότομη διεύρυνση της διατομής (BORDA)	20
2.2.2 Είσοδος σωλήνα σε δεξαμενή μεγάλων διαστάσεων	22
2.2.3 Απότομη στένωση της διατομής	23
2.2.4 Ομαλή αύξηση της διατομής (Διαχυτής)	25
2.2.5 Απώλειες λόγω αλλαγής διεύθυνσης – διακλαδώσεις – βάνες	27
2.3 Προσδιορισμός γραμμικών απωλειών σε ροή υπό πίεση – εμπειρικοί τύποι	29
2.3.1 Τύπος του Chezy	29
2.3.2 Τύπος του Kutter	29
2.3.3 Τύπος του Manning	30
2.3.4 Τύπος των Hazen – Williams	30
2.4 Συστήματα σωληνώσεων	31
2.4.1 Υπολογισμοί συστημάτων σωλήνων	32
2.4.2 Υπολογισμός αγωγών σε σειρά	34
2.4.3 Υπολογισμός παράλληλων αγωγών	34
2.4.4 Ισοδύναμοι αγωγοί	36
2.5 Δεξαμενές	36
2.5.1 Σύνδεση δεξαμενών	37
2.6 Υδροδυναμικές μηχανές στα δίκτυα – Αντλίες	38
2.6.1 Είδη αντλιών	38

2.6.2 Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλιών	39
2.6.3 Σημείο λειτουργίας αντλίας – δικτύου	40
2.6.4 Παράλληλη σύνδεση αντλιών	41
2.6.5 Καθαρό ύψος αναρρόφησης αντλίας	42
2.7 Συσκευές ελέγχου και ασφάλειας δικτύου	44
2.7.1 Δικλείδες ελέγχου	45
2.7.2 Αερεξαγωγοί - αεροεισαγωγοί βαλβίδες	45
2.7.3 Βαλβίδες μείωσης πίεσης	46
2.7.4 Αντιπληγματικές βαλβίδες	47
2.7.5 Εκκενωτές	47
2.8 Ειδικά προβλήματα αγωγών	48
2.8.1 Γήρανση των αγωγών ενός δικτύου	48
2.8.2 Σπηλαίωση	49
2.8.3 Υδραυλικό πλήγμα	49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Υπολογισμός και κατασκευή του δικτύου

3.1 Παραδοχές υπολογισμών σωληνώσεων	52
3.1.1 Απώλειες αγωγών	52
3.1.2 Επιτρεπόμενες ταχύτητες	52
3.2 Υπολογισμός δικτύου	53
3.2.1 Αναλυτική παρουσίαση του σχεδιασμού του δικτύου	58
3.2.2 Σωληνώσεις	61
3.3 Υπολογισμός ειδικών διατάξεων δικτύου – Αντιπληγματική προστασία	64
3.3.1 Παραδοχές υπολογισμού	65
3.3.2 παρουσίαση αποτελεσμάτων	66
3.4 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες δικτύου	73

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	83
--------------	----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	84
-----------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Χρήση ταμιευτήρων για την αξιοποίηση των επιφανειακών απορροών

1.1 Η σημασία της αξιοποίησης του επιφανειακού νερού (απορροών)

Η απαίτηση χρήσης νερού είναι μια ανάγκη συνεχώς ανερχόμενη στις σύγχρονες και αναπτυσσόμενες κοινωνίες. Η ύδρευση του πληθυσμού λόγω της βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου, της σύγχρονης οικιστικής δραστηριότητας και του τρόπου ζωής, απαιτεί συνεχώς μεγαλύτερες ποσότητες καθαρού πόσιμου νερού για οικιακή χρήση και βιομηχανική χρήση. Παράλληλα αυξάνονται οι ανάγκες για τις αρδεύσεις των καλλιεργειών, τις αγροτικές βιομηχανίες, τις πυρκαγιές και τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις, χρήσεις για τις οποίες δεν είναι ανάγκη να σπαταλούνται τα αποθέματα του καθαρού νερού. Σε αυτά έρχονται να προστεθούν οι επιπλέον δυσκολίες και ανάγκες που φέρνει η κλιματική αλλαγή, ιδιαίτερα στην αγροτική οικονομία.

Με τον όρο υδατικά αποθέματα, αναφερόμαστε πρωτίστως στα φυσικά υπόγεια ύδατα, δηλαδή στο νερό που συγκρατείται στο υπέδαφος μεταξύ των πετρωμάτων και σχηματίζει τον λεγόμενο υδροφόρο ορίζοντα. Το έδαφος μοιάζει με ένα μεγάλο σφουγγάρι που τραβάει το επιφανειακό νερό μέχρι τον υδροφόρο ορίζοντα και έτσι σχηματίζεται μια υπόγεια δεξαμενή νερού (Σχήμα 1.1). Το υπόγειο νερό συνήθως αντλείται με γεωτρήσεις, από πολύ μεγάλο βάθος, ενώ τα αποθέματά του συχνά δεν ανανεώνονται επαρκώς και δεν είναι ανεξάντλητα. Επιπλέον, η αλόγιστη άντληση μπορεί να οδηγήσει σε υποβάθμιση του υδροφόρου ορίζοντα, μόλυνση με ακατάλληλα αποθέματα ή με θαλασσινό νερό, αχρήστευση του αποθέματος και τελικώς σε ερημοποίηση της περιοχής.



Σχήμα 1.1 Απεικόνιση υδροφόρου εδαφικού στρώματος

Επομένως, κρίνεται αναγκαία ή δημιουργία τεχνητών υδατικών

αποθεμάτων με την κατασκευή τεχνητών λιμνών και ταμιευτήρων. Αυτού του είδους οι υποδομές έχουν το πλεονέκτημα ότι αξιοποιούν ύδατα ανανεώσιμα όπως το νερό της βροχής, των χειμάρρων και των ποταμών (επιφανειακές απορροές) τα οποία διαφορετικά θα χάνονταν στην θάλασσα και δημιουργούν αποθέματα επιφανειακά, συνεπώς πιο εύκολα αξιοποιήσιμα.

Η ανομοιομορφία των βροχοπτώσεων στις αγροτικές περιοχές και οι κλιματικές αλλαγές κάνουν αναγκαία την αποθήκευση του νερού σε δεξαμενές συγκράτησης, για την αποφυγή της διαφυγής και απώλειάς του μέσω του υδρογραφικού συστήματος στη θάλασσα. Απαραίτητη είναι η μελέτη των υδρολογικών στοιχείων και της επίδρασής των στον υδρολογικό κύκλο, που οδηγούν στην ελάττωση των βροχοπτώσεων και την ανομοιόμορφη κατανομή τους στις διάφορες περιοχές.

Η κατασκευή των δεξαμενών συγκράτησης απαιτεί την πραγματοποίηση διεξοδικών ερευνών για την επιλογή της κατάλληλης και περιβαλλοντικά αποδεκτής θέσης. Για παράδειγμα η τοποθέτηση κατάλληλης χωρητικότητας δεξαμενών συγκράτησης εντός του δάσους για πυροσβεστικούς σκοπούς, σε ενδεικνυόμενες θέσεις, θα συμβάλει στην προστασία του δάσους. Επιδιώκονται εκτιμήσεις για την αναμενόμενη ποιότητα των νερών, μέσω της κατάρτισης θεματικού χάρτη των πηγών ρύπανσης της αγροτικής περιοχής και της πιθανής εξέλιξης των ρυπαντικών φορτίων. Επίσης αναφέρεται η δυνατότητα επεξεργασίας νερών αποδεκτών, με επιδίωξη παραγωγής κατάλληλης ποιότητας νερών, για μια επιλεγμένη δευτερεύουσα χρήση (άρδευση, βιομηχανική χρήση, άλλη) και η αποθήκευσή τους σε δεξαμενή συγκράτησης.

1.2 Διερευνήσεις για την επιλογή κατάλληλης περιβαλλοντικά θέσης, για την κατασκευή δεξαμενής συγκράτησης

Κατ' αρχήν απαιτούνται διεξοδικές έρευνες, για την επιλογή της θέσης όπου θα εξετάζονται τα δεδομένα των υφισταμένων βροχομετρικών στοιχείων, η εξάτμιση και οι εδαφικές απώλειες λόγω διήθησης και κατείσδυσης του νερού, προς τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. Η κατασκευή των δεξαμενών συγκράτησης πρέπει να γίνεται σε περιβαλλοντικά αποδεκτές θέσεις. Για το λόγο αυτό εξετάζονται οι επιπτώσεις στο γεωργικό περιβάλλον, όπως οι προκαλούμενες από την ελάττωση της επιφανειακής απορροής στην εδαφική βλάστηση, ο εμπλουτισμός των υπόγειων νερών και άλλα.

Επιδιώκονται εκτιμήσεις για την αναμενόμενη ποιότητα των νερών, που θα συγκεντρωθούν. Ένας θεματικός χάρτης που περιλαμβάνει τις πηγές ρύπανσης στην υδρογεωλογική λεκάνη που τροφοδοτεί τη δεξαμενή συγκράτησης, μπορεί να παράσχει ενδείξεις για την πιθανή εξέλιξη των ρυπαντικών φορτίων και την οικολογική κατάσταση που θα διαμορφωθεί. Αυτή εξαρτάται από: τα βιολογικά στοιχεία (φυτοπλαγκτόν, μακρόφυτα, βένθος),

υδρομορφολογικά στοιχεία (υδρολογικό καθεστώς, μορφολογικές συνθήκες) και φυσικοχημικά στοιχεία. Απαραίτητη κρίνεται η επιλογή των ποιοτικών στοιχείων και η στατιστική παρακολούθηση των ενδεικτικών παραμέτρων που αφορούν: τα βιολογικά ποιοτικά στοιχεία, τα υδρομορφολογικά, τα στοιχεία γενικής φυσικοχημικής ποιότητας και τους ρύπους του καταλόγου προτεραιότητας που απορρίπτονται στη λεκάνη απορροής ποταμού.

1.3 Παρουσίαση και χρησιμότητα του έργου

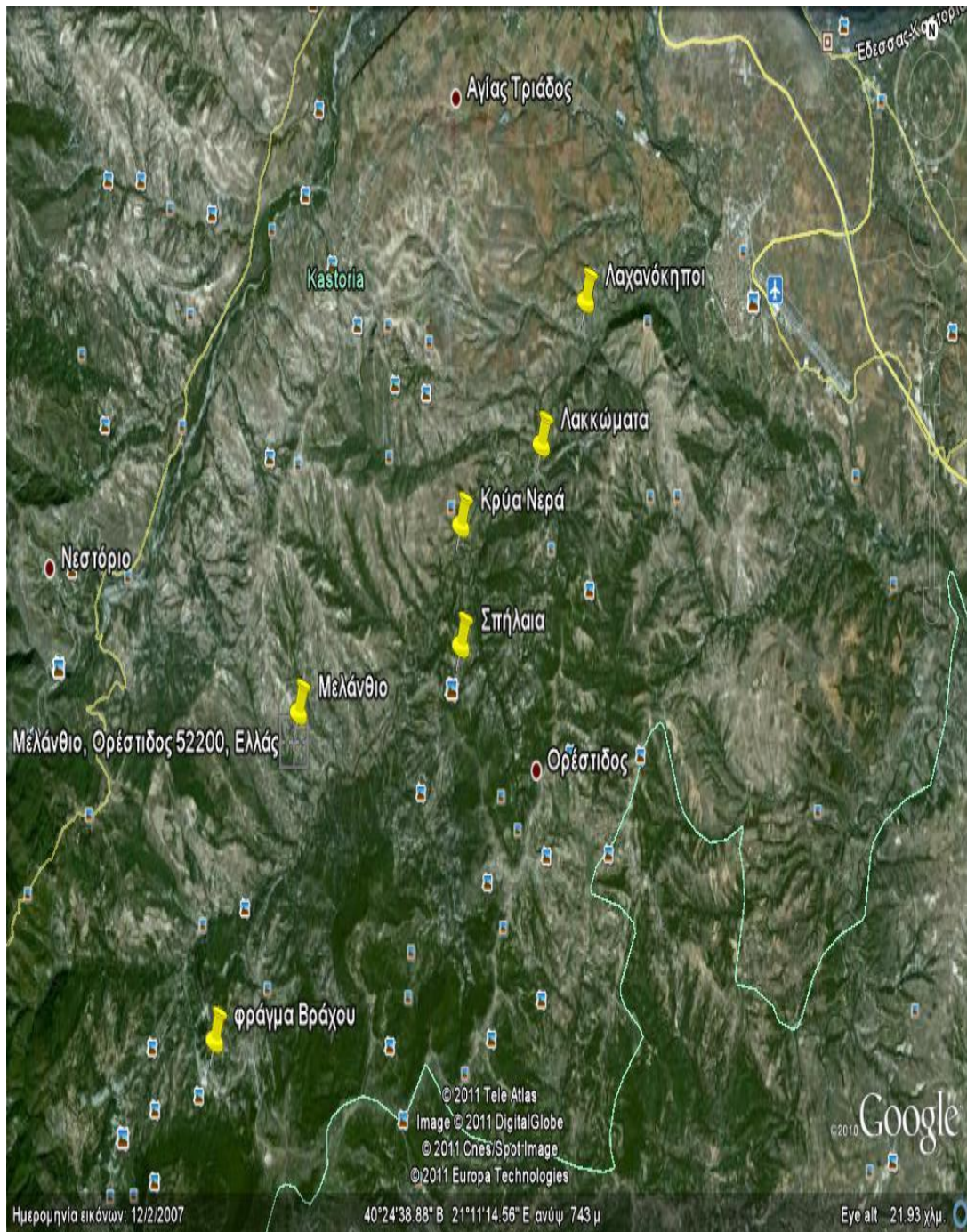
Το έργο που εξετάζει η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά στην κατασκευή κλειστού σωληνωτού αρδευτικού δικτύου για την αξιοποίηση των νερών του φράγματος «Βράχου Ν. Καστοριάς», που απεικονίζεται στο Σχήμα 1.2. Το φράγμα ωφέλιμης χωρητικότητας $1,73 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ κατασκευάζεται στην κοίτη του χειμάρρου Μπουγάζι περί τα 23 km από την πόλη της Καστοριάς. Το νερό του φράγματος θα αρδεύει καθαρή γεωργική έκταση περίπου 5.600 στρ. σε αγροτεμάχια του Καποδιστριακού Δήμου Ορεστίδος.



Σχήμα 1.2 Το φράγμα του Βράχου στην Καστοριά

Η ευρύτερη περιοχή του έργου βρίσκεται στην κοιλάδα που διαμορφώνεται από τον χείμαρρο που φέρει, κατά διαστήματα, την ονομασία Δροσερό, Γκρουσώτικο, Ζαμπουραντιώζικο και Στραβοπόταμος.

Η έκταση που θα αρδευτεί βρίσκεται στο νότιο τμήμα του Ν. Καστοριάς πολύ κοντά προς τα βόρεια σύνορα της επαρχίας Βοΐου του Ν. Κοζάνης. Η όλη περιοχή εκτείνεται κατά μήκος της Επαρχιακής οδού Άργους Ορεστικού – Λάγκας. Η καθαρή γεωργική γη είναι 5.870 στρ ενώ η καθαρή αρδεύσιμη έκταση του δικτύου Βράχου είναι 5.600 στρ. με πρόβλεψη να αρδευτεί μελλοντικά επί πλέον έκταση 880-900 στρ. στους Λαχανόκηπους (επεκτάσεις Λαχανόκηπων), εφόσον επαρκούν οι διαθέσιμες απολήψεις από το φράγμα Βράχου. Αναλυτικά προβλέπεται να αρδευτούν ανά αγρόκτημα συνολικά : Μελάνθιο 625 στρ., Σπήλαια 100 στρ., Κρύα Νερά 1.293 στρ., Λακκώματα 2.456 στρ. και Λαχανόκηποι 1.396 στρ. Τα υψόμετρα εδάφους των αρδευόμενων περιοχών είναι από +804 μέχρι +629, με τα μεγαλύτερα υψόμετρα στο Μελάνθιο και τα μικρότερα στους Λαχανόκηπους. Η μορφολογία της περιοχής απεικονίζεται στην δορυφορική φωτογραφία του Σχήματος 1.3 (πηγή Google Earth)



Σχήμα 1.3 Γεωγραφία και γεωμορφολογία της περιοχής του έργου

1.4 Γενικά τεχνικά στοιχεία λειτουργίας του αρδευτικού δικτύου

Η προβλεπόμενη γενική διάταξη των δικτύων έχει προσαρμοσθεί στο υφιστάμενο ιδιοκτησιακό καθεστώς καθώς και στο υφιστάμενο αποχετευτικό

και αγροτικό οδικό δίκτυο, χωρίς την πρόβλεψη αναδασμού.

Στα προτεινόμενα έργα περιλαμβάνονται τα έργα σωληνώσεων προσαγωγής και διανομής καθώς και τα απαραίτητα για την λειτουργία του δικτύου τεχνικά έργα και εξοπλισμός. Για την άρδευση της περιοχής θα χρησιμοποιηθεί το νερό του φράγματος Βράχου, το οποίο έχει ανωτάτη στάθμη ΑΣΥ +955 και κατωτάτη στάθμη υδροληψίας ΚΣΥ +934. Οι μεγάλες διαφορές υψομέτρων της περιοχής επέβαλαν το χωρισμό του δικτύου σε δύο μικρότερα δίκτυα εν σειρά, με εκτάσεις 1606 στρ. και 4265 στρ. Τα δίκτυα αυτά τροφοδοτούνται από δύο δεξαμενές ρύθμισης την Ο1 και την Ο2, αντίστοιχα. Η όλη λειτουργία του συστήματος ελέγχεται αυτόματα, με χρήση ρυθμιστικών βαλβίδων (Needle Valves), ώστε να ικανοποιείται η ακριβής ζήτηση, χωρίς να δημιουργούνται ανεπιθύμητες υπερχειλίσεις. Η άρδευση προβλέπεται να γίνει με δίκτυα τεχνητής βροχής ή με στάγδην άρδευση. Για το σκοπό αυτό το νερό προσάγεται από το φράγμα Βράχου με βαρύτητα μέσω δικτύου μονίμως εγκατεστημένων υπόγειων σωληνωτών αγωγών εφοδιασμένων με υδροληψίες αρδέσεως ενός στομίου, ονομαστικής παροχής 6 λ/δλ ή 9 λ/δλ. Οι πρωτεύοντες αγωγοί του δικτύου κατασκευάζονται από σωλήνες ελατού χυτοσίδηρου ενώ οι δευτερεύοντες και τριτεύοντες αγωγοί από σωλήνες πολυαιθυλενίου 3^{ης} γενιάς. Οι σωληνωτοί αγωγοί τοποθετούνται δίπλα στο αγροτικό οδικό δίκτυο. Η διάταξη του δικτύου δεν προϋποθέτει την εφαρμογή αναδασμού.



Σχήμα 1.4 Τμήμα του δικτύου μεταφοράς

1.5 Προβλήματα ποιότητας του αρδευτικού νερού

Υπάρχουν τέσσερα γενικά προβλήματα που αφορούν την ποιότητα του εδάφους και την ανάπτυξη των φυτών:

- i. Αλατότητα του εδάφους
- ii. Διηθητικότητα ή διαπερατότητα του εδάφους
- iii. Τοξικότητα ορισμένων ιόντων στα φυτά και
- iv. Ειδικά προβλήματα σε σχέση με την ανάπτυξη των φυτών.

Προβλήματα αλατότητας

Παρουσιάζεται όταν τα άλατα που συσσωρεύονται στη ζώνη των ριζών, προκαλούν μείωση της απόδοσης των φυτών. Η συσσώρευση των αλάτων στο ριζόστρωμα των αρδευόμενων εκτάσεων μπορεί να προέλθει είτε από αλατούχο υψηλής στάθμης υπόγειο νερό ή από άλατα του εφαρμοζόμενου νερού. Η μείωση των αποδόσεων των καλλιεργειών επέρχεται όταν τα φυτά χάσουν τη ικανότητα απορρόφησης ικανοποιητικών ποσοτήτων νερού από το αλατούχο διάλυμα. Τα άλατα που προκαλούν τα προβλήματα αλατότητας είναι ευδιάλυτα και κινούνται γρήγορα με το νερό. Ένα μέρος των αλάτων που συσσωρεύτηκαν από προηγούμενες αρδεύσεις μπορεί να μετακινηθεί πιο κάτω από το ριζόστρωμα εάν η ποσότητα που μπορεί να συγκρατηθεί στην αντίστοιχη εδαφική ζώνη. Η έκπλυση είναι το κλειδί που ρυθμίζει το πρόβλημα της αλατότητας. Σε μια ορισμένη χρονική περίοδο, τα άλατα που απομακρύνονται με την έκπλυση πρέπει να είναι περισσότερα ή ίσα με εκείνα που προστίθενται με το νερό εφαρμογής.

Προβλήματα διηθητικότητας

Παρουσιάζονται όταν η φυσική διηθητικότητα του νερού εφαρμογής ή της βροχής μειώνεται αρκετά και το νερό παραμένει στη επιφάνεια του εδάφους για μεγαλύτερο χρόνο ή η διήθηση γίνεται πιο αργά. Οι δύο κυριότεροι παράγοντες της ποιότητας του νερού που επηρεάζουν τη διηθητικότητα είναι η αλατότητα του νερού και η αναλογία του νατρίου προς το άθροισμα ασβεστίου και μαγνησίου. Η υψηλή αλατότητα του νερού αυξάνει τη διηθητικότητα. Η χαμηλή αλατότητα ή η υψηλή αναλογία του νατρίου μειώνει τη διηθητικότητα. Το πρόβλημα της διηθητικότητας από την ποιότητα του νερού, παρουσιάζεται με τη σταθερότητα της δομής του επιφανειακού εδάφους.

Προβλήματα τοξικότητας

Παρουσιάζονται όταν κάποια στοιχεία (ιόντα) του εδάφους ή του νερού προσλαμβάνονται από τα φυτά συσσωρεύονται σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλώντας βλάβες ή μείωση των αποδόσεων τους. Τα ιόντα που προκαλούν τοξικά προβλήματα είναι του χλωρίου, νατρίου και βορίου. Βλάβες προκαλούνται όταν τα τοξικά ιόντα προσροφώνται σε σημαντικές ποσότητες από τις ρίζες και κατά τη μεταφορά τους συσσωρεύονται στα φύλλα με τη διαπνοή. Τοξικότητα μπορεί να προκληθεί και από την προσρόφηση των τοξικών ιόντων από τα φύλλα κατά τη διαβροχή τους με το νερό από τους εκτοξευτήρες. Το νάτριο και το χλώριο είναι από τα κυριότερα ιόντα που προσροφώνται από τα φύλλα.

Ειδικά προβλήματα

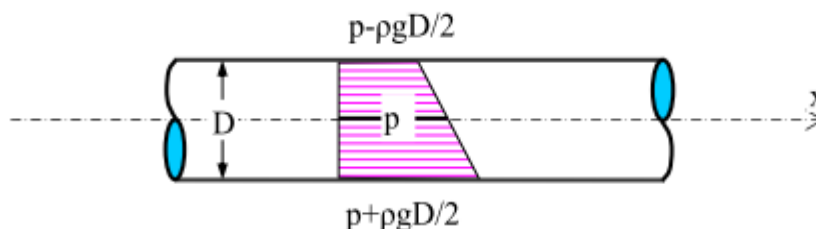
Σε αυτή την ομάδα περιλαμβάνονται προβλήματα ανάπτυξης καλλιεργειών, που οφείλονται στην ποιότητα του νερού, όπως είναι η υπερβολική ανάπτυξη των καλλιεργειών, η καθυστέρηση της ωρίμανσης ως αποτέλεσμα της παρουσίας αζώτου στο νερό, οι λευκές αποθέσεις στα φρούτα και τα φύλλα που οφείλονται στην άρδευση με ψεκασμό με νερό υψηλής περιεκτικότητας σε όξινα ανθρακικά. Προβλήματα μπορούν να υπάρξουν, ακόμα σε σχέση με το pH, την υψηλή οξύτητα ή την υψηλή αλκαλικότητα. Οι κατηγορίες του νερού ταξινομούνται ανάλογα με τη συγκέντρωση του νιτρικού και αμμωνιακού αζώτου, των όξινων ανθρακικών και του pH. Πρόσθετα ειδικά προβλήματα που έχουν σχέση με την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας, μπορεί να υπάρχουν όταν οι υδάτινοι πόροι που είναι διαθέσιμοι για άρδευση, ρυπαίνονται από αστικά, βιομηχανικά και γεωργικά απόβλητα. Τα προβλήματα αυτά είναι ιδιαίτερα έντονα και απαιτούν κατάλληλους χειρισμούς για την αντιμετώπιση τους, όταν τα επεξεργασμένα λύματα χρησιμοποιούνται για άρδευση καλλιεργούμενων εκτάσεων και δημόσιων χώρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Στοιχεία σχεδιασμού δικτύων κλειστών (υπό πίεση) αγωγών

2.1 Ροή υπό πίεση σε κλειστούς αγωγούς

Ως *ροή υπό πίεση* ορίζουμε αυτή στην οποία το ρευστό καλύπτει ολόκληρη τη διατομή του αγωγού, ενώ η πίεση είναι διαφορετική από την ατμοσφαιρική. Δεν υπάρχει ελεύθερη επιφάνεια αφού τα όρια της ροής συμπίπτουν με τα τοιχώματα του αγωγού. Με αγωγούς υπό πίεση μεταφέρουμε νερό για ύδρευση, άρδευση ή για την κίνηση των υδροδυναμικών μηχανών (υδροτροβίλων). Συνήθως χρησιμοποιούμε κυκλικούς αγωγούς (σωλήνες) και αγωγούς ορθογωνικής ή τετραγωνικής διατομής. Η πίεση κατανέμεται υδροστατικά, κάθετα στις γραμμές ροής (ή στην κύρια διεύθυνση του αγωγού). Συνήθως, όταν αναφερόμαστε στην πίεση, εννοούμε αυτή στον άξονα του αγωγού. Ιδιαίτερα, υδροστατική κατανομή της πίεσης εμφανίζεται στην περιοχή μόνιμης και ομοιόμορφης ροής που είναι η περισσότερο συνηθισμένη περίπτωση ροής σε αγωγούς υπό πίεση. Στον οριζόντιο σωλήνα του σχήματος με ομοιόμορφη παράλληλη ροή, η πίεση στην κατώτερη και ανώτερη γενέτειρα του σωλήνα διαφέρει από αυτή στον άξονα κατά $\pm \rho g D/2$ αντίστοιχα.



Σχήμα 2.1 Υδροστατική κατανομή πιέσεων σε σωλήνα με μόνιμη ροή

2.1.1 Χαρακτηρισμός της ροής

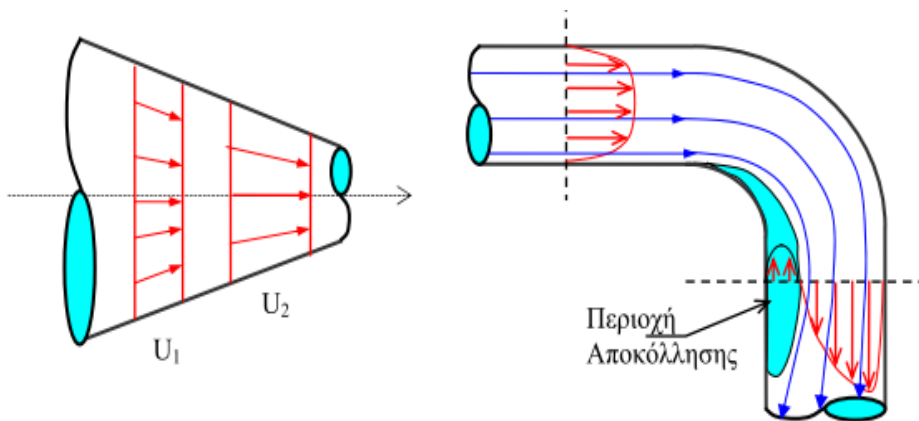
Σαν μόνιμη ομοιόμορφη ροή ορίζουμε τη ροή που πραγματοποιείται σε αγωγούς ικανού μήκους για την οποία:

- ☞ Οι γραμμές ροής είναι παράλληλες μεταξύ τους
- ☞ Η ταχύτητα είναι σταθερή κατά μήκος μιας γραμμής ροής
- ☞ Η πίεση κατανέμεται υδροστατικά, κάθετα στις γραμμές ροής.

Σαν μόνιμη ανομοιόμορφη ροή ορίζουμε τη ροή στην οποία το διάνυσμα της ταχύτητας μεταβάλλεται κατά μήκος της γραμμής ροής (ακόμη και αν υπάρχει ομοιόμορφη τοπικά ροή, σε διαφορετικές διατομές του αγωγού). Η μόνιμη ανομοιόμορφη ροή διακρίνεται σε:

- ⊞ Επιταχυνόμενη (συγκλίνουσα) ροή
- ⊞ Επιβραδυνόμενη (αποκλίνουσα) ροή
- ⊞ Ροή σε καμπύλη.

Μόνιμη ανομοιόμορφη ροή συναντάμε κυρίως στις αλλαγές διαμέτρου του σωλήνα, σε καμπύλες αγωγών (οριζοντιογραφικές ή σε μηκοτομή αλλαγές κατεύθυνσης του αγωγού), σε συσκευές ελέγχου της ροής (μετρητές Venturi) καθώς και στην εισροή ή την εκροή από και προς δεξαμενές αντίστοιχα.



Σχήμα 2.2 Ροή σε κωνικό αγωγό με τοιχώματα που συγκλίνουν (αριστερά) και σε καμπύλη 90° αλλαγής διεύθυνσης (αριστερά).

2.1.2 Στρωτή και τυρβώδης ροή – Αριθμός Reynolds

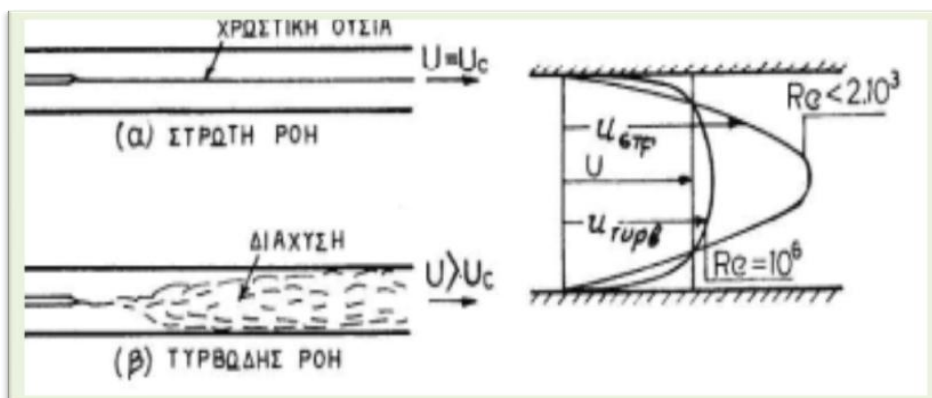
Η ροή υπό πίεση από φυσική άποψη διαχωρίζεται σε:

- ⊞ Στρωτή ροή ονομάζεται η ροή σε ένα αγωγό όταν ο αριθμός Reynolds (Re) είναι μικρότερος από, κάποια «κρίσιμη» τιμή (Re_c). Ο αριθμός Reynolds ορίζεται ως γνωστόν από τη σχέση

$$Re = \frac{VD}{\nu},$$

όπου V είναι κάποια χαρακτηριστική ταχύτητα (συνήθως η μέση ταχύτητα ροής στη διατομή), D είναι κάποιο χαρακτηριστικό μήκος του πεδίου ροής (συνήθως είναι η διάμετρος προκειμένου περί κυκλικού αγωγού ή κάποια άλλη χαρακτηριστική εγκάρσια κλίμακα μήκους) και $\nu = \mu/\rho$ είναι το κινηματικό ιξώδες του ρευστού. Ο κρίσιμος αριθμός Reynolds εξαρτάται από τη γεωμετρία της διατομής του αγωγού. Είναι διαφορετικός σε έναν κυκλικό αγωγό απ' ό,τι σ' ένα τριγωνικό ή ορθογωνικό που έχουν το ίδιο εμβαδόν εγκάρσιας διατομής. Η τιμή του κρίσιμου αριθμού Reynolds σε σωλήνα (κλειστό αγωγό κυκλικής διατομής) είναι περίπου $2000 \div 2300$. Στην πράξη είναι δυνατόν να επιτύχουμε στρωτή ροή σε σωλήνα με αριθμό Reynolds έως και 10000 . Η ροή όμως είναι ιδιαίτερα (υδροδυναμικά) ασταθής και η παραμικρή διαταραχή (όπως ένα κτυπηματάκι στο σωλήνα) θα τη μετατρέψει αμέσως σε τυρβώδη.

☞ Τυρβώδης ροή ονομάζεται η ροή για την οποία ο Re υπερβαίνει κάποια κρίσιμη τιμή Re_c . Σε κυκλικούς αγωγούς (σωλήνες) υπό πίεση συνήθως θεωρούμε ότι $Re_c = 2000-2300$. Στην πράξη, τα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο Πολιτικός Μηχανικός σε σωλήνες, αφορούν τυρβώδη ροή. Πρακτικά μιλώντας, ένας σωλήνας οικιακής παροχής διαμέτρου 1.85cm δηλαδή $3/4''$ μπορεί να γεμίσει το καζανάκι στην τουαλέτα χωρητικότητας 5Lt σε χρόνο μικρότερο του ενός λεπτού της ώρας. Αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα ροής είναι τουλάχιστον 30cm/s , δηλαδή ο αριθμός $Re = 30 \times 1.85 / 0.01 = 5500 > Re_c$ ($\nu \approx 0.01\text{cm}^2/\text{s}$ για θερμοκρασία νερού περί τους 20°C). Οι αγωγοί μεταφοράς νερού από την 'πηγή' στη δεξαμενή ενός οικισμού καθώς επίσης και οι αγωγοί του δικτύου ύδρευσης του οικισμού έχουν εσωτερική διάμετρο τουλάχιστον 90mm , η παροχή που μεταφέρουν είναι της τάξης μερικών Lt/s , η δε τιμή του αριθμού Reynolds μπορεί να κυμαίνεται από 100000 έως και μερικά εκατομμύρια.

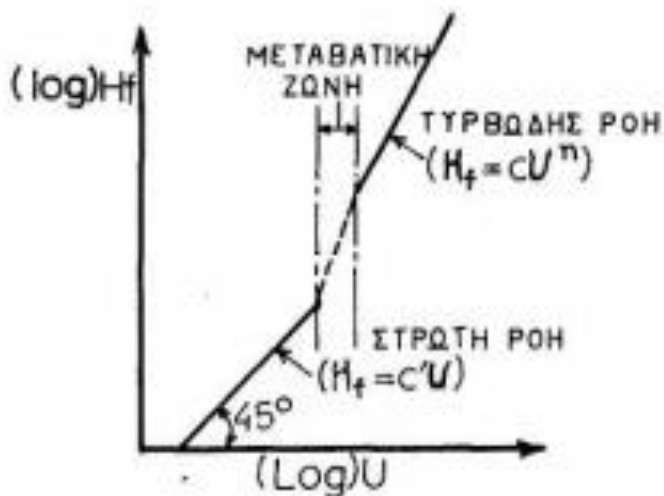


Σχήμα 2.3 (α) Στρωτή και (β) Τυρβώδης ροή σε σωλήνα

Όπως φαίνεται στο παραπάνω Σχήμα 2.3, μακροσκοπική συνέπεια του τυρβώδη χαρακτήρα της ροής είναι να μεταβληθεί η κατανομή των ταχυτήτων. Από παραβολική μορφή που έχει το διάγραμμα αυτό σε στρωτή ροή, μετατρέπεται σε διάγραμμα περίπου ομοιόμορφο λογαριθμικής κατανομής. Όσο για τις απώλειες ενέργειας, H_f λόγω τριβής, αυτές μεταβάλλονται με τρόπο ανάλογο με την ταχύτητα V ή την παροχή Q σε στρωτή ροή, δηλαδή :

$$H_f \sim V \text{ ή } Q \text{ (στρωτή ροή)}$$
$$H_f \sim V^n \text{ ή } Q^n \text{ (} n > 1 \text{) (τυρβώδης ροή)}$$

Το σχήμα που ακολουθεί δείχνει σε λογαριθμικές συντεταγμένες τον τρόπο μεταβολής των απωλειών H_f σε συνάρτηση με την ταχύτητα V . Παρατηρούμε την ύπαρξη μιας μεταβατικής ζώνης ανάμεσα στην περιοχή της στρωτής και στην περιοχή της τυρβώδους ροής. Παρόμοια διαγράμματα μπορούμε να πάρουμε για ροές με πίεση σε αγωγούς που δεν έχουν κυλινδρική μορφή.



Σχήμα 2.4 Απώλειες τριβής σε στρωτή και τυρβώδη ροή

2.2 Πιεζομετρική γραμμή – Γραμμή ενέργειας – Τοπικές απώλειες σε ροή υπό πίεση

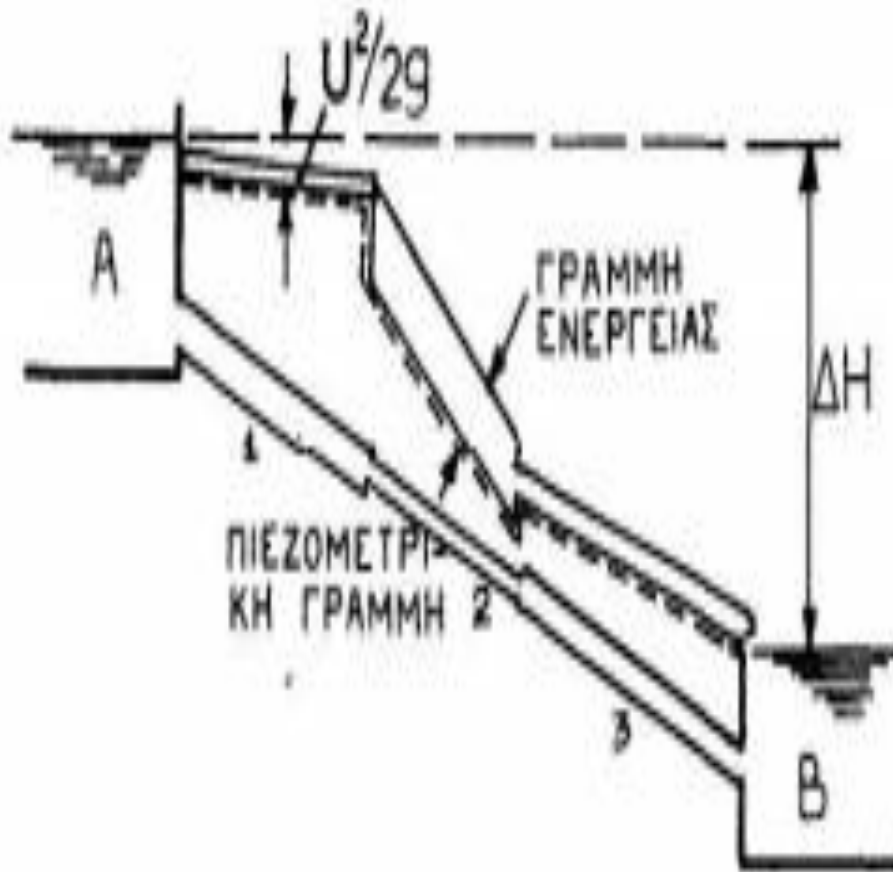
Το συνολικό υδραυλικό φορτίο H είναι το άθροισμα των παρακάτω όρων:

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} = h + \frac{U^2}{2g}$$

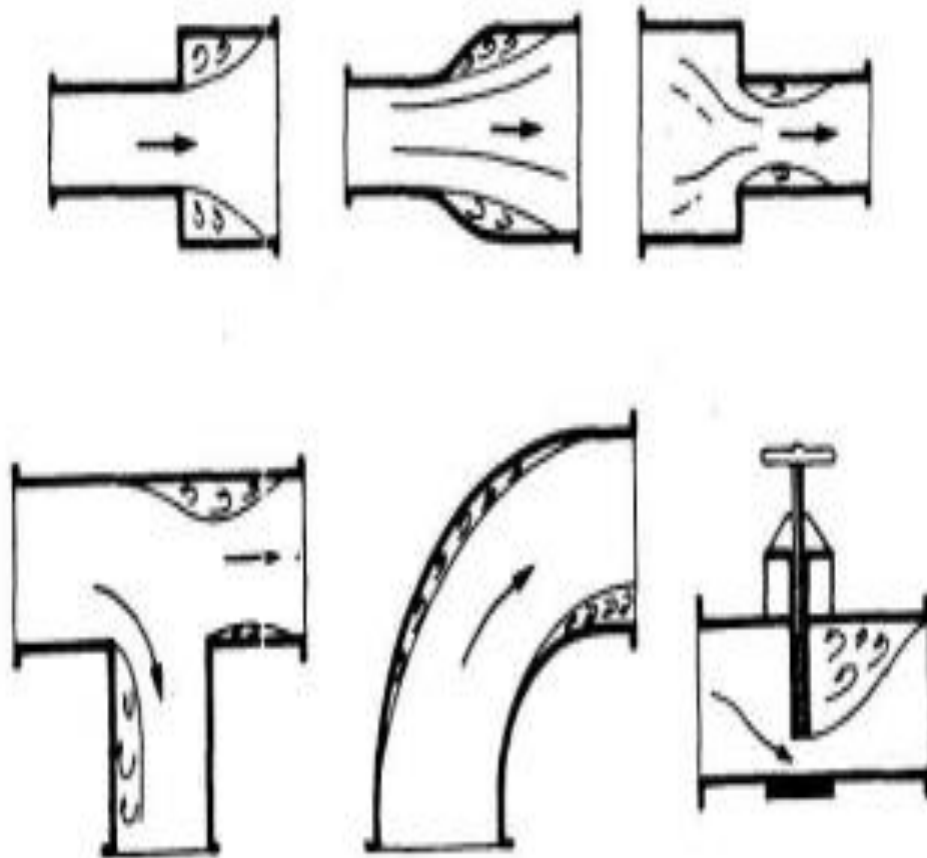
Ο γεωμετρικός τύπος των h δίνει την πιεζομετρική γραμμή, στην οποία παράλληλη είναι η γραμμή ενέργειας $H = V^2/2g + h$ (Σχήμα 2.5).

Ενώ η γραμμή ενέργειας είναι πάντα φθίνουσα κατά τη διεύθυνση της ροής όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.5 για τρεις αγωγούς διαφορετικής διαμέτρου που συνδέουν τις δεξαμενές A και B , η πιεζομετρική γραμμή μπορεί να εμφανιστεί ανοδικά άλματα. Αυτό συμβαίνει στη θέση σύνδεσης ενός αγωγού με άλλο αγωγό μεγαλύτερης διατομής. Στο σημείο αυτό η απότομη μείωση της ταχύτητας δημιουργεί αύξηση της πίεσης.

Τα σημεία αλλαγής διαμέτρου, οι διακλαδώσεις, η παρεμβολή βάνας καθώς και οι διατομές εισόδου και εξόδου σε δίκτυο σωλήνων αποτελούν αιτία τοπικών απωλειών ενέργειας. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.6 η ροή στις θέσεις αυτές εμφανίζει αποκολλήσεις και διαταραχές.



Σχήμα 2.5 Πιεζομετρική γραμμή και γραμμή ενέργειας



Σχήμα 2.6 Τοπικές διαταραχές της ροής σε σωλήνες

Η συμβολή των τοπικών απωλειών τριβής σε σωλήνες εξαρτάται φυσικά από το μέγεθος των γραμμικών απωλειών. Έτσι σε αγωγούς μεγάλου μήκους, όπου οι γραμμικές απώλειες έχουν σημαντική ένταση, οι τοπικές απώλειες μπορεί να είναι αμελητέες και να παραληφθούν. Αντίθετα σε σωλήνες μικρού μήκους οι τοπικές απώλειες μπορεί να αντιστοιχούν σε σημαντικό ποσοστό των συνολικών απωλειών τριβής, οπότε ο υπολογισμός τους αποκτά ιδιαίτερη σημασία.

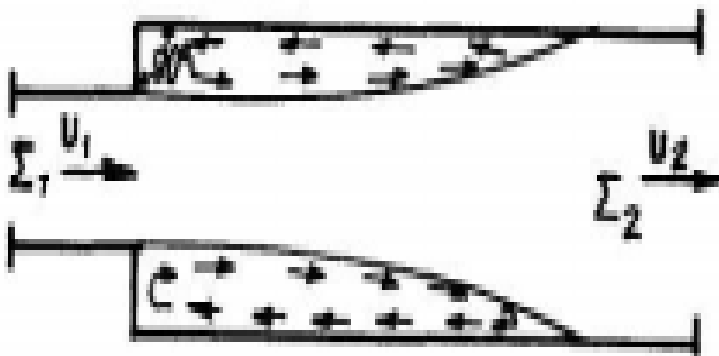
Θεωρητικοί και πειραματικοί λόγοι δείχνουν ότι οι τοπικές απώλειες τριβής ΔH_t συνδέονται με την κινητική ενέργεια της ροής $V^2/2g$ με σχέση της μορφής

$$\Delta H_T = K(U^2/2g)$$

K είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από το είδος της τοπικής ασυνέχειας. Σε μερικές περιπτώσεις ο συντελεστής K μπορεί να υπολογισθεί θεωρητικά. Γενικά όμως οι τιμές του K δίδονται σε πίνακες ειδικευμένων εγχειριδίων εφαρμοσμένης υδραυλικής.

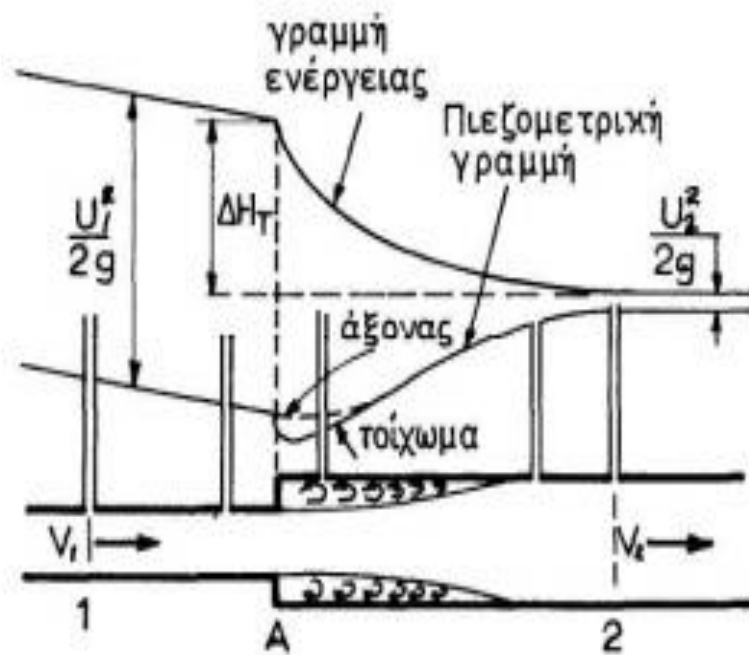
2.2.1 Απότομη διεύρυνση της διατομής (BORDA)

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.7 στην περίπτωση αυτή δημιουργείται αποκόλληση της ροής. Οι ταχύτητες είναι σημαντικές στον κεντρικό πυρήνα ροής ενώ αντίθετα στην περιοχή της διευρυμένης διατομής αναπτύσσεται μια περιστροφική κίνηση με ταχύτητες αντίθετης φοράς προς το κύριο ρεύμα της ροής.



Σχήμα 2.7 Ροή σε απότομη διεύρυνση της διατομής

Τοποθετώντας πιεζομετρικούς σωλήνες κατά μήκος του τοιχώματος μπορούμε να μετρήσουμε την κατανομή των πιέσεων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8. Στη διευρυμένη διατομή, στο σημείο A η πίεση είναι ίση με την πίεση p_1 που αναπτύσσεται στο σωλήνα εισόδου.



Σχήμα 2.8 Κατανομή των πιέσεων και γραμμή ενέργειας σε απότομη διεύρυνση της διατομής.

Εφαρμόζοντας την εξίσωση της ισοστάθμισης των ποσοτήτων κίνησης ανάμεσα στις διατομές A και 2 έχουμε:

$$p_2 \Sigma_2 - p_1 \Sigma_2 = \rho Q (U_1 - U_2)$$

Όπου $\Sigma_2 = \pi D^2/4$ η διατομή του μεγάλου σωλήνα. Η σχέση αυτή γράφεται ακόμα:

$$\frac{p_2 - p_1}{\rho g} = \frac{U_2}{g} (U_1 - U_2)$$

Εφαρμόζοντας το θεώρημα BERNOULLI ανάμεσα στις διατομές A και 2 βρίσκουμε ότι οι τοπικές απώλειες ΔH_T είναι:

$$\Delta H_T = \frac{U_1^2 - U_2^2}{2g} - \frac{p_2 - p_1}{\rho g}$$

Συνδυάζοντας τις παραπάνω σχέσεις βρίσκουμε:

$$\Delta H_T = \frac{U_1^2 - U_2^2}{2g} - \frac{2U_2(U_1 - U_2)}{2g} = \frac{(U_1 - U_2)^2}{2g}$$

ή ακόμη

$$\Delta H_T = \left(1 - \frac{\Sigma_1}{\Sigma_2}\right)^2 \cdot \frac{U_1^2}{2g}$$

Συγκρίνοντας με την αρχική μας εξίσωση, υπεραιίνουμε ότι ο συντελεστής K δίδεται από την εξίσωση:

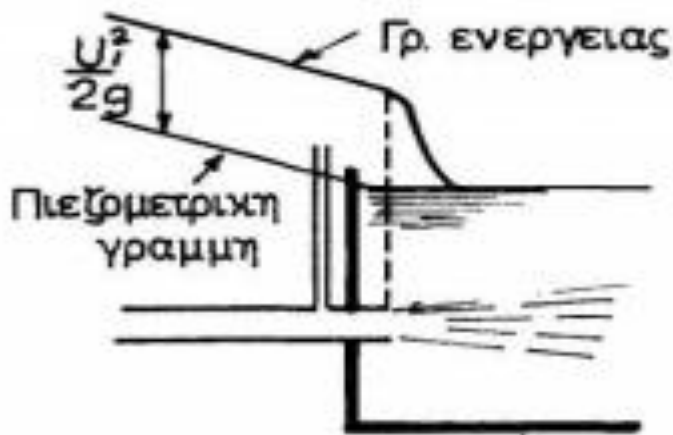
$$K = \left(1 - \frac{\Sigma_1}{\Sigma_2}\right)^2 = \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2\right]^2$$

2.2.2 Είσοδος σωλήνα σε δεξαμενή μεγάλων διαστάσεων

Η ειδική περίπτωση που $\Sigma_2 \rightarrow \infty$ παριστάνει από φυσική άποψη την είσοδο σωλήνα σε δεξαμενή μεγάλων διαστάσεων (Σχήμα 2.9). Στην περίπτωση αυτή ο τύπος δείχνει ότι ο συντελεστής K στη σχέση

$$\Delta H_T = K(U^2/2g)$$

είναι μονάδα (K=1). Η τιμή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις πρακτικές εφαρμογές.



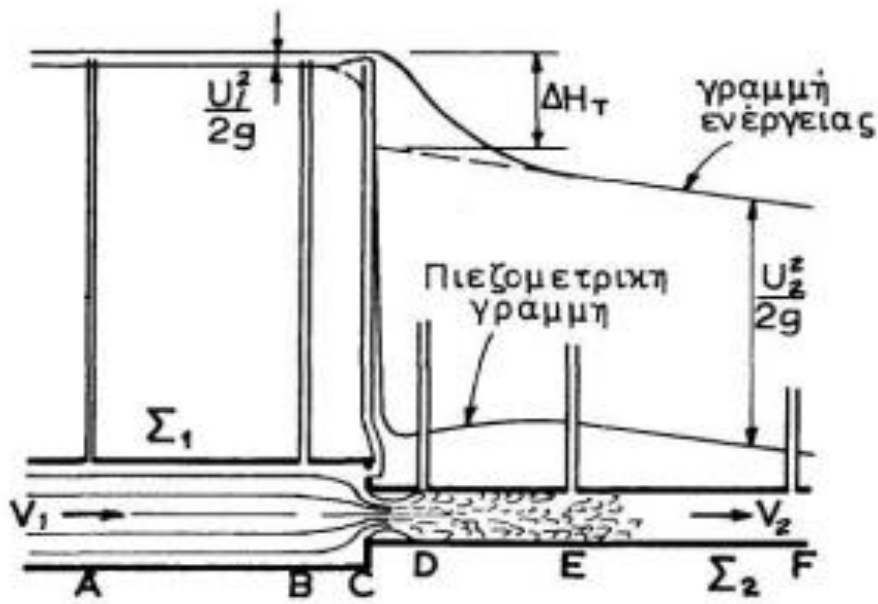
Σχήμα 2.9 Απώλειες ενέργειας στην είσοδο αγωγού σε δεξαμενή

2.2.3 Απότομη στένωση της διατομής

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.10, στην περιοχή της στένωσης παρατηρείται συστολή των γραμμών ροής. Τα πειράματα δείχνουν ότι η διατομή συστολής είναι περίπου $0.6 \Sigma_2 = 0.6 \pi D^2/4$. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.10 η απώλεια ενέργειας ΔH_T οφείλεται στη μετάβαση από τη διατομή συστολής στη διατομή Σ_2 . Μπορούμε λοιπόν να γράψουμε

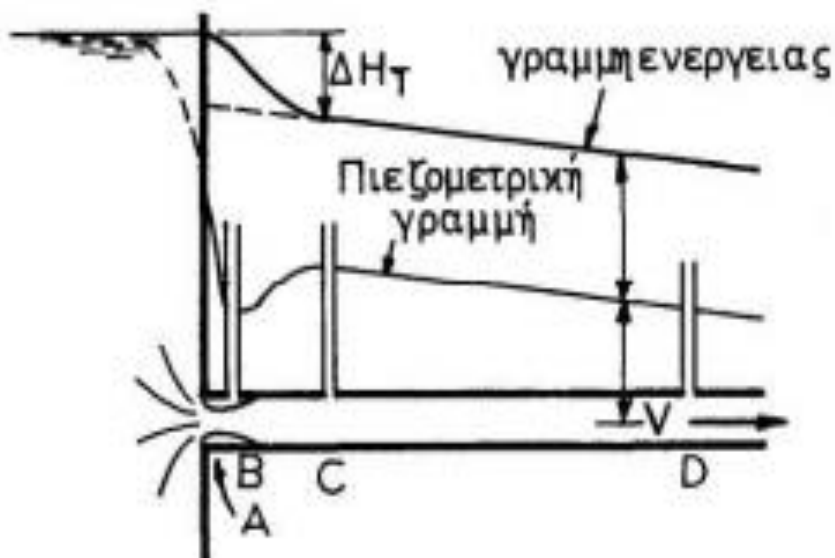
$$\Delta H_T = (1 - 0.6)^2 \frac{(U_2/0.6)^2}{2g} = 0.44 \frac{U_2^2}{2g}$$

Ο συντελεστής K είναι λοιπόν ίσος με 0.44. Στην πράξη παίρνουμε συνήθως $K=0.5$ για απότομη στένωση της διατομής. Την ίδια τιμή του συντελεστή τοπικών απωλειών K μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για την είσοδο σωλήνα από δεξαμενή (Σχήμα 2.11).



Σχήμα 2.10 Ροή σε απότομη στένωση της διατομής

Η τιμή αυτή είναι πολύ πιο μικρή ($K=0.05$) για είσοδο με ομαλή καμπυλότητα των τοιχωμάτων ενώ είναι περίπου 1.0 για είσοδο που εισχωρεί στη δεξαμενή.



Σχήμα 2.11 Απώλειες ενέργειας στην είσοδο από δεξαμενή

2.2.4 Ομαλή αύξηση της διατομής (Διαχυτής)

Η ομαλή μείωση της ταχύτητας με συνέπεια την αύξηση της πίεσης μπορεί να γίνει με κωνικό τμήμα γωνίας α (Σχήμα 2.12). Οι απώλειες ενέργειας σε διαχυτή είναι δύο ειδών:

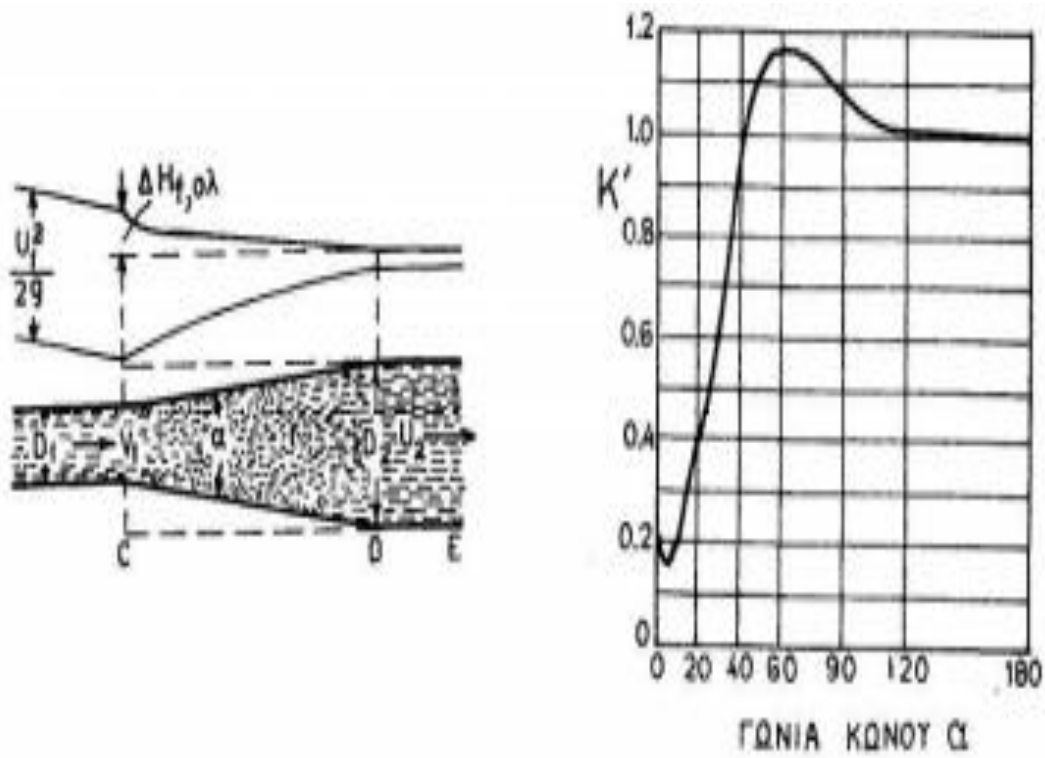
(α) γραμμικές απώλειες ΔH_f που θα μπορούσαν να υπολογισθούν σε μήκος L με ολοκλήρωμα της μορφής

$$\Delta H_f = \int_L \frac{\lambda}{D} \frac{U^2}{2g} dx$$

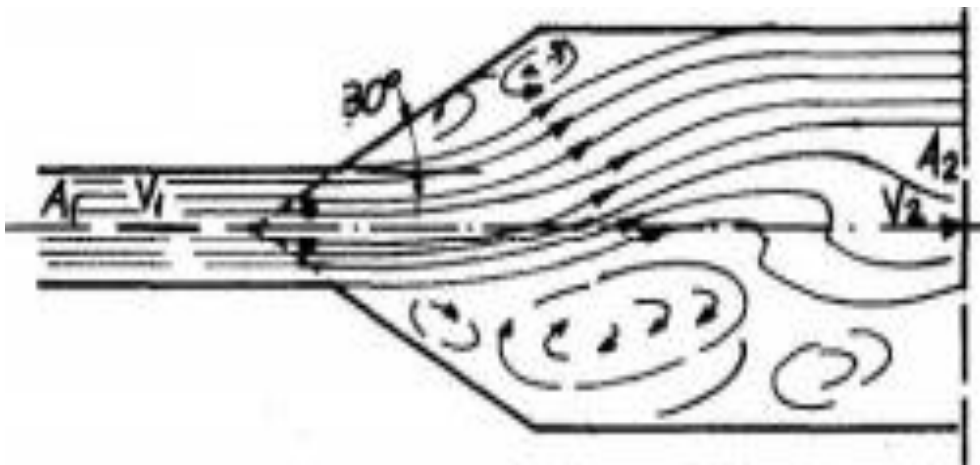
(β) απώλειες λόγω τυρβώδους ροής. Αυτές συνδέονται με την πολύπλοκη μορφολογία των γραμμών ροής (Σχήμα 2.13) που πολλές φορές δίνει αστάθεια της κεντρικής ρευστής φλέβας (ταλαντώσεις). Με βάση πειραματικά αποτελέσματα, το άθροισμα των γραμμικών και τοπικών απωλειών τριβής μπορεί να υπολογισθεί με τύπο της μορφής:

$$\Delta H_{f,ολ.} = K \frac{(U_1 - U_2)^2}{2g}$$

Οι τιμές του συντελεστή K δίδονται στο Σχήμα 2.12β Παρατηρούμε ότι η βέλτιστη γωνία του διαχυτή για να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες είναι 8° . Η τιμή αυτή αυξάνει με τραχύτητα των τοιχωμάτων. Από το σχήμα 2.12β παρατηρούμε ότι για $\alpha=180^\circ$ (απότομη διεύρυνση) ξαναβρίσκουμε το θεωρητικό αποτέλεσμα $K=1$. Η μέγιστη τιμή των απωλειών αντιστοιχεί σε γωνία $\alpha=60^\circ$.



Σχήμα 2.12 Ροή σε κωνικό διαχυτή (α) και μεταβολή του συντελεστή K .



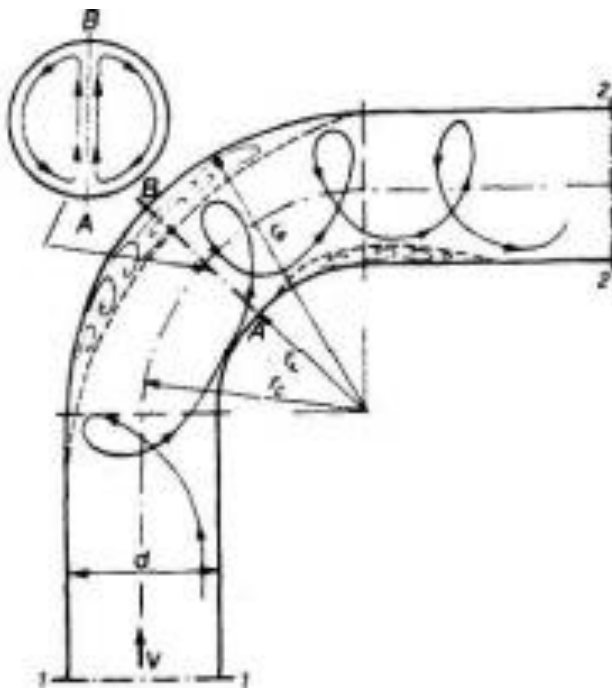
Σχήμα 2.13 Τυρβώδεις αποκολλήσεις της ροής σε κωνικό διαχυτή

2.2.5 Απώλειες λόγω αλλαγής διεύθυνσης – διακλαδώσεις - βάνες

Στις γωνίες αγωγού οι φυγόκεντρες δυνάμεις δημιουργούν αύξηση της πίεσης στην εξωτερική παρειά και μείωση στην εσωτερική.

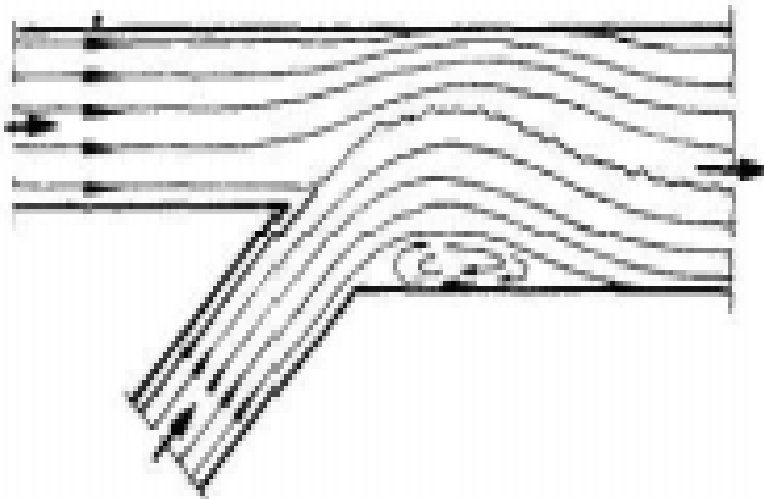
$$\Delta H_{f, \text{ολ.}} = K' \frac{(U_1 - U_2)^2}{2g}$$

Σαν αποτέλεσμα έχουμε την ανάπτυξη διπλής σπειροειδούς ροής (Σχήμα 2.14) που συνεπάγεται απώλειες ενέργειας.



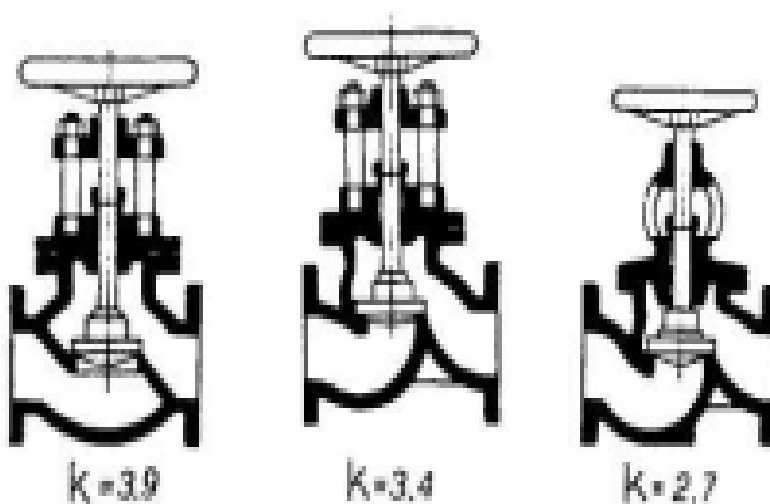
Σχήμα 2.14 Ροή σε γωνία 90⁰.

Αποκολλήσεις της ροής και απώλειες λόγω τυρβώδους ροής έχουμε ακόμα και στην περίπτωση διακλάδωσης των αγωγών ή συμβολής της ροής (Σχήμα 2.15).



Σχήμα 2.15 Ροή στην περιοχή συμβολής δύο σωλήνων.

Η ένταση των απωλειών είναι βέβαια συνάρτηση της γωνίας συμβολής των αγωγών και του λόγου των διαμέτρων του σωλήνα. Πίνακες και διαγράμματα για τον υπολογισμό των τοπικών απωλειών δίδονται σε εγχειρίδια υδραυλικής. Επίσης σε εγχειρίδια και εκδόσεις κατασκευαστών δίδονται οι συντελεστές K των τοπικών απωλειών σε βάνες, διαφράγματα, δικλείδες (Σχήμα 2.16)



Σχήμα 2.16 Συντελεστής τοπικών απωλειών σε βάνες.

2.3 Προσδιορισμός γραμμικών απωλειών σε ροή υπό πίεση – εμπειρικοί

τύποι

2.3.1 Τύπος του Chezy

Ο *Antoine de Chezy* (1718 –1798) ήταν Γάλλος Υδραυλικός Μηχανικός, γνωστός για τη φόρμουλα του Chezy που αφορά σε ροή σε σωλήνες. Πέθανε το 1798 αφού διατέλεσε διευθυντής στην Ecole nationale des ponts et chaussees για διάστημα μικρότερο από ένα έτος. Από τη γενικευμένη σχέση των Darcy – Weisbach

$$h_f = J_E L = L \frac{f}{4R} \frac{V^2}{2g}$$

λύνοντας ως προς την ταχύτητα

$$V = \sqrt{\frac{8g}{f}} \sqrt{RJ_E} = C \sqrt{RJ_E} \quad (\text{τύπος του Chézy})$$

καταλήγουμε στη σχέση του Chezy όπου C ορίζεται σαν ο συντελεστής του Chezy. Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι ο συντελεστής του Chezy δεν είναι σταθερός αλλά είναι συνάρτηση της ταχύτητας και τραχύτητας του αγωγού.

2.3.2 Τύπος του Kutter

Εάν στη σχέση του Chezy αντικαταστήσουμε το συντελεστή C με τη σχέση

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

προκύπτει ο τύπος του Kutter

$$V = \frac{100\sqrt{R}}{m + \sqrt{R}} \sqrt{RJ}$$

όπου J είναι η κλίση της γραμμής ενέργειας ή της πιεζομετρικής γραμμής και R η υδραυλική ακτίνα. Ο συντελεστής m λαμβάνει τις τιμές m = 0.25 για σχετικά καθαρό νερό (δίκτυα ύδρευσης και άρδευσης)

$m = 0.35$ για όχι καθαρό νερό (αποχετευτικά δίκτυα υπό πίεση - καταθλιπτικός αγωγός ακαθάρτων).

2.3.3 Τύπος του Manning

Η σχέση του Chezy όπως είναι διατυπωμένη δεν λαμβάνει υπόψη τη σχετική με το βάθος ροής τραχύτητα. Όμως αν στη σχέση του Chezy αντικαταστήσουμε το συντελεστή C με το γινόμενο

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6},$$

αν δηλαδή ελαττώνουμε την τραχύτητα σε συνάρτηση με την υδραυλική ακτίνα, προκύπτει ο τύπος του Manning

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2}$$

όπου όπου J είναι η κλίση της γραμμής ενέργειας, V η μέση ταχύτητα σε m/s και R η υδραυλική ακτίνα σε m. Ο συντελεστής n εξαρτάται μόνο από το είδος της επιφάνειας, π.χ. $n = 0.011 - 0.013$ για λείους τσιμεντοσωλήνες και είναι σταθερός, ανεξάρτητα από τις διαστάσεις του αγωγού. Τη σχέση του Manning χρησιμοποιούσαν οι μηχανικοί ευρύτατα κατά το παρελθόν, δίνει δε πολύ καλά αποτελέσματα όταν εφαρμοστεί.

2.3.4 Τύπος των Hazen – Williams

Παλαιότερα, για τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών σε σωλήνες, οι μηχανικοί χρησιμοποιούσαν την εμπειρική σχέση των Hazen – Williams όπου

$$h_f = \frac{6.79L}{D^{1.16}} \left(\frac{V}{C} \right)^{1.85}$$

h_f ... οι γραμμικές απώλειες ενέργειας σε m

L ... το μήκος του αγωγού σε m

D... η διάμετρος του αγωγού σε m
V... η μέση ταχύτητα σε m/s
C... ο συντελεστής τριβών των Hazen - Williams.

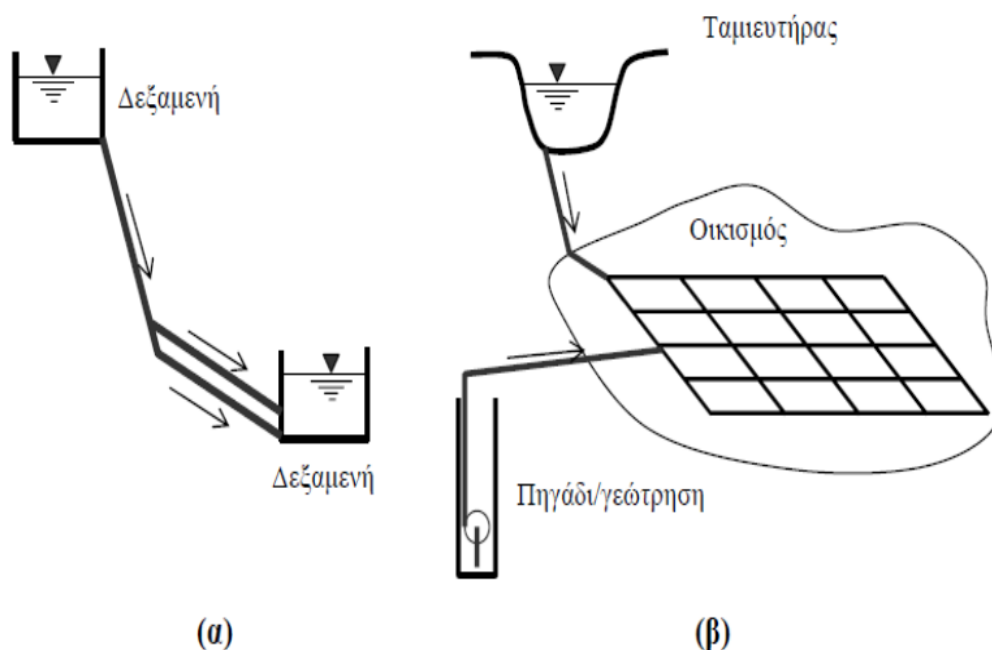
Στην παραπάνω σχέση, για τραχύτερους αγωγούς χρησιμοποιούμε μικρότερα C. Η τιμή του συντελεστή τριβής μεταβάλλεται από περίπου 100 (πολύ τραχείς σωλήνες) μέχρι περίπου 140 (λείοι σωλήνες). Η παραπάνω σχέση φυσικά δεν είναι αδιάστατη και επομένως οι σταθερές διαφέρουν ανάμεσα στο SI και το Αμερικάνικο σύστημα μονάδων.

2.4 Συστήματα σωληνώσεων

Τα συστήματα σωλήνων κατατάσσονται σε δύο απλές κατηγορίες (Σχήμα 2.17):

α) Απλά συστήματα ονομάζονται αυτά που διαθέτουν ένα σημείο υδροληψίας και ένα σημείο υδροδότησης. Σε αυτά παρουσιάζεται μια και μοναδική διαδρομή νερού.

β) Σύνθετα συστήματα ονομάζονται αυτά στα οποία υπάρχουν περισσότερα του ενός συστήματα υδροδότησης και υδροληψίας.



Σχήμα 2.17 (α) Απλό και (β) Σύνθετο σύστημα σωλήνων

Κάθε σύστημα αποτελείται από:

1. τους αγωγούς του συστήματος που είναι τμήματα ενιαίας διαμέτρου, κατά μήκος των οποίων η παροχή παραμένει σταθερή
2. τους κόμβους του συστήματος, που είναι τα σημεία στα οποία τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (διάμετρος και τραχύτητα ή υλικό κατασκευής) ή και η παροχή μεταβάλλονται.

Στο συγκεκριμένο αρδευτικό δίκτυο το οποίο μελετάμε χρησιμοποιούνται κυρίως σύνθετα συστήματα σωληνώσεων όπου τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και η παροχή μεταβάλλονται.

Τα συστήματα αυτά μπορεί να είναι κυκλοφοριακά ή συστήματα βαρύτητας. Πιο αναλυτικά :

- Κυκλοφοριακά ονομάζουμε τα συστήματα όπου ένα σημείο υδροδότησης μπορεί να υδροδοτηθεί από δεδομένη υδροληψία μέσα από περισσότερες της μιας διαδρομής.
- Σύστημα βαρύτητας ονομάζουμε αυτό στο οποίο η απαιτούμενη για τη μεταφορά νερού ενέργεια υπάρχει λόγω βαρύτητας στη φύση. Σε περίπτωση που η διαθέσιμη ενέργεια δεν επαρκεί για τη μεταφορά της απαιτούμενης παροχής, προσδίδουμε ενέργεια στο σύστημα με αντλίες.

2.4.1 Υπολογισμοί συστημάτων σωλήνων

Για τον υπολογισμό ενός συστήματος σωλήνων, πρέπει να υπολογίσουμε τις απώλειες ενέργειας κατά μήκος των αγωγών (γραμμικές απώλειες).

$$h_f = L \frac{f V^2}{D 2g}; \quad f = f\left(\text{Re}, \frac{k_s}{D}\right)$$

και τις τοπικές (σημειακές) απώλειες ενέργειας που θεωρούνται ότι είναι συγκεντρωμένες στο υπόψη σημείο.

$$h_a = K \frac{V^2}{2g}; \quad K = K(\text{γεωμετρίας}, \text{Re}).$$

Θεώρημα ενέργειας

Έστω σημείο (1) το ανάντη σημείο και (2) το κατόντη σημείο σε κάποιο τμήμα του δικτύου. Η εξίσωση της ενέργειας μπορεί να γραφτεί ως εξής

$$H_1 = H_2 + \Delta H_m + \Delta H_{a(1-2)}$$

Όπου

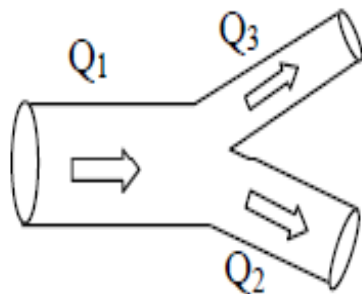
$H_1 \rightarrow$ το ύψος ενέργειας του σημείου (1) ανάντη

$H_2 \rightarrow$ το ύψος ενέργειας του σημείου (2) κατόντη

$\Delta H_m \rightarrow$ το ύψος της μηχανικής ενέργειας που αποδίδεται από το σύστημα (θετικό σε περίπτωση υδροστροβόλου), ή που λαμβάνεται από το σύστημα (αρνητικό σε περίπτωση αντλίας).

$\Delta H_{a(1-2)} \rightarrow = \Sigma (hf(1-2)+ha(1-2))$ το σύνολο των γραμμικών και τοπικών απωλειών στους επί μέρους αγωγούς και κόμβους του συστήματος.

Θεώρημα συνέχειας



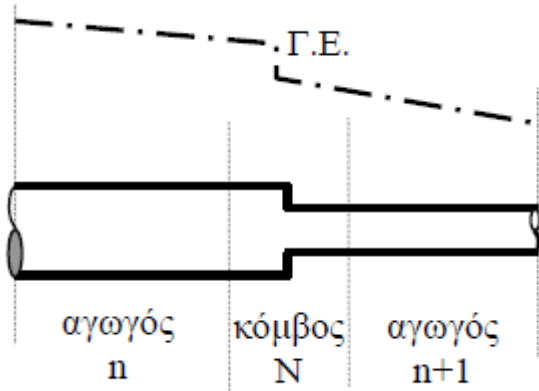
$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

Σχήμα 2.18 Θεώρημα συνέχειας – αρχή διατήρησης μάζας

2.4.2 Υπολογισμός αγωγών σε σειρά

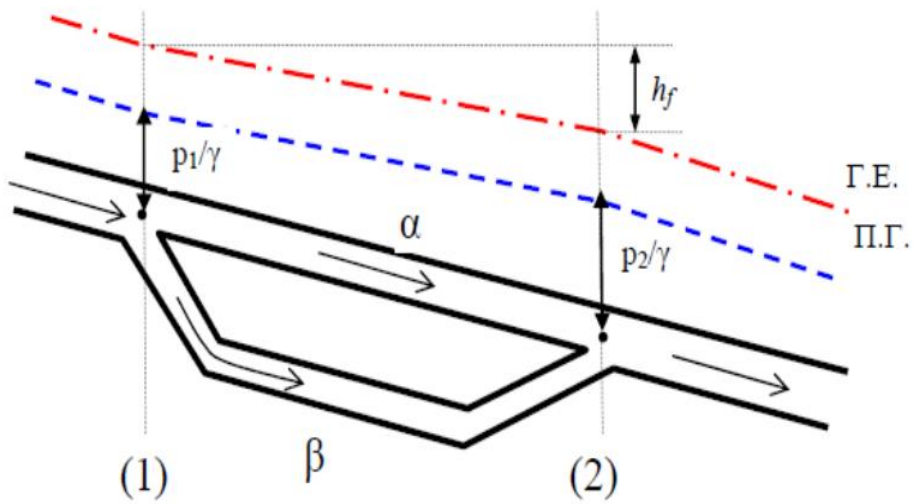
Οι απώλειες ενέργειας είναι το άθροισμα των επί μέρους απωλειών

$$H_L = \dots + h_f(n) + h_a(N) + h_f(n+1) + \dots$$



Σχήμα 2.19 Αγωγοί σε σειρά.

2.4.3 Υπολογισμός παράλληλων αγωγών



Σχήμα 2.20 Αγωγοί σε παράλληλη διάταξη

Ισχύουν οι σχέσεις

$$Q_1 = Q_2 = Q_\alpha + Q_\beta$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

Όπου

$$h_f = L_\alpha \frac{f_\alpha V_\alpha^2}{D_\alpha 2g} = L_\beta \frac{f_\beta V_\beta^2}{D_\beta 2g}$$

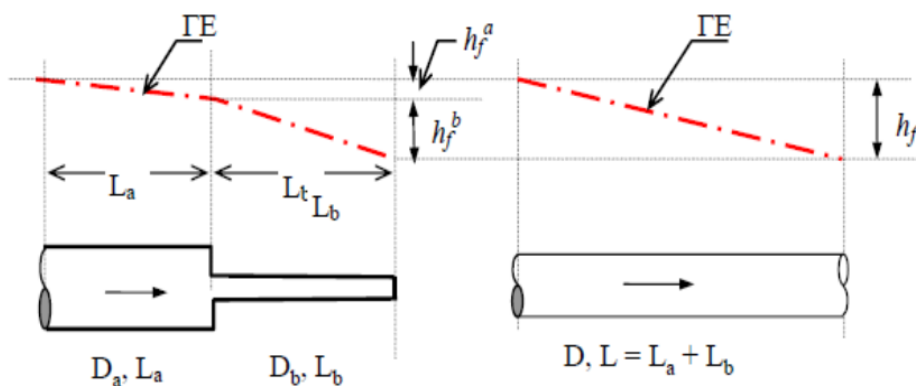
2.4.4 Ισοδύναμοι αγωγοί

(α) Σε σειρά: Δύο αγωγοί σε σειρά διαμέτρων D_a και D_b με μήκη L_a και L_b αντίστοιχα, αντικαθίστανται με αγωγό διαμέτρου D του οποίου το μήκος είναι $L = L_a + L_b$, μεταφέρει την ίδια παροχή $Q = Q_a = Q_b$ και οι συνολικές απώλειες φορτίου είναι

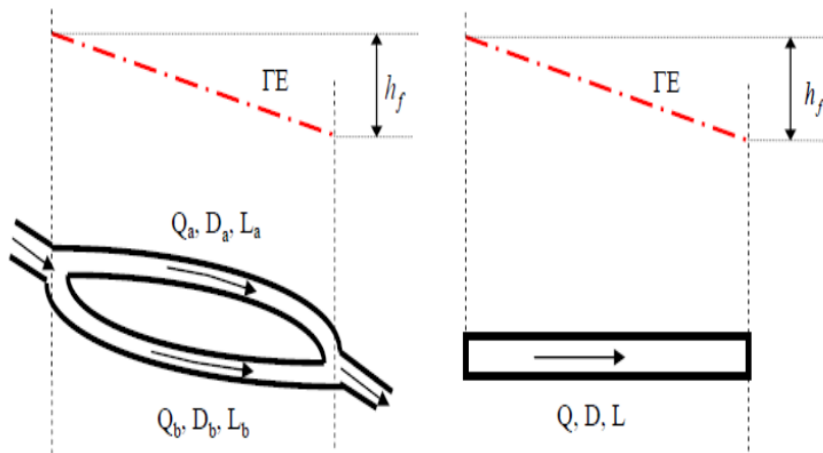
$$h_f = h_f^a + h_f^b.$$

(β) Σε παράλληλη διάταξη → Δύο αγωγοί μήκους σε παράλληλη διάταξη διαμέτρων και που μεταφέρουν παροχές και αντίστοιχα, αντικαθίστανται με αγωγό διαμέτρου του οποίου το μήκος είναι, μεταφέρει παροχή και οι απώλειες φορτίου είναι

$$h_f = h_f^a = h_f^b.$$



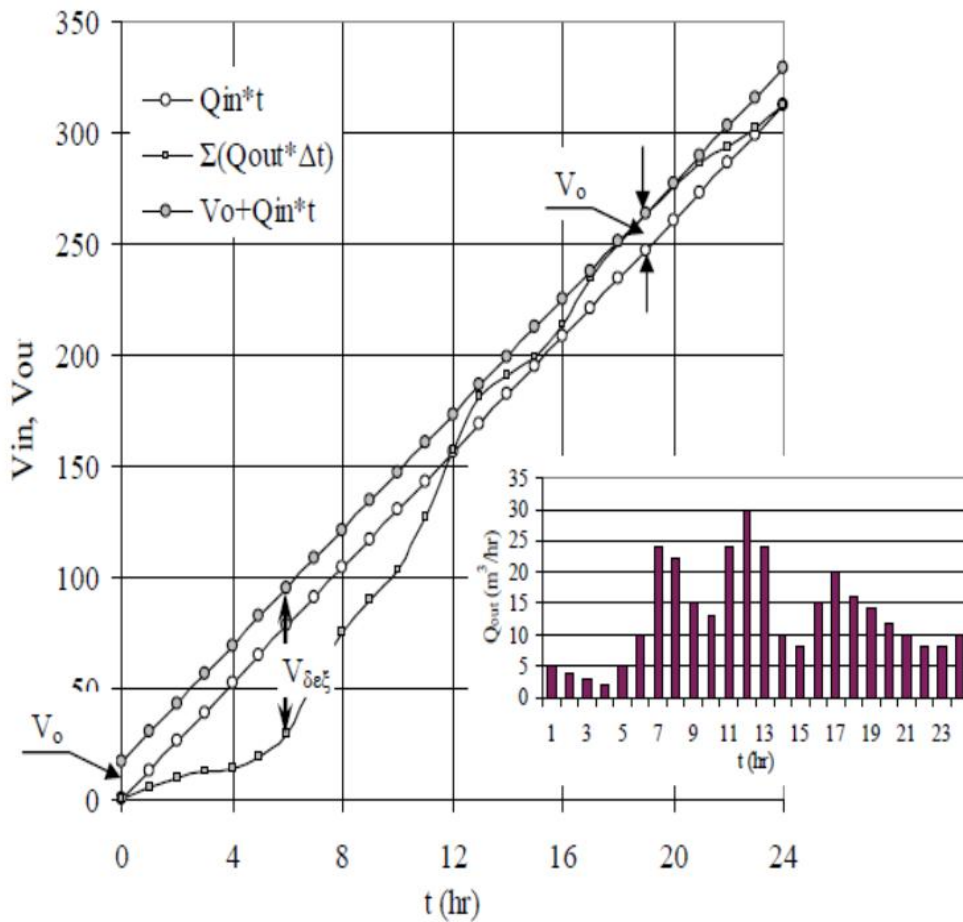
Σχήμα 2.21 Ισοδύναμος αγωγός με αγωγούς σε σειρά



Σχήμα 2.22 Ισοδύναμος αγωγός με αγωγούς σε παράλληλη διάταξη

2.5 Δεξαμενές

Όπως προαναφέραμε οι μεγάλες διαφορές υψομέτρων της περιοχής επέβαλαν το χωρισμό του δικτύου σε δύο μικρότερα δίκτυα εν σειρά. Τα δίκτυα αυτά τροφοδοτούνται από δύο δεξαμενές ρύθμισης. Δεξαμενές είναι τα σημεία του δικτύου που αποθηκεύουμε προσωρινά νερό για να το διοχετεύσουμε στην κατανάλωση όταν μας ζητηθεί. Η διαστασιολόγηση μιας δεξαμενής γίνεται ανάλογα με το λόγο λειτουργίας της. Υπάρχουν δεξαμενές ύδρευσης, αποθήκευσης, αναρρύθμισης κλπ.



Σχήμα 2.23 Καμπύλες εισροών και εκροών δεξαμενής. Στο πλάι δίνεται η καμπύλη κατανάλωσης.

2.5.1 Σύνδεση δεξαμενών

Για την επίλυση του συστήματος των N δεξαμενών χρειάζονται N-1 ενεργειακές εξισώσεις όπως π.χ. η εξίσωση ενέργειας από τη δεξαμενή I στη δεξαμενή II

$$\Delta H_{(I,II)} = \left(\Sigma K_{I-0} + L_1 \frac{f_1}{D_1} \right) \frac{V_1^2}{2g} + \left(\Sigma K_{0-II} + L_2 \frac{f_2}{D_2} \right) \frac{V_{21}^2}{2g}$$

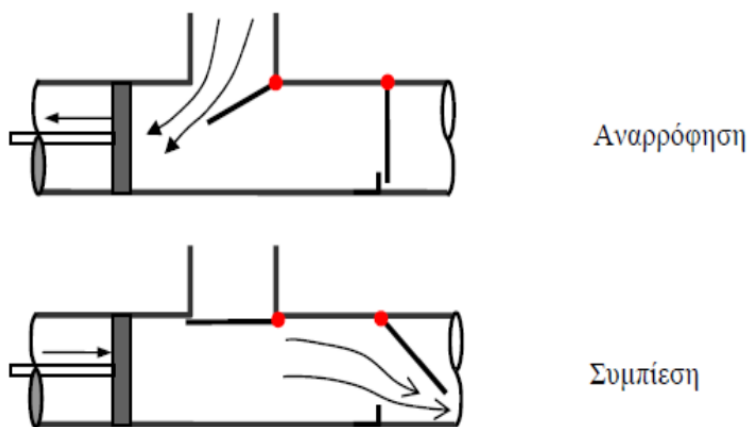
2.6 Υδροδυναμικές μηχανές στα δίκτυα – Αντλίες

Λόγω της υψομετρικής διαφοράς στο δίκτυο μας χρησιμοποιούμε υδροδυναμικές μηχανές. Οι υδροδυναμικές μηχανές είναι δύο τύπων, αυτές που προσδίδουν ενέργεια στο σύστημα και ονομάζονται *αντλίες* και αυτές που λαμβάνουν ενέργεια από το ρευστό και ονομάζονται *τουρμπίνες*. Οι αντλίες χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά υγρών, όπου η βαρύτητα δεν είναι αρκετή να μεταφέρει την απαιτούμενη παροχή, ή όπου χρειάζεται να μεταφερθεί ένα υγρό σε στάθμη με μεγαλύτερη δυναμική ενέργεια (υψηλότερη από την αρχική στάθμη). Οι αντλίες μετατρέπουν την ηλεκτρική ή την μηχανική ενέργεια του κινητήρα τους σε κινητική ενέργεια του ρευστού, που με τη σειρά της μετατρέπεται σε δυναμική ενέργεια και σε θερμότητα από τις απώλειες ενέργειας λόγω τριβών.

2.6.1 Είδη αντλιών

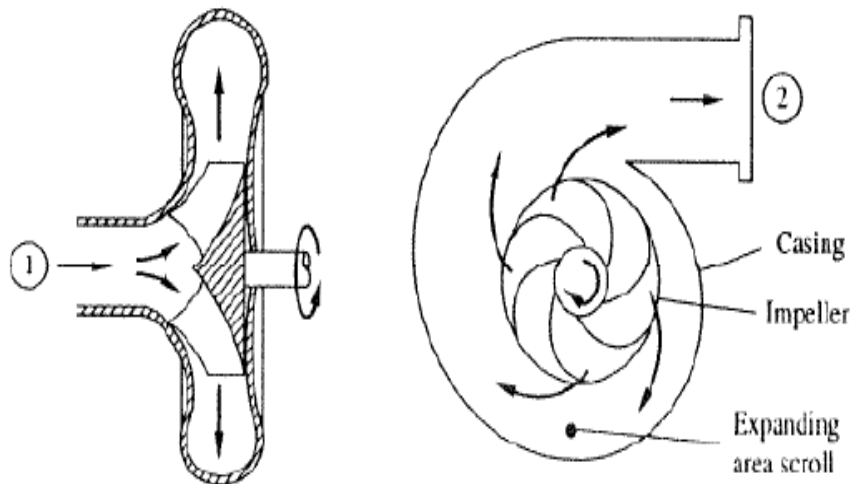
Στο δίκτυο που μελετάμε υπάρχουν δύο είδη αντλίας:

- Αντλίες θετικής εκτόπισης (Positive Displacement Pumps, PDP) που αναπτύσσουν μεγάλες πιέσεις στο ρευστό (Σχήμα 2.24).



Σχήμα 2.24 Αντλία θετικής εκτόπισης (PDP).

- Δυναμικές αντλίες που προσδίδουν ορμή στο ρευστό από πτερύγια που κινούνται γρήγορα (Σχήμα 2.25).



Σχήμα 2.25 Φυγοκεντρική αντλία.

2.6.2 Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλιών

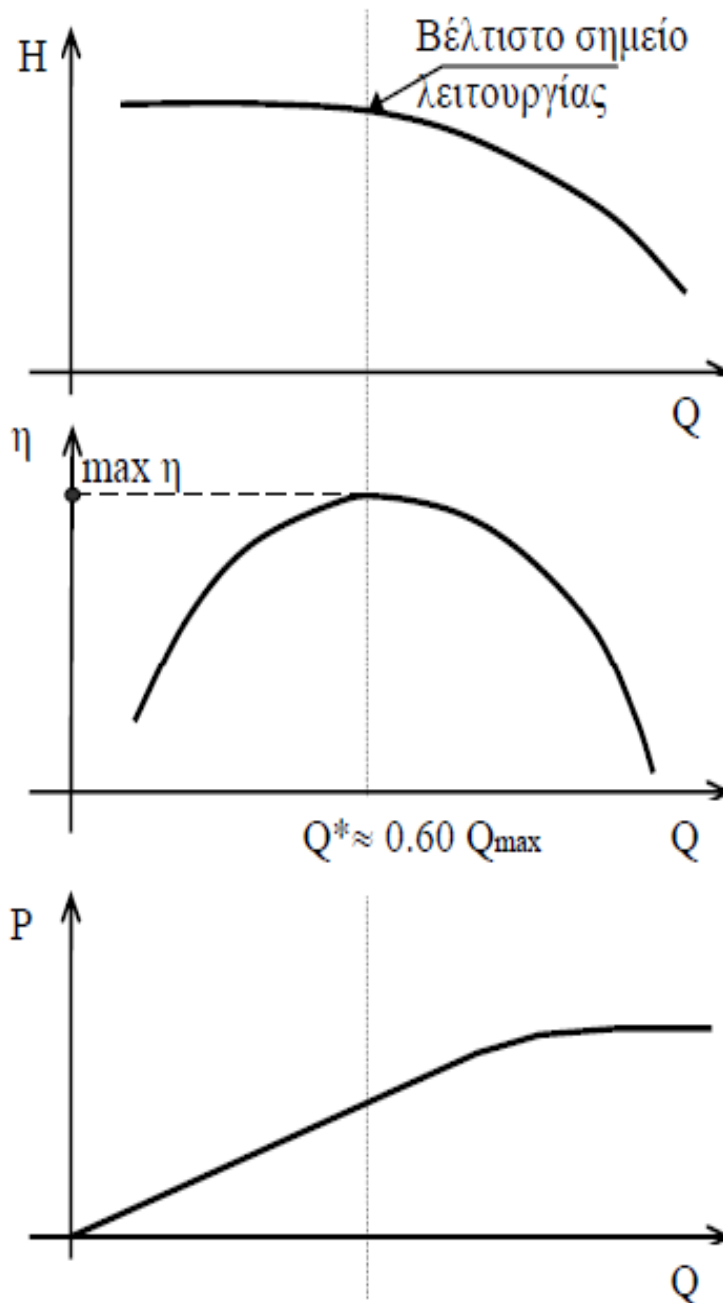
Οι χαρακτηριστικές καμπύλες που χρειάζεται να γνωρίζουμε για κάθε αντλία είναι:

1. Η καμπύλη μανομετρικού ύψους - παροχής ($Q - H$), χαρακτηριστική καμπύλη που δίνεται από τον κατασκευαστή. Όταν αυξάνουμε την παροχή ελαττώνεται το μανομετρικό και αντίστροφα.
2. Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας σαν συνάρτηση της παροχής (καμπύλη $\eta - Q$). Η μέγιστη τιμή του βαθμού απόδοσης δεν ξεπερνά το 0.80 έως 0.90 και αντιστοιχεί στο 60% συνήθως της μέγιστης παροχής της αντλίας.
3. Η καμπύλη ισχύος σαν συνάρτηση της παροχής της αντλίας ($P - Q$), όπου P είναι η ισχύς που προσδίδουμε στην αντλία.

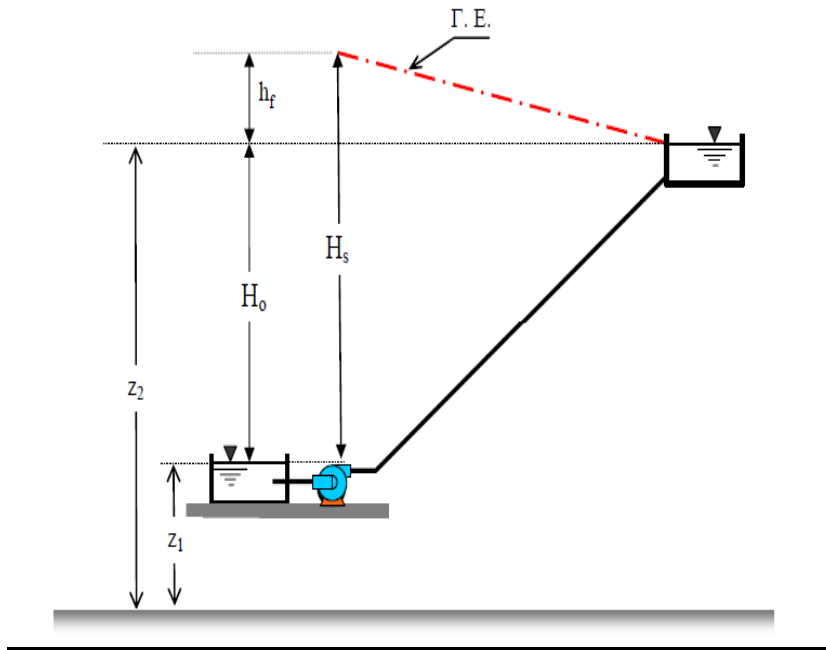
Στο Σχήμα 2.26 φαίνονται σχηματικά οι τρεις χαρακτηριστικές καμπύλες.

2.6.3 Σημείο λειτουργίας αντλίας – δικτύου

Η αντλία αντλεί νερό από τη δεξαμενή με τη χαμηλότερη στάθμη στη δεξαμενή με την υψηλότερη στάθμη, που οι στάθμες τους απέχουν H (Σχήμα 2.27).



Σχήμα 2.26 Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλιών



Σχήμα 2.27 Αντληση από στάθμη z_1 στη στάθμη z_2 .

Το ύψος ενέργειας που προσδίδει η αντλία στο σύστημα θα πρέπει να είναι ίσο με το σύνολο των απωλειών ενέργειας και υψομετρικής διαφοράς των δύο δεξαμενών, και αυτό να συμβαίνει στην περιοχή βέλτιστης λειτουργίας της αντλίας.

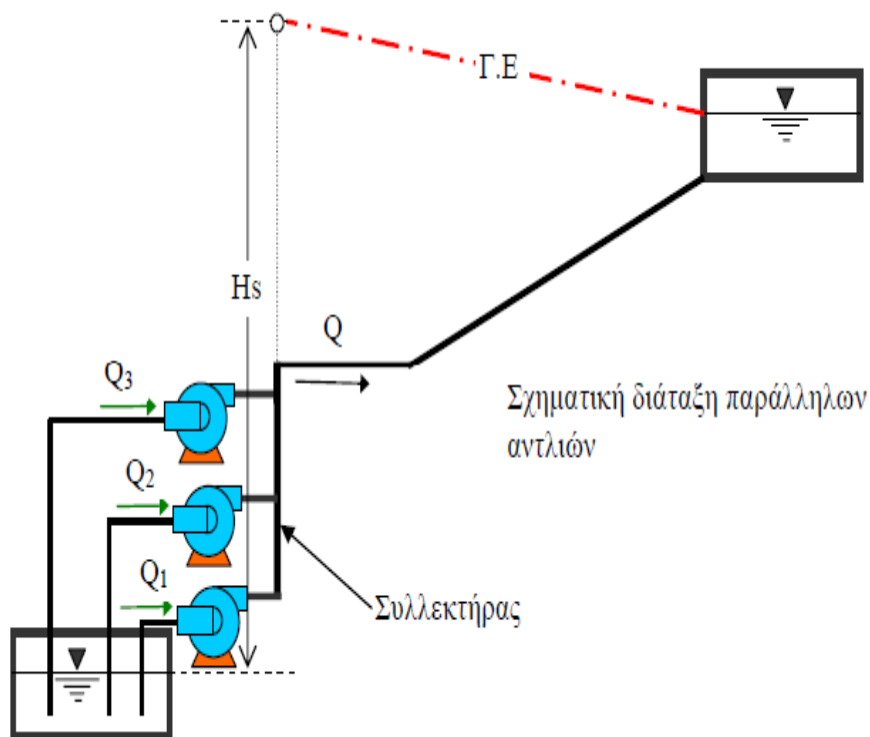
$$H_s = z_2 - z_1 + h_f + h_a = H + \Sigma \left(f \frac{L V^2}{D 2g} \right) + \Sigma \left(K \frac{V^2}{2g} \right)$$

2.6.4 Παράλληλη σύνδεση αντλιών

Καμία φορά στο δίκτυο που μελετάμε συμβαίνει μια αντλία να παρέχει το απαιτούμενο μανομετρικό ύψος αλλά όχι και την απαιτούμενη παροχή, τότε πρέπει να συνδυάσουμε δύο ή περισσότερες αντλίες του ίδιου ή και διαφορετικού τύπου έτσι ώστε να πάρουμε την απαιτούμενη παροχή. Για το σύστημα π.χ. N ίδιων αντλιών έχουμε

$$H_{s1} = H_{s2} = \dots = H_{sN} = H_s$$

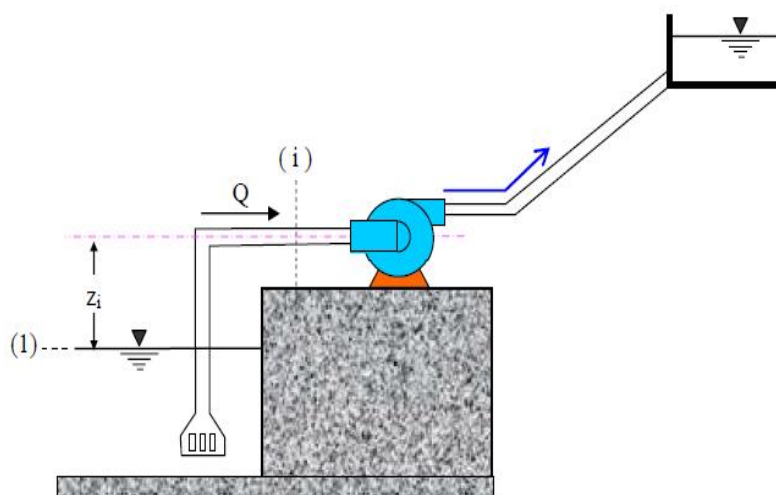
$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N = Q.$$



Σχήμα 2.28 Παράλληλη σύνδεση αντλιών

2.6.5 Καθαρό ύψος αναρρόφησης αντλίας

Καθαρό ύψος αναρρόφησης μιας αντλίας (NPSH στο εξής) είναι το ύψος της ενέργειας ή η στάθμη τοποθέτησης της αντλίας σε σχέση με τη στάθμη του αντλούμενου υγρού που απαιτείται για την αποφυγή βρασμού ή σπηλαιώσης.



Σχήμα 2.29 Καθαρό ύψος αναρρόφησης αντλίας

Αναρρόφηση υγρού από αντλία που βρίσκεται σε στάθμη z_i υπεράνω της ελεύθερης επιφάνειας. Η εξίσωση ενέργειας από τη διατομή (1) στη διατομή (i) της εισόδου του αγωγού στην αντλία γράφεται ως εξής

$$H_1 = H_i + h_{f(1-i)}$$

και αναλυτικά

$$\frac{P_a}{\rho g} + 0 + 0 = \frac{P_i}{\rho g} + z_i + \frac{V_i^2}{2g} + h_{f(1-i)}$$

Όπου

$p_a \rightarrow$ η ατμοσφαιρική πίεση

$p_i \rightarrow$ η πίεση στην είσοδο (eye) της αντλίας

$V_i \rightarrow$ ταχύτητα του ρευστού στην είσοδο της αντλίας

$z_i \rightarrow$ η υψομετρική διαφορά ελ. επιφάνειας και άξονα της αντλίας.

Στη συνέχεια ορίζουμε το NPSH σαν τη διαφορά

$$NPSH = \frac{P_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} - \frac{P_v}{\rho g} = \frac{P_a - P_v}{\rho g} - z_i - h_{f(1-i)}$$

Όπου

$p_v \rightarrow$ η πίεση των ατμών και

$h_{f(1-i)} \rightarrow$ οι απώλειες ενέργειας στο σωλήνα εισόδου. Για να μη διακοπεί η λειτουργία της αντλίας λόγω διακοπής της στήλης νερού από βρασμό ή εξαέρωση από την υπό-πίεση θα πρέπει

$$\frac{P_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} > \frac{P_v}{\rho g}$$

$$NPSH = \frac{P_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} - \frac{P_v}{\rho g} = \frac{P_a - P_v}{\rho g} - z_i - h_{f(1-i)} > 0.$$

Για αντλίες στις οποίες ο αγωγός εισόδου έχει μικρό μήκος, δηλαδή $h_{f(1-i)} \approx 0$, θα πρέπει η απόσταση του άξονα της αντλίας z_i από την ελεύθερη επιφάνεια να είναι μικρότερη από τη διαφορά $(p_a - p_v) / \rho g$. Για θερμοκρασία 20 °C όμως,

$$p_a = 1 \text{ atm} \quad (p_a / \rho g = 10.33 \text{ m H}_2\text{O})$$

$$p_v = 2.337 \text{ kPa} \quad (p_v / \rho g = 0.24 \text{ m H}_2\text{O})$$

και επομένως πρέπει

$$\frac{P_a - P_v}{\rho g} \approx 10.09 \text{ m} > z_i .$$

Για λόγους ασφάλειας όμως θεωρούμε $z_i < 7 \text{ m}$, δηλαδή η αντλία δεν τοποθετείται σε απόσταση που υπερβαίνει τα 7 m (στάθμη αναρρόφησης) πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια.

2.7 Συσκευές ελέγχου και ασφάλειας δικτύου

Για την ομαλή λειτουργία του δικτύου που μελετάμε προβλέπεται η χρήση των παρακάτω συσκευών :

- § Δικλείδες ελέγχου και ασφαλείας.
- § Βαλβίδες αερεξαγωγοί – αεροεισαγωγοί
- § Βαλβίδες μείωσης πίεσης
- § Αντιπληγματικές βαλβίδες και
- § Εκκενωτές.

Όλες οι συσκευές ελέγχου και ασφαλείας προβλέπεται να τοποθετηθούν μέσα σε ειδικά φρεάτια για την ευχέρεια της επιθεώρησης, της συντήρησης και της καλής λειτουργίας τους αλλά κυρίως για την προστασία τους.

2.7.1 Δικλείδες ελέγχου

Σε καθορισμένες θέσεις του δικτύου τοποθετούνται, όπως φαίνεται στις οριζοντιογραφίες και μηκοτομές, δικλείδες απομόνωσης τμημάτων του δικτύου.



Σχήμα 2.30 Δικλείδα ελέγχου

Οι δικλείδες θα είναι πίεσεως λειτουργίας 10 ATM ή 16 ATM ή 25 ATM όπως ορίζεται στα σχέδια της μελέτης και προβλέπονται συρταρωτού τύπου με σφηνοειδή σύρτη για διαμέτρους μέχρι 300 χλσ. και τύπου πεταλούδας για τις μεγαλύτερες διαμέτρους. Οι διάμετροι των δικλείδων είναι ίσες με τις ονομαστικές διαμέτρους των σωλήνων στις οποίες τοποθετούνται.

2.7.2 Αερεξαγωγοί - αεροεισαγωγοί βαλβίδες

Σε όλα τα υψηλά σημεία τοποθετούνται αερεξαγωγοί διπλής ενέργειας, με δικλείδα απομόνωσης, όπως παρακάτω:

- ☞ Βαλβίδα D400: Για όλες τις σωληνώσεις από πολυαιθυλένιο δηλ. για διάμετρο σωληνώσεως μέχρι 400 χλσ.
- ☞ Βαλβίδα D600: Για τις σωληνώσεις από ελατό χυτοσίδηρο και για διάμετρο σωληνώσεως 500 ή 600 χλσ.
- ☞ Βαλβίδα D900: για διάμετρο σωληνώσεως 700 ή 800 χλσ.



Σχήμα 2.31 Αεροεξαγωγός

2.7.3 Βαλβίδες μείωσης πίεσης

Η μείωση της πίεσης επιτυγχάνεται μέσω υδραυλικής δικλείδας διπλού θαλάμου, με πιλότο (PRV), η οποία έχει δυνατότητα ρύθμισης της πίεσης εισόδου σε μία σταθερή πίεση εξόδου. Η βαλβίδα τοποθετείται σε διακλάδωση κύριου αγωγού που τροφοδοτεί χαμηλή περιοχή του δικτύου.



Σχήμα 2.32 Μειωτής πίεσης

Στο δίκτυο Βράχου τοποθετείται μία βαλβίδα PRV200/PN25 στη χαμηλή παραρρυμιάτα περιοχή του Μελανθίου, κατάντη του κόμβου K111 με ανάντη πιέσεις από 167 μ. έως 141 μ. και πίεση εξόδου 81 μ. και μία βαλβίδα PRV350/PN16 στη χαμηλή περιοχή των Λαχανόκηπων, ανάντη του κόμβου K247 με ανάντη πιέσεις από 156 μ. έως 116 μ. και πίεση εξόδου 105 μ.

2.7.4 Αντιπληγματικές βαλβίδες

Οι απότομες μεταβολές της ταχύτητας ροής του νερού στους αγωγούς στα υδραυλικά δίκτυα έχουν ως αποτέλεσμα μεταβολές της πίεσεως του δικτύου, οι οποίες γενικά χαρακτηρίζονται σαν υδραυλικά πλήγματα. Η ρύθμιση των αντιπληγματικών βαλβίδων θα γίνει έτσι ώστε να επιτρέπουν την πλήρη αποφόρτιση όταν η πίεση στη θέση της βαλβίδας υπερβεί τα όρια ασφαλείας του δικτύου. Προβλέπεται η χρήση αντιπληγματικών βαλβίδων διπλού θαλάμου με πιλότο, διαμέτρου τουλάχιστον DN 50 και πίεσης 16 και 25 ATM κατά περίπτωση.

2.7.5 Εκκενωτές

Σε όλα τα χαμηλά σημεία της μηκοτομής των σωληνώσεων προβλέπεται η τοποθέτηση εκκενωτών για την εκκένωση του συνόλου ή μέρους του δικτύου κατά την περίοδο διακοπής της λειτουργίας του ή για επισκευή. Το έργο εκκένωσης αποτελείται από δικλείδα σύρτου, κοντού μήκους, ελαστικής φραγής, διαμέτρου 100 χλσ. Όλες οι συσκευές, δικλείδες, εξαρτήματα, φλάντζες και ειδικά τεμάχια σύνδεσης θα είναι ονομαστικής πίεσεως τουλάχιστον ίσης (16 ή 25 ATM) με την αναγραφόμενη στις οριζοντιογραφίες και της μηκοτομής της μελέτης.



Σχήμα 2.33 Εκκενωτής

Οι παραπάνω συσκευές χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και την ασφαλή λειτουργία των δικτύων και για την αντιμετώπιση ειδικών προβλημάτων των αγωγών των δικτύων που παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

2.8 Ειδικά προβλήματα αγωγών

2.8.1 Γήρανση των αγωγών ενός δικτύου

Σε κάθε δίκτυο με την πάροδο του χρόνου οι αποθέσεις, η διάβρωση και η δημιουργία αλάτων στους σωλήνες, μεταβάλλουν την ισοδύναμη τραχύτητα και ως εκ τούτου την παροχτευτικότητα του. Ο νόμος μεταβολής της τραχύτητας είναι συνήθως γραμμικός της μορφής

$$k_s(t) = k_s(0) + at$$

όπου $k_s(0)$ είναι η ισοδύναμη αρχική τραχύτητα που δίνει ο κατασκευαστής, a είναι μια σταθερά που πρέπει να προσδιοριστεί και t είναι ο χρόνος συνήθως σε έτη.

2.8.2 Σπηλαιώση

Πίεση (ή τάση) ατμών ορίζουμε την πίεση εκείνη για την οποία το υγρό και οι ατμοί του βρίσκονται σε ισορροπία. Σε περίπτωση που σε ένα υγρό με ελεύθερη επιφάνεια η πίεση στη μάζα του υγρού είναι μεγαλύτερη από την πίεση των ατμών του, τότε η μοναδική εναλλαγή ατμών - υγρού συμβαίνει στη διεπιφάνεια (ελεύθερη επιφάνεια). Όταν η πίεση ενός κινούμενου υγρού γίνει μικρότερη από την πίεση των ατμών του (σε δεδομένη θερμοκρασία), τότε στα σημεία χαμηλής πίεσης αρχίζουν να εμφανίζονται φυσαλίδες ατμού, με αποτέλεσμα την έναρξη βρασμού στο υγρό (λόγω υπό-πίεσης). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *σπηλαιώση* (cavitation). Η παράμετρος που εκφράζει το βρασμό σε ένα υγρό που κινείται είναι ο αριθμός σπηλαιώσης (cavitation number) που ορίζεται ως

$$C_a = \frac{P_a - P_v}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

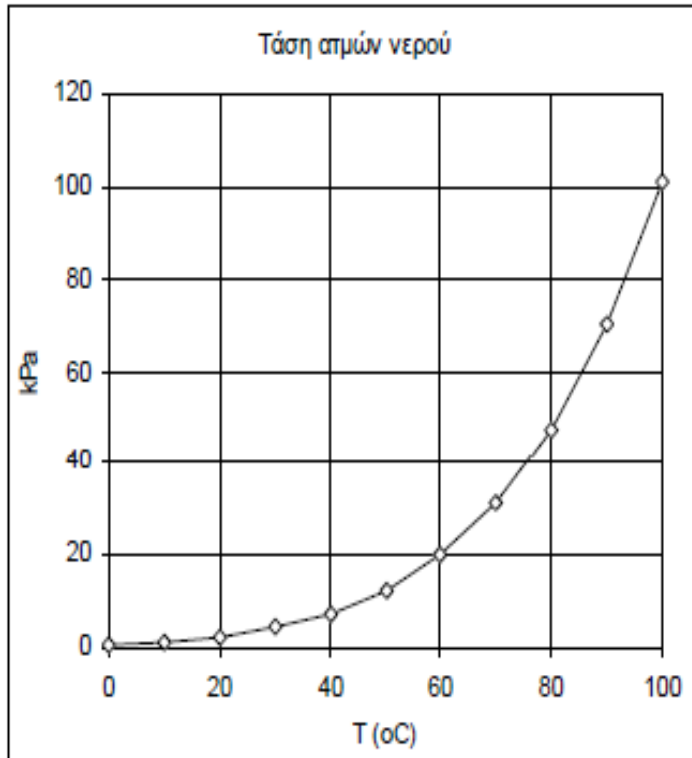
Όπου

$p_a \rightarrow$ η πίεση του περιβάλλοντος ρευστού

$p_v \rightarrow$ η πίεση των ατμών

$V \rightarrow$ χαρακτηριστική ταχύτητα (π.χ. μέση ταχύτητα του ρευστού)

Όταν η φυσαλίδα του ατμού μετακινηθεί σε περιοχή με μεγαλύτερη πίεση, τότε καταστρέφεται με τη σύγχρονη δημιουργία μιας μικρο έκρηξης που έχει αρνητικές για το περιβάλλον επιπτώσεις. Π.χ σε περίπτωση που αυτό συμβεί κοντά σε στερεό τοίχωμα, η επιφάνειά του καταστρέφεται σταδιακά. Σπηλαιώση εμφανίζεται στις προπέλες των πλοίων, στα κινούμενα μέρη των αντλιών και των υδροστροβίλων, σε περιοχές αποκόλλησης λόγω απότομης διεύρυνσης της διατομής ενός αγωγού κλπ. Στο διάγραμμα 2.30 που ακολουθεί φαίνεται η τάση των ατμών του νερού σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας.



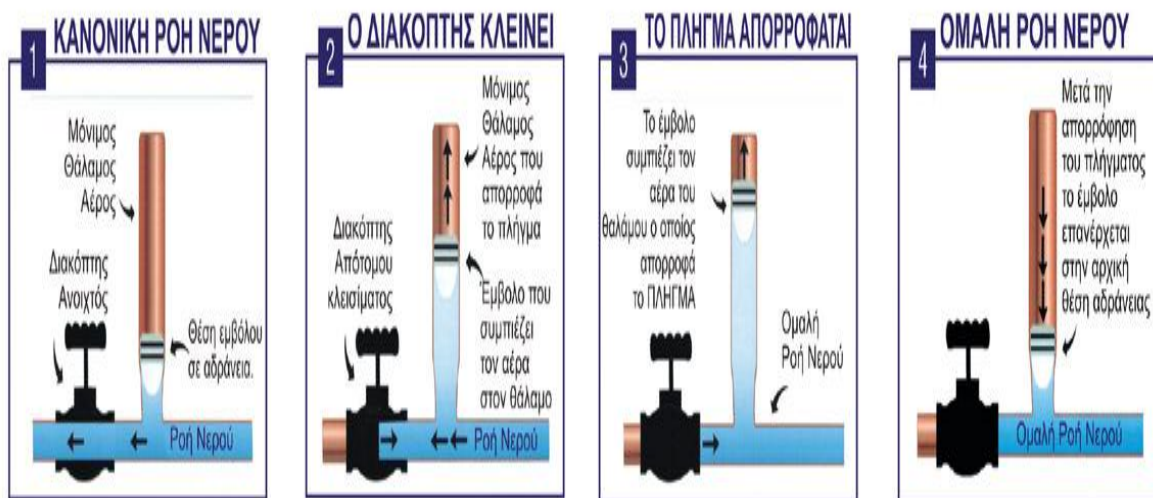
Σχήμα 2.34 Τάση των ατμών νερού σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας.

2.8.3 Υδραυλικό πλήγμα

Το υδραυλικό πλήγμα δημιουργείται όταν διακόπτουμε απότομα την ροή του νερού μέσα σε έναν αγωγό (π.χ. με μία σφαιρική βάννα). Επειδή το νερό είναι ασυμπίεστο ρευστό, η ενέργεια ροής που κατείχε κατά την διάρκεια της ομαλής λειτουργίας του δικτύου ύδρευσης (πριν από την απότομη διακοπή της παροχής), μετατρέπεται σε μια διαταραχή εναλλαγής της στατικής πίεσης στα εσωτερικά τοιχώματα της σωλήνωσης κατά το ανάντι της αρχικής ροής, η οποία παλινδρομεί μέχρι να μετατραπεί σε θερμότητα. Αυτό γίνεται πολύ γρήγορα, συνήθως εντός μερικών δευτερολέπτων, αλλά οι στατικές πιέσεις που αναπτύσσονται ανά πάσα στιγμή σε οποιαδήποτε θέση του αγωγού είναι πολύ μεγάλες (και αντιστρόφως ανάλογες με τον χρόνο που απαιτείται για το κλείσιμο της βαλβίδας) και μπορούν να φτάσουν έως και 8 φορές (800%) την τιμή της πίεσης λειτουργίας του δικτύου. Επειδή οι σωληνώσεις (κυρίως χαλκοσωλήνες) των δικτύων ύδρευσης δεν έχουν ελαστικά τοιχώματα για να διασταλούν κατάλληλα και να απορροφήσουν το πλήγμα, η στατική πίεση αυτή που αναπτύσσεται στα εσωτερικά τοιχώματα των σωληνώσεων του δικτύου,

είναι ικανή να προκαλέσει ζημιά σε οποιοδήποτε σημείο των σωληνώσεων του δικτύου και συνήθως προσβάλλει τις συνδέσεις των σωληνώσεων που είναι και τα πιο τρωτά σημεία και εκεί εμφανίζονται οι περισσότερες διαρροές.

Για την αντιμετώπιση του υδραυλικού πλήγματος έχει καθιερωθεί η εφαρμογή αντιπληγματικών εξαρτημάτων στις μελέτες ύδρευσης δικτύων και σε οικιακές εφαρμογές, στα οποία η πληγματική πίεση ξεπερνά τα 10bar. Στο Σχήμα 2.31 που ακολουθεί παρουσιάζεται σχηματικά η αρχή λειτουργίας των αντιπληγματικών βαλβίδων.



Εικόνα 2

Εικόνα 3

Εικόνα 4

Εικόνα 5

Σχήμα 2.35 Αρχή λειτουργίας των αντιπληγματικών βαλβίδων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Υπολογισμός και κατασκευή του δικτύου

3.1 Παραδοχές υπολογισμών σωληνώσεων

3.1.1 Απώλειες αγωγών

Για όλα τα υλικά σωληνώσεων, οι ανά μονάδα μήκους γραμμικές απώλειες φορτίου υπολογίζονται με την εφαρμογή της εξίσωσης των DARCY-WEISSBACH.

$$J=(\alpha l V^2)/(D2g)$$

Όπου

J=οι απώλειες m/τρέχον m

α = συντελεστής τοπικών απωλειών

λ = ο συντελεστής τριβών, που σε στροβιλώδη ροή και σωλήνες ετερογενούς τραχύτητας υπολογίζεται από τη σχέση των Colebrook-

White

D= η εσωτερική διάμετρος του αγωγού σε m

V= η ταχύτητα ροής του νερού

g= η επιτάχυνση της βαρύτητας (9.81 m/sec)

R= ο αριθμός Reynolds με $v=1.15 \cdot 10^{-6}$

κ = η ισοδύναμη απόλυτη τραχύτητα της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα.

Η ισοδύναμη απόλυτη τραχύτητα ελήφθη σε εξάρτηση από το υλικό του σωλήνα.

→ Αγωγοί από ελατό χυτοσίδηρο $\kappa=0.3\text{mm}$

→ Αγωγοί από πολυαιθυλένιο $\kappa=0.1\text{mm}$

Στις γραμμικές απώλειες φορτίου που υπολογίζονται με τις παραπάνω τιμές κ περιλαμβάνονται και οι απώλειες στους αρμούς σύνδεσης των σωλήνων. Οι τοπικές απώλειες κατά μήκος ενός αγωγού υπολογίζονται σαν ποσοστό 15% των γραμμικών απωλειών του αγωγού ($\alpha=1.15$).

3.1.2 Επιτρεπόμενες ταχύτητες

Οι μέγιστες και ελάχιστες επιτρεπόμενες ταχύτητες ανά εσωτερική διάμετρο αγωγού (Πίνακας 3.1) ελήφθησαν ίσες με τις οριζόμενες στην Εγκύκλιο Δ 22200/30.7.77 του πρώην Υπουργείου Δημοσίων Έργων εκτός από

τη μέγιστη ταχύτητα των μικρότερων σωληνώσεων, που λαμβάνεται ίση με 1.40 m/sec αντί 1.55 m/sec για να μην δημιουργούνται πολύ μεγάλες υπερπιέσεις από το κλείσιμο των τερματικών υδροληψιών.

Πίνακας 3.1 Μέγιστες και Ελάχιστες επιτρεπόμενες ταχύτητες

ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	V_{\max}	V_{\min}
$\Phi=110$ mm	1.40	0.50
$110<\Phi<125$	1.55	0.50
$125<\Phi<175$	1.85	0.50
$175<\Phi<350$	2.00	0.50
$350<\Phi<450$	2.10	0.50
$450<\Phi<600$	2.20	0.50
$600<\Phi<800$	2.30	0.70

3.2 Υπολογισμός δικτύου

Στο υπόψη σωληνωτό δίκτυο εφαρμόζονται σωλήνες από πολυαιθυλένιο μέχρι και την ονομαστική διάμετρο $\Phi 355$ και σωλήνες από ελατό χυτοσίδηρο κατηγορίας K9 στις διαμέτρους $\Phi 500$ και $\Phi 800$. Οι διάμετροι των αγωγών που προέκυψαν από τους υπολογισμούς παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2 που ακολουθεί. Οι κόμβοι του δικτύου είναι αριθμημένοι και συνοδεύονται από το κεφαλαίο γράμμα K (πχ K1022, K103 κτλ), ενώ ο ίδιος αριθμός συνοδεύομενος από το κεφαλαίο γράμμα Y υποδηλώνει τις αντίστοιχες θέσεις υδροληψίας (σχήμα 3.1). Λεπτομερής σχηματική απεικόνιση του δικτύου παρουσιάζεται στη οριζοντιογραφία του Παραρτήματος Π.1, ενώ ένα απόσπασμά της από την περιοχή του Μελανθίου, απεικονίζεται στο Σχήμα 3.1. Αναλυτικά οι υπολογισμοί του δικτύου (πιεζομετρική γραμμή – γραμμή ενέργειας) παρουσιάζονται στην μηκοτομή του Παραρτήματος Π.2



Σχήμα 3.1 Υδροληψία

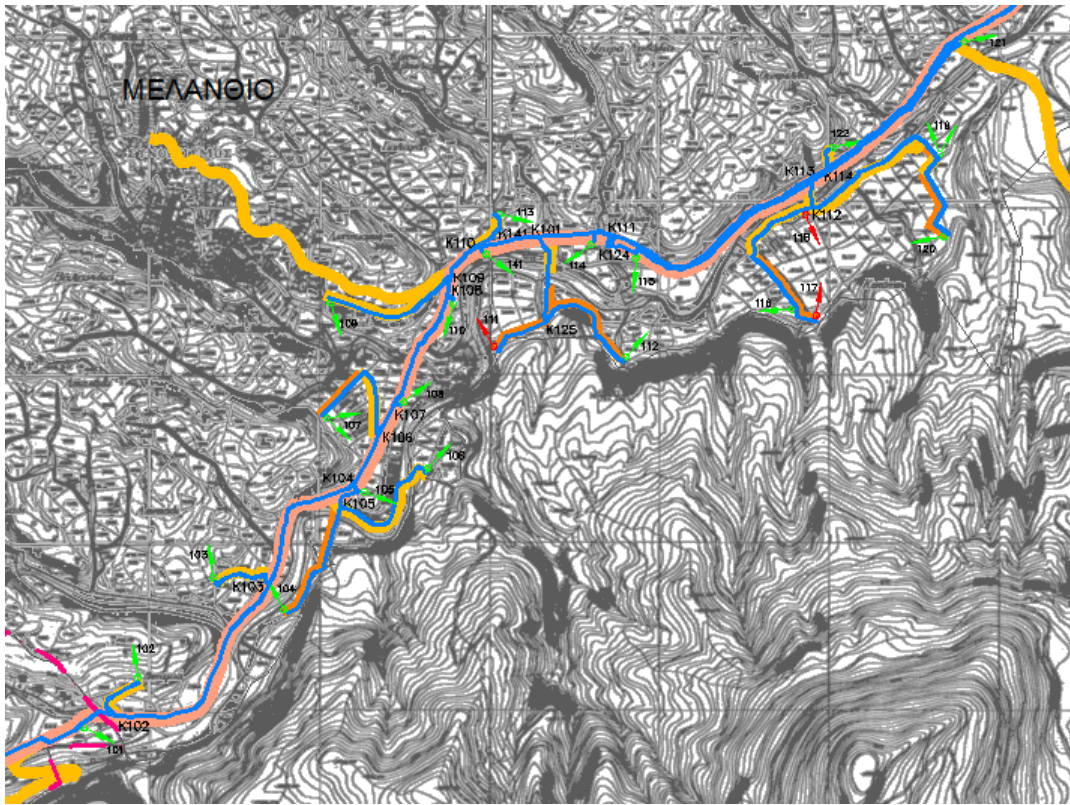
Πίνακας 3.2 Βέλτιστη διαμέτρηση δικτύου για υψόμετρο δεξαμενής 901.00 m

A / A	ΣΩΛΗΝΑ Σ		ΠΑΡΟΧ Η	ΔΙΑ Μ	ΜΗΚΟ Σ	ΤΑΧΥΤΗΤ Α
1	1	1	772.0	800	2	2.01
2	1	Υ10 1	772.0	800	2669	1.54
3	Υ101	Κ10 2	766.0	700	133	1.99
4	Κ102	Κ10 2	6	90	145	0.94
5	Κ102	Υ10 3	766.0	700	664	1.99

6	K103	Y10 3	6	90	185	0.94
7	K103	K10 4	760.0	700	424	1.97
8	K104	Y10 5	12.0	131	15	0.89
9	Y105	K10 5	6.0	90	70	0.94
1 0	K105	Y10 4	6	90	380	0.94
1 1	K105	Y10 6	6	90	385	0.94
1 2	K104	K10 6	748.0	700	169	1.94
1 3	K106	Y10 7	6	90	375	0.94
1 4	K106	K10 7	748	700	105	1.94
1 5	K107	Y10 8	6	90	20	0.94
1 6	K107	K10 8	742.0	700	367	1.93
1 7	#K108	Y11 0	6	90	25	0.94
1 8	K108	K10 9	742.0	700	58	1.93
1 9	K109	Y10 9	6	90	390	0.94
2 0	K109	K11 0	736	700	101	1.91
2 1	K110	Y11 3	6	90	120	0.94

2 2	K110	K14 1	736	700	21	1.91
2 3	K141	Y14 1	6	90	15	0.94
2 4	K141	K10 1	730	700	181	1.90
2 5	K101	K12 5	9	102	268	1.10
2 6	K125	Y11 1	9	102	177	1.10
2 7	K125	Y11 2	6	90	365	0.94
2 8	K101	K11 1	721	700	219	1.87
2 9	K111	K12 4	33	164	30	1.56
3 0	K124	Y11 4	6	90	110	0.94
3 1	K124	Y11 5	33	164	70	1.56
3 2	Y115	K11 3	27	164	634	1.28
3 3	K113	K11 4	6	90	63	0.94
3 4	K114	Y12 2	6	90	85	0.94
3 5	K114	Y12 1	6	90	543	0.94
3 6	K113	K11 2	21	131	85	1.56
3 7	K112	Y11 9	12	131	470	0.89

3 8	Y119	Y12 0	6	90	300	0.94
3 9	K112	Y11 8	15	131	30	1.11
4 0	Y118	Y11 6	9.0	102	435	1.10
4 1	Y116	Y11 7	9	102	85	1.10
4 2	K111	K11 5	688	700	5755	1.79
4 3	K115	Y12 3	6	90	295	0.94
4 4	K115	Y12 4	682	700	61	1.77
4 5	Y124	Y12 5	682	700	459	1.77
4 6	Y125	K11 6	673	700	74	1.75
4 7	K116	K11 7	51	204	85	1.56
4 8	K117	Y12 6	9	102	278	1.10
4 9	K117	Y12 7	42	204	105	1.28
5 0	Y127	Y12 8	33	164	260	1.56
5 1	Y128	K12 2	24	131	343	1.78



Σχήμα 3.2 Απόσπασμα οριζοντιογραφίας δικτύου (περιοχή Μελανθίου)

3.2.1 Αναλυτική παρουσίαση του σχεδιασμού του δικτύου

Ο αγωγός προσαγωγής Φ700 (σχήμα 3.3) από το φράγμα, ξεκινάει αμέσως κατάντη της δικλείδας υδροληψίας $D=600\text{mm}$ του φράγματος και για το πρώτο 1,5 km τοποθετείται στον εργοταξιακό δρόμο προσπέλασης του φράγματος. Στη συνέχεια μετά τη διάβασή του κάτω από το ρέμα Δροσερό (κατάντη της συμβολή του με το ρ. Νίκης), ο αγωγός τοποθετείται στον ασφαλτοστρωμένο επαρχιακό δρόμο Λάγκας- Λακκομάτων - Άργους Ορεστικού. Στη συνέχεια ακολουθώντας βορειοδυτική χάραξη, τοποθετείται σε υπάρχουσα αγροτική οδό μέχρι τη θέση όπου θα κατασκευασθεί η εγκατάσταση καθαρισμού του νερού με χαλικοφίλτρα και στη συνέχεια το έργο μείωσης πίεσης και η πρώτη δεξαμενή του δικτύου (Δεξαμενή Ο1). Το μήκος του αγωγού Φ700 από το φράγμα μέχρι την δεξαμενή Ο1 είναι 3.035 m



Σχήμα 3.3 Αγωγός προσαγωγής Φ700

Η εγκατάσταση φίλτρανσης του νερού θα τοποθετηθεί μέσα σε κτίριο (σχήμα 2.35), σε περιφραγμένο χώρο παρά τον αγροτικό δρόμο. Το κτίριο θα κατασκευαστεί με φέροντα οργανισμό είτε από σκυρόδεμα, είτε μεταλλικό και θα έχει ελάχιστο ωφέλιμο χώρο 600 m^2 , με ελάχιστο ελεύθερο ύψος $7,50 \text{ m}$.



Σχήμα 3.4 Κτίριο εγκατάστασης φίλτρανσης νερού

Περί τα 250 m κατάντη της εγκατάστασης φίλτρανσης, σε περιοχή με υψόμετρο εδάφους περί το +900, προβλέπεται η πρώτη Δικλείδα ρύθμισης και κατάντη αυτής η Δεξαμενή Ο1, από την οποία τροφοδοτείται το 1ο δίκτυο. Η δεξαμενή έχει όγκο ρύθμισης 150 μ³, ανωτάτη στάθμη ΑΣΥ +903 και κατωτάτη στάθμη ΚΣΥ +901. Η δικλείδα ρύθμισης είναι τύπου Needle Valve DN700/PN10 και τοποθετείται σε ειδικό φρεάτιο (τύπου Φ8). Ανάντη της Needle Valve προβλέπεται δικλείδα απομόνωσης και τεμάχιο εξάρμωσης της ίδιας διαμέτρου και κλάσης.

Το μικρό τμήμα (περί τα 15.0 m) του αγωγού μεταξύ Needle Valve και Δεξαμενής Ο1, προβλέπεται από ανοξείδωτο χαλυβδοσωλήνα Φ700 mm πάχους 10 mm Από τη Δεξαμενή Ο1 ξεκινάει αγωγός συνολικού μήκους 12.840 m, και διαμέτρων Φ800 mm και Φ700 mm για μήκος 2.640m και 10.200 m αντίστοιχα, ο οποίος καταλήγει στα Κρύα Νερά, στη Δεξαμενή Ο2, αφού ενδιάμεσα τροφοδοτήσει τους δευτερεύοντες και τριτεύοντες κλάδους του πρώτου δικτύου. Ο αγωγός διαμέτρου Φ800 mm, στο πρώτο τμήμα του μετά την έξοδό του από την δεξαμενή Ο1 και για μήκος 760 m είναι συνεχώς κατερχόμενος και τοποθετείται στον αγροτικό δρόμο σε κοινό σκάμμα με τον αγωγό προσαγωγής Φ700, πλην του τμήματος περί την εγκατάσταση φίλτρανσης, όπου για μήκος 190 m οι δύο αγωγοί απομακρύνονται και τοποθετούνται σε ξεχωριστά σκάμματα. Στη συνέχεια ο αγωγός φθάνει στον ασφαλτοστρωμένο επαρχιακό δρόμο Λάγκας – Άργους Ορεστικού όπου τοποθετείται γενικά προς τη μεριά του βουνού, πλην των θέσεων εκείνων που τοποθετείται εντός του καταστρώματος του δρόμου.

Ο αγωγός Φ800 δεν τροφοδοτεί δευτερεύοντες αγωγούς, ενώ ο Φ700 mm από τη Χ.Θ. 3+211 μέχρι τη Χ.Θ. 5+653 τροφοδοτεί αγωγούς και μεμονωμένες υδροληψίες που αρδεύουν τις παραρρημμάτιες εκτάσεις του Μελανθίου. Οι δευτερεύοντες αγωγοί κατασκευάζονται από σωλήνες πολυαιθυλενίου πίεσεως 16 ΑΤΜ και 20 ΑΤΜ (όπου τα υψόμετρα εδάφους είναι χαμηλότερα από το +743). Στην κεφαλή του δευτερεύοντος κλάδου Κ111-Υ114 τοποθετείται διάταξη μείωσης πίεσης PRV200/PN25. Από το ύψος της διασταύρωσης με το δρόμο προς Ζευγοστάσιο (Χ.Θ. 7+000) και μέχρι τον κόμβο Κ115 (Χ.Θ. 11+408) δεν υπάρχουν αρδευόμενες εκτάσεις στη διαδρομή του αγωγού προσαγωγής. Ο αγωγός Φ700 μέχρι την Χ.Θ. 8+970 τοποθετείται παρά τον ασφαλτοστρωμένο επαρχιακό δρόμο και στη συνέχεια τοποθετείται στον αγροτικό δρόμο που ανέρχεται συνεχώς προς τα Κρύα Νερά, όπου και καταλήγει στη Δεξαμενή Ο2.

Ανάντη της Δεξαμενής Ο2 και για τη ρύθμιση των παροχών, τοποθετείται δικλείδα ρύθμισης τύπου Needle Valve DN400/PN16 μέσα σε φρεάτιο. Ανάντη της Needle Valve προβλέπεται δικλείδα απομόνωσης και τεμάχιο εξάρμωσης της ίδιας διαμέτρου και κλάσης. Το μικρό τμήμα (περί τα 15,0 m) του αγωγού μεταξύ Needle Valve και Δεξαμενής Ο2 προβλέπεται από ανοξείδωτο χαλυβδοσωλήνα Φ400 mm πάχους 10 mm Η Δεξαμενή Ο2 έχει όγκο ρύθμισης

150 μ3, ανωτάτη στάθμη ΑΣΥ +805 και κατωτάτη στάθμη ΚΣΥ +802. Από τη Δεξαμενή Ο2 υδροδοτείται ο κύριος αγωγός Ο2-Κ256, που τροφοδοτεί το 2^ο δίκτυο. Ο Κύριος αγωγός του δικτύου έχει βορειοανατολική κατεύθυνση και διάμετρο Φ600 mm για μήκος 3.243 m μέχρι τον κόμβο Κ220 και μετά η διάμετρος γίνεται Φ500 mm για μήκος 2.251 m μέχρι τον κόμβο Κ240 λίγο πριν τη διάβαση του αγωγού κάτω από το ρ. Καλογέρι. Στη συνέχεια ο αγωγός έχει διάμετρο Φ355 mm για μήκος 496m μέχρι τον κόμβο Κ245 ανάντη (βορείως) του δρόμου που ενώνει τους Λαχανόκηπους με την Αυγή. Από τον κόμβο αυτό θα τροφοδοτηθεί μελλοντικά το δίκτυο των επεκτάσεων Λαχανόκηπων προς βορρά μέχρι το Δασόρεμα. Οι δευτερεύοντες και τριτεύοντες κλάδοι του δικτύου και το τμήμα του Κύριου αγωγού κατάντη του κόμβου Κ240, θα κατασκευασθούν από αγωγούς πολυαιθυλενίου 3^{ης} γενιάς ον. πίεσεως 16 ATM πλην ενός μικρού μήκους αγωγού μεταξύ των υδροληψιών Υ237 και Υ238 και των αγωγών κατάντη του κόμβου Κ247, οι οποίοι θα κατασκευασθούν από αγωγούς πολυαιθυλενίου 3^{ης} γενιάς ον. πίεσεως 20 ATM Στην περιοχή των χαμηλών υψομέτρων θα τοποθετηθούν 15 υδροληψίες των 20 ATM Ανάντη του κόμβου Κ247, προβλέπεται να τοποθετηθεί διάταξη μειωτή πίεσης PRV350/PN16.

3.2.2 Σωληνώσεις

Τα δίκτυα θα κατασκευαστούν από σωλήνες ελατού χυτοσίδηρου και σωλήνες πολυαιθυλενίου 3^{ης} γενιάς, αναλυτικότερα χρησιμοποιούνται:

- i. Στις διαμέτρους 500 , 600, 700 και 800 mm αγωγοί από ελατό χυτοσίδηρο κατηγορίας Κ9.
- ii. Αγωγοί PE 16 ATM σε ονομαστικές διαμέτρους 110, 125, 160, 200, 250, 315 και 355 mm
- iii. Αγωγοί PE 20 ATM σε ονομαστικές διαμέτρους 110, 125, 160, 200 και 315 mm, και
- iv. Αγωγοί PE 25 ATM ονομαστικής διαμέτρου 110 mm μόνο στα έργα εκκένωσης.

Οι αγωγοί πολυαιθυλενίου ονομ πίεσεως 20 και 25 ATM και τα ειδικά τεμάχιά τους θα συγκολληθούν μεταξύ τους με μετωπική συγκόλληση. Οι αγωγοί πολυαιθυλενίου 16 ATM και τα ειδικά τεμάχια τους μπορούν να συγκολληθούν με μετωπική συγκόλληση (σχήμα 3.4) ή με ηλεκτρομούφες. Τα ειδικά τεμάχια των σωλήνων από ελατό χυτοσίδηρο θα είναι από το ίδιο υλικό. Σε θέσεις διάβασης των αγωγών ελατού χυτοσίδηρου κάτω από ρέματα με

απότομη κλίση πρανών, έχει προβλεφθεί η χρήση ειδικών αυτοαγκυρούμενων χυτοσιδήρων συνδέσμων (selfanchored joints) σε όλο το μήκος της διάβασης και κατάλληλο μήκος ανάντη και κατόντη αυτής. Το συνολικό μήκος αγωγών ελατού χυτοσίδηρου που συνδέονται με αυτοαγκυρούμενους συνδέσμους είναι 2,4 km. Η σύνδεση σωλήνων διαφορετικών υλικών θα γίνεται μέσω ειδικών τεμαχίων με φλάντζες. Γενικά η σύνδεση αγωγού από πολυαιθυλένιο με αγωγό από ελατό χυτοσίδηρο ή με συσκευή του δικτύου γίνεται με την παρεμβολή λαιμού με φλάντζα (ειδικό τεμάχιο πολυαιθυλενίου) της αντίστοιχης διάτρησης με τη φλάντζα του ειδικού τεμαχίου από ελατό χυτοσίδηρο (δηλ. 16 ATM ή 25 ATM).



Σχήμα 3.5 Μετωπική συγκόλληση

Όλα τα ειδικά τεμάχια στροφής ή διακλαδώσεως (καμπύλες, ταυ) στις μόνιμες σωληνώσεις από ελατό χυτοσίδηρο του δικτύου θα εγκιβωτισθούν μέσα σε σώματα αγκυρώσεως, από άοπλο σκυρόδεμα C12/15. Τα ειδικά τεμάχια μεταβολής της διαμέτρου (συστολές, σχήμα 3.5) στις σωληνώσεις από ελατό χυτοσίδηρο θα εγκιβωτισθούν μέσα σε σώματα αγκυρώσεως, από οπλισμένο σκυρόδεμα C16/20, σύμφωνα με τα σχέδια της μελέτης. Το ελάχιστο βάθος τοποθέτησεως των σωλήνων έχει καθορισθεί ώστε να έχει 1,00 m επικάλυψη. Οι σωληνωτοί αγωγοί από ελατό χυτοσίδηρο προβλέπεται να εδραστούν σε υπόστρωμα από άμμο, ενώ οι αγωγοί από πολυαιθυλένιο θα εγκιβωτισθούν πλήρως σε άμμο μέχρις ύψους 30 εκ. πάνω από το άνω εξωράχιο του σωλήνα. Το πάχος του υποστρώματος άμμου κάτω από τους σωλήνες θα είναι 15 cm. Το

σκάμμα επιχώνεται με κατάλληλα προϊόντα εκσκαφών ή από δάνεια χώματα. Όλα τα βραχώδη προϊόντα εκσκαφής θεωρούνται ακατάλληλα για την επανεπίχωση και απομακρύνονται προς απόρριψη.



Σχήμα 3.6 Συστολή αγωγού

Στις θέσεις που ο αγωγός τοποθετείται κάτω από το οδόστρωμα της ασφαλτοστρωμένης επαρχιακής οδού ή όταν τη διέρχεται εγκάρσια, το σκάμμα επανεπιχώνεται με θραυστό υλικό και αποκαθίσταται η ασφαλτόστρωση. Στις θέσεις διασταυρώσεων υπογείου σωληνώσεως και ρέμματος ή μισγάγκειας, προβλέπεται ειδικό τεχνικό προστασίας της σωλήνωσης.

3.3 Υπολογισμός ειδικών διατάξεων δικτύου – Αντιπληγματική προστασία

Ο ακόλουθος έλεγχος αφορά την προστασία των αγωγών αρδευτικού δικτύου από τις υπερπίεσης που δημιουργούνται ως αποτέλεσμα απότομων

διακοπών σε υδροληψίες ή δικλείδες ασφαλείας. Η παθητική προστασία περιέβαλε την προσπάθεια αποφυγής μεγάλων ταχυτήτων στους αγωγούς, κατάλληλη χάραξη και αποφυγή δικλείδων στους πρωτεύοντες κλάδους. Σε κάθε περίπτωση όπου προέκυψαν μεγάλες, τοποθετήθηκε αντιπληγματική βαλβίδα. Στα επόμενα αναφέρονται αναλυτικά τα κριτήρια ελέγχου και περιγράφεται το αντικείμενο, η έκταση και οι προϋποθέσεις των υπολογισμών.

Χρόνος κλεισίματος αποφρακτικών οργάνων

Ο χρόνος κλεισίματος για βάνες απομόνωσης διαμέτρου μικρότερης ή ίσης με 350mm ελήφθει ίσος με 5 sec ενώ για βάνες απομόνωσης διαμέτρων ο χρόνος κλεισίματος θα είναι ίσος με 10sec. Οι υδροληψίες θεωρείται ότι είναι όλες του ενός στομίου. Ο χρόνος κλεισίματος των υδροληψιών είναι της τάξης των 3 sec. Οι παροχές υπολογισμού των σωλήνων για την επίλυση του πλήγματος έχουν προσδιοριστεί με αυτή τη παραδοχή.

Υπολογισμοί για χειρισμούς ακραίων υδροληψιών

Βασική παραδοχή του υπολογισμού είναι ότι η ελεγχόμενη υδροληψία είναι η μόνη ανοιχτή στο δίκτυο. Με την προϋπόθεση της μιας ανοιχτής υδροληψίας οι πιέσεις λειτουργίας στην ελεγχόμενη θέση είναι γενικά πολύ μεγαλύτερες από αυτές που αντιστοιχούν στις παροχές υπολογισμού σε όλα τα τμήματα του δικτύου. Ο έλεγχος κάλυψε το σύνολο των ακραίων σημείων του δικτύου με κριτήριο τον αποκλεισμό παροχής 7,2 ή αντιστοίχως 10,8 lt/sec σε χρόνο 3 sec. Επίσης εξετάστηκαν κόμβοι και υδροληψίες αμέσως ανάντη της ακραίας για να ελεγχθεί τυχόν μεγάλη υπερπίεση στο παρακείμενο τυφλό άκρο ή και υπερβολική υπερπίεση στην προτελευταία υδροληψία παρά την ύπαρξη αντιπληγματικής βαλβίδας στο τυφλό άκρο. Κατά τον υπολογισμό λήφθηκε υπόψη η διαδοχή των διαμέτρων από την εξεταζόμενη υδροληψία ως το πλησιέστερο σημείο εκτόνωσης.

Υπολογισμοί για τις δικλείδες ελέγχου

Στην περίπτωση που μια δικλείδα φράσσει ολόκληρη την παροχή του τέρματος του ανάντι σωλήνα, ο έλεγχος υπερπίεσης για το κλείσιμο της δικλείδας αυτής γίνεται για αποκλεισμό ολόκληρης της περιοχής, ως μόνης παροχής σε όλο το δίκτυο. Στην περίπτωση που από ένα κόμβο ξεκινάνε περισσότεροι από ένας κλάδοι που όλοι είναι εφοδιασμένοι με δικλείδες ο έλεγχος γίνεται γενικά για κάθε μια από τις δικλείδες και με την αντίστοιχη παροχή. Τέλος υπάρχει περίπτωση να ξεκινάνε από ένα κόμβο περισσότεροι κλάδοι αλλά να μην υπάρχουν δικλείδες σε όλους τους κλάδους. Τότε ο έλεγχος γίνεται για τις υπάρχουσες δικλείδες και λαμβάνεται υπόψη ο μη αποκλειόμενος

κλάδος ως τυφλός κλάδος χωρίς παροχή γιατί είναι η δυσμενέστερη περίπτωση.

3.3.1 Παραδοχές υπολογισμού

Από τις κύριες παραμέτρους που επηρεάζουν το φαινόμενο αυτό είναι η ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει στον αγωγό το κύμα πίεσης. Σε αγωγούς πλήρες ύδατος, η ταχύτητα μετάδοσης του κύματος a εξαρτάται από το υλικό των σωλήνων. Έτσι προκύπτουν οι ακόλουθες τυπικές τιμές :

- Σε αγωγούς από ελατό χυτοσίδηρο με $a=1100$ m/sec
- Σε αγωγούς από πολυαιθυλένιο με $a= 350$ m/sec

Έστω ότι T_{χ} -> χρόνος διακοπής υδροληψίας ή δικλείδας

- Για διακοπή υδροληψίας $T_{\chi}=3$ sec
- Για διακοπή δικλείδας ($D<350$ mm) $T_{\chi}=5$ sec
- Για διακοπή δικλείδας ($500\text{mm}<D>350\text{mm}$) $T_{\chi}=10$ sec

T_{μ} -> χρόνος για να διατρέξει τον αγωγό μια διαταραχή πίεσης και να επιστρέψει στο σημείο εκκίνησης $T_{\mu} =2L/a$ (όπου L το υλικό μήκος του αγωγού)

$$DV=4Q_i/\pi D_i^2$$

Με γνωστή την ταχύτητα μετάδοσης κύματος (a) σε έναν αγωγό, η τοπική μεταβολή της πίεσης μπορεί να υπολογισθεί με τους εξής τρόπους:

- Για ταχείες μεταβολές της ταχύτητας του νερού DV , (δηλαδή όταν $T_{a_{\chi}}<T_{\mu}$) μέσω της σχέσης $DP_{\max}=aDV/g$
- Για αργές μεταβολές της ταχύτητας του νερού DV (δηλαδή όταν $T_{a_{\chi}}>T_{\mu}$) μέσω της σχέσης $DP_{\max}=2LDV/gT_x$

Το L εκφράζει το συνολικό μήκος του αγωγού σταθερής διαμέτρου D . Ωστόσο το αρδευτικό δίκτυο αποτελείται από κλάδους σε σειρά διαφορετικής διαμέτρου D . Για την χρήση λοιπόν των ανωτέρω τύπων και τον υπολογισμό των υπερπίεσεων το συνολικό μήκος επιμέρους διαμέτρων και μήκων $L_1(D_1) \dots L_i(D_i)$, συσχετίζεται με το ισοδύναμο μήκος $L_{\text{ισοδ}}$ (σταθερής διαμέτρου D_i) με βάση τον τύπο $L_{\text{ισοδ}}=D_1^2(L_1/D_1^2 + L_2/D_2^2 + \dots)$, όπου D_1 η διάμετρος του

τμήματος όπου βρίσκεται η συσκευή που κλείνει. Η αντιπληγματική βαλβίδα προστατεύει κλάδους δικτύου μέγιστου ισοδύναμου μήκους $\alpha T_{\chi}/2$.

Για αγωγούς πολυαιθυλενίου το μέγιστο ισοδύναμο μήκος προστασίας $L_{\text{ισοδ}} = \alpha T_{\chi}/2 = 3/2 * 350 = 525 \text{m}$. Για αγωγούς από ελατό χυτοσίδηρο, το μέγιστο ισοδύναμο μήκος προστασίας $L_{\text{ισοδ}} = \alpha T_{\chi}/2 = 3/2 * 1100 = 1650 \text{m}$. Εισάγοντας στις σχέσεις αυτές την έννοια του ισοδύναμου μήκους προκύπτει η μέγιστη υπερπίεση που δημιουργείται σε αγωγό να δίνεται από τις ακόλουθες σχέσεις :

- $L_{\text{ισοδ}} < L_{\text{ισοδmax}} \rightarrow DP = S \sum L_i / D_i^2 * D_i^2$

Όπου ο παράγοντας S δίνεται από την σχέση : $S = 2DV/gT_x$

- $L_{\text{ισοδ}} < L_{\text{ισοδmax}} \rightarrow DP_{\text{max}} = \alpha DV / g$

Σε περίπτωση διακλάδωσης με τυφλό άκρο, όπου θα συμβεί ανάκλαση του κύματος λαμβάνεται προσεγγιστικά συντελεστής προσαύξησης της υπερπίεσης $\kappa=2$ ώστε $DP' = \kappa DP = 2DP$. Η προαύξηση αυτή δεν λαμβάνεται όταν στη διακλάδωση υπάρχει αντιπληγματική βαλβίδα, δεξαμενή κτλ οπότε το κύμα υπερπίεσης θα εκτονωθεί.

Οι υπολογισμοί θέσεως αντιπληγματικών βαλβίδων αρχίζουν πάντα από τα κατάντη. Για τον αντιπληγματικό έλεγχο θεωρείται πως η πιεζομετρική γραμμή σε όλο το δίκτυο βρίσκεται στην ανώτερη δυνατή θέση. Το διαθέσιμο ενεργειακό ύψος για υπερπίεση σε κάθε κόμβο δίνεται από την σχέση $\Delta H_{\text{διαθ}} = Z_i + P_{\text{ονομ}} - H_{\text{max}}$. Όπου Z_i το υψόμετρο εδάφους και H_{max} το μέγιστο υψόμετρο της πιεζομετρικής γραμμής.

3.3.2 παρουσίαση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών συνοψίζονται ακολούθως ως επί το πλείστον υπό την μορφή πινάκων για τα διάφορα σενάρια διακοπής υδροληψιών και βαλβίδων και τις πιθανές θέσεις της αντιπληγματικής.

Στον Πίνακα 3.4 που συνοδεύει τα σενάρια διακοπής εμφανίζονται οι ονομασίες των κόμβων και των υδροληψιών κατά μήκος της διαδρομής ελέγχου, τα ισοδύναμα μήκη επί σειράς αγωγών διαφορετικής διαμέτρου, ο συντελεστής κ για τις περιπτώσεις ύπαρξης ή μη τυφλού άκρου (με τιμή 2 ή 1 αντίστοιχα) καθώς και οι τιμές της υπερπίεσης και του διαθέσιμου ενεργειακού ύψους μεταξύ των οποίων γίνεται η τελική σύγκριση. Ανάλογα με την σύγκριση κρίνεται η μετακίνηση της αντιπληγματικής προστασίας ανάντη, κατάντη ή η διατήρηση της στο ελεγχόμενο σημείο (ανάντη υδροληψίας, κόμβου ή δικλείδας). Στο δίκτυο χρησιμοποιήθηκαν αγωγοί πολυαιθυλαινίου PE 16 Atm (DE<400mm) και ductile iron (D>400mm) με τις ακόλουθες διαμέτρους:

Πίνακας 3.3 Αγωγοί πολυαιθυλενίου

α/α	Δονομ(mm)	Δεσωτ.(mm)
1	110	90
2	125	102
3	160	131
4	200	164
5	250	204
6	315	257
7	355	290
8	400	327
9	500	500
10	600	600
11	700	700
12	800	800
<p>Εκτός του κλάδου μειωμένης πίεσης στη παραρρέματα περιοχή του Μελανθίου κατάντη του κόμβου K101 του πρώτου δικτύου ,αλλά και στον κλάδο μειωμένης πίεσης Λαχανόκηπων του δεύτερου δικτύου ,όπου χρησιμοποιήθηκαν αγωγοί PE 20 Atm με τις ακόλουθες εσωτερικές διαμέτρους:</p>		

α/α	Δονομ (mm)	Δεσωτ. (mm)
1	110	85
2	125	97
3	160	124
4	200	155
5	250	194
6	315	245
7	355	275
8	400	310

Αντιπληγματική προστασία 1^{ου} Δικτύου

Αντιπληγματικός έλεγχος 1^{ου} δικτύου Βράχου από δεξαμενή Νίκης μέχρι δεξαμενή Κρυών Νερών με μέγιστο υψόμετρο Π.Γ H=903,0 m και ΚΣΥ: H=901,0 m.

- Σενάριο: Διακοπή υδροληψίας Y140 με αντιπληγματική βαλβίδα ανάντη K123

Κόμβος	L_i/D_i^2	$\Sigma(L_i/D_i^2)$	K	DP(m)	$H_{\delta\iota\alpha\theta}$ (m)
K123					
Y140	17.284	17.284	1	10,77	6

Δεν επαρκεί. Πρέπει να μεταφερθεί η αντιπληγματική βαλβίδα ακριβώς ανάντι της Y140.

- Σενάριο : Διακοπή υδροληψίας Y139 με αντιπληγματική βαλβίδα ανάντη K123

Κόμβος	L_i/D_i^2	$\Sigma(L_i/D_i^2)$	K	DP(m)	$H_{\delta\iota\alpha\theta}$ (m)

K123					
Y139	16.340	16.340	1	15.3	1

Δεν επαρκεί. Πρέπει να μεταφερθεί η αντιπληγματική βαλβίδα ακριβώς ανάντι της Y139.

- Σενάριο: Διακοπή υδροληψίας Y138 με αντιπληγματική βαλβίδα ανάντι K122.

Κόμβος	L_i/D_i^2	$\Sigma(L_i/D_i^2)$	K	DP(m)	$H_{\text{διαθ}}$ (m)
K122					
Y138	14.417	14.417	1	13,4	6

Δεν επαρκεί. Πρέπει να μεταφερθεί η αντιπληγματική βαλβίδα ακριβώς ανάντι της Y138.

- Σενάριο: Διακοπή υδροληψίας Y126 με αντιπληγματική βαλβίδα ανάντι K117

Κόμβος	L_i/D_i^2	$\Sigma(L_i/D_i^2)$	K	DP(m)	$H_{\text{διαθ}}$ (m)
K117					
Y126	26.720,5	26.720,5	1	25,02	6

Δεν επαρκεί. Πρέπει να μεταφερθεί η αντιπληγματική βαλβίδα ακριβώς ανάντι της Y126.

- Σενάριο: Διακοπή υδροληψίας Y137

Κόμβος	L_i/D_i^2	$\Sigma(L_i/D_i^2)$	K	DP(m)	$H_{\delta\alpha\theta}$ (m)
K121					
Y135	673	673	1	0,63	58
Y136	4830	5503	1	5,9	34
Y137	9382	14885	1	13,92	52

· Σενάριο: Διακοπή υδροληψίας Y131

Κόμβος	L_i/D_i^2	$\Sigma(L_i/D_i^2)$	K	DP(m)	$H_{\delta\alpha\theta}$ (m)
K118					
Y131	14.889	14.889	1	13,9	42

· Σενάριο: Διακοπή υδροληψίας Y132

Κόμβος	L_i/D_i^2	$\Sigma(L_i/D_i^2)$	K	DP(m)	$H_{\delta\alpha\theta}$ (m)
K118					
K119	30,61	30,61	2	0,06	55
Y132	27530	27561	1	17,2	61

Πίνακας 3.4 Θέσεις τοποθέτησης αντιπληγματικών δικλείδων προστασίας 1_{ov} δικτύου Βράχου

α/α	Θέση βαλβίδας
1	Y104
2	Y106
3	K125
4	Y140
5	Y139
6	Y138
7	Y126
8	K112
9	Y121

Πίνακας 3.5 Στοιχεία αντιπληγματικών βαλβίδων δικτύου Βράχου Καστοριάς

α / α	Τοποθέτηση Ανάντη της/του	παροχή (λ/δλ)	παροχή (m³/h)	ΑΣ Υ	H_{εδ}
1	Y104	7,2	25.9	903	760
2	Y106	7,2	25,9	903	752

3	K125	10,8	38,9	903	744
4	Y140	7,2	25,9	903	749.2
5	Y138	10,8	38,9	903	749.5
6	Y139	10,8	38,9	903	744
7	Y126	10,8	38,9	903	749
8	K112	10,8	38,9	903	712,2
9	Y121	7,2	25,9	903	715,1

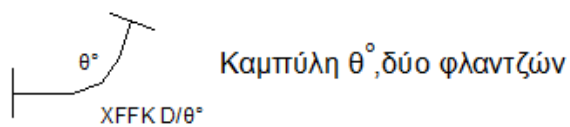
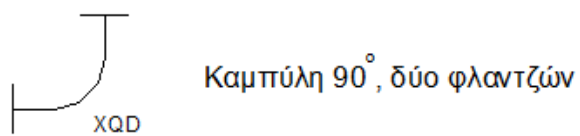
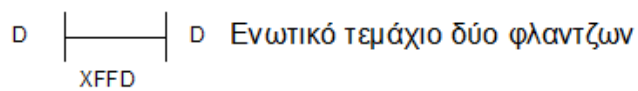
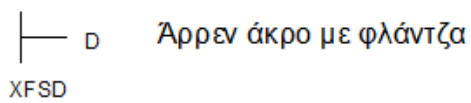
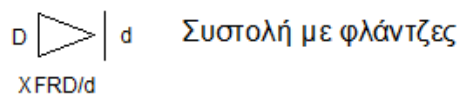
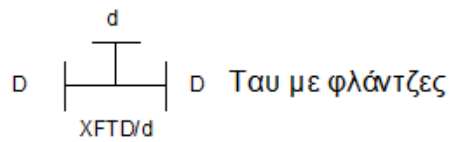
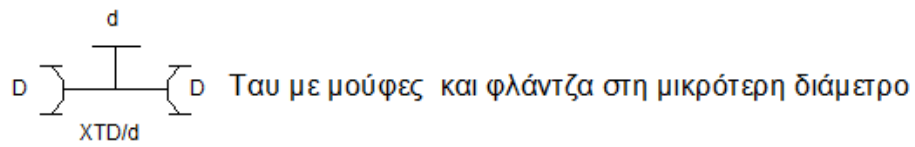
α / α	Μέγιστη στατική πίεση (μ)	Πίεση ρύθμισης(μ)	Κλάση αγωγών (PN)	P _{ON} σωλήνων (ατμ)=1.2	Τύπος αντιπληγματικής βαλβίδας
1	143	150.2	16	19.2	DN50/PN16
2	151	158.6	16	19.2	DN50/PN16
3	159	167	20	24	DN50/PN25
4	153.8	161.5	16	19.2	DN50/PN16
5	153.5	161.2	16	19.2	DN50/PN16
6	159	167	16	19.2	DN50/PN16
7	154	161.7	16	19.2	DN50/PN16
8	190.8	200.3	20	24	DN50/PN25
9	187.9	197.3	20	24	DN50/PN25

Πίνακας 3.6 Τύποι αντιπληγματικών βαλβίδων

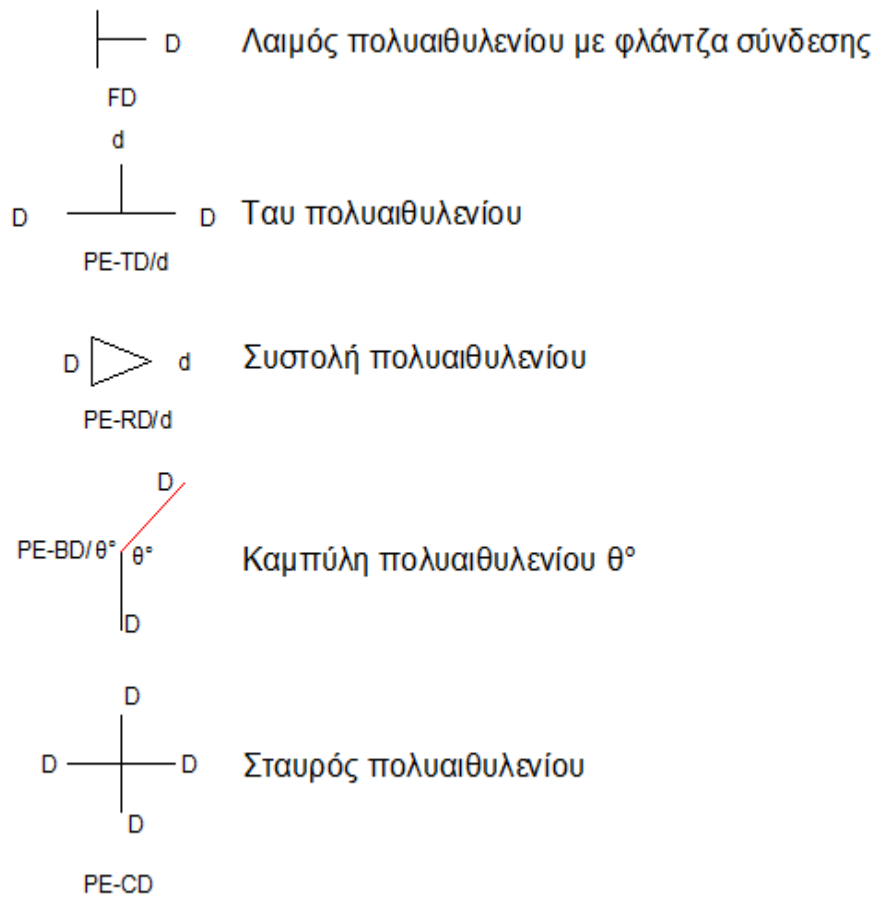
3.4 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες δικτύου

Στα Σχήματα 3.11 – 3.14 που ακολουθούν παρουσιάζονται οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες των συνδέσεων του δικτύου, για τους κόμβους από την Δεξαμενή Ο1 μέχρι την δεξαμενή Ο2. Στα Σχήματα 3.2 – 3.6 επεξηγούνται οι συμβολισμοί των διαφόρων εξαρτημάτων του δικτύου.

A. ΕΙΔΙΚΑ ΤΕΜΑΧΙΑ ΕΛΑΤΟΥ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΥ



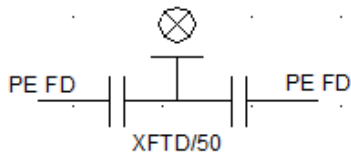
B. ΕΙΔΙΚΑ ΤΕΜΑΧΙΑ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ



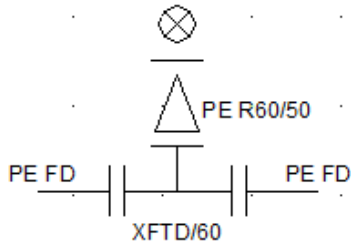
Σε όλα τα ειδικά τεμάχια αναγράφεται η πίεση λειτουργίας.

Σχήμα 3.7 Ειδικά τεμάχια συνδέσεων

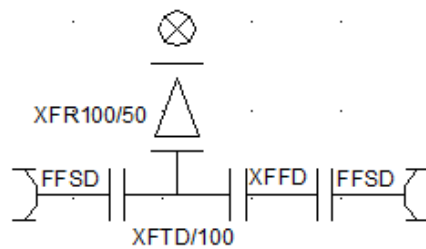
A. ΑΝΤΙΠΛΗΓΜΑΤΙΚΑ



1. $110 \leq D \leq 200$



2. $250 \leq D \leq 355$

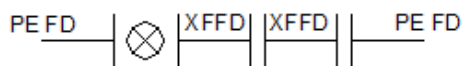


3. $500 \leq D \leq 800$

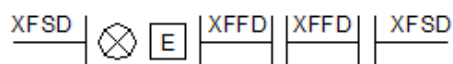
B. ΔΙΚΛΕΙΔΕΣ



1. $110 \leq D \leq 315$



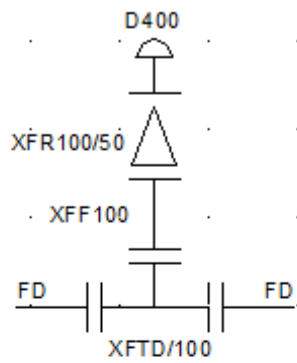
2. $D=355$



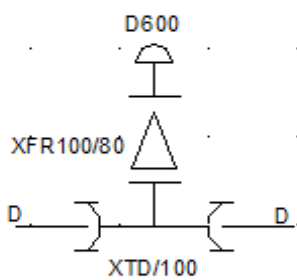
3. $500 \leq D$

Σχήμα 3.8 Αντιπληγματικά και δικλεις

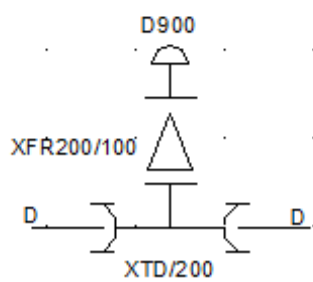
Γ. ΑΕΡΕΞΑΓΩΓΟΙ



1. ΑΕΡΕΞΑΓΩΓΟΣ D400

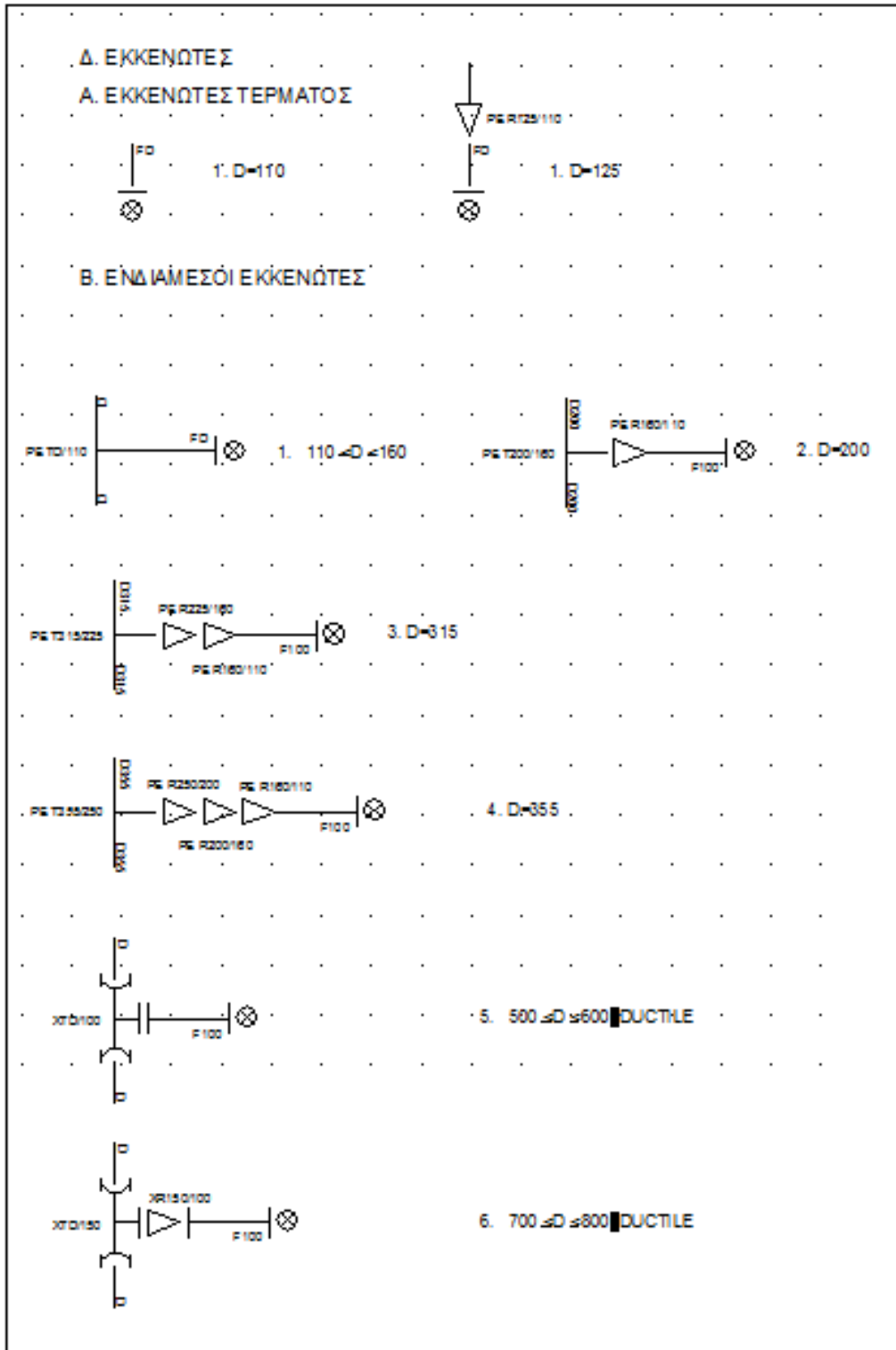


2. ΑΕΡΕΞΑΓΩΓΟΣ D600



3. ΑΕΡΕΞΑΓΩΓΟΣ D900

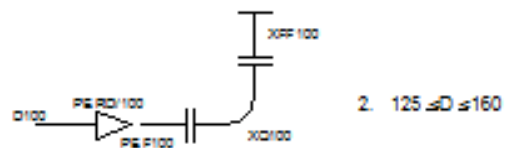
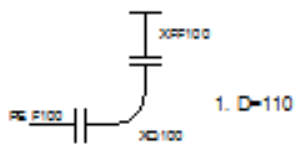
Σχήμα 3.9 Αερεξαγωγοί



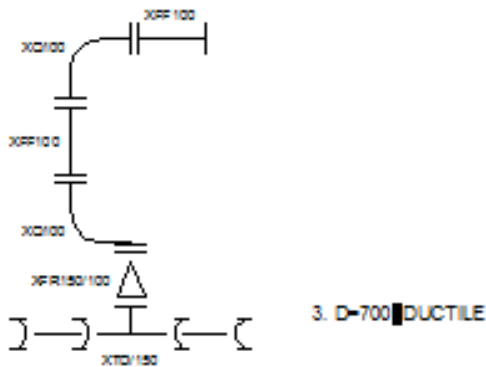
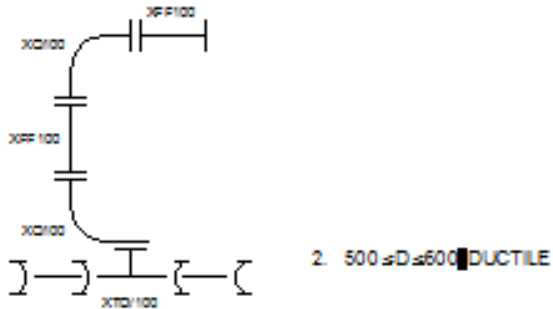
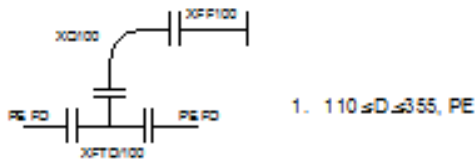
Σχήμα 3.10 Εκκενωτές

Ε. ΥΔΡΟΛΗΨΙΕΣ

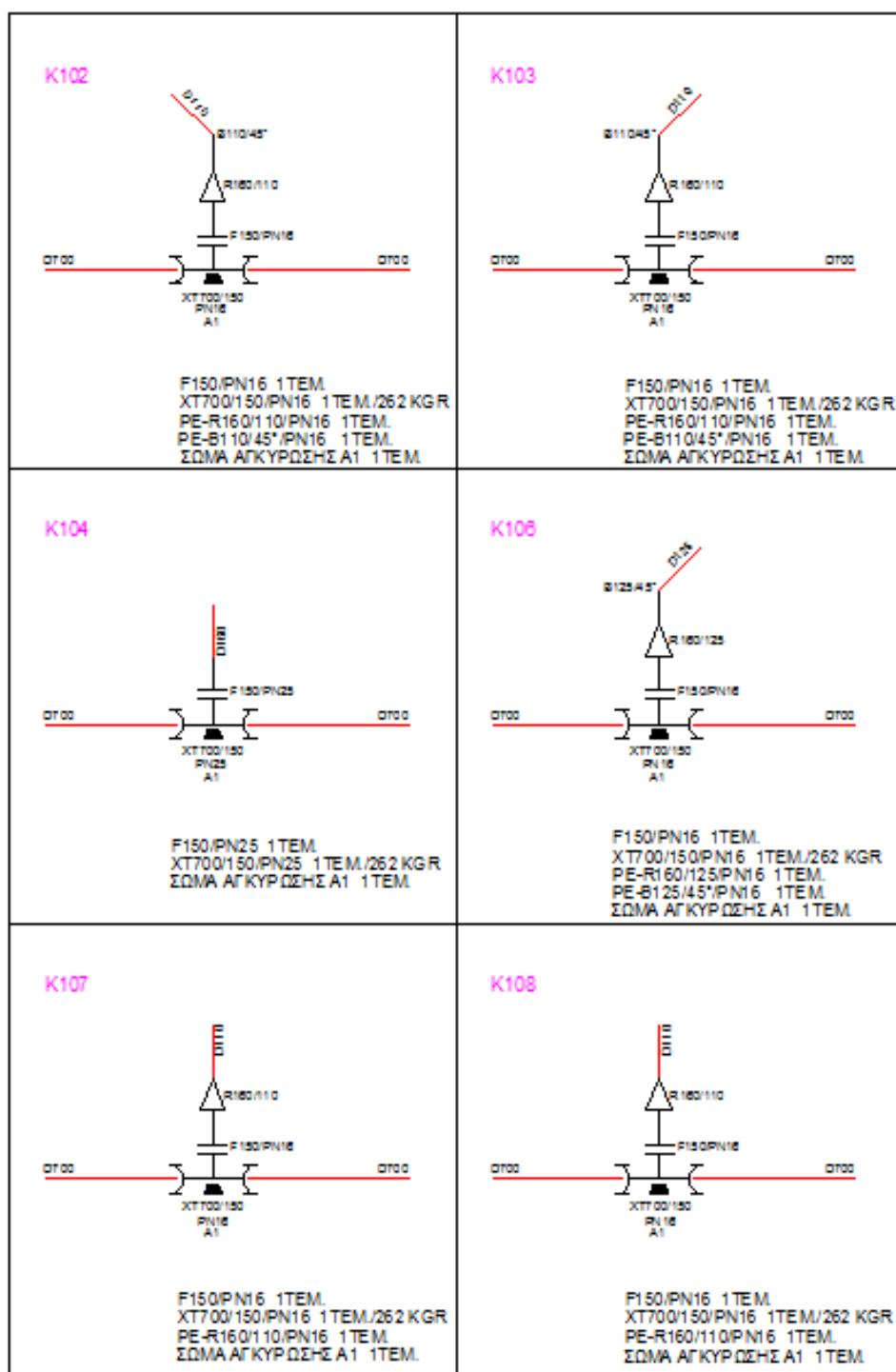
Α. ΥΔΡΟΛΗΨΙΕΣ ΤΕΡΜΑΤΟΣ



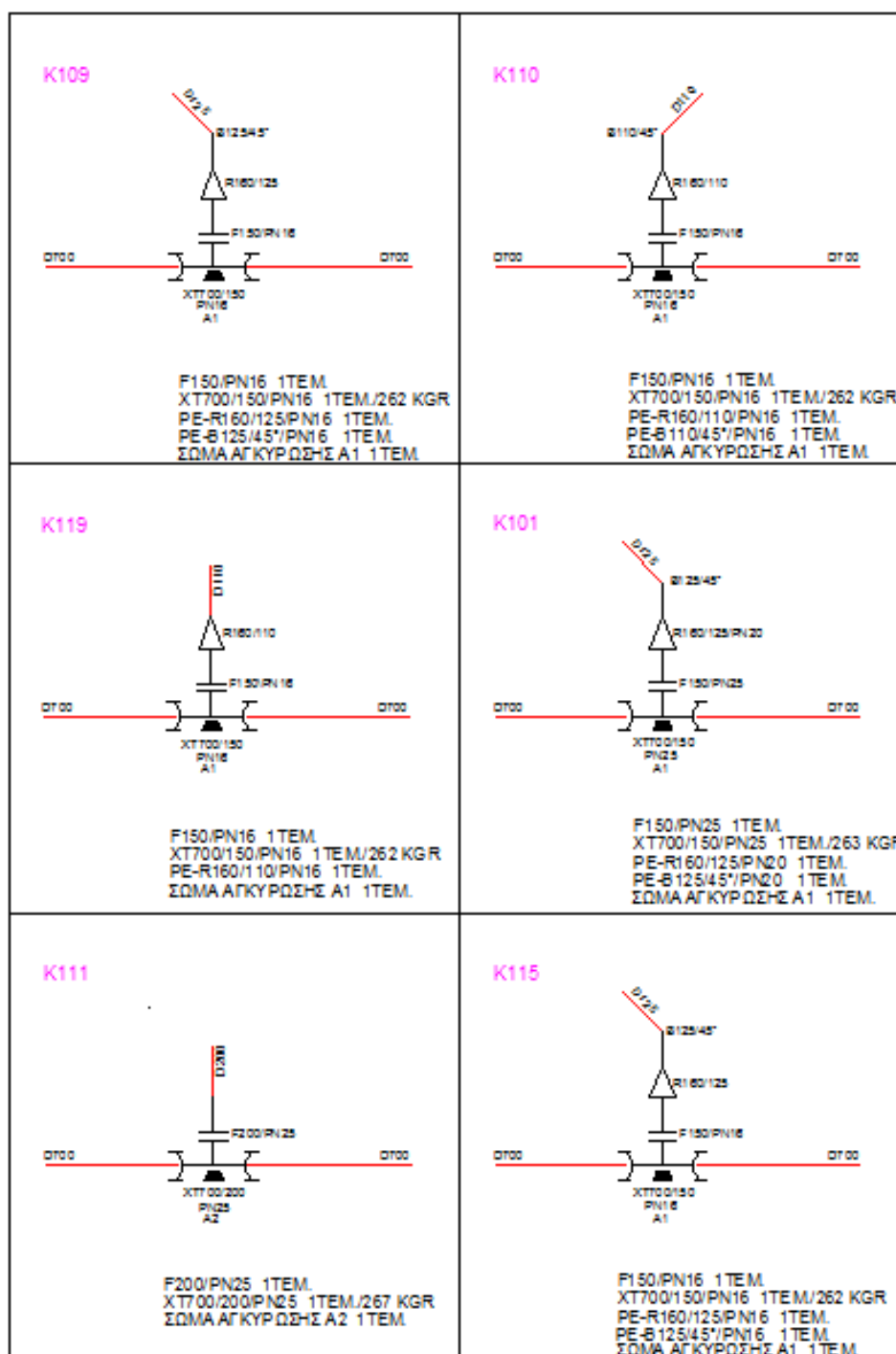
Β. ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΥΔΡΟΛΗΨΙΕΣ



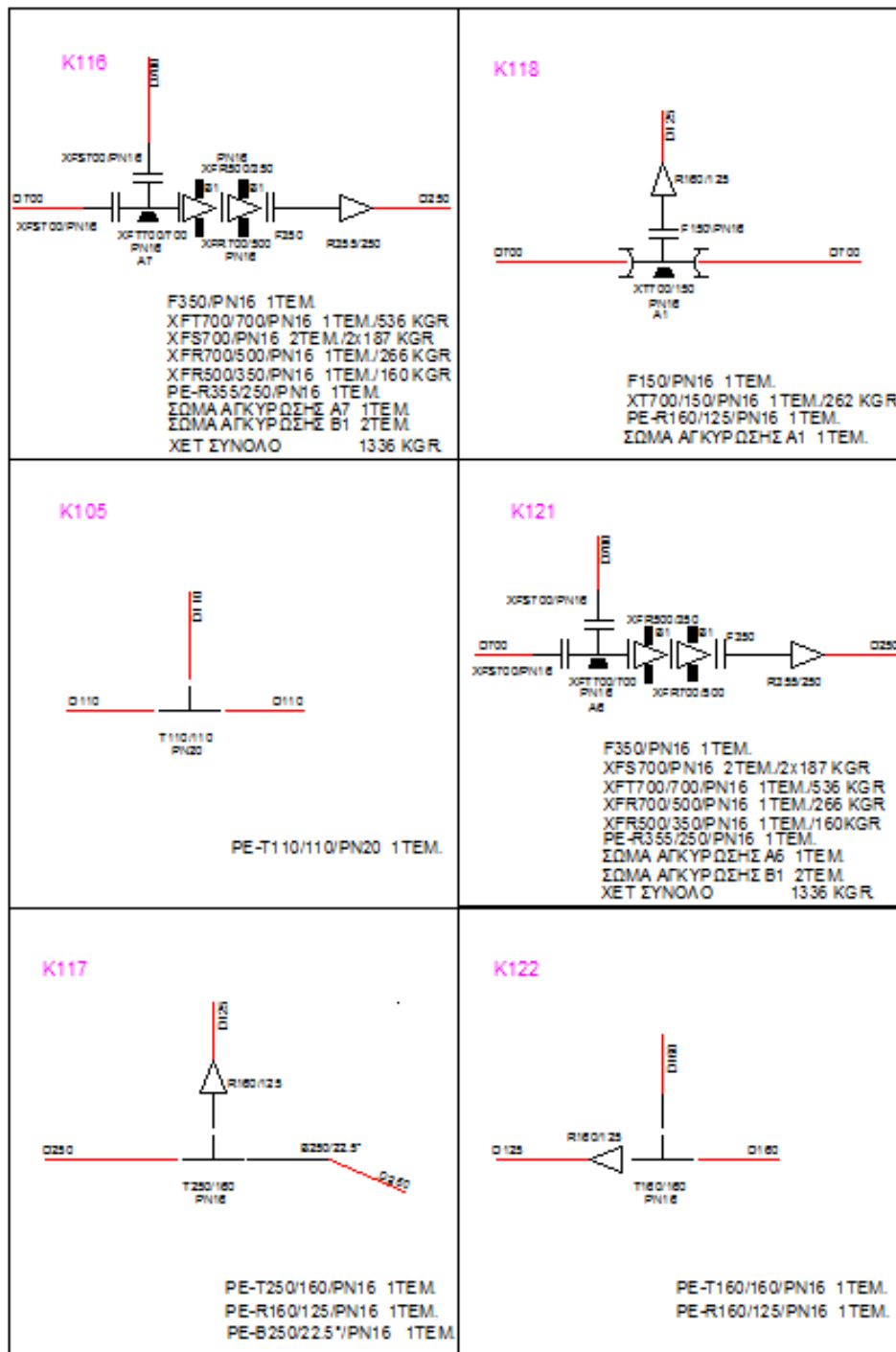
Σχήμα 3.11 Υδροληψίες



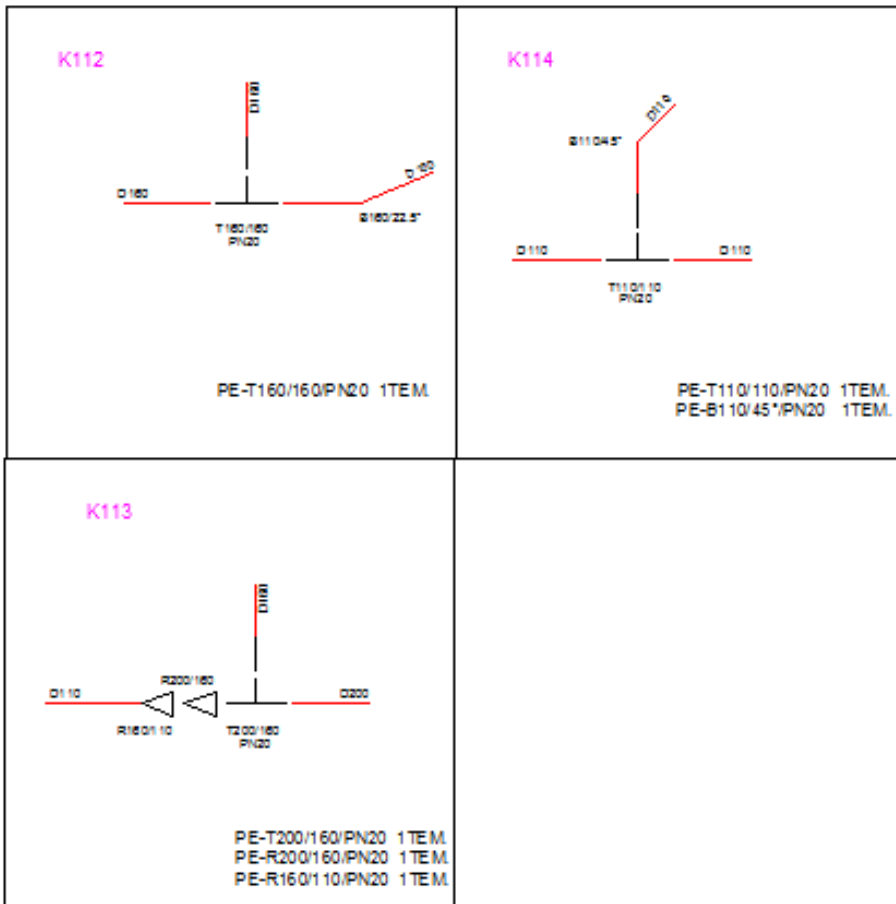
Σχήμα 3.12 Κόμβοι δικτύου



Σχήμα 3.13 Κόμβοι δικτύου



Σχήμα 3.14 Κόμβοι δικτύου



Σχήμα 3.15 Κόμβοι δικτύου

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ℞ Βιβλίο υδραυλικής κλειστών αγωγών
- ℞ Βιβλίο υδρολογίας Αντιπλημμυρικά έργα
- ℞ Τεχνική έκθεση έργου
- Internet- Διδακτικές σημειώσεις: Έκδοση 1 Ακαδημαϊκού έτους 2010-2011 του καθηγητή του Ε.Μ.Π. κ. Παναγιώτη Ν. Παπανικολάου Ph.D εφαρμοσμένη υδραυλική -τοπικές απώλειες σε σωλήνες-συστήματα σωλήνων και δεξαμενές -στοιχεία μόνιμης ροής σε αγωγούς υπό πίεση και αγωγούς με ελεύθερη επιφάνεια.
- ℞ Άρθρο Π. Σ. Κόλλιας, Β. Κόλλιας και Σ. Κόλλιας <<Η κατασκευή δεξαμενών συγκράτησης και αξιοποίησης του νερού σε αγροτικές περιοχές περιβαλλοντικά αποδεκτές θέσεις με επιδίωξη δημιουργίας μικρό-υδροηλεκτρικών έργων.>>
- ℞ Άρθρο του Αλέξανδρου Μαχαίρα, μηχανολόγου μηχανικού ΕΜΠ <<Υδραυλικό πλήγμα: Ο αδυσώπητος εχθρός των δικτύων ύδρευσης. Οι βλαπτικές συνέπειες στα δίκτυα ύδρευσης και πώς αντιμετωπίζονται.>> Δημοσιεύθηκε: 28/12/2007

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παράρτημα 1: Μηκοτομή

Παράρτημα 2: Οριζοντιογραφία

