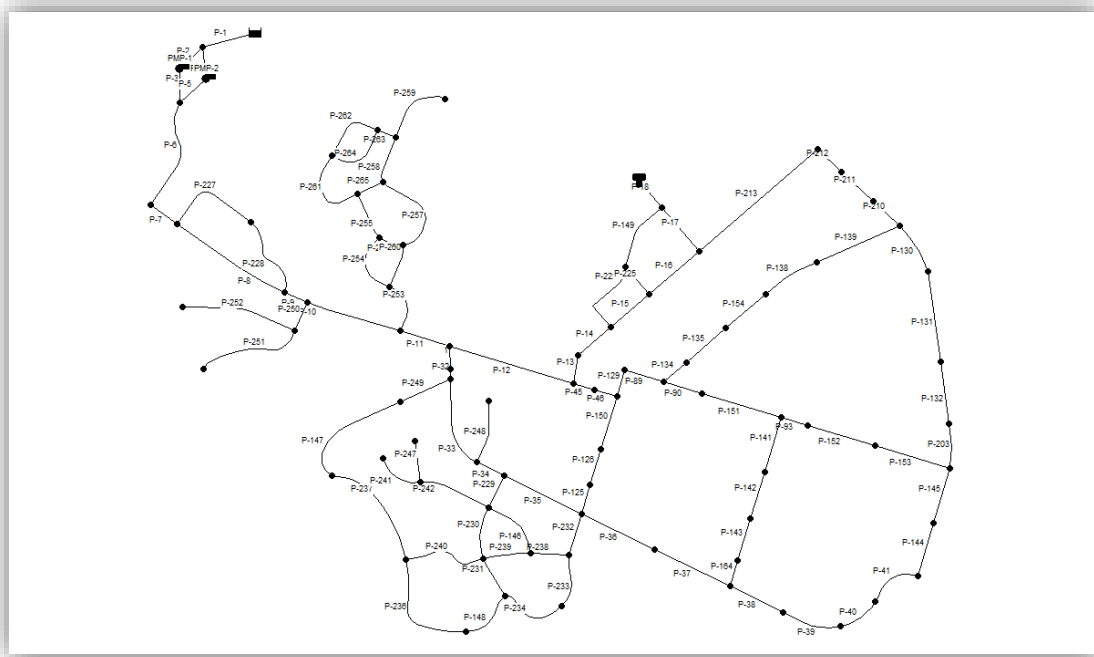


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ  
ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΥΠΟΖΩΝΩΝ  
(DMAs) ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ  
ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ ΚΩΔΙΚΑ



ΚΟΡΚΑΝΑ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ | | ΒΟΛΟΣ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2015

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δρ. ΚΑΝΑΚΟΥΔΗΣ ΒΑΣΙΛΗΣ, Αναπληρωτής Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή

ΚΑΝΑΚΟΥΔΗΣ Β.

ΚΕΡΑΜΑΡΗΣ Ε.

ΚΑΡΑΚΑΣΙΔΗΣ Θ.

.....

.....

.....

.....

**ΚΟΡΚΑΝΑ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ**

© 2015 – All rights reserved

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με το πέρας της διπλωματικής εργασίας καθώς και των προπτυχιακών σπουδών μου θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου αρχικά στον καθηγητή μου κ. Βασίλη Κανακούδη για την εμπιστοσύνη και την πίστη στις δυνατότητες μου καθώς και για την συμβολή του στην υλοποίηση αυτής της διπλωματικής εργασίας και ειδικότερα για τη βοήθεια και καθοδήγηση σε οποιοδήποτε πρόβλημα συνάντησα κατά την εκπόνησή της, καθώς και για την ευκαιρία που μου δόθηκε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο αντικείμενο διευρύνοντας τους ορίζοντες μου και προσφέροντας μου ευκαιρίες για την μετέπειτα εργασιακή μου επιτυχία.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες του ίδιου καθηγητή μου, Γκονέλα Κωνσταντίνο και Πατέλη Μενέλαο για την ουσιαστική καθοδήγηση και βοήθεια σε όποιο πρόβλημα ή απορία μου παρουσιαζόταν καθώς και τον **Μακρυσόπουλο Αλέξανδρο**, τελειόφοιτο φοιτητή του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ για την ηθική υποστήριξη και τη σημαντική αρωγή του στο «προγραμματιστικό» κομμάτι της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, **Γεώργιο Κορκανά** και **Βασιλική Κορκανά** για την υποστήριξη τους σε όλα τα έτη των σπουδών μου αλλά και την αγάπη που μου δείχνουν.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η λειτουργία των δικτύων ύδρευσης και πιο συγκεκριμένα η ρύθμιση της πίεσης μέσα σε αυτά έτσι ώστε να μειώνονται οι διαρροές – απώλειες με απώτερο σκοπό την οικονομία του νερού. Αυτό θα έχει τόσο περιβαλλοντικό όφελος μέσω της εξοικονόμησης νερού όσο και οικονομικό – χρηματικό όφελος για τους καταναλωτές αλλά και για τις ίδιες τις εταιρίες ύδρευσης.

Η ρύθμιση της πίεσης εντός των δικτύων επιτυγχάνεται αρχικά μέσω του χωρισμού του δικτύου σε μικρότερες, υδραυλικά απομονωμένες περιοχές (DMAs) για την αποτελεσματικότερη μελέτη του δικτύου τοποθετώντας βαλβίδες απομόνωσης σε συγκεκριμένους αγωγούς, που προκύπτουν μετά από επαναλήψεις στο MATLAB κάνοντας χρήση του γενετικού αλγορίθμου.

Έπειτα, έχοντας ήδη πετύχει κάποιο ποσοστό μείωσης, εντός κάθε DMA τοποθετούνται βαλβίδες μείωσης της πίεσης (PRV) επιτυγχάνοντας το μέγιστο δυνατό όφελος για κάθε δίκτυο.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

πίεση, ζήτηση, απώλειες νερού, εισερχόμενο νερό, διαρροές, δίκτυο ύδρευσης, βαλβίδες μείωσης της πίεσης (PRV), υδραυλικά απομονωμένες περιοχές (DMAs), γενετικός αλγόριθμος

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1 ΓΕΝΙΚΑ .....	7
1.2 ΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΑΠΩΛΕΙΕΣ.....	8
1.3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ.....	8
1.4 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ .....	9
1.5 ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (DMAs - District Metered Areas) .....	10
1.5.1 ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ DMA ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ .....	10
1.5.2 ΜΕΤΡΑ-ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΩΝ DMA.....	11
1.5.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΧΩΡΙΣΜΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΕ DMAs .....	11
1.6 ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ (ISOLATION VALVES) .....	12
1.7 ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ (PRESURE REDUCING VALVES - PRVs).....	13
1.8 ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ .....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΡΑΝΕΤ - MATLAB .....	15
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	15
2.2 ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ.....	18
2.3 ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΕΝΤΟΛΕΣ - ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΤΟ MATLAB .....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΠΡΟΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕ ΜΙΚΡΟ ΔΙΚΤΥΟ .....	25
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ.....	25
3.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΜΙΑ PRV ΠΟΥ ΑΝΟΙΓΟΚΛΕΙΝΕΙ.....	28
3.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΕΣ ΑΠΟ ΜΙΑ PRV.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΩΔΙΚΑ .....	33
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	33
4.2 ΠΡΟΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΚΩΔΙΚΑ ΣΤΟ MATLAB .....	34
4.2.1 ΒΗΜΑ 1: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΡΧΙΚΟΥ ΓΙΝΟΜΕΝΟΥ ΠΙΕΣΗ*ΖΗΤΗΣΗ .....	34
ΒΗΜΑ 2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ PD.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΧΡΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ .....	39
5.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ .....	39
5.2 ΠΡΩΤΗ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ .....	40
5.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ .....	42
5.2.2 ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΚΩΔΙΚΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟΥ 4.2.....	50
5.2.3 ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ Z.....	51
5.3 ΔΕΥΤΕΡΗ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ .....	52

5.3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑΣ .....	53
5.4 ΤΡΙΤΗ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ .....	55
5.4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ ΤΡΙΤΗΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑΣ.....	56
5.5 ΤΕΤΑΡΤΗ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ.....	57
5.5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑΣ .....	57
5.5.2 ΕΙΣΑΓΩΜΕΝΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ .....	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΒΑΛΒΙΔΩΝ PRV ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ .....	69
6.1 ΠΡΩΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ : 1 PRV στον αγωγό P-10.....	69
6.2 ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΕΝΑΡΙΟ : 1 PRV στον αγωγό P-89.....	71
6.3 ΤΡΙΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ : Τοποθέτηση 1 PRV στον αγωγό 1 .....	72
6.4 ΤΕΤΑΡΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ : Τοποθέτηση 1 PRV στον αγωγό P-253.....	73
6.5 ΠΕΜΠΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ : Τοποθέτηση 1 PRV στον αγωγό P-13 .....	73
6.6 ΕΚΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ : Τοποθέτηση 2 PRV στους αγωγούς P-11 και P-253 .....	74
6.7 ΕΒΔΟΜΟ ΣΕΝΑΡΙΟ : Τοποθέτηση 3 PRV στους αγωγούς 1, P-89 και P-253 .....	75
6.8 ΟΓΔΟΟ ΣΕΝΑΡΙΟ : Τοποθέτηση 4 PRV στους αγωγούς 1, P-13, P-89 και P-253 .....	76
6.9 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗ PRV ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	79
7.1 ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ .....	79
7.2 PRVs .....	80
7.3 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΟ ΝΕΡΟ.....	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	84
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΠΟΜΕΝΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ .....	86
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - ΕΝΤΟΛΕΣ.....	87
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - ΚΩΔΙΚΕΣ .....	95
ΚΩΔΙΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΝΟΜΕΝΟΥ P*D .....	95
ΚΩΔΙΚΑΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ PD .....	96
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ Z.....	100
ΚΩΔΙΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΡΧΙΚΗΣ ΤΙΜΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ Z .....	103
ΚΩΔΙΚΑΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ .....	104
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ - ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΠΙΕΣΕΩΝ .....	108
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ $\Sigma flow$ .....	111
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΜΙΑ PRV.....	114
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ - ΠΗΓΕΣ .....	115

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το νερό αποτελεί το σημαντικότερο αγαθό όλων έμβιων όντων καθώς είναι απαραίτητο συστατικό για τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη. Η διαθεσιμότητα και η ποιότητά του επηρεάζουν την υγεία και τις διάφορες δραστηριότητες των ανθρώπων καθώς και την ανάπτυξη των κοινωνιών, αφού παίζει καθοριστικό ρόλο στη βιομηχανία και κατά συνέπεια στην οικονομία τους. Δυστυχώς, όμως, τα τελευταία χρόνια λόγω των έντονων κλιματικών αλλαγών αλλά και της ραγδαίας αύξησης της ζήτησης από τον άνθρωπο αντιμετωπίζονται συνθήκες έλλειψης νερού αλλά και ξηρασίας σε πολλές περιοχές ανά τον κόσμο. Επίσης, η έντονη αυτή αύξηση της ζήτησης σε συνδυασμό με την υποβάθμιση των υδατικών πόρων εντείνουν ακόμα περισσότερο το πρόβλημα υποβαθμίζοντας σοβαρά τα οικοσυστήματα. Επήλθε, επομένως, η ανάγκη για τη λήψη μέτρων για την προστασία και ορθολογική χρήση συστημάτων ύδρευσης. Ένα από τα μέτρα στοχεύει στη διαχείριση και ελαχιστοποίηση των απωλειών εντός των δικτύων μεταφοράς και διανομής νερού.

Υπολογίζεται ότι το νερό που χάνεται μέσα στα δίκτυα ύδρευσης αγγίζει περίπου το 35% ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις φτάνει έως και 60% της ποσότητας νερού που εισέρχεται σε αυτά. Το μεγάλο πρόβλημα, ωστόσο, είναι πως οι εταιρίες ύδρευσης δεν διατίθενται να καταπολεμήσουν το πρόβλημα στη ρίζα του, καθώς η εύρεση και αποκατάσταση των σημείων απωλειών δε σημαίνει απαραίτητα και αύξηση των τιμολογίων χρέωσης, οπότε ικανοποιούνται στην επιφανειακή αντιμετώπιση των διαρροών που γίνονται αντιληπτές από τους χρήστες και στη χρήση πολυάριθμων οικονομικών πηγών που τις αντισταθμίζουν μη σκεπτόμενοι το περιβαλλοντικό κόστος λόγω του «χαμένου» νερού.

Με βάση όλα τα παραπάνω κρίνεται απαραίτητη, για τη σωστή διαχείριση των υδατικών πόρων, τόσο η σωστή διαχείριση της ζήτησης των καταναλωτών, όσο και η χρήση του κατάλληλου εξοπλισμού για το περιορισμό των απωλειών μέσα στα δίκτυα ύδρευσης, αντικείμενο, το οποίο απασχολεί την παρούσα διπλωματική εργασία.

Για να γίνει κατανοητός ο τρόπος εργασίας θα πρέπει, αρχικά να γίνει αναφορά στα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν και βοήθησαν στην επίτευξη της.

Τα δίκτυα μελετήθηκαν με τη βοήθεια του EPANET 2.0, υδραυλικό λογισμικό που χρησιμοποιείται ευρέως Διεθνώς λόγω του εύκολου χειρισμού και της άμεσης (ελεύθερης) πρόσβασης σε αυτό.

Η βελτιστοποίηση της λειτουργίας των δικτύων μείωσης της πίεσης λειτουργίας έγινε με προγραμματισμό στο λογισμικό MATLAB και με τη βοήθεια του γενετικού αλγόριθμου. Μέσω αυτού βρέθηκε ο βέλτιστος αριθμός βαλβίδων απομόνωσης. Έπειτα με κατάλληλο πρόγραμμα εντοπίστηκαν και τα σημεία τοποθέτησής τους και στη συνέχεια τα σημεία τοποθέτησης των βαλβίδων μείωσης της πίεσης.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της πολυπλοκότητας της έρευνας αλλά και της δυσκολίας χειρισμού του προγραμματισμού, αρχικά, μελετήθηκε ένα μικρό δίκτυο 10 αγωγών, ώστε να κατανοηθούν οι οποιεσδήποτε μεταβολές και να χρησιμοποιηθούν και σε μεγαλύτερα δίκτυα.

## 1.2 ΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΑΠΩΛΕΙΕΣ

Η ρύθμιση της πίεσης παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαχείριση των απωλειών νερού στα δίκτυα ύδρευσης. Ο όγκος των πραγματικών απωλειών, σύμφωνα με σύγχρονες προσεγγίσεις (IWA 2000) διαμορφώνεται από τα εξής:

- Καλή διαχείριση των σωληνώσεων και των λοιπών συσκευών
- Διαχείριση της πίεσης
- Ενεργός έλεγχος διαρροών
- Ταχύτητα και ποιότητα επισκευών

Πιο αποτελεσματική τεχνική από τις παραπάνω αποδεικνύεται η διαχείριση της πίεσης με κύρια επίδραση στη μείωση των πραγματικών απωλειών. Κάποια από τα βασικά οφέλη από τη μείωση της πίεσης και των διαρροών στα δίκτυα ύδρευσης είναι τα παρακάτω:

- Ελάττωση των θραύσεων των αγωγών, άρα και μικρότερο συνολικό κόστος εργασιών επισκευής
- Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των αγωγών
- Μείωση διαρροών που δεν ανιχνεύονται
- Μείωση διαρροών σε ενώσεις (σωλήνων, βαλβίδων κλπ.)
- Μείωση εμφάνισης μεταβατικών ροών εντός των αγωγών
- Μείωση της κατανάλωσης που εξαρτάται από την πίεση
- Μεγάλη εξοικονόμηση νερού με πολλά περιβαλλοντικά οφέλη
- Βελτίωση ποιότητας νερού
- Αύξηση αξιοπιστίας εταιρίας ύδρευσης

## 1.3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

Έχοντας κάνει σωστή διαχείριση της πίεσης σε ένα δίκτυο με δεδομένη ζήτηση (σε πίεση και παροχή) και έχοντας μειώσει όσο το δυνατόν περισσότερο τις απώλειές του, τα οφέλη που αποκομίζονται είναι πολλά και συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Μείωση λειτουργικού κόστους. Μείωση των απωλειών σημαίνει μείωση της άντλησης νερού για την κάλυψη της ζήτησης του δικτύου, η οποία παραμένει σταθερή, άρα υπάρχουν λιγότερες δαπάνες.
- Μη ύπαρξη ανάγκης επέκτασης του ήδη υπάρχοντος συστήματος. Αύξηση της ζήτησης δεν συνεπάγεται πλέον αύξηση της παροχής εισόδου στο δίκτυο.



- Ελάττωση συνολικής ποσότητας χημικών και διάφορων ουσιών για τον καθαρισμό του νερού, εξαιτίας της μείωσης όγκου αντλούμενου νερού.
- Αύξηση απόδοσης τιμολόγησης και είσπραξης χρημάτων.

Στη συνέχεια για να γίνει απολύτως κατανοητό τόσο το αντικείμενο όσο και ο σκοπός πραγματοποίησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα δοθούν διάφορες απαραίτητες και θεμελιώδεις έννοιες.

#### 1.4 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

Οι όροι που παρατίθενται παρακάτω δίνονται από τον Διεθνή Οργανισμό Νερού (International Water Association - IWA) και χρησιμοποιούνται παγκοσμίως.

- Όγκος εισόδου στο σύστημα (System Input Volume-SIV): Ο ετήσιος όγκος εισερχόμενου νερού στο δίκτυο ύδρευσης περιλαμβάνοντας κάθε δυνατό υδατικό πόρο που αξιοποιείται.
- Εξουσιοδοτημένη κατανάλωση (Authorized Consumption): Ο ετήσιος όγκος νερού, καταγεγραμμένου και μη, που λαμβάνεται από όλους τους καταχωρημένους στην εταιρία ύδρευσης χρήστες, τους πελάτες, τον προμηθευτή νερού και οποιονδήποτε εξουσιοδοτημένο από το προμηθευτή νερού για διάφορες χρήσεις.
- Απώλειες Νερού (Water Losses): Η διαφορά ανάμεσα στον όγκο εισόδου στο σύστημα και στον όγκο της εξουσιοδοτημένης κατανάλωσης. Οι απώλειες νερού διαχωρίζονται σε πραγματικές ή φυσικές και σε φαινόμενες ή εμπορικές απώλειες.
- Πραγματικές/Φυσικές Απώλειες (Real Losses): Αφορούν τους ετήσιους όγκους νερού που χάνονται στο υπό πίεση σύστημα διανομής, μέχρι το σημείο της χρήσης από τους ιδιώτες το οποίο συνήθως είναι ο μετρητής της κατανάλωσης.

Ετήσιο Εισερχόμενο Νερό στο Δίκτυο	Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση	Τιμολογούμενη Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση	Τιμολογούμενη Μετρούμενη Κατανάλωση	Μηδενικής Χρέωσης (Free Basic)
			Τιμολογούμενη μη- Μετρούμενη Κατανάλωση	Με Χρέωση Χρήσης (Recovered Revenue)
				Τιμολογούμενη χωρίς είσπραξη (Non-Recovered)
	Απώλειες Νερού	Μη- Τιμολογούμενη Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση	Μη-Τιμολογούμενη Μετρούμενη Κατανάλωση	Νερό που <u>ΔΕΝ</u> αποδίδει έσοδα μη ανταποδοτικό νερό
			Μη-Τιμολογούμενη μη-Μετρούμενη Κατανάλωση	
		Φανερές Απώλειες	Μη-Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση	
	Λάθη Μετρητών & Μετρήσεων			
	Πραγματικές Απώλειες			

Εικόνα 1. Ογκομετρικό υδατικό ισοζύγιο. Πηγή : Παρουσίαση κ. Κανακούδη [www.uth.gr](http://www.uth.gr)

- Φαινόμενες/Εμπορικές Απώλειες (Apparent Losses): Αφορούν τα λάθη στους μετρητές του συστήματος ύδρευσης, κυρίως των μετρητών των πελατών, τα λάθη επεξεργασίας των δεδομένων και την μη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση (κλοπή και παράνομη χρήση).
- Μη ανταποδοτικό νερό (Non-Revenue Water-NRW): Είναι η διαφορά ανάμεσα στον εισερχόμενο όγκο νερού στο σύστημα και της τιμολογημένης εξουσιοδοτημένης κατανάλωσης. Το μη ανταποδοτικό νερό αποτελείται από την εξουσιοδοτημένη κατανάλωση χωρίς χρέωση, τις φαινόμενες και τις πραγματικές απώλειες.

## 1.5 ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (DMAs - District Metered Areas)

Η ιδέα και η εφαρμογή των DMAs ξεκίνησε από τις αρχές της δεκαετίας του '80 από τις βρετανικές εταιρίες ύδρευσης και στόχο έχει να αναπτυχθεί σε χώρες της Ευρώπης και μεταγενέστερα της Λατινικής Αμερικής.

Ως DMA, ορίζεται μια πλήρως καθορισμένη και υδραυλικά απομονωμένη περιοχή ενός συστήματος διανομής νερού (δικτύου ύδρευσης) στην οποία μετρούνται οι ποσότητες που εισέρχονται και εξέρχονται. Ο διαχωρισμός αυτών των περιοχών γίνεται με τη χρήση των βαλβίδων απομόνωσης. Ιδανικά, κάθε DMA έχει μόνο έναν κόμβο εισαγωγής με το απαραίτητο παροχόμετρο και περιλαμβάνει συνήθως 500 έως 3000 υδρόμετρα.

Η ανάλυση των παροχών, έπειτα από την καταγραφή τους σε DMA, οδηγεί σε συμπεράσματα για το επίπεδο των διαρροών κάθε DMA και ακολούθως για την ανάγκη ή μη λήψης μέτρων για την μείωσή τους. Επιπλέον, με αυτή τη μέθοδο επιτρέπεται η σύγκριση των επιπέδων διαρροής μεταξύ των περιοχών αυτών σε ένα δίκτυο και η εκτίμηση κατά πόσο και πού είναι πιο αποδοτική η ανάληψη μέτρων διαχείρισης των απωλειών. Τέλος, με την ανάλυση αυτή επιτρέπεται η επιδιόρθωση ενός οποιουδήποτε προβλήματος σε κάθε σημείο του δικτύου χωρίς να επηρεάζονται όλοι οι καταναλωτές.

### 1.5.1 ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ DMA ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Ο λόγος ύπαρξης των DMAs είναι ο διαχωρισμός του δικτύου σε πιο μικρές και πιο εύκολα διαχειρίσιμες περιοχές όπου η παροχή μετράται με περισσότερη ακρίβεια έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν υπάρχουν διαρροές στο υπό μελέτη δίκτυο. Επιπλέον, καταγράφοντας και αναλύοντας τα δεδομένα των παροχών σε κάθε περιοχή, ο χρόνος εντοπισμού ελαττώνεται σημαντικά και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση απωλειών νερού, δεδομένου ότι ο όγκος απωλειών νερού που οφείλεται στις απώλειες ή σε θραύσεις ισούται με το ρυθμό διαρροής επί το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τη δημιουργία έως τον εντοπισμό της διαρροής. Άρα, μεγαλύτερη συχνότητα ανάλυσης δεδομένων οδηγεί σε μικρότερο όγκο νερού που χάνεται.

Πολλές εταιρίες ύδρευσης, θεωρώντας πως οι διαρροές που είναι μη ανιχνεύσιμες και μικρές, αρκούνται στην επιδιόρθωση μόνο των διαρροών που γίνονται αντιληπτές από το κοινό.

Όμως, είναι πλέον αποδεδειγμένο ότι αυτή η θεώρηση είναι λάθος. Μια μικρή αλλά μεγάλης διάρκειας διαρροή οδηγεί σε μεγαλύτερες απώλειες για το σύστημα.

### 1.5.2 ΜΕΤΡΑ-ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΩΝ DMA

- Οι μεγάλοι καταναλωτές, όπως ξενοδοχειακές μονάδες τοποθετούνται στα άκρα των DMA διατηρώντας φρέσκο το νερό στο εσωτερικό τους.
- Στην περίπτωση που δημιουργηθούν προβλήματα ποιότητας νερού πραγματοποιείται άνοιγμα των βαλβίδων αποκλεισμού και ταυτόχρονα αυξάνεται η πίεση.
- Αποφυγή πολλών κλειστών βαλβίδων απομόνωσης.
- Απαραίτητος έλεγχος για διακοπόμενη χρήση.
- Έλεγχος τήρησης κριτηρίων από τον αρχικό σχεδιασμό του δικτύου.
- Έλεγχος χαμηλής πίεσης του δικτύου.
- Τακτική συντήρηση και εξασφάλιση ακεραιότητας των συνόρων τους.

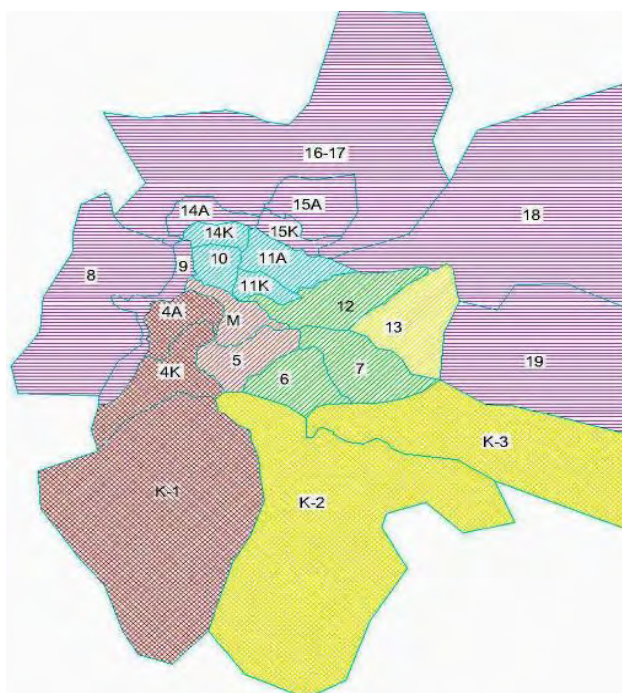
### 1.5.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΧΩΡΙΣΜΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΕ DMAs

Για να σχηματιστεί μια καλύτερη εικόνα για το πώς μπορεί να χωριστεί ένα δίκτυο σε στεγανές περιοχές παρατίθεται παρακάτω ένα πραγματικό δίκτυο ύδρευσης, το δίκτυο της Κοζάνης, όπως αυτό έχει χωριστεί σε DMAs. Αρχικά, δίνεται μια εικόνα της πόλης της Κοζάνης και των εξυπηρετούμενων άλλων οικισμών και στη συνέχεια το πώς έχει χωριστεί σε στεγανές υποζώνες.



Εικόνα 2. Χάρτης ΓΥΣ της περιοχής της Κοζάνης και των εξυπηρετούμενων οικισμών. (Πηγή: Μ. Πατέλης, 2013)

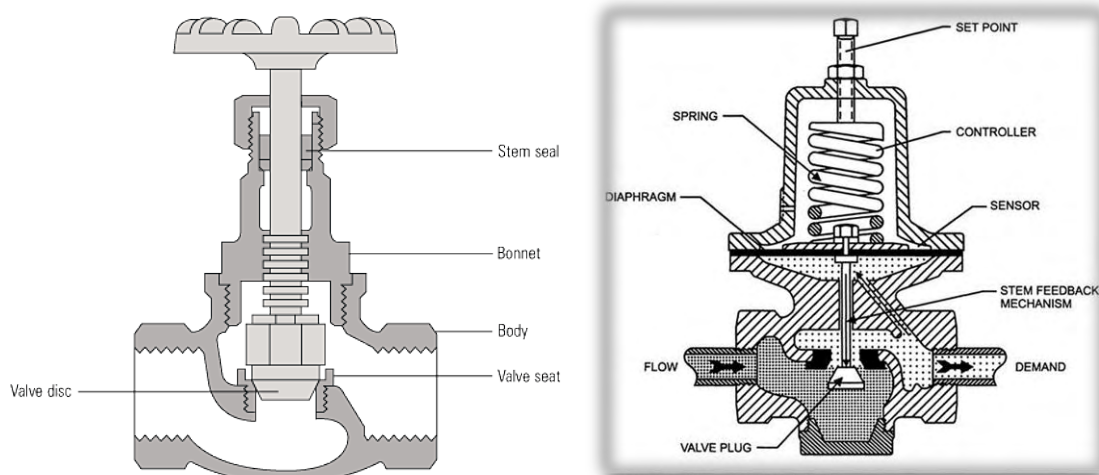




Εικόνα 3. Δίκτυο Κοζάνης χωρισμένο σε DMAs. (Πηγή: Πρόταση διαμόρφωσης ζωνών πίεσης και στεγανών υποζωνών του δικτύου της ΔΕΥΑΚ της πόλης της Κοζάνης, Μάιος 2013)

## 1.6 ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ (ISOLATION VALVES)

Βαλβίδα απομόνωσης είναι μια βαλβίδα σε ένα σύστημα χειρισμού υγρών που σταματάει τη ροή του σε μια δεδομένη τοποθεσία, συνήθως για λόγους συντήρησης ή ασφάλειας. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν λογική ροή (επιλέγοντας μία διαδρομή ροής έναντι άλλης), και για τη σύνδεση εξωτερικού εξοπλισμού σε ένα σύστημα. Μία βαλβίδα χαρακτηρίζεται ως βαλβίδα απομόνωσης εξαιτίας της επιδιωκόμενης λειτουργίας της σε ένα σύστημα και όχι λόγω της αρχιτεκτονικής της ίδιας της βαλβίδας. Ως εκ τούτου, πολλά διαφορετικά είδη βαλβίδων μπορούν να χαρακτηριστούν ως βαλβίδες απομόνωσης.



Εικόνα 4. βαλβίδα απομόνωσης-isolation valve. Πηγή [www.spiraxsarco.com](http://www.spiraxsarco.com)

Εικόνα 5. βαλβίδα ανακούφισης της πίεσης-PRV. Πηγή <http://www.watts.com/>

## 1.7 ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ (PRESURE REDUCING VALVES - PRVs)

Οι βαλβίδες μείωσης της πίεσης (PRVs) είναι συσκευές που δίνουν τη δυνατότητα μείωσης της κατάντη σε σύγκριση με την ανάντη πίεση. Πλέον υπάρχουν σε μια ευρεία ποικιλία από συσκευές απλού χειρισμού μέχρι μηχανισμούς σύνθετων ηλεκτρονικών μορφών ελέγχου. Η PRV προστατεύει τις συνδεδεμένες συσκευές από την υπερβολική πίεση. Αμέσως μόλις σημειωθεί μια υπερβολική πίεση στην έξοδο, η PRV ανοίγει και εκτονώνει την υπερπίεση έξω από τον ρυθμιστή. Υπάρχουν τρεις τύποι PRV που επιλέγονται κυρίως με βάση το κόστος της επένδυσης και την υδραυλική συμπεριφορά του δικτύου (fixed outlet prv, modulated prv (multi point control), flow modulating prv (flow based dynamic modulation))

## 1.8 ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι αποτελούν μια μέθοδο αναζήτησης βέλτιστων λύσεων σε συστήματα που μπορούν να περιγράψουν ως μαθηματικό πρόβλημα. Είναι χρήσιμοι σε προβλήματα που περιέχουν πολλές παραμέτρους/διαστάσεις και δεν υπάρχει αναλυτική μέθοδος που να μπορεί να βρει το βέλτιστο συνδυασμό τιμών για τις μεταβλητές, ώστε το υπό εξέταση σύστημα να αντιδρά όσο το δυνατόν με το επιθυμητό τρόπο.

Ο τρόπος λειτουργίας των Γενετικών Αλγορίθμων είναι εμπνευσμένος από τη βιολογία. Χρησιμοποιεί την ιδέα της εξέλιξης μέσω γενετικής μετάλλαξης, φυσικής επιλογής και διασταύρωσης. Οι τιμές για τις παραμέτρους του συστήματος πρέπει να κωδικοποιούνται με τρόπο, ώστε να αναπαρασταθούν από μια μεταβλητή που περιέχει σειρά χαρακτήρων ή δυαδικών ψηφίων (0/1). Αυτή η μεταβλητή μιμείται το γενετικό κώδικα που υπάρχει στους ζωντανούς οργανισμούς. Αρχικά, ο Γενετικός Αλγόριθμος παράγει πολλαπλά αντίγραφα της μεταβλητής/γεννητικού κώδικα, συνήθως με τυχαίες τιμές, δημιουργώντας ένα πληθυσμό λύσεων. Κάθε λύση δοκιμάζεται για το πόσο κοντά φέρνει την αντίδραση του συστήματος στην επιθυμητή, μέσω μιας συνάρτησης που δίνει το μέτρο ικανότητας της λύσης και η οποία ονομάζεται συνάρτηση ικανότητας.

Οι λύσεις που βρίσκονται πιο κοντά στην επιθυμητή, σε σχέση με τις άλλες, σύμφωνα με το μέτρο που μας δίνει η συνάρτηση, αναπαράγονται στην επόμενη γενιά λύσεων και λαμβάνουν μια τυχαία μετάλλαξη. Επαναλαμβάνοντας αυτή τη διαδικασία για αρκετές γενιές, οι τυχαίες μεταλλάξεις σε συνδυασμό με την επιβίωση και αναπαραγωγή των λύσεων που πλησιάζουν καλύτερα το επιθυμητό αποτέλεσμα θα παράγουν μια λύση που θα περιέχει τις τιμές για τις παραμέτρους που ικανοποιούν όσο καλύτερα γίνεται την συνάρτηση.

Εκτός από τον τρόπο λειτουργίας των γενετικών αλγορίθμων αναφέρονται και κάποια από τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των γενετικών αλγορίθμων είναι:

- Λύση δύσκολων προβλημάτων σχετικά γρήγορα και αξιόπιστα
- Συνεργασία με υπάρχοντα μοντέλα και συστήματα

- Εύκολα επεκτάσιμοι και εξελίξιμοι
- Δεν απαιτούν περιορισμούς στις συναρτήσεις που επεξεργάζονται
- Επιδέχονται παράλληλη υλοποίηση
- Είναι μέθοδος που κάνει ταυτόχρονα εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης και εκμετάλλευση της ήδη επεξεργασμένης πληροφορίας
- Έχουν από τη φύση τους το στοιχείο του παραλληλισμού

Αντίστοιχα τα μειονεκτήματά τους είναι τα εξής:

- Αδυναμία επίλυσης προβλημάτων με δυσεύρετη αντικειμενική συνάρτηση
- Αβεβαιότητα ως προς την εύρεση του ολικού βέλτιστου
- Μεγάλες διακυμάνσεις χρόνου εύρεσης βέλτιστου

Ζητούμενο εδώ είναι να βρεθεί η συνάρτηση αυτή, ώστε να εισαχθεί στο MATLAB και να δώσει τη λύση που απαιτείται σχετικά με τον αριθμό των αγωγών που θα τοποθετηθούν βαλβίδες απομόνωσης για να χωριστεί το δίκτυο σε DMAs.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΣΥΝΔΕΣΗ EPANET - MATLAB

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Για την υλοποίηση της εργασίας, έπρεπε αρχικά να «συνδεθούν» τα δύο προγράμματα, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν (υδραυλικό και προγραμματιστικό). Επομένως, έγινε χρήση των κατάλληλων προγραμματιστικών εντολών, με τις οποίες ουσιαστικά μεταχειρίζονται τα δίκτυα μέσα από το Matlab.

Το EPANET εκτελεί προσομοίωση σε εκτεταμένη περίοδο (extended period simulation) της υδραυλικής και της ποιότητας του νερού εντός δικτύων υπό πίεση. Ένα δίκτυο μπορεί να αποτελείται από σωλήνες, κόμβους (συμβολές σωλήνων), αντλίες, βαλβίδες και δεξαμενές αποθήκευσης ή ταμιευτήρες. Το EPANET παρακολουθεί τη ροή του νερού σε κάθε σωλήνα, την πίεση σε κάθε κόμβο, το ύψος του νερού σε κάθε δεξαμενή, και τη συγκέντρωση του σε χημικά σε όλο το δίκτυο κατά τη διάρκεια ενός multi-χρόνου προσομοίωσης. Επιπλέον, εκτός από τα χημικά, μπορούν επίσης να προσομοιωθούν η ηλικία και η πηγή του νερού.

Ωστόσο το EPANET έχει ένα μειονέκτημα το οποίο θα εντοπιστεί και παρακάτω. Δεν κάνει τη ζήτηση των κόμβων εξαρτώμενη από την πίεση (pressure dependent), άρα η ζήτηση δεν επηρεάζεται από τη ρύθμιση της πίεσης. Όμως, ήταν επιθυμητό να υπάρχει εικόνα της πίεσης σε σχέση με τη βαρύτητα κάθε κόμβου, δηλαδή με πιο απλά λόγια να γίνεται φανερό πόσο «σημαντική» είναι η παροχή νερού σε κάθε κόμβο.

Μέσω ενός οδηγού (toolkit) παρέχεται μια σειρά από λειτουργίες, που επιτρέπουν στους προγραμματιστές να προσαρμόσουν τη χρήση της υδραυλικής και της μελέτης της ποιότητας του νερού του EPANET για τις δικές τους εφαρμογές. Για τη χρήση του οδηγού θα πρέπει να έχει προηγηθεί εξοικείωση με τον τρόπο που δουλεύει το EPANET (πώς αναπαριστά ένα σωλήνα του δικτύου, το σχεδιασμό και τη λειτουργία των πληροφοριών που χρειάζεται για να πραγματοποιήσει μια προσομοίωση κλπ.)

Μια τυπική χρήση των συναρτήσεων του οδηγού (toolkit) για να αναλύσει ένα σύστημα διανομής μπορεί να μοιάζει ως εξής (οι εντολές και ο τρόπος λειτουργίας τους θα αναλυθούν παρακάτω):

1. Χρήση της εντολής ENopen. Ανοίγει το σύστημα toolkit, παράλληλα με ένα αρχείο εισόδου του EPANET (input file).
2. Χρήση των εντολών ENset\_\_\_\_. Σκοπεύουν στην αλλαγή επιλεγμένων χαρακτηριστικών του συστήματος.
3. Εκτέλεση μιας πλήρους **υδραυλικής** προσομοίωσης χρησιμοποιώντας τη λειτουργία ENSolveH (η οποία αποθηκεύει αυτόματα τα αποτελέσματα σε ένα αρχείο υδραυλικής) ή χρήση του ENopenH - ENinitH - ENrunH - ENnextH - ENcloseH,

σειρά συναρτήσεων για το βήμα μέσα στην υδραυλική προσομοίωση, έχοντας πρόσβαση στα αποτελέσματα με τη σειρά συναρτήσεων ENget\_\_\_\_.

4. Εκτέλεση μιας πλήρους προσομοίωσης **ποιότητας** του νερού χρησιμοποιώντας την εντολή ENSolveQ (η οποία αποθηκεύει αυτόματα τα αποτελέσματα της υδραυλικής και της ποιότητας των υδάτων σε ένα αρχείο εξόδου - output file) ή χρήση του ENopenQ - ENinitQ - ENrunQ - ENnextQ (ή ENstepQ) - ENcloseQ σειρά συναρτήσεων για το βήμα μέσα στην προσομοίωση της ποιότητας του νερού, έχοντας πρόσβαση στα αποτελέσματα με τη σειρά συναρτήσεων ENget\_\_\_\_.
5. Επιστροφή στο Βήμα 2 για την εκτέλεση πρόσθετων αναλύσεων ή για τη χρήση της συνάρτησης ENreport, για τη δημιουργία διαμορφωμένης έκθεσης σε αρχείο αναφοράς.
6. Καλώντας τη συνάρτηση ENclose κλείνουν όλα τα αρχεία και την απελευθερώνεται η μνήμη του συστήματος.

Για την πλήρη κατανόηση των παραπάνω θα οριστούν πρώτα τα διάφορα είδη των αρχείων και στη συνέχεια κάποιες από τις πιο βασικές εντολές (συναρτήσεις) :

#### Αρχείο εισόδου – Input file :

Το αρχείο εισόδου είναι ένα τυπικό αρχείο δεδομένων εισόδου EPANET που περιγράφει το προς ανάλυση σύστημα. Μπορεί, είτε να δημιουργηθεί εξωτερικά από την εφαρμογή που αναπτύχθηκε με το toolkit ή από την ίδια την εφαρμογή. Είναι το πρώτο όνομα του αρχείου που παρέχεται στη συνάρτηση ENopen. Καμία από τις άλλες συναρτήσεις του toolkit (εκτός από την ENepanet) δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί έως ότου ένα αρχείο εισόδου ανοίξει με την ENopen. Τα δεδομένα που σχετίζονται με το αρχείο εισόδου παραμένουν προσβάσιμα έως ότου το σύστημα toolkit κλείσει με τη συνάρτηση ENclose.

#### Αρχείο υδραυλικής – Hydraulics file :

Είναι ένα αδιαμόρφωτο δυαδικό αρχείο που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των αποτελεσμάτων μιας υδραυλικής ανάλυσης. Τα αποτελέσματα για όλες τις χρονικές περιόδους αποθηκεύονται, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που πραγματοποιούνται σε ενδιάμεσους χρόνους όταν συμβαίνουν ειδικά φαινόμενα (π.χ., άνοιγμα ή κλείσιμο αντλιών και δεξαμενών λόγω ικανοποίησης συνθηκών ελέγχου).

Κανονικά είναι ένα προσωρινό αρχείο που διαγράφεται μετά το κάλεσμα της συνάρτησης ENclose. Ωστόσο, μπορεί και να αποθηκευτεί, αν καλέσουμε τη συνάρτηση ENSavehydfile.

Ομοίως, ένα τέτοιο αρχείο που αποθηκεύτηκε νωρίτερα μπορεί να χρησιμοποιηθεί εάν η εντολή HYDRAULICS USE *filename* εμφανίζεται στην ενότητα [OPTIONS] του αρχείου εισόδου, ή αν κλέσουμε τη συνάρτηση ENusehydfile.



Όταν χρησιμοποιείται η συνάρτηση ENsolveH για να γίνει μια υδραυλική ανάλυση, τα αποτελέσματα αποθηκεύονται αυτόματα σε *Hydraulics file*. Όταν χρησιμοποιείται η σειρά των συναρτήσεων ENinitH - ENrunH - ENnextH, το saveflag για το ENinitH καθορίζει εάν τα αποτελέσματα θα αποθηκευτούν ή όχι. Η ανάγκη να αποθηκευτεί το υδραυλικό αποτέλεσμα εξαρτάται από την εφαρμογή. Πρέπει πάντα να αποθηκεύεται σε αρχείο *Hydraulics file* εφόσον ακολουθήσει ανάλυση της ποιότητας του νερού.

#### Αρχείο έκθεσης – Report file :

Το αρχείο έκθεσης είναι το δεύτερο όνομα του αρχείου που παρέχεται στη συνάρτηση ENopen (ή ENepanet). Χρησιμοποιείται για να καταγράψει όλα τα μηνύματα λάθους που εμφανίζονται όταν το αρχείο εισόδου είναι υπό επεξεργασία και για να καταγράψει όλα τα μηνύματα κατάστασης που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια μιας υδραυλικής προσομοίωσης. Επιπλέον, εάν καλεστεί η συνάρτηση ENreport η έκθεση που προκύπτει μπορεί να γραφτεί σε τέτοιο αρχείο. Η μορφή της έκθεσης ελέγχεται από το τμήμα [REPORT] του αρχείου εισόδου και από παρόμοια τμήματα που περιλαμβάνονται στη συνάρτηση ENsetreport. Μόνο τα αποτελέσματα για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα είναι γραμμένα σε αυτό το αρχείο.

Για την καταστολή της γραφής όλων των μηνυμάτων σφάλματος και προειδοποίησης στο αρχείο αναφοράς είτε καλείται η εντολή MESSAGES NO στο τμήμα του αρχείου εισόδου [REPORT] ή καλείται η εντολή ENsetreport ("MESSAGES NO") του toolkit.

Για να τροποποιηθεί μια έκθεση σε ένα διαφορετικό αρχείο από το αρχείο αναφοράς είτε καλείται η εντολή FILE filename από το τμήμα [REPORT] του αρχείου εισόδου ή καλείται η εντολή του toolkit ENsetreport ("FILE filename"), όπου filename είναι το όνομα του αρχείου.

#### Αρχείο εξόδου – Output file :

Το αρχείο εξόδου είναι ένα αδιαμόρφωτο δυαδικό αρχείο που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση αποτελεσμάτων προσομοίωσης τόσο υδραυλικής όσο και ποιότητας των υδάτων σε ομοιόμορφα διαστήματα αναφοράς. Είναι το τρίτο όνομα του αρχείου παρέχεται στη συνάρτηση ENopen. Αν μια κενή συμβολοσειρά ("" ) χρησιμοποιείται ως το όνομά του, θα χρησιμοποιηθεί ένα τυχαίο προσωρινό αρχείο. Διαφορετικά, το αρχείο εξόδου θα αποθηκευτεί μετά τη συνάρτηση ENclose. Η λειτουργία ENsaveH θα μεταφέρει υδραυλικά αποτελέσματα στο αρχείο εξόδου, εάν δεν γίνει ποιοτική ανάλυση του νερού. Χρησιμοποιώντας την εντολή ENsolveQ για την ανάλυση της ποιότητας του νερού, αυτόματα αποθηκεύει τα υδραυλικά και αποτελέσματα της ποιότητας του νερού σε αυτό το αρχείο. Αν χρησιμοποιηθεί η σειρά των συναρτήσεων ENinitQ - ENrunQ - ENnextQ για να εκτελέσει μια ανάλυση της ποιότητας του νερού, τότε τα αποτελέσματα θα είναι αποθηκευτούν μόνο αν το saveflag της ENinitQ οριστεί σε 1. Και πάλι, η ανάγκη να αποθηκευτούν τα αποτελέσματα στο αρχείο εξόδου εξαρτάται από την εφαρμογή. Αν μια διαμορφωμένη έκθεση εξόδου παράγεται με τη χρήση ENreport, τότε τα αποτελέσματα θα πρέπει να αποθηκευτούν στο αρχείο εξόδου.

## 2.2 ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

Κάθε ολοκληρωμένο δίκτυο ύδρευσης απαιτεί κάποια απαραίτητα στοιχεία για να λειτουργήσει και να διανέμει το νερό στους καταναλωτές. Παρακάτω θα αναφερθούν όλες οι συνιστώσες που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση ενός δικτύου σε κατάλληλο υδραυλικό λογισμικό (EPANET).

- **ΚΟΜΒΟΙ (JUNCTIONS)** : ορίζουν τους κόμβους διασταύρωσης αγωγών μέσα στο δίκτυο.

Μορφή : Τα χαρακτηριστικά κάθε κόμβου είναι τα εξής :

1. Ετικέτα ID
2. Υψόμετρο (m)
3. Βασική ροή ζήτησης
4. Pattern ζήτησης ID

- **TAMIEYTHPEΣ (RESERVOIRS)** : ορίζουν όλους τους κόμβους των ταμιευτήρων που περιέχονται στο δίκτυο.

Μορφή : Τα χαρακτηριστικά κάθε κόμβου είναι τα εξής :

1. Ετικέτα ID
2. Ύψος (m)
3. Pattern ύψους

- **ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ (TANKS)** : ορίζουν όλους τους κόμβους δεξαμενών του δικτύου.

Μορφή : Τα χαρακτηριστικά κάθε κόμβου είναι τα εξής :

1. Ετικέτα ID
2. Υψόμετρο βάσης (m)
3. Αρχικό επίπεδο νερού (m)
4. Ελάχιστο επίπεδο νερού (m)
5. Μέγιστο επίπεδο νερού (m)
6. Ονομαστική διάμετρος (m)
7. Ελάχιστος όγκος (cubic meters)
8. Καμπύλη όγκου

- **ΑΓΩΓΟΙ (PIPES)** : ορίζουν όλες τις συνδέσεις σωληνώσεων του δικτύου.

Μορφή : Τα χαρακτηριστικά κάθε αγωγού είναι τα εξής :

1. Ετικέτα ID
2. ID κόμβου αρχής
3. ID κόμβου τέλους
4. Μήκος (m)
5. Διάμετρος (mm)
6. Συντελεστής τραχύτητας
7. Συντελεστής απωλειών
8. Status (OPEN, CLOSED, or CV)

- **ΑΝΤΛΙΕΣ (PUMPS)** : ορίζουν όλες τις συνδέσεις αντλιών του δικτύου.  
Μορφή : Τα χαρακτηριστικά κάθε αντλίας είναι τα εξής :
  1. Ετικέτα ID
  2. ID κόμβου αρχής
  3. ID κόμβου τέλους
  4. Keyword and Value (το Keyword αποτελείται από τα εξής: power, speed, head, pattern)
  
- **ΒΑΛΒΙΔΕΣ (VALVES)** : ορίζουν όλες τις συνδέσεις βαλβίδων ελέγχου του δικτύου.  
Μορφή : Τα χαρακτηριστικά κάθε αντλίας είναι τα εξής :
  1. Ετικέτα ID
  2. ID κόμβου αρχής
  3. ID κόμβου τέλους
  4. Διάμετρος (mm)
  5. Τύπος βαλβίδας
  6. Ρύθμιση βαλβίδας
  7. Συντελεστής απωλειών

### 2.3 ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΕΝΤΟΛΕΣ – ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΤΟ MATLAB

Όπως έχει προαναφερθεί στις προηγούμενες παραγράφους, για να επιτευχθεί ο στόχος της παρούσας εργασίας έπρεπε να γίνουν γνωστές οι απαραίτητες εντολές- συναρτήσεις που θα χρησιμοποιηθούν στο Matlab για να συνταχτούν οι ζητούμενοι κώδικες. Τις συναρτήσεις αυτές τις έχει συντάξει ο κ. Ηλιάδης Δημήτριος, ο οποίος συνέδεσε και τα δύο λογισμικά που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία. Σε αυτές τις συναρτήσεις αναφέρεται η παρούσα εργασία παρακάτω όσον αφορά την περιγραφή τους και στο παράρτημα Α θα παρατίθενται ακριβώς αυτά που απαιτούνται για τη κάλεσμά τους καθώς και ο τρόπος λειτουργίας τους.

#### **ENepanet :**

Περιγραφή : Εκτελεί μια πλήρη προσομοίωση EPANET και επιστρέφει έναν κωδικό λάθους (error code).

#### **ENopen :**

Περιγραφή : Ανοίγει το Toolkit για να αναλύσει ένα συγκεκριμένο σύστημα διανομής (δίκτυο) και επιστρέφει έναν κωδικό λάθους (error code).

#### **ENclose :**

Περιγραφή : Κλείνει το σύστημα Toolkit (συμπεριλαμβανομένων όλων των αρχείων που υποβάλλονται σε επεξεργασία) και επιστρέφει έναν κωδικό λάθους (error code).

### **ENgetnodeid :**

Περιγραφή : Ανακτά το αναγνωριστικό (ID) ενός κόμβου με ένα συγκεκριμένο δείκτη (index) και επιστρέφει έναν κωδικό λάθους (error code).

### **ENgetnodevalue :**

Περιγραφή : Ανακτά την τιμή μιας συγκεκριμένης παραμέτρου συνδέσμου και επιστρέφει έναν κωδικό λάθους (error code).

Αντίστοιχα των ENgetnodeindex, ENgetnodeid, ENgetnodetype, ENgetnodevalue που αφορούν τους κόμβους του υπό δικτύου μελέτη υπάρχουν οι συναρτήσεις ENgetlinkindex, ENgetlinkid, ENgetlinktype, ENgetlinkvalue που αφορούν τις συνδέσεις (αγωγούς) του δικτύου.

Οι κωδικοί των παραμέτρων των συνδέσεων αποτελούνται από τις σταθερές:

EN_DIAMETER:	0 διάμετρος αγωγών
EN_LENGTH:	1 μήκος αγωγών
EN_ROUGHNESS:	2 συντελεστής τραχύτητας
EN_MINORLOSS:	3 συντελεστής απωλειών
EN_INITSTATUS:	4 αρχικό στάτους αγωγών (0 = closed, 1 = open)
EN_INITSETTING:	5 αρχική τραχύτητα αγωγών, αρχική ταχύτητα αντλιών, αρχική ρύθμιση βαλβίδων
EN_KBULK:	6 συντελεστής όγκου
EN_KWALL:	7 συντελεστής τοιχωμάτων
EN_FLOW:	8 ρυθμός ροής
EN_VELOCITY:	9 ταχύτητα ροής
EN_HEADLOSS:	10 ύψος απωλειών
EN_STATUS:	11 πραγματικό στάτους αγωγών (0 = closed, 1 = open)
EN_SETTING:	12 τραχύτητα αγωγών, ταχύτητα αντλιών, ρύθμιση βαλβίδων
EN_ENERGY:	13 ενέργεια που δαπανάται

Οι παράμετροι 8 έως 13 είναι τιμές που υπολογίζονται. Οι υπόλοιπες είναι παράμετροι σχεδιασμού.

Ο ρυθμός ροής είναι θετικός εάν η κατεύθυνση της ροής είναι από το καθορισμένο κόμβο έναρξης του συνδέσμου σε καθορισμένο κόμβο τέλους, αλλιώς είναι αρνητικός.

### **ENgetcount :**

Περιγραφή : Ανακτά τον αριθμό των στοιχείων του δικτύου ενός συγκεκριμένου τύπου και επιστρέφει έναν κωδικό λάθους (error code).

### **ENsetnodevalue (όμοια και για την εντολή ENsetlinkvalue) :**

Περιγραφή : Ορίζει την τιμή μιας παραμέτρου για ένα συγκεκριμένο κόμβο (σύνδεση) και επιστρέφει έναν κωδικό λάθους (error code).

### **Για την ENsetnodevalue**

EN_ELEVATION:	0 Υψόμετρο
EN_BASEDEMAND:	1 Βασική ζήτηση
EN_PATTERN:	2 pattern ζήτησης
EN_EMITTER:	3 συντελεστής
EN_INITQUAL:	4 αρχική ποιότητα
EN_SOURCEQUAL:	5 ποιότητα πηγής
EN_SOURCEPAT:	6 pattern πηγής
EN_SOURCETYPE:	7 τύπος πηγής
EN_TANKLEVEL:	8 αρχική στάθμη δεξαμενής
EN_DEMAND:	9 πραγματική ζήτηση
EN_HEAD:	10 υδραυλικό ύψος
EN_PRESSURE:	11 πίεση
EN_QUALITY:	12 ποιότητα
EN_SOURCEMASS:	13 ρυθμός ροής μάζας ανά λεπτό

Οι τύποι πηγής ταυτίζονται με τις ακόλουθες σταθερές:

EN_CONCEN	0
EN_MASS	1
EN_SETPOINT	2
EN_FLOWPACED	3

### Για την ENsetlinkvalue

EN_DIAMETER:	ο διάμετρος αγωγών
EN_LENGTH:	1 μήκος αγωγών
EN_ROUGHNESS:	2 συντελεστής τραχύτητας
EN_MINORLOSS:	3 συντελεστής απωλειών
EN_INITSTATUS:	4 αρχικό στάτους αγωγών (0 = closed, 1 = open)
EN_INITSETTING:	5 αρχική τραχύτητα αγωγών, αρχική ταχύτητα αντλιών, αρχική ρύθμιση βαλβίδων
EN_KBULK:	6 συντελεστής όγκου
EN_KWALL:	7 συντελεστής τοιχωμάτων
EN_FLOW:	8 ρυθμός ροής
EN_VELOCITY:	9 ταχύτητα ροής
EN_HEADLOSS:	10 ύψος απωλειών
EN_STATUS:	11 πραγματικό στάτους αγωγών (0 = closed, 1 = open)
EN_SETTING:	12 τραχύτητα αγωγών, ταχύτητα αντλιών, ρύθμιση βαλβίδων
EN_ENERGY:	13 ενέργεια που δαπανάται

### Σειρά συναρτήσεων : ENSolveH ENopenH ENinitH ENrunH ENnextH ENcloseH :

#### ENSolveH :

Περιγραφή : Εκτελεί μια πλήρη υδραυλική εξομοίωση με τα αποτελέσματα για όλες τις χρονικές περιόδους να εγγράφονται στο δυαδικό αρχείο Υδραυλικής.

Η ENSolveH χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει μια πλήρη υδραυλική λύση η οποία μπορεί είτε να σταθεί μόνη της είτε να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την ανάλυση της ποιότητας του νερού. Μπορεί επίσης να ακολουθείται από τις εντολές ENSaveH και ENreport για να γραφτεί μια έκθεση για τα υδραυλικά αποτελέσματα σε αρχείο αναφοράς. Δεν χρησιμοποιείται η σειρά ENopenH, ENinitH, ENrunH, ENnextH, και ENcloseH σε συνδυασμό με την εντολή ENSolveH.

### **ENopenH :**

Περιγραφή : Ανοίγει το σύστημα υδραυλικής ανάλυσης.

Η ENopenH καλείται πριν από την εκτέλεση της πρώτης υδραυλικής ανάλυσης χρησιμοποιώντας την ακολουθία ENinitH - ENrunH - ENnextH. Πολλαπλές αναλύσεις μπορούν να γίνουν πριν από την κλήση της ENcloseH για να κλείσει το σύστημα υδραυλικής ανάλυσης. Η εντολή ENopenH δεν καλείται εάν χρησιμοποιείται η ENSolveH για να εκτελεστεί μια πλήρης υδραυλική ανάλυση.

### **ENinitH :**

Περιγραφή : Αρχικοποιεί τα επίπεδα αποθήκευσης δεξαμενής, τα στάτους των συνδέσεων και τις ρυθμίσεις, και το χρόνο προσομοίωσης πριν το τρέξιμο της υδραυλικής ανάλυσης.

Η ENinitH καλείται πριν από την εκτέλεση μιας υδραυλικής ανάλυσης χρησιμοποιώντας τις ENrunH και ENnextH. Η ENopenH πρέπει να κληθεί πριν από την κλήση της ENinitH. Η εντολή ENinitH δεν καλείται εάν χρησιμοποιείται η ENSolveH για να εκτελεστεί μια πλήρης υδραυλική ανάλυση.

### **ENrunH :**

Περιγραφή : Εκτελεί υδραυλική ανάλυση για μια μόνο περίοδο, ανακτώντας τον τρέχον χρόνο προσομοίωσης t.

Η ENrunH χρησιμοποιείται μαζί με την εντολή ENnextH σε ένα do ... while loop για να αναλύσει τα υδραυλικά συστήματα σε κάθε περίοδο μιας προσομοίωσης εκτεταμένου χρόνου. Αυτή η διαδικασία ενημερώνει αυτόματα το χρόνο προσομοίωσης, έτσι το t αντιμετωπίζεται ως μεταβλητή μόνο για ανάγνωση. Η ENinitH πρέπει να κληθεί πριν από την εκτέλεση του ENrunH – ENnextH loop.

### **ENnextH :**

Περιγραφή : Καθορίζει το χρονικό διάστημα μέχρι να πραγματοποιηθεί το επόμενο υδραυλικό «συμβάν» σε μια παρατεταμένη περίοδο προσομοίωσης.

Αυτή η συνάρτηση χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την ENrunH για να εκτελέσει υδραυλική ανάλυση σε ένα εκτεταμένο χρονικό διάστημα. Η τιμή των t step θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως μεταβλητή μόνο για ανάγνωση. Υπολογίζεται αυτόματα ως το μικρότερο από:

το χρονικό διάστημα μέχρι να ξεκινήσει το επόμενο υδραυλικό χρονικό βήμα

το χρονικό διάστημα μέχρι να ξεκινήσει το επόμενο βήμα αναφοράς

το χρονικό διάστημα μέχρι να πραγματοποιηθεί η επόμενη αλλαγή στη ζήτηση

το χρονικό διάστημα μέχρι η δεξαμενή να είναι πλήρης ή άδεια

το χρονικό διάστημα μέχρι έναν έλεγχο ή κανόνα πυρκαγιάς

### **ENcloseH :**

Περιγραφή : Κλείνει το υδραυλικό σύστημα ανάλυσης, απελευθερώνοντας όλη εκχωρημένη μνήμη.

Η ENcloseH καλείται αφότου έχουν γίνει οι υδραυλικές αναλύσεις με τη σειρά των συναρτήσεων ENinitH - ENrunH - ENnextH. Η εντολή ENcloseH δεν καλείται εάν χρησιμοποιείται η ENSolveH για να εκτελεστεί μια πλήρης υδραυλική ανάλυση.

Επίσης για την ανάλυση ποιότητας νερού υπάρχει και η εξής σειρά συναρτήσεων : ENSolveQ ENopenQ ENinitQ ENrunQ ENnextQ ENcloseQ με την οποία όμως δεν θα ασχοληθούμε οπότε δεν θα αναλυθούν.

Τέλος απαραίτητες συναρτήσεις είναι οι ENMatlabSetup, ENMatlabCleanup(), EN\_CONSTANT.

Με την EN\_CONSTANT αποκτούμε πρόσβαση στις σταθερές παραμέτρους του EPANET (χρησιμοποιείται πάντα στην αρχή κάθε αρχείου-κώδικα).

Με την ENMatlabSetup ανοίγει η βιβλιοθήκη του EPANET.

Και με την ENMatlabCleanup() κλείνει η βιβλιοθήκη του EPANET και αποφορτώνεται από το Matlab (χρησιμοποιείται στο τέλος του κώδικα).

*\*\*\*ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Πιο αναλυτική περιγραφή των εντολών αλλά και μεγαλύτερος αριθμός εντολών βρίσκονται στο παράρτημα Α.*

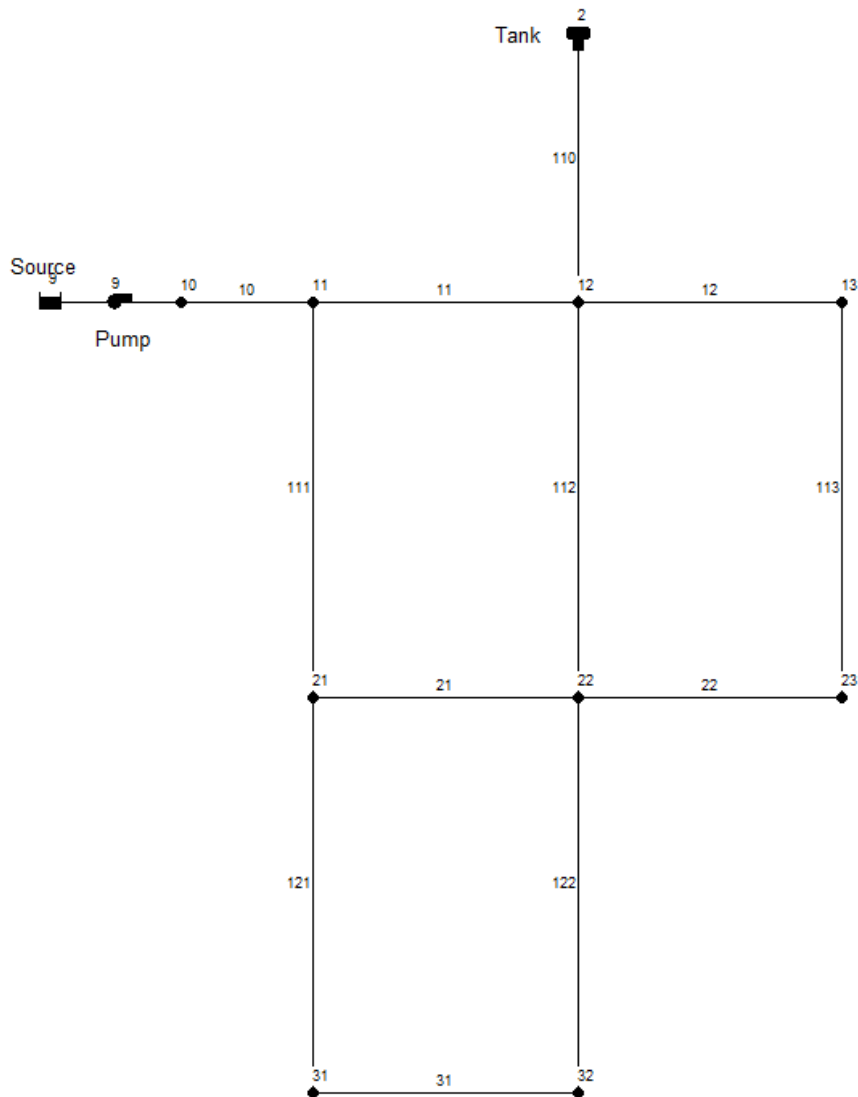


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΠΡΟΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕ ΜΙΚΡΟ ΔΙΚΤΥΟ

### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ

Έχοντας εισάγει όλες τις απαραίτητες βάσεις για την κατανόηση του αντικειμένου, η μελέτη ξεκινά από ένα μικρό δίκτυο 12 αγωγών, στο οποίο έγινε η εξοικείωση με τα δύο προγράμματα που χρησιμοποιούνται. Το δίκτυο ήταν το εξής:

Όπως φαίνεται στην εικόνα 6 το δίκτυο αυτό αποτελείται από μια δεξαμενή (node tank 2), μια πηγή (node reservoir 9), μια αντλία (node pump 9), 12 αγωγούς και 9 κόμβους. Δίπλα σε κάθε αγωγό και κόμβο είναι γραμμένα τα ID τους, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στα προγράμματα του Matlab.



Εικόνα 6. Δίκτυο προεργασίας

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί πως η επιλογή του εν λόγω δικτύου δεν ήταν τυχαία. Παρά το γεγονός ότι το μέγεθός του δεν είναι αντιπροσωπευτικό ενός πραγματικού δικτύου (όμως εξαιτίας του μικρού μεγέθους του ήταν πιο εύκολο στη διαχείριση και τον υπολογισμό οποιονδήποτε μεγεθών κατά συνέπεια και την εκμάθηση της εργασίας στα δύο λογισμικά), ο σχηματισμός των κόμβων του και η τοποθέτηση των συνιστωσών του δίνουν μια αρκετά καλή εικόνα για το πώς λειτουργούν τα δίκτυα διανομής νερού γενικά. Επίσης διαθέτει όλα τα απαραίτητα στοιχεία που υπάρχουν στα δίκτυα (κόμβους, αγωγούς, δεξαμενή, πηγή και βρόγχους).

Για παράδειγμα, παρατίθεται παρακάτω ο κώδικας που συντάχθηκε για τον υπολογισμό του γραφήματος της πίεσης των κόμβων 11, 12, 13 του δικτύου:

```
%Gia na exeis prosvbasi stis "Statheres Parametrous" tou EPANET (tha
%fortothoun meta to ENMatlabSetup)
global EN_CONSTANT

%ANOIKSE TIN LIBRARY TOU EPANET
[errcode]=ENMatlabSetup('epanet2','epanet2.h');
if (errcode==0), disp('Epanet is now loaded'); end

%ANOIKSE TO NETWORK 1
[errcode] = ENopen('Net1.inp', 'Net1.rpt', 'Net1.bin');
if (errcode==0), disp('Net1 is now open'); end

%OPEN HYDRAULICS ANALYSIS
[errcode] = ENopenH();
%INITIALIZE TIME TO 1
[errcode] = ENinitH(1);
[errcode index(1)]=ENgetnodeindex('11');
[errcode index(2)]=ENgetnodeindex('12');
[errcode index(3)]=ENgetnodeindex('13');
paramcode=EN_CONSTANT.EN_PRESSURE; %same as paramcode=11;
Pressure=[0 0]; %initialize the Pressure vector with any value

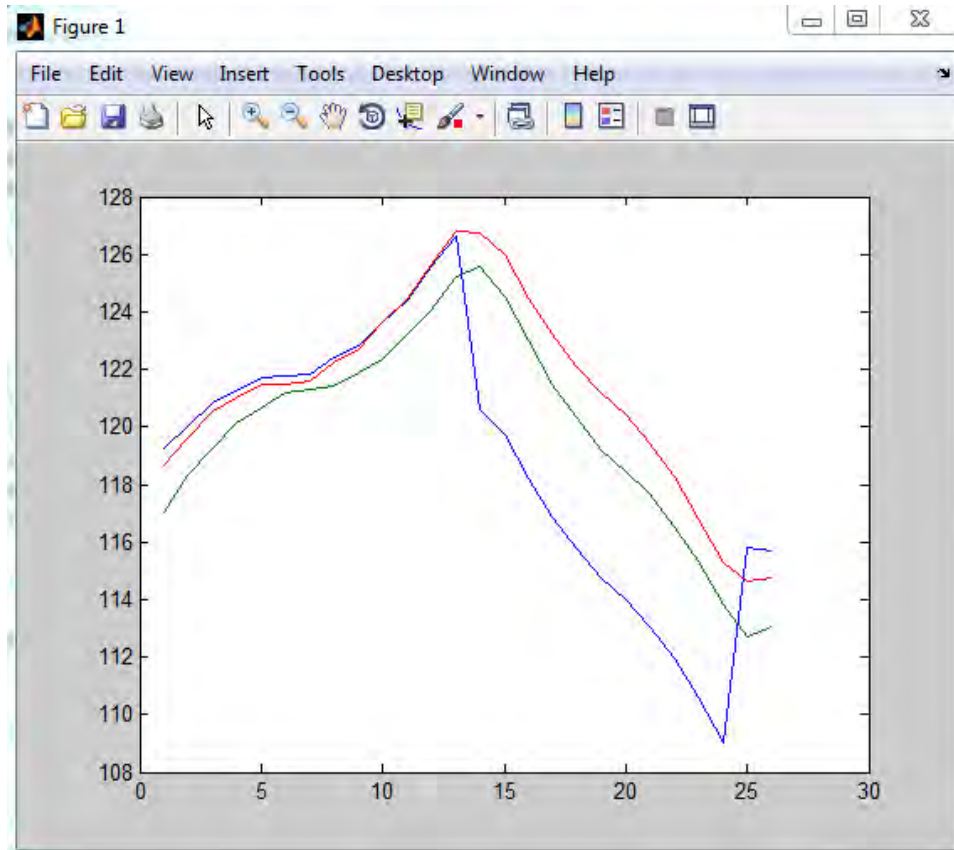
%REPEAT UNTIL SIMULATION FINISHES
k=1;
[errcode,step] = ENnextH();%GO TO THE FIRST TIME STEP
while(step > 0 && errcode == 0)
    [errcode,t] = ENrunH(); %run hydraulic analysis for a single step
    [errcode,step] = ENnextH(); % go to the next hydraulic step
    for i=1:length(index)
        [errcode, Pressure(k,i)] = ENgetnodevalue(index(i), paramcode); % GET
PRESSURE (paramcode=11)
    end
    k=k+1; %increase time step for Pressure vector.
end;
[errcode] = ENcloseH(); %close hydraulic analysis

%KLEISE TO NETWORK 1
ENclose();
disp('Network is closed');
%KLEISE TIN VIVLIOTHIKI TOU EPANET
ENMatlabCleanup();
disp('Epanet is unload');
```

plot(Pressure)

\*\*\*Σημείωση: τα σχόλια στους κώδικες με το πράσινο χρώμα, γράφονται σε greeklish, διότι το matlab δεν διαβάζει ελληνικούς χαρακτήρες.

Το πρόγραμμα αυτό βγάζει ως αποτέλεσμα, μετά το «τρέξιμο», το διάγραμμα παρακάτω:



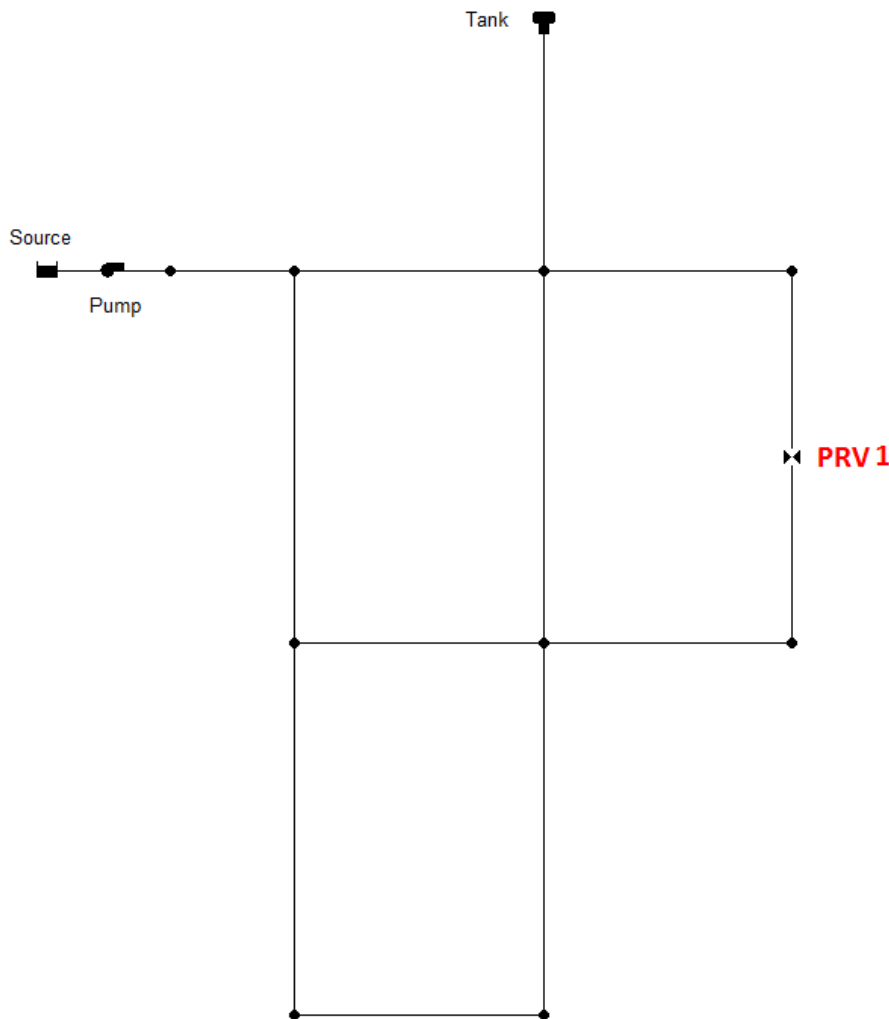
Εικόνα 7. διάγραμμα πίεσης κόμβων 11, 12, 13 του δικτύου προεργασίας

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται και η ταχύτητα ροής σε αγωγούς. Στη συνέχεια εισάχθηκαν στο δίκτυο και κάποιες PRV. Αρχικά, άλλαζε μόνο το στάτους τους (ανοιχτές-κλειστές-δεν λειτουργούν) και στη συνέχεια μπήκαν και ρυθμίσεις των πιέσεων με σκοπό να ελεγχθεί σε ποια από όλες τις περιπτώσεις θα επιτυγχανόταν η ελάχιστη πίεση σε όλο το δίκτυο με σκοπό, όταν χωριστεί το δίκτυο μελέτης σε DMAs να μπου και εκεί PRVs και να επιτευχθεί ακόμα καλύτερη ρύθμιση της πίεσης στο δίκτυο.

Θα πρέπει όμως να αναφερθεί πως, λόγω του μεγέθους του δικτύου αλλά και της διάταξης των στοιχείων του, οι διακυμάνσεις της πίεσης μέσα σε αυτό ήταν αμελητέες όπως επίσης είναι προφανές πως και από οικονομικής απόψεως είναι ασύμφορη η τοποθέτηση βαλβίδων σε ένα τόσο μικρό δίκτυο αλλά και ο χωρισμός του σε DMAs. Οπότε, το εν λόγω δίκτυο χρησιμοποιήθηκε μόνο για την εκμάθηση της χρήσης των εντολών και τη γραφή των κωδικών στο περιβάλλον του Matlab. Κάποιοι από τους βασικούς κώδικες εξηγούνται στις επόμενες παραγράφους.

### 3.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΜΙΑ PRV ΠΟΥ ΑΝΟΙΓΟΚΛΕΙΝΕΙ

Έχοντας δουλέψει τα βασικά στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω, η εργασία εισχωρεί σε πιο σύνθετες έννοιες και λειτουργίες όπως οι PRVs. Αρχικά εισήχθη στο μικρό δίκτυο μια μόνο PRV που φαίνεται στην εικόνα 8 παραπάνω και εξετάστηκε η οποιαδήποτε επιρροή ασκούταν στο δίκτυο με κάθε άνοιγμα, κλείσιμο (απομόνωση), ή ρύθμισή της. Ο κώδικας που συντάχθηκε φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 8. Διαμόρφωση δικτύου με μια PRV

```
clc
clear
```

```
%Gia na exeis prosvbasi stis "Statheres Parametrous" tou EPANET (tha
%fortothoun meta to ENMatlabSetup)
global EN_CONSTANT
```

```
%ANOIKSE TIN LIBRARY TOU EPANET
[errcode]=ENMatlabSetup('epanet2','epanet2.h');
if (errcode==0), disp('Epanet is now loaded'); end
```

```
%ANOIKSE TO NETWORK 1
[errcode] = ENopen('Net1.inp', 'Net1.rpt', 'Net1.bin');
```

```
if (errcode==0), disp('Net1 is now open'); end

[errcode pipeIndex(1)]=ENgetlinkindex('1');
status=[0,1];
l=0;
for ii=status
    l=ii+1;
    k=1;
    %OPEN HYDRAULICS ANALYSIS
    [errcode]=ENopenH();
    %INITIALIZE TIME TO 1
    [errcode]=ENnith(1);
    for j=1:length(pipeIndex)
        [errcode]=ENsetlinkvalue(pipeIndex(j), 11, ii);
    end
    %REPEAT UNTIL SIMULATION FINISHES
    %GO TO THE FIRST TIME STEP
    [errcode,step]=ENnextH(); %run hydraulic analysis for a single step
    while (step>0 && errcode==0);
        [errcode,t]=ENrunH();
        [errcode,step]=ENnextH();
        for i=1:9 ; % for all the 9 nodes
            [errcode,pressure(k,i)]=ENgetnodevalue(i,11); %% PRESSURE=11
        end
        k=k+1; %increase time step for Pressure vector.
    end;
    disp(ii)
    sum(sum(pressure))
    x(l)=sum(sum(pressure));
    clear pressure;
    [errcode]=ENCloseH(); %close hydraulic analysis
end
[errcode pipeIndex]=ENgetlinkindex('113');
setting=[30,60];
for ii= setting
    l=l+1;
    k=1;
    %OPEN HYDRAULICS ANALYSIS
    [errcode] = ENopenH();
    %INITIALIZE TIME TO 1
    [errcode] = ENnith(1);
    [errcode] = ENsetlinkvalue(pipeIndex, 12, ii);
    %REPEAT UNTIL SIMULATION FINISHES

    [errcode,step] = ENnextH();%GO TO THE FIRST TIME STEP
    while(step > 0 && errcode == 0)
        [errcode,t] = ENrunH(); %run hydraulic analysis for a single step
        [errcode,step] = ENnextH(); % go to the next hydraulic step
        for i=1:9 % for all the 9 nodes
            [errcode, pressure(k,i)] = ENgetnodevalue(i, 11); %% PRESSURE=11
        end
        k=k+1; %increase time step for Pressure vector.
    end;
    disp(ii)
    sum(sum(pressure))
    x(l)=sum(sum(pressure));
    clear pressure;
    [errcode] = ENCloseH(); %close hydraulic analysis
end
%SHOW MIN PRESSURE
```

```
a=find(x==(min(x)));
disp(a)

switch a
    case 1
        fprintf('H elaxisti plesh sto diktuo einai otan h PRV einai kleisth kai
einai %f.\n', min(x));
    case 2
        fprintf('H elaxisti plesh sto diktuo einai otan h PRV einai anoixth kai
einai %f.\n', min(x));
    case 3
        fprintf('H elaxisti plesh sto diktuo einai otan h PRV einai sta 30 kai
einai %f.\n', min(x));
    case 4
        fprintf('H elaxisti plesh sto diktuo einai otan h PRV einai sta 60 kai
einai %f.\n', min(x));
    otherwise
        fprintf('Den uparxei veltisth lush %f.\n', min(x));
end
ENclose(); %KLEISE TO NETWORK 1
disp('Network is now closed')
ENMatlabCleanup(); %KLEISE TIN VIVLIOTHIKI TOU EPANET
disp('Epanet is unload')
```

Τρέχοντας τον παραπάνω κώδικα λαμβάνονται τα εξής αποτελέσματα:

- Η συνολική πίεση του δικτύου για στάτους PRV ανοιχτή
- Η συνολική πίεση του δικτύου για στάτους PRV κλειστή
- Η συνολική πίεση του δικτύου για ρύθμιση της PRV στα 30 psi
- Η συνολική πίεση του δικτύου για ρύθμιση της PRV στα 60 psi

\*\*\* 1 round per square inch (psi) = 6.89475729 kilopascals (kPa)

- Η περίπτωση με την ελάχιστη πίεση του δικτύου

Epanet is now loaded

Net1 is now open

0

ans = 2.7994e+04

1

ans = 2.8004e+04

30

ans = 2.7977e+04

60

ans = 2.7987e+04

3

Η elaxisti plesh sto diktuo einai otan h PRV einai sta 30 kai einai 27976.583984.

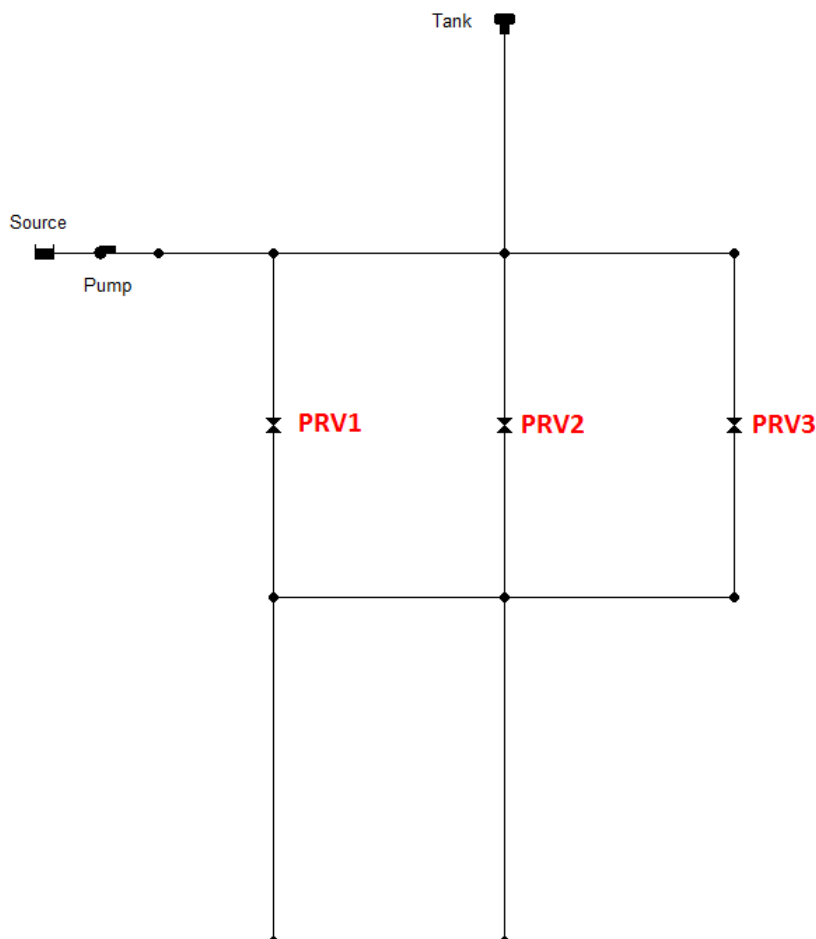
Network is now closed

Epanet is unload

Από τα παραπάνω, γίνεται κατανοητό ότι η εισαγωγή μιας PRV ακόμα και σε μικρό δίκτυο μπορεί να επιφέρει μια μείωση της πίεσης σε αυτό.

### 3.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΕΣ ΑΠΟ ΜΙΑ PRV

Η τελευταία εργασία που πραγματοποιήθηκε στο μικρό δίκτυο που μελετήθηκε αρχικά ήταν η τοποθέτηση περισσότερων βαλβίδων εκτόνωσης της πίεσης. Το ζητούμενο ήταν η γραφή κώδικα, με τον οποίο θα μπορούσαν να ανοιγοκλείνουν όλες οι PRV διαδοχικά.



Εικόνα 9. Δίκτυο με τρεις PRV σε τυχαίους αγωγούς που δεν είναι διαδοχικοί

Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί πως κλειστή PRV σημαίνει τον αποκλεισμό του νερού από τον αγωγό στον οποίο είναι τοποθετημένη, λειτουργεί, δηλαδή, σαν βαλβίδα απομόνωσης, ενώ ανοιχτή PRV σημαίνει πως το νερό περνά κανονικά από το συγκεκριμένο αγωγό.

Άλλη μια παρατήρηση είναι πως το υδραυλικό λογισμικό (EPANET) δεν επιτρέπει την τοποθέτηση PRV σε διαδοχικούς αγωγούς (αγωγούς με κοινούς κόμβους) οπότε για την περάτωση του εν λόγω ζητήματος τοποθετήθηκαν ενδεικτικά τρεις PRV σε τυχαίους αγωγούς, όπως φαίνεται στην εικόνα 9.

Για το δίκτυο αυτό δημιουργήθηκε κώδικας, με τον οποίο υπολογίστηκε ποια από τις τρεις βαλβίδες επέφερε καλύτερο αποτέλεσμα με την τοποθέτησή της. Να σημειωθεί, βέβαια, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω ότι εξαιτίας του μικρού μεγέθους του δικτύου αλλά και της διάταξης των συνιστωσών του τα αποτελέσματά μας έχουν αμελητέες διαφορές και σε κάποιες περιπτώσεις δεν είναι και τα αναμενόμενα. Η διάταξη του δικτύου είναι τέτοια που επιτρέπει στο νερό να έχει πολλές επιλογές για το δρόμο που θα ακολουθήσει (όπως είναι γνωστό ακολουθεί πάντα τη «διαδρομή» με την ελάχιστη δυνατή ενέργεια-άρα με τη διάταξη που έχουμε εδώ, με τις πολλές διεξόδους του νερού, θα απέφευγε τη διαδρομή που περιλαμβάνει PRV) για να φτάσει σε κάθε κόμβο. Η κάθε PRV «δυσκολεύει» τη διαδρομή του, οπότε αυτό επιλέγει να ακολουθήσει κάποια άλλη (εφόσον δύναται).

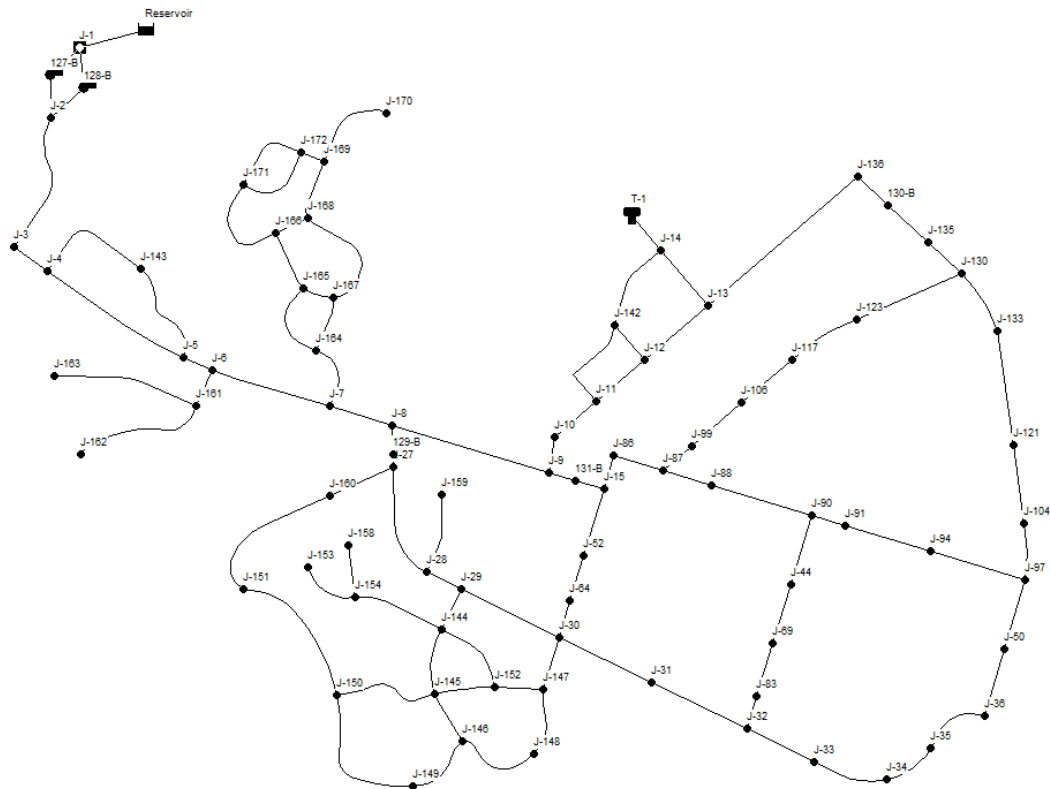
Ο κώδικας που δημιουργήθηκε για το ζητούμενο αυτό δεν κρίθηκε σκόπιμο να παρατεθεί, καθώς δε εξάγει κάποιο ιδιαίτερο αποτέλεσμα και δεν χρειάζεται.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΩΔΙΚΑ

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

Έχοντας εξοικειωθεί πλέον με τα λογισμικά που θα χρησιμοποιηθούν αλλά και τον προγραμματισμό, το επόμενο βήμα ήταν η μελέτη ενός μεγαλύτερου, πιο ρεαλιστικού και πιο σύνθετου δικτύου. Το δίκτυο αυτό φαίνεται στην εικόνα παρακάτω.



Εικόνα 10. Δίκτυο μελέτης

Όπως φαίνεται στην εικόνα 10, το δίκτυο διαθέτει έναν ταμιευτήρα από τον οποίο εισάγεται νερό στο σύστημα (reservoir), δύο αντλίες (boosters) με τις οποίες το νερό αποκτά την ταχύτητα που χρειάζεται για να μπορεί να εξυπηρετήσει όλους τους κόμβους του δικτύου, μια δεξαμενή όπου αποθηκεύεται νερό και τους αγωγούς με τους κόμβους αρχής και τέλους τους. Η διαφορά σε σχέση με το προηγούμενο, μικρό δίκτυο είναι κυρίως το μέγεθος, καθώς η όποια εργασία πραγματοποιήθηκε, έπρεπε να ελεγχθεί σε σχέση με τη δυνατότητα εφαρμογής της σε δίκτυα όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πραγματικότητα, με ικανά μεγέθη και πλήθη αγωγών.

Ζητούμενο είναι, στο συγκεκριμένο δίκτυο, αφού υπολογίστηκαν κάποια αρχικά μεγέθη, όπως η πίεσή του, χωρίς καμία επέμβαση, να χωριστεί σε DMAs με την τοποθέτηση

βαλβίδων απομόνωσης σε κάποιους αγωγούς του και στη συνέχεια ο έλεγχος της πίεσης σε κάθε DMA με την τοποθέτηση βαλβίδων PRV.

Ο διαχωρισμός, όμως θα πρέπει να γίνει με το βέλτιστο δυνατό τρόπο, με σκοπό την επίτευξη σημαντικής μείωσης της πίεσης (μέγιστη δυνατή μείωση με στόχο την ελαχιστοποίηση των διαρροών από τους αγωγούς του) πριν ακόμα τοποθετηθούν οι PRV. Έχοντας χωρίσει το δίκτυο σε απομονωμένες περιοχές (συνήθως με μία μοναδική είσοδο και έξοδο νερού σε αυτή) υπάρχει καλύτερος έλεγχος των διαρροών αλλά και ολόκληρου του δικτύου, δεδομένου ότι υπάρχει και δυνατότητα επισκευής βλαβών σε κάποια περιοχή χωρίς να επηρεάζεται όλο το δίκτυο και οι καταναλωτές που είναι απομακρυσμένοι από την περιοχή της εκάστοτε βλάβης.

Για το διαχωρισμό σε DMAs, έγινε επεξεργασία στο matlab τόσο με τη δημιουργία κώδικα που υποδεικνυε σε ποιους αγωγούς τοποθετούνται βαλβίδες απομόνωσης όσο και με το γενετικό αλγόριθμο που εξάγει τον αριθμό των αγωγών που κλείνουν αλλά και την ταυτότητά τους. Οι δύο αυτοί τρόποι θα αναλυθούν παρακάτω βήμα προς βήμα με τελικό σκοπό να μπορέσουν να εφαρμοστούν γενικά, σε οποιοδήποτε δίκτυο ύδρευσης.

## 4.2 ΠΡΟΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΚΩΔΙΚΑ ΣΤΟ MATLAB

### 4.2.1 ΒΗΜΑ 1: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΡΧΙΚΟΥ ΓΙΝΟΜΕΝΟΥ ΠΙΕΣΗ\*ΖΗΤΗΣΗ

Ξεκινώντας τη μελέτη του δικτύου και για να υπάρχει κριτήριο σύγκρισης και αξιολόγησης του τελικού αποτελέσματος αρχικά δημιουργήθηκε ένας κώδικας, με τη βοήθεια του οποίου διαβάζονταν οι τιμές της πίεσης και της ζήτησης του εκάστοτε κόμβου από το EPANET και χρησιμοποιήθηκαν για να βρεθεί το γινόμενο Πίεση\*Ζήτηση ολόκληρου του δικτύου που μελετάται για όλο το 24ωρο (στο εξής θα αναφέρεται ως PD). Υπολογίσαμε το συγκεκριμένο γινόμενο, γιατί όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2 (παρ. 2.1) το epanet δεν συσχετίζει τη ζήτηση των κόμβων του δικτύου με την πίεση και στόχος ήταν να δοθεί με κάποιον τρόπο η βαρύτητα κάθε κόμβου για να εξαχθούν καλύτερα αποτελέσματα. Η ίδια εργασία, ωστόσο, έγινε και με χρήση του αθροίσματος της πίεσης μόνο και οδηγούσε και ταυτόσημα αποτελέσματα, οπότε επιλέχθηκε η ανάλυση του ενός τρόπου.

Επίσης να αναφερθεί πως, σε κάθε παράγραφο που θα αναφέρεται κάποιος κώδικας, θα παρατίθεται μόνο το τμήμα του, το οποίο υπολογίζει το ζητούμενο. Οι ολοκληρωμένοι κώδικες θα παρατίθενται στο παράρτημα Β.

Το αποτέλεσμα που λήφθηκε από τον εν λόγω κώδικα ήταν **PD=1569900 psi\*gpm**. Ο κώδικας που συντάχθηκε ήταν ο παρακάτω:

```
[errcode]=ENopenH();%OPEN HYDRAULICS ANALYSIS
[errcode]=ENinitH(1);%INITIALIZE TIME TO 1
k=1;
[errcode,step]=ENnextH();
while (step>0 && errcode==0);
    [errcode,t]=ENrunH();
    [errcode,step]=ENnextH();
```

```
for i=2:81 ;% for all the 80 nodes
    [errcode,pressure(k,i)]=ENgetnodevalue(i,11); %%PRESSURE=11
    [errcode,demand(k,i)]=ENgetnodevalue(i,9); %% DEMAND=9
    pd(k,i)=pressure(k,i)*demand(k,i);
end
    k=k+1;%increase time step for Pressure vector.
end

sum(sum(pd))
[errcode]=ENcloseH(); %close hydraulic analysis
```

Τελειώνοντας τον υπολογισμό του αρχικού γινομένου της (σταθερής) ζήτησης επί την πίεση έχει ολοκληρωθεί το πρώτο βήμα της μελέτης. Δεύτερο βήμα ήταν η σύνταξη του κώδικα για την τοποθέτηση των βαλβίδων απομόνωσης.

## ΒΗΜΑ 2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ PD

Αφού βρέθηκε το αρχικό PD, το επόμενο βήμα ήταν να μπουν βαλβίδες απομόνωσης σε κάποιους από τους αγωγούς του δικτύου ώστε, πρώτον να μειωθεί το γινόμενο PD και δεύτερον να μπορέσει να χωριστεί το δίκτυο μας σε DMAs, (υδραυλικά απομονωμένες περιοχές).

Ο κώδικας που θα συνταχθεί κάνει επαναλήψεις κλείνοντας κάθε φορά έναν αγωγό και υπολογίζοντας το γινόμενο PD. Ο αγωγός που κλείνεται τελικά σε κάθε επανάληψη είναι και αυτός που προκαλεί τη μέγιστη μείωση πίεσης. Σε κάθε επόμενη επανάληψη κρατά κλειστούς τους προηγούμενους αγωγούς (αυτόν με το μικρότερο PD κάθε φορά) και συνεχίζει στους επόμενους έως ότου το PD να σταματήσει να μειώνεται περαιτέρω.

Να σημειωθεί ότι επιλέχθηκε να κλείνουν ένας-ένας οι αγωγοί για να επιτευχθεί όσο το δυνατόν μικρότερος υπολογιστικός χρόνος. Έγινε επίσης δοκιμή να κλείνουν συνδυασμοί, ώστε να επιτευχθεί το αποτέλεσμα με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια, ωστόσο αυτό (που γινόταν με υπάρχοντα κώδικα – combinator) απαιτούσε από ώρες έως και μέρες και δεδομένου ότι το δίκτυό μας είναι σχετικά μικρό σε μεγαλύτερα δίκτυα θα ήταν σχετικά αδύνατο να επιτευχθεί.

Επίσης, το πρόγραμμα κλείνει 14 αγωγούς από τους οποίους μόνο οι 8 θα κλείσουν τελικά, διότι από τον όγδοο και έπειτα η μείωση είναι αμελητέα και κρίθηκε αντιοικονομικό το κλείσιμό τους.

Ο κώδικας που συντάχθηκε και τα αποτελέσματά μας είναι τα παρακάτω:

```
p1=combinator(m,1,'c');%sunduasmoi agvgvn ana 1
c=size(p1,1);
pressure=[0 0];

....
for h=1:m;
    s=0;
    s1=0;
    if h>1;
        clear z;
```

```
xc=size(B,2);
for i=1:xc-1
    if B(i)<B(xc);
        s=s+1;
    end
end
for i=1:xc-1
    if B(i)>B(xc);
        s1=s1+1;
    end
end
if s>0;
    N(h-1)=x1(B(xc)-s);
    x1(B(xc)-s)=[];
elseif s1==xc-1
    N(h-1)=x1(B(xc));
    x1(B(xc))=[];
else
    N(h-1)=x1(B(xc)-(xc-1));
    x1(B(xc)-(xc-1))=[];
end
c=size(x1,2);
disp(x1)
disp(N)
end
for j=1:c;
[errcode]=ENinitH(1);%INITIALIZE TIME TO 1
if h>1;
    for i=1:h-1 %Kleinei tous agwgous pou vrhkame oti prepei n einai
kleistoi
        [errcode]=ENsetlinkvalue(pipeIndex(N(i)), 11, 0);
    end
end
k=1;
if h>1
    [errcode]=ENsetlinkvalue(pipeIndex(x1(j)), 11, 0);
else
    [errcode]=ENsetlinkvalue(pipeIndex(p1(j,1)), 11, 0);
end
if h>1
    z(2,j)=x1(j);%APOTHIKEYOYME TO ONOMA TWN KLEISTWN AGWGWN
else
    z(2,j)=p1(j,1);
end
[errcode,step]=ENnextH();
while (step>0 && errcode==0);
    [errcode,t]=ENrunH();
    [errcode,step]=ENnextH();
    for i=2:81;% for all the 9 nodes
        bf=false;
        [errcode,pressure(k,i)]=ENgetnodevalue(i,11);%%PRESSURE=11
        [errcode,demand(k,i)]=ENgetnodevalue(i,9);%% DEMAND=9
        pd(k,i)=pressure(k,i)*demand(k,i);
        if pressure(k,i)<29, %Elegxos gia arnhtikes pieseis kai gia pieseis
katw apo 200kPa
            bf=true;
            break;
        end
    end
end
if bf;
    break;
end
```

```

end
k=k+1;%increase time step for Pressure vector.
end;
if bf; z(1,j)=5000000;
else z(1,j)=sum(sum(pd));%ypologismos toy ginomenou se kathe epanalipsi
end
clear pressure;
end
A=z(1,:);
q=0;
for i=1:c
if A(1,i)>4999999; q=q+1;
end
end
if q==c;
break
end
r=find(A==(min(A)));
for i=1:l
v(h)=r(i);
end
g(h)=z(1,v(h));
B(h)=z(2,v(h));

```

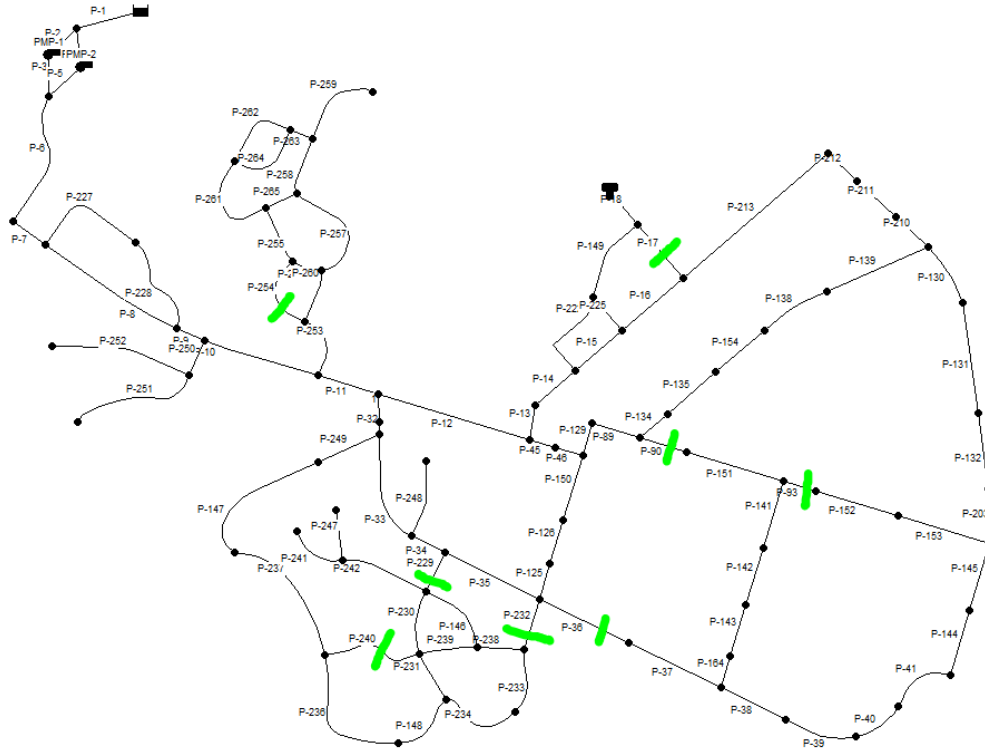
ΑΓΩΓΟΙ (INDEX ΑΡΧΕΙΟΥ)	ΑΓΩΓΟΙ (INDEX ΔΙΚΤΥΟΥ)	ΓΙΝΟΜΕΝΟ PD
7	P-17	1466400
7,12	P-17,P-36	1390600
7,12,21	P-17,P-36,P-90	1360700
7,12,21,38	P-17,P-36,P-90,P-229	1359000
7,12,21,38,22	P-17,P-36,P-90,P-229,P-93	1357400
7,12,21,38,22,50	P-17,P-36,P-90,P-229,P-93,P-254	1357200
7,12,21,38,22,50,41	P-17,P-36,P-90,P-229,P-93,P-254,P-232	1357000
7,12,21,38,22,50,41,48	P-17,P-36,P-90,P-229,P-93,P-254,P-232,P-240	1355800

Οι 6 αγωγοί που μένουν ανοιχτοί είναι οι : P-231, P-258, P-256 P-146, P-262, P-227.

Η οικονομία που επιτυγχάνεται μόνο με τη χρήση των παραπάνω βαλβίδων απομόνωσης και τα σημεία που κόβεται το δίκτυο φαίνονται παρακάτω:

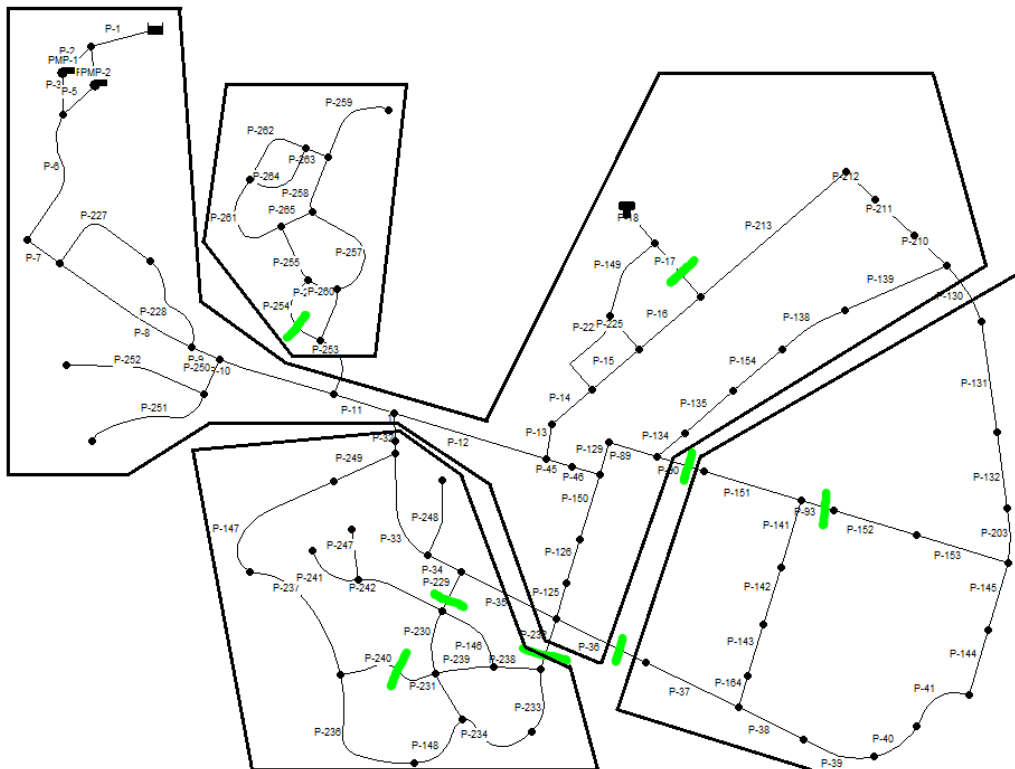
$$\frac{1569900 - 1355800}{1569900} = 13,64\%$$

**\*\*Σημείωση:** Θα πρέπει να αναφερθεί, πρώτον ότι από τους αγωγούς που δύναται να κλείσει το πρόγραμμα (αλλά και ο αλγόριθμος στη συνέχεια) έχουν αφαιρεθεί οι καταληκτικοί αγωγοί, έτσι ώστε να εξυπηρετούνται όλοι οι κόμβοι συνεχώς και δεύτερον ότι έχουμε εισάγει περιορισμό, ώστε να απορρίπτονται όλες οι περιπτώσεις, στις οποίες εμφανίζονται αρνητικές πιέσεις και πιέσεις κάτω των 200kPa (29psi).



Εικόνα 11. Δίκτυο με τοποθετημένες βαλβίδες απομόνωσης. Τα πράσινα σημεία είναι οι αγωγοί στους οποίους τοποθετούνται isolation valves

Οι DMAs στις οποίες χωρίζεται το δίκτυο φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί.



Εικόνα 12. DMAs δικτύου με χρήση του γινομένου πίεση επί ζήτηση κόμβων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΧΡΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

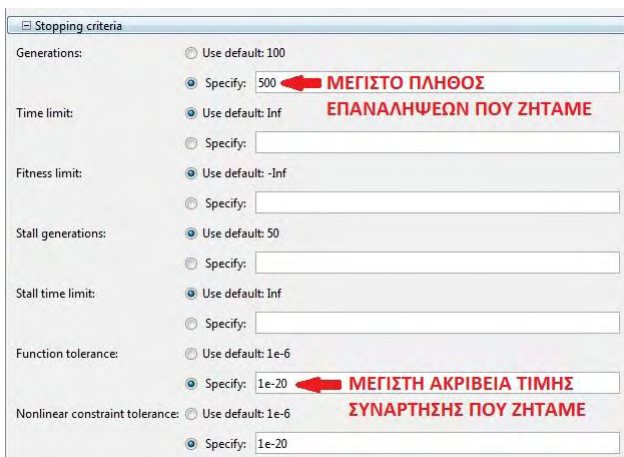
### 5.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Έχοντας καταλήξει σε ένα πρώτο αποτέλεσμα με τη χρήση απλού κώδικα στο matlab, επόμενο στάδιο είναι η εύρεση και η εισαγωγή μιας συνάρτησης στον γενετικό αλγόριθμο του matlab, με την οποία θα βελτιστοποιηθεί το αποτέλεσμα. Στο κεφάλαιο 1 παρ. 1.8 έχει ήδη αναφερθεί ο τρόπος λειτουργίας του αλγόριθμου καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά του. Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται η εφαρμογή του κάνοντας επαναλήψεις και δοκιμές για μερικές αντικειμενικές συναρτήσεις και για διάφορα πλήθη αγωγών.

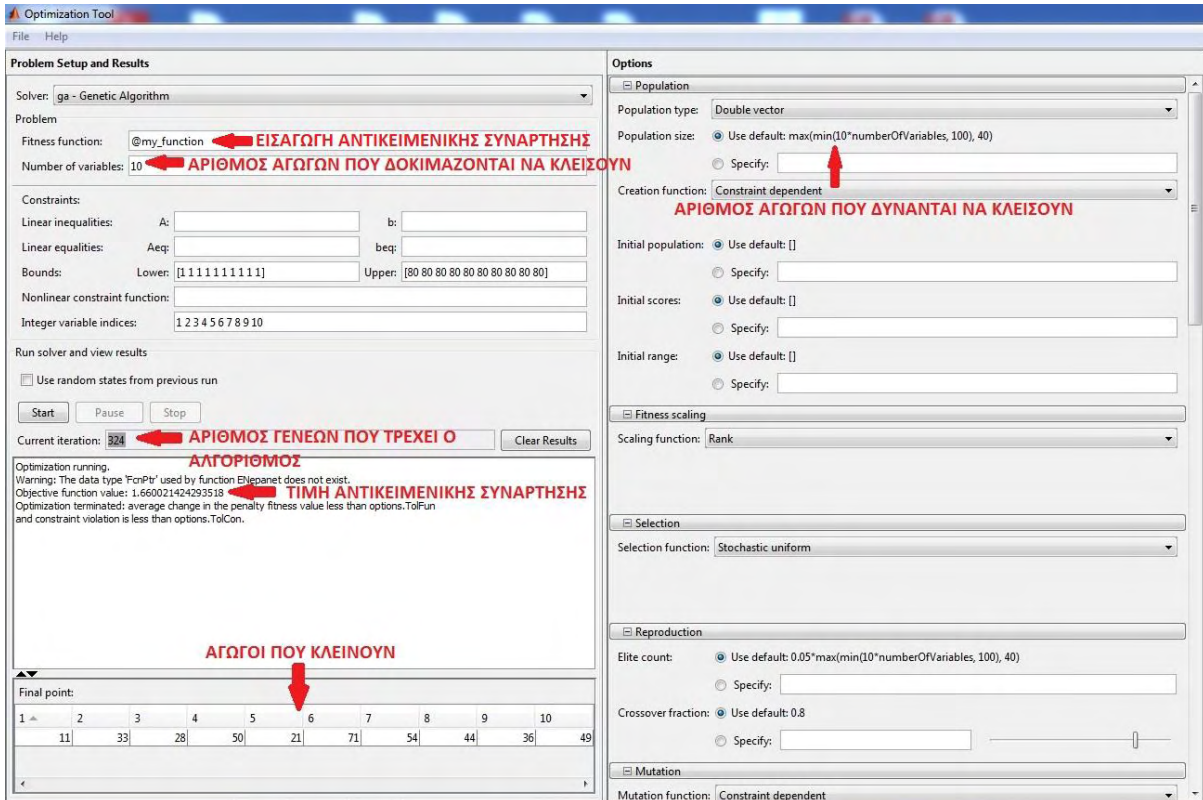
Σε κάθε παράγραφο του κεφαλαίου θα αναφερθεί η συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε στη βελτιστοποίηση, στη συνέχεια θα αναλυθεί μια-μια η κάθε περίπτωση με διαφορετικό πλήθος κλειστών αγωγών και τελικά, συγκρίνοντάς τες θα αποφασιστεί ποιο είναι το βέλτιστο σενάριο τόσο από τον τρόπο χωρισμού σε DMAs όσο και από οικονομικής απόψεως σε διαθέσιμους υδατικούς και οικονομικούς πόρους.

Για να μπορέσει να υλοποιηθεί η ζητούμενη βελτιστοποίηση απαιτείται η γνώση του τρόπου λειτουργίας του αλγόριθμου. Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται τα δεδομένα που εισάγονται στο εργαλείο του αλγόριθμου και με κόκκινα γράμματα περιγράφονται, ώστε να υπάρξει πλήρης κατανόηση.

Πρώτα καλείται το εργαλείο βελτιστοποίησης στο command window του matlab γράφοντας `>>optimtool('ga')` και εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες, εντός του οποίου εισάγονται η αντικειμενική συνάρτηση προς βελτιστοποίηση, ο αριθμός των παραμέτρων που στην προκειμένη περίπτωση είναι οι αγωγοί προς κλείσιμο, το ανώτατο και κατώτατο όριο της μεταβλητής, ο αριθμός των γενεών που τίθεται ως όριο για να σταματήσουν οι επαναλήψεις και τα επιτρεπόμενα περιθώρια λάθους.







Εικόνα 13. Εργαλείο γενετικού αλγόριθμου. Καθοδήγηση τοποθέτησης απαραίτητων δεδομένων για το τρέξιμο της συνάρτησης που έχουμε δημιουργήσει

Αφού εισαχθούν όλα τα παραπάνω τότε με το κουμπί start ξεκινάνε οι επαναλήψεις έως ότου εξαχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Έχοντας εξηγήσει τη λειτουργία του εργαλείου του αλγόριθμου, ξεκινά η μελέτη του δικτύου χρησιμοποιώντας κάποιες υποψήφιες αντικειμενικές συναρτήσεις με στόχο να επιλεγεί αυτή, που προσομοιώνει καλύτερα το συγκεκριμένο πρόβλημα (έχει τα καλύτερα αποτελέσματα).

## 5.2 ΠΡΩΤΗ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ

Η αντικειμενική συνάρτηση, που χρησιμοποιήθηκε στην πρώτη προσπάθεια, και για την οποία αναζητείται το ελάχιστο, είναι η παρακάτω:

$$\text{MIN} = \sum_{i=1}^N \left( \frac{D_{i,t}}{\Sigma D} * \left( \frac{P_{i,t} - P_{\min}}{P_{\min}} \right) \right) \Big|_{t=1}^T$$

Όπου:

- $i$  είναι ο τυχαίος κόμβος του δικτύου,
- $D_{i,t}$  είναι η ζήτηση του κόμβου  $i$  για κάθε χρονικό βήμα  $t$  [lt/sec],
- $P_{i,t}$  είναι η πίεση του κόμβου  $i$  για κάθε χρονικό βήμα  $t$  [KPa] και



- $P_{min}$  είναι η ορισθείσα ως ελάχιστη αποδεκτή πίεση των κόμβων [KPa] και για την περίπτωση μας ισούται με 200 Kpa (29psi).

Ο λόγος  $\frac{D_{it}}{\Sigma D}$  αντιπροσωπεύει τη βαρύτητα της ζήτησης του κάθε κόμβου και πολλαπλασιάζεται με τη μεταβολή της πίεσης κάθε κόμβου. Το γινόμενο αυτό υπολογίζεται για όλους τους κόμβους του δικτύου σε όλο το 24ωρο. Η αρχική τιμή της συνάρτησης πρώτου να κλείσουν αγωγοί είναι  $z=2,2200$ .

Το τμήμα του κώδικα που υπολογίζει τη συνάρτηση και εισάγεται στο γενετικό αλγόριθμο είναι το παρακάτω, ενώ ολόκληρη η συνάρτηση βρίσκεται στο παράρτημα Β.

```
c=false;
[y,x]=size(pop)
for i=1:x-1
    for j=i+1:x
        if pop(1,i)==pop(1,j)
            c=true;
            break
        end
    end
end
if c
    z=500000000000
else
    [errcode]=ENnith(1);
    for i=1:x
        [errcode]=ENsetlinkvalue(pipeIndex(pop(1,i)), 11, 0);
    end
    [errcode,step]=ENnextH();
    k=1;
    while (step>0 && errcode==0);
        [errcode,t]=ENrunH();
        [errcode,step]=ENnextH();
        for i=2:81;% for all the 80 nodes
            bf=false;
            [errcode,P(k,i)]=ENgetnodevalue(i,11);%% PRESSURE=11
            [errcode,D(k,i)]=ENgetnodevalue(i,9);%% DEMAND=9
            if P(k,i)<29, %Elegxos gia arnhtikes pieseis kai gia pieseis katw
                apo 200kPa
                    bf=true;
                    break;
                end
            end
            if bf;
                break;
            end
            k=k+1;
        end
    Dsum=sum(sum(D))
    if bf; z=500000000000
    else
        for i=2:81;
            for t=1:24;
                s(t,i)=(D(t,i)/Dsum)*((P(t,i)-29)/29);
            end
        end
    end
    z=sum(sum(s))
```

```
end  
clear P D s  
end
```

### 5.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ

Αφού εξηγήθηκε ο τρόπος εργασίας και τα δεδομένα που εισάγονται στο περιβάλλον του εργαλείου βελτιστοποίησης του matlab δοκιμάστηκαν οι εξής περιπτώσεις για να εξαχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα:

- Να κλείνουν 7 αγωγοί
- Να κλείνουν 8 αγωγοί
- Να κλείνουν 9 αγωγοί
- Να κλείνουν 10 αγωγοί
- Να κλείνουν 11 αγωγοί
- Να κλείνουν 12 αγωγοί

Δεδομένου ότι ο αλγόριθμος κάνει αρκετές επαναλήψεις (δημιουργεί πολλές γενιές) απαιτείται αρκετός χρόνος για να γίνουν επαναλήψεις για όλες τις περιπτώσεις. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε, έχοντας βρει αποτέλεσμα για κάθε μια από τις πιο πάνω περιπτώσεις, να γίνουν επαναλήψεις, ώστε να διαπιστωθεί το κατά πόσο συγκλίνουν οι λύσεις που εξάγει ο αλγόριθμος μόνο για τις περιπτώσεις με κλειστούς 8, 9 και 10 αγωγούς.

Οπότε, στη συνέχεια θα αναφερθούν οι αγωγοί που κλείνουν σε κάθε σενάριο και στις περιπτώσεις που έχουν γίνει επαναλήψεις θα διερευνηθούν για να διαπιστωθεί πόσο κοντά είναι οι λύσεις μεταξύ τους.

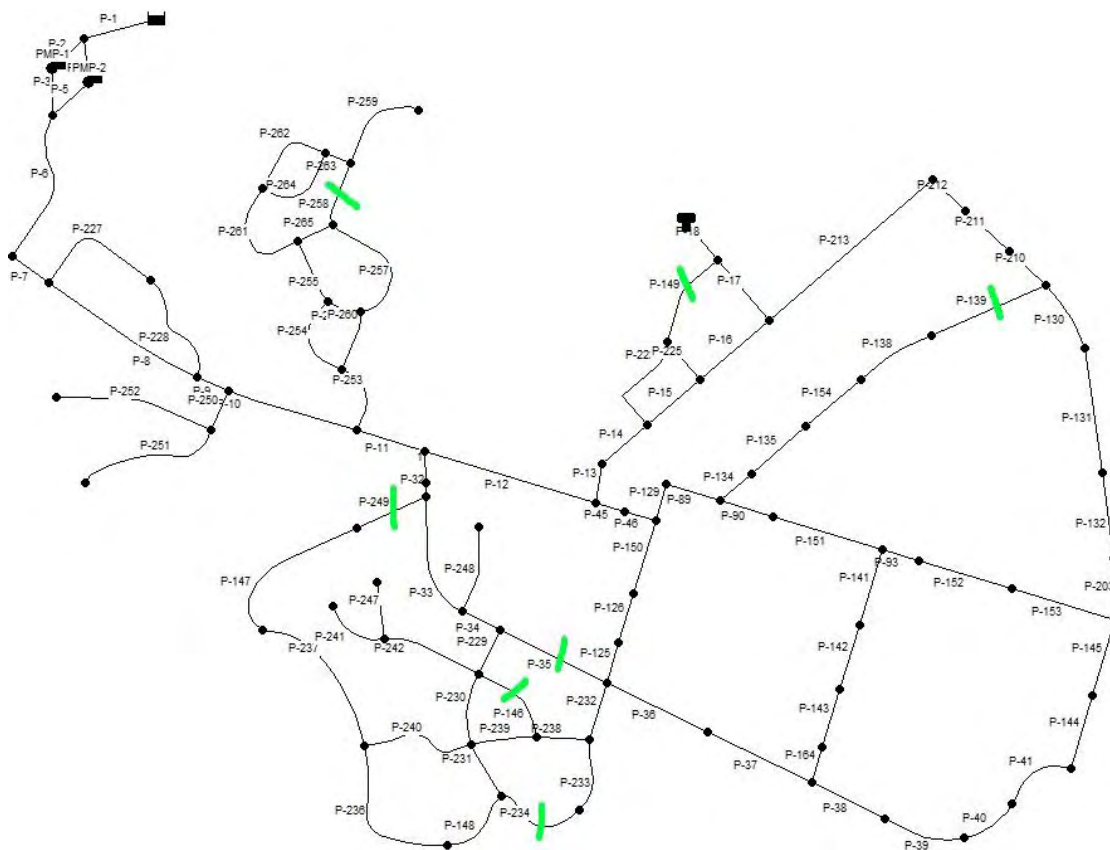
### ΣΕΝΑΡΙΟ 7 ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Αγωγοί που κλείνει ο αλγόριθμος:

P-139 P-258 P-35 P-249 P-146 P-149 P-234

Σε αυτό το σενάριο πραγματοποιείται μείωση της αντικειμενικής συνάρτησης κατά 25,07% ( $z=1.6635$ ).

Στην εικόνα 14 φαίνονται σχηματικά με πράσινες γραμμές οι αγωγοί που κλείνει ο γενετικός αλγόριθμος.



Εικόνα 14. Σενάριο 7 κλειστών αγωγών. Αγωγοί που κλείνει ο αλγόριθμος

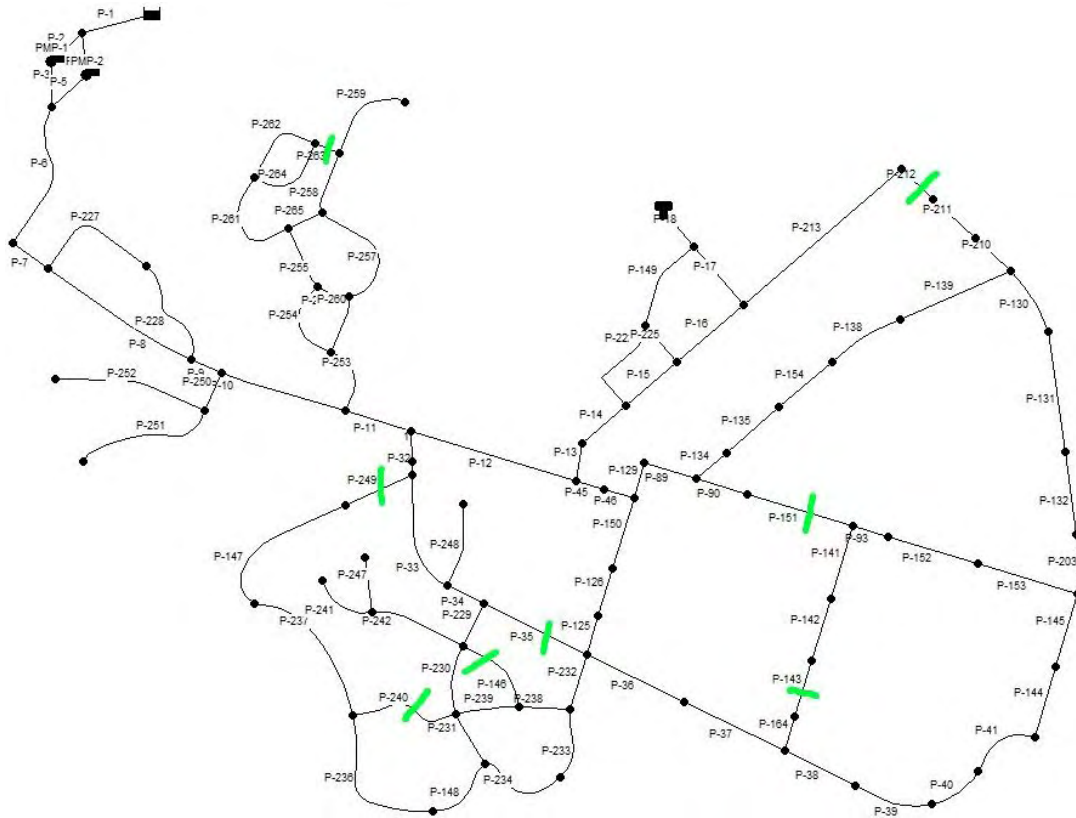
## ΣΕΝΑΡΙΟ 8 ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Πρώτο τρέξιμο: P-151 P-249 P-263 P-146 P-212 P-143 P-240 P-35 ( $z=1.662$ )

Δεύτερο τρέξιμο: P-222 P-256 P-146 P-134 P-258 P-236 P-249 P-35 ( $z=1.676$ )

Τρίτο τρέξιμο: P-254 P-240 P-35 P-262 P-249 P-146 P-227 P-134 ( $z=1.674$ )

Παρατηρείται πως και στα τρία τρεξίματα υπάρχουν ζκοινοί αγωγοί να κλείνουν. Με κόκκινα γράμματα είναι οι κοινοί αγωγοί που έχουν το πρώτο με το τρίτο και το δεύτερο με το τρίτο μρταξύ τους. Το πρώτο τρέξιμο δίνει εμφανώς καλύτερα αποτελέσματα, αφού προκαλεί μείωση της αντικειμενικής συνάρτησης κατά 25,14%. Στην εικόνα 15 με πράσινο χρώμα έχουν τονιστεί οι αγωγοί που πρόκειται να παραμείνουν κλειστοί.



Εικόνα 15. Σενάριο 8 κλειστών αγωγών. Αγωγοί που δίνει ο αλγόριθμος (βέλτιστο από τα τρία τρεξίματα)

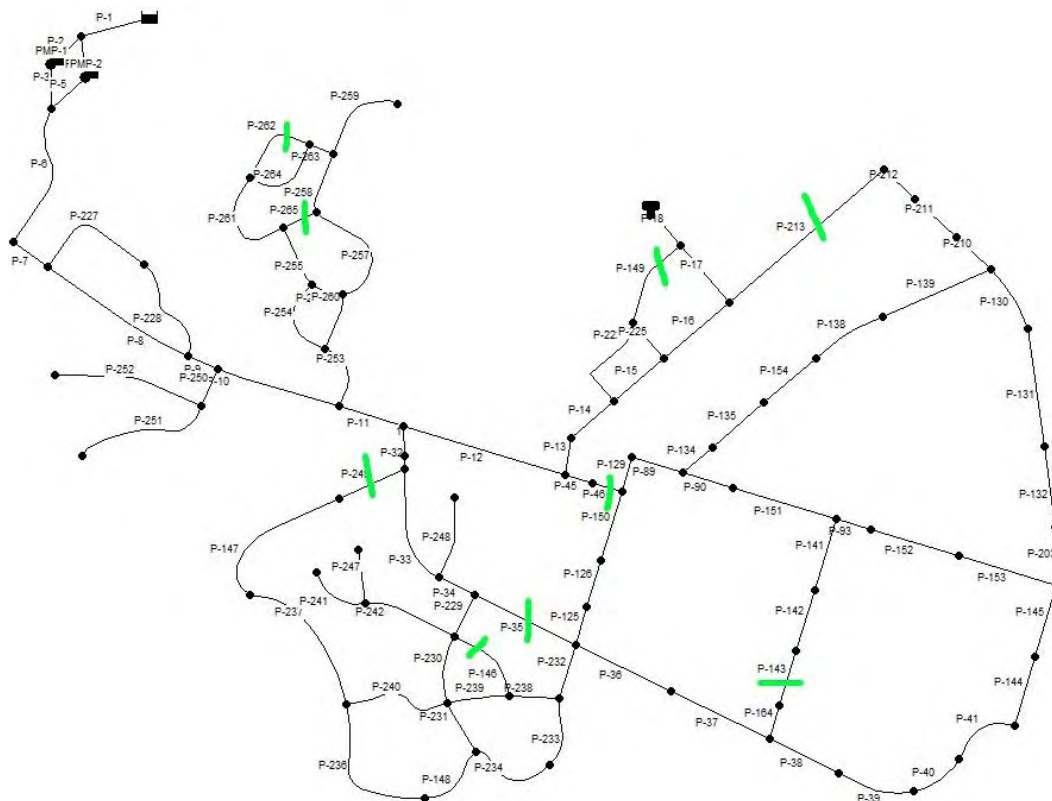
## ΣΕΝΑΡΙΟ 9 ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Πρώτο τρέξιμο: P-143 P-146 P-149 P-35 P-249 P-262 P-213 P-265 P-46 ( $z=1.6675$ )

Δεύτερο τρέξιμο: P-225 P-262 P-130 P-146 P-35 P-46 P-93 P-249 P-148 ( $z=1.679$ )

Τρίτο τρέξιμο: P-35 P-234 P-265 P-230 P-264 P-249 P-257 P-213 P-36 ( $z=1.754$ )

Παρατηρείται πως και στα τρία τρεξίματα υπάρχουν 2κοινοί αγωγοί να κλείνουν. Η μείωση που προκαλεί το πρώτο σενάριο είναι 24,89% (μικρότερη από αυτή του σεναρίου των οκτώ κλειστών αγωγών. Με κόκκινα και μωβ φαίνοντα οι κοινοί αγωγοί που έχουν τα τρεξίματα 2 και 3 με το πρώτο. Όπως φαίνεται το τρίτο τρέξιμο διαφέρει περισσότερο σε σχέση με τα δύο πρώτα και αυτό αντικατοπτρίζεται και στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Στην εικόνα 16 παρουσιάζονται και σχηματικά οι παραπάνω αγωγοί για το καλύτερο (πρώτο) τρέξιμο.



Εικόνα 16. Σενάριο 9 κλειστών αγωγών. Κλειστοί αγωγοί με το καλύτερο από τα τρία τρεξίματα

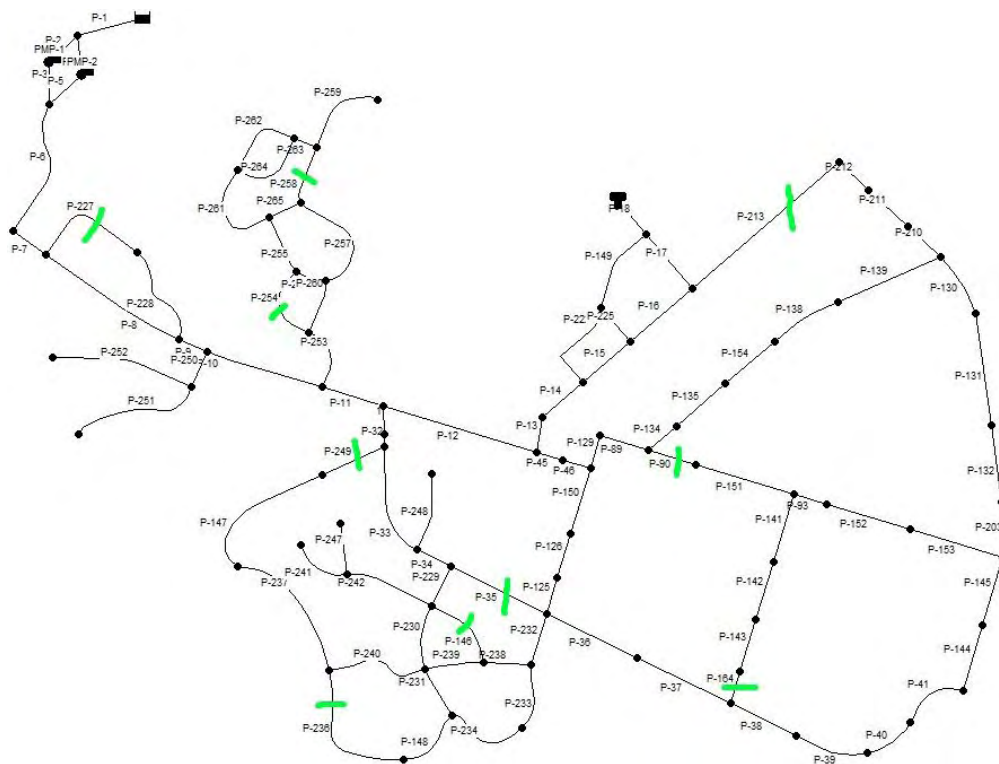
## ΣΕΝΑΡΙΟ 10 ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Πρώτο τρέξιμο: P-254 P-258 P-227 P-35 P-249 P-146 P-236 P-213 P-90 P-164 ( $z=1.6600$ )

Δεύτερο τρέξιμο: P-254 P-258 P-227 P-35 P-249 P-146 P-236 P-213 P-90 P-164 ( $z=1.6600$ )

Τρίτο τρέξιμο: P-254 P-258 P-227 P-35 P-249 P-146 P-236 P-213 P-90 P-164 ( $z=1.6600$ )

Παρατηρείται πως και στα τρία τρεξίματα όλοι οι αγωγοί που κλείνουν είναι ίδιοι. Εδώ υπάρχει πλήρης ταύτιση των αποτελεσμάτων που δίνει ο αλγόριθμος, ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται μείωση 25,23% που είναι και η μέγιστη έως τώρα. Στην εικόνα 17 αναπαριστώνται οι κλειστοί αγωγοί που εξάγει ο γενετικός αλγόριθμος για το σενάριο αυτό.



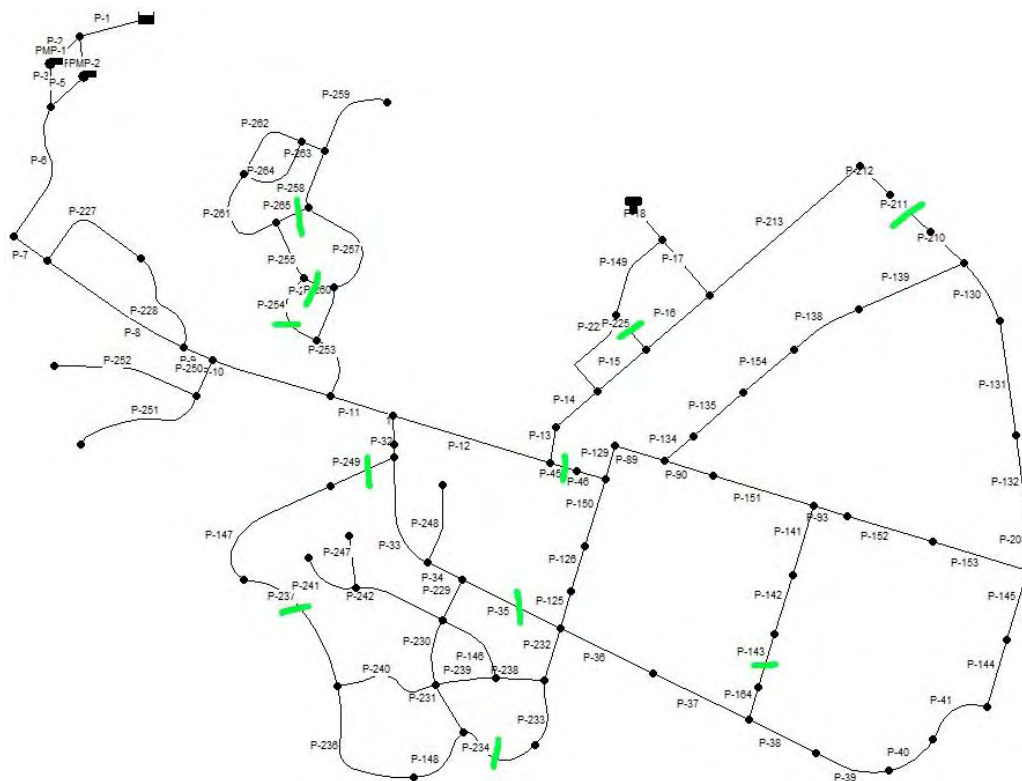
Εικόνα 17. Σενάριο 10 κλειστών αγωγών. Αγωγοί που κλείνει ο αλγόριθμος

## ΣΕΝΑΡΙΟ 11 ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Αγωγοί που κλείνει ο αλγόριθμος:

P-211 P-143 P-225 P-45 P-35 P-249 P-237 P-265 P-254 P-256 P-234

Σε αυτό το σενάριο πραγματοποιείται μια μείωση της αντικειμενικής συνάρτησης 24,44% ( $z=1.6775$ ). Επομένως, με 11 αγωγούς δεν επιτυγχάνεται η μείωση που έχει δώσει το σενάριο των 10 αγωγών. Αντιθέτως, υπάρχει μικρότερη μείωση από αυτή. Και σε αυτό το σενάριο, στην εικόνα 18 με πράσινο χρώμα έχουν τονιστεί οι αγωγοί που κλείνουν.



Εικόνα 18. Σενάριο 11 κλειστών αγωγών. Αγωγοί που κλείνει ο αλγόριθμος

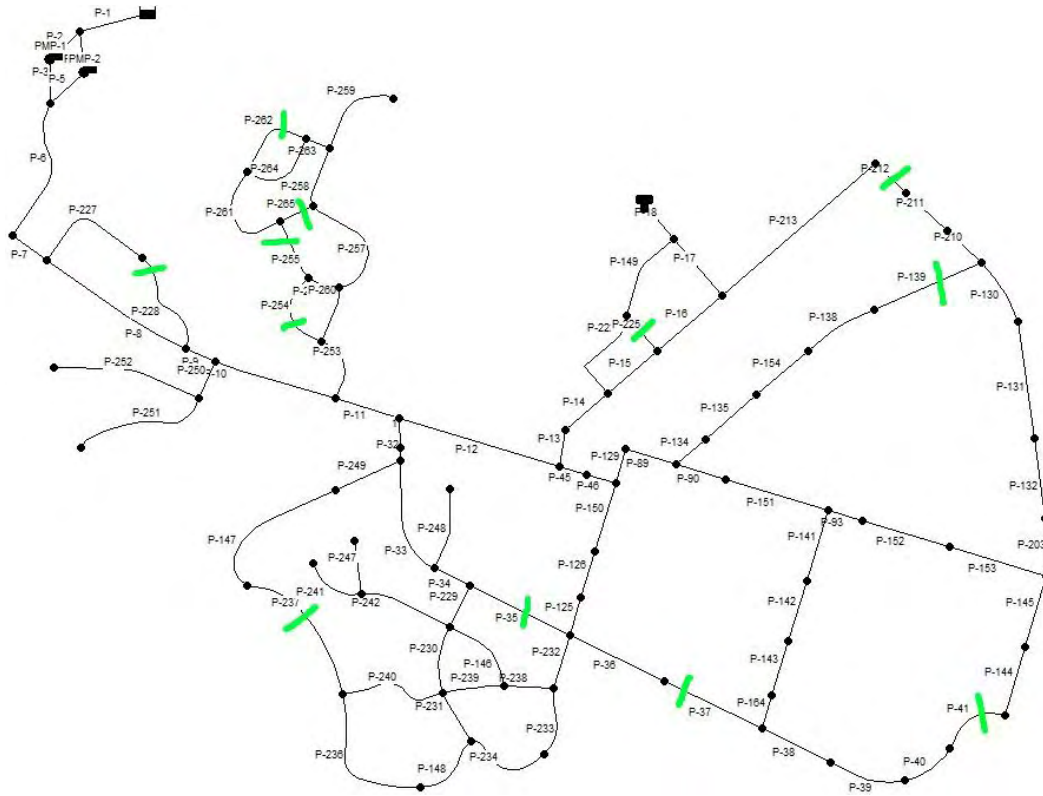
## ΣΕΝΑΡΙΟ 12 ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Αγωγοί που κλείνει ο αλγόριθμος:

P-228 P-254 P-255 P-262 P-265 P-237 P-35 P-225 P-212 P-139 P-37 P-41

Σε αυτό το σενάριο πραγματοποιείται μια μείωση της αντικειμενικής συνάρτησης 20,42% ( $z=1.6875$ ). Το σενάριο αυτό μαζί με αυτό των 11 αγωγών δείχνουν ότι από τους 10 αγωγούς και έπειτα δεν συμβαίνει περαιτέρω μείωση της αντικειμενικής συνάρτησης και σταματά η αύξηση του πλήθους των αγωγών που πρόκειται να κλείσουν. Στην εικόνα (εικόνα 19) αναπαριστώνται με πράσινο χρώμα οι αγωγοί που κλείνουν με τον γενετικό αλγόριθμο.

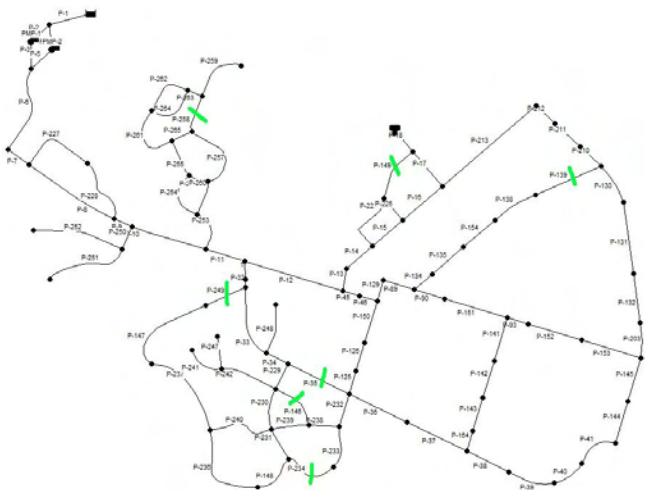




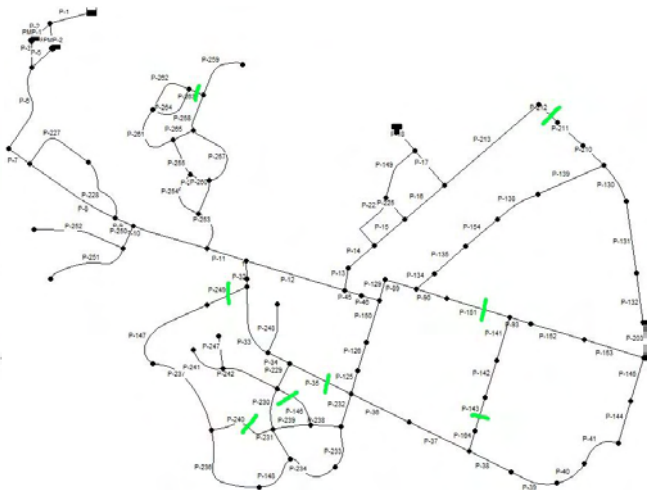
Εικόνα 19. Σενάριο 12 κλειστών αγωγών. Αγωγοί προς κλείσιμο



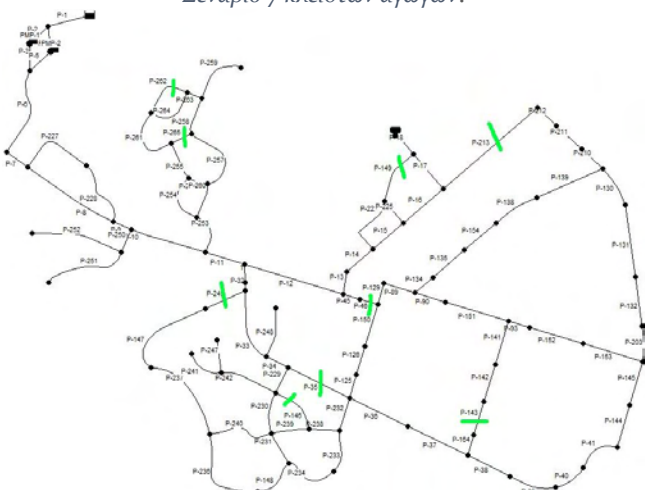
Παρακάτω παρατίθενται όλα τα σενάρια για την εποτικότερη παρουσίασή τους



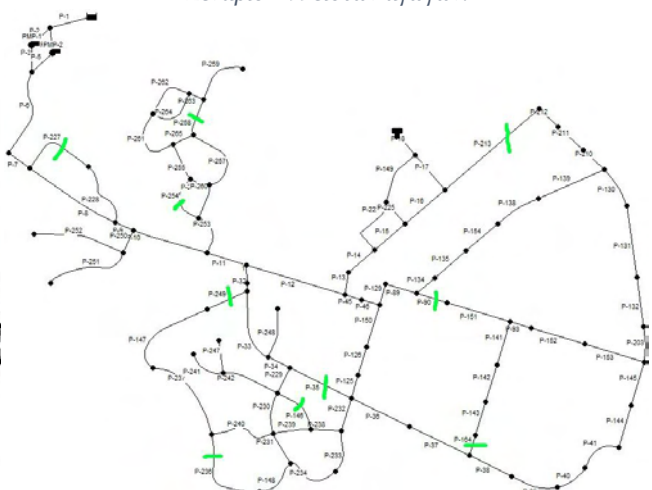
Σενάριο 7 κλειστών αγωγών.



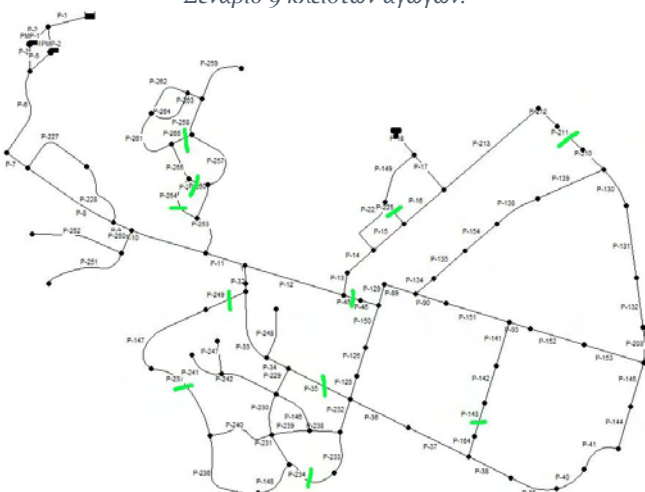
Σενάριο 8 κλειστών αγωγών.



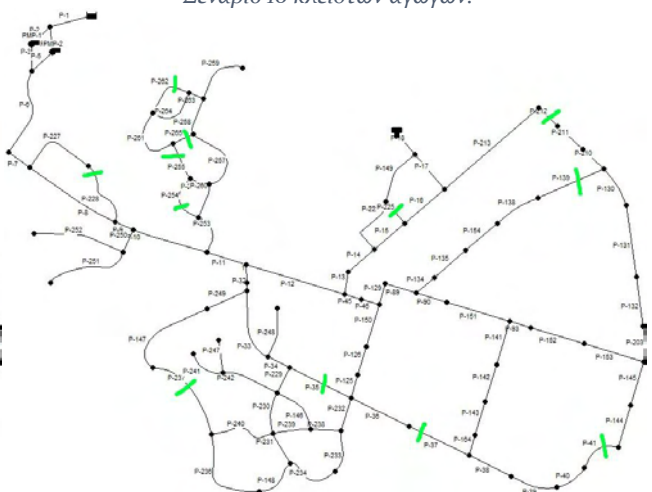
Σενάριο 9 κλειστών αγωγών.



Σενάριο 10 κλειστών αγωγών.



Σενάριο 11 κλειστών αγωγών.



Σενάριο 12 κλειστών αγωγών.

Επομένως, με τα δεδομένα αυτά, η βέλτιστη περίπτωση είναι το σενάριο που κλείνει δέκα αγωγούς. Θα πρέπει, ωστόσο, να εξεταστούν οι παραπάνω περιπτώσεις (η βέλτιστη κάθε σεναρίου) τόσο στο ποσοστό της οικονομίας που επιτυγχάνεται στο νερό που εισέρχεται στο δίκτυο όσο και στους διαθέσιμους οικονομικούς πόρους για την αγορά, τοποθέτηση και συντήρηση των βαλβίδων που θα τοποθετηθούν.

### 5.2.2 ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΚΩΔΙΚΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟΥ 4.2

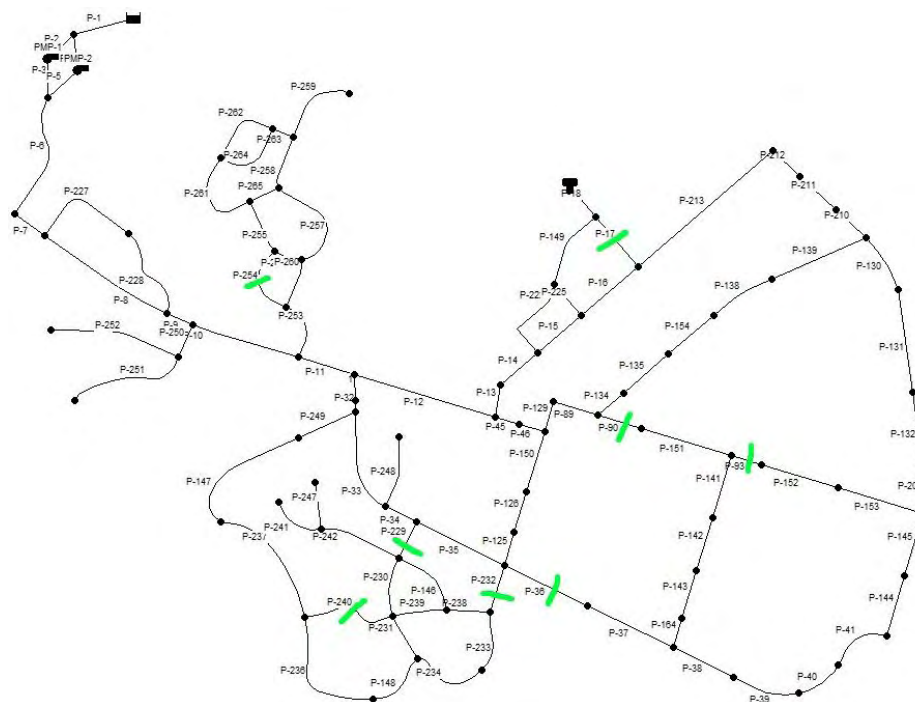
Σαν πρώτο κριτήριο αξιολόγησης των λύσεων του γενετικού αλγόριθμου για τη συνάρτηση της παραγράφου 5.2 ήταν το τρέξιμο του αρχικού κώδικα, που αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.2, με χρήση της συνάρτησης που εισάχθηκε στο γενετικό αλγόριθμο.

Το τμήμα του κώδικα που διαφέρει σε σχέση με αυτός της παραγράφου 4.2 είναι το παρακάτω:

```
for i=2:81;
    for t=1:24;
        sv(t,i)=(demand(t,i)/Dsum)*( (pressure(t,i)-29)/29);
    end
end
z(1,j)=sum(sum(sv));
```

Ολόκληρος ο κώδικας παρατίθεται στο **Παράρτημα Β**, όπου βρίσκονται όλοι οι κώδικες που συντάχθηκαν για την παρούσα εργασία. Τα αποτελέσματα που δίνει αυτή η διαδικασία (κλειστοί αγωγοί) είναι τα εξής: P-17 P-36 P-90 P-229 P-93 **P-254** P-232 **P-240**

Να σημειωθεί πως, όπως και στην περίπτωση της παραγράφου 4.2, το πρόγραμμα κλείνει και άλλους αγωγούς πέραν αυτών των οκτώ, οι οποίοι όμως δεν προσφέρουν αξιόλογη μείωση και δεν κρίθηκε απαραίτητο να κλείσουν. Μια άλλη παρατήρηση είναι, πως τα αποτελέσματα που πάρθηκαν από το κώδικα αυτό είναι ακριβώς τα ίδια με τον κώδικα που δημιουργήθηκε με το γινόμενο  $P \cdot D$ , το οποίο είναι λογικό αφού και στις δύο περιπτώσεις το  $D$  και το  $D/D_{sum}$  δίνουν τη σημαντικότητα του εκάστοτε κόμβου και το  $P$  με το  $(P-29)/29$  δίνουν την πίεση και τη μεταβολή της πίεσης αντίστοιχα. Επομένως το μόνο που αλλάζει είναι οι τάξεις μεγέθους των αποτελεσμάτων των δύο περιπτώσεων. Στην εικόνα 20 φαίνονται με πράσινο χρώμα οι αγωγοί που κλείνουν σε αυτή την περίπτωση.



Εικόνα 20. Αγωγοί προς κλείσιμο με τη χρήση της συνάρτησης της πρώτης προσπάθειας στον κώδικα του κεφαλαίου 4

Παρόλα αυτά όμως αν συγκριθούν οι αγωγοί αυτοί με τους οκτώ αγωγούς που δίνει ο αλγόριθμος στο σενάριο των οκτώ κλειστών αγωγών, παρατηρείται ότι δεν υπάρχει σύγκλιση. Για την ακρίβεια υπάρχει ένας μόνο κοινός αγωγός με το πρώτο-βέλτιστο τρέξιμο και ένας κοινός με το τρίτο.

### 5.2.3 ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ Z

Όπως έχει προαναφερθεί στις παραπάνω παραγράφους, το ζητούμενο της παρούσας εργασίας είναι η μείωση του εισερχόμενου νερού στο δίκτυο (που επιτυγχάνεται με τη μείωση της πίεσης με χωρισμό του δικτύου σε DMAs). Ωστόσο, λόγω της μη εξαρτώμενης ζήτησης από την πίεση στο λογισμικό EPANET, δεν υπήρχε η δυνατότητα να ελεγχθεί η μεταβολή του εισερχόμενου νερού με το λογισμικό αυτό. Για αυτό το λόγο, έγινε χρήση ενός δεύτερου υδραυλικού λογισμικού, του Watercad, το οποίο έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει την εισερχόμενη παροχή.

Τα αποτελέσματα που πάρθηκαν με τη χρήση της συνάρτησης της παραγράφου 5.2 για το νερό που εισάγεται δεν ήταν τα αναμενόμενα. Συγκεκριμένα, ενώ ο αλγόριθμος βελτιστοποιούσε σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό τη συνάρτηση z (εως και 25%), οι αγωγοί που επέλεγε να κλείσουν προσέφεραν αμελητέα μείωση της παροχής και κατά συνέπεια μηδενική οικονομία νερού, το οποίο δημιούργησε τα πρώτα ερωτηματικά και προκάλεσε την αναζήτηση μιας εναλλακτικής λύσης στο πρόβλημα αυτό.

Σαν επόμενο βήμα, ώστε να κατανοηθεί καλύτερα τι «αντιλαμβάνεται» ο αλγόριθμος και τι όχι αλλά και αν το λάθος εντοπιζόταν στην κωδικοποίηση της συνάρτησης, επιλέχθηκε να εισαχθεί μια νέα αντικειμενική συνάρτηση προς βελτιστοποίηση.

### 5.3 ΔΕΥΤΕΡΗ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ

Σαν επόμενο βήμα, χρησιμοποιήθηκε σαν αντικειμενική συνάρτηση μια γνωστή εξίσωση, που παρουσιάζει μια σχέση εξάρτησης πίεσης και παροχής. Η σχέση αυτή αποτελεί μια τροποποίηση της ομάδας δράσης για τις απώλειες νερού της IWA και προκύπτει ως εξής:

Είναι γνωστό από την υδραυλική ότι η εξίσωση τυρβώδους ροής  $Q_f$  μέσα από στόμιο εμβαδού  $A_f$  σε στατική πίεση  $h$  ακολουθεί τον κανόνα της τετραγωνικής ρίζας:  $Q_f = Cd A_f \sqrt{2gh}$

Όμως, αν το εμβαδόν του στομίου και ο συντελεστής μεταβάλλονται με την πίεση, τότε η ροή θα είναι πιο ευαίσθητη στην πίεση.

Έτσι μπορεί να εκφραστεί ως:  $Q_f = Kf p^x$

Όπου  $x$  είναι ο εκθέτης των διαρροών,  $p^x$  η στατική πίεση και  $K$  ο συντελεστής διαρροών.

Έτσι, η αντικειμενική συνάρτηση, που χρησιμοποιήθηκε, και για την οποία αναζητείται το ελάχιστο, είναι η παρακάτω εμπειρική σχέση:

$$\frac{Q_{f1}}{Q_{f0}} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N_1}$$

Όπου:

- $Q_{f1}$  ο ρυθμός ροής μετά την αλλαγή στην πίεση
- $Q_{f0}$  ο ρυθμός ροής πριν την αλλαγή στην πίεση
- $P_1$  η νέα πίεση
- $P_0$  η αρχική πίεση
- $N_1$ : Εκθέτης (λαμβάνει συνήθως τιμές μεταξύ 0,5 και 1,5)

Τιμές του εκθέτη  $N_1$  μπορούν να εξαχθούν από τεστ σε ζώνες του συστήματος διανομής, μειώνοντας τις πιέσεις σε διάφορα στάδια τη νύχτα, κατά τη διάρκεια της ελάχιστης κατανάλωσης (MNF-Minimum Night Flow). Οι ρυθμοί διαρροών μπορούν να συγκριθούν με τις πιέσεις που μετρήθηκαν στην μέση πίεση ζώνης, ώστε να βρεθεί ο εκθέτης  $N_1$ . Ανάλυση από περισσότερα από 150 τεστ στο πεδίο σε ζώνες διανομής επιβεβαιώνουν ότι οι τιμές του  $N_1$  κυμαίνονται από 0.5 ως 1.5. Έλεγχοι σε συστήματα όπου έχουν επισκευαστεί όλες οι διαρροές που μπορούσαν να εντοπιστούν παρουσιάζουν τιμές κοντά στο 1.5, όσον αφορά τις background απώλειες. Στην προκειμένη περίπτωση το τμήμα του κώδικα που υπολογίζει τη συνάρτηση, εισάγεται στο γενετικό αλγόριθμο και διαφέρει σε σχέση με τον κώδικα της πρώτης προσπάθειας είναι το εξής:

```
for i=2:81;
for j=1:24;
D1(j,i)=(D(j,i))*(P(j,i)/P1(j,i))^(1/2));
end
end
z=sum(sum(D1))
```

Να σημειωθεί πως δοκιμάστηκαν τρεις “ακραίες” τιμές του συντελεστή  $N_1$  στην παραπάνω συνάρτηση, δηλαδή  $N_1=0,5$  (όπως φαίνεται στο κομμάτι του κώδικα παραπάνω),  $N_1=1$  και  $N_1=1,5$ . Για κάθε μια από αυτές τις περιπτώσεις, ο αλγόριθμος έτρεξε και εξήγαγε οκτώ αγωγούς.

### 5.3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑΣ

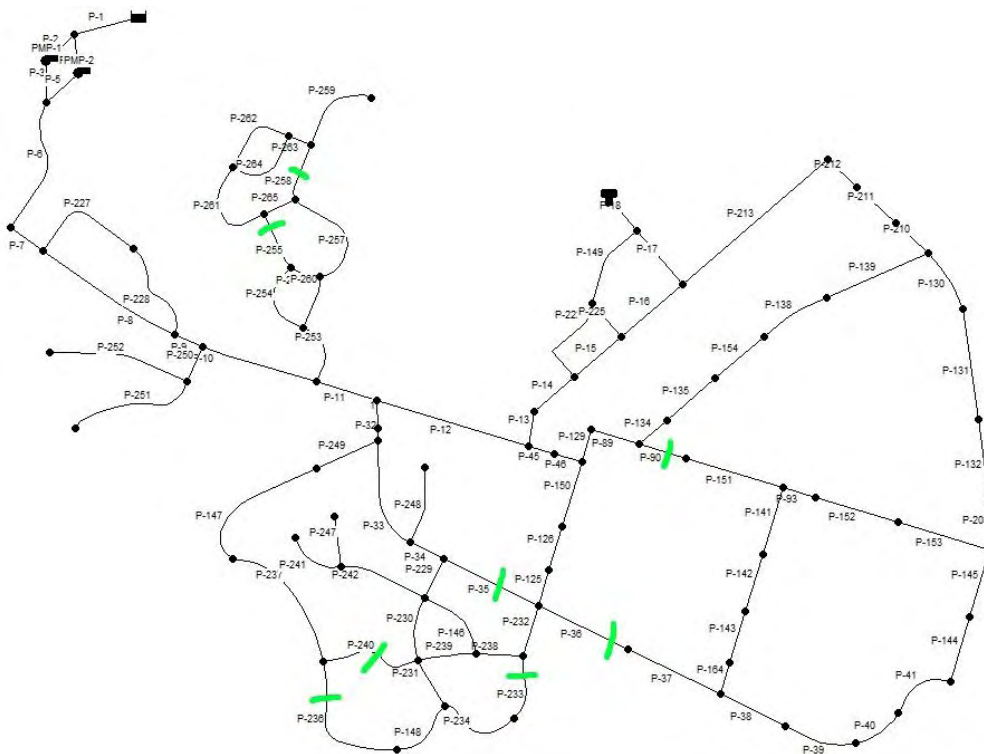
Έχοντας τελειώσει το υπολογιστικό κομμάτι αυτής της περίπτωσης βγήκαν τα εξής αποτελέσματα:

Για  $N_1=0,5$ : P-236 P-258 P-233 P-255 P-240 P-90 P-36 P-35

Για  $N_1=1$ : P-36 P-145 P-257 P-146 P-35 P-45 P-231 P-154

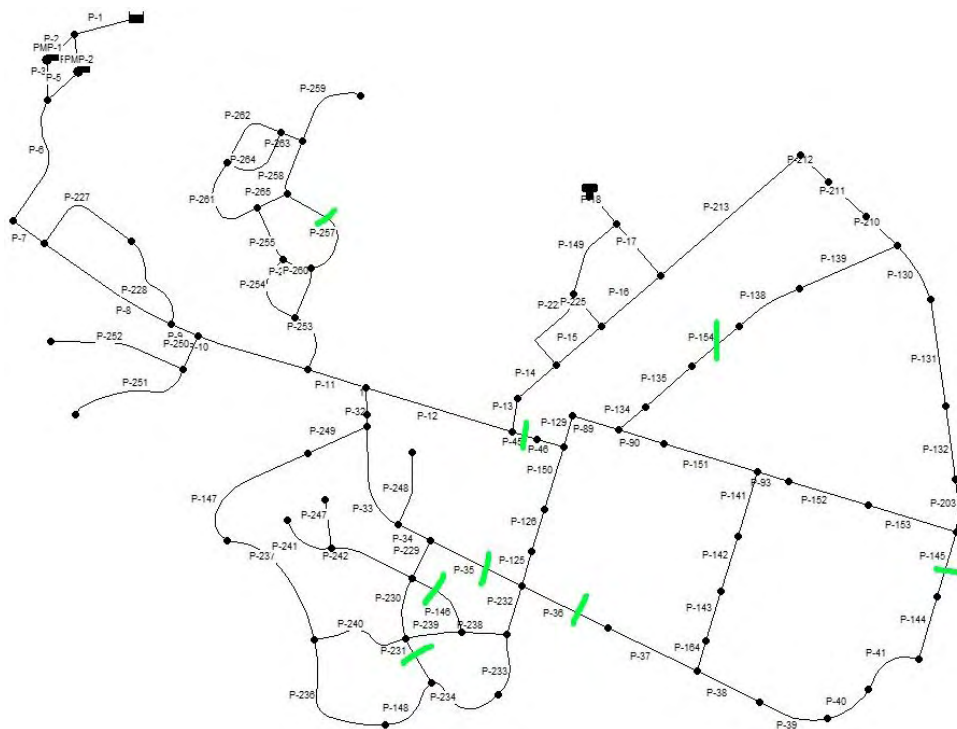
Για  $N_1=1,5$ : P-236 P-258 P-233 P-255 P-240 P-90 P-36 P-35

Συγκρίνοντας, τους αγωγούς που κλείνει ο αλγόριθμος σε αυτή την προσπάθεια με αυτούς του κώδικα του κεφαλαίου 4 παρατηρείται πως δεν υπάρχει σύγκλιση των αποτελεσμάτων. Παρακάτω φαίνονται και σε εικόνες οι αγωγοί που κλείνουν για κάθε περίπτωση εκθέτη  $N_1$ .

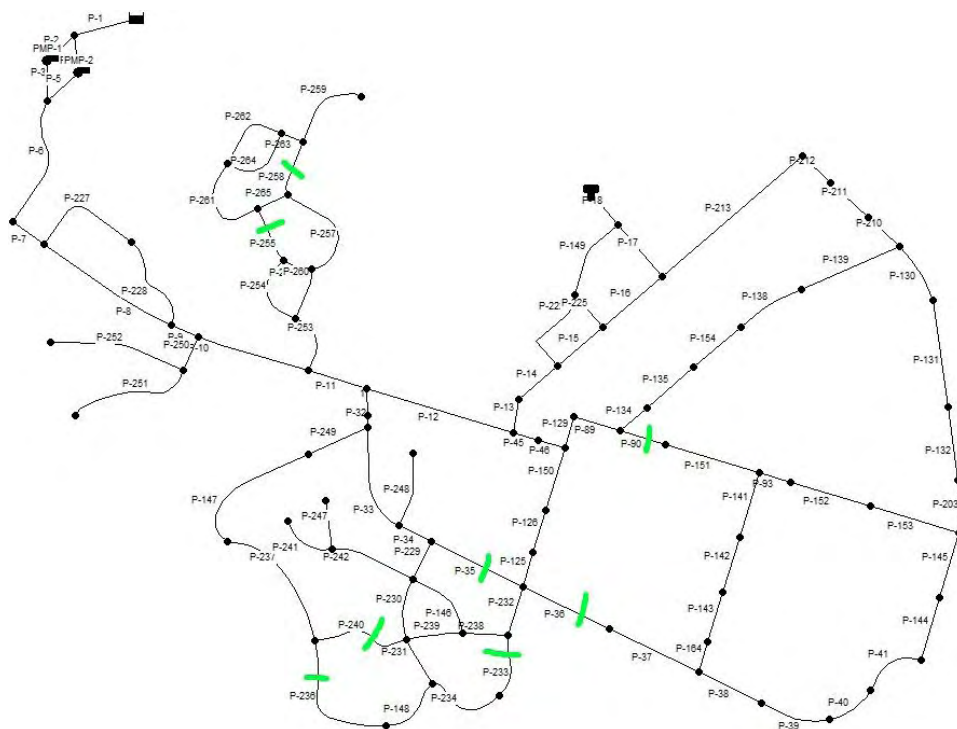


Εικόνα 21. Αγωγοί που κλείνουν για  $N_1=1/2$





Εικόνα 22. Αγωγοί που κλείνουν για  $N1=1$



Εικόνα 23. Αγωγοί που κλείνουν για  $N1=1,5$

Όμως, πρέπει να εξεταστεί και η μείωση του εισερχόμενου νερού στο δίκτυο. Και σε αυτή την προσπάθεια, έγινε χρήση του δεύτερου υδραυλικού λογισμικού, του Watercad, το οποίο έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει την εισερχόμενη παροχή.

Τα αποτελέσματα που πάρθηκαν με τη χρήση της συνάρτησης της παραγράφου 5.3 για το νερό που εισάγεται και πάλι δεν ήταν τα αναμενόμενα. Συγκεκριμένα, ενώ ο αλγόριθμος βελτιστοποιούσε σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό τη συνάρτηση  $z$ , οι παραπάνω αγωγοί που κλείνουν δεν προσφέρουν καμία μείωση της παροχής και κατά συνέπεια μηδενική οικονομία νερού, το οποίο είχε ως αποτέλεσμα την απόρριψη και αυτής της συνάρτησης.

Προχωρώντας την έρευνα ακόμα ένα βήμα, επιλέχθηκε να εισαχθεί μια τρίτη αντικειμενική συνάρτηση, το άθροισμα της πίεσης όλου του δικτύου.

## 5.4 ΤΡΙΤΗ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ

Διαπιστώνοντας πως οι έως τώρα συναρτήσεις που επιλέχθηκαν δεν επέφεραν τα επιθυμητά αποτελέσματα, έγινε μια νέα προσπάθεια κάνοντας χρήση μιας διαφορετικής και πιο απλουστευμένης αντικειμενικής συνάρτησης. Εδώ ως αντικειμενική συνάρτηση χρησιμοποιήθηκε η εξής:

$$z = \sum \sum Flow$$

Όπου:

- $\sum flow$  η παροχή του αγωγού P-1 που εισάγει το νερό στο σύστημα.

Όπως είναι λογικό η παροχή του αγωγού αυτού είναι και η συνολική παροχή που εισάγεται στο δίκτυο και μοιράζεται στους κατάντη αγωγούς του, γι' αυτό και χρησιμοποιείται μόνο η παροχή αυτού του αγωγού και όχι η συνολική παροχή όλων των αγωγών του δικτύου.

Ο κώδικας που δημιουργήθηκε ήταν ο εξής:

```
while (step>0 && errcode==0);
    [errcode,t]=ENrunH();
    [errcode,step]=ENnextH();
    [errcode,D(k,81)]=ENgetlinkvalue(pipeIndex(81),8);%% FLOW=8
    for i=2:81;% for all the 80 nodes
        bf=false;
        [errcode,P(k,i)]=ENgetnodevalue(i,11);%% PRESSURE=11
        if P(k,i)<29, %Elegxos gia arnhtikes piéseis kai gia piéseis katw
apo 200kPa
            bf=true;
            break;
        end
    end
    if bf;
        break;
    end
    k=k+1;
end
if bf; z=50000000000;
else
z=sum(sum(D))
```

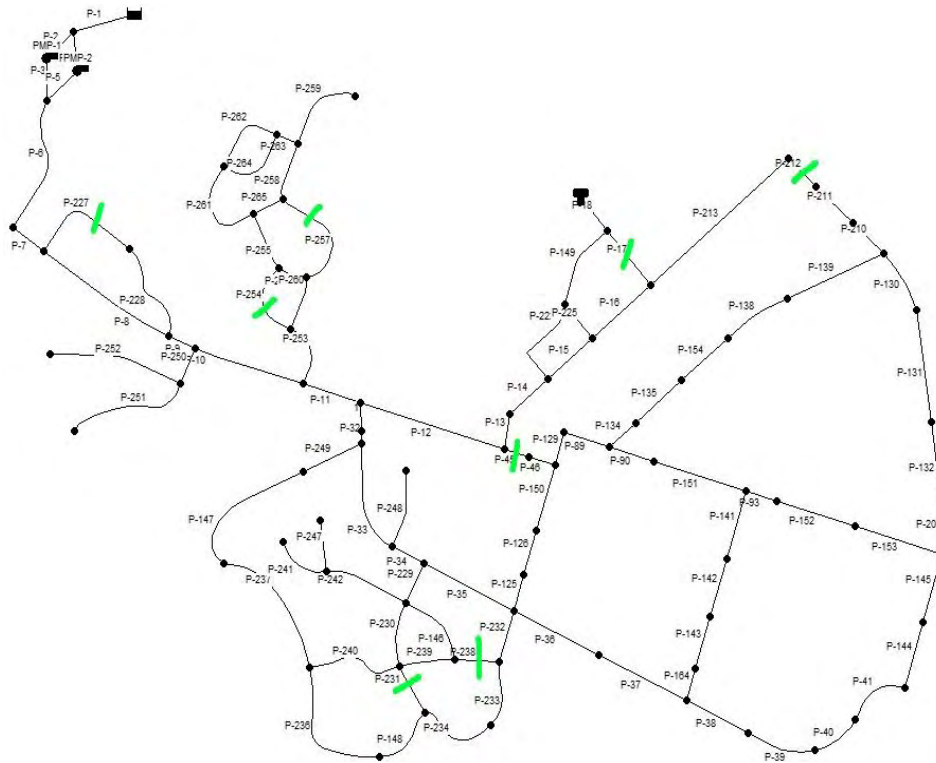
Να σημειωθεί πως και σε αυτή την περίπτωση δοκιμάστηκαν όλα τα πλήθη αγωγών με λιγότερες όμως επαναλήψεις. Για την ακρίβεια δοκιμάστηκαν επτά, οκτώ, εννέα δέκα και έντεκα αγωγοί να κλείνουν, από τις οποίες περιπτώσεις κρατήθηκε αυτή των οκτώ αγωγών που έχει το ίδιο πλήθος αγωγών με αυτό του κώδικα του κεφαλαίου 4.

#### 5.4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ ΤΡΙΤΗΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑΣ

Αφού έγιναν οι απαραίτητες ενέργειες στον αλγόριθμο οι αγωγοί που κλείνουν είναι οι εξής οκτώ: P-231 P-212 P-257 P-45 P-17 P-238 P-227 P-254

Συγκρίνοντας, τους αγωγούς που κλείνει ο αλγόριθμος σε αυτή την προσπάθεια με αυτούς του κώδικα του κεφαλαίου 4 παρατηρείται πως υπάρχουν δύο κοινοί αγωγοί και δύο γειτονικοί αγωγοί. Πρέπει και πάλι να εξεταστεί και η μείωση του εισερχόμενου νερού στο δίκτυο. Με τη βοήθεια του Watercad, μετρήθηκε η εισερχόμενη παροχή στο δίκτυο μελέτης.

Τα αποτελέσματα που πάρθηκαν με τη χρήση της συνάρτησης της παραγράφου 5.4 για το νερό που εισάγεται ήταν για πρώτη φορά ενθαρρυντικά, καθώς υπήρξε μια πρώτη μείωση της παροχής. Οι αγωγοί που κλείνουν σε αυτήν την περίπτωση παρέχουν μια μείωση της παροχής και κατά συνέπεια οικονομία νερού, επομένως θα μπορούσε η συγκεκριμένη συνάρτηση να χρησιμοποιηθεί για να λύσει το πρόβλημα που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία.



Εικόνα 24. Αγωγοί που κλείνει ο αλγόριθμος με τη συνάρτηση της παροχής



Ωστόσο, δεδομένου ότι το EPANET δεν παρέχει ασφαλή αποτελέσματα σε θέματα ζήτησης, γιατί όπως έχει ήδη αναφερθεί, δεν την εξαρτά από την πίεση του δικτύου και επειδή η μείωση που έχει σημειωθεί είναι της τάξης του 90% αυτής του κώδικα, έπρεπε με κάποιον τρόπο να διασφαλιστεί η εγκυρότητα του παραπάνω αποτελέσματος.

Έχοντας, λοιπόν, ήδη μια επιτυχία, αποφασίστηκε σαν τελευταία προσπάθεια εύρεσης της βέλτιστης λύσης να δημιουργηθεί μια τέταρτη αντικειμενική συνάρτηση.

## 5.5 ΤΕΤΑΡΤΗ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ

Σαν επόμενη προσπάθεια, χρησιμοποιήθηκε ως νέα αντικειμενική συνάρτηση, το άθροισμα των πιέσεων όλων των κόμβων για όλα τα χρονικά βήματα. Άρα, η συνάρτηση που αναλύεται σε αυτήν την παράγραφο είναι η εξής:

$$z = \sum \sum Pressure$$

Όπου:

- Pressure η πίεση κάθε κόμβου κάθε ώρα

Το τμήμα του κώδικα που αλλάζει φαίνεται παρακάτω:

```
k=1;
while (step>0 && errcode==0);
    [errcode,t]=ENrunH();
    [errcode,step]=ENnextH();
    for i=2:81;% for all the 80 nodes
        bf=false;
        [errcode,P(k,i)]=ENgetnodevalue(i,11);%% PRESSURE=11
        if P(k,i)<29, %Elegxos gia arnhtikes pieseis kai gia pieseis katw
apo 200kPa
            bf=true;
            break;
        end
    end
    if bf;
        break;
    end
    k=k+1;
end
if bf; z=50000000000
else
    z=sum(sum(P)) %nea antikeimeniki sunartisi
end
```

### 5.5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑΣ

Στην τέταρτη απόπειρα, για να διαπιστωθεί αν τα αποτελέσματα συμπίπτουν με αυτά του κώδικα του κεφαλαίου 4 δοκιμάστηκαν οι εξής οκτώ περιπτώσεις για να εξαχθεί το

επιθυμητό αποτέλεσμα. (Να σημειωθεί ότι η αρχική πίεση πριν οποιαδήποτε παρέμβαση στο δίκτυο ήταν 222910 psi) :

- Να κλείνει 1 αγωγός
- Να κλείνουν 3 αγωγοί
- Να κλείνουν 5 αγωγοί
- Να κλείνουν 7 αγωγοί
- Να κλείνουν 8 αγωγοί
- Να κλείνουν 9 αγωγοί
- Να κλείνουν 10 αγωγοί
- Να κλείνουν 11 αγωγοί

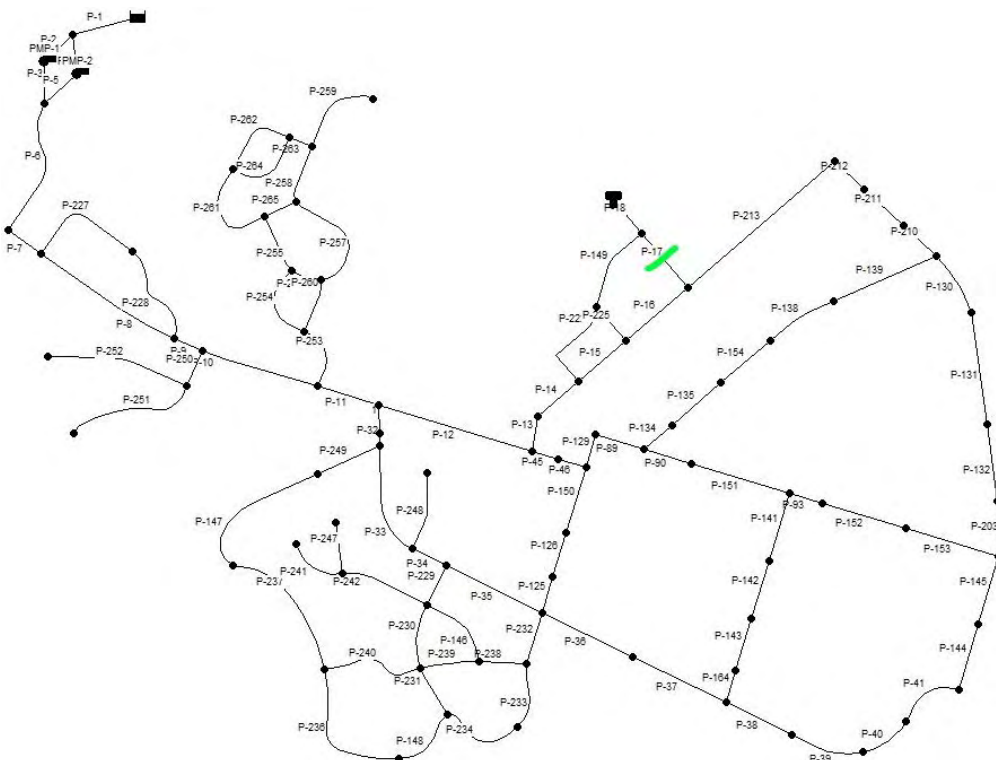
Στην προσπάθεια αυτή, κάθε σενάριο από τα παραπάνω δοκιμάστηκε στον αλγόριθμο τρεις φορές (τρία τρεξίματα όπως και η παράγραφος 5.2), ώστε να βρεθεί το τρέξιμο με το καλύτερο αποτέλεσμα. Αφού έγινε αυτό, ελέγχθηκε η επιρροή στο εισερχόμενο νερό και συντάχθηκε διάγραμμα, που δείχνει τα αποτελέσματα αυτά.

### ΣΕΝΑΡΙΟ 1 ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ

Αγωγός που κλείνει ο αλγόριθμος:

P-17 και στα τρία τρεξίματα (P=196904,375 psi)

Παρατηρείται πως ο αγωγός P-17 είναι αυτός που κλείνει και ο κώδικας του κεφαλαίου 4 πρώτο για καλύτερη οικονομία. Επίσης ο αγωγός αυτός συμπεριλαμβάνεται στους 8 αγωγούς που κλείνει ο αλγόριθμος με τη συνάρτηση της παραγράφου 5.4.



Εικόνα 25. Σενάριο 1 κλειστού αγωγού. Ο αγωγός που κλείνεται είναι ο P-17

### ΣΕΝΑΡΙΟ 3 ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

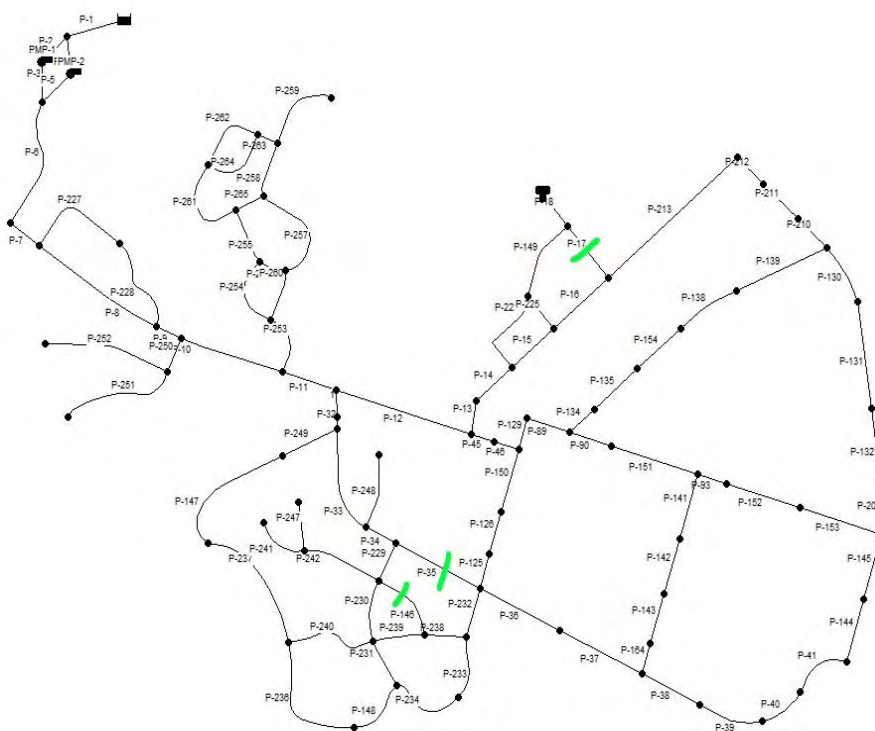
Αγωγοί που κλείνει ο αλγόριθμος για τρία διαφορετικά τρεξίματα:

Πρώτο τρέξιμο: P-17 P-35 P-146 ( $P=183712.063$  psi)

Δεύτερο τρέξιμο: P-17 P-36 P-249 ( $P=187456.219$  psi)

Τρίτο τρέξιμο: P-17 P-35 P-146 ( $P=183712.063$  psi)

Το πρώτο με το τρίτο τρέξιμο δίνουν τους ίδιους αγωγούς ενώ με το δεύτερο διαφέρει μόνο ένας στους τρεις. Όπως γίνεται αντιληπτό, η πίεση μειώθηκε παραπάνω σε σχέση με τον ένα αγωγό.



Εικόνα 26. Σενάριο 3 κλειστών αγωγών. Με πράσινο οι αγωγοί που κλείνουν

### ΣΕΝΑΡΙΟ 5 ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

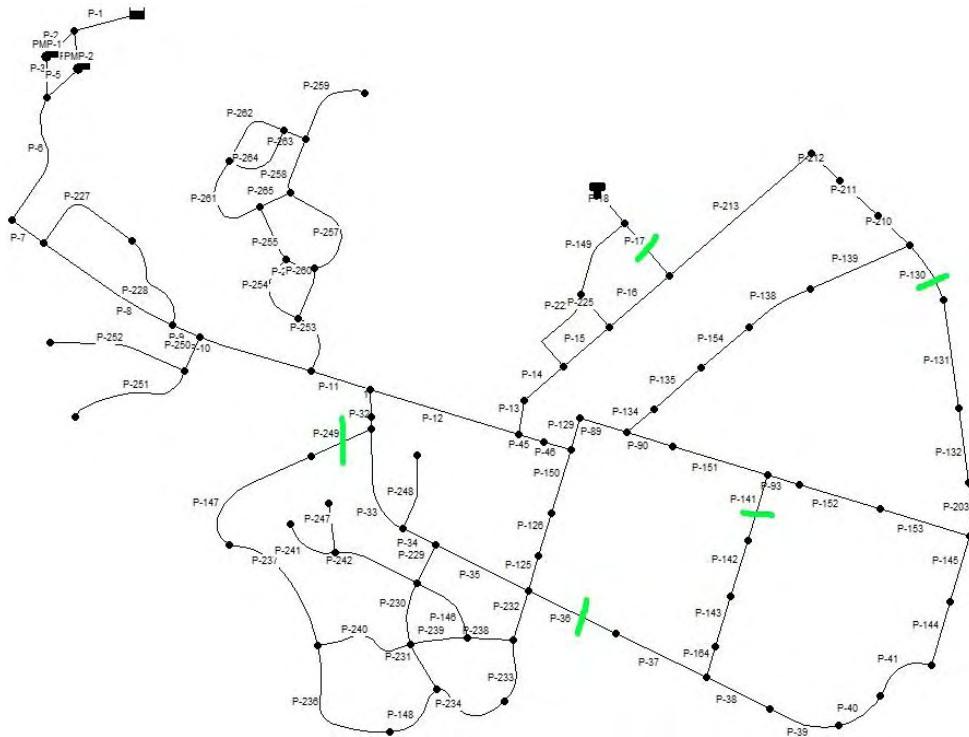
Αγωγοί που κλείνει ο αλγόριθμος για τρία διαφορετικά τρεξίματα:

Πρώτο τρέξιμο: P-17 P-35 P-203 P-230 P-129 ( $P=186769.750$  psi)

Δεύτερο τρέξιμο: P-17 P-35 P-203 P-230 P-129 ( $P=186769.750$  psi)

Τρίτο τρέξιμο: P-17 P-36 P-249 P-130 P-141 ( $P=184806.438$  psi)

Το πρώτο με το δεύτερο τρέξιμο δίνουν τους ίδιους αγωγούς ενώ με το τρίτο επιτυγχάνεται καλύτερο αποτέλεσμα με την πίεση, ωστόσο να κυμαίνεται σε παρόμοια επίπεδα.



Εικόνα 27. Σενάριο 5 κλειστών αγωγών. Με πράσινο φαίνονται οι αγωγοί που κλείνουν

## ΣΕΝΑΡΙΟ 7 ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

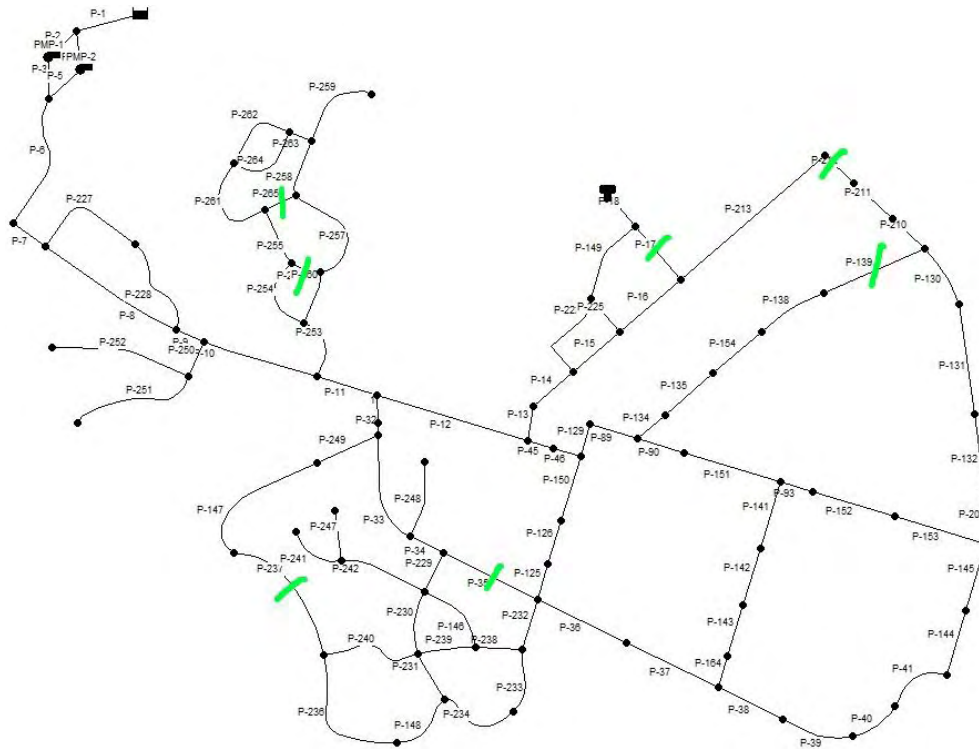
Αγωγοί που κλείνει ο αλγόριθμος για τρία διαφορετικά τρεξίματα:

Πρώτο τρέξιμο: P-256 P-17 P-139 P-265 P-237 P-35 P-212 ( $P=180665.344$  psi)

Δεύτερο τρέξιμο: P-261 P-36 P-46 P-17 P-260 P-90 P-148 ( $P=184790.906$  psi)

Τρίτο τρέξιμο: P-261 P-36 P-46 P-17 P-260 P-90 P-148 ( $P=184790.906$  psi)

Και σε αυτό το σενάριο υπάρχουν δύο ίδια αποτελέσματα με το πρώτο να δίνει ακόμα μικρότερη πίεση από τα προηγούμενα σενάρια, οπότε αυτό είναι και το καλύτερο μέχρι στιγμής αποτέλεσμα.



Εικόνα 28. Σενάριο 7 κλειστών αγωγών. Α γωγοί που κλείνουν

## ΣΕΝΑΡΙΟ 8 ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

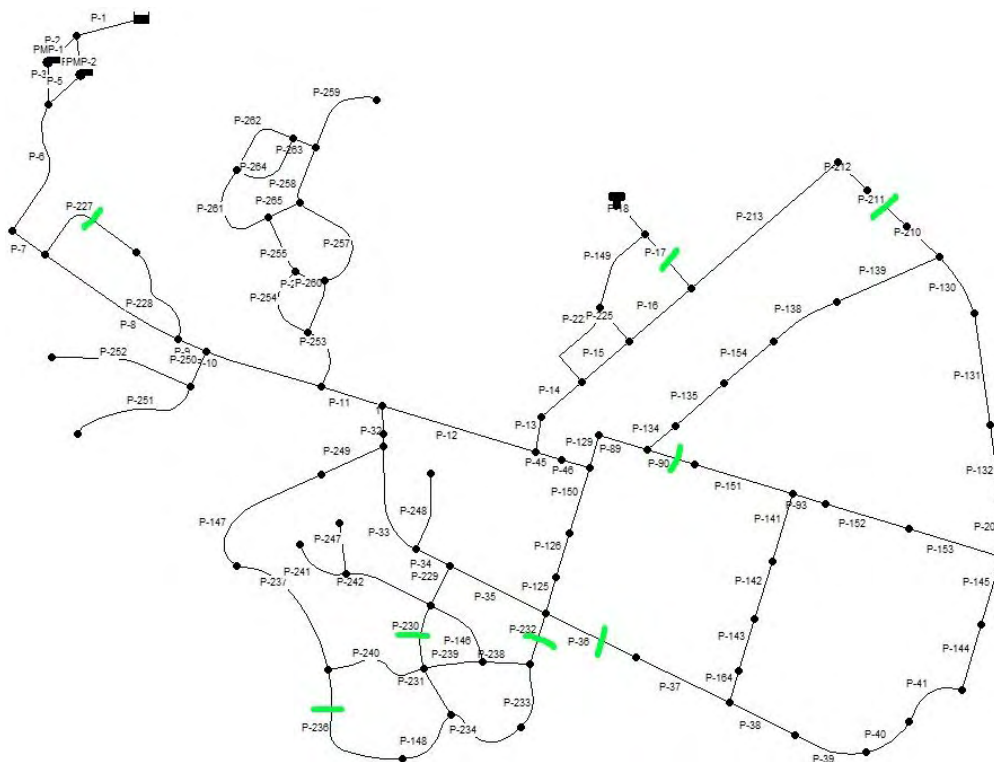
Αγωγοί που κλείνει ο αλγόριθμος για τρία διαφορετικά τρεξίματα:

Πρώτο τρέξιμο: P-227 P-232 P-230 P-36 P-17 P-211 P-236 P-90 ( $P=184712.25$  psi)

Δεύτερο τρέξιμο: P-227 P-232 P-230 P-36 P-17 P-211 P-236 P-90 ( $P=184712.25$  psi)

Τρίτο τρέξιμο: P-227 P-232 P-230 P-36 P-17 P-211 P-236 P-90 ( $P=184712.25$  psi)

Στο σενάριο αυτό και τα τρία τρεξίματα δίνουν ίδιους αγωγούς. Επίσης τέσσερις από αυτούς είναι κοινοί με το αποτέλεσμα του κώδικα του κεφαλαίου 4, πράγμα το οποίο σημαίνει πως τα αποτελέσματα αρχίζουν και συγκλίνουν. Η πίεση ωστόσο δεν μειώνεται παραπάνω απ' ότι στα προηγούμενα σενάρια αλλά δεν απέχει σε μεγάλο βαθμό από αυτά.



Εικόνα 29. Σενάριο 8 κλειστών αγωγών. Με πράσινο παρουσιάζονται οι αγωγοί που κλείνουν

## ΣΕΝΑΡΙΟ 9 ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

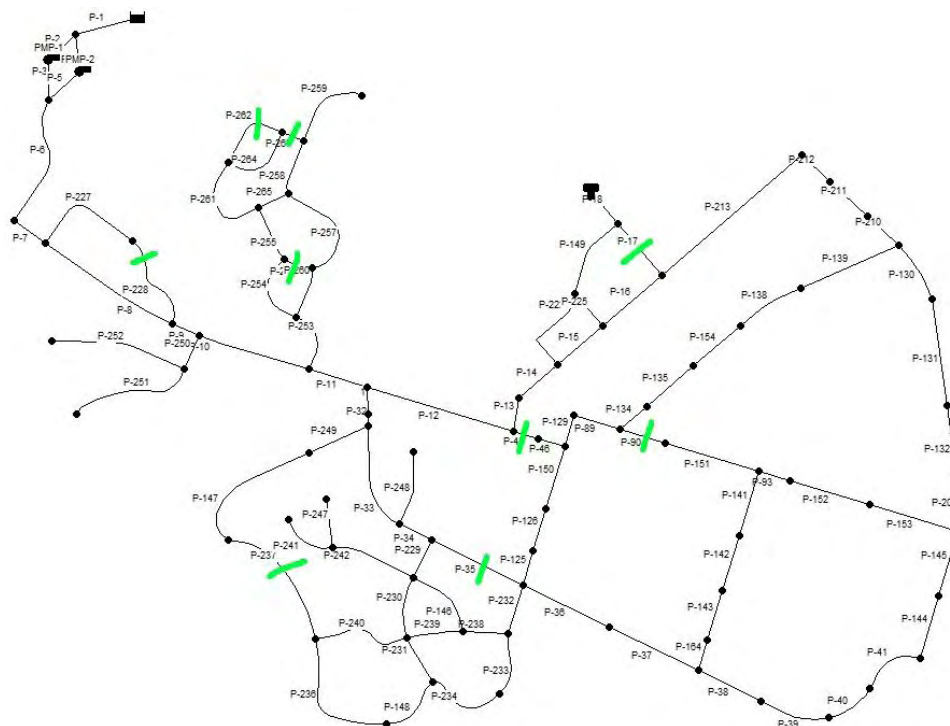
Αγωγοί που κλείνει ο αλγόριθμος για τρία διαφορετικά τρέξιματα:

Πρώτο τρέξιμο: P-256 P-17 P-35 P-262 P-263 P-228 P-90 P-237 P-45 (**P=180667.438 psi**)

Δεύτερο τρέξιμο: P-213 P-238 P-36 P-255 P-230 P-240 P-17 P-151 P-249 (**P=183834.188 psi**)

Τρίτο τρέξιμο: P-146 P-211 P-17 P-240 P-222 P-150 P-35 P-256 P-237 (**P=186279.703 psi**)

Εδώ, η πίεση είναι στα επίπεδα που ήταν στο σενάριο με τους επτά κλειστούς αγωγούς στο πρώτο τρέξιμο, ενώ στα επόμενα δύο αγγίζει τις τιμές του σεναρίου των οκτώ κλειστών αγωγών. Και εδώ υπάρχουν τρεις κοινοί αγωγοί και κάποιοι γειτονικοί με αυτούς του σεναρίου του κεφαλαίου 4.



Εικόνα 30. Σενάριο 9 κλειστών αγωγών. Με πράσινο φαίνονται οι αγωγοί που κλείνουν

## ΣΕΝΑΡΙΟ 10 ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Αγωγοί που κλείνει ο αλγόριθμος για τρία διαφορετικά τρεξίματα:

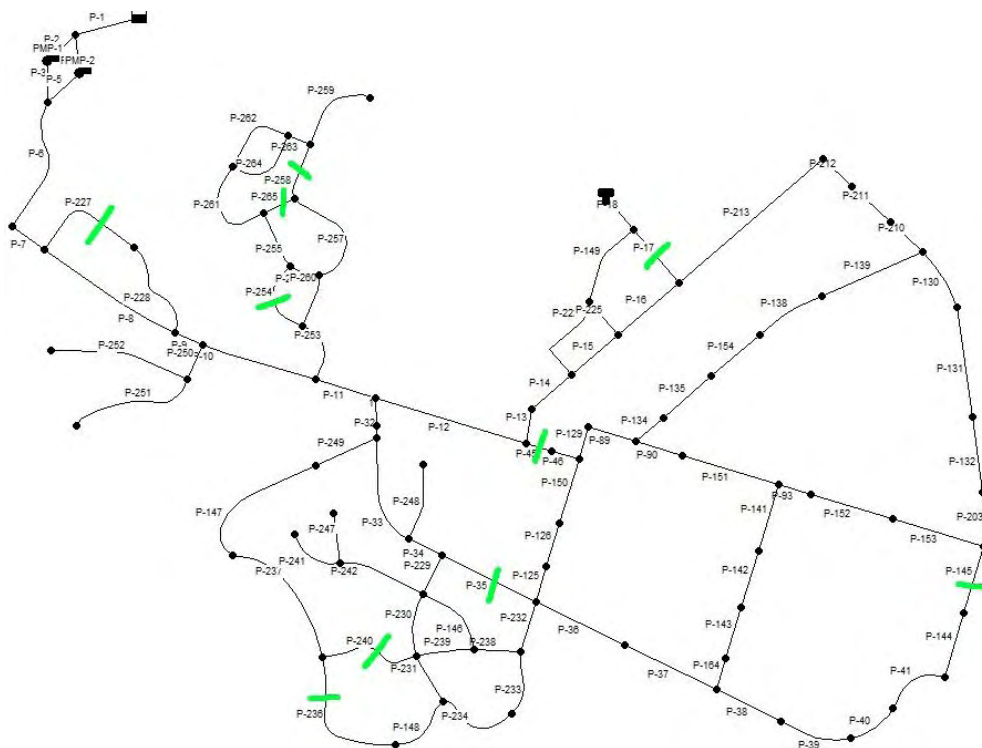
Πρώτο τρέξιμο: P-227 P-265 P-240 P-145 P-258 P-17 P-45 P-35 P-254 P-236  
(P=181436.359 psi)

Δεύτερο τρέξιμο: P-227 P-265 P-240 P-145 P-258 P-17 P-45 P-35 P-254 P-236  
(P=181436.359 psi)

Τρίτο τρέξιμο: P-46 P-90 P-36 P-231 P-264 P-256 P-17 P-240 P-227 P-254 (P=184685.875 psi)

Το 1<sup>ο</sup> και το 2<sup>ο</sup> τρέξιμο εξάγουν τους ίδιους αγωγούς προς κλείσιμο ενώ το 3<sup>ο</sup> δεν μειώνει την πίεση (δίνει παρόμοια πίεση με αυτή του σεναρίου των οκτώ κλειστών αγωγών παραπάνω).





Εικόνα 31. Σενάριο 10 κλειστών αγωγών. Με πράσινο χρωματίζονται οι αγωγοί που κλείνουν

## ΣΕΝΑΡΙΟ 11 ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Αγωγοί που κλείνει ο αλγόριθμος για τρία διαφορετικά τρέξιματα:

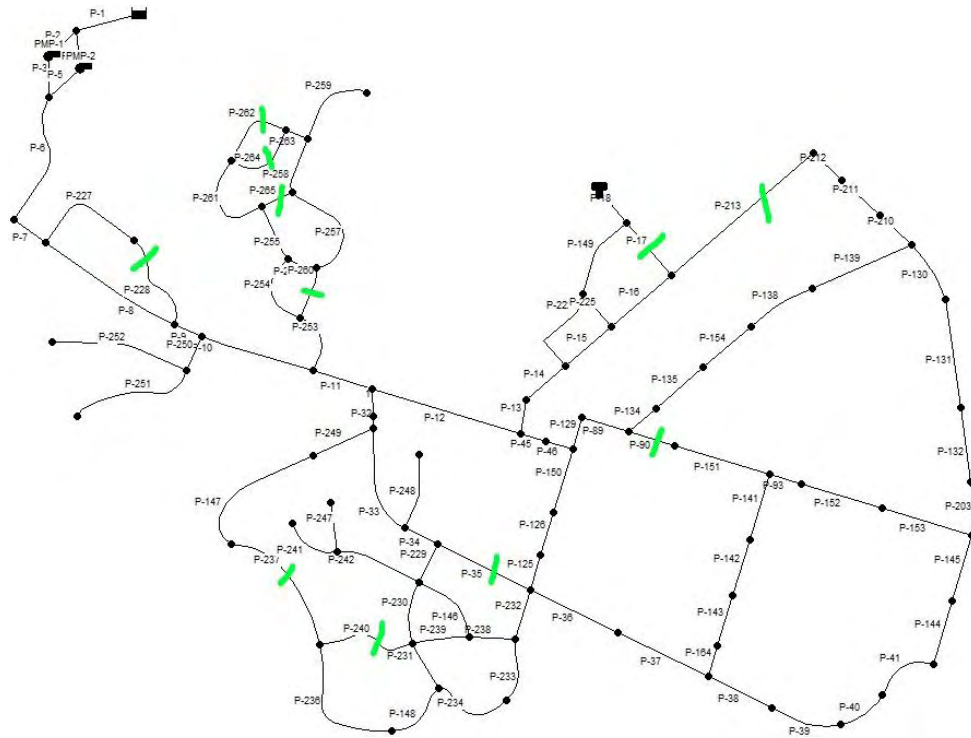
Πρώτο τρέξιμο: P-254 P-141 P-46 P-227 P-35 P-255 P-134 P-211 P-148 P-17 P-261  
(P=187977.328 psi)

Δεύτερο τρέξιμο: P-139 P-233 P-256 P-144 P-240 P-149 P-225 P-211 P-146 P-35 P-236  
(P=191314.484 psi)

Τρίτο τρέξιμο: P-265 P-237 P-228 P-262 P-90 P-264 P-240 P-35 P-260 P-213 P-17  
(P=179759.328 psi)

Στο τελευταίο σενάριο, των 11 αγωγών λαμβάνεται η καλύτερη δυνατή πίεση με το τρίτο τρέξιμο του αλγόριθμου αλλά και η λιγότερη μείωση με το δεύτερο τρέξιμο.





Εικόνα 32. Σενάριο 11 κλειστών αγωγών. Παρουσίαση αγωγών που κλείνουν

Στη συνέχεια, οι καλύτερες περιπτώσεις των παραπάνω σεναρίων θα εξεταστούν μαζί όσο αφορά την μείωση που προκαλούν στο εισαγόμενο νερό που είναι και το ζητούμενο της συγκεκριμένης εργασίας και θα αξιολογηθεί η λειτουργία του αλγόριθμου με τη συνάρτηση του αθροίσματος της πίεσης όλου του δικτύου για όλο το εικοσιτετράωρο.

### 5.5.2 ΕΙΣΑΓΩΜΕΝΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

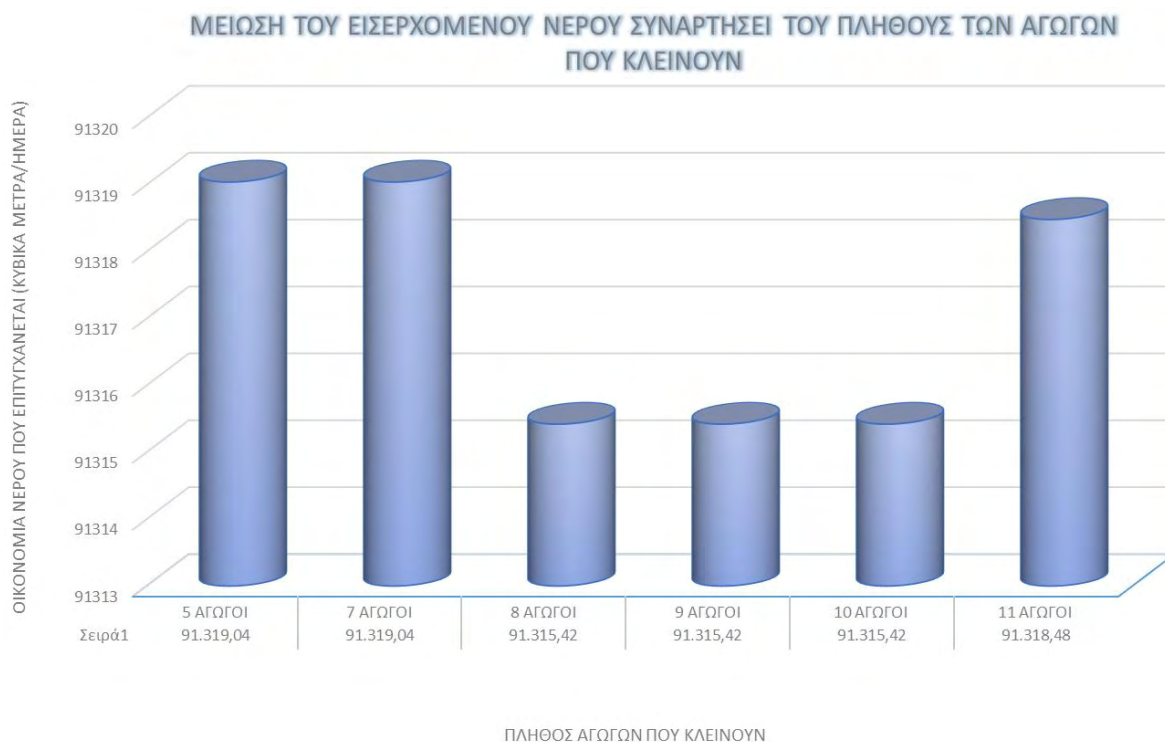
Έχοντας τελειώσει με το κομμάτι του αλγορίθμου, επόμενο βήμα ήταν η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για την τελευταία προσπάθεια με αντικειμενική συνάρτηση το άθροισμα της πίεσης του δικτύου. Πρέπει να εξαχθεί με τη βοήθεια του δεύτερου υδραυλικού λογισμικού (watercad), όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, το εισαγόμενο νερό στο δίκτυο μελέτης για κάθε ένα από τα σεναρία της παραγράφου 5.5.1.

Τα αποτελέσματα τοποθετήθηκαν σε διάγραμμα, για να δημιουργηθεί μια πρώτη εικόνα για το πιο είναι το βέλτιστο σενάριο, με το οποίο θα σχηματιστούν οι DMAs, θα τοποθετηθούν βαλβίδες μείωσης της πίεσης και θα ολοκληρωθεί με μια οικονομική μελέτη. Από το διάγραμμα που ακολουθεί, έχουν αφαιρεθεί τα σεναρία του ενός και των τριών αγωγών καθώς, είναι προφανές, ότι δεν οδηγούν σε σχηματισμών στεγανών υποζωνών εξαιτίας του πολύ μικρού τους πλήθους.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα παρακάτω (εικόνα 14), με την τελευταία προσπάθεια εργασίας στον γενετικό αλγόριθμο επιτεύχθηκε ο ζητούμενος στόχος, που ήταν να μειωθεί

ικανοποιητικά η παροχή του νερού που μπαίνει στο δίκτυο και τροφοδοτεί τους καταναλωτές.

Επίσης, είναι εύκολα διακριτό πως οι οκτώ αγωγοί που κλείνει ο αλγόριθμος με τη συνάρτηση της πίεσης αποδίδουν την καλύτερη δυνατή μείωση του εισερχόμενου νερού. Επιλέγεται το σενάριο των οκτώ αγωγών και όχι των εννέα ή δέκα, γιατί αυτό περιλαμβάνει μικρότερο αριθμό βαλβίδων απομόνωσης, άρα είναι και το λιγότερο δαπανηρό σε σχέση με τα άλλα δύο.

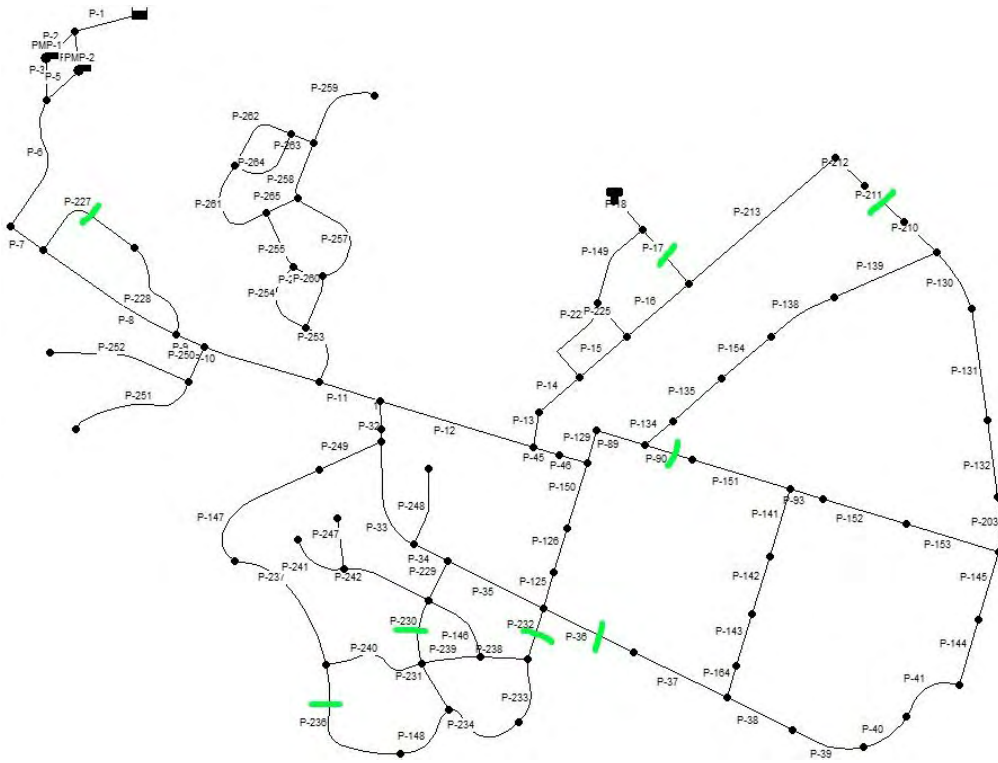


Εικόνα 33. Διάγραμμα μείωσης εισαγόμενου νερού σε σχέση με το κάθε σενάριο κλειστών αγωγών που εξάγει ο αλγόριθμος

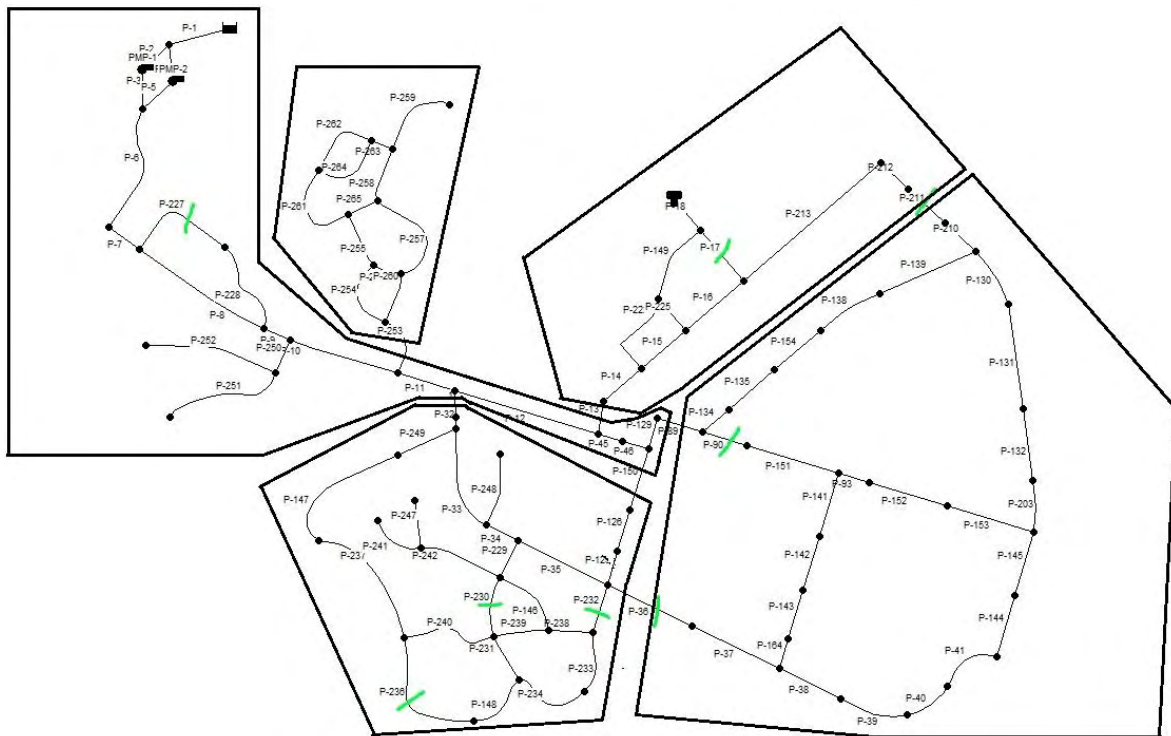
Επομένως, έχοντας αναφερθεί σε όλα τα παραπάνω οι αγωγοί που κλείνουν τελικά είναι οι:

P-227 P-265 P-240 P-145 P-258 P-17 P-45 P-35 P-254 P-236

Για να δοθεί και σχηματικά το αποτέλεσμα που εξάγει ο αλγόριθμος παρατίθενται οι δύο παρακάτω εικόνες. Στην πρώτη εικόνα (εικόνα 34) φαίνονται οι αγωγοί που κλείνει ο αλγόριθμος στην καλύτερη λύση (των οκτώ αγωγών), ενώ στη δεύτερη εικόνα (εικόνα 35) απεικονίζεται το δίκτυο μελέτης χωρισμένο σε DMAs.



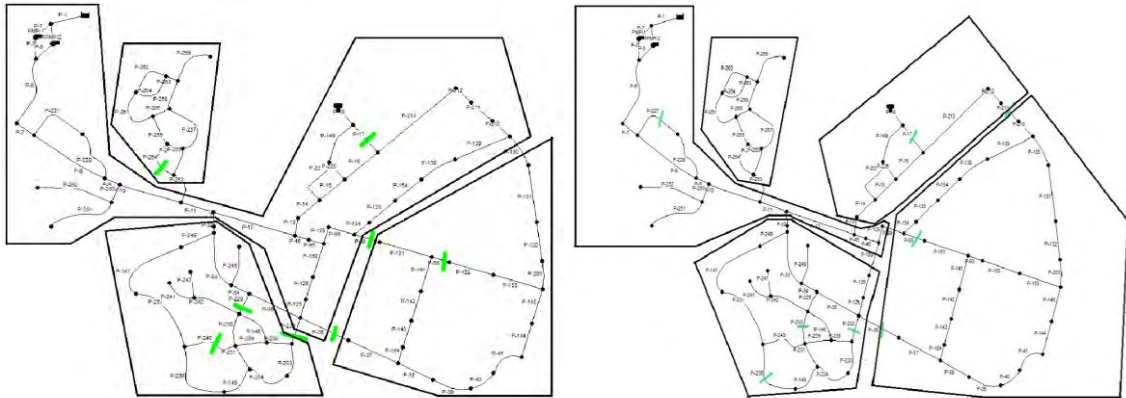
Εικόνα 34. Σενάριο 8 κλειστών αγωγών. Με πράσινα οι αγωγοί που κλείνουν και μειώνουν το εισερχόμενο νερό.



Εικόνα 35. DMAs βέλτιστου σεναρίου (8 κλειστών αγωγών)

Με σχηματισμένες DMAs, πλέον, με τις δύο μεθόδους, του απλού κώδικα και του γενετικού αλγορίθμου με συνάρτηση το άθροισμα της πίεσης, μπορούν να συγκριθούν οι δύο μέθοδοι και στο σχηματισμό (εικόνα 36). Παρατηρώντας την εικόνα 36 εξάγονται κάποια συμπεράσματα. Αρχικά, φαίνεται πως οι δύο περιπτώσεις δεν παρουσιάζουν μεγάλη

διαφοροποίηση όσο αφορά τον σχηματισμό. Ο μεν κώδικας δίνει τέσσερις DMAs, ενώ ο αλγόριθμος πέντε με τρεις από αυτές είναι σχεδόν ταυτόσημες και στις δύο προσπάθειες.



Εικόνα 36. Σύγκριση σχηματισμού στεγανών υποζωνών με τις δύο διαφορετικές μεθόδους εργασίας. Αριστερά φαίνεται ο σχηματισμός των DMA με τη βοήθεια του κώδικα του κεφαλαίου 4 και δεξιά φαίνεται ο σχηματισμός των DMA με τη βοήθεια του γενετικού αλγορίθμου με συνάρτηση το άθροισμα της πίεσης

Και στις δύο υπάρχει μια κεντρική DMA που τροφοδοτεί το δίκτυο με νερό και ξεκινά από τον ταμιευτήρα και στην αριστερή εικόνα εκτείνεται μέχρι και την δεξαμενή περιλαμβάνοντας την πάνω δεξιά DMA της δεξιάς εικόνας που τη θέλει αυτόνομη DMA. Αυτή είναι και η βασική διαφορά στις δύο μεθόδους. Η δεύτερη, ωστόσο, είναι πιο κοντά στο ολικό βέλτιστο που ζητείται και οι λόγοι έχουν αναφερθεί στα πιο πάνω κεφάλαια αναλυτικά.

Η αμέσως επόμενη DMA είναι αυτή που ξεκινά από τον αγωγό P-253 και είναι πανομοιότυπη και στις δύο προσεγγίσεις. Θα πρέπει όμως, να αναφερθεί πως ούτως ή άλλως το τμήμα αυτό αποτελούσε μια DMA με μοναδική είσοδο νερού τον αγωγό P-253 και καμία έξοδο.

Η τρίτη DMA έχει και στις δύο περιπτώσεις είσοδο τον αγωγό 1 του δικτύου μελέτης. Στην αριστερή εικόνα όμως φαίνεται η έξοδος του νερού να γίνεται από τον αγωγό P-35, εν αντιθέσει με τη δεξιά, όπου η διέξοδος του νερού γίνεται από τον αγωγό P-120. Αν παρατηρηθούν οι δυο εικόνες εκτενέστερα, μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό ότι και στην αριστερή εικόνα υπάρχει δυνατότητα να επεκταθεί η εν λόγω DMA έως τον αγωγό P-120, επομένως μπορούν να θεωρηθούν επίσης όμοιες οι δύο αυτές DMAs.

Τέλος, η τελευταία κατάντη DMA, έχει στην αριστερή εικόνα είσοδο νερού από τον αγωγό P-130 ενώ στη δεξιά από τον αγωγό P-89 και καμία έξοδο και στις δύο εικόνες. Οι κόμβοι που περιλαμβάνουν είναι οι ίδιοι, με μόνη διαφορά ότι στη δεξιά εικόνα περιλαμβάνονται και οι κόμβοι που συνδέουν τους αγωγούς P-134, P-135 P-154, P-138, P-139, P-130 και P-210.

Επόμενο ζητούμενο της εργασίας ήταν η τοποθέτηση και η ρύθμιση στον βέλτιστο βαθμό των βαλβίδων PRV.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΒΑΛΒΙΔΩΝ PRV ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Το επόμενο στάδιο της μελέτης που πραγματοποιήθηκε ήταν η τοποθέτηση βαλβίδων μείωσης πίεσης για την επίτευξη μεγαλύτερης οικονομίας. Γι' αυτό το σκοπό εξετάστηκαν διαφορετικά σενάρια για το πόσες PRV θα τοποθετηθούν και σε ποια σημεία. Ο κύριος στόχος κάθε σεναρίου είναι η μείωση της μέσης πίεσης σε κάθε DMA, με τον περιορισμό η πίεση του κρίσιμου σημείου (σημείο με τη χαμηλότερη πίεση) να μην πέφτει καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου κάτω από την κατώτατη τιμή όπως έχει οριστεί από τον κανονισμό, δηλαδή 29psi (200kPa) ή περίπου 2 ατμόσφαιρες. Η κατώτατη τιμή των 2 ατμοσφαιρών προτείνεται για κανονικές συνθήκες λειτουργίας στο «Prowat εγχειρίδιο αντιμετώπισης απωλειών ύδατος» ενώ αναφέρεται και σαν υποχρέωση των Δ.Ε.Υ.Α. για παροχή νερού με την αναφερόμενη πίεση στη θέση του μετρητή των πελατών. Συνολικά εξετάστηκαν οκτώ διαφορετικά σενάρια με τη βοήθεια του γενετικού αλγορίθμου.

- Πρώτο σενάριο: Τοποθέτηση 1 PRV στον αγωγό P-10 που επηρεάζει όλο το δίκτυο.
- Δεύτερο σενάριο: Τοποθέτηση 1 PRV στον αγωγό P-89 που επηρεάζει την μία από τις 5 DMAs.
- Τρίτο σενάριο: Τοποθέτηση 1 PRV στον αγωγό 1 που επηρεάζει τις τρεις κατάντη DMAs
- Τέταρτο σενάριο: Τοποθέτηση 1 PRV στον αγωγό P-253 που επίσης επηρεάζει μόνο την μία μικρή ανάντη DMA
- Πέμπτο σενάριο: Τοποθέτηση 1 PRV στον αγωγό P-13 που επίσης επηρεάζει τις τρεις κατάντη DMAs
- Έκτο σενάριο: Τοποθέτηση 2 PRV στους αγωγούς P-11 και P-253 που μαζί επηρεάζουν όλο το δίκτυο
- Έβδομο σενάριο: Τοποθέτηση 3 PRV στους αγωγούς 1, P-89 και P-253 που μαζί επηρεάζουν και τις 4 DMAs του δικτύου
- Όγδοο σενάριο: Τοποθέτηση 4 PRV στους αγωγούς 1, P-13, P-89 και P-253 που μαζί επηρεάζουν και τις 4 DMAs του δικτύου

Τα σενάρια αυτά θα αναλυθούν στις παρακάτω παραγράφους, ώστε να διαπιστωθεί το μέγεθος της οικονομίας που επιτυγχάνεται στο καθένα όσο αφορά τη συνολική πίεση του δικτύου. Να επισημανθεί σε αυτό το σημείο πως η τοποθέτηση μιας μόνο PRV δοκιμάζεται σε πολλά σημεία, έτσι ώστε, πρώτον να δημιουργηθεί μια εικόνα για το ποιο σημείο ρυθμίζει περισσότερο το δίκτυο αλλά και στην περίπτωση που τοποθετηθεί μια PRV να έχει εντοπιστεί ο αγωγός στον οποίο θα ενσωματωθεί για την επίτευξη μέγιστης δυνατής οικονομίας.

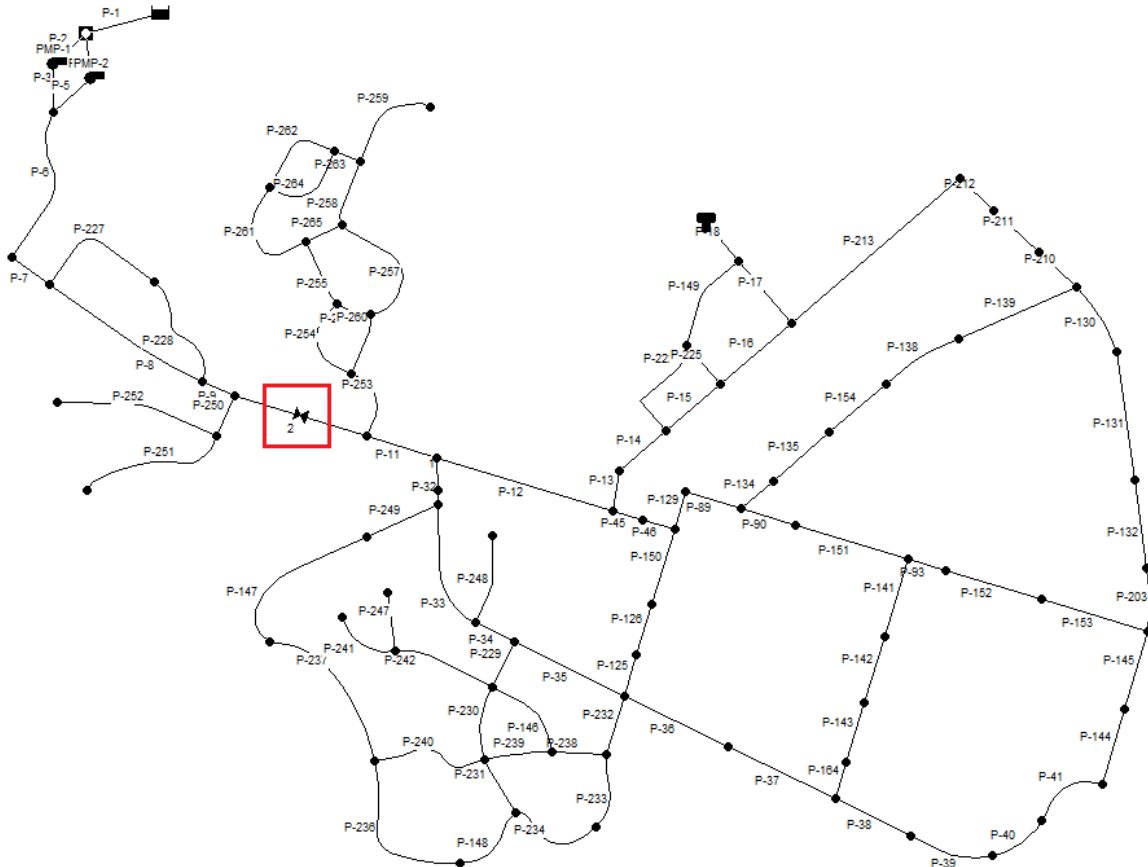
### 6.1 ΠΡΩΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ : 1 PRV στον αγωγό P-10

Όπως φαίνεται στην εικόνα 37, προσομοιώθηκε το δίκτυο με την μια PRV στο EPANET και στη συνέχεια κατασκευάστηκε η κατάλληλη συνάρτηση στο MATLAB η οποία εισάχθηκε στο



γενετικό αλγόριθμο και εξήγαγε τη ρύθμιση στην οποία θα πρέπει να δουλέψει η PRV για να επιτευχθεί οικονομία σε πίεση.

Στο πρώτο από τα παραπάνω σενάρια τοποθετήθηκε μια PRV, σε τέτοιο σημείο, ώστε να υπάρχει δυνατότητα να ρυθμίζεται η πίεση σε ολόκληρο το δίκτυο. Επιλέχθηκε ο αγωγός P-10 και το δίκτυο παίρνει την εξής εικόνα:



Εικόνα 37. Πρώτο σενάριο. 1 PRV στον αγωγό P-10

Το κομμάτι του κώδικα της συνάρτησης που χρησιμοποιήθηκε και στόχευε στη ρύθμιση αυτή ήταν το παρακάτω:

```
[errcode pipeIndex(1)]=ENgetlinkindex('3');  
  
[y,x]=size(pop)  
[errcode]=ENinith(1);  
[errcode] = ENsetlinkvalue(pipeIndex(1), 12, pop(1,1));  
  
[errcode,step]=ENnextH();  
k=1;  
while (step>0 && errcode==0);  
[errcode,t]=ENrunH();  
[errcode,step]=ENnextH();  
for i=2:81;% for all the 80 nodes  
bf=false;  
[errcode,P(k,i)]=ENgetnodevalue(i,11);%% PRESSURE=11  
if P(k,i)<29, %Elegxos gia arnhtikes pieseis kai gia pieseis katw  
apo 200kPa
```

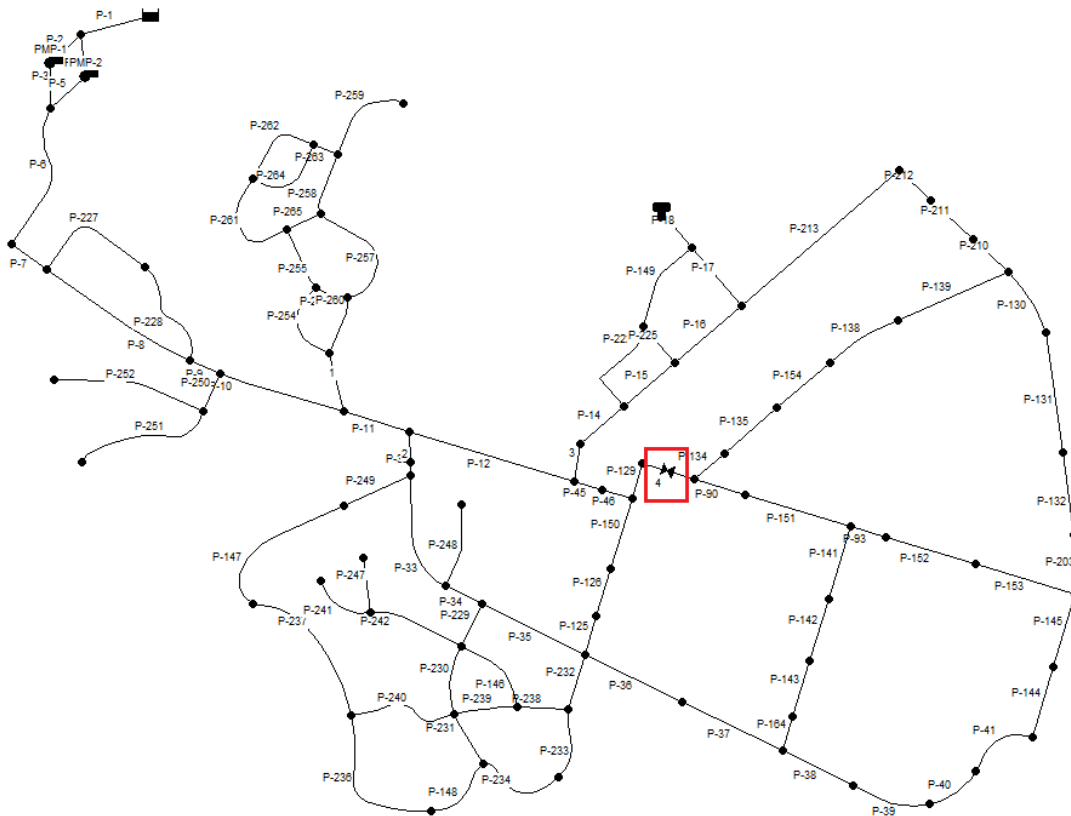
```
                bf=true;
                break;
            end
        end
        if bf;
            break;
        end
        k=k+1;
    end
    if bf; z=50000000000
    else
        z=sum(sum(P))
    end
```

Ολόκληρος ο κώδικας της συνάρτησης παρατίθεται στο παράρτημα Β με τους υπόλοιπους κώδικες που έχουν χρησιμοποιηθεί.

Το αποτέλεσμα που δίνει ο αλγόριθμος είναι πως η PRV πρέπει να ρυθμιστεί στα 56 psi και δίνει συνολική πίεση δικτύου ίση με 158165,0313 psi ή επιπλέον μείωση 14,37% σε σχέση με την μείωση της πίεσης που προκαλούν οι βαλβίδες απομόνωσης.

## 6.2 ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΕΝΑΡΙΟ : 1 PRV στον αγωγό P-89

Στο δεύτερο σενάριο που περιλάμβανε τοποθέτηση 1 PRV στο δίκτυο ήταν η PRV στον αγωγό P-89. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα η συγκεκριμένη PRV επηρεάζει (ρυθμίζει) την τελευταία κατάντη DMA και μόνο.



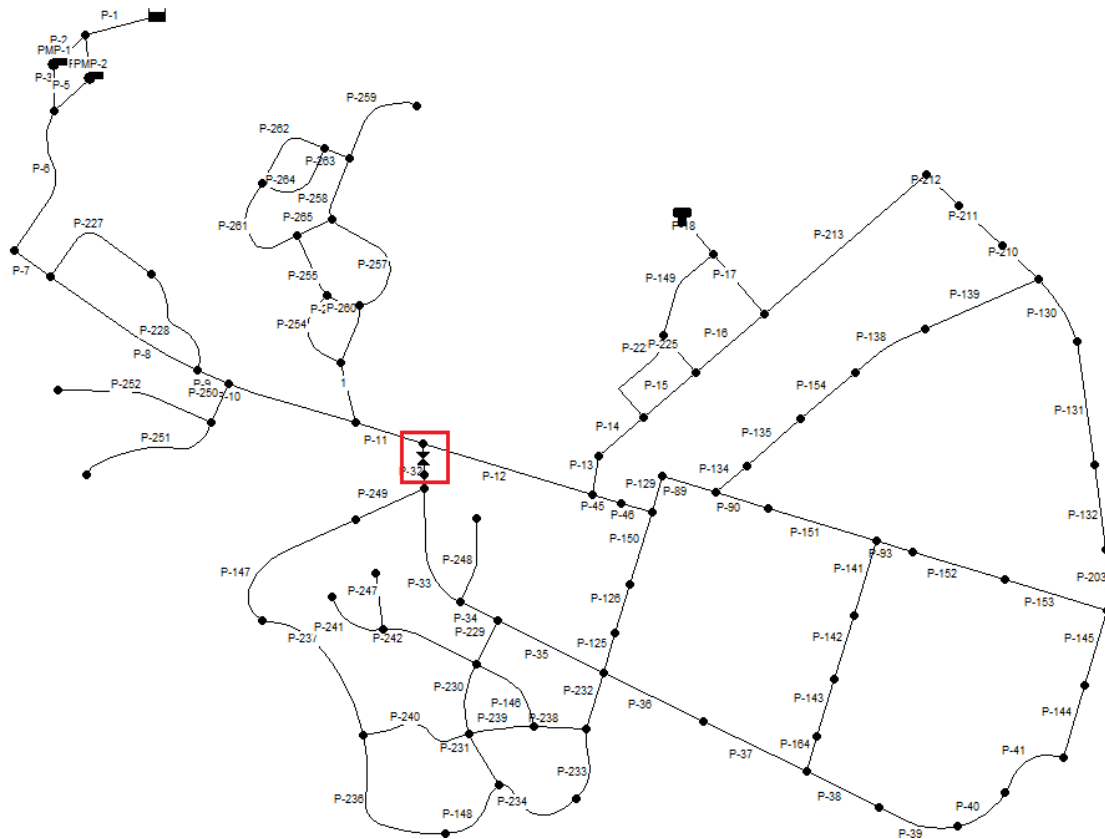
Εικόνα 38. Δεύτερο σενάριο. 1 PRV στον αγωγό P-89

Ο κώδικας της συνάρτησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο ίδιος με αυτόν του προηγούμενου σεναρίου με διαφοροποίηση μόνο στα ονόματα των βαλβίδων και του input αρχείου.

Το αποτέλεσμα που δίνει ο αλγόριθμος είναι πως η PRV πρέπει να ρυθμιστεί στα 43 psi και δίνει συνολική πίεση δικτύου ίση με 158477,8281 psi ή επιπλέον μείωση 14,20% σε σχέση με την μείωση της πίεσης που προκαλούν οι βαλβίδες απομόνωσης.

### 6.3 ΤΡΙΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ : Τοποθέτηση 1 PRV στον αγωγό 1

Στο τρίτο σενάριο που περιλάμβανε τοποθέτηση 1 PRV στο δίκτυο ήταν η PRV στον αγωγό 1. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα η συγκεκριμένη PRV ρυθμίζει τόσο την τρίτη κατάντη DMA όσο και τις 2 επόμενες.



Εικόνα 39. Τρίτο σενάριο. Εισαγωγή PRV στον αγωγό 1

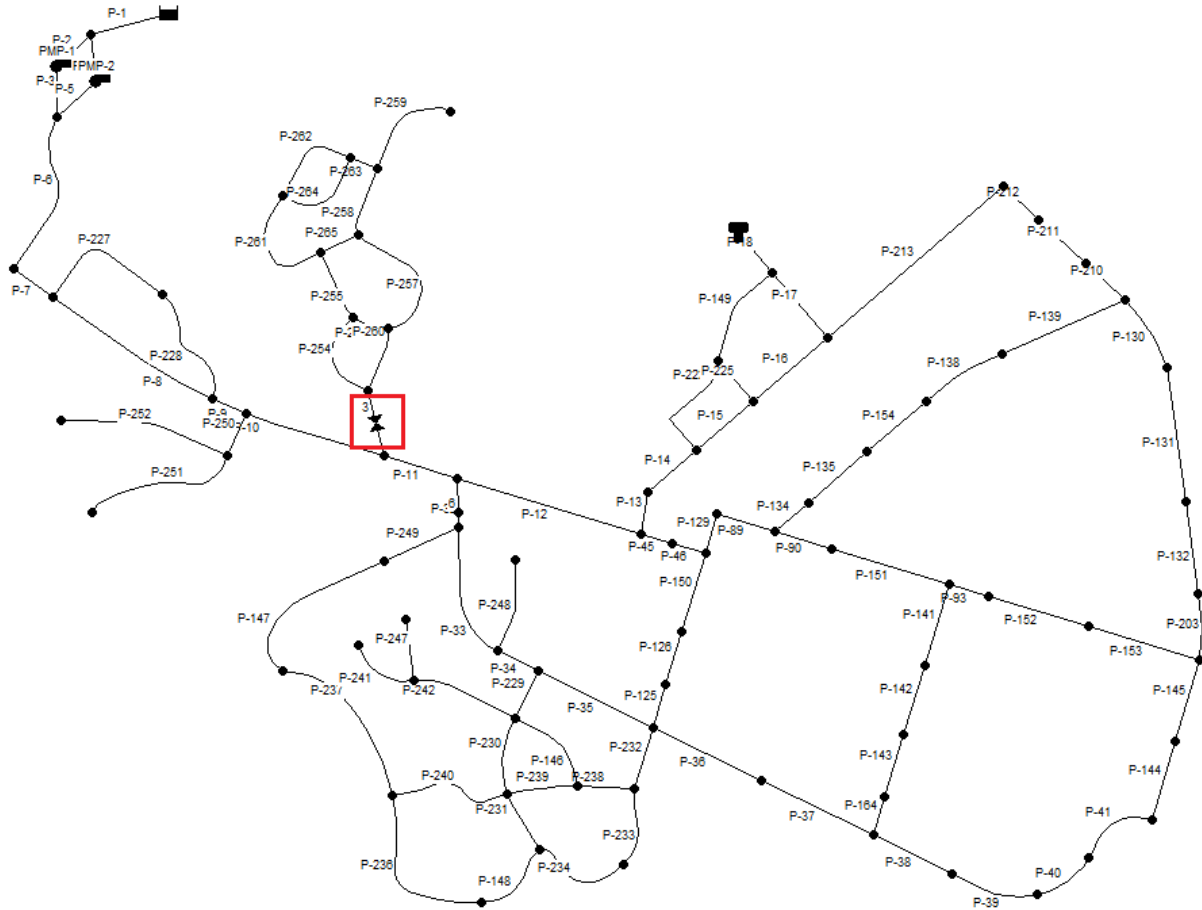
Και εδώ ο κώδικας της συνάρτησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο ίδιος με αυτόν του πρώτου σεναρίου με διαφοροποίηση μόνο στα ονόματα των βαλβίδων και του input αρχείου.

Το αποτέλεσμα που δίνει ο αλγόριθμος είναι πως η PRV πρέπει να ρυθμιστεί στα 62 psi και δίνει συνολική πίεση δικτύου ίση με 148889,3125 psi ή επιπλέον μείωση 19,39% σε σχέση με την μείωση της πίεσης που προκαλούν οι βαλβίδες απομόνωσης.



## 6.4 ΤΕΤΑΡΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ : Τοποθέτηση 1 PRV στον αγωγό P-253

Στο τέταρτο σενάριο που περιλάμβανε τοποθέτηση 1 PRV στο δίκτυο ήταν η PRV στον αγωγό P-253. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα η συγκεκριμένη PRV ρυθμίζει και τις τρεις κατάντη DMAs.

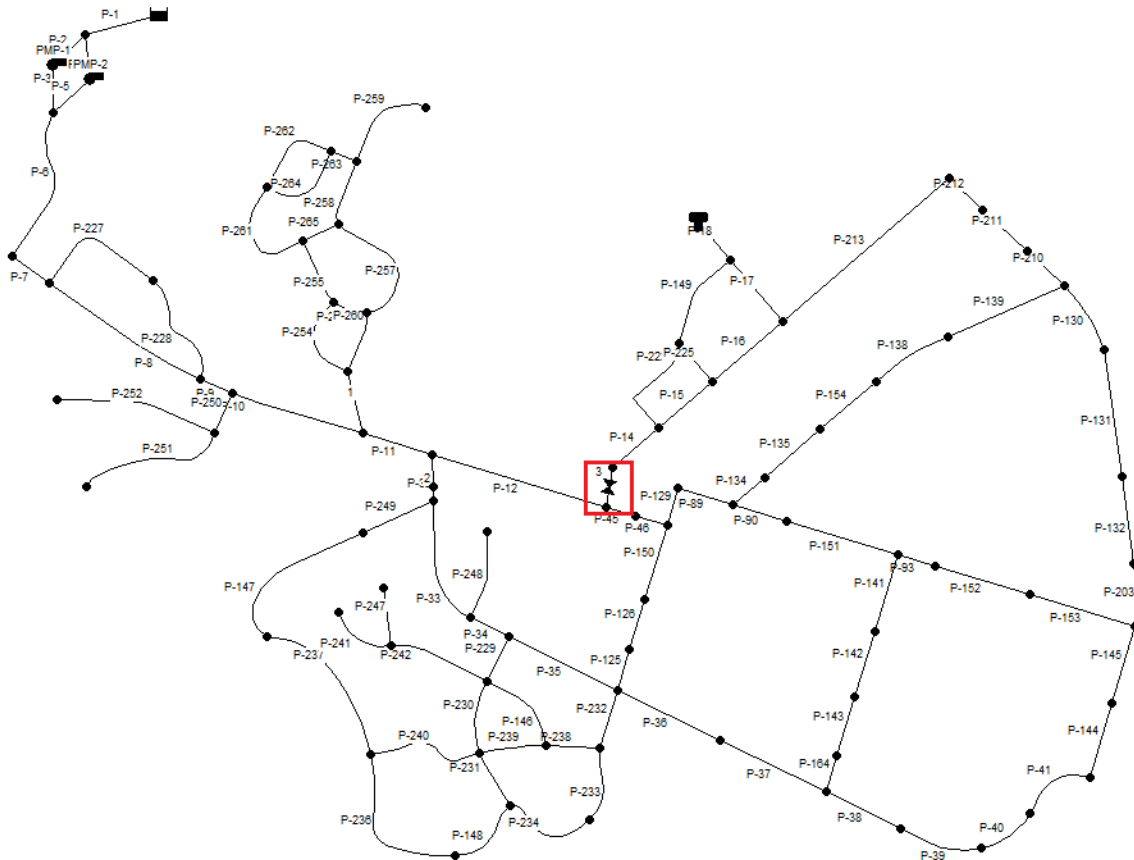


Εικόνα 4ο. Τέταρτο σενάριο. 1 PRV στον αγωγό P-253

Το αποτέλεσμα που δίνει ο αλγόριθμος είναι πως η PRV πρέπει να ρυθμιστεί στα 47 psi και δίνει συνολική πίεση δικτύου ίση με 177095,125 psi ή επιπλέον μείωση 4,12% σε σχέση με την μείωση της πίεσης που προκαλούν οι βαλβίδες απομόνωσης.

## 6.5 ΠΕΜΠΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ : Τοποθέτηση 1 PRV στον αγωγό P-13

Στο πέμπτο σενάριο που περιλάμβανε επίσης τοποθέτηση 1 PRV στο δίκτυο ήταν η PRV στον αγωγό P-13. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα η συγκεκριμένη PRV ρυθμίζει και τις τρεις κατάντη DMAs. Το αποτέλεσμα που δίνει ο αλγόριθμος στο σενάριο αυτό είναι πως η PRV πρέπει να ρυθμιστεί στα 94 psi και δίνει συνολική πίεση δικτύου ίση με 207041,4844 psi, το οποίο σημαίνει αύξηση της πίεσης 12,08% σε σχέση με την πίεση του δικτύου μετά το κλείσιμο των 8 αγωγών. Επομένως η βαλβίδα στο σημείο αυτό, δεν συμβάλλει στον στόχο, καθώς δίνει τα αντίθετα αποτελέσματα από τα επιθυμητά.



Εικόνα 41. Πέμπτο σενάριο. 1 PRV στον αγωγό P-13

## 6.6ΕΚΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ : Τοποθέτηση 2 PRV στους αγωγούς P-11 και P-253

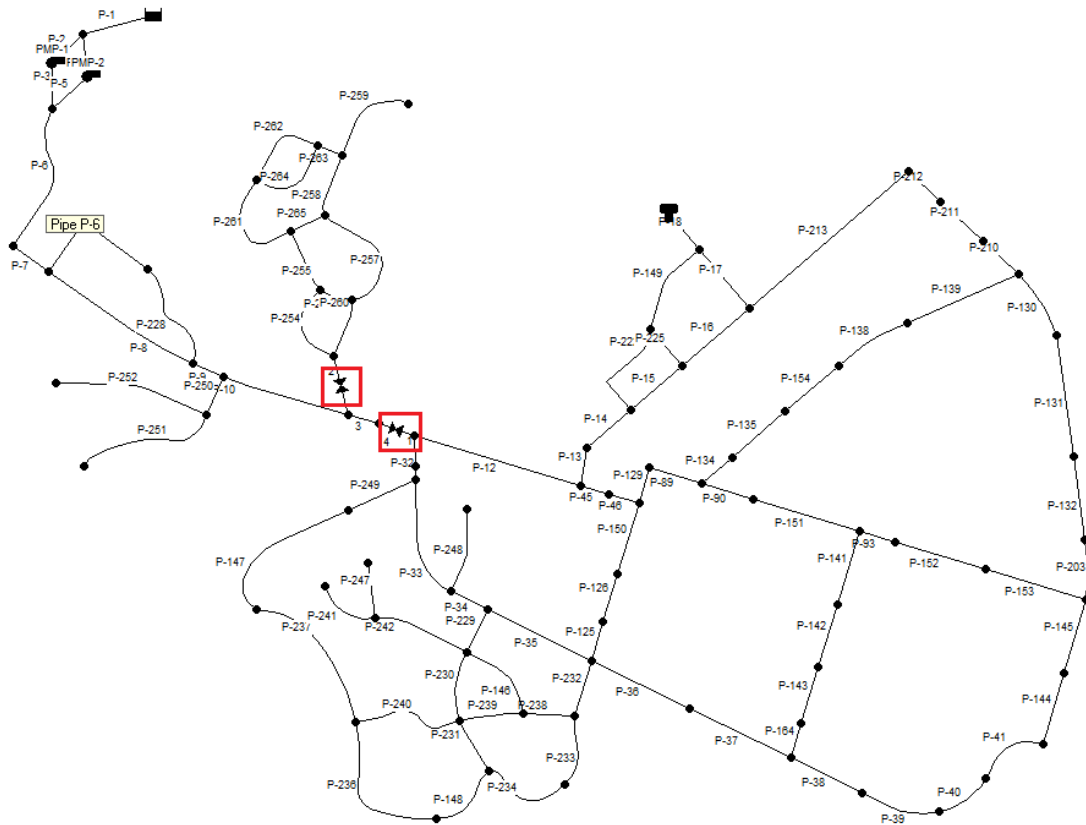
Το έκτο σενάριο, περνά από την 1 PRV σε 2 μέσα στο δίκτυο. Τοποθετούνται 2 PRV στους αγωγούς P-11 και P-253. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα το σενάριο αυτό ρυθμίζει την πίεση σε όλο το δίκτυο.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 42, προσομοιώθηκε το δίκτυο με τις δύο PRV στο EPANET και στη συνέχεια κατασκευάστηκε η κατάλληλη συνάρτηση στο MATLAB η οποία εισάχθηκε στο γενετικό αλγόριθμο και εξήγαγε τη ρύθμιση στην οποία θα πρέπει να δουλέψουν οι PRV για να επιτευχθεί οικονομία σε πίεση.

Το κομμάτι του κώδικα της συνάρτησης που χρησιμοποιήθηκε και στόχευε στη ρύθμιση αυτή ήταν το παρακάτω (Να σημειωθεί ότι δίνεται το τμήμα του κώδικα που αλλάζει σε σχέση με την περίπτωση της μιας PRV μόνο):

```
[errcode pipeIndex(80)]=ENgetlinkindex('4');  
[errcode pipeIndex(81)]=ENgetlinkindex('2');  
[y,x]=size(pop)  
[errcode]=ENninth(1);  
[errcode] = ENsetlinkvalue(pipeIndex(81), 12, pop(1,1));  
[errcode] = ENsetlinkvalue(pipeIndex(80), 12, pop(1,2));
```

Το αποτέλεσμα που δίνει ο αλγόριθμος είναι πως οι PRV πρέπει να ρυθμιστούν στα 47 psi αυτή στον αγωγό P-253 και στα 58 psi αυτή στον αγωγό P-11 και δίνει συνολική πίεση δικτύου ίση με 156810,766 psi ή επιπλέον μείωση 15,1% σε σχέση με την μείωση της πίεσης που προκαλούν οι οκτώ βαλβίδες απομόνωσης.



Εικόνα 42. Έκτο σενάριο. 2 PRV στους αγωγούς P-11 και P-253

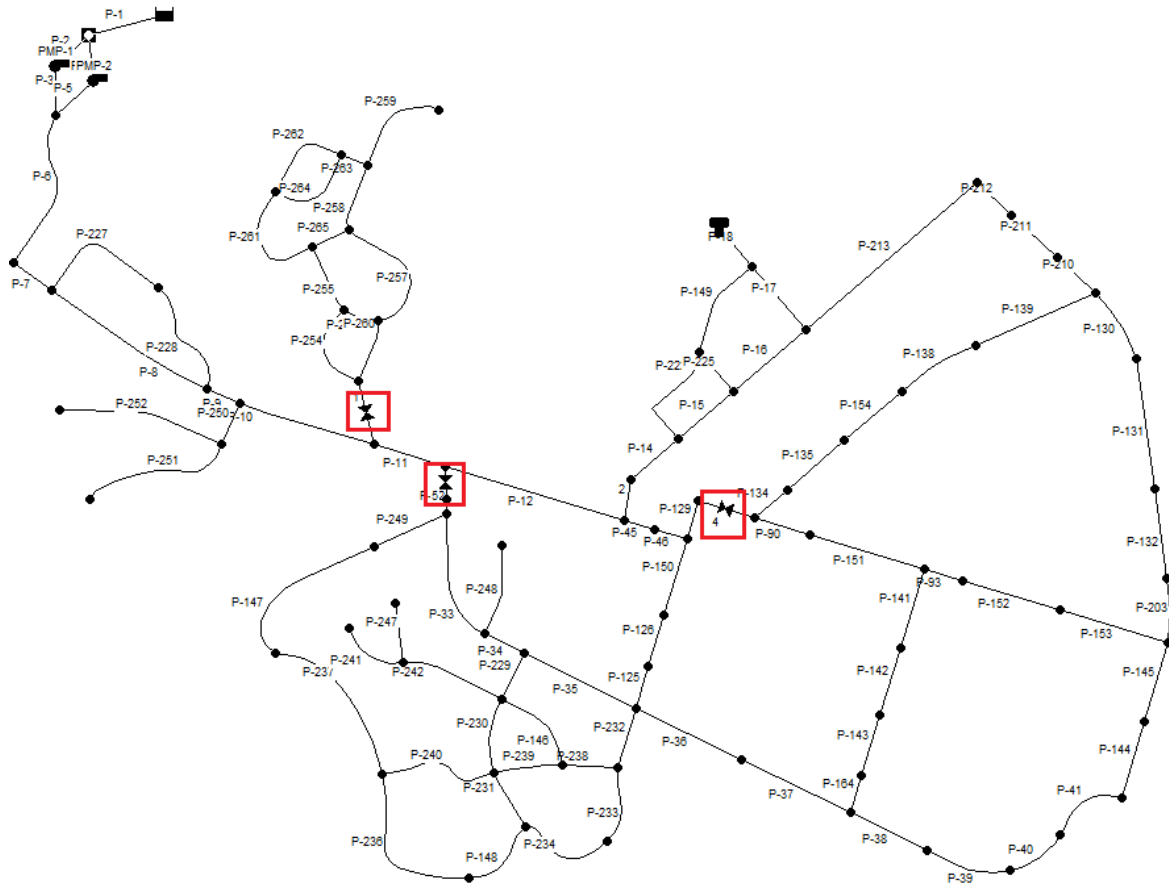
### 6.7 ΕΒΔΟΜΟ ΣΕΝΑΡΙΟ : Τοποθέτηση 3 PRV στους αγωγούς 1, P-89 και P-253

Το έβδομο σενάριο, περνά από τις 2 PRV σε 3 μέσα στο δίκτυο. Τοποθετούνται 3 PRV στους αγωγούς 1, P-89 και P-253. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα το σενάριο αυτό ρυθμίζει την πίεση σε όλο το δίκτυο.

Το κομμάτι του κώδικα της συνάρτησης που χρησιμοποιήθηκε και στόχευε στη ρύθμιση αυτή ήταν το παρακάτω (Να σημειωθεί ότι δίνεται το τμήμα του κώδικα που αλλάζει σε σχέση με την περίπτωση της μιας PRV μόνο):

```
[errcode pipeIndex(20)]=ENgetlinkindex('4');  
[errcode pipeIndex(80)]=ENgetlinkindex('5');  
[errcode pipeIndex(81)]=ENgetlinkindex('1');  
  
[y,x]=size(pop)  
[errcode]=ENninth(1);  
[errcode] = ENsetlinkvalue(pipeIndex(81), 12, pop(1,1));  
[errcode] = ENsetlinkvalue(pipeIndex(80), 12, pop(1,2));  
[errcode] = ENsetlinkvalue(pipeIndex(20), 12, pop(1,3));
```

Το αποτέλεσμα που δίνει ο αλγόριθμος είναι πως οι PRV πρέπει να ρυθμιστούν στα 47 psi αυτή στον αγωγό P-253, στα 48 psi αυτή στον αγωγό 1 και στα 43 psi αυτή στον αγωγό P-89 και δίνει συνολική πίεση δικτύου ίση με 125273,523 psi ή επιπλέον μείωση 32,18% σε σχέση με την μείωση της πίεσης που προκαλούν οι οκτώ βαλβίδες απομόνωσης.



Εικόνα 43. Έβδομο σενάριο. 3 PRV στους αγωγούς 1 P-89 και P-253

### 6.8 ΟΓΔΟΟ ΣΕΝΑΡΙΟ : Τοποθέτηση 4 PRV στους αγωγούς 1, P-13, P-89 και P-253

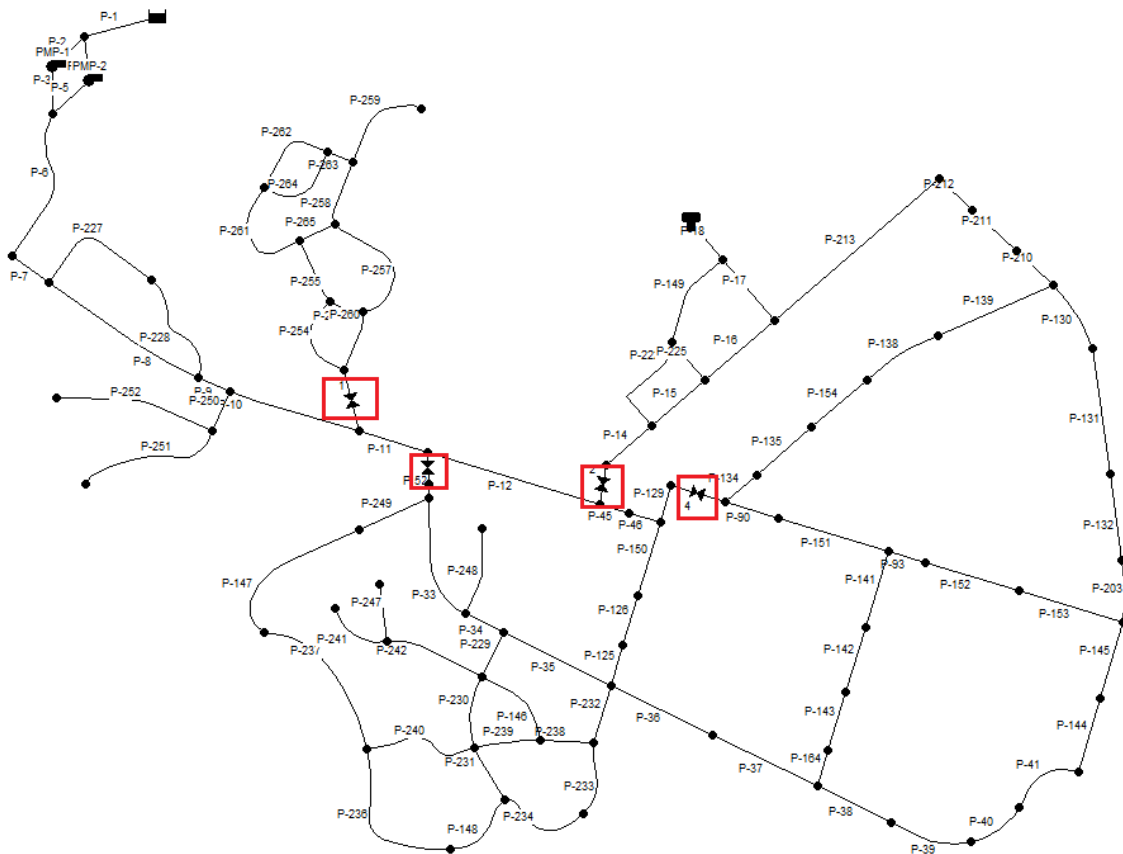
Το τελευταίο (όγδοο) σενάριο, περνά από τις 3 PRV σε 4 μέσα στο δίκτυο, που είναι και ο μέγιστος αριθμός PRV που μπορούν αν εισαχθούν στο δίκτυο. Τοποθετούνται οι 3 PRV του προηγούμενου σεναρίου στους αγωγούς 1, P-89 και P-253 και επιπλέον μια PRV στον αγωγό P-13, έτσι ώστε να ελεγχθεί εάν μπορεί να λειτουργήσει καλύτερα μαζί με τις υπόλοιπες τρεις ή εάν θα απορριφθεί εντελώς. Φυσικά όπως και στα προηγούμενα σενάρια ρυθμίζεται η πίεση σε όλο το δίκτυο.

Το κομμάτι του κώδικα της συνάρτησης που χρησιμοποιήθηκε και στόχευε στη ρύθμιση αυτή ήταν το παρακάτω (Να σημειωθεί ότι δίνεται το τμήμα του κώδικα που αλλάζει σε σχέση με την περίπτωση της μιας PRV μόνο):

```
[errcode pipeIndex(3)]=ENgetlinkindex('2');  
[errcode pipeIndex(20)]=ENgetlinkindex('4');  
[errcode pipeIndex(80)]=ENgetlinkindex('5');
```

```
[errcode pipeIndex(81)]=ENgetlinkindex('1');  
  
[y,x]=size(pop)  
[errcode]=ENinith(1);  
[errcode] = ENsetlinkvalue(pipeIndex(81), 12, pop(1,1));  
[errcode] = ENsetlinkvalue(pipeIndex(80), 12, pop(1,2));  
[errcode] = ENsetlinkvalue(pipeIndex(20), 12, pop(1,3));  
[errcode] = ENsetlinkvalue(pipeIndex(3), 12, pop(1,4));
```

Το αποτέλεσμα που δίνει ο αλγόριθμος είναι πως οι PRV πρέπει να ρυθμιστούν στα 47 psi αυτή στον αγωγό P-253, στα 48 psi αυτή στον αγωγό 1, στα 43 psi αυτή στον αγωγό P-89 και στα 91 psi αυτή στον αγωγό P-13 και δίνει συνολική πίεση δικτύου ίση με 126917,1953 psi ή επιπλέον μείωση 31,29% σε σχέση με την μείωση της πίεσης που προκαλούν οι οκτώ βαλβίδες απομόνωσης. Όπως φαίνεται από τα παραπάνω αποτελέσματα, η PRV στον αγωγό P-13 πάλι δεν προσφέρει μείωση πίεσης στο δίκτυο, αντιθέτως αυξάνει την πίεση που έχει επιτευχθεί με τους τρεις αγωγούς του έβδομου σεναρίου.



Εικόνα 44. Όγδοο σενάριο. Τοποθέτηση μέγιστου πλήθους PRV στο δίκτυο

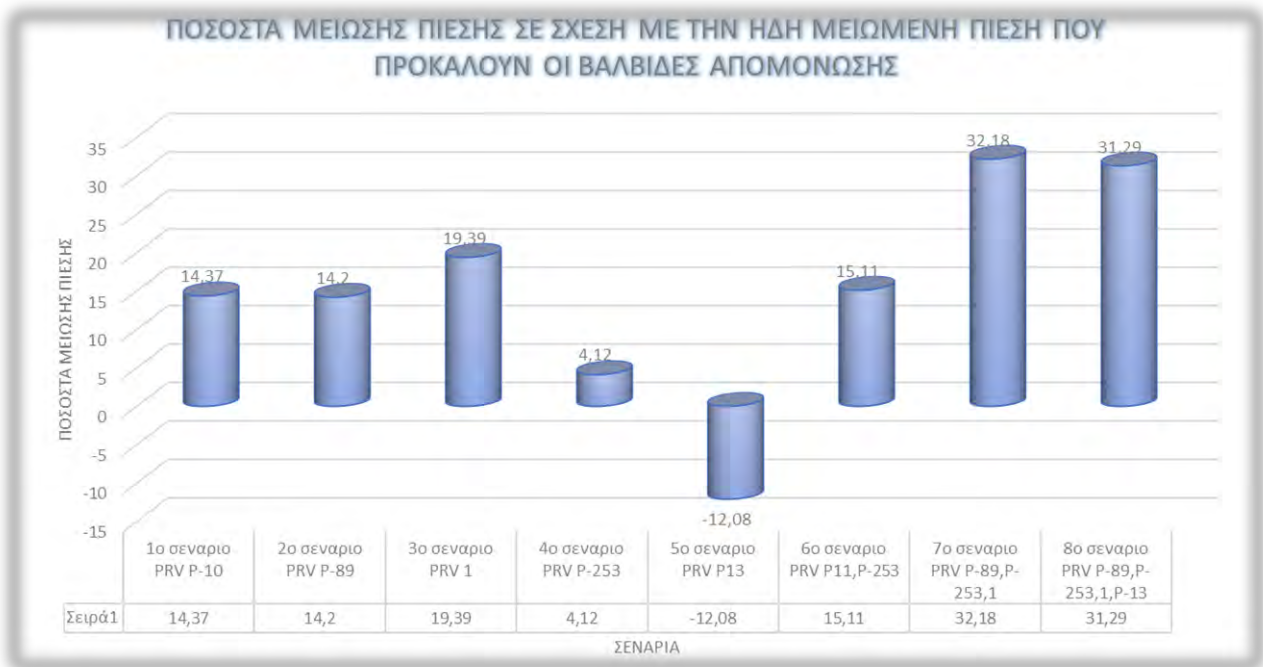
## 6.9 ΣΥΓΚΕΝΤΩΤΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗ PRV ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα που ακολουθούν, η βέλτιστη λύση όσο αφορά τη μείωση της πίεσης στον ύψιστο βαθμό είναι αυτή του έβδομου σεναρίου που προτείνει την εισαγωγή τριών PRV στο δίκτυο μελέτης στους αγωγούς P-89, P-253 και 1 με αυτή του όγδου να ακολουθεί περιλαμβάνοντας, ωστόσο, μια βαλβίδα παραπάνω στον αγωγό P-13, το οποίο

συνεπάγεται αρκετά μεγαλύτερο κόστος τόσο σε αγορά μιας επιπλέον PRV, όσο και στην τοποθέτηση και τη συντήρηση.



Εικόνα 45. Επιπλέον μείωση της πίεσης που επιφέρει κάθε σενάριο. Φαίνεται ξεκάθαρα πως το σενάριο 7 με τις 3 prn είναι το πιο συμφέρον σε σχέση με την πίεση που επιτυγχάνει. Αντίθετα το σενάριο 5 δρα ανασταλτικά στην επίτευξη του επιθυμητού στόχου



Εικόνα 46. Μεταβολή της πίεσης από σενάριο σε σενάριο. Επίτευξη μικρότερης πίεσης στο σενάριο 7 με την εισαγωγή τριών prn στο δίκτυο. Το σενάριο 5 που αυξάνει την πίεση αντί να την μειώνει αφορά στην prn στον αγωγό P-13, η οποία δεν συνέβαλλε καθόλου στην επίτευξη του στόχου

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Τελευταίο κομμάτι της έρευνας για την παρούσα εργασία αποτελεί η οικονομοτεχνική μελέτη του έργου που πρόκειται να περατωθεί.

Θα υπολογιστούν τα κόστη για την αγορά και εγκατάσταση των δύο ειδών βαλβίδων αλλά και η αξία του νερού που εξοικονομείται και το χρονικό διάστημα στο οποίο γίνεται απόσβεση των χρημάτων που δαπανούνται. Όλα αυτά θα υπολογιστούν για τις οκτώ βαλβίδες απομόνωσης που χωρίζουν το δίκτυο σε DMAs και για τα σενάρια, για μια PRV (αυτή που επιτυγχάνει καλύτερη οικονομία), για 2 PRV και για 3 PRV (Το σενάριο των 4PRV απορρίπτεται αφού δεν προσφέρει περαιτέρω οικονομία).

### 7.1 ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ

Οι αγωγοί στους οποίους θα τοποθετηθούν βαλβίδες απομόνωσης, καθώς και οι διάμετροί τους σε ίντσες και σε χιλιοστά φαίνονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Πίνακας με τους αγωγούς και τις διαστάσεις τους όπου θα εισαχθούν βαλβίδες απομόνωσης

ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ									
ΑΓΩΓΟΙ		P-227	P-232	P-230	P-36	P-17	P-90	P-211	P-236
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	IN	3,937	5,9055	3,937	7,874	23,622	3,937	5,9055	3,937
	MM	99,9998	149,9997	99,9998	199,9996	599,9988	99,9998	149,9997	99,9998
	ΤΕΛΙΚΗ	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>600</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>100</b>

Έχοντας εντοπίσει τις διαμέτρους των αγωγών όπου πρόκειται να τοποθετηθούν βαλβίδες απομόνωσης γίνεται η μετατροπή στις διεθνείς μονάδες μέτρησης. Οπότε εξάγεται ο νέος πίνακας 2 που περιλαμβάνει το κόστος κάθε βαλβίδας.

Πίνακας 2. Συνολικός πίνακας με το κόστος (€) κάθε βαλβίδας που πρόκειται να τοποθετηθεί στο δίκτυο.

ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ									
ΑΓΩΓΟΙ		P-227	P-232	P-230	P-36	P-17	P-90	P-211	P-236
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	IN	3,937	5,9055	3,937	7,874	23,622	3,937	5,9055	3,937
	MM	99,9998	149,9997	99,9998	199,9996	599,9988	99,9998	149,9997	99,9998
	ΤΕΛΙΚΗ	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>600</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>100</b>
ΚΟΣΤΟΣ		<b>500</b>	<b>750</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>3000</b>	<b>500</b>	<b>750</b>	<b>500</b>

Συνολικό κόστος αγοράς βαλβίδων απομόνωσης : **7500€**

Κόστος συντήρησης : **1875€**

ΦΡΕΑΤΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ :

Το κόστος για την κατασκευή φρεατίων εγκατάστασης των βαλβίδων απομόνωσης είναι :



$1000 + 1500 + 1000 + 2000 + 6000 + 1000 + 1500 + 1000 = 15000 \text{ €}$

**ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ:**  $7500 + 15000 + 1875 = 24375 \text{ €}$

## 7.2 PRVs

Οι αγωγοί στους οποίους θα τοποθετηθούν PRVs, καθώς και οι διάμετροί τους σε ίντσες και σε χιλιοστά φαίνονται στον πίνακα 3 που ακολουθεί.

Πίνακας 3. Πίνακας με τους αγωγούς και τη διάμετρο στους οποίους θα τοποθετηθούν PRVs

PRVs					
ΑΓΩΓΟΙ		1	P-11	P-253	P-89
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	IN	12	23,622	5,9055	3,937
	MM	304,8	599,9988	149,9997	99,9998
	ΤΕΛΙΚΗ	<b>305</b>	<b>600</b>	<b>150</b>	<b>100</b>

1<sup>η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ : ΜΙΑ PRV ΣΤΟΝ ΑΓΩΓΟ 1

Κόστος αγοράς : 4575€

Κόστος συντήρησης : 1144€

2<sup>η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ : ΔΥΟ PRV ΣΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ P-11 ΚΑΙ P-253

Κόστος αγοράς : 11250€

Κόστος συντήρησης : 2813€

3<sup>η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ : ΤΡΕΙΣ PRV ΣΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ P-89, P-253 ΚΑΙ 1

Κόστος αγοράς : 8325€

Κόστος συντήρησης : 2082€

ΦΡΕΑΤΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ PRV:

Το κόστος για την κατασκευή φρεατίου εγκατάστασης των βαλβίδων απομόνωσης είναι για κάθε περίπτωση:

1<sup>η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ : ΜΙΑ PRV ΣΤΟΝ ΑΓΩΓΟ 1

Κόστος φρεατίου : 22875€

2<sup>η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ : ΔΥΟ PRV ΣΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ P-11 ΚΑΙ P-253

Κόστος φρεατίου : 56250€

3<sup>η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ : ΤΡΕΙΣ PRV ΣΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ P-89, P-253 ΚΑΙ 1

Κόστος φρεατίου : 41625€

## ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ PRV:

1<sup>η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ : ΜΙΑ PRV ΣΤΟΝ ΑΓΩΓΟ 1

$$4575 + 22875 + 1144 = 28594\text{€}$$

2<sup>η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ : ΔΥΟ PRV ΣΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ P-11 ΚΑΙ P-253

$$11250 + 56250 + 2813 = 70313\text{€}$$

3<sup>η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ : ΤΡΕΙΣ PRV ΣΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ P-89, P-253 ΚΑΙ 1

$$8325 + 41625 + 2082 = 52032\text{€}$$

## 7.3 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΟΥΜΕΝΟ ΝΕΡΟ

Δεδομένου ότι 1 κυβικό μέτρο νερού στοιχίζει 1€ θα βρεθεί η εξοικονόμηση νερού που επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση των οκτώ βαλβίδων απομόνωσης και εν συνεχεία θα υπολογιστεί το χρονικό διάστημα, εντός του οποίου γίνεται απόσβεση των χρημάτων που δαπανούνται για τις τρεις περιπτώσεις της παραγράφου 7.2. Σε αυτό το σημείο, είναι αναγκαίο να τονιστεί πως, στο δίκτυο που μελετήθηκε δεν είναι απόλυτα λογική η εισαγωγή PRV βαλβίδων και αυτό, γιατί το δίκτυο διαθέτει ήδη δύο αντλίες (boosters). Οι αντλίες αυτές δρουν αυξάνοντας την ταχύτητα του νερού στην είσοδο του δικτύου στην προσπάθεια να εξυπηρετούνται όλοι οι κόμβοι του. Όμως, αυξάνοντας την ταχύτητα του νερού, αυξάνεται και η πίεση του δικτύου. Επομένως, είναι ανορθόδοξη η ενσωμάτωση PRV σε αγωγούς του δικτύου και κυρίως σε αγωγούς κοντά στο αντλιοστάσιο, καθώς με την τεχνική αυτή δαπανούνται τόσο περιττά χρήματα για την αγορά και τοποθέτηση των PRV, όσο και ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του αντλιοστασίου. Στην δεδομένη περίπτωση σε ρεαλιστικό επίπεδο, θα μπορούσαν να μειωθούν οι ρυθμίσεις λειτουργίας των αντλιών.

Στην παρούσα μελέτη η οικονομία σε νερό που επιτυγχάνεται είναι η εξής:

Με τη χρήση βαλβίδων απομόνωσης:  $107000 - 91315,42 = 15684,58$  κυβικά μέτρα/ημέρα

Με τη χρήση 1 PRV : επιπλέον 14714,41 κυβικά μέτρα/ημέρα

Με τη χρήση 2 PRV : επιπλέον 11463,9 κυβικά μέτρα/ημέρα

Με τη χρήση 3 PRV : επιπλέον 24420,25 κυβικά μέτρα/ημέρα

Το οποίο συνεπάγεται οικονομία χρημάτων:

Με τη χρήση 1 PRV : 15200€

Με τη χρήση 2 PRV : 13575€

Με τη χρήση 3 PRV : 20053€

Στην 1<sup>η</sup> περίπτωση της παραγράφου 7.2 τα συνολικά χρήματα που απαιτούνται είναι 51094€

Στην 2<sup>η</sup> περίπτωση της παραγράφου 7.2 τα συνολικά χρήματα που απαιτούνται είναι 92813€

Στην 3<sup>η</sup> περίπτωση της παραγράφου 7.2 τα συνολικά χρήματα που απαιτούνται είναι 74532€

Επομένως, για κάθε μία από τις περιπτώσεις αυτές η απόσβεση γίνεται:

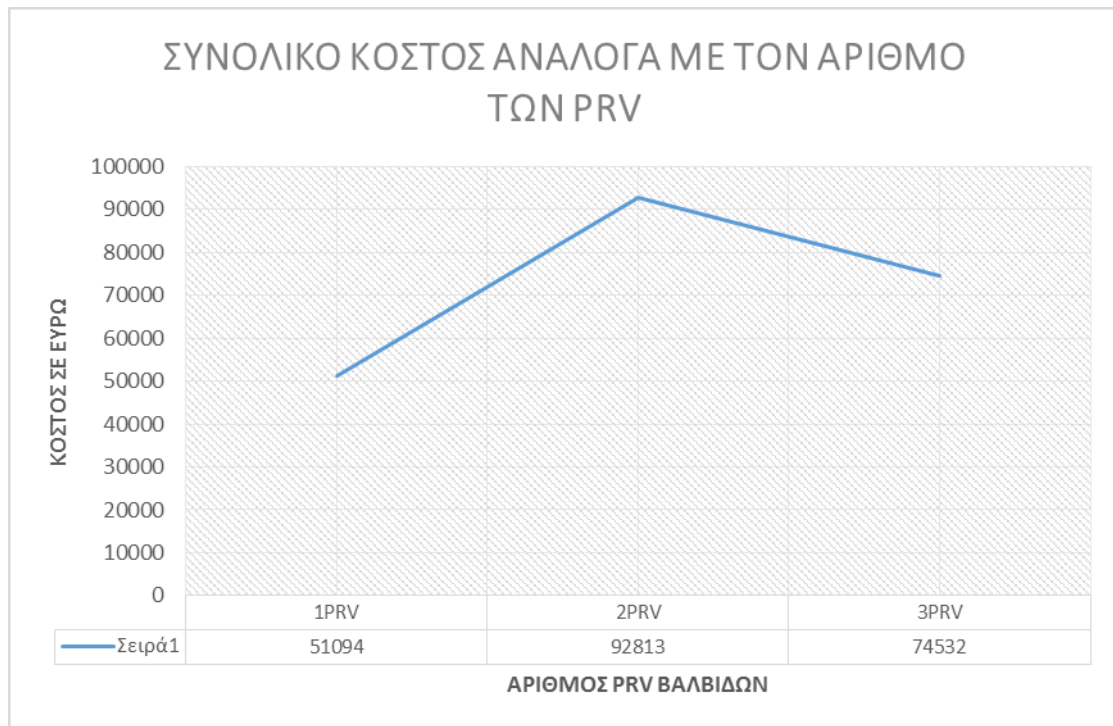
Σε 3,36 ημέρες για την 1<sup>η</sup> περίπτωση

Σε 6,84 ημέρες για τη 2<sup>η</sup> περίπτωση

Σε 3,72 ημέρες για την 3<sup>η</sup> περίπτωση

<b>ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ</b>				
	<b>ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ</b>	<b>1 PRV</b>	<b>2 PRV</b>	<b>3 PRV</b>
<b>ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΙΣΗ ΝΕΡΟΥ (m<sup>3</sup>/ΗΜΕΡΑ)</b>	15685	14714,41	11463,9	24420,25
<b>ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΙΣΗ ΝΕΡΟΥ (€/ΗΜΕΡΑ)</b>	7842,5	7357,2	5732,0	12210,1
<b>ΚΟΣΤΟΣ (€)</b>	24375	28594	70313	52032
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΙΣΗ ΝΕΡΟΥ (€/ΗΜΕΡΑ)</b>		15199,7	13574,5	20052,6
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)</b>		51094	92813	74532
<b>ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΣΕ ΗΜΕΡΕΣ</b>	3,11	3,36	6,84	3,72

Εικόνα 47. Συγκεντρωτικός πίνακας με όλα τα κόστη της εργασίας στο συγκεκριμένο δίκτυο μελέτης.



Εικόνα 48. Διάγραμμα συνολικού κόστους έργου για τα σενάρια μιας, δυο και τριών PRV

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έχοντας φτάσει στο πέρας την παρούσας εργασίας, εξάγονται κάποια συμπεράσματα σε σχέση με τη χρήση των προγραμμάτων, τη χρηστικότητα των γενετικών αλγορίθμων αλλά και τη δουλειά πάνω στα δίκτυα.

Αρχικά, θα πρέπει να επισημανθεί η ευκολία που προσφέρει η χρήση των προγραμμάτων, τόσο στην προσομοίωση όσο και στη βελτιστοποίηση των διαφόρων λειτουργιών τους. Οι ενέργειες που έγιναν για να επιτευχθούν οι στόχοι που είχαν τεθεί πραγματοποιήθηκαν σε πολύ μικρούς χρόνους σε σχέση με τις αντίστοιχες εργασίες που γίνονται με παραδοσιακές μεθόδους. Ωστόσο, δεν θα πρέπει να αμεληθούν και τα «αγκάθια» στη χρήση των λογισμικών. Απαιτείται αρκετό χρονικό διάστημα για την εξοικίωση με τα συγκεκριμένα λογισμικά τόσο όσον αφορά στο κάθε ένα αυτόνομα όσο και στην συνεργασία τους, η οποία είναι και η πιο περίπλοκη διεργασία στη διπλωματική αυτή. Πρέπει να γίνει σωστή και εις βάθος μελέτη των εντολών-συναρτήσεων που τα συνδέουν, ώστε να αποφευχθούν τυχόν λάθη και παρερμηνίες. Επίσης, είναι απαραίτητο να υπάρχει καλή γνώση του φυσικού προβλήματος που απασχολεί την παρούσα εργασία και αυτό, γιατί το Matlab είναι ένα αμιγές μαθηματικό εργαλείο, δεν αξιολογούνται τα αποτελέσματα που εξάγει παρά μόνο από τον μελετητή. Τέλος, το EPANET παρουσιάζει το μειονέκτημα του να μην παρέχει τη δυνατότητα να κάνει τη ζήτηση των κόμβων του δικτύου εξαρτώμενη από την πίεση αλλά και να μην χρησιμοποιεί τις διεθνείς μονάδες μέτρησης, με αποτέλεσμα απαιτείται εξοικίωση και με αυτές, ώστε να σχηματίζεται εικόνα των αποτελεσμάτων.

Όσο αφορά το κομμάτι του γενετικού αλγόριθμου, είναι ένα πολύ γρήγορο και αποτελεσματικό εργαλείο του Matlab. Οι λύσεις του εξάγονται σε πολύ σύντομα χρονικά διαστήματα και παρόλο που είναι αμφίβολο το αν τα αποτελέσματα είναι τα 100% βέλτιστα, ικανοποιούν σε πολύ μεγάλο βαθμό τις απαιτήσεις της εργασίας. Επίσης, είναι σημαντικό το γεγονός ότι είναι αρκετά εύκολη η εκμάθησή του, με μόνο δύσκολο κομμάτι αυτό της σύνταξης της αντικειμενικής συνάρτησης. Περαιτέρω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά του έχουν ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 1.8 του κεφαλαίου 1.

Στο κομμάτι που αφορά τη μελέτη του δικτύου, λόγω της αμεσότητας και της ευκολίας στις πράξεις, υπήρξε η δυνατότητα να μελετηθούν πολλά και διαφορετικά σενάρια σε κάθε τμήμα της μελέτης. Αυτό οδηγεί σε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, αφού εξαιτίας της καινοτομίας που προτείνει η παρούσα εργασία στην επεξεργασία των δικτύων ύδρευσης, δεν υπήρχαν μέτρα σύγκρισής τους.

Όσο αφορά το πρώτο τμήμα της εργασίας, με την τοποθέτηση βαλβίδων απομόνωσης, όπως φάνηκε και στις αντίστοιχες παραγράφους υπήρξε σύγκλιση των λύσεων του κώδικα και του γενετικού αλγορίθμου με συνάρτηση ΣΡ δικτύου και Σflow του αγωγού που εισάγει το νερό στο σύστημα. Επίσης, οι αγωγοί που κλείνουν στις περιπτώσεις αυτές κατέληξαν να προκαλούν μια μείωση του εισερχόμενου νερού της τάξης του 15% , το οποίο είναι ένα αρκετά καλό βήμα αν συσχετιστεί με το κόστος της δουλειάς έως αυτό το σημείο. Ο αγωγός που

προκάλεσε ένα πολύ μεγάλο τμήμα της μείωσης ήταν ο P-17, ο οποίος είναι ένας από τους αγωγούς που συνδέουν τη δεξαμενή αποθήκευσης με το υπόλοιπο δίκτυο. Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να οφείλεται στην μεγάλη υψομετρική διαφορά της δεξαμενής με το υπόλοιπο δίκτυο, το οποίο συνεπάγεται την ανάπτυξη πολύ μεγάλων πιέσεων, επομένως επιλέγεται να κλείσει ο αγωγός αυτός, για να ανακουφιστεί ένα τμήμα της υπερπίεσης αυτής.

Επόμενο βήμα της εργασίας ήταν η εισαγωγή βαλβίδων PRV. Οι θέσεις των βαλβίδων αυτών είναι σχεδόν προκαθορισμένες σε κάθε δίκτυο που έχει χωριστεί σε DMAs. Μια PRV τοποθετείται στην είσοδο κάθε DMA για να ρυθμίζει την πίεση μέσα σε αυτή. Σε αυτό το τμήμα της εργασίας, μετά τη δημιουργία των οκτώ σεναρίων βγήκε το συμπέρασμα για το ποια θα ήταν η τελική διαμόρφωση του δικτύου. Όπως περιγράφηκε και εξηγήθηκε και στην παράγραφο 7.3 του κεφαλαίου 7 η εισαγωγή PRV στο δίκτυο που μελετήθηκε έγινε για να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος και να βελτιστοποιηθεί και αυτό το κομμάτι της έρευνας. Το δίκτυο διαθέτει αντλιοστάσιο και θα ήταν ανούσια και άσκοπη η εισαγωγή βαλβίδων PRV, ιδιαίτερα σε αγωγούς κοντά σε αυτό.

## ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΠΟΜΕΝΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

Σε επόμενο στάδιο και έχοντας μελετήσει την παρούσα εργασία προτείνεται η παραταίρω ανάπτυξη της κυρίως στο προγραμματιστικό τμήμα της, με σκοπό την παραταίρω μείωση του απαιτούμενου υπολογιστικού χρόνου.

Επίσης, θα είχε ενδιαφέρον αν μελλοντικά μπορούσε να συνδεθεί με αντίστοιχο τρόπο το watercad με το matlab, δεδομένου ότι είναι ένα πιο ανεπτυγμένο πρόγραμμα με ποερισσότερες δυνατότητες από αυτές του epanet.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - ΕΝΤΟΛΕΣ

### **ENepanet :**

Περιγραφή : Εκτελεί μια πλήρη προσομοίωση EPANET και επιστρέφει έναν κωδικό λάθους (error code).

Κάλεσμα της συνάρτησης : ENepanet( f1, f2, f3, void (\*) (vfunc) ), όπου

f1: όνομα του input file

f2: όνομα ενός output report file

f3: όνομα ενός προαιρετικού δυαδικού output file

vfunc: δείκτης που αποδέχεται ένα σύμβολο-χαρακτήρα ως αντικείμενο του

\*\*\* Η εντολή αυτή στέκεται μόνη της και δεν αλληλοεπιδρά με οποιαδήποτε από τις άλλες συναρτήσεις της εργαλειοθήκης.

### **ENopen :**

Περιγραφή : Ανοίγει το Toolkit για να αναλύσει ένα συγκεκριμένο σύστημα διανομής (δίκτυο) και επιστρέφει έναν κωδικό λάθους (error code).

Κάλεσμα της συνάρτησης : ENopen( f1, f2, f3), όπου

f1: όνομα ενός EPANET input file

f2: όνομα ενός output report file

f3: όνομα ενός προαιρετικού δυαδικού output file

\*\*\* Η εντολή ENopen πρέπει να κληθεί πριν από οποιαδήποτε από τις άλλες συναρτήσεις της εργαλειοθήκης (εκτός της ENepanet)

### **ENclose :**

Περιγραφή : Κλείνει το σύστημα Toolkit (συμπεριλαμβανομένων όλων των αρχείων που υποβάλλονται σε επεξεργασία) και επιστρέφει έναν κωδικό λάθους (error code).

Κάλεσμα της συνάρτησης : ENclose( )

\*\*\* Η εντολή ENclose πρέπει να κληθεί, όταν όλη η επεξεργασία έχει ολοκληρωθεί, ακόμα και αν αντιμετωπίστηκε μια κατάσταση σφάλματος.

### **ENgetnodeindex :**

Περιγραφή : Ανακτά το δείκτη (index) ενός κόμβου με ένα συγκεκριμένο αναγνωριστικό (ID) και επιστρέφει έναν κωδικό λάθους (error code).

Κάλεσμα της συνάρτησης : ENgetnodeindex( id, index ), όπου

id: αναγνωριστικό κόμβου- ID

index: δείκτης κόμβου- index

\*\*\* Οι δείκτες των κόμβων είναι συνεχόμενοι αριθμοί που αρχίζουν από το 1.

### **ENgetnodeid :**

Περιγραφή : Ανακτά το αναγνωριστικό (ID) ενός κόμβου με ένα συγκεκριμένο δείκτη (index) και επιστρέφει έναν κωδικό λάθους (error code).

Κάλεσμα της συνάρτησης : ENgetnodeindex( index, id ), όπου

id: αναγνωριστικό κόμβου- ID

index: δείκτης κόμβου- index

\*\*\* Η αναγνωριστική ετικέτα πρέπει να έχει μέγεθος για να εισαχθούν τουλάχιστον 15 χαρακτήρες.

Οι δείκτες των κόμβων είναι συνεχόμενοι αριθμοί που αρχίζουν από το 1.

### **ENgetnodetype :**

Περιγραφή : Ανακτά τον τύπο – είδος για ένα συγκεκριμένο κόμβο και επιστρέφει έναν κωδικό λάθους (error code).

Κάλεσμα της συνάρτησης : ENgetnodetype( index, typecode ), όπου

Index: δείκτης κόμβου- index

typecode: τύπος-είδος κόμβου

\*\*\* Οι δείκτες κόμβου είναι συνεχόμενοι αριθμοί που ξεκινούν από το 1.

Οι τύποι κόμβων αποτελούνται από τις ακόλουθες σταθερές:

EN\_JUNCTION: 0 (κόμβος συμβολής σωλήνων)

EN\_RESERVOIR: 1 (κόμβος ταμιευτήρα)

EN\_TANK: 2 (κόμβος δεξαμενής)

## ENgetnodevalue :

Περιγραφή : Ανακτά την τιμή μιας συγκεκριμένης παραμέτρου συνδέσμου και επιστρέφει έναν κωδικό λάθους (error code).

Κάλεσμα της συνάρτησης : ENgetnodevalue( index, paramcode, value ), όπου

Index: δείκτης κόμβου- index

PARAMcode: κωδικός παραμέτρου

Value: τιμή παραμέτρου

\*\*\* Οι δείκτες κόμβου είναι συνεχόμενοι αριθμοί που ξεκινούν από το 1.

Οι κωδικοί των παραμέτρων των κόμβων αποτελούνται από τις σταθερές:

EN_ELEVATION:	0 Υψόμετρο
EN_BASEDEMAND:	1 Βασική ζήτηση
EN_PATTERN:	2 pattern ζήτησης
EN_EMITTER:	3 συντελεστής
EN_INITQUAL:	4 αρχική ποιότητα
EN_SOURCEQUAL:	5 ποιότητα πηγής
EN_SOURCEPAT:	6 pattern πηγής
EN_SOURCETYPE:	7 τύπος πηγής
EN_TANKLEVEL:	8 αρχική στάθμη δεξαμενής
EN_DEMAND:	9 πραγματική ζήτηση
EN_HEAD:	10 υδραυλικό ύψος
EN_PRESSURE:	11 πίεση
EN_QUALITY:	12 ποιότητα
EN_SOURCEMASS:	13 ρυθμός ροής μάζας ανά λεπτό

Οι παράμετροι 9 έως 13 είναι τιμές που υπολογίζονται. Οι υπόλοιπες είναι παράμετροι σχεδιασμού.

Οι τύποι πηγής ταυτίζονται με τις ακόλουθες σταθερές:

EN\_CONCEN                    0

EN_MASS	1
EN_SETPOINT	2
EN_FLOWPACED	3

Αντίστοιχα των ENgetnodeindex, ENgetnodeid, ENgetnodetype, ENgetnodevalue που αφορούν τους κόμβους του υπό δικτύου μελέτη υπάρχουν οι συναρτήσεις **ENgetlinkindex**, **ENgetlinkid**, **ENgetlinktype**, **ENgetlinkvalue** που αφορούν τις συνδέσεις (αγωγούς) του δικτύου.

Οι κωδικοί των παραμέτρων των συνδέσεων αποτελούνται από τις σταθερές:

EN_DIAMETER:	0 διάμετρος αγωγών
EN_LENGTH:	1 μήκος αγωγών
EN_ROUGHNESS:	2 συντελεστής τραχύτητας
EN_MINORLOSS:	3 συντελεστής απωλειών
EN_INITSTATUS:	4 αρχικό στάτους αγωγών (0 = closed, 1 = open)
EN_INITSETTING:	5 αρχική τραχύτητα αγωγών, αρχική ταχύτητα αντλιών, αρχική ρύθμιση βαλβίδων
EN_KBULK:	6 συντελεστής όγκου
EN_KWALL:	7 συντελεστής τοιχωμάτων
EN_FLOW:	8 ρυθμός ροής
EN_VELOCITY:	9 ταχύτητα ροής
EN_HEADLOSS:	10 ύψος απωλειών
EN_STATUS:	11 πραγματικό στάτους αγωγών (0 = closed, 1 = open)
EN_SETTING:	12 τραχύτητα αγωγών, ταχύτητα αντλιών, ρύθμιση βαλβίδων
EN_ENERGY:	13 ενέργεια που δαπανάται

Οι παράμετροι 8 έως 13 είναι τιμές που υπολογίζονται. Οι υπόλοιπες είναι παράμετροι σχεδιασμού.

Ο ρυθμός ροής είναι θετικός εάν η κατεύθυνση της ροής είναι από το καθορισμένο κόμβο έναρξης του συνδέσμου σε καθορισμένο κόμβο τέλους, αλλιώς είναι αρνητικός.

### **ENgetcount :**

Περιγραφή : Ανακτά τον αριθμό των στοιχείων του δικτύου ενός συγκεκριμένου τύπου και επιστρέφει έναν κωδικό λάθους (error code).

Κάλεσμα της συνάρτησης : ENgetcount( countcode, count ), όπου

countcode: κωδικός συνιστωσών

Count: αριθμός του κωδικού συνιστωσών στο δίκτυο

Component codes consist of the following:

EN_NODECOUNT:	0 κόμβοι
EN_TANKCOUNT:	1 κόμβοι ταμιευτήρων και δεξαμενών
EN_LINKCOUNT:	2 συνδέσεις
EN_PATCOUNT:	3 patterns χρόνου
EN_CURVECOUNT :	4 καμπύλες
EN_CONTROLCOUNT:	5 απλοί έλεγχοι

### **ENsetnodevalue ( όμοια και για την εντολή ENsetlinkvalue) :**

Περιγραφή : Ορίζει την τιμή μιας παραμέτρου για ένα συγκεκριμένο κόμβο (σύνδεση) και επιστρέφει έναν κωδικό λάθους (error code).

Κάλεσμα της συνάρτησης : ENsetnodevalue(index, paramcode, value ), όπου

Index: δείκτης κόμβου

PARAMcode: παράμετροι

Value: τιμή παραμέτρου

### **Για την ENsetnodevalue**

EN_ELEVATION:	0 Υψόμετρο
EN_BASEDEMAND:	1 Βασική ζήτηση
EN_PATTERN:	2 pattern ζήτησης
EN_EMITTER:	3 συντελεστής
EN_INITQUAL:	4 αρχική ποιότητα
EN_SOURCEQUAL:	5 ποιότητα πηγής

EN_SOURCEPAT:	6 pattern πηγής
EN_SOURCETYPE:	7 τύπος πηγής
EN_TANKLEVEL:	8 αρχική στάθμη δεξαμενής
EN_DEMAND:	9 πραγματική ζήτηση
EN_HEAD:	10 υδραυλικό ύψος
EN_PRESSURE:	11 πίεση
EN_QUALITY:	12 ποιότητα
EN_SOURCEMASS:	13 ρυθμός ροής μάζας ανά λεπτό

Οι τύποι πηγής ταυτίζονται με τις ακόλουθες σταθερές:

EN_CONCEN	0
EN_MASS	1
EN_SETPOINT	2
EN_FLOWPACED	3

#### **Για την ENsetlinkvalue**

EN_DIAMETER:	0 διάμετρος αγωγών
EN_LENGTH:	1 μήκος αγωγών
EN_ROUGHNESS:	2 συντελεστής τραχύτητας
EN_MINORLOSS:	3 συντελεστής απωλειών
EN_INITSTATUS:	4 αρχικό στάτους αγωγών (0 = closed, 1 = open)
EN_INITSETTING:	5 αρχική τραχύτητα αγωγών, αρχική ταχύτητα αντλιών, αρχική ρύθμιση βαλβίδων
EN_KBULK:	6 συντελεστής όγκου
EN_KWALL:	7 συντελεστής τοιχωμάτων
EN_FLOW:	8 ρυθμός ροής
EN_VELOCITY:	9 ταχύτητα ροής
EN_HEADLOSS:	10 ύψος απωλειών
EN_STATUS:	11 πραγματικό στάτους αγωγών (0 = closed, 1 = open)

EN\_SETTING: 12 τραχύτητα αγωγών, ταχύτητα αντλιών, ρύθμιση βαλβίδων

EN\_ENERGY: 13 ενέργεια που δαπανάται

**Σειρά συναρτήσεων : ENSolveH ENopenH ENinitH ENrunH ENnextH ENcloseH :**

### **ENSolveH :**

Περιγραφή : Εκτελεί μια πλήρη υδραυλική εξομοίωση με τα αποτελέσματα για όλες τις χρονικές περιόδους να εγγράφονται στο δυαδικό αρχείο Υδραυλικής.

Η ENSolveH χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει μια πλήρη υδραυλική λύση η οποία μπορεί είτε να σταθεί μόνη της είτε να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την ανάλυση της ποιότητας του νερού. Μπορεί επίσης να ακολουθείται από τις εντολές ENsaveH και ENreport για να γραφτεί μια έκθεση για τα υδραυλικά αποτελέσματα σε αρχείο αναφοράς. Δεν χρησιμοποιείται η σειρά ENopenH, ENinitH, ENrunH, ENnextH, και ENcloseH σε συνδυασμό με την εντολή ENSolveH.

### **ENopenH :**

Περιγραφή : Ανοίγει το σύστημα υδραυλικής ανάλυσης.

Η ENopenH καλείται πριν από την εκτέλεση της πρώτης υδραυλικής ανάλυσης χρησιμοποιώντας την ακολουθία ENinitH - ENrunH - ENnextH. Πολλαπλές αναλύσεις μπορούν να γίνουν πριν από την κλήση της ENcloseH για να κλείσει το σύστημα υδραυλικής ανάλυσης. Η εντολή ENopenH δεν καλείται εάν χρησιμοποιείται η ENSolveH για να εκτελεστεί μια πλήρης υδραυλική ανάλυση.

### **ENinitH :**

Περιγραφή : Αρχικοποιεί τα επίπεδα αποθήκευσης δεξαμενής, τα στάτους των συνδέσεων και τις ρυθμίσεις, και το χρόνο προσομοίωσης πριν το τρέξιμο της υδραυλικής ανάλυσης.

Η ENinitH καλείται πριν από την εκτέλεση μιας υδραυλικής ανάλυσης χρησιμοποιώντας τις ENrunH και ENnextH. Η ENopenH πρέπει να κληθεί πριν από την κλήση της ENinitH. Η εντολή ENinitH δεν καλείται εάν χρησιμοποιείται η ENSolveH για να εκτελεστεί μια πλήρης υδραυλική ανάλυση.

### **ENrunH :**

Περιγραφή : Εκτελεί υδραυλική ανάλυση για μια μόνο περίοδο, ανακτώντας τον τρέχον χρόνο προσομοίωσης t.

Η ENrunH χρησιμοποιείται μαζί με την εντολή ENnextH σε ένα do ... while loop για να αναλύσει τα υδραυλικά συστήματα σε κάθε περίοδο μιας προσομοίωσης εκτεταμένου χρόνου. Αυτή η διαδικασία ενημερώνει αυτόματα το χρόνο προσομοίωσης, έτσι το t αντιμετωπίζεται ως μεταβλητή μόνο για ανάγνωση. Η ENinitH πρέπει να κληθεί πριν από την εκτέλεση του ENrunH - ENnextH loop.



### **ENnextH :**

Περιγραφή : Καθορίζει το χρονικό διάστημα μέχρι να πραγματοποιηθεί το επόμενο υδραυλικό «συμβάν» σε μια παρατεταμένη περίοδο προσομοίωσης.

Αυτή η συνάρτηση χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την ENrunH για να εκτελέσει υδραυλική ανάλυση σε ένα εκτεταμένο χρονικό διάστημα. Η τιμή των t step θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως μεταβλητή μόνο για ανάγνωση. Υπολογίζεται αυτόματα ως το μικρότερο από:

το χρονικό διάστημα μέχρι να ξεκινήσει το επόμενο υδραυλικό χρονικό βήμα

το χρονικό διάστημα μέχρι να ξεκινήσει το επόμενο βήμα αναφοράς

το χρονικό διάστημα μέχρι να πραγματοποιηθεί η επόμενη αλλαγή στη ζήτηση

το χρονικό διάστημα μέχρι η δεξαμενή να είναι πλήρης ή άδεια

το χρονικό διάστημα μέχρι έναν έλεγχο ή κανόνα πυρκαγιάς

### **ENcloseH :**

Περιγραφή : Κλείνει το υδραυλικό σύστημα ανάλυσης, απελευθερώνοντας όλη εκχωρημένη μνήμη.

Η ENcloseH καλείται αφότου έχουν γίνει οι υδραυλικές αναλύσεις με τη σειρά των συναρτήσεων ENinitH - ENrunH - ENnextH. Η εντολή ENcloseH δεν καλείται εάν χρησιμοποιείται η ENSolveH για να εκτελεστεί μια πλήρης υδραυλική ανάλυση.

Επίσης για την ανάλυση ποιότητας νερού υπάρχει και η εξής σειρά συναρτήσεων : ENSolveQ ENopenQ ENinitQ ENrunQ ENnextQ ENcloseQ με την οποία όμως δεν θα ασχοληθούμε οπότε δεν θα αναλυθούν.

Τέλος απαραίτητες συναρτήσεις είναι οι ENMatlabSetup, ENMatlabCleanup(), EN\_CONSTANT.

Με την EN\_CONSTANT αποκτούμε πρόσβαση στις σταθερές παραμέτρους του EPANET (χρησιμοποιείται πάντα στην αρχή κάθε αρχείου-κώδικα).

Με την ENMatlabSetup ανοίγει η βιβλιοθήκη του EPANET.

Και με την ENMatlabCleanup() κλείνει η βιβλιοθήκη του EPANET και αποφορτώνεται από το Matlab (χρησιμοποιείται στο τέλος του κώδικα).

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - ΚΩΔΙΚΕΣ

### ΚΩΔΙΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΝΟΜΕΝΟΥ P\*D

```
clc
clear

%Gia na exeis prosvbasi stis "Statheres Parametrous" tou EPANET (tha
%fortothoun meta to ENMatlabSetup)
global EN_CONSTANT

%ANOIKSE TIN LIBRARY TOU EPANET
[errcode]=ENMatlabSetup('epanet2','epanet2.h');
if (errcode==0), disp('Epanet is now loaded'); end

%ANOIKSE TO NETWORK 1
[errcode] = ENopen('Net-22.inp', 'Net-22.rpt', 'Net-22.bin');
if (errcode==0), disp('Net22 is now open'); end

[errcode,count]=ENgetcount(2)

pipeIndex=count

m=length(pipeIndex);

[errcode]=ENopenH();%OPEN HYDRAULICS ANALYSIS
[errcode]=ENinitH(1);%INITIALIZE TIME TO 1
k=1;
[errcode,step]=ENnextH();
while (step>0 && errcode==0);
    [errcode,t]=ENrunH();
    [errcode,step]=ENnextH();
    for i=2:81;% for all the 80 nodes
        [errcode,pressure(k,i)]=ENgetnodevalue(i,11); %%PRESSURE=11
        [errcode,demand(k,i)]=ENgetnodevalue(i,9);%% DEMAND=9
        pd(k,i)=pressure(k,i)*demand(k,i);
    end
    k=k+1;%increase time step for Pressure vector.
end

sum(sum(pd))
[errcode]=ENcloseH(); %close hydraulic analysis
ENclose(); %KLEISE TO NETWORK 1
disp('Network is now closed')
ENMatlabCleanup();
disp('Epanet is unload')
```

## ΚΩΔΙΚΑΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ PD

```
clc
clear

%Gia na exeis prosvbasi stis "Statheres Parametrous" tou EPANET (tha
%fortothoun meta to ENMatlabSetup)
global EN_CONSTANT

%ANOIKSE TIN LIBRARY TOU EPANET
[errcode]=ENMatlabSetup('epanet2','epanet2.h');
if (errcode==0), disp('Epanet is now loaded'); end

%ANOIKSE TO NETWORK 1
[errcode] = ENopen('Net-22.inp', 'Net-22.rpt', 'Net-22.bin');
if (errcode==0), disp('Net22 is now open'); end

%OPEN HYDRAULICS ANALYSIS
[errcode]=ENopenH();

[errcode pipeIndex(1)]=ENgetlinkindex('P-8');
[errcode pipeIndex(2)]=ENgetlinkindex('P-12');
[errcode pipeIndex(3)]=ENgetlinkindex('P-13');
[errcode pipeIndex(4)]=ENgetlinkindex('P-14');
[errcode pipeIndex(5)]=ENgetlinkindex('P-15');
[errcode pipeIndex(6)]=ENgetlinkindex('P-16');
[errcode pipeIndex(7)]=ENgetlinkindex('P-17');
[errcode pipeIndex(8)]=ENgetlinkindex('P-32');
[errcode pipeIndex(9)]=ENgetlinkindex('P-33');
[errcode pipeIndex(10)]=ENgetlinkindex('P-34');
[errcode pipeIndex(11)]=ENgetlinkindex('P-35');
[errcode pipeIndex(12)]=ENgetlinkindex('P-36');
[errcode pipeIndex(13)]=ENgetlinkindex('P-37');
[errcode pipeIndex(14)]=ENgetlinkindex('P-38');
[errcode pipeIndex(15)]=ENgetlinkindex('P-39');
[errcode pipeIndex(16)]=ENgetlinkindex('P-40');
[errcode pipeIndex(17)]=ENgetlinkindex('P-41');
[errcode pipeIndex(18)]=ENgetlinkindex('P-45');
[errcode pipeIndex(19)]=ENgetlinkindex('P-46');
[errcode pipeIndex(20)]=ENgetlinkindex('P-89');
[errcode pipeIndex(21)]=ENgetlinkindex('P-90');
[errcode pipeIndex(22)]=ENgetlinkindex('P-93');
[errcode pipeIndex(23)]=ENgetlinkindex('P-129');
[errcode pipeIndex(24)]=ENgetlinkindex('P-134');
[errcode pipeIndex(25)]=ENgetlinkindex('P-135');
[errcode pipeIndex(26)]=ENgetlinkindex('P-138');
[errcode pipeIndex(27)]=ENgetlinkindex('P-139');
[errcode pipeIndex(28)]=ENgetlinkindex('P-164');
[errcode pipeIndex(29)]=ENgetlinkindex('P-203');
[errcode pipeIndex(30)]=ENgetlinkindex('P-210');
[errcode pipeIndex(31)]=ENgetlinkindex('P-211');
[errcode pipeIndex(32)]=ENgetlinkindex('P-212');
[errcode pipeIndex(33)]=ENgetlinkindex('P-213');
[errcode pipeIndex(34)]=ENgetlinkindex('P-222');
[errcode pipeIndex(35)]=ENgetlinkindex('P-225');
[errcode pipeIndex(36)]=ENgetlinkindex('P-227');
[errcode pipeIndex(37)]=ENgetlinkindex('P-228');
[errcode pipeIndex(38)]=ENgetlinkindex('P-229');
```

```
[errcode pipeIndex(39)]=ENgetlinkindex('P-230');
[errcode pipeIndex(40)]=ENgetlinkindex('P-231');
[errcode pipeIndex(41)]=ENgetlinkindex('P-232');
[errcode pipeIndex(42)]=ENgetlinkindex('P-233');
[errcode pipeIndex(43)]=ENgetlinkindex('P-234');
[errcode pipeIndex(44)]=ENgetlinkindex('P-236');
[errcode pipeIndex(45)]=ENgetlinkindex('P-237');
[errcode pipeIndex(46)]=ENgetlinkindex('P-238');
[errcode pipeIndex(47)]=ENgetlinkindex('P-239');
[errcode pipeIndex(48)]=ENgetlinkindex('P-240');
[errcode pipeIndex(49)]=ENgetlinkindex('P-249');
[errcode pipeIndex(50)]=ENgetlinkindex('P-254');
[errcode pipeIndex(51)]=ENgetlinkindex('P-255');
[errcode pipeIndex(52)]=ENgetlinkindex('P-256');
[errcode pipeIndex(53)]=ENgetlinkindex('P-257');
[errcode pipeIndex(54)]=ENgetlinkindex('P-258');
[errcode pipeIndex(55)]=ENgetlinkindex('P-260');
[errcode pipeIndex(56)]=ENgetlinkindex('P-261');
[errcode pipeIndex(57)]=ENgetlinkindex('P-262');
[errcode pipeIndex(58)]=ENgetlinkindex('P-263');
[errcode pipeIndex(59)]=ENgetlinkindex('P-264');
[errcode pipeIndex(60)]=ENgetlinkindex('P-265');
[errcode pipeIndex(61)]=ENgetlinkindex('P-125');
[errcode pipeIndex(62)]=ENgetlinkindex('P-126');
[errcode pipeIndex(63)]=ENgetlinkindex('P-130');
[errcode pipeIndex(64)]=ENgetlinkindex('P-131');
[errcode pipeIndex(65)]=ENgetlinkindex('P-132');
[errcode pipeIndex(66)]=ENgetlinkindex('P-141');
[errcode pipeIndex(67)]=ENgetlinkindex('P-142');
[errcode pipeIndex(68)]=ENgetlinkindex('P-143');
[errcode pipeIndex(69)]=ENgetlinkindex('P-144');
[errcode pipeIndex(70)]=ENgetlinkindex('P-145');
[errcode pipeIndex(71)]=ENgetlinkindex('P-146');
[errcode pipeIndex(72)]=ENgetlinkindex('P-147');
[errcode pipeIndex(73)]=ENgetlinkindex('P-148');
[errcode pipeIndex(74)]=ENgetlinkindex('P-149');
[errcode pipeIndex(75)]=ENgetlinkindex('P-150');
[errcode pipeIndex(76)]=ENgetlinkindex('P-151');
[errcode pipeIndex(77)]=ENgetlinkindex('P-152');
[errcode pipeIndex(78)]=ENgetlinkindex('P-153');
[errcode pipeIndex(79)]=ENgetlinkindex('P-154');
[errcode pipeIndex(80)]=ENgetlinkindex('1');

B=[0:0];
m=length(pipeIndex);
p1=combinator(m,1,'c');
c=size(p1,1);
pressure=[0 0];
for i=1:c
    x1(i)=p1(i,1);%kanw th sthlh tw n sunduasmwn grammi
end
for h=1:m;
    s=0;
    s1=0;
    if h>1;
        clear z;
        xc=size(B,2);
        for i=1:xc-1
            if B(i)<B(xc);
                s=s+1;
            end
        end
    end
end
```

```
        end
    end
    for i=1:xc-1
        if B(i)>B(xc);
            s1=s1+1;
        end
    end
    if s>0;
        N(h-1)=x1(B(xc)-s);
        x1(B(xc)-s)=[];
    elseif s1==xc-1
        N(h-1)=x1(B(xc));
        x1(B(xc))=[];
    else
        N(h-1)=x1(B(xc)-(xc-1));
        x1(B(xc)-(xc-1))=[];
    end
    c=size(x1,2);
    disp(x1)
    disp(N)
end
for j=1:c;
    [errcode]=ENinitH(1);%INITIALIZE TIME TO 1
    if h>1;
        for i=1:h-1 %Kleinei tous agwgous pou vrhkame oti prepei n einai
kleistoi
            [errcode]=ENsetlinkvalue(pipeIndex(N(i)), 11, 0);
        end
    end
    k=1;
    if h>1
        [errcode]=ENsetlinkvalue(pipeIndex(x1(j)), 11, 0);
    else
        [errcode]=ENsetlinkvalue(pipeIndex(p1(j,1)), 11, 0);
    end
    if h>1
        z(2,j)=x1(j);%APOTHIKEYOYME TO ONOMA TWN KLEISTWN AGWGWN
    else
        z(2,j)=p1(j,1);
    end
    [errcode,step]=ENnextH();
    while (step>0 && errcode==0);
        [errcode,t]=ENrunH();
        [errcode,step]=ENnextH();
        for i=2:81;% for all the 9 nodes
            bf=false;
            [errcode,pressure(k,i)]=ENgetnodevalue(i,11);%%PRESSURE=11
            [errcode,demand(k,i)]=ENgetnodevalue(i,9);%% DEMAND=9
            pd(k,i)=pressure(k,i)*demand(k,i);
            if pressure(k,i)<29, %Elegxos gia arnhtikes pieseis kai gia pieseis
katw apo 200kPa
                bf=true;
                break;
            end
        end
    end
    if bf;
        break;
    end
    k=k+1;%increase time step for Pressure vector.
end;
if bf; z(1,j)=5000000;
```

```
        else z(1,j)=sum(sum(pd));
        end
        clear pressure;
    end
    A=z(1,:);
    q=0;
    for i=1:c
        if A(1,i)>49999999; q=q+1;
        end
    end
    if q==c;
        break
    end
    r=find(A==(min(A)));
    for i=1:1
        v(h)=r(i);
    end
    g(h)=z(1,v(h));
    B(h)=z(2,v(h));
    bg=false;
    if h>1
        if g(h)>g(h-1)
            bg=true;
        elseif g(h)==g(h-1)
            bg=true;
        end
    end
    if bg
        break
    end
end
disp(g)
for i=1:h
    fprintf('%i %f.\n',B(i), g(i))
end
d=find(g==(min(g)));
for i=1:d
    X(i)=B(i);
end
fprintf('To elaxisto ginomeno piesh epi zhthsh sto diktuo einai %f otan vazoume
isolation valve stous agwgous
%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i.\n', g(1,d) , (X));

[errcode]=ENcloseH(); %close hydraulic analysis
ENclose(); %KLEISE TO NETWORK 1
disp('Network is now closed')
ENMatlabCleanup();
disp('Epanet is unload')
```

## ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ Z

```
function z=my_function2(pop)

%Gia na exeis prosvbasi stis "Statheres Parametrous" tou EPANET (tha
%fortothoun meta to ENMatlabSetup)
global EN_CONSTANT

%ANOIKSE TIN LIBRARY TOU EPANET
[errcode]=ENMatlabSetup('epanet2','epanet2.h');

%ANOIKSE TO NETWORK 1
[errcode] = ENopen('Net-22.inp', 'Net-22.rpt', 'Net-22.bin');

%OPEN HYDRAULICS ANALYSIS
[errcode]=ENopenH();

[errcode pipeIndex(1)]=ENgetlinkindex('P-8');
[errcode pipeIndex(2)]=ENgetlinkindex('P-12');
[errcode pipeIndex(3)]=ENgetlinkindex('P-13');
[errcode pipeIndex(4)]=ENgetlinkindex('P-14');
[errcode pipeIndex(5)]=ENgetlinkindex('P-15');
[errcode pipeIndex(6)]=ENgetlinkindex('P-16');
[errcode pipeIndex(7)]=ENgetlinkindex('P-17');
[errcode pipeIndex(8)]=ENgetlinkindex('P-32');
[errcode pipeIndex(9)]=ENgetlinkindex('P-33');
[errcode pipeIndex(10)]=ENgetlinkindex('P-34');
[errcode pipeIndex(11)]=ENgetlinkindex('P-35');
[errcode pipeIndex(12)]=ENgetlinkindex('P-36');
[errcode pipeIndex(13)]=ENgetlinkindex('P-37');
[errcode pipeIndex(14)]=ENgetlinkindex('P-38');
[errcode pipeIndex(15)]=ENgetlinkindex('P-39');
[errcode pipeIndex(16)]=ENgetlinkindex('P-40');
[errcode pipeIndex(17)]=ENgetlinkindex('P-41');
[errcode pipeIndex(18)]=ENgetlinkindex('P-45');
[errcode pipeIndex(19)]=ENgetlinkindex('P-46');
[errcode pipeIndex(20)]=ENgetlinkindex('P-89');
[errcode pipeIndex(21)]=ENgetlinkindex('P-90');
[errcode pipeIndex(22)]=ENgetlinkindex('P-93');
[errcode pipeIndex(23)]=ENgetlinkindex('P-129');
[errcode pipeIndex(24)]=ENgetlinkindex('P-134');
[errcode pipeIndex(25)]=ENgetlinkindex('P-135');
[errcode pipeIndex(26)]=ENgetlinkindex('P-138');
[errcode pipeIndex(27)]=ENgetlinkindex('P-139');
[errcode pipeIndex(28)]=ENgetlinkindex('P-164');
[errcode pipeIndex(29)]=ENgetlinkindex('P-203');
[errcode pipeIndex(30)]=ENgetlinkindex('P-210');
[errcode pipeIndex(31)]=ENgetlinkindex('P-211');
[errcode pipeIndex(32)]=ENgetlinkindex('P-212');
[errcode pipeIndex(33)]=ENgetlinkindex('P-213');
[errcode pipeIndex(34)]=ENgetlinkindex('P-222');
[errcode pipeIndex(35)]=ENgetlinkindex('P-225');
[errcode pipeIndex(36)]=ENgetlinkindex('P-227');
[errcode pipeIndex(37)]=ENgetlinkindex('P-228');
[errcode pipeIndex(38)]=ENgetlinkindex('P-229');
[errcode pipeIndex(39)]=ENgetlinkindex('P-230');
[errcode pipeIndex(40)]=ENgetlinkindex('P-231');
[errcode pipeIndex(41)]=ENgetlinkindex('P-232');
```



```
[errcode pipeIndex(42)]=ENgetlinkindex('P-233');
[errcode pipeIndex(43)]=ENgetlinkindex('P-234');
[errcode pipeIndex(44)]=ENgetlinkindex('P-236');
[errcode pipeIndex(45)]=ENgetlinkindex('P-237');
[errcode pipeIndex(46)]=ENgetlinkindex('P-238');
[errcode pipeIndex(47)]=ENgetlinkindex('P-239');
[errcode pipeIndex(48)]=ENgetlinkindex('P-240');
[errcode pipeIndex(49)]=ENgetlinkindex('P-249');
[errcode pipeIndex(50)]=ENgetlinkindex('P-254');
[errcode pipeIndex(51)]=ENgetlinkindex('P-255');
[errcode pipeIndex(52)]=ENgetlinkindex('P-256');
[errcode pipeIndex(53)]=ENgetlinkindex('P-257');
[errcode pipeIndex(54)]=ENgetlinkindex('P-258');
[errcode pipeIndex(55)]=ENgetlinkindex('P-260');
[errcode pipeIndex(56)]=ENgetlinkindex('P-261');
[errcode pipeIndex(57)]=ENgetlinkindex('P-262');
[errcode pipeIndex(58)]=ENgetlinkindex('P-263');
[errcode pipeIndex(59)]=ENgetlinkindex('P-264');
[errcode pipeIndex(60)]=ENgetlinkindex('P-265');
[errcode pipeIndex(61)]=ENgetlinkindex('P-125');
[errcode pipeIndex(62)]=ENgetlinkindex('P-126');
[errcode pipeIndex(63)]=ENgetlinkindex('P-130');
[errcode pipeIndex(64)]=ENgetlinkindex('P-131');
[errcode pipeIndex(65)]=ENgetlinkindex('P-132');
[errcode pipeIndex(66)]=ENgetlinkindex('P-141');
[errcode pipeIndex(67)]=ENgetlinkindex('P-142');
[errcode pipeIndex(68)]=ENgetlinkindex('P-143');
[errcode pipeIndex(69)]=ENgetlinkindex('P-144');
[errcode pipeIndex(70)]=ENgetlinkindex('P-145');
[errcode pipeIndex(71)]=ENgetlinkindex('P-146');
[errcode pipeIndex(72)]=ENgetlinkindex('P-147');
[errcode pipeIndex(73)]=ENgetlinkindex('P-148');
[errcode pipeIndex(74)]=ENgetlinkindex('P-149');
[errcode pipeIndex(75)]=ENgetlinkindex('P-150');
[errcode pipeIndex(76)]=ENgetlinkindex('P-151');
[errcode pipeIndex(77)]=ENgetlinkindex('P-152');
[errcode pipeIndex(78)]=ENgetlinkindex('P-153');
[errcode pipeIndex(79)]=ENgetlinkindex('P-154');
[errcode pipeIndex(80)]=ENgetlinkindex('1');

c=false;
[y,x]=size(pop)
for i=1:x-1
    for j=i+1:x
        if pop(1,i)==pop(1,j)
            c=true;
            break
        end
    end
end
if c
    z=500000000000
else
[errcode]=ENnith(1);
for i=1:x
[errcode]=ENsetlinkvalue(pipeIndex(pop(1,i)), 11, 0);
end
[errcode,step]=ENnextH();
k=1;
while (step>0 && errcode==0);
```

```
[errcode,t]=ENrunH();
[errcode,step]=ENnextH();
for i=2:81;% for all the 80 nodes
    bf=false;
    [errcode,P(k,i)]=ENgetnodevalue(i,11);%% PRESSURE=11
    [errcode,D(k,i)]=ENgetnodevalue(i,9);%% DEMAND=9
    if P(k,i)<29, %Elegxos gia arnhtikes pieseis kai gia pieseis katw
apo 200kPa
        bf=true;
        break;
    end
end
if bf;
    break;
end
k=k+1;
end
Dsum=sum(sum(D))
if bf; z=50000000000
else
for i=2:81;
    for t=1:24;
        s(t,i)=(D(t,i)/Dsum)*((P(t,i)-29)/29);
    end
end
z=sum(sum(s))
end
clear P D s
end
[errcode]=ENcloseH(); %close hydraulic analysis
ENclose(); %KLEISE TO NETWORK 1
```

## ΚΩΔΙΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΡΧΙΚΗΣ ΤΙΜΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ Z

```
clc
clear

%Gia na exeis prosvbasi stis "Statheres Parametrous" tou EPANET (tha
%fortothoun meta to ENMatlabSetup)
global EN_CONSTANT

%ANOIKSE TIN LIBRARY TOU EPANET
[errcode]=ENMatlabSetup('epanet2','epanet2.h');
if (errcode==0), disp('Epanet is now loaded'); end

%ANOIKSE TO NETWORK 1
[errcode] = ENopen('Net-22.inp', 'Net-22.rpt', 'Net-22.bin');
if (errcode==0), disp('Net22 is now open'); end

%OPEN HYDRAULICS ANALYSIS
[errcode]=ENopenH();
[errcode]=ENinith(1);
[errcode,step]=ENNnextH();
    k=1;
    while (step>0 && errcode==0);
        [errcode,t]=ENrunH();
        [errcode,step]=ENNnextH();
        for i=2:81;% for all the 80 nodes
            bf=false;
            [errcode,P(k,i)]=ENgetnodevalue(i,11);%% PRESSURE=11
            [errcode,D(k,i)]=ENgetnodevalue(i,9);%% DEMAND=9
        end
        k=k+1;
    end
    Dsum=sum(sum(D))
    for i=2:81;
        for t=1:24;
            s(t,i)=(D(t,i)/Dsum)*((P(t,i)-29)/29);
        end
    end
end
z=sum(sum(s))
[errcode]=ENcloseH(); %close hydraulic analysis
ENclose();
```

## ΚΩΔΙΚΑΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

```
clc
clear

%Gia na exeis prosvbasi stis "Statheres Parametrous" tou EPANET (tha
%fortothoun meta to ENMatlabSetup)
global EN_CONSTANT

%ANOIKSE TIN LIBRARY TΟΥ EPANET
[errcode]=ENMatlabSetup('epanet2','epanet2.h');
if (errcode==0), disp('Epanet is now loaded'); end

%ANOIKSE TO NETWORK 1
[errcode] = ENopen('Net-22.inp', 'Net-22.rpt', 'Net-22.bin');
if (errcode==0), disp('Net22 is now open'); end

%OPEN HYDRAULICS ANALYSIS
[errcode]=ENopenH();

[errcode pipeIndex(1)]=ENgetlinkindex('P-8');
[errcode pipeIndex(2)]=ENgetlinkindex('P-12');
[errcode pipeIndex(3)]=ENgetlinkindex('P-13');
[errcode pipeIndex(4)]=ENgetlinkindex('P-14');
[errcode pipeIndex(5)]=ENgetlinkindex('P-15');
[errcode pipeIndex(6)]=ENgetlinkindex('P-16');
[errcode pipeIndex(7)]=ENgetlinkindex('P-17');
[errcode pipeIndex(8)]=ENgetlinkindex('P-32');
[errcode pipeIndex(9)]=ENgetlinkindex('P-33');
[errcode pipeIndex(10)]=ENgetlinkindex('P-34');
[errcode pipeIndex(11)]=ENgetlinkindex('P-35');
[errcode pipeIndex(12)]=ENgetlinkindex('P-36');
[errcode pipeIndex(13)]=ENgetlinkindex('P-37');
[errcode pipeIndex(14)]=ENgetlinkindex('P-38');
[errcode pipeIndex(15)]=ENgetlinkindex('P-39');
[errcode pipeIndex(16)]=ENgetlinkindex('P-40');
[errcode pipeIndex(17)]=ENgetlinkindex('P-41');
[errcode pipeIndex(18)]=ENgetlinkindex('P-45');
[errcode pipeIndex(19)]=ENgetlinkindex('P-46');
[errcode pipeIndex(20)]=ENgetlinkindex('P-89');
[errcode pipeIndex(21)]=ENgetlinkindex('P-90');
[errcode pipeIndex(22)]=ENgetlinkindex('P-93');
[errcode pipeIndex(23)]=ENgetlinkindex('P-129');
[errcode pipeIndex(24)]=ENgetlinkindex('P-134');
[errcode pipeIndex(25)]=ENgetlinkindex('P-135');
[errcode pipeIndex(26)]=ENgetlinkindex('P-138');
[errcode pipeIndex(27)]=ENgetlinkindex('P-139');
[errcode pipeIndex(28)]=ENgetlinkindex('P-164');
[errcode pipeIndex(29)]=ENgetlinkindex('P-203');
[errcode pipeIndex(30)]=ENgetlinkindex('P-210');
[errcode pipeIndex(31)]=ENgetlinkindex('P-211');
[errcode pipeIndex(32)]=ENgetlinkindex('P-212');
[errcode pipeIndex(33)]=ENgetlinkindex('P-213');
[errcode pipeIndex(34)]=ENgetlinkindex('P-222');
[errcode pipeIndex(35)]=ENgetlinkindex('P-225');
[errcode pipeIndex(36)]=ENgetlinkindex('P-227');
```

```
[errcode pipeIndex(37)]=ENgetlinkindex('P-228');
[errcode pipeIndex(38)]=ENgetlinkindex('P-229');
[errcode pipeIndex(39)]=ENgetlinkindex('P-230');
[errcode pipeIndex(40)]=ENgetlinkindex('P-231');
[errcode pipeIndex(41)]=ENgetlinkindex('P-232');
[errcode pipeIndex(42)]=ENgetlinkindex('P-233');
[errcode pipeIndex(43)]=ENgetlinkindex('P-234');
[errcode pipeIndex(44)]=ENgetlinkindex('P-236');
[errcode pipeIndex(45)]=ENgetlinkindex('P-237');
[errcode pipeIndex(46)]=ENgetlinkindex('P-238');
[errcode pipeIndex(47)]=ENgetlinkindex('P-239');
[errcode pipeIndex(48)]=ENgetlinkindex('P-240');
[errcode pipeIndex(49)]=ENgetlinkindex('P-249');
[errcode pipeIndex(50)]=ENgetlinkindex('P-254');
[errcode pipeIndex(51)]=ENgetlinkindex('P-255');
[errcode pipeIndex(52)]=ENgetlinkindex('P-256');
[errcode pipeIndex(53)]=ENgetlinkindex('P-257');
[errcode pipeIndex(54)]=ENgetlinkindex('P-258');
[errcode pipeIndex(55)]=ENgetlinkindex('P-260');
[errcode pipeIndex(56)]=ENgetlinkindex('P-261');
[errcode pipeIndex(57)]=ENgetlinkindex('P-262');
[errcode pipeIndex(58)]=ENgetlinkindex('P-263');
[errcode pipeIndex(59)]=ENgetlinkindex('P-264');
[errcode pipeIndex(60)]=ENgetlinkindex('P-265');
[errcode pipeIndex(61)]=ENgetlinkindex('P-125');
[errcode pipeIndex(62)]=ENgetlinkindex('P-126');
[errcode pipeIndex(63)]=ENgetlinkindex('P-130');
[errcode pipeIndex(64)]=ENgetlinkindex('P-131');
[errcode pipeIndex(65)]=ENgetlinkindex('P-132');
[errcode pipeIndex(66)]=ENgetlinkindex('P-141');
[errcode pipeIndex(67)]=ENgetlinkindex('P-142');
[errcode pipeIndex(68)]=ENgetlinkindex('P-143');
[errcode pipeIndex(69)]=ENgetlinkindex('P-144');
[errcode pipeIndex(70)]=ENgetlinkindex('P-145');
[errcode pipeIndex(71)]=ENgetlinkindex('P-146');
[errcode pipeIndex(72)]=ENgetlinkindex('P-147');
[errcode pipeIndex(73)]=ENgetlinkindex('P-148');
[errcode pipeIndex(74)]=ENgetlinkindex('P-149');
[errcode pipeIndex(75)]=ENgetlinkindex('P-150');
[errcode pipeIndex(76)]=ENgetlinkindex('P-151');
[errcode pipeIndex(77)]=ENgetlinkindex('P-152');
[errcode pipeIndex(78)]=ENgetlinkindex('P-153');
[errcode pipeIndex(79)]=ENgetlinkindex('P-154');
[errcode pipeIndex(80)]=ENgetlinkindex('1');

B=[0:0];
m=length(pipeIndex);
pl=combinator(m,1,'c');
c=size(pl,1);
pressure=[0 0];
for i=1:c
    x1(i)=pl(i,1);%kanw th sthlh twn sunduasmwn grammi
end
for h=1:m;
    s=0;
    s1=0;
    if h>1;
        clear z;
        xc=size(B,2);
        for i=1:xc-1
```

```
        if B(i)<B(xc);
            s=s+1;
        end
    end
    for i=1:xc-1
        if B(i)>B(xc);
            s1=s1+1;
        end
    end
    if s>0;
        N(h-1)=x1(B(xc)-s);
        x1(B(xc)-s)=[];
    elseif s1==xc-1
        N(h-1)=x1(B(xc));
        x1(B(xc))=[];
    else
        N(h-1)=x1(B(xc)-(xc-1));
        x1(B(xc)-(xc-1))=[];
    end
    c=size(x1,2);
    disp(x1)
    disp(N)
end
for j=1:c;
    [errcode]=ENnith(1);%INITIALIZE TIME TO 1
    if h>1;
        for i=1:h-1 %Kleinei tous agwgous pou vrhkame oti prepei n einai
kleistoi
            [errcode]=ENsetlinkvalue(pipeIndex(N(i)), 11, 0);
        end
    end
    k=1;
    if h>1
        [errcode]=ENsetlinkvalue(pipeIndex(x1(j)), 11, 0);
    else
        [errcode]=ENsetlinkvalue(pipeIndex(p1(j,1)), 11, 0);
    end
    if h>1
        z(2,j)=x1(j);%APOTHIKEYOYME TO ONOMA TWN KLEISTWN AGWGWN
    else
        z(2,j)=p1(j,1);
    end
    [errcode,step]=ENnextH();
    while (step>0 && errcode==0);
        [errcode,t]=ENrunH();
        [errcode,step]=ENnextH();
        for i=2:81;% for all the 80 nodes
            bf=false;
            [errcode,presure(k,i)]=ENgetnodevalue(i,11);%% PRESSURE=11
            [errcode,demand(k,i)]=ENgetnodevalue(i,9);%% DEMAND=9
            pd(k,i)=presure(k,i)*demand(k,i);
            if presure(k,i)<29, %Elegxos gia arnhtikes pieseis kai gia
pieseis katw apo 200kPa
                bf=true;
                break;
            end
        end
    end
    if bf;
        break;
    end
    k=k+1;%increase time step for Pressure vector.
```

```
end;
Dsum=sum(sum(demand));
if bf; z(1,j)=5000000;
else
    for i=2:81;
        for t=1:24;
            sv(t,i)=(demand(t,i)/Dsum)*((pressure(t,i)-29)/29);
        end
    end
    z(1,j)=sum(sum(sv));
end
clear pressure;
end
A=z(1,:);
q=0;
for i=1:c
    if A(1,i)>4999999; q=q+1;
    end
end
if q==c;
    break
end
r=find(A==(min(A)));
for i=1:1
    v(h)=r(i);
end
g(h)=z(1,v(h));
B(h)=z(2,v(h));
bg=false;
if h>1
    if g(h)>g(h-1)
        bg=true;
    elseif g(h)==g(h-1)
        bg=true;
    end
end
if bg
    break
end
end
disp(g)
for i=1:h
    fprintf('%i %f.\n',B(i), g(i))
end
d=find(g==(min(g)));
for i=1:d
    X(i)=B(i);
end
fprintf('H elaxisth timi ths sunarthshs sto diktuo einai %f otan vazoume
isolation valve stous agwgous
%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i,%i.\n', g(1,d) , (X));

[errcode]=ENcloseH(); %close hydraulic analysis
ENclose(); %KLEISE TO NETWORK 1
disp('Network is now closed')
ENMatlabCleanup();
disp('Epanet is unload')
```



## ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ - ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΠΙΕΣΕΩΝ

```
function z=my_functionpressure(pop)

%Gia na exeis prosvbasi stis "Statheres Parametrous" tou EPANET (tha
%fortothoun meta to ENMatlabSetup)
global EN_CONSTANT

%ANOIKSE TIN LIBRARY TOU EPANET
[errcode]=ENMatlabSetup('epanet2','epanet2.h');

%ANOIKSE TO NETWORK 1
[errcode] = ENopen('Net-22.inp', 'Net-22.rpt', 'Net-22.bin');

%OPEN HYDRAULICS ANALYSIS
[errcode]=ENopenH();

[errcode pipeIndex(1)]=ENgetlinkindex('P-8');
[errcode pipeIndex(2)]=ENgetlinkindex('P-12');
[errcode pipeIndex(3)]=ENgetlinkindex('P-13');
[errcode pipeIndex(4)]=ENgetlinkindex('P-14');
[errcode pipeIndex(5)]=ENgetlinkindex('P-15');
[errcode pipeIndex(6)]=ENgetlinkindex('P-16');
[errcode pipeIndex(7)]=ENgetlinkindex('P-17');
[errcode pipeIndex(8)]=ENgetlinkindex('P-32');
[errcode pipeIndex(9)]=ENgetlinkindex('P-33');
[errcode pipeIndex(10)]=ENgetlinkindex('P-34');
[errcode pipeIndex(11)]=ENgetlinkindex('P-35');
[errcode pipeIndex(12)]=ENgetlinkindex('P-36');
[errcode pipeIndex(13)]=ENgetlinkindex('P-37');
[errcode pipeIndex(14)]=ENgetlinkindex('P-38');
[errcode pipeIndex(15)]=ENgetlinkindex('P-39');
[errcode pipeIndex(16)]=ENgetlinkindex('P-40');
[errcode pipeIndex(17)]=ENgetlinkindex('P-41');
[errcode pipeIndex(18)]=ENgetlinkindex('P-45');
[errcode pipeIndex(19)]=ENgetlinkindex('P-46');
[errcode pipeIndex(20)]=ENgetlinkindex('P-89');
[errcode pipeIndex(21)]=ENgetlinkindex('P-90');
[errcode pipeIndex(22)]=ENgetlinkindex('P-93');
[errcode pipeIndex(23)]=ENgetlinkindex('P-129');
[errcode pipeIndex(24)]=ENgetlinkindex('P-134');
[errcode pipeIndex(25)]=ENgetlinkindex('P-135');
[errcode pipeIndex(26)]=ENgetlinkindex('P-138');
[errcode pipeIndex(27)]=ENgetlinkindex('P-139');
[errcode pipeIndex(28)]=ENgetlinkindex('P-164');
[errcode pipeIndex(29)]=ENgetlinkindex('P-203');
[errcode pipeIndex(30)]=ENgetlinkindex('P-210');
[errcode pipeIndex(31)]=ENgetlinkindex('P-211');
[errcode pipeIndex(32)]=ENgetlinkindex('P-212');
[errcode pipeIndex(33)]=ENgetlinkindex('P-213');
[errcode pipeIndex(34)]=ENgetlinkindex('P-222');
[errcode pipeIndex(35)]=ENgetlinkindex('P-225');
[errcode pipeIndex(36)]=ENgetlinkindex('P-227');
[errcode pipeIndex(37)]=ENgetlinkindex('P-228');
[errcode pipeIndex(38)]=ENgetlinkindex('P-229');
[errcode pipeIndex(39)]=ENgetlinkindex('P-230');
[errcode pipeIndex(40)]=ENgetlinkindex('P-231');
```

```
[errcode pipeIndex(41)]=ENgetlinkindex('P-232');
[errcode pipeIndex(42)]=ENgetlinkindex('P-233');
[errcode pipeIndex(43)]=ENgetlinkindex('P-234');
[errcode pipeIndex(44)]=ENgetlinkindex('P-236');
[errcode pipeIndex(45)]=ENgetlinkindex('P-237');
[errcode pipeIndex(46)]=ENgetlinkindex('P-238');
[errcode pipeIndex(47)]=ENgetlinkindex('P-239');
[errcode pipeIndex(48)]=ENgetlinkindex('P-240');
[errcode pipeIndex(49)]=ENgetlinkindex('P-249');
[errcode pipeIndex(50)]=ENgetlinkindex('P-254');
[errcode pipeIndex(51)]=ENgetlinkindex('P-255');
[errcode pipeIndex(52)]=ENgetlinkindex('P-256');
[errcode pipeIndex(53)]=ENgetlinkindex('P-257');
[errcode pipeIndex(54)]=ENgetlinkindex('P-258');
[errcode pipeIndex(55)]=ENgetlinkindex('P-260');
[errcode pipeIndex(56)]=ENgetlinkindex('P-261');
[errcode pipeIndex(57)]=ENgetlinkindex('P-262');
[errcode pipeIndex(58)]=ENgetlinkindex('P-263');
[errcode pipeIndex(59)]=ENgetlinkindex('P-264');
[errcode pipeIndex(60)]=ENgetlinkindex('P-265');
[errcode pipeIndex(61)]=ENgetlinkindex('P-125');
[errcode pipeIndex(62)]=ENgetlinkindex('P-126');
[errcode pipeIndex(63)]=ENgetlinkindex('P-130');
[errcode pipeIndex(64)]=ENgetlinkindex('P-131');
[errcode pipeIndex(65)]=ENgetlinkindex('P-132');
[errcode pipeIndex(66)]=ENgetlinkindex('P-141');
[errcode pipeIndex(67)]=ENgetlinkindex('P-142');
[errcode pipeIndex(68)]=ENgetlinkindex('P-143');
[errcode pipeIndex(69)]=ENgetlinkindex('P-144');
[errcode pipeIndex(70)]=ENgetlinkindex('P-145');
[errcode pipeIndex(71)]=ENgetlinkindex('P-146');
[errcode pipeIndex(72)]=ENgetlinkindex('P-147');
[errcode pipeIndex(73)]=ENgetlinkindex('P-148');
[errcode pipeIndex(74)]=ENgetlinkindex('P-149');
[errcode pipeIndex(75)]=ENgetlinkindex('P-150');
[errcode pipeIndex(76)]=ENgetlinkindex('P-151');
[errcode pipeIndex(77)]=ENgetlinkindex('P-152');
[errcode pipeIndex(78)]=ENgetlinkindex('P-153');
[errcode pipeIndex(79)]=ENgetlinkindex('P-154');
[errcode pipeIndex(80)]=ENgetlinkindex('1');

c=false;
[y,x]=size(pop)
for i=1:x-1
    for j=i+1:x
        if pop(1,i)==pop(1,j)
            c=true;
            break
        end
    end
end
if c
    z=500000000000
else
[errcode]=ENnith(1);
for i=1:x
[errcode]=ENsetlinkvalue(pipeIndex(pop(1,i)), 11, 0);
end
[errcode,step]=ENnextH();
    k=1;
```

```
while (step>0 && errcode==0);
    [errcode,t]=ENrunH();
    [errcode,step]=ENnextH();
    for i=2:81 ;% for all the 80 nodes
        bf=false;
        [errcode,P(k,i)]=ENgetnodevalue(i,11);%% PRESSURE=11
        if P(k,i)<29, %Elegxos gia arnhtikes pieseis kai gia pieseis katw
apo 200kPa
            bf=true;
            break;
        end
    end
    if bf;
        break;
    end
    k=k+1;
end
if bf; z=50000000000
else

    z=sum(sum(P))
end
clear P D s
end
[errcode]=ENcloseH(); %close hydraulic analysis
ENclose(); %KLEISE TO NETWORK 1
```

## ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ Σflow

```
function z=my_functionolomalakies(pop)

%Gia na exeis prosvbasi stis "Statheres Parametrous" tou EPANET (tha
%fortothoun meta to ENMatlabSetup)
global EN_CONSTANT

%ANOIKSE TIN LIBRARY TOU EPANET
[errcode]=ENMatlabSetup('epanet2','epanet2.h');

%ANOIKSE TO NETWORK 1
[errcode] = ENopen('Net-22.inp', 'Net-22.rpt', 'Net-22.bin');

%OPEN HYDRAULICS ANALYSIS
[errcode]=ENopenH();

[errcode pipeIndex(1)]=ENgetlinkindex('P-8');
[errcode pipeIndex(2)]=ENgetlinkindex('P-12');
[errcode pipeIndex(3)]=ENgetlinkindex('P-13');
[errcode pipeIndex(4)]=ENgetlinkindex('P-14');
[errcode pipeIndex(5)]=ENgetlinkindex('P-15');
[errcode pipeIndex(6)]=ENgetlinkindex('P-16');
[errcode pipeIndex(7)]=ENgetlinkindex('P-17');
[errcode pipeIndex(8)]=ENgetlinkindex('P-32');
[errcode pipeIndex(9)]=ENgetlinkindex('P-33');
[errcode pipeIndex(10)]=ENgetlinkindex('P-34');
[errcode pipeIndex(11)]=ENgetlinkindex('P-35');
[errcode pipeIndex(12)]=ENgetlinkindex('P-36');
[errcode pipeIndex(13)]=ENgetlinkindex('P-37');
[errcode pipeIndex(14)]=ENgetlinkindex('P-38');
[errcode pipeIndex(15)]=ENgetlinkindex('P-39');
[errcode pipeIndex(16)]=ENgetlinkindex('P-40');
[errcode pipeIndex(17)]=ENgetlinkindex('P-41');
[errcode pipeIndex(18)]=ENgetlinkindex('P-45');
[errcode pipeIndex(19)]=ENgetlinkindex('P-46');
[errcode pipeIndex(20)]=ENgetlinkindex('P-89');
[errcode pipeIndex(21)]=ENgetlinkindex('P-90');
[errcode pipeIndex(22)]=ENgetlinkindex('P-93');
[errcode pipeIndex(23)]=ENgetlinkindex('P-129');
[errcode pipeIndex(24)]=ENgetlinkindex('P-134');
[errcode pipeIndex(25)]=ENgetlinkindex('P-135');
[errcode pipeIndex(26)]=ENgetlinkindex('P-138');
[errcode pipeIndex(27)]=ENgetlinkindex('P-139');
[errcode pipeIndex(28)]=ENgetlinkindex('P-164');
[errcode pipeIndex(29)]=ENgetlinkindex('P-203');
[errcode pipeIndex(30)]=ENgetlinkindex('P-210');
[errcode pipeIndex(31)]=ENgetlinkindex('P-211');
[errcode pipeIndex(32)]=ENgetlinkindex('P-212');
[errcode pipeIndex(33)]=ENgetlinkindex('P-213');
[errcode pipeIndex(34)]=ENgetlinkindex('P-222');
[errcode pipeIndex(35)]=ENgetlinkindex('P-225');
[errcode pipeIndex(36)]=ENgetlinkindex('P-227');
[errcode pipeIndex(37)]=ENgetlinkindex('P-228');
[errcode pipeIndex(38)]=ENgetlinkindex('P-229');
[errcode pipeIndex(39)]=ENgetlinkindex('P-230');
[errcode pipeIndex(40)]=ENgetlinkindex('P-231');
```

```
[errcode pipeIndex(41)]=ENgetlinkindex('P-232');
[errcode pipeIndex(42)]=ENgetlinkindex('P-233');
[errcode pipeIndex(43)]=ENgetlinkindex('P-234');
[errcode pipeIndex(44)]=ENgetlinkindex('P-236');
[errcode pipeIndex(45)]=ENgetlinkindex('P-237');
[errcode pipeIndex(46)]=ENgetlinkindex('P-238');
[errcode pipeIndex(47)]=ENgetlinkindex('P-239');
[errcode pipeIndex(48)]=ENgetlinkindex('P-240');
[errcode pipeIndex(49)]=ENgetlinkindex('P-249');
[errcode pipeIndex(50)]=ENgetlinkindex('P-254');
[errcode pipeIndex(51)]=ENgetlinkindex('P-255');
[errcode pipeIndex(52)]=ENgetlinkindex('P-256');
[errcode pipeIndex(53)]=ENgetlinkindex('P-257');
[errcode pipeIndex(54)]=ENgetlinkindex('P-258');
[errcode pipeIndex(55)]=ENgetlinkindex('P-260');
[errcode pipeIndex(56)]=ENgetlinkindex('P-261');
[errcode pipeIndex(57)]=ENgetlinkindex('P-262');
[errcode pipeIndex(58)]=ENgetlinkindex('P-263');
[errcode pipeIndex(59)]=ENgetlinkindex('P-264');
[errcode pipeIndex(60)]=ENgetlinkindex('P-265');
[errcode pipeIndex(61)]=ENgetlinkindex('P-125');
[errcode pipeIndex(62)]=ENgetlinkindex('P-126');
[errcode pipeIndex(63)]=ENgetlinkindex('P-130');
[errcode pipeIndex(64)]=ENgetlinkindex('P-131');
[errcode pipeIndex(65)]=ENgetlinkindex('P-132');
[errcode pipeIndex(66)]=ENgetlinkindex('P-141');
[errcode pipeIndex(67)]=ENgetlinkindex('P-142');
[errcode pipeIndex(68)]=ENgetlinkindex('P-143');
[errcode pipeIndex(69)]=ENgetlinkindex('P-144');
[errcode pipeIndex(70)]=ENgetlinkindex('P-145');
[errcode pipeIndex(71)]=ENgetlinkindex('P-146');
[errcode pipeIndex(72)]=ENgetlinkindex('P-147');
[errcode pipeIndex(73)]=ENgetlinkindex('P-148');
[errcode pipeIndex(74)]=ENgetlinkindex('P-149');
[errcode pipeIndex(75)]=ENgetlinkindex('P-150');
[errcode pipeIndex(76)]=ENgetlinkindex('P-151');
[errcode pipeIndex(77)]=ENgetlinkindex('P-152');
[errcode pipeIndex(78)]=ENgetlinkindex('P-153');
[errcode pipeIndex(79)]=ENgetlinkindex('P-154');
[errcode pipeIndex(80)]=ENgetlinkindex('1');
[errcode pipeIndex(81)]=ENgetlinkindex('P-1');

c=false;
[y,x]=size(pop)
for i=1:x-1
    for j=i+1:x
        if pop(1,i)==pop(1,j)
            c=true;
            break
        end
    end
end
if c
    z=500000000000
else
[errcode]=ENnith(1);
for i=1:x
[errcode]=ENsetlinkvalue(pipeIndex(pop(1,i)), 11, 0);
end
[errcode,step]=ENnextH();
```

```
k=1;
while (step>0 && errcode==0);
    [errcode,t]=ENrunH();
    [errcode,step]=ENnextH();
    [errcode,D(k,81)]=ENgetlinkvalue(pipeIndex(81),8);%% FLOW=8
    for i=2:81 ;% for all the 80 nodes
        bf=false;
        [errcode,P(k,i)]=ENgetnodevalue(i,11);%% PRESSURE=11
        if P(k,i)<29, %Elegxos gia arnhtikes pieseis kai gia pieseis katw
apo 200kPa
            bf=true;
            break;
        end
    end
    if bf;
        break;
    end
    k=k+1;
end
if bf; z=50000000000;
else
z=sum(sum(D))
end
end
[errcode]=ENcloseH(); %close hydraulic analysis
ENclose(); %KLEISE TO NETWORK 1
```

## ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΜΙΑ PRV

```
function z=my_function1prv(pop)

%Gia na exeis prosvbasi stis "Statheres Parametrous" tou EPANET (tha
%fortothoun meta to ENMatlabSetup)
global EN_CONSTANT

%ANOIKSE TIN LIBRARY TOU EPANET
[errcode]=ENMatlabSetup('epanet2','epanet2.h');

%ANOIKSE TO NETWORK 1
[errcode] = ENopen('Net1prv2.inp', 'Net1prv2.rpt', 'Net1prv2.bin');

%OPEN HYDRAULICS ANALYSIS
[errcode]=ENopenH();

[errcode pipeIndex(1)]=ENgetlinkindex('3');

[y,x]=size(pop)
[errcode]=ENnith(1);
[errcode] = ENsetlinkvalue(pipeIndex(1), 12, pop(1,1));

[errcode,step]=ENNnextH();
    k=1;
    while (step>0 && errcode==0);
        [errcode,t]=ENrunH();
        [errcode,step]=ENNnextH();
        for i=2:81;% for all the 80 nodes
            bf=false;
            [errcode,P(k,i)]=ENgetnodevalue(i,11);%% PRESSURE=11
            if P(k,i)<29, %Elegxos gia arnhtikes pieseis kai gia pieseis katw
                apo 200kPa
                    bf=true;
                    break;
                end
            end
            if bf;
                break;
            end
            k=k+1;
        end
    if bf; z=50000000000
    else
        z=sum(sum(P))
    end
    clear P D s
    [errcode]=ENCloseH(); %close hydraulic analysis
    ENclose(); %KLEISE TO NETWORK 1
```



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ - ΠΗΓΕΣ

1. Κανακούδης Β. Τσιτσιφλή Σ. (2009) Ερευνητικό έργο: προσδιορισμός των δεικτών λειτουργίας του δικτύου ύδρευσης Δ.Ε.Υ.Α. ΚΩ σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο της IWA
2. Πατέλης Μ. (2013) «Μείωση των απωλειών νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης με διαμόρφωση στεγανών υποζωνών (District Metered Areas-DMAs) για την αποτελεσματικότερη διαχείριση της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης», Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
3. Μανουσέλη Δ. (2013) «Μέθοδοι μείωσης του μη ανταποδοτικού νερού στα δίκτυα ύδρευσης», Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
4. Araujo L. S., Ramos H., Coelho S. T. (2005) Pressure Control for Leakage Minimization in Water Distribution Systems Management
5. EPANET Programmer's Toolkit,
6. [http://iridia.ulb.ac.be/~manuel/doc/toolkit\\_help.pdf](http://iridia.ulb.ac.be/~manuel/doc/toolkit_help.pdf)
7. EPANET users manual, Lewis A. Rossman Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory Cincinnati, OH 45268
8. Lambert A. (2006) Assessing Non-Revenue Water and its Components: A Practical Approach, THE IWA WATER LOSS TASK FORCE Water 21-Article No 2
9. Morrison J. (2004) Managing leakage by District Metered Areas: a practical approach THE IWA WATER LOSS TASK FORCE Water 21
10. PROWAT, Planning and Implementing a Non-Revenue Water Reduction Strategy Improves the Performance of Water Supply and Distribution Systems
11. The MathWorks, Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox