



**Τ.Ε.Ι. ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ: Σ.Τ.Ε.**

**ΤΜΗΜΑ: ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΥΔΡΕΥΣΗ ΜΙΚΡΟΥ ΟΙΚΙΣΜΟΥ**

**ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΛΕΤΗΣ : ΟΙΚΙΣΜΟΥ ΔΑΦΝΟΦΥΤΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ**



(Οικισμός Δαφνοφύτου-Νομού Ιωαννίνων)

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: Δ. ΒΑΣΙΛΑΓΚΟΣ (ΑΜ 5269), Γ.-Π. ΚΑΡΑΠΑΝΟΣ (ΑΜ 5339),  
Α.-Θ. ΜΠΕΝΕΤΑΤΟΣ (ΑΜ 5403)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: ΔΡ Π. ΚΑΚΑΒΑΣ , ΔΡ Ν. ΦΟΥΡΝΙΩΤΗΣ**

## ΠΑΤΡΑ ΙΟΥΛΙΟΣ 2015

**Υπεύθυνη δήλωση σπουδαστών:** Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην βιβλιογραφία όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο τα οποία έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή προσαρμοσμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

(Όνοματεπώνυμο)

(Όνοματεπώνυμο)

(Όνοματεπώνυμο)

.....

.....

.....

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία διαπραγματεύεται με τον σχεδιασμό ύδρευσης μικρού οικισμού στην περιοχή Δαφνόφυτο της πόλης των Ιωαννίνων. Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφονται τα εισαγωγικά στοιχεία του σχεδιασμού δικτύου ύδρευσης μικρών οικισμών με κλειστούς αγωγούς. Συγκεκριμένα περιγράφονται οι νόμοι της ρευστομηχανικής, Bernoulli, συνέχειας, ορμής και ενέργειας. Οι σχετικές απώλειες του ρευστού μέσα στον αγωγό δίδονται από εξισώσεις τύπου Darcy, Hazen-Williams, Manning, κ.λ.π. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η σχετική θεωρία ροής νερού σε κλειστούς αγωγούς, τα χαρακτηριστικά των σωλήνων ύδρευσης, τύπου PVC αναγράφονται σε πίνακες, τα κυριότερα των οποίων είναι η διάμετρος, ο συντελεστής τριβής και την τραχύτητα των. Επίσης περιγράφονται τα διάφορα μέρη του δικτύου, δηλαδή βάνες, κόμβους, αγωγούς, δεξαμενή, ταμιευτήρα κλπ. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η εφαρμογή επίλυσης ύδρευσης μικρού οικισμού με το πρόγραμμα WORKS 2015 το οποίο περιέχει όλες τις θεωρίες που απαιτούνται για την επίλυση αυτών των υπολογιστικών προβλημάτων.

Το κεφάλαιο τέσσερα περιγράφει τον τρόπο επίλυσης του προβλήματος ύδρευσης μικρού οικισμού στο χωρίο Δαφνόφυτο που βρίσκεται στον νομό Ιωαννίνων. Στο πρόγραμμα WORKS2015 εισήχθησαν όλα τα απαραίτητα δεδομένα, υψόμετρα, συντεταγμένες, πιέσεις στους αγωγούς, τα γεωμετρικά στοιχεία της δεξαμενής, την απαιτούμενη παροχή στους κόμβους και τη θερμοκρασία καθώς και τα δεδομένα, πυκνότητα και κινηματικό ιξώδες του νερού. Τα αποτελέσματα της μελέτης δίδονται από το πρόγραμμα WORKS2015 σε μορφή πινάκων.

Πάτρα Ιούλιος 2015

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> : Εισαγωγικά στοιχεία κλειστών αγωγών.....	5
1.1 Εισαγωγή.....	5
1.2. Σύστημα Ύδρευσης .....	6
Α. Εφαρμογή.....	10
1.3. Εξίσωση Bernoulli.....	16
1.4. Εξίσωση της ενέργειας.....	18
1.5. Εξίσωση της συνέχειας.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> : Υπολογισμός συντελεστή τριβής και απωλειών ενέργειας κλειστών αγωγών.....	21
2.1. Εξίσωση των Hazen - Williams .....	21
2.2. Συντελεστής τριβής κατά Hazen-Williams .....	23
2.3. Τύπος του Chézy .....	23
2.4. Άλλοι εμπειρικοί τύποι. ....	24
Β. Εφαρμογή:.....	26
2.5. Επίλυση του Blasius .....	27
Γ. Εφαρμογή : .....	30
2.6. Στοιχεία δικτύου ύδρευσης.....	31
2.7. Περιγραφή των σωλήνων PVC .....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> : Εφαρμογή του προγράμματος Works2015 .....	35
3.1. Επίλυση ύδρευσης μικρού οικισμού με χρήση δεξαμενής .....	35
3.2. Επίλυση ύδρευσης μικρού οικισμού με χρήση ταμιευτήρα .....	43
3.3. Παράδειγμα χρήσης αντλίας .....	45
3.4. Μη μόνιμη επίλυση δικτύου .....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> : Εφαρμογή του κώδικα στην επίλυση του δικτύου ύδρευσης .....	60
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	77

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: Εισαγωγικά στοιχεία κλειστών αγωγών

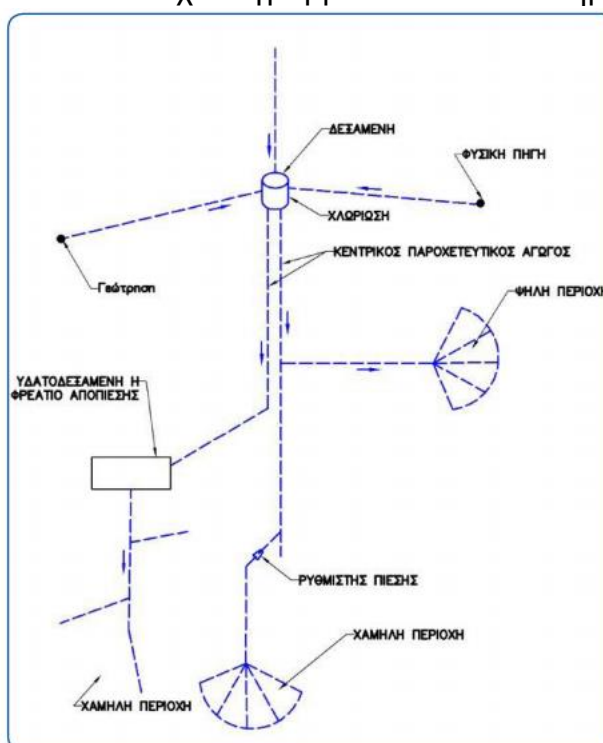
## 1.1 Εισαγωγή

Στους οικιστικά οργανωμένους χώρους, το νερό είναι συγκεντρωμένο σε μεγάλες δεξαμενές από τις οποίες, δια μέσου του εξωτερικού δικτύου της ύδρευσης, διανέμεται σε όλα τα απαραίτητα για να γίνουν οι λήψεις σημεία είτε σε κτίρια, είτε σε πυροσβεστικούς σταθμούς, είτε σε δημοτικούς κήπους για την κάλυψη του ποτίσματος (εκτός αν αυτές οι ανάγκες καλύπτονται από άλλες πηγές π.χ. γεωτρήσεις τοπικές κ.λ.π.). Σε μέρη που είναι είτε πολύ μακριά από τις δεξαμενές, είτε σε σημεία που βρίσκονται σε κάποιο υψόμετρο, χρησιμοποιούνται αντλίες, προκειμένου να γίνει αποτελεσματικά η υδροδότηση. Σε κάποιες περιπτώσεις έχουμε υδατόπυργους για να καλύπτονται αυτές οι ανάγκες ή ακόμη τοπικές δεξαμενές που κατασκευάζονται στα υψηλότερα σημεία κάποιων λόφων. Χαρακτηριστικά είναι και τα τοπωνύμια «δεξαμενή» που έχουν μείνει γι' αυτά τα μέρη, με το πέρασμα των χρόνων. Με βάση τα σημεία αυτών των δεξαμενών διαμορφώνεται το δίκτυο που καλύπτει τη γύρω περιοχή. Ακολουθεί το υπάρχον δίκτυο των δρόμων. Κατά μήκος αυτών και κάτω από το πεζοδρόμιο δίνονται οι παροχές. Για να κατασκευάσουμε το εξωτερικό δίκτυο, χρησιμοποιούμε σωλήνες μεγάλης διαμέτρου υπολογισμένους για να καλύψουν τις ανάγκες της περιοχής αλλά και τις μελλοντικές που πιθανά θα προκύψουν εκεί. Για μια κατά το δυνατό ασφαλή πρόβλεψη χρησιμοποιούμε τα διαθέσιμα στοιχεία. Το υλικό των σωληνώσεων είναι χάλυβας ή πλαστικό ή αμιαντοσιμέντο. Η τοποθέτηση των σωληνώσεων γίνεται μέσα σε χαντάκι που ανοίγεται σε όλο το μήκος της διαδρομής, με ορισμένες τεχνικές προδιαγραφές, όπως το βάθος, το οποίο κυμαίνεται από 80 έως 150 cm. Αυτό γίνεται για να προστατεύεται το δίκτυο από εξωτερικές μηχανικές καταπονήσεις. Σε αυτό το δίκτυο ύδρευσης, το νερό που διακινείται πρέπει να έχει πίεση κυμαινόμενη ανάμεσα σε 4 και 6 ατμόσφαιρες. Κάτω από τις 4 ατμόσφαιρες η υδροδότηση γίνεται προβληματική σε ορισμένα σημεία (όπως οι επάνω όροφοι των πολυκατοικιών), ενώ πάνω από 6 ατμόσφαιρες ασκείται καταπόνηση του δικτύου, η οποία οδηγεί σε σταδιακή ακαταλληλότητά του. Αν υπάρξει, κάποια στιγμή, βλάβη σε ένα σημείο του δικτύου, και

προκειμένου να μη διακοπεί η παροχή σε όλο το μήκος του, έχει προβλεφθεί η τοποθέτηση ειδικών διακοπών σε αποστάσεις από 500 έως 800 m σε επιλεγμένα σημεία, προκειμένου να διακοπεί η ροή και να αποκατασταθεί η βλάβη το συντομότερο. Πρέπει να σημειωθεί ότι, η σημερινή τεχνολογία, μας δίνει την ευχέρεια τηλεελέγχου του δικτύου μέσω ειδικών αισθητήρων που τοποθετούνται σε καίρια σημεία. Έτσι, τυχόν προβλήματα μπορούν να αντιμετωπισθούν με άμεση παρέμβαση. Υπάρχει επίσης δυνατότητα τηλεχειρισμού των διαφόρων οργάνων που υπάρχουν για να παρεμβαίνουν, αν χρειαστεί, ρυθμίζοντας την απρόσκοπτη λειτουργία της ροής.

## 1.2. Σύστημα Ύδρευσης

Η παροχή πόσιμου νερού, καλής ποιότητας και σε επαρκείς ποσότητες, στους καταναλωτές είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη σωστή λειτουργία του δικτύου ύδρευσης. Γενικότερα η διαδικασία παροχής πόσιμου νερού μπορεί να χωριστεί στις ακόλουθες ενότητες: • Παραγωγή και επεξεργασία • Μεταφορά και αποθήκευση • Διανομή νερού Η παραγωγή, επεξεργασία και διανομή πόσιμου νερού συνήθως διαλαμβάνει την προμήθεια νερού από υπόγειους υδροφορείς ή/και ταμιευτήρες, την επεξεργασία του για να καταστεί καθ' όλα υγιεινό και τη μεταφορά του σε μεγάλους αποθηκευτικούς χώρους (δεξαμενές) που συνήθως βρίσκονται πολύ κοντά ή εντός των οικιστικών περιοχών που υδροδοτούν, όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχεδιάγραμμα. Τυπικό Σύστημα Ύδρευσης



Εικόνα 1-1 Δίκτυο κλειστών αγωγών

Η γενική διάταξη ενός συστήματος ύδρευσης όπως παρουσιάζεται στο πιο πάνω σχεδιάγραμμα αποτελείται από τις εξής κύριες υποδομές: Α. Παραγωγή / προμήθεια νερού i. Κυβερνητικό Υδατικό Έργο Οι υδατικές εγκαταστάσεις του Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων όπως διυλιστήρια, μονάδες αφαλάτωσης, κυβερνητικές γεωτρήσεις που παρέχουν νερό μέσω κεντρικού αγωγού που διαχειρίζεται το ΤΑΥ. II. Γεώτρηση που έχει ανορυχθεί με σκοπό την άντληση υπόγειου νερού που είναι αποθηκευμένο σε υδροφόρο στρώμα. (Εδώ αναφερόμαστε σε γεωτρήσεις που διαχειρίζεται η Αρχή Υδατοπρομήθειας) III. Φυσική πηγή Υπόγειο νερό που βγαίνει στην επιφάνεια του εδάφους με φυσικό τρόπο. Β. Μεταφορά και αποθήκευση νερού i. Αγωγός μεταφοράς Η μεταφορά του νερού από τις πηγές υδροδότησης στις δεξαμενές αποθήκευσης γίνεται μέσω αγωγών κατάλληλης διαμέτρου και υλικού. Η διάμετρος καθορίζεται ανάλογα με τις υφιστάμενες ανάγκες, λαμβάνοντας υπόψη και τυχόν μελλοντικές αυξήσεις. Το υλικό πρέπει να είναι τέτοιο που να αντέχει στις πιέσεις λειτουργίας με συντελεστή ασφάλειας. II. Υδατοδεξαμενές Η αποθήκευση του πόσιμου νερού γίνεται σε δεξαμενές οι οποίες, ως επί το πλείστον, είναι κατασκευασμένες από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η χωρητικότητά τους δεν πρέπει να είναι λιγότερη από εικοσιτέσσερις ώρες κατανάλωσης και αυτό για σκοπούς εξασφάλισης του επιθυμητού επιπέδου εξυπηρέτησης των καταναλωτών σε περίπτωση διακοπής της παραγωγής νερού, για οποιοδήποτε λόγο, καθώς επίσης και της ομαλής λειτουργίας του συστήματος παραγωγής νερού απορροφώντας τις αυξομειώσεις στην κατανάλωση. Η απολύμανση του νερού συνήθως επιτυγχάνεται με κατάλληλη χλωρίωση στις δεξαμενές. Το χλώριο σκοτώνει τυχόν μικροοργανισμούς, ώστε το νερό που φθάνει στον καταναλωτή να είναι σύμφωνα με τη νομοθεσία για το νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση. Είναι επιθυμητό να υπάρχει και στο πιο απόμακρο σημείο του δικτύου διανομής ικανοποιητικό υπολειμματικό χλώριο. Γ. Διανομή νερού i. Κύριοι τροφοδοτικοί αγωγοί Οι κύριοι τροφοδοτικοί αγωγοί μεταφέρουν το νερό από τις δεξαμενές αποθήκευσης στις κεφαλές των δικτύων διανομής. Η διάμετρος καθορίζεται ανάλογα με τις υφιστάμενες ανάγκες, λαμβάνοντας υπόψη και τυχόν μελλοντικές αυξήσεις. Το υλικό πρέπει να είναι τέτοιο που να αντέχει στις πιέσεις λειτουργίας με συντελεστή ασφάλειας. ii. Δίκτυο διανομής Δίκτυο διανομής ορίζεται το πλέγμα των αγωγών που υδροδοτείται από τους κύριους τροφοδοτικούς αγωγούς και διανέμει το νερό στους καταναλωτές

(χρήστες) μέσω των υδατοπαροχών. Η υδροδότηση του κάθε υποστατικού (οικίας, καταστήματος, διαμερίσματος, κλπ.) επιτυγχάνεται με την ύπαρξη, σε κάθε δρόμο, αγωγών διανομής κατάλληλης παροχетеυτικότητας, η οποία προσδιορίζεται με βάση μελέτη και δημιουργία σχετικών υδραυλικών μοντέλων για τη σωστή τους διαστασιολόγηση, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις υφιστάμενες όσο και πιθανές μελλοντικές ανάγκες. ΕΝΙΑΙΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ ΚΑΛΗΣ ΠΡΑΚΤΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ 7 Η πίεση λειτουργίας του δικτύου διανομής πρέπει να είναι τέτοια ώστε να παρέχεται ικανοποιητική πίεση σε καταναλωτές που βρίσκονται σε μεγαλύτερο υψόμετρο κατά τις στιγμές της μέγιστης ζήτησης. Το ανάγλυφο του εδάφους πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό των ζωνών πίεσης του δικτύου και όπου είναι εφικτό εντός των πιεζομετρικών ζωνών να υπάρχει η μικρότερη δυνατή υψομετρική διακύμανση. Συνήθως η ονομαστική πίεση λειτουργίας των αγωγών που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα διανομής είναι 10 ατμόσφαιρες. Η σύνδεση/παροχή πόσιμου νερού στους καταναλωτές από το δίκτυο διανομής γίνεται συνήθως με λάστιχο. Ο σχεδιασμός και η τεχνολογία είναι πρώτιστης σημασίας. Οι παροχές, στη μεγάλη τους πλειονότητα, παρέχουν πόσιμο νερό για οικιακή χρήση (οικιακή παροχή) και ένας μικρός αριθμός για ειδική χρήση (ειδική παροχή), όπως σχολεία, νοσοκομεία, στρατόπεδα, ξενοδοχεία, βιοτεχνίες και βιομηχανίες. Η τυπική διάταξη των παροχών αποτελείται από τα πιο κάτω:

- ζωστήρας (σέλλα)
- κρουρός σύνδεσης (διακόπτης)
- εγκάρσιος αγωγός σύνδεσης (λάστιχο σύνδεσης)
- κρουρός διακοπής (διακόπτης)
- βαλβίδα αντεπιστροφής
- υδρομετρητής
- κρουρός απομόνωσης (διακόπτης)

2.2. Εξοπλισμός Δικτύων Το δίκτυο ύδρευσης, πέρα από τους αγωγούς, θα πρέπει να διαθέτει βαλβίδες απομόνωσης, αεροβαλβίδες, κρουούς πυρόσβεσης, σημεία πλύσης, υδρομετρητές στις κεφαλές του δικτύου και πιεζοθραυστικές διατάξεις για να είναι δυνατή η άρτια και αποτελεσματική λειτουργία του. Βαλβίδες απομόνωσης Οι βαλβίδες απομόνωσης είναι σημαντικό στοιχείο για το σωστό σχεδιασμό του δικτύου ύδρευσης. Πρέπει να υπάρχει ικανοποιητικός αριθμός βαλβίδων απομόνωσης στο δίκτυο ύδρευσης η οποίες να είναι σε καλή λειτουργική κατάσταση για να αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά οι περιπτώσεις επέμβασης στο δίκτυο με τη λιγότερη δυνατή ταλαιπωρία των καταναλωτών, δηλαδή να απομονώνεται όσο το δυνατό μικρότερο μέρος του δικτύου. Η καλή λειτουργική κατάσταση των βαλβίδων



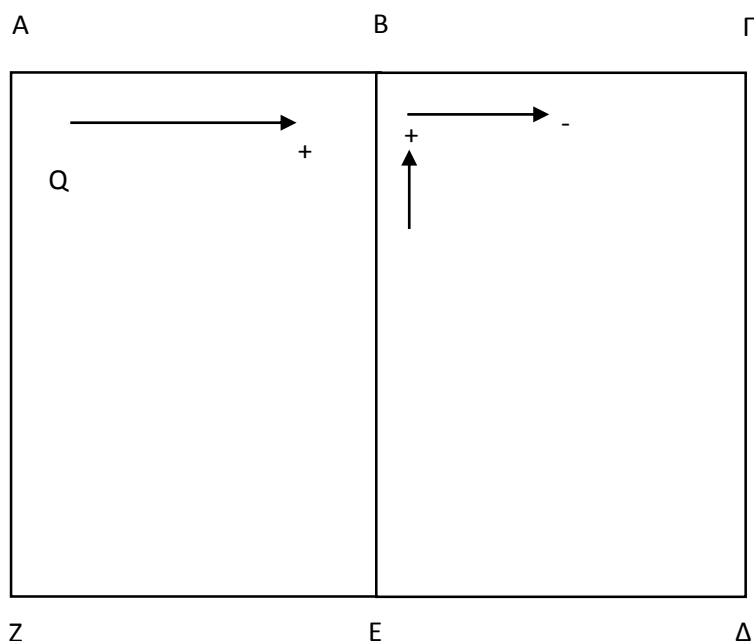
είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των διαρροών. Εξαερισμός Στα δίκτυα ύδρευσης υπάρχει ανάγκη εξαερισμού όταν γίνεται εκκένωση και επαναπλήρωση του δικτύου καθώς επίσης και κατά τη λειτουργία του δικτύου υπό πίεση για την εξαγωγή του αέρα που βρίσκεται μέσα στη μάζα του νερού. Εκκένωση Απαραίτητη προϋπόθεση στα δίκτυα ύδρευσης είναι η τοποθέτηση εκκενωτών (πλύσεων), συνήθως σε χαμηλά υψομετρικά σημεία του δικτύου, με δυνατότητα διοχέτευσης του νερού σε σύστημα απομάκρυνσής του χωρίς τη δημιουργία ανεπιθύμητων καταστάσεων με τη διοχέτευσή του στην επιφάνεια του ασφαλτικού οδοστρώματος ή πεζοδρομίου. Η εκκένωση απαιτείται συνήθως για λόγους επέμβασης στον αγωγό ή για την επιδιόρθωση βλάβης ή για επέκταση του δικτύου. 8 Πυρόσβεση Η θέση και η πυκνότητα των σημείων πυρόσβεσης υποδεικνύονται από την Πυροσβεστική Υπηρεσία. Πέρα από τα κοινόχρηστα σημεία πυρόσβεσης που βρίσκονται σε εξωτερικούς κοινόχρηστους χώρους, υπάρχουν και ιδιωτικές διατάξεις πυρόσβεσης συνήθως σε πολυώροφα κτήρια για αντιμετώπιση περιστατικών πυρκαγιάς εντός των κτηρίων. Παροχή - Πίεση Η σύγχρονη πρακτική για την αποτελεσματική διαχείριση του δικτύου ύδρευσης επιβάλλει τη συνεχή καταγραφή της παροχής νερού προς το δίκτυο διανομής. Αυτό γίνεται με την εγκατάσταση κεντρικού μετρητή στην κεφαλή της περιοχής τροφοδοσίας, η οποία ονομάζεται ζώνη ή υποζώνη, ή στα σημεία εισόδου στην περίπτωση που υπάρχει πέραν της μιας παροχής προς τη ζώνη ή υποζώνη. Η πίεση εντός του δικτύου διανομής θα πρέπει να ελέγχεται και να ρυθμίζεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της κάθε υποζώνης. Συνήθως η ρύθμιση της πίεσης γίνεται με πιεζοθραυστικές βαλβίδες οι οποίες γενικά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: • Πιεζοθραυστικές βαλβίδες σταθερής πίεσης - μείωση της πίεσης στο δίκτυο σε προκαθορισμένη σταθερή τιμή ανεξάρτητα της ζήτησης. • Πιεζοθραυστικές βαλβίδες μεταβλητής πίεσης εξόδου αναλόγως της διερχόμενης παροχής ή της πίεσης στο κρίσιμο της ζώνης / υποζώνης. Συνήθης πρακτική είναι να γίνεται η εγκατάσταση τόσο του κεντρικού μετρητή όσο και της πιεζοθραυστικής βαλβίδας σε υπόγειο φρεάτιο στην κεφαλή του δικτύου όπως φαίνεται στην πιο κάτω φωτογραφία.



Εικόνα 1- 2 Διάφορα εξαρτήματα για κλειστούς αγωγούς

## A. Εφαρμογή

Επί του παρακάτω σχήματος δίνεται ένα δίκτυο διανομής . οι διάμετροι , τα μήκη των αγωγών του δικτύου και οι συντελεστές τριβής της ροής δίνονται στον πίνακα(1) . τα υψόμετρα και τα ύψη πίεσεως στους κόμβους A, Γ ,Δ και Z δίνονται στον πίνακα (2). Να καθορισθεί η παροχή και τα υδραυλικά φορτία σε όλους τους κόμβους του δικτύου.



Σχήμα 1- 2 Βρόχοι κλειστών αγωγών

Αγωγός	Μήκη (m)	Διάμετροι (m)	Συντελεστής τριβής
ΑΒ	300,0	0,508	0,020
ΒΓ	300,0	0,381	0,015
ΓΔ	600,0	0,381	0,015
ΔΕ	300,0	0,381	0,015
ΕΖ	300,0	0,505	0,020
ΖΑ	600,0	0,508	0,020
ΒΕ	600,0	0,508	0,020

**Πίνακας 1- 1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και συντελεστές τριβής των αγωγών του δικτύου της εφαρμογής**

Κόμβοι	Υψόμετρο θέσεως M	Ύψος πίεσεως (m)
Α	200,0	40,0
Γ	190,0	34,0
Δ	185,0	32,0
Ζ	195,0	36,0

**Πίνακας 1- 2 Υψόμετρα και ύψη πίεσεως στους κόμβους του δικτύου της εφαρμογής .**

Τα αποτελέσματα της 4<sup>ης</sup> επαναλήψεως να θεωρηθούν ως τα πραγματικά. Ως αρχική τιμή φορτίων στους κόμβους Β και Ε να θεωρηθούν οι μέσοι όροι των φορτίων των κόμβων Α, Γ και Δ,Ζ αντιστοίχως.

## Επίλυση

Ως πρώτη εκτίμηση του υδραυλικού φορτίου παρά την θέση Β τίθεται η τιμή των  $\{(200,0+40,0)+(190,0+34,0)\}/2=232,0\text{m}$  , δηλαδή ο μέσος όρος των υδραυλικών φορτίων των θέσεων Α και Γ. Ομοίως, παρά την θέση Ε , ως πρώτη εκτίμηση , τίθεται η τιμή των  $\{(195,0+36,0)+(185,0+32,0)\}/2=224,0\text{m}$

Η εξίσωση Darcy-Weisbach χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των απωλειών φορτίου στους αγωγούς του δικτύου . Είναι ,

$$h_f = f \frac{L U^2}{D 2g} \quad (1-1)$$

Ως συνάρτηση της παροχής η ανωτέρα έκφραση των απωλειών φορτίου δίνει,

$$h_f = f \frac{L U^2}{D 2g} = \frac{L 16 Q^2}{f D \pi^2 2g D^4} = r Q^m \quad (1-2)$$

Συνεπώς

R=και m=2

Συμπληρώνεται ο κάτωθι πίνακας 3 ο οποίος και αποτελεί τη πρώτη επανάληψη. Ροή προς κόμβους θεωρείτε θετική. Ροή εκ των κόμβων θεωρείτε ως αρνητική. Μεταξύ των κόμβων πχ Α και Β υπάρχει πτωχή φορτίου  $h_{f1}$  σου προς 240,0 – 232,0 δηλαδή 8,0 m.Επομένως , η παροχή δίνεται να υπολογιστεί από την εξίσωση  $hf=rQ^m$  με m=2 και r=14.6

Πρώτη επανάληψη

Κόμβος		r	h (m)	hf (m)	Q ( $m^3/s$ )	Q/hf ( $m^2/s$ )	Δh (m)
	AB	14,6	232.0	8.0	0.74	0.0925	-1.89
B	BE	29,31		-8.0	-0.522	0.065	
	BΓ	46,31		-8.0	-0.416	0.052	
					Σ=- 0,198	Σ=0,209	
	BE	29,31	224.0	8.0	0,522	0,0650	7.53
E	ZE	14,6		7.0	0,692	0,0989	
	EΔ	46,3		-7.0	-0,389	0,0555	
					Σ=0,825	Σ=0,22	

**Πίνακας 1- 3 Υπολογισμός προσαυξήσεων υδραυλικού φορτίου στους κόμβους B και E κατά την πρώτη επανάληψη**

Οι προσαυξήσεις Δh των φορτίων τίθενται επί των τιμών των φορτίων των κόμβων B και E και η όλη διαδικασία υπολογισμών επαναλαμβάνεται .

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών της δεύτερης , τρίτης και τέταρτης επαναλήψεως επιδεικνύονται στους πίνακες (1-4) και (1-5) και (1-6) αντιστοίχως.

**Δεύτερη επανάληψη**

Κόμβος		r	h (m)	hf (m)	Q ( $m^3/s$ )	Q/hf ( $m^2/s$ )	Δh (m)
	AB	14,6	230,1	9,90	0,823	0,0083	3,6
B	BE	29,31		0,50	0,130	0,260	
	BΓ	46,31		-6,10	-0,363	0,059	

					$\Sigma=0,59$	$\Sigma=0,327$	
	BE	29,31	231,5	-0,5	-0,130	0,260	0,46
E	ZE	14,6		-1,4	-0,310	0,220	
	EΔ	46,3		14,5	0,560	0,039	
					$\Sigma=0,119$	$\Sigma=0,519$	

**Πίνακας 1- 4 Υπολογισμός προσαυξήσεων υδραυλικού φορτίου στους κόμβους Β και Ε κατά την δεύτερη επανάληψη**

Τρίτη επανάληψη

Κόμβος		r	h (m)	hf (m)	Q ( $m^3/s$ )	Q/hf ( $m^2/s$ )	Δh (m)
	AB	14,6	233,7	6,3	0,657	0,104	-0,3
B	BE	29,31		-1,74	-0,243	0,0139	
	BΓ	46,31		-9,7	-0,458	0,0470	
					$\Sigma=-$ 0,044	$\Sigma=0,29$	
	BE	29,31	231,96	0,63	0,657	0,10	-0,82
E	ZE	14,6		-0,96	-0,256	0,27	
	EΔ	46,3		-15,0	-0,568	0,038	
					$\Sigma=-$ 0,167	$\Sigma=0,408$	

**Πίνακας 1- 5 Υπολογισμός προσαυξήσεων υδραυλικού φορτίου στους κόμβους Β και Ε κατά την τρίτη επανάληψη**

Τέταρτη επανάληψη

Κόμβος		r	h (m)	hf (m)	Q ( $m^3/s$ )	Q/hf ( $m^2/s$ )	Δh (m)
	AB	14,6	233,4	0,66	0,670	0,101	-0,43
B	BE	29,31		-2,26	-0,278	0,123	
	BΓ	46,31		-9,40	-0,450	0,048	
					Σ=- 0,058	Σ=0,271	
	BE	29,31	231,14	2,26	0,278	0,123	-0,86
E	ZE	14,6		-0,14	-0,098	0,7	
	EΔ	46,3		14,1	-0,55	0,039	
					Σ=-0,37	Σ=0,862	

Πίνακας 1- 6 Υπολογισμός προσαυξήσεων υδραυλικού φορτίου στους κόμβους B και E κατά την τέταρτη επανάληψη

Οι επιμέρους παροχές των αγωγών του δικτύου είναι :

$$Q_{AB} = 0.67 (m^3/s)$$

$$Q_{AB} = BE$$

$$Q_{BE} = 0.278 (m^3/s)$$

$$Q_{B\Gamma} = 0.45 (m^3/s)$$

$$Q_{ZE} = 0.098 (m^3/s)$$

$$Q_{E\Delta} = 0.55(m^3/s)$$

Τα υδραυλικά φορτία στους κόμβους είναι:

$$h_B = 233.4 - 0.43 = 233.06 \text{ m}$$

$$h_E = 231.14 - 0.86 = 230.28 \text{ m}$$

### 1.3. Εξίσωση Bernoulli

Σε αστρόβιλο πεδίο ροής ισχύει

$$\underline{V} = \nabla\Phi. \tag{1-3}$$

Επομένως

$$\nabla \left( \frac{1}{g} \frac{\partial\Phi}{\partial t} + \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + h \right) = 0 \Rightarrow \frac{1}{g} \frac{\partial\Phi}{\partial t} + \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + h = f(t) \tag{1-4}$$

Επίσης κατά μήκος μιας γραμμής ροής ισχύει

$$\frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + h = \text{σταθ} = H \tag{1-5}$$

Όταν στη ροή δεν υπάρχουν τριβές ( $\mu=0$ ) και είναι και αστρόβιλη, τότε συμβαίνουν μερικά ενδιαφέροντα πράγματα. Κατ' αρχήν η εξίσωση της ποσότητας κίνησης (ορμής) γράφεται (εξίσωση του Euler)

Όμως :

$$\frac{D\underline{V}}{Dt} = \frac{\partial\underline{V}}{\partial t} + (\underline{V} \circ \nabla)\underline{V} = \underline{g} - \frac{1}{\rho} \nabla p; \quad \underline{V} = (u, v, w). \tag{1-6}$$



$$(\underline{V} \circ \nabla)\underline{V} = \nabla\left(\frac{1}{2}V^2\right) + \underline{\zeta} \times \underline{V}. \quad (1-7)$$

Η παραπάνω εξίσωση γίνεται:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \nabla\left(\frac{1}{2}V^2\right) + \underline{\zeta} \times \underline{V} = \underline{g} - \frac{1}{\rho} \nabla p \quad (1-8)$$

Πολλαπλασιάζοντας (εσωτερικά) με  $d\underline{r}$

$$\left[ \frac{\partial V}{\partial t} + \nabla\left(\frac{1}{2}V^2\right) + \underline{\zeta} \times \underline{V} - \underline{g} + \frac{1}{\rho} \nabla p \right] \circ d\underline{r} = 0 \quad (1-9)$$

Επιδιώκουμε την ταυτότητα

$$|\underline{\zeta} \times \underline{V}| \circ d\underline{r} \equiv 0. \quad (1-10)$$

Αυτό αληθεύει για τις ακόλουθες περιπτώσεις

- (i)  $\underline{V} = 0$  (δεν υπάρχει ροή)
- (ii)  $\underline{\zeta} = 0$  (αστρόβιλη ροή)
- (iii)  $d\underline{r} \perp (\underline{\zeta} \times \underline{V})$  (ροή τύπου Beltrami, πολύ σπάνια περίπτωση)
- (iv)  $d\underline{r} \parallel \underline{V}$  (εφαπτόμενο στη γραμμή ροής)

Σύμφωνα με την περίπτωση (iv), ολοκληρώνοντας κατά μήκος μιας γραμμής ροής και θεωρώντας  $g = -g k$ , η παραπάνω εξίσωση γίνεται

$$\frac{\partial V}{\partial t} \circ d\bar{r} + d\left(\frac{1}{2}V^2\right) + \frac{dp}{\rho} + g dz = 0 \quad (1-11)$$

απ' όπου για μόνιμη ροή [ $\partial/\partial t (\ ) = 0$ ] ασυμπίεστου ρευστού προκύπτει ότι κατά μήκος μιας γραμμής ροής

$$d\left(\frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + z\right) = 0 \quad (1-12)$$

που μπορεί επίσης να γραφτεί ως εξής

$$H = \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + z = \text{σταθερά.} \quad (1-13)$$

Η παραπάνω εξίσωση διατυπώθηκε για πρώτη φορά από το **Bernoulli** και φέρει το όνομά του, ισχύει δε κατά μήκος μιας γραμμής ροής ιδεατού ρευστού.

#### 1.4. Εξίσωση της ενέργειας

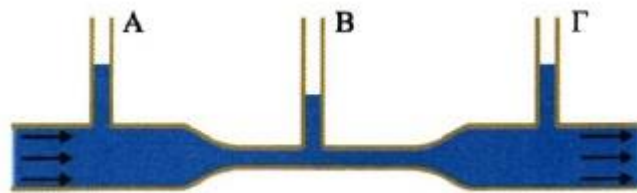
$$p + 1/2\rho v^2 + \rho gy = \text{σταθερό} \quad (1-14)$$

Η παραπάνω σχέση είναι η **εξίσωση του Bernoulli** για ιδανικό ρευστό. Από την εξίσωση του Bernoulli προκύπτει: Ότι το άθροισμα της πίεσης ( $p$ ), της κινητικής ενέργειας ανά μονάδα όγκου ( $1/2 \rho v^2$ ) και της δυναμικής ενέργειας ανά μονάδα όγκου ( $\rho gy$ ) έχει την ίδια σταθερή τιμή σε οποιοδήποτε σημείο της ρευματικής γραμμής. Η εξίσωση του Bernoulli αποτελεί έκφραση της αρχής

διατήρησης της ενέργειας στη ροή των ρευστών. Αν ο σωλήνας είναι οριζόντιος η εξίσωση του Bernoulli παίρνει τη μορφή

$$\rho + 1/2 \rho u^2 = \text{σταθερό}$$

από όπου φαίνεται ότι σε περιοχές όπου πυκνώνουν οι ρευματικές γραμμές (μικρή διατομή του σωλήνα) και η ταχύτητα ροής αυξάνεται, η πίεση ελαττώνεται.



Εικόνα 1-3: Στο στενό μέρος του σωλήνα η ταχύτητα του υγρού είναι μεγαλύτερη. Το ύψος της στάθμης του υγρού πάνω από την περιοχή αυτή δείχνει ότι η πίεση στο σωλήνα είναι μικρότερη.

## 1.5. Εξίσωση της συνέχειας

Ο Νόμος της συνέχειας της ροής είναι από τους σημαντικότερους νόμους στην Υδροδυναμική. Η σχέση που περιγράφει αυτόν τον νόμο ονομάζεται εξίσωση της συνέχειας της ροής και αναφέρει ότι η παροχή παραμένει σταθερή κατά μήκος μίας φλέβας (ενός σωλήνα), που διαρρέεται από υγρό. Η εξίσωση αυτή είναι άμεση συνέπεια της αρχής διατήρησης της ύλης. Η μαθηματική της έκφραση είναι:

$$A_1 u_1 = A_2 u_2 \quad (1-15)$$

Όπου  $A$  η διατομή του σωλήνα και  $u$  η ταχύτητα του υγρού

Η εξίσωση αυτή διατυπώθηκε από τον Ελβετό φυσικό Ντάνιελ Μπερνούλι και είναι αποτέλεσμα της αρχής διατήρησης της ενέργειας σε κινούμενο υγρό. Σύμφωνα με αυτή σε μία ρευματική γραμμή το άθροισμα της δυναμικής

ενέργειας ανά μονάδα όγκου, της κινητικής ενέργειας ανά μονάδα όγκου και της πίεσης παραμένουν σταθερά, σε οποιοδήποτε σημείο μίας ρευματικής γραμμής. δηλαδή ισχύει:

$$P + \frac{1}{2}\rho u^2 + \rho gh = \text{σταθ} \quad (1-16)$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: Υπολογισμός συντελεστή τριβής και απωλειών ενέργειας κλειστών αγωγών

Το **κινηματικό ιξώδες**  $\nu$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) είναι ο λόγος του ιξώδους του ρευστού προς την πυκνότητά του. Το κινηματικό ιξώδες μεταβάλλεται έντονα ανάλογα με την θερμοκρασία<sup>1</sup>.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-1)$$

**Ιξώδες**  $\mu$  ( $\text{Ns}/\text{m}^2$ ) ή ( $\text{kg}/\text{ms}$ ) είναι η παράμετρος η οποία παριστά την ύπαρξη επαππομενικών δυνάμεων κατά την κίνηση του επί το ρευστό.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-2)$$

### 2.1. Εξίσωση των Hazen - Williams

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: Υπολογισμός συντελεστή τριβής και απωλειών ενέργειας κλειστών

$$h_f = \frac{6.79L}{D^{1.16}} \left( \frac{V}{C} \right)^{1.85} \quad (2-3)$$

Όπου:

$hf$  ... οι γραμμικές απώλειες ενέργειας σε m

$L$  ... το μήκος του αγωγού σε m

$D$  ... η διάμετρος του αγωγού σε m

$V$  ... η μέση ταχύτητα σε m/s

$C$  ... ο συντελεστής τριβών των Hazen - Williams.

---

<sup>1</sup> Π. Παπανικολάου, σημειώσεις υδραυλικής, ΕΜΠ 2007

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

<b><u>Hazen-Williams Equation for Pressure Loss in Pipes</u></b>	
<b>Imperial Units</b>	
<b>Specified Data</b>	
l = length of pipe (ft)	200
<a href="#"><u>c = Hazen-Williams roughness constant</u></a>	140
q = volume flow (gal/min)	200
dh = inside or hydraulic diameter (inches)	3
<b>Calculated Pressure Loss</b>	
f = friction head loss in feet of water per 100 feet of pipe (ft H <sub>2</sub> O per 100 ft pipe)	<u>9.73</u>
f = friction head loss in psi of water per 100 feet of pipe (psi per 100 ft pipe)	<u>4.18</u>
Head loss (ft H <sub>2</sub> O)	<u>19.46</u>
Head loss (psi)	<u>8.37</u>
<b>Calculated Flow Velocity</b>	
v = flow velocity (ft/s)	<u>9.08</u>
<b>SI Units</b>	
<b>Specified Data</b>	
l = length of pipe (m)	30
<a href="#"><u>c = Hazen-Williams roughness constant</u></a>	140
q = volume flow (liter/sec)	10
dh = inside or hydraulic diameter (mm)	76
<b>Calculated Pressure Loss</b>	
f = friction head loss in mm of water per 100 m of pipe (mm H <sub>2</sub> O per 100 m pipe)	<u>6406.62</u>
f = friction head loss in kPa per 100 m of pipe (kPa per 100 m pipe)	<u>62.85</u>
Head loss (mm H <sub>2</sub> O)	<u>1921.99</u>
Head loss (kPa)	<u>18.85</u>
<b>Calculated Flow Velocity</b>	
v = flow velocity (m/s)	<u>2.20</u>

## 2.2. Συντελεστής τριβής κατά Hazen-Williams

Επιφάνεια / Υλικό	Μέση τιμή
Σκυρόδεμα με ασβέστη	140
Χυτοσίδηρος (νέος)	130
Σκυρόδεμα καλής ποιότητας	150
Σκυρόδεμα προκατασκευασμένο	135
Σκυρόδεμα (ξυλότυπος)	120
Σκυρόδεμα (μεταλλότυπος)	140
Χαλκός	135
Ελατός σίδηρος	130
Γαλβανισμένος σίδηρος	120
Γυαλί	140
PVC	150
Ατσάλι με ηλώσεις (νέο, τραχύ)	80
Ατσάλι με ηλώσεις (νέο, λείο)	110
Ατσάλι	120
Ξύλο (νέο)	140

## 2.3. Τύπος του Chézy

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

$$h_f = J_E L = L \frac{f}{4R_H} \frac{V^2}{2g} \quad (2-4)$$

λύνοντας ως προς την ταχύτητα  $V$  ( $R_h = R$ )

$$V = \sqrt{\frac{8g}{f}} \sqrt{RJ_E} = C \sqrt{RJ_E} \quad (\text{τύπος του Chézy}) \quad (2-5)$$

καταλήγουμε στη σχέση του Chézy (5.1) όπου  $C$  ορίζεται σαν ο συντελεστής του Chézy. Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι ο συντελεστής του Chézy δεν είναι σταθερός αλλά είναι συνάρτηση της ταχύτητας και τραχύτητας του αγωγού (γιατί;).

## 2.4. Άλλοι εμπειρικοί τύποι.

### (α) Τύπος του Kutter.

Εάν στη σχέση του Chézy αντικαταστήσουμε το συντελεστή  $C$  με τη σχέση

$$C = \frac{100\sqrt{R}}{m + \sqrt{R}} \quad (2-6)$$

προκύπτει ο τύπος του Kutter

$$V = \frac{100\sqrt{R}}{m + \sqrt{R}} \sqrt{RJ} \quad (2-7)$$

όπου  $J$  είναι η κλίση της γραμμής ενέργειας ή της πιεζομετρικής γραμμής και  $R$  η υδραυλική ακτίνα. Ο συντελεστής  $m$  λαμβάνει τις τιμές  $m = 0.25$  για σχετικά καθαρό νερό (δίκτυα ύδρευσης και άρδευσης)  $m = 0.35$  για όχι καθαρό νερό (αποχετευτικά δίκτυα υπό πίεση – καταθλιπτικός αγωγός ακαθάρτων).

### (β) Τύπος του Manning.

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

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}, \quad (2-8)$$



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

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2} \quad (2-9)$$

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

**Σημείωση:** Η παραπάνω σχέση ισχύει μόνον για το σύστημα μονάδων SI, όπου η υδραυλική ακτίνα δίδεται σε m και η ταχύτητα σε m/s. Εάν θελήσουμε να εφαρμόσουμε τη σχέση στο σύστημα των US, όπου η υδραυλική ακτίνα είναι σε ft και η ταχύτητα σε ft/s (1 ft = 0.3048 m) διατηρώντας τις ίδιες τιμές του  $n$  και στα δύο συστήματα, αυτή θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί επί ένα συντελεστή  $k$  για να μας δώσει συμβατό αποτέλεσμα.

Εάν για το SI και το US σύστημα οι ταχύτητες είναι

$$V_{SI} = \frac{1}{n} R_{SI}^{2/3} J^{1/2} \quad \text{και} \quad V_{US} = \frac{k}{n} R_{US}^{2/3} J^{1/2} \quad (2-10)$$

αντίστοιχα, τότε διαιρώντας τις δύο σχέσεις κατά μέλη προκύπτει ότι

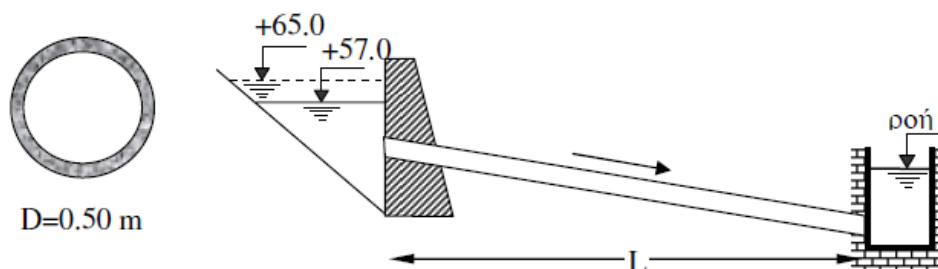
$$\frac{V_{SI}}{V_{US}} = \frac{1}{k} \left( \frac{R_{SI}}{R_{US}} \right)^{2/3} \Leftrightarrow \frac{1}{0.3048} = \frac{1}{k} \left( \frac{1}{0.3048} \right)^{2/3} \Rightarrow k = 0.3048^{-1/3} = 1.49 \quad (2-11)$$

Επομένως, για να διατηρήσουμε τις ίδιες τιμές του  $n$  και στα δύο συστήματα (SI και US) ο υπολογισμός της ταχύτητας στο σύστημα US πρέπει να γίνεται με τη σχέση

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} J^{1/2}; \quad V \text{ (ft/s ή fps) και } R \text{ (ft)} \quad (2-12)$$

Επιφάνεια / Υλικό	Μέση τιμή
Αλουμίνιο	0.024
Σκυρόδεμα με ασβέστη	0.011
Χαντάκι ασφαλτοστρωμένο	0.016
Λιθόστρωση τραχεία (ασφαλτοστρωμένη)	0.016
Λιθόστρωση λεία (ασφαλτοστρωμένη)	0.013
Χυτοσίδηρος (νέος)	0.012
Φυσικό έδαφος	0.020
Σκυρόδεμα πολύ καλής ποιότητας	0.010
Τούβλα με ασβεστοκονίαμα	0.015
Τούβλα υπονόμων	0.015
Χυτοσίδηρος	0.012
CMP	0.024
Σκυρόδεμα	0.013
Ρείθρο σκυροδέματος (λείο)	0.012
Χαλκός	0.011
Γυαλί με ίνες	0.011
Κρηπίδωμα (D=25, άμμος)	0.033
Κρηπίδωμα (D=50, άμμος)	0.041
Κρηπίδωμα (σκυρόδεμα)	0.030
Φυσικό ρέμα (καθαρισμένο)	0.030
Φυσικό ρέμα (χόρτα, πέτρες)	0.050
Φυσικό ρέμα (χόρτα)	0.035

**Β. Εφαρμογή:** Ο σωλήνας μεταφοράς νερού του σχήματος από το φράγμα της περιοχής στη δεξαμενή της πόλης διαμέτρου  $D=0.50$  m και μήκους  $L=5000$  m, έχει συντελεστή τραχύτητας Manning  $n=0.012$ . Να υπολογίσετε τις παροχές που μεταφέρει, εάν η στάθμη της δεξαμενής είναι στα +23m και η κατώτατη και ανώτατη στάθμη του φράγματος στα +57m και +65 m αντίστοιχα.



Σχήμα 2-1

### Επίλυση:

Οι γραμμικές απώλειες ενέργειας για την ανώτατη και κατώτατη στάθμη του φράγματος είναι  $\Delta H_1=65-23=42$  m και  $\Delta H_2=57-23=34$  m αντίστοιχα, οι δε κλίσεις της γραμμής ενέργειας του αγωγού είναι  $J_{E1} = 42/5000=0.0084$  και  $J_{E2} = 34/5000=0.0068$ . Επίσης  $A = \pi \times 0.52^2/4=0.196$  m<sup>2</sup> και  $R=D/4=0.125$  m. Από τη σχέση του Manning

$$Q_{\max} = \frac{A}{n} R^{2/3} J_{E1}^{1/2} = 0.375 \text{ m}^3/\text{s} \text{ και} \quad (2-13)$$

$$Q_{\min} = \frac{A}{n} R^{2/3} J_{E2}^{1/2} = 0.337 \text{ m}^3/\text{s}. \quad (2-14)$$

### 2.5. Επίλυση του Blasius

Ο Blasius κατάφερε να λύσει το σύστημα των διαφορικών εξισώσεων του οριακού στρώματος για την περίπτωση που η κύρια ταχύτητα  $U =$  σταθερά. Το σύστημα των εξισώσεων (2-15) γίνεται

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2-15)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}.$$

Χρησιμοποιώντας τη ροϊκή συνάρτηση  $\Psi$ , οι συνιστώσες της ταχύτητας είναι

$$u = \frac{\partial \Psi}{\partial y} \text{ και } v = -\frac{\partial \Psi}{\partial x}. \quad (2-16)$$

Η εξίσωση συνέχειας ικανοποιείται εκ ταυτότητας, ενώ η εξίσωση της ορμής στην κατεύθυνση  $x$  γράφεται

$$\frac{\partial \Psi}{\partial y} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x \partial y} - \frac{\partial \Psi}{\partial x} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} = \nu \frac{\partial^3 \Psi}{\partial x^3},$$

(2-17)

που αποτελεί μια παραβολική διαφορική εξίσωση με μερικές παραγώγους.

Η επίλυσή της μπορεί να διερευνηθεί με λύσεις ομοιότητας της μορφής

$$\Psi(x, y) \sim f(\eta); \eta \sim y/x^n. \quad (2-18)$$

Στην περίπτωση που η πλάκα είναι επίπεδη,  $n = 1/2$  (βλ. εξίσωση (2-18)).

Επομένως εκλέγουμε

$$\eta = \frac{y}{\sqrt{\nu x/U}}; \Psi \approx f(\eta). \quad (2-19)$$

Δεδομένου ότι  $\eta$  και  $f(\eta)$  είναι αδιάστατες μεταβλητές, η συνάρτηση  $\Psi$  πρέπει να είναι της Μορφής

$$\Psi = (\nu U x)^{1/2} f(\eta) \quad (2-20)$$

ώστε οι διαστάσεις του  $\Psi$  να είναι  $[\Psi] = L^2 T^{-1}$ . Έχουμε λοιπόν, αντικαθιστώντας τις παραγώγους της  $\Psi$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial x} (= v) = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\nu U}{x}} (f' \eta - f) \quad (2-21)$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial y} (= u) = U f' \quad (2-22)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x \partial y} = -\frac{U}{2x} \eta f'' \quad (2-23)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} = U \sqrt{\frac{U}{\nu x}} f'' \quad (2-24)$$

$$\frac{\partial^3 \Psi}{\partial y^3} = \frac{U^2}{\nu x} f''''$$

(2-25)

στην εξίσωση (2-26), την παρακάτω εξίσωση του οριακού στρώματος

$$f'''' + \frac{1}{2} f f'' = 0 \quad (2-26)$$

με οριακές συνθήκες

$$f(0) = f'(0) = 0, \quad \lim_{\eta \rightarrow \infty} f'(\eta) = 1. \quad (2-27)$$

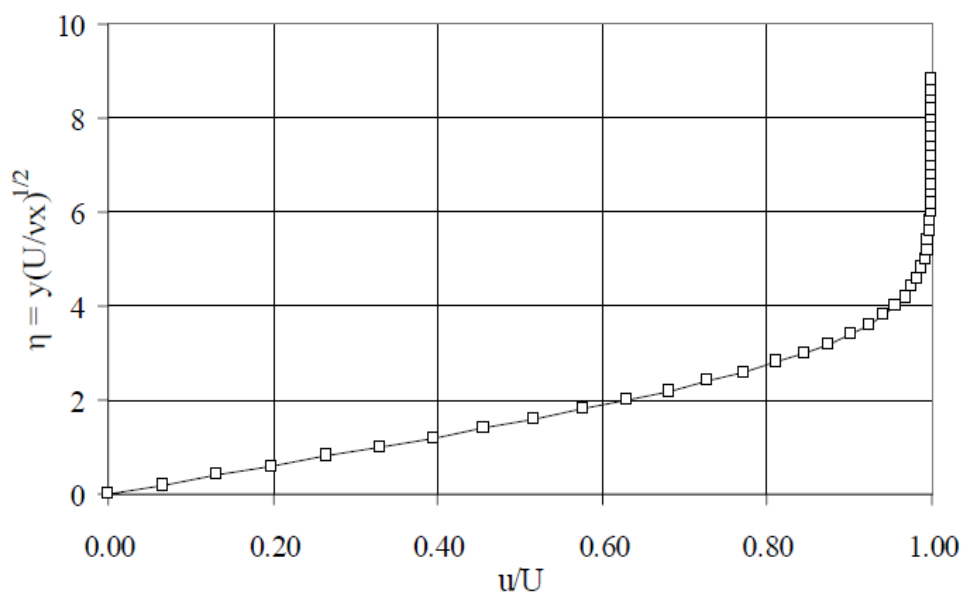
Η παραπάνω εξίσωση λύνεται αριθμητικά και προσδιορίζουμε την τιμή της  $f$  σαν συνάρτηση της αδιάστατης μεταβλητής  $\eta$ , η δε ροϊκή συνάρτηση  $\Psi$  προκύπτει σαν

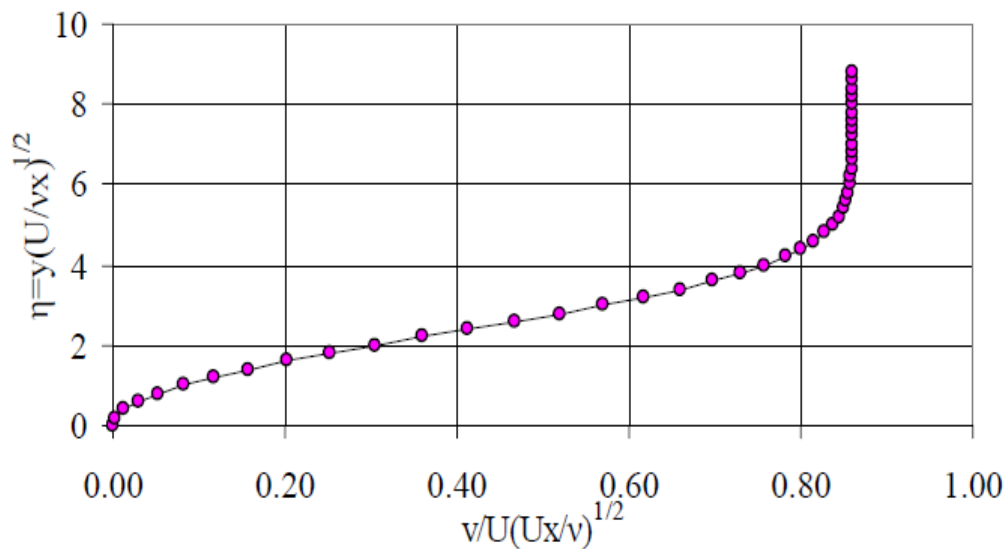
$$\Psi = \sqrt{\nu U x} f\left(\frac{y}{\sqrt{\nu x / U}}\right). \quad (2-28)$$

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η επίλυση της εξίσωσης (2-28) για  $\eta = 0.0$  έως  $\eta = 8.8$ . Συγκεκριμένα δίνονται οι τιμές  $f(\eta)$ ,  $f'(\eta) = u/U$  και  $f''(\eta)$ . Η κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας  $v$  υπολογίζεται από τη σχέση

$$v = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\nu U}{x}} (f' \eta - f). \quad (2-29)$$

Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται οι αδιάστατες κατανομές της οριζόντιας και κατακόρυφης ταχύτητας σαν συναρτήσεις της αδιάστατης απόστασης  $\eta$  από το όριο.





Σχήμα 2- 3

**Γ. Εφαρμογή :** Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα του πίνακα της επίλυσης του στρωτού οριακού στρώματος παραπάνω, να υπολογίσετε τη διατμητική τάση  $\tau_{xy}$  που ασκείτο ρευστό στην επίπεδη πλάκα.

**Επίλυση:**

Για  $y = 0$ , η διατμητική τάση  $\tau_{xy}$  που ασκεί το ρευστό στην επίπεδη πλάκα προκύπτει από τη σχέση

$$\tau_{xy} = \mu \frac{\partial u}{\partial y} = \mu \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} = U \sqrt{\frac{U}{\nu x}} f''(\eta); \eta = 0. \quad (2-30)$$

Όμως, Αντικαθιστώντας, προκύπτει η σχέση

$$\tau_{xy}(0) = \tau_o = \frac{0.664}{\sqrt{Re_x}} \rho \frac{U^2}{2} \text{ όπου } Re_x = \frac{Ux}{\nu}. \quad (2-31)$$

Ο (αδιάστατος) λοιπόν τοπικός συντελεστής τριβών της εφαπτομενικής τάσης το στην πλάκα δίνεται από τη σχέση

$$\tau_o = c_f \rho \frac{U^2}{2} \Rightarrow c_f = \frac{\tau_o}{\rho \frac{U^2}{2}} = \frac{0.664}{\sqrt{Re_x}} \quad (2-32)$$

Για λόγους απλοποίησης των υπολογισμών αγωγοί κατασκευασμένοι από αλουμίνιο, χαλκό, ύαλο και ασβέστη-τσιμέντο δίνεται να χαρακτηριστούν ως λείοι. Η εξίσωση  $f=0,316 Re^{-0.25}$  κατά **Blasius** είναι εφαρμόσιμη μέχρι και του αριθμού  $Re$  ίσου προς 100000 και δίνεται να εκφραστή ως ,

$$h_f = \frac{0,316 L U^2}{Re^{0.25} D 2g} \quad (2-33)$$

Για την περίπτωση ροής ύδατος θερμοκρασίας 15 °C το κινηματικό ιξώδες είναι  $1,14 \cdot 10^{-4} m^2/s$  και η ανώτερη εξίσωση επιλυόμενη ως προς την μέση ταχύτητα  $U$  δίνει,

$$U = 75,0 D^{0,7143} \left( \frac{h_f}{L} \right)^{0,571} \quad (2-34)$$

Η παροχή υπολογίζεται αναλόγως.

## 2.6. Στοιχεία δικτύου ύδρευσης

1. **Κόμβοι:** είναι σημεία από τα οποία εισέρχεται ή/και εξέρχεται κάποια παροχή. Είναι επίσης τα σημεία εκείνα στα οποία ενώνονται 2 ή/και περισσότεροι αγωγοί, αντλίες, δικλίδες. Μια τέτοια κατηγορία κόμβων είναι τα στόμια τα οποία ουσιαστικά είναι συσκευές που προσομοιώνουν τη ροή δια μέσου ενός υδροστομίου ή θυροφράγματος στην ατμόσφαιρα. Η παροχή εξαρτάται από το διαθέσιμο πιεζομετρικό φορτίο και από τη γεωμετρία του συστήματα εξόδου:

$$Q=cP^a \quad (2-35)$$

Όπου:

$Q$ =η παροχή του στομίου  $m^3/sec$

$a$ =ο εκθέτης πίεσης (τυπική τιμή 0.5)

$c$ =ο συντελεστής εξόδου εξαρτώμενος από την γεωμετρία ( $m^{3-a} / s$ )

$p$ =η διαθέσιμη πίεση  $m$

2. **Δεξαμενές:** αποτελούν κόμβους με μη μηδενική χωρητικότητα και είναι υπεύθυνη για την παροχή νερού κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του δικτύου. Παρ όλα αυτά η ικανότητα του να παρέχει νερό στο δίκτυο μεταβάλλεται με το χρόνο καθώς η στάθμη του νερού εντός της δεξαμενής αλλάζει.
3. **Ταμιευτήρες:** είναι μια ειδική περίπτωση δεξαμενών με σταθερή παροχή νερού στο δίκτυο καθώς η στάθμη του ταμιευτήρα δεν μεταβάλλεται με το χρόνο. Υπάρχει όμως περίπτωση να μεταβάλλεται η στάθμη του ταμιευτήρα ανεξάρτητα με τη ζήτηση από το δίκτυο.
4. **Αγωγοί:** οι αγωγοί μεταφέρουν νερό από ένα σημείο σε ένα άλλο χωρίς καμία ενδιάμεση απώλεια ποσότητάς τους. Κατά την ροή του κατά μήκος του αγωγού αναπτύσσονται γραμμικές απώλειες ενέργειας λόγω τριβών.
5. **Βαλβίδες:** οι βαλβίδες λειτουργούν όπως ακριβώς οι αγωγοί ανάλογα με τον τύπο τους χρησιμεύουν σε ορισμένες λειτουργίες. Οι συνηθέστεροι τύποι βαλβίδων είναι:
  - Έλεγχος κατεύθυνσης ροής  $c_v$
  - Μειωτές πίεσης  $(p_{rv})$
  - Διατηρητές πίεσης  $p_{cv}$
  - Πιεζοθράυστες  $p_{bv}$
  - Ελέγχου ποσότητας ροής  $f_{cv}$
  - Μερικός ανοιχτές  $t_{cv}$
  - Γενικής χρήσης  $g_{rv}$



6. **Αντλίες:** με αυτές προστίθεται ενέργεια στη ροή (μανομετρικό ύψος). Συνήθως γίνεται χρήση φυγόκεντρων αντλιών για τις οποίες υπάρχει μια χαρακτηριστική καμπύλη που δίνει το κέντρο σε πίεση, σε συνάρτηση με την παροχή. Η χαρακτηριστική καμπύλη μπορεί να αποτελείται από ένα σημείο, τρία σημεία ή περισσότερα και την παρέχει ο κατασκευαστής της.

## 2.7. Περιγραφή των σωλήνων PVC

Οι σωλήνες από σκληρό, χρώματος μπλε, φέρουν στα άκρα τους σπειρώματα αρσενικά και θηλυκά και προορίζονται για υδρογεωτρήσεις πόσιμου ύδατος.

### Χαρακτηριστικά:

- **Ανθεκτικότητα:** οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του PVC που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του σωλήνα PLAFOND και η υψηλή ποιότητα του σωλήνα αποτελούν εγγύηση για μια μεγάλη διάρκεια λειτουργίας της γεώτρησης.
- **Διηλεκτρική σταθερά:** οι σωλήνες PLAFOND είναι κατασκευασμένοι από συνθετική ύλη που δεν καταστρέφεται από γεωηλεκτρικά ρεύματα.
- **Αντιδιαβρωτικές ιδιότητες:** ο σωλήνας PLAFOND είναι απόλυτα προστατευμένος κατά της διάβρωσης από το υπόγειο νερό, που συχνά μπορεί να είναι εξαιρετικά διαβρωτικό.
- **Εύκολες συνδέσεις:** το ειδικό αρσενικό θηλυκό σπείρωμα επιτρέπει την ταχεία και ασφαλή σύνδεση χωρίς την χρήση στεγανωτικών υλικών όπως ο στόκος ή το κονίαμα κλπ.
- **Στεγανότητα:** τη στεγανοποίηση εγγυάται ο ειδικός πλαστικός δακτύλιος (O- ring) που τοποθετείται στη σύνδεση.
- **Υγιεινή:** οι σωλήνες και τα φίλτρα PLAFOND παράγονται σύμφωνα με τους υγειονομικούς κανονισμούς του Υπουργείου Υγείας για την υγιεινή του πόσιμου νερού.

- Η πρώτη ύλη (PVC) περιέχει αποκλειστικά οργανικούς σταθεροποιητές και όχι μέταλλα.
- Μηχανική αντοχή: το μεγαλύτερο πάχος των σωλήνων PLAFOND στις άκρες εξασφαλίζει μια καλύτερη μηχανική αντοχή στην περιοχή του σπειρώματος.
- Ευκολία στη χρήση: το μικρό βάρος και η εύκολη σύνδεση εξασφαλίζουν τη γρήγορη εγκατάσταση με σημαντική εξοικονόμηση στο εργατικό κόστος.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: Εφαρμογή του προγράμματος Works2015

### 3.1. Επίλυση ύδρευσης μικρού οικισμού με χρήση δεξαμενής

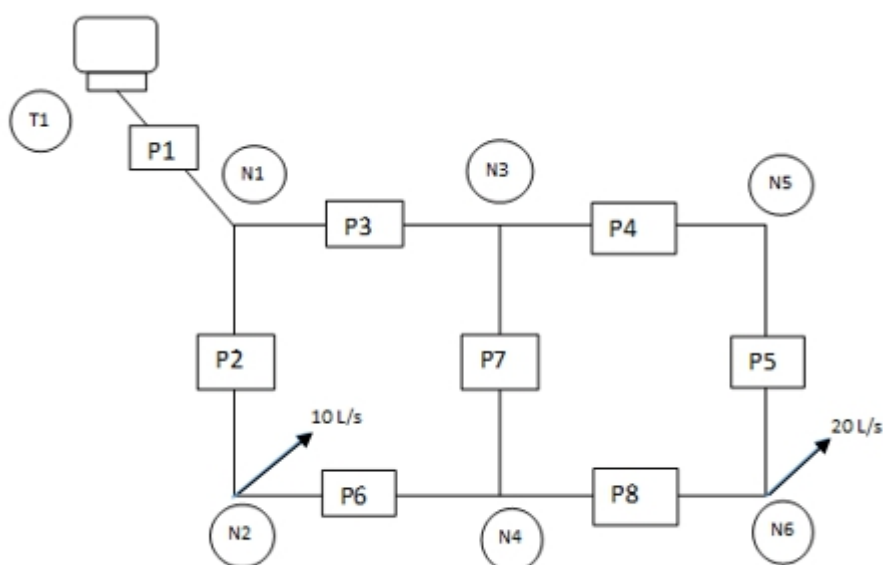
Το δίκτυο αποτελείται από μία δεξαμενή και 8 αγωγούς PVC, με τα χαρακτηριστικά που δίνονται στον πίνακα:

Αγωγός	Μήκος (m)	Διάμετρος (mm)	Συντελεστής Τριβής
P1	90	400	100
P2	900	228,6	100
P3	600	254	100
P4	600	228,6	100
P5	900	152,4	100
P6	600	152,4	100
P7	900	152,2	100
P8	600	203,2	100

Πίνακας 3- 1

Το υψόμετρο των κόμβων είναι σταθερό και ίσο με 50 m.

Το σκαρίφημα του δικτύου ύδρευσης φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 3- 1 απεικόνιση κλειστού κυκλώματος ύδρευσης με χρήση δεξαμενής

Η δεξαμενή είναι κυκλική, διαμέτρου 5m, τοποθετημένη σε υψόμετρο 100m. Το ύψος της είναι 4m και θεωρείται ότι είναι γεμάτη. Το νερό θεωρείται ότι έχει θερμοκρασία 20 °C.

### Επίλυση:

Για την επίλυση του παραδείγματος θα χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα Δίκτυα ύδρευσης. Καταρχήν δίνουμε ορισμένα γενικά στοιχεία για το δίκτυο όπως τον τύπο που θα χρησιμοποιηθεί ο οποίος είναι ο Hazen-Williams, την πυκνότητα ρευστού και το κινηματικό ιξώδες. καθώς για την πυκνότητα κ το κινηματικό ιξώδες η τιμή τους καθορίζεται από την θερμοκρασία του ρευστού.

Γενικά δεδομένα...

Ρευστό | Υδραυλικά | Χρόνοι | Ενέργεια | Αντιδράσεις | Ποιότητα

Δεδομένα

Κινηματικό ιξώδες ρευστού (m<sup>2</sup>/s) 0.00000101

Πυκνότητα ρευστού (kg/m<sup>3</sup>) 998.230

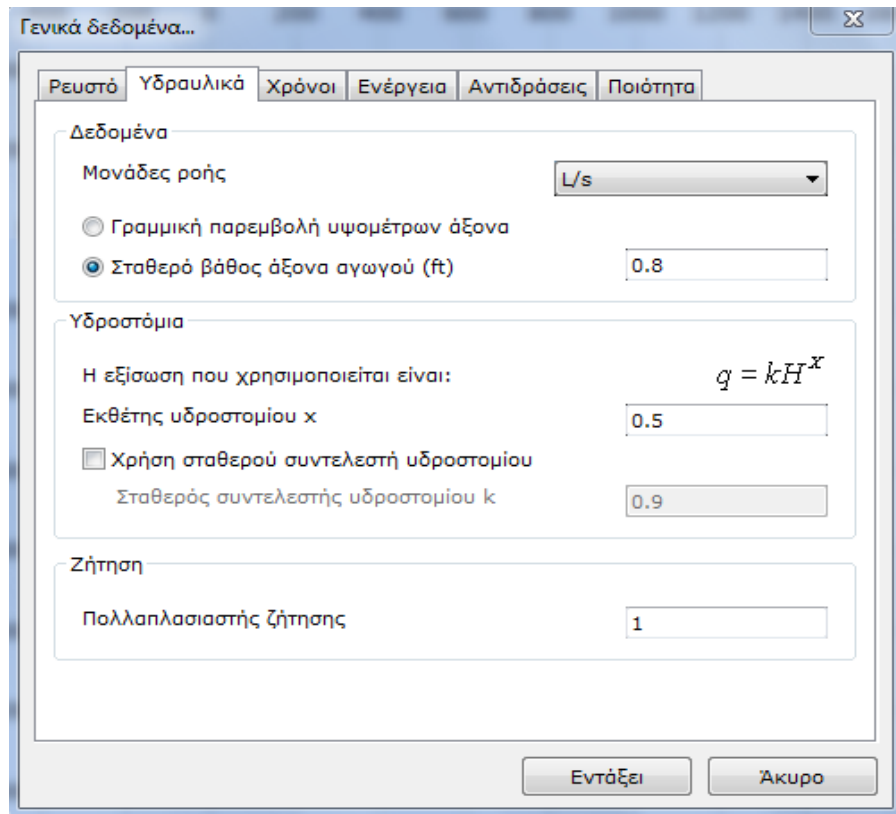
Τύπος υπολογισμού τριβών Hazen-Williams

$$h_f = \frac{10.675 L Q^{1.852}}{C^{1.852} D^{4.704}}$$

Εντάξει Ακυρο

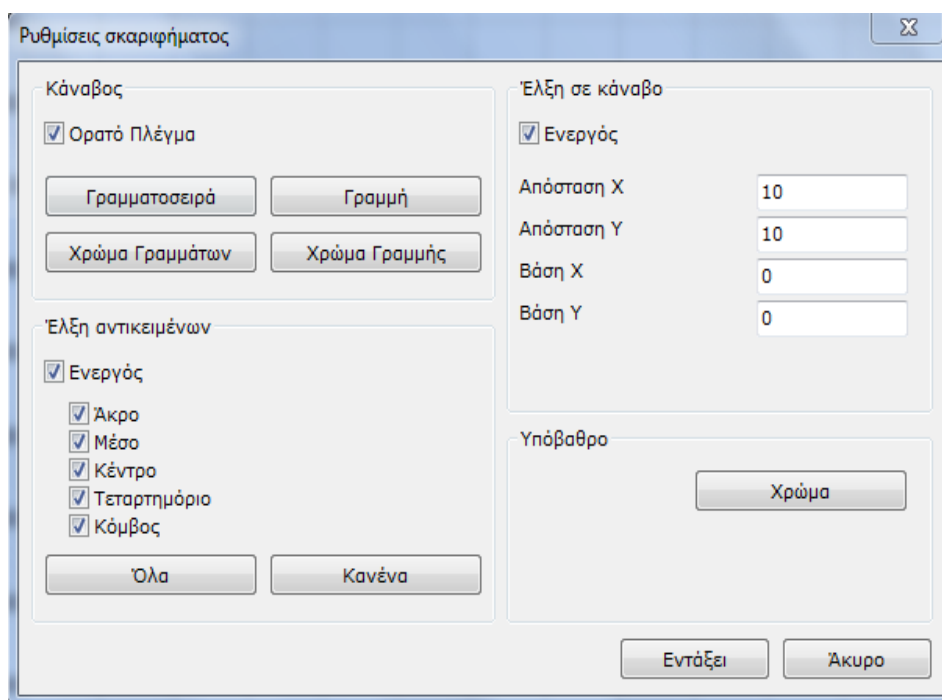
Εικόνα 3- 1

Στο πρόγραμμα θα πρέπει να οριστεί το μετρικό σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί .Στο παράδειγμα αυτό χρησιμοποιούμεL/s.



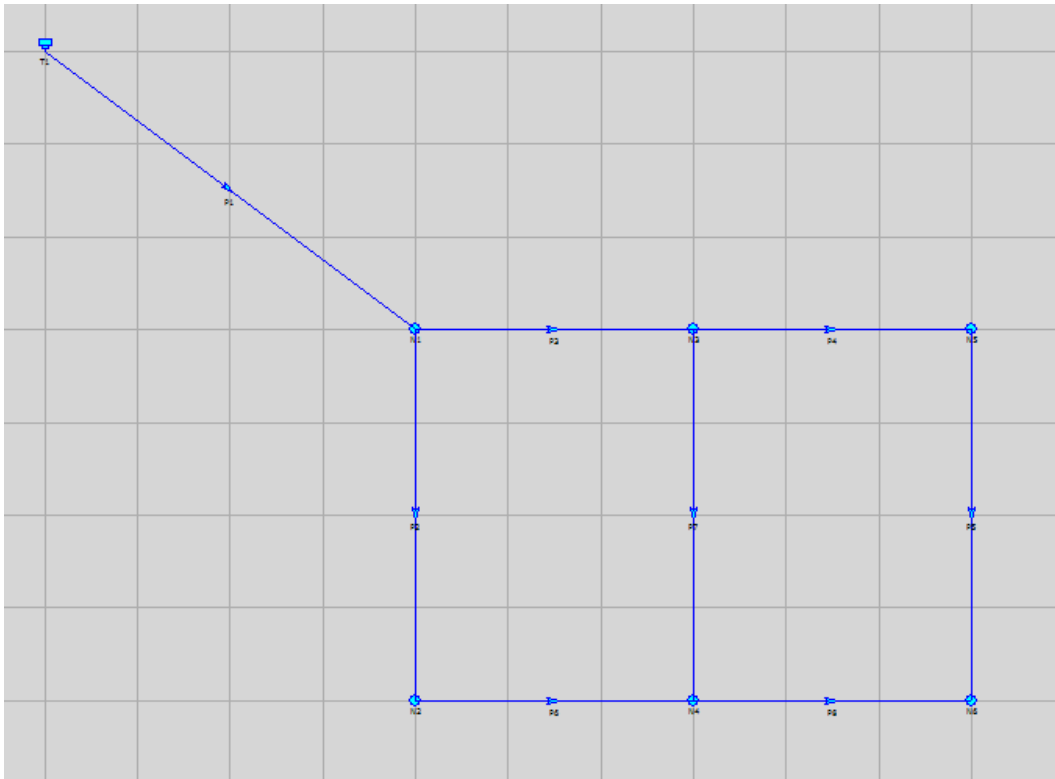
Εικόνα 3- 2

Στο επόμενο βήμα γίνεται εισαγωγή δεδομένων ,επειδή όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα τα στοιχεία δεν είναι τυχαία τοποθετημένα, αλλά σχηματίζουν ορθογώνια, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάναβο για την εισαγωγή στοιχείων



Εικόνα 3- 3

Τώρα μπορούμε να αρχίσουμε την σχεδίαση του δικτύου στον κানাβο τοποθετώντας αρχικά την δεξαμενή στην συνέχεια τους κόμβους και τέλος ενώνουμε την δεξαμενή και τους κόμβους με αγωγούς και το αποτέλεσμα που προκύπτει φανερώνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3- 4

Στην συνέχεια διαμορφώνουμε τις προδιαγραφές των αγωγών ορίζοντας το υλικό του κάθε αγωγού , την εσωτερική διάμετρο και τον συντελεστή τριβής κατά Hazen-Williams καθώς και το μήκος τους.

Εικόνα 3- 5

Αλλαγή προδιαγραφής...

Δεδομένα διατομής    Υδραυλικά στοιχεία

Υδραυλικά στοιχεία

Συντελεστής τριβής Manning	0.0000	...
Συντελεστής τριβής Darcy	0.0000	...
Συντελεστής τριβής Hazen	100.0000	...
Ελάχιστη ταχύτητα (m/s)	0.00	U
Μέγιστη ταχύτητα (m/s)	0.00	U
Ελάχιστη πίεση (m)	0.000	U
Μέγιστη πίεση (m)	0.000	U
Κλάση αγωγού	4 atm	▼
Αύξηση πίεσης (αντιπληγματικός) (%)	0.00	

Εντάξει    Άκυρο

Εικόνα 3- 6

Προδιαγραφές αγωγών...

Προδιαγραφές

- D400
- D2286
- D254
- D1524
- D2032

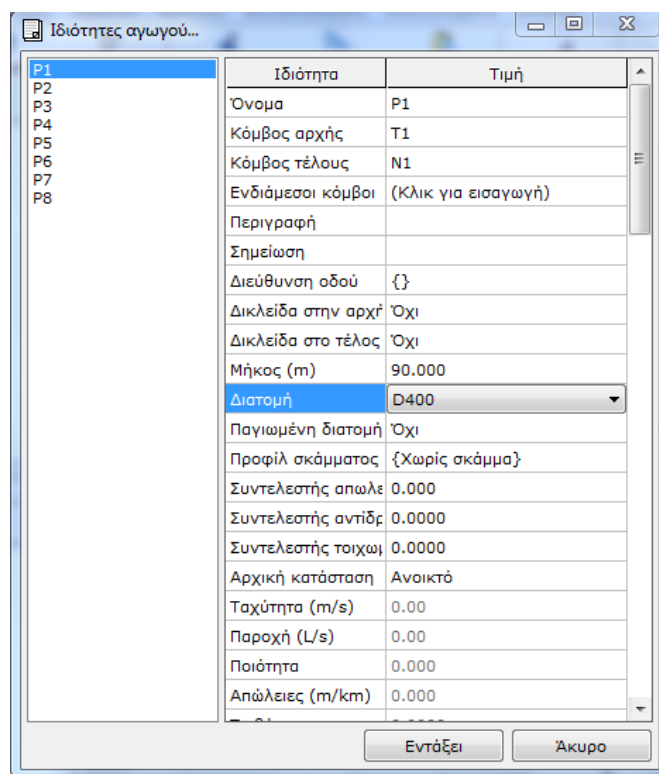
Ιδιότητα	Τιμή
<b>Δεδομένα διατομής</b>	
Όνομασία διατομής	D400
Σχόλια	
Υλικό	PVC
Διαθέσιμη ποσότητα	Απεριόριστη
Κόστος (€/m)	0.00
Εσωτερική διάμετρος (m)	0.4
Πάχος (m)	0.000
Πλήθος	1
<b>Υδραυλικά στοιχεία</b>	
Συντελεστής τριβής Manning	0.0000
Συντελεστής τριβής Darcy	0.0000
Συντελεστής τριβής Hazen	100.0000
Ελάχιστη ταχύτητα (m/s)	0.00
Μέγιστη ταχύτητα (m/s)	0.00
Κλάση αγωγού	4 atm
Ελάχιστη πίεση (m)	0.000
Μέγιστη πίεση (m)	0.000
Αύξηση πίεσης (αντιπληγματικός) (%)	0.00

Πάνω    Κάτω

Προσθήκη  
 Διαγραφή  
 Τροποποίηση  
 Αντιγραφή  
 Εισαγωγή  
 Εξαγωγή  
 Επιλογή Όλων  
 Επιλογή Κανενός  
 Επιλογή Λοιπών  
 Εντάξει  
 Άκυρο

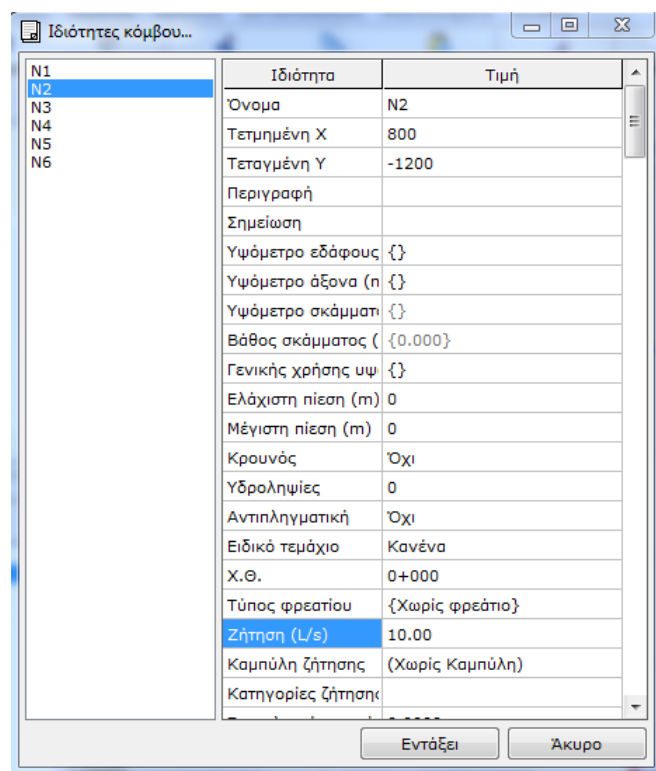
Εικόνα 3- 7

Έπειτα αντιστοιχούμε κάθε αγωγό με την κατάλληλη προδιαγραφή.



Εικόνα 3- 8

Στο επόμενο βήμα εισάγουμε τις τιμές ζήτησης οι οποίες δίνονται από την εκφώνηση της εφαρμογής καθώς και το υψόμετρο εδάφους των κόμβων, την αρχική και μέγιστη στάθμη, την διάμετρο δεξαμενής ,και τα υψόμετρα του άξονα και του εδάφους της δεξαμενής.



Εικόνα 3- 9



Ιδιότητες κόμβου...

Ιδιότητα	Τιμή
Όνομα	
Τετμημένη X	
Τεταγμένη Y	
Περιγραφή	
Σημείωση	
Υψόμετρο εδάφους	50.000
Υψόμετρο άξονα (n {})	
Υψόμετρο σκάμματος ( {})	
Βάθος σκάμματος ( {})	
Γενικής χρήσης υψ ( {})	
Ελάχιστη πίεση (m)	0
Μέγιστη πίεση (m)	0
Κρουνός	Όχι
Υδροληψίες	0
Αντιπληγματική	Όχι
Ειδικό τεμάχιο	Κανένα
Χ.Θ.	0+000
Τύπος φρεατίου	{}
Ζήτηση (L/s)	
Καμπύλη ζήτησης	(Χωρίς Καμπύλη)
Κατηγορίες ζήτησης	

Εντάξει Άκυρο

Εικόνα 3- 10

Ιδιότητες δεξαμενής...

Ιδιότητα	Τιμή
Όνομα	T1
Τετμημένη X	0
Τεταγμένη Y	200
Περιγραφή	
Σημείωση	
Υψόμετρο εδάφους (m)	100.000
Υψόμετρο άξονα (m)	100.000
Υψόμετρο σκάμματος (m)	99.800
Βάθος σκάμματος (m)	0.200
Γενικής χρήσης υψόμετρο (m)	{}
Χ.Θ.	0+000
Αρχική στάθμη (m)	4
Ελάχιστη στάθμη (m)	0
Μέγιστη στάθμη (m)	4
Διάμετρος δεξαμενής (m)	5
Ελάχιστος όγκος (m³)	0
Καμπύλη όγκου	(Χωρίς Καμπύλη)
Μοντέλο ανάμιξης	Πλήρους ανάμιξης
Λόγος ανάμιξης	0
Συντελεστής αντίδρασης	0
Αρχική ποιότητα	0
Πηγή ποιότητας	
Καθαρή εισροή (L/s)	0

Εντάξει Άκυρο

Εικόνα 3- 11

Μετά την εισαγωγή όλων των παραπάνω στοιχείων και αν τα δεδομένα έχουν εισαχθεί σωστά εμφανίζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των αγωγών

Πίνακας αποτελεσμάτων

Επιλογές  
 Τύπος αντικειμένου: Αγωγοί Χρονική στιγμή: 01/01/2015 - 00:00:00

#	Όνομα	Ταχύτητα (m/s)	Παροχή (L/s)	Απώλειες (m/km)	Τριβή	Ποιότητα	Ρυθμός αντίδρασης	Τελική κατάσταση
1	P1	0.24	30.00	0.277	0.0381	0.000	0.0000	Ανοικτό
2	P2	0.38	15.74	1.268	0.0390	0.000	0.0000	Ανοικτό
3	P3	0.28	14.26	0.637	0.0401	0.000	0.0000	Ανοικτό
4	P4	0.19	7.78	0.343	0.0433	0.000	0.0000	Ανοικτό
5	P5	0.43	7.78	2.529	0.0411	0.000	0.0000	Ανοικτό
6	P6	0.32	5.74	1.443	0.0430	0.000	0.0000	Ανοικτό
7	P7	0.36	6.48	1.805	0.0422	0.000	0.0000	Ανοικτό
8	P8	0.38	12.22	1.428	0.0399	0.000	0.0000	Ανοικτό

Εικόνα 3- 12

της δεξαμενής

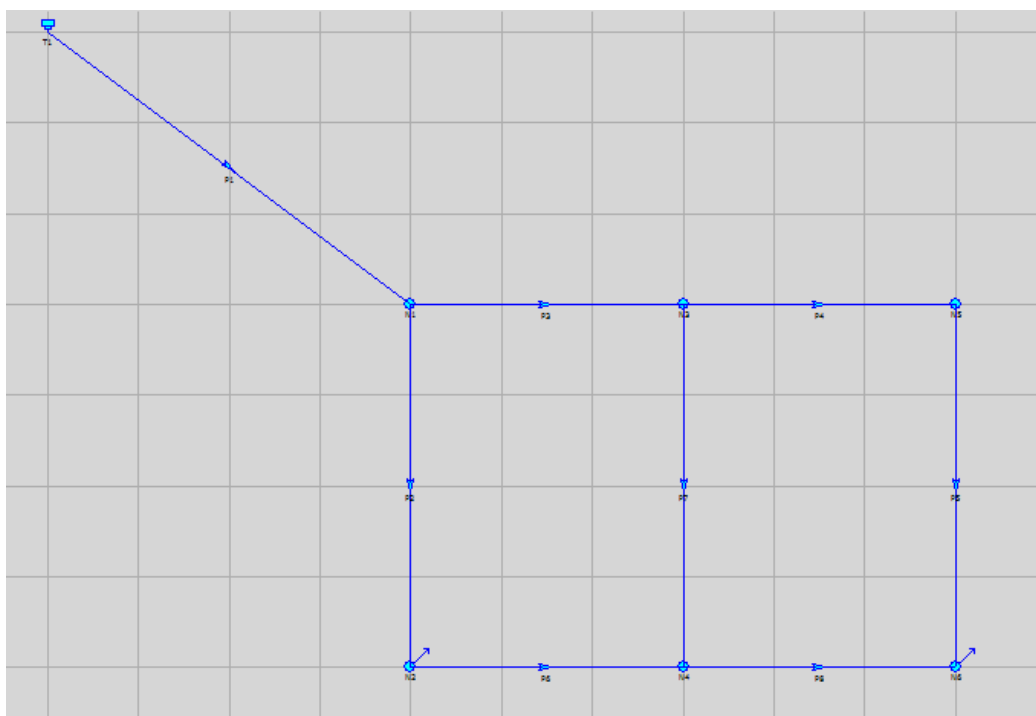
Πίνακας αποτελεσμάτων

Επιλογές  
 Τύπος αντικειμένου: Δεξαμενές Χρονική στιγμή: 01/01/2015 - 00:00:00

#	Όνομα	Πιεζομετρικό ύψος (m)	Πιεζομετρικό φορτίο (m)	Καθαρή εισροή (L/s)	Ποιότητα
1	T1	104	3.993	-30	0

Εικόνα 3- 13

και το δίκτυο.



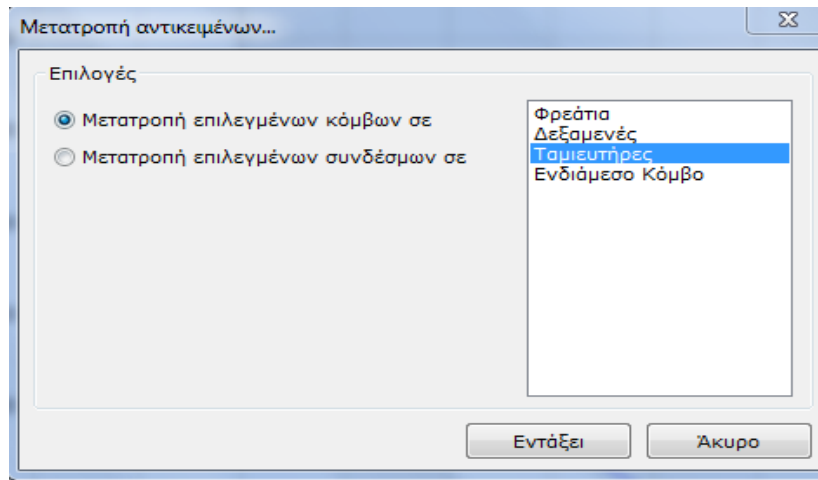
Εικόνα 3- 14

### 3.2. Επίλυση ύδρευσης μικρού οικισμού με χρήση ταμιευτήρα

Στο παραπάνω παράδειγμα να χρησιμοποιηθεί ταμιευτήρας αντί δεξαμενής και να υπολογιστούν τα πιεζομετρικά ύψη στους κόμβους του όταν τα υψόμετρα των κόμβων είναι 60 μέτρα για τον N1 70 μέτρα για τον N2 65 μέτρα για τους N3 και N4 55 μέτρα για τον N5 και 50 μέτρα για τον N6. Ο ταμιευτήρας έχει στάθμη νερού στα 110 μέτρα.

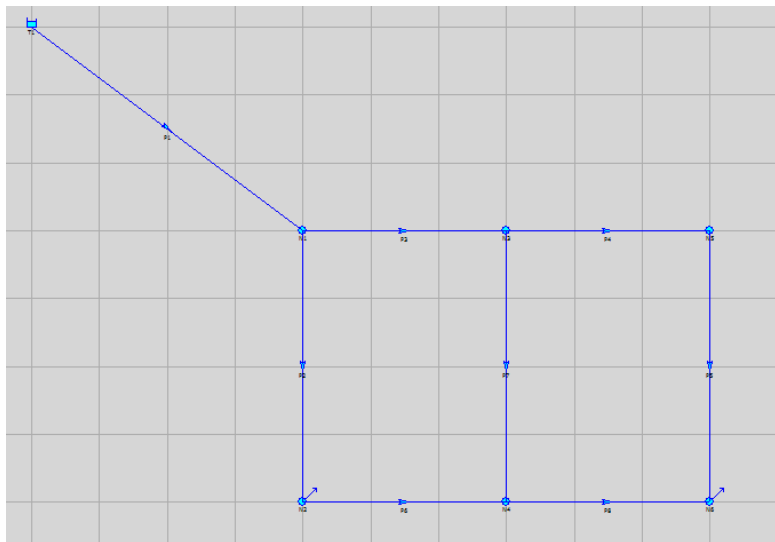
#### Επίλυση

Επειδή στο συγκριμένο παράδειγμα η στάθμη της δεξαμενής θεωρείται σταθερή, δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί δεξαμενή αλλά μπορεί να γίνει χρήση ταμιευτήρα. Κάνουμε μετατροπή αντικειμένου και μετατρέπουμε την δεξαμενή σε ταμιευτήρα.



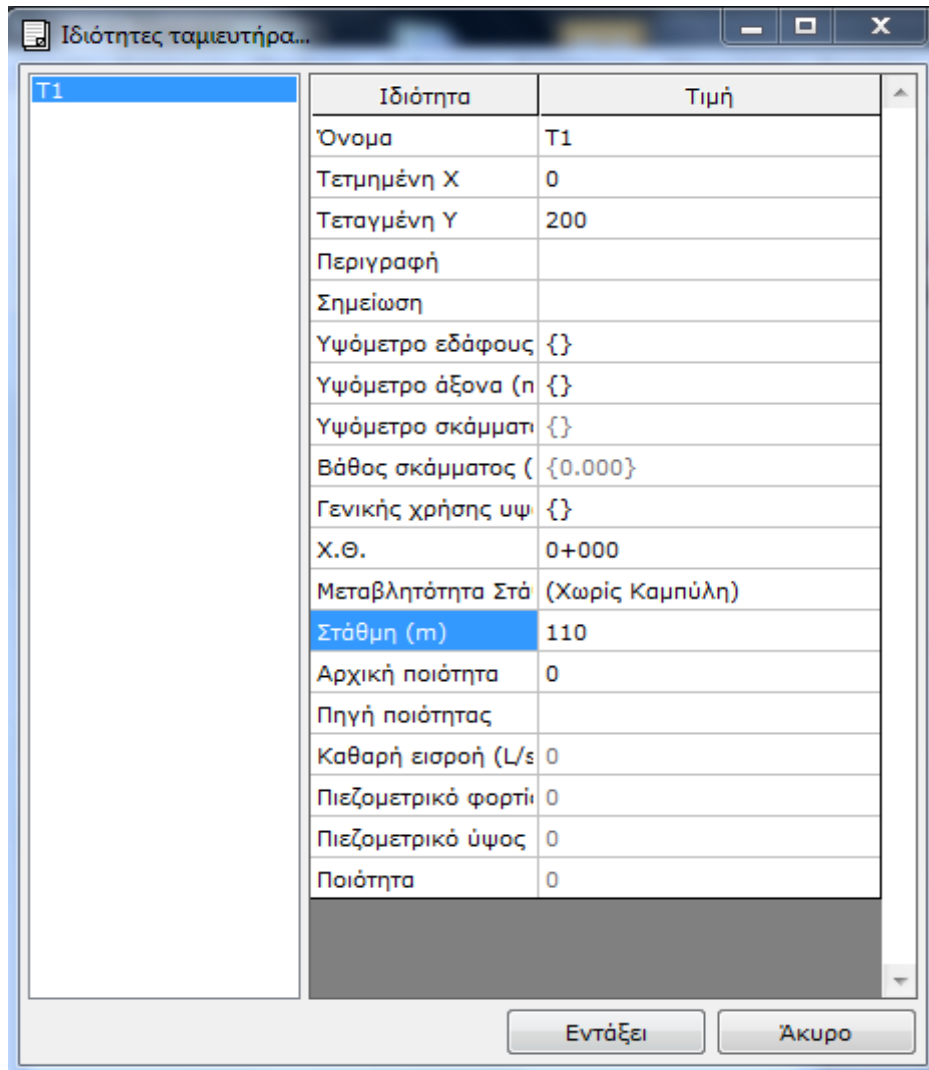
Εικόνα 3- 15

Η αλλαγή φανερώνεται και στο παρακάτω σχέδιο όπου η δεξαμενή έχει μετατραπεί σε ταμιευτήρα.



Εικόνα 3- 16

Έπειτα εισάγουμε την τιμή της στάθμης του ταμιευτήρα και το υψόμετρο εδάφους για κάθε κόμβο σύμφωνα με την εκφώνηση



Εικόνα 3- 17

Μετά την εισαγωγή όλων των παραπάνω στοιχείων και αν τα δεδομένα έχουν εισαχθεί σωστά εμφανίζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των αγωγών

#	Όνομα	Ταχύτητα (m/s)	Παροχή (L/s)	Απώλειες (m/km)	Τριβή	Ποιότητα	Ρυθμός αντίδρασης	Τελική κατάσταση
1	P1	0.24	30.00	0.277	0.0381	0.000	0.0000	Ανοικτό
2	P2	0.38	15.74	1.268	0.0390	0.000	0.0000	Ανοικτό
3	P3	0.28	14.26	0.637	0.0401	0.000	0.0000	Ανοικτό
4	P4	0.19	7.78	0.343	0.0433	0.000	0.0000	Ανοικτό
5	P5	0.43	7.78	2.529	0.0411	0.000	0.0000	Ανοικτό
6	P6	0.32	5.74	1.443	0.0430	0.000	0.0000	Ανοικτό
7	P7	0.36	6.48	1.805	0.0422	0.000	0.0000	Ανοικτό
8	P8	0.38	12.22	1.428	0.0399	0.000	0.0000	Ανοικτό

Εικόνα 3- 18

Πίνακας αποτελεσμάτων

Επιλογές  
 Τύπος αντικειμένου Φρεάτια Χρονική στιγμή 01/01/2015 - 00:00:00

#	Όνομα	Πιεζομετρικό ύψος (m)	Πιεζομετρικό φορτίο (m)	Πραγματική ζήτηση (L/s)	Ποιότητα
1	N1	109.975	60.668	0.00	0.000
2	N2	108.834	59.528	10.00	0.000
3	N3	109.593	60.286	0.00	0.000
4	N4	107.968	58.664	0.00	0.000
5	N5	109.387	60.080	0.00	0.000
6	N6	107.111	57.808	20.00	0.000

Εικόνα 3- 19

Να σημειωθεί ότι η διαφορά πιεζομετρικού ύψους και φορτίου ισούται κάθε φορά με το υψόμετρο του άξονα του αγωγού. Αυτό προκύπτει από την εξίσωση ενέργειας

### 3.3. Παράδειγμα χρήσης αντλίας

Αρκετές φορές είναι επιτακτική η ανάγκη χρήσεως αντλίας σε εσωτερικά δίκτυα ύδρευσης. Στο παρακάτω παράδειγμα η τροφοδοσία του δικτύου ύδρευσης γίνεται από δυο δεξαμενές. Τα στοιχεία των αγωγών δίνονται στον αντίστοιχο πίνακα

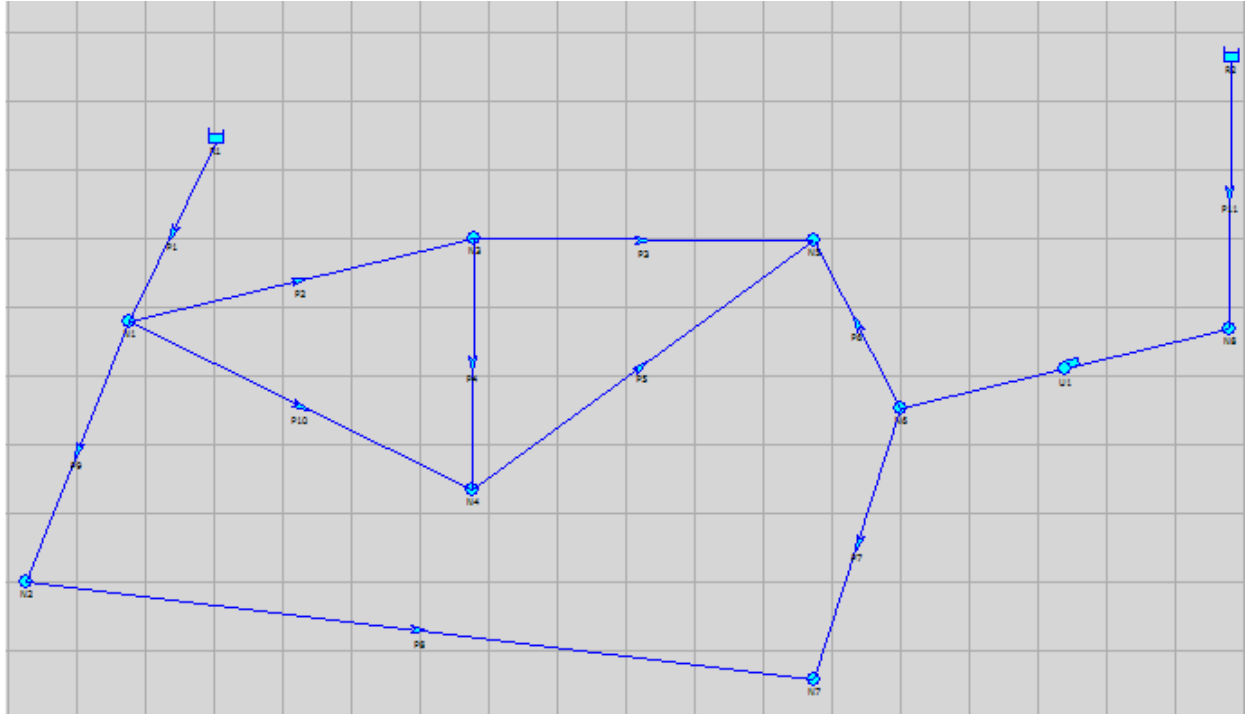
Αγωγός	Μήκος (m)	Διάμετρος (mm)	Συντελεστής τριβής
1	1100	250	0.00125
2	350	200	0.00125
3	400	150	0.00125
4	80	100	0.00125
5	360	100	0.00125
6	210	250	0.00125
7	420	200	0.00125
8	500	100	0.00125
9	350	150	0.00125
10	90	100	0.00125
11	1250	300	0.00125

Πίνακας 3- 2

Για την επίλυση του δικτύου , θα χρησιμοποιηθεί ο τύπος Darcy-Weisbach , με συντελεστή τριβής 0,00125 για όλους τους αγωγούς και νερό σε θερμοκρασία 4 °C. Οι εκροές στους κόμβους 3,4,5,9 και 10 συμβολίζονται

με βέλη και οι τιμές στην άκρη τους αποτελούν την σταθερή ζήτηση σε L/s . Οι στάθμες στις δύο δεξαμενές παραμένουν σταθερές και ίσες με 125 m για την δεξαμενή 1 και 85 m για την δεξαμενή 2.

## Επίλυση



Εικόνα 3- 20

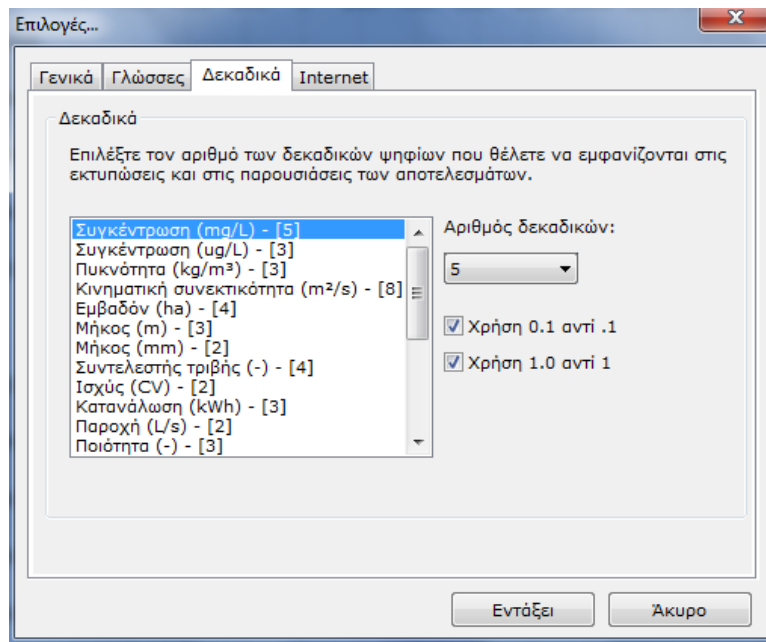
Το γραμμικό στοιχείο 13 είναι μια αντλία, η λειτουργία της οποίας περιγράφεται από 4 σημεία : (5,100), (15,45) , (25,35) και (35,1) τα οποία δίνονται ως ζεύγη παροχής (L/s) μανομετρικού ύψους (ανύψωση) σε μέτρα.

Εισάγουμε για τον ταμιευτήρα R1 την στάθμη 125 και για τον ταμιευτήρα R2 την στάθμη 85 και στην συνέχεια δημιουργούμε τις προδιαγραφές των αγωγών.

Ιδιότητα	Τιμή
Όνομα	R1
Τετμημένη X	201.145
Τεταγμένη Y	279.075
Περιγραφή	
Σημείωση	
Υψόμετρο εδάφους	{}
Υψόμετρο άξονα (ft)	{}
Υψόμετρο σκάμματος	{}
Βάθος σκάμματος (	{0.000}
Γενικής χρήσης υψ	{}
Χ.Θ.	0+000
Μεταβλητότητα Στά	(Χωρίς Καμπύλη)
Στάθμη (ft)	125
Αρχική ποιότητα	0
Πηγή ποιότητας	
Καθαρή εισροή (ft <sup>3</sup>	0
Πιεζομετρικό φορτίο	0
Πιεζομετρικό ύψος	0
Ποιότητα	0

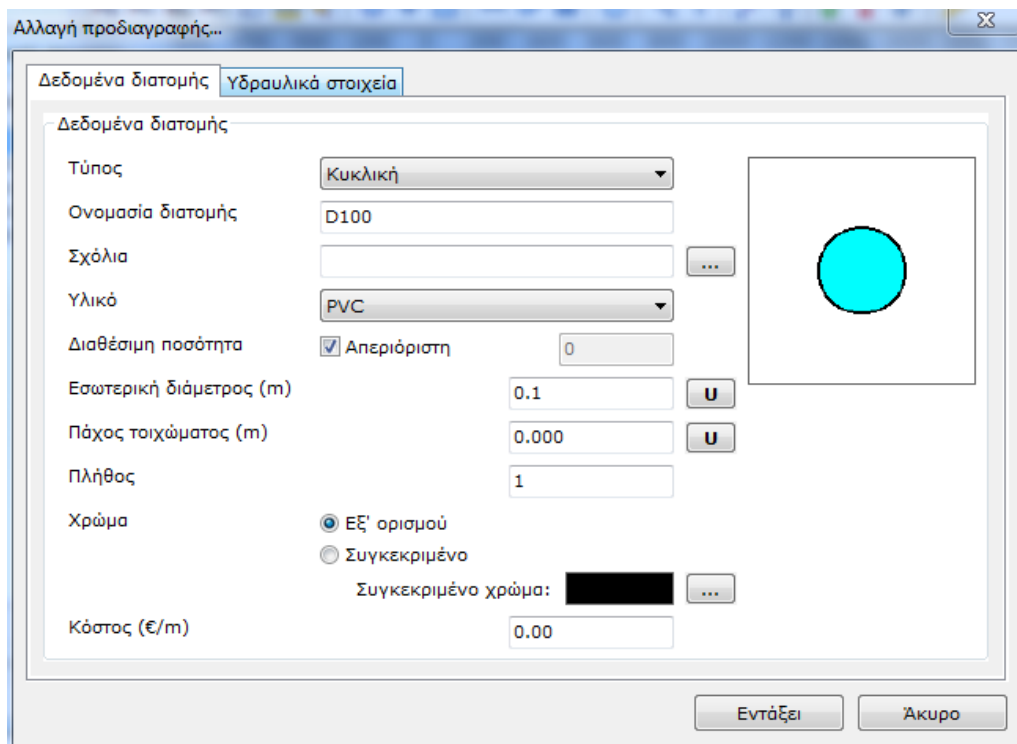
Εικόνα 3- 21

Στη συνέχεια επιλέγεται το πλήθος των δεκαδικών ψηφίων του συντελεστή τριβής



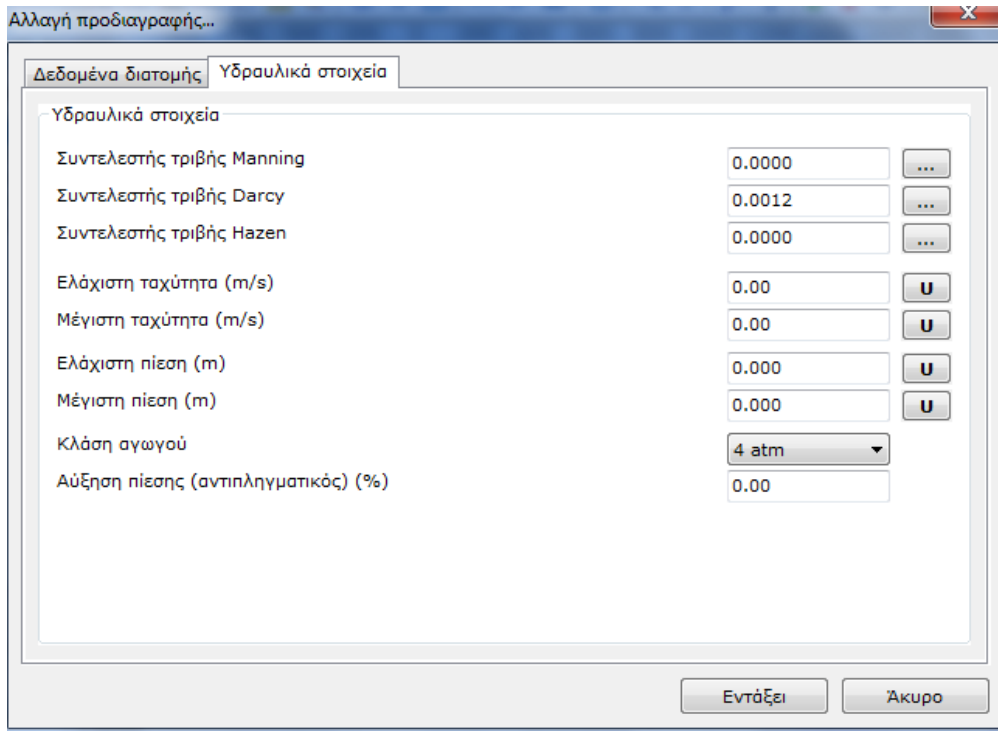
Εικόνα 3- 22

Αφού έχουμε δημιουργήσει τις προδιαγραφές των αγωγών , για κάθε ένα αγωγό εισάγουμε το μήκος του και την προδιαγραφή της διαμέτρου του. Τέλος βάζουμε τις ζητήσεις στους αντιστοίχους κόμβους.

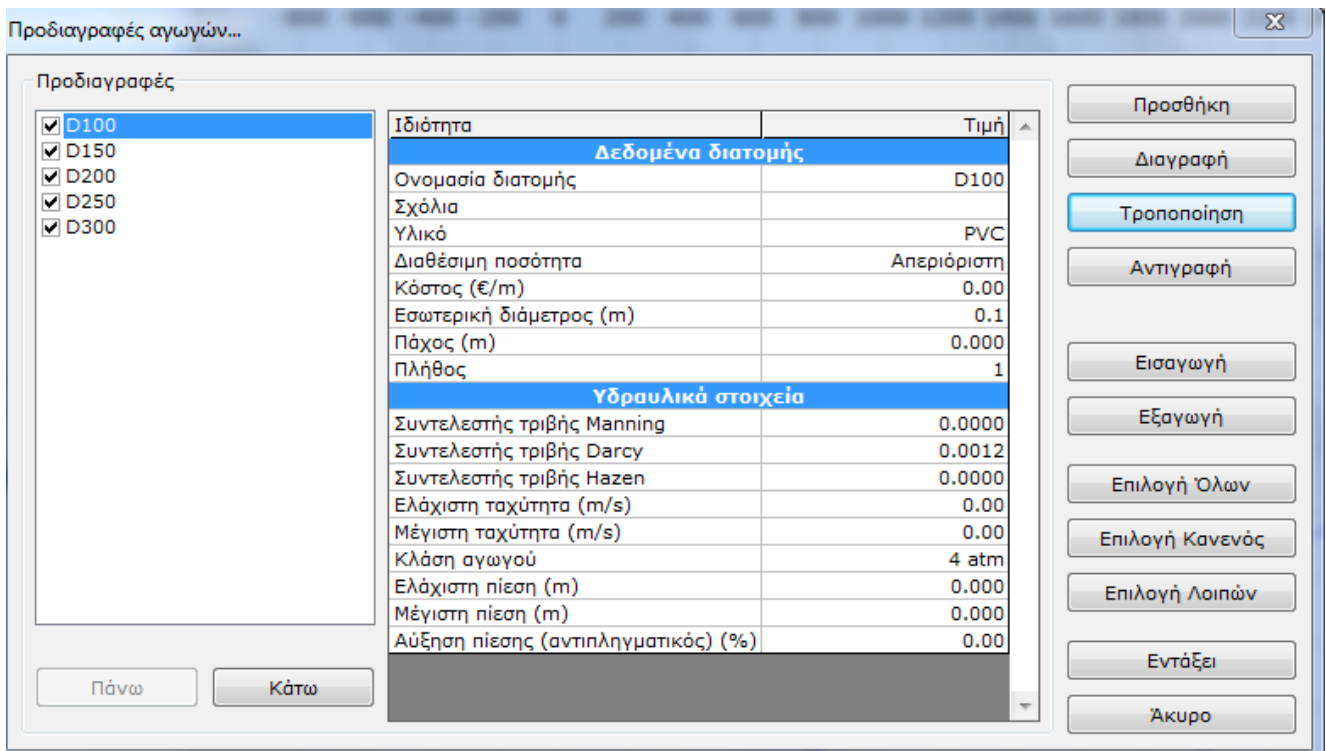


Εικόνα 3- 23

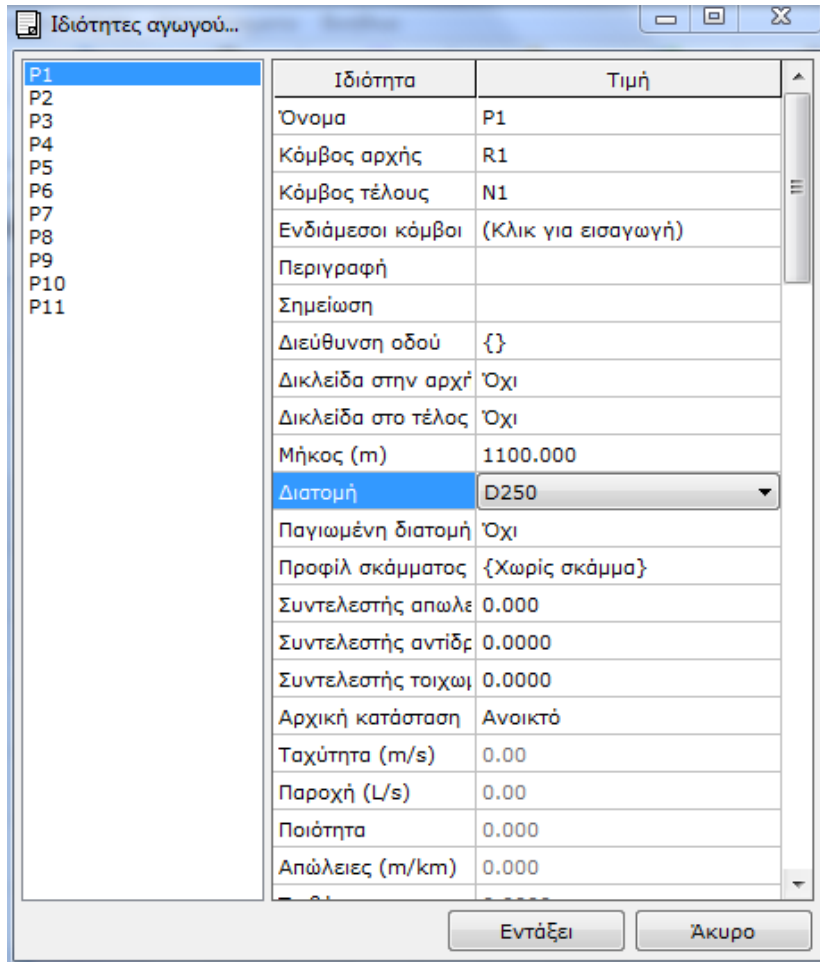




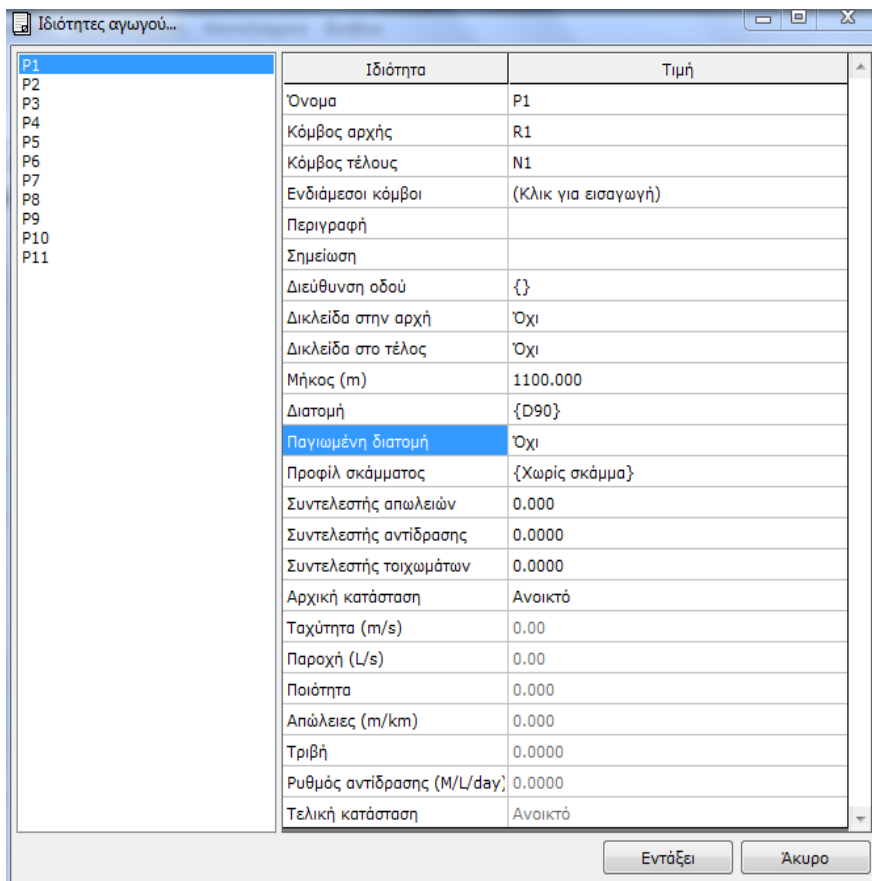
Εικόνα 3- 24



Εικόνα 3- 25



Εικόνα 3- 26



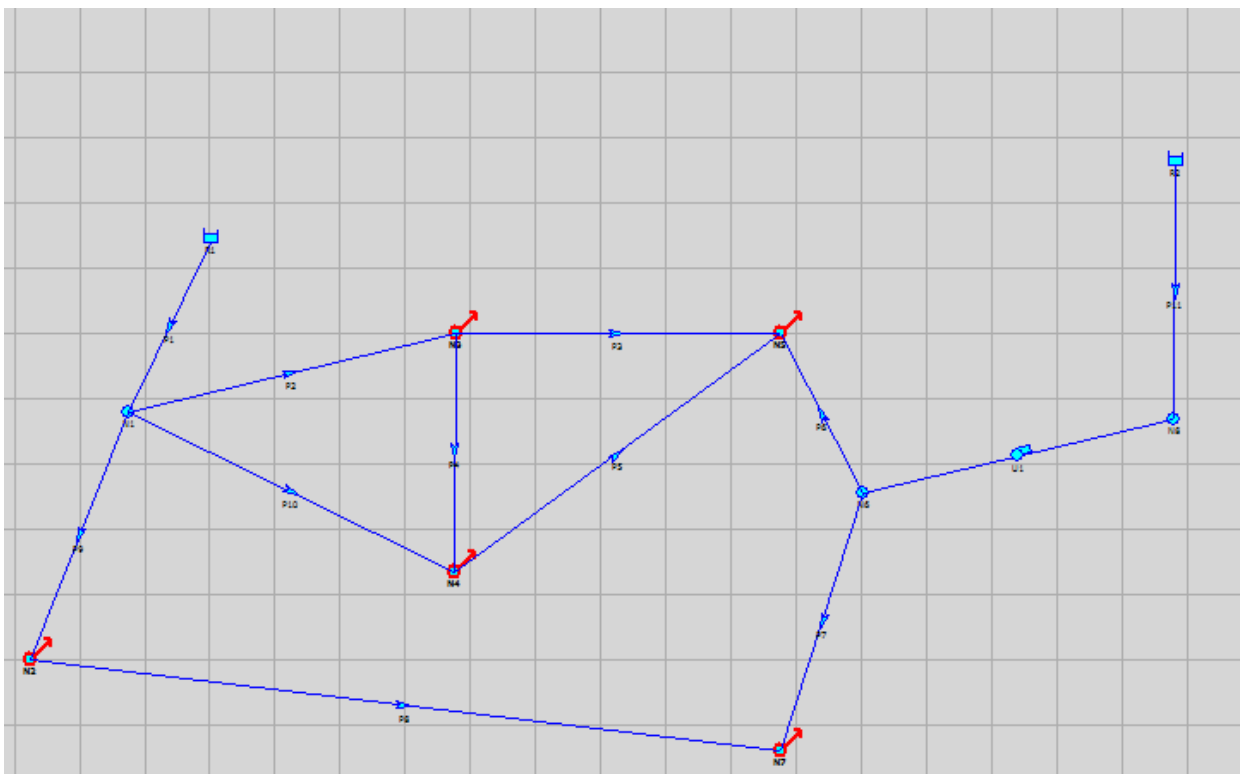
Εικόνα 3- 27

Ιδιότητες κόμβου...

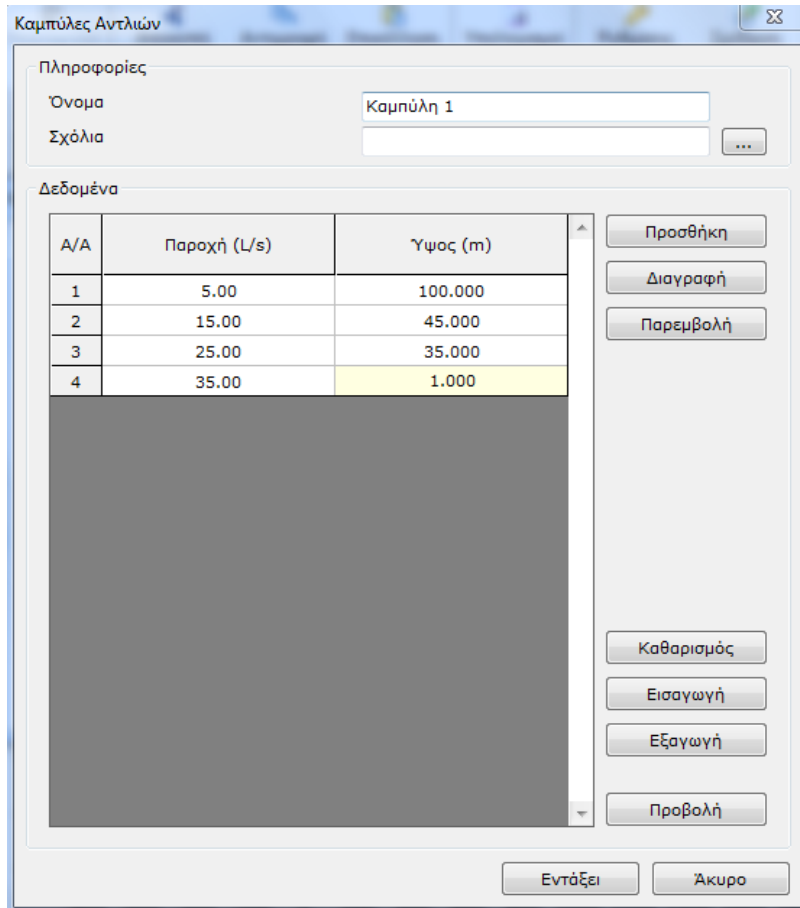
Ν1 Ν2 Ν3 Ν4 Ν5 Ν6 Ν7 Ν8	Ιδιότητα	Τιμή
	Όνομα	N2
	Τετμημένη Χ	-351.74
	Τεταγμένη Υ	-1000.458
	Περιγραφή	
	Σημείωση	
	Υψόμετρο εδάφους (m)	{}
	Υψόμετρο άξονα (m)	{}
	Υψόμετρο σκάμματος (m)	{}
	Βάθος σκάμματος (m)	{0.000}
	Γενικής χρήσης υψόμετρο (m)	{}
	Ελάχιστη πίεση (m)	0
	Μέγιστη πίεση (m)	0
	Κρουνός	Όχι
	Υδροληψίες	0
	Αντιπληγματική	Όχι
	Ειδικό τεμάχιο	Κανένα
	Χ.Θ.	0+000
	Τύπος φρεατίου	{Χωρίς φρεάτιο}
	Ζήτηση (L/s)	14.50
	Καμπύλη ζήτησης	{Χωρίς Καμπύλη}
	Κατηγορίες ζήτησης	
	Συντελεστής στομίου	0.0000
	Αρχική ποιότητα	0.000
	Πηγή ποιότητας	
	Πραγματική ζήτηση (L/s)	0.00
	Πιεζομετρικό φορτίο (m)	0.000
	Πιεζομετρικό ύψος (m)	0.000
	Ποιότητα	0.000

Εντάξει Άκουσο

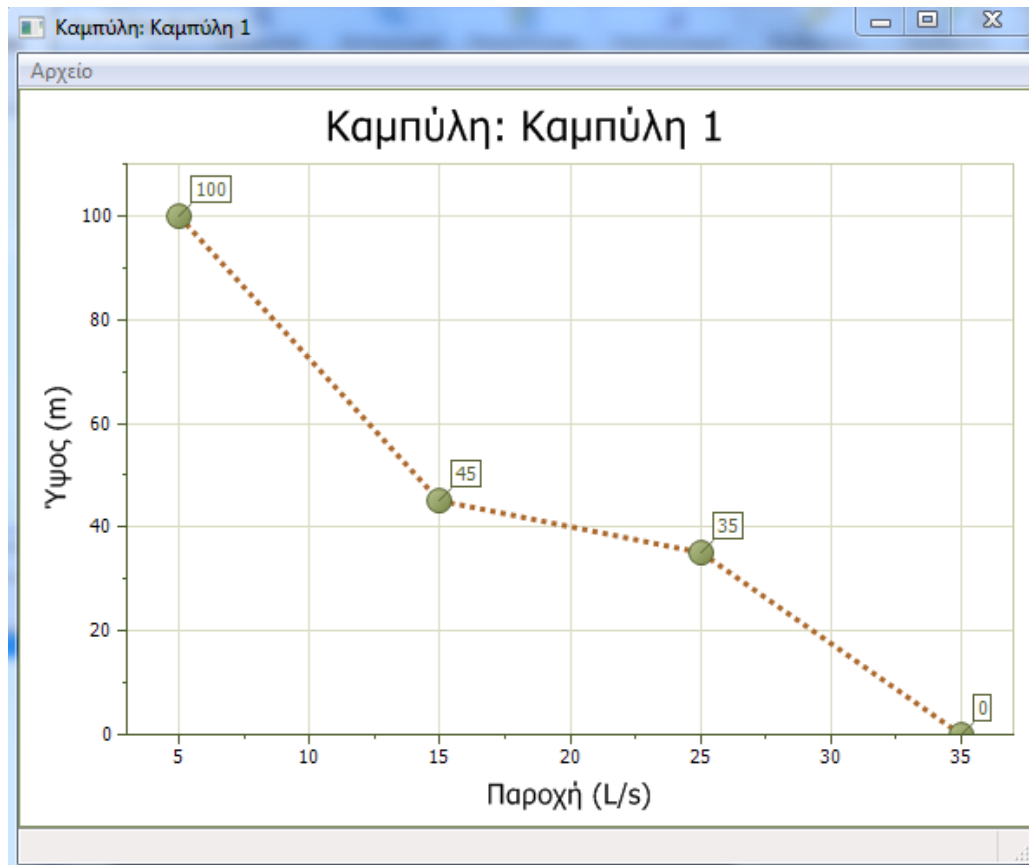
Εικόνα 3- 28



Εικόνα 3- 29

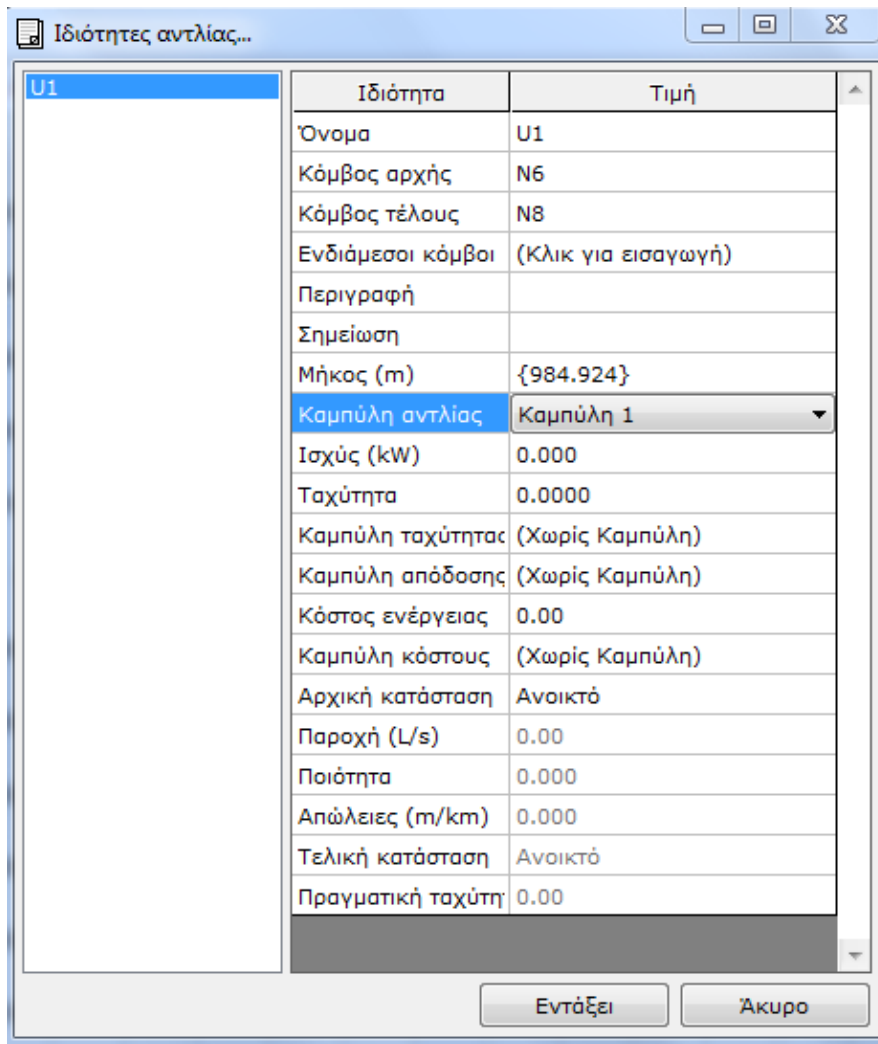


Εικόνα 3- 31



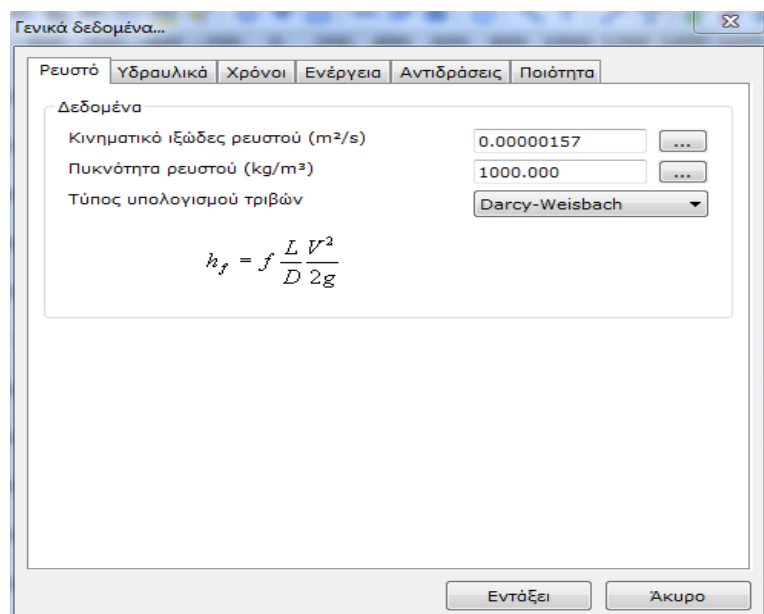
Εικόνα 3- 32 Καμπύλη η οποία περιγράφει την λειτουργία της αντλίας

Το επόμενο βήμα είναι να αντιστοιχίσουμε την καμπύλη που δημιουργήσαμε με την αντλία του δικτύου.



Εικόνα 3- 33

Επιλέξαμε τον τύπο των Darcy-Weisbach για τον υπολογισμό των τριβών.



Εικόνα 3- 34

## Τέλος εμφανίζουμε τα αποτελέσματα

Πίνακας αποτελεσμάτων

Επιλογές

Τύπος αντικειμένου: Φρεάτια Χρονική στιγμή: 01/01/2015 - 00:00:00

#	Όνομα	Πιεζομετρικό ύψος (m)	Πιεζομετρικό φορτίο (m)	Πραγματική ζήτηση (L/s)	Ποιότητα
1	N1	98.380	100097.383	0.00	0.000
2	N2	87.204	100086.203	14.50	0.000
3	N3	90.356	100089.359	4.00	0.000
4	N4	90.356	100089.359	7.00	0.000
5	N5	54.507	100053.508	25.00	0.000
6	N6	53.935	100052.938	0.00	0.000
7	N7	53.793	100052.789	20.00	0.000
8	N8	85.869	100084.867	0.00	0.000

Εικόνα 3- 35

Πίνακας αποτελεσμάτων

Επιλογές

Τύπος αντικειμένου: Αγωγοί Χρονική στιγμή: 01/01/2015 - 00:00:00

#	Όνομα	Ταχύτητα (m/s)	Παροχή (L/s)	Απώλειες (m/km)	Τριβή	Ποιότητα	Ρυθμός αντίδρασης	Τελική κατάσταση
1	P1	1.96	96.40	24.200	0.0308	0.000	0.0000	Ανοικτό
2	P2	1.65	51.83	22.925	0.0331	0.000	0.0000	Ανοικτό
3	P3	2.71	47.81	89.624	0.0361	0.000	0.0000	Ανοικτό
4	P4	0.00	0.02	0.002	0.3506	0.000	0.0000	Ανοικτό
5	P5	1.16	9.15	28.962	0.0419	0.000	0.0000	Ανοικτό
6	P6	0.65	-31.96	2.719	0.0315	0.000	0.0000	Ανοικτό
7	P7	0.19	6.05	0.340	0.0360	0.000	0.0000	Ανοικτό
8	P8	1.78	13.95	66.823	0.0416	0.000	0.0000	Ανοικτό
9	P9	1.61	28.45	31.932	0.0363	0.000	0.0000	Ανοικτό
10	P10	2.05	16.12	89.153	0.0415	0.000	0.0000	Ανοικτό
11	P11	0.37	-25.90	0.695	0.0305	0.000	0.0000	Ανοικτό

Εικόνα 3- 36

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η αλλαγή στα αποτελέσματα των παροχών, στις ταχύτητες όπου αυξάνονται αλλά και στα πιεζομετρικά ύψη που μειώνονται έως και 35 % εφ' όσον τριπλασιάσουμε τον πολλαπλασιαστή ζήτησης.

Εικόνα 3- 37

#	Όνομα	Πιεζομετρικό ύψος (m)	Πιεζομετρικό φορτίο (m)	Πραγματική ζήτηση (L/s)	Ποιότητα
1	N1	-2.243	99996.758	0.00	0.000
2	N2	-66.786	99932.211	43.50	0.000
3	N3	-37.277	99961.727	12.00	0.000
4	N4	-37.863	99961.141	21.00	0.000
5	N5	-169.910	99829.094	75.00	0.000
6	N6	-170.586	99828.414	0.00	0.000
7	N7	-174.962	99824.039	60.00	0.000
8	N8	85.000	100084.000	0.00	0.000

Εικόνα 3- 38

### 3.4. Μη μόνιμη επίλυση δικτύου

Στη παρακάτω εφαρμογή η οποία είναι συνέχεια του προηγούμενου δικτύου εξετάζουμε την 24ωρη μεταβολή του πιεζομετρικού ύψους στον κόμβο 10 του δικτύου και της παροχής για τον αγωγό 11.

#### Επίλυση

Αρχικά η διάρκεια της προσομοίωσης πρέπει να τεθεί ίση με 24 ώρες. Επίσης οι πολλαπλασιαστές της καμπύλης ζήτησης είναι σταθερή για κάθε 2ωρω. Τελικά το πλαίσιο με τους χρόνους των γενικών δεδομένων θα πρέπει να είναι όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.

The image shows a software dialog box titled "Γενικά δεδομένα..." (General Data...). It has several tabs: "Ρευστό", "Υδραυλικά", "Χρόνοι", "Ενέργεια", "Αντιδράσεις", and "Ποιότητα". The "Χρόνοι" (Times) tab is selected. The dialog is divided into three sections: "Προσομοίωση" (Simulation), "Αναφορές" (References), and "Μεταβλητότητες" (Variabilities). Each section contains several time-related parameters with input fields and "..." buttons.

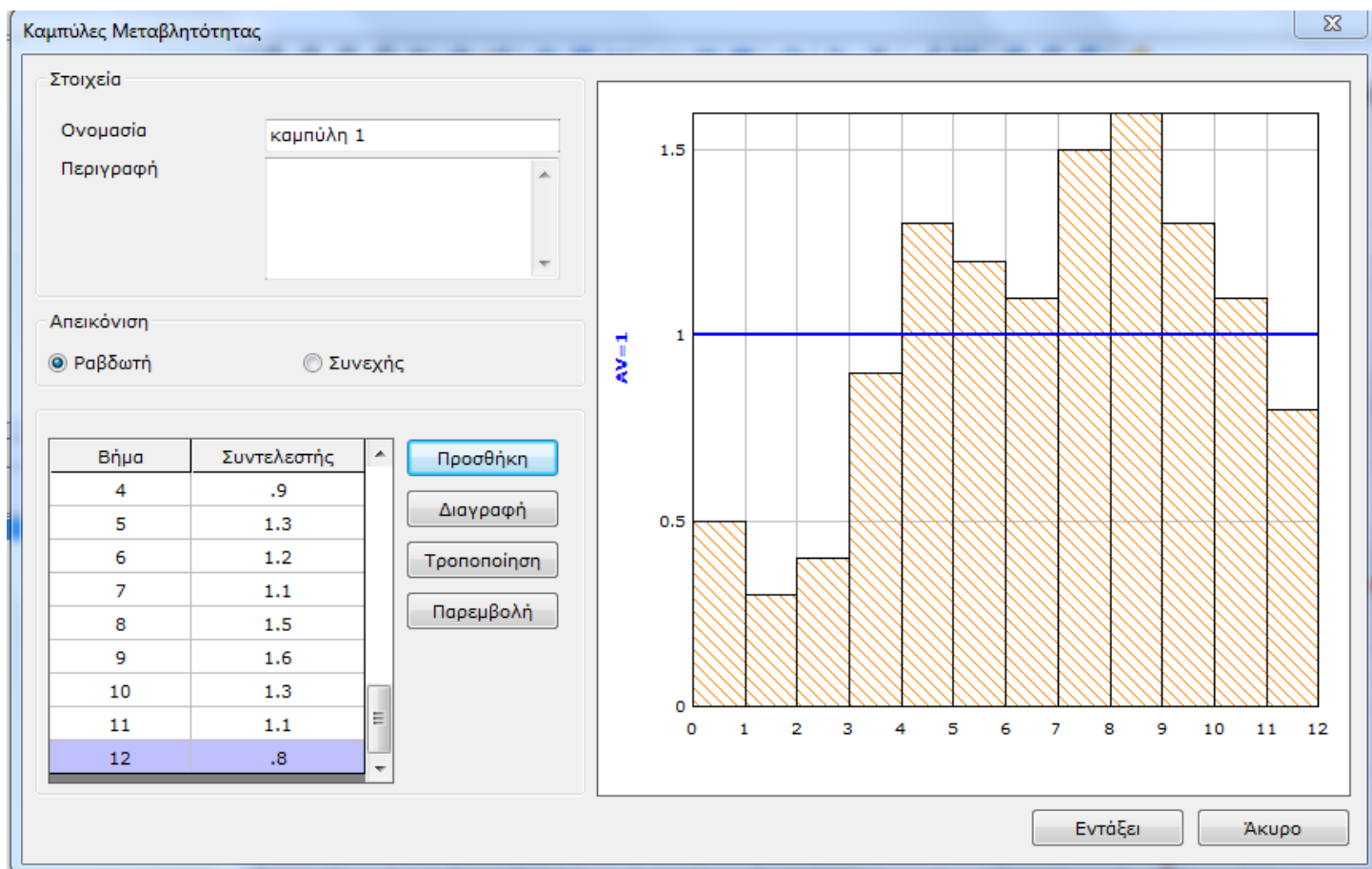
Section	Parameter	Value	Action
Προσομοίωση	Ημερομηνία αρχής	01-01-2015	...
	Χρόνος εκκίνησης	00:00:00	...
	Ολική διάρκεια προσομοίωσης	24:00:00	...
	Βήμα υδραυλικών υπολογισμών	01:00:00	...
	Βήμα ποιοτικών υπολογισμών	00:05:00	...
Αναφορές	Αρχή αναφορών	00:00:00	...
	Βήμα αναφορών	01:00:00	...
Μεταβλητότητες	Αρχή μεταβλητοτήτων	00:00:00	...
	Βήμα μεταβλητοτήτων	02:00:00	...

At the bottom of the dialog, there are two buttons: "Εντάξει" (OK) and "Άκυρο" (Cancel).

Εικόνα 3- 39

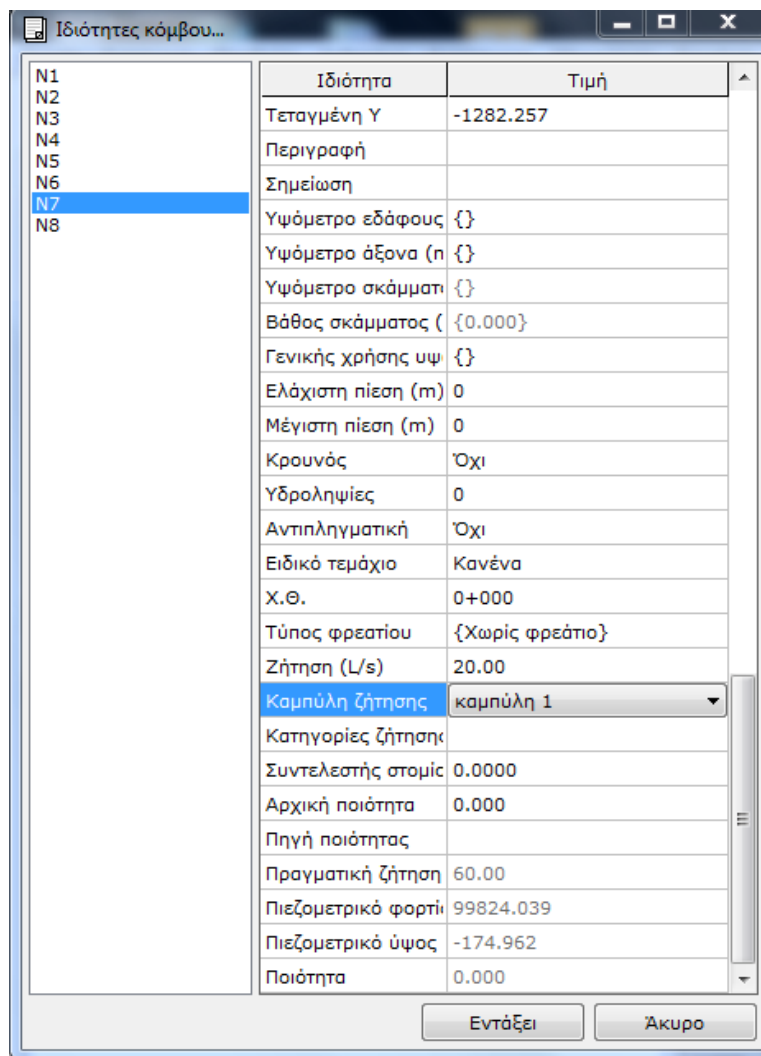
Τέλος ορίζουμε την καμπύλη μεταβλητότητας.





Εικόνα 3- 40

Στη συνέχεια εφόσον έχουμε δημιουργήσει την καμπύλη την αντιστοιχούμε στον κόμβο 7 και στον κόμβο 8.



Εικόνα 3- 41

Τώρα είμαστε σε θέση να δούμε την 24ωρη μεταβολή των αποτελεσμάτων του πιεζομετρικού ύψους και της παροχής στους κόμβους και στους αγωγούς.

#	Όνομα	Τιμή	Χρόνος
1	N2	106.158	01/01/2015 - 00:00:00
2	N2	106.158	01/01/2015 - 01:00:00
3	N2	112.113	01/01/2015 - 02:00:00
4	N2	112.113	01/01/2015 - 03:00:00
5	N2	109.259	01/01/2015 - 04:00:00
6	N2	109.259	01/01/2015 - 05:00:00
7	N2	91.435	01/01/2015 - 06:00:00
8	N2	91.435	01/01/2015 - 07:00:00
9	N2	76.525	01/01/2015 - 08:00:00
10	N2	76.525	01/01/2015 - 09:00:00
11	N2	79.999	01/01/2015 - 10:00:00
12	N2	79.999	01/01/2015 - 11:00:00
13	N2	83.376	01/01/2015 - 12:00:00
14	N2	83.376	01/01/2015 - 13:00:00
15	N2	66.115	01/01/2015 - 14:00:00
16	N2	66.115	01/01/2015 - 15:00:00
17	N2	60.266	01/01/2015 - 16:00:00
18	N2	60.266	01/01/2015 - 17:00:00
19	N2	76.525	01/01/2015 - 18:00:00
20	N2	76.525	01/01/2015 - 19:00:00
21	N2	83.376	01/01/2015 - 20:00:00
22	N2	83.376	01/01/2015 - 21:00:00
23	N2	95.453	01/01/2015 - 22:00:00
24	N2	95.452	01/01/2015 - 23:00:00
25	N2	106.158	02/01/2015 - 00:00:00

Εικόνα 3- 42

Φίλτρα αποτελεσμάτων

Επιλογές

Τύπος αντικειμένου: Αγωγός

Αντικείμενο: P11

Ιδιότητα: Παροχή (L/s)

Τελεστής: Όλα

Ενημέρωση πίνακα

#	Όνομα	Τιμή	Χρόνος
1	P11	-34.33	01/01/2015 - 00:00:00
2	P11	-34.33	01/01/2015 - 01:00:00
3	P11	-37.20	01/01/2015 - 02:00:00
4	P11	-37.20	01/01/2015 - 03:00:00
5	P11	-35.80	01/01/2015 - 04:00:00
6	P11	-35.80	01/01/2015 - 05:00:00
7	P11	-27.72	01/01/2015 - 06:00:00
8	P11	-27.72	01/01/2015 - 07:00:00
9	P11	-16.17	01/01/2015 - 08:00:00
10	P11	-16.17	01/01/2015 - 09:00:00
11	P11	-19.72	01/01/2015 - 10:00:00
12	P11	-19.72	01/01/2015 - 11:00:00
13	P11	-23.22	01/01/2015 - 12:00:00
14	P11	-23.22	01/01/2015 - 13:00:00
15	P11	-12.56	01/01/2015 - 14:00:00
16	P11	-12.56	01/01/2015 - 15:00:00
17	P11	-11.05	01/01/2015 - 16:00:00
18	P11	-11.05	01/01/2015 - 17:00:00
19	P11	-16.17	01/01/2015 - 18:00:00
20	P11	-16.17	01/01/2015 - 19:00:00
21	P11	-23.22	01/01/2015 - 20:00:00
22	P11	-23.22	01/01/2015 - 21:00:00
23	P11	-29.47	01/01/2015 - 22:00:00
24	P11	-29.47	01/01/2015 - 23:00:00
25	P11	-34.33	02/01/2015 - 00:00:00

Εικόνα 3- 43

Τέλος στην παρακάτω εικόνα διαπιστώνουμε ότι μπορούμε να δούμε τη μεταβολή των αποτελεσμάτων για κάθε ώρα συγκεκριμένα.

Πίνακας αποτελεσμάτων

Επιλογές

Τύπος αντικειμένου: Αγωγοί

Χρονική στιγμή: 01/01/2015 - 00:00:00

#	Όνομα	Ταχύτητα (m/s)	Παροχή (L/s)	Απώλειες (m/km)	Τελική κατάσταση
1	P1	1.42	69.58	12.665	Ανοικτό
2	P2	1.23	38.79	12.899	Ανοικτό
3	P3	2.15	38.02	56.823	Ανοικτό
4	P4	0.16	-1.23	0.584	Ανοικτό
5	P5	0.93	7.27	18.400	Ανοικτό
6	P6	0.67	-32.79	2.862	Ανοικτό
7	P7	0.05	-1.54	0.026	Ανοικτό
8	P8	1.47	11.54	45.847	Ανοικτό
9	P9	1.06	18.79	14.029	Ανοικτό
10	P10	1.53	12.01	49.643	Ανοικτό
11	P11	0.49	-34.33	1.206	Ανοικτό

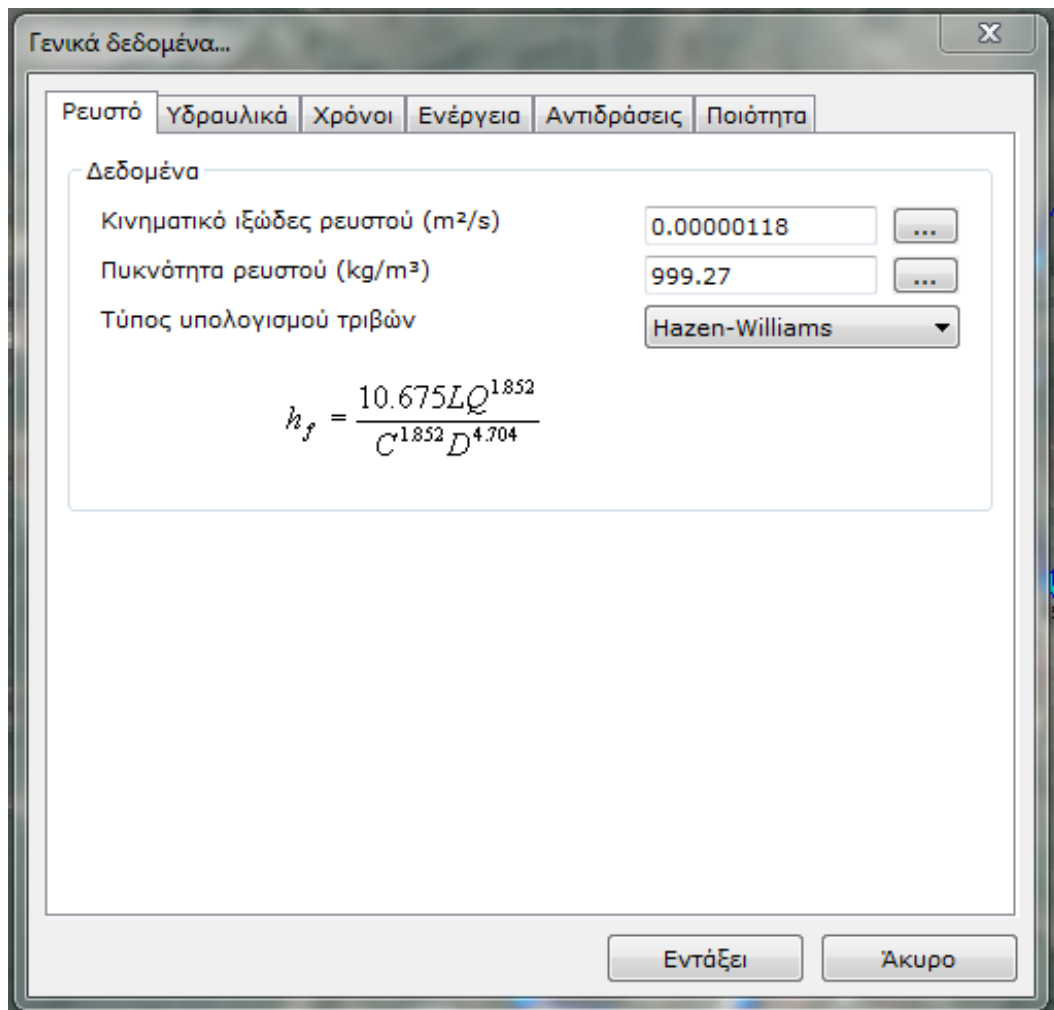
Εικόνα 3- 44

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: Εφαρμογή του κώδικα στην επίλυση του δικτύου ύδρευσης

Για την επίλυση του δικτύου ύδρευσης θα χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα **WORKS 2015** της εταιρίας technologismiki. Η εφαρμογή αυτή πραγματοποιείται στον οικισμό Δαφνόφυτο του Δήμου Ζίτσας που συγκαταλέγονται στον Νομό Ιωαννίνων. Το δίκτυο αποτελείται από μια τετραγωνική δεξαμενή διαστάσεων 4x4m, τοποθετημένη σε υψόμετρο 400 m. Το ύψος της είναι 4 m και την θεωρούμε γεμάτη.

Αρχικά θα χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα δικτύου ύδρευσης. Από το μενού *Αρχείο* επιλέγουμε *Νέα Μελέτη* έτσι ώστε να σβηστούν τυχόν υπάρχοντα στοιχεία από προηγούμενες μελέτες.

Στην συνέχεια από το μενού *Δεδομένα*, επιλέγουμε τα *Γενικά Δεδομένα* και στην συνέχεια *Ρευστό*. Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγουμε τον τύπο Hazen-Williams για την επίλυση και για να ορίσουμε τις τιμές του κινηματικού ιξώδους και της πυκνότητας ρευστού πατάμε τα εικονίδια με τις τρεις τελείες αμέσως δεξιά των πεδίων.



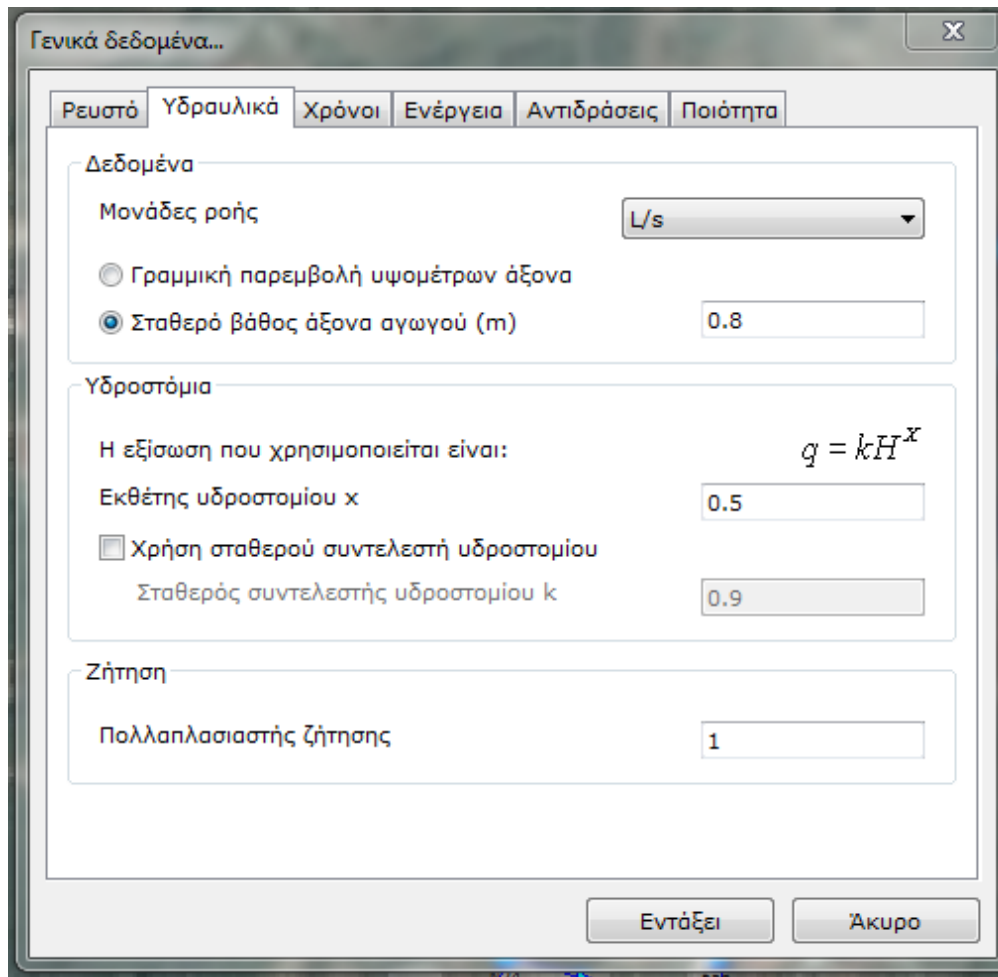
Εικόνα 4- 1

Εμφανίζεται ένα νέο πλαίσιο διαλόγου από το οποίο επιλέγουμε την θερμοκρασία του *Νερού* στους 14 βαθμούς κελσίου, λόγω χαμηλών θερμοκρασιών στην συγκεκριμένη περιοχή, τόσο για το κινηματικό ιξώδες όσο και για την πυκνότητα, χρησιμοποιώντας δυο φορές την βάση δεδομένων ιδιοτήτων ρευστών.

Ρευστό	Θ (°C)	Πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	Συνεκτικότητα (kg/m <sup>3</sup> *sec)	Κινηματική Συνεκτικότητα (m <sup>2</sup> /sec)	Ειδικό Βάρος (kg/m <sup>3</sup> sec <sup>2</sup> )
Νερό	0	999.8700000000	0.0017921000	0.0000017923	9808.7247000000
Νερό	4	1000.0000000000	0.0015676000	0.0000015676	9810.0000000000
Νερό	6	999.9700000000	0.0014726000	0.0000014726	9809.7057000000
Νερό	8	999.8800000000	0.0013872000	0.0000013872	9808.8228000000
Νερό	10	999.7500000000	0.0013097000	0.0000013101	9807.5475000000
Νερό	12	999.5200000000	0.0012390000	0.0000012396	9805.2912000000
Νερό	14	999.2700000000	0.0011748000	0.0000011756	9802.8387000000
Νερό	16	998.9100000000	0.0011156000	0.0000011168	9799.3071000000
Νερό	18	998.6200000000	0.0010603000	0.0000010618	9796.4622000000
Νερό	20	998.2300000000	0.0010087000	0.0000010105	9792.6363000000
Νερό	30	995.6800000000	0.0008004000	0.0000008039	9767.6208000000

Εικόνα 4- 2

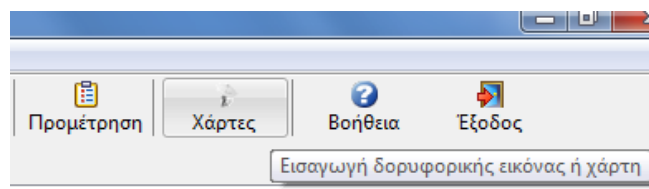
Επειδή τις ζητήσεις στους κόμβους την θέλουμε σε L/s,πρέπει να ορίσουμε στο πρόγραμμα ότι θα χρησιμοποιήσουμε μετρικό σύστημα και ότι οι παροχές θα υπολογιστούν σε L/s. Αυτό το επιτυγχάνουμε μέσω της φόρμας *Υδραυλικά*, που βρίσκεται στο μενού *Δεδομένα>Γενικά Δεδομένα*.



**Εικόνα 4- 3**

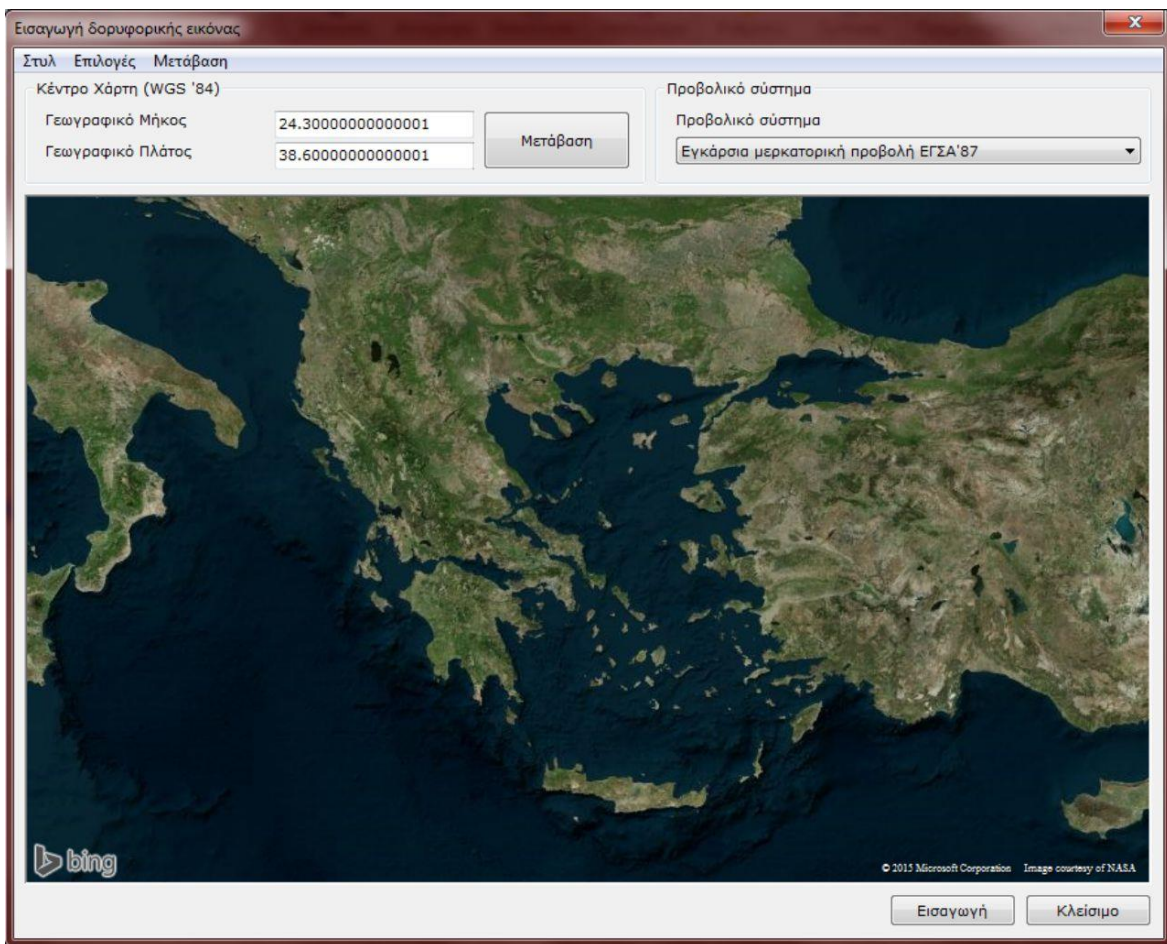
Το πρόγραμμα μας δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε δωρεάν δεδομένα από τους δορυφόρους με τα οποία μπορούμε να έχουμε μια προκαταρκτική χάραξη του δικτύου. Τα δεδομένα είναι τόσο εικόνες υποβάθρου όσο και υψόμετρα εδάφους.

Στο πρόγραμμα κάνουμε κλικ στο πλήκτρο *Χάρτες* της κύριας μπάρας εργαλείων:



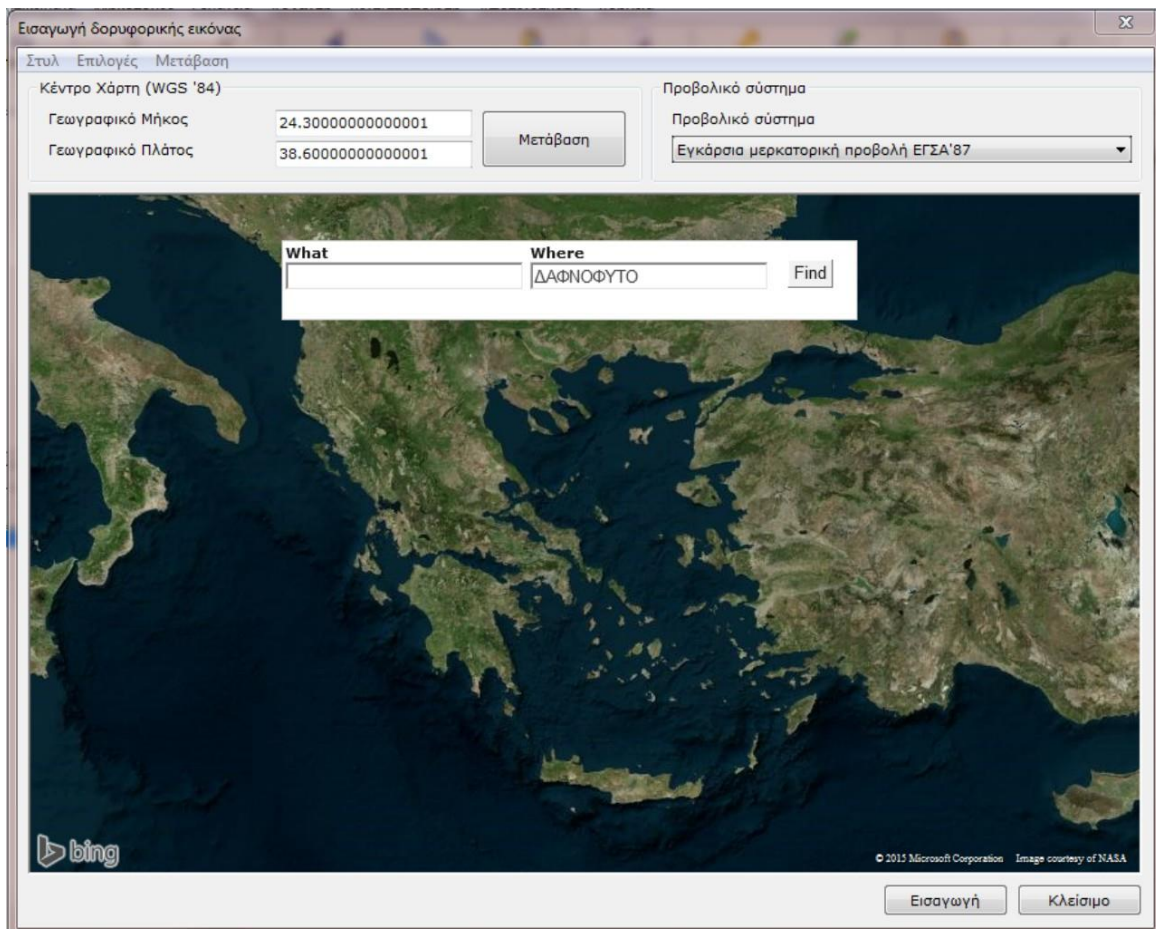
**Εικόνα 4- 4**

Το πρόγραμμα μας ζητάει να σώσουμε την μελέτη και αφού το κάνουμε αυτό ,εμφανίζεται η παρακάτω φόρμα εισαγωγής δορυφορικών εικόνων:

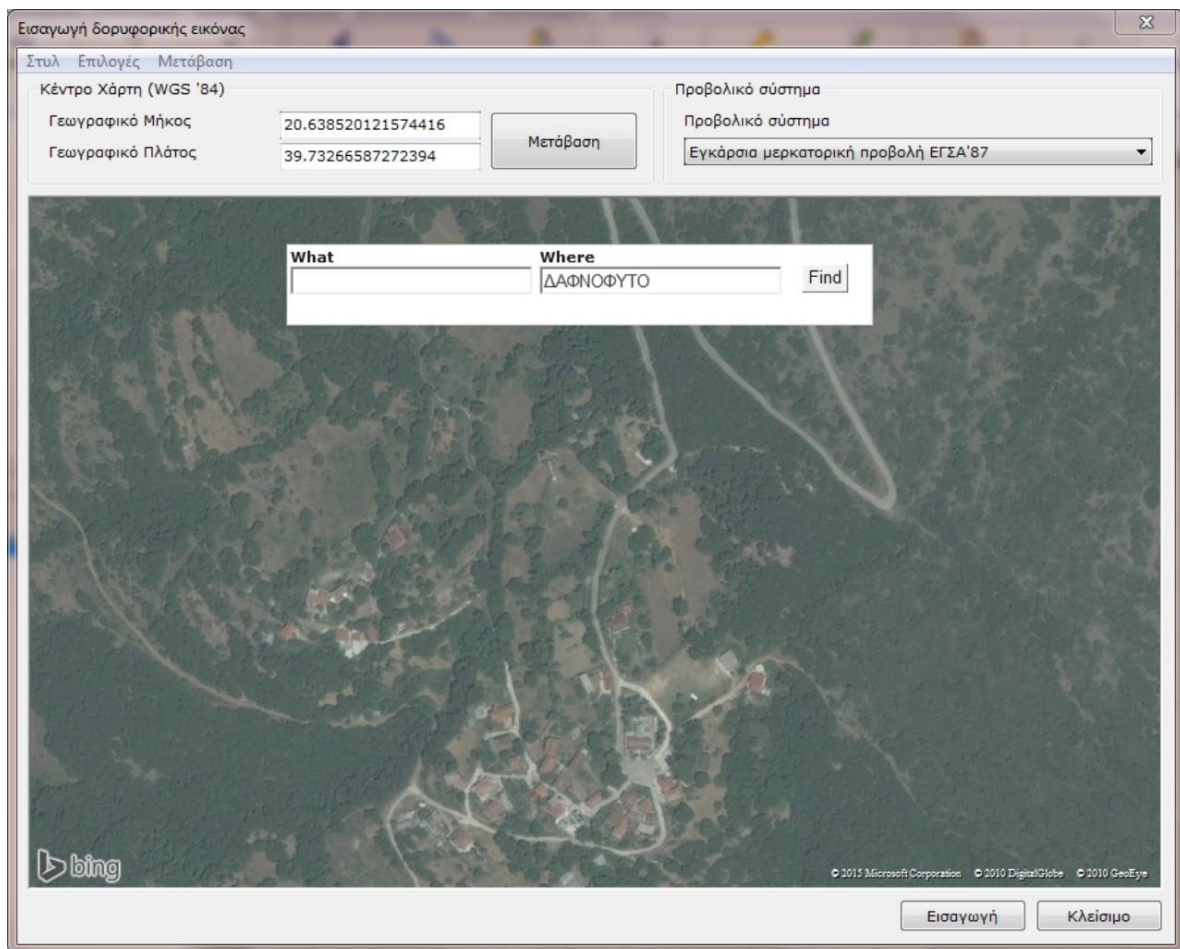


Εικόνα 4- 5



Από το μενού επιλέγουμε *Επιλογές>Εμφάνιση εργαλείου αναζήτησης*.



Εικόνα 4- 6




Εικόνα 4- 7

Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο της δεξαμενής  στην μπάρα εργασίας και μετά κάνουμε κλικ στην περιοχή που θέλουμε την δεξαμενή έτσι ώστε να τοποθετηθεί στο δίκτυο. Η δεξαμενή θα φέρει τον κωδικό T1. Στην συνέχεια, τοποθετούμε τους κόμβους ,στους οποίους αρχίζουν ή τελειώνουν οι αγωγοί. Αυτό γίνεται πατώντας το πλήκτρο των κόμβων  και κάνοντας κλικ στην εικόνα. Πάντως η θέση των κόμβων παίζει αισθητικό ρολό και όχι ουσιαστικό από την στιγμή που θα δηλωθούν ρητά τα μήκη των αγωγών.





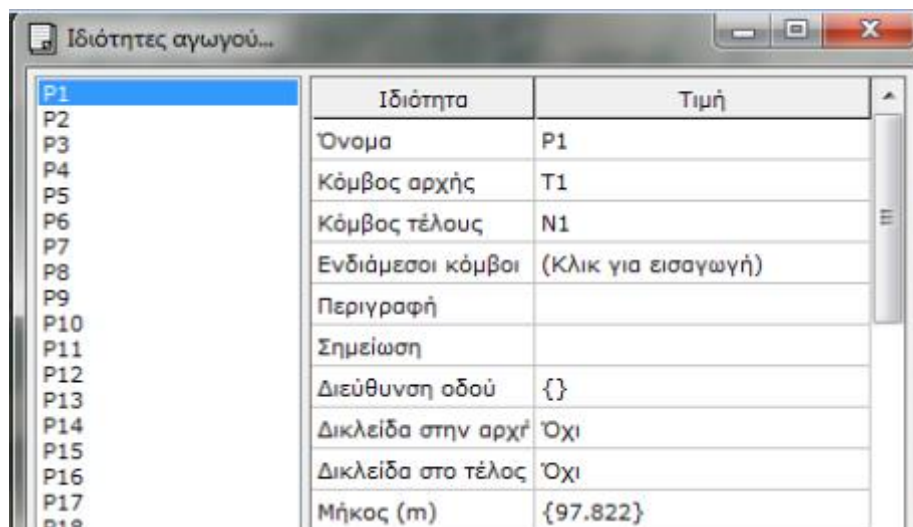
**Εικόνα 4- 8**

Τέλος προσθέτουμε τους αγωγούς, οι οποίοι θα πρέπει να αρχίζουν και να τελειώνουν σε ένα σημειακό αντικείμενο (κόμβο ή δεξαμενή). Πατάμε το πλήκτρο των αγωγών  και κάνουμε κλικ στο σημείο αρχής (π.χ. τη δεξαμενή T1). Αυτόματα σχηματίζεται μια διακεκομμένη γραμμή που ενώνει την δεξαμενή (ή τον οποιοδήποτε κόμβο αρχής) με εκείνο τον κόμβο που βρίσκεται πλησιέστερα στον κέρσσορα του ποντικιού. Πηγαίνοντας το ποντίκι κοντά στον κόμβο N1 και κάνοντας κλικ, σχεδιάζεται ο αγωγός 1 που ενώνει την δεξαμενή T1 με τον κόμβο N1. Ομοίως εισάγονται και οι υπόλοιποι αγωγοί.



Εικόνα 4- 9

Στην συνέχεια κάνουμε διπλό κλικ στον αγωγό P1. Εμφανίζεται ένα πλαίσιο διαλόγου με όλους τους αγωγούς σε μια λίστα αριστερά και τις ιδιότητες των αγωγών δεξιά. Ο αγωγός P1 είναι προεπιλεγμένος. Μπορούμε να δούμε ότι το μήκος του αγωγού έχει υπολογιστεί αυτόματος λόγω του ότι τις συντεταγμένες των κόμβων μας τις έβγαλε απευθείας ο χάρτης του προγράμματος:



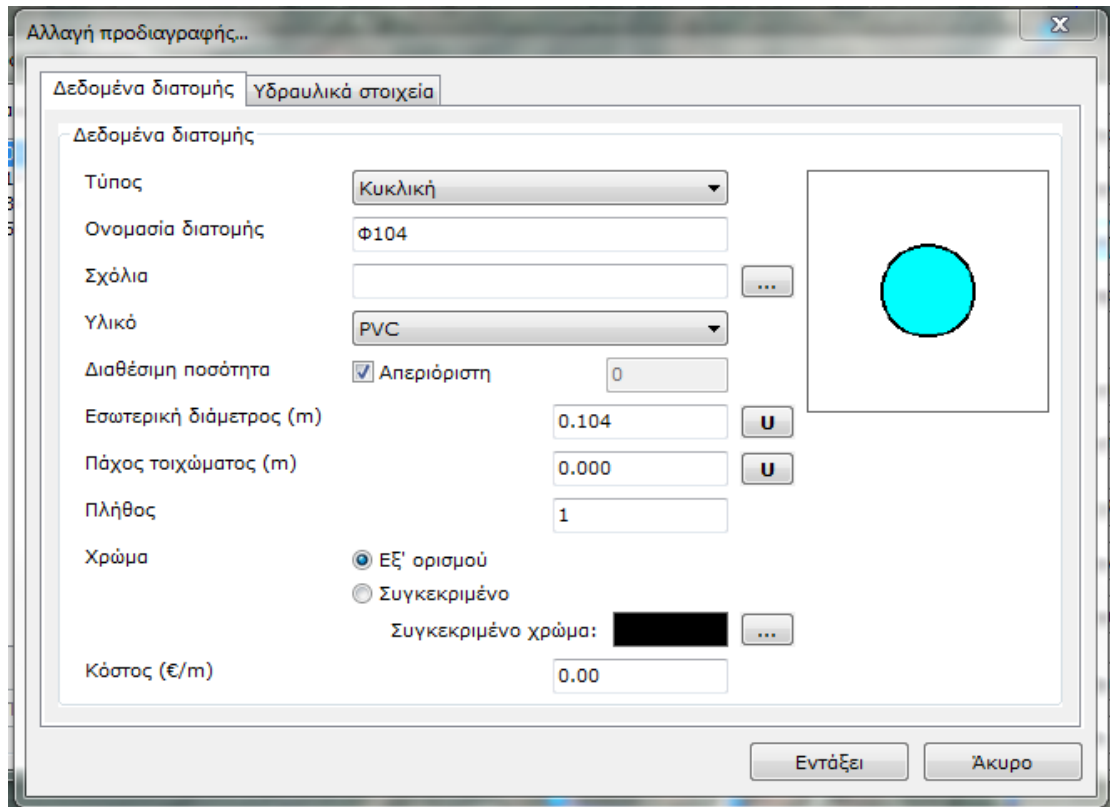
Εικόνα 4- 10

Στη μελέτη μας θα χρησιμοποιήσουμε 4 διαφορετικές διαμέτρους αγωγών με τον ίδιο συντελεστή τριβής. Για κάθε συνδυασμό διαμέτρου και συντελεστή τριβής θα πρέπει να δημιουργηθεί μια προδιαγραφή αγωγού. Για τον σκοπό αυτό, από το μενού *Δεδομένα* επιλέγουμε *Προδιάγραφες Αγωγών*. Στη συνέχεια κάνουμε κλικ στο πλήκτρο *Προσθήκη* οπότε εμφανίζεται η φόρμα δημιουργίας νέας προδιαγραφής.

Εισάγουμε ένα αλφαριθμητικό στο πεδίο *Ονομασία Διατομής* ώστε να μπορούμε να τις ξεχωρίζουμε από τις υπόλοιπες (π.χ. Φ104). Επιλέγουμε υλικό PVC και εσωτερική διάμετρο από την παρακάτω εικόνα:

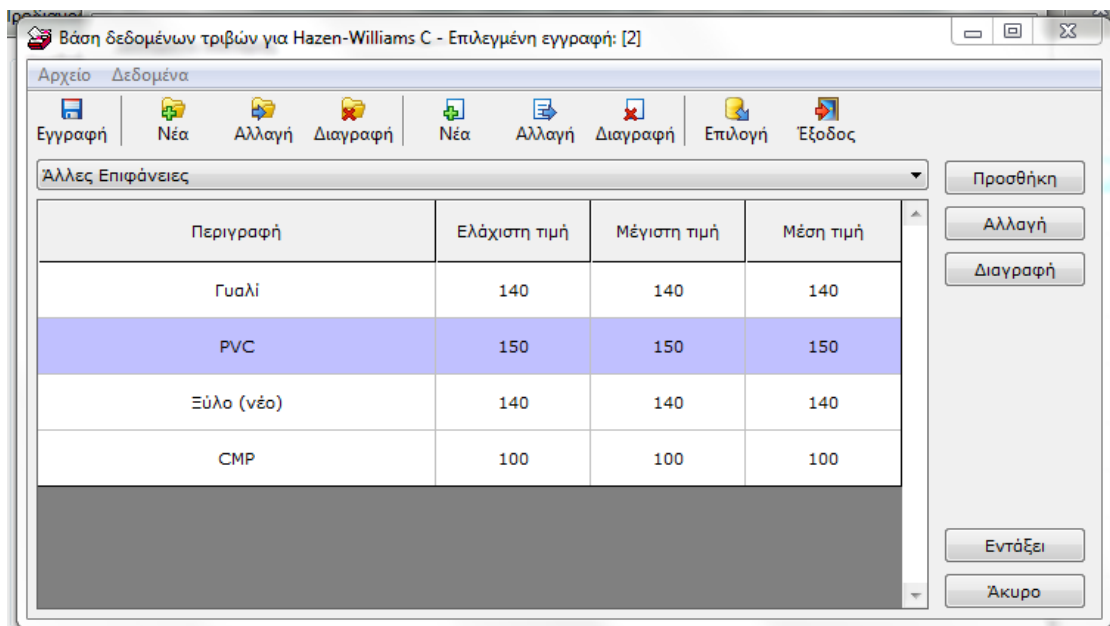
ΣΩΛΗΝΕΣ ΠΙΕΣΕΩΣ 6 ATM					
ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΕ 20°C: 6 atm					
ΕΞΩΤ. ΔΙΑΜ D	Πάχος τοιχωμ. S	Εσωτερική Διάμετρος d	Μήκος μούφας t	Εξωτ. Διάμ. Μούφας D1	Βάρος B
mm	mm	mm	mm	mm	kg/m
50	1,8	46,4	90,0	68,0	0,42
63	1,9	59,2	107,7	83,8	0,56
75	2,2	70,6	114,3	98,3	0,78
90	2,7	84,6	121,0	116,1	1,13
110	3,2	103,6	128,9	138,9	1,64
125	3,7	117,6	135,0	155,8	2,13
140	4,1	131,8	140,7	172,4	2,65
160	4,7	150,6	149,1	195,4	3,44
200	5,9	188,2	162,3	239,8	5,37
225	6,6	211,8	173,3	267,7	6,76
250	7,3	235,4	182,0	295,6	8,31
280	8,2	263,6	196,7	333,1	10,40
315	9,2	296,6	209,4	369,7	13,20
355	10,4	334,2	225,8	415,3	16,70
400	11,7	376,6	241,8	466,5	21,10
450	13,2	423,6	259,6	521,8	26,80
500	14,6	470,8	282,2	579,6	32,90

Εικόνα 4- 11



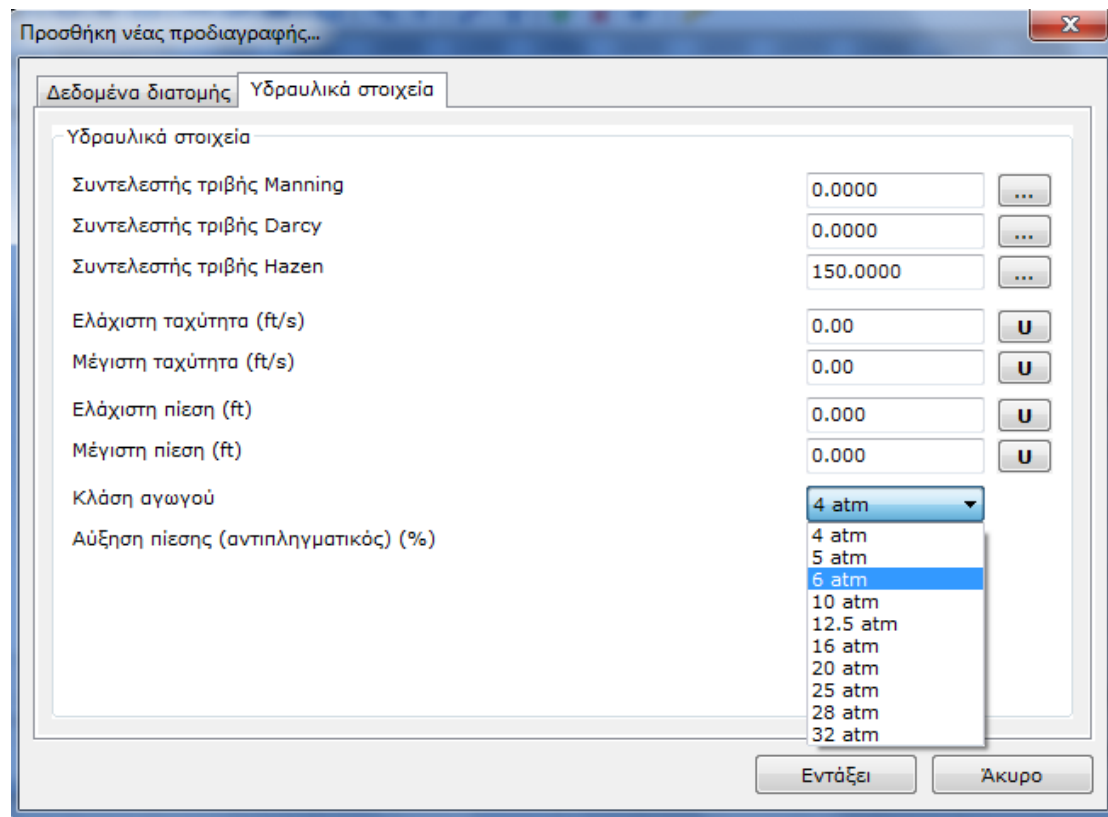
Εικόνα 4- 12

Τέλος στην καρτέλα *Υδραυλικά Στοιχεία* εισάγουμε τον συντελεστή τριβής κατά Hazenίσο με 150. Η τιμή του συντελεστή τριβής προέκυψε πατώντας στα πλήκτρα με τις τρεις τελείες αμέσως δεξιά του πεδίου συντελεστής τριβής Hazen. Στη συνέχεια ανοίγει νέο παράθυρο και στη μπάρα που κατεβαίνει επιλέγουμε *Άλλες Επιφάνειες* και επιλέγουμε για υλικό PVC:

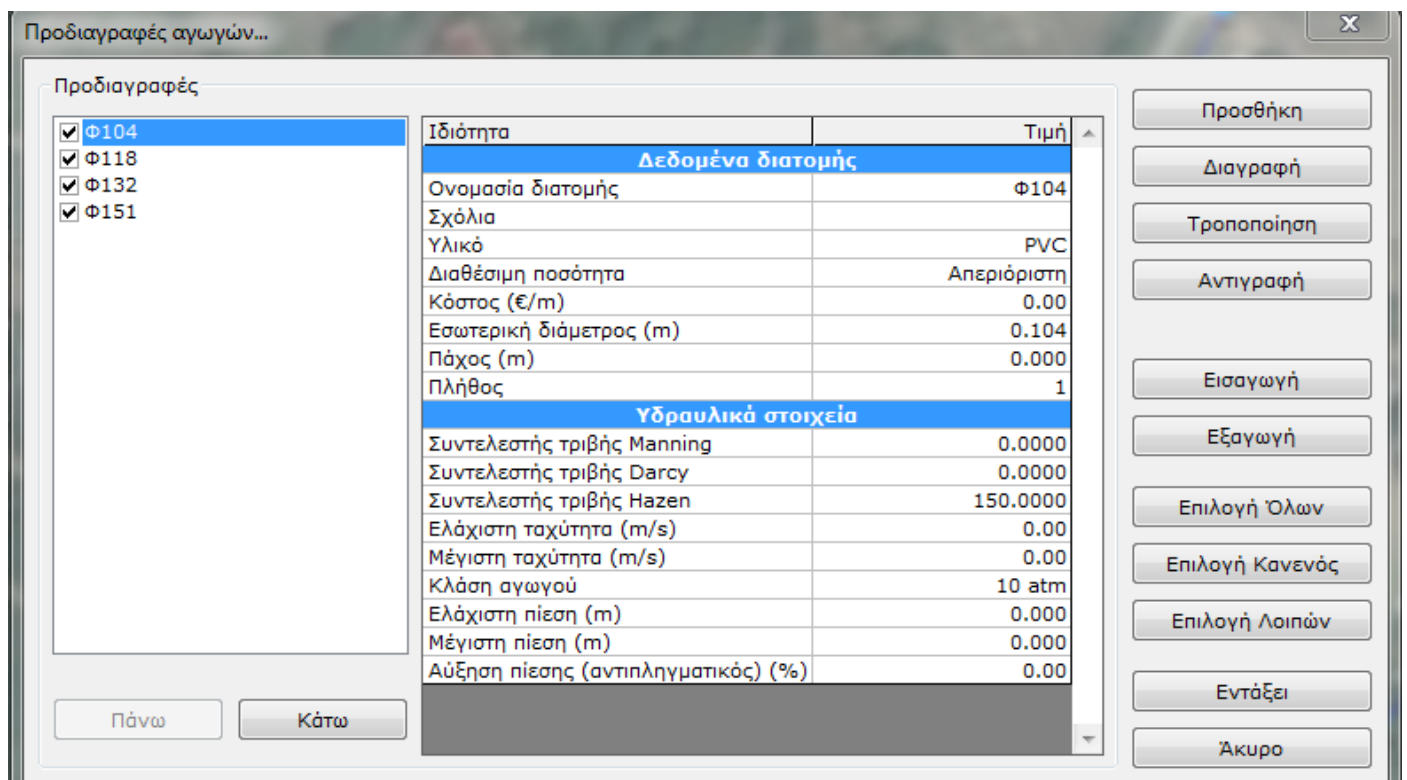


Εικόνα 4- 13

Επίσης στην καρτέλα *Υδραυλικά Στοιχεία* στην *Κλάση αγωγού* επιλέγουμε 6 atm:

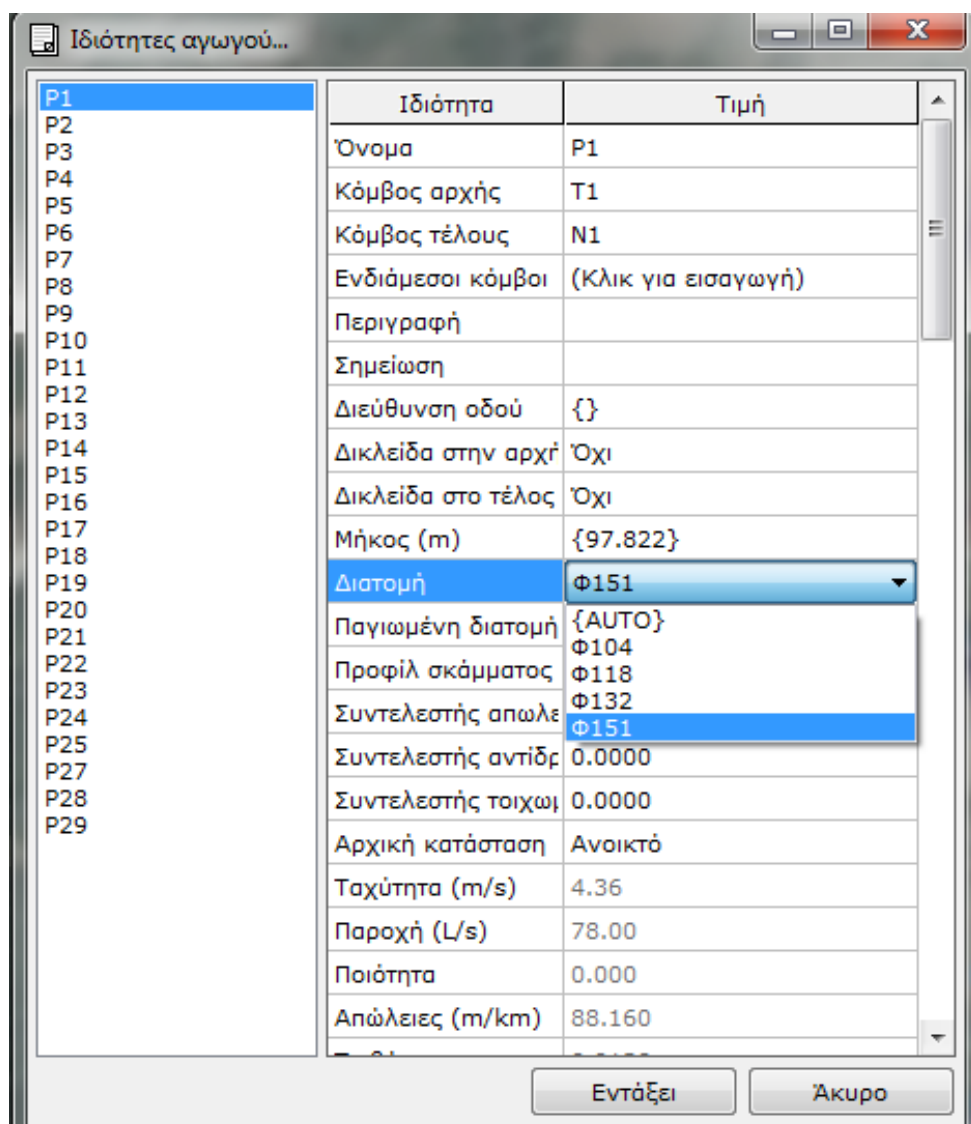


Εικόνα 4- 14



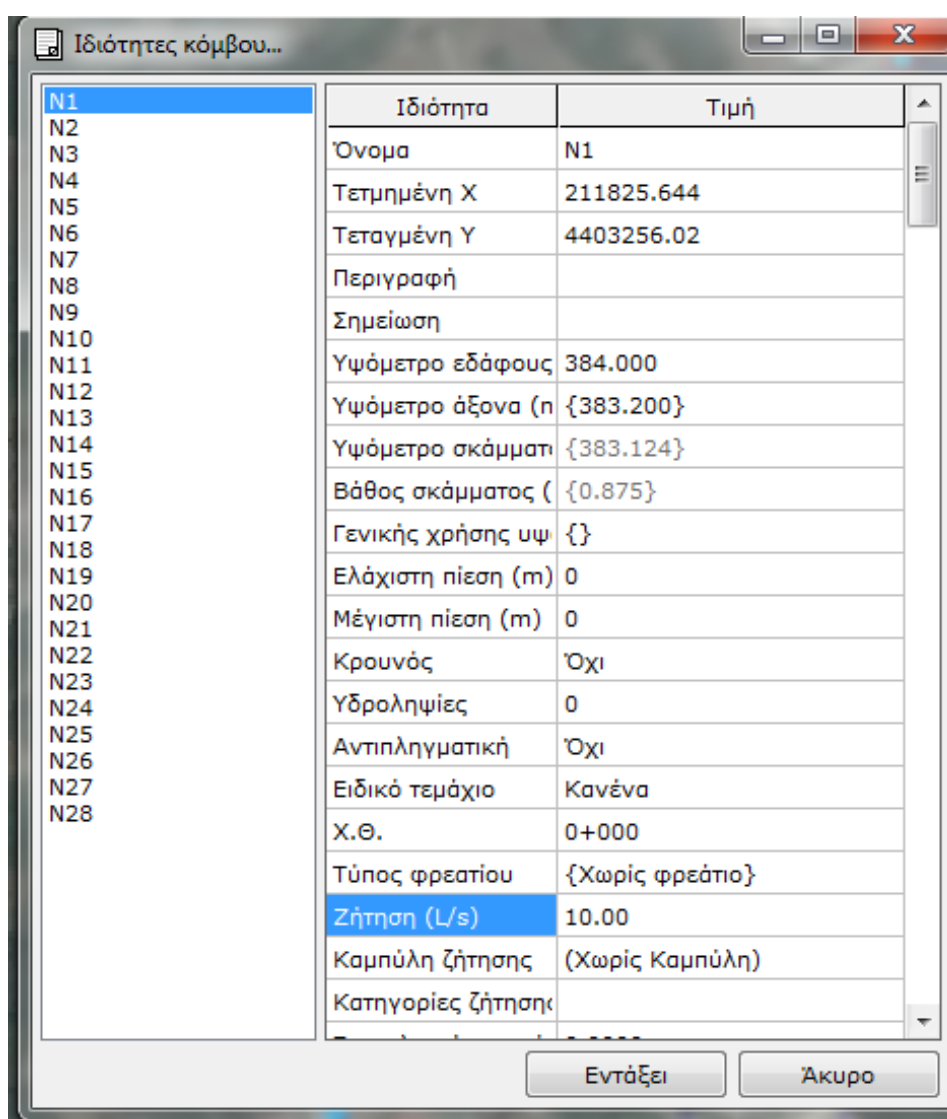
Εικόνα 4- 15

Παρακάτω θα πρέπει να αντιστοιχίσουμε κάθε αγωγό με την κατάλληλη προδιαγραφή. Στη φόρμα ιδιοτήτων αγωγού, κάνουμε κλικ στο πεδίο *Διατομή* και από την λίστα με τις προδιαγραφές αγωγών επιλέγουμε την Φ151 που αντιστοιχεί στη διάμετρο 151 mm του αγωγού P1. Ομοίως για όλους τους αγωγούς επιλέγουμε την κατάλληλη προδιαγραφή.



Εικόνα 4- 16

Μετά επειδή υπάρχει ζήτηση στους κόμβους 1, 4, 7, 11, 22, 25, 28 κάνουμε κλικ σε κάποιον από αυτούς τους κόμβους για να τον επιλέξουμε, και στη συνέχεια επιλέγουμε από το μενού *Αντικείμενα>Ιδιότητες>Κόμβος*. Τέλος επιλέγουμε όλους τους κόμβους και τοποθετούμε τα υψόμετρα τους τα οποία βρίσκουμε μέσω της εφαρμογής Google Earth.



Εικόνα 4- 17



Εικόνα 4- 18

Ιδιότητες κόμβου...

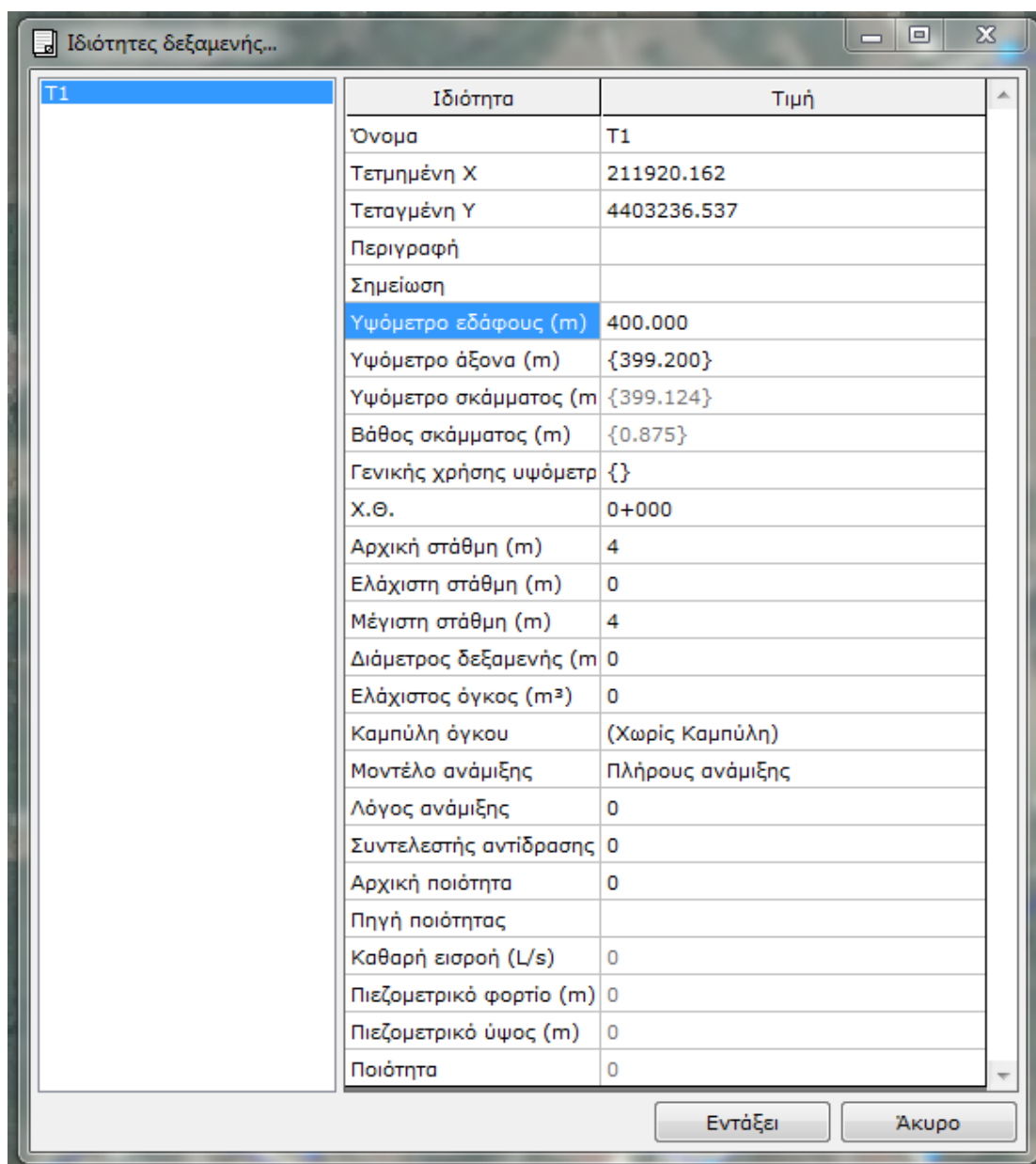
Κόμβος	Ιδιότητα	Τιμή
N1	Όνομα	N1
N2	Τετμημένη Χ	211825.644
N3	Τεταγμένη Υ	4403256.02
N4	Περιγραφή	
N5	Σημείωση	
N6	Υψόμετρο εδάφους	384.000
N7	Υψόμετρο άξονα (n	{383.200}
N8	Υψόμετρο σκάμματος	{383.124}
N9	Βάθος σκάμματος (	{0.875}
N10	Γενικής χρήσης υψ	{}
N11	Ελάχιστη πίεση (m)	0
N12	Μέγιστη πίεση (m)	0
N13	Κρουνός	Όχι
N14	Υδροληψίες	0
N15	Αντιπληγματική	Όχι
N16	Ειδικό τεμάχιο	Κανένα
N17	Χ.Θ.	0+000
N18	Τύπος φρεατίου	{Χωρίς φρεάτιο}
N19	Ζήτηση (L/s)	0.00
N20	Καμπύλη ζήτησης	(Χωρίς Καμπύλη)
N21	Κατηγορίες ζήτησης	
N22		
N23		
N24		
N25		
N26		
N27		
N28		

Εντάξει Άκυρο

Εικόνα 4- 19



Κάνουμε διπλό κλικ στη δεξαμενή για να την επιλέξουμε, και στη συνέχεια επιλέγουμε από το μενού *Αντικείμενα>Ιδιότητες>Δεξαμενή*. Στα πεδία *Αρχική Στάθμη* και *Μέγιστη Στάθμη* εισάγουμε την τιμή 4 καθώς η δεξαμενή αρχικά είναι γεμάτη και έχει ύψος 4 m. Στο πεδίο *Υψόμετρο Εδάφους* εισάγουμε την τιμή 400 m την οποία βρήκαμε εξίσου από το Google Earth.



Εικόνα 4- 20

Τέλος από το μενού *Αποτελέσματα* επιλέγουμε *Εκτέλεση Υπολογισμών*. Εάν όλα τα δεδομένα έχουν εισαχθεί σωστά, εμφανίζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των αγωγών.

Πίνακας αποτελεσμάτων

Επιλογές  
 Τύπος αντικειμένου: **Αγωγοί**      Χρονική στιγμή: **01/01/2015 - 00:00:00**

#	Όνομα	Ταχύτητα (m/s)	Παροχή (L/s)	Απώλειες (m/km)	Τριβή	Ποιότητα	Ρυθμός αντίδρασης	Τελική κατάσταση
1	P1	4.36	78.00	88.160	0.0138	0.000	0.0000	Ανοικτό
2	P2	3.80	68.00	68.378	0.0141	0.000	0.0000	Ανοικτό
3	P3	3.80	68.00	68.379	0.0141	0.000	0.0000	Ανοικτό
4	P4	3.80	68.00	68.379	0.0141	0.000	0.0000	Ανοικτό
5	P5	3.24	58.00	50.931	0.0144	0.000	0.0000	Ανοικτό
6	P6	4.24	58.00	98.053	0.0141	0.000	0.0000	Ανοικτό
7	P7	4.24	58.00	98.053	0.0141	0.000	0.0000	Ανοικτό
8	P8	2.05	28.00	25.454	0.0158	0.000	0.0000	Ανοικτό
9	P9	0.94	8.00	7.988	0.0184	0.000	0.0000	Ανοικτό
10	P10	0.94	8.00	7.989	0.0184	0.000	0.0000	Ανοικτό
11	P11	0.94	8.00	7.988	0.0184	0.000	0.0000	Ανοικτό
12	P12	1.46	20.00	13.649	0.0166	0.000	0.0000	Ανοικτό
13	P13	0.73	10.00	3.781	0.0183	0.000	0.0000	Ανοικτό
14	P14	0.73	10.00	3.780	0.0183	0.000	0.0000	Ανοικτό
15	P15	1.46	20.00	13.649	0.0166	0.000	0.0000	Ανοικτό
16	P16	1.46	20.00	13.649	0.0166	0.000	0.0000	Ανοικτό
17	P17	1.46	20.00	13.649	0.0166	0.000	0.0000	Ανοικτό
18	P18	1.46	20.00	13.649	0.0166	0.000	0.0000	Ανοικτό
19	P19	1.46	20.00	13.649	0.0166	0.000	0.0000	Ανοικτό
20	P20	0.91	10.00	6.527	0.0181	0.000	0.0000	Ανοικτό
21	P21	1.18	10.00	12.077	0.0178	0.000	0.0000	Ανοικτό
22	P22	1.18	10.00	12.076	0.0178	0.000	0.0000	Ανοικτό
23	P23	1.18	10.00	12.076	0.0178	0.000	0.0000	Ανοικτό
24	P24	1.18	10.00	12.076	0.0178	0.000	0.0000	Ανοικτό
25	P25	1.18	10.00	12.077	0.0178	0.000	0.0000	Ανοικτό
26	P27	1.18	10.00	12.076	0.0178	0.000	0.0000	Ανοικτό
27	P28	1.18	10.00	12.077	0.0178	0.000	0.0000	Ανοικτό
28	P29	0.91	10.00	6.529	0.0181	0.000	0.0000	Ανοικτό

Εικόνα 4- 21

Για τα αποτελέσματα των υπολογισμών την δεξαμενής και των φρεατίων επιλέγουμε τις *Δεξαμενές ή Φρεάτια* από τη λίστα με τους τύπους των αντικειμένων.

Πίνακας αποτελεσμάτων

Επιλογές  
 Τύπος αντικειμένου: **Δεξαμενές**      Χρονική στιγμή: **01/01/2015 - 00:00:00**

#	Όνομα	Πιεζομετρικό ύψος (m)	Πιεζομετρικό φορτίο (m)	Καθαρή εισροή (L/s)	Ποιότητα
1	T1	404	3.997	-78	0

Εικόνα 4- 22

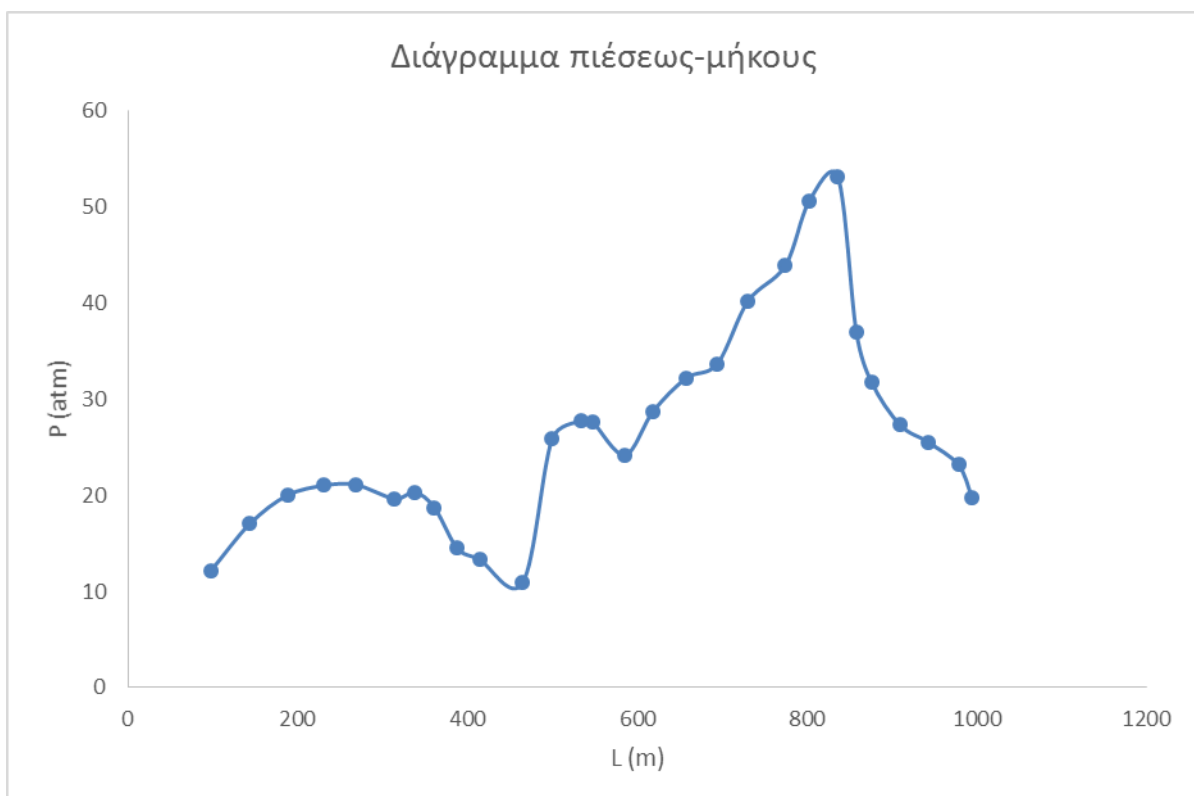
Πίνακας αποτελεσμάτων

Επιλογές  
 Τύπος αντικειμένου Φρεάτια Χρονική στιγμή 01/01/2015 - 00:00:00

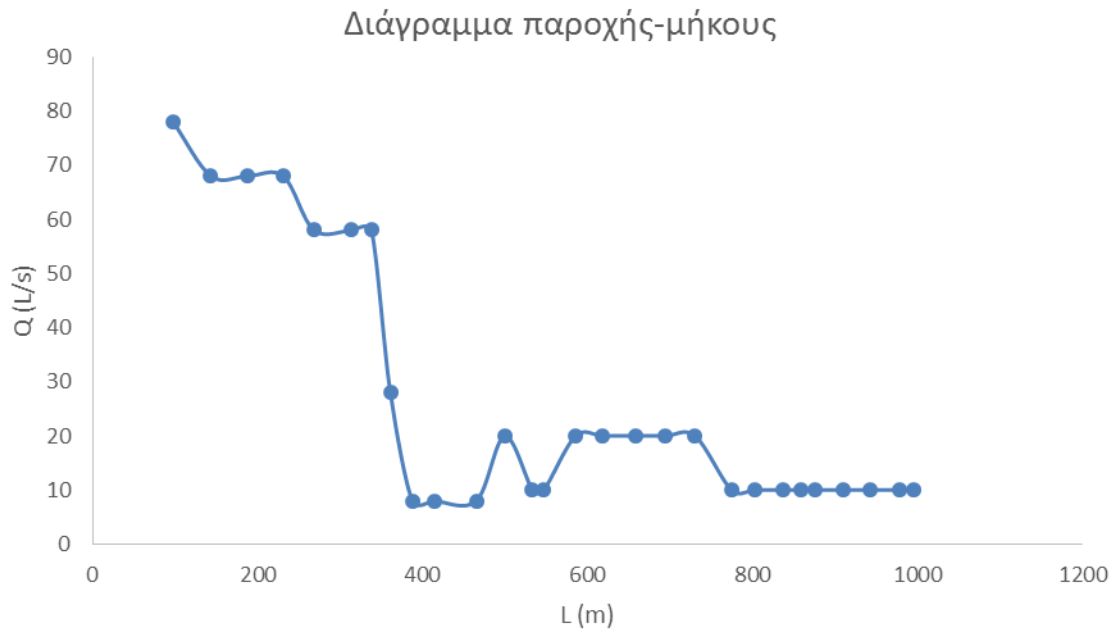
#	Όνομα	Πιεζομετρικό ύψος (m)	Πιεζομετρικό φορτίο (m)	Πραγματική ζήτηση (L/s)	Ποιότητα
1	N1	395.376	12.167	10.00	0.000
2	N2	392.250	17.038	0.00	0.000
3	N3	389.224	20.009	0.00	0.000
4	N4	386.249	21.034	10.00	0.000
5	N5	384.359	21.144	0.00	0.000
6	N6	379.873	19.658	0.00	0.000
7	N7	377.545	20.330	10.00	0.000
8	N8	376.956	18.742	0.00	0.000
9	N9	376.742	14.532	0.00	0.000
10	N10	376.530	13.320	0.00	0.000
11	N11	376.124	10.916	8.00	0.000
12	N12	377.074	25.855	10.00	0.000
13	N13	376.946	27.726	0.00	0.000
14	N14	376.895	27.675	0.00	0.000
15	N15	376.430	24.212	0.00	0.000
16	N16	375.976	28.755	0.00	0.000
17	N17	375.441	32.218	0.00	0.000
18	N18	374.942	33.717	0.00	0.000
19	N19	374.450	40.221	0.00	0.000
20	N20	374.162	43.930	0.00	0.000
21	N21	373.827	50.590	0.00	0.000
22	N22	373.417	53.178	10.00	0.000
23	N23	374.186	36.959	0.00	0.000
24	N24	373.967	31.744	0.00	0.000
25	N25	373.566	27.346	10.00	0.000
26	N26	376.789	25.570	0.00	0.000
27	N27	376.393	23.176	0.00	0.000
28	N28	375.957	19.742	10.00	0.000

Εικόνα 4- 23

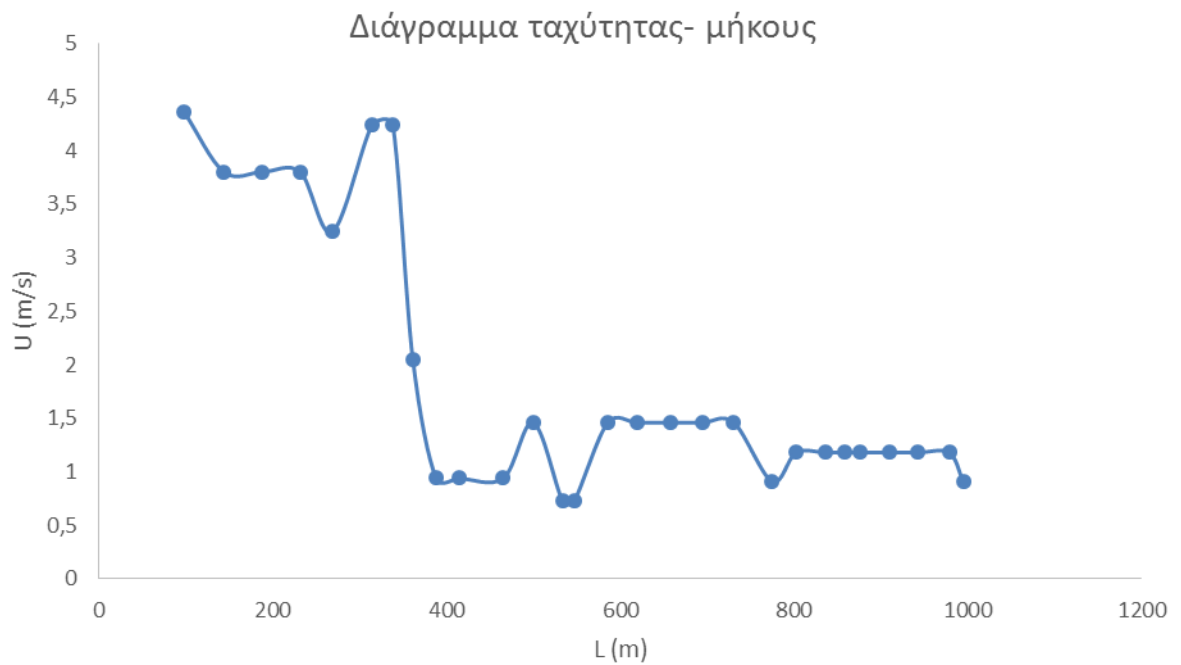
Στα παρακάτω διαγράμματα βλέπουμε τις πιέσεις κατά μήκος του αγωγού (διαγ. 4-1), τις παροχές κατά μήκος του αγωγού (διαγ. 4-2) καθώς και τις ταχύτητες κατά μήκος του αγωγού (διαγ. 4-3)



Διάγραμμα 4- 1



**Διάγραμμα 4- 2**



**Διάγραμμα 4- 3**

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Π. Παπανικολάου, Σημειώσεις Υδραυλικής, ΕΜΠ 2007

Ι. Β. Σούλης, Υδραυλική Κλειστών Αγωγών, Ξάνθη

Φ. Φωτόπουλος, Α. Χαραλαμπάκης, Εφαρμογές Υπολογιστικής Υδραυλικής, Β΄ Έκδοση, 2014

### **ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

[www.technologismiki.com](http://www.technologismiki.com)

<http://www.advancedconverter.com>

<http://www.ktimatologio.gr>

[www.google.com/earth](http://www.google.com/earth)

<http://www.pipelife.gr>

<http://technoroi.com>