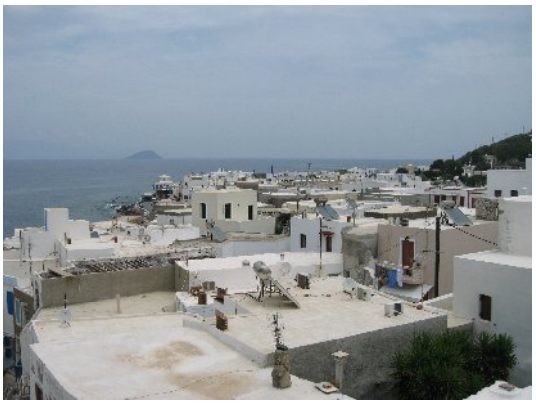
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΟΙΚΙΣΜΩΝ
ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΛΕΤΗΣ : ΟΙΚΙΣΜΟΥ ΜΑΝΔΡΑΚΙΟΥ ΝΙΣΥΡΟΥ



ΕΚΠΟΝΗΣΗ : ΒΑΦΕΙΑΔΗΣ ΓΡΗΓΟΡΗΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΤΣΑΚΙΡΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2008

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σε μια περίοδο που οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι βαθμιαία εξαντλούνται, η προσπάθεια για τη σωστή προστασία και διαχείρισή τους κρίνεται ως επιτακτική ανάγκη. Μέρος αυτής της προσπάθειας, είναι η ελαχιστοποίηση των απωλειών νερού κατά τη λειτουργία των δικτύων ύδρευσης. Για να επιτευχτεί αυτός ο στόχος, χρειάζεται να προηγηθεί η γνώση της υφιστάμενης κατάστασης αυτών. Σε αυτό αποσκοπεί η παρούσα διπλωματική εργασία. Στην ανάλυση που ακολουθεί εξετάζεται η έννοια της επίλυσης των δικτύων ύδρευσης καθώς και οι μέθοδοι με τις οποίες επιτυγχάνεται αυτή. Επιπλέον γίνεται η προσπάθεια να περιγραφεί η λειτουργία ενός δικτύου ύδρευσης με έντονα προβλήματα, αυτό του οικισμού της πρωτεύουσας της Νισύρου, του Μανδρακίου.

Παράλληλα με την παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκαν και οι διπλωματικές εργασίες των συναδέλφων Καρκατσούλη Ελένη με θέμα "Χρήση Μοντέλων Επίλυσης Κυκλοφοριακών Δικτύων Ύδρευσης Οικισμών" και Ζώταλη Αντώνη με θέμα "Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών σε Δίκτυα Ύδρευσης Οικισμών". Οι τρεις διπλωματικές εργασίες εκπονήθηκαν στο Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του Τομέα των Υδατικών Πόρων της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Τσακίρη Γιώργου.

Με το τέλος της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας μου, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Τσακίρη Γιώργο με την καθοδήγηση του οποίου διεκπεραιώθηκε η συγκεκριμένη εργασία .

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω το Λέκτορα κ. Πανταζή Γιώργο για τη βοήθειά του στη συλλογή των απαραίτητων στοιχείων για το υδραυλικό δίκτυο του Μανδρακίου της Νισύρου.

Ευχαριστώ θερμά το Δήμαρχό της Νισύρου κ. Καρακωνσταντίνου Νίκο για τη φιλοξενία του στο νησί και τις διευκολύνσεις που μας παρείχε στην συλλογή στοιχειών για το συγκεκριμένο δίκτυο, καθώς επίσης και τους εργαζόμενους στην Δ.Ε.Υ.Α.Νισύρου Ζαράκη Μιχαήλ και Μπουρβάνη Άννα.

Τέλος δε μπορώ να μην ευχαριστήσω τους φίλους και συναδέλφους Ελένη και Αντώνη για τη συνεργασία τους και για την ηθική τους υποστήριξη.

Με εκτίμηση

Βαφειάδης Γρηγόρης

Αθήνα - Ιούλιος 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ……5
ABSTRACT……6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Δίκτυα ύδρευσης οικισμών
1.1 Γενικά……7
1.2 Σχεδιασμός δικτύων ύδρευση……7
1.3 Προσδιορισμός πιεζομετρικής γραμμής δικτύων ύδρευσης……10
1.4 Ελληνικοί κανονισμοί δικτύων ύδρευσης……12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Μέθοδοι επίλυσης κλειστών δικτύων ύδρευσης
2.1 Γενικά……21
2.2 Αρχές της υδραυλικής που ακολουθούνται κατά την επίλυση κλειστών δικτύων……22
2.3 Υδραυλικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται κατά την επίλυση κλειστών δικτύων……24
2.4 Μέθοδος Q-Cross ……26
2.5 Μέθοδος Newton-Raphson……28
2.6 Γραμμική μέθοδος……32
2.7 Τροποποίηση μεθόδων επίλυσης (περίπτωση τροφοδοσίας από δύο δεξαμενές)……35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Παράδειγμα Επίλυσης κλειστού δικτύου ύδρευσης
3.1 Εκφώνηση παραδείγματος……38
3.2 Επίλυση με τη μέθοδο Q – Cross……42
3.3 Επίλυση με τη μέθοδο Newton-Raphson……46
3.4 Επίλυση με τη γραμμική μέθοδο……49
3.5 Αποτελέσματα επιλύσεων……54
3.6 Προσδιορισμός της πιεζομετρικής γραμμής του δικτύου……55
3.7 Δοκιμή διαφορετικώνδιαμέτρων……59
3.8 Προτεινόμενη θέση δεξαμενής (υψόμετρο και μήκος/διάμετρος αγωγού)……61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Παράδειγμα Επίλυσης κλειστού δικτύου ύδρευσης που τροφοδοτείται από δύο δεξαμενές
4.1 Εκφώνηση παραδείγματος……62
4.2 Επίλυση με τη μέθοδο Q – Cross……65
4.3 Επίλυση με τη μέθοδο Newton-Raphson……70
4.4 Επίλυση με τη γραμμική μέθοδο……76
4.5 Αποτελέσματα επιλύσεων……80
4.6 Προσδιορισμός της πιεζομετρικής γραμμής του δικτύου……81
4.7 Δοκιμή διαφορετικών διαμέτρων……84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Παράδειγμα επίλυσης κλειστού δικτύου ύδρευσης με χρήση βαλβίδας μείωσης πίεσης
5.1 Εκφώνηση παραδείγματος……87
5.2 Επίλυση με τη μέθοδο Q – Cross……91
5.3 Επίλυση με τη μέθοδο Newton-Raphson……95
5.4 Επίλυση με τη γραμμική μέθοδο……99
5.5 Αποτελέσματα επιλύσεων……103
5.6 Προσδιορισμός της πιεζομετρικής γραμμής του δικτύου……104
5.7 Δοκιμή διαφορετικής υψομετρικής θέσης θεωρητικής δεξαμενής……107
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Σύγκριση και αξιολόγηση των μεθόδων επίλυσης
6.1 Σύγκριση και αξιολόγηση των μεθόδων επίλυσης……110
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : Γενική περιγραφή της νήσου Νισύρου και της σημερινής

κατάστασης ύδρευσής της
7.1 Η νήσος Νίσυρος……..113
7.2 Γεωγραφία……114
7.3 Οικονομία……115
7.4 Μυθολογία……115
7.5 Πληθυσμός του νησιού……..115
7.6 Υφιστάμενη κατάσταση ύδρευσης……116
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : Ανάλυση δικτύου ύδρευσης του Μανδρακίου
8.1 Υφιστάμενο δίκτυο ύδρευσης……120
8.2 Διανομή του νερού……..123
8.3 Υδροδότηση συνοικιών……128
8.4 Υπολογισμός παροχών κατανάλωσης……..133
8.5 Υδραυλικοί υπολογισμοί……..139
8.6 Συνολική κατανάλωση οικισμού και απαιτούμενη χωρητικότητα δεξαμενής……..150
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 : Συμπεράσματα και προτάσεις για το δίκτυο ύδρευσης του Μανδρακίου
9.1 Πίεση λειτουργίας……..152
9.2 Προβλήματα κατά τη λειτουργία του δικτύου……153
9.3 Προτάσεις για την αποκατάσταση και τη βελτίωση του δικτύου……156
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ……159
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : Αποτύπωση δικτύου ύδρευσης Μανδρακίου……160
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : Αποτύπωση υδρευόμενων συνοικιών……165
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ : Αποτύπωση αποτελεσμάτων επίλυσης……..175

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα δίκτυα ύδρευσης χρησιμοποιούνται από την αρχαιότητα για να μεταφέρουν και να διανέμουν νερό από τις περιοχές αποθήκευσης στις περιοχές κατανάλωσης. Σήμερα ελάχιστοι είναι οι οικισμοί στον Ελλαδικό χώρο που ικανοποιούν τις ανάγκες τους για νερό χωρίς την ύπαρξη δικτύου ύδρευσης. Το γεγονός αυτό δε σημαίνει βέβαια, ότι όλα υφιστάμενα δίκτυα λειτουργούν αποτελεσματικά καθώς ένα μεγάλο ποσοστό αυτών σημειώνει προβλήματα λειτουργίας και μεγάλες διαρροές νερού. Δεδομένης της μεγάλης ανάγκης για εξοικονόμηση νερού, είναι απαραίτητη η επιδιόρθωση των παλιών ή η κατασκευή νέων δικτύων. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας συνεισφέρει πλέον σε μεγάλο βαθμό τόσο στο σχεδιασμό όσο και στην κατασκευή των δικτύων, μέσω των προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών και την χρήση νέων τύπων υλικών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος αναφέρονται οι βασικές έννοιες που συναντώνται κατά το σχεδιασμό των δικτύων ύδρευσης και οι Ελληνικοί κανονισμοί για την κατασκευή τους. Ακολουθεί η ανάλυση τριών ευρέως διαδεδομένων μεθόδων επίλυσης κλειστών δικτύων ύδρευσης, Αυτές είναι, με τη σειρά που αναλύονται, η Q – Cross, η Newton – Raphson και η Γραμμική. Μετά από περιγραφή της θεωρίας τους, που γίνεται στο δεύτερο κεφάλαιο, παρατίθεται η επίλυση τριών διαφορετικών παραδειγμάτων δικτύων ύδρευσης με κάθε μια από αυτές. Τα παραδείγματα βρίσκονται στο τρίτο, τέταρτο και πέμπτο κεφάλαιο.

Μέσω των παραδειγμάτων, καθίσταται σαφής όχι μόνο ο τρόπος επίλυσης κάθε μεθόδου, αλλά και η επιρροή που έχει στη λειτουργία του δικτύου η επιλογή των υδραυλικών χαρακτηριστικών των αγωγών. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι μέθοδοι αυτοί είναι το οργανικό κομμάτι του σχεδιασμού των δικτύων ύδρευσης, μιας και μέσω αυτών γίνονται όλοι οι υπολογισμοί και λαμβάνονται οι αποφάσεις για τις διαστάσεις και τη μορφή των δικτύων. Επιπλέον οι αλγόριθμοι των μεθόδων (ή μέρη αυτών) χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των προγραμμάτων επίλυσης δικτύων ύδρευσης.

Στο δεύτερο μέρος περιγράφεται η λειτουργία του δικτυού του οικισμού της πρωτεύουσας της Νισύρου, του Μανδρακίου. Είναι ένα δίκτυο που δύσκολα ικανοποιεί τις ανάγκες των κατοίκων για νερό, κυρίως λόγο των μεγάλων διαρροών που εμφανίζει. Η περιγραφή έγινε μετά από επίσκεψη στο νησί και ανάλυση της προϋπάρχουσας μελέτης ύδρευσης του οικισμού, η οποία συνοδεύονταν και από σχέδια που αποτύπωναν το δίκτυο. Η επίλυση του δικτύου έγινε με τη χρήση του ελεύθερου προγράμματος επίλυσης δικτύων ύδρευσης “EPANET”.

Η περιγραφή της υπάρχουσας κατάστασης ύδρευσης του οικισμού και οι υδραυλικοί υπολογισμοί βρίσκονται στο έβδομο και όγδοο κεφάλαιο αντίστοιχα. Στα δύο τελευταία κεφάλαια αναλύονται τα συμπεράσματα από τη λειτουργία του δικτύου και προτείνονται κατάλληλες λύσεις

Methods for resolving looped water supply networks
Network of study : water distribution system of Mandraki, Nisyros

Abstract

The networks of water supply are used from the antiquity in order to transport and distribute water from the regions of storage to the regions of consumption. Nowadays the settlements in Greece which satisfy their needs for water without the existence of a network of water supply are very few. This fact does not mean of course, that all the existing networks function efficiently. A big percentage of them mark problems of operation and big escapes of water. Given the fact that that we are in big need on saving water, it is essential to repair the old networks or manufacture new ones. The growth of technology contributes to a large extent in planning as well as in manufacturing of networks, by using computer programming and new types of materials.

The present diploma thesis is constituted by two parts. In the first part the basic principles and ideas for the design of water supplies are presented as well as the Greek regulations for them. The analysis of the three most widely spread methods for the solution of close water supplies is given next. These methods are the Q-Cross, the Newton – Raphson and the Linear method. The methods are described theoretically in Chapter 2. A solution of three different examples of networks, one for each method, are given in Chapters 3, 4, 5 respectively.

Via the examples given, is rendered explicitly not only the algorithm of the solution of each method, but also the impact that has in the operation of the network the choice of hydraulic characteristics of conductors. It is important to be stressed that these methods are the organic piece of planning of networks of a water supply and they determine all the calculations and the decisions on dimensions and the form of networks. Moreover the algorithms of the methods (or parts of them) are used for the development of computer programs for the solution of the networks of a water supply.

A description of the operation of the water network of the capital of Nisyros, Mandraki is presented in the second part. This network hardly satisfies the needs of residents for water, because big escapes of water are present. This description is a product of a visit in the island and the extended analysis of pre-existing studies of the water supply there. The solution of network was given by using the free program for the solution of networks of a water supply " EPANET ".

The description of existing state of the water supply of the settlement and the hydraulic calculations can be found in the seventh and eighth chapter respectively. In the final two chapters conclusions from the operation of the networks are drowned and proposals for the enhancement of the system are made.

Grigoris Vafeiadis

July 2008

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^{ο}

Δίκτυα ύδρευσης οικισμών

1.1 Γενικά

Η ανάγκη μιας πόλης, μιας βιομηχανίας ή μιας καλλιέργειας για νερό ικανοποιείται μέσω των δικτύων ύδρευσης ή δικτύων διανομής νερού ή αλλιώς του εσωτερικού υδραγωγείου. Αυτά είναι ένα σύνολο κλειστών αγωγών που λειτουργούν υπό πίεση και σκοπό έχουν την μεταφορά και τη διανομή του νερού από τις περιοχές αποθήκευσης στις περιοχές κατανάλωσής. Οι αγωγοί που τα αποτελούν είναι διαφόρων διαμέτρων και υλικών κατασκευής και συνδέονται μεταξύ τους με συνδέσεις διαφόρων τύπων. Γίνεται η προσπάθεια, η μορφή των αγωγών να προσεγγίζει το ευθύγραμμο τμήμα, επειδή όμως αυτό δε μπορεί να επιτευχθεί πάντα, χρησιμοποιούνται τεθλασμένοι αγωγοί ανάμεσα στους ευθύγραμμους για να δώσουν στο δίκτυο την επιθυμητή κατεύθυνση. Για να καλυφθεί όλο το μήκος μια περιοχής από το δίκτυο διανομής είναι αναγκαίο να διακλαδώνεται και για να λειτουργεί αποτελεσματικά πάντα περιλαμβάνει βαλβίδες ρύθμισης ροής, πολλές φορές αντλίες και συσκευές διαχείρισης πίεσης.

Στην ανάλυση των δικτύων ύδρευσης συναντώνται τρεις ορολογίες, οι κλάδοι, οι κόμβοι και οι βρόχοι. Κλάδοι ονομάζονται οι αγωγοί του δικτύου που έχουν σταθερά υδραυλικά χαρακτηριστικά, δηλαδή σταθερή διάμετρο, τραχύτητα, παροχή και ταχύτητα. Κόμβοι ονομάζονται τα σημεία στα οποία συνδέονται δύο ή περισσότεροι αγωγοί. Βρόχοι ονομάζονται τα κλειστά κυκλώματα αγωγών. Ανάλογα με τη συνδεσμολογία των αγωγών μεταξύ τους, τα δίκτυα ύδρευσης μπορούν να έχουν τρείς μορφές. Αυτή του ανοιχτού ή κλαδωτού, αυτή του κλειστού ή βροχωτού και αυτή του μεικτού που είναι ο συνδυασμός των δύο προηγούμενών.

1.2 Σχεδιασμός δικτύων ύδρευσης

Ο σχεδιασμός των δικτύων ύδρευσης είναι εκείνη η διαδικασία κατά την οποία γίνεται η επιλογή της διαδρομής που θα ακολουθεί το δίκτυο (υψόμετρα και περιοχή κάλυψης), της διατομής και του υλικού των αγωγών καθώς και των συσκευών που θα χρησιμοποιηθούν για την ομαλή του λειτουργία. Σε καμία περίπτωση δε γίνεται τυχαία, αλλά συντάσσεται αναλυτική μελέτη κατά την οποία πρέπει να ικανοποιούνται οι δυο βασικές απαιτήσεις : πρέπει να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη παροχή σε κάθε σημείο του δικτύου με ικανοποιητική ταχύτητα και να φροντίζεται η

ανάπτυξη των αναγκαίων πιέσεων (Σπηλιώτης Μ., 2004), δηλαδή θα πρέπει να παρέχει όσο νερό χρειάζεται και υπό την κατάλληλη πίεση.

Η διαδικασία του σχεδιασμού πρέπει να περιλαμβάνει ορισμένα δεδομένα για την περιοχή μελέτης και να υπακούει σε συγκεκριμένους περιορισμούς :

- *Μελλοντικός πληθυσμός*

Ένα δίκτυο ύδρευσης που πρόκειται να κατασκευαστεί, να επεκταθεί ή να επιδιορθωθεί δε μπορεί να αναφέρεται στην συγκεκριμένη χρονική στιγμή που γίνεται η μελέτη. Τα υδραυλικά του χαρακτηριστικά πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζουν την ικανοποιητική και ομαλή λειτουργία του στο μέλλον. Επιχειρείται λοιπόν να γίνει μια πρόβλεψη του μελλοντικού πληθυσμού και κατά συνέπεια να υπολογιστούν οι μελλοντικές ανάγκες κατανάλωσης που θα αναπτυχθούν, έτσι ώστε το δίκτυο που θα σχεδιαστεί να είναι σε θέση να τις καλύψει. Συνήθως το μελλοντικό διάστημα στο οποίο αναφέρονται τα δίκτυα ύδρευσης είναι αυτό των 30 – 40 χρόνων, τόση θεωρείται και η διάρκεια ζωής τους.

- *Παροχή σχεδιασμού*

Για να γίνουν οι υδραυλικοί υπολογισμοί του σχεδιασμού πρέπει να υπάρχει γνώση της κατανάλωσης νερού των κατοίκων της περιοχής μελέτης. Η γνώση αυτή είναι δύσκολο να επιτευχθεί με μεγάλη λεπτομέρεια, για αυτό το λόγο, αλλά και για επιπλέον ευκολία, ανάλογα με το μέγεθος, τη δόμηση και τις χρήσεις γης της περιοχής που αναφέρεται ο σχεδιασμός του δικτύου ύδρευσης, γίνεται και μια υπόθεση για την μέση ημερήσια κατανάλωση ($meanQ_H$) κάθε κατοίκου (π.χ. για μικρούς νησιωτικούς οικισμούς $meanQ_H$ = 100 – 150 L/ημέρα , για μεγάλα αστικά κέντρα $meanQ_H$ = 200 – 250 L/ημέρα). Υπολογίζεται έτσι η παροχή σχεδιασμού του δικτύου ύδρευσης, Επειδή όμως το δίκτυο ύδρευσης θα πρέπει να ικανοποιεί και τις μέγιστες ανάγκες νερού που παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια της μέρας, ορίζονται επιπλέον δύο μεγέθη, η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση ($maxQ_H$) και η μέγιστη ωριαία κατανάλωση ($maxQ_\omega$). Αυτές συνδέονται με τη μέση ημερήσια κατανάλωση με τις παρακάτω σχέσεις :

$$\frac{\max Q_H}{meanQ_H} = \lambda_1 \qquad (1,1)$$

$$\frac{\max Q_\omega}{\max Q_H} = \lambda_2 \qquad (1,2)$$

$$\frac{\max Q_\omega}{meanQ_H} = \lambda_1\lambda_2 \qquad (1,3)$$

(Όπου : $\lambda_1 \in [1,2,3]$, $\lambda_2 \in [1,2,3]$, $\lambda_1\lambda_2 \in [3,6]$)

Ως παροχή σχεδιασμού θεωρείται η μέγιστη ωριαία κατανάλωση, που υποδηλώνει το στιγμιαίο μέγιστο της παροχής κατά τη διάρκεια της ημέρας και αποτελεί τη

δυσμενέστερη περίπτωση (Σπηλιώτης Μ.,2004). Για πιο ορθολογική αντιμετώπιση του ζητήματος, η παροχή που επιλέγεται τελικά είναι η :

$$\max\{ \max Q_{\omega} , \max Q_{H} + Q_{\Pi} \} \qquad (1,4)$$

Όπου Q_{Π} η παροχή πυρκαγιάς, σύμφωνα με τις Οδηγίες Ελληνικών φορέων Ύδρευσης που προσδιορίζεται από την ισαποχή στομίων παροχής 2x5 ή 2x5 ανά 500 ή 300 ή 200 m αναλόγως της δόμησης. Σε μικρούς οικισμούς ο συνυπολογισμός της παροχής πυρκαγιάς στην παροχή σχεδιασμού του οικισμού πρέπει να γίνεται κριτικά.

- *Υπολογισμός παροχών κατανάλωσης (q_i)*

Σε κάθε κλάδο ενός δικτύου ύδρευσης συνδέονται αγωγοί οι οποίοι διανέμουν το νερό στους καταναλωτές. Αυτοί οι αγωγοί ονομάζονται αγωγοί υδροδότησης και ανάλογα με τις ανάγκες της υδροδοτούμενης περιοχής ο αριθμός τους μπορεί να ποικίλει. Όσο μικρός ή μεγάλος να είναι αυτός ο αριθμός, γίνεται η θεώρηση ότι το νερό καταναλώνεται στους κόμβους του δικτύου, έτσι ώστε να διευκολύνεται ο υπολογισμός των παροχών κατανάλωσης και κατά συνέπεια ο σχεδιασμός και η επίλυση του δικτύου.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον υπολογισμό των παροχών κατανάλωσης είναι η εξής : Φέρονται οι διχοτόμοι των γωνιών από κάθε κόμβο και έτσι δημιουργούνται διάφορα γεωμετρικά σχήματα των οποίων το εμβαδό υπολογίζεται. Κάθε κλάδος θεωρείται ότι υδροδοτεί το εμβαδό της περιοχής που σχηματίζεται από τους κόμβους στα άκρα του. Αθροίζονται τα επιμέρους εμβαδά και έτσι υπολογίζεται το συνολικό εμβαδό της υδροδοτούμενης περιοχής. Γνωρίζοντας τον πληθυσμό της περιοχής και διαιρώντας αυτόν με το συνολικό εμβαδό υπολογίζεται η πληθυσμιακή πυκνότητα. Αυτή πολλαπλασιάζεται με το εμβαδό που υδροδοτεί κάθε κλάδος και έτσι υπολογίζεται ο αριθμός των καταναλωτών που αντιστοιχεί σε καθέναν από αυτούς. Πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των καταναλωτών με την τιμή της ατομικής κατανάλωσης υπολογίζεται η παροχή νερού που θα πρέπει να διανέμει ο κλάδος. Διαιρώντας αυτή με το μήκος του κλάδου υπολογίζεται η ανά μέτρο μήκους παροχή κατανάλωσής του (Παντοκράτορας Α., 1997). Αυτή επιδιώκεται να εκφραστεί ως παροχή κατανάλωσης στους κόμβους, για να γίνει αυτό προτείνονται δύο μεθοδολογίες. Η πρώτη είναι να θεωρηθεί ότι η παροχή κατανάλωσης μοιράζεται εξίσου στα δύο άκρα του κλάδου και η δεύτερη ότι η παροχή κατανάλωσης εξέρχεται εξολοκλήρου στο ένα άκρο του κλάδου. Έχοντας παρατηρήσει ότι η δεύτερη μεθοδολογία οδηγεί πολύ συχνά σε υπερδιαστασιολόγηση των δικτύων, προτιμάται η πρώτη.

Συχνά συναντάται η περίπτωση η υδροδοτούμενη περιοχή να μην παρουσιάζει ομοιόμορφη κατανομή του πληθυσμού. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται χωρίζοντας την περιοχή σε πληθυσμιακές ζώνες. Αν η περιοχή είναι μικρή επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία για κάθε ζώνη. Αν η περιοχή είναι μεγάλη και η διαδικασία υπολογισμού των εμβαδών υδροδοσίας είναι πολύπλοκη, τότε υπολογίζεται η κατανάλωση νερού του πληθυσμού και διαιρείται με το συνολικό μήκος των κλάδων. Έτσι προκύπτει μια κοινή παροχή κατανάλωσης ανά μήκος κλάδου για όλη την περιοχή. Για να γίνει ο διαχωρισμός, κάθε ζώνη χαρακτηρίζεται από ένα συντελεστή κατανάλωσης που κυμαίνεται από το 0,5 έως το 1,5, αυτός

πολλαπλασιάζεται με την ανά μήκος κατανάλωση και έτσι προκύπτει η κατανάλωση κάθε ζώνης.

- *Περιορισμοί ταχύτητας νερού*

Στα δίκτυα ύδρευσης η ταχύτητα του νερού θα πρέπει να κυμαίνεται μέσα στο όριο των : 0,5 – 1,5 m/s (Σπηλιώτης Μ. , 2004). Το κατώτατο όριο είναι απαραίτητο για να αποφεύγονται οι αποθέσεις φερτών υλικών και κατά συνέπεια το φράξιμο των αγωγών. Το ανώτατο όριο είναι απαραίτητο για να αποφεύγεται η διάβρωση των αγωγών και τα προβλήματα υπερπίεσεων λόγω υδραυλικού πλήγματος (Παντοκράτορας Α., 1997). Τα όρια ταχύτητας στα κλειστά ή βροχωτά υδραυλικά δίκτυα είναι πιο ελαστικά μιας και η κυκλοφορία του νερού επιτυγχάνεται με μεγαλύτερη ευκολία.

- *Απαιτήσεις και περιορισμοί πίεσης*

Η σωστή λειτουργία των δικτύων ύδρευσης πέρα από την κατάλληλη ποσότητα παροχής πρέπει να εξασφαλίζει και τις κατάλληλες πιέσεις στους κόμβους. Ανάλογα με το είδος των οικοδομών που υδροδοτεί το δίκτυο απαιτούνται και οι ελάχιστες πιέσεις, οι μονάδες μέτρησής αυτών είναι τα μέτρα και καθορίζονται από τη σχέση :

$$h_p = 4 * (n + 1) \qquad (1,5)$$

(Όπου n : ο αριθμός των ορόφων και 4 m το μέσο ύψος ορόφου)

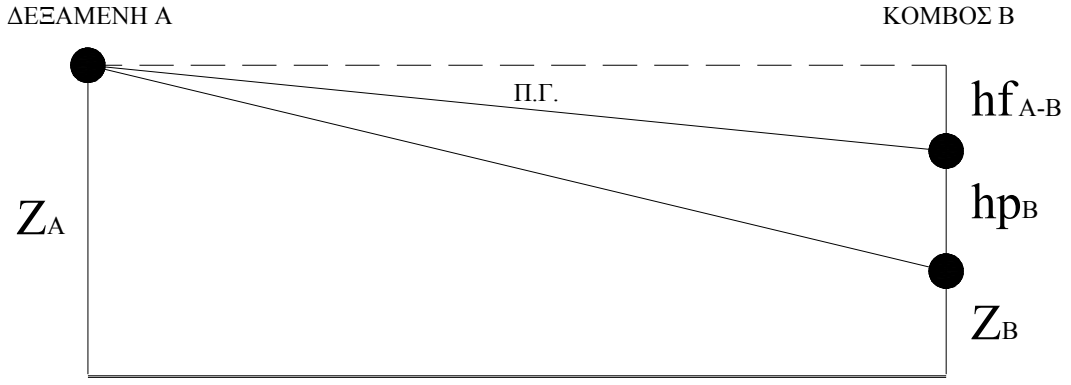
Από την άλλη μεριά, η στατική διαφορά πίεσης (ακίνητο νερό) μεταξύ της δεξαμενής (ανώτατη στάθμη λειτουργίας) και του χαμηλότερου σημείου του δικτύου δε πρέπει να ξεπερνά τα 60 m (Σπηλιώτης Μ., 2004). Οι υψηλές πιέσεις αυξάνουν τις απώλειες νερού λόγω διαρροών, δημιουργούν προβλήματα θορύβων στις υδραυλικές εγκαταστάσεις των κτιρίων και προβλήματα λειτουργίας των υδραυλικών συσκευών των νοικοκυριών.

1.3 Προσδιορισμός πιεζομετρικής γραμμής δικτύων ύδρευσης

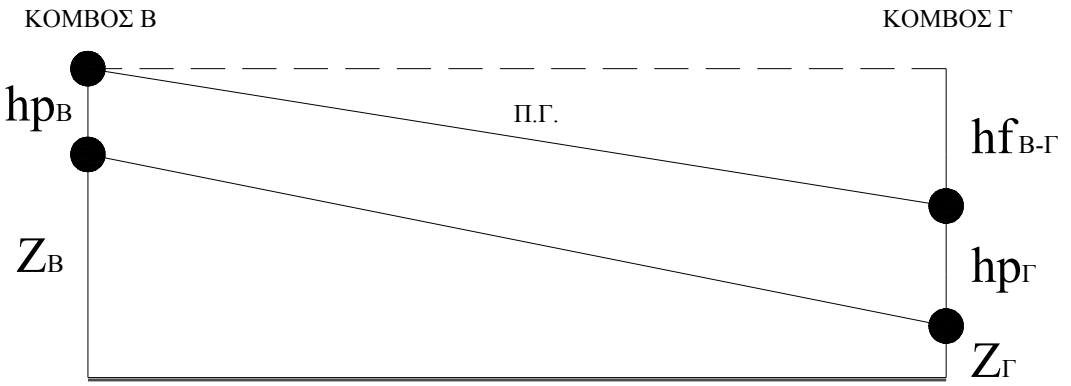
Για κάθε δίκτυο που διαμορφώνεται πρέπει να γίνεται έλεγχος αν οι πιέσεις που αναπτύσσονται στους κόμβους ικανοποιούν τις απαιτήσεις πίεσης του εκάστου οικισμού. Ξεκινώντας από το ανάντη σημείο (το σημείο που βρίσκεται στο μεγαλύτερο υψόμετρο που συνήθως είναι η δεξαμενή) με γνωστό ενεργειακό υψόμετρο υπολογίζονται οι πιέσεις των κόμβων, αφαιρώντας από το αρχικό υψόμετρο τις ενεργειακές απώλειες των κλάδων και την υψομετρική διαφορά. Οι υπολογισμοί σε αυτό το βήμα γίνονται από ανάντη προς κατάντη (από τα ψηλά υψόμετρα στα χαμηλά). Τα ύψη της κινητικής ενέργειας αμελούνται μιας και οι ταχύτητες νερού στα υδραυλικά δίκτυα είναι μικρές και η αναγωγή τους στο τετράγωνο της κινητικής ενέργειας θα είχε ως αποτέλεσμα ελάχιστες τιμές.

Ο ενεργειακός υπολογισμός αρχίζει από τη δεξαμενή, ενώ για λόγους ασφάλειας συνίσταται να λαμβάνεται ως υψόμετρο της γραμμής ενέργειας στη δεξαμενή η στάθμη του πυθμένα της, ώστε να εξασφαλίζεται η δυσμενέστερη κατάσταση ή τουλάχιστον η κατώτατη στάθμη λειτουργίας. Οι υπολογισμοί που γίνονται από

ανάντη προς κατάντη φαίνονται στα σχήματα και στις σχέσεις που ακολουθούν (Σπηλιώτης Μ.,2004).



Σχήμα 1. 1 : Προσδιορισμός της πίεσης στον κόμβο Β αμέσως μετά τη Δεξαμενή Α



Σχήμα 1. 2 : Προσδιορισμός της πίεσης στον κόμβο Γ αμέσως μετά τον κόμβο Β

Για το σχήμα 1.1 ισχύει :

- $H_A = H_B + h_{fA\to B}$ (1,6)
- $H_B = h_{pB} + Z_B$ (1,7)
- $H_A = Z_A$ (1,8)

Έτσι :

- $H_B = H_A - h_{fA\to B}$ (1,9)
- $h_{pB} = H_B - Z_B$ (1,10)

Για το σχήμα 1.2 ισχύει :

- $H_B = H_\Gamma + h_{fB\to\Gamma}$ (1,11)
- $H_B = h_{pB} + Z_B$ (1,12)
- $H_\Gamma = h_{p\Gamma} + Z_\Gamma$ (1,13)

Έτσι :

- $H_\Gamma = H_B - h_{fB\to\Gamma}$ (1,14)
- $h_{p\Gamma} = H_\Gamma - Z_\Gamma$ (1,15)

Όπου με h_p συμβολίζεται το ύψος πίεσης και με Η το ύψος της γραμμής ενέργειας, που στην ανάλυση τω υδραυλικών δικτύων, λόγω την αμελητέας κινητικής ενέργειας ταυτίζεται με την πιεζομετρική γραμμή.

Σε περίπτωση που η πίεση των κόμβων που υπολογίζεται είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από τη επιτρεπτή, επιλέγονται διαφορετικοί διάμετροι για το δίκτυο και η διαδικασία τη επίλυσης επαναλαμβάνεται από την αρχή. Η αλλαγή των διαμέτρων στοχεύει, συνήθως, στη μείωση των απωλειών ενέργειας κατά μήκος των αγωγών, εάν η επιθυμητή μείωση δεν είναι αρκετή για να ικανοποιηθούν οι πιέσεις των κόμβων, τότε θα πρέπει να μελετηθεί το ενδεχόμενο αλλαγής της γεωγραφικής θέσης των κόμβων και να τοποθετηθούν σε σημεία με διαφορετικό υψόμετρο (συνήθως μεγαλύτερο) καθώς και η υψομετρική θέση της δεξαμενής.

Όταν δεν είναι γνωστό το υψόμετρο της δεξαμενής και κατ επέκταση και το υψόμετρο της γραμμής ενέργειας δε μπορεί να γίνει υπολογισμός των πιέσεων από ανάντη προς κατάντη. Σε αυτό το βήμα ο ενεργειακός υπολογισμός ξεκινά αντίθετα, δηλαδή από κατάντη και για την ακρίβεια από τα δυσμενέστερα από άποψη πίεσης σημεία του δικτύου και πηγαίνει προς τα ανάντη. Η διαδικασία αυτή έχει σκοπό τον υπολογισμό κατάλληλης υψομετρικής θέσης της δεξαμενής έτσι ώστε να καλύπτεται το ύψος πίεσης σε κάθε κόμβο του δικτύου.

1.4 Ελληνικοί κανονισμοί δικτύων ύδρευσης

- *Διάταξη εσωτερικού δικτύου ύδρευσης*

Η διάταξη των σωληνώσεων του εσωτερικού δικτύου ύδρευσης γίνεται στο σχήμα εσχάρας, στις μορφές που προβλέπονται και περιλαμβάνουν ολόκληρη την κατοικημένη περιοχή του Δήμου ή της Κοινότητας, λαμβανομένου και της περιοχής επέκτασης του σχεδίου πόλεως για το χρονικό διάστημα που μελετώνται τα έργα. Το δίκτυο επίσης μπορεί να αναπτύσσεται σε διάφορες στάθμες.

Το σύστημα διανομής πρέπει να προβλέπει τον έλεγχο για τη ρύθμιση της ροής του νερού και τη δυνατότητα απομόνωσης τμημάτων του, στην περίπτωση που ένα τμήμα του είναι ανάγκη να απομονωθεί λόγο βλάβης.

Αυτό γίνεται μέσω βανών (δικλείδων ελέγχου) που είναι τοποθετημένες στους κόμβους του δικτύου ή και στο ενδιάμεσο διακλάδωσης αν η σωλήνωση έχει μεγάλο μήκος. Συνιστάται οι σωλήνες των εσωτερικών δικτύων ύδρευσης, να ενώνονται σε αποστάσεις που είναι μεγαλύτερες από 360 m.

Οι βάνες ρύθμισης ή διακοπής της παροχής τοποθετούνται έτσι ώστε να μη εκκινούν σε καμία περίπτωση περισσότερη αγωγοί από δύο χωρίς βάνες, χωρίς να αποκλείεται βέβαια και η τοποθέτηση βανών προς την κατεύθυνση όλων των αγωγών. Η διάταξη των βανών κατά τα ανωτέρω εξασφαλίζει τη συνεχή τροφοδότηση του δικτύου διανομής, εκτός δύο τετραγώνων στην περιοχή της βλάβης. Κατά την εκλογή της θέσης μίας βάνας σε ένα κόμβο με δυο ή περισσότερους σωλήνες προτιμάται η τοποθέτησή της στο σωλήνα με τη μικρότερη διάμετρο.

Δε πρέπει να αφήνεται μήκος σωλήνωσης μεγαλύτερο από 250 m χωρίς έλεγχο με βάνα.

Στις περιοχές πολύ πυκνής οίκησης (εμπορικός τομέας) το μήκος χωρίς βάνα ελαττώνεται σε 150 m.

Η διάταξη της τοποθέτησης των σωληνωτών αγωγών ύδρευσης μπορεί να γίνει επιλεκτικά με τους κατωτέρω τρόπους :

- Τοποθέτηση των αγωγών ύδρευσης προς τη μια μόνο πλευρά των δρόμων, όπου επιλέγονται οι βόρειες και ανατολικές άκρες των οδών (εκτός κι αν υπερισχύει κατά πολύ η ζήτηση στη μία μεριά), για να επιτυγχάνεται η προστασία από τον παγετό.

- Τοποθέτηση των αγωγών και προς τις δυο μεριές, που ενδείκνυται να γίνεται στους ασφαλτοστρωμένους δρόμους μεγάλης κυκλοφορίας και πλάτους πάνω από 10 m. Από τους αγωγούς ο ένας μπορεί να υπολογιστεί για την κατανάλωση νερού και την παροχή πυρκαγιάς, χαρακτηριζόμενος σαν κεντρικός και ο άλλος που τοποθετείται στην άλλη πλευρά, υπολογίζεται μόνο για την κατανάλωση νερού.

Κανένας αγωγός δε πρέπει να έχει διάμετρο μικρότερη από 63 mm (εξωτερική διάμετρος).

- *Στοιχεία βάσης υδραυλικών υπολογισμών*

Για την εύρεση των διαμέτρων των αγωγών των εσωτερικών δικτύων ύδρευσης, που είναι αναγκαίες για τη μεταφορά της απαιτούμενης παροχής, σε κάθε περιοχή του οικισμού που θα υδρευτεί, είναι απαραίτητη η διεξαγωγή ορισμένων υδραυλικών υπολογισμών.

Οι υδραυλικοί υπολογισμοί μπορούν να αφορούν την κατασκευή ενός νέου δικτύου, όπου είναι απαραίτητη η σχεδίαση της κάτοψης του ρυμοτομικού σχεδίου της περιοχής (σε κλίμακα ανάλογη της έκθεσης), μετά των υψομέτρων των κόμβων, στις διασταυρώσεις των οδών των οικοδομικών τετραγώνων. Μπορεί να αφορούν επίσης, την επέκταση υφιστάμενου εσωτερικού υδραγωγείου προς το νέο οικισμό ή και την αλλαγή διαμέτρων εσωτερικών αγωγών, λόγω σημαντικής μεταβολής της κατανάλωσης, μη δυναμένης να καλυφτεί δια των υφισταμένων διαμέτρων, π.χ. αύξηση της πυκνότητας οίκησης μιας περιοχής λόγω αλλαγής των όρων δόμησης και της κατασκευής πολυώροφων κτιρίων.

Πριν από την έναρξη των υπολογισμών και αφού χαραχθεί το δίκτυο των αγωγών, γίνονται οι ακόλουθες παρατηρήσεις για την απλούστευση των υπολογισμών :

- Επισημαίνονται τα δυσμενέστερα τοπογραφικός ακραία σημεία του δικτύου και προσδιορίζεται με προσέγγιση η υψομετρική διαφορά, καθώς και τη συντομότερη απόσταση από τη δεξαμενή αποθήκευσης πόσιμου νερού.
- Υπολογίζεται η μέση κλίση του εδάφους

- Εκτιμάται η μεταβολή τη διακινούμενης παροχής μεταξύ δύο ακραίων τιμών (μεγίστης και ελαχίστης) και προσδιορίζεται η διακύμανση της επιτρεπόμενης κλίσης της πιεζομετρικής γραμμής, ώστε να υπάρχει το ελάχιστο διαθέσιμο πιεζομετρικό φορτίο, 10 – 15 m στους αγροτικούς οικισμούς, 20 – 25 m στις μικρές πόλεις και 25 – 30 m στις μεγαλύτερες. Γενικά το πιεζομετρικό ύψος σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου εξαρτάται από τον αριθμό των ορόφων των κτιρίων.
- Η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής επιδιώκεται να κυμαίνεται από 4 ‰–6 ‰ σε επίπεδα εδάφη, ενώ σε επικλινή εδάφη μπορεί να φτάνει και το 8‰
- Η χάραξη των πιεζομετρικών καμπυλών σε ένα δίκτυο ύδρευσης δίνει την ευχέρεια για παρατηρήσεις σχετικά με τη λειτουργία του δικτύου, π.χ. η μορφή των πιεζομετρικών καμπυλών μπορεί να δείξει τη σωστή ή όχι επιλογή των διαμέτρων των αγωγών και της κατανομής τους στο δίκτυο.
- Για μεγαλύτερη ακρίβεια στο σχεδιασμό των δικτύων με πολλές διακλαδώσεις μπορεί να εξεταστεί η κατανομή της παροχής σε κάθε αγωγό.
- Νόμος της συνέχειας : Σε ένα κόμβο το αλγεβρικό άθροισμα των παροχών περιλαμβανομένης και της εκροής ισούται με τα μηδέν. Αυτό εκφράζεται με την εξίσωση $\sum Q_i = 0$, όπου Q_i η παροχή στο τμήμα του αγωγού i.
- Νόμος διατήρησης της ενέργειας : το αλγεβρικό άθροισμα των απωλειών σε ένα κύκλωμα του δικτύου (βρόχος) είναι ίσο με το μηδέν, αυτό εκφράζεται με την εξίσωση $\sum h_{fi} = 0$, όπου h_{fi} η απώλεια φορτίου κατά μήκος του αγωγού i.

- *Γενικοί κανόνες*

Για την αντιμετώπιση των κατασκευών των νέων παροχών θα πρέπει να τηρούνται τα ακόλουθα :

1. Κάθε ακίνητο θα υδροδοτείται με ένα μόνο εγκάρσιο αγωγό υδροληψίας άσχετα από τον αριθμό των διαμερισμάτων και των αντίστοιχων υδατοπαροχών. Κατά τη φάση αίτησης νέας παροχής, θα εξακριβώνεται ο αναμενόμενος μελλοντικός αριθμός παροχών. Η εξακρίβωση θα στηρίζεται :

   - Στα στοιχεία της άδειας. Είναι προφανές ότι αν ζητείται εργοταξιακή παροχή, από την άδεια θα προκύπτει ο τελικός αριθμός των μελλοντικών παροχών μετά την ολοκλήρωση της οικοδομής.
   - Αντλώντας πληροφορίες από τον πελάτη για τις προοπτικές μελλοντικών κατασκευών
   - Με αυτοψία του τιμήματος ερευνών και εκτίμηση των μελλοντικών απαιτήσεων του ακινήτου σε σχέση με τον συντελεστή δόμησης της περιοχής, μελλοντικές χρήσεις κλπ.

2. Ο αγωγός υδροληψίας διακρίνεται σε δύο διατομές : Φ32 και Φ63

   - Ο αγωγός διατομής Φ32 τοποθετείται όταν η ζητούμενες παροχές και οι αναμενόμενες δε προβλέπεται να γίνουν περισσότερες των τεσσάρων.
   - Ο αγωγός διατομής Φ63 τοποθετείται για αριθμό παροχών ζητούμενων ή προβλεπόμενων μεγαλύτερων των τριών και έως πενήντα

3. Σε κάθε εγκατάσταση παροχής ή παροχών κατασκευάζεται πάντα η υποδομή πρόσθετων πρόσθετων μελλοντικών παροχών:

   - Για αιτούμενες (ή και προβλεπόμενες) παροχές μέχρι και τρεις κατασκευάζεται υποδομή για εξυπηρέτηση τεσσάρων συνολικών παροχών.
   - Για αιτούμενες παροχές περισσότερες των τριών (δηλαδή τέσσερεις και πάνω) κατασκευάζεται υποδομή για μια πρόσθετη παροχή όταν ο αριθμός των αιτούμενων παροχών είναι μονός, ειδάλλως υποδομή για δύο πρόσθετες παροχές όταν ο αριθμός των αιτούμενων παροχών είναι ζυγός.

4. Σε περίπτωση που αιτείται μια πρόσθετη παροχή ή πολλές πρόσθετες παροχές (για ακίνητο που ήδη υδροδοτείται) :

   - Αν υφίσταται μια παροχή και ο υφιστάμενος αγωγός σύνδεσης είναι χαλκοσωλήνας διατομής 3/4'' ή 1'' :

     i. Αν ζητείται μια επιπλέον παροχή, τοποθετείται «Ψ» στον ήδη υπάρχοντα χαλκοσωλήνα ακόμη κι αν είναι 3/4''
     ii. Αν ζητούνται δύο παροχές γίνεται αντικατάσταση του υφιστάμενου χαλκοσωλήνα με νέο αγωγό από PE διατομής Φ32. Η δε υφιστάμενη σύνδεση του χαλκοσωλήνα ακυρώνεται από τη ζωστήρα.
     iii. Αν ζητούνται παραπάνω από δύο παροχές, τοποθετείται νέος αγωγός από PE διατομής Φ63 και ακυρώνεται ο υφιστάμενος χαλκοσωλήνας από τη ζωστήρα

   - Αν υφίστανται δύο παροχές :

     i. Αν οι δύο παροχές υδροδοτούνται από ανεξάρτητους χαλκοσωλήνες τότε :

        - Αν ζητείται μια παροχή τότε τοποθετείται «Ψ» στον ένα από τους υφιστάμενους χαλκοσωλήνες
        - Αν ζητούνται δυο παροχές τότε τοποθετείται από ένα «Ψ» σε κάθε υφιστάμενο σωλήνα
        - Αν ζητούνται περισσότερες των δύο παροχών, γίνεται αντικατάσταση των δύο υφιστάμενων χαλκοσωλήνων με αγωγό από PE διαμέτρου Φ63. Οι δε υφιστάμενες συνδέσεις ακυρώνονται από τη ζωστήρα

     ii. Αν οι δυο παροχές υδροδοτούνται από τον ίδιο χαλκοσωλήνα τότε :

        - Αν ζητείται μόνο μια παροχή, γίνεται αντικατάσταση του αγωγού σύνθεσης με αγωγό από PE διατομής Φ32. Η υφιστάμενη σύνδεση ακυρώνεται από τη ζωστήρα
        - Αν ζητούνται από δύο και πάνω παροχές, τότε τοποθετείται αγωγός από PE διατομής Φ63. Η υφιστάμενη σύνδεση ακυρώνεται από τη ζωστήρα.

   - Αν υφίστανται 3 έως και 8 παροχές (χωρίς σύστημα), ανεξάρτητα του υφιστάμενου αριθμού των χαλκοσωλήνων και ανεξάρτητα του αριθμού των

παροχών που θα ζητηθούν (όχι περισσοτέρων των 50), τοποθετείται αγωγός από PE Φ63. Οι υφιστάμενες συνδέσεις ακυρώνονται από τις ζωστήρες.

- Αν υφίσταται σύστημα :

  i. Αν ζητείται μια πρόσθετη παροχή, εφόσον υπάρχει αναμονή στο υφιστάμενο σύστημα εξυπηρετείται από αυτή
  ii. Αν ζητούνται περισσότερες της μιας παροχών :

  - Αν το υφιστάμενο σύστημα έχει τοποθετηθεί εντός της τελευταίας 10ετίας, παραμένει ως έχει και οι αιτούμενες παροχές συνδέονται με νέο αγωγό από PE διατομής Φ63 (όχι από Φ32 ακόμα κι αν πρόκειται να συνδεθεί μια μονό παροχή)
  - Αν το υφιστάμενο σύστημα είναι παλαιότερο της 10ετίας, τότε γίνεται αντικατάσταση αυτού και του αγωγού ή αγωγών σύνδεσης με νέο αγωγό από PE διατομής Φ63. Ο υφιστάμενος αγωγός του συστήματος διατομής 4'' ακυρώνεται από τη βάνα Φ100 επί του αγωγού διανομής ή από τις ζωστήρες των παραλλήλων χαλκοσωλήνων υδροδότησης.

- *Κατασκευαστικοί κανόνες*

1. Σύνδεση νέου αγωγού υδροληψίας με τον αγωγό διανομής.

   - Αγωγός Φ32

     - Ζωστήρα / Σέλα

     Τοποθετείται ζωστήρα με διάμετρο οπής 1'' (όχι 3/4''). Σε αγωγούς χαλύβδινους, χυτοσιδήρου, και αμιαντοτσιμέντου τοποθετείται ζωστήρα χυτοσιδηρή με ανοξείδωτο εντατήρα . Σε αγωγούς από PVC τοποθετείται ειδική ζωστήρα κατάλληλη για PVC, καθολικής επαφής, φαρδιά, με ελαστικό περιμετρικό παρέμβυσμα ενώ σε αγωγούς διανομής από PE, τοποθετείται σέλα ολικής επαφής με τη μέθοδο της αυτογενούς συγκόλλησης. Η σέλα ή η ζωστήρα ανεξάρτητα υλικού αγωγού τοποθέτησης, πρέπει να διαθέτει θηλυκό σπείρωμα 1''.

     - Κρουνός συνένωσης

     Τοποθετείται σφαιρική βάνα διαμέτρου 1'' η οποία από τη μία έχει σπείρωμα αρσενικό 1'' για να βιδώνει απευθείας πάνω στη ζωστήρα και από την άλλη έχει ειδικό ρακόρ για τη σύνδεση αγωγού από PE Φ32.

     - Διάτρηση

     Η διάτρηση γίνεται χειροκίνητα με διάμετρο οπής Φ 24. Η διατρητική μηχανή προσαρμόζεται επί του σφαιρικού κρουνού συνένωσης αφού

πρώτα έχει αφαιρεθεί προσωρινά η διάταξη του ρακόρ για τη σύνδεση με τον αγωγό από Φ32.

- Αγωγός Φ63

  - Ζωστήρα / Σέλα

  Τοποθετείται ζωστήρα (και όχι ταυ) με διάμετρο οπής 2’’. Σε αγωγούς χαλύβδινους, χυτοσιδήρου, και αμιαντοτσιμέντου τοποθετείται ζωστήρα χυτοσιδηρή με διπλό ανοξείδωτο εντατήρα. Σε αγωγούς από PVC τοποθετείται ειδική ζωστήρα κατάλληλη για PVC, καθολικής επαφής, φαρδιά, με ελαστικό περιμετρικό παρέμβυσμα ενώ σε αγωγούς διανομής από PE, τοποθετείται σέλα ολικής επαφής με τη μέθοδο της αυτογενούς συγκόλλησης. Η σέλα ή η ζωστήρα ανεξάρτητα υλικού αγωγού τοποθέτησης, πρέπει να διαθέτει θηλυκό σπείρωμα.

  - Κρουνός συνένωσης

  Τοποθετείται σφαιρική βάνα ολικής οπής 2’’. Η βάνα αυτή για τη σύνδεσή της με τη ζωστήρα ή σέλα μπορεί, είτε να διαθέτει αρσενικό σπείρωμα 2’’ για να βιδώνει απευθείας πάνω σε αυτήν, είτε να διαθέτει θηλυκό σπείρωμα 2’’ για να βιδώνει μέσω μαστού στη ζωστήρα. Από την άλλη πρέπει να διαθέτει θηλυκό σπείρωμα 2’’ έτσι ώστε η σύνδεση με τον αγωγό Φ63 να γίνει μέσω ενός ρακόρ Φ63 x 2’’.

  - Διάτρηση

  Η διάτρηση γίνεται χειροκίνητα με διάμετρο οπής Φ 42 μέσω ποτηριού ή καροτιέρας.

2. Αγωγός υδροληψίας

- Αγωγός Φ32

Τοποθετείται αγωγός από πολυαιθυλένιο μεσαίας πυκνότητας, κλάσης αντοχής MRS8, πάχους τοιχώματος 2,9 mm (SDR11) στον αγωγό αποφεύγεται να υπάρχουν άλλες συνδέσεις εκτός της αρχής και του τέλους. Στην αρχή συνδέεται στο ρακόρ του κρουνού συνένωσης, ενώ στο τέλος τοποθετείται σφαιρική βάνα ίδια με τον κρουνό συνένωσης και καταλήγει σε αρσενικό σπείρωμα 1’’. Για την αποφυγή παραμόρφωσης και μείωσης της εξωτερικής διαμέτρου του αγωγού από PE, κατά τη σύσφιξή του στο ρακόρ, τοποθετείται εσωτερικά στον αγωγό Φ32 και στις δύο περιπτώσεις (σύνδεση επί της ζωστήρας και επί της βάνας κατάληξης), κοντό, λεπτό σωληνάκι από ορείχαλκο ή inox εξωτερικής διαμέτρου Φ25 με διατεταμένα χείλη στο ένα άκρο του ώστε να παραμείνει στο άκρο του σωλήνα Φ32.

- Αγωγός Φ 63

Τοποθετείται αγωγός από πολυαιθυλένιο μεσαίας πυκνότητας, κλάσης αντοχής MRS8, πάχους τοιχώματος 5,7 mm (SDR11) στην αρχή συνδέεται στη βάνα 2’’

με ρακόρ Φ63 x 2'' και μέσω ειδικού τεμαχίου κατάληξης – λαιμού σπειρώματος και ηλεκτρομούφας Φ63. στο τέλος καταλήγει σε φλάντζα 2'' με ειδικό τεμάχιο κατάληξης – λαιμού φλάντζας και ηλεκτρομούφας.

Αν η ευκαμψία του αγωγού δε μπορεί να αντιμετωπίσει τα τοπικά εμπόδια τότε τοποθετούνται καμπύλες με ηλεκτρομούφες.

3. Βάνα κατάληξης

- Αγωγός Φ32

Όπως προαναφέρθηκε, ο αγωγός Φ32 καταλήγει στο χώρο των φρεατίων σε σφαιρική βάνα 1''. Στο άκρο της η βάνα φέρει σπείρωμα αρσενικό 1''. Στη βάνα αυτή τοποθετείται βανοφρεάτιο και κομμάτι κατακόρυφου αγωγού από PVC Φ160, έτσι ώστε να είναι δυνατός ο χειρισμός της βάνας από την επιφάνεια.

Αγωγός Φ63

Όπως προαναφέρθηκε, ο αγωγός Φ63 καταλήγει σε φλάντζα 2'' όπου θα συνδεθεί βάνα συρτού, ελαστικής έμφραξης 2''. Στη βάνα αυτή τοποθετείται βανοφρεάτιο και κομμάτι κατακόρυφου αγωγού από PVC Φ160, έτσι ώστε να είναι δυνατός ο χειρισμός της βάνας από την επιφάνεια.

4. Πολλαπλό – Κολλεκτέρ νέου τύπου

- Αγωγός Φ32

Άσχετα από το αν ζητούνται μια ή τρεις νέες παροχές τοποθετείται «πολλαπλό» τεσσάρων παροχών (η ορολογία «πολλαπλό» θα χρησιμοποιείται από εδώ και πέρα αντί του «κολλεκτέρ» για αυτή την περίπτωση).

Το πολλαπλό αυτό κατασκευάζεται από αγωγό πολυαιθυλενίου διαμέτρου Φ63, υψηλής πυκνότητας, κλάσης αντοχής MRS10 και πάχους τοιχώματος 7mm (SDR9). Έχει δε αναμονές όπως και στο υφιστάμενο σε χρήση κολλεκτέρ, ανά 20 cm με ενσωματωμένες μούφες των 3/4''. Στα δύο άκρα του φέρει πώματα Φ63.

Το πολλαπλό τροφοδοτείται μέσω άλλης ενσωματωμένης μούφας 1'' στο αριστερό άκρο του, όπου συνδέεται απευθείας η βάνα κατάλληλης του αγωγού Φ32. η ενσωματωμένη μούφα 1'' είναι σε οριζόντια θέση και σε γωνία 90^{o} ως προς την κατακόρυφη συστοιχία των τεσσάρων ενσωματωμένων μουφών διατομής 3/4''. Το πολλαπλό τοποθετείται πάντοτε από τα αριστερά προς τα δεξιά από τον αγωγό διανομής κοιτώντας το ακίνητο.

- Αγωγός Φ63

Επί της φλαντζωτής βάνας στην οποία έχει καταλήξει ο αγωγός Φ63 τοποθετείται κολλεκτέρ νέου τύπου (ΝΤ) από αγωγό πολυαιθυλενίου διαμέτρου Φ63, υψηλής πυκνότητας, κλάσης αντοχής MRS10 και πάχους τοιχώματος 7mm (SDR9). Το νέου τύπου κολλεκτέρ έχει αναμονές όπως και στο υφιστάμενο σε χρήση κολλεκτέρ, ανά 20 cm με ενσωματωμένες μούφες των 3/4''. Το ένα του άκρο φέρει φλάντζα 2'' προσαρμοσμένη σε ειδικό τεμάχιο λαιμού που έχει συνδεθεί με

αυτογενή συγκόλληση έτσι ώστε να ενωθεί με την φλαντζωτή βάνα συρτού 2’’. Στο άλλο άκρο υπάρχει πώμα Φ63 το οποίο και αυτό έχει συνδεθεί με αυτογενή συγκόλληση. Το πολλαπλό τοποθετείται πάντοτε από τα αριστερά προς τα δεξιά από τον αγωγό διανομής κοιτώντας το ακίνητο.

Ενδιάμεσα το σύστημα νέου τύπου φέρει ενσωματωμένες μούφες 3/4’’ σε απόσταση 20 cm η μια από την άλλη και σε ζυγό αριθμό που να είμαι μεγαλύτερος κατά μια ή κατά δυο παροχές από τον αριθμό των αιτουμένων παροχών.

5. Σύνδεση Πολλαπλού – Κολλεκτέρ ΝΤ με φρεάτιο υδρομετρητών ΝΤ

Η σύνδεση του πολλαπλού ή του κολλεκτέρ ΝΤ με το φρεάτιο υδρομετρητών ΝΤ, προτείνεται να γίνεται με μικρού μήκους σωλήνα 40 – 45 cm (από χαλκοσωλήνα ή ανοξείδωτο χάλυβα), μορφής «Γ» και διατομής 5/8’’. Στα δύο άκρα του φέρει αρσενικό σπείρωμα 3/4’’ με λογική ρακόρ.

Λόγω των δεσμεύσεων που προκύπτουν από την αμετακίνητη θέση της ενσωματωμένης μούφας στο πολλαπλό και στο κολλεκτέρ ΝΤ, καθώς και της ενσωματωμένης μουφας στο νέου τύπου φρεατίου μετρητή, απαιτείται αυξημένη ευκαμψία του σωλήνα αυτού. Για να μπορεί να γίνει αποκατάσταση ή του φρεατίου ή του πολλαπλού – κολλεκτέρ ΝΤ, απαιτείται σύνδεση τύπου ρακόρ και στα δύο άκρα.

Επί των ενσωματωμένων μουφών του πολλαπλού – κολλεκτέρ ΝΤ, δεν τοποθετούνται κρουνοί συνένωσης.

6. Αναμονές για εξυπηρέτηση μελλοντικών παροχών

- Τοποθέτηση μιας νέας παροχής

Όπως προαναφέρθηκε, τοποθετείται αγωγός Φ32 και πολλαπλό τεσσάρων παροχών. Επίσης, τοποθετείται ένα φρεάτιο μετρητή ΝΤ που περιλαμβάνει ένα υδρόμετρο. Από τις υπόλοιπες τρεις αναμονές (για την υδροδότηση μελλοντικών καταναλωτών) για μια από αυτές θα υπάρξει από την αρχή σύνδεση από την ενσωματωμένη μούφα του πολλαπλού μέχρι την ελεύθερη αναμονή του φρεατίου μετρητή. Στις υπόλοιπες δύο αναμονές τοποθετείται αρσενική τάπα 3/4’’. Είναι προφανές ότι όταν στο μέλλον ζητηθεί η σύνδεση της $3^{ης}$ και της $4^{ης}$ παροχής, θα πρέπει να γίνει εκσκαφή για την αποκάλυψή τους, θα τοποθετηθούν δε οι αγωγοί σύνδεσης διατομής 3/4’’ και το φρεάτιο μετρητή.

- Τοποθέτηση δυο νέων παροχών

Στην περίπτωση αυτή γίνεται η σύνδεση των δύο νέων αιτούμενων παροχών (ένα φρεάτιο ΝΤ) ενώ στις υπόλοιπες δυο αναμονές τοποθετείται αρσενική τάπα 3/4’’ (αποφεύγεται η τοποθέτηση δευτέρου φρεατίου χωρίς την ύπαρξη έστω ενός υδρομέτρου).

- Τοποθέτηση τριών νέων παροχών

Γίνεται κανονικά η σύνδεση των τριών νέων παροχών ενώ η υπολειπόμενη μια αναμονή συνδέεται από την αρχή με την ελεύθερη αναμονή του ενός εκ των δύο φρεατίων μετριτών ΝΤ.

- Τοποθέτηση περισσοτέρων των τριών παροχών

Γενικά όπως έχει ήδη αναφερθεί, στο κολλεκτέρ ΝΤ προβλέπεται ανάλογα με τον αριθμό των αιτούμενων παροχών μια ή και δυο αναμονές (μονός ή ζυγός αριθμός παροχών). Έτσι :

- Για μονό αριθμό αιτούμενων παροχών, η μια αναμονή συνδέεται με την ελεύθερη αναμονή του φρεατίου ΝΤ
- Για ζυγό αριθμό αιτούμενων παροχών, η δύο αναμονές παραμένουν ταπωμένες με αρσενική τάπα 3/4'' στο έδαφος

7. Φρεάτιο μετρητή νέου τύπου

Ανάλογα με τον αιτούμενο αριθμό των παροχών, τοποθετείται ο αναγκαίος αριθμός φρεατίων μετρητών νέου τύπου. Τα φρεάτια αυτά τοποθετούνται πάντα εμπεριέχοντας τον κρουνό εισαγωγής (διακόπτης) που φέρει τηλεσκοπική διάταξη, το υδρόμετρο και τον κρουνό εξαγωγής (προς το πελάτη) ο οποίος έχει ενσωματωμένη μια βαλβίδα αντεπιστροφής.

Η τηλεσκοπική διάταξη του κρουνού διακοπής εξασφαλίζει τη δυνατότητα εξάρμωσης για την αφαίρεση και την επανατοποθέτηση του υδρομέτρου. Ο κρουνός διακοπής έχει διαμόρφωση κεφαλής τέτοια (ορθογώνιο 10 x 30 mm) ώστε να μπορεί να ασφαλίζει στην κλειστή θέση με τη διάταξη τύπου «Π».

Κατά την τοποθέτηση της παροχής και χωρίς άλλη διαδικασία και αφού έχει τοποθετηθεί και το υδρόμετρο, η παροχή ενεργοποιείται. Η αναμονή μελλοντικών παροχών στην περίπτωση μονού αριθμού αιτούμενων παροχών, καταλήγει στο φρεάτιο όπως προηγούμενα έχει αναφερθεί. Τοποθετείται δε μόνο ο ανάντη κρουνός διακοπής ο οποίος παραμένει κλειστός. Η εξασφάλιση μη παράνομης υδροληψίας επιτυγχάνεται την τοποθέτηση ειδικής διάταξης τύπου «Π» και την εγκατάσταση ειδικής ασφάλειας με λεπτό συρματόσκοινο και όχι από χαλκόσυρμα με μολυβδοσφραγίδα. Ο καταμετρητής υποχρεούται να ελέγχει το απαραβίαστο της διάταξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^{ο}

Μέθοδοι επίλυσης κλειστών δικτύων ύδρευσης

2.1 Γενικά

Η έννοια της επίλυσης των δικτύων ύδρευσης μπορεί να οριστεί ως ο μαθηματικός προσδιορισμός των τιμών τις παροχής, της ταχύτητας και της απώλειας φορτίου κατά μήκος κάθε κλειστού, υπό πίεση, αγωγού που λειτουργεί στο δίκτυο χρησιμοποιώντας σχέσεις που προκύπτουν αναλύοντας τις αρχές της υδραυλικής. Ουσιαστικά, με την επίλυση των δικτύων ύδρευσης, γίνεται γνωστή η τιμή της ποσότητας του νερού που διέρχεται και κατά συνέπεια διανέμεται μέσω κάθε αγωγού και επιπλέον γίνεται γνωστό υπό ποιες συνθήκες κινείται το νερό και κατά πόσο επηρεάζεται η ανάπτυξη των πιέσεων σε όλα τα σημεία του δικτύου. Συνεπώς, είναι απαραίτητη σε όλα τα στάδια του σχεδιασμού των δικτύων ύδρευσης, είτε πρόκειται για το προκατασκευαστικό στάδιο, είτε κατά το στάδιο της επέκτασης, είτε κατά το στάδιο της επιδιόρθωσης ή βελτιστοποίησης. Σε όλα τα παραπάνω στάδια γίνεται η προσπάθεια να επιλεχθεί η βέλτιστη διαδρομή των αγωγών που θα ικανοποιεί όσο το δυνατόν καλύτερα τις ανάγκες των καταναλωτών και η βέλτιστη επιλογή διαμέτρων, υλικού και αντοχής των αγωγών.

Το πρόβλημα που καλείται να αντιμετωπίσει η επίλυση των δικτύων, ανάγεται τις περισσότερες φορές, στην επίλυση ενός μη γραμμικού συστήματος εξισώσεων. Οι εξισώσεις που σχηματίζονται είναι αυτές που προσπαθούν να περιγράψουν την κίνηση του νερού και τα χαρακτηριστικά της μέσα σε κλειστούς, υπό πίεση, αγωγούς. Οι μέθοδοι επίλυσης δικτύων που έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς είναι πολυάριθμοι και δύσκολο συγκεντρωθούν, να δοκιμαστούν και να σχολιαστούν όλοι μαζί. Σε αυτό το τεύχος παρουσιάζονται οι τρείς πιο ευρέως χρησιμοποιημένοι και διαδεδομένοι :

- Μέθοδος Q – Cross
- Μέθοδος Newton – Raphson
- Γραμμική μέθοδος

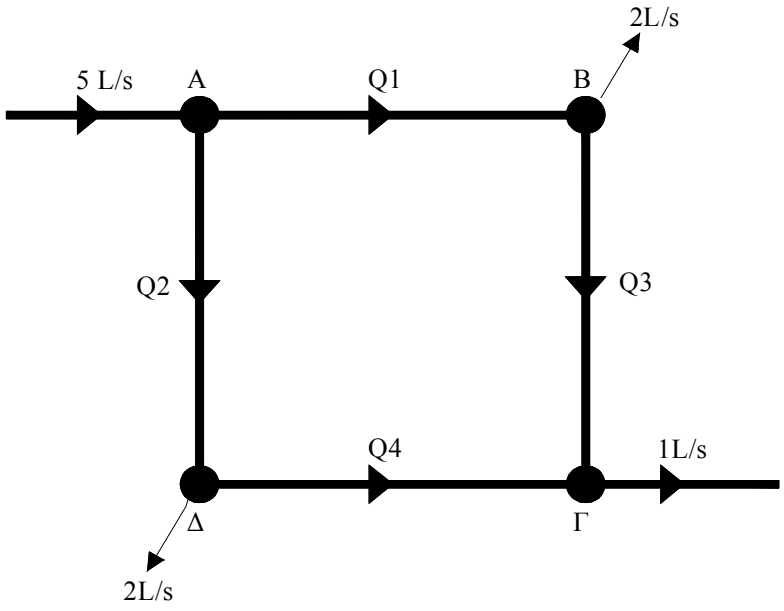
2.2 Αρχές της υδραυλικής που ακολουθούνται κατά την επίλυση κλειστών δικτύων

Οι τρεις μέθοδοι που περιγράφονται παρακάτω υπακούν στις ακόλουθες αρχές της υδραυλικής :

1. *Αρχή διατήρησης μάζας ή αρχή συνέχειας παροχής* : Σε ένα κόμβο το αλγεβρικό άθροισμα των παροχών ισούται με το μηδέν. Δηλαδή το άθροισμα των παροχών που εισρέουν σε αυτόν είναι ίσο με το άθροισμα των παροχών που εκρέουν από αυτόν και με την ποσότητα του νερού που καταναλώνεται στον κόμβο.

2. *Αρχή διατήρησης ενέργειας ή αρχή συνέχειας πίεσης* : Σε ένα κόμβο το ύψος της γραμμής ενέργειας είναι το ίδιο ανεξάρτητα από το ποια διαδρομή ακολουθεί το νερό για να φτάσει σε αυτόν. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια σε ένα βρόχο το αλγεβρικό άθροισμα των απωλειών φορτίου να ισούται με το μηδέν. Τα πρόσημα των απωλειών φορτίου καθορίζονται προεπιλέγοντας θετική φορά κίνησης του νερού μέσα στον βρόχο (συνήθως ως θετική επιλέγεται η ωρολογιακή φορά), όταν η φορά ροής είναι θετική τότε και το ύψος απωλειών φορτίου είναι θετικός αριθμός.

Στο σχήμα που ακολουθεί εμφανίζεται ένα τμήμα ενός κλειστού δικτύου ύδρευσης, αποτελείται από τέσσερεις κόμβους και τέσσερεις κλάδους που σχηματίζουν μεταξύ τους ένα κλειστό βρόχο. Στον κόμβο Α εισέρχονται 5L/s, στους κόμβους Β και Δ καταναλώνονται 2L/s και από τον κόμβο Γ εξέρχονται 1L/s :



Σχήμα 2. 1 : Παράδειγμα παροχών σε κλειστό βρόχο

Ακολουθώντας τις παραπάνω αρχές κατασκευάζεται ένα σύστημα εξισώσεων με μεταβλητές τις παροχές των κλάδων:

Για κάθε κόμβο διαμορφώνεται μία γραμμική εξίσωση συνέχειας παροχών :

$$\text{Κόμβος Α}: 5L/s - Q1 - Q2 = 0 \quad (2,1)$$
$$\text{Κόμβος Β}: Q1 - 2L/s - Q3 = 0 \quad (2,2)$$
$$\text{Κόμβος Γ}: Q3 + Q4 - 1L/s = 0 \quad (2,3)$$
$$\text{Κόμβος Δ}: Q2 - 2L/s - Q4 = 0 \quad (2,4)$$

Παρατηρείται όμως ότι κάθε μια από αυτές μπορεί να κατασκευαστεί ως συνδυασμός των υπολοίπων προσθέτοντας ή αφαιρώντας κατά μέλη, αν μια από αυτές (τυχαία επιλογή) διαγραφεί τότε οι τρεις εξισώσεις που απομένουν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους.

Για τον βρόχο κατασκευάζεται μία μη γραμμική εξίσωση ενέργειας :

$$\sum_{i=1}^{4} h_f = 0 \quad (2,5)$$

ή

$$\sum_{i=1}^{4} R_i Q_i^n = 0 \quad (2,6)$$

ή

$$R_1 Q_1^n + R_3 Q_3^n - R_4 Q_4^n - R_2 Q_2^n = 0 \quad (2,7)$$

Γενικεύοντας το παραπάνω παράδειγμα, αν ένα κλειστό δίκτυο αποτελείται από m κόμβους τότε διαμορφώνονται m-1 γραμμικές εξισώσεις συνέχειας παροχών ανεξάρτητες μεταξύ τους :

$$\sum Q_{in\,(1)} = \sum Q_{out\,(1)} \quad (2,8)$$
$$\sum Q_{in\,(2)} = \sum Q_{out\,(2)} \quad (2,9)$$
$$\vdots$$
$$\sum Q_{in\,(m-1)} = \sum Q_{out\,(m-1)} \quad (2,10)$$

Και αν αποτελείται από L βρόχους διαμορφώνονται L μη γραμμικές εξισώσεις ενέργειας βρόχου :

$$\sum_{i=1}^{N_1} R_i Q_i^n = 0 \quad (2,11)$$
$$\sum_{i=1}^{N_2} R_i Q_i^n = 0 \quad (2,12)$$
$$\vdots$$
$$\sum_{i=1}^{N_L} R_i Q_i^n = 0 \quad (2,13)$$

(Όπου N_1, N_2,...,N_L : αριθμοί κλάδων των βρόχων 1,2,…,L αντίστοιχα)

Οι (m-1)+L εξισώσεις αυτές ονομάζονται Q-εξισώσεις και είναι όσες ο αριθμός των κλάδων του δικτύου (Σπηλιώτης Μ.,2004). Για τον προσδιορισμό των παροχών στους κλάδους αρκεί η επίλυση του παραπάνω συστήματος των (m-1)+L εξισώσεων με τους (m-1)+L αγνώστους (παροχές κλάδων Q_i).

Οι Q-εξισώσεις μπορούν να μετασχηματιστούν στις ΔQ-εξισώσεις όταν σε αυτές εφαρμοστεί διορθωτική παροχή βρόχου ΔQ. Για να γίνει αυτός ο μετασχηματισμός χρειάζεται να θεωρηθούν αυθαίρετες αρχικές τιμές παροχών στους κλάδους (Q_i^{α}) οι οποίες να ικανοποιούν τις εξισώσεις συνέχειας στους κόμβους. Αυτές αποκλίνουν κατά μία ποσότητα ΔQ από την πραγματική τιμή της παροχής (Q_i) :

$$Q_i = Q_i^{\alpha} + \Delta Q \tag{2,14}$$

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω σχέση και θεωρώντας ότι κάθε βρόχος θα έχει μια διαφορετική διορθωτική παροχή, οι εξισώσεις ενέργειας των βρόχων μπορούν να γραφούν ως εξής :

$$\sum_{i=1}^{N_1} R_i \left(Q_i^{a} + \Delta Q_1 \right)^n = 0 \tag{2,15}$$

$$\sum_{i=1}^{N_2} R_i \left(Q_i^{a} + \Delta Q_2 \right)^n = 0 \tag{2,16}$$

$$\vdots$$

$$\sum_{i=1}^{N_L} R_i \left(Q_i^{a} + \Delta Q_L \right)^n = 0 \tag{2,17}$$

Στο σύστημα των εξισώσεων ενέργειας οι άγνωστες μεταβλητές είναι οι τιμές των διορθωτικών παροχών $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \ldots, \Delta Q_L$ και μπορούν να υπολογιστούν με την επίλυση του παραπάνω συστήματος των L εξισώσεων με τους L αγνώστους. Έχοντας υπολογίσει τις διορθωτικές παροχές οι πραγματικές τιμές των παροχών των κλάδων μπορούν να υπολογιστούν με την πρόσθεση αυτών στις αυθαίρετες αρχικές τιμές των παροχών.

2.3 Υδραυλικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται κατά την επίλυση κλειστών δικτύων

Το ύψος απωλειών φορτίου συσχετίζεται με την παροχή και τα χαρακτηριστικά του αγωγού με τον εξής τρόπο : Σε ένα κλάδο διαμέτρου D, μήκους L, τραχύτητας κ και παροχής Q οι απώλειες φορτίου h_f υπολογίζονται από τη σχέση :

$$h_f = RQ^n \tag{2,18}$$

Οι υπολογισμοί που πρέπει να ακολουθηθούν για να επιλυθεί η παραπάνω σχέση είναι με τη σειρά οι εξής :

$$\textit{Αριθμός Reynolds} : \ \mathrm{Re} = \frac{\nu D}{V} = \frac{4Q}{\pi D \nu} \tag{2,19}$$

Όπου ν : κινηματική συνεκτικότητα (m^2/s) , ν=1.2 10^6 m^2/s
D : εσωτερική διάμετρος αγωγού (m)
V : ταχύτητα νερού (m/s)
Q : παροχή νερού (m^3/s)

Είναι ο αδιάστατος αριθμός από τον οποίο εξαρτάται η κατάσταση ροής (Μαντόγλου Α.,2004):

- Για Re < 2000 η ροή είναι στρωτή (ονομάζεται και παράλληλη ροή) και η κίνηση του υγρού γίνεται σε παράλληλες στρώσεις.
- Για 2000 < Re < 40000 – 100000 η ροή κυμαίνεται κατά περιοχές μεταξύ στρωτής και τυρβώδους ροής.
- Για 40000 – 100000 < Re η ροή είναι τυρβώδης, δηλαδή ακανόνιστη και συνεχώς μεταβαλλόμενη (μη παράλληλη).

Συντελεστής τριβής f κατά Swamee & Jain : $$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}} + \frac{\kappa / D}{3.7}\right)\right]^2} \qquad (2,20)$$

Όπου κ : τραχύτητα αγωγού (mm) που εξαρτάται από το υλικό κατασκευής του την ηλικία του.

Αντίσταση αγωγού κατά Darcy-Weisbach : $$R = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} \qquad (2,21)$$

Όπου L : μήκος αγωγού (m)
g : επιτάχυνση βαρύτητας (m^2/s)

Συντελεστής « n » :

Ο συντελεστής «n» κατά τους Hazen-Williams παίρνει την τιμή 1.852, ενώ κατά τους Darcy-Weisbach την τιμή 2. Θεωρώντας πιο ακριβής αλλά και πιο εύκολη στους υπολογισμούς την τιμή των Darcy-Weisbach η παραπάνω σχέση επιλέγεται να είναι :

$$h_f = RQ^2 \qquad (2,22)$$

Παρατηρώντας τις παραπάνω σχέσεις, συμπεραίνεται ότι μια αλλαγή στη τιμή της διαμέτρου ή του μήκους ή της τραχύτητας ή και των τριών ενός αγωγού έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή τις τιμής της παροχής νερού που διέρχεται από αυτόν και κατά συνέπεια της απώλειας ενέργειας κατά μήκος του. Η επιλογή διαμέτρου, μήκους και υλικού του αγωγού δε μπορεί να είναι μια τυχαία διαδικασία, γιατί έχει επίδραση στη συμπεριφορά του δικτύου. Οι μέθοδοι επίλυσης που περιγράφονται χρησιμοποιούν αυτά τα μεγέθη ως δεδομένα για να υπολογίσουν την παροχή και την απώλεια ενέργειας κατά μήκος κάθε αγωγού. Έτσι, με αυτές, πέρα από την επίλυση ενός δικτύου, μπορεί να γίνεται και έλεγχος καταλληλότητας διαμέτρου και υλικού των αγωγών.

2.4 Μέθοδος Q-Cross

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τον Αμερικανό πολιτικό μηχανικό Hardy Cross το 1938. Είναι η παλιότερη και η πιο ευρέως χρησιμοποιημένη επαναληπτική μέθοδος υπολογισμού παροχών. Με την εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών αποδείχτηκε πως, ενώ είναι μια ευνόητη και φιλική στον χρήστη μέθοδος, ο προγραμματισμός της σε ηλεκτρονικό περιβάλλον είναι πιο δύσκολος και λιγότερο αποτελεσματικός από άλλες μεθόδους που αναπτύχθηκαν αργότερα.

Η επίλυσή της βασίζεται στις ΔQ-εξισώσεις. Στόχος της είναι να υπολογίσει τις διορθωτικές παροχές $\Delta Q_1,\Delta Q_2,\ldots,\Delta Q_L$ των L βρόχων του δικτύου. Αυτό επιχειρεί να το κάνει όχι με την επίλυση του συστήματος των εξισώσεων ενέργειας, αλλά υπολογίζοντας τη διορθωτική παροχή κάθε βρόχου ξεχωριστά (Jeppson R.W.,1976) .

Συνεπώς για τον πρώτο βρόχο του δικτύου είναι απαραίτητη η επιλογή αρχικών τιμών για τις παροχές των κλάδων ($Q_i^{\ \alpha}$). Η επιλογή τους γίνεται αυθαίρετα με μοναδική προϋπόθεση να ικανοποιείται η αρχή συνέχειας παροχών σε κάθε κόμβο. Προσδιορίζοντας θετική φορά κίνησης του νερού μέσα στο βρόχο και υποθέτοντας φορά κίνησης σε κάθε κλάδο, οι παραπάνω παροχές προσημαίνονται κατάλληλα : όσες ακολουθούν τη θετική φορά παίρνουν το πρόσημο «+» και όσες την αρνητική το πρόσημο «-». Η διαφορά των πραγματικών παροχών των κλάδων και των αρχικών θεωρηθεισών παροχών είναι μια ποσότητα ΔQ_1 η οποία ονομάζεται διορθωτική παροχή και εκφράζεται με τη σχέση :

$$Q_i = Q_i^{\,a} + \Delta Q_1 \tag{2,23}$$

Η τιμή της διορθωτική παροχής υπολογίζεται σχηματίζοντας τις εξισώσεις ενέργειας βρόχου :

$$\sum_{i=1}^{N_1} h_f = 0 \tag{2,24}$$

ή

$$\sum_{i=1}^{N_1} R_i Q_i^{\,n} = 0 \tag{2,25}$$

(Όπου N_1 : ο αριθμός κλάδων του πρώτου βρόχου)

Αν όπου Q_i τεθεί $Q_{i0} + \Delta Q$ η παραπάνω σχέση μετατρέπεται σε :

$$\sum_{i=1}^{N_1} R_i \left(Q_i^{\,a} + \Delta Q_1\right)^n = 0\,) \tag{2,26}$$

Αναπτύσσοντας το παραπάνω διώνυμο αυτό γίνεται :

$$\sum_{i=1}^{N_1} R_i {Q_i}^{a^n} + \sum_{i=1}^{N_1} n R_i {Q_i}^{a^{n-1}} \Delta Q_1 + \frac{n-1}{2} \sum_{i=1}^{N_1} n R_i {Q_i}^{a^{n-2}} \Delta {Q_1}^2 + \ldots = 0 \tag{2,27}$$

Αγνοώντας τους όρους δεύτερης και μεγαλύτερης τάξης, μιας και $\Delta Q_1 << Q_i$ και επιλύοντας ως προς ΔQ η σχέση που δίνει τη διορθωτική παροχή είναι :

$$\Delta Q_1 = -\frac{\sum_{i=1}^{N_1} R_i Q_i^{a^n}}{\sum_{i=1}^{N_1} \left| n R_i Q_i^{a^{n-1}} \right|} \qquad (2,28)$$

Η ποσότητα : $\sum_{i=1}^{N_1} R_i Q_i^{a^n}$ είναι το αλγεβρικό άθροισμα των υψών απωλειών ενέργειας που το πρόσημό τους καθορίζεται από τη φορά της παροχής, για αυτό και οι τιμές των αρχικών παροχών πρέπει να εισαχθούν με το πρόσημο που υποδεικνύει η φορά τους.

Χρησιμοποιώντας την τιμή 2 για τον συντελεστή «n» των Darcy-Weisbach η σχέση της διορθωτικής παροχής γίνεται :

$$\Delta Q_1 = -\frac{\sum_{i=1}^{N} R_i Q_i^{a^2}}{\sum_{i=1}^{N} \left| 2 R_i Q_i^{a} \right|} \qquad (2,29)$$

Η διορθωτική παροχή που υπολογίζεται προστίθεται στις αρχικές θεωρηθείσες παροχές. Οι νέες παροχές που προκύπτουν (Q_i'), όμως δεν είναι και οι τελικές πραγματικές παροχές των κλάδων γιατί από το διώνυμο της εξίσωσης ενέργειας βρόχου έχουν χρησιμοποιηθεί μόνο οι δυο πρώτοι όροι, για αυτό η διαδικασία πρέπει να επαναληφθεί από την αρχή με αρχικές παροχές αυτή τη φορά αυτές που προέκυψαν μετά την πρόσθεση της διορθωτικής παροχής. Όταν μετά το πέρας ενός αριθμού επαναλήψεων η ποσότητα ΔQ τείνει να μηδενιστεί, τότε οι παροχές που θα υπολογιστούν θα είναι οι πραγματικές και θα ικανοποιείται η αρχή διατήρησης ενέργειας στο βρόχο. Εάν το πρόσημο των παροχών έχει διατηρηθεί όπως στην αρχική υπόθεση τότε συμπεραίνεται ότι αυτή είναι και η φορά κίνησης του νερού μέσα στους κλάδους, εάν όχι τότε το νερό θα ακολουθεί την αντίστροφη φορά.

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για όλους τους βρόχους του δικτύου, όμως οι κλάδοι που ανήκουν σε δύο βρόχους πρέπει να δεχθούν τις διορθωτικές παροχές και από τους δύο, για να γίνει αυτό, είτε το αποτέλεσμα τις διορθωμένης κάθε φορά παροχής στον έναν βρόχο θεωρείται ως αρχική παροχή του άλλου , είτε στην αρχική παροχή προστίθενται και οι δύο διορθωτικές παροχές και το αποτέλεσμα χρησιμοποιείται από κοινού και για τους δυο βρόχους.

Συνοπτικά τα βήματα της μεθόδου :

1ο. Ορίζεται θετική φορά βρόχων, για τον πρώτο βρόχο επιλέγονται τυχαίες κατευθύνσεις των παροχών στους κλάδους και θεωρούνται αυθαίρετες παροχές κλάδων με τρόπο που να ικανοποιούν τις εξισώσεις συνέχειας των κόμβων. Κάθε μία από αυτές παίρνει το πρόσημο που ακολουθεί η φορά της.

2ο. Προσδιορίζονται τα παρακάτω μεγέθη για κάθε κλάδο του πρώτου βρόχου:

Αριθμός Reynolds : $\mathrm{Re} = \dfrac{\nu D}{V} = \dfrac{4Q}{\pi D \nu}$

Συντελεστής τριβής f κατά Swamee & Jain : $f = \dfrac{0.25}{\left[\log\left(\dfrac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}} + \dfrac{\kappa / D}{3.7}\right)\right]^2}$

Αντίσταση αγωγού κατά Darcy-Weisbach : $R = \dfrac{8 f L}{g \pi^2 D^5}$

Ύψος απωλειών ενέργειας κατά Darcy-Weisbach : $h_f = RQ|Q|$

3ο. Κατασκευάζεται το άθροισμα των απωλειών ενέργειας κατά μήκος του πρώτου βρόχου και υπολογίζεται η διορθωτική παροχή του από τη σχέση :

$$\Delta Q_1 = -\frac{\sum_{i=1}^{N} R_i Q_i^{a^2}}{\sum_{i=1}^{N} \left|2 R_i Q_i^{a}\right|}$$

4ο. Η διορθωτική παροχή ΔQ_1 προστίθεται στις αρχικές παροχές και υπολογίζονται οι νέες τιμές των παροχών για τον πρώτο βρόχο.

5ο. Τα παραπάνω τέσσερα βήματα εφαρμόζονται και στους υπόλοιπους βρόχους και η διαδικασία επαναλαμβάνεται από την αρχή μέχρι όλες οι διορθωτικές παροχές $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \ldots, \Delta Q_L$ να τείνουν στο μηδέν ($\Delta Q_i \le 0.00000001$).

2.5 Μέθοδος Newton-Raphson

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τους R. Epp και A. G. Fowler το 1970. Όπως και η Q-Cross είναι μια επαναληπτική μέθοδος και χρησιμοποιεί τις ΔQ-εξισώσεις για την επίλυσή της. Σε αντίθεση με την προηγούμενη, προσπαθεί να υπολογίσει την τιμή της διορθωτικής παροχής ΔQ επιλύοντας το σύστημα των μη γραμμικών εξισώσεων που προκύπτουν από την αρχή διατήρησης της ενέργειας σε κάθε βρόχο. Για να γραμμικοποιηθούν οι εξισώσεις ενέργειας χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος των Newton-Raphson. Από τη χρήση αυτού του αλγόριθμου προέρχεται και το όνομα της μεθόδου. Η προηγούμενη μέθοδος (Q-Cross) αποτελεί υποπερίπτωση αυτής. Βρήκε ιδιαίτερη ανταπόκριση γιατί συγκλίνει πολύ γρήγορα στις πραγματικές τιμές των παροχών (Jeppson R.W.,1976).

Έχοντας θεωρήσει αυθαίρετες αρχικές τιμές παροχών των κλάδων που να ικανοποιούν την αρχή συνέχειας παροχής στους κόμβους και με βάση την τυχαία κατεύθυνση του νερού στους κλάδους σχηματίζονται τα αθροίσματα των απωλειών ενέργειας κάθε βρόχου. Έτσι αν ένα δίκτυο αποτελείται από L βρόχους κατασκευάζονται L σχέσεις της μορφής :

$$F_1 = \sum_{i=1}^{N_1} h_f \quad \text{ή} \quad F_1 = \sum_{i=1}^{N1} R_i Q_i^n \quad \text{ή} \quad F_1 = \pm R_1 Q_1{}^n \pm R_2 Q_2{}^n \pm \ldots \pm R_{N_1} Q_{N_1}{}^n \tag{2,30}$$

$$F_2 = \sum_{i=1}^{N_2} h_f \quad \text{ή} \quad F_2 = \sum_{i=1}^{N_2} R_i Q_i^n \quad \text{ή} \quad F_2 = \pm R_1 Q_1{}^n \pm R_2 Q_2{}^n \pm \ldots \pm R_{N_2} Q_{N_2}{}^n \tag{2,31}$$

$$\vdots$$

$$F_L = \sum_{i=1}^{N_L} h_f \quad \text{ή} \quad F_L = \sum_{i=1}^{N_L} R_i Q_i^n \quad \text{ή} \quad F_L = \pm \alpha_1 Q_1 \pm \alpha_2 Q_2 \pm \ldots \pm \alpha_{N_L} Q_{N_L}{}^n \tag{2,32}$$

(Όπου N_1, N_2,...,N_L : αριθμοί κλάδων των βρόχων 1, 2,…, L αντίστοιχα και «±» το αντίστοιχο πρόσημο «+» ή «-» κάθε απώλειας ενέργειας που καθορίζεται από τη φορά της παροχής)

Ακολουθώντας τη μέθοδο των Darcy-Weisbach και ορίζοντας τον συντελεστή «n» ίσο με 2, οι παραπάνω εξισώσεις μπορούν να γραφούν :

$$F_1 = \pm R_1 Q_1 |Q_1| \pm R_2 Q_2 |Q_2| \pm \ldots \pm R_{N_1} Q_{N_1} |Q_{N_1}| \tag{2,33}$$

$$F_2 = \pm R_1 Q_1 |Q_1| \pm R_2 Q_2 |Q_2| \pm \ldots \pm R_{N_2} Q_{N_2} |Q_{N_2}| \tag{2,34}$$

$$\vdots$$

$$F_L = \pm R_1 Q_1 |Q_1| \pm R_2 Q_2 |Q_2| \pm \ldots \pm R_{N_L} Q_{N_L} |Q_{N_L}| \tag{2,35}$$

Σε αυτά τα αθροίσματα απωλειών ενέργειας εφαρμόζονται οι διορθωτικές παροχές ΔQ_1, ΔQ_2, …,ΔQ_L του κάθε βρόχου και οι εξισώσεις μετασχηματίζονται ως εξής :

$$F_1(\Delta Q) = \pm R_1 Q_1 |Q_1 \pm \Delta Q_1| \pm R_2 Q_2 |Q_2 \pm \Delta Q_1| \pm \ldots \pm R_{N_1} Q_{N_1} |Q_{N_1} \pm \Delta Q_1| \tag{2,36}$$

$$F_2(\Delta Q) = \pm R_1 Q_1 |Q_1 \pm \Delta Q_2| \pm R_2 Q_2 |Q_2 \pm \Delta Q_2| \pm \ldots \pm R_{N_2} Q_{N_2} |Q_{N_2} \pm \Delta Q_2| \tag{2,37}$$

$$\vdots$$

$$F_L(\Delta Q) = \pm R_1 Q_1 |Q_1 \pm \Delta Q_L| \pm R_2 Q_2 |Q_2 \pm \Delta Q_L| \pm \ldots \pm R_{N_L} Q_{N_L} |Q_{N_L} \pm \Delta Q_L| \tag{2,38}$$

Οι κλάδοι όμως που ανήκουν σε δύο βρόχους θα πρέπει να διορθωθούν και από τις δυο διορθωτικές παροχές. Έτσι, αν για παράδειγμα, ο κλάδος 1 του πρώτου βρόχου ανήκει και στον δεύτερο η εξίσωση που θα περιγράφει το άθροισμα απώλειας ενέργειας θα είναι :

$$F_1(\Delta Q) = \pm R_1 Q_1 |Q_1 \pm \Delta Q_1 \pm \Delta Q_2| \pm R_2 Q_2 |Q_2 \pm \Delta Q_1| \pm \ldots \pm R_{N_1} Q_{N_1} |Q_{N_1} \pm \Delta Q_1| \tag{2,39}$$

Σκοπός της μεθόδου είναι να υπολογιστούν οι τιμές των διορθωτικών παροχών, ώστε οι απώλειες κατά μήκος των βρόχων να μηδενιστούν. Το σύστημα των εξισώσεων που θα πρέπει να επιλυθεί είναι το παρακάτω των L εξισώσεων με τους L αγνώστους

$$F_1(\Delta Q) = \pm R_1 Q_1 |Q_1 \pm \Delta Q_1| \pm R_2 Q_2 |Q_2 \pm \Delta Q_1| \pm \ldots \pm R_{N_1} Q_{N_1} |Q_{N_1} \pm \Delta Q_1| = 0 \quad (2,40)$$

$$F_2(\Delta Q) = \pm R_1 Q_1 |Q_1 \pm \Delta Q_2| \pm R_2 Q_2 |Q_2 \pm \Delta Q_2| \pm \ldots \pm R_{N_2} Q_{N_2} |Q_{N_2} \pm \Delta Q_2| = 0 \quad (2,41)$$

$$\vdots$$

$$F_L(\Delta Q) = \pm R_1 Q_1 |Q_1 \pm \Delta Q_L| \pm R_2 Q_2 |Q_2 \pm \Delta Q_L| \pm \ldots \pm R_{N_L} Q_{N_L} |Q_{N_L} \pm \Delta Q_L| = 0 \quad (2,42)$$

Το παραπάνω σύστημα εξισώσεων είναι μη γραμμικό και για να επιλυθεί χρειάζεται πρώτα να γραμμικοποιηθεί, αυτό επιτυγχάνεται με τη γραμμικοποίησης των Newton-Raphson. Το σύστημα των εξισώσεων μετά την εφαρμογή της μεθόδου γίνεται :

$$\left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q=0} \Delta Q_1 + \left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q=0} \Delta Q_2 + \ldots + \left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_N)}\right|_{\Delta Q=0} = -F_1(0) \quad (2,43)$$

$$\left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q=0} \Delta Q_1 + \left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q=0} \Delta Q_2 + \ldots + \left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_N)}\right|_{\Delta Q=0} = -F_2(0) \quad (2,44)$$

$$\vdots$$

$$\left.\frac{\partial F_L}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q=0} \Delta Q_1 + \left.\frac{\partial F_L}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q=0} \Delta Q_2 + \ldots + \left.\frac{\partial F_L}{\partial(\Delta Q_L)}\right|_{\Delta Q=0} = -F_L(0) \quad (2,45)$$

Το σύστημα επιλύεται , αφού πρώτα υπολογιστούν οι παραπάνω μερικές παράγωγοι και οι $F_i(0)$, χρησιμοποιώντας τις αυθαίρετες αρχικές τιμές των παροχών χωρίς πρόσημο που να υποδηλώνει τις κατευθύνσεις τους μέσα στους κλάδους, μιας και αυτά έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί στο σχηματισμό των αθροισμάτων των απωλειών ενέργειας. Το αποτέλεσμα της επίλυσης είναι οι τιμές των διορθωτικών παροχών οι οποίες εφαρμόζονται στις αρχικές παροχές. Η διαδικασία της μεθόδου επαναλαμβάνεται από την αρχή μέχρι οι διορθωτικές παροχές να μηδενιστούν. Οι τελικές παροχές θα είναι και οι πραγματικές παροχές του δικτύου. Εάν το πρόσημο των παροχών παραμένει και μετά το τέλος της επίλυσης θετικό τότε συμπεραίνεται η φορά κίνησης του νερού μέσα στους κλάδους είναι αυτή της αρχικής υπόθεσης, αλλιώς το νερό ακολουθεί την αντίστροφη φορά.

Συνοπτικά τα βήματα της μεθόδου :

1ο. Ορίζεται θετική φορά κίνησης νερού στον βρόχο, επιλέγονται τυχαίες κατευθύνσεις των παροχών στους κλάδους και θεωρούνται αυθαίρετες παροχές κλάδων με τρόπο που να ικανοποιούν τις εξισώσεις συνέχειας των κόμβων.

2ο. Με βάση τις τυχαίες κατευθύνσεις των παροχών σχηματίζονται τα αθροίσματα απωλειών ενέργειας κατά μήκος κάθε βρόχου. Για τον υπολογισμό των απωλειών κατά μήκος κάθε αγωγού χρησιμοποιούνται οι σχέσεις των Darcy-Weisbach :

$$h_f = QR^2$$

3ο. Εφαρμόζονται διορθωτικές παροχές ΔQ_1 , ΔQ_2 , … , ΔQ_N σε κάθε βρόχο (N , ο αριθμός των βρόχων του δικτύου) . Κάθε κλάδος του δικτύου που ανήκει σε δύο βρόχους διορθώνεται και από τις δύο διορθωτικές παροχές των βρόχων. Στόχος είναι να υπολογιστούν οι τιμές των διορθωτικών παροχών έτσι ώστε οι απώλειες κατά μήκος των βρόχων να μηδενιστούν

4ο. Το σύστημα των εξισώσεων που δημιουργήθηκαν δεν είναι γραμμικό και για να επιλυθεί εφαρμόζεται σε αυτό η μέθοδος γραμμικοποίησης των Newton-Raphson. Μετά την εφαρμογή της το σύστημα προς επίλυση έχει την παρακάτω μορφή:

$$\begin{aligned}
&\left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_1+\left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_2+\ldots+\left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_N)}\right|_{\Delta Q=0}=-F_1(0)\\
&\left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_1+\left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_2+\ldots+\left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_N)}\right|_{\Delta Q=0}=-F_2(0)\\
&\qquad\qquad\qquad\qquad\vdots\\
&\left.\frac{\partial F_L}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_1+\left.\frac{\partial F_L}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_2+\ldots+\left.\frac{\partial F_L}{\partial(\Delta Q_N)}\right|_{\Delta Q=0}=-F_L(0)
\end{aligned}$$

5ο. Χρησιμοποιώντας τις θεωρηθείσες αρχικές παροχές υπολογίζονται τα παρακάτω μεγέθη για κάθε κλάδο του δικτύου :

Αριθμός Reynolds : $\mathrm{Re}=\dfrac{\nu D}{V}=\dfrac{4Q}{\pi D\nu}$

Συντελεστής τριβής f κατά Swamee & Jain : $f=\dfrac{0.25}{\left[\log\left(\dfrac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}}+\dfrac{\kappa/D}{3.7}\right)\right]^2}$

Αντίσταση αγωγού κατά Darcy-Weisbach : $R=\dfrac{8fL}{g\pi^2D^5}$

6ο. Τα μεγέθη αυτά αντικαθίστανται στο γραμμικό σύστημα και γίνεται ο αριθμητικός υπολογισμός των διορθωτικών παροχών. Διορθώνονται οι τιμές των παροχών και υπολογίζονται νέοι συντελεστές του συστήματος χρησιμοποιώντας για αρχικές παροχές τις τελευταίες. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου οι διορθωτικές παροχές να μηδενιστούν

2.6 Γραμμική μέθοδος

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τους D. J. Wood και C. O. A. Charles το 1972. Έχει δυο βασικά πλεονεκτήματα απέναντι στις μεθόδους που περιγράφονται παραπάνω. Το πρώτο ότι μπορεί εύκολα να προγραμματιστεί σε περιβάλλον ηλεκτρονικού υπολογιστή και το δεύτερο ότι για να ξεκινήσει η διαδικασία επίλυσης δε χρειάζεται επιλογή αρχικών τιμών των παροχών των κλάδων, αλλά μονό μια υπόθεση της κατεύθυνσης του νερού στους κλάδους. Είναι η μέθοδος που χρησιμοποιούνε τα περισσότερα υπολογιστικά προγράμματα κατασκευής και επίλυσης δικτύων ύδρευσης και μπορεί να δώσει έγκυρα αποτελέσματα ακόμα και για περίπλοκα δίκτυα που αποτελούνται από χιλιάδες κλάδους (Jeppson R.W.,1976).

Η θεωρία αυτής της μεθόδου βασίζεται στις Q-εξισώσεις και προσπαθεί να υπολογίσει τις παροχές των κλάδων επιλύοντας τις εξισώσεις που προκύπτουν και από την αρχή συνέχειας παροχής των κόμβων και από την αρχή διατήρησης ενέργειας των βρόχων ταυτόχρονα σε ένα κοινό σύστημα εξισώσεων. Με Ορισμένη θετική φορά κίνησης νερού στους βρόχους και επιλεγμένη τυχαία κατεύθυνση παροχής νερού στους κλάδους του δικτύου, όταν αυτό αποτελείται από m κόμβους και από L βρόχους, κατασκευάζονται οι παρακάτω εξισώσεις :

- m γραμμικές εξισώσεις συνέχειας της μορφής :

$$\sum Q_{in\,(1)} = \sum Q_{out\,(1)} \tag{2,46}$$

$$\sum Q_{in\,(2)} = \sum Q_{out\,(2)} \tag{2,47}$$

$$\vdots$$

$$\sum Q_{in\,(m)} = \sum Q_{out\,(m)} \tag{2,48}$$

από τις οποίες χρησιμοποιούνται οι m-1 ανεξάρτητες που επιλέγονται τυχαία.

- L μη γραμμικές εξισώσεις ενέργειας της μορφής :

$$\sum_{i=1}^{N1} R_i Q_i^n = 0 \tag{2,49}$$

$$\sum_{i=1}^{N_2} R_i Q_i^n = 0 \tag{2,50}$$

$$\vdots$$

$$\sum_{i=1}^{N_L} R_i Q_i^n = 0 \tag{2,51}$$

(Όπου N_1, N_2,...,N_L : αριθμοί κλάδων των βρόχων 1,2,…,L αντίστοιχα)

Πιο αναλυτικά :

$$\pm R_1 Q_1^n \pm R_2 Q_2^n \pm \ldots \pm R_{N_1} Q_{N_1}^n = 0 \tag{2,52}$$

$$\pm R_1 Q_1^n \pm R_2 Q_2^n \pm \ldots \pm R_{N_2} Q_{N_2}^n = 0 \tag{2,53}$$

$$\vdots$$

$$\pm R_1 Q_1^{\,n} \pm R_2 Q_2^{\,n} \pm \ldots \pm R_{N_L} Q_{N_L}^{\,n} = 0 \tag{2,54}$$

(τα πρόσημα των απωλειών ενέργειας «±» καθορίζονται από τη φορά της παροχής)
Για να μετατραπούν οι L μη γραμμικές εξισώσεις σε γραμμικές χρησιμοποιείται ένας παράγοντας γραμμικοποίησης α_i για κάθε κλάδο :

$$\alpha_i = R_i \left| Q_i \right|^{\,n-1} \tag{2,55}$$

Για να υπολογιστεί χρησιμοποιεί μια αυθαίρετη αρχική τιμή παροχής Q(0) ίδια για κάθε κλάδο, συνήθως αυτή των 1.00 m^3/s. Η τιμή του συντελεστή «n» προτείνεται να είναι κατά τους Darcy-Weisbach 2. Έτσι οι εξισώσεις ενέργειας μετατρέπονται σε :

$$\pm \alpha_1 Q_1 \pm \alpha_2 Q_2 \pm \ldots \pm \alpha_{N_1} Q_{N_1} = 0 \tag{2,56}$$

$$\pm \alpha_1 Q_1 \pm \alpha_2 Q_2 \pm \ldots \pm \alpha_{N_2} Q_{N_2} = 0 \tag{2,57}$$

$$\vdots$$

$$\pm \alpha_1 Q_1 \pm \alpha_2 Q_2 \pm \ldots \pm \alpha_{N_L} Q_{N_L} = 0 \tag{2,58}$$

Συνεπώς το προς επίλυση σύστημα εξισώσεων που έχει ως αγνώστους τις τιμές των παροχών των κλάδων αποτελείται από (m-1)+L γραμμικές εξισώσεις. Η επίλυσή του έχει ως αποτέλεσμα τιμές για τις παροχές κοντά στις πραγματικές Q(1). Αυτές θα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό νέου παράγοντα γραμμικοποίησης και η διαδικασία θα επαναλαμβάνεται υπολογίζοντας νέες τιμές παροχών Q(2). Η μέθοδος επαναλαμβάνεται τόσες φορές, όσες χρειαστεί για να υπάρξει σύγκλιση των αποτελεσμάτων των παροχών. Παρατηρείται όμως ότι μετά την ολοκλήρωση ορισμένων επαναλήψεων τα αποτελέσματα της μεθόδου παρουσιάζουν μια διακύμανση γύρω από την πραγματική τιμή της παροχής, για να αποφευχθεί αυτό προτείνεται η τιμή της παροχής που τίθεται σαν αρχική πριν από κάθε επανάληψη να είναι ο μέσος όρος των δύο προηγούμενων τιμών :

$$Q_i(n) = \frac{Q_i(n-1) + Q_i(n-2)}{2} \tag{2,59}$$

Όταν οι τιμές των παροχών που θα προκύπτουν μετά από κάθε επανάληψη θα είναι ίδιες, τότε αυτές θα είναι οι πραγματικές παροχές του δικτύου. Εάν το πρόσημο των παροχών παραμένει και μετά το τέλος της επίλυσης θετικό τότε η φορά κίνησης του νερού μέσα στους κλάδους είναι αυτή της αρχικής υπόθεσης, αλλιώς το νερό ακολουθεί την αντίστροφη φορά.

Συνοπτικά τα βήματα της μεθόδου :

1ο. Ορίζεται θετική φορά κίνησης νερού στον βρόχο και επιλέγονται τυχαίες κατευθύνσεις των παροχών στους κλάδους, για αυτές επιλέγεται κοινή αρχική τιμή (συνήθως χρησιμοποιείται η τιμή Q(0)=1,00 m^3/s)

2ο. Προσδιορίζονται τα παρακάτω μεγέθη για κάθε κλάδο του δικτύου:

Αριθμός Reynolds : $\mathrm{Re} = \frac{\nu D}{V} = \frac{4Q}{\pi D \nu}$

Συντελεστής τριβής f κατά Swamee & Jain : $f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}} + \frac{\kappa / D}{3.7}\right)\right]^2}$

Αντίσταση αγωγού κατά Darcy-Weisbach : $R = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5}$

3ο. Σχηματίζονται L εξισώσεις ενέργειας, μια για κάθε βρόχο και m εξισώσεις συνέχειας, μια για κάθε κόμβο.

4ο. Υπολογίζεται ο παράγοντας γραμμικοποίησης α_i για κάθε κλάδο :

$$\alpha_i = R_i \left| Q_i \right|$$

5ο. Μορφώνεται ένα γραμμικό σύστημα εξισώσεων από τις L ενεργειακές εξισώσεις και από m-1 εξισώσεις συνέχειας που έχει ως αγνώστους τις παροχές των κλάδων.

6ο. Από την επίλυση του συστήματος προκύπτουν οι νέες παροχές (Q(1)) οι οποίες χρησιμοποιούνται σαν αρχικές αντικαθιστώντας τις προηγούμενες θεωρητικές (Q(0)) και η διαδικασία επαναλαμβάνεται από την αρχή. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι νέες παροχές (Q(2)).

7ο. Οι επόμενες παροχές που εισέρχονται στις επαναληπτικές διαδικασίες προκύπτουν από το μέσο όρο των αμέσως δυο προηγούμενων παροχών :

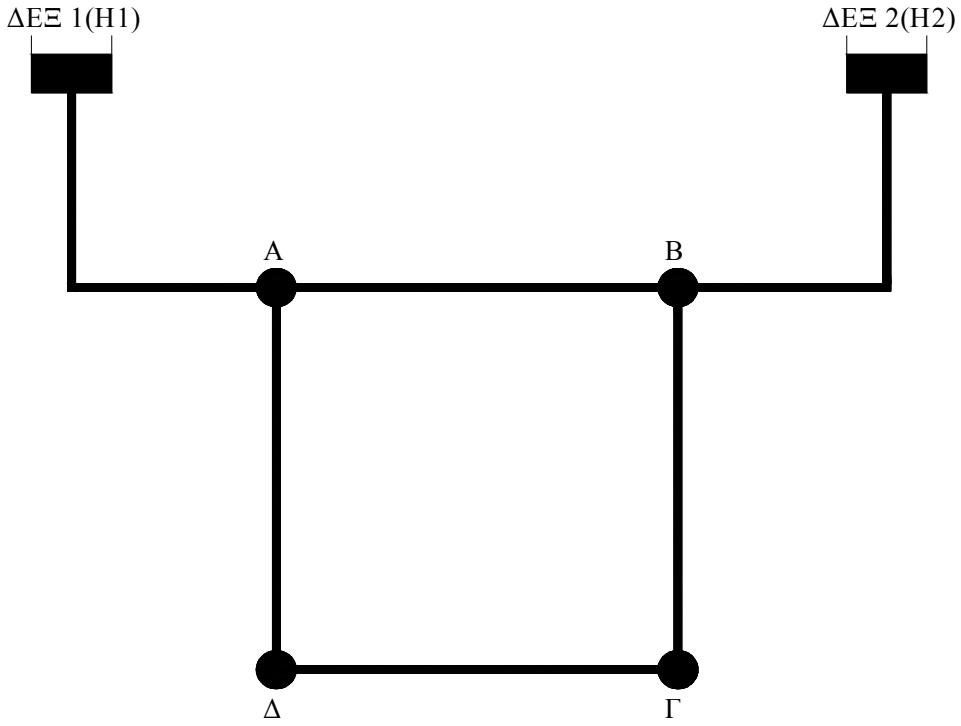
$$Q_i(n) = \frac{Q_i(n-1) + Q_i(n-2)}{2}$$

και η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν υπάρξει ικανοποιητική σύγκλιση των αποτελεσμάτων

2.7 Τροποποίηση μεθόδων επίλυσης (περίπτωση τροφοδοσίας από δύο δεξαμενές)

Οι μέθοδοι που αναπτύχθηκαν προηγουμένως αφορούσαν δίκτυα τα οποία τροφοδοτούνταν από μια δεξαμενή. Σε αυτή την περίπτωση όλη η ποσότητα του νερού που ήταν απαραίτητη για να ικανοποιήσει τις ανάγκες του δικτύου διέρχονταν από έναν αγωγό τροφοδοσίας που συνέδεε τη δεξαμενή με κάποιον από τους κόμβους του δικτύου. Έχοντας δεδομένη την παροχή νερού του αγωγού τροφοδοσίας μπορούσαν εύκολα να υπολογιστούν τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του.

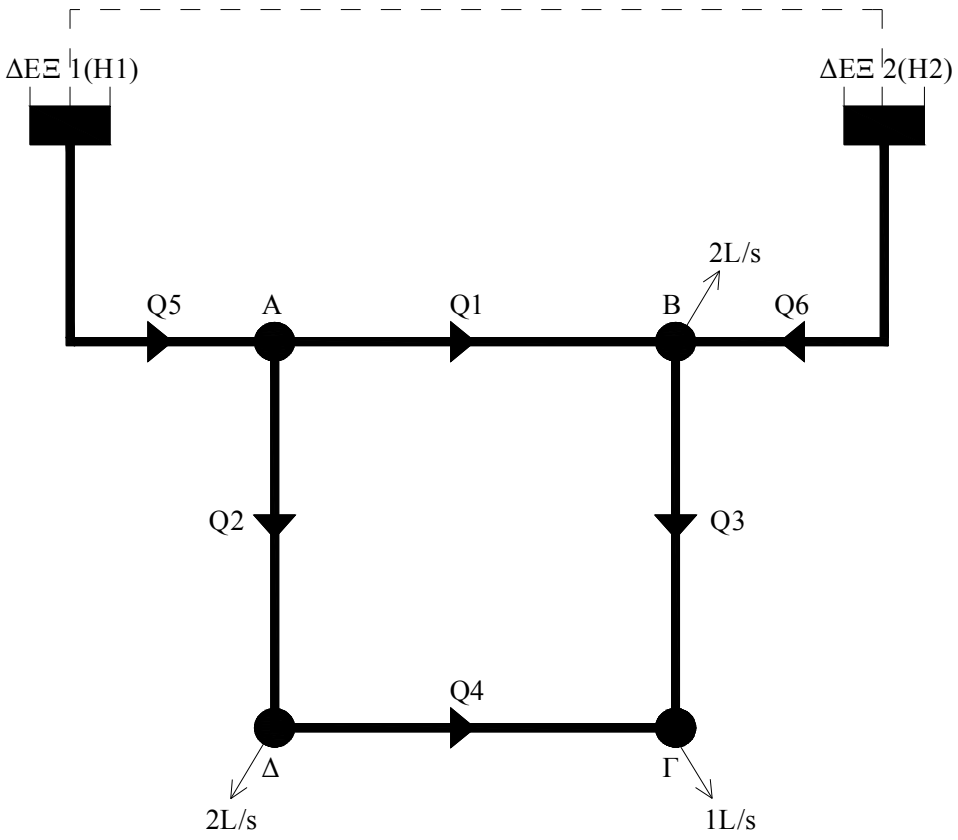
Στο σχήμα που ακολουθεί εμφανίζεται ένα υποθετικό δίκτυο ύδρευσης τεσσάρων κόμβων και κλάδων που σχηματίζουν ένα κλειστό βρόχο και τροφοδοτείται από δύο δεξαμενές :



Σχήμα 2. 2 : Τροφοδότηση κλειστού βρόχου από δύο δεξαμενές

Στην περίπτωση όμως που το δίκτυο τροφοδοτείται από δύο η περισσότερες δεξαμενές η ποσότητα νερού που διέρχεται από κάθε αγωγό τροφοδοσίας είναι άγνωστη. Έτσι θα πρέπει οι παροχές αυτών των αγωγών να μπουν μέσα στο σύστημα των εξισώσεων που κατασκευάζεται από τις αρχές συνέχειας παροχής και πίεσης. Για να γίνει αυτό θεωρείται ένας επιπλέον κλειστός βρόχος ο οποίος συνδέει τις δύο δεξαμενές με έναν φανταστικό αγωγό. Αυτός ο βρόχος ονομάζεται «ψευδοβρόχος» και από αυτόν προκύπτουν οι επιπλέον εξισώσεις που είναι αναγκαίες για την επίλυσή του δικτύου (Jeppson R.W.,1976).

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται ο φανταστικός αγωγός και η κατεύθυνση του νερού μέσα στους κλάδους του δικτύου :



Σχήμα 2. 3: Σχεδιασμός ¨ψευδοβρόχου"

Οι m γραμμικές εξισώσεις συνέχειας που κατασκευάστηκαν προηγουμένως σε αυτή την περίπτωση είναι όλες ανεξάρτητες μεταξύ τους γιατί πλέον εισέρχονται σε αυτές οι άγνωστες παροχές από τους αγωγού τροφοδοσίας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα είναι της μορφής :

Κόμβος Α : $Q5 - Q1 - Q2 = 0$ (2,60)

Κόμβος Β : $Q1 + Q6 - 2L/s - Q3 = 0$ (2,61)

Κόμβος Γ : $Q3 + Q4 - 1L/s = 0$ (2,62)

Κόμβος Δ : $Q2 - 2L/s - Q4 = 0$ (2,63)

Η εξίσωση ενέργειας που προκύπτει από τον πραγματικό βρόχο είναι ίδια με πριν :

$$R_1 Q_1^n + R_3 Q_3^n - R_4 Q_4^n - R_2 Q_2^n = 0 \quad (2,64)$$

Προκύπτει όμως και μία επιπλέον εξίσωση ενέργειας από τον «ψευδοβρόχο» η οποία είναι της μορφής :

$$H2 - R_6 Q_6^n + R_1 Q_1^n + R_5 Q_5^n = H1 \quad (2,65)$$

Αν μετατραπεί με τέτοιο τρόπο ώστε οι απώλειες ενέργειας να ακολουθούν την ορισμένη θετική φορά βρόχου θα έχει την μορφή :

$$R_6 Q_6^n - R_1 Q_1^n - R_5 Q_5^n = H2 - H1 \quad (2,66)$$

Οι παραπάνω τέσσερεις εξισώσεις συνέχειας και οι δύο εξισώσεις ενέργειας δημιουργούν ένα σύστημα έξι εξισώσεων με έξι αγνώστους, που έχει ως αποτέλεσμα τις τιμές των παροχών των κλάδων του δικτύου και των αγωγών τροφοδοσίας.

Γενικεύοντας το παραπάνω παράδειγμα σε ένα δίκτυο m κόμβων και L βρόχων που τροφοδοτείται από δύο δεξαμενές κατασκευάζονται m εξισώσεις συνέχειας και L+1 εξισώσεις ενέργειας που είναι ικανές να δημιουργήσουν ένα σύστημα εξισώσεων που η επίλυσή του να δίνει ως αποτέλεσμα τις παροχές των κλάδων και μαζί με αυτές τις παροχές των αγωγών τροφοδοσίας.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι κάθε μέθοδος θα πρέπει να συμπεριλάβει και την ανάλυση του «ψευδοβρόχου». Συγκεκριμένα :

Η μέθοδος Q-Cross χρησιμοποιεί ως διορθωτική παροχή του «ψευδοβρόχου» την εξής σχέση :

$$\Delta Q = -\frac{\sum_{i=1}^{N} R_i Q_i^{a^n} - (H2 - H1)}{\sum_{i=1}^{N} \left| nR_i Q_i^{a^{n-1}} \right|} \tag{2,67}$$

Η μέθοδος Newton-Raphson χρησιμοποιεί μια επιπλέον σχέση της μορφής :

$$F = \pm R_1 Q_1 \left|Q_1\right| \pm R_2 Q_2 \left|Q_2\right| \pm \ldots \pm R_N Q_N \left|Q_N\right| - (H2 - H1) \tag{2,68}$$

Η γραμμική μέθοδος χρησιμοποιεί μια επιπλέον σχέση της μορφής :

$$\sum_{i=1}^{N} R_i Q_i^{n} = H2 - H1 \tag{2,69}$$

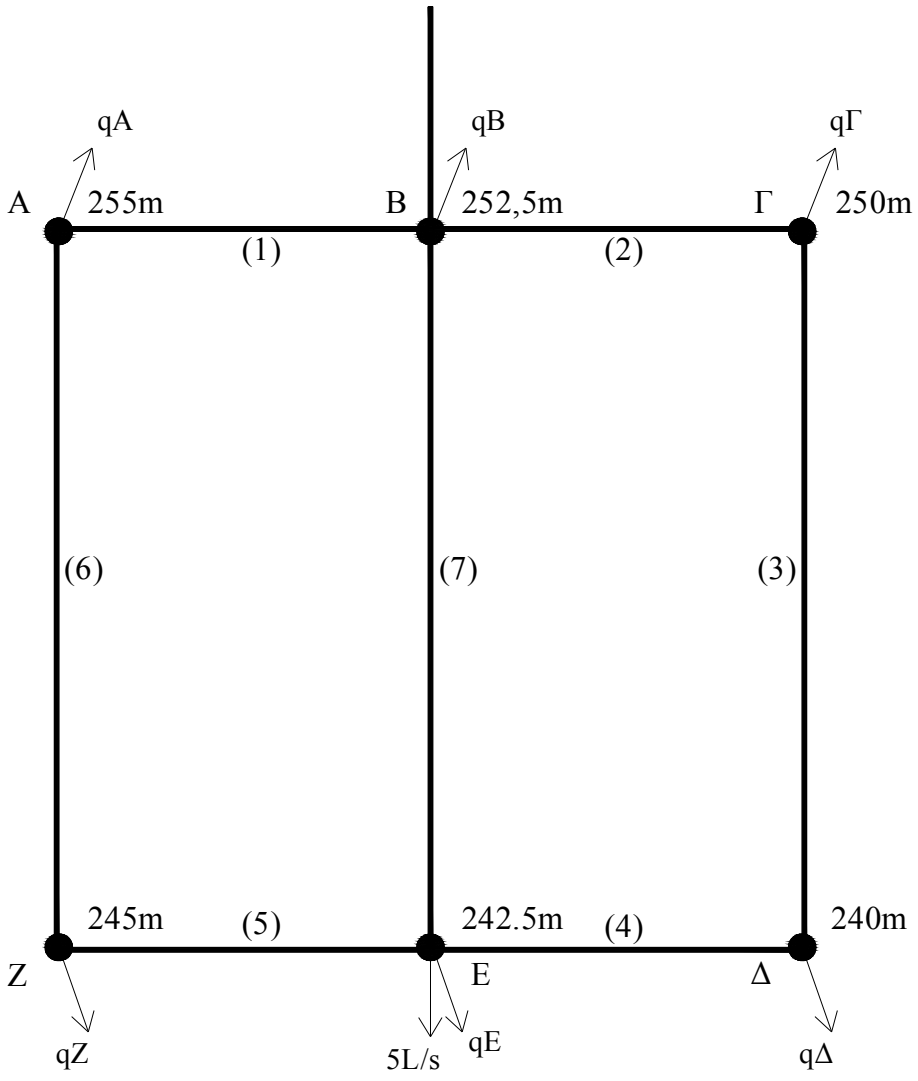
(σε όλες τις παραπάνω σχέσεις, όπου N : κλάδοι του «Ψευδοβρόχου»)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^{ο}

Παράδειγμα Επίλυσης κλειστού δικτύου ύδρευσης

3.1 Εκφώνηση παραδείγματος

Σχεδιάζεται το παρακάτω δίκτυο ύδρευσης :



Σχήμα 3. 1: Μοντέλο κλειστού δικτύου ύδρευσης

Το κλειστό υδραυλικό δίκτυο εξυπηρετεί τις ανάγκες αστικής περιοχής που στην πλειοψηφία της αποτελείται από πενταόροφες οικοδομές. Αποτελείται από 6 κόμβους που συνδέονται με 7 κλάδους και σχηματίζουν 2 κλειστούς βρόχους. Κάθε βρόχος περικλείει δομήσιμη έκταση 2x(150x150)=45000 m^2 και κάθε αγωγός εξυπηρετεί εκατέρωθεν τις προς δόμηση περιοχές. Οι αγωγοί των κλάδων είναι κατασκευασμένοι από πολυαιθυλένιο $3^{ης}$ γενιάς (PE), τα μήκη τους είναι 324 m και 162 m και η ανά μέτρο μήκους παροχές κατανάλωσης σε αυτούς είναι 0.034 L/s/m (q_1) και 0.023 L/s/m (q_2) αντίστοιχα. Επιπλέον στο δίκτυο λειτουργεί πυροσβεστικός κρουνός με κατανάλωση 5 L/s.

- *Βήματα επίλυσης*

Το δίκτυο του παραδείγματος δεν έχει γνωστές τις διαμέτρους των αγωγών, τις παροχές κατανάλωσης στους κόμβους και την υψομετρική θέση της δεξαμενής τροφοδοσίας . Η επίλυσή του θα περιλαμβάνει εκτός από την εφαρμογή των τριών μεθόδων προσδιορισμού παροχών νερού στους κλάδους και μια σειρά από άλλες διαδικασίες. Αρχικά θα πρέπει να υπολογιστούν οι παροχές κατανάλωσης στους κόμβους και έπειτα θα πρέπει να γίνει μια αρχική υπόθεση για τις διαμέτρους των αγωγών οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στις επιλύσεις. Μετά το πέρας των επιλύσεων θα πρέπει να υπολογιστεί η πιεζομετρική γραμμή του δικτύου, αφού όμως δεν υπάρχουν δεδομένα για την δεξαμενή τροφοδοσίας θα πρέπει να δοθεί ένα συγκεκριμένο ύψος πίεσης στο δυσμενέστερο κόμβο του δικτύου και με βάση αυτό να γίνει ο υπολογισμός των πιέσεων στους υπόλοιπους κόμβους. Με δεδομένες πλέον τις πιέσεις στους κόμβους μπορεί να προταθεί και κατάλληλη θέση για τη δεξαμενή που θα παρέχει νερό στο δίκτυο. Τέλος θα πρέπει να γίνει έλεγχος αν το μέγεθος των διαμέτρων που έχει επιλεχθεί ικανοποιεί τους περιορισμούς της ταχύτητας και αν εξασφαλίζει τη λειτουργικότητα του δικτύου και πως θα το επηρεάζει μια διαφορετική επιλογή.

- *Υπολογισμός παροχών κατανάλωσης (q_i) στους κόμβους*

Χρησιμοποιώντας την παραδοχή ότι η παροχή κατανάλωσης σε αγωγό μοιράζεται εξ ίσου στα δύο άκρα του, μπορούν να υπολογιστούν οι παροχές κατανάλωσης στους κόμβους ως εξής :

$$q_A = \frac{L_{AB}}{2} q_2 + \frac{L_{AZ}}{2} q_1 = \frac{162}{2} 0.023 + \frac{324}{2} 0.034 = 7.371 / s \quad (3,1)$$

$$q_B = \frac{L_{AB} + L_{B\Gamma}}{2} q_2 + \frac{L_{BE}}{2} q_1 = \frac{162+162}{2} 0.023 + \frac{324}{2} 0.034 = 9.234 L / s \quad (3,2)$$

$$q_\Gamma = \frac{L_{B\Gamma}}{2} q_2 + \frac{L_{\Gamma\Delta}}{2} q_1 = \frac{162}{2} 0.023 + \frac{324}{2} 0.034 = 7.371 L / s \quad (3,3)$$

$$q_\Delta = \frac{L_{\Gamma\Delta}}{2} q_1 + \frac{L_{E\Delta}}{2} q_2 = \frac{324}{2} 0.034 + \frac{162}{2} 0.023 = 7.371 L / s \quad (3,4)$$

$$q_E = \frac{L_{ZE} + L_{E\Delta}}{2} q_2 + \frac{L_{BE}}{2} q_1 = \frac{162+162}{2} 0.023 + \frac{324}{2} 0.034 = 9.234 L / s \quad (3,5)$$

$$q_Z = \frac{L_{AZ}}{2} q_1 + \frac{L_{ZE}}{2} q_2 = \frac{324}{2} 0.034 + \frac{162}{2} 0.023 = 7.371 L / s \quad (3,6)$$

Στην παροχή κατανάλωσης του κόμβου Ε προστίθενται επιπλέον 5 L/s για χρήση πυροσβεστικού κρουνού. Έτσι η παροχή κατανάλωσης q_E γίνεται 14.234L/s.

Συνολικά στο δίκτυο πρέπει να εισέρχεται παροχή νερού ίση με την συνολική παροχή κατανάλωσης , δηλαδή ίση με Q = 52.952 L/s.

- *Επιλογή διαμέτρων αγωγών (D_i)*

Η επιλογή των διαμέτρων του δικτύου μπορεί να γίνει μόνο εάν είναι γνωστές οι παροχές των κλάδων του. Χωρίς γνωστές παροχές μπορεί να γίνει μονό μια αρχική εκτίμηση αυτών, χρησιμοποιώντας αυθαίρετες παροχές που καλύπτουν την εξίσωση συνέχειας των κόμβων και τον περιορισμό της ταχύτητας του νερού. Η ταχύτητα του νερού πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0.5 και 1.5 m/s. Μια εκτίμηση για τις αυθαίρετες παροχές μπορεί να γίνει ως εξής :

Στο δίκτυο εισέρχονται 52.952 L/s από αυτά τα 9.234 L/s καταναλώνονται κατευθείαν από τον κόμβο Β , έτσι μένουν 43.718 L/s που μοιράζονται στους αγωγούς 1 , 2 και 7. Υποθέτοντας ότι στους αγωγούς 1 και 2 η παροχή θα είναι ίδια και ότι η παροχή στον αγωγό 7 θα είναι κατά 5 L/s μεγαλύτερη από αυτούς για να καλύψει τις ανάγκες του πυροσβεστικού κρουνού , μια εκτίμηση για τις παροχές είναι : $Q_1 = Q_2 = 12.906$ L/s και $Q_7 = 17.906$ L/s. Στους κόμβους Α και Γ καταναλώνονται 7.371 L/s , έτσι στους αγωγούς 3 και 6 υπάρχει παροχή $Q_3 = Q_6 = 5.535$ L/s. Στους κόμβους Ζ και Δ καταναλώνονται επίσης 7.371 L/s , που για να ικανοποιηθεί αυτή η κατανάλωση χρειάζεται επιπλέον παροχή $Q_4 = Q_5 = 1.836$ L/s από τους αγωγούς 4 και 5. Στον κόμβο Ε καταναλώνονται 14.234 L/s από τα 17.906 που εισέρχονται , έτσι υπάρχει παροχή 3.672 L/s που θα μοιραστεί στους αγωγούς 4 και 5 , όση ακριβώς χρειάζονται οι προηγούμενοι κόμβοι.

Επιδιώκοντας η ταχύτητα του νερού να είναι 1m/s οι διάμετροι υπολογίζονται από τη σχέση :

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \tag{3,7}$$

Έτσι : $D_1 = \sqrt{\frac{4*0.012906}{\pi}} = 0.1282m$ (3,8)

Όμοια :
$D_2 = 0.1282$m
$D_3 = 0.0839$m
$D_4 = 0.0483$m
$D_5 = 0.0483$m
$D_6 = 0.0839$m
$D_7 = 0.1509$m

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την τυποποίηση των αγωγών πολυαιθυλενίου 3^{ης} γενιάς :

Πίνακας 3.1 : Τυποποίηση διαμέτρων αγωγών PE

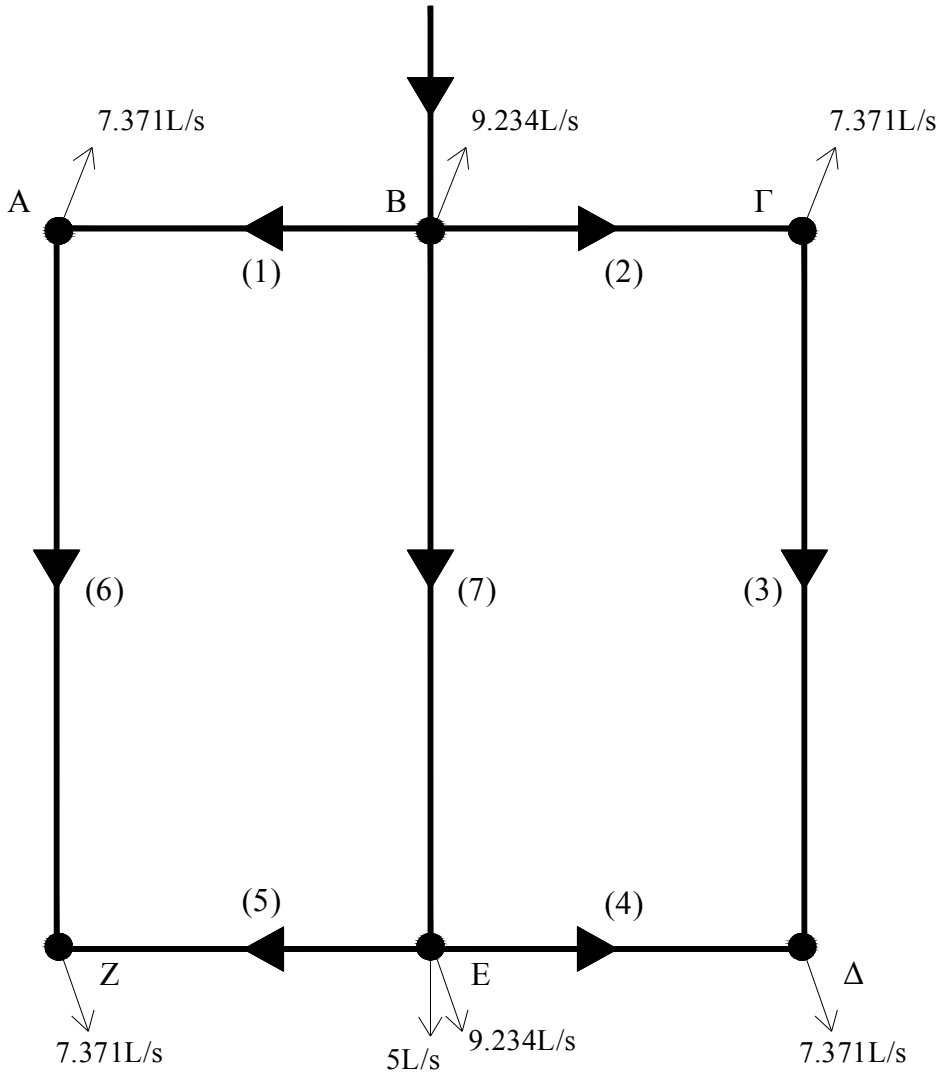
Ονομαστική διάμετρος Dn(mm)	32	40	50	63	75	90	110
Εσωτερική διάμετρος D (mm)	28	35.2	44	55.4	66	79.2	96.8
Ονομαστική διάμετρος Dn(mm)	125	140	160	180	200	225	250
Εσωτερική διάμετρος D (mm)	110.2	123.4	141	158.6	176.2	198.2	220.4
Ονομαστική διάμετρος Dn(mm)	280	315	355	400	450	500	560
Εσωτερική διάμετρος D(mm)	246.8	277.6	312.8	352.6	396.6	440.6	493.6

Με βάση αυτόν επιλέγονται οι κατάλληλες διάμετροι για το δίκτυο. Για κάθε κλάδο του δικτύου επιλέγεται αγωγός που η τιμή της εσωτερικής διαμέτρου του είναι η αμέσως μεγαλύτερη από αυτή που υπολογίστηκε :

D_1 = 141mm (Φ 160)
D_2 = 141mm (Φ 160)
D_3 = 96.8mm (Φ 110)
D_4 = 79.2mm (Φ90)
D_5 = 79.2mm (Φ90)
D_6 = 96.8mm (Φ 110)
D_7 = 158.6mm (Φ 180)

- *Υπολογισμός πραγματικών παροχών* Q_i

Οι τρεις μέθοδοι που επιλύουν το δίκτυο χρησιμοποιούν μια αρχική υπόθεση για την κατεύθυνση του νερού στους κλάδους. Το σχήμα που ακολουθεί δείχνει μια πιθανή διαδρομή του νερού μέσα στο δίκτυο :



Σχήμα 3. 2 : Αρχική υπόθεση κατεύθυνσης νερού στο δίκτυο

3.2 Επίλυση με τη μέθοδο Q – Cross

Βήμα 1^{ο} :

Μια εκτίμηση για τις αρχικές τιμές των παροχών του πρώτου βρόχου είναι η ακόλουθη (χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως για τον υπολογισμό των διαμέτρων των αγωγών) :

Q_1= –12.906 L/s
Q_7= 17.906 L/s
Q_5= 1.836 L/s
Q_6= –5.535 L/s

Βήμα 2^{ο} :

Με γνωστές τις αρχικές παροχές και τις διαμέτρους υπολογίζονται για κάθε αγωγό του πρώτου βρόχου :

$$\text{Ο αριθμός Reynolds } Re : \mathrm{Re}_1 = \frac{4*\left|-0.012906\right|}{\pi*0.141*0.0000012} = 97118.387 \qquad (3,9)$$

Όμοια :
Re_7= 119791.022
Re_5= 24596.673
Re_6= 60669.601

$$\text{Ο συντελεστής τριβής } f \ : \ f_1 = \frac{0.25}{\left[\log\frac{5.74}{97118.378^{0.9}} + \frac{0.0001/0.141}{3.7}\right]^2} = 0.0213433 \qquad (3,10)$$

Όμοια :
f_7= 0.0205427
f_5= 0.0276375
f_6= 0.0236851

$$\text{Η αντίσταση αγωγού } R : \ R_1 = \frac{8*0.0213433*162}{9.81*\pi^2*0{,}141^5} = 5126{,}278 \qquad (3,11)$$

Όμοια :
R_7= 5480.341
R_5= 118715.881
R_6= 74604.475

Βήμα 3^o :

Σύμφωνα με τη φόρα της παροχής κατασκευάζεται το άθροισμα των απωλειών ενέργειας κατά μήκος του πρώτου βρόχου :

$$\Sigma h_{f1} = -R_1Q_1^2 + R_7Q_7^2 + R_5Q_5^2 - R_6Q_6^2 = -0.982 \qquad (3,12)$$

Υπολογίζεται το μέγεθος $\Sigma\left|2RQ\right|$:

$$2R_1Q_1 + 2R_7Q_7 + 2R_5Q_5 + 2R_6Q_6 = 1590.378 \qquad (3,13)$$

Διαιρώντας κατά μέλη και αντιστρέφοντας το πρόσημο, προκύπτει η διορθωτική παροχή του βρόχου :

$\Delta Q_1 = 0.00061755$

Βήμα 4^o :

Προσθέτοντας αυτή στις αρχικές παροχές υπολογίζονται οι διορθωμένες παροχές νερού στους κλάδους :

Q_1'= $-0.012906 + \Delta Q_1 = -0.012288$ m^3/s (3,14)
Q_7'= $0.017906 + \Delta Q_1 = 0.018524$ m^3/s (3,15)

Q_5'= 0.001836 + ΔQ_1= 0.002454 m^3/s (3,16)
Q_6'= –0.005535 + ΔQ_1= –0.004917 m^3/s (3,17)

Βήμα 5ο :

Τα τέσσερα παραπάνω βήματα ακολουθούνται και για τον δεύτερο βρόχο. Αντίθετα με πριν, η αρχική παροχή του κλάδου 7 θα είναι η τιμή Q_7= –0.018524 m^3/s γιατί ανήκει και στους δύο βρόχους και πρέπει να διορθωθεί και από τις δύο διορθωτικές παροχές.

Επαναλαμβάνοντας για τον δεύτερο βρόχο:

Βήμα 1ο :

Q_2= 12.906 L/s
Q_3= 5.535 L/s
Q_4= –1.836 L/s
Q_7= –18.524 L/s

Βήμα 2ο :

Υπολογίζονται για κάθε κλάδο του δεύτερο βρόχου :

$$\textit{Ο αριθμός Reynolds } Re: \ \mathrm{Re}_2 = \frac{4*|0.012906|}{\pi*0.141*0.0000012} = 97118.387 \qquad (3,18)$$

Όμοια :
Re_3= 60669.601
Re_4= 24596.673
Re_7= 123922.457

$$\textit{Ο συντελεστής τριβής } f: \ f_2 = \frac{0.25}{\left[\log\frac{5.74}{97118.378^{0.9}} + \frac{0.0001/0.141}{3.7}\right]^2} = 0.0213433 \qquad (3,19)$$

Όμοια :
f_3= 0.0236851
f_4= 0.0276375
f_7= 0.0204693

$$\textit{Η αντίσταση αγωγού } R: \ R_2 = \frac{8*0.0213433*162}{9.81*\pi^2*0{,}141^5} = 5126{,}278 \qquad (3,20)$$

Όμοια :
R_3= 74604.475
R_4= 118715.881
R_7= 5460.765

Βήμα 3ο :

Σύμφωνα με τη φορά παροχής κατασκευάζεται το άθροισμα των απωλειών ενέργειας κατά μήκος του δεύτερου βρόχου :

$$\Sigma h_{f2} = R_2Q_2^2 + R_3Q_3^2 - R_4Q_4^2 - R_7Q_7^2 = 0.866 \quad (3,21)$$

Υπολογίζεται το μέγεθος $\Sigma|2RQ|$:

$$2R_2Q_2 + 2R_3Q_3 + 2R_4Q_4 + 2R_7Q_7 = 1596.421 \quad (3,22)$$

Διαιρώντας κατά μέλη και αντιστρέφοντας το πρόσημο, προκύπτει η διορθωτική παροχή :

$\Delta Q_2 = -0.00054219$

Βήμα 4ο :

Προσθέτοντας αυτή στις αρχικές παροχές υπολογίζονται οι διορθωμένες παροχές νερού στους κλάδους :

$Q_2' = 0.012906 + \Delta Q_2 = 0.012364\ m^3/s$ (3,23)
$Q_3' = 0.005535 + \Delta Q_2 = 0.004993\ m^3/s$ (3,24)
$Q_4' = -0.001836 + \Delta Q_2 = -0.002378\ m^3/s$ (3,25)
$Q_7' = -0.018524 + \Delta Q_2 = -0.019066\ m^3/s$ (3,26)

Βήμα 5ο :

Θεωρώντας τις παροχές που προκύπτουν αρχικές η διαδικασία επαναλαμβάνεται από την αρχή και για τους δύο βρόχους. Οι επαναλήψεις συνεχίζονται τόσες φορές όσες χρειάζονται για να μηδενιστούν οι διορθωτικές παροχές και τα αποτελέσματα από κάθε επανάληψη να συγκλίνουν μεταξύ τους.

Η μέθοδος συγκλίνει μετά από 4 επαναλήψεις και οι τιμές των παροχών στους κλάδους είναι οι εξής:

$Q_1 = -12.327$ L/s
$Q_2 = 12.327$ L/s
$Q_3 = 4.956$ L/s
$Q_4 = -2.415$ L/s
$Q_5 = 2.415$ L/s
$Q_6 = -4.956$ L/s
$Q_7 = 19.064$ L/s

Η φορά των παροχών είναι όπως ακριβώς θεωρήθηκε, μιας και δεν παρατηρήθηκε καμία αλλαγή στα πρόσημα των αρχικών παροχών.

3.3 Επίλυση με τη μέθοδο Newton-Raphson

Βήμα 1ο :

Ορίζονται αυθαίρετες αρχικές τιμές των παροχών των κλάδων :

Q_1= 12.906 L/s
Q_2= 12.906 L/s
Q_3= 5.535 L/s
Q_4= 1.836 L/s
Q_5= 1.836 L/s
Q_6= 5.535 L/s
Q_7= 17.906 L/s

Βήμα 2ο :

Ανάλογα με τη φορά της παροχής σχηματίζονται τα αθροίσματα απωλειών ενέργειας κατά μήκος κάθε βρόχου :

Βρόχος 1 : $F_1 = -R_1Q_1^2 + R_7Q_7^2 + R_5Q_5^2 - R_6Q_6^2$ (3,27)
Βρόχος 2 : $F_2 = R_2Q_2^2 + R_3Q_3^2 - R_4Q_4^2 - R_7Q_7^2$ (3,28)

Βήμα 3ο :

Εφαρμόζονται οι διορθωτικές παροχές ΔQ_1 και ΔQ_2 από τον κάθε βρόχο στις προηγούμενες σχέσεις :

$$F_1(\Delta Q) = -R_1|Q_1 - \Delta Q_1|(Q_1 - \Delta Q_1) + R_7|Q_7 + \Delta Q_1 - \Delta Q_2|(Q_7 + \Delta Q_1 - \Delta Q_2) - \\ + R_5|Q_5 + \Delta Q_1|(Q_5 + \Delta Q_1) - R_6|Q_6 - \Delta Q_1|(Q_6 - \Delta Q_1) \quad (3,29)$$

$$F_2(\Delta Q) = R_2|Q_2 + \Delta Q_2|(Q_2 + \Delta Q_2) + R_3|Q_3 + \Delta Q_2|(Q_3 + \Delta Q_2) + \\ - R_4|Q_4 - \Delta Q_2|(Q_4 - \Delta Q_2) - R_7|Q_7 - \Delta Q_2 + \Delta Q_1|(Q_7 - \Delta Q_2 + \Delta Q_1) \quad (3,30)$$

Οι τιμές των παροχών στους κλάδους πρέπει να είναι τέτοιες ώστε τα αθροίσματα των απωλειών ενέργειας γύρω από κάθε κόμβο να είναι μηδενικά :

$$F_1(\Delta Q) = 0 \quad (3,31)$$

$$F_2(\Delta Q) = 0 \quad (3,32)$$

Βήμα 4ο :

Το σύστημα των εξισώσεων μετά την εφαρμογή της μεθόδου γραμμικοποίησης Newton-Raphson έχει την εξής μορφή :

$$\left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_1+\left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_2=-F_1(0) \tag{3,33}$$

$$\left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_1+\left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_2=-F_2(0) \tag{3,34}$$

Ακολουθούν τα αποτελέσματα της παραγώγησης κάθε όρου του συστήματος ξεχωριστά :

$$\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_1)}=2R_1\left|Q_1-\Delta Q_1\right|+2R_7\left|Q_7+\Delta Q_1-\Delta Q_2\right|+2R_5\left|Q_5+\Delta Q_1\right|+2R_6\left|Q_6-\Delta Q_1\right| \tag{3,35}$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_2)}=-2R_7\left|Q_7+\Delta Q_1-\Delta Q_2\right| \tag{3,36}$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_1)}=-2R_7\left|Q_7-\Delta Q_2+\Delta Q_1\right| \tag{3,37}$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_2)}=2R_2\left|Q_2+\Delta Q_2\right|+2R_3\left|Q_3+\Delta Q_2\right|+2R_4\left|Q_4-\Delta Q_2\right|+2R_7\left|Q_7+\Delta Q_1-\Delta Q_2\right| \tag{3,38}$$

Μηδενίζοντας τον όρο ΔQ στις παραπάνω σχέσεις, οι εξισώσεις παίρνουν την εξής μορφή :

$$\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_1)}\left(\Delta Q=0\right)=2R_1\left|Q_1\right|+2R_7\left|Q_7\right|+2R_5\left|Q_5\right|+2R_6\left|Q_6\right| \tag{3,39}$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_2)}\left(\Delta Q=0\right)=-2R_7\left|Q_7\right| \tag{3,40}$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_1)}\left(\Delta Q=0\right)=-2R_7\left|Q_7\right| \tag{3,41}$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_2)}\left(\Delta Q=0\right)=2R_2\left|Q_2\right|+2R_3\left|Q_3\right|+2R_4\left|Q_4\right|+2R_7\left|Q_7\right| \tag{3,42}$$

$$F_1(0)=-R_1\left|Q_1\right|\left(Q_1\right)+R_7\left|Q_7\right|\left(Q_7\right)+R_5\left|Q_5\right|\left(Q_5\right)-R_6\left|Q_6\right|\left(Q_6\right) \tag{3,43}$$

$$F_2(0)=R_2\left|Q_2\right|\left(Q_2\right)+R_3\left|Q_3\right|\left(Q_3\right)-R_4\left|Q_4\right|\left(Q_4\right)-R_7\left|Q_7\right|\left(Q_7\right) \tag{3,44}$$

Βήμα 5^o :

υπολογίζονται για κάθε κλάδο :

Ο αριθμός Reynolds Re : $\mathrm{Re}_1 = \dfrac{4*\left|-0.012906\right|}{\pi*0.141*0.0000012} = 97118.387$ (3,45)

Όμοια :
$\mathrm{Re}_2 =$ 97118.378
$\mathrm{Re}_3 =$ 60669.601
$\mathrm{Re}_4 =$ 24596.673
$\mathrm{Re}_5 =$ 24596.673
$\mathrm{Re}_6 =$ 60669.601
$\mathrm{Re}_7 =$ 119791.022

Ο συντελεστής τριβής f : $f_1 = \dfrac{0.25}{\left[\log\dfrac{5.74}{97118.378^{0.9}} + \dfrac{0.0001/0.141}{3.7}\right]^2} = 0.0213433$ (3,46)

Όμοια :
$f_2 = 0.0213433$
$f_3 = 0.0236851$
$f_4 = 0.0276375$
$f_5 = 0.0276375$
$f_6 = 0.0236851$
$f_7 = 0.0205427$

Η αντίσταση αγωγού R : $R_1 = \dfrac{8*0.0213433*162}{9.81*\pi^2*0{,}141^5} = 5126{,}278$ (3,47)

Όμοια :
$R_2 =$ 5126.278
$R_3 =$ 74604.475
$R_4 =$ 118715.881
$R_5 =$ 118715.881
$R_6 =$ 74604.475
$R_7 =$ 5480.341

Βήμα 6^o :

Γίνονται οι υπολογισμοί των παραμέτρων του συστήματος :

$$\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_1)}\left(\Delta Q = 0\right) = 1590.377 \quad (3,48)$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_2)}\left(\Delta Q = 0\right) = -196.262 \quad (3,49)$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_1)}\left(\Delta Q = 0\right) = -196.262 \quad (3,50)$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_2)}(\Delta Q = 0) = 1590.377 \quad (3,51)$$

$$F_1(0) = -0.9821 \quad (3,52)$$

$$F_2(0) = 0.9821 \quad (3,53)$$

Το σύστημα των εξισώσεων γίνεται :

$$1590.377\Delta Q_1 - 196.262\Delta Q_2 = -(-0.9821) \quad (3,54)$$
$$-196.262\Delta Q_1 + 1590.377\Delta Q_2 = -(0.9821) \quad (3,55)$$

Η επίλυσή του δίνει:

$\Delta Q_1 = 0.000549716$
$\Delta Q_2 = -0.000549716$

Οι αρχικές παροχές διορθώνονται ως εξής :

$$Q_1' = Q_1 - \Delta Q_1 = 0.012356 m^3/s \quad (3,56)$$
$$Q_2' = Q_2 + \Delta Q_2 = 0.012356 m^3/s \quad (3,57)$$
$$Q_3' = Q_3 + \Delta Q_2 = 0.004985 m^3/s \quad (3,58)$$
$$Q_4' = Q_4 - \Delta Q_2 = 0.002386 m^3/s \quad (3,59)$$
$$Q_5' = Q_5 + \Delta Q_1 = 0.002386 m^3/s \quad (3,60)$$
$$Q_6' = Q_6 - \Delta Q_1 = 0.004985 m^3/s \quad (3,61)$$
$$Q_7' = Q_7 + \Delta Q_1 - \Delta Q_2 = 0.019005 m^3/s \quad (3,62)$$

Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται ως αρχικές και επαναλαμβάνεται η διαδικασία επίλυσης του συστήματος από την αρχή. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται άλλες 4 φορές μέχρι να μηδενιστούν οι διορθωτικές παροχές και να σταθεροποιηθούν οι τιμές των παροχών στους κλάδους. Τα τελικά αποτελέσματα είναι :

Q_1= 12.327 L/s
Q_2= 12.327 L/s
Q_3= 4.956 L/s
Q_4= 2.415 L/s
Q_5= 2.415 L/s
Q_6= 4.956 L/s
Q_7= 19,064 L/s

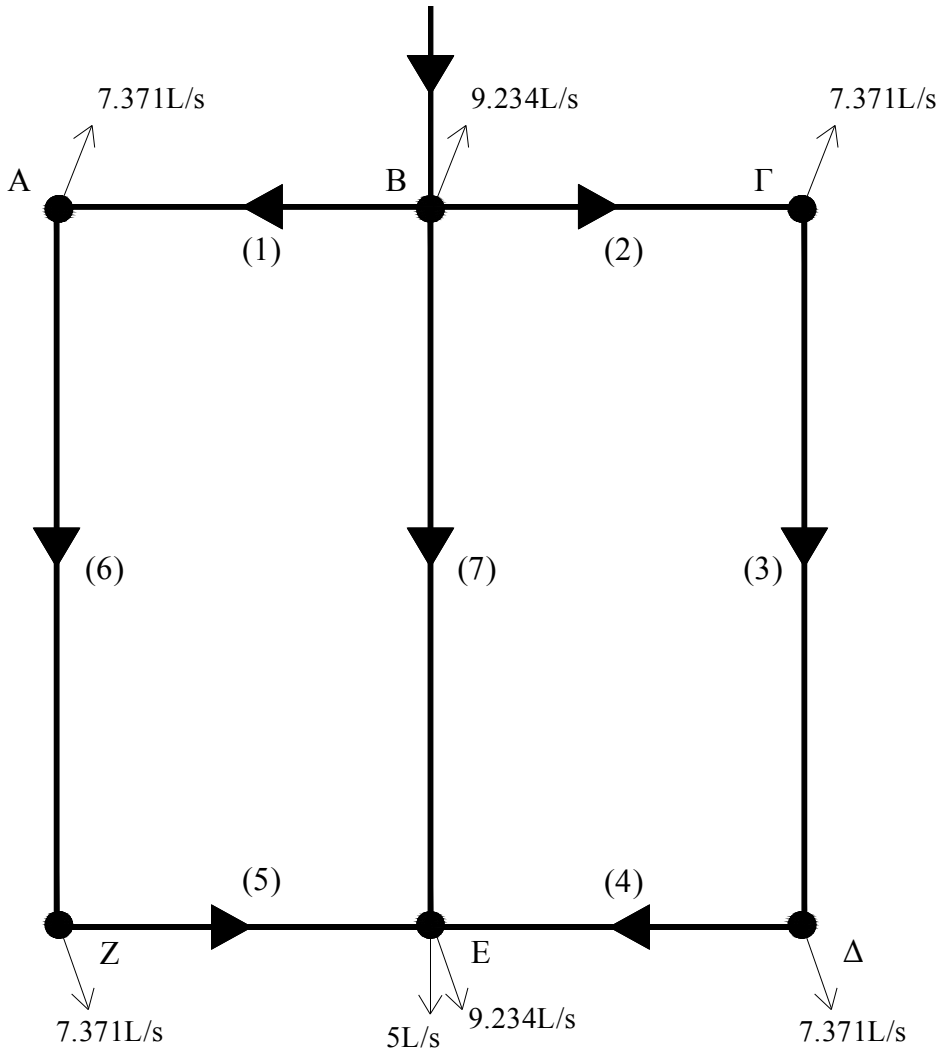
Παρατηρείται ότι δεν εμφανίζεται καμιά αλλαγή στα πρόσημα των αρχικών παροχών, δηλαδή η αρχική υπόθεση για την φορά του νερού είναι σωστή.

3.4 Επίλυση με τη γραμμική μέθοδο

Βήμα 1^ο :

Επιδιώκοντας να γίνει έλεγχος αν η αρχική υπόθεση της κατεύθυνσης του νερού στους κλάδους του δικτύου εισέρχεται σωστά στους υπολογισμούς κάθε μεθόδου και

εάν τελικά επηρεάζει τα αποτελέσματα αυτών, για τη μέθοδο αυτή επιχειρείται η επίλυσή της με αντίθετες τις αρχικές κατευθύνσεις νερού στους κλάδους 4 και 5. Με αυτό το εγχείρημα αναμένεται οι τιμές των παροχών των κλάδων 4 και 5 που θα προκύψουν από την επίλυση να είναι αρνητικές. Οι κατευθύνσεις των παροχών φαίνονται στο επόμενο σχήμα :



Σχήμα 3. 3 : Αρχική υπόθεση κατεύθυνσης του νερού στο δίκτυο

Βήμα 2^{ο} :

Χρησιμοποιώντας αρχική παροχή για κάθε κλάδο την τιμή 1,00 m^3/s υπολογίζονται τα παρακάτω μεγέθη :

$$\textit{Ο αριθμός Reynolds Re}: \ \mathrm{Re}_1 = \frac{4*|1.00|}{\pi*0.141*0.0000012} = 7525056.441 \qquad (3{,}63)$$

Όμοια :
Re_2= 7525056.411
Re_3= 10961084.23
Re_4= 13396880.73
Re_5= 13396880.73

Re_6= 10961084.23
Re_7= 7525056.411

$$O\ συντελεστής\ τριβής\ f:\ f_1 = \frac{0.25}{\left[\log\frac{5.74}{7525056.411^{0.9}} + \frac{0.0001/0.141}{3.7}\right]^2} = 0.01817218 \quad (3,64)$$

Όμοια :
f_2 = 0.01817218
f_3 = 0.01983760
f_4 = 0.02083309
f_5 = 0.02083309
f_6 = 0.01983760
f_7 = 0.01770120

$$H\ αντίσταση\ αγωγού\ R:\ R_1 = \frac{8*0.01817218*162}{9.81*\pi^2*0.141^5} = 4364.633 \quad (3,65)$$

Όμοια :
R_2 = 4364.633
R_3 = 62485.396
R_4 = 89487.833
R_5 = 89487.833
R_6 = 62485.396
R_7 = 4722.293

Βήμα 3^{ο} :

Σχηματίζονται οι παρακάτω εξισώσεις :

2 Εξισώσεις ενέργειας :

$$-R_1Q_1^2 + R_7Q_7^2 - R_5Q_5^2 - R_6Q_6^2 = 0 \quad (3,66)$$
$$R_2Q_2^2 + R_3Q_3^2 + R_4Q_4^2 - R_7Q_7^2 = 0 \quad (3,67)$$

6 Εξισώσεις συνέχειας :

$$Q_1 - Q_6 = 7.371 \quad (3,67)$$
$$Q_1 + Q_7 + Q_2 = 52.952 - 9.234 = 43.718 \quad (3,68)$$
$$Q_2 - Q_3 = 7.371 \quad (3,69)$$
$$Q_3 - Q_4 = 7.371 \quad (3,70)$$
$$Q_4 + Q_7 + Q_5 = 14.234 \quad (3,71)$$
$$Q_6 - Q_5 = 7.371 \quad (3,72)$$

Βήμα 4^{ο} :

Υπολογίζεται Ο παράγοντας γραμμικοποίησης $\alpha_i = R_i|Q_i|$:

$$\alpha_1 = 4364.633 * |1.00| = 4634.633 \qquad (3,73)$$

Όμοια :
$\alpha_2 =$ 4634.633
$\alpha_3 =$ 62485.396
$\alpha_4 =$ 89487.833
$\alpha_5 =$ 89487.833
$\alpha_6 =$ 62485.396
$\alpha_7 =$ 4722.293

βήμα 5^o :

Μορφώνεται το γραμμικό σύστημα εξισώσεων. Η επιλογή των 5 εξισώσεων συνέχειας είναι τυχαία :

$$\begin{vmatrix} -\alpha_1 & 0 & 0 & 0 & -\alpha_5 & -\alpha_6 & \alpha_7 \\ 0 & \alpha_2 & \alpha_3 & \alpha_4 & 0 & 0 & -\alpha_7 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \\ Q_7 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 7.371 \\ 43.718 \\ 7.371 \\ 7.371 \\ 14.234 \end{vmatrix}$$

Μετά από αριθμητική αντικατάσταση προκύπτει το παρακάτω 7x7 σύστημα προς επίλυση :

$$\begin{vmatrix} -4634.633 & 0 & 0 & 0 & -89487.833 & -62485.396 & 4722.293 \\ 0 & 4634.633 & 62485.396 & 89487.833 & 0 & 0 & -4722.293 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \\ Q_7 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 7.371 \\ 43.718 \\ 7.371 \\ 7.371 \\ 14.234 \end{vmatrix}$$

Βήμα 6^o :

Η επίλυση αυτού του συστήματος μπορεί να γίνει με διάφορες μαθηματικές μεθόδους. Μια από αυτές είναι η εύρεση του αντίστροφου πίνακα του πρώτου μέλους του συστήματος και ο πολλαπλασιασμός του με το δεύτερο μέλος αυτού. Το αποτέλεσμα θα είναι νέες τιμές των παροχών στους κλάδους για τις οποίες θα επαναληφθεί η διαδικασία από την αρχή :

$Q(1)_1 =$ 11.981 L/s

$Q(1)_2$= 11.981 L/s
$Q(1)_3$= 4.610 L/s
$Q(1)_4$= -2.761 L/s
$Q(1)_5$= -2.761 L/s
$Q(1)_6$= 4.610 L/s
$Q(1)_7$= 19.756 L/s

Μετά την επανάληψη της διαδικασίας οι νέες τιμές που προκύπτουν είναι :

$Q(2)_1$= 12.550 L/s
$Q(2)_2$= 12.550 L/s
$Q(2)_3$= 5.179 L/s
$Q(2)_4$= -2,192 L/s
$Q(2)_5$= -2,192 L/s
$Q(2)_6$= 5,17 L/s
$Q(2)_7$= 18,618 L/s

Βήμα 7^o :

Οι τιμές που θα χρησιμοποιηθούν για αρχικές στην επόμενη επανάληψη θα είναι ο μέσος όρος των δύο παραπάνω :

$[Q(1)_1 + Q(2)_1] / 2$ = 12.302 L/s (3,74)
$[Q(1)_2 + Q(2)_2] / 2$ = 12.302 L/s (3,75)
$[Q(1)_3 + Q(2)_3] / 2$ = 4.931 L/s (3,76)
$[Q(1)_4 + Q(2)_4] / 2$ = -2.440 L/s (3,77)
$[Q(1)_5 + Q(2)_5] / 2$ = -2.440 L/s (3,78)
$[Q(1)_6 + Q(2)_6] / 2$ = 4.931 L/s (3,79)
$[Q(1)_7 + Q(2)_7] / 2$ = 19.113 L/s (3,80)

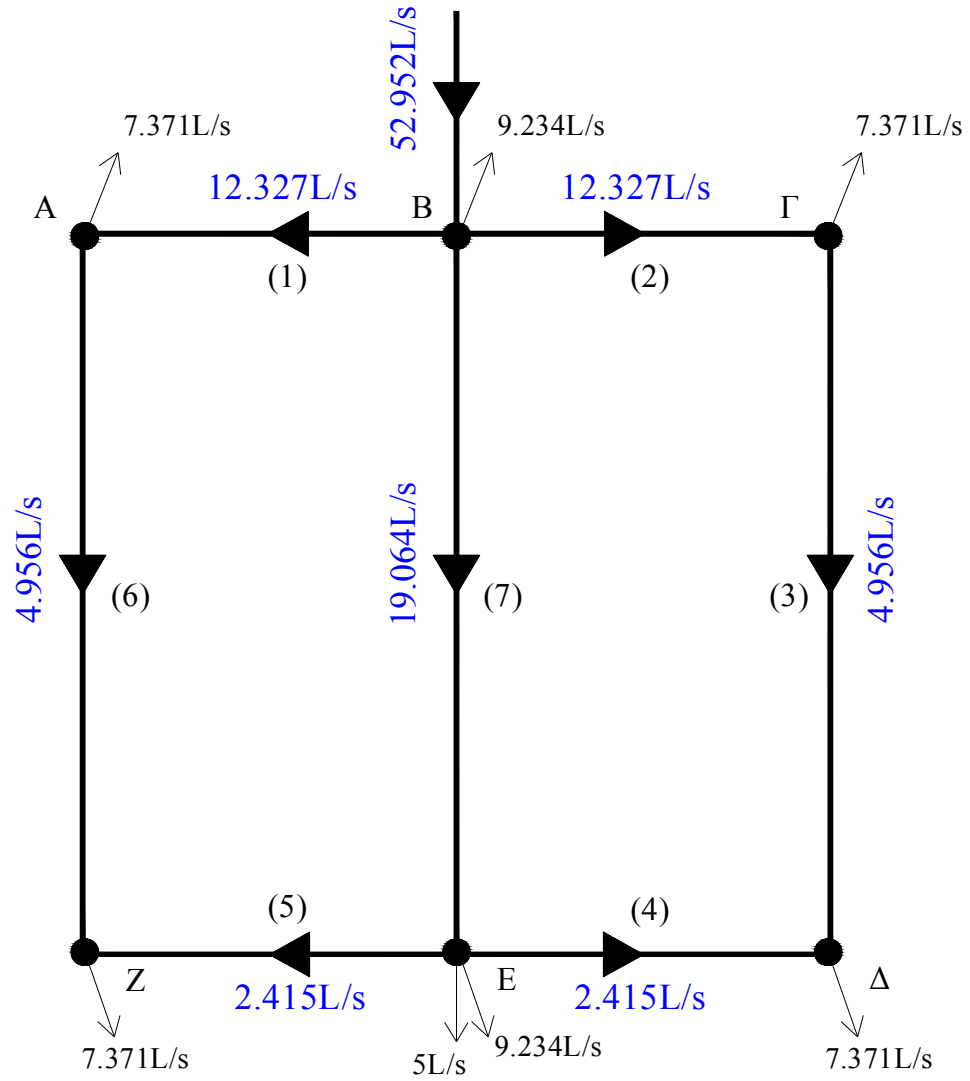
Συνεχίζοντας τη διαδικασία με αυτό τον τρόπο η μέθοδος καταλήγει μετά από 20 επαναλήψεις στα εξής αποτελέσματα :

Q_1= 12.327 L/s
Q_2= 12.327 L/s
Q_3= 4.956 L/s
Q_4= -2.415 L/s
Q_5= -2.415 L/s
Q_6= 4.956 L/s
Q_7= 19.064 L/s

Όπως αναμένονταν οι τιμές των παροχών των κλαδών 4 και 5 είναι αρνητικές. Το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει ότι υπόθεση για την κατεύθυνση του νερού μέσα στους κλάδους είναι λανθασμένη και ότι η πραγματική φορά είναι αντίθετη, όπως ακριβώς είχε υποτεθεί για τις δύο προηγούμενες μεθόδους. Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι η τυχαία αρχική επιλογή της κατεύθυνσης του νερού στους κλάδους δεν επηρεάζει τα τελικά αποτελέσματα των μεθόδων και απλά χρησιμοποιείται για να δίνει μια κατεύθυνση στο σχεδιασμό των αθροισμάτων των απωλειών ενέργειας κατά μήκος κάθε βρόχου έτσι ώστε να μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία της επίλυσης κάθε μεθόδου.

3.5 Αποτελέσματα επιλύσεων

Η παροχή κάθε κλάδου όπως υπολογίστηκε μέσω των μεθόδων επίλυσης φάινεται στο παρακάτω σχήμα :



σχήμα 3. 4 : Παροχές στο δίκτυο μετά την επίλυση

Τα αποτελέσματα για την παροχή, την ταχύτητα και την απώλεια ενέργειας κατά μήκος κάθε κλάδου είναι όμοια και από τις τρεις μεθόδους και παρουσιάζονται συγκεντρωμένα στον πίνακα που ακολουθεί :

Πίνακας 3.2 : Αποτελέσματα επιλύσεων

ΑΓΩΓΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ Q (L/s)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ V (m/s)	ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ hf (m)
1	Φ160	141	12.327	0.79	0.783
2	Φ160	141	12.327	0.79	0.783
3	Φ110	96.8	4.956	0.67	1.858
4	Φ90	79.2	-2.415	0.49	0.663
5	Φ90	79.2	-2.415	0.49	0.663

6	Φ110	96.8	4.956	0.67	1.858
7	Φ180	158.6	19.064	0.96	1.979

Παρατηρείται ότι οι δύο βρόχοι είναι συμμετρικοί όσον αφορά τα μήκη των αγωγών, τις καταναλώσεις στους κόμβους και στις διαμέτρους που έχουν τοποθετηθεί, άρα είναι λογικό να υπολογίζονται ακριβώς ίδιες παροχές νερού στους κλάδους 1 και 2, στους 3 και 6 και στους 4 και 5.

3.5 Προσδιορισμός της πιεζομετρικής γραμμής του δικτύου

Τα υψόμετρα των κόμβων και οι απώλειες ενέργειας κατά μήκος των κλάδων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 3.3 : Υψόμετρα και απώλειες φορτίου

ΚΟΜΒΟΣ	**ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)**	**ΚΛΑΔΟΣ**	**ΦΟΡΑ ΠΑΡΟΧΗΣ**	**ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ hf (m)**
Α	255	1	Β→Α	0.783
Β	252,5	2	Β→Γ	0.783
Γ	250	3	Γ→Δ	1.858
Δ	240	4	Ε→Δ	0.663
Ε	242,5	5	Ε→Ζ	0.663
Ζ	245	6	Α→Ζ	1.858
		7	Β→Ε	1.979

Γνωρίζοντας ότι η περιοχή αποτελείται από πενταόροφες οικοδομές, το ύψος πίεσης που θα πρέπει να καλύπτει κάθε κόμβος είναι : 4(n+1) , όπου n ο αριθμός των ορόφων , δηλαδή 24 m.

Οι δυσμενέστεροι κόμβοι ενός δικτύου από πλευράς πίεσης είναι, από τη μια οι πιο απομακρυσμένοι από την περιοχή υδροληψίας και από την άλλη αυτοί με το μεγαλύτερο υψόμετρο. Οι κόμβοι Δ και Ζ του δικτύου είναι οι πιο απομακρυσμένοι, αλλά επειδή ο Ζ έχει μεγαλύτερο υψόμετρο από τον Δ θα έχει μεγαλύτερο πρόβλημα πίεσης. Πρέπει να ελεγχθεί επιπλέον και ο κόμβος Α ο οποίος έχει το μεγαλύτερο υψόμετρο στο δίκτυο.

Οι διαδρομές που ακολουθεί το νερό μέσα στους κλάδους του δικτύου είναι τέσσερεις :

1. Κόμβος Β – Κόμβος Α – Κόμβος Ζ
2. Κόμβος Β – Κόμβος Ε – Κόμβος Ζ
3. Κόμβος Β – Κόμβος Γ – Κόμβος Δ
4. Κόμβος Β – Κόμβος Ε – Κόμβος Δ

Θεωρώντας ότι ο δυσμενέστερος κόμβος του δικτύου είναι ο Ζ, ξεκινά από αυτό ο ενεργειακός υπολογισμός και θα καταλήξει σε όλα τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου ακολουθώντας τις παραπάνω διαδρομές :

1η Διαδρομή :

Το ύψος πίεσης του κόμβου Z είναι :
h_{pZ} =24 m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Z είναι :
$H_Z = h_{pZ} + z_Z = 24 + 245 = 269$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Α είναι :
$H_A = H_Z + h_{fAZ} = 269 + 1.858 = 270.858$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Α είναι :
$h_{pA} = H_A – z_A = 270.858 – 255 = 15.858$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Β είναι :
$H_B = H_A + h_{fBA} = 270.858 + 0.783 = 271.641$
Το ύψος πίεσης του κόμβου Β είναι :
$h_{pB} = H_B – z_B = 271.641 – 252.5 = 19.141$ m

*2η Διαδρομή*_:

Το ύψος πίεσης του κόμβου Z είναι :
h_{pZ} =24 m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Z είναι :
$H_Z = h_{pZ} + z_Z = 24 + 245 = 269$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Ε είναι :
$H_E = H_Z + h_{fEZ} = 269 + 0.663 = 269.663$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Ε είναι :
$h_{pE} = H_E – z_E = 269.663 – 242.5 = 27.163$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Β είναι :
$H_B = H_E + h_{fBE} = 269.663 + 1.979 = 271.641$
Το ύψος πίεσης του κόμβου Β είναι :
$h_{pB} = H_B – z_B = 271.641 – 252.5 = 19.141$ m

3η Διαδρομή :

Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Β είναι :
$H_B = 271.641$
Το ύψος πίεσης του κόμβου Β είναι :
$h_{pB} = H_B – z_B = 271.641 – 252.5 = 19.141$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Γ είναι :
$H_Γ = H_B – h_{fBΓ} = 271.641 – 0.783 = 270.858$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Γ είναι :
$h_{pΓ} = H_Γ – z_Γ = 270.858 – 250 = 20.858$ m
Το ύψος ενέργειας του Κόμβου Δ είναι :
$H_Δ = H_Γ - h_{fΓΔ} = 270.858 – 1.858 = 269$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Δ είναι :
$h_{pΔ} = H_Δ – z_Δ = 269 – 240 = 29$ m

4η Διαδρομή :

Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Β είναι :
$H_B = 271.641$
Το ύψος πίεσης του κόμβου Β είναι :
$h_{pB} = H_B – z_B = 271.641 – 252.5 = 19.141$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Ε είναι :
$H_E = H_B – h_{fBE} = 277.641 – 1.979 = 269.663$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Ε είναι :
$h_{pE} = H_E – z_E = 269.663 – 242.5 = 27.163$ m
Το ύψος ενέργειας του Κόμβου Δ είναι :
$H_Δ = H_E - h_{fEΔ} = 269.663 – 0.663 = 269$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Δ είναι :
$h_{pΔ} = H_Δ – z_Δ = 269 – 240 = 29$ m

Παρατηρείται ότι δεν καλύπτεται σε όλους τους κόμβους του δικτύου το απαιτούμενο ύψος πίεσης των 24 m. Συγκεκριμένα, ο Α έχει το μικρότερο ύψος πίεσης στο δίκτυο και αυτό αποδεικνύει ότι είναι ο δυσμενέστερος κόμβος και όχι κάποιος από τους Δ ή Z που είχε αρχικά υποτεθεί

Για να ικανοποιείται η πίεση σε όλους τους κόμβους πρέπει να αρχίσει ο ενεργειακός υπολογισμός από τον κόμβο Α και να καταλήξει στους υπόλοιπους.

1η Διαδρομή :

Το ύψος πίεσης του κόμβου Α είναι :
h_{pA} =24 m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Α είναι :
$H_A = h_{pA} + z_A = 24 + 255 = 279$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Z είναι :
$H_Z = H_A – h_{fAZ} = 279 – 1.858 = 277.142$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Z είναι :
$h_{pZ} = H_Z – z_Z = 277.424 – 245 = 32.142$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Β είναι :
$H_B = H_A + h_{fBA} = 279 + 0.783 = 279.783$

2η Διαδρομή :

Το ύψος πίεσης του κόμβου Β είναι :
h_{pB} = 27.283 m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Β είναι :
$H_B = h_{pB} + z_B = 27.283 + 252.5 = 279.783$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Ε είναι :
$H_E = H_B – h_{fBE} = 279.783 – 1.979 = 277.804$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Ε είναι :
$h_{pE} = H_E – z_E = 277.804 – 242.5 = 35.304$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Z είναι :
$H_Z = H_E + h_{fEZ} = 277.804 – 0.663 = 277.142$

Το ύψος πίεσης του κόμβου Β είναι :
$h_{pB} = H_B - z_B = 279.783 - 252.5 = 27.283$ m

Το ύψος πίεσης του κόμβου Z είναι :
$h_{pZ} = H_Z - z_Z = 277.124 - 245 = 32.142$ m

3η Διαδρομή :

Το ύψος πίεσης του κόμβου Β είναι :
$h_{pB} = 27.283$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Β είναι :
$H_B = h_{pB} + z_B = 27.283 + 252.5 = 279.783$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Γ είναι :
$H_\Gamma = H_B - h_{fB\Gamma} = 279.783 - 0.783 = 279$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Γ είναι :
$h_{p\Gamma} = H_\Gamma - z_\Gamma = 279 - 250 = 29$ m
Το ύψος ενέργειας του Κόμβου Δ είναι :
$H_\Delta = H_\Gamma - h_{f\Gamma\Delta} = 279 - 1.858 = 277.142$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Δ είναι :
$h_{p\Delta} = H_\Delta - z_\Delta = 277.142 - 240 = 37.142$ m

4η Διαδρομή :

Το ύψος πίεσης του κόμβου Β είναι :
$h_{pB} = 27.283$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Β είναι :
$H_B = h_{pB} + z_B = 27.283 + 252.5 = 279.783$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Ε είναι :
$H_E = H_B - h_{fBE} = 279.783 - 1.979 = 277.804$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Ε είναι :
$h_{pE} = H_E - z_E = 277.804 - 242.5 = 35.304$ m
Το ύψος ενέργειας του Κόμβου Δ είναι :
$H_\Delta = H_E - h_{fE\Delta} = 277.804 - 0.663 = 277.142$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Δ είναι :
$h_{p\Delta} = H_\Delta - z_\Delta = 277.142 - 240 = 37.142$ m

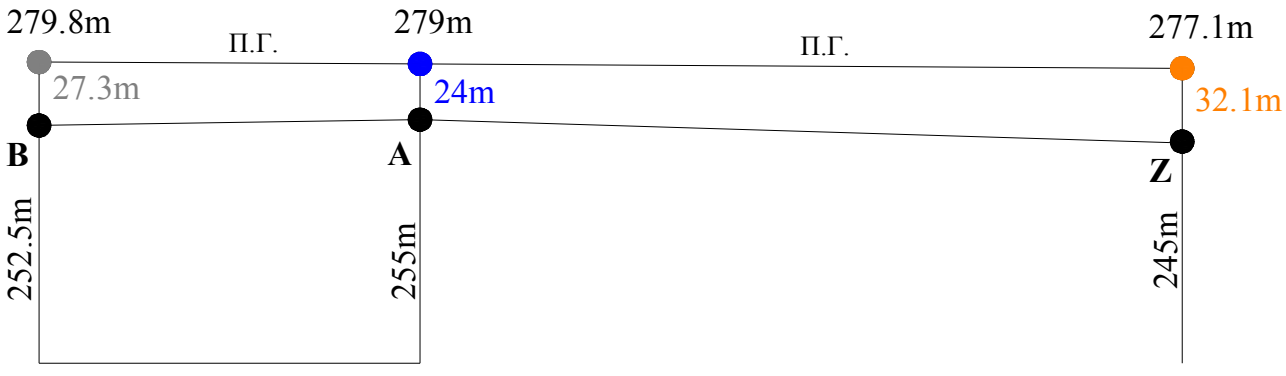
Παρατηρείται ότι το ύψος πίεσης είναι ικανοποιητικό σε κάθε κόμβο του δικτύου :

Πίνακας 3.4 : Ύψη πίεσης

ΚΟΜΒΟΣ	ΥΨΟΣ ΠΙΕΣΗΣ (m)
Α	24
Β	27.3
Γ	29
Δ	37.1
Ε	35.3
Ζ	32.1

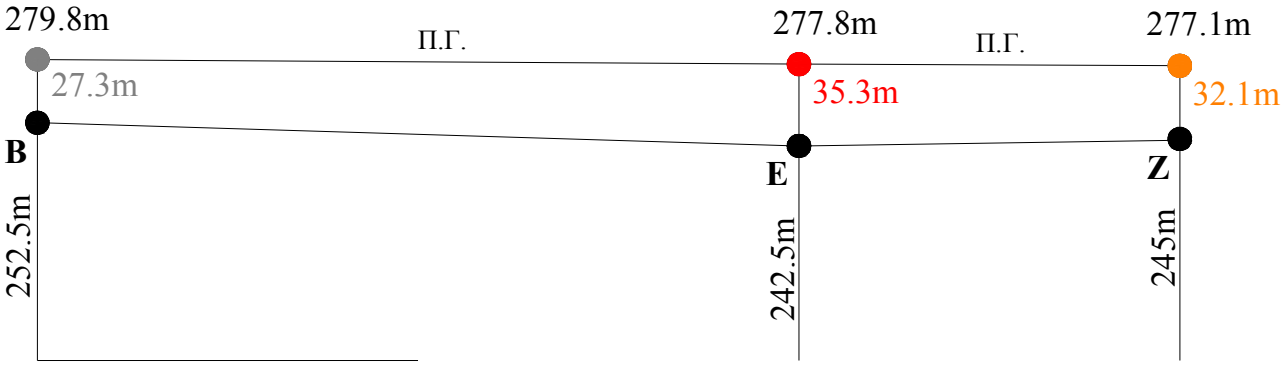
Σχεδιάζεται η πιεζομετρική γραμμή κάδε διαδρομής :

1η Διαδρομή :



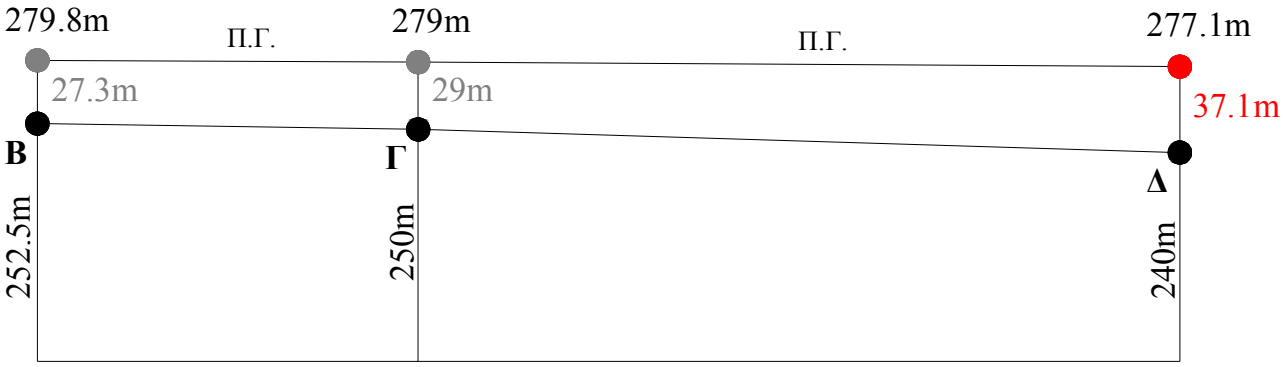
Σχήμα 3. 5 : Πιεζομετρική Γραμμή Β-Α-Ζ

2η Διαδρομή :



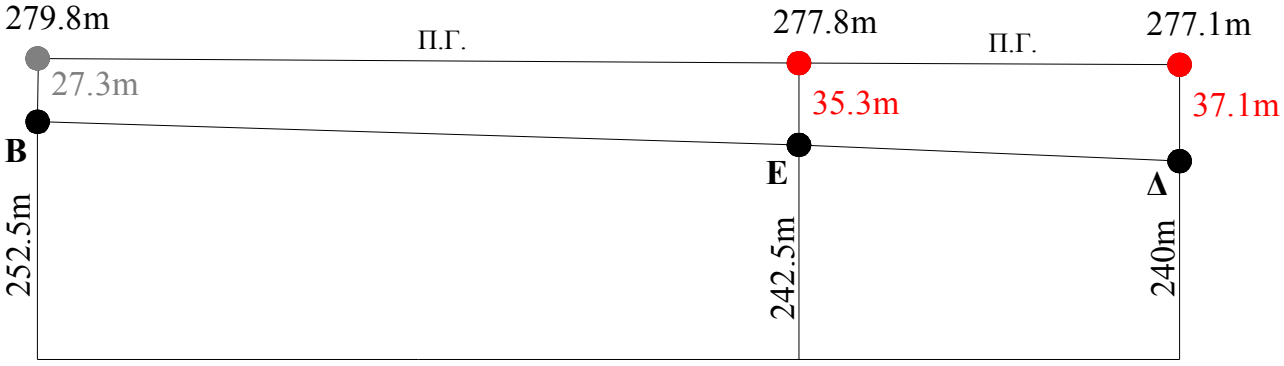
Σχήμα 3. 6 : Πιεζομετρική Γραμμή Β-Ε-Ζ

3η Διαδρομή :



Σχήμα 3. 7 : Πιεζομετρική Γραμμή Β-Γ-Δ

4η Διαδρομή :



Σχήμα 3. 8 : Πιεζομετρική Γραμμή Β-Ε-Δ

Τα χρώματα που χρησιμοποιούνται για να υποδείξουν το μέγεθος του ύψους πίεσης είναι τα εξής :

20-25 m	
25-30 m	
30-35 m	
35-40 m	

3.6 Δοκιμή διαφορετικών διαμέτρων

Παρατηρείται ότι οι ταχύτητες σε όλους τους κλάδους είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια, αλλά είναι σχετικά μικρές, ειδικά των κλάδων 4 και 5 που είναι μόλις μικρότερες από το όριο των 0.5 m/s. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην δοκιμή νέων μικρότερων διαμέτρων και σε νέα επίλυση της μεθόδου με σκοπό να ελεγχθεί αν θα αυξηθούν οι ταχύτητες των κλάδων και πως θα αντιδράσουν οι πιέσεις.

Ένας δεύτερος λόγος για να επιλεχθούν μικρότερης διαμέτρου αγωγοί είναι η οικονομία. Όσο μεγαλύτερης διατομής είναι ένας αγωγός τόσο μεγαλύτερο είναι το κόστος του και αντίθετα. Γίνεται η προσπάθεια λοιπόν, μαζί με τη λειτουργικότητα του δικτύου να μειωθεί και το κόστος κατασκευής. Αυτό είναι και το νόημα του όρου «βελτιστοποίηση», η εύρεση κατάλληλου συνδυασμού, στην περίπτωση αυτή, διαμέτρων, που να εξασφαλίζουν τη μέγιστη δυνατή λειτουργικότητα και οικονομία. Στο παράδειγμα αυτό η «βελτιστοποίηση» επιτυγχάνεται με επαναλαμβανόμενες επιλύσεις των μεθόδων δοκιμάζοντας κάθε φορά διαφορετικές διαμέτρους.

Επιλέγονται για τους κλάδους 1 και 2 αγωγοί Φ140 με εσωτερική διάμετρο 123.4 mm για τους κλάδους 3, 4, 5 και 6 αγωγοί Φ90 με εσωτερική διάμετρο 79.2 mm και για τον κλάδο 7 αγωγός Φ160 με εσωτερική διάμετρο 141 mm.

Τα αποτελέσματα μετά από την επίλυση της μεθόδου για την παροχή, την ταχύτητα και την απώλεια ενέργειας είναι τα εξής :

Πίνακας 3.5 : Αποτελέσματα επιλύσεων

ΑΓΩΓΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ Q (L/s)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ V (m/s)	ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ hf (m)
1	Φ140	123.4	11.620	0.972	1.368
2	Φ140	123.4	11.620	0.972	1.368
3	Φ90	79.2	4.249	0.862	3.805
4	Φ90	79.2	3.122	0.634	1.068
5	Φ90	79.2	3.122	0.634	1.068
6	Φ90	79.2	4.249	0.862	3.805
7	Φ160	141	20.478	1.311	4.106

Το ύψος πίεσης που αναπτύσσεται σε κάθε κόμβο είναι :

Πίνακας 3.6 : Ύψη πίεσης

ΚΟΜΒΟΣ	ΥΨΟΣ ΠΙΕΣΗΣ (m)
Α	24
Β	27.9
Γ	29
Δ	35.2
Ε	33.8
Ζ	30.2

Παρατηρείται ότι οι ταχύτητες στους κλάδους που μειώθηκε η διάμετρος αυξήθηκαν, όπως αυξήθηκε και η απώλεια ενέργειας αυτών, αντίθετα μειώθηκε η τιμή της παροχής. Η αύξηση της ταχύτητας προκάλεσε μείωση στις πιέσεις των κόμβων,

γεγονός που αποδεικνύει την άμεση σχέση που έχει η επιλογή των διαμέτρων με τη λειτουργία του δικτύου.

Οι περιορισμοί της ταχύτητας ισχύουν για αυτές τις διαμέτρους, και η μείωση της πίεσης δεν είναι σε ιδιαίτερα μεγάλο μέγεθος, έτσι γίνεται μια επιπλέον επίλυση του δικτύου αλλάζοντας τη διάμετρο των αγωγών στους κλάδους 1 και 2, επιλέγοντας την Φ125 με εσωτερική διάμετρο 110.2 mm . Έτσι οι νέες παροχές, οι ταχύτητες και οι απώλειες είναι οι :

Πίνακας 3.7 : Αποτελέσματα επιλύσεων

ΑΓΩΓΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ Q (L/s)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ V (m/s)	ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ hf (m)
1	Φ125	110.2	11.316	1.186	2.303
2	Φ125	110.2	11.316	1.186	2.303
3	Φ90	79.2	3.945	0.801	3.309
4	Φ90	79.2	3.426	0.695	1.270
5	Φ90	79.2	3.426	0.695	1.270
6	Φ90	79.2	3.945	0.801	3.309
7	Φ160	141	21.086	1.350	4.342

Τα ύψη πίεσης που αναπτύσσονται είναι :

Πίνακας 3.8 : Ύψη πίεσης

ΚΟΜΒΟΣ	ΥΨΟΣ ΠΙΕΣΗΣ (m)
Α	24
Β	28.8
Γ	29
Δ	35.7
Ε	34.5
Ζ	30.7

Οι ίδιες παρατηρήσεις με την προηγούμενη επιλογή ισχύουν και τώρα, όμως αυτή είναι και η τελική και βέλτιστη επιλογή διαμέτρων μιας και μια επιπλέον μείωση των διαμέτρων στους αγωγούς 1, 2 και 7 θα αύξαινε την ταχύτητα πάνω από τα επιτρεπτά όρια και επιπλέον στους αγωγούς 3, 4, 5 και 6 δε προτιμάται να μη τοποθετηθεί διάμετρος μικρότερη από Φ90 που είναι η νέα κατεύθυνση των Ελληνικών κανονισμών δικτύων ύδρευσης (παλιότερα ίσχυε ως μικρότερη διάμετρος να τοποθετείται η Φ63).

Συμπεραίνεται ότι η σχέση παροχής-ταχύτητας-απώλειας ενάργειας-πίεσης εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος της διαμέτρου. Όταν η διάμετρος μικραίνει η ποσότητα της παροχής μειώνεται και η τιμή της ταχύτητας αυξάνεται. Η αύξηση της ταχύτητας οδηγεί σε μεγαλύτερες απώλειες και αυτές με τη σειρά τους σε μικρότερες πιέσεις.

3.7 Προτεινόμενη θέση δεξαμενής (υψόμετρο και μήκος/διάμετρος αγωγού)

Από τον αγωγό που ενώνει τη δεξαμενή με το δίκτυο ύδρευσης παρέχονται Q = 52.952 L/s. Η διάμετρος του αγωγού υπολογίζεται από τη σχέση :

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi}} \tag{3,81}$$

Έτσι :

D = 0.257. από τυποποίηση επιλέγεται η Φ315 με εσωτερική διάμετρο 277.6.
Τοποθετώντας αγωγό 200 m υπολογίζονται οι γραμμικές απώλειες ενέργειας :

$$O\ αριθμός\ Reynolds\ Re:\ \mathrm{Re} = \frac{4 * |0.052952|}{\pi * 0.2776 * 0.0000012} = 202391.272 \tag{3,82}$$

$$O\ συντελεστής\ τριβής\ f:\ f = \frac{0.25}{\left[\log\frac{5.74}{202391.272^{0.9}} + \frac{0.0001/0.2776}{3.7}\right]^2} = 0.0181328 \tag{3,83}$$

$$H\ αντίσταση\ αγωγού\ R:\ R = \frac{8 * 0.0181328 * 162}{9.81 * \pi^2 * 0.2776^5} = 181.769 \tag{3,84}$$

$$Απώλεια\ ενέργειας\ h_f:\ h_f = 181.769 * (0.052952)^2 = 0.5096 \tag{3,85}$$

Οι απώλειες ενέργειας είναι της τάξης του 0.51 m . για να καλύπτονται οι απαιτήσεις του ύψους ενέργειας στο σημείο Β θα πρέπει η δεξαμενή να τοποθετηθεί σε υψόμετρο : 281.3 + 0.51 = 281.1 = 282 m.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^{ο}

Παράδειγμα Επίλυσης κλειστού δικτύου ύδρευσης που τροφοδοτείται από δύο δεξαμενές

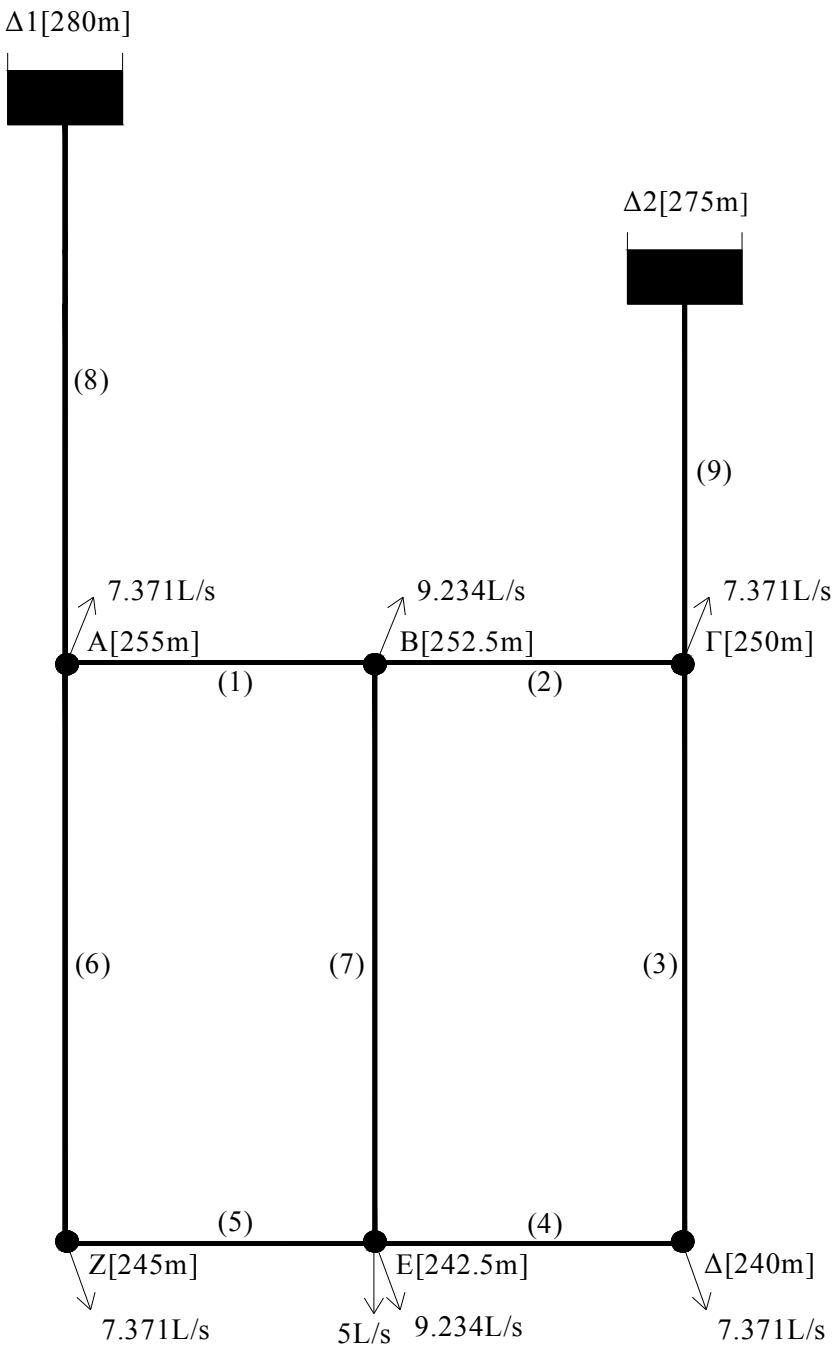
4.1 εκφώνηση παραδείγματος

Το πρώτο παράδειγμα μπορεί να τροποποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε το δίκτυο να μπορεί να υδροδοτείται από δύο δεξαμενές :

Η μια δεξαμενή Δ1 που βρίσκεται σε υψόμετρο 280 μέτρων συνδέεται με τον κόμβο Α δια μέσου του αγωγού 8 και η δεύτερη Δ2 που βρίσκεται σε υψόμετρο 275 μέτρων με τον κόμβο Γ δια μέσο του αγωγού 9. Έχει επιλεγεί ο αγωγός 8 να είναι 300 μέτρα και ο αγωγός 9 να είναι 200 μέτρα, είναι και οι δύο αγωγοί πολυαιθυλενίου 3^{ης} γενιάς. Οι παροχές κατανάλωσης στους κόμβους διατηρούνται ίδιες και στους αγωγούς 1 - 7 τοποθετούνται οι βέλτιστες διάμετροι που έχουν προκύψει.
Οι παροχές κατανάλωσης των κόμβων, τα μήκη και οι διάμετροι των κλάδων είναι :

q_A = 7.371 L/s	D_1 = 110.2 mm (Φ 125)	L_1 = 162m
q_B = 9.234 L/s	D_2 = 110.2 mm (Φ 125)	L_2 = 162 m
$q_Γ$ = 7.371 L/s	D_3 = 79.2 mm (Φ 90)	L_3 = 324 m
$q_Δ$ = 7.371 L/s	D_4 = 79.2 mm (Φ 90)	L_4 = 162 m
q_E = 14.234 L/s	D_5 = 79.2 mm (Φ 90)	L_5 = 162 m
q_Z = 7.371 L/s	D_6 = 79.2 mm (Φ 90)	L_6 = 324 m
q_B = 9.234 L/s	D_7 = 141 mm (Φ 160)	L_7 = 324 m

Στο σχήμα που ακολουθεί σχεδιάζεται το δίκτυο ύδρευσης του δεύτερου παραδείγματος :



Σχήμα 4.1: Μοντέλο δικτύου που τροφοδοτείται από δύο δεξαμενές

- *Βήματα επίλυσης* :

Η διαδικασία επίλυσης αυτού του παραδείγματος γίνεται πάλι χρησιμοποιώντας τις Q-εξισώσεις και τις ΔQ-εξισώσεις, όμως εμφανίζονται 2 βασικές διαφορές. Η πρώτη είναι ότι οι έξι γραμμικές εξισώσεις συνέχειας που σχηματίζονται είναι όλες ανεξάρτητες μεταξύ τους γιατί πλέον μέσα στο πρόβλημα εισέρχονται και οι παροχές των κλάδων τροφοδοσίας 8 και 9. Οι παροχές αυτές είναι άγνωστες και θα πρέπει να ενταχθούν στο σύστημα των εξισώσεων έτσι ώστε να υπολογιστούν οι πραγματικές τιμές τους. Αυτός είναι και ο λόγος που χρησιμοποιούνται όλες οι εξισώσεις συνέχειας. Η δεύτερη διαφορά είναι ότι πλέον σχηματίζεται ένας «ψευδοβρόχος» που αποτελείται από τις δυο δεξαμενές, τους αγωγούς 8 και 9 που τις συνδέουν με το

δίκτυο και τους αγωγούς 1 και 2 που συνδέουν και επικοινωνούν με τους προηγούμενους. Αυτό σημαίνει ότι σχηματίζεται μια επιπλέον εξίσωση ενέργειας η οποία αποτελείται από το άθροισμα των απωλειών ενέργειας κατά μήκος κάθε κλάδου του «ψευδοβρόχου» και από την υψομετρική διαφορά των δύο δεξαμενών.

Αντίθετα με το 1^{ο} παράδειγμα, είναι πλέον γνωστές οι παροχές κατανάλωσης στους κόμβους, οι τιμές των διαμέτρων των κλάδων του δικτύου και τα υψόμετρα των δεξαμενών. Για να μπορεί να επιλυθεί το δίκτυο με τις τρεις μεθόδους είναι αναγκαίος ο υπολογισμός των διαμέτρων των κλάδων τροφοδοσίας, μιας και εισέρχονται και αυτοί στους υπολογισμούς. Ο σχεδιασμός της πιεζομετρικής γραμμής αυτή τη φορά γίνεται αντίθετα, δηλαδή ο ενεργειακός υπολογισμός ξεκινά από τις δεξαμενές και καταλήγει σε όλους τους κόμβους του δικτύου. Η είσοδος των δύο δεξαμενών στο πρόβλημα έχει ως αποτέλεσμα το δίκτυο να χάσει τη συμμετρία και την ομοιομορφία που είχε στο προηγούμενο παράδειγμα. Αναμένεται οι τιμές των παροχών να μην είναι, όπως πριν, ίδιες ανά δυο. Αν ισχύει αυτό θα πρέπει μετά την επίλυση να ακολουθήσει ένας έλεγχος για το αν η διαφορετική επιλογή διαμέτρων των κλάδων περά από την παροχή, την ταχύτητα και την απώλεια ενέργειας επηρεάζει και την κατεύθυνση του νερού μέσα στο δίκτυο.

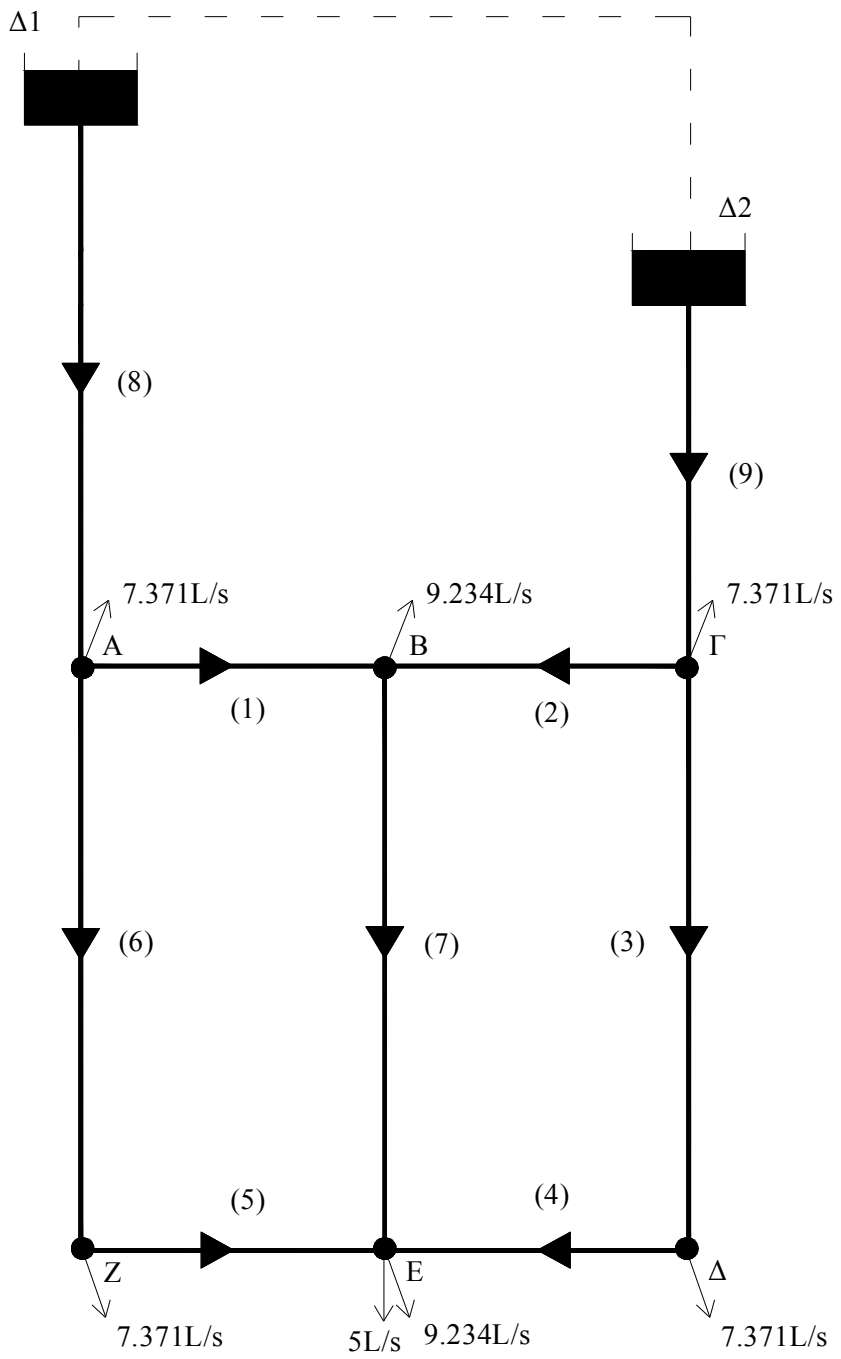
Για να υπολογιστούν οι διάμετροι των αγωγών τροφοδοσίας 8 και 9 χρειάζεται να γίνει μια αρχική θεώρηση για τις παροχές που διέρχονται από αυτούς. Υποθέτοντας αρχικά ότι τα 59.259 L/s που χρειάζεται το δίκτυο για να ικανοποιήσει τις ανάγκες των κατοίκων παρέχονται ισόνομα από κάθε δεξαμενή, τότε οι αγωγοί 8 και 9 θα παρέχουν 26.476 L/s ο ο κάθε ένας. Με βάση αυτή την ποσότητα παροχής και επιδιώκοντας η ταχύτητα του νερού σε αυτούς να είναι 1 m/s μια πρώτη εκτίμηση των διαμέτρων τους γίνεται μέσω της σχέσης :

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi}} = \sqrt{\frac{4*0.026476}{\pi}} = 0.1836m \qquad (4,1)$$

Ακολουθώντας την τυποποίηση των αγωγών πολυαιθυλενίου 3^{ης} γενιάς επιλέγεται διάμετρος Φ 225 με εσωτερική διάμετρο 198,2 mm.

- *Υπολογισμός πραγματικών παροχών Q_i*

Γίνεται η υπόθεση ότι η φορά κίνησης του νερού στο δικτύου είναι όπως στο σχήμα :



Σχήμα 4.2 : Αρχική υπόθεση κατεύθυνσης νερού στο δίκτυο

Την υπόθεση αυτή χρησιμοποιούν όλες οι μέθοδοι για να υπολογίσουν τα αρχικά δεδομένα που χρειάζονται για την επίλυση τους, είτε αυτά είναι τα πρόσημα των αρχικών παροχών, είτε τα αθροίσματα των απωλειών ενέργειας, είτε τις εξισώσεις συνέχειας και ενέργειας.

4.2 Επίλυση δικτύου με τη μέθοδο Q-Cross

Βήμα 1ο :

Μια εκτίμηση για τις αρχικές τιμές των παροχών του πρώτου βρόχου θα μπορούσε να είναι η ακόλουθη :

Q_1= 10.000 L/s
Q_7= 10.766 L/s
Q_5= –1.734 L/s
Q_6= –9.105 L/s

Βήμα 2ο :

Με γνωστές τις αρχικές παροχές και τις διαμέτρους υπολογίζονται για κάθε αγωγό του πρώτου βρόχου :

$$\textit{Ο αριθμός Reynolds } Re : \mathrm{Re}_1 = \frac{4*|0.010|}{\pi*0.1102*0.0000012} = 96282.482 \qquad (4,2)$$

Όμοια :
Re_7= 81012.757
Re_5= 23230.191
Re_6= 121978.599

$$\textit{Ο συντελεστής τριβής } f : f_1 = \frac{0.25}{\left[\log\frac{5.74}{96282.482^{0.9}} + \frac{0.0001/0.1102}{3.7}\right]^2} = 0.0220989 \qquad (4,3)$$

Όμοια :
f_7= 0.0218044
f_5= 0.0279099
f_6= 0.0228582

$$\textit{Η αντίσταση αγωγού } R : R_1 = \frac{8*0.0220989*162}{9.81*\pi^2*0{,}1102^5} = 18201.158 \qquad (4,4)$$

Όμοια :
R_7= 10474.028
R_5= 119885.893
R_6= 196373.179

Βήμα 3ο :

Σύμφωνα με τη φορά παροχής τω βρόχων κατασκευάζεται το άθροισμα των απωλειών ενέργειας κατά μήκος του πρώτου βρόχου :

$$\Sigma h_{f1} = R_1Q_1^2 + R_7Q_7^2 - R_5Q_5^2 - R_6Q_6^2 = -13.606 \qquad (4,5)$$

Υπολογίζεται το μέγεθος $\Sigma|2RQ|$:

$$2R_1Q_1 + 2R_7Q_7 + 2R_5Q_5 + 2R_6Q_6 = 4581.270 \qquad (4,6)$$

Διαιρώντας κατά μέλη και αντιστρέφοντας το πρόσημο προκύπτει η διορθωτική παροχή:

$\Delta Q_1 = 0.00296989$

Βήμα 4ο :

Προσθέτοντας αυτή στις αρχικές παροχές υπολογίζονται οι διορθωμένες παροχές νερού στους κλάδους :

$Q_1' = 0.010000 + \Delta Q_1 = -0.012970\ m^3/s$ (4,7)
$Q_7' = 0.010766 + \Delta Q_1 = 0.013736\ m^3/s$ (4,8)
$Q_5' = -0.001734 + \Delta Q_1 = 0.001236\ m^3/s$ (4,9)
$Q_6' = -0.009105 + \Delta Q_1 = -0.006135\ m^3/s$ (4,10)

Βήμα 5ο :

Τα τέσσερα παραπάνω βήματα ακολουθούνται και για τον δεύτερο βρόχο. Αντίθετα με πριν, η αρχική παροχή του κλάδου 7 θα είναι η τιμή Q_7= -0,013736 m^3/s γιατί ανήκει και στους δύο βρόχους και πρέπει να διορθωθεί και από τις δύο διορθωτικές παροχές.

Επαναλαμβάνοντας για τον δεύτερο βρόχο :

$Q_2 = -10.000$ L/s
$Q_3 = 9.105$ L/s
$Q_4 = 1.734$ L/s
$Q_7 = -13.736$ L/s

Βήμα 2ο :

Υπολογίζονται για κάθε κλάδο του δεύτερο βρόχου :

Ο αριθμός Reynolds Re : $\mathrm{Re}_2 = \dfrac{4*|-0.010|}{\pi*0.1102*0.0000012} = 96282.482$ (4,11)

Όμοια :
$\mathrm{Re}_3 = 121978.599$
$\mathrm{Re}_4 = 23230.191$
$\mathrm{Re}_7 = 121978.599$

Ο συντελεστής τριβής f : $f_2 = \dfrac{0.25}{\left[\log\dfrac{5.74}{96282.482^{0.9}} + \dfrac{0.0001/0.1102}{3.7}\right]^2} = 0.0220989$ (4,12)

Όμοια :
$f_3 = 0.0228582$
$f_4 = 0.0279099$
$f_7 = 0.0211964$

Η αντίσταση αγωγού R : $R_2 = \frac{8*0.0220989*162}{9.81*\pi^2*0,1102^5} = 18201.158$ (4.13)

Όμοια :
R_3= 196373.179
R_4= 119885.893
R_7= 10182.002

Βήμα 3ο :

Σύμφωνα με τη φορά παροχής των βρόχων κατασκευάζεται το άθροισμα των απωλειών ενέργειας κατά μήκος του δεύτερου βρόχου :

$\Sigma h_{f2} = -R_2Q_2^2 + R_3Q_3^2 + R_4Q_4^2 - R_7Q_7^2 = 12.899$ (4,14)

Υπολογίζεται το μέγεθος $\Sigma|2RQ|$:

$2R_2Q_2 + 2R_3Q_3 + 2R_4Q_4 + 2R_7Q_7 = 4635.461$ (4,15)

Διαιρώντας κατά μέλη και αντιστρέφοντας το πρόσημο προκύπτει η διορθωτική παροχή :

$\Delta Q_2 = -0.00278264$

Βήμα 4ο :

Προσθέτοντας αυτή στις αρχικές παροχές υπολογίζονται οι διορθωμένες παροχές νερού στους κλάδους :

$Q_2' = -0.010000 + \Delta Q_2 = 0.012783$ m^3/s (4,16)
$Q_3' = 0.009105 + \Delta Q_2 = 0.006322$ m^3/s (4,17)
$Q_4' = 0.001734 + \Delta Q_2 = -0.001049$ m^3/s (4,18)
$Q_7' = -0.013736 + \Delta Q_2 = -0.016519$ m^3/s (4,19)

Βήμα 5ο :

Τα τέσσερα παραπάνω βήματα επαναλαμβάνονται άλλη μια φορά για τον «ψευδοβρόχο», αλλά οι αρχικές παροχές των κλάδων 1 και 2 θα είναι οι τιμές Q_1= -0.012970 m^3/s και Q_2= 0.012783 m^3/s γιατί ανήκουν και στους βρόχους 1 και 2 αντίστοιχα.

Επαναλαμβάνοντας για τον «ψευδοβρόχο» :

Βήμα 1ο :

Q_8= –26.476 L/s
Q_1= –12.970 L/s
Q_2= 12.783 L/s

Q_9= 26.476 L/s

Βήμα 2ο :

Υπολογίζονται για κάθε κλάδο του «ψευδοβρόχου» :

$$O\ \alpha\rho\iota\theta\mu\acute{o}\varsigma\ Reynolds\ Re:\ \mathrm{Re}_8 = \frac{4*\left|-0.026476\right|}{\pi*0.1982*0.0000012} = 141735.159 \qquad (4{,}20)$$

Όμοια :
Re_1= 124877.345
Re_2= 123074.398
Re_9= 141735.159

$$\text{Ο συντελεστής τριβής f}:\ f_8 = \frac{0.25}{\left[\log\frac{5.74}{141735.159^{0.9}} + \frac{0.0001/0.1982}{3.7}\right]^2} = 0.0196125 \qquad (4{,}21)$$

Όμοια :
f_1= 0.0215674
f_2= 0.0215947
f_9= 0.0196125

$$\text{Η αντίσταση αγωγού R}:\ R_8 = \frac{8*0.0196125*162}{9.81*\pi^2*0{,}1982^5} = 1589.486 \qquad (4{,}22)$$

Όμοια :
R_1= 17763.365
R_2= 17785.859
R_9= 1059.659

Βήμα 3ο :

Σύμφωνα με τη φορά παροχής του «ψευδοβρόχου» κατασκευάζεται το άθροισμα των απωλειών ενέργειας κατά μήκος του :

$$\Sigma h_{f\Psi} = -R_8Q_8^2 - R_1Q_1^2 + R_2Q_2^2 + R_9Q_9^2 = -0.453 + 280 - 275 \qquad (4{,}23)$$

Υπολογίζεται το μέγεθος $\Sigma\left|2RQ\right|$:

$$2R_8Q_8 + 2R_1Q_1 + 2R_2Q_2 + 2R_9Q_9 = 1055.756 \qquad (4{,}24)$$

Η διορθωτική παροχή του «ψευδοβρόχου» υπολογίζεται ως :

$$\Delta Q_\Psi = -\frac{\Sigma h_{f\Psi}}{\Sigma\left|2RQ\right|} = -0.00430650 \qquad (4{,}25)$$

Βήμα 4ο :

Προσθέτοντας αυτή στις αρχικές παροχές υπολογίζονται οι διορθωμένες παροχές νερού στους κλάδους :

$Q_8' = -0.026476 + \Delta Q_2 = -0.030783\ m^3/s$ (4,26)
$Q_1' = -0.012970 + \Delta Q_2 = -0.017276\ m^3/s$ (4,27)
$Q_2' = 0.012783 + \Delta Q_2 = 0.008476\ m^3/s$ (4,28)
$Q_9' = 0.026476 + \Delta Q_2 = 0.022169\ m^3/s$ (4,29)

Βήμα 5^o :

Θεωρώντας τις παροχές που προέκυψαν από την πρώτη επανάληψη αρχικές και επαναλαμβάνεται η διαδικασία τόσες φορές όσες χρειάζεται για να μηδενιστούν οι διορθωτικές παροχές.

Η μέθοδος συγκλίνει μετά από 8 επαναλήψεις και οι τιμές των παροχών στους κλάδους είναι οι εξής:

$Q_1 = 17.699$ L/s
$Q_2 = -9.002$ L/s
$Q_3 = 4.995$ L/s
$Q_4 = -2.376$ L/s
$Q_5 = 0.857$ L/s
$Q_6 = -6.514$ L/s
$Q_7 = 17.467$ L/s
$Q_8 = -31.584$ L/s
$Q_9 = 21.368$ L/s

Η φορά των παροχών δεν είναι όπως θεωρήθηκε γιατί παρατηρείται αλλαγή στα πρόσημα των αρχικών παροχών των κλάδων 4 και 5 γεγονός που σημαίνει ότι σε αυτούς το νερό κινείται με την αντίθετη φορά.

4.3 Επίλυση με τη μέθοδο Newton-Raphson

Βήμα 1^o :

Ορίζονται αυθαίρετες αρχικές τιμές των παροχών των κλάδων :

$Q_1 = 10.000$ L/s
$Q_2 = 10.000$ L/s
$Q_3 = 9.105$ L/s
$Q_4 = 1.734$ L/s
$Q_5 = 1.734$ L/s
$Q_6 = 9.105$ L/s
$Q_7 = 10.766$ L/s
$Q_8 = 26.476$ L/s
$Q_9 = 26.476$ L/s

Βήμα 2ο :

Σχηματίζονται τα αθροίσματα απωλειών ενέργειας κατά μήκος κάθε βρόχου:

Βρόχος 1 : $F_1 = R_1Q_1^2 + R_7Q_7^2 - R_5Q_5^2 - R_6Q_6^2$ (4,30)

Βρόχος 2 : $F_2 = -R_2Q_2^2 + R_3Q_3^2 + R_4Q_4^2 - R_7Q_7^2$ (4,31)

«Ψευδοβρόχος» : $F_3 = -R_8Q_8^2 - R_1Q_1^2 + R_2Q_2^2 + R_9Q_9^2 + 280 - 275$ (4,32)

Βήμα 3ο :

Εφαρμόζονται οι διορθωτικές παροχές ΔQ_1 και ΔQ_2 και ΔQ_Ψ από τον κάθε βρόχο στις προηγούμενες σχέσεις :

Βρόχος 1 :

$$\begin{aligned} F_1(\Delta Q) &= R_1|Q_1 + \Delta Q_1 - \Delta Q_\Psi|(Q_1 + \Delta Q_1 - \Delta Q_\Psi) + \\ &+ R_7|Q_7 + \Delta Q_1 - \Delta Q_2|(Q_7 + \Delta Q_1 - \Delta Q_2) - \\ &- R_5|Q_5 - \Delta Q_1|(Q_5 - \Delta Q_1) - \\ &- R_6|Q_6 - \Delta Q_1|(Q_6 - \Delta Q_1) \end{aligned} \quad (4,33)$$

Βρόχος 2 :

$$\begin{aligned} F_2(\Delta Q) &= -R_2|Q_2 - \Delta Q_2 + \Delta Q_\Psi|(Q_2 - \Delta Q_2 + \Delta Q_\Psi) + \\ &+ R_3|Q_3 + \Delta Q_2|(Q_3 + \Delta Q_2) + \\ &+ R_4|Q_4 + \Delta Q_2|(Q_4 + \Delta Q_2) - \\ &- R_7|Q_7 - \Delta Q_2 + \Delta Q_1|(Q_7 - \Delta Q_2 + \Delta Q_1) \end{aligned} \quad (4,34)$$

«Ψευδοβρόχος» :

$$\begin{aligned} F_\Psi(\Delta Q) &= R_9|Q_9 + \Delta Q_\Psi|(Q_9 + \Delta Q_\Psi) + \\ &+ R_2|Q_2 + \Delta Q_\Psi - \Delta Q_2|(Q_2 + \Delta Q_\Psi - \Delta Q_2) - \\ &- R_1|Q_1 - \Delta Q_\Psi + \Delta Q_1|(Q_1 - \Delta Q_\Psi + \Delta Q_1) - \\ &- R_8|Q_8 - \Delta Q_\Psi|(Q_8 - \Delta Q_\Psi) + 280 - 275 \end{aligned} \quad (4,35)$$

Οι τιμές των παροχών στους κλάδους πρέπει να είναι τέτοιες ώστε τα αθροίσματα των απωλειών ενέργειας γύρω από κάθε κόμβο να είναι μηδενικά :

$$F_1(\Delta Q) = 0 \quad (4,36)$$

$$F_2(\Delta Q) = 0 \quad (4,37)$$

$$F_\Psi(\Delta Q) = 0 \quad (4,38)$$

Βήμα 4^{ο} :

Το σύστημα των εξισώσεων μετά την εφαρμογή της μεθόδου γραμμικοποίησης Newton-Raphson έχει την εξής μορφή :

$$\left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_1+\left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_2+\left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_\Psi)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_\Psi=-F_1(0) \tag{4,39}$$

$$\left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_1+\left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_2+\left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_\Psi)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_\Psi=-F_2(0) \tag{4,40}$$

$$\left.\frac{\partial F_\Psi}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_1+\left.\frac{\partial F_\Psi}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_2+\left.\frac{\partial F_\Psi}{\partial(\Delta Q_\Psi)}\right|_{\Delta Q=0}\Delta Q_\Psi=-F_\Psi(0) \tag{4,41}$$

Ακολουθούν τα αποτελέσματα της παραγώγησης κάθε όρου του συστήματος ξεχωριστά :

$$\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_1)}=2R_1\left|Q_1+\Delta Q_1-\Delta Q_3\right|+2R_7\left|Q_7+\Delta Q_1-\Delta Q_2\right|+ \\ +2R_5\left|Q_5-\Delta Q_1\right|+2R_6\left|Q_6-\Delta Q_1\right| \tag{4,42}$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_2)}=-2R_7\left|Q_7+\Delta Q_1-\Delta Q_2\right| \tag{4,43}$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_\Psi)}=-2R_1\left|Q_1+\Delta Q_1-\Delta Q_\Psi\right| \tag{4,44}$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_1)}=-2R_7\left|Q_7-\Delta Q_2+\Delta Q_1\right| \tag{4,45}$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_2)}=2R_2\left|Q_2-\Delta Q_2+\Delta Q_3\right|+2R_3\left|Q_3+\Delta Q_2\right|+ \\ +2R_4\left|Q_4-\Delta Q_2\right|+2R_7\left|Q_7-\Delta Q_2+\Delta Q_1\right| \tag{4,46}$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_\Psi)}=-2R_2\left|Q_2-\Delta Q_2+\Delta Q_\Psi\right| \tag{4,47}$$

$$\frac{\partial F_\Psi}{\partial(\Delta Q_1)}=-2R_1\left|Q_1+\Delta Q_\Psi-\Delta Q_1\right| \tag{4,48}$$

$$\frac{\partial F_\Psi}{\partial(\Delta Q_2)}=-2R_2\left|Q_2+\Delta Q_\Psi-\Delta Q_2\right| \tag{4,49}$$

$$\frac{\partial F_{\Psi}}{\partial(\Delta Q_{\Psi})} = 2R_9\left|Q_9 + \Delta Q_{\Psi}\right| + 2R_2\left|Q_2 + \Delta Q_{\Psi} - \Delta Q_2\right| + \\ +2R_1\left|Q_1 - \Delta Q_{\Psi} + \Delta Q_1\right| + 2R_8\left|Q_8 - \Delta Q_{\Psi}\right| \tag{4,50}$$

Μηδενίζοντας τον όρο ΔQ_i στις παραπάνω σχέσεις, οι εξισώσεις παίρνουν την εξής μορφή :

$$\left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q_i=0} = 2R_1\left|Q_1\right| + 2R_7\left|Q_7\right| + 2R_5\left|Q_5\right| + 2R_6\left|Q_6\right| \tag{4,51}$$

$$\left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q_i=0} = -2R_7\left|Q_7\right| \tag{4,52}$$

$$\left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_{\Psi})}\right|_{\Delta Q_i=0} = -2R_1\left|Q_1\right| \tag{4,53}$$

$$\left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q_i=0} = -2R_7\left|Q_7\right| \tag{4,54}$$

$$\left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q_i=0} = 2R_2\left|Q_2\right| + 2R_3\left|Q_3\right| + 2R_4\left|Q_4\right| + 2R_7\left|Q_7\right| \tag{4,55}$$

$$\left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_{\Psi})}\right|_{\Delta Q_i=0} = -2R_2\left|Q_2\right| \tag{4,56}$$

$$\left.\frac{\partial F_{\Psi}}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q_i=0} = -2R_1\left|Q_1\right| \tag{4,57}$$

$$\left.\frac{\partial F_{\Psi}}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q_i=0} = -2R_2\left|Q_2\right| \tag{4,58}$$

$$\left.\frac{\partial F_{\Psi}}{\partial(\Delta Q_{\Psi})}\right|_{\Delta Q_i=0} = 2R_9\left|Q_9\right| + 2R_2\left|Q_2\right| + 2R_1\left|Q_1\right| + 2R_8\left|Q_8\right| \tag{4,59}$$

$$F_1(0) = R_1\left|Q_1\right|(Q_1) + R_7\left|Q_7\right|(Q_7) - R_5\left|Q_5\right|(Q_5) - R_6\left|Q_6\right|(Q_6) \tag{4,60}$$

$$F_2(0) = -R_2\left|Q_2\right|(Q_2) + R_3\left|Q_3\right|(Q_3) + R_4\left|Q_4\right|(Q_4) - R_7\left|Q_7\right|(Q_7) \tag{4,61}$$

$$F_{\Psi}(0) = -R_8|Q_8|(Q_8) - R_1|Q_1|(Q_1) + \\ +R_2|Q_2|(Q_2) + R_9|Q_9|(Q_9) + 280 - 275 \quad (4,62)$$

Βήμα 5^o :

υπολογίζονται για κάθε κλάδο :

$$\textit{Ο αριθμός Reynolds Re}: \ \mathrm{Re}_1 = \frac{4*|0.010|}{\pi*0.1102*0.0000012} = 96282.482 \quad (4,63)$$

Όμοια :
Re_2= 96282.482
Re_3= 121978.599
Re_4= 25250.191
Re_5= 23230.191
Re_6= 121978.599
Re_7= 81012.757
Re_8= 141735.159
Re_9= 141735.159

$$\textit{Ο συντελεστής τριβής } f: \ f_1 = \frac{0.25}{\left[\log\frac{5.74}{96282.482^{0.9}} + \frac{0.0001/0.1102}{3.7}\right]^2} = 0.0220989 \quad (4,64)$$

Όμοια :
f_2= 0.0220989
f_3= 0.0228582
f_4= 0.0279099
f_5= 0.0279099
f_6= 0.0228582
f_7= 0.0218044
f_8= 0.0196125
f_9= 0.0196125

$$\textit{Η αντίσταση αγωγού } R: \ R_1 = \frac{8*0.0220989*162}{9.81*\pi^2*0{,}1102^5} = 18201.158 \quad (4,65)$$

Όμοια :
R_2= 18201.158
R_3= 196373.179
R_4= 119885.893
R_5= 119885.893
R_6= 196373.179
R_7= 10474.028
R_8= 1589.489
R_9= 1059.159

Βήμα 6^{ο} :

Γίνονται οι υπολογισμοί των παραμέτρων του συστήματος :

$$\left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q_i=0} = 4581.270 \tag{4,66}$$

$$\left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q_i=0} = -225.527 \tag{4,67}$$

$$\left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_\Psi)}\right|_{\Delta Q_i=0} = -364.023 \tag{4,68}$$

$$\left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q_i=0} = -225.527 \tag{4,69}$$

$$\left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q_i=0} = -4581.270 \tag{4,70}$$

$$\left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_\Psi)}\right|_{\Delta Q_i=0} = -364.023 \tag{4,71}$$

$$\left.\frac{\partial F_\Psi}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q_i=0} = -364.023 \tag{4,72}$$

$$\left.\frac{\partial F_\Psi}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q_i=0} = -364.023 \tag{4,73}$$

$$\left.\frac{\partial F_\Psi}{\partial(\Delta Q_\Psi)}\right|_{\Delta Q_i=0} = 868.324 \tag{4,74}$$

$$F_1(0) = -13.610 \tag{4,75}$$

$$F_2(0) = 13.610 \tag{4,76}$$

$$F_\Psi(0) = 4.629 \tag{4,77}$$

Το σύστημα των εξισώσεων γίνεται :

$$4581{,}270\Delta Q_1 - 225{,}527\Delta Q_2 - 364{,}023\Delta Q_\Psi = -(-13.610) \tag{4,78}$$

$$-225.527\Delta Q_1 + 4581.270\Delta Q_2 - 364.023\Delta Q_\Psi = -(13.610) \quad (4,79)$$
$$-364.023\Delta Q_1 - 364.023\Delta Q_2 + 868.324\Delta Q_\Psi = -4,629 \quad (4,80)$$

Η επίλυσή του δίνει :

$\Delta Q_1 = 0.0023515$
$\Delta Q_2 = -0.0033096$
$\Delta Q_\Psi = -0.0057322$

Οι αρχικές παροχές διορθώνονται ως εξής :

$$Q_1' = Q_1 + \Delta Q_1 - \Delta Q_\Psi = 0.018084 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4,81)$$
$$Q_2' = Q_2 - \Delta Q_2 + \Delta Q_\Psi = 0.007577 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4,82)$$
$$Q_3' = Q_3 + \Delta Q_2 = 0.005795 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4,83)$$
$$Q_4' = Q_4 + \Delta Q_2 = -0.001576 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4,84)$$
$$Q_5' = Q_5 - \Delta Q_1 = -0.000617 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4,85)$$
$$Q_6' = Q_6 - \Delta Q_1 = 0.006754 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4,86)$$
$$Q_7' = Q_7 + \Delta Q_1 - \Delta Q_2 = 0,016427 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4,87)$$
$$Q_8' = Q_8 - \Delta Q_3 = 0.032208 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4,88)$$
$$Q_9' = Q_9 + \Delta Q_3 = 0.020744 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4,89)$$

Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται ως αρχικές και επαναλαμβάνεται η διαδικασία επίλυσης του συστήματος από την αρχή. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται άλλες 4 φορές μέχρι να μηδενιστούν οι διορθωτικές παροχές και να σταθεροποιηθούν οι τιμές των παροχών στους κλάδους.

Τελικά η μέθοδος δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα :

$Q_1 = 17.699$ L/s
$Q_2 = 9.002$ L/s
$Q_3 = 4.995$ L/s
$Q_4 = -2.376$ L/s
$Q_5 = -0.857$ L/s
$Q_6 = 6.514$ L/s
$Q_7 = 17.467$ L/s
$Q_8 = 31.584$ L/s
$Q_9 = 21.368$ L/s

Τα αρνητικά πρόσημα των παροχών στους κλάδους 4 και 5 υποδηλώνουν ότι η αρχική υπόθεση για την κατεύθυνση της παροχής ήταν λανθασμένη και ότι η πραγματική φορά τους είναι αντίθετη.

4.4 Επίλυση δικτύου με τη γραμμική μέθοδο

Βήμα 1ο :

Η αρχική επιλογή τυχαίων κατευθύνσεων νερού στους κλάδους είναι κοινή για όλες τις μεθόδους.

Βήμα 2ο :

Χρησιμοποιώντας αρχική παροχή για κάθε κλάδο την τιμή 1,00 m^3/s υπολογίζονται τα παρακάτω μεγέθη :

$$\textit{Ο αριθμός Reynolds } Re: \ \mathrm{Re}_1 = \frac{4*|1.00|}{\pi*0.1102*0.0000012} = 9628248.2 \qquad (4,90)$$

Όμοια :
Re_2= 9628248.2
Re_3= 13396880.7
Re_4= 13396880.7
Re_5= 13396880.7
Re_6= 13396880.7
Re_7= 7525056.4
Re_8= 5353344.9
Re_9= 5353344.9

$$\textit{Ο συντελεστής τριβής } f: \ f_1 = \frac{0.25}{\left[\log\frac{5.74}{9628248.2^{0.9}} + \frac{0.0001/0.1102}{3.7}\right]^2} = 0.0192351 \qquad (4,91)$$

Όμοια :
f_2= 0.0192351
f_3= 0.0208331
f_4= 0.0208331
f_5= 0.0208331
f_6= 0.0208331
f_7= 0.0181722
f_8= 0.0168705
f_9= 0.0168705

$$\textit{Η αντίσταση αγωγού } R: \ R_1 = \frac{8*0.0192851*162}{9.81*\pi^2*0.1102^5} = 15842.475 \qquad (4,92)$$

Όμοια :
R_2= 15842.475
R_3=178975.670
R_4= 89487.833
R_5= 89487.833
R_6=178975.670
R_7= 8729.266
R_8= 1367.262
R_9= 911.508

Βήμα 3ο :

Σχηματίζονται οι παρακάτω εξισώσεις :

3 Εξισώσεις ενέργειας :

Βρόχος 1 : $R_1Q_1^2 + R_7Q_7^2 - R_5Q_5^2 - R_6Q_6^2 = 0$ (4,93)
Βρόχος 2 : $-R_2Q_2^2 + R_3Q_3^2 + R_4Q_4^2 - R_7Q_7^2 = 0$ (4,94)
«ψευδοβρόχος» : $-R_1Q_1^2 + R_2Q_2^2 - R_8Q_8^2 + R_9Q_9^2 = 275 - 280$ (4,95)

6 Εξισώσεις συνέχειας :

$Q_8 - Q_1 - Q_6 = 7{,}371$ (4,96)
$Q_1 - Q_7 + Q_2 = 9{,}234$ (4,97)
$Q_9 - Q_2 - Q_3 = 7{,}371$ (4,98)
$Q_3 - Q_4 = 7{,}371$ (4,99)
$Q_4 + Q_7 + Q_5 = 14{,}234$ (4,100)
$Q_6 - Q_5 = 7{,}371$ (4,101)

Βήμα 4^o :

Υπολογίζεται ο παράγοντας γραμμικοποίησης $\alpha_i = R_i|Q_i|$:

$$\alpha_1 = 15842.475 * |1.00| = 15842.475 \quad (4,102)$$

Όμοια :
α_2= 15842.475
α_3= 178975.670
α_4= 89487.833
α_5= 89487.833
α_6= 178975.670
α_7= 8729.266
α_8= 1367.262
α_9= 911.508

βήμα 5^o :

Μορφώνεται το γραμμικό σύστημα εξισώσεων. Σε αυτό το παράδειγμα χρησιμοποιούνται και οι 9 εξισώσεις :

$$\begin{vmatrix} \alpha_1 & 0 & 0 & 0 & -\alpha_5 & -\alpha_6 & \alpha_7 & 0 & 0 \\ 0 & -\alpha_2 & \alpha_3 & \alpha_4 & 0 & 0 & -\alpha_7 & 0 & 0 \\ -\alpha_1 & \alpha_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\alpha_8 & \alpha_9 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \\ Q_7 \\ Q_8 \\ Q_9 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ -5 \\ 0{,}007371 \\ 0{,}009234 \\ 0{,}007371 \\ 0{,}007371 \\ 0{,}014234 \\ 0{,}007371 \end{vmatrix}$$

Μετά από αριθμητική αντικατάσταση προκύπτει το παρακάτω σύστημα 9x9 προς επίλυση :

$$\begin{vmatrix} 15842.5 & 0 & 0 & 0 & -89487.8 & -178975.7 & 8729.3 & 0 & 0 \\ 0 & -15842.5 & 178975.7 & 89487.8 & 0 & 0 & -8729.3 & 0 & 0 \\ -15842.5 & 15842.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1367.3 & 911.5 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \\ Q_7 \\ Q_8 \\ Q_9 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ -5 \\ 0,007371 \\ 0,009234 \\ 0,007371 \\ 0,007371 \\ 0,014234 \\ 0,007371 \end{vmatrix}$$

Βήμα 6^{ο} :

Το αποτέλεσμα της επίλυσης αυτού του συστήματος θα είναι νέες τιμές των παροχών στους κλάδους για τις οποίες θα επαναληφθεί η διαδικασία από την αρχή :

$Q(1)_1$= 14.871 L/s
$Q(1)_2$= 15.285 L/s
$Q(1)_3$= 4.039 L/s
$Q(1)_4$= –3.332 L/s
$Q(1)_5$= –3.356 L/s
$Q(1)_6$= 4.015 L/s
$Q(1)_7$= 20.257 L/s
$Q(1)_8$= 26.257 L/s
$Q(1)_9$= 26.696 L/s

Μετά την επανάληψη της διαδικασίας οι νέες τιμές που προκύπτουν είναι :

$Q(2)_1$= 19.585L/s
$Q(2)_2$= 4.207L/s
$Q(2)_3$= 5.557L/s
$Q(2)_4$= –1.814L/s
$Q(2)_5$= 1.490L/s
$Q(2)_6$= 8.861L/s
$Q(2)_7$= 14.557L/s
$Q(2)_8$= 35.817L/s
$Q(2)_9$= 17.135L/s

Βήμα 7^{ο} :

Οι τιμές που θα χρησιμοποιηθούν για αρχικές στην επόμενη επανάληψη θα είναι ο μέσος όρος των δύο παραπάνω :

$[Q(1)_1 + Q(2)_1] / 2 = 17.228 L/s$ (4,103)
$[Q(1)_2 + Q(2)_2] / 2 = 9.746 L/s$ (4,104)
$[Q(1)_3 + Q(2)_3] / 2 = 4.798 L/s$ (4,105)
$[Q(1)_4 + Q(2)_4] / 2 = -2.573 L/s$ (4,106)
$[Q(1)_5 + Q(2)_5] / 2 = -0.933 L/s$ (4,107)
$[Q(1)_6 + Q(2)_6] / 2 = 6.438 L/s$ (4,108)
$[Q(1)_7 + Q(2)_7] / 2 = 17.740 L/s$ (4,109)
$[Q(1)_8 + Q(2)_8] / 2 = 31.037 L/s$ (4,110)
$[Q(1)_9 + Q(2)_9] / 2 = 21.915 L/s$ (4,111)

Συνεχίζοντας τη διαδικασία με αυτό τον τρόπο η μέθοδος καταλήγει μετά από 25 επαναλήψεις στα εξής αποτελέσματα :

$Q_1 = 17.699$ L/s
$Q_2 = 9.002$ L/s
$Q_3 = 4.995$ L/s
$Q_4 = -2.376$ L/s
$Q_5 = -0.857$ L/s
$Q_6 = 6.514$ L/s
$Q_7 = 17.467$ L/s
$Q_8 = 31.584$ L/s
$Q_9 = 21.368$ L/s

Το αρνητικό πρόσημο στις παροχές των κλάδων 4 και 5 υποδηλώνει ότι η αρχική υπόθεση της κατεύθυνσης του νερού μέσα στους κλάδους ήταν λανθασμένη και ότι η πραγματική φορά του νερού είναι αντίθετη.

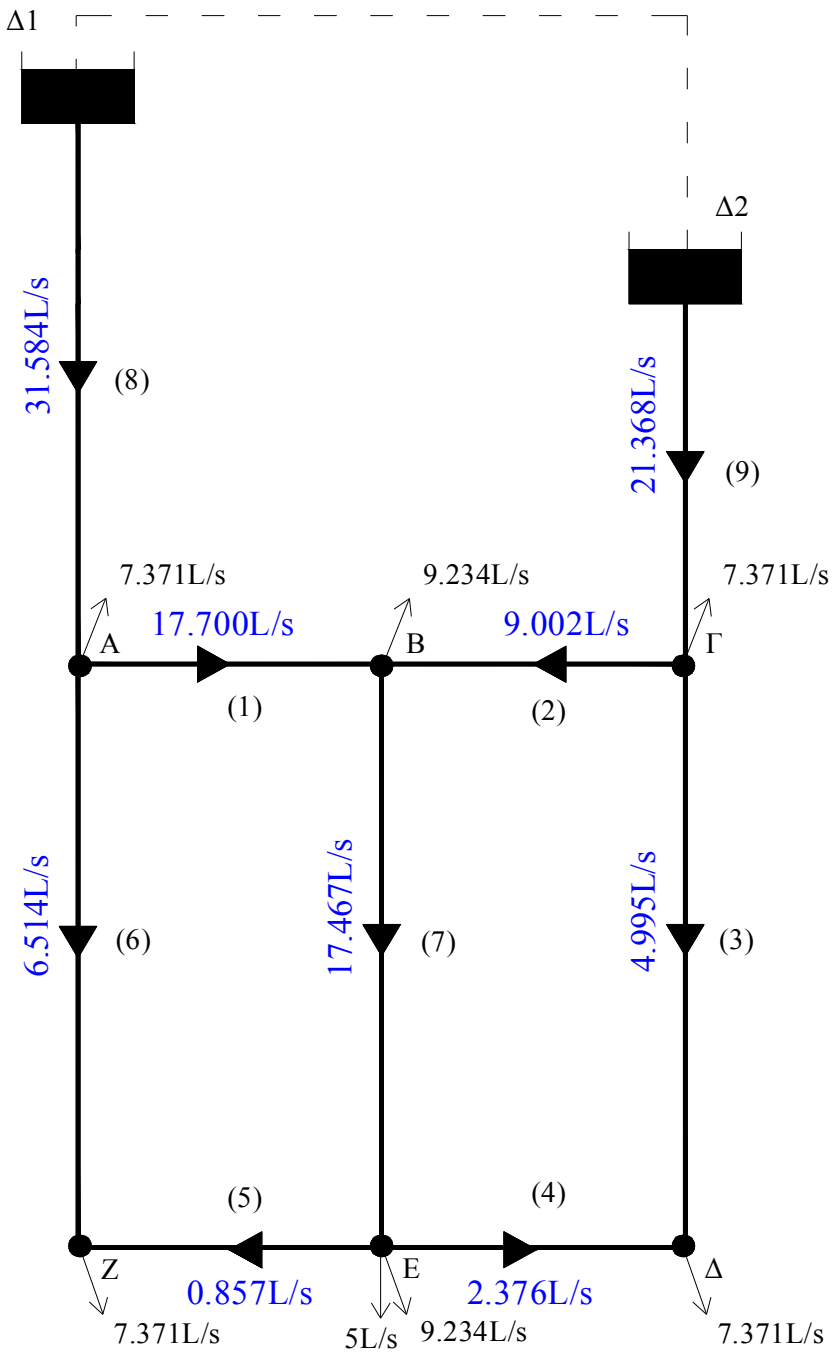
4.5 Αποτελέσματα επιλύσεων

Οι τιμές της παροχής, της ταχύτητας και της απώλειας ενέργειας κατά μήκος κάθε κλάδου είναι κοινά για όλες τις μεθόδους και παρουσιάζονται συγκεντρωμένα στον πίνακα που ακολουθεί :

Πίνακας 4.1 : Αποτελέσματα επιλύσεων

ΑΓΩΓΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ Q (L/s)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ V (m/s)	ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ hf (m)
1	Φ125	110.2	17.699	1.856	5.430
2	Φ125	110.2	9.002	0.944	1.491
3	Φ90	79.2	4.995	1.014	5.166
4	Φ90	79.2	2.376	0.482	0.643
5	Φ90	79.2	0.857	0.174	0.101
6	Φ90	79.2	6.514	1.322	8.562
7	Φ160	141	17.467	1.119	3.031
8	Φ225	198.2	31.584	1.024	1.557
9	Φ225	198.2	21.368	0.693	0.496

Τα αποτελέσματα των παροχών και η σωστή φορά νερού στους κλάδους φαίνονται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 4.3 : Παροχές στους κλάδους του δικτύου μετά τη επίλυση

Παρατηρείται ότι παρόλο που οι βρόχοι του δικτύου είναι συμμετρικοί και οι κλάδοι του ανά δύο έχουν το ίδιο μήκος και τα ίδια υδραυλικά χαρακτηριστικά δεν παρέχεται η ίδια ποσότητα νερού από αυτούς. Αυτό συμβαίνει γιατί στον κόμβο Α εισέρχεται διαφορετική ποσότητα νερού από αυτή στον κόμβο Γ

4.6 Προσδιορισμός της πιεζομετρικής γραμμής του δικτύου

Τα υψόμετρα των κόμβων και οι απώλειες ενέργειας κατά μήκος των κλάδων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 4.2 : Υψόμετρα και απώλειες φορτίου

ΚΟΜΒΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΚΛΑΔΟΣ	ΦΟΡΑ ΠΑΡΟΧΗΣ	ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ h_f (m)
Α	255	1	Α→Β	5.43
Β	252.5	2	Γ→ Β	1.49
Γ	250	3	Γ→Δ	5.17
Δ	240	4	Ε→Δ	0.65
Ε	242,5	5	Ε→Ζ	0.10
Ζ	245	6	Α→Ζ	8.56
Δ1	280	7	Β→Ε	3.03
Δ2	275	8	Δ1→Α	1.56
		9	Δ2→Γ	0.50

Το νερό μέσα στους κλάδους του δικτύου κάνει τέσσερεις διαφορετικές διαδρομές :

1. Από τη δεξαμενή 1 στον κόμβο Α και μετά στον κόμβο Ζ.
2. Από τη δεξαμενή 1 στον κόμβο Α, μετά στον κόμβο Β, μετά στον κόμβο Ε και τέλος στον κόμβο Ζ.
3. Από τη δεξαμενή 2 στον κόμβο Γ και μετά στον κόμβο Δ.
4. Από τη δεξαμενή 2 στον κόμβο Γ, μετά στον κόμβο Β, μετά στον κόμβο Ε και τέλος στον κόμβο Δ.

Για κάθε μια από τις παραπάνω διαδρομές γίνεται ενεργειακός υπολογισμός ξεκινώντας από τη δεξαμενή :

1η διαδρομή :

Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Α είναι :
$H_A = H_{\Delta 1} - h_{f\Delta 1 \to A} = 280 - 1,56 = 278,44$
Το ύψος πίεσης στον κόμβο Α είναι :
$h_{pA} = H_A - z_A = 278.44 - 255 = 23.44$
Το ύψος στον κόμβο Ζ είναι :
$H_Z = H_A - h_{f A \to Z} = 278,44 - 8.56 = 269.88$
Το ύψος πίεσης στον κόμβο Ζ είναι :
$h_{pZ} = H_Z - z_Z = 269.88 - 245 = 24.88$

2η διαδρομή :

Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Α είναι :
$H_A = H_{\Delta 1} - h_{f\Delta 1 \to A} = 280 - 1,56 = 278,44$
Το ύψος πίεσης στον κόμβο Α είναι :
$h_{pA} = H_A - z_A = 278.44 - 255 = 23.44$
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Β είναι :
$H_B = H_A - h_{f A \to B} = 278,44 - 5,43 = 273,01$
Το ύψος πίεσης στον κόμβο Β είναι :
$h_{pB} = H_B - z_B = 273,01 - 252,5 = 20,51$
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Ε είναι :
$H_E = H_B - h_{fB \to E} = 273,01 - 3,03 = 269,98$
Το ύψος πίεσης στον κόμβο Ε είναι :

3η διαδρομή :

Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Γ είναι :
$H_\Gamma = H_{\Delta 2} - h_{f\Delta 2 \to \Gamma} = 275 - 0,5 = 274,5$
Το ύψος πίεσης στον κόμβο Γ είναι :
$h_{p\Gamma} = H_\Gamma - z_\Gamma = 274,5 - 250 = 24,5$
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Δ είναι :
$H_\Delta = H_\Gamma - h_{f\Gamma \to \Delta} = 274,5 - 5,17 = 269.33$
Το ύψος πίεσης στον κόμβο Δ είναι :
$h_{p\Delta} = H_\Delta - z_\Delta = 269.33 - 240 = 29.33$

4η διαδρομή :

Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Γ είναι :
$H_\Gamma = H_{\Delta 2} - h_{f\Delta 2 \to \Gamma} = 275 - 0,5 = 274,5$
Το ύψος πίεσης στον κόμβο Γ είναι :
$h_{p\Gamma} = H_\Gamma - z_\Gamma = 274,5 - 250 = 24,5$
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Β είναι :
$H_B = H_\Gamma - h_{f\Gamma \to B} = 274,5 - 1,49 = 273,01$
Το ύψος πίεσης στον κόμβο Β είναι :
$h_{pB} = H_B - z_B = 273,01 - 252,5 = 20,51$
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Ε είναι :
$H_E = H_B - h_{fB \to E} = 273,01 - 3,03 = 269,98$
Το ύψος πίεσης στον κόμβο Ε είναι :

$h_{pE} = H_E - z_E = 269,98 - 242,5 = 27,48$

Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Z είναι :

$H_Z = H_Z - h_{E \to Z} = 269,98 - 0,1 = 269,88$

Το ύψος πίεσης στον κόμβο Z είναι :

$h_{pZ} = H_Z - z_Z = 269,88 - 245 = 24,88$

$h_{pE} = H_E - z_E = 269,98 - 242,5 = 27,48$

Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Δ είναι :

$H_\Delta = H_\Delta - h_{E \to \Delta} = 269,98 - 0,65 = 269,33$

Το ύψος πίεσης στον κόμβο Δ είναι :

$h_{p\Delta} = H_\Delta - z_\Delta = 269,34 - 240 = 29,34$

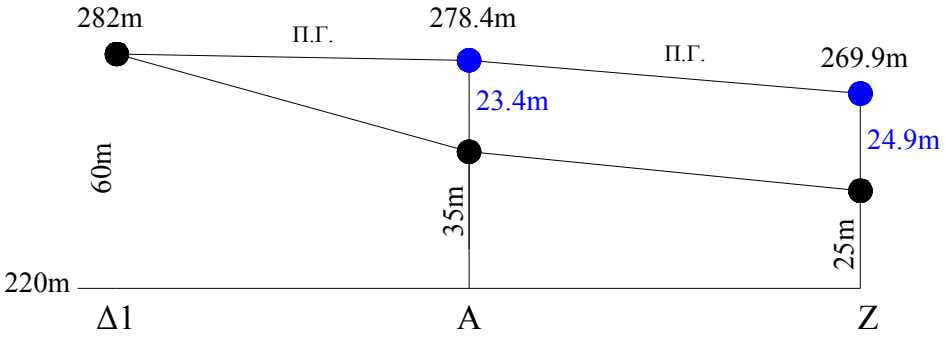
Οι απαιτήσεις για ύψος πίεσης στα 24 μέτρα σε κάθε κόμβο του δικτύου καλύπτονται εκτός από τους κόμβους Α και Β. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τα ύψη πίεσης σε κάθε κόμβο :

Πίνακας 4.3 : Ύψη πίεσης

ΚΟΜΒΟΣ	ΥΨΟΣ ΠΙΕΣΗΣ (m)
Α	23.44
Β	20.51
Γ	24.5
Δ	29.34
Ε	27.48
Ζ	24.88

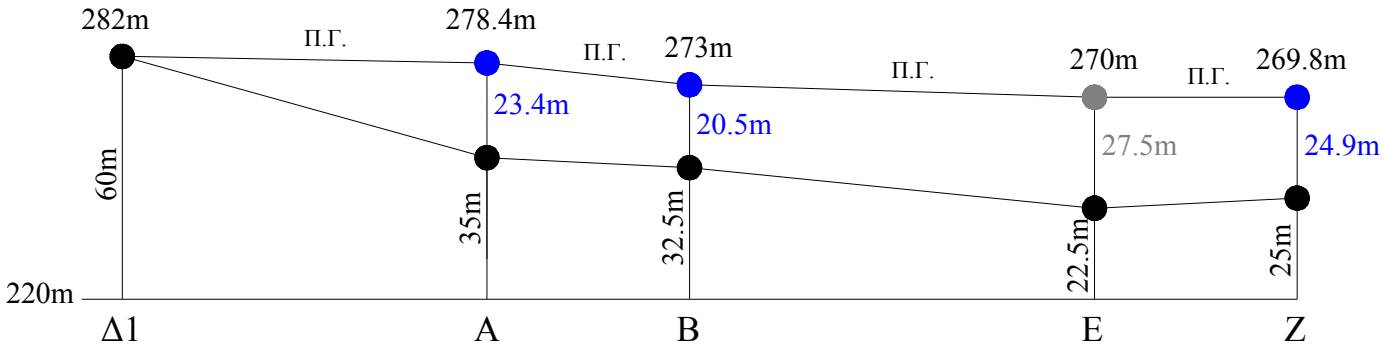
Σχεδιάζεται η πιεζομετρική γραμμή για κάθε διαδρομή νερού :

1η Διαδρομή :



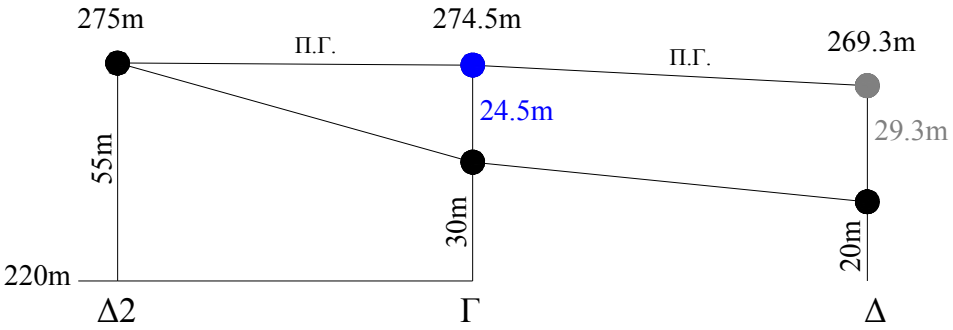
Σχήμα 2. 9 : Πιεζομετρική Γραμμή Δ1-Α-Ζ

2η Διαδρομή :



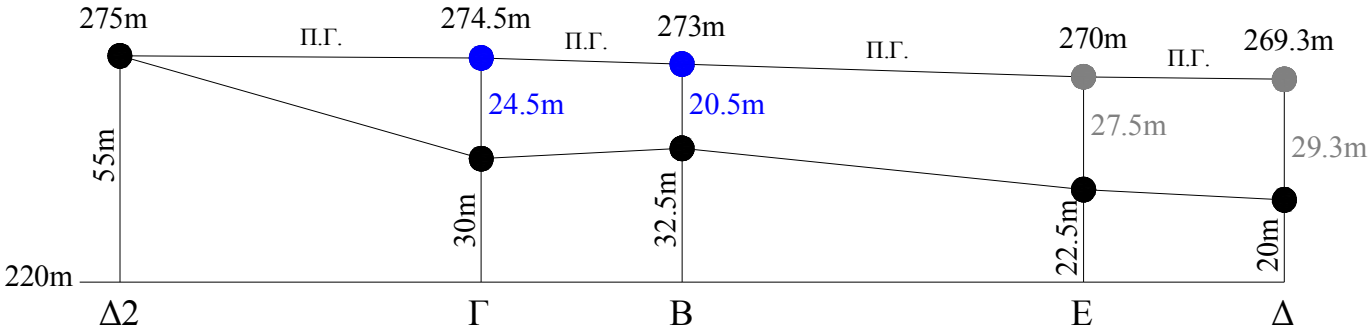
Σχήμα 2. 10 : Πιεζομετρική Γραμμή Δ1-Α-Β-Ε-Ζ

3η Διαδρομή :



Σχήμα 2. 11 : Πιεζομετρική γραμμή Δ2-Γ-Δ

4η διαδρομή :



Σχήμα 2. 12 : Πιεζομετρική Γραμμή Δ2-Γ-Β-Ε-Δ

Τα χρώματα που χρησιμοποιήθηκαν για να υποδείξουν το μέγεθος του ύψους πίεσης είναι τα εξής :

20-25 m	
25-30 m	
30-35 m	
35-40 m	

4.7 Δοκιμή διαφορετικών διαμέτρων

Μια πρώτη δοκιμή μπορεί να είναι η μείωση των διαμέτρων στους κλάδους που διέρχεται μικρή τιμή παροχής και παρουσιάζουν μικρές ταχύτητες. Επιλέγεται Φ 110 και τον κλάδο 2 και Φ 200 για τον κλάδο 9. Τα αποτελέσματα τις επίλυσης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 4.4 : Αποτελέσματα επιλύσεων

ΑΓΩΓΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ Q (L/s)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ V (m/s)	ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ hf (m)
1	Φ125	110.2	18.721	1.963	6.051
2	Φ110	98.6	7.660	1.003	1.923
3	Φ90	79.2	5.127	1.041	5.428
4	Φ90	79.2	-2.244	0.456	0.579

5	Φ90	79.2	-0.668	0.136	0.065
6	Φ90	79.2	6.703	1.361	9.042
7	Φ160	141	17.147	1.098	2.926
8	Φ225	198.2	32.794	1.063	1.672
9	Φ200	176.2	20.158	0.827	0.800

Το ύψος πίεσης που αναπτύσσεται σε κάθε κόμβο είναι :

Πίνακας 4.5 : Ύψη πίεσης

ΚΟΜΒΟΣ	**ΥΨΟΣ ΠΙΕΣΗΣ (m)**
Α	23.33
Β	19.78
Γ	24.21
Δ	28.78
Ε	26.86
Ζ	24.29

Μια δεύτερη δοκιμή θα μπορούσε να είναι η επιπλέον αλλαγή των διαμέτρων των κλάδων 6 και 7. Η αύξηση της διαμέτρου του 6 και η μείωση του 7 οδηγεί στην αλλαγή της κατεύθυνσης της φοράς του νερού στον κλάδο 5. επιλέγεται για τον 6, Φ 110 και για τον 7, Φ 125. Τα αποτελέσματα της επίλυσης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 4.6 : Αποτελέσματα επιλύσεων

ΑΓΩΓΟΣ	**ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ**	**ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ**	**ΠΑΡΟΧΗ Q (L/s)**	**ΤΑΧΥΤΗΤΑ V (m/s)**	**ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ hf (m)**
1	Φ125	110.2	16.762	1.757	4.890
2	Φ110	98.6	4.670	0.612	0.758
3	Φ90	79.2	5.611	1.139	6.444
4	Φ90	79.2	-1.760	0.357	0.370
5	Φ90	79.2	**3.795**	0.770	1.539
6	Φ110	96.8	11.166	1.517	8.666
7	Φ125	110.2	12.198	1.279	5.315
8	Φ225	198.2	35.300	1.144	1.924
9	Φ180	158.6	17.652	0.894	1.056

Το ύψος πίεσης που αναπτύσσεται στους κόμβους είναι :

Πίνακας 4.7 : Ύψη πίεσης

ΚΟΜΒΟΣ	**ΥΨΟΣ ΠΙΕΣΗΣ (m)**
Α	23.08
Β	20.69
Γ	23.94
Δ	27.50
Ε	25.37
Ζ	24.41

Από άποψη των τιμών της ταχύτητας η δεύτερη επιλογή είναι πολύ ικανοποιητική και επιπλέον αυξάνεται σημαντικά η ποσότητα της παροχής του κλάδου 6 που προηγουμένως έτεινε στο μηδέν.

Μια τρίτη επιλογή που επιδρά ιδιαίτερα στη λειτουργία του δικτύου είναι η εξής : Να αυξηθεί αρκετά η διάμετρος του κλάδου 1 και να μειωθεί αυτή του 9 τοποθετώντας Φ 160 και στους δύο. Με αυτή την επιλογή παρατηρείται πολύ μικρή τιμή παροχής και αλλαγή φοράς και στον κλάδο 2. Τα αποτελέσματα της επίλυσης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 4.8 : Αποτελέσματα επιλύσεων

ΑΓΩΓΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ Q (L/s)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ V (m/s)	ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ hf (m)
1	Φ160	141	24.325	1.558	2.856
2	Φ110	98.6	**-2.136**	0.280	0.180
3	Φ90	79.2	5.498	1.116	6.199
4	Φ90	79.2	-1.873	0.380	0.415
5	Φ90	79.2	**3.151**	0.640	1.086
6	Φ110	96.8	10.522	1.430	7.733
7	Φ125	110.2	12.956	1.358	5.964
8	Φ225	198.2	42.219	1.368	2.710
9	Φ160	141	10.733	0.687	0.745

Τα ύψη πίεσης που αναπτύσσονται στους κόμβους είναι :

Πίνακας 4.9 : Ύψη πίεσης

ΚΟΜΒΟΣ	ΥΨΟΣ ΠΙΕΣΗΣ (m)
Α	22.29
Β	21.94
Γ	24.26
Δ	28.06
Ε	25.97
Ζ	24.56

Δοκιμάζοντας διαφορετικές τιμές διαμέτρων στην επίλυση διαπιστώνεται ότι το ύψος πίεσης στους κόμβους εξαρτάται άμεσα από αυτές. Όμως οι διαφορές από τη μια δόκιμή στην άλλη δεν είναι τόσο μεγάλες ώστε να ικανοποιηθεί το απαιτούμενο ύψος πίεσης. Μπορεί να επιτευχθεί μια αύξηση της τάξης των 2 μέτρων. Για μεγαλύτερη αύξηση θα πρέπει να επιλυθεί το δίκτυο με μεγαλύτερα υψόμετρα δεξαμενών.

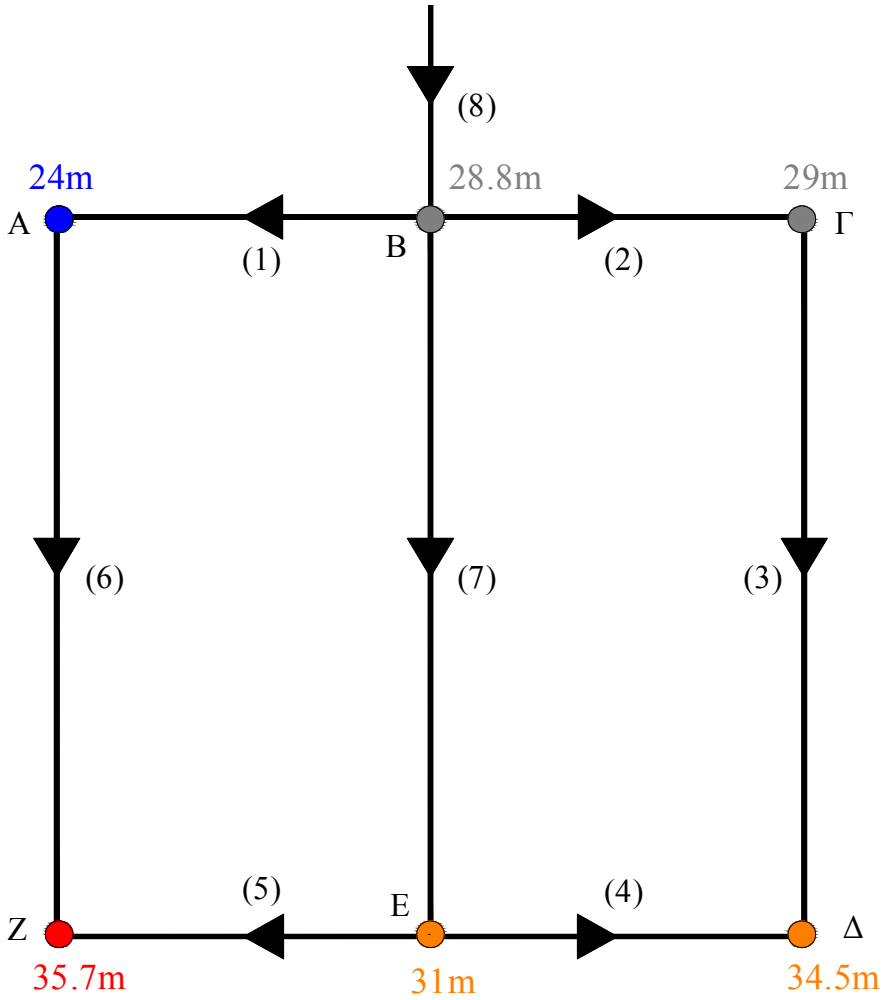
Το σημαντικότερο συμπέρασμα από την επίλυση του δεύτερου παραδείγματος όμως είναι ότι από το μέγεθος των διαμέτρων των αγωγών εξαρτάται η ποσότητα της παροχής και η φορά της κατεύθυνσης του νερού μέσα στο δίκτυο. Για το λόγο αυτό όταν υλοποιείται ένα δίκτυο ύδρευσης θα πρέπει οι διάμετροι που χρησιμοποιούνται να είναι ακριβώς ίδιοι με αυτούς που έχουν προκύψει από το σχεδιασμό, διαφορετικά η λειτουργία του δικτύου μπορεί να είναι διαφορετική και πολλές φορές αναποτελεσματική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^{ο}

Παράδειγμα επίλυσης κλειστού δικτύου ύδρευσης με χρήση βαλβίδας μείωσης πίεσης

5.1 Εκφώνηση παραδείγματος

Οι πιέσεις στους κόμβους του πρώτου παραδείγματος και η κατεύθυνση κίνησης του νερού στο δίκτυο φαίνονται στο παρακάτω σχήμα :

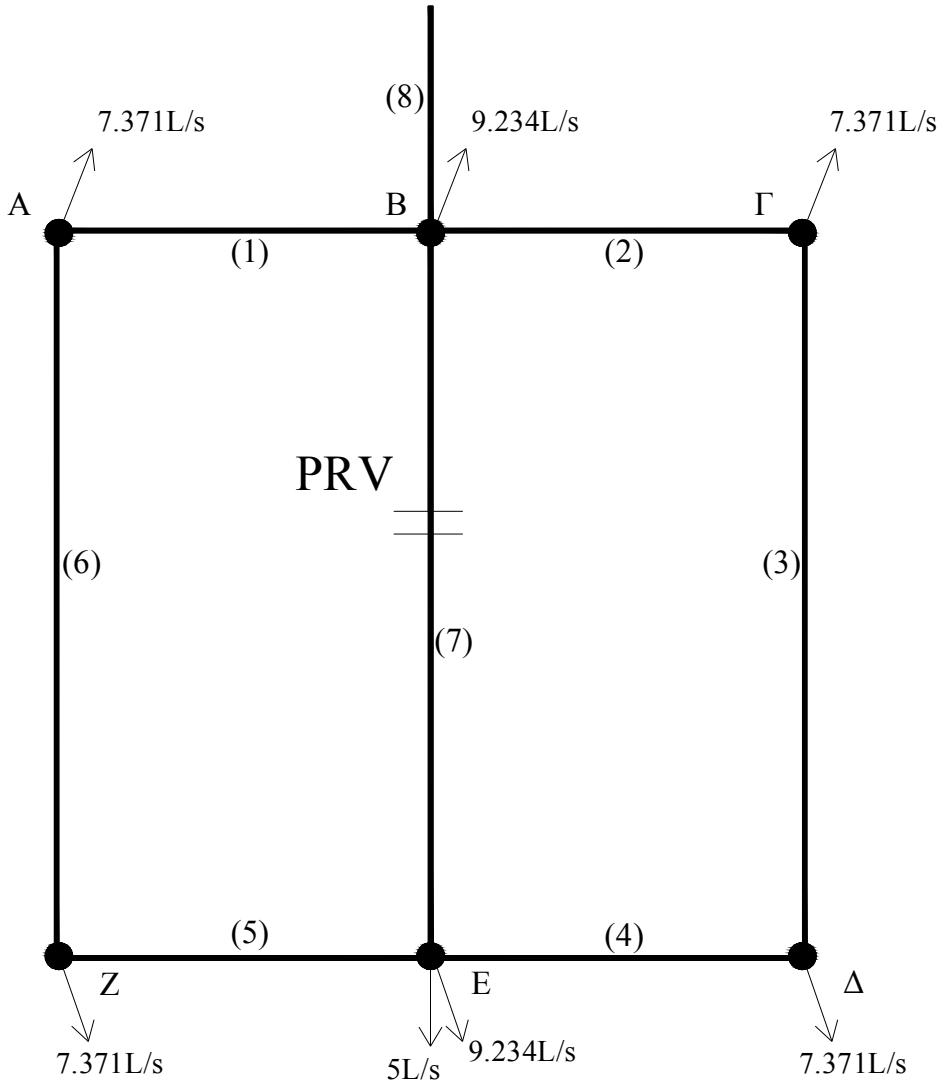


Σχήμα 5.1 : Πιέσεις στους κόμβους του μοντέλου του 1ου παραδείγματος

Επιδιώκεται να μειωθεί το ύψος πίεσης στους κόμβους Δ, Ε και Ζ. Η δεξαμενή που τροφοδοτεί το δίκτυο βρίσκεται ανάντη του κόμβου Β στα 282 m υψόμετρο και συνδέεται με το δίκτυο μέσω του κλάδου 8, αυτός είναι 200 m μήκος. Οι παροχές κατανάλωσης των κόμβων, τα μήκη και οι διάμετροι των κλάδων διατηρούνται ίδια με τα προηγούμενα παραδείγματα :

q_A = 7.371 L/s	D_1 = 110.2 mm (Φ 125)	L_1 = 162 m
q_B = 9.234 L/s	D_2 = 110.2 mm (Φ 125)	L_2 = 162 m
$q_Γ$ = 7.371 L/s	D_3 = 79.2 mm (Φ 90)	L_3 = 324 m
$q_Δ$ = 7.371 L/s	D_4 = 79.2 mm (Φ 90)	L_4 = 162 m
q_E = 14.234 L/s	D_5 = 79.2 mm (Φ 90)	L_5 = 162 m
q_Z = 7.371 L/s	D_6 = 79.2 mm (Φ 90)	L_6 = 324 m
	D_7 = 141 mm (Φ 160)	L_7 = 324 m
	D_8 = 277,6 mm (Φ 315)	L_8 = 200 m

Η μείωση της πίεσης επιτυγχάνεται τοποθετώντας μια βαλβίδα μείωσης πίεσης (PRV) στον κλάδο 7. Αυτή τοποθετείται 124 μέτρα κατάντη του κόμβου Β και μειώνει την πίεση του κόμβου Ε στα 24 μέτρα. Η παρέμβαση φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί :



Σχήμα 5.2 : Τοποθέτηση PRV

- *Βήματα επίλυσης* :

Για να μπορέσουν να επιλυθούν δίκτυα που περιέχουν μειωτές πίεσης στους αγωγούς τους πρέπει να ακολουθηθεί μια διαδικασία που να αποτυπώνει τη μείωση της πίεσης κατάντη των συσκευών. Αυτό επιτυγχάνεται αν, θεωρητικά, η συσκευή αντικατασταθεί από μια δεξαμενή. Η δεξαμενή αυτή θα πρέπει να βρίσκεται σε τέτοιο υψόμετρο ώστε αν αφαιρεθούν από αυτό οι απώλειες ενέργειας κατά μήκος του αγωγού και το υψόμετρο του κατάντη κόμβου, το ύψος πίεσης που θα υπολογίζεται να είναι το επιθυμητό. Αφού υπολογιστεί το υψόμετρο της θεωρητικής δεξαμενής, η επίλυση του δικτύου ακολουθεί τη διαδικασία επίλυσης του 2^{ου} παραδείγματος, όπως δηλαδή επιδρούν σε ένα δίκτυο δύο δεξαμενές τροφοδοσίας. Μετά την επίλυση θα πρέπει να ακολουθήσει σχεδιασμός της πιεζομετρικής γραμμής κι έλεγχος αν έχει επιτευχθεί η επιθυμητή μείωση πίεσης. Ένας επιπλέον έλεγχος που θα πρέπει να ακολουθήσει σε αυτό το παράδειγμα δεν είναι τόσο ο έλεγχος των διαμέτρων και κατά πόσο αυτοί επιδρούν στο δίκτυο ή η επιλογή βέλτιστων διαμέτρων για το δίκτυο (η επιρροή τους και η αποτελεσματικότητα την αλλαγής τους έχει αποδειχθεί στα προηγούμενα παραδείγματα), αλλά το πόση είναι η μέγιστη μείωση πίεσης που μπορεί να επιτύχει μια συσκευή PRV.

- *Υπολογισμός υψομέτρου θεωρητικής δεξαμενής*

Στην περίπτωση του 3^{ου} παραδείγματος επιθυμείται μετά την τοποθέτηση της συσκευής ο κόμβος Ε να έχει ύψος πίεσης 24 μέτρα. Αρχικά θα πρέπει να υπολογιστούν οι απώλειες ενέργειας κατά μήκος του αγωγού 7. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να θεωρηθεί μια αρχική ποσότητα παροχής νερού που θα διέρχεται από τον αγωγό. Η τιμή αυτή είναι η17.906 L/s που έχει χρησιμοποιηθεί στην επίλυση του 1^{ου} παραδείγματος ως αρχική τιμή. Το μήκος του αγωγού θεωρείται ότι είναι 200 μέτρα, όσο δηλαδή και η απόσταση από τη συσκευή στον κόμβο Ε. Έτσι για τον αγωγό κατάντη της συσκευής υπολογίζονται με τη σειρά :

$$\textit{Ο αριθμός Reynolds } Re: \ \mathrm{Re} = \frac{4*|0.017906|}{\pi*0.141*0.0000012} = 134743.660 \qquad (5,1)$$

$$\textit{Ο συντελεστής τριβής } f: \ f = \frac{0.25}{\left[\log\frac{5.74}{134743.660^{0.9}} + \frac{0.0001/0.141}{3.7}\right]^2} = 0.0206331 \qquad (5,2)$$

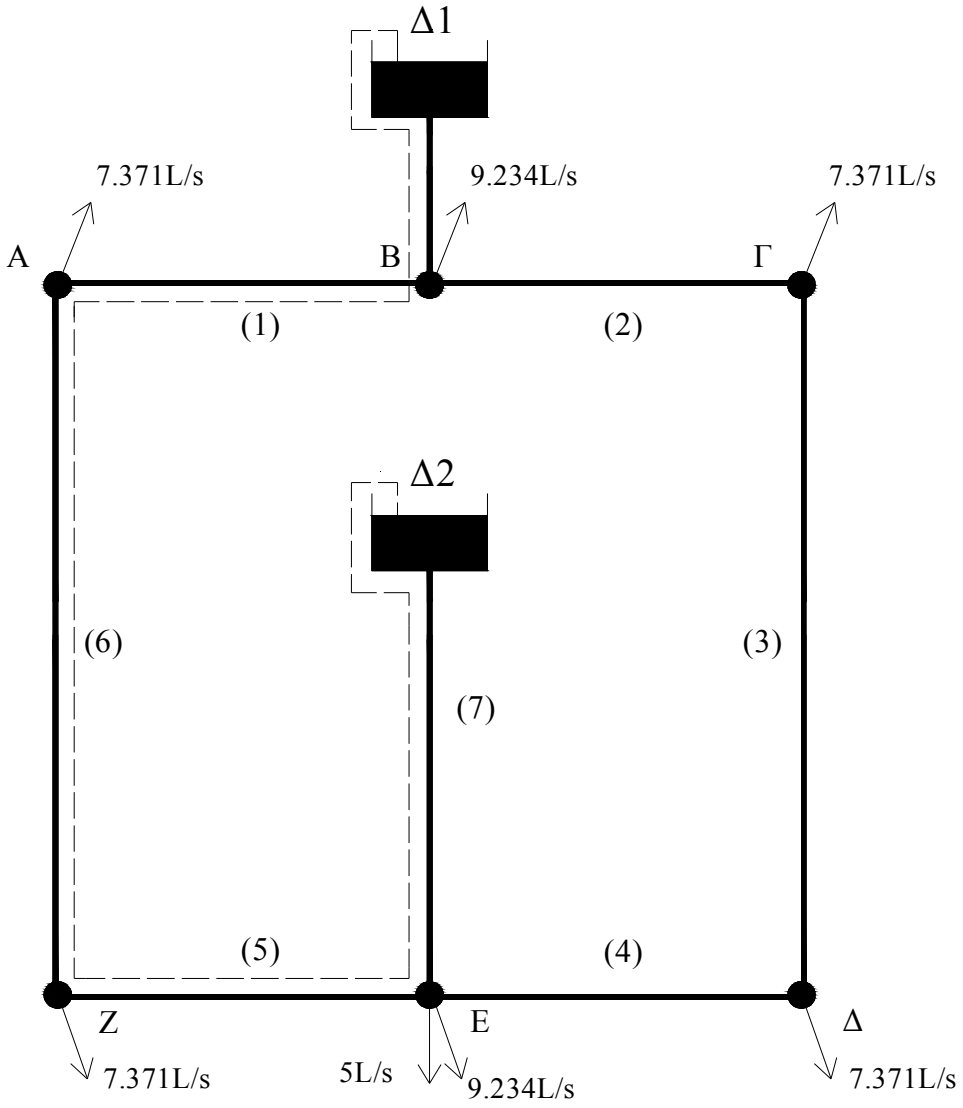
$$\textit{Η αντίσταση αγωγού } R: \ R = \frac{8*0.0206331*200}{9.81*\pi^2*0.141^5} = 6118.156 \qquad (5,3)$$

$$\textit{Απώλεια ενέργειας } h_f: \ h_f = 6118.156*(0.017906)^2 = 1.962 \qquad (5,4)$$

Έτσι η υψομετρική θέση της θεωρητικής δεξαμενής θα είναι :

$$H_\Theta = z_E + h_{pE} + h_{f\,\Theta\to E} = 242.5 + 24 + 1.962 = 268.462 \approx 269 \text{ m} \qquad (5,5)$$

Το παραπάνω σχήμα μετασχηματίζεται ως εξής :



Σχήμα 5.3 : Μετατροπή του δικτύου

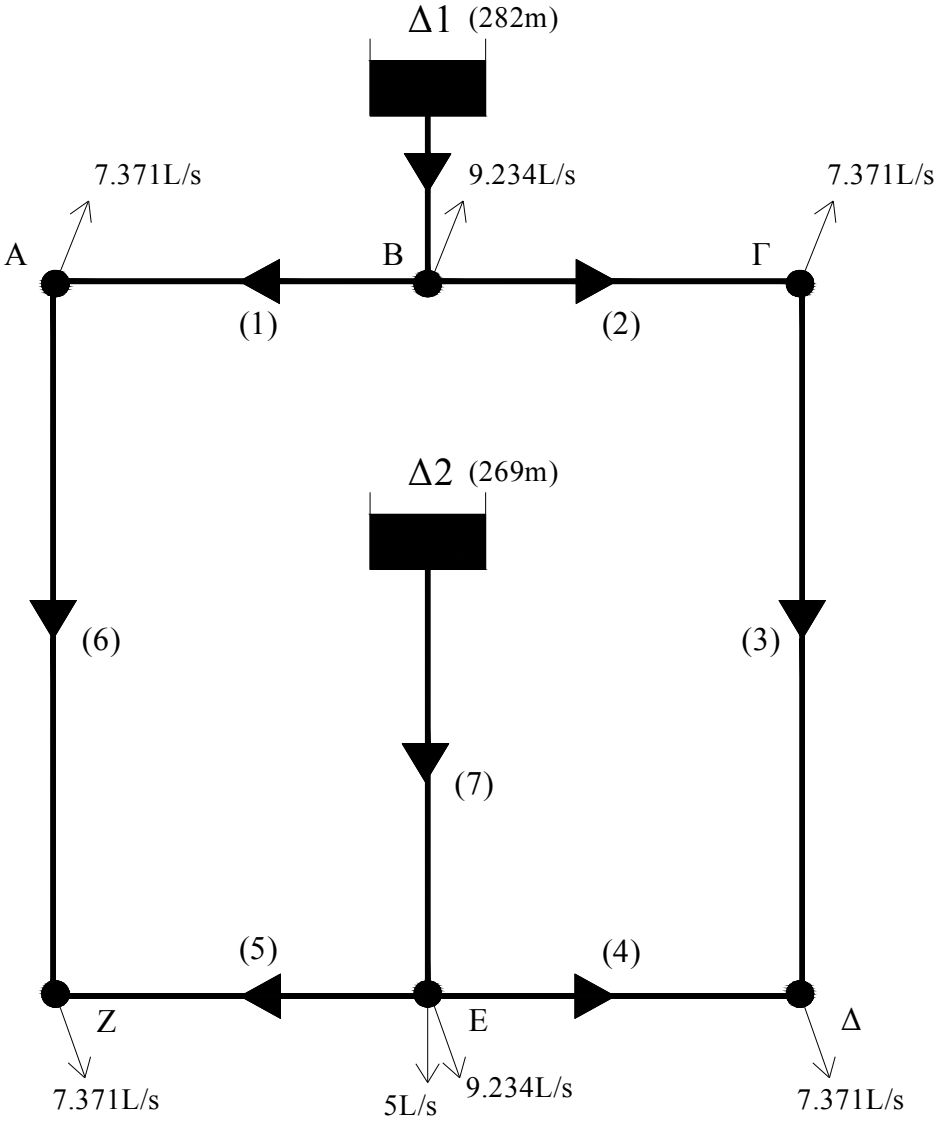
Οι εξισώσεις που θα σχηματιστούν για να περιγράψουν το νέο δίκτυο θα είναι :

- 6 εξισώσεις συνέχειας των κόμβων
- 2 εξισώσεις ενέργειας των βρόχων

Η διαφορά με το 1^{ο} παράδειγμα είναι ότι οι εξισώσεις ενέργειας θα περιγράφουν τον βρόχο που σχηματίζεται από τους αγωγούς 1 έως 6 και από τον «ψευδοβρόχο» ανάμεσα στις δύο δεξαμενές. Οι εξισώσεις συνέχειας παραμένουν οι ίδιες εκτός από αυτή του κόμβου Β στην οποία εφαρμόζεται και η παροχή από τον αγωγό 8.

- *Υπολογισμός πραγματικών παροχών* Q_i

Οι τρεις μέθοδοι που θα επιλύσουν το δίκτυο χρησιμοποιούν μια αρχική υπόθεση για την κατεύθυνση του νερού μέσα στους κλάδους. Το σχήμα που ακολουθεί δείχνει μια πιθανή διαδρομή του νερού στο δίκτυο :



Σχήμα 5.4 : Αρχική υπόθεση κατεύθυνσης νερού

5.2 Επίλυση με τη μέθοδο Q-cross

Βήμα 1^{ο} :

Μια εκτίμηση για τις αρχικές τιμές των παροχών του πρώτου βρόχου θα μπορούσε να είναι η ακόλουθη:

Q_1= –12.906 L/s
Q_2= 12.906 L/s
Q_3= 5.535 L/s
Q_4= –1.836 L/s
Q_5= 1.836 L/s
Q_6= –5.535 L/s

Βήμα 2ο :

Με γνωστές τις αρχικές παροχές και τις διαμέτρους υπολογίζονται για κάθε αγωγό του πρώτου βρόχου :

$$\textit{Ο αριθμός Reynolds } Re : \mathrm{Re}_1 = \frac{4 * |-0.012906|}{\pi * 0.1102 * 0.0000012} = 124262.172 \qquad (5,6)$$

Όμοια :
Re_2= 124262.172
Re_3= 74151.735
Re_4= 24596.673
Re_5= 24596.673
Re_6= 74151.735

$$\textit{Ο συντελεστής τριβής } f : \ f_1 = \frac{0.25}{\left[\log\frac{5.74}{124262.172^{0.9}} + \frac{0.0001/0.1102}{3.7}\right]^2} = 0.0215766 \qquad (5,7)$$

Όμοια :
f_2= 0.0215766
f_3= 0.0238525
f_4= 0.0276375
f_5= 0.0276375
f_6= 0.0238525

$$\textit{Η αντίσταση αγωγού } R : \ R_1 = \frac{8 * 0.0215766 * 162}{9.81 * \pi^2 * 0{,}1102^5} = 17770.978 \qquad (5,8)$$

Όμοια :
R_2= 17770.978
R_3= 204915.005
R_4= 118715.881
R_5= 118715.881
R_6= 204915.005

Βήμα 3ο :

Σύμφωνα με την κατεύθυνση του νερού στους κλάδους κατασκευάζεται το άθροισμα των απωλειών ενέργειας κατά μήκος του πρώτου βρόχου :

$$\Sigma h_{f1} = -R_1Q_1^2 + R_2Q_2^2 + R_3Q_3^2 - R_4Q_4^2 + R_5Q_5^2 - R_6Q_6^2 = 0.000 \qquad (5,9)$$

Υπολογίζεται το μέγεθος $\Sigma|2RQ|$:

$2R_1Q_1 + 2R_2Q_2 + 2R_3Q_3 + 2R_4Q_4 + 2R_5Q_5 + 2R_6Q_6 = 6326.077$ (5,10)

Διαιρώντας κατά μέλη και αντιστρέφοντας το πρόσημο προκύπτει η διορθωτική παροχή του βρόχου :

$\Delta Q_1 = 0.000000000$

Η τιμή της είναι μηδενική, όπως ακριβώς αναμένονταν να είναι μιας και οι κλάδοι του βρόχου είναι ανά δύο ίδιοι με ίδιες αρχικές παροχές και αντίθετη κατεύθυνση νερού.

Βήμα 4ο :

Προσθέτοντας αυτή στις αρχικές παροχές υπολογίζονται οι διορθωμένες παροχές νερού στους κλάδους :

$Q_1' = -0.012906 + \Delta Q_1 = -0.012906\ m^3/s$ (5,11)
$Q_2' = 0.012906 + \Delta Q_1 = 0.012906\ m^3/s$ (5,12)
$Q_3' = 0.005535 + \Delta Q_1 = 0.005535\ m^3/s$ (5,13)
$Q_4' = -0.001836 + \Delta Q_1 = -0.001836\ m^3/s$ (5,14)
$Q_5' = 0.001836 + \Delta Q_1 = 0.001836\ m^3/s$ (5,15)
$Q_6' = -0.005535 + \Delta Q_1 = -0.005535\ m^3/s$ (5,16)

Βήμα 5ο :

Τα τέσσερα παραπάνω βήματα ακολουθούνται και για τον «ψευδοβρόχο» μόνο που η παροχή του κλάδου 8 που τροφοδοτεί το δίκτυο δε θα διορθωθεί μιας και η ποσότητα του νερού που εισέρχεται στο δίκτυο είναι ακριβώς αυτή που δίνεται ως αρχική.

Επαναλαμβάνοντας για τον «ψευδοβρόχο» :

Βήμα 1ο :

$Q_7 = 17.906$ L/s
$Q_5 = 1.836$ L/s
$Q_6 = -5.535$ L/s
$Q_1 = -12.906$ L/s
$Q_8 = -52.952$ L/s

Βήμα 2ο :

Υπολογίζονται για κάθε κλάδο του «ψευδοβρόχου» :

Ο αριθμός Reynolds Re : $\mathrm{Re}_7 = \dfrac{4*|0.017906|}{\pi*0.141*0.0000012} = 134743.660$ (5,17)

Όμοια :
$\mathrm{Re}_5 = 24596.673$
$\mathrm{Re}_6 = 74151.735$
$\mathrm{Re}_1 = 124262.172$

Re_8= 202391.272

$$O\ συντελεστής\ τριβής\ f\ :\ f_7 = \frac{0.25}{\left[\log\frac{5.74}{134743.660^{0.9}} + \frac{0.0001/0.141}{3.7}\right]^2} = 0.0206331 \quad (5,18)$$

Όμοια :
f_5= 0.0276375
f_6= 0.0238525
f_1= 0.0215766
f_8= 0.0181328

$$H\ αντίσταση\ αγωγού\ R\ :\ R_7 = \frac{8*0.0206331*200}{9.81*\pi^2*0{,}141^5} = 6118.156 \quad (5,19)$$

Όμοια :
R_5= 118715.881
R_6= 204915.005
R_1= 17770.978
R_8= 181.769

Βήμα 3ο :

Σύμφωνα με την κατεύθυνση του νερού στους κλάδους κατασκευάζεται το άθροισμα των απωλειών ενέργειας κατά μήκος «ψευδοβρόχου» :

$$\Sigma h_{f\Psi} = R_7Q_7^2 + R_5Q_5^2 - R_6Q_6^2 - R_1Q_1^2 - R_8Q_8^2 = -7.386 + 282 - 269 \quad (5,20)$$

Υπολογίζεται το μέγεθος $\Sigma|2RQ|$:

$$2R_7Q_7 + 2R_5Q_5 + 2R_6Q_6 + 2R_1Q_1 + 2R_8Q_8 = 3401.392 \quad (5,21)$$

Διαιρώντας κατά μέλη και αντιστρέφοντας το πρόσημο προκύπτει η διορθωτική παροχή:

$$\Delta Q_\Psi = -\frac{\Sigma h_{f\Psi}}{\Sigma|2RQ|} = -0.00165059 \quad (5,23)$$

Βήμα 4ο :

Προσθέτοντας αυτή στις αρχικές παροχές υπολογίζονται οι διορθωμένες παροχές νερού στους κλάδους :

Q_7'= 0.017906 + ΔQ_2= 0.016255 m^3/s (5,24)
Q_5'= 0.001836 + ΔQ_2= 0.000185 m^3/s (5,25)
Q_6'= –0.005535 + ΔQ_2= –0.007186 m^3/s (5,26)
Q_1'= –0.012906 + ΔQ_2= –0.014557m^3/s (5,27)
Q_8'= –0.052925 m^3/s

Βήμα 5^{ο} :

Θεωρώντας τις παροχές που προκύπτουν αρχικές η διαδικασία επαναλαμβάνεται από την αρχή και για τους δύο βρόχους. Οι επαναλήψεις συνεχίζονται τόσες φορές όσες χρειάζονται για να μηδενιστούν οι διορθωτικές παροχές.

Η μέθοδος συγκλίνει μετά από 15 επαναλήψεις και οι τιμές των παροχών στους κλάδους είναι οι εξής:

Q_1= –14.494 L/s
Q_2= 14.494 L/s
Q_3= 7.123 L/s
Q_4= –0.248 L/s
Q_5= 0.248 L/s
Q_6= –7.123 L/s
Q_7= 14.730 L/s
Q_8= –52.952 L/s

Η φορά των παροχών είναι όπως ακριβώς θεωρήθηκε, μιας και δεν παρατηρήθηκε καμία αλλαγή στα πρόσημα των αρχικών παροχών.

5.3 Επίλυση με τη μέθοδο Newton-Raphson

Βήμα 1^{ο} :

Ορίζονται αυθαίρετες αρχικές τιμές των παροχών των κλάδων :

Q_1= 12.906 L/s
Q_2= 12.906 L/s
Q_3= 5.535 L/s
Q_4= 1.836 L/s
Q_5= 1.836 L/s
Q_6= 5.535 L/s
Q_7= 17.906 L/s

Βήμα 2^{ο} :

Σχηματίζονται τα αθροίσματα απωλειών ενέργειας κατά μήκος κάθε βρόχου ανάλογα με τη φορά παροχής :

Βρόχος 1 : $F_1 = -R_1Q_1^2 + R_2Q_2^2 + R_3Q_3^2 - R_4Q_4^2 + R_5Q_5^2 - R_6Q_6^2$ (5,28)

«ψευδοβρόχος» : $F_2 = R_7Q_7^2 + R_5Q_5^2 - R_6Q_6^2 - R_1Q_1^2 - R_8Q_8^2$ (5,29)

Βήμα 3^{ο} :

Σε αυτή τη μέθοδο οι διορθωτικές παροχές που θα εφαρμοστούν στο αθροίσματα απωλειών ενέργειας θα είναι αυτές από τους 2 βρόχους που προϋπάρχουν πραγματικά, δηλαδή από τον πρώτο βρόχο που σχηματίζεται από τους κλάδους 1, 7, 5 και 6 και από τον δεύτερο που σχηματίζεται από τους κλάδους 2, 3, 4, και 7.

Εφαρμόζοντας τις διορθωτικές παροχές ΔQ_1 και ΔQ_2 από στις προηγούμενες σχέσεις:

$$\begin{aligned}
&F_1(\Delta Q) = -R_1|Q_1 - \Delta Q_1|(Q_1 - \Delta Q_1) + \\
&+R_2|Q_2 + \Delta Q_2|(Q_2 + \Delta Q_2) + \\
&+R_3|Q_3 + \Delta Q_2|(Q_3 + \Delta Q_2) - \\
&-R_4|Q_4 - \Delta Q_2|(Q_4 - \Delta Q_2) + \\
&+R_5|Q_5 + \Delta Q_1|(Q_5 + \Delta Q_1) - \\
&-R_6|Q_6 - \Delta Q_1|(Q_6 - \Delta Q_1)
\end{aligned} \tag{5,30}$$

$$\begin{aligned}
&F_2(\Delta Q) = R_7|Q_7 + \Delta Q_1 - \Delta Q_2|(Q_7 + \Delta Q_1 - \Delta Q_2) + \\
&+R_5|Q_5 + \Delta Q_1|(Q_5 + \Delta Q_1) - \\
&-R_6|Q_6 + \Delta Q_1|(Q_6 + \Delta Q_1) - \\
&-R_1|Q_1 - \Delta Q_1|(Q_1 - \Delta Q_1) - R_8|Q_8|(Q_8)
\end{aligned} \tag{5,31}$$

Οι τιμές των παροχών στους κλάδους πρέπει να είναι τέτοιες ώστε τα αθροίσματα των απωλειών ενέργειας γύρω από κάθε κόμβο να είναι μηδενικά :

$$F_1(\Delta Q) = 0 \tag{5,32}$$

$$F_2(\Delta Q) = 0 \tag{5,33}$$

Βήμα 4^o :

Το σύστημα των εξισώσεων μετά την εφαρμογή της μεθόδου γραμμικοποίησης Newton-Raphson έχει την εξής μορφή :

$$\left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q=0} \Delta Q_1 + \left.\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q=0} \Delta Q_2 = -F_1(0) \tag{5,34}$$

$$\left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_1)}\right|_{\Delta Q=0} \Delta Q_1 + \left.\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_2)}\right|_{\Delta Q=0} \Delta Q_2 = -F_2(0) \tag{5,35}$$

Ακολουθούν τα αποτελέσματα της παραγώγησης κάθε όρου του συστήματος ξεχωριστά :

$$\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_1)} = 2R_1|Q_1 - \Delta Q_1| + 2R_5|Q_5 + \Delta Q_1| + 2R_6|Q_6 - \Delta Q_1| \tag{5,36}$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_2)} = 2R_2|Q_2 + \Delta Q_2| + 2R_3|Q_3 + \Delta Q_2| + 2R_4|Q_4 - \Delta Q_2| \tag{5,37}$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_1)} = 2R_7\left|Q_7 - \Delta Q_2 + \Delta Q_1\right| + 2R_5\left|Q_5 + \Delta Q_1\right| + 2R_6\left|Q_6 - \Delta Q_1\right| + 2R_1\left|Q_1 - \Delta Q_1\right| \quad (5,38)$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_2)} = -2R_7\left|Q_7 + \Delta Q_1 - \Delta Q_2\right| \quad (5,39)$$

Μηδενίζοντας τον όρο ΔQ στις παραπάνω σχέσεις, οι εξισώσεις παίρνουν την εξής μορφή :

$$\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_1)}(\Delta Q = 0) = 2R_1\left|Q_1\right| + 2R_5\left|Q_5\right| + 2R_6\left|Q_6\right| \quad (5,40)$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_2)}(\Delta Q = 0) = 2R_2\left|Q_2\right| + 2R_3\left|Q_2\right| + 2R_4\left|Q_2\right| \quad (5,41)$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_1)}(\Delta Q = 0) = 2R_7\left|Q_7\right| + 2R_5\left|Q_5\right| + 2R_6\left|Q_6\right| + 2R_1\left|Q_1\right| \quad (5,42)$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_2)}(\Delta Q = 0) = -2R_7\left|Q_7\right| \quad (5,43)$$

$$F_1(0) = -R_1\left|Q_1\right|(Q_1) + R_2\left|Q_2\right|(Q_2) + R_3\left|Q_3\right|(Q_3) - \\ -R_4\left|Q_4\right|(Q_4) + R_5\left|Q_5\right|(Q_5) - R_6\left|Q_6\right|(Q_6) \quad (5,44)$$

$$F_2(0) = R_7\left|Q_7\right|(Q_7) + R_5\left|Q_5\right|(Q_5) - R_6\left|Q_6\right|(Q_6) - \\ -R_1\left|Q_1\right|(Q_1) - R_8\left|Q_8\right|(Q_8) \quad (5,45)$$

Βήμα 5^o :

υπολογίζονται για κάθε κλάδο :

$$O\ αριθμός\ Reynolds\ Re:\ \mathrm{Re}_1 = \frac{4*\left|-0.012906\right|}{\pi*0.1102*0.0000012} = 124262.172 \quad (5,46)$$

Όμοια :
Re_2 = 124262.172
Re_3 = 74151.735
Re_4 = 24596.673
Re_5 = 24596.673
Re_6 = 74151.735
Re_7 = 134743.660
Re_8 = 202391.272

Ο συντελεστής τριβής f : $f_1 = \dfrac{0.25}{\left[\log\dfrac{5.74}{124262.172^{0.9}} + \dfrac{0.0001/0.1102}{3.7}\right]^2} = 0.0215766$ (5,47)

Όμοια :
$f_2 = 0.0215766$
$f_3 = 0.0238525$
$f_4 = 0.0276375$
$f_5 = 0.0276375$
$f_6 = 0.0238525$
$f_7 = 0.0206331$
$f_8 = 0.0181328$

Η αντίσταση αγωγού R : $R_1 = \dfrac{8*0.0215766*162}{9.81*\pi^2*0{,}1102^5} = 17770.978$ (5,48)

Όμοια :
$R_2 = 17770.978$
$R_3 = 204915.005$
$R_4 = 118715.881$
$R_5 = 118715.881$
$R_6 = 204915.005$
$R_7 = 6118.156$
$R_8 = 181.769$

Βήμα 6ο :

Γίνονται οι υπολογισμοί των παραμέτρων του συστήματος :

$$\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_1)}(\Delta Q = 0) = 3163.038 \quad (5,49)$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_2)}(\Delta Q = 0) = 3163.038 \quad (5,50)$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_1)}(\Delta Q = 0) = 3382.142 \quad (5,51)$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_2)}(\Delta Q = 0) = -219.103 \quad (5,52)$$

$$F_1(0) = 0.000 \quad (5,53)$$

$$F_2(0) = 5.614 \quad (5,54)$$

Το σύστημα των εξισώσεων γίνεται :

$3163.038\Delta Q_1 + 3163.038\Delta Q_2 = -(0.000)$ (5,55)
$3382.142\Delta Q_1 - 219.103\Delta Q_2 = -(5.614)$ (5,56)

Η επίλυσή του δίνει:

$\Delta Q_1 = -0.0015589899$
$\Delta Q_2 = 0.0015589899$

Οι αρχικές παροχές διορθώνονται ως εξής :

$Q_1' = Q_1 - \Delta Q_1 = 0.014465\ m^3/s$ (5,57)
$Q_2' = Q_2 + \Delta Q_2 = 0.014465\ m^3/s$ (5,58)
$Q_3' = Q_3 + \Delta Q_2 = 0.007094\ m^3/s$ (5,59)
$Q_4' = Q_4 - \Delta Q_2 = 0.000277\ m^3/s$ (5,60)
$Q_5' = Q_5 + \Delta Q_1 = 0.000277\ m^3/s$ (5,61)
$Q_6' = Q_6 - \Delta Q_1 = 0.007094\ m^3/s$ (5,62)
$Q_7' = Q_7 + \Delta Q_1 - \Delta Q_2 = 0.014788\ m^3/s$ (5,63)
$Q_8' = Q_8 = 0.052952\ m^3/s$ (5,64)

Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται ως αρχικές και επαναλαμβάνεται η διαδικασία επίλυσης του συστήματος από την αρχή. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται άλλες 5 φορές μέχρι να μηδενιστούν οι διορθωτικές παροχές και να σταθεροποιηθούν οι τιμές των παροχών στους κλάδους. Τα τελικά αποτελέσματα είναι :

Q_1= 14.494 L/s
Q_2= 14.494 L/s
Q_3= 7.123 L/s
Q_4= 0.248 L/s
Q_5= 0.248 L/s
Q_6= 7.123 L/s
Q_7= 14.730 L/s
Q_8= 52.952 L/s

Παρατηρείται ότι δεν εμφανίζεται καμιά αλλαγή στα πρόσημα των αρχικών παροχών, δηλαδή η αρχική υπόθεση για την φορά του νερού είναι σωστή.

5.4 Επίλυση με τη γραμμική μέθοδο

Βήμα 1^o :

Η αρχική επιλογή τυχαίων κατευθύνσεων νερού στους κλάδους είναι κοινή για όλες τις μεθόδους.

Βήμα 2^o :

Χρησιμοποιώντας αρχική παροχή για κάθε κλάδο την τιμή 1,00 m^3/s υπολογίζονται τα παρακάτω μεγέθη :

$$\textit{O αριθμός Reynolds Re}: \ \mathrm{Re}_1 = \frac{4*|1.00|}{\pi*0.1102*0.0000012} = 9628248.221 \qquad (5,65)$$

Όμοια :
Re_2= 9628248.221
Re_3= 13396880.73
Re_4= 13396880.73
Re_5= 13396880.73
Re_6= 13396880.73
Re_7= 7525056.411
Re_8= 3822164.820

$$\textit{O συντελεστής τριβής } f: \ f_1 = \frac{0.25}{\left[\log\frac{5.74}{96288248.221^{0.9}} + \frac{0.0001/0.1102}{3.7}\right]^2} = 0.0192351 \qquad (5,66)$$

Όμοια :
f_2 = 0.0192351
f_3 = 0.0208331
f_4 = 0.0208331
f_5= 0.0208331
f_6 = 0.0208331
f_7 = 0.0181722
f_8 = 0.0157654

$$\textit{H αντίσταση αγωγού } R: \ R_1 = \frac{8*0.0192351*162}{9.81*\pi^2*0.1102^5} = 15842.475 \qquad (5,67)$$

Όμοια :
R_2 = 15842,475
R_3 = 178975,665
R_4 = 89487,833
R_5 = 89487,833
R_6 = 178975,665
R_7 = 5388,436
R_8 = 158,037

Βήμα 3^o :

Σχηματίζονται οι παρακάτω εξισώσεις :

2 Εξισώσεις ενέργειας :

$$-R_1Q_1^2 + R_2Q_2^2 + R_3Q_3^2 - R_4Q_4^2 + R_5Q_5^2 - R_6Q_6^2 = 0 \qquad (5,68)$$
$$R_7Q_7^2 + R_5Q_5^2 - R_6Q_6^2 - R_1Q_1^2 - R_8Q_8^2 = -13 \qquad (5,69)$$

6 Εξισώσεις συνέχειας :

$$Q_1 - Q_6 = 7.371 \qquad (5,70)$$

$Q_8 - Q_1 - Q_2 - Q_7 = 9.234$ (5,71)
$Q_2 - Q_3 = 7.371$ (5,72)
$Q_3 - Q_4 = 7.371$ (5,73)
$Q_4 + Q_7 + Q_5 = 14.234$ (5,74)
$Q_6 - Q_5 = 7.371$ (5,75)

Βήμα 4^o :

Υπολογίζεται Ο παράγοντας γραμμικοποίησης $\alpha_i = R_i |Q_i|$:

$$\alpha_1 = 15842.475 * |1.00| = 15842.475 \quad (5.76)$$

Όμοια :
$\alpha_2 =$ 15842.475
$\alpha_3 =$ 178975.665
$\alpha_4 =$ 89487.833
$\alpha_5 =$ 89487.833
$\alpha_6 =$ 178975.665
$\alpha_7 =$ 5388.436
$\alpha_8 =$ 158.037

βήμα 5^o :

Μορφώνεται το γραμμικό σύστημα εξισώσεων. Η επιλογή των 5 εξισώσεών συνέχειας είναι τυχαία :

$$\begin{vmatrix} -\alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & -\alpha_4 & \alpha_5 & -\alpha_6 & 0 & 0 \\ -\alpha_1 & 0 & 0 & 0 & \alpha_5 & -\alpha_6 & -\alpha_7 & -\alpha_8 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \\ Q_7 \\ Q_8 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ -13 \\ 7.370 \\ 9.234 \\ 7.371 \\ 7.371 \\ 14.234 \\ 7.371 \end{vmatrix}$$

Μετά από αριθμητική αντικατάσταση προκύπτει το παρακάτω σύστημα 8x8 προς επίλυση :

$$\begin{vmatrix} -15842.5 & 15842.5 & 178975.7 & -89487.8 & 89487.8 & -178975.7 & 0 & 0 \\ -15842.5 & 0 & 0 & 0 & 89487.8 & -178975.7 & -5388.4 & -158.0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \\ Q_7 \\ Q_8 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ -13 \\ 7.370 \\ 9.234 \\ 7.371 \\ 7.371 \\ 14.234 \\ 7.371 \end{vmatrix}$$

Βήμα 6^{ο} :

Η επίλυση αυτού του συστήματος μπορεί να γίνει με διάφορες μαθηματικές μεθόδους. Μια από αυτές είναι η εύρεση του αντίστροφου πίνακα του πρώτου μέλους της εξίσωσης και ο πολλαπλασιασμός του με το δεύτερο μέλος αυτής. Το αποτέλεσμα θα είναι νέες τιμές των παροχών στους κλάδους για τις οποίες θα επαναληφθεί η διαδικασία από την αρχή :

$Q(1)_1$= 9.755L/s
$Q(1)_2$= 9.755L/s
$Q(1)_3$= 2.384L/s
$Q(1)_4$= 4.987L/s
$Q(1)_5$= 4.987L/s
$Q(1)_6$= 2.384L/s
$Q(1)_7$= 24.207L/s
$Q(1)_8$= 52.952L/s

Μετά την επανάληψη της διαδικασίας οι νέες τιμές που προκύπτουν είναι :

$Q(2)_1$= 19.932 L/s
$Q(2)_2$= 19.932 L/s
$Q(2)_3$= 12.561 L/s
$Q(2)_4$= –5.190 L/s
$Q(2)_5$= –5.190 L/s
$Q(2)_6$= 12.561 L/s
$Q(2)_7$= 3.854 L/s
$Q(2)_8$= 52.952 L/s

Βήμα 7^{ο} :

Οι τιμές που θα χρησιμοποιηθούν για αρχικές στην επόμενη επανάληψη θα είναι ο μέσος όρος των δύο παραπάνω :

$[Q(1)_1 + Q(2)_1] / 2$ = 14.844 L/s (5,77)
$[Q(1)_2 + Q(2)_2] / 2$ = 14.844 L/s (5,78)
$[Q(1)_3 + Q(2)_3] / 2$ = 7.473 L/s (5,79)
$[Q(1)_4 + Q(2)_4] / 2$ = –0.102 L/s (5,80)
$[Q(1)_5 + Q(2)_5] / 2$ = –0.102 L/s (5,81)

$[Q(1)_6 + Q(2)_6] / 2 = 7.473$ L/s (5,82)
$[Q(1)_7 + Q(2)_7] / 2 = 14.031$ L/s (5,83)
$[Q(1)_8 + Q(2)_8] / 2 = 52.952$ L/s (5,84)

Συνεχίζοντας τη διαδικασία με αυτό τον τρόπο η μέθοδος καταλήγει μετά από 27 επαναλήψεις στα εξής αποτελέσματα :

$Q_1 = 14.494$ L/s
$Q_2 = 14.494$ L/s
$Q_3 = 7.123$ L/s
$Q_4 = 0.248$ L/s
$Q_5 = 0.248$ L/s
$Q_6 = 7.123$ L/s
$Q_7 = 14.730$ L/s
$Q_8 = 52.952$ L/s

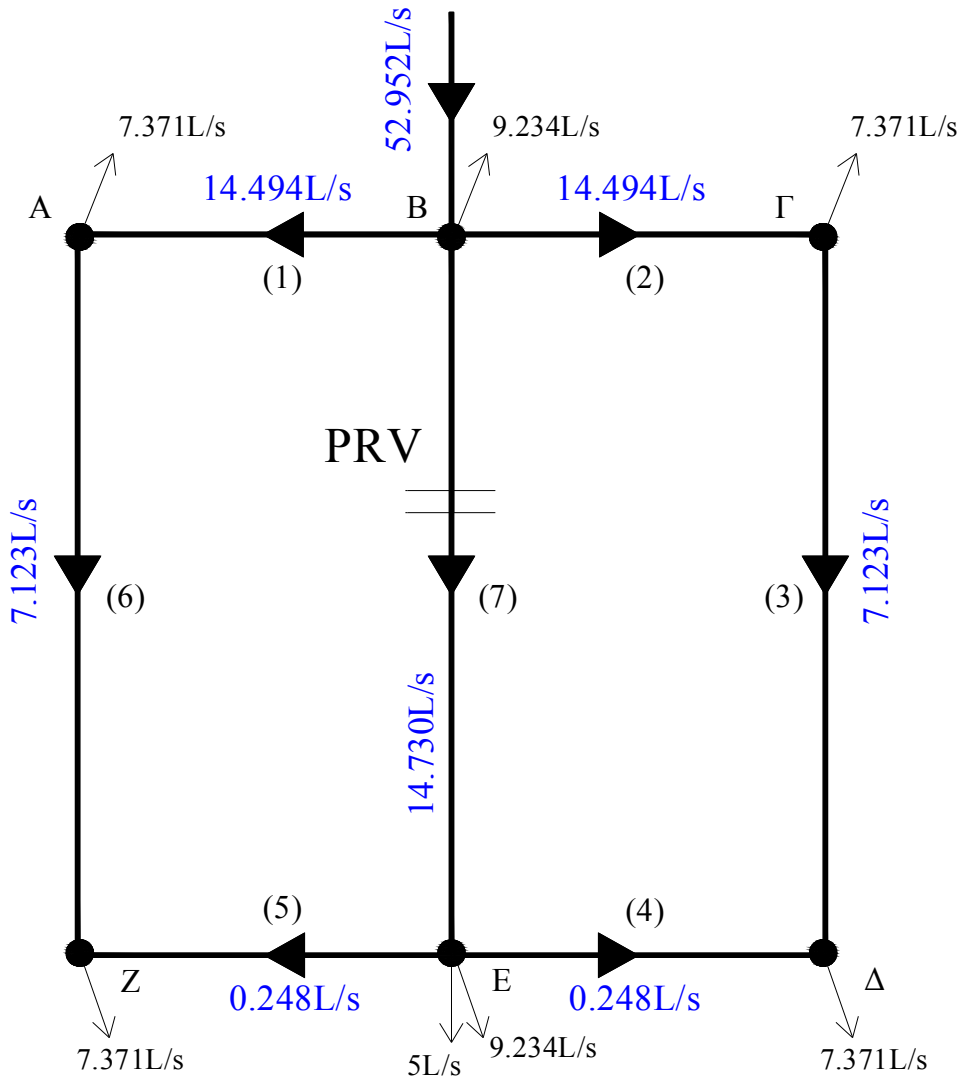
5.5 Αποτελέσματα επίλυσης

Οι τιμές των παροχών, της ταχύτητας και της απώλειας ενέργειας κατά μήκος του κάθε κλάδου φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί :

Πίνακας 5.1 : Αποτελέσματα επιλύσεων

ΑΓΩΓΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ Q (L/s)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ V (m/s)	ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ hf (m)
1	Φ125	110.2	14.494	1.52	3.697
2	Φ125	110.2	14.494	1.52	3.697
3	Φ90	79.2	7.123	1.45	10.158
4	Φ90	79.2	0.248	0.05	0.012
5	Φ90	79.2	0.248	0.05	0.012
6	Φ90	79.2	7.123	1.45	10.158
7	Φ160	141	14.730	0.94	1.354
8	Φ315	277.6	52.952	0.87	0.510

Σχηματικά :



Σχήμα 5.5 : Παροχές στους κλάδους μετά την επίλυση

Η χρήση συσκευής μείωσης πίεσης δεν επέφερε αλλαγή στη συμμετρικότητα του δικτύου και αφού χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιοι διάμετροι και διατηρήθηκαν οι ίδιες παροχές κατανάλωσης στους κόμβους, όπως και στο 1^{ο} παράδειγμα, υπολογίζονται ακριβώς ίδιες παροχές νερού στους κλάδους 1 και 2, στους 3 και 6 και στους 4 και 5.

Παρατηρείται ότι για να επιτευχτεί η μείωση πίεσης, η συσκευή μειώνει την ποσότητα του νερού που παρέχεται από τον αγωγό 7. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα στους αγωγούς 4 και 5 η τιμή της παροχής να είναι πολύ μικρή.

5.6 Προσδιορισμός πιεζομετρικής γραμμής του δικτύου

Τα υψόμετρα των κόμβων και οι απώλειες ενέργειας κατά μήκος των κλάδων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 5.2 : Υψόμετρα και απώλειες φορτίου

ΚΟΜΒΟΣ	**ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)**	**ΚΛΑΔΟΣ**	**ΦΟΡΑ ΠΑΡΟΧΗΣ**	**ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ h_f (m)**
Α	255	1	Β→Α	3.697
Β	252.5	2	Β→ Γ	3.697
Γ	250	3	Γ→Δ	10.158

Δ	240	4	Ε→Δ	0.012
Ε	242,5	5	Ε→Ζ	0.012
Ζ	245	6	Α→Ζ	10.158
Δ1	282	7	Δ2→Ε	1.354
Δ2	269	8	Δ1→Β	0.510

Οι διαδρομές που ακολουθεί το νερό μέσα στους κλάδους του δικτύου είναι τέσσερεις :

1. Δεξαμενή – Κόμβος Β – Κόμβος Α – Κόμβος Ζ
2. Δεξαμενή – Κόμβος Β – Κόμβος Ε – Κόμβος Ζ
3. Δεξαμενή – Κόμβος Β – Κόμβος Γ – Κόμβος Δ
4. Δεξαμενή – Κόμβος Β – Κόμβος Ε – Κόμβος Δ

Ακολουθώντας κάθε μια από αυτές υπολογίζεται το ύψος της γραμμής ενέργειας και το ύψος πίεσης σε κάθε κόμβο :

1η Διαδρομή :

Το ύψος ενέργειας στη δεξαμενή είναι :
$H_{\Delta E\Xi} = 282$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Β είναι :
$H_B = H_{\Delta E\Xi} - h_{f\Delta E\Xi \to B} = 282 - 0.5 = 281.5$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Β είναι :
$h_{pB} = H_B - z_B = 281.5 - 252.5 = 29$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Α είναι :
$H_A = H_B - h_{fB \to A} = 281.5 - 3.7 = 277.8$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Α είναι :
$h_{pA} = H_A - z_A = 277.8 - 255 = 22.8$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Ζ είναι :
$H_Z = H_Z - h_{fA \to Z} = 277.8 - 10.2 = 267.6$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Ζ είναι :
$h_{pZ} = H_Z - z_Z = 267.6 - 245 = 22.6$ m

2η Διαδρομή :

Το ύψος ενέργειας στη δεξαμενή είναι :
$H_{\Delta E\Xi} = 282$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Β είναι :
$H_B = H_{\Delta E\Xi} - h_{f\Delta E\Xi \to B} = 282 - 0.5 = 281.5$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Β είναι :
$h_{pB} = H_B - z_B = 281.5 - 252.5 = 29$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Ε είναι :
$H_E = H_{PRV} - h_{fPRV \to E} = 269 - 1.4 = 267.6$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Ε είναι :
$h_{pE} = H_E - z_E = 267.6 - 242.5 = 25.1$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Ζ είναι :
$H_Z = H_Z - h_{fE \to Z} = 276.6 - 0 = 267.6$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Ζ είναι :
$h_{pZ} = H_Z - z_Z = 267.6 - 245 = 22.6$ m

3η Διαδρομή :

Το ύψος ενέργειας στη δεξαμενή είναι :
$H_{\Delta E\Xi} = 282$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Β είναι :
$H_B = H_{\Delta E\Xi} - h_{f\Delta E\Xi \to B} = 282 - 0.5 = 281.5$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Β είναι :
$h_{pB} = H_B - z_B = 281.5 - 252.5 = 29$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Γ είναι :
$H_\Gamma = H_B - h_{fB \to \Gamma} = 281.5 - 3.7 = 277.8$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Α είναι :
$h_{p\Gamma} = H_\Gamma - z_\Gamma = 277.8 - 250 = 27.8$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Δ είναι :
$H_\Delta = H_\Gamma - h_{f\Gamma \to \Delta} = 277.8 - 10.2 = 267.6$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Δ είναι :
$h_{p\Delta} = H_\Delta - z_\Delta = 267.6 - 240 = 27.6$ m

4η Διαδρομή :

Το ύψος ενέργειας στη δεξαμενή είναι :
$H_{\Delta E\Xi} = 282$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Β είναι :
$H_B = H_{\Delta E\Xi} - h_{f\Delta E\Xi \to B} = 282 - 0.5 = 281.5$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Β είναι :
$h_{pB} = H_B - z_B = 281.5 - 252.5 = 29$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Ε είναι :
$H_E = H_{PRV} - h_{fPRV \to E} = 269 - 1.4 = 267.6$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Ε είναι :
$h_{pE} = H_E - z_E = 267.6 - 242.5 = 25.1$ m
Το ύψος ενέργειας στον κόμβο Δ είναι :
$H_\Delta = H_E - h_{E \to \Delta} = 276.6 - 0 = 267.6$ m
Το ύψος πίεσης του κόμβου Δ είναι :
$h_{p\Delta} = H_\Delta - z_\Delta = 267.6 - 240 = 27.6$ m

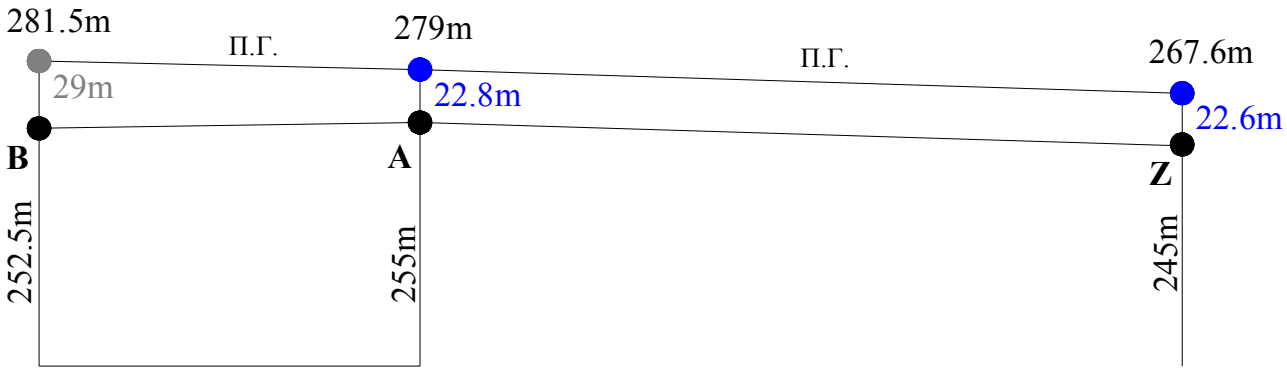
Παρατηρείται ότι το ύψος πίεσης είναι ικανοποιητικό σε κάθε κόμβο του δικτύου εκτός από τον Α :

Πίνακας 5.3 : Ύψη πίεσης

ΚΟΜΒΟΣ	ΥΨΟΣ ΠΙΕΣΗΣ (m)
Α	22.8
Β	29
Γ	27.8
Δ	27.6
Ε	25.1
Ζ	22.6

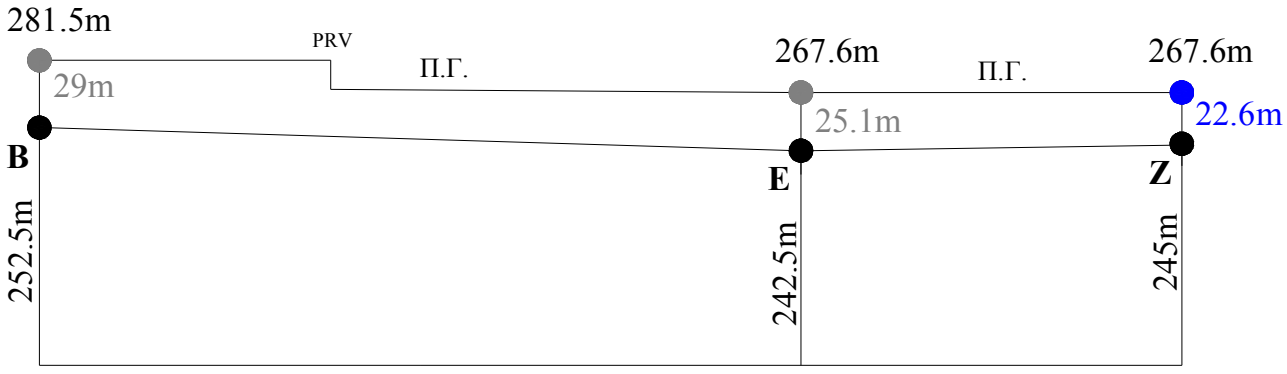
Σχεδιάζεται η πιεζομετρική γραμμή κάδε διαδρομής :

1η Διαδρομή :



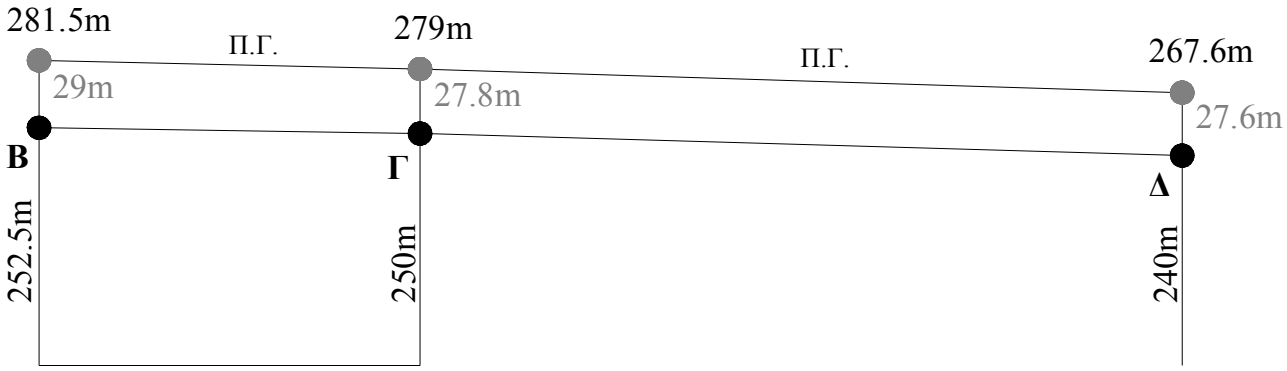
Σχήμα 5.6 : Πιεζομετρική Γραμμή Β-Α-Ζ

2η Διαδρομή :



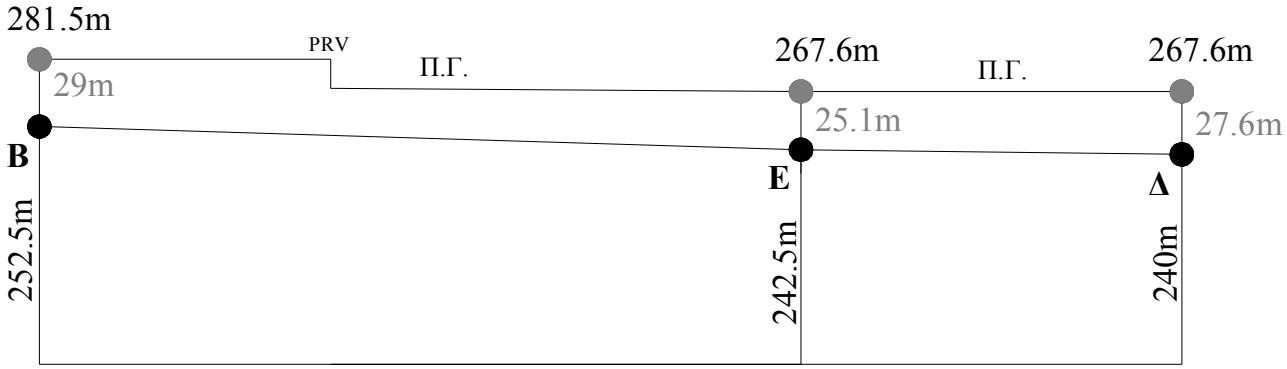
Σχήμα 5.7 : Πιεζομετρική Γραμμή Β-Ε-Ζ

3η Διαδρομή :



Σχήμα 5.8 : Πιεζομετρική Γραμμή Β-Γ-Δ

4η Διαδρομή :



Σχήμα 5.9 : Πιεζομετρική Γραμμή Β-Ε-Δ

Τα χρώματα που χρησιμοποιούνται για να υποδείξουν το μέγεθος του ύψους πίεσης είναι τα εξής :

20-25 m	
25-30 m	
30-35 m	
35-40 m	

Τα αποτελέσματα της επίλυσης και η κατασκευή της πιεζομετρικής γραμμής δίνουν μία διαφορετική τιμή για το ύψος πίεσης του κόμβου Ε από αυτή που επιδιώκεται να έχει μετά την τοποθέτηση της βαλβίδας μείωσης πίεσης. Το ύψος πίεσης είναι 25,1 m και όχι 24 m. Η εξήγηση είναι απλή, από τον κλάδο 7 διέρχονται 14,730 L/s και όχι 17,906 L/s που είχε αρχικά υποτεθεί και με βάση αυτά έγινε η ρύθμιση της βαλβίδας. Για να επιτευχθεί η ζητούμενη μείωση πίεσης θα πρέπει να ακολουθήσει νέα επιλογή υψομετρικής θέσης της θεωρητικής δεξαμενής.

5.7 Δοκιμή διαφορετικής υψομετρικής θέσης θεωρητικής δεξαμενής

Υπολογίζεται με πειραματισμούς ότι για να μειωθεί η πίεση του κόμβου Ε στα 24 μέτρα θα πρέπει η υψομετρική διαφορά των δύο δεξαμενών να είναι στα 14,3 μέτρα και όχι στα 13 που ήταν προηγουμένως.

Έτσι επιλέγεται η θεωρητική δεξαμενή να τοποθετηθεί στα 267,7 m

Η επίλυση του δικτύου με αυτή την υψομετρική διαφορά δίνει τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 5.4 : Υψόμετρα και απώλειες φορτίου

ΑΓΩΓΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ Q (L/s)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ V (m/s)	ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ hf (m)
1	Φ125	110.2	14.848	1.56	3.872
2	Φ125	110.2	14.848	1.56	3.872
3	Φ90	79.2	7.477	1.52	11.148
4	Φ90	79.2	-0.106	0.02	0.003
5	Φ90	79.2	-0.106	0.02	0.003
6	Φ90	79.2	7.477	1.52	11.148
7	Φ160	141	14.022	0.90	1.233
8	Φ315	277.6	52.952	0.87	0.510

Παρατηρείται ότι η ποσότητα της παροχής που διέρχεται από τον κλάδο 7 είναι μικρότερη από πριν, με αποτέλεσμα να πρέπει να αλλάξει η φορά των παροχών των κλάδων 4 και 5 έτσι ώστε να ικανοποιηθεί η κατανάλωση στον κόμβο Ε. Η τιμή της παροχής όμως είναι πολύ μικρή, με αποτέλεσμα οι ταχύτητες σε αυτούς τους κλάδους να είναι πολύ μικρές.

Τα αποτελέσματα της επίλυσης για τα ύψη πίεσης των κόμβων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 5.5 : Ύψη πίεσης

ΚΟΜΒΟΣ	ΥΨΟΣ ΠΙΕΣΗΣ (m)
Α	22.6
Β	29
Γ	27.6
Δ	26.5
Ε	24
Ζ	21.5

Παρατηρείται επιπλέον ότι με την παρέμβαση του PRV για αυτή τη συγκεκριμένη μείωση της τιμή της πίεσης, η πιεζομετρική γραμμή των τριών κατάντη κόμβων Δ, Ε, και Ζ γίνεται ευθεία γραμμή :

$$z_{\Delta} + h_{p\Delta} = z_{E} + h_{pE} = z_{Z} + h_{pZ} = 240 + 26.5 = 242.5 + 24 = 245 + 21.5 = 266.5 \qquad (5,85)$$

Για μικρότερη ή μεγαλύτερη μείωση η πιεζομετρική γραμμή ενέργειας θα σχηματιστεί πάλι όπως στα προηγούμενα παραδείγματα όπου η πιεζομετρική γραμμή των κόμβων Δ και Ζ ήταν μεν η ίδια, αλλά διαχωρίζονταν από αυτή του κεντρικού κόμβου Ε, μιας και θα περνάει μεγαλύτερη τιμή παροχής από τους κλάδους 4 και 5.

Αν η υψομετρική διαφορά των δύο δεξαμενών τοποθετηθεί στα 20 μέτρα, δηλαδή αν για τη θεωρητική δεξαμενή επιλεγεί υψόμετρο στα 262 μέτρα τότε τα αποτελέσματα της επίλυσης του δικτύου θα είναι τα εξής :

Πίνακας 5.6 : Υψόμετρα και απώλειες φορτίου

ΑΓΩΓΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ Q (L/s)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ V (m/s)	ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ hf (m)
1	Φ125	110.2	16.229	1.70	4.594
2	Φ125	110.2	16.229	1.70	4.594
3	Φ90	79.2	8.858	1.80	15.439
4	Φ90	79.2	-1.487	0.30	0.272
5	Φ90	79.2	-1.487	0.30	0.272
6	Φ90	79.2	8.858	1.80	15.439
7	Φ160	141	11.260	0.72	0.815
8	Φ315	277.6	52.952	0.87	0.510

Όπου παρατηρείται ακόμη μεγαλύτερη μείωση της ποσότητας της παροχής του κλάδου 7 και συγχρόνως αύξηση της παροχής των κλάδων 4 και 5. Για τις πιέσεις τα αποτελέσματα της επίλυσης είναι :

Πίνακας 5.7 : Ύψη πίεσης

ΚΟΜΒΟΣ	ΥΨΟΣ ΠΙΕΣΗΣ (m)
Α	21.9
Β	29
Γ	26.9
Δ	21.5
Ε	18.7
Ζ	16.5

Συμπεραίνεται λοιπόν πως όσο μεγαλύτερη επιθυμείται να είναι η μείωση πίεσης, τόσο μικρότερη θα είναι και η παροχή του κλάδου στον οποίο είναι τοποθετημένη η PRV. Δηλαδή η μέγιστη μείωση πίεσης που μπορεί να επιτευχθεί είναι αυτή που θα είχε ο κόμβος αν ο ανάντη αγωγός ήταν κλειστός. Αυτό είναι ένα συμπέρασμα που στην πρακτική εφαρμογή των δικτύων ύδρευσης είναι πολύ χρήσιμο, μιας και γίνονται γνωστά τα όρια απόδοσης μιας συσκευής μείωσης πίεσης και μπορεί να ακολουθήσει η κατάλληλη ρύθμιση της, χωρίς να δημιουργεί προβλήματα στον αγωγό που είναι τοποθετημένη και κατ επέκταση στο δίκτυο. Αυτό που αποδεικνύεται και στην πράξη είναι ότι λάθος ρυθμισμένες συσκευές στα δίκτυα ύδρευσης δημιουργούν περισσότερα προβλήματα από αυτά που επιχειρούν να λύσουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^{ο}

Σύγκριση και αξιολόγηση των μεθόδων επίλυσης

6.1 Σύγκριση και αξιολόγηση των μεθόδων επίλυσης

Στα προηγούμενα κεφάλαια γίνεται η επίλυση τριών μοντέλων δικτύων ύδρευσης. Κάθε μοντέλο επιλύεται με τις τρεις επαναληπτικές μεθόδους προσδιορισμού παροχών, την Q-Cross, τη Newton – Raphson και τη Γραμμική. Στις τρεις μεθόδους αυτές εισέρχονται ως δεδομένα τα μήκη, οι διάμετροι και οι τραχύτητες των αγωγών και τα αποτελέσματα τους είναι οι παροχές, οι ταχύτητες και οι απώλειες ενέργειας που αναπτύσσονται σε αυτούς. Παρατηρείται ότι, τα αποτελέσματα των μεθόδων για κάθε μοντέλο είναι όμοια μεταξύ τους, έτσι συμπεραίνεται ότι δε τίθεται θέμα μεγαλύτερης αξιοπιστίας κάποιας μεθόδου απέναντι σε κάποια άλλη. Διαφέρουν όμως, ως προς την προεργασία που χρειάζεται η κάθε μια για να ξεκινήσει η διαδικασία επίλυσής της και ως προς τον αριθμό των επαναλήψεων που χρειάζεται η κάθε μια για να συγκλείσει στο τελικό αποτέλεσμα. Όλες οι μέθοδοί έχουν επιλυθεί μέχρι το τρίτο δεκαδικό ψηφίο της ποσότητας της παροχής μετρούμενης σε λίτρα ανά δευτερόλεπτο. Η συνέχεια των επαναλήψεων κάθε μεθόδου θα έδινε σίγουρα μεγαλύτερης ακρίβειας αποτελέσματα αλλά τόσο λεπτομερείς ακρίβειες, δε παίζουν ιδιαίτερο ρόλο στην επίλυση των υδραυλικών δικτύων. Παρακάτω ακολουθεί μία αξιολόγηση για την κάθε μια και παρατίθεται ένας συγκριτικός πίνακας.

- *Μέθοδος Q-Cross*

Για να μπορέσει να ξεκινήσει η επίλυση ενός δικτύου με αυτή τη μέθοδο χρειάζεται αρχικά να γίνει μια υπόθεση για την κατεύθυνση του νερού μέσα στους κλάδους του, να θεωρηθούν αρχικές παροχές για κάθε κλάδο και να εισαχθούν με τα πρόσημά τους που θα υποδηλώνουν την κατεύθυνσή τους ανάλογα με την υπόθεση της φοράς. Για τη επίλυση της δε σχηματίζονται οι εξισώσεις συνέχειας και ενέργειας, αλλά με βάση τα αθροίσματα απωλειών ενέργειας κάθε βρόχου, υπολογίζεται μια διορθωτική παροχή για κάθε βρόχο. Η ανάλυσή της γίνεται για κάθε βρόχο ξεχωριστά και θέλει μια ειδική προσοχή για το πώς θα εκφραστούν οι παροχές στους κλάδους που ανήκουν σε δύο βρόχους. Εκεί εντοπίζεται και μια δυσκολία κατά την κατασκευή του αλγόριθμού της επίλυσής της, και είναι ένα στάδιο επιρρεπές σε λάθη κατά τον προγραμματισμό της.

Όσον αφορά τον αριθμό των επαναλήψεων που χρειάζεται να γίνουν μέχρι να γίνει η σύγκλιση στην πραγματική τιμή της παροχής, αυτός κυμαίνεται ανάλογα με την

πολυπλοκότητα του δικτύου. Αυτό είναι και το βασικό της μειονέκτημα που οδήγησε στην κατασκευή νέων μεθόδων επίλυσης. Χαρακτηριστικά, για την επίλυση του πρώτου παραδείγματος χρειάζεται 5 επαναλήψεις, για την επίλυση του δεύτερου 8 και για την επίλυση του τρίτου 15, συνεπώς για ένα μεγάλο δίκτυο, όπως μια πόλης, θα χρειαζόταν πολύ μεγάλο αριθμό επαναλήψεων που θα ήταν απαγορευτικός για επίλυση στο χέρι, αλλά και την περίοδο που ήταν η μοναδική μέθοδος επίλυσης, που η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών δεν ήταν τόσο διαδεδομένη θα χρειαζόταν αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα για να καταλήξει σε σωστό αποτέλεσμα.

- *Μέθοδος Newton – Raphson*

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί επίσης μια αρχική υπόθεση για την κατεύθυνση του νερού στους κλάδους του δικτύου, όπως επίσης και μια αρχική υπόθεση για τις τιμές των παροχών σε αυτούς. Αντίθετα με την προηγούμενη, για την επίλυσή της σχηματίζονται οι εξισώσεις συνέχειας και ενέργειας και για αυτό το λόγο δε χρειάζεται οι αρχικές παροχές να εισαχθούν στην επίλυση με τα πρόσημα που να υποδηλώνουν την κατεύθυνση του νερού. Η επίλυσή της βασίζεται στην επίλυση του μη γραμμικού συστήματος των παραπάνω εξισώσεων και για αυτή χρησιμοποιεί συγκεκριμένα τον αλγόριθμο των Newton – Raphson.

Το μειονέκτημά της είναι ότι η επίλυση μη γραμμικών συστημάτων των Newton – Raphson χρησιμοποιεί μερικές παραγώγους, συνεπώς επιβάλλεται η γνώση καλών μαθηματικών για να κατασκευαστεί ο αλγόριθμος της επίλυσής της. Επιπλέον όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα των δικτύων τόσο αυξάνεται ο αριθμός των μερικών παραγώγων που χρησιμοποιεί η επίλυση, έτσι όταν επιχειρείται να επιλυθεί ένα μεγάλο δίκτυο απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στη διεργασία πριν την επίλυση.

Από την άλλη μεριά το μεγάλο πλεονέκτημα της είναι ότι ο αριθμός των επαναλήψεων που χρειάζεται για να υπολογίσει τις σωστές τιμές των παροχών είναι πολύ μικρός. Ήδη από την πρώτη επανάληψη δίνει μια τιμή που είναι πολύ κοντά στην πραγματική. Αν δεν έχει γίνει κάποιο λάθος στον προγραμματισμό της, σε 4 με 5 επαναλήψεις έχει δώσει σωστά αποτελέσματα ανεξάρτητα της πολυπλοκότητας του δικτύου.

- *Γραμμική μέθοδος*

Όπως και η μέθοδος Newton – Raphson, επιχειρεί και αυτή να επιλύσει το σύστημα των μη γραμμικών εξισώσεων συνέχειας και ενέργειας, αφήνοντας όμως το μελετητή να επιλέξει όποια μεθοδολογία επίλυσης μη γραμμικών συστημάτων επιθυμεί. Για να ξεκινήσει η επίλυση είναι αναγκαία η κατασκευή των παραπάνω εξισώσεων. Επιπλέον είναι αναγκαία και σε αυτή τη μέθοδο μια αρχική υπόθεση για την κατεύθυνση του νερού στους κλάδους και για την τιμή της παροχής σε αυτούς, διαφέρει όμως με τις προηγούμενες, μιας και η τιμή αυτή μπορεί να είναι οποιαδήποτε, χωρίς να πρέπει να ικανοποιεί τη συνθήκη συνέχειας των κόμβων. Η αρχική τιμή της παροχής συνήθως είναι αυτή του 1 m^3/s και δε χρειάζεται πρόσημο κατεύθυνσης.

Είναι η πιο απλή μέθοδος στην κατασκευή του αλγόριθμου επίλυσής της, για αυτό προτιμάται και από τους προγραμματιστές ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η απλότητά

της περιορίζει την πιθανότητα λάθους κατά τη σύνταξη της επίλυσής της. Απέναντι σε αυτό το μεγάλο πλεονέκτημα όμως, βρίσκεται ο μεγάλος αριθμός επαναλήψεων που χρειάζεται για να συγκλείσει στο σωστό τελικό αποτέλεσμα. Ο αριθμός αυτός είναι μεγάλος ανεξάρτητα από την πολυπλοκότητα του δικτύου. Με τη σημερινή εξέλιξη της τεχνολογίας όμως, αυτό το μειονέκτημα μπορεί εύκολα να προσπεραστεί.

- *Συγκριτικός πίνακας*

	Q-Cross	**Newton-Raphson**	**Γραμμική**
Αρχική υπόθεση κατεύθυνσης νερού	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Αρχική υπόθεση παροχής κλάδων	ΝΑΙ (Να ικανοποιεί συνθήκη συνέχειας κόμβων)	ΝΑΙ (Να ικανοποιεί συνθήκη συνέχειας κόμβων)	ΝΑΙ (Οποιαδήποτε τιμή, συνήθως 1 m^3/s)
Πρόσημο αρχικών τιμών παροχών	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Επίλυση κάθε βρόχου ξεχωριστά	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Επίλυση όλων των βρόχων ταυτόχρονα	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Χρήση εξίσωσης συνέχειας	ΝΑΙ (Υπολογισμός αυθαίρετων αρχικών τιμών)	ΝΑΙ (Υπολογισμός αυθαίρετων αρχικών τιμών)	ΝΑΙ (Επίλυση συστήματος εξισώσεων μαζί με εξισώσεις ενέργειας)
Χρήση εξίσωσης ενέργειας	ΝΑΙ (Υπολογισμός διορθωτικής παροχής βρόχου)	ΝΑΙ (Επίλυση συστήματός)	ΝΑΙ (Επίλυση συστήματος εξισώσεων μαζί με εξισώσεις συνέχειας)
Αριθμός επαναλήψεων	Κυμαινόμενος ανάλογα με την πολυπλοκότητα του δικτύου	Μικρός	Μεγάλος
Ευκολία κατασκευής αλγορίθμου επίλυσης	Μέτρια	Μικρή	Μεγάλη
Πιθανότητα λάθους κατά την προετοιμασία της επίλυσης	Μέτρια	Μέτρια	Μικρή
Αξιοπιστία αποτελεσμάτων	Μεγάλη	Μεγάλη	Μεγάλη
Χρήση σε περιβάλλον Η/Υ	Μικρή	Μέτρια	Μεγάλη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^{ο}

Γενική περιγραφή της νήσου Νισύρου και της σημερινής κατάστασης ύδρευσής της

7.1 Η νήσος Νίσυρος

Η Νίσυρος είναι νησί του νότιου Αιγαίου και ένα από τα Δωδεκάνησα. Ανήκει στην ομάδα των αρχαίων Νοτίων Σποράδων, και βρίσκεται δυτικά της Ρόδου, ανάμεσα στην Κω, την Τήλο και την Αστυπάλαια. Συγκεκριμένα απέχει 8 μίλια ΒΔ. της Τήλου, και 10 μίλια νότια της Κω στην οποία και υπάγεται διοικητικά.

Εικόνα 7. 1 : Το λιμάνι της Νισύρου

Η Νίσυρος γνώρισε σημαντική ανάπτυξη κυρίως χάρη στους Νισύριους της διασποράς (Κωνσταντινούπολη, Αλεξάνδρεια, Οδησσός, Σμύρνη, Αμερική). Ενώθηκε οριστικά με την Ελλάδα το 1948. Πρωτεύουσα και λιμάνι της Νισύρου είναι το Μανδράκι, χτισμένο στα βορειοδυτικά, στους πρόποδες λόφου. Τα λευκά του σπίτια δημιουργούν έντονη αντίθεση με το σκούρο ηφαιστειογενές έδαφος. Αρκετά παραδοσιακά σπίτια διατηρούν την πολυχρωμία της πέτρας. Ανατολικά της πρωτεύουσας είναι τα Λουτρά, γνωστά για τις ιαματικές τους πηγές που λειτουργούν μέχρι σήμερα. Ανατολικά των Λουτρών βρίσκονται οι Πάλοι, γραφικό ψαροχώρι,

χτισμένο σε ανοιχτό όρμο με ωραία ακρογιαλιά. Στο μικρό λιμάνι δένουν αλιευτικά και τουριστικά σκάφη. Στο εσωτερικό του νησιού βρίσκονται ο Εμπορειός και η Νικιά. Είναι χτισμένα σε περιοχή κατάφυτη από ελιές, οπωροφόρα δέντρα, συκιές, αμπέλια, ενώ ο πρώτος έχει πηγές θερμού ατμού με θεραπευτικές ιδιότητες (ατμόλουτρα).

7.2 Γεωγραφία

Η Νίσυρος σχηματίστηκε από εκρήξεις ηφαιστείου, αποτελείται από ηφαιστειογενή βουνά, ενώ το κέντρο του νησιού καταλαμβάνει μεγάλος κρατήρας διαμέτρου 4 km. Στο κέντρο του μεγάλου κρατήρα συναντάται ο κρατήρας του Στεφάνου με 300 μέτρα διάμετρο και 30 μέτρα βάθος, από τον πυθμένα του οποίου και μέχρι την επιφάνεια απαντάται θείο. Η μορφολογία της έχει επηρεαστεί από το ηφαίστειο και το ηφαιστειογενές της έδαφος που είναι πολύ εύφορο και ευνοεί τη δενδροκομία και την πλούσια βλάστηση. Έχει έκταση 41 τετραγωνικά χιλιόμετρα, υψόμετρο 698 μέτρα και μήκος ακτών 30 χιλιόμετρα.

Εικόνα 7. 2 : Ο κρατήρας του ηφαιστείου

Εικόνα 7. 3 : Πανοραμική θέα του κρατήρα

7.3 Οικονομία

Οι περισσότεροι κάτοικοι ασχολούνται με την γεωργία, την αλιεία και τον τουρισμό. Το μεγαλύτερο έσοδο του νησιού όμως, προέρχεται από την εκμετάλλευση της ελαφρόπετρας στο νησάκι Γυαλί, που απέχει 3 μίλια από την Νίσυρο, όπου ασχολούνται αρκετοί κάτοικοι.

7.4 Μυθολογία

Η γένεσή της συνδέεται με τη μυθική φαντασία των Αρχαίων Ελλήνων. Η Νίσυρος γεννήθηκε σύμφωνα με το μύθο της Γιγαντομαχίας. Η μητέρα των πάντων Γη, έστρεψε τους θνητούς Γίγαντες κατά των αθάνατων θεών του Ολύμπου. Οι θεοί καταδιώκουν τους Γίγαντες, που υποχωρούν έντρομοι. Ο θεός της θάλασσας Ποσειδώνας έχει αναλάβει, με την εντολή του Δία, να εξαφανίσει το Γίγαντα Πολυβώτη, που διασχίζει φοβισμένος το Αιγαίο για να σωθεί. Ο Ποσειδώνας τον προφτάνει κοντά στην Κω. Αποσπά με την τρίαινά του ένα τμήμα από την Κω και το εκσφενδονίζει εναντίον του Πολυβώτη. Ο Ποσειδώνας πετυχαίνει τον Γίγαντα και τον καταπλακώνει. Το κομμάτι αυτό της Κω έγινε η Νίσυρος. Από τότε ο γίγαντας προσπαθεί να ελευθερωθεί κι οι αναθυμιάσεις του ηφαιστείου δεν είναι τίποτε άλλο παρά η ανάσα του.

7.5 Πληθυσμός του νησιού

Στο νησί, όπως αναφέρθηκε, υπάρχουν τέσσερεις οικισμοί. Τα Λουτρά δεν είναι οικισμός, παρά συγκρότημα κτιρίων που στεγάζουν τις ιαματικές πηγές. Κατά σειρά μεγέθους, είναι οι εξής :

1. Μανδράκι
2. Πάλοι
3. Νικιά
4. Έμποριός

Ο πληθυσμός τους το χειμώνα διαφέρει από το καλοκαίρι εξ αιτίας του παραθεριστικού και τουριστικού ρεύματος, όπως συμβαίνει και στην πλειοψηφία των αιγαιοπελαγίτικων νησιών. Το χειμώνα διαμένουν στο νησί οι μόνιμοι κάτοικοι. Την άνοιξη εμφανίζεται το πρώτο τουριστικό ρεύμα που αποτελείται από ημερήσιους επισκέπτες από την Κω. Αντίθετα με άλλα νησιά, η τουριστική περίοδος στη νίσυρο αρχίζει νωρίτερα λόγω του μεγάλου τουριστικού ενδιαφέροντος του ηφαιστείου. Πλοία που φτάνουν στο νησί τις πρωινές ώρες και αποχωρούν τις μεσημεριανές μεταφέρουν ένα τουριστικό δυναμικό που τους καλοκαιρινούς μήνες μπορεί να φτάνει και τα 1500 άτομα. Αυτή η επισκεψιμότητα διαρκεί μέχρι και τον Οκτώβριο. Το καλοκαίρι και κυρίως τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο μαζί με τους ημερίσιους τουρίστες και τους παραθεριστές επιστρέφουν στο νησί και οι απόδημοι Νισύριοι που ανεβάζουν έντονα τον αριθμό του πληθυσμού.

Το χειμώνα ο μόνιμος πληθυσμός του Μανδρακίου είναι 950 άτομα (η απογραφή του 2001 έδειξε 948 άτομα), των Πάλων 150 άτομα, της Νικιάς 30 άτομα και του Εμποριού 10 άτομα. Τον Ιούλιο και τον Αύγουστο ο πληθυσμός του Μανδρακίου αυξάνεται στα 3500 άτομα, των Πάλων στα 400 άτομα, των Νικών στα 200 άτομα και του Εμποριού στα 50 άτομα. Για τον οικισμό του Μανδρακίου πρέπει να διαχωριστεί και μια επιπλέον περίοδος, αυτή του Μαΐου – Ιουνίου και Σεπτεμβρίου – Οκτωβρίου κατά τη οποία απορροφά όλο τον ημερήσιο τουρισμό. Για τις ανάγκες μιας μελέτης ύδρευσης, μιας και η κατανάλωση νερού του τελευταίου είναι σημαντική και δε μπορεί να μη υπολογίζεται, ο αριθμός των επισκεπτών συμπεριλαμβάνεται στο μόνιμο πληθυσμό και μαζί δίνουν το μέγεθος τω 2000 ατόμων.

7.6 Υφιστάμενη κατάσταση ύδρευσης

Ο υδροφόρος ορίζοντας του νησιού είναι περιορισμένης δυναμικότητας και το νερό του ακατάλληλης ποιότητας λόγω της ηφαιστειακής προέλευσης των πετρωμάτων του υπεδάφους. Για τους λόγους αυτούς δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει τις υδρευτικές ανάγκες των κατοίκων.

Η υδροδότηση του νησιού γίνεται ουσιαστικά με τρεις τρόπους :

1. Ιδιόκτητες δεξαμενές (στέρνες)
2. Υδροφόρα πλοία
3. Εργοστάσιο αφαλάτωσης

Κάθε σπίτι έχει τη δικιά του δεξαμενή, η οποία κατά τους μήνες του φθινοπώρου και του χειμώνα συλλέγει το βρόχινο νερό. Οι δεξαμενές αυτές είναι συνήθως υπόγειες και το μέγεθος τους ποικίλει. Τα παλιότερα σπίτια του νησιού που ήταν ή συνεχίζουν να είναι μόνιμες κατοικίες έχουν μεγάλες δεξαμενές της τάξης των 10 – 15 m^3. Τα νεόδμητα σπίτια, που συνήθως χρησιμοποιούνται σαν εξοχικές κατοικίες έχουν μικρότερες δεξαμενές της τάξης των 3 – 5 m^3.

Εικόνα 7. 4 : Δημόσια δεξαμενή συλλογής όμβριων υδάτων

Τα υδροφόρα πλοία που φτάνουν στο νησί σταματούν στο λιμάνι που βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του οικισμού του Μανδρακίου. Αυτά μεταφέρουν νερό είτε από την Κω, είτε από τη Ρόδο. Το νερό από αυτά, μέσω αγωγού, μεταφέρεται και αποθηκεύεται σε μια δεξαμενή χωρητικότητας 1500 m^3 που βρίσκεται λίγα μέτρα μακριά απ το λιμάνι. Η δεξαμενή αποτελεί μέρος του δικτύου διανομής νερού, είναι δηλαδή συνδεδεμένη με τους αγωγούς του δικτύου και το νερό από αυτή παρέχεται κατευθείαν στους καταναλωτές. Το χαμηλό της υψόμετρο, που δε πρέπει να ξεπερνά τα 5 μέτρα, δεν επιτρέπει την ανάπτυξη μεγάλου πιεζομετρικού φορτίου, έτσι το νερό δε μπορεί να διανεμηθεί σε όλο το μήκος του οικισμού παρά μόνο στο παραλιακό τμήμα που έχει μικρό υψόμετρο. Η προμήθεια νερού από τα υδροφόρα πλοία ανέρχεται ετησίως στα 40000 m^3.

Εικόνα 7. 5 : Η δεξαμενή στο λιμάνι

Εικόνα 7. 6 : Η κεντρική δεξαμενή του οικισμού του Μανδρακίου

Το εργοστάσιο αφαλάτωσης βρίσκεται ένα χιλιόμετρο ανατολικά του οικισμού του Μανδρακίου και λειτουργεί όλη τη διάρκεια της χρονιάς εκτός από μερικές μέρες το χειμώνα. Η δυνατότητα παραγωγής καθαρού νερού ανέρχεται στα 280 – 320 m^3 την ημέρα. Στοιχεία της Δ.Ε.Υ.Α.Νισύρου αναφέρουν ότι κατά τα έτη 2006 και 2007 παρήχθησαν και διανεμήθηκαν 90000 m^3 ετησίως. Το νερό που παράγεται στο εργοστάσιο αφαλάτωσης αποθηκεύεται σε μια δεξαμενή των εγκαταστάσεων, από εκεί ξεκινά η διανομή σε όλο το νησί. Το νερό που χρειάζεται για να ικανοποιηθούν οι ανάγκες του οικισμού του Μανδρακίου μεταφέρεται με αγωγό διαμέτρου Φ 90 και υλικού PVC 10 atm, μέσω αντλίας στη κεντρική δεξαμενή Νοτιοανατολικά του οικισμού χωρητικότητας 2300 m^3 και σε 54 μέτρα υψόμετρο. Το νερό που θα καλύψει τις ανάγκες των υπολοίπων οικισμών του νησιού αλλά και των κτηνοτροφικών και αγροτικών χρήσεων μεταφέρεται σε αυτές μέσω βυτιοφόρων φορτηγών.

Εικόνα 7. 7 : Βυτιοφόρο φορτηγό μεταφοράς νερού

Εικόνα 7. 8 : Όχημα μεταφοράς νερού (χρήση στους στενούς δρόμους των οικισμών)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο

Ανάλυση δικτύου ύδρευσης του Μανδρακίου

8.1 Υφιστάμενο δίκτυο ύδρευσης

Το δίκτυο διανομής νερού του Μανδρακίου υλοποιήθηκε μέσα σε μια δωδεκαετία, από 1981 μέχρι το 1993. Κατά την περίοδο 1981 – 1991 κατασκευάζονταν σταδιακά και αποσπασματικά χωρίς τεχνική μελέτη. Έως το 1991 το υφιστάμενο δίκτυο είχε συνολικό μήκος 4291 μέτρα, αποτελούταν από αγωγούς Φ63 και Φ 90 από PVC 10 atm και κάλυπτε το μεγαλύτερο μέρος του οικισμού. Εκείνη τη χρονιά συντάχθηκε ολοκληρωμένη μελέτη ύδρευσης κατά την οποία προστέθηκαν 833 μέτρα και αντικαταστάθηκαν 242 μέτρα αγωγών αντίστοιχων υδραυλικών χαρακτηριστικών. Έπειτα κατασκευάστηκαν και συνδέθηκαν με το δίκτυο άλλα 840 μέτρα διαμέτρου Φ 90 και υλικού PVC 10 atm εκτός του οικισμού για να καλύψουν τις ανάγκες παραλιακά. Από το 1993 έως σήμερα δεν έχουν γίνει επεμβάσεις στο δίκτυο που να επηρεάζουν το μήκος του, παρά μονό μεμονωμένες αντικαταστάσεις αγωγών σε περιπτώσεις βλαβών.

Συνεπώς, σήμερα το δίκτυο αποτελείται από 115 αγωγούς συνολικού μήκους 5964 μέτρων. Είναι κατασκευασμένοι από PVC αντοχής 10 ατμοσφαιρών και οι διάμετροι που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι οι εξής : Φ 63 με εσωτερική διάμετρο 57mm, Φ 90 με εσωτερική διάμετρο 81,4 mm, Φ110 με εσωτερική διάμετρο 99,4 mm και Φ 140 με εσωτερική διάμετρο 126,6 mm. Η τραχύτητα των αγωγών από PVC θεωρείται στα 0,1 mm.

Από στοιχεία της Δ.Ε.Υ.Α.Νισύρου προκύπτει ότι στο δίκτυο υφίστανται 1027 συνδέσεις. Με επιτόπια έρευνα μετρήθηκαν 944 συνδέσεις, δηλαδή εντοπίστηκαν 944 μετρητές κατανάλωσης νερού. Τη διαφορά αυτή εξηγεί το γεγονός ότι υπάρχουν σπίτια του οικισμού που έχουν περισσότερες από μια ενεργές συνδέσεις. Ο αριθμός των μετρητών κατανάλωσης που ανήκει σε κάθε αγωγό καταγράφηκε και παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί μαζί με την αρίθμηση, τα μήκη, τις διαμέτρους και την τραχύτητα των αγωγών. Τα στοιχεία για τα μήκη και τις διαμέτρους βρίσκονται στην τεχνική έκθεση της μελέτης ύδρευσης του 1991.

Πίνακας 8.1 : Οι αγωγοί του δικτύου και τα χαρακτηριστικά τους

ΑΓΩΓΟΣ	ΜΗΚΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ	ΠΛΗΘΟΣ ΜΕΤΡΗΤΩΝ	ΑΓΩΓΟΣ	ΜΗΚΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ	ΠΛΗΘΟΣ ΜΕΤΡΗΤΩΝ
T1	100	Φ63	57mm	0,1mm	0	**57**	36	Φ63	57mm	0,1mm	10
T2	120	Φ140	126,6mm	0,1mm	8	**58**	45	Φ63	57mm	0,1mm	20
1	100	Φ63	57mm	0,1mm	6	**59**	9	Φ63	57mm	0,1mm	3
2	21	Φ110	99,4mm	0,1mm	0	**60**	10	Φ63	57mm	0,1mm	5
3	96,5	Φ90	81,4mm	0,1mm	5	**61**	6	Φ63	57mm	0,1mm	2
4	48,5	Φ63	57mm	0,1mm	3	**62**	41	Φ63	57mm	0,1mm	12
5	102	Φ63	57mm	0,1mm	6	**63**	12,5	Φ63	57mm	0,1mm	2
6	110	Φ63	57mm	0,1mm	10	**64**	40	Φ63	57mm	0,1mm	9
7	26	Φ63	57mm	0,1mm	5	**65**	20	Φ63	57mm	0,1mm	3
8	75	Φ63	57mm	0,1mm	22	**66**	6,5	Φ63	57mm	0,1mm	0
9	66	Φ63	57mm	0,1mm	24	**67**	20	Φ63	57mm	0,1mm	5
10	12,5	Φ63	57mm	0,1mm	2	**68**	48	Φ63	57mm	0,1mm	9
11	45	Φ63	57mm	0,1mm	11	**69**	3	Φ63	57mm	0,1mm	0
12	16	Φ63	57mm	0,1mm	2	**70**	50	Φ63	57mm	0,1mm	13
13	44	Φ63	57mm	0,1mm	11	**71**	74	Φ63	57mm	0,1mm	21
14	31	Φ63	57mm	0,1mm	4	**72**	16,5	Φ63	57mm	0,1mm	4
15	30	Φ63	57mm	0,1mm	5	**73**	63	Φ63	57mm	0,1mm	11
16	42	Φ63	57mm	0,1mm	6	**74**	27	Φ63	57mm	0,1mm	2
17	36	Φ63	57mm	0,1mm	2	**75**	38	Φ63	57mm	0,1mm	8
18	31	Φ63	57mm	0,1mm	1	**76**	67,5	Φ63	57mm	0,1mm	15
19	89	Φ63	57mm	0,1mm	33	**77**	17,5	Φ63	57mm	0,1mm	4
20	10	Φ63	57mm	0,1mm	2	**78**	35	Φ90	81,4mm	0,1mm	6
21	55	Φ63	57mm	0,1mm	15	**79**	48	Φ110	99,4mm	0,1mm	6
22	74	Φ63	57mm	0,1mm	27	**80**	99	Φ110	99,4mm	0,1mm	11
23	33	Φ63	57mm	0,1mm	5	**81**	56	Φ63	57mm	0,1mm	10
24	6	Φ63	57mm	0,1mm	1	**82**	34	Φ63	57mm	0,1mm	6
25	18	Φ63	57mm	0,1mm	2	**83**	46	Φ63	57mm	0,1mm	9
26	28	Φ63	57mm	0,1mm	3	**84**	28	Φ63	57mm	0,1mm	6
27	31	Φ63	57mm	0,1mm	8	**85**	14	Φ63	57mm	0,1mm	1
28	34	Φ63	57mm	0,1mm	12	**86**	81	Φ63	57mm	0,1mm	22
29	16	Φ63	57mm	0,1mm	5	**87**	20	Φ63	57mm	0,1mm	5
30	15,5	Φ63	57mm	0,1mm	3	**88**	12	Φ63	57mm	0,1mm	1
31	56	Φ63	57mm	0,1mm	8	**89**	17	Φ63	57mm	0,1mm	4
32	28	Φ63	57mm	0,1mm	2	**90**	68	Φ63	57mm	0,1mm	20
33	25	Φ63	57mm	0,1mm	7	**91**	46	Φ63	57mm	0,1mm	18
34	11,5	Φ63	57mm	0,1mm	0	**92**	10	Φ63	57mm	0,1mm	2
35	19	Φ63	57mm	0,1mm	5	**93**	93	Φ63	57mm	0,1mm	15
36	11	Φ63	57mm	0,1mm	1	**94**	54	Φ63	57mm	0,1mm	11
37	20,5	Φ63	57mm	0,1mm	3	**95**	53	Φ63	57mm	0,1mm	16
38	11	Φ63	57mm	0,1mm	4	**96**	120	Φ63	57mm	0,1mm	18
39	32	Φ63	57mm	0,1mm	6	**97**	13	Φ63	57mm	0,1mm	2
40	19	Φ63	57mm	0,1mm	3	**98**	213	Φ90	81,4mm	0,1mm	12
41	6	Φ63	57mm	0,1mm	0	**99**	97	Φ90	81,4mm	0,1mm	4

42	36	Φ63	57mm	0,1mm	9	**100**	36	Φ90	81,4mm	0,1mm	4
43	58	Φ63	57mm	0,1mm	10	**101**	39	Φ90	81,4mm	0,1mm	3
44	42,5	Φ63	57mm	0,1mm	11	**102**	96	Φ63	57mm	0,1mm	6
45	49,5	Φ63	57mm	0,1mm	19	**103**	136	Φ63	57mm	0,1mm	24
46	35	Φ63	57mm	0,1mm	8	**104**	36	Φ63	57mm	0,1mm	10
47	6	Φ63	57mm	0,1mm	0	**105**	53	Φ63	57mm	0,1mm	14
48	21	Φ63	57mm	0,1mm	0	**106**	42	Φ63	57mm	0,1mm	5
49	18,5	Φ63	57mm	0,1mm	4	**107**	80	Φ63	57mm	0,1mm	22
50	31	Φ63	57mm	0,1mm	9	**108**	67	Φ63	57mm	0,1mm	15
51	44	Φ63	57mm	0,1mm	16	**109**	69	Φ63	57mm	0,1mm	15
52	23	Φ63	57mm	0,1mm	5	**110**	163	Φ90	81,4mm	0,1mm	8
53	35	Φ63	57mm	0,1mm	9	**111**	137	Φ90	81,4mm	0,1mm	21
54	13	Φ63	57mm	0,1mm	3	**112**	146	Φ90	81,4mm	0,1mm	18
55	30	Φ63	57mm	0,1mm	1	**113**	700	Φ90	81,4mm	0,1mm	22
56	13	Φ63	57mm	0,1mm	2						

Για να μπορούν να γίνουν οι υδραυλικοί υπολογισμοί και να επιλυθεί το δίκτυο ορίζεται η έννοια των κόμβων. Αυτοί είναι τα σημεία στα οποία συνδέονται οι αγωγοί μεταξύ τους. Πέρα όμως από απλά σημεία σύνδεσης, θεωρούνται ως τα σημεία στα οποία καταναλώνεται το νερό. Αυτή η θεώρηση στοχεύει στη διευκόλυνση των υπολογισμών. Κάθε κόμβος έχει ένα συγκεκριμένο υψόμετρο. Τα υψόμετρα των κόμβων έχουν προκύψει μετά από σύνταξη τοπογραφικής μελέτης της περιοχής. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι 87 κόμβοι του οικισμού, τα υψόμετρά τους και οι αγωγοί που καταλήγουν σε αυτούς.

Πίνακας 8.2 : Οι κόμβοι του δικτύου και τα χαρακτηριστικά τους

ΚΟΜΒΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΑΓΩΓΟΙ				ΚΟΜΒΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΑΓΩΓΟΙ			
ΔΕΞ	54	T1	T2			**44**	9,3	55	56	57	
1	48,9	T1	1			**45**	7,2	57	68	69	
2	33,7	T2	2	98		**46**	5,6	58	59		
3	33,2	2	3	80	18	**47**	4,9	59	60		
4	39,7	1	3	4		**48**	4,7	60	61	68	
5	39,4	4	5			**49**	4,5	61	63		
6	34,6	5	6			**50**	3,4	62	63	64	
7	24,2	6	7	9		**51**	2,6	64	65		
8	31,9	7	8			**52**	3,2	65	66	97	
9	20,5	9	10	16		**53**	4,6	66	67	88	
10	19,9	8	10	15		**54**	5,8	67	70	71	
11	17,3	11	12	19		**55**	7,1	69	70	73	
12	20,1	12	13		20	**56**	5,3	73	74	76	
13	28,4	13	14	15		**57**	4,2	71	72	74	
14	33,1	14	16	17		**58**	11,2	75	76	77	
15	36,9	17	18	22		**59**	11,8	77	78	79	
16	31,1	20	21			**60**	10,5	78	81	82	
17	11,3	19	27	33		**61**	5,7	81	72		
18	16,4	26	27	32		**62**	15,8	79	80		

19	25,8	25	26	28		**63**	9,3	82	83	102	
20	25,3	28	29			**64**	4,9	83	84		
21	25,2	29				**65**	3	84	85	89	
22	30,6	21	23			**66**	3	85	86		
23	29,3	22	23	24		**67**	2,6	89	90		
24	28,2	24	25	30		**68**	4,5	86	87	88	
25	24,5	30	31	47		**69**	5,5	87	90	91	
26	9,7	33	34	37		**70**	5,2	91	92	93	
27	12,3	34	35	36		**71**	5,4	92	95		
28	18,4	35				**72**	3,6	93	94	106	
29	12,7	36	38	39	41	**73**	3,5	94	95	96	
30	8,3	37	38	40		**74**	2,6	96	97		
31	13,7	31	32	40		**75**	36,1	98	99	110	
32	8,1	41	42	46		**76**	14,5	99	100		
33	24,6	39				**77**	70,5	100	101		
34	9,6	46	54	58		**78**	7,3	101	102	103	
35	5,6	42	43	45		**79**	2,8	103	104	105	
36	1,8	43	44			**80**	1,9	104			
37	2,9	44	45	62		**81**	3,7	105	106	107	
38	22,4	47	48	50		**82**	1,8	107	108	109	
39	21	48	49			**83**	1,8	108			
40	16,7	49	50			**84**	2	109	111	112	
41	10,3	51	52	75		**85**	35,5	110	111		
42	9,8	52	53	56		**86**	4,2	112	113		
43	10,1	53	54	55		**87**	1,5	113			

8.2 Διανομή του νερού

Το πρόβλημα της υδροδότησης του οικισμού του Μανδρακίου είναι πολύ έντονο. Το δίκτυο δε μπορεί να έχει συνεχή ροή και για αυτό το λόγο υδροδοτούνται σταδιακά οι συνοικίες του οικισμού με το χειρισμό των δικλίδων (βάνες διακοπής ροής) του από τους εργαζόμενους στη Δ.Ε.Υ.Α.Νισύρου.

Εικόνα 8.1: Βάνες διαχείρισης ροής

Εικόνα 8.2: Βάνα διαχείρισης ροής

Οι λόγοι για τους οποίους το δίκτυο δεν έχει συνεχή ροή είναι πολύπλοκοι και πρέπει να αναλυθούν όλοι για να μπορέσει να περιγραφεί σωστά η υπάρχουσα κατάσταση διανομής νερού, αλλά και να μπορούν να προταθούν κατάλληλες λύσεις.

Ουσιαστικά, το πρόβλημα είναι ότι το δίκτυο δε μπορεί να παρέχει την ποσότητα του νερού που ζητούν οι καταναλωτές, αλλά και στις περιπτώσεις που μπορεί, οι πιέσεις που αναπτύσσονται στους κόμβους είναι πολύ μικρές για να διανεμηθεί στα σπίτια. Οι παράγοντες που δημιουργούν αυτό το πρόβλημα είναι :

1. Μεγάλες απώλειες νερού κατά μήκος του δικτύου
2. Κακοτεχνίες κατά την κατασκευή του δικτύου
3. Υπερκατανάλωση

Από στοιχεία της Δ.Ε.Υ.Α.Νισύρου προκύπτει ότι κατά το έτος 2006 παράχθηκαν από το εργοστάσιο αφαλάτωσης 90000 m^3. Από αυτά 40930 m^3 καταναλώθηκαν στον οικισμό του Μανδρακίου και 3072 m^3 μεταφέρθηκαν στους άλλους οικισμούς και καταναλώθηκαν είτε σε αυτούς είτε σε αγροτικές και κτηνοτροφικές χρήσεις. Κατά το έτος 2007 παράχθηκαν επίσης 90000 m^3. Από αυτά στον οικισμό του Μανδρακίου καταναλώθηκαν 56832 m^3 και στους υπόλοιπους οικισμούς και χρήσεις καταναλώθηκαν 6750 m^3. Με την έννοια «καταναλώθηκαν» υπολογίζεται το νερό που καταγράφηκε από τους μετρητές των σπιτιών και τελικά χρεώθηκε στους κατοίκους.

Συμπεραίνεται λοιπόν ότι υπάρχει ένα μεγάλο έλλειμμα νερού και τις δυο χρονιές. Το 2006 χάνονται 45998 m^3 και την επόμενη 26418 m^3. Δεδομένου ότι το νερό που καταναλώνεται εκτός Μανδρακίου μεταφέρεται εκεί με βυτιοφόρα φορτηγά, ο αριθμός των κυβικών μέτρων του είναι συγκεκριμένος και δε προκαλεί καμία απώλεια στο παραγμένο από την αφαλάτωση απόθεμα νερού. Η παραπάνω τιμές της απώλειας αφορούν το δίκτυο ύδρευσης του Μανδρακίου και ανέρχονται το 2006 στο 52,9 % και το 2007 στο 31,7 % του παραγόμενου νερού. Αν ληφθεί υπόψη και η ποσότητα των 40000 m^3 νερού που αγοράζει ο δήμος ετησίως τότε αυτό το ποσοστό

αυξάνεται ακόμα πιο πολύ φτάνοντας το 2006 το 67,8 % και το 2007 το 53,9 % το συνολικού διαθέσιμου για κατανάλωση νερού.

Ένα επιπλέον ζήτημα που δημιουργεί πρόβλημα στη λειτουργία του δικτύου είναι ότι κατά την υλοποίηση του δικτύου δεν ακολουθήθηκαν οι κατευθύνσεις της μελέτης ύδρευσης. Η επιλογή των διαμέτρων των αγωγών έγινε ανάλογα με το απόθεμα σωλήνων που υπήρχε και όχι με βάση τις υποδείξεις της μελέτης. Πρακτικά, ενώ η μελέτη ανέφερε αγωγούς διαμέτρου Φ 63 σε πολλές περιπτώσεις τοποθετήθηκαν αγωγοί διαμέτρου Φ 90 γιατί δεν υπήρχαν οι προηγούμενοι. Το πρόβλημα μεγαλώνει με την αδυναμία γνώσης και συνεπώς διόρθωσης του ποιοι αγωγοί στο δίκτυο έχουν διαφορετική από την προδιαγεγραμμένη διάμετρο. Οι συνέπειες από αυτή την κακοτεχνία είναι ιδιαίτερα σημαντικές αφού με αυτό τον τρόπο αλλάζει η γεωμετρία του δικτύου. Έτσι, οι τιμές της παροχής και της ταχύτητας του νερού στους αγωγούς διαφέρουν από τις υπολογισμένες και κατά συνέπεια αλλάζουν και οι τιμές των πιέσεων στους κόμβους και σε ορισμένες περιπτώσεις αλλάζει και η φορά ροής του νερού μέσα στο δίκτυο.

Κατά την κατασκευή του δικτύου επίσης, δε τοποθετήθηκαν όλοι οι σχεδιασμένοι αγωγοί. Στους πίνακες του προηγούμενου κεφαλαίου αναφέρονται μόνο όσοι αγωγοί των οποίων η ύπαρξη επιβεβαιώθηκε μετά από επιτόπια έρευνα. Δυστυχώς, για το λόγο που αναφέρεται προηγουμένως δεν είναι δυνατή η καταγραφή της πραγματικής τους διαμέτρου, έτσι αναφέρονται οι αντίστοιχοι διάμετροι τη μελέτης ύδρευσης και με αυτούς έχουν γίνει και οι υπολογισμοί στα κεφάλαια που ακλουθούν. Ένα επιπλέον σφάλμα κατά την κατασκευή του δικτύου είναι ότι δε τοποθετήθηκαν συσκευές εξαγωγής αέρα και συσκευές εκκένωσης νερού. Το γεγονός αυτό έχει δύο σημαντικές συνέπειες, από τη μία ο αέρας που εισέρχεται μέσα στο δίκτυο δε μπορεί να διαφύγει με αποτέλεσμα να υπάρχει πρόβλημα στην ανάπτυξη των απαιτούμενων πιέσεων και από την άλλη να μη μπορούν να διαφύγουν φερτά υλικά που έχουν εισχωρήσει στο δίκτυο φράζοντας έτσι αγωγούς και δυσκολεύοντας την κυκλοφορία του νερού.

Τέλος, ο τρόπος με τον οποίο καταναλώνεται το νερό δημιουργεί κι αυτός με τη σειρά του επιπρόσθετα προβλήματα στο δίκτυο. Η σταδιακή υδροδότηση των συνοικιών του οικισμού δεν επιτρέπει να αναπτυχθεί ένα μοντέλο κατανάλωσης συνεχούς ροής. Κάθε σπίτι έχει την παροχή νερού μόνιμα συνδεδεμένη με τη ιδιόκτητη δεξαμενή του. Ουσιαστικά, τις ώρες που λειτουργεί το δίκτυο κάθε σπίτι προσπαθεί να γεμίσει τη δεξαμενή του ή τουλάχιστον να συλλέξει όσο περισσότερο νερό γίνεται. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να εμφανίζεται πολύ έντονη κατανάλωση νερού αυτές τις ώρες. Δεδομένου ότι το δίκτυο δεν είναι σχεδιασμένο και κατασκευασμένο για τέτοιου είδους κατανάλωση δε μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις των κατοίκων. Αυτό που συμβαίνει είναι, στην προσπάθεια του δικτύου να καλύψει τη ζητούμενη παροχή, αναπτύσσονται υπερβολικά μεγάλες ταχύτητες νερού στους αγωγούς. Η συμπεριφορά αυτή του δικτύου έχει ως αποτέλεσμα αφενός μεγάλες απώλειες ενέργειας κατά μήκος των αγωγών και κατά συνέπεια μείωση των πιέσεων και αφετέρου μεγάλη καταπόνηση του ίδιου και κατά συνέπεια αιτία για διαρροές.

Παρατηρώντας τις αιτίες και τα αποτελέσματα του προβλήματος της υδροδότησης του οικισμού του Μανδρακίου, συμπεραίνεται ότι οι τρείς παραπάνω παράγοντες είναι αλληλένδετα συνδεδεμένοι μεταξύ τους. Αν δηλαδή, το δίκτυο ήταν κατασκευασμένο σωστά το ύψος των διαρροών δε θα ήταν τόσο μεγάλο, δεδομένου

ότι το δίκτυο δεν είναι μεγάλης ηλικίας. Επιπλέον δε θα υπήρχε και η ανάγκη σταδιακής λειτουργίας του. Από την άλλη μεριά, αν η κατανάλωση δε γινόταν με αυτό τον τρόπο το δίκτυο δε θα είχε οδηγηθεί σε τόσο μεγάλες διαρροές. Το ζητούμενο όμως, δεν είναι να γίνει μια ανάλυση για το ποιο αίτιο οδήγησε στο άλλο, αλλά να γίνει μια ανάλυση της υπάρχουσας κατάστασης συμπεριλαμβάνοντας όλους τους παραπάνω παράγοντες έτσι ώστε να προταθούν λύσεις που βελτιώσουν την κατάσταση και να μην οδηγήσουν σταδιακά σε νέα προβλήματα.

8.3 Υδροδότηση συνοικιών

Η υδροδότηση του οικισμού γίνεται, όπως αναφέρθηκε, σταδιακά. Ο αριθμός των συνοικιών που υδροδοτούνται είναι εννέα :

- Δευτέρα 7:30 με 11:00 : Ποταμός
- Δευτέρα 11:00 με 13:30 : Ηλικιωμένη
- Τρίτη 7:30 με 11:00 : Μύλος – Λαογραφικό μουσείο
- Τρίτη 11:00 με 13:30 : Μύλος – Άγιος Σάββας
- Τετάρτη 7:30 με 11:00 : Ηλικιωμένη
- Τετάρτη 11:00 με 13:30 : Τρούλλος
- Πέμπτη 7:30 με 11:00 : ξενοδοχείο Καρπαθάκης
- Πέμπτη 11:00 με 13:30 : Άγιος Σάββας – Λιμάνι
- Παρασκευή 7:30 με 11:00 : Λαγκάδι – Πιαούλι (κάτω συνοικία)
- Παρασκευή 11:00 με 13:30 : Λαγκάδι – Πιαούλι (πάνω συνοικία)

Νερό παρέχεται στο δίκτυο τις καθημερινές ημέρες από τις 7:30 το πρωί ως τις 13:30 το μεσημέρι. Τις υπόλοιπες ώρες του εικοσιτετραώρου το δίκτυο είναι κλειστό καθώς και τα Σαββατοκύριακα. Η συνοικία «Ηλικιωμένη» υδροδοτείται δύο φορές την εβδομάδα μιας και εκεί λειτουργούν εστιατόρια και καφενεία και αποτελεί τον πόλο έλξης των ντόπιων και των τουριστών.

Κατά μήκος του δικτύου υπάρχουν αρκετές δικλείδες, ορισμένες από αυτές είναι μόνιμα κλειστές και οι υπόλοιπες ανοίγουν και κλείνουν για να μοιράζουν το νερό στις συνοικίες. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται ποιοί αγωγοί έχουν δικλείδες και τι είδους.

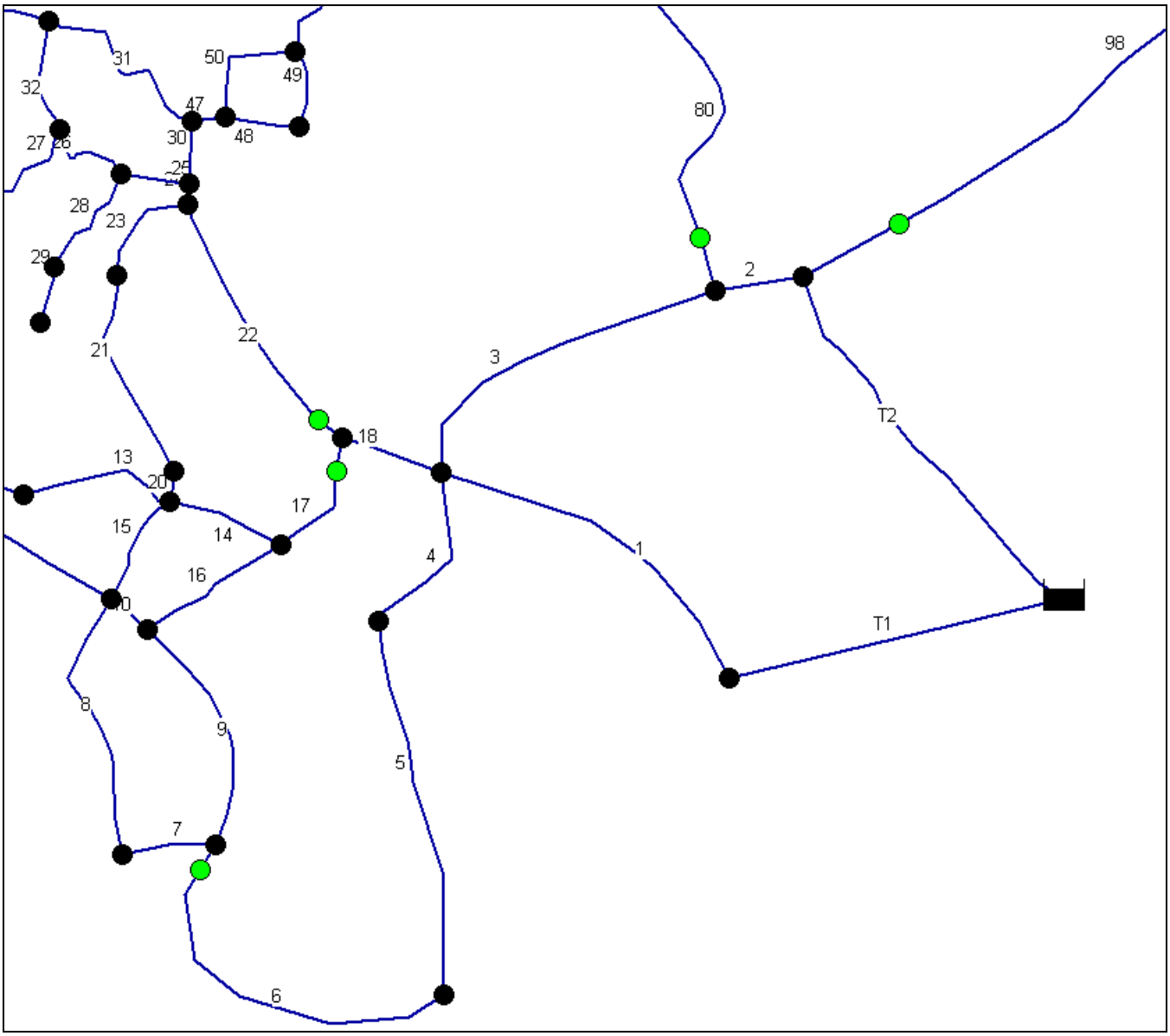
Πίνακας 8.3 : Οι δικλίδες του δικτύου και η κατάσταση τους

ΑΓΩΓΟΣ	ΜΟΝΙΜΑ ΚΛΕΙΣΤΗ ΔΙΚΛΕΙΔΑ	ΔΙΚΛΕΙΔΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
6		●
17		●
19		●
22		●
25		●
30		●
31	●	
44	●	
45	●	
51		●
54	●	
57		●
58	●	
71	●	

73	●	
77	●	
80		●
81	●	
83	●	
88	●	
93	●	
94	●	
97	●	
98		●
103		●
109		●
112		●

Στο δίκτυο λειτουργούν και δικλείδες μόνιμα ανοιχτές οι οποίες χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις πολύ έντονης κατανάλωσης, συνήθως έκτακτης ανάγκης, για να χωρίσουνε το δίκτυο σε ακόμη περισσότερες συνοικίες.

Από τη δεξαμενή ξεκινάνε δύο αγωγοί, ο Τ1 και ο Τ2. Ο πρώτος συναντά τον αγωγό 1 και αυτός με τη σειρά του τους αγωγούς 3, 4 και 18. Ο δεύτερος συναντά τους αγωγούς 2 και 98. ο αγωγός 2 συναντά τον 88 και τον 3. Οι αγωγοί Τ1, Τ2, 1, 2, και 3 σχηματίζουν ένα κλειστό βρόχο. Ο αγωγός 18 συναντά τους 17 και 22 και ο 4 επεκτείνεται με τους αγωγούς 5 και 6. Οι δικλίδες που βρίσκονται στους αγωγούς 6, 17, 22, 80 και 98 είναι η βασικές δικλείδες των οποίων η διαχείριση καθορίζει την υδροδότηση του οικισμού. Οι παραπάνω αγωγοί φαίνονται στο σχέδιο που ακολουθεί για να γίνει εύκολα κατανοητή η θέση τους στο χώρο. Με πράσινο χρώμα εντοπίζονται οι δικλίδες, με μαύρο οι κόμβοι και μπλε σκούρο οι αγωγοί.



Σχήμα 8. 1 : Τμήμα του δικτύου του οικισμού στο οποίο διακρίνονται οι δικλίδες διακοπής ροής

Ουσιαστικά το δίκτυο του Μανδρακίου χωρίζεται με αυτές τις δικλείδες σε τέσσερα υποδίκτυα. Κλείνοντας τις δικλείδες των αγωγών 98, 80 και 22 και αφήνοντας ανοιχτές αυτές των 17 και 6 υδροδοτείται το δυτικό μέρος του οικισμού που αποτελείται από τη συνοικία Λαγκάδι – Πιαούλι. Κλείνοντας τις δικλείδες των αγωγών 17, 6, 80 και 98 και ανοίγοντας την δικλείδα του αγωγού 22 υδροδοτείται το κεντρικό μέρος του οικισμού που αποτελείται από τις συνοικίες Ποταμός – Ηλικιωμένη και Τρούλος. Κλείνοντας τις δικλείδες των αγωγών 6, 17, και 22 και συνδυάζοντας το άνοιγμα και κλείσιμο των δικλείδων των αγωγών 80 και 98 μαζί με επιμέρους δικλείδες που βρίσκονται μέσα στον οικισμό υδροδοτούνται, αφενός η παραλία του οικισμού και η συνοικία Άγιος Σάββας και αφετέρου το λιμάνι και όλη η ανατολική μεριά του οικισμού.

Οι τέσσερεις παραπάνω περιοχές του δικτύου, λόγω της μεγάλης κατανάλωσης νερού, δεν καταφέρνουν να αναπτύξουν τις απαραίτητες για τη διανομή του νερού πιέσεις σε όλο το μήκος τους. Έτσι αναγκάζονται να χωρίζονται και αυτές σε

επιμέρους υποπεριοχές για να καλύψουν τη ζήτηση και τελικά καταλήγουν να λειτουργούν εννέα διαφορετικές περιοχές υδροδότησης.

Παραπάνω αναφέρθηκε ποιες είναι οι ώρες λειτουργίας των εννέα περιοχών. Ακλουθούν οι πίνακες με τους κόμβους που ανήκουν σε κάθε περιοχή, τους αγωγούς που τους τροφοδοτούν και τον αριθμό των συνδέσεων που λειτουργούν σε κάθε αγωγό.

- *Συνοικία Ποταμός*

Πίνακας 8.4 : Αγωγοί και υδρομετρητές

ΚΟΜΒΟΣ	**ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΑΓΩΓΟΙ**				**ΣΥΝΟΛΟ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ (ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΩΝ)**			
36	44				11			
37	44	62			11	12		
45	57	68	69		10	9	0	
46	59				3			
47	59	60			3	5		
48	60	68	61		5	9	2	
49	61	63			2	2		
50	62	63	64		12	2	9	
51	64	65			9	3		
52	65	66			3	0		
53	66	67			0	5		
54	67	70			5	13	21	
55	70	73	69		13	11	0	

- *Συνοικία Ηλικιωμένη*

Πίνακας 8.5 : Αγωγοί και υδρομετρητές

ΚΟΜΒΟΣ	**ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΑΓΩΓΟΙ**				**ΣΥΝΟΛΟ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ (ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΩΝ)**			
34	54				3			
41	51	52	75		16	5	8	
42	52	53	56		5	9	2	
43	53	54	55		9	3	1	
44	55	56	57		1	2	10	
45	57				10			
54	71				21			
56	73	74	76		11	2	15	
57	71	72	74		21	4	2	
58	75	76	77		8	15	4	
59	77				4			
61	72				4			

- *Συνοικία Τρούλλος*

Πίνακας 8.6 : Αγωγοί και υδρομετρητές

ΚΟΜΒΟΣ	ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΑΓΩΓΟΙ				ΣΥΝΟΛΟ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ (ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΩΝ)			
15	18	22			1	27		
23	22	24			27	1		
24	24	30			1	3		
25	30	47			3	0		
38	47	48	50		0	0	9	
39	48	49			0	4		
40	49	50			4	9		
41	51				16			

- *Παραλία (Μύλος – Λαογραφικό μουσείο)*

Πίνακας 8.7 : Αγωγοί και υδρομετρητές

ΚΟΜΒΟΣ	ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΑΓΩΓΟΙ				ΣΥΝΟΛΟ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ (ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΩΝ)			
3	2	3	80		0	5	11	
52	66	97			0	2		
53	66	88			0	1		
62	79	80			6	11		
64	83	84			9	6		
65	84	85	89		6	1	4	
66	85	86			1	22		
67	89	90			4	20		
68	86	87	88		22	5	1	
69	87	90	91		5	20	18	
70	91	92	93		18	2	15	
71	92	95			2	16		
72	93				15			
73	95	96			16	18		
74	96	97			18	2		

- *Παραλία (Μύλος – Άγιος Σάββας)*

Πίνακας 8.8 : Αγωγοί και υδρομετρητές

ΚΟΜΒΟΣ	ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΑΓΩΓΟΙ				ΣΥΝΟΛΟ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ (ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΩΝ)			
72	106	94			5	11		
73	94				11		6	
79	103	104	105		24	10	14	
78	103				24			
80	104				10			

81	105	106	107		14	5	22	
82	107	108	109		22	15	15	
83	108				15			
84	109				15			
72	106	94			5	11		
73	94				11		6	
79	103	104	105		24	10	14	
78	103				24			
80	104				10			
81	105	106	107		14	5	22	
82	107	108	109		22	15	15	
83	108				15			
84	109				15			

- *Ξενοδοχείο Καρπαθάκης*

Πίνακας 8.9 : Αγωγοί και υδρομετρητές

ΚΟΜΒΟΣ	**ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΑΓΩΓΟΙ**				**ΣΥΝΟΛΟ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ (ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΩΝ)**			
3	2	3	80		0	5	11	
59	78	79			6	6		
60	78	81	82		6	10	6	
61	81				10			
62	79	80			6	11		
63	82	83	102		6	9	6	
64	83				9			
75	99				4			
76	99	100			4	4		
77	100	101			4	3		
78	101	102			3	6		

- *Λιμάνι – συνοικία Μίρα – Μάρε*

Πίνακας 8.10 : Αγωγοί και υδρομετρητές

ΚΟΜΒΟΣ	**ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΑΓΩΓΟΙ**				**ΣΥΝΟΛΟ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ (ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΩΝ)**			
75	98	110			12	4		
84	111	112			21	18		
85	110	111			6	21		
86	112	113			18	22		
87	113				22			

- *Συνοικία Λαγκάδι – Πιαούλι (κάτω μέρος)*

Πίνακας 8.11 : Αγωγοί και υδρομετρητές

ΚΟΜΒΟΣ	ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΑΓΩΓΟΙ				ΣΥΝΟΛΟ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ (ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΩΝ)			
17	19	33	27		33	7	8	
18	27	32			8	2		
26	33	34	37		7	0	3	
27	34	35	36		0	5	1	
28	35				5			
29	36	38	39		1	4	6	
30	37	38	40	41	3	4	3	0
31	31	32	40		8	2	3	
32	41	42	46		0	9	8	
33	39				6			
34	46	58			8	20		
35	42	43	45		9	10	19	
36	43				10			
37	45				19			
46	58				20			

- *Συνοικία Λαγκάδι – Πιαούλι (πάνω μέρος)*

Πίνακας 8.12 : Αγωγοί και υδρομετρητές

ΚΟΜΒΟΣ	ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΑΓΩΓΟΙ				ΣΥΝΟΛΟ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ (ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΩΝ)			
7	7	9			5	24		
8	7	8			5	22		
9	9	10	16		24	2	6	
10	8	10	15		22	2	5	
11	11	12			11	2		
12	12	13			2	11		
13	13	14	15	16	11	4	5	6
14	14	16	17		4	6	2	
15	17	18			2	1		
16	20	21			2	15		
19	25	28			2	12		
20	28	29			12	5		
21	29				5			
22	21	23			15	5		
23	23	24			5	1		
24	24	25			1	2		
25	31				8			

- *Κόμβοι που υδροδοτούνται συνεχώς*

Πίνακας 8.13 : Αγωγοί και υδρομετρητές

ΚΟΜΒΟΣ	ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΑΓΩΓΟΙ				ΣΥΝΟΛΟ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ (ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΩΝ)			
2	T2	2			8	0		
3	2	3			0	5		
4	1	3	4	18	6	5	3	1
5	4	5			3	6		
6	5	6			6	10		
7	6				10			
15	18				1			

8.4 Υπολογισμός παροχών κατανάλωσης

Για να μπορέσουν να επιλυθούν τα δίκτυα των εννέα παραπάνω υποπεριοχών είναι απαραίτητο να γίνουν γνωστές οι παροχές κατανάλωσης των κόμβων. Αυτές προκύπτουν υπολογίζοντας τις παροχές κατανάλωσης κατά μήκος των αγωγών, δηλαδή την ποσότητα του νερού που διανέμει κάθε αγωγός στους καταναλωτές. Οι τιμές αυτές δεν είναι απαραίτητο να υπολογιστούν με μεγάλη ακρίβεια, για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται προσεγγιστικές μέθοδοι που εξαρτώνται από το μέγεθος του οικισμού, την πυκνότητα του πληθυσμού και άλλα πολεοδομικά χαρακτηριστικά. Συνήθως, γίνεται η υπόθεση ότι η κατανάλωση ενός αγωγού μοιράζεται εξίσου στα δύο άκρα του, δηλαδή στους κόμβους ανάντη και κατάντη αυτού. Ουσιαστικά η έννοια της κατανάλωσης των κόμβων είναι μια θεωρητική γενίκευση των καταναλώσεων που σκοπό έχει την διευκόλυνση των υπολογισμών, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενος.

Στην περίπτωση του οικισμού του Μανδρακίου της Νισύρου είναι γνωστός ο αριθμός των υδρομετρητών που λειτουργούν σε κάθε αγωγό. Από στατιστικά στοιχεία της Δ.Ε.Υ.Α.Νισύρου για την κατανάλωση των κατοίκων προκύπτει ότι ένας μετρητής τις ώρες που λειτουργεί το δίκτυο καταγράφει 3 m^3 νερό. Το στοιχείο αυτό είναι μεν πολύ γενικό αλλά δίνει μια εικόνα για το ποιες είναι οι ανάγκες των κατοίκων σε νερό εβδομαδιαίος. Το νούμερο αυτό δεν είναι σταθερό όλη τη διάρκεια του χρόνου. Το χειμώνα που εμφανίζονται βροχοπτώσεις, οι κάτοικοι καταναλώνουν λιγότερο νερό από το δίκτυο μιας και χρησιμοποιούν και το βρόχινο νερό. Το καλοκαίρι που είναι μεγαλύτερη η ανάγκη για νερό, έχει αρχίσει η τουριστική περίοδος και έχουν επιστρέψει και οι περισσότεροι απόδημοι Νισύριοι στο νησί, πάλι το νούμερο αυτό δεν είναι τόσο μεγάλο μιας το δίκτυο δεν έχει τη δυνατότητα να ικανοποιήσει τόσο μεγάλη ζήτηση.

Προσπαθώντας να υπολογιστούν οι παροχές κατανάλωσης των κόμβων του οικισμού του Μανδρακίου με μια ρεαλιστική αντίληψη, γίνεται η υπόθεση ότι σε μια μέση περίοδο, στο νησί κατοικούνται το 60 % των σπιτιών και κάθε ένα από αυτά καταναλώνει 3 m^3 νερό τις ώρες λειτουργίας του δικτύου. Έτσι η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής : υπολογίζονται πόσοι υδρομετρητές αντιστοιχούν σε κάθε κόμβο (οι μισοί κάθε αγωγού που συμμετέχει στον κόμβο), το αποτέλεσμα

πολλαπλασιάζεται επί 3 και επί 0,6 και τέλος διαιρείται με το χρόνο που λειτουργεί το δίκτυο για να υπολογιστεί το αποτέλεσμα σε λίτρα νερού ανά δευτερόλεπτο.

Οι καταναλώσεις των κόμβων των εννέα περιοχών που λειτουργούν στο δίκτυο του Μανδρακίου φαίνονται στους πίνακες που ακολουθούν.

- *Συνοικία Ποταμός*

Πίνακας 8.14 : Κατανάλωση κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΕΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ m^3	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s
36	5.5	9.9	0.79
37	11.5	20.7	1.64
45	9.5	17.1	1.36
46	1.5	2.7	0.21
47	4	7.2	0.57
48	8	14.4	1.14
49	2	3.6	0.29
50	11.5	20.7	1.64
51	6	10.8	0.86
52	1.5	2.7	0.21
53	2.5	4.5	0.36
54	19.5	35.1	2.79
55	12	21.6	1.71
ΣΥΝΟΛΟ		**171**	**13.57**

- *Συνοικία Ηλικιωμένη*

Πίνακας 8.15 : Κατανάλωση κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΕΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ m^3	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s
34	1.5	2.7	0.21
41	14.5	26.1	2.07
42	8	14.4	1.14
43	6.5	11.7	0.93
44	6.5	11.7	0.93
45	5	9	0.71
54	10.5	18.9	1.50
56	14	25.2	2.00
57	13.5	24.3	1.93

58	13.5	24.3	1.93
59	2	3.6	0.29
61	2	3.6	0.29
ΣΥΝΟΛΟ		**175.5**	**13.93**

- *Συνοικία Τρούλλος*

Πίνακας 8.16 : Κατανάλωση κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	**ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΕΣ**	**ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ m^3**	**ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s**
15	14	25.2	2.80
23	14	25.2	2.80
24	2	3.6	0.40
25	1.5	2.7	0.30
38	4.5	8.1	0.90
39	2	3.6	0.40
40	6.5	11.7	1.30
41	8	14.4	1.60
ΣΥΝΟΛΟ		**94.5**	**10.50**

- *Παραλία (Μύλος – Λαογραφικό μουσείο)*

Πίνακας 8.17 : Κατανάλωση κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	**ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΕΣ**	**ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ m^3**	**ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s**
52	1	1.8	0.14
53	0.5	0.9	0.07
64	7.5	13.5	1.07
65	5.5	9.9	0.79
66	11.5	20.7	1.64
67	12	21.6	1.71
68	14	25.2	2.00
69	21.5	38.7	3.07
70	17.5	31.5	2.50
71	9	16.2	1.29
72	7.5	13.5	1.07
73	17	30.6	2.43
74	10	18	1.43

ΣΥΝΟΛΟ		**242.1**	**19.21**

- *Παραλία (Μύλος – Άγιος Σάββας)*

Πίνακας 8.18 : Κατανάλωση κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	**ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΕΣ**	**ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ m^3**	**ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s**
72	8	14.4	1.60
73	8.5	15.3	1.70
78	12	21.6	2.40
79	24	43.2	4.80
80	5	9	1.00
81	20.5	36.9	4.10
82	26	46.8	5.20
83	7.5	13.5	1.50
84	7.5	13.5	150
ΣΥΝΟΛΟ		**214.2**	**23.8**

- *Ξενοδοχείο Καρπαθάκης*

Πίνακας 8.19 : Κατανάλωση κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	**ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΕΣ**	**ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ m^3**	**ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s**
3	8	14.4	1.14
59	6	10.8	0.86
60	11	19.8	1.57
61	5	9	0.71
62	8.5	15.3	1.21
63	10.5	18.9	1.50
64	4.5	8.1	0.64
75	4	7.2	0.57
76	4	7.2	0.57
77	3.5	6.3	0.50
78	4.5	8.1	0.64
ΣΥΝΟΛΟ		**121.5**	**9.64**

- *Λιμάνι – συνοικία Μίρα – Μάρε*

Πίνακας 8.20 : Κατανάλωση κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΕΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ m^3	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s
75	9	16.2	1.80
84	19.5	35.1	3.90
85	13.5	24.3	2.70
86	20	36	4.00
87	11	19.8	2.20
ΣΥΝΟΛΟ		**131.4**	**14.60**

- *Συνοικία Λαγκάδι – Πιαούλι (κάτω μέρος)*

Πίνακας 8.21 : Κατανάλωση κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΕΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ m^3	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s
17	24	43.2	3.43
18	5	9	0.71
26	5	9	0.71
27	3	5.4	0.43
28	2.5	4.5	0.36
29	5.5	9.9	0.79
30	5	9	0.71
31	6.5	11.7	0.93
32	8.5	15.3	1.21
33	3	5.4	0.43
34	14	25.2	2.00
35	19	34.2	2.71
36	5	9	0.71
37	9.5	17.1	1.36
46	10	18	1.43
ΣΥΝΟΛΟ		**225.9**	**17.93**

- *Συνοικία Λαγκάδι – Πιαούλι (πάνω μέρος)*

Πίνακας 8.22 : Κατανάλωση κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΕΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ m^3	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s
7	14.5	26.1	2.90
8	13.5	24.3	2.70
9	16	28.8	3.20
10	14.5	26.1	2.90
11	6.5	11.7	1.30
12	6.5	11.7	1.30
13	13	23.4	2.60
14	6	10.8	1.20
15	1.5	2.7	0.30
16	8.5	15.3	1.70
19	7	12.6	1.40
20	8.5	15.3	1.70
21	2.5	4.5	0.50
22	10	18	2.00
23	3	5.4	0.60
24	1.5	2.7	0.30
ΣΥΝΟΛΟ		**239.4**	**26.60**

- *Κόμβοι που υδροδοτούνται συνεχώς*

Η κατανάλωση αυτών των κόμβων είναι μικρή συγκριτικά με τις καταναλώσεις των προηγούμενων υποπεριοχών μιας και έχουν τη δυνατότητα να υδροδοτούνται όλο το εικοσιτετράωρο και τα Σαββατοκύριακα. Για αυτούς γίνεται η υπόθεση ότι κάθε υδρομετρητής τους καταγράφει 100 λίτρα νερό την ημέρα. Έτσι υπολογίζονται με τον ίδιο τρόπο :

Πίνακας 8.23 : Κατανάλωση κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΕΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s
2	8	0.010
3	2.5	0.003
4	7.5	0.009
5	4.5	0.005

6	8	0.010
7	5	0.006
15	0.5	0.001
ΣΥΝΟΛΟ		**0.043**

8.5 Υδραυλικοί υπολογισμοί

Οι υδραυλικοί υπολογισμοί γίνονται χρησιμοποιώντας το ελεύθερο πρόγραμμα επίλυσης δικτύων ύδρευσης «EPANET». Οι δυνατότητες του προγράμματος είναι πάρα πολλές, αλλά εδώ χρησιμοποιείται με την πιο απλή μορφή του, προκειμένου να υπολογιστούν τα βασικά υδραυλικά μεγέθη που χρειάζονται για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων για το δίκτυο ύδρευσης του Μανδρακίου. Τα στοιχεία που εισέρχονται ως δεδομένα στο πρόγραμμα για τους κόμβους είναι το υψόμετρο και η παροχή κατανάλωσης και για τους αγωγούς το μήκος, η διάμετρος και η τραχύτητα. Το πρόγραμμα υπολογίζει τις πιέσεις που αναπτύσσονται στους κόμβους και τις παροχές και τις ταχύτητες που αναπτύσσονται στους αγωγούς. Για να σχεδιαστεί το δίκτυο στο περιβάλλον του προγράμματος, χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο ένα τοπογραφικό σχέδιο της περιοχής και ένα σχέδιο της οριζοντιογραφίας του δικτύου ύδρευσης. Κάθε υποπεριοχή εξετάστηκε ξεχωριστά, ακολουθούν τα αποτελέσματα για κάθε μια από αυτές.

- *Συνοικία Ποταμός*

Ο αγωγός που παρέχει νερό σε αυτή τη συνοικία είναι ο 57 που συνδέει τους κόμβους 44 και 45, έχει μήκος 36 m, εσωτερική διάμετρο 57 mm και τραχύτητα 0,1 mm. Στην προσπάθειά του να μεταφέρει τα 13,56 L/s που απαιτούνται από τους καταναλωτές αναπτύσσει σύμφωνα με το πρόγραμμα ταχύτητα νερού της τάξης των 5,40 m/s και οι απώλειες ενέργειας φτάνουν τα 21,95 m. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι είναι αδύνατο να διανέμει τόσο μεγάλη ποσότητα παροχής. Με δοκιμές υπολογίζεται η μέγιστη ποσότητα νερού με την οποία μπορεί να τροφοδοτηθεί η συνοικία, αυτή είναι 7,1 L/s κατά τη μεταφορά της οποίας αναπτύσσεται ταχύτητα νερού της τάξης των 2,88 m/s και απώλεια ενέργειας των 6,41 m. Για να υπολογιστούν τα υδραυλικά μεγέθη για αυτή τη συνοικία χρειάζεται να επαναπροσδιοριστούν οι παροχές κατανάλωσης κάθε κόμβου. Θεωρώντας ότι η κατανάλωση κάθε κόμβου θα είναι ανάλογη με πριν, πολλαπλασιάζοντας κάθε τιμή με την ποσότητα 7,1/13,56, προκύπτουν οι νέες καταναλώσεις :

Πίνακας 8.24 : Νέα κατανάλωση κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	**ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s**	**ΚΟΜΒΟΣ**	**ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s**
36	0.41	**50**	0.87
37	0.87	**51**	0.45
45	0.71	**52**	0.11
46	0.11	**53**	0.19
47	0.30	**54**	1.47

48	0.60	**55**	0.90
49	0.15		

Εισάγοντας τις παραπάνω τιμές στο πρόγραμμα, αλλά και τις τιμές των καταναλώσεων των κόμβων που υδροδοτούνται πάντα, τα μεγέθη των πιέσεων που αναπτύσσονται στους κόμβους σε όλη τη διαδρομή του νερού και τα αποτελέσματα για την παροχή και την ταχύτητα κάθε αγωγού φαίνονται στους παρακάτω πίνακες :

Πίνακας 8.25 : Πιέσεις κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	**ΠΙΕΣΗ (m)**	**ΚΟΜΒΟΣ**	**ΠΙΕΣΗ (m)**
1	4.12	**40**	11.52
2	20.08	**41**	10.52
3	20.45	**42**	7.15
4	12.34	**43**	6.26
5	12.64	**44**	6.56
6	17.44	**45**	2.61
7	27.84	**46**	2.80
15	9.92	**47**	3.50
23	5.08	**48**	3.71
24	5.17	**49**	3.83
25	6.26	**50**	4.80
34	6.76	**51**	5.63
36	6.10	**52**	5.09
37	5.04	**53**	3.72
38	7.35	**54**	2.63
39	7.94	**55**	2.58

Πίνακας 8.26 : Παροχές – Ταχύτητες αγωγών

ΑΓΩΓΟΣ	**ΠΑΡΟΧΗ L/s**	**ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s**	**ΑΓΩΓΟΣ**	**ΠΑΡΟΧΗ L/s**	**ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s**
T1	1.62	0.63	**52**	7.14	2.80
T2	5.57	0.44	**53**	2.15	0.84
1	1.62	0.63	**54**	0.00	0.00
2	5.56	0.72	**55**	2.15	0.84
3	5.55	1.07	**56**	4.99	1.95
4	0.02	0.01	**57**	7.14	2.80
5	0.02	0.01	**59**	0.11	0.04
6	0.01	0.00	**60**	0.41	0.16
18	7.14	2.80	**61**	1.87	0.73
22	7.14	2.80	**62**	1.28	0.50
24	7.14	2.80	**63**	1.72	0.67
30	7.14	2.80	**64**	0.43	0.17
44	0.41	0.16	**65**	0.88	0.35
47	7.14	2.80	**66**	0.99	0.39
48	3.34	1.31	**67**	1.18	0.46

49	3.34	1.31	**68**	2.88	1.13
50	3.80	1.49	**69**	3.55	1.39
51	7.14	2.80	**70**	2.65	1.04

- *Συνοικία Ηλικιωμένη*

Ο τροφοδοτικός αγωγός αυτής της συνοικίας είναι ο 51 που συνδέει τους κόμβους 40 και 41, έχει μήκος 44 m, εσωτερική διάμετρο 57 mm και τραχύτητα 0,1 mm. Για να μεταφέρει τα 13,93 L/s που ζητούν οι καταναλωτές αναπτύσσει ταχύτητες νερού της τάξης των 5,46 m/s και οι απώλειες ενέργειας κατά μήκος του φτάνουν τα 27,45 m. Όπως και πριν, είναι αδύνατο να μεταφερθεί τέτοια ποσότητα νερού από τέτοιας διαμέτρου αγωγό. Η μέγιστη δυνατή ποσότητα που μπορεί να μεταφέρει υπολογίζεται στα 7,8 L/s. Πρέπει να υπολογιστούν νέες τιμές των παροχών κατανάλωσης. Πολλαπλασιάζοντας την κατανάλωση κάθε κόμβου με την τιμή 7,8/13,93, προκύπτουν οι νέες καταναλώσεις των κόμβων της συνοικίας :

Πίνακας 8.27 : Νέα κατανάλωση κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	**ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s**	**ΚΟΜΒΟΣ**	**ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s**
34	0.12	**54**	0.84
41	1.16	**56**	1.12
42	0.64	**57**	1.08
43	0.52	**58**	1.08
44	0.52	**59**	0.16
45	0.40	**61**	0.16

Εισάγοντας αυτές τις τιμές στο πρόγραμμα και μαζί τις τιμές των κόμβων που υδροδοτούνται πάντα, λαμβάνονται τα παρακάτω αποτελέσματα για τις πιέσεις στους κόμβους και για τις παροχές και ταχύτητες νερού στους αγωγούς

Πίνακας 8.28 : Πιέσεις κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	**ΠΙΕΣΗ (m)**	**ΚΟΜΒΟΣ**	**ΠΙΕΣΗ (m)**
1	3.94	**39**	3.23
2	20.04	**40**	6.68
3	20.39	**41**	4.29
4	11.98	**42**	4.38
5	12.28	**43**	4.03
6	17.08	**44**	4.83
7	27.48	**45**	6.91
15	8.59	**54**	3.20
23	1.39	**56**	4.34
24	1.30	**57**	5.01
25	1.90	**58**	0.84
34	4.53	**59**	0.24
38	2.80	**61**	3.51

Πίνακας 8.29 : Παροχές – Ταχύτητες αγωγών

ΑΓΩΓΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ L/s	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s	ΑΓΩΓΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ L/s	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s
T1	1.77	0.69	**50**	4.15	1.62
T2	6.08	0.48	**51**	7.80	3.06
1	1.77	0.69	**52**	2.20	0.86
2	6.07	0.78	**53**	0.58	0.23
3	6.06	1.16	**54**	0.12	0.05
4	0.02	0.01	**55**	0.06	0.02
5	0.02	0.01	**56**	0.98	0.39
6	0.01	0.00	**57**	0.40	0.16
18	7.80	3.06	**71**	0.84	0.33
22	7.80	3.06	**74**	2.08	0.82
24	7.80	3.06	**75**	4.44	1.74
30	7.80	3.06	**76**	3.20	1.25
47	7.80	3.06	**77**	0.16	0.06
48	3.65	1.43	**72**	0.16	0.06
49	3.65	1.43			

- *Συνοικία Τρούλλος*

Ο αγωγός που τροφοδοτεί αυτή τη συνοικία είναι ο 18 που συνδέει τους κόμβους 4 και 15, έχει μήκος 31 m, εσωτερική διάμετρο 57 mm και τραχύτητα 0,1 mm. Τα 10,50 L/s που ζητούν οι καταναλωτές μπορεί να τα καλύψει. Η ταχύτητα που αναπτύσσονται κατά μήκος του είναι της τάξης των 4,11 m/s, αλλά λόγω του σχετικά μικρού μήκους του οι απώλειες ενέργειας που αναπτύσσονται είναι της τάξης των 11,09 m και μπορούν να επιτρέψουν στον κόμβο κατάντη να αναπτύξει ικανή πίεση για να λειτουργήσει το δίκτυο.

Τα αποτελέσματα τις επίλυσης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 8.30 : Πιέσεις κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	ΠΙΕΣΗ (m)	ΚΟΜΒΟΣ	ΠΙΕΣΗ (m)
1	3.42	**23**	1.22
2	19.93	**24**	2.01
3	20.21	**25**	5.06
4	10.93	**38**	6.94
5	11.23	**39**	8.23
6	16.03	**40**	12.49
7	26.43	**41**	18.46
15	4.62		

Πίνακας 8.31 : Παροχές – Ταχύτητες αγωγών

ΑΓΩΓΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ L/s	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s	ΑΓΩΓΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ L/s	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s
T1	2.16	0.85	**22**	6.70	2.63
T2	7.39	0.59	**24**	3.90	1.53
1	2.16	0.85	**30**	3.50	1.37
2	7.38	0.95	**47**	3.20	1.25
3	7.37	1.42	**48**	1.16	0.46
4	0.02	0.01	**49**	0.76	0.30
5	0.02	0.01	**50**	1.14	0.44
6	0.01	0.00	**51**	1.60	0.63
18	9.50	3.72			

- *Παραλία (Μύλος – Λαογραφικό μουσείο)*

Ο αγωγός που τροφοδοτεί αυτό το παραλιακό μέρος του οικισμού είναι ο 83 και ενώνει τους κόμβους 63 και 64. Είναι 46 m μήκος, έχει εσωτερική διάμετρο 57 mm τραχύτητα 0,1 mm. Δεν είναι ικανός να μεταφέρει τα 19,21 L/s που ζητούν οι καταναλωτές μιας και για να γίνει αυτό αναπτύσσει ταχύτητες νερού της τάξης των 7,53 m/s και οι αντίστοιχες απώλειες ενέργειας είναι της τάξης των 54,12m. Η μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να παρέχει είναι αυτή των 10.5 L/s. Οι νέες παροχές κατανάλωσης υπολογίζονται πολλαπλασιάζοντας τις προηγούμενες με την ποσότητα 10,5/19,21. Αυτές είναι :

Πίνακας 8.32 : Νέα κατανάλωση κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s	ΚΟΜΒΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s
52	0.08	**69**	1.65
53	0.04	**70**	1.34
64	0.57	**71**	0.69
65	0.42	**72**	0.57
66	0.88	**73**	1.30
67	0.92	**74**	0.77
68	1.07		

Εισάγοντας τις τιμές των καταναλώσεων αυτών μαζί με τις καταναλώσεις των κόμβων που υδροδοτούνται πάντα, το πρόγραμμα δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα για τις πιέσεις των κόμβων και για τις παροχές και ταχύτητες των αγωγών :

Πίνακας 8.33 : Πιέσεις κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	ΠΙΕΣΗ (m)	ΚΟΜΒΟΣ	ΠΙΕΣΗ (m)	ΚΟΜΒΟΣ	ΠΙΕΣΗ (m)
1	4.66	**53**	2.52	**68**	2.82
2	19.71	**59**	38.36	**69**	1.80
3	19.86	**60**	37.74	**70**	0.96
4	13.42	**62**	35.31	**71**	0.72
5	13.71	**63**	27.23	**72**	2.49
6	18.51	**64**	15.78	**73**	2.60
7	28.91	**65**	9.05	**74**	4.23
15	16.22	**66**	8.07	**67**	8.15
52	3.82				

Πίνακας 8.34 : Παροχές – Ταχύτητες αγωγών

ΑΓΩΓΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ L/s	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s	ΑΓΩΓΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ L/s	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s	ΑΓΩΓΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ L/s	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s
T1	1.05	0.41	**78**	10.30	1.98	**90**	3.84	1.51
T2	9.42	0.75	**79**	10.30	1.33	**91**	2.65	1.04
1	1.05	0.41	**80**	10.30	1.33	**92**	0.94	0.37
2	9.41	1.21	**82**	10.30	4.04	**93**	0.38	0.15
3	0.89	0.17	**83**	10.30	4.04	**94**	0.19	0.08
4	0.08	0.03	**84**	9.73	3.81	**95**	0.25	0.10
5	0.07	0.03	**85**	4.55	1.78	**96**	1.25	0.49
6	0.06	0.02	**86**	3.67	1.44	**97**	2.02	0.79
18	0.00	0.00	**87**	0.46	0.18	**88**	2.14	0.84
66	2.10	0.82	**89**	4.76	1.87			

- *Παραλία (Μύλος – Άγιος Σάββας)*

Ο αγωγός που τροφοδοτεί το υπόλοιπο μέρος της παραλίας του οικισμού είναι ο 98 που συνδέει τους κόμβους 2 και 75. Είναι 213 m μήκος, έχει εσωτερική διάμετρο 81,4 mm και τραχύτητα 0,1 mm. Για να μεταφέρει τα 25,9 L/s που ζητούν οι καταναλωτές θα πρέπει να αναπτύξει ταχύτητα νερού 4,98 m/s και η απώλεια ενέργειας κατά μήκος του θα είναι 70,78 m. Συνεπώς είναι αδύνατο να μεταφέρει τόσο μεγάλη παροχή νερού. Η ικανότητα μεταφοράς περιορίζεται στα 12,5 L/s. Οι παροχές κατανάλωσης κατάντη θα πρέπει να μεταβληθούν ανάλογα πολλαπλασιάζοντας αυτές με την τιμή 12,5/25,9. αυτές μετά τον πολλαπλασιασμό γίνονται :

Πίνακας 8.35 : Νέα κατανάλωση κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s	ΚΟΜΒΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s
72	0.77	**81**	1.98
73	0.82	**82**	2.51
78	1.16	**83**	0.72
79	2.32	**84**	1.74
80	0.48		

Μετά από είσοδο αυτών στο πρόγραμμα μαζί με τις τιμές των παροχών κατανάλωσης των κόμβων που υδροδοτούνται πάντα, το πρόγραμμα δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα :

Πίνακας 8.36 : Πιέσεις κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	ΠΙΕΣΗ (m)	ΚΟΜΒΟΣ	ΠΙΕΣΗ (m)	ΚΟΜΒΟΣ	ΠΙΕΣΗ (m)
1	4.70	**15**	16.30	**79**	19.02
2	19.43	**72**	17.11	**80**	19.87
3	19.94	**73**	17.03	**81**	17.47
4	13.50	**75**	0.04	**82**	20.61
5	13.80	**76**	19.68	**83**	20.44
6	18.60	**77**	22.96	**84**	27.61
7	29.00	**78**	25.37	**85**	-2.91

Πίνακας 8.37 : Παροχές – Ταχύτητες αγωγών

ΑΓΩΓΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ L/s	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s	ΑΓΩΓΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ L/s	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s	ΑΓΩΓΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ L/s	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s
T1	0.39	0.41	**18**	0.00	0.00	**105**	1.81	0.71
T2	0.92	0.75	**94**	0.89	0.35	**106**	1.73	0.68
1	0.39	0.41	**98**	12.50	2.40	**107**	2.07	0.81
2	0.12	1.21	**99**	6.12	1.18	**108**	0.79	0.31
3	0.19	0.17	**100**	6.12	1.18	**109**	5.59	2.19
4	0.01	0.03	**101**	6.12	1.18	**110**	6.38	1.23
5	0.01	0.03	**103**	4.86	1.91	**111**	6.38	1.23
6	0.00	0.02	**104**	0.53	0.21			

- *Ξενοδοχείο Καρπαθάκης*

Ο τροφοδοτικός αγωγός αυτής της περιοχής είναι ο 80 που συνδέει τους κόμβους 3 και 62. Έχει μήκος 99 m, εσωτερική διάμετρο 99,4 mm και τραχύτητα 0,1 mm. την απαιτούμενη ποσότητα παροχής των 9,64 L/s μπορεί να τη διανέμει στους

καταναλωτές. Μετά από είσοδο των παροχών κατανάλωσης που έχουν υπολογιστεί στο πρόγραμμα, αυτό δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα :

Πίνακας 8.38 : Πιέσεις κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	ΠΙΕΣΗ (m)	ΚΟΜΒΟΣ	ΠΙΕΣΗ (m)
1	4.71	**60**	40.06
2	19.78	**61**	44.74
3	19.97	**62**	36.02
4	13.52	**63**	39.27
5	13.81	**64**	43.59
6	18.60	**75**	11.00
7	28.99	**76**	32.61
15	16.32	**77**	36.63
59	39.53	**78**	39.87

Πίνακας 8.39 : Παροχές – Ταχύτητες αγωγών

ΑΓΩΓΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ L/s	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s	ΑΓΩΓΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ L/s	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s	ΑΓΩΓΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ L/s	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s
T1	0.99	0.39	**6**	0.06	0.02	**82**	4.14	1.62
T2	8.83	0.70	**18**	0.00	0.00	**83**	0.64	0.25
1	0.99	0.39	**78**	6.42	1.23	**99**	0.29	0.06
2	8.82	1.14	**79**	7.28	0.94	**100**	0.86	0.17
3	0.81	0.16	**80**	8.49	1.09	**101**	1.36	0.26
4	0.17	0.06	**81**	0.71	0.28	**102**	2.00	0.78
5	0.16	0.06						

- *Λιμάνι – συνοικία Μίρα Μάρε*

Ο αγωγός που τροφοδοτεί το λιμάνι και την παραθαλάσσια περιοχή εκτός του οικισμού είναι ο 98 που συνδέει τους κόμβους 2 και 75. Είναι 213 m μήκος, έχει εσωτερική διάμετρο 81,4 mm και τραχύτητα 0,1 mm. Για να μεταφέρει τα 14,6 L/s που ζητάνε οι καταναλωτές κατάντη θα πρέπει να αναπτυχθεί ταχύτητα νερού της τάξης των 2,81 m/s. Οι απώλειες ενέργειας κατά μήκος του θα φτάσουν τα 23 m. Αδυνατεί να παρέχει αυτή την ποσότητα νερού, έτσι παρέχει μια μικρότερη, αυτή των 9,5 L/s. Οι παροχές κατάντη διαμορφώνονται κατάλληλα πολλαπλασιάζοντας κάθε μια με την ποσότητα 9,5/14,6. Αυτές είναι :

Πίνακας 8.40 : Νέα κατανάλωση κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s
75	1.17
84	2.54

85	1.76
86	2.60
87	1.43

Εισάγοντας αυτές τις καταναλώσεις στο πρόγραμμα και μαζί τις καταναλώσεις των κόμβων που υδροδοτούνται πάντα, το πρόγραμμα δίνει τα εξής αποτελέσματα :

Πίνακας 8.41 : Πιέσεις κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	**ΠΙΕΣΗ (m)**	**ΚΟΜΒΟΣ**	**ΠΙΕΣΗ (m)**
1	4.86	**15**	16.62
2	19.78	**75**	7.40
3	20.29	**84**	32.42
4	13.82	**85**	2.08
5	14.12	**86**	28.89
6	18.92	**87**	30.66
7	29.32		

Πίνακας 8.42 : Παροχές – Ταχύτητες αγωγών

ΑΓΩΓΟΣ	**ΠΑΡΟΧΗ L/s**	**ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s**	**ΑΓΩΓΟΣ**	**ΠΑΡΟΧΗ L/s**	**ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s**
T1	0.75	0.29	**6**	0.01	0.00
T2	8.79	0.70	**18**	0.00	0.00
1	0.75	0.29	**98**	9.50	1.83
2	0.72	0.09	**110**	8.33	1.60
3	0.72	0.14	**111**	6.57	1.26
4	0.02	0.01	**112**	4.03	0.77
5	0.02	0.01	**113**	1.43	0.27

- *Συνοικία Λαγκάδι – Πιαούλι (κάτω μέρος)*

Οι κύριοι αγωγοί από τους οποίους μεταφέρεται το νερό σε αυτή τη συνοικία είναι ο 19 που συνδέει τους κόμβους 11 και 17 και ο 21 που συνδέει τους κόμβους 16 και 22. ο πρώτος είναι 89 m μήκος και ο δεύτερος 55 m και οι δύο είναι εσωτερικής διαμέτρου 57 mm και τραχύτητας 0,1 mm. Τα 17.93 L/s που ζητούν οι καταναλωτές δε μπορούν να τα καλύψουν γιατί αναπτύσσουν μεγάλες ταχύτητες και απώλειες ενέργειας κατά μήκος τους. Ο πρώτος 3,78 m/s και 26,96 m και ο δεύτερος 3.25 m/s και 12,37 m αντίστοιχα. Η μέγιστη δυνατή ποσότητα παροχής που μπορούν να μεταφέρουν και οι δύο μαζί είναι της τάξης των 10,2 L/s. Οι νέες καταναλώσεις διαμορφώνονται πολλαπλασιάζοντάς τες με την τιμή 10,2/17,93. Αυτές γίνονται :

Πίνακας 8.43 : Νέα κατανάλωση κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s	ΚΟΜΒΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s
17	1.95	**32**	0.69
18	0.41	**33**	0.24
26	0.41	**34**	1.14
27	0.24	**35**	1.54
28	0.20	**36**	0.41
29	0.45	**37**	0.77
30	0.41	**46**	0.81
31	0.53		

Εισάγοντας αυτές στο πρόγραμμα μαζί με τις καταναλώσεις των μόνιμα υδροδοτούμενων κόμβων, η επίλυση του προγράμματος δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα :

Πίνακας 8.44 : Πιέσεις κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	ΠΙΕΣΗ (m)	ΚΟΜΒΟΣ	ΠΙΕΣΗ (m)	ΚΟΜΒΟΣ	ΠΙΕΣΗ (m)
1	3.18	**14**	6.83	**27**	13.25
2	19.88	**15**	8.53	**28**	7.14
3	20.13	**16**	6.04	**29**	12.76
4	10.47	**17**	15.94	**30**	17.13
5	8.82	**18**	10.89	**31**	12.35
6	9.53	**19**	3.46	**32**	16.75
7	15.52	**20**	3.96	**33**	0.85
8	7.49	**21**	4.06	**34**	14.76
9	18.61	**22**	2.67	**35**	18.31
10	18.56	**23**	1.65	**36**	22.06
11	19.41	**24**	2.32	**37**	20.89
12	16.91	**25**	1.55	**46**	18.64
13	9.44	**26**	16.00		

Πίνακας 8.45 : Παροχές – Ταχύτητες αγωγών

ΑΓΩΓΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ L/s	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s	ΑΓΩΓΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ L/s	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s	ΑΓΩΓΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ L/s	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s
T1	2.31	0.91	**15**	2.39	0.94	**32**	3.59	1.41
T2	7.89	0.63	**16**	2.34	0.92	**33**	4.25	1.67
1	2.31	0.91	**17**	6.80	2.66	**34**	1.92	0.75
2	7.89	1.02	**18**	6.80	2.66	**35**	0.20	0.08
3	7.89	1.52	**19**	5.64	2.21	**36**	1.48	0.58

4	3.40	1.33	**20**	4.56	1.79	**37**	1.92	0.75
5	3.40	1.33	**21**	4.56	1.79	**38**	0.79	0.31
6	3.40	1.33	**23**	4.56	1.79	**39**	0.24	0.09
7	1.84	0.72	**24**	4.56	1.79	**40**	3.06	1.20
8	1.84	0.72	**25**	4.56	1.79	**41**	5.36	2.10
9	1.56	0.61	**26**	4.56	1.79	**42**	2.72	1.07
10	3.90	1.53	**27**	0.56	0.22	**43**	0.41	0.16
11	3.35	1.31	**28**	0.00	0.00	**45**	0.77	0.30
12	2.29	0.90	**29**	0.00	0.00	**46**	1.95	0.76
13	2.29	0.90	**31**	0.00	0.00	**58**	0.81	0.32
14	4.46	1.75						

- *Συνοικία Λαγκάδι – Πιαούλι (πάνω μέρος)*

Οι αγωγοί που τροφοδοτούν τη συνοικία αυτή είναι δύο, ο 4 και ο 18 και ενώνουν τους κόμβους 4 – 15 και 4 – 5 αντίστοιχα. Τα μήκη τους είναι 48,5m και 31m, είναι και οι δύο εσωτερικής διαμέτρου 57 mm και τραχύτητας 0,1 mm. Από τα 26,60 L/s που ζητούν οι καταναλωτές κατάντη, τα 17,72 L/s επιχειρεί να τα μεταφέρει ο 18 και τα 8,88 L/s ο 4. Ο πρώτος αναπτύσσει ταχύτητα νερού 6,94 m/s και απώλεια ενέργειας 31,10 m. Ο δεύτερος αναπτύσσει ταχύτητα νερού 3,48 m/s και απώλεια ενέργειας 12,49 m. Η ποσότητα νερού που ζητείται είναι αδύνατο να μεταφερθεί. Η μέγιστη τιμή της παροχής είναι όπως και πριν 10,2 L/s. Παρόλο που είναι διαφορετικοί αγωγοί, η γεωμετρία του δικτύου δεν επιτρέπει μεταφορά μεγαλύτερης ποσότητας παροχής. Οι καταναλώσεις μετασχηματίζονται πολλαπλασιάζοντας τες με την ποσότητα 10,2/26,60. αυτές γίνονται :

Πίνακας 8.46 : Νέα κατανάλωση κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	**ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s**	**ΚΟΜΒΟΣ**	**ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ L/s**
7	1.11	**15**	0.12
8	1.04	**16**	0.65
9	1.23	**19**	0.54
10	1.11	**20**	0.65
11	0.50	**21**	0.19
12	0.50	**22**	0.77
13	1.00	**23**	0.23
14	0.46	**24**	0.12

Με την εισαγωγή αυτών των τιμών μαζί με τις καταναλώσεις των κόμβων που υδροδοτούνται πάντα στο πρόγραμμα, η επίλυσή του δίνει τα εξής αποτελέσματα :

Πίνακας 8.47 : Πιέσεις κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ	**ΠΙΕΣΗ (m)**	**ΚΟΜΒΟΣ**	**ΠΙΕΣΗ (m)**
1	3.18	**12**	18.77
2	19.88	**13**	10.49

3	20.13	**14**	7.13
4	10.45	**15**	8.57
5	8.74	**16**	7.44
6	9.31	**19**	10.97
7	15.14	**20**	11.37
8	7.19	**21**	11.47
9	18.69	**22**	6.72
10	19.08	**23**	7.65
11	21.58	**24**	8.70

Πίνακας 8.48 : Παροχές – Ταχύτητες αγωγών

ΑΓΩΓΟΣ	**ΠΑΡΟΧΗ L/s**	**ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s**	**ΑΓΩΓΟΣ**	**ΠΑΡΟΧΗ L/s**	**ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s**	**ΑΓΩΓΟΣ**	**ΠΑΡΟΧΗ L/s**	**ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/s**
T1	2.31	0.91	**8**	0.57	0.22	**17**	6.64	2.60
T2	7.91	0.63	**9**	0.74	0.29	**18**	6.76	2.65
1	2.31	0.91	**10**	2.15	0.84	**20**	3.15	1.23
2	7.91	1.02	**11**	0.74	0.29	**21**	2.50	0.98
3	7.91	1.52	**12**	0.24	0.09	**23**	1.73	0.68
4	3.46	1.36	**13**	0.26	0.10	**24**	1.50	0.59
5	3.46	1.36	**14**	3.54	1.39	**25**	1.38	0.54
6	3.46	1.36	**15**	0.87	0.34	**28**	0.84	0.33
7	1.61	0.63	**16**	2.64	1.03	**29**	0.19	0.07

8.6 Συνολική κατανάλωση οικισμού και απαιτούμενη χωρητικότητα δεξαμενής

Ανάλογα με την κατανάλωση κάθε συνοικίας υπολογίζεται η συνολική ημερήσια κατανάλωση του οικισμού. Η ποσότητα που καταναλώνει κάθε συνοικία τις μέρες που υδροδοτείται σε L/s και για πόση ώρα φαίνεται παρακάτω :

- Δευτέρα : Ποταμός : 7,2 L/s – 3,5 ώρες
- Δευτέρα : Ηλικιωμένη : 7.8 L/s – 2.5 ώρες
- Τρίτη : Μύλος – Λαογραφικό μουσείο :10.3 L/s – 3.5 ώρες
- Τρίτη : Μύλος – Άγιος Σάββας : 12.5 L/s – 2.5 ώρες
- Τετάρτη : Ηλικιωμένη :7.8 L/s – 3.5 ώρες
- Τετάρτη : Τρούλλος : 8 L/s – 2.5 ώρες
- Πέμπτη : ξενοδοχείο « Καρπαθάκης » : 9.6 L/s – 3.5 ώρες
- Πέμπτη : Άγιος Σάββας – Λιμάνι : 9.5 L/s – 2.5 ώρες
- Παρασκευή : Λαγκάδι – Πιαούλι (κάτω συνοικία) : 10.2 L/s – 3.5 ώρες
- Παρασκευή : Λαγκάδι – Πιαούλι (πάνω συνοικία) : 10.2 L/s – 2.5 ώρες

Υπολογίζονται οι συνολικές ημερήσιες καταναλώσεις :

- Δευτέρα : 90.7 + 70.2 = 160.9 m^3
- Τρίτη : 129.8 + 112.5 = 242.3 m^3
- Τετάρτη : 98.3 + 72 = 170.3 m^3

- Πέμπτη : 121 + 85.5 = 206.5 m^3
- Παρασκευή : 128.5 + 91.8 = 220.3 m^3

Δεδομένου ότι στο δίκτυο υπάρχουν μεγάλες απώλειες νερού που το 2006 ανέρχονται στο 52,9 % και το 2006 στο 31,7 % του συνολικού προς διανομή νερού, πρέπει να υπολογιστούν κι αυτές στο συνολικό μέγεθος της κατανάλωσης, προκειμένου να υπολογιστεί το διαθέσιμο νερό που θα πρέπει να είναι αποθηκευμένο καθημερινά στη δεξαμενή. Τα στοιχεία όμως της Δ.Ε.Υ.Α.Νισύρου δε μπορούν να δώσουν με ακρίβεια την ποσότητα της απώλειας, μιας και αφορούν μόνο δύο ετήσιες περιόδους και επιπλέον έχουν μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους. Η θεώρηση του μέσου όρου τους θα ήταν μια πολύ γενικευμένη και ανακριβής επιλογή για τον υπολογισμό της τιμής της απώλειας. Έτσι υπολογίζεται μια δυσμενής και μια ευμενής περίπτωση για το συνολικό καταναλωμένο νερό. Η πρώτη αφορά το έτος 2006 και η δεύτερη το έτος 2007 και φαίνονται παρακάτω :

- *Δυσμενής περίπτωση* :

- Δευτέρα : 160.9 + 160.9 52.9 % = 246 m^3
- Τρίτη : 242.3 + 242.3 52.9 % = 370.5 m^3
- Τετάρτη : 170.3 + 170.3 52.9 % = 260.4 m^3
- Πέμπτη : 206.5 + 206.5 52.9 % = 315.7 m^3
- Παρασκευή : 220.3 + 220.3 52.9 % = 336.8 m^3

- *Ευμενής περίπτωση* :

- Δευτέρα : 160.9 + 160.9 31.7 % = 211.9 m^3
- Τρίτη : 242.3 + 242.3 31.7 % = 319.1 m^3
- Τετάρτη : 170.3 + 170.3 31.7 % = 224.3 m^3
- Πέμπτη : 206.5 + 206.5 31.7 % = 272 m^3
- Παρασκευή : 220.3 + 220.3 31.7 % = 290.1 m^3

Η χωρητικότητα της δεξαμενής φτάνει μέχρι και τα 2300 m^3 και προφανώς φτάνει για να ικανοποιήσει τις ανάγκες των κατοίκων σε νερό, τουλάχιστον όπως διαμορφώνονται από την υπάρχουσα κατάσταση ύδρευσης του οικισμού και τις δυνατότητες του δικτύου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^{ο}

Συμπεράσματα και προτάσεις για το δίκτυο ύδρευσης του Μανδρακίου

9.1 Πίεση λειτουργίας

Η επίλυση των εννέα υποδικτύων, όπως αυτά καθορίζονται από τη διαχείριση των δικλείδων, γίνεται στα περισσότερα με τη μέγιστη δυνατή ποσότητα παροχής που μπορεί να διανέμει το δίκτυο. Η ποσότητα αυτή καθορίζεται με βάση τις πιέσεις που αναπτύσσονται στους κόμβους. Κάθε φορά επιλέγεται η μέγιστη ποσότητα νερού, κατά τη διανομή της οποίας, οι απώλειες ενέργειας που θα αναπτυχθούν στους αγωγούς δε θα είναι τόσο μεγάλες όσο να μειώσουν το ύψος της γραμμής ενέργειας κάτω από το υψόμετρο των κόμβων. Δηλαδή, κατά την επίλυση γίνεται τέτοιος πειραματισμός έτσι ώστε να υπολογιστεί η μέγιστη ποσότητα παροχής για την οποία η πίεση σε κάθε κόμβο του δικτύου που καταναλώνει νερό να είναι μεγαλύτερη του μηδενός.

Έχοντας υπολογίσει κάθε φορά την ιδανική ποσότητα παροχής και επιλύσει το κάθε δίκτυο με την αντίστοιχη για αυτό παροχή, παρατηρούνται τρεις διαφορετικές κατηγορίες αποτελεσμάτων όσων αφορά τις πιέσεις των κόμβων. Η πρώτη κατηγορία περιγράφεται από εμφάνιση ικανοποιητικών πιέσεων, η δεύτερη από εμφάνιση πιέσεων που να επαρκούν για την υδροδότηση και η τρίτη από πιέσεις οι οποίες είναι αρκετά χαμηλές και να δημιουργούν πρόβλημα υδροδότησης. Στην πρώτη κατηγορία Ανήκουν τα δίκτυα :

- Παραλία (Μύλος – Άγιος Σάββας) με πιέσεις από 17,03 m έως 20.69 m
- Ξενοδοχείο «Καρπαθάκης» με πιέσεις από 11,00 m έως 44,74 m
- Λιμάνι – συνοικία Μίρα Μάρε με πιέσεις από 7,4 m έως 30,60 m

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα δίκτυα :

- Συνοικία Τρούλλος με πιέσεις από 1,22 m έως 18,46 m
- Παραλία (Μύλος – Λαογραφικό μουσείο) με πιέσεις από 0,72 m έως 15.78 m
- Συνοικία Λαγκάδι – Πιαούλι (κάτω μέρος) με πιέσεις από 1,55 m έως 22,06 m
- Συνοικία Λαγκάδι – Πιαούλι (πάνω μέρος) με πιέσεις από 6,72 m έως 21,58 m

Στην τρίτη κατηγορία ανήκουν τα δίκτυα :

- Συνοικία Ποταμός με πιέσεις από 2,58 m έως 6,56 m
- Συνοικία ηλικιωμένη με πιέσεις από 0,24 m έως 6,91 m

Αν το δίκτυο είχε συνεχή ροή, οι πιέσεις που θα αναπτύσσονταν σε κάθε κόμβο θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερες από 12 μέτρα. Αυτό ισχύει γιατί η πλειοψηφία των σπιτιών στον οικισμό είναι διώροφα οικοδομήματα. Η σχέση που δίνει το αναγκαίο ελάχιστο ύψος πίεσης είναι η : $h_p = 4(n + 1)$, όπου n ο αριθμός των ορόφων. Στη σημερινή περίπτωση λειτουργίας του δικτύου, μια πίεση της τάξης των 2-3 μέτρων αρκεί για τη υδροδότηση των σπιτιών μιας και οι παροχές των σπιτιών είναι συνδεδεμένες απευθείας με τις υπόγειες ιδιόκτητες δεξαμενές αυτών. Για αυτό το λόγο οι παραπάνω πιέσεις που προκύπτουν από τις επιλύσεις γίνονται αποδεκτές, εκτός από ορισμένες μεμονωμένες περιπτώσεις (π.χ. 0,24 m) που για να υδροδοτηθούν ή περιμένουν να μειωθεί η παροχή στη συνοικία με σκοπό να αυξηθεί η πίεση στους δυσμενείς κόμβους ή χρησιμοποιούν αντλίες.

εικόνα 9. 1 : Αντλία νερού για οικιακή χρήση

9.2 Προβλήματα κατά τη λειτουργία του δικτύου

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα των επιλύσεων βγαίνουν ορισμένα συμπεράσματα για τη λειτουργία του δικτύου :

1. Όταν υδροδοτούνται οι περιοχές με το χαμηλότερο υψόμετρο, σε όλη τη διαδρομή του νερού οι πιέσεις είναι μειωμένες, πολλές φόρες τόσο, όσο να μη μπορούν να υδροδοτηθούν οι περιοχές με το μεγαλύτερο υψόμετρο.

2. Όταν υδροδοτούνται οι περιοχές με το χαμηλότερο υψόμετρο, αλλά οι πιέσεις των κόμβων ανάντη είναι σε τέτοιο μέγεθος ώστε να μπορούν να υδροδοτήσουν τις περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο, αν επιχειρηθεί η υδροδότηση των δεύτερων, η υδροδότηση των πρώτων θα αστοχήσει γιατί το ποσό της παροχής που μπορούν να διανέμουν οι αγωγοί είναι συγκεκριμένο και τις περισσότερες φορές μικρότερο από αυτό που ζητούν οι καταναλωτές στις κατάντη συνοικίες.

3. Οι ποσότητες της παροχής που διανέμει το δίκτυο είναι πολύ μεγάλες σε σχέση με το σχεδιασμό του. Το γεγονός αυτό έχει σα συνέπεια το δίκτυο να καταπονείται ιδιαίτερα. Η καταπόνηση αυτή οφείλεται αφενός στις αυξομειώσεις των πιέσεων στους κόμβους και αφετέρου στις μεγάλες τιμές της ταχύτητας του νερού που αναπτύσσονται στους κύριους αγωγούς.

Το τρίτο συμπέρασμα δείχνει την αιτία να δημιουργηθούν διαρροές κατά μήκος του δικτύου. Η αυξομείωση των πιέσεων εξηγείται ως εξής : Οι πιέσεις στους κόμβους του δικτύου και κυρίως σε αυτούς με το μεγάλο υψόμετρο, εμφανίζουν τέσσερα στάδια μεγέθους. Το πρώτο στάδιο είναι όταν διέρχεται νερό από αυτούς αλλά δε καταναλώνουν, είτε γιατί οι πιέσεις σε αυτούς είναι πολύ μικρές και δε μπορούν, είτε για να μπορέσουν να καταναλώσουν οι κόμβοι κατάντη, η πίεση σε αυτή την περίπτωση είναι σαφώς μικρή. Το δεύτερο στάδιο είναι όταν διέρχεται νερό από αυτούς και μπορούν να καταναλώσουν, τότε η πίεση αυξάνεται. Το τρίτο στάδιο είναι όταν διέρχεται νερό από αυτούς, αλλά επιλέγουν να μη καταναλώσουν, τότε η πίεση φτάνει στη μέγιστη τιμή της. Το τέταρτο στάδιο είναι όταν δε διέρχεται νερό από αυτούς, τότε η πίεση είναι μηδενική.

Στο τρίτο στάδιο, η πίεση που αναπτύσσεται είναι η στατική πίεση ή αλλιώς η πίεση ηρεμίας των κόμβων και η τιμή της για κάθε κόμβο φαίνεται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 9.1 : Στατικές πιέσεις στους κόμβους

ΚΟΜΒΟΣ	ΠΙΕΣΗ ΗΡΕΜΙΑΣ	ΚΟΜΒΟΣ	ΠΙΕΣΗ ΗΡΕΜΙΑΣ	ΚΟΜΒΟΣ	ΠΙΕΣΗ ΗΡΕΜΙΑΣ	ΚΟΜΒΟΣ	ΠΙΕΣΗ ΗΡΕΜΙΑΣ
1	5.10	**23**	24.70	**45**	46.80	**67**	51.40
2	20.30	**24**	25.80	**46**	48.40	**68**	49.50
3	20.80	**25**	29.50	**47**	49.10	**69**	48.50
4	14.30	**26**	44.30	**48**	49.30	**70**	48.80
5	14.60	**27**	41.70	**49**	49.50	**71**	48.60
6	19.40	**28**	35.60	**50**	50.60	**72**	50.40
7	29.80	**29**	41.30	**51**	51.40	**73**	50.50
8	22.10	**30**	45.70	**52**	50.80	**74**	51.40
9	33.50	**31**	40.30	**53**	49.40	**75**	17.90
10	34.10	**32**	45.90	**54**	48.20	**76**	39.50
11	36.70	**33**	29.40	**55**	46.90	**77**	43.50
12	33.90	**34**	44.40	**56**	48.70	**78**	46.70
13	25.60	**35**	48.40	**57**	49.80	**79**	51.20
14	20.90	**36**	52.20	**58**	42.80	**80**	52.10
15	17.10	**37**	51.10	**59**	42.20	**81**	50.30
16	22.90	**38**	31.60	**60**	43.50	**82**	52.20
17	42.70	**39**	33.00	**61**	48.30	**83**	52.20
18	37.60	**40**	37.30	**62**	38.20	**84**	52.00

19	28.20	**41**	43.70	**63**	44.70	**85**	18.50
20	28.70	**42**	44.20	**64**	49.10	**86**	49.80
21	28.80	**43**	43.90	**65**	51.00	**87**	52.50
22	23.40	**44**	44.70	**66**	51.00		

Αυτή στα συνηθισμένα υδραυλικά δίκτυα με συνεχή ροη εμφανίζεται κατά τις ώρες της νύχτας που η κατανάλωση νερού είναι ελάχιστη έως μηδενική. Στην περίπτωση του δικτύου του Μανδρακίου δεν μπορεί να εμφανιστεί, τουλάχιστον για μεγάλο χρονικό διάστημα, γιατί όπως αναφέρθηκε το δίκτυο δε λειτουργεί όλες τις ώρες τις μέρας. Στο δίκτυο σταματά να παρέχεται νερό στις 13:30 κάθε μεσημέρι και από εκεί και πέρα το νερό που υπάρχει μέσα στο δίκτυο μένει παγιδευμένο μέχρι να καταναλωθεί. Σίγουρα δε καταναλώνεται όλη η ποσότητα του νερού, αλλά η πίεση που ασκείται στους κόμβους από αυτό είναι πολύ μικρή έως μηδενική τις περισσότερες ώρες της μέρας. Υπάρχει όμως ένα μικρό χρονικό διάστημα δύο φορές τη μέρα που η πίεση του παγιδευμένου νερού φτάνει τα όρια της στατικής πίεσης. Αυτό εμφανίζεται στις 11:30 το πρωί και στις 13:30 το μεσημέρι. Είναι οι ώρες κατά τις οποίες κλείνουν οι βάνες και το δίκτυο την πρώτη φορά τροφοδοτεί άλλη περιοχή και τη δεύτερη φορά σταματά τη λειτουργία του. Θεωρώντας ότι η πλειοψηφία των καταναλωτών μέσα στις ώρες λειτουργίας του δικτύου έχει καλύψει την ανάγκη της σε νερό, τη χρονική στιγμή που γίνεται το κλείσιμο των δικλείδων έχει ήδη κλείσει τις παροχές των σπιτιών. Τότε εμφανίζεται μεγάλη πίεση στους κόμβους πολλές φορές ανάλογη με τη στατική.

Τα παραπάνω μπορούν να περιγραφούν με ένα παράδειγμα ενός κόμβου από το δίκτυο. Ο κόμβος 11 βρίσκεται στο πάνω μέρος της συνοικίας Λαγκάδι – Πιαούλι, από τις 7:30 μέχρι τις 11:30 που υδροδοτείται το κάτω μέρος της συνοικίας αναπτύσσει πίεση 19.41 μέτρα. Από τις 11:30 που αρχίζει η υδροδότηση του πάνω μέρους της συνοικίας μέχρι να ανοίξουν οι παροχές των σπιτιών αναπτύσσει τη στατική πίεση που είναι στα 36.70 μέτρα. Από τη στιγμή που ανοίγουν οι παροχές των σπιτιών μέχρι τη στιγμή που κλείνουν αναπτύσσει πίεση 21.58 μέτρα. Όταν ικανοποιηθούν οι ανάγκες σε νερό και κλείσουν οι παροχές των σπιτιών μέχρι και τις 13:30 που σταματά η υδροδότηση του οικισμού αναπτύσσεται πάλι η στατική πίεση, από τότε κι έπειτα η πίεση υποχωρεί σιγά σιγά καθώς το νερό που είναι εγκλωβισμένο στο δίκτυο καταναλώνεται από διάφορους κόμβους της συνοικίας.

Οι μεγάλες τιμές της ταχύτητας είναι αιτία για διάβρωση των αγωγών αλλά και για την εμφάνιση του φαινόμενου του υδραυλικού πλήγματος. Το φαινόμενο αυτό δημιουργείται από τις απότομες αλλαγές της ταχύτητας του νερού. Όταν σε ένα δίκτυο υπάρχουν μεγάλες ταχύτητες συνεπάγεται ότι και οι μεταβολές τους θα είναι έντονες. Αυτές οι έντονες μεταβολές προκαλούν απότομες μεταβολές της πίεσης μέσα στους αγωγούς που με τη σειρά τους προκαλούν πιεστικά κύματα που κινούνται με μεγάλη ταχύτητα και επιβαρύνουν επιπρόσθετα τους αγωγούς.

Τα παραπάνω συμπεράσματα για την προβληματική λειτουργία του δικτύου προκύπτουν με βάση τη ιδανική επίλυσή του μέσο του προγράμματος EPANET. Στην παραπάνω ανάλυση δε έχουν ληφθεί υπ όψη ούτε οι πολύ μεγάλες απώλειες νερού που οφείλονται σε πιθανές διαρροές , ούτε οι κατασκευαστικές διαφοροποιήσεις του δικτύου από τη μελέτη. Οι πρώτες λόγω της αδυναμίας του προγράμματος και οι δεύτερες λόγω της αδυναμίας γνώσης του ποιες είναι. Σίγουρα, η επιρροή των απωλειών στο δίκτυο είναι έντονη αφενός λόγω του κόστους του αχρησιμοποίητου

νερού και αφετέρου στην ουσιαστική λειτουργία του δικτύου με τη μείωση της παροχής και κατ επέκταση την έλλειψη νερού. Από την άλλη μεριά οι διαφοροποιήσεις στην κατασκευή του δικτύου μπορεί να προκαλούν τοπικά αύξηση της παροχής ή της πίεσης ή και των δύο (π.χ. αν έχει τοποθετηθεί αγωγός μεγαλύτερης διαμέτρου από την προβλεπόμενη) , αλλά η τυχαία και όχι μελετημένη τοποθέτηση μόνο αρνητικά αποτελέσματα μπορεί μιας και αλλάζει όλη τη γεωμετρία του δικτύου και τα προβλήματα που μπορεί να λύνουν στη θέση που βρίσκονται, τα δημιουργούν σε άλλες σε μεγαλύτερο βαθμό.

9.3 Προτάσεις για την αποκατάσταση και τη βελτίωση του δικτύου

Σε συζητήσεις των κατοίκων του Μανδρακίου που ζούνε το πρόβλημα της υδροδότησης σε καθημερινό επίπεδο, η μόνη λύση για το δίκτυο φαντάζει η κατασκευή ενός νέου δικτύου ύδρευσης που να αντικαταστήσει το παλιό. Η λύση αυτή δεν είναι τόσο απλή μιας και το κόστος μια τέτοιας επιλογής θα ήταν πολύ μεγάλο και δε μπορεί να θεωρηθεί μονόδρομος, τουλάχιστον πριν γίνει η σύγκριση του κόστους αυτού με το κόστος επιδιόρθωσης του δικτύου.

Εξετάζοντας το πρόβλημα ύδρευσης του οικισμού και συνειδητοποιώντας το μέγεθός του, καταλαβαίνει κανείς πως η διαδικασία επιδιόρθωσής του θα πρέπει να περάσει από διάφορα στάδια προκειμένου αυτή να δώσει μακροχρόνια και αξιόπιστα αποτελέσματα. Τα στάδια αυτά είναι τα ακόλουθα :

- Ακριβής καταγραφή της ποσότητας του νερού που καταναλώνουν οι κάτοικοι του οικισμού.
- Ακριβής καταγραφή της ποσότητας του νερού που φτάνει στη δεξαμενή
- Ακριβής καταγραφή της ποσότητας νερού που ξεκινάει από τη δεξαμενή για να καταλήξει στους καταναλωτές.
- Εκτίμηση της ποσότητας των διαρροών και ακριβή προσδιορισμό των σημείων που εμφανίζεται αυτή
- Αντικατάσταση των προβληματικών αγωγών
- Τοποθέτηση συσκευών εξαγωγής αέρα και εκκένωσης του δικτύου
- Σύνδεση κάθε παροχής σπιτιού στο κεντρικό του υδραυλικό σύστημα και όχι στη δεξαμενή αποθήκευσης νερού
- Χρήση βανών μείωσης της πίεσης (PRV) και βανών διατήρησης της πίεσης (PSV) ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου.

Το ποσό του ακοστολόγητου νερού τα έτη 2006 και 2007 που προκύπτει από στοιχεία της Δ.Ε.Υ.Α.Νισύρου και αναφέρεται προηγούμενος, αφενός είναι πολύ μεγάλο και τις δύο χρονιές , αλλά αφετέρου παρουσιάζει μια μεγάλη διαφορά από τη μια χρονιά στην άλλη. Την πρώτη, κοστολογήθηκαν 40930 m^3 και τη δεύτερη 56832 m^3 , ενώ και τις δύο χρονιές η παραγωγή νερού της αφαλάτωσης έφτασε τα 90000 m^3. Οι τιμές αυτές οδηγούν στο συμπέρασμα, ότι στο δίκτυο υπάρχουν πολύ μεγάλες διαρροές νερού, όμως δεν είναι ικανές να δώσουν ένα ακριβές νούμερο για αυτές. Προφανώς από τη μια χρονιά στη άλλη πάρθηκαν διάφορα μέτρα αντιμετώπισης του προβλήματος, πιθανόν αντικαθιστώντας αγωγούς που η διαρροή τους ήταν προφανής, αλλά αυτά τα μέτρα δεν είναι αρκετά για να επιλύσουν το πρόβλημα υδροδότησης του οικισμού.

Προτείνεται λοιπόν η ακριβής καταγραφή του νερού που κυκλοφορεί στο δίκτυο. Αυτή η καταγραφή αφορά τους καταναλωτές, τον αγωγό μεταφοράς νερού από την αφαλάτωση στη δεξαμενή και τουλάχιστον τους κύριους αγωγούς του δικτύου που μεταφέρουν και διανέμουν το νερό από τη δεξαμενή στους καταναλωτές. Πρακτικά, προτείνεται η αντικατάσταση των υδρομετρητών των σπιτιών με νέους, σύγχρονης τεχνολογίας, που μετρούν με μεγαλύτερη ακρίβεια την κατανάλωση νερού και επιπλέον έχουν συστήματα ασφάλειας τέτοια ώστε ο μετρητής να μη μπορεί να αποκοπεί από την παροχή νερού, αλλά και να μη μπορεί να πειραχτεί η ένδειξή του. Επιπλέον προτείνεται η τοποθέτηση υδρομετρητή στη αρχή και στο τέλος του αγωγού μεταφοράς νερού από την αφαλάτωση στη δεξαμενή, έτσι ώστε να είναι γνωστό το ποσό του νερού που μεταφέρεται στη δεξαμενή. Τέλος προτείνεται η τοποθέτηση υδρομετρητών στους κύριους αγωγούς του δικτύου (ενδεικτικά αναφέρονται οι αγωγοί T1, T2, 19, 22, 51, 57, 80, 103 και 110), έτσι ώστε να είναι γνωστή η παροχή νερού που διανέμεται μέσω του δικτύου προς κατανάλωση. Γνωρίζοντας αυτές τις ποσότητες θα είναι εύκολος και ακριβής ο υπολογισμός του ακοστολόγητου νερού και κατά συνέπεια του μεγέθους των διαρροών. Επιπλέον θα είναι ένα μέτρο που θα εξασφαλίζει το συνεχή έλεγχο της λειτουργίας του δικτύου και δε θα είναι παροδικό μόνο κατά τη διαδικασία τη επιδιόρθωσης.

Γνωρίζοντας τον ακριβή αριθμό των διαρροών το επόμενο στάδιο είναι ο προσδιορισμός της ακριβής θέσης αυτών. Υπάρχει μια ποικιλία μεθόδων για τον προσδιορισμό των διαρροών και σε αυτό έχει βοηθήσει αρκετά η ανάπτυξη της τεχνολογίας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι που βασίζονται στην καταγραφή των πιέσεων των κόμβων με μανόμετρα και υπολογίζουν τη θέση των διαρροών συγκρίνοντας αυτές με τις πιέσεις ηρεμίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι που υπολογίζουν τη θέση των διαρροών με βάση το θόρυβο που παράγουν αυτές και διάφορες άλλες. Γνωρίζοντας τη θέση των διαρροών μπορούν εύκολα πια να διορθωθούν χωρίς να χρειάζεται η αντικατάσταση μεγάλου μέρους του δικτύου. Τοπικά μπορούν να αντικατασταθούν οι προβληματικοί αγωγοί χωρίς να γίνει μεγάλης έκτασης εκσκαφή που και μεγάλο κόστος έχει (πόσο μάλλον σε ένα παραδοσιακό πλακόστρωτο οικισμό) και προβλήματα ηχορύπανσης, σκόνης και κραδασμών προκαλεί.

Η επιδιόρθωση του δικτύου θα πρέπει να ακολουθηθεί και από αλλαγή στον τρόπο κατανάλωσης νερού των κατοίκων. Ο τόπος με τον οποίο γίνεται η κατανάλωση σήμερα δε μπορεί να υποστηριχτεί από το δίκτυο γιατί αυτό έχει σχεδιαστεί για μικρότερες τιμές κατανάλωσης. Το γέμισμα των ιδιόκτητων δεξαμενών με νερό που παρέχεται από το δίκτυο αποδεικνύεται πιο πάνω πως είναι ιδιαίτερα επιβαρυντικό για τη λειτουργία του. Αν συνεχίσει αυτός ο τρόπος κατανάλωσης νερού και μετά την επιδιόρθωση του δικτύου, είναι σίγουρο πως σε σύντομο χρονικό διάστημα τα προβλήματα υδροδότησης θα επανεμφανιστούν. Προτείνεται λοιπόν, μιας και το δίκτυο θα μπορεί να έχει συνεχή ροή, να γίνουν μετατροπές στον τρόπο υδροδότησης των σπιτιών, δηλαδή η παροχή κάθε σπιτιού να συνδεθεί κατευθείαν στη υδραυλική εγκατάσταση αυτού και όχι στη δεξαμενή αποθήκευσης όπως γίνεται σήμερα. Η πρόταση αυτή αποτελεί βέβαια ένα λεπτό ζήτημα που μπορεί να έρθει αντιμέτωπό με τις αντιδράσεις των κατοίκων του οικισμού γιατί πιθανόν το κόστος της μετατροπής να επιβαρύνει τους ίδιους. Αν δε γίνει αυτή η μετατροπή όμως, για να μπορέσει το δίκτυο να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις της κατανάλωσης θα πρέπει πολλοί αγωγοί του να αντικατασταθούν με μεγαλύτερης διαμέτρου, δηλαδή να γίνει νέα διαστασιολόγηση του δικτύου.

Τέλος, μετά την επίλυση των παραπάνω προβλημάτων θα πρέπει να τοποθετηθούν συσκευές στο δίκτυο που να εξασφαλίζουν την ομαλή του λειτουργία. Απαραίτητες είναι οι συσκευές εξαγωγή του αέρα που παγιδεύεται μέσα στο δίκτυο και προκαλεί προβλήματα υποπιέσεων. Αυτές τοποθετούνται σε σημεία με ψηλό υψόμετρο, στα οποία κατευθύνεται ο αέρας. Επιπλέον απαραίτητες είναι οι συσκευές εκκένωσης του δικτύου, που σκοπό έχουν τον καθαρισμό αυτού από φερτά υλικά που εισχωρούν σε αυτό. Αυτές τοποθετούνται στα σημεία με χαμηλό υψόμετρο, έτσι ώστε να εκμεταλλεύονται τη δύναμη της βαρύτητας του νερού. Άλλες συσκευές που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν είναι οι βάνες μείωσης πίεσης, που σκοπό έχουν να μειώνουν την πίεση των κατάντη κόμβων από το σημείο της τοποθέτησης τους. Είναι πολύ χρήσιμές όταν στους κόμβους με χαμηλό υψόμετρο αναπτύσσονται μεγάλες πιέσεις που επιβαρύνουν το δίκτυο. Ιδιαίτερα χρήσιμες αποδεικνύονται κατά τη διάρκεια της νύχτας, όπου στο δίκτυο αναπτύσσονται οι μεγαλύτερες δυνατές πιέσεις (πιέσεις ηρεμίας). Θα μπορούσαν επιπλέον να χρησιμοποιηθούν βάνες διατήρησης της πίεσης , που σκοπό έχουν να εξασφαλίζουν μια σταθερή πίεση στους κόμβους ανάντη από την τοποθέτηση της, ανεξάρτητα από τη ζήτηση νερού και τις αυξομειώσεις της πίεσης στους κατάντη κόμβους. Αυτές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες σε περιπτώσεις όπου στο δίκτυο εμφανίζονται κόμβοι σε ψηλά υψόμετρα με μικρή πίεση, επιλύοντας ουσιαστικά το πρόβλημα υποπίεσης αυτών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Γιακουμάκης Σ. 2008, Μέθοδοι Ελέγχου και Διαρροών στα Δίκτυα Ύδρευσης, Αθήνα, Τομέας Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Μαντόγλου Α. 2004, Μηχανική Ρευστών και Εφαρμοσμένη Υδραυλική, Αθήνα, ΕΜΠ

Ναλμπαντης Ι. 2007, Προστασία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Αθήνα, ΕΜΠ

Παλαιογιάννης Α. 2002, Διπλωματική Εργασία, Επίλυση Εσωτερικού Δικτύου Ύδρευσης της Πόλης των Καλαβρύτων, Τομέας Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Παντοκράτορας Α. 1997, Υδρεύσεις Πόλεων, Τόμος Ι, Θεωρία, Ξάνθη, ΔΠΘ

Παντοκράτορας Α. 1997, Υδρεύσεις Πόλεων, Τόμος Ι Ι, Παραδείγματα, Ξάνθη, ΔΠΘ

Σπηλιώτης Μ. 2004, Υδρεύσεις Οικισμών, Αθήνα, ΕΜΠ

Σπηλιώτης Μ. 2004, Υδρεύσεις Οικισμών (Συμπληρωματικές σημειώσεις), Αθήνα, ΕΜΠ

Τσακίρης Γ. 2006, Υδραυλικά Έργα Σχεδιασμός & Διαχείριση, Τόμος ΙΙ, Συμμετρία, Αθήνα

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Cabrera E. and Martinez F. 1993, Water Supply Systems, Computational Mechanics Publications, Southampton Boston

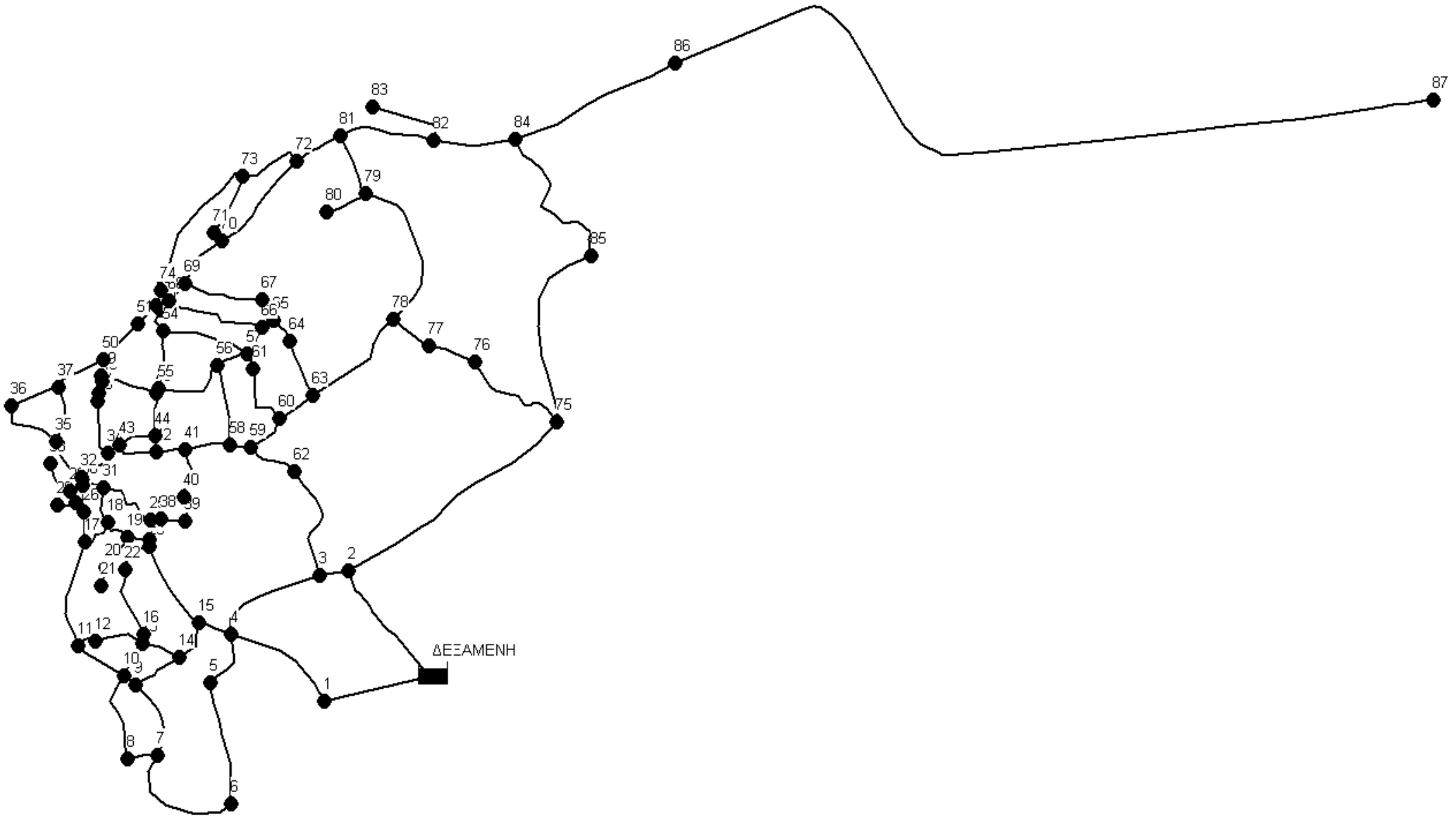
Haestad Methods, Strafaci, Adam M., Walski, Thomas M. 2003, Advanced Water Distribution Modeling and Management, Haestad Press, Waterbury CT USA

Jeppson R.W. 1976, Analysis of Flow in Pipe Networks, Butterworth-Heinemann

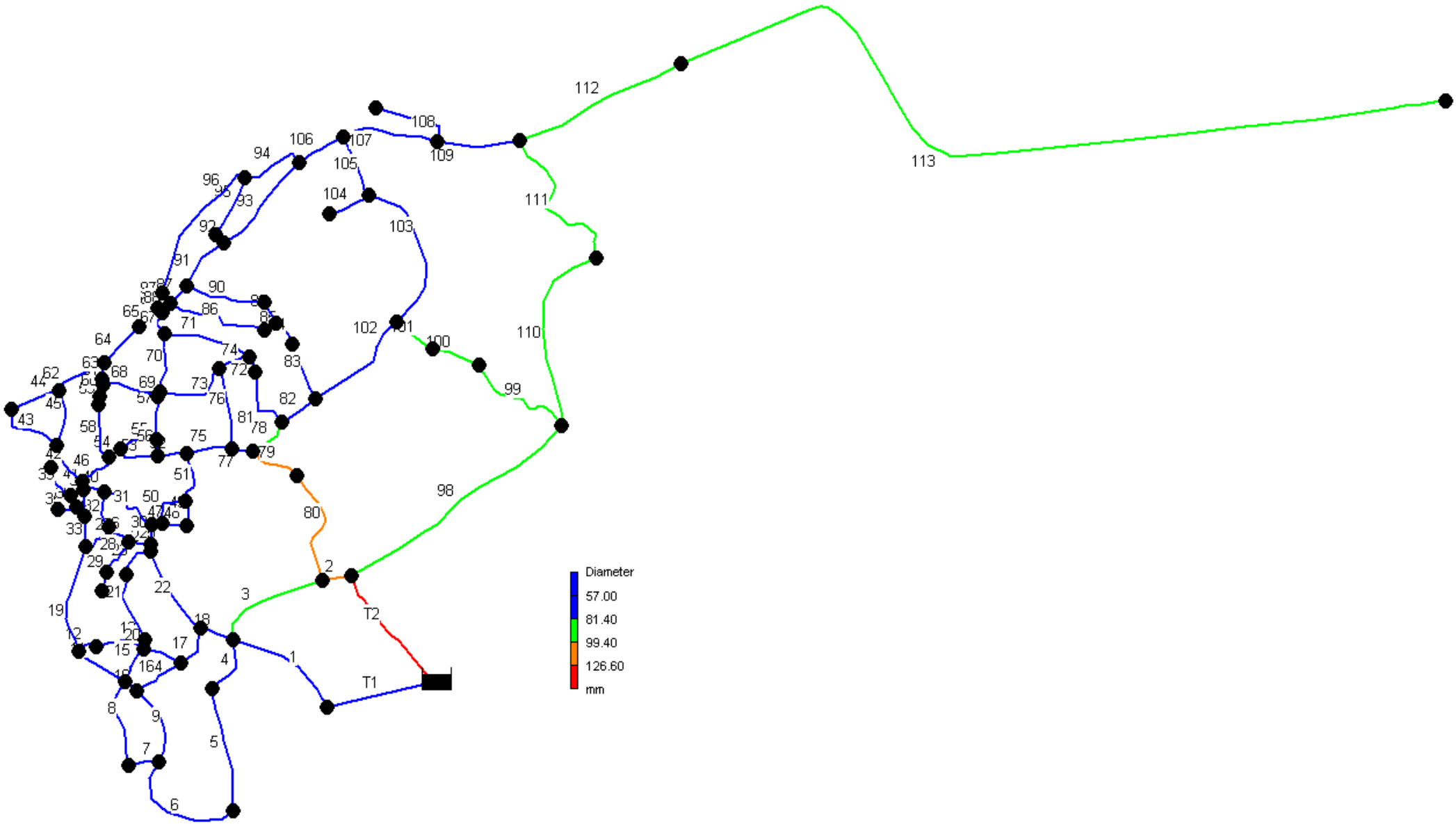
Mays L. 1999, Water Distribution Systems Handbook, Department of Civil and Environmental Engineering Arizona State University, Temple, Arizona

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

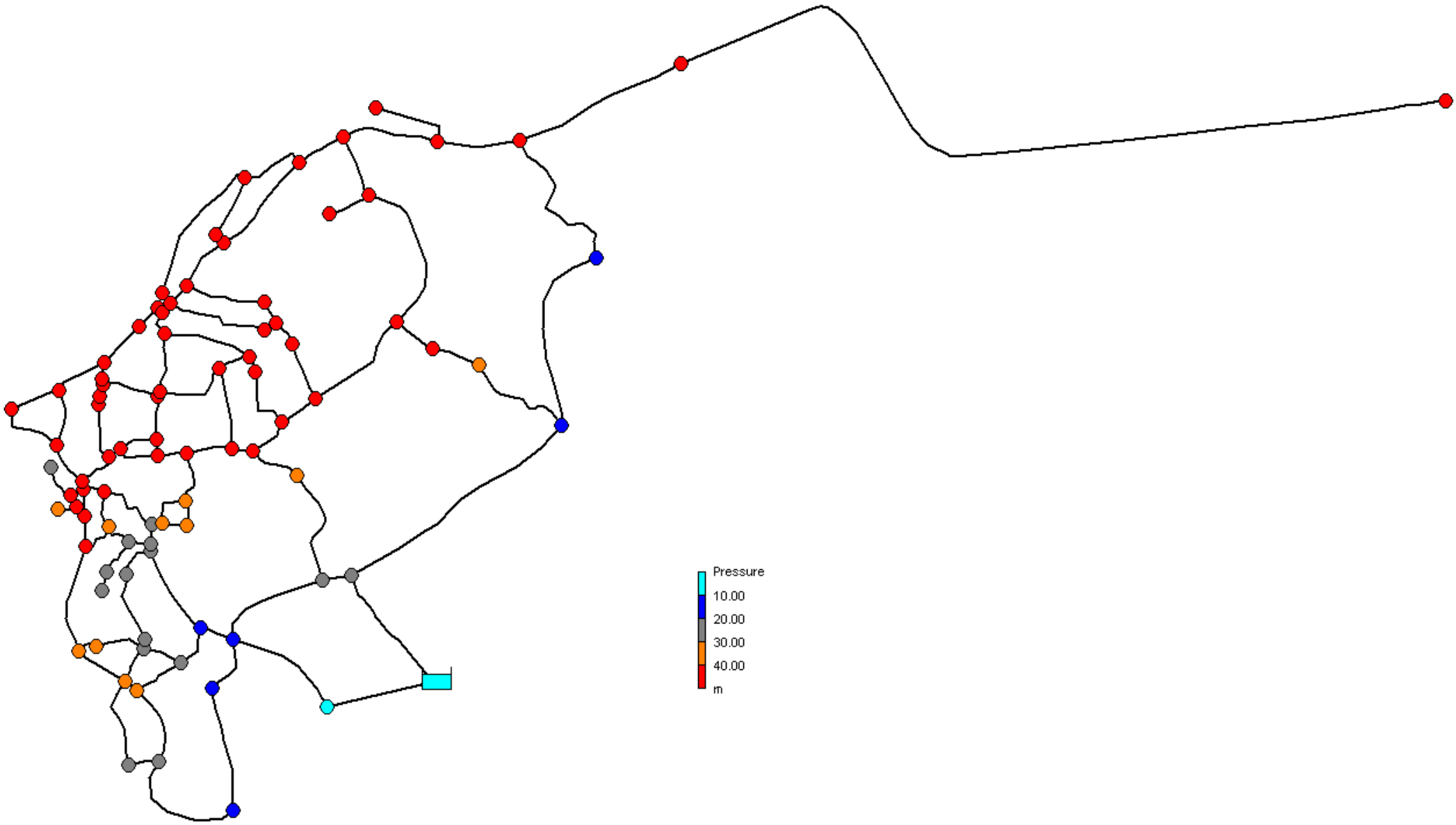
ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΜΑΝΔΡΑΚΙΟΥ



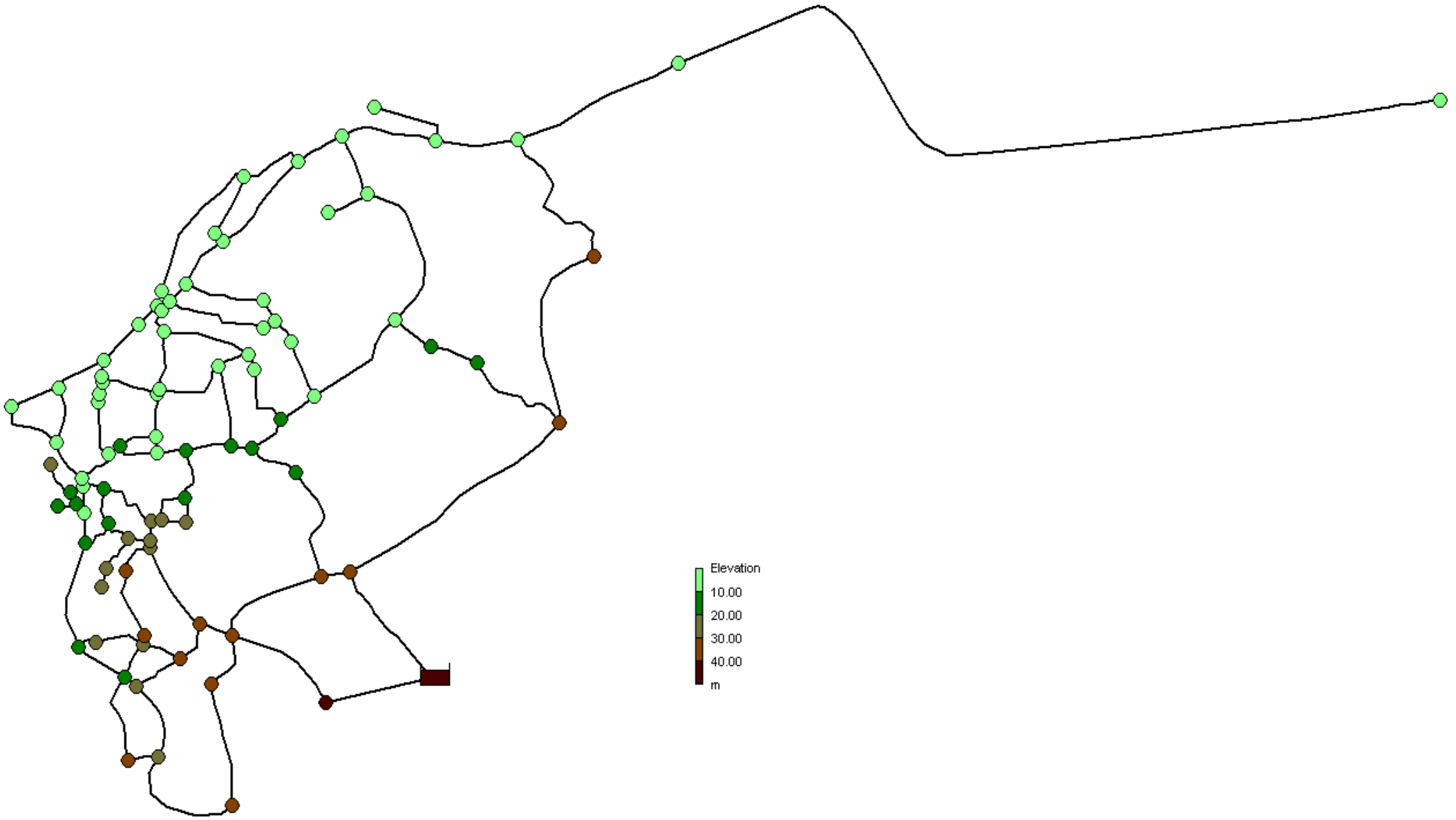
Σχήμα 1 : Αποτύπωση κόμβων



Σχήμα 2 : Αποτύπωση αγωγών και διαμέτρων



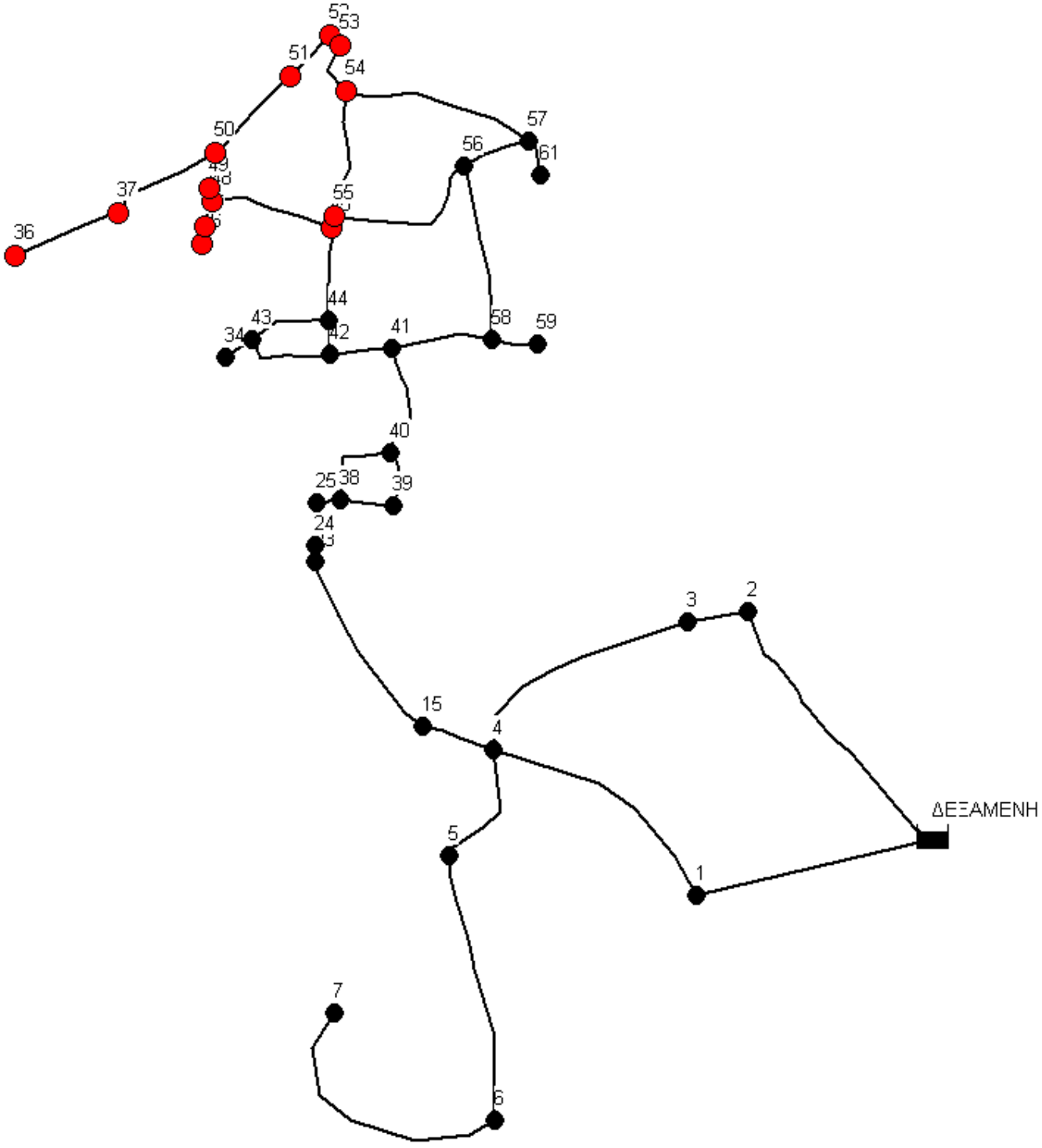
Σχήμα 3 : Αποτύπωση στατικών πιέσεων



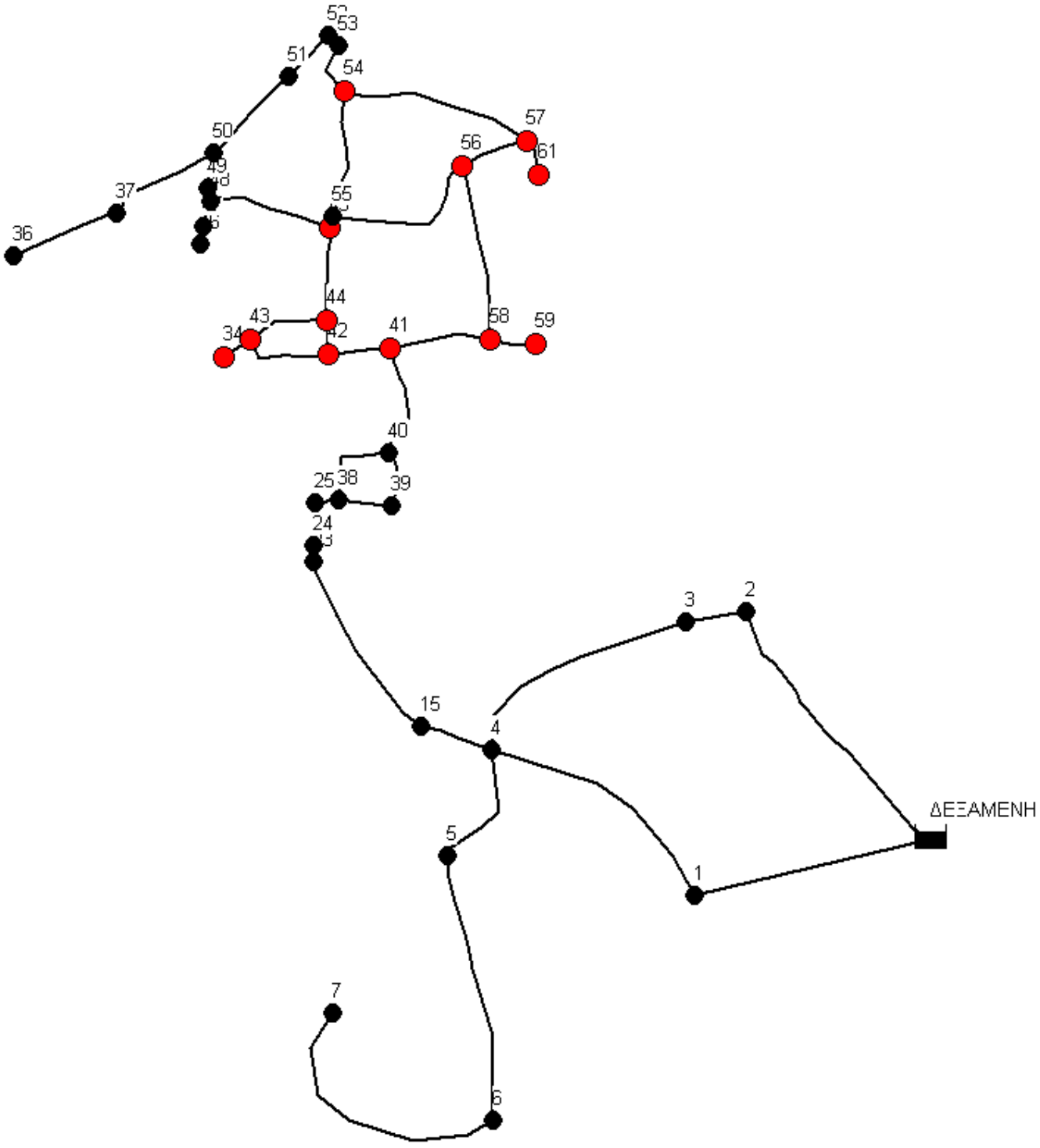
Σχήμα 4 : Αποτύπωση υψομέτρων

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

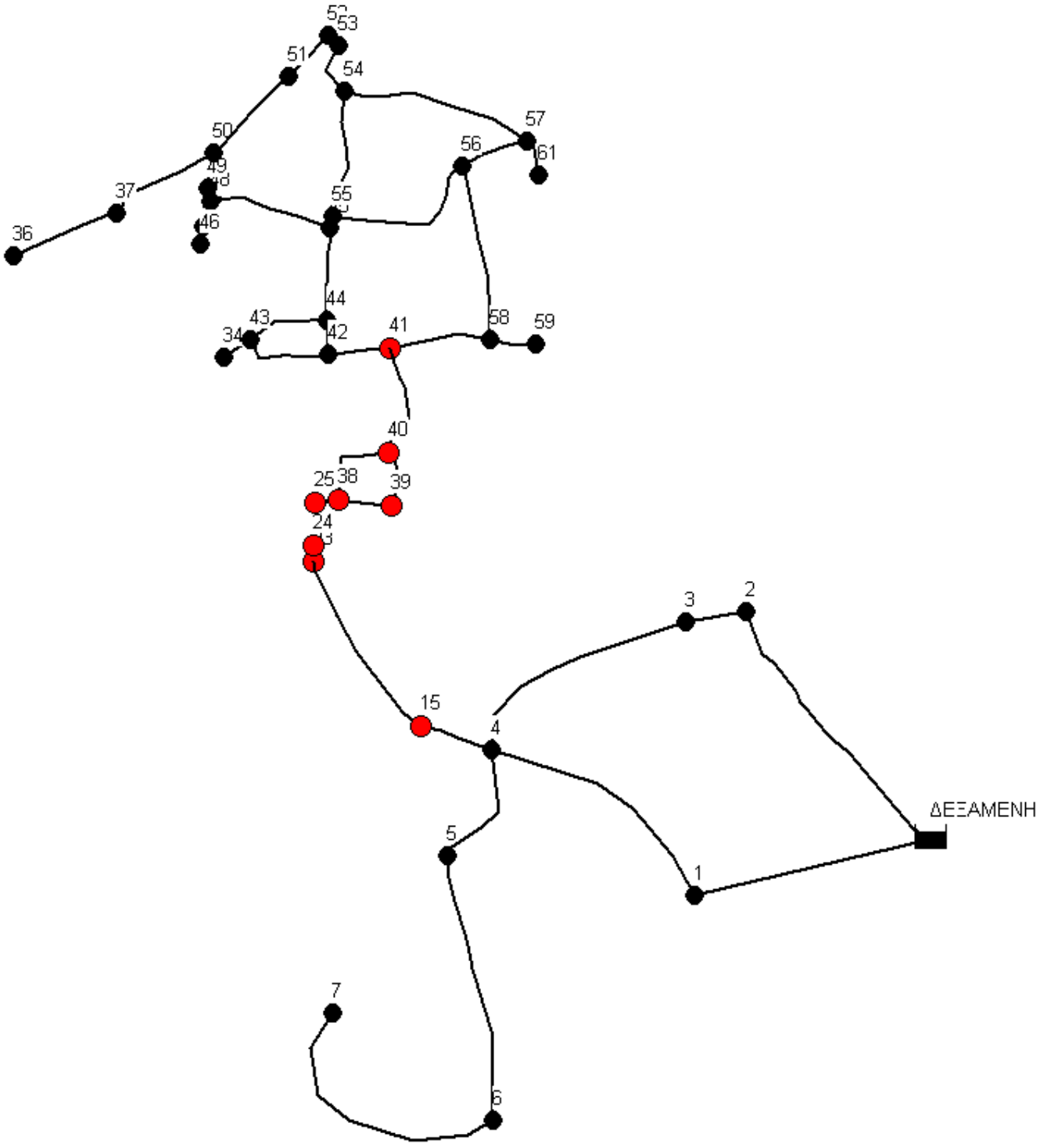
ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΥΔΡΕΥΟΜΕΝΩΝ ΣΥΝΟΙΚΙΩΝ



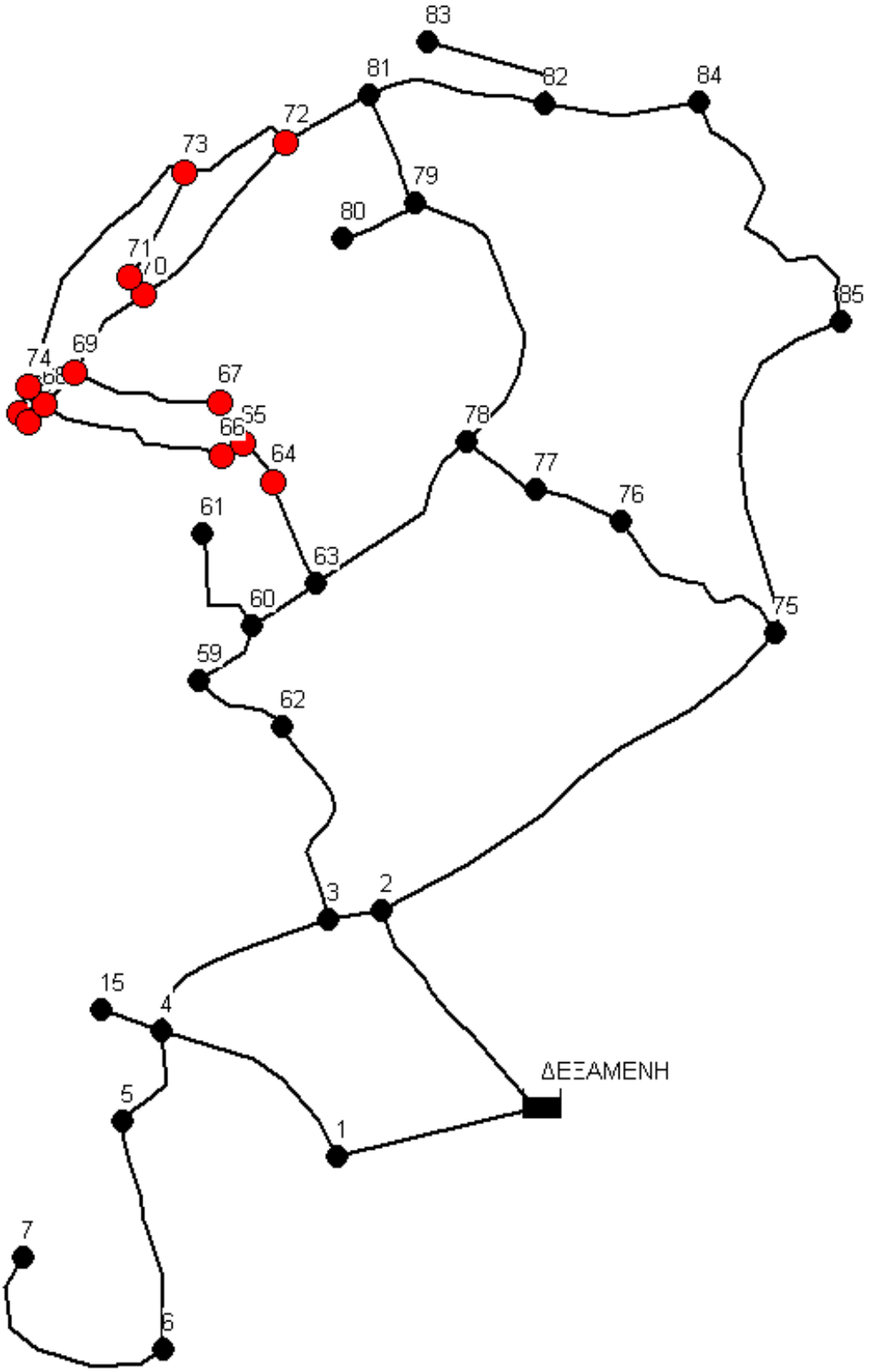
Σχήμα 5 : Κόμβοι που υδροδοτούνται στην συνοικία Ποταμός



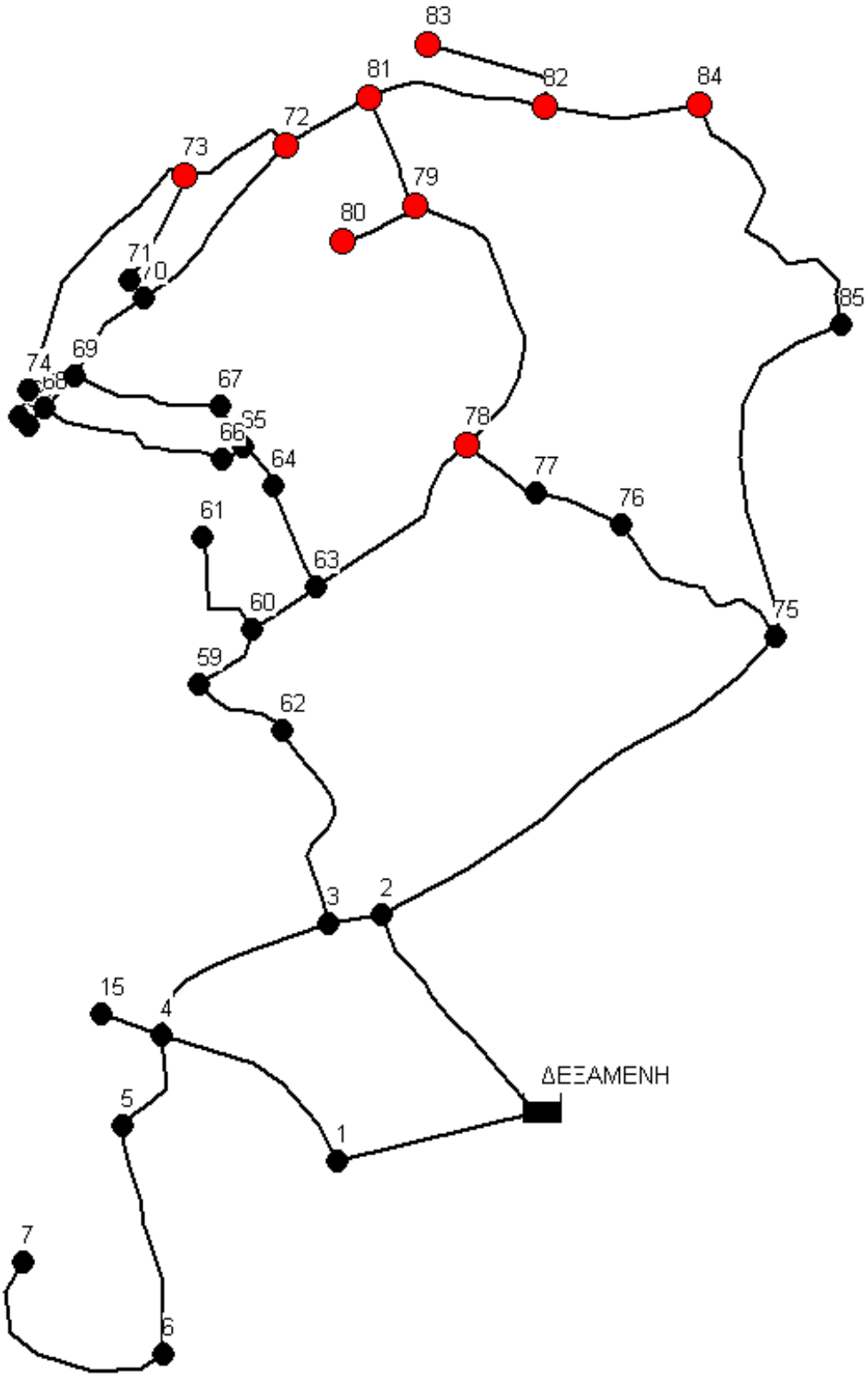
Σχήμα 6: Κόμβοι που υδροδοτούνται στην συνοικία Ηλικιωμένη



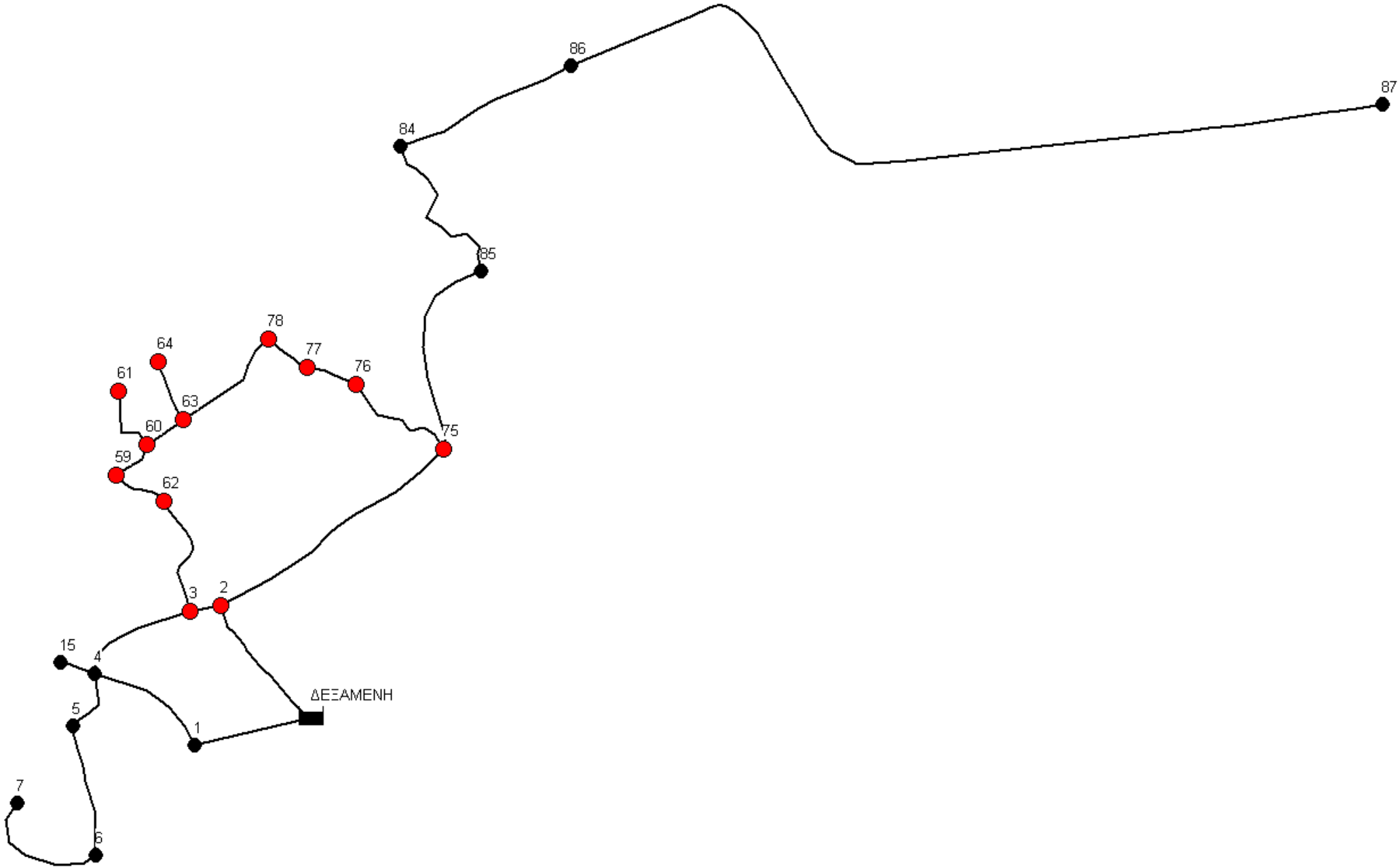
Σχήμα 7: Κόμβοι που υδροδοτούνται στην συνοικία Τρούλλος



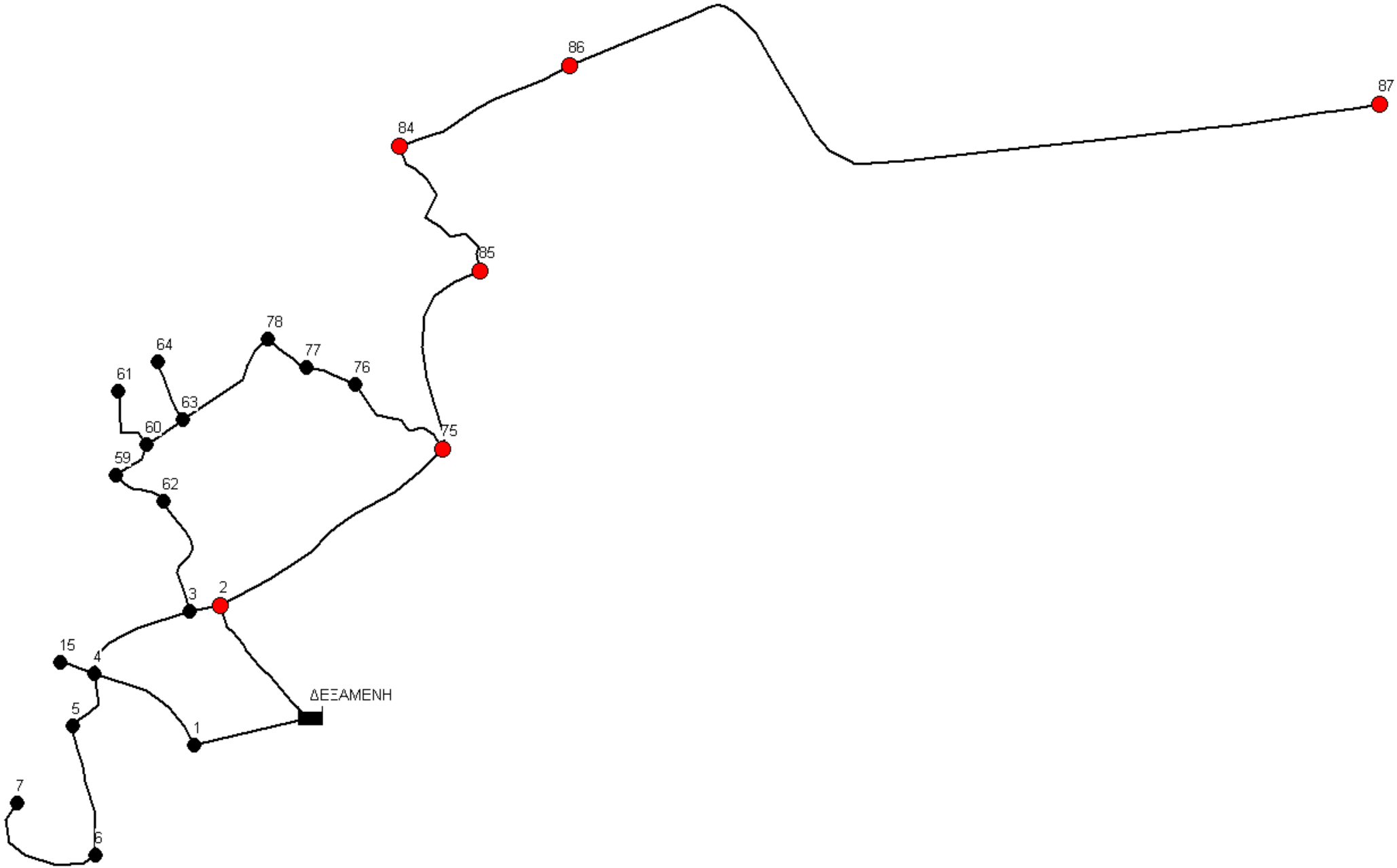
Σχήμα 8: Κόμβοι που υδροδοτούνται στην παραλία (Μύλος – Λ. Μουσείο)



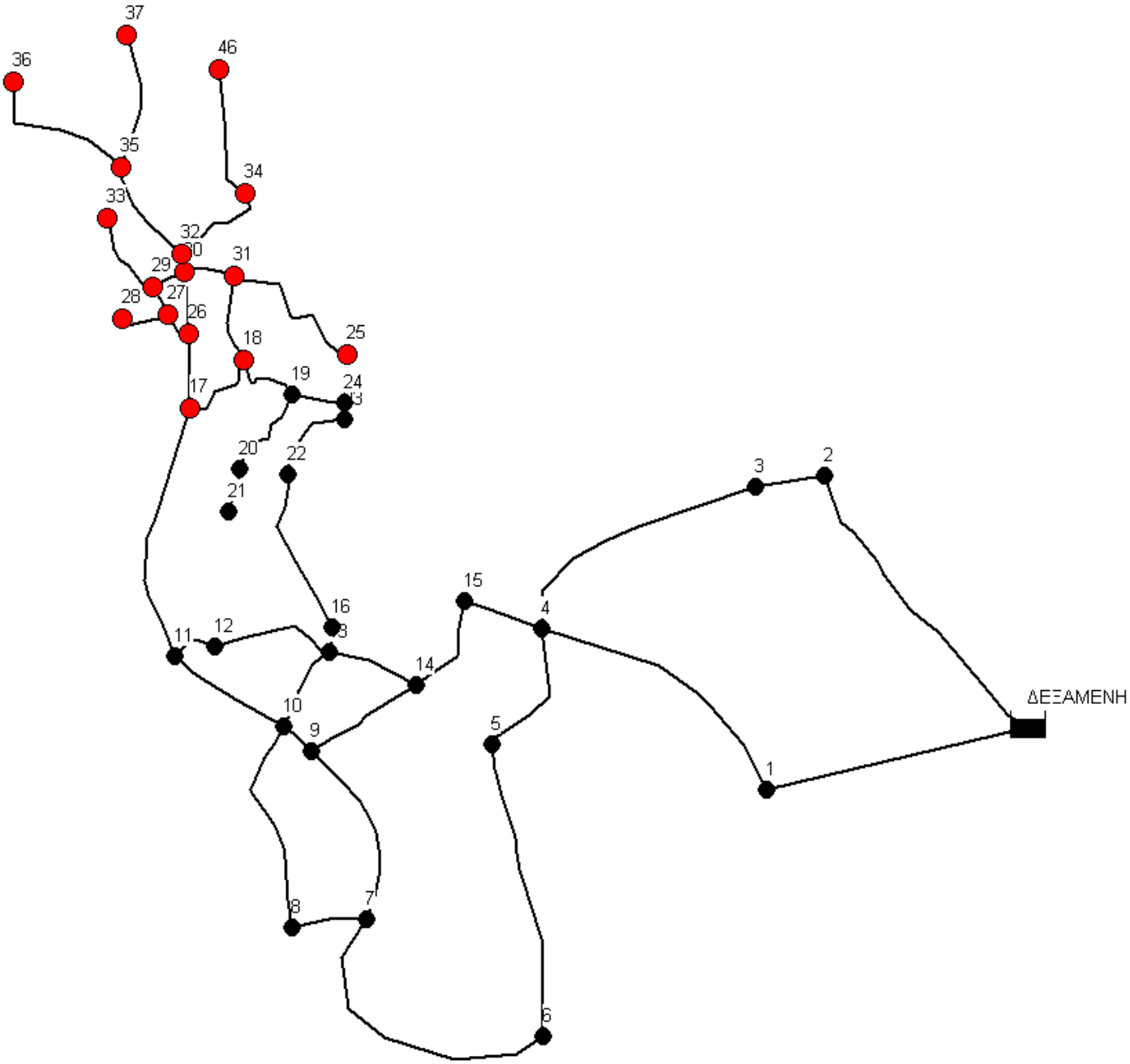
Σχήμα 9: Κόμβοι που υδροδοτούνται στην παραλία (Μύλος – Άγιος Σάββας)



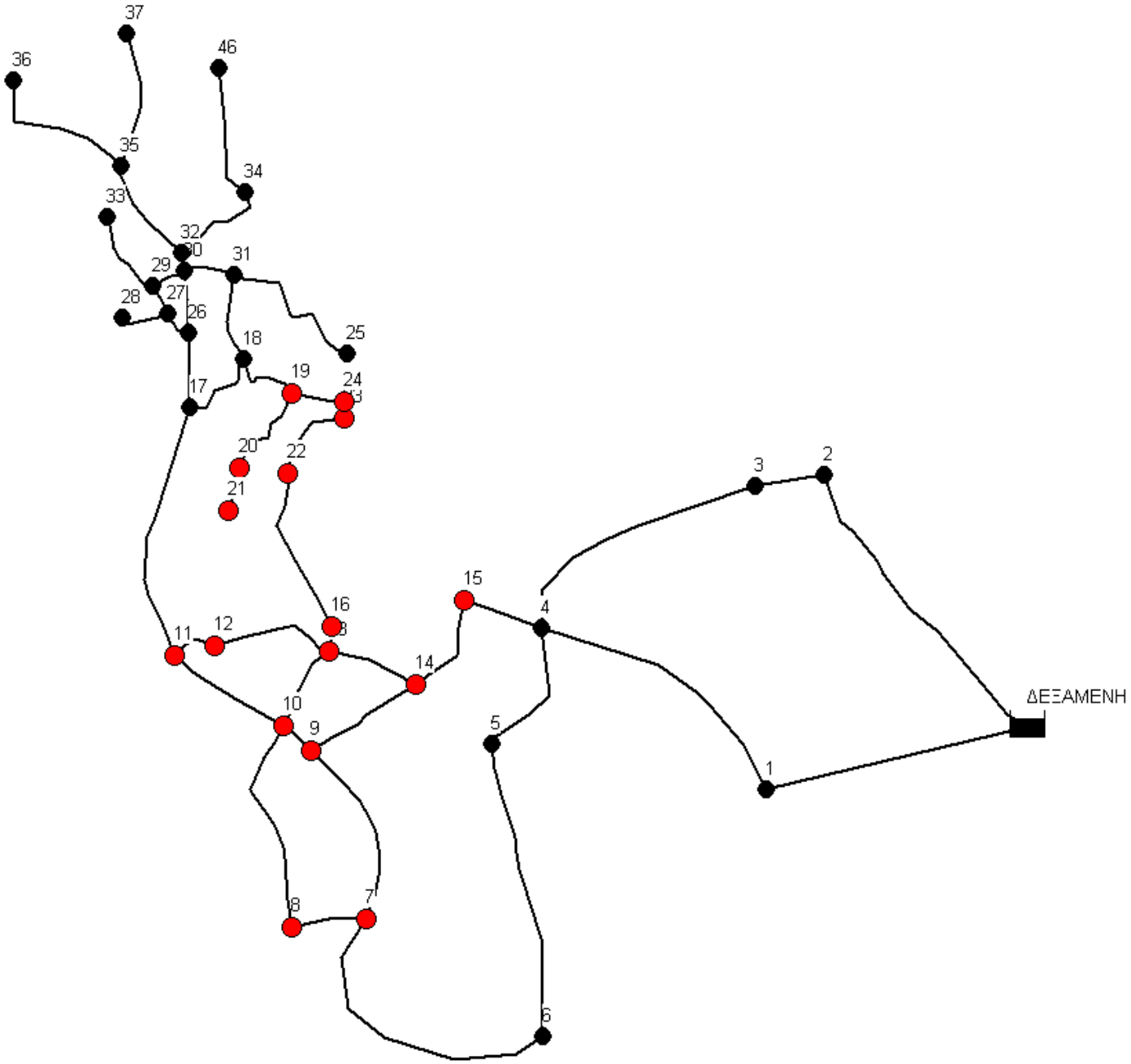
Σχήμα 10 : Κόμβοι που υδροδοτούνται στην περιοχή «ξενοδοχείο Καρπαθάκης»



Σχήμα 11 : Κόμβοι που υδροδοτούνται στο λιμάνι και στη συνοικία Μίρα - Μάρε



Σχήμα 12 : Κόμβοι που υδροδοτούνται στο κάτω μέρος της συνοικίας Λαγκάδι - Πιαούλι

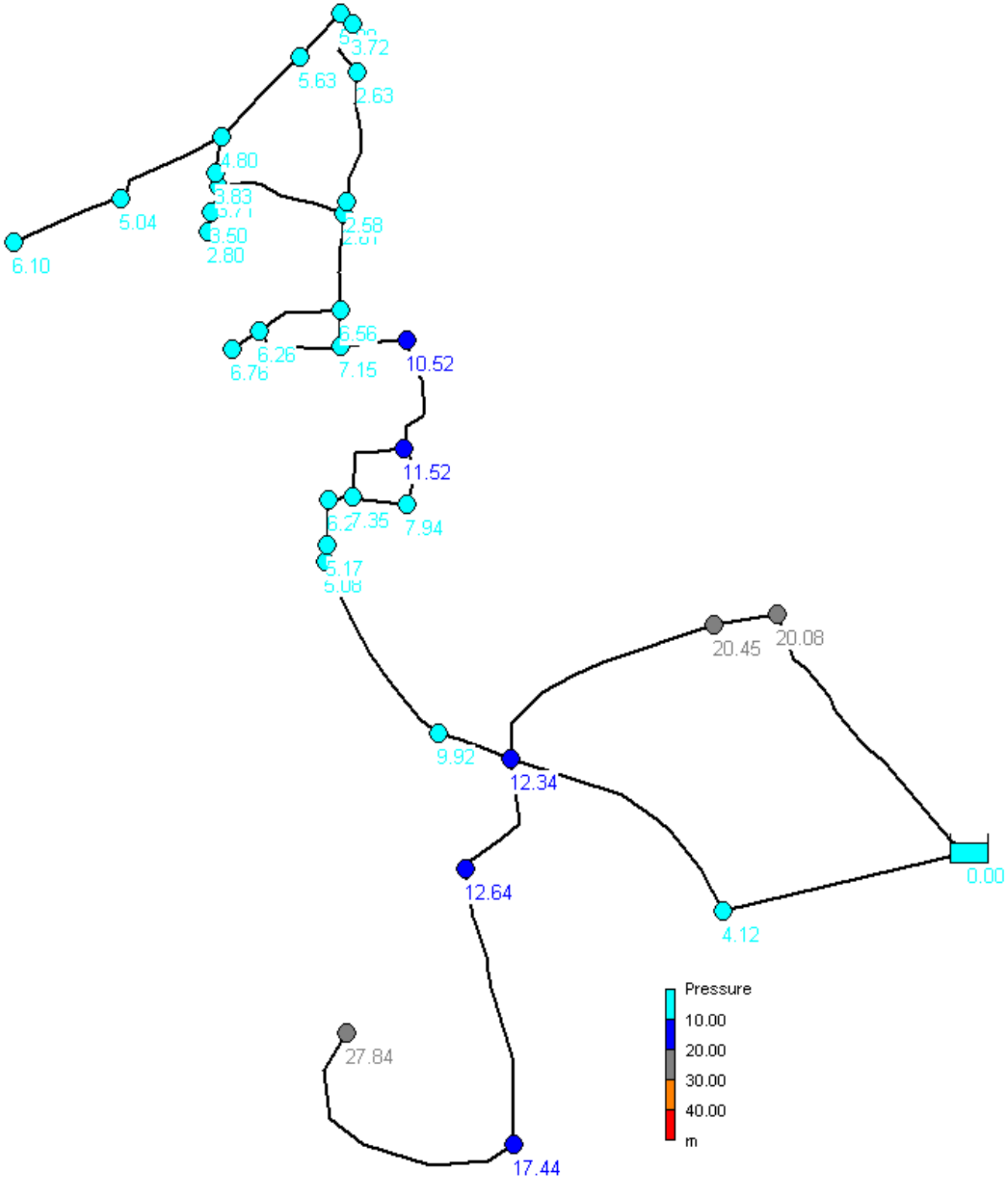


Σχήμα 13 : Κόμβοι που υδροδοτούνται στο πάνω μέρος της συνοικίας Λαγκάδι - Πιαούλι

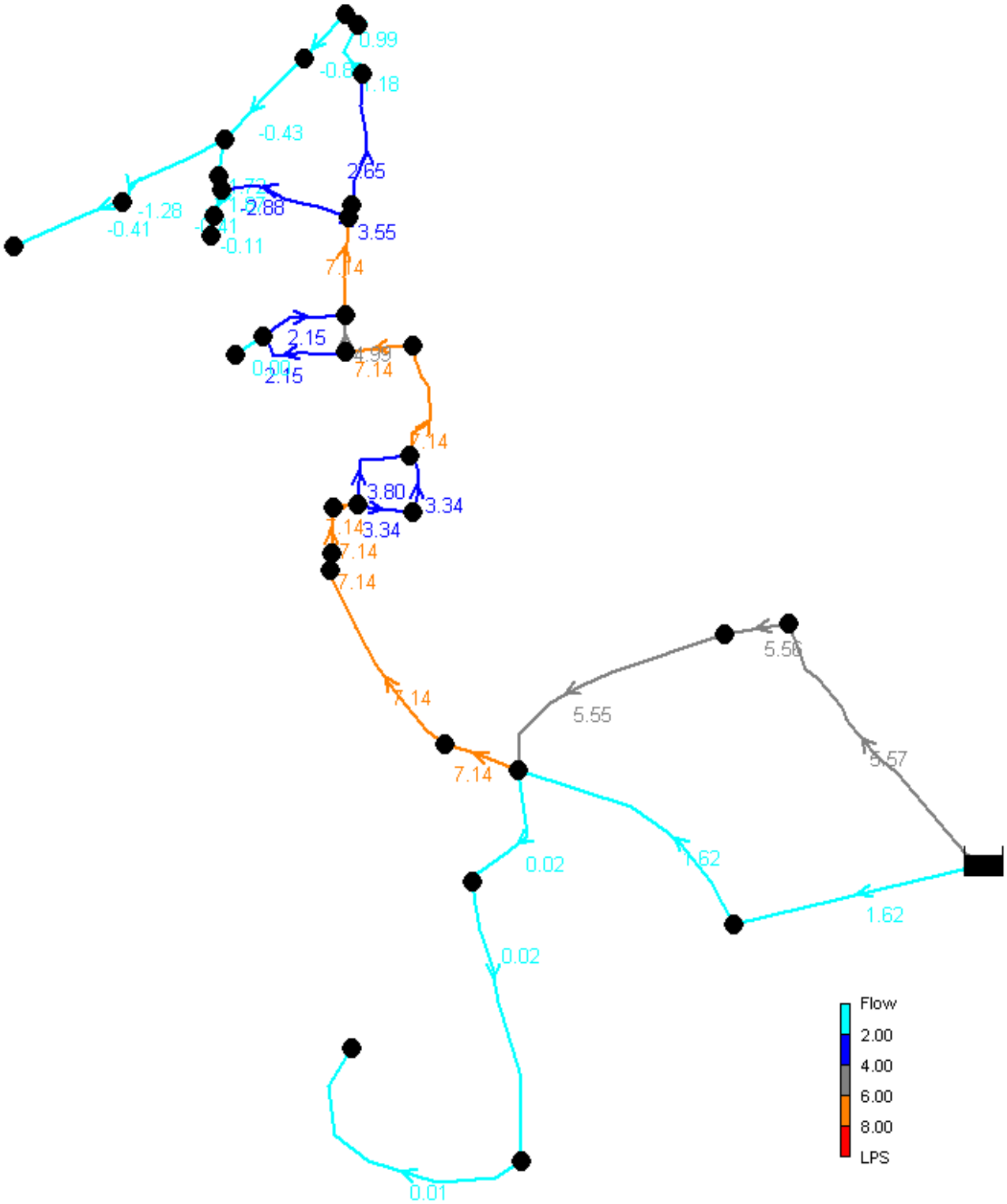
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

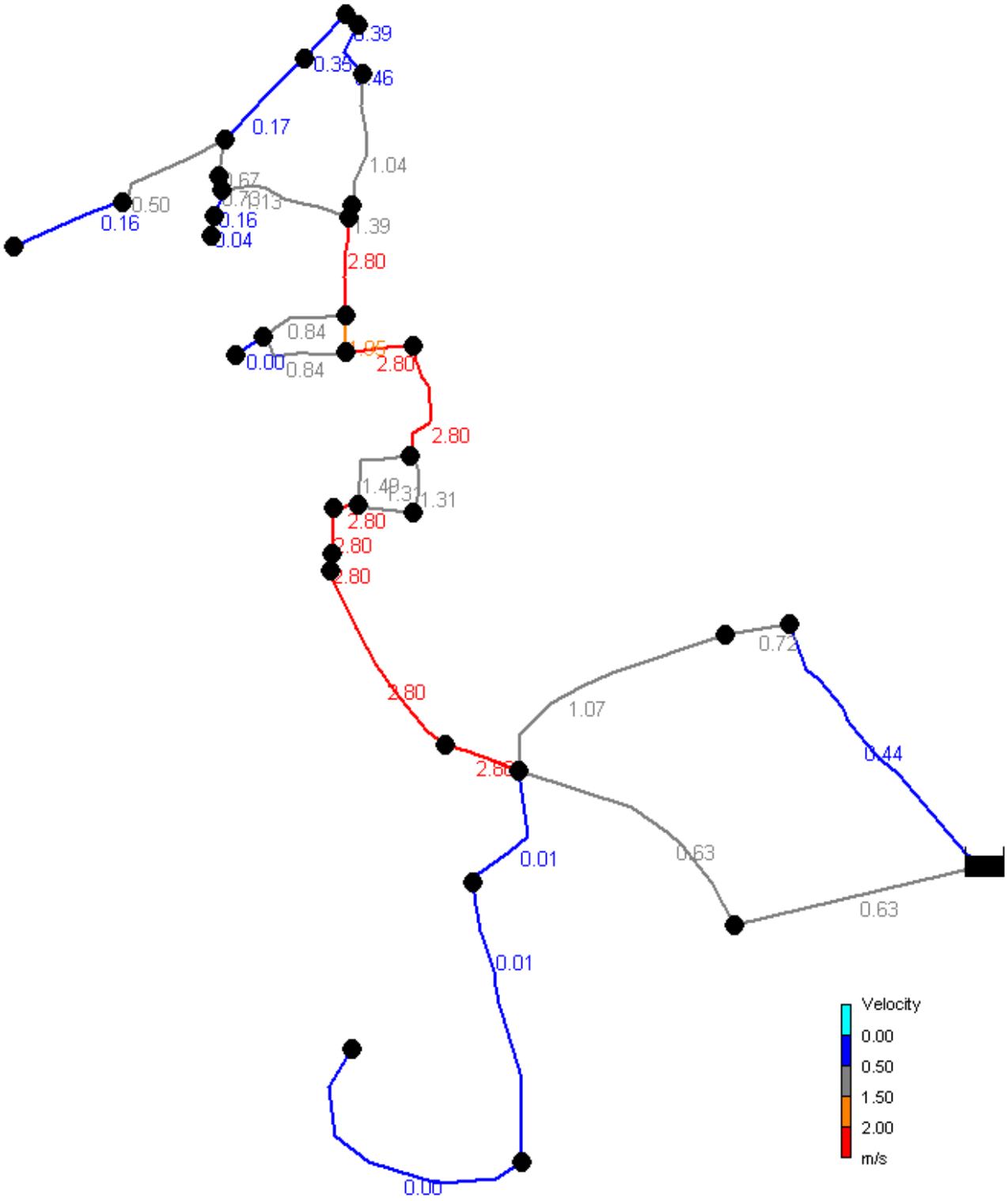
- **ΠΙΕΣΕΙΣ ΚΟΜΒΩΝ**
- **ΠΑΡΟΧΕΣ ΑΓΩΓΩΝ**
- **ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΑΓΩΓΩΝ**



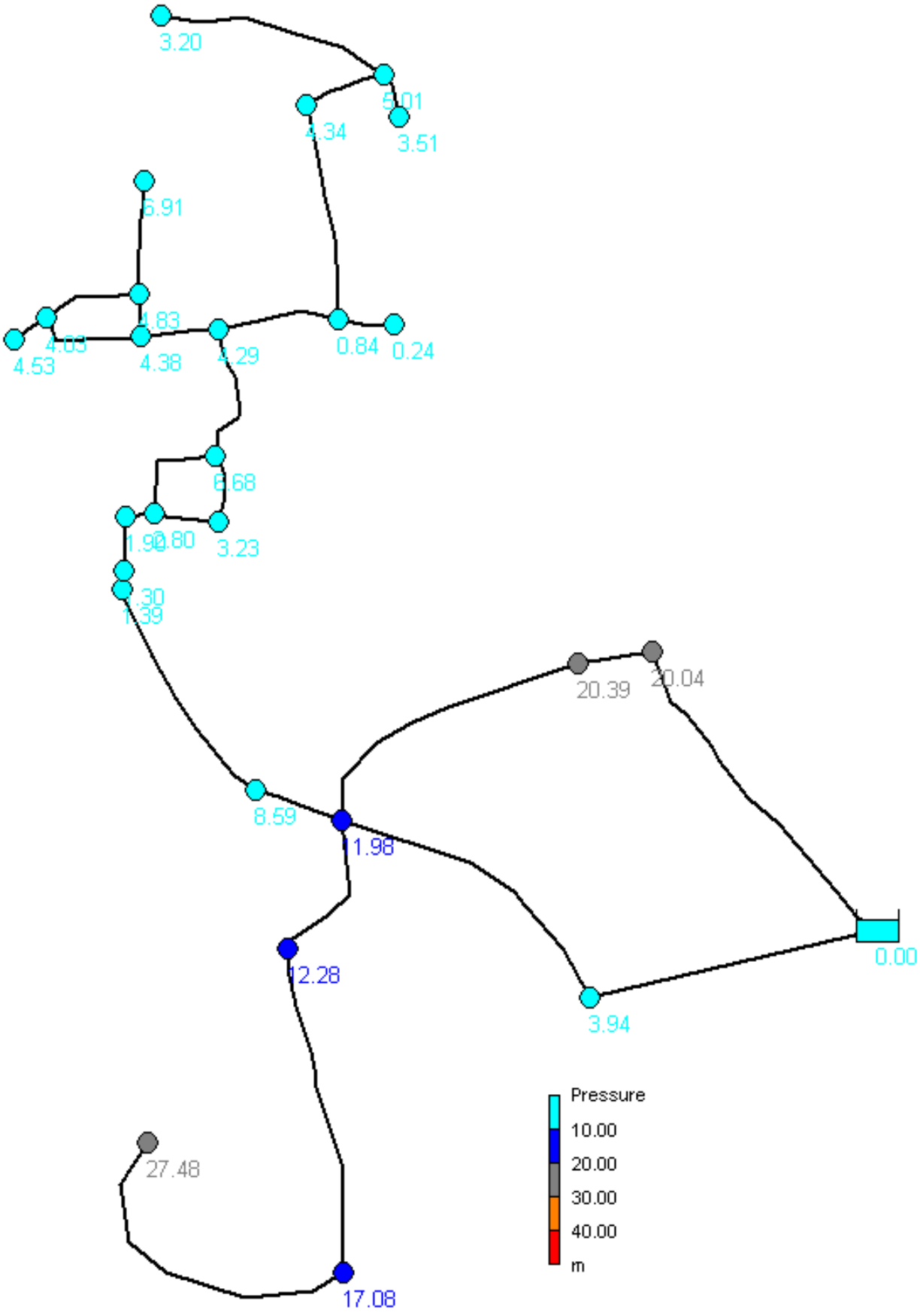
Σχήμα 24 : Συνοικία Ποταμός – Πιέσεις



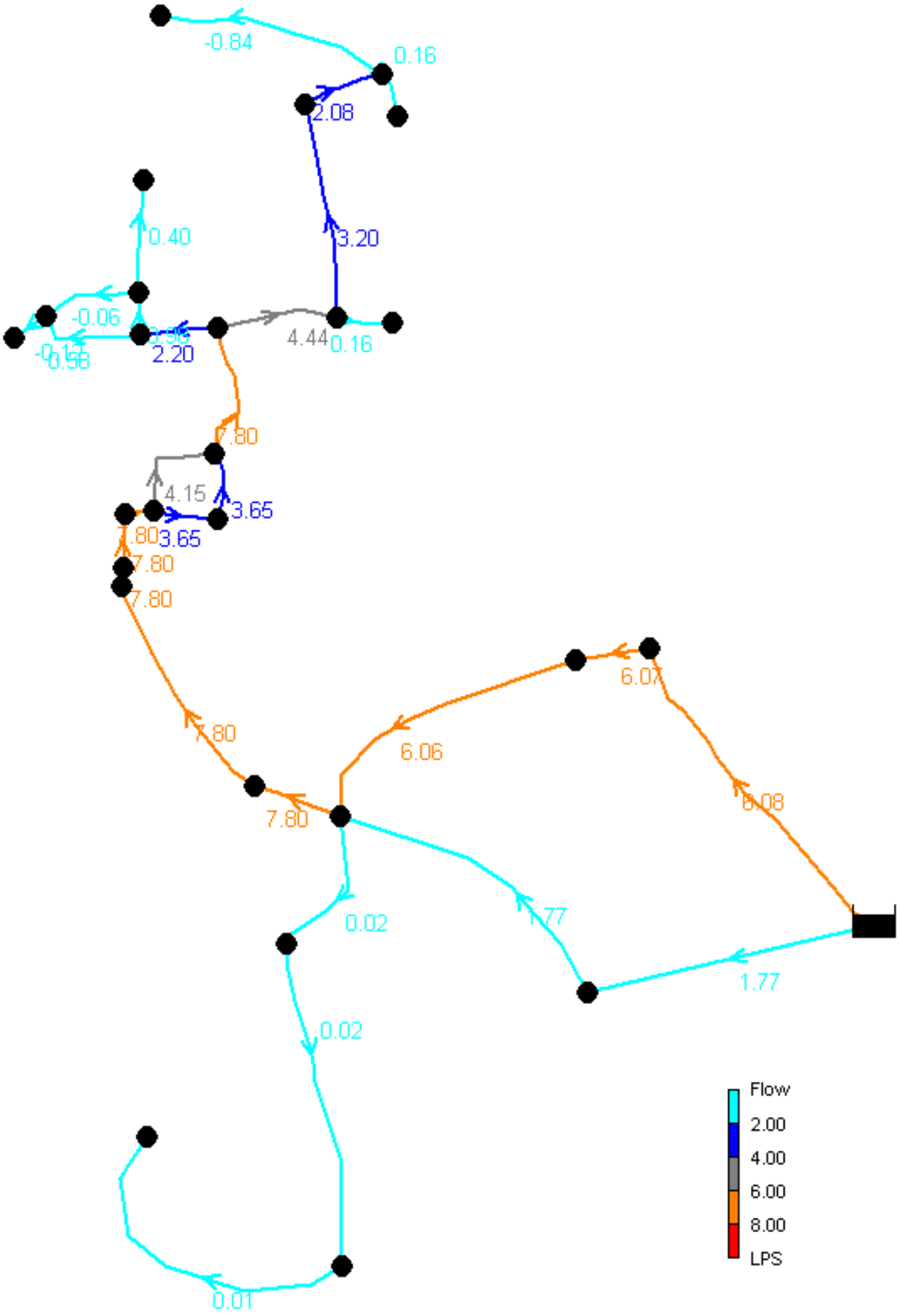
Σχήμα 15 : Συνοικία Ποταμός – Παροχές



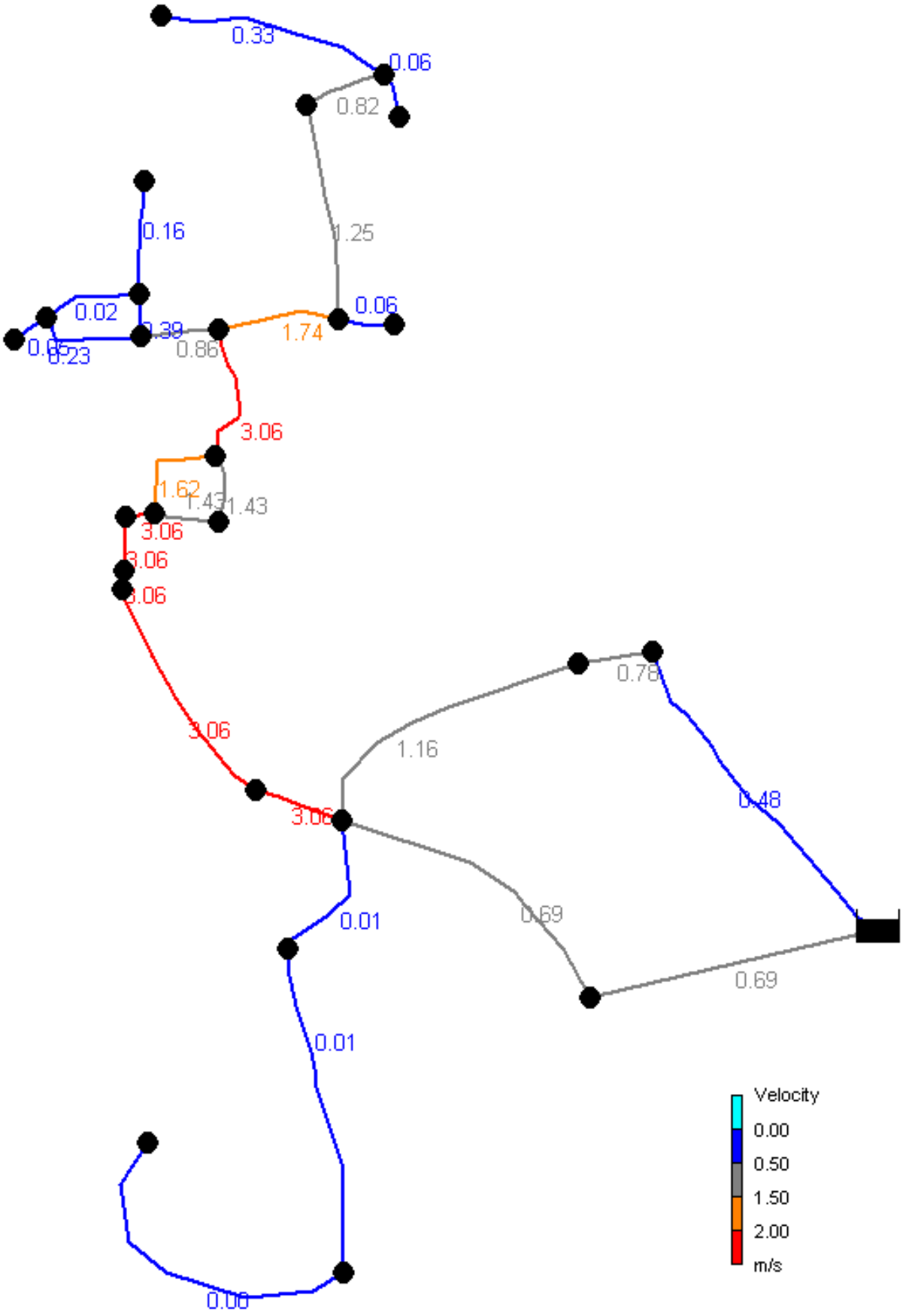
Σχήμα 16 : Συνοικία Ποταμός – Ταχύτητες



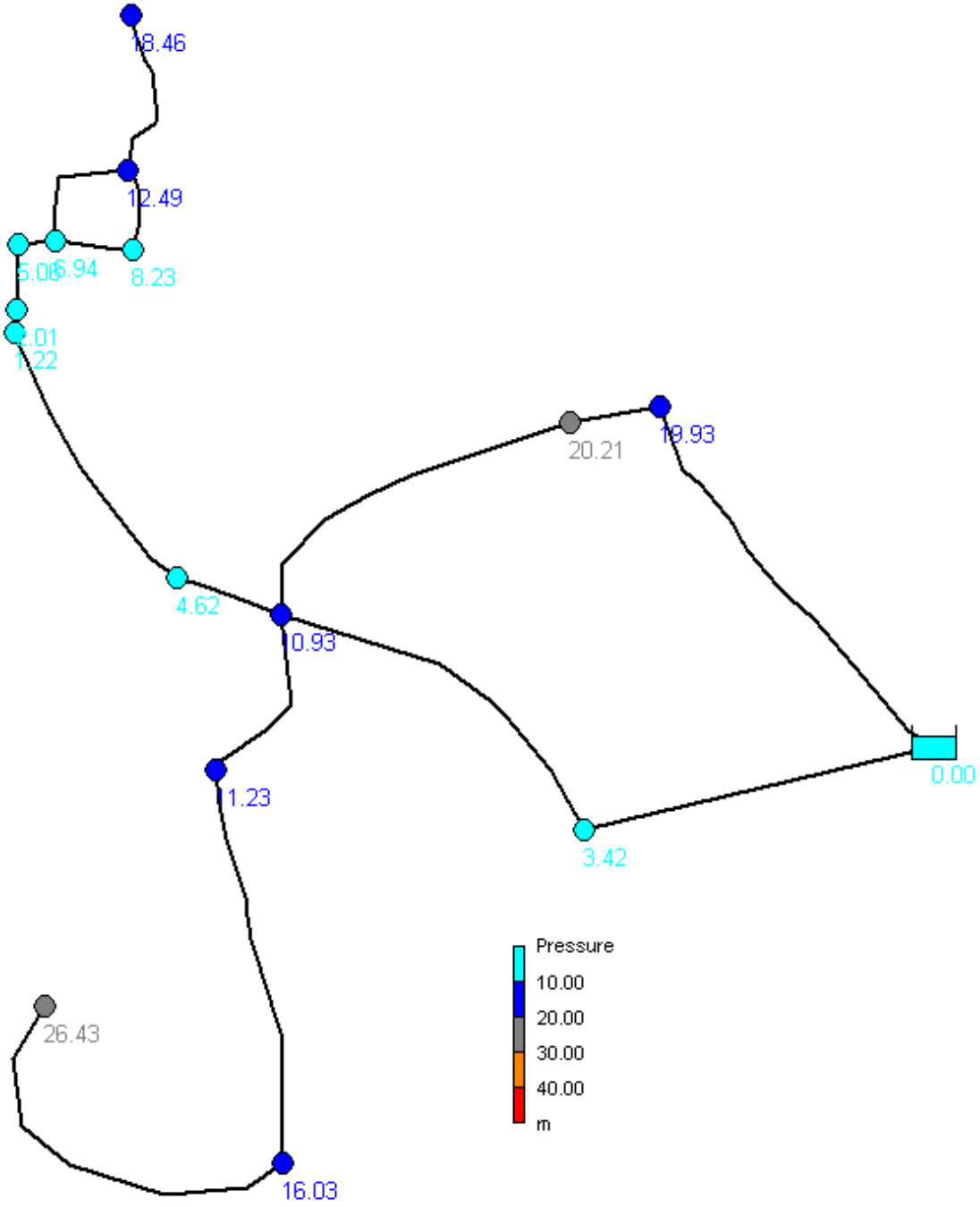
Σχήμα 17 : Συνοικία Ηλικιωμένη – Πιέσεις



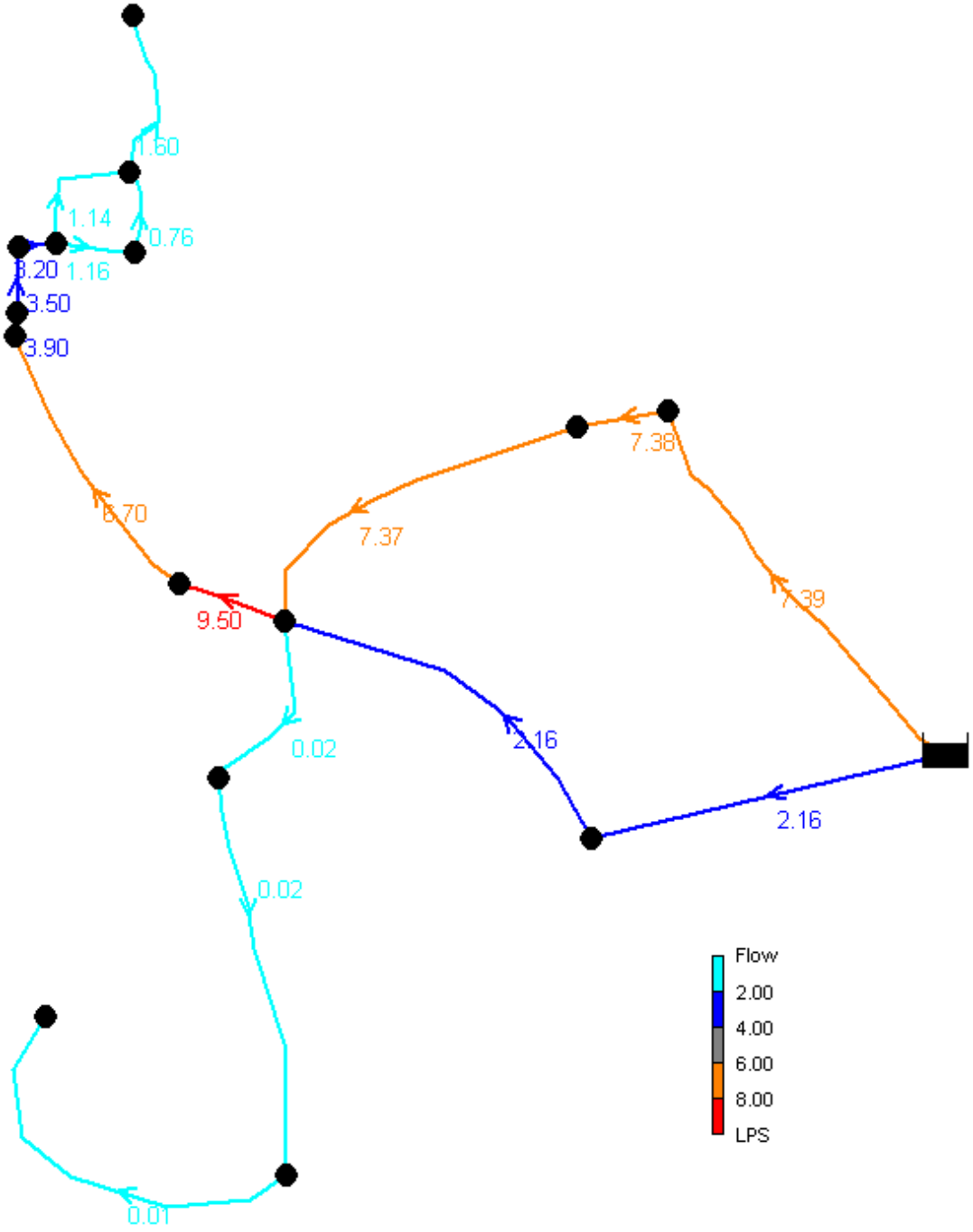
Σχήμα 18 : Συνοικία Ηλικιωμένη – Παροχές



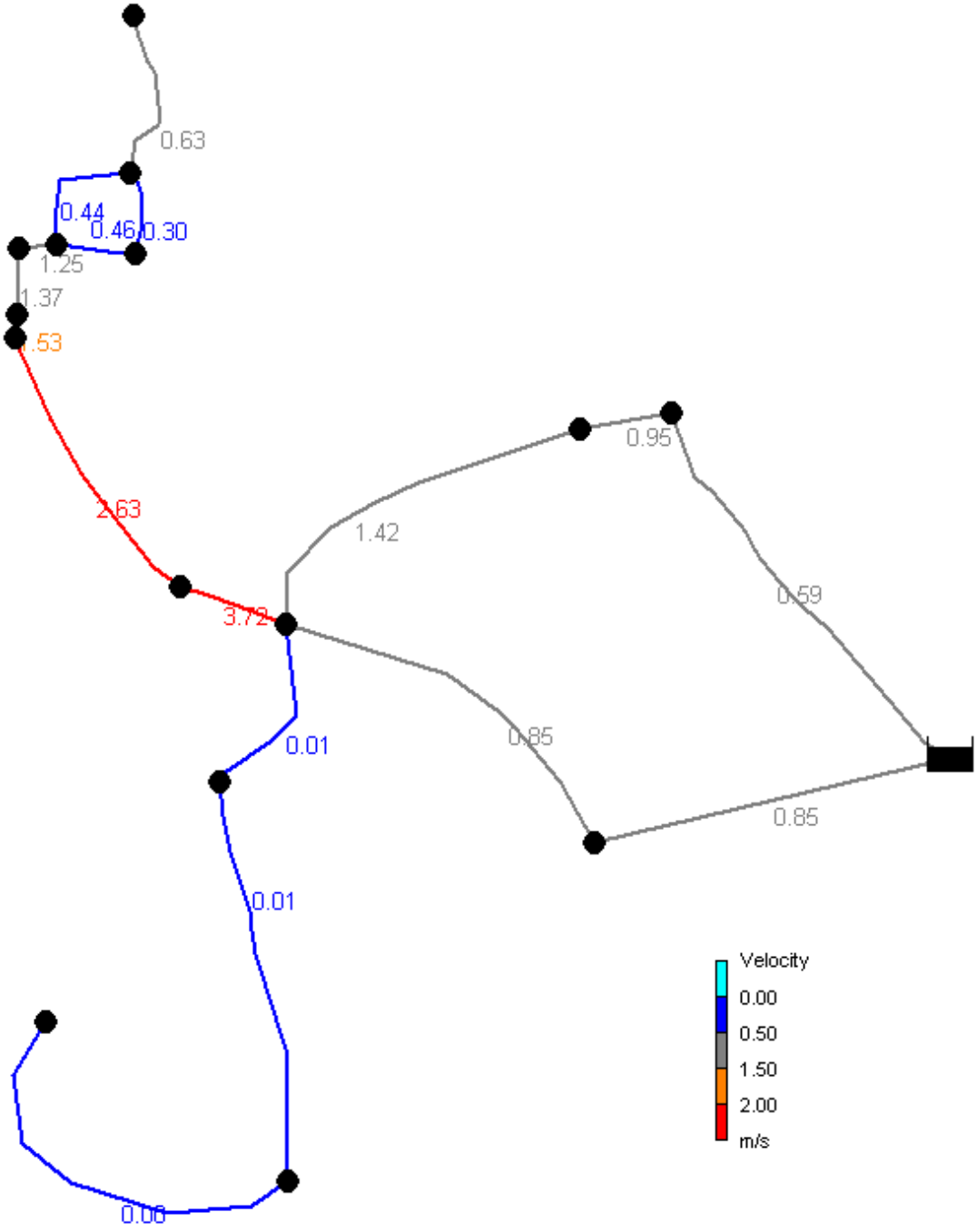
Σχήμα 19 : Συνοικία Ηλικιωμένη – Ταχύτητες



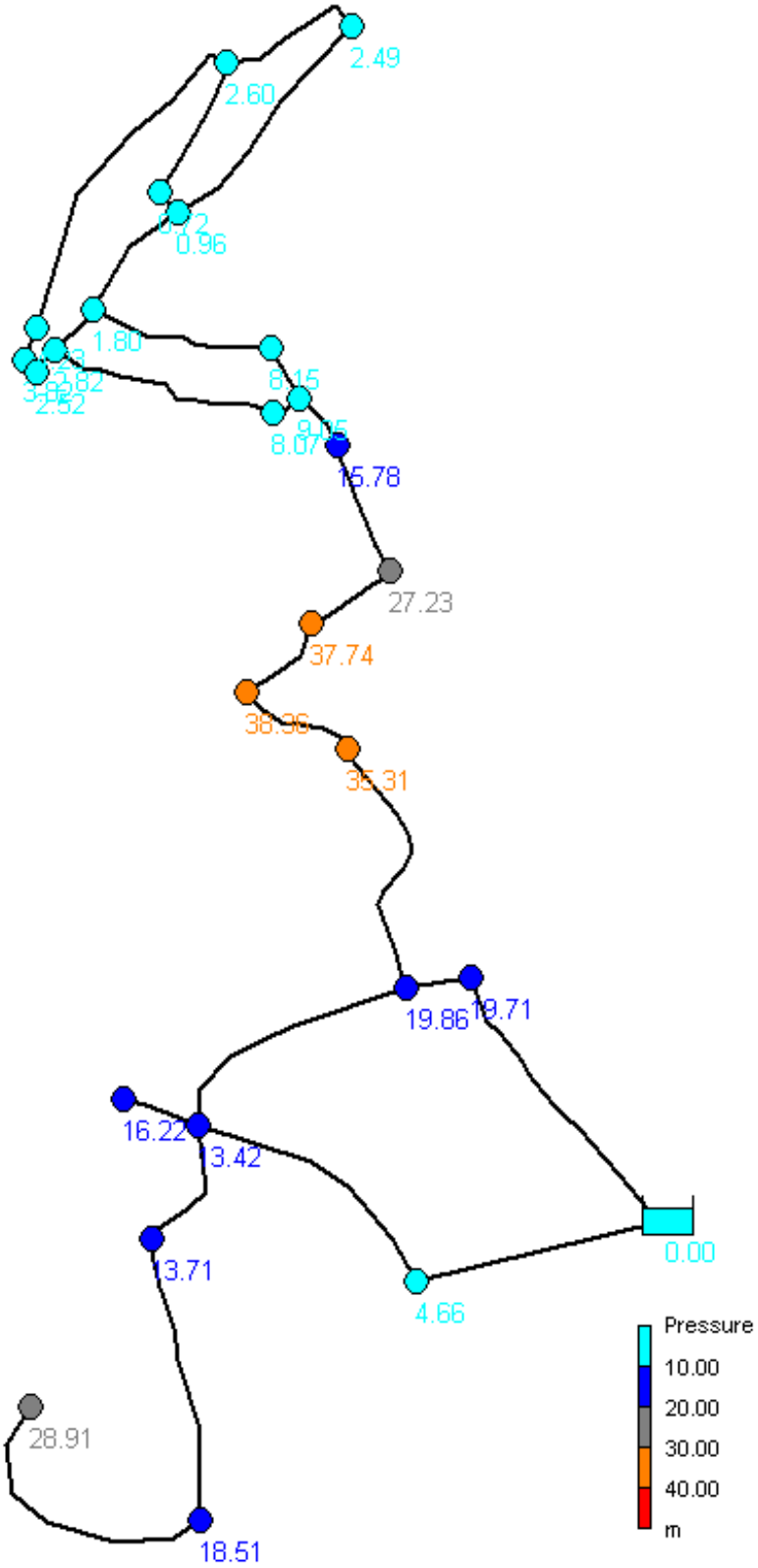
Σχήμα 20 : Συνοικία Τρούλλος – Πιέσεις



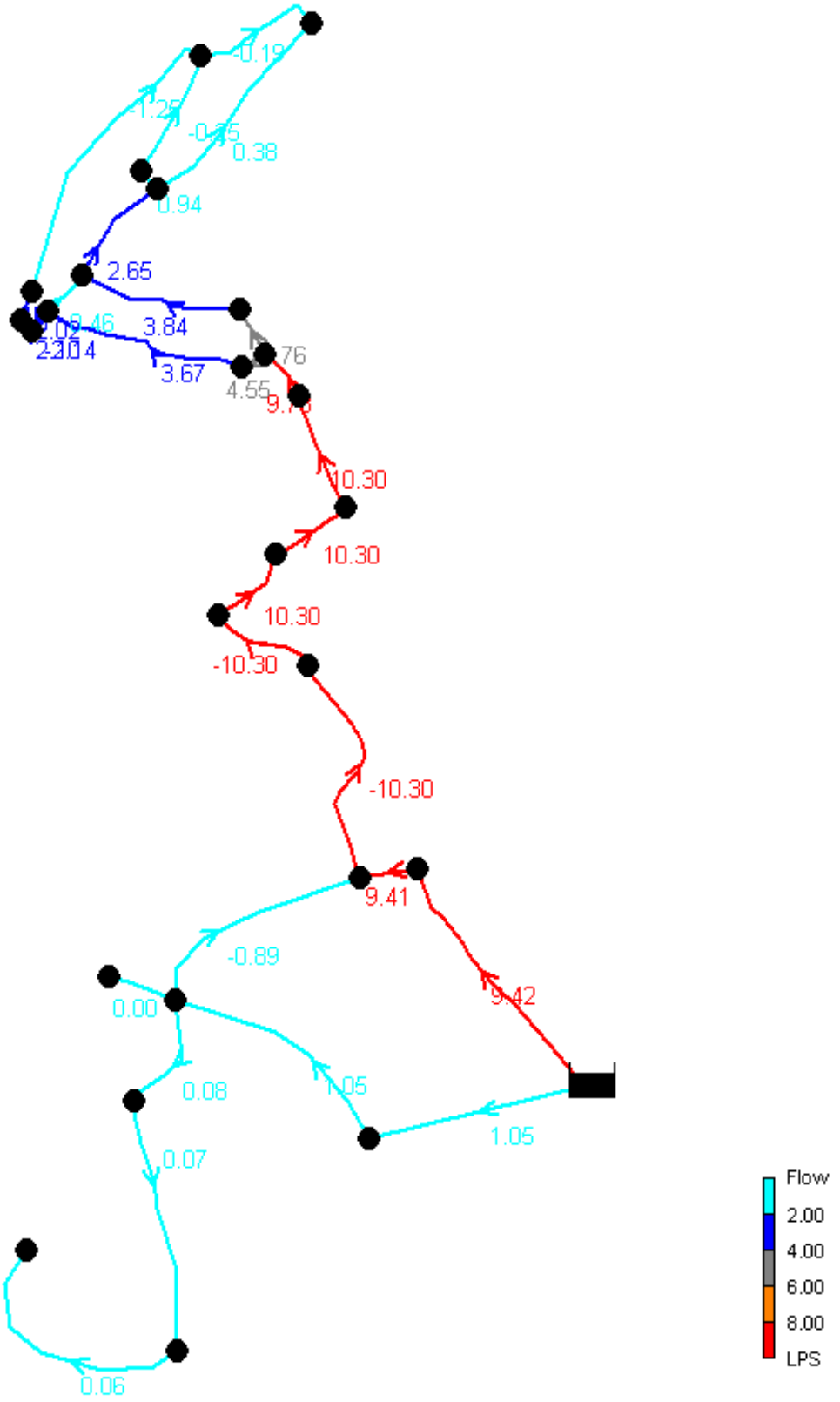
Σχήμα 21 : Συνοικία Τρούλλος – Παροχές



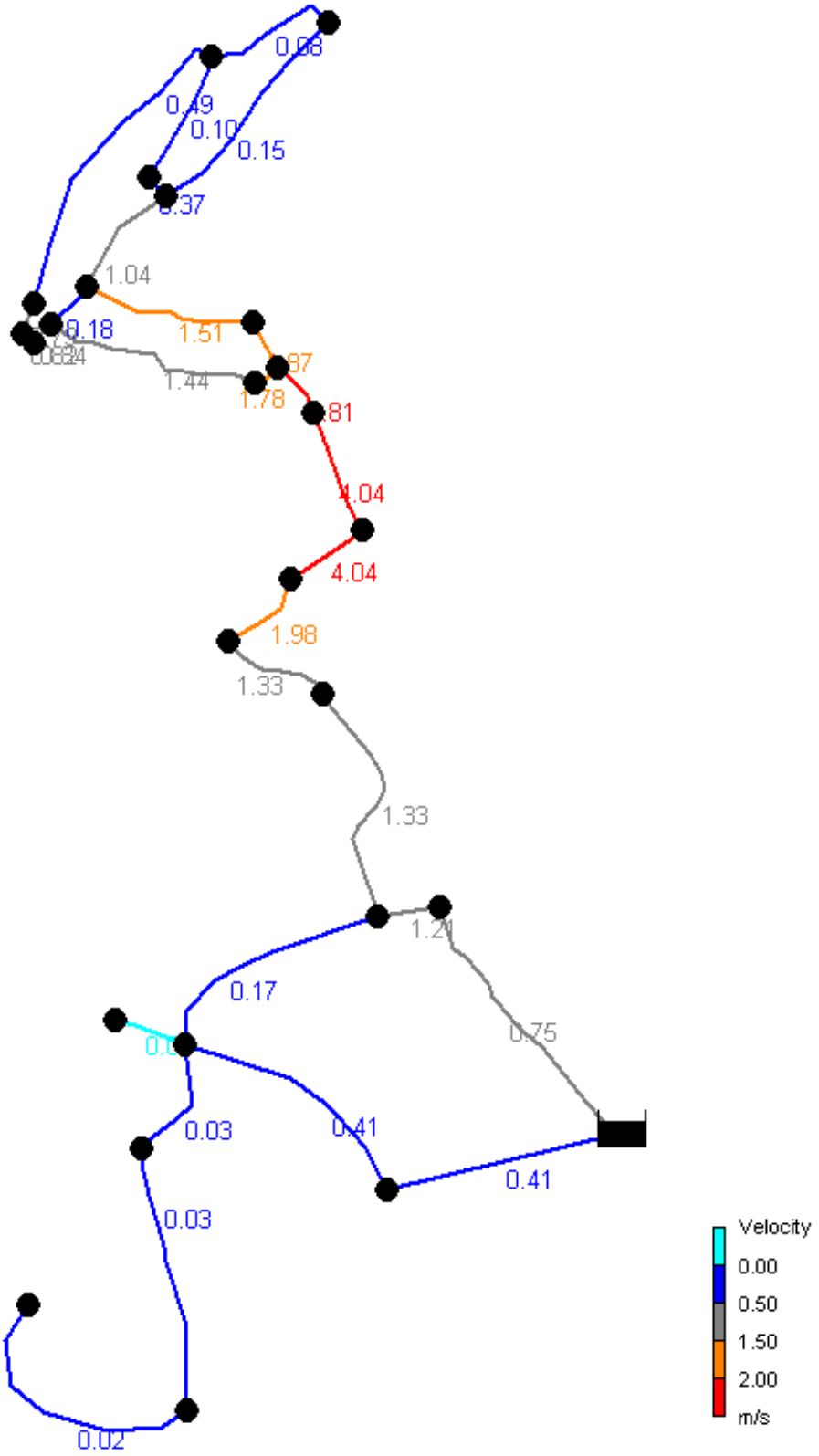
Σχήμα 22 : Συνοικία Τρούλλος – Ταχύτητες



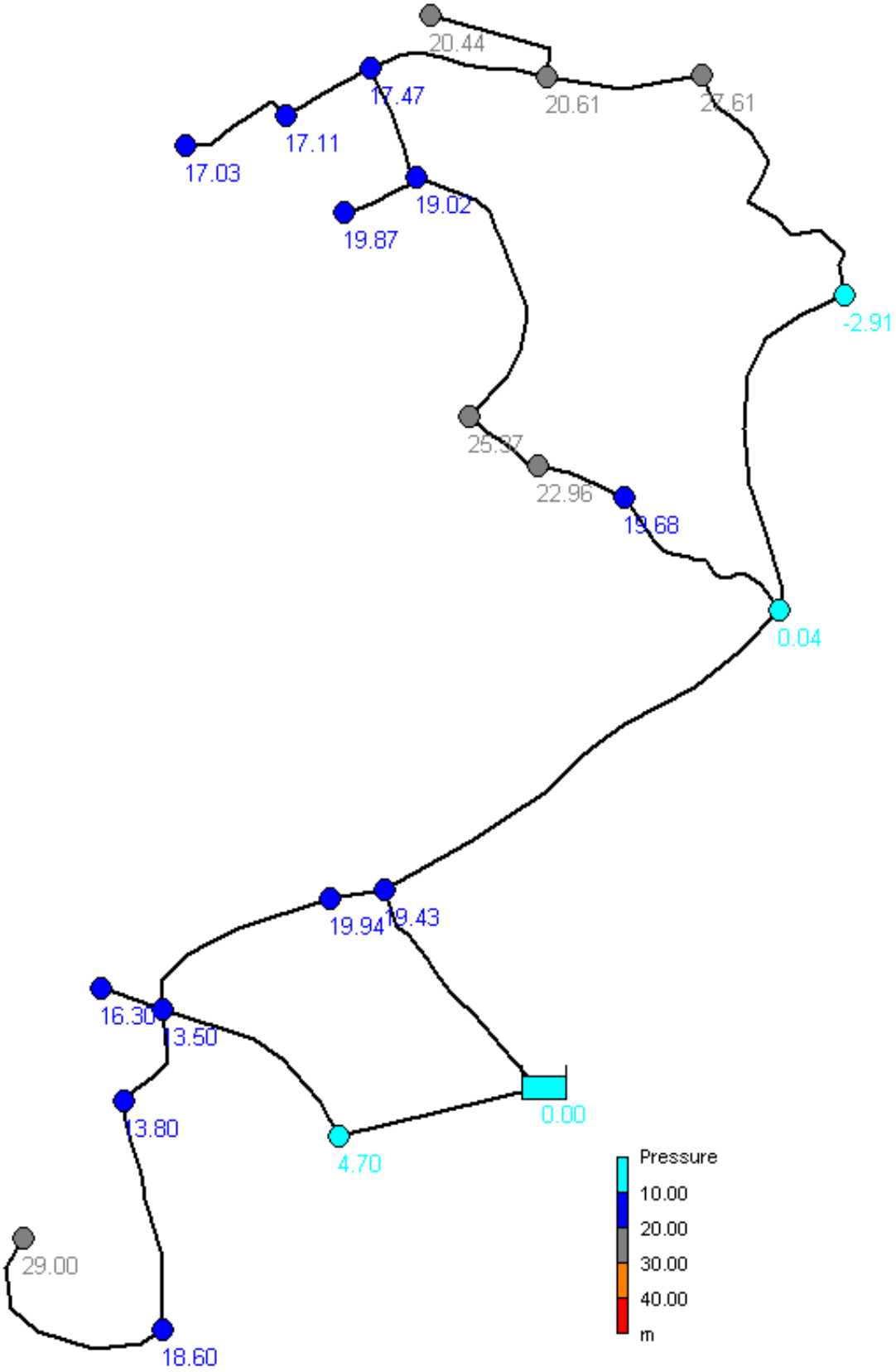
Σχήμα 23 : Παραλία (Μύλος – Λ. Μουσείο) – Πιέσεις



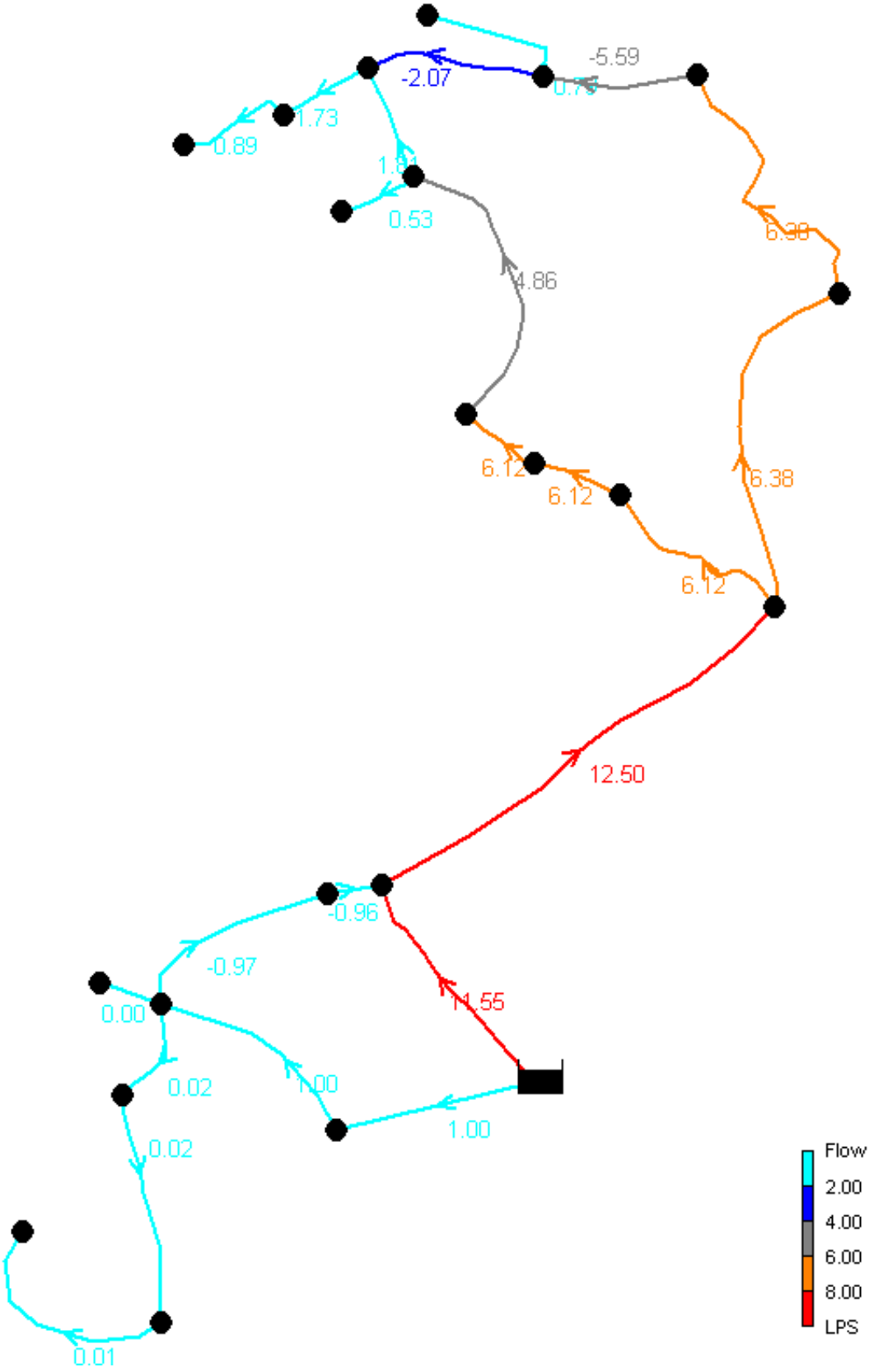
Σχήμα 24 : Παραλία (Μύλος – Λ. Μουσείο) – Παροχές



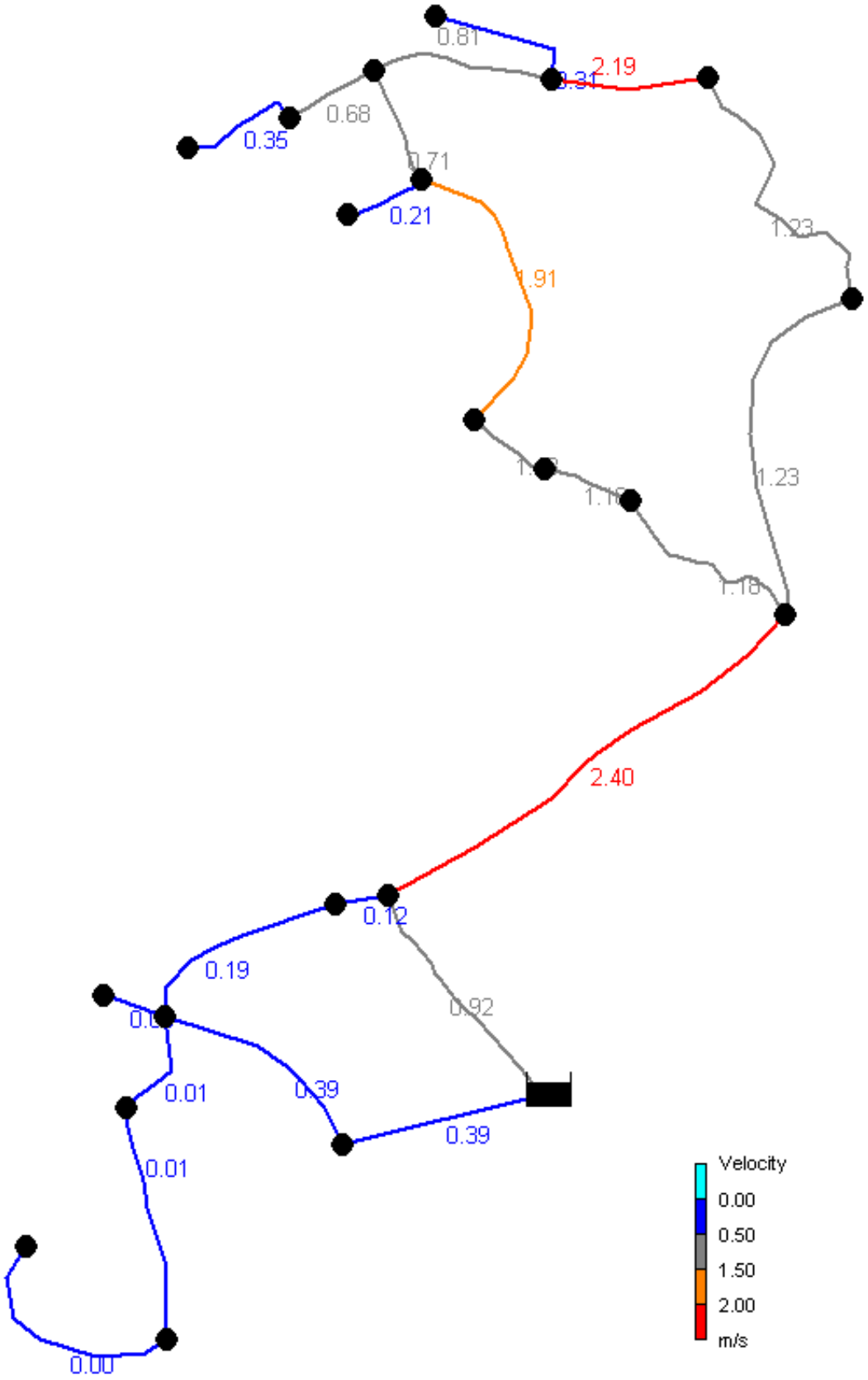
Σχήμα 25 : Παραλία (Μύλος – Λ. Μουσείο) – Ταχύτητες



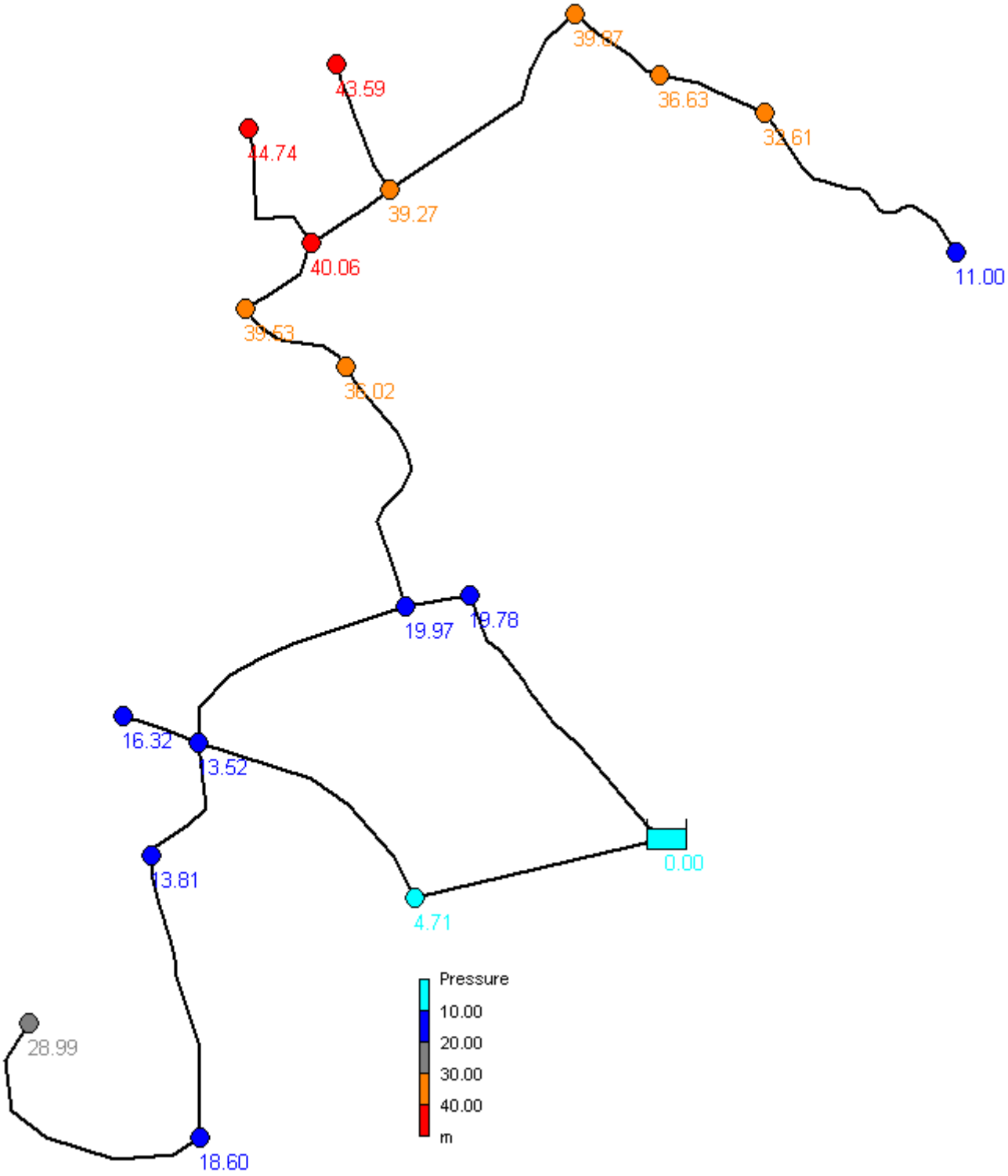
Σχήμα 26 : Παραλία (Μύλος – Άγιος Σάββας) – Πιέσεις



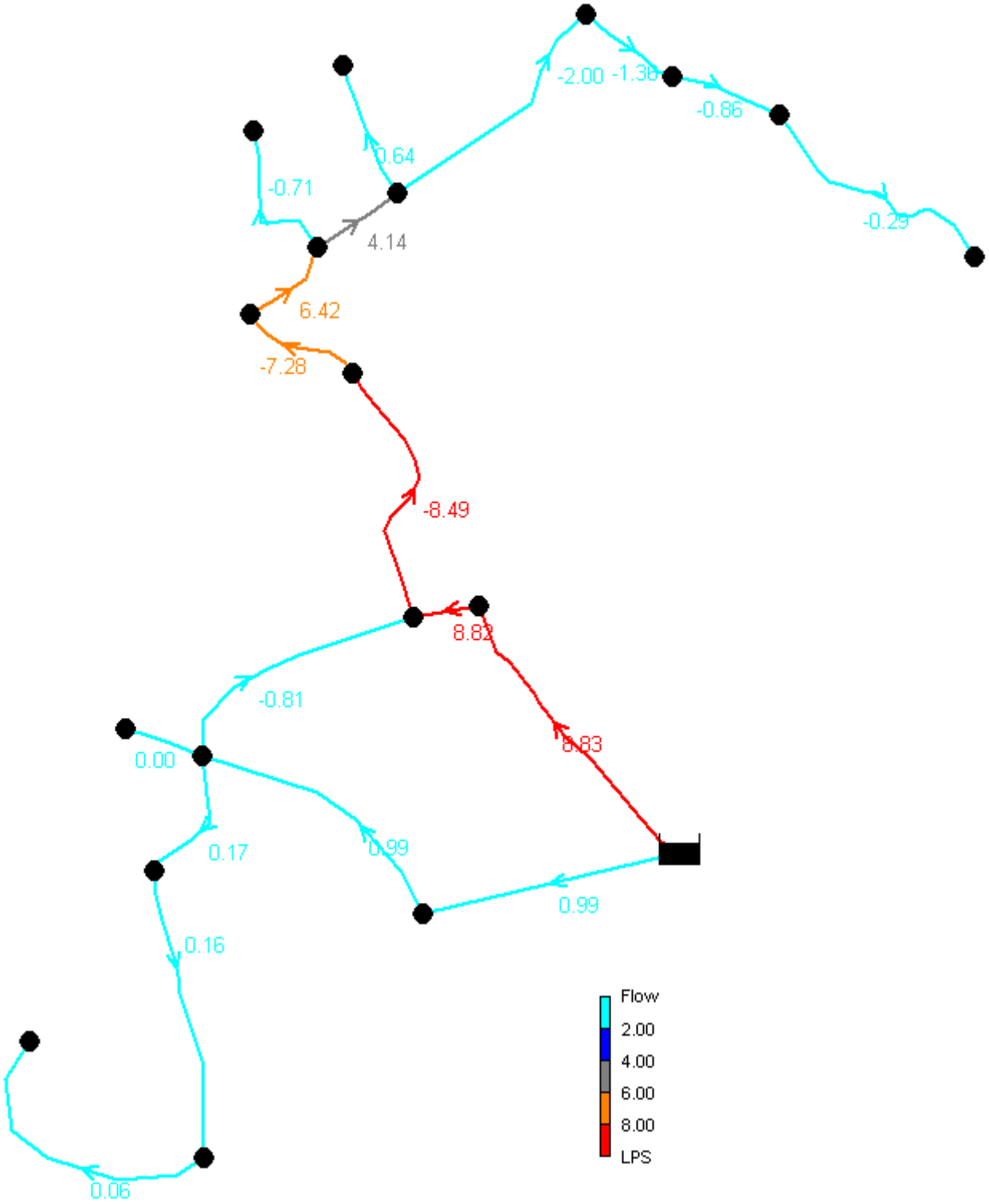
Σχήμα 27 : Παραλία (Μύλος – Άγιος Σάββας) – Παροχές



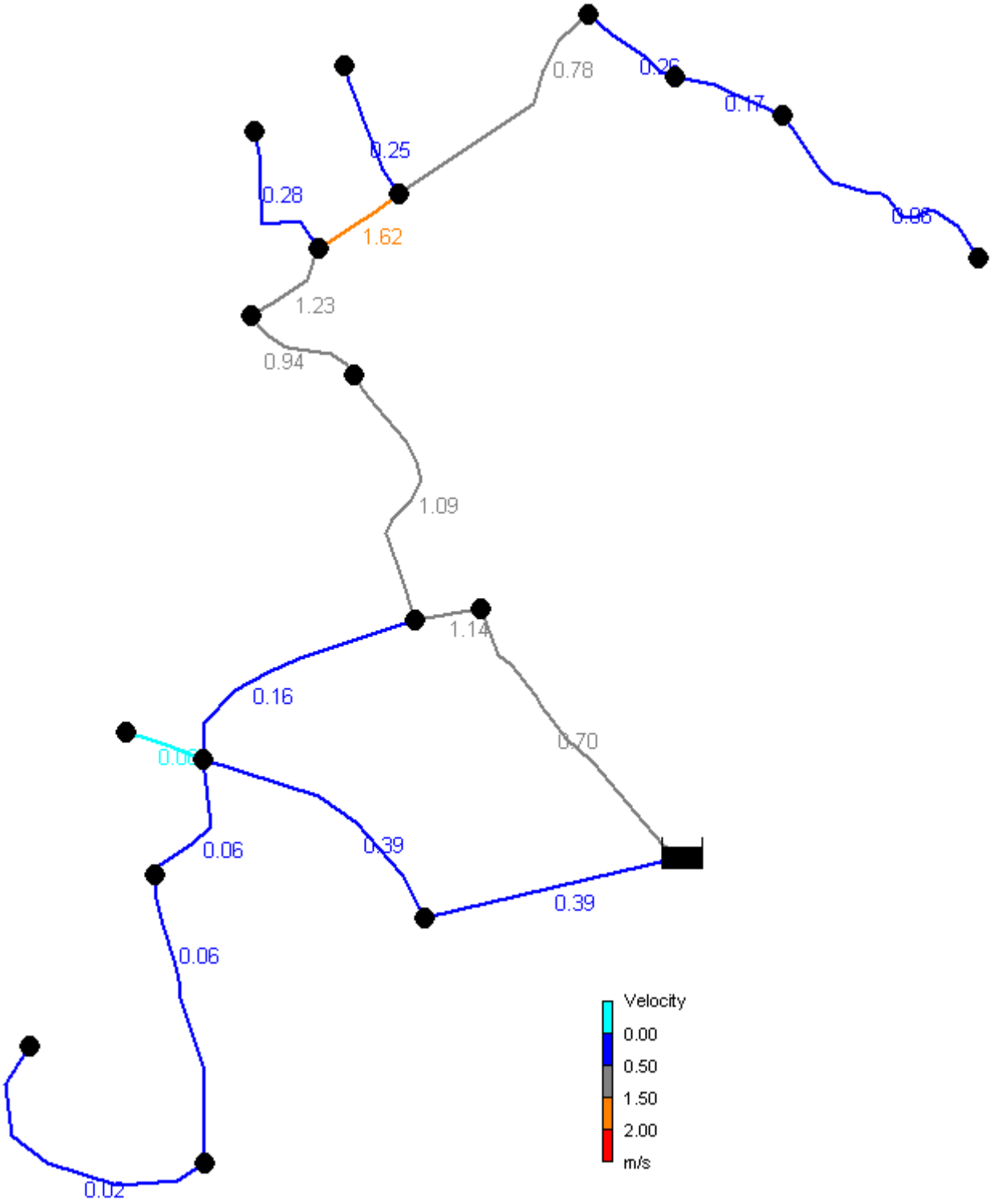
Σχήμα 28 : Παραλία (Μύλος – Άγιος Σάββας) – Ταχύτητες



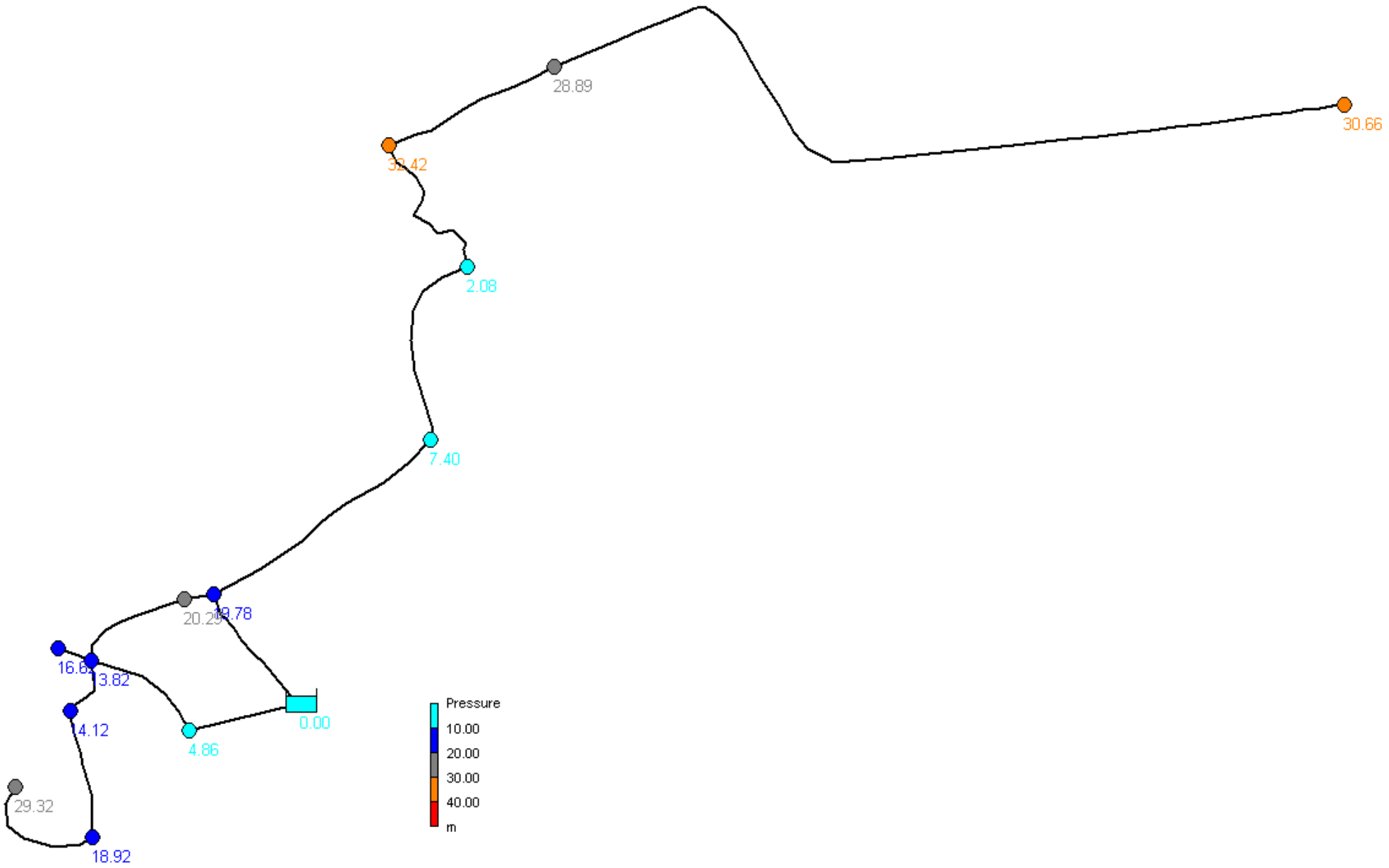
Σχήμα 29 : Ξενοδοχείο «Καρπαθάκης» - Πιέσεις



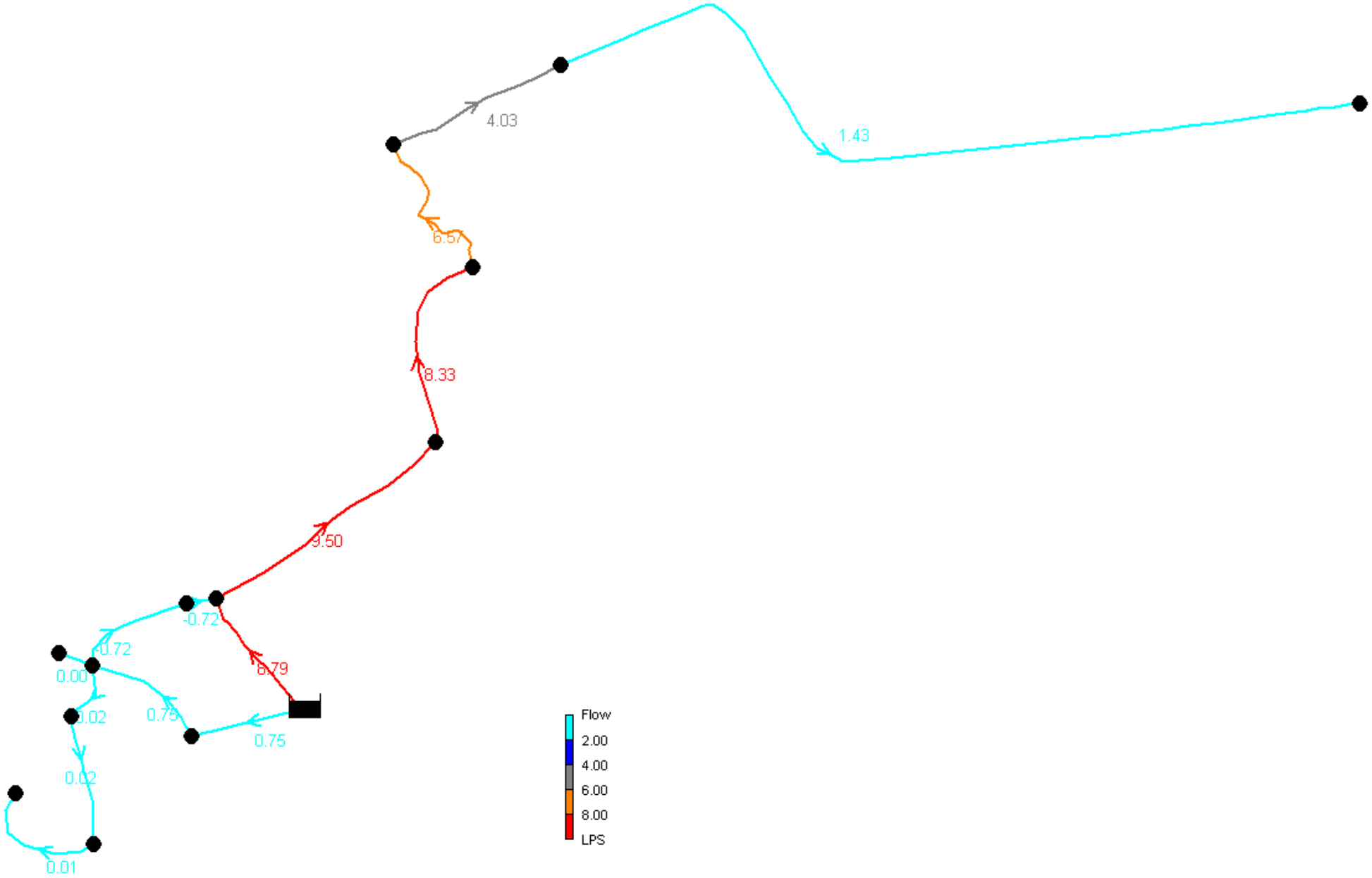
Σχήμα 30 : Ξενοδοχείο «Καρπαθάκης» - Παροχές



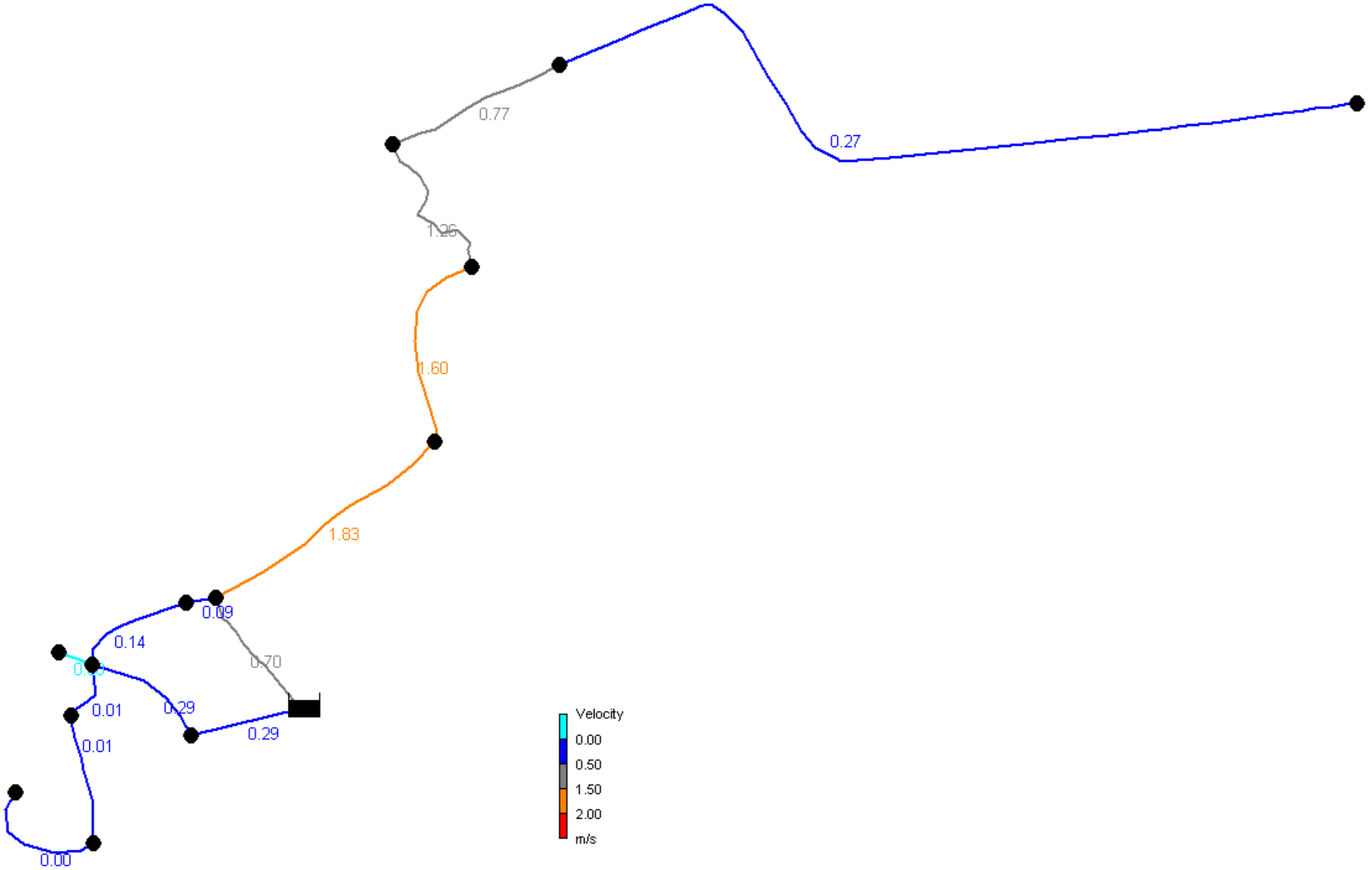
Σχήμα 31 : Ξενοδοχείο «Καρπαθάκης» - Ταχύτητες



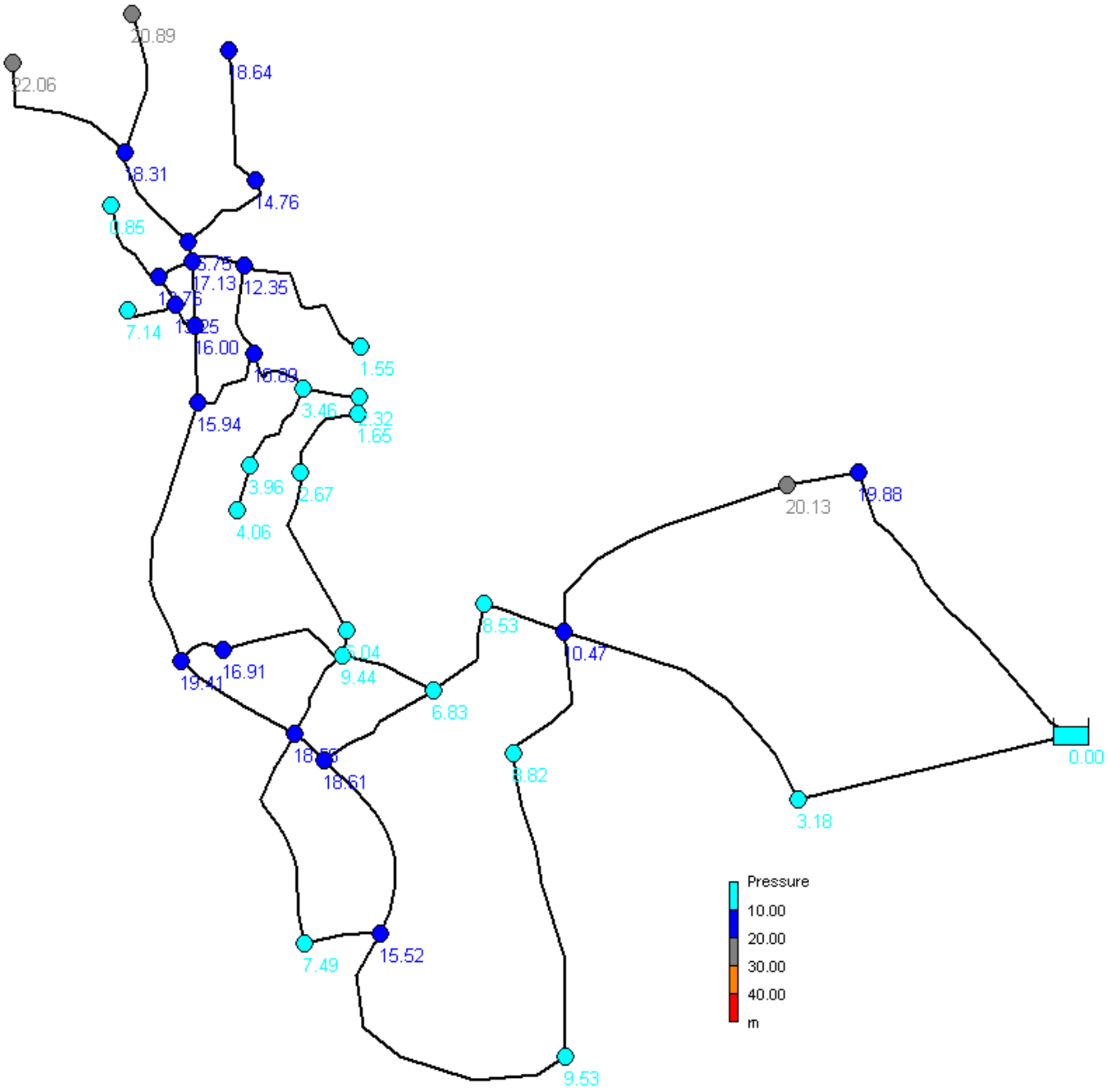
Σχήμα 32 : Λιμάνι – συνοικία Μίρα – Μάρε – Πιέσεις



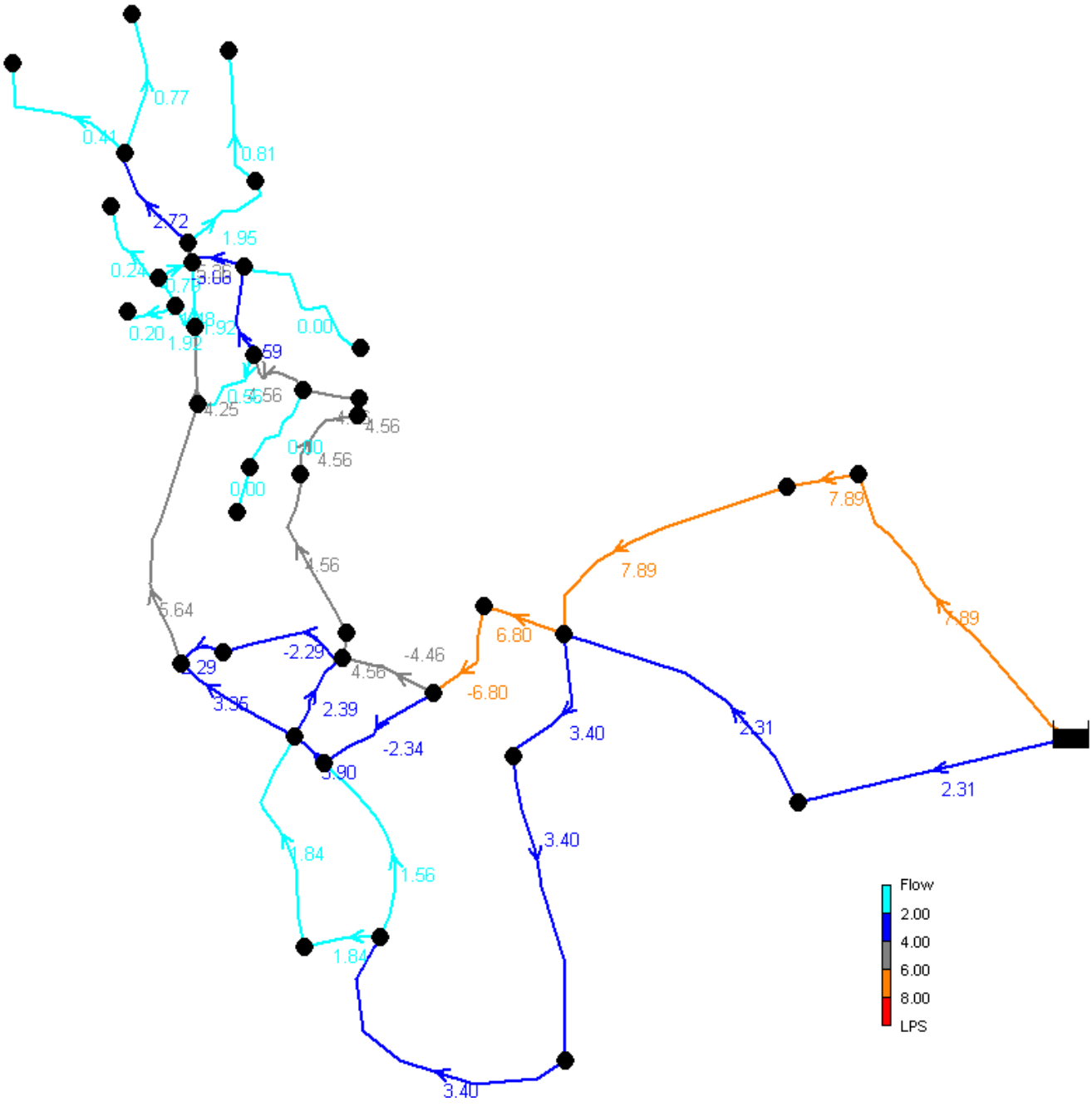
Σχέδιο 33 : Λιμάνι – συνοικία Μίρα Μάρε – Παροχές



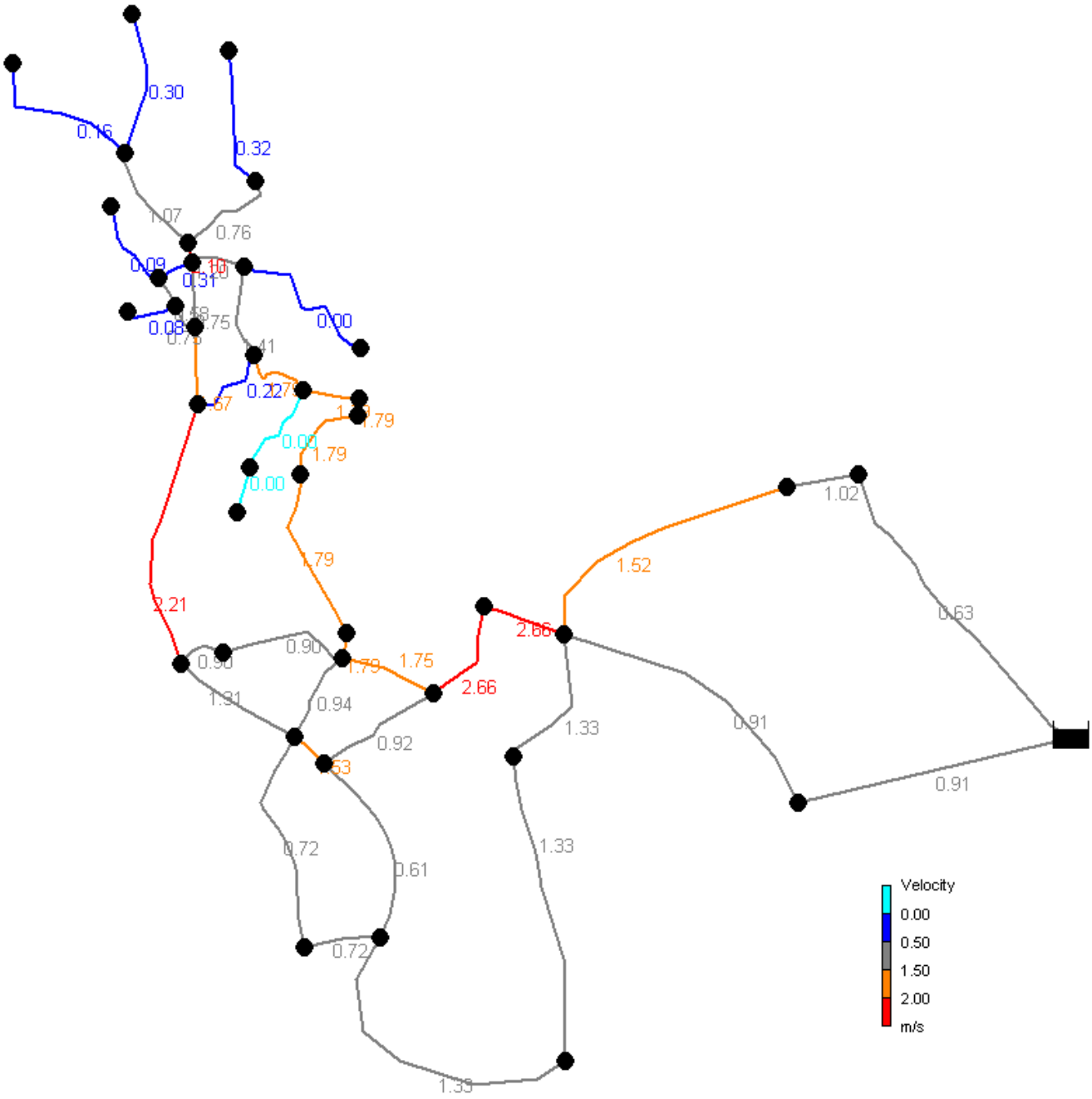
Σχέδιο 34 : Λιμάνι – συνοικία Μίρα Μάρε – Ταχύτητες



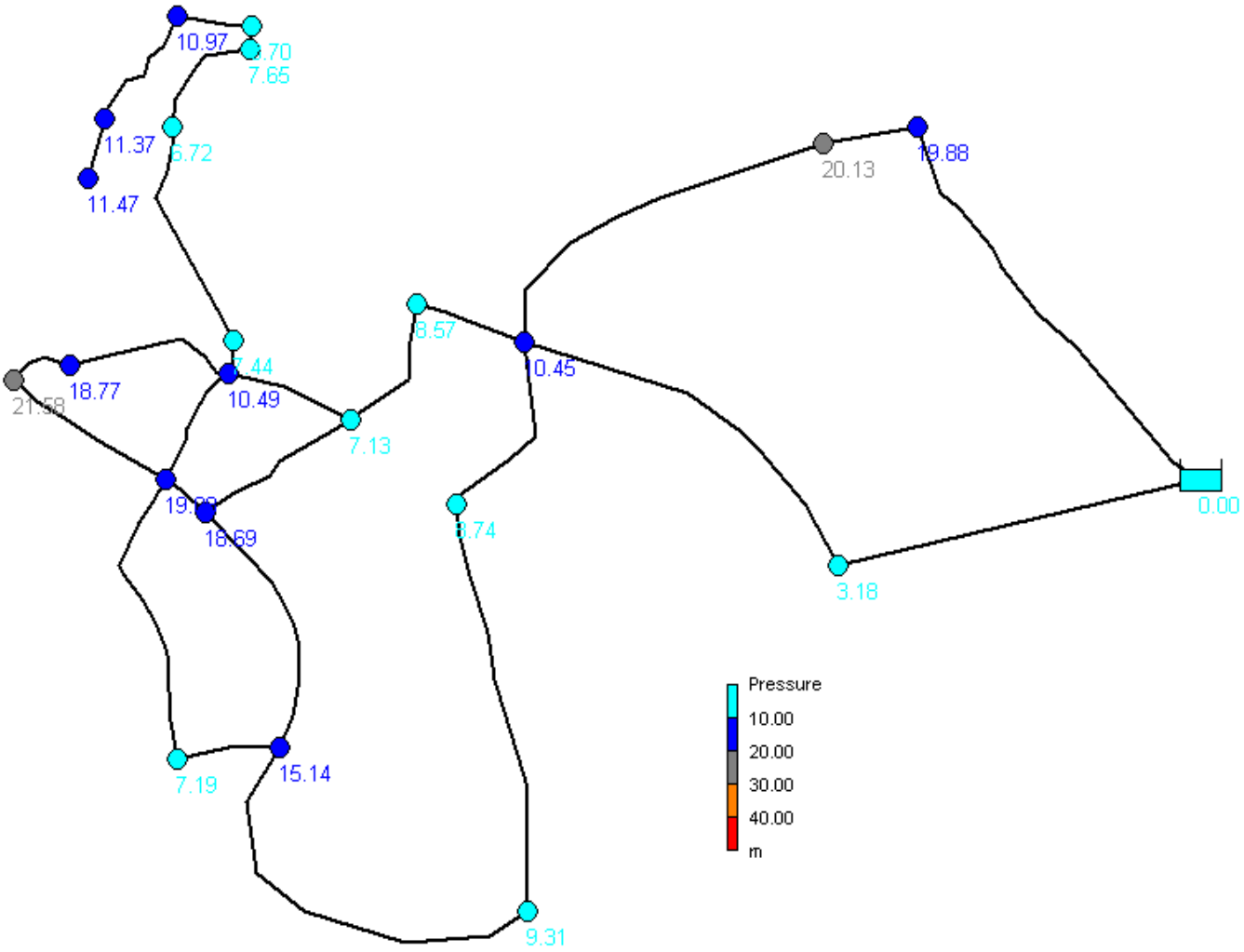
Σχήμα 35 : Συνοικία Λαγκάδι – Πιαούλι (κάτω μέρος) – Πιέσεις



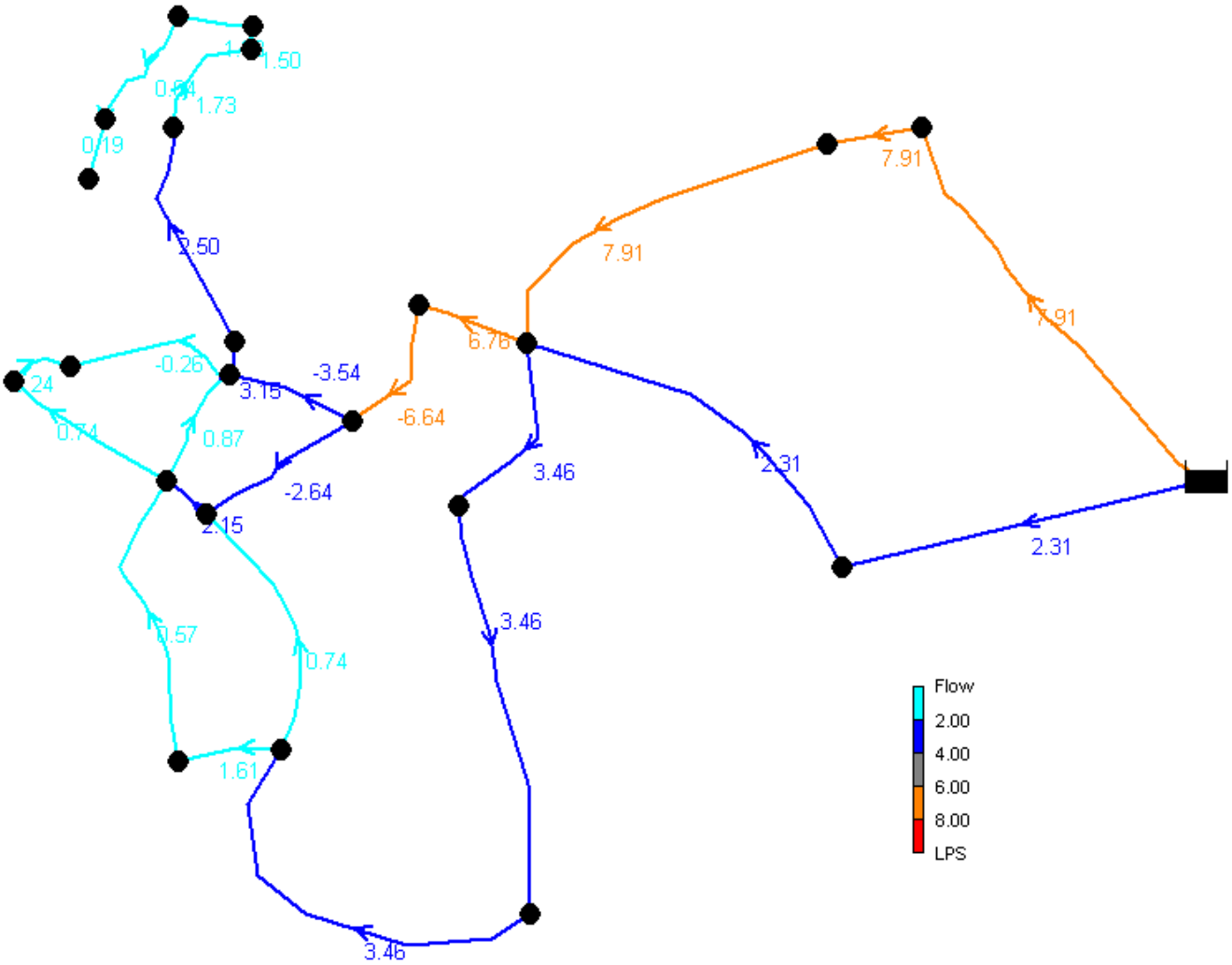
Σχήμα 36 : Συνοικία Λαγκάδι – Πιαούλι (κάτω μέρος) – Παροχές



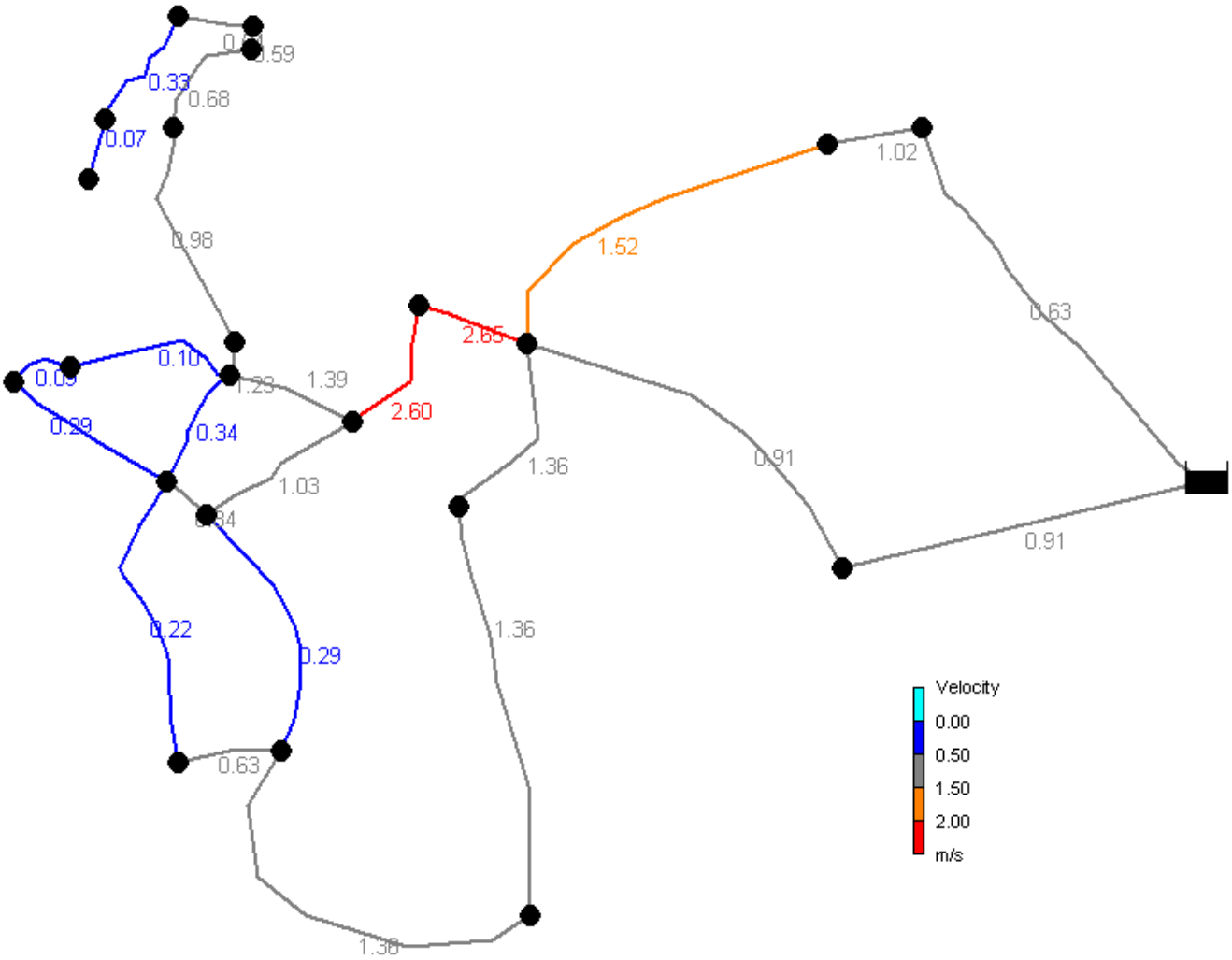
Σχήμα 37 : Συνοικία Λαγκάδι – Πιαούλι (κάτω μέρος) – Ταχύτητες



Σχήμα 38 : Συνοικία Λαγκάδι – Πιαούλι (πάνω μέρος) – Πιέσεις



Σχήμα 39 : Συνοικία Λαγκάδι – Πιαούλι (πάνω μέρος) – Παροχές


0.59
0.33
0.68
0.07
0.98
1.02
1.52
0.63
2.65
0.10
0.09
1.29
1.39
2.60
0.29
0.34
1.03
1.36
0.91
0.91
0.22
0.29
1.36
0.63
1.38
Velocity
0.00
0.50
1.50
2.00
m/s

Σχήμα 40 : Συνοικία Λαγκάδι – Πιαούλι (πάνω μέρος) – Ταχύτητες