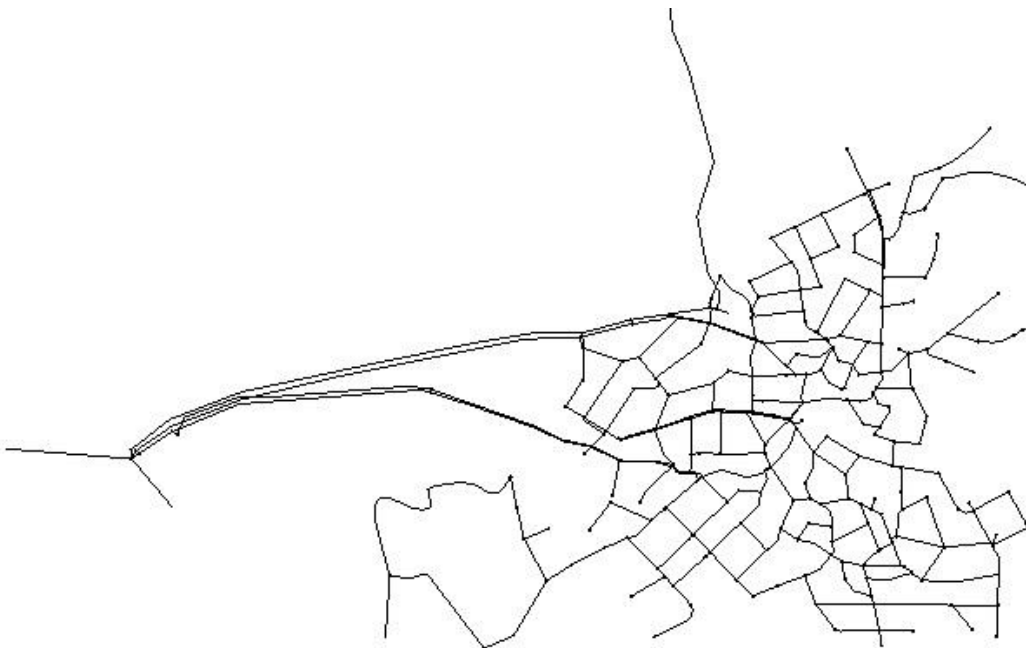




**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Βελτιστοποίηση ηλικίας και πίεσης νερού σε δίκτυο ύδρευσης με
χρήση γενετικού αλγορίθμου και διαμόρφωση υδραυλικά
απομονωμένων υποζωνών (DMAs) – Η περίπτωση της Αιανής**



ΚΟΥΡΜΠΑΣΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ || ΒΟΛΟΣ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2017

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΝΑΚΟΥΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή:

Δρ. Β. ΚΑΝΑΚΟΥΔΗΣ, Αν. Καθηγητής

Δρ. Θ. ΚΑΡΑΚΑΣΙΔΗΣ, Αν. Καθηγητής

Δρ. Κ. ΓΚΟΝΕΛΑΣ, Διδάσκων ΠΔ407/80

ΙΟΥΝΙΟΣ 2017

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν καθοριστικά, ο καθένας με το δικό του τρόπο, στη διαμόρφωση και ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Με το πέρας των προπτυχιακών σπουδών μου, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Βασίλη Κανακούδη για τη συνεχή υποστήριξη, για την πίστη και εμπιστοσύνη στις δυνατότητες μου, για την άμεση ανταπόκριση σε κάθε ζήτημα που πρόκυπτε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας και για την ενθάρρυνση που μου έδινε στη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων να θέτω νέους ακαδημαϊκούς στόχους και να δουλεύω για την επίτευξή τους.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον υποψήφιο διδάκτορα του ίδιου καθηγητή μου, Μενέλαο Πατέλη για τη στήριξη και καθοδήγηση που μου προσέφερε. Τη προσφορά προσωπικού του χώρου και χρόνου όποτε χρειάστηκε. Την προθυμία που επέδειξε να λύσει κάθε πρόβλημα ή απορία μου παρουσιαζόταν, γεγονότα που τον καθιστούν βασικό αρωγό για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάκτορα Κωνσταντίνο Γκονέλα για την καθοδήγηση, όποτε ήταν αναγκαία, και τον μεταδιδακτορικό συνεργάτη του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, Απόστολο Χονδρονάσιο για την πολύτιμη συμμετοχή του στην διεκπεραίωση της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, Μιχαήλ Κούρμπαση, Αναστασία Μπαλοδήμα και Αθανασία Κούρμπαση για την υποστήριξή τους σε όλα τα έτη των σπουδών μου αλλά και για την αγάπη και εμπιστοσύνη που μου δείχνουν.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η λειτουργία των δικτύων ύδρευσης και πιο συγκεκριμένα η ρύθμιση της πίεσης μέσα σε αυτά καθώς και τη μείωση της ηλικίας του νερού. Με την μείωση της ηλικίας του νερού βελτιώνεται η ποιότητα του ενώ με τη ρύθμιση της πίεσης μειώνονται οι απώλειες. Αυτό 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 βελτιστοποίηση της ρύθμισης της ηλικίας έγινε με τη βοήθεια των γενετικών αλγορίθμων. Ο προγραμματισμός έγινε σε περιβάλλον MATLAB και με τη χρήση του αλγορίθμου προέκυψαν κάποιες ομάδες αγωγών που έπρεπε να παραμείνουν κλειστοί ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα του νερού ως προς την ηλικία. Παράλληλα εξεταζόταν και η πίεση του δικτύου .

Ακόμη, έγινε διαχωρισμός του δικτύου σε υδραυλικά απομονωμένες περιοχές και τοποθετήθηκαν βαλβίδες μείωσης της πίεσης (PRVs) επιτυγχάνοντας το μέγιστο δυνατό όφελος για κάθε δίκτυο. Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης του γενετικού αλγορίθμου συγκρίθηκαν με πιθανές λύσεις ρύθμισης της πίεσης μέσω της μεθόδου πειράματος και λάθους, έτσι ώστε να βρεθεί ο καλύτερος συνδυασμός ηλικίας νερού-πίεσης δικτύου.

Λέξεις κλειδιά

πίεση, απώλειες νερού, ηλικία νερού, διαρροές, δίκτυο ύδρευσης, βαλβίδες μείωσης της πίεσης (PRVs), υδραυλικά απομονωμένες περιοχές (DMAs), βελτιστοποίηση με γενετικό αλγόριθμο

Abstract

The present diploma deals with the operation of water supply networks and more specifically with the regulation of the pressure of the water being supplied as well as the reduction of its age. By reducing the age of the water, its quality (freshness) improves, while the pressure adjustment reduces the real/physical losses. This has both an environmental benefit through water saving and an economic - financial benefit for consumers as well as for the water utilities themselves.

Age optimization was performed using Genetic Algorithms. Programming was done in MATLAB environment, along with an algorithm developed that defined pipeline groups that had to remain closed to improve (decrease) the water quality (age). At the same time, the pressure of the network was examined.

Furthermore, the network was divided into hydraulically isolated areas and pressure reducing valves (PRVs) were installed to achieve the maximum benefit for each network. The results of genetic algorithm optimization were compared with possible pressure-based solutions through trial and error to find the best combination of water age -pressure.

Keywords

water pressure, water losses, water age, leakage, water supply network, pressure relief valves (PRVs), hydraulically isolated areas (DMAs), optimization by using a genetic algorithm

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Abstract	5
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	8
1.1 Δίκτυο διανομής νερού	8
1.2 Το νερό και η σημασία του.....	9
1.3 Υδατικό ισοζύγιο – ορολογία	10
1.4 Σχέση ανάμεσα στη διαχείριση της πίεσης και των απωλειών	12
1.5 Υδραυλικά απομονωμένες περιοχές (DMAs - District Metered Areas)	13
1.5.1 Ο ρόλος των DMAs στην διαχείριση των απωλειών	14
1.5.2 Προβλήματα από την εφαρμογή των DMA	14
1.5.3 Μέτρα για το σχεδιασμό των DMA	14
1.6 Χρήση γενετικών αλγορίθμων.....	15
1.7 Η ποιότητα του νερού	16
1.8 Σκοπός της εργασίας	17
Κεφάλαιο 2: Το δίκτυο της Αιανής.....	18
2.1 Γενικές πληροφορίες.....	18
2.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά της Αιανής.....	18
2.3 Το δίκτυο ύδρευσης της Αιανής.....	19
2.4 Κατανάλωση νερού	22
Κεφάλαιο 3: Ποιότητα νερού ως προς την ηλικία	24
3.1 Ορισμός	24
3.2 Πώς υπολογίζουμε την ηλικία του νερού	25
3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ηλικία του νερού	26
3.4 Επιπτώσεις της αυξημένης ηλικίας του νερού.....	27
3.5 Τρόποι αντιμετώπισης	29
Κεφάλαιο 4: Ποιότητα νερού ως προς την χλωρίωση	31
4.1 Η έννοια της απολύμανσης.....	31
4.2 Η σημασία της απολύμανσης , ιστορική αναδρομή	32
4.3 Νομοθετικό πλαίσιο	35
4.4 Η έννοια της χλωρίωσης.....	35
4.5 Η δράση του χλωρίου.....	36
4.6 Εναλλακτικές μέθοδοι απολύμανσης	37
4.7 Παραπροϊόντα χλωρίωσης και επιπτώσεις στην δημόσια υγεία	38
Κεφάλαιο 5: Μοντελοποίηση του δικτύου ύδρευσης.....	40
5.1 Η έννοια της μοντελοποίησης.....	40
5.2 Μεγέθη που χρησιμοποιούνται σε ένα μοντέλο	41
5.3 Μοντελοποίηση δικτύου ύδρευσης και ποιότητα νερού	45
5.4 Πλεονεκτήματα της χρήσης μοντέλων.....	46
5.5 Βελτιστοποίηση προβλημάτων με χρήση γενετικών αλγορίθμων σε μοντέλα δικτύων ύδρευσης.....	46
Κεφάλαιο 6: Κατασκευή μοντέλου του δικτύου ύδρευσης της Αιανής	48
6.1 Δημιουργία μοντέλου σε περιβάλλον Epanet 2.0 και WaterGems	48

6.2 Σύνδεση Epanet 2.0 με Matlab.....	54
6.2.1 Εντολές διαχείρισης δικτύου από μορφή epanet.inp σε περιβάλλον matlab.....	56
6.3 Χρήση γενετικού αλγορίθμου	64
6.4 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης στο δίκτυο της Αιανής.....	66
6.4.1 Σενάριο για 4 αγωγούς κλειστούς.....	66
6.4.2 Σενάριο για 6 αγωγούς κλειστούς.....	69
6.4.3 Σενάριο για 8 κλειστούς αγωγούς.....	71
6.4.4 Σενάριο με 10 κλειστούς αγωγούς.....	73
6.4.5 Σενάριο με 12 κλειστούς αγωγούς.....	75
6.4.6 Σενάριο με 14 αγωγούς κλειστούς.....	77
6.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης	79
Κεφάλαιο 7: Χωρισμός δικτύου σε DMAs.....	82
7.1 Σενάρια χωρισμού του δικτύου σε DMAs.....	82
7.2 Διερεύνηση ποιότητας νερού ως προς την ηλικία και ως προς την πίεση για το σενάριο των τεσσάρων DMAs.....	84
7.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων των DMAs με τα αποτελέσματα βάσει της βελτιστοποίησης και συμπεράσματα.....	90
7.4 Μελλοντική έρευνα.....	92
Βιβλιογραφία / Αναφορές.....	93
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	94
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ.....	95
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	96

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Δίκτυο διανομής νερού

Ένα δίκτυο διανομής νερού είναι ένα σύστημα κατασκευασμένων υδρολογικών και υδραυλικών στοιχείων που καθιστούν δυνατή την παροχή νερού. Ένα σύστημα τροφοδοσίας νερού περιλαμβάνει συνήθως:

- Μια δεξαμενή αποστράγγισης .
- Σημείο συλλογής ακατέργαστου νερού (πάνω ή κάτω από το έδαφος) όπου συσσωρεύεται το νερό, όπως μια λίμνη, ένας ποταμός ή υπόγεια ύδατα από υπόγειο υδροφορέα. Το ακατέργαστο νερό μπορεί να μεταφερθεί στις εγκαταστάσεις καθαρισμού νερού, χρησιμοποιώντας ακάλυπτα υδραγωγεία εδάφους, καλυμμένες σήραγγες ή υπόγειους αγωγούς νερού.
- Εγκαταστάσεις καθαρισμού υδάτων. Το επεξεργασμένο νερό μεταφέρεται χρησιμοποιώντας σωλήνες νερού (συνήθως υπόγεια).
- Εγκαταστάσεις αποθήκευσης νερού όπως δεξαμενές, δεξαμενές νερού ή πύργοι νερού. Μικρότερα συστήματα νερού μπορούν να αποθηκεύσουν το νερό σε δεξαμενές ή δοχεία πίεσης. Τα ψηλά κτίρια μπορεί επίσης να χρειαστεί να αποθηκεύουν τοπικά νερό σε δοχεία πίεσης για να φτάσουν τα ύδατα στους άνω ορόφους.
- Επιπρόσθετα εξαρτήματα συμπίεσης νερού όπως αντλιοστάσια μπορεί να χρειαστεί να τοποθετηθούν στην έξοδο υπόγειων ή πάνω στο έδαφος δεξαμενών (εάν η ροή βαρύτητας δεν βοηθάει).
- Ένα δίκτυο σωλήνων για τη διανομή νερού στους καταναλωτές (που μπορεί να είναι ιδιωτικές κατοικίες ή βιομηχανικά, εμπορικά ή θεσμικά ιδρύματα) και άλλα σημεία χρήσης (όπως πυροσβεστικοί κρουνοί).
- Οι συνδέσεις με τους υπονόμους (υπόγειες σωληνώσεις ή υπόγεια κανάλια σε ορισμένες αναπτυσσόμενες χώρες) βρίσκονται γενικά κατάντη των αγωγών του καταναλωμένου νερού, αλλά το σύστημα αποχέτευσης θεωρείται ξεχωριστό σύστημα και όχι μέρος του συστήματος παροχής νερού.



Εικόνα 1: Διαδικασία ελέγχου της κατασκευής ενός αγωγού όλκιμου σιδήρου μήκους περίπου 40 km και διάμετρο 1600 mm, που διανέμει νερό, στην πόλη Musaffah του Αμπού Ντάμπι

Οι πηγές από τις οποίες προμηθευόμαστε το νερό είναι κάποιες από τις παρακάτω:

- **Υπόγεια ύδατα:** Το νερό που αναδύεται από κάποια βαθιά υπόγεια ύδατα και μπορεί να έχει πέσει ως βροχή πολλές δεκάδες, εκατοντάδες ή χιλιάδες χρόνια πριν. Το έδαφος και τα πετρώματα φιλτράρουν φυσικά το υπόγειο ύδωρ σε υψηλό βαθμό σαφήνειας και συχνά δεν απαιτούν πρόσθετη επεξεργασία εκτός από την προσθήκη χλωρίου ή χλωραμινών ως δευτερογενών απολυμαντικών. Τέτοια ύδατα μπορεί να προκύψουν ως πηγές, αρτεσιανές πηγές, ή μπορούν να εξαχθούν από γεωτρήσεις ή πηγάδια. Τα βαθιά υπόγεια ύδατα είναι γενικά πολύ υψηλής βακτηριολογικής ποιότητας (δηλαδή τα παθογόνα βακτήρια ή τα παθογόνα πρωτόζωα τυπικά απουσιάζουν), αλλά το νερό μπορεί να είναι πλούσιο σε διαλυμένα στερεά, ιδιαίτερα ανθρακικά και θειικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου. Ανάλογα με τα στρώματα μέσω των οποίων ρέει το νερό, μπορεί επίσης να υπάρχουν και άλλα ιόντα συμπεριλαμβανομένου χλωριούχου και όξινου ανθρακικού. Μπορεί να υπάρχει απαίτηση να μειωθεί η περιεκτικότητα σε σίδηρο ή μαγγάνιο αυτού του νερού ώστε να γίνει αποδεκτή για πόση, μαγειρική και χρήση πλυντηρίου. Μπορεί επίσης να απαιτείται πρωτογενής απολύμανση. Όπου εφαρμόζεται η επαναφόρτιση των υπόγειων υδάτων (μια διαδικασία στην οποία το νερό του ποταμού εγχέεται σε έναν υδροφόρο ορίζοντα για την αποθήκευση του νερού σε περιόδους αφθονίας ώστε να είναι διαθέσιμο σε περιόδους ξηρασίας), τα υπόγεια ύδατα μπορεί να απαιτούν πρόσθετη επεξεργασία, ανάλογα με τους ισχύοντες κρατικούς και ομοσπονδιακούς κανονισμούς.
- **Λίμνες και δεξαμενές:** Συνήθως είναι τοποθετημένες στα ορμητικά ύδατα των ποταμών, οι ορεινές δεξαμενές είναι συνήθως τοποθετημένες πάνω από οποιαδήποτε ανθρώπινη κατοικία και μπορεί να περιβάλλονται από μια ζώνη προστασίας για να περιοριστούν οι πιθανότητες μόλυνσης. Τα επίπεδα των βακτηρίων και των παθογόνων είναι συνήθως χαμηλά, αλλά ορισμένα βακτηρίδια, πρωτόζωα ή άλγη θα υπάρχουν .
- Η παραγωγή ατμοσφαιρικών υδάτων είναι μια νέα τεχνολογία που μπορεί να παρέχει πόσιμο νερό υψηλής ποιότητας με την εξαγωγή νερού από τον αέρα με ψύξη του αέρα και συνεπώς συμπύκνωση υδρατμών.
- Η συγκομιδή νερού βροχής ή η συλλογή ομίχλης που συλλέγει νερό από την ατμόσφαιρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικά σε περιοχές με έντονες ξηρές εποχές και σε περιοχές που αντιμετωπίζουν ομίχλη ακόμα και όταν υπάρχει μικρή βροχόπτωση.
- Αφαλάτωση θαλασσινού νερού με απόσταξη ή αντίστροφη ώσμωση.

1.2 Το νερό και η σημασία του

Το νερό είναι ένας φυσικός πόρος που έχει μεγάλη σημασία γιατί είναι από τους βασικούς παράγοντες για τη ζωή και την ανάπτυξη. Τα τελευταία χρόνια το αγαθό αυτό βρίσκεται σε ανεπάρκεια, παρ' ότι ένας παρατηρητής που θα ατένιζε τη Γη από το διάστημα θα τη χαρακτήριζε ως «γαλάζιο πλανήτη» λόγω του άφθονου νερού που την καλύπτει. Το συντριπτικά μεγαλύτερο ποσοστό του νερού που βρίσκεται στη φύση αποτελεί το θαλασσινό νερό. Συγκεκριμένα:

- Το 97,39% των υδατικών αποθεμάτων είναι το θαλασσινό νερό
- Το 2,01% το αποτελούν οι πάγοι
- Το 0,58% τα υπόγεια νερά
- Το 0,02% είναι λίμνες και οι ποταμοί
- Το 0,02% υπάρχει στην ατμόσφαιρα υπό μορφή υδρατμών
- Το γλυκό νερό είναι το 2,6% της συνολικής ποσότητας

Αν μπορούσαμε να κατανείμουμε ομοιόμορφα τα αποθέματα του νερού σε όλη την επιφάνεια του πλανήτη μας, θα δημιουργούσαμε ένα υδάτινο μανδύα βάθους περίπου 3 χιλιομέτρων. Το νερό όμως δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο σε όλες τις περιοχές του πλανήτη και αν ο παρατηρητής πλησίαζε τη Γη θα έβλεπε σε άλλες περιοχές πλημμύρες και σε άλλες λειψυδρία.

Νερό είναι ,επίσης, το φυσικό στοιχείο το οποίο προκύπτει από την χημική ένωση των μορίων υδρογόνου και οξυγόνου. Στη χημεία το νερό συμβολίζεται ως H₂O.

Αποτελεί το κύριο συστατικό των οργανισμών του πλανήτη μας. Το 60% του βάρους ενός δέντρου αντιστοιχεί σε νερό, ενώ στα περισσότερα ζώα και φυτά το 65% είναι νερό. Καθένας μας χρειάζεται καθημερινά κάποιες ποσότητες νερού για να ζήσει. Πολύ μεγάλες όμως ποσότητες χρειάζονται για να έχουμε την τροφή μας ή για να ικανοποιήσουμε άλλες ανάγκες μας.

Τα γλυκά ή φρέσκα ή εσωτερικά νερά είναι πολύ σπουδαία για τις δραστηριότητες του ανθρώπου. Η έλλειψη του νερού σε πολλές περιοχές του πλανήτη μας είναι υπεύθυνη για το θάνατο πολλών συνανθρώπων μας, γιατί στην έλλειψη του νερού οφείλεται η αδυναμία παραγωγής τροφίμων. Στην πραγματικότητα, ζωή χωρίς νερό δεν μπορεί να υπάρξει.

Στα δύο δισεκατομμύρια υπολογίζεται ο αριθμός των ανθρώπων που δεν έχουν πρόσβαση σε πόσιμο νερό παγκοσμίως. Η υπερθέρμανση του πλανήτη με άμεση επίπτωση την ξηρασία καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για κατανάλωση πόσιμου νερού. Αναλυτές προειδοποιούν εκ νέου για συγκρούσεις μεταξύ των χωρών που μοιράζονται διασυνοριακά αποθέματα πόσιμου νερού.

Εν κατακλείδι η ανάγκη για διαχείριση της ποσότητας και της ποιότητας του νερού που καταναλώνεται είναι αναγκαία τόσο για τις βιολογικές ανάγκες των ανθρώπων όσο και για την αποφυγή αναταραχών ,σε παγκόσμιο επίπεδο , στην περίπτωση σοβαρής κρίσης νερού .



Εικόνα 2: Συλλογή νερού σε υποανάπτυκτες χώρες. Πηγή: worldlearningnow.files.wordpress.com

1.3 Υδατικό ισοζύγιο – ορολογία

Το πρώτο κρίσιμο βήμα της ολοκληρωμένης διαχείρισης είναι η αξιόπιστη αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης του δικτύου και της βέλτιστης λύσης επέμβασης. Πρέπει να γίνει αξιολόγηση του επιπέδου λειτουργίας του δικτύου, μέσω του υπολογισμού του Υδατικού του

Ισοζυγίου κατά τον Διεθνή Οργανισμό Νερού IWA (International Water Association) και τη χρήση των κατάλληλων δεικτών αξιολόγησης. Παρακάτω παρατίθενται όλοι οι ορισμοί, όπως αποτυπώνονται στο εγχειρίδιο “best practice” του IWA(2000):

- **Όγκος εισερχόμενου νερού στο δίκτυο (System Input Volume-SIV):** Ο ετήσιος όγκος εισόδου στο σύστημα 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 τον προμηθευτή νερού για διάφορες χρήσεις.
- **Απώλειες Νερού (Water Losses):** Η διαφορά ανάμεσα στον όγκο εισόδου στο σύστημα και στον όγκο της εξουσιοδοτημένης κατανάλωσης. Ο υπολογισμός αυτός είναι απαραίτητος για την αφετηρία λήψης πρωτοβουλιών και μέτρων καθώς αντανακλά το μέγεθος του προβλήματος. Οι απώλειες νερού διαχωρίζονται σε πραγματικές ή φυσικές κι σε φαινόμενες ή εμπορικές απώλειες.
- **Πραγματικές 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.
- **Φαινόμενες Απώλειες:** Αφορούν τη μη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση και τις διαφόρου τύπου ανακρίβειες που αφορούν τους μετρητές.
- **Μη ανταποδοτικό Νερό (Non-Revenue Water/ NRW):** Είναι η διαφορά ανάμεσα στον εισερχόμενο όγκο νερού στο σύστημα και της τιμολογούμενης εξουσιοδοτημένης κατανάλωσης. Το μη ανταποδοτικό νερό αποτελείται από την εξουσιοδοτημένη κατανάλωση χωρίς χρέωση, τις φαινόμενες και τις πραγματικές απώλειες.

Σύμφωνα με τον διεθνή οργανισμό νερού (International water association –IWA) το πρότυπο υδατικό ισοζύγιο εκφράζεται με τον πίνακα 1:

	Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση	Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση με Χρέωση	Κατανάλωση με Χρέωση με Μετρητή	Ανταποδοτικό Νερό (Τιμολογημένο)
		Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση χωρίς Χρέωση	Κατανάλωση με Χρέωση χωρίς Μετρητή	
Εισερχόμενος Όγκος στο Σύστημα (διορθωμένος για γνωστά σφάλματα)	Απώλειες Υδάτος	Φαινόμενες (Εμπορικές) Απώλειες	Κατανάλωση χωρίς Χρέωση με Μετρητή	Μη Ανταποδοτικό Νερό
			Κατανάλωση χωρίς Χρέωση χωρίς Μετρητή	
	Πραγματικές (Φυσικές) Απώλειες	Μη Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση (κλοπή/παράνομη χρήση)		
		Ανακρίβειες Μετρητών /Λάθη Μετρήσεων		
		Λάθος Χειρισμός Δεδομένων		
		Διαρροές στην Μεταφορά ή/και στους Κεντρικούς Αγωγούς Διανομής		
Πραγματικές (Φυσικές) Απώλειες	Διαρροή και Υπερχείλιση σε Δεξαμενές Αποθήκευσης της Εταιρίας Ύδρευσης			
	Διαρροή στις Συνδέσεις μέχρι τον Μετρητή των Πελατών			

Πίνακας 1: Υδατικό ισοζύγιο από το εγχειρίδιο “best practice” του IWA

Ετήσιο Εισερχόμενο Νερό Στο Δίκτυο	Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση	Τιμολογούμενη Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση	Τιμολογούμενη Μετρούμενη Κατανάλωση	Νερό που πωλείται και αποδίδει έσοδα	Νερό που πωλείται και αποδίδει έσοδα
			Τιμολογούμενη μη-Μετρούμενη Κατανάλωση	Νερό που πωλείται και ΔΕΝ αποδίδει έσοδα	Νερό που πωλείται και ΔΕΝ αποδίδει έσοδα
		Μη-Τιμολογούμενη Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση	Μη-Τιμολογούμενη Μετρούμενη Κατανάλωση	Νερό που δεν πωλείται και δεν αποδίδει έσοδα (μη Ανταποδοτικό Νερό)	Λογιστικό μη ανταποδοτικό νερό
			Μη-Τιμολογούμενη Μη-Μετρούμενη Κατανάλωση		
	Απώλειες Νερού	Φαινόμενες Απώλειες Νερού	Μη- Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση		
			Λάθη Μετρήτων /Μετρήσεων		
Πραγματικές Απώλειες Νερού					
			Απώλειες Νερού που αποδίδουν έσοδα (Διαφορά Παγίου)		

Πίνακας 2: Υδατικό Ισοζύγιο (Κανακούδης & Τσιτσιφλή,2010) [2η Τροποποίηση]

1.4 Σχέση ανάμεσα στη διαχείριση της πίεσης και των απωλειών

Σε πολλές εταιρίες ύδρευσης επικρατεί η θεώρηση ότι η διαχείριση της πίεσης συνδέεται ελαφρώς ή και καθόλου με τη διαχείριση των απωλειών. Ωστόσο, έχει αναγνωρισθεί σε αρκετές χώρες, με πρωτοπόρες τις Αγγλία και Ιαπωνία, ότι η πίεση κατέχει θεμελιώδη ρόλο στο μέγεθος και στη συχνότητα εμφάνισης απωλειών στα δίκτυα ύδρευσης και αυτή η αλληλεπίδραση σε πολλές περιπτώσεις είναι σημαντικότερη σε πρακτικό επίπεδο από ότι μπορεί να υπολογιστεί σε θεωρητικό επίπεδο. Με βάση σύγχρονες προσεγγίσεις (IWA Water Loss Task Force,2000), ο όγκος των πραγματικών απωλειών διαμορφώνεται από την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής τεσσάρων τεχνικών: καλή συντήρηση των σωληνώσεων, διαχείριση της πίεσης, έλεγχος ενεργών διαρροών, γρήγορη και ποιοτική επισκευή. Η μακροπρόθεσμη συντήρηση των αγωγών επηρεάζει τον αριθμό των νέων διαρροών που προκύπτουν, ενώ η διαχείριση της πίεσης μπορεί να επηρεάσει τη συχνότητα των νέων διαρροών και τους ρυθμούς ροής των διαρροών και θραύσεων. Η ταχύτητα και η ποιότητα της επισκευής ρυθμίζουν τη μέση διάρκεια κάθε διαρροής, ενώ ο έλεγχος ενεργών διαρροών καθορίζει το χρονικό διάστημα μεταξύ του σχηματισμού και του εντοπισμού της διαρροής.

Από τις παραπάνω τεχνικές αυτής της διαχείρισης της πίεσης έχει αναγνωρισθεί ως η πλέον αποδοτική με ευμενή επίδραση κυρίως στις πραγματικές απώλειες σε σχέση για παράδειγμα με τη μη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση. Δεν παύει πάντως να αποτελεί μία αποτελεσματική στρατηγική επανάκτησης μεγάλου ποσοστού του μη ανταποδοτικού νερού. Τα βασικά οφέλη από τη διαχείριση της πίεσης μπορούν να συνοψισθούν στα εξής:

- μείωση της θραύσεως των αγωγών, με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους επισκευής και την απώλεια λιγότερου νερού
- ελάττωση της φθοράς των αγωγών, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη διάρκεια ζωής
- μείωση του μεγέθους των αναπόφευκτων μη ανιχνεύσιμων διαρροών
- μείωση των διαρροών από ενώσεις σωλήνων, βαλβίδες, κρουνοί και άλλα εξαρτήματα
- μείωση της εμφάνισης καταρρακτών στους αγωγούς, που επιτυγχάνεται όταν οι στρόφιγγες και οι βαλβίδες δεν είναι πολύ ανοικτές
- μείωση της εξουσιοδοτημένης ή μη κατανάλωσης στο βαθμό που εξαρτάται από την πίεση



Εικόνα 3: Διαβρωμένοι χαλύβδινοι αγωγοί (Greyvenstein and Van Zyl, 2006)

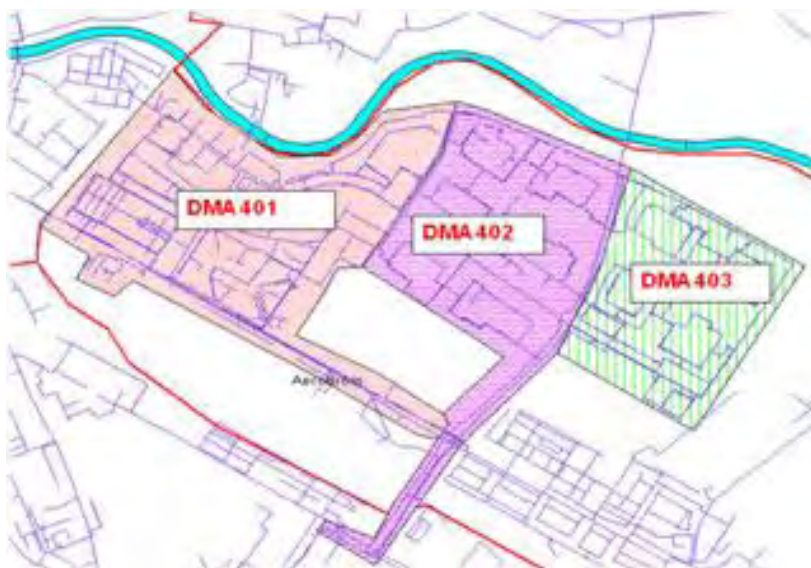


Εικόνα 4: Παράδειγμα απωλειών σε αγωγό λόγω υψηλής πίεσης (πηγή: www.nj.gov)

1.5 Υδραυλικά απομονωμένες περιοχές (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.



Εικόνα 5: Παράδειγμα χωρισμού δικτύου σε DMAs (Πηγή : www.aquasave.mk)

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 Ο ρόλος των DMAs στην διαχείριση των απωλειών

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 Προβλήματα από την εφαρμογή των DMA

Ο διαχωρισμός ενός δικτύου σε DMAs σε συνδυασμό με την εφαρμογή μίας τεχνικής διαχείρισης των απωλειών φέρει μία πληθώρα οφελών και οδηγεί σε σημαντικά αποτελέσματα. Παρόλα αυτά, υπάρχει ένας αντισταθμιστικός παράγοντας, η σημασία του οποίου δεν επιτρέπει την μερική ή ολική υποτίμησή του. Ο παράγοντας αυτός αφορά την ποιότητα του διοχετευόμενου νερού στους πελάτες. Η υλοποίηση των district metered areas προϋποθέτουν την ύπαρξη ενεργών βαλβίδων αποκλεισμού στα όρια μεταξύ τους και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία αδιεξόδων στο δίκτυο. Το γεγονός αυτό, αυξάνει την ενδεχόμενη πιθανότητα εμφάνισης προβλημάτων γεύσεως ή οσμής του νερού, καθώς και την ύπαρξη χαμηλών υπολειμμάτων χλωρίου. Τέτοια προβλήματα ποιότητας του νερού υποβαθμίζουν την αξιοπιστία της υπεύθυνης εταιρίας ύδρευσης, κυρίως στην κοινή γνώμη του καταναλωτικού κοινού.

1.5.3 Μέτρα για το σχεδιασμό των DMA

Για την μείωση του ενδεχομένου εμφάνισης θεμάτων ποιότητας, απαιτείται η εφαρμογή μιας σειράς μέτρων:

- Κατά τον σχεδιασμό των DMAs οι μεγάλοι καταναλωτές, όπως ξενοδοχειακές μονάδες, να τοποθετούνται στα άκρα διατηρώντας φρέσκο το νερό στο εσωτερικό των DMAs.
- Το άνοιγμα των συνοριακών βαλβίδων αποκλεισμού ανά τακτά χρονικά διαστήματα με ταυτόχρονη αύξηση της πίεσης (flushing programme).
- Αποφυγή πολλών κλειστών βανών αποκλεισμού
- Απαραίτητος έλεγχος για διακοπτόμενη παροχή

- Έλεγχος τήρησης κριτηρίων που προέρχονται από τον αρχικό σχεδιασμό του δικτύου
- Έλεγχος χαμηλής πίεσης του δικτύου
- Σε πρακτικό επίπεδο, η τακτική συντήρηση και εξασφάλιση της ακεραιότητας των ορίων των DMAs

1.6 Χρήση γενετικών αλγορίθμων

Οι γενετικοί αλγόριθμοι ανήκουν στο κλάδο της επιστήμης υπολογιστών και αποτελούν μια μέθοδο αναζήτησης βέλτιστων λύσεων σε συστήματα που μπορούν να περιγραφούν 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 με 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 γενετικοί αλγόριθμοι είναι αρκετά απλοί στην υλοποίησή τους. 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 (τιμές για τις παραμέτρους του συστήματος) 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 (Σ.Ι). Οι λύσεις που βρίσκονται πιο κοντά στην επιθυμητή, σε σχέση με τις άλλες, σύμφωνα με το μέτρο που μας δίνει η Σ.Ι, 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 γονιδίων/λύσεων που πλησιάζουν καλύτερα το επιθυμητό αποτέλεσμα θα παράγουν ένα γονίδιο/λύση που θα περιέχει τις τιμές για τις παραμέτρους που ικανοποιούν όσο καλύτερα γίνεται την Σ.Ι.

Υπάρχουν διάφορες εκδοχές της παραπάνω διαδικασίας για τους Γ.Α από τις οποίες κάποιες περιλαμβάνουν και τη διασταύρωση (ζευγάρωμα) γονιδίων/λύσεων ώστε ο αλγόριθμος να φτάσει στο αποτέλεσμα πιο γρήγορα. Καθώς υπάρχει το στοχαστικό (τυχαίο) συστατικό της μετάλλαξης και ζευγαρώματος, κάθε εκτέλεση του Γ.Α μπορεί να συγκλίνει σε διαφορετική λύση και σε διαφορετικό χρόνο. Η απόδοση του Γ.Α εξαρτάται επί το πλείστον από την συνάρτηση ικανότητας και συγκεκριμένα από το κατά πόσο το μέτρο της περιγράφει την βέλτιστη λύση. Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι ένα πεπερασμένο σύνολο οδηγιών για την εκπλήρωση ενός έργου, το οποίο δεδομένης μιας αρχικής κατάστασης θα οδηγήσει σε μια αναγνωρίσιμη τελική κατάσταση, και το οποίο προσπαθεί να μιμηθεί την διαδικασία της βιολογικής εξέλιξης. Οι γενετικοί αλγόριθμοι προσπαθούν να βρουν τη λύση ενός προβλήματος με το να προσομοιώνουν την εξέλιξη ενός πληθυσμού «λύσεων» του προβλήματος.

Είναι μια τεχνική προγραμματισμού που εισήγαγε στα τέλη της δεκαετίας του 1960 ο Τζον Χόλαντ, ερευνητής του Ινστιτούτου της Σάντα Φε (ΗΠΑ).

Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι μια από τις βάσεις των Προγραμμάτων Τεχνητής Ζωής. Συγκεκριμένα, επιχειρεί να αναπαράγει στους υπολογιστές τους μηχανισμούς της βιολογικής εξέλιξης με τον ίδιο τρόπο που η τεχνητή νοημοσύνη επιχειρεί να αναπαραστήσει και να μιμηθεί τις διαδικασίες της γνώσης.

Τα προγράμματα εξελίσσονται μέχρι να φτάσουν, μέσω μεταλλάξεων, διασταυρώσεων και φυσικής επιλογής, σε μια αποτελεσματική φόρμουλα η οποία θα εκτελεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο μια συγκεκριμένη εργασία.

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

1.7 Η ποιότητα του νερού

Η ποιότητα του νερού αναφέρεται στα χημικά, φυσικά, βιολογικά και ραδιολογικά χαρακτηριστικά του νερού. Τα πιο συνηθισμένα πρότυπα που χρησιμοποιούνται για αξιολόγηση της ποιότητας του νερού είναι ως προς την υγεία των οικοσυστημάτων, την ασφάλεια της ανθρώπινης επαφής και του πόσιμου νερού.

Στον καθορισμό των προτύπων, οι υπηρεσίες λαμβάνουν πολιτικές και τεχνικές/επιστημονικές αποφάσεις ως προς το πώς θα χρησιμοποιηθεί το νερό. Στην περίπτωση των φυσικών υδάτινων μαζών, εκτελούν κάποιες λογικές εκτιμήσεις των αρχικών συνθηκών. Διαφορετικές χρήσεις εγείρουν διαφορετικά θέματα και συνεπώς εξετάζονται με διαφορετικά πρότυπα. Οι φυσικές υδάτινες μάζες ποικίλουν ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι περιβαλλοντικοί επιστήμονες μελετούν για να κατανοήσουν πώς λειτουργούν αυτά τα συστήματα, ενώ οι νομικοί του περιβάλλοντος και οι πολιτικοί εργάζονται για να καθορίσουν νομοθεσίες με σκοπό τη διατήρηση του νερού στην κατάλληλη ποιότητα για την προβλεπόμενη χρήση.

Η μεγάλη πλειοψηφία των επιφανειακών υδάτων του πλανήτη δεν είναι ούτε πόσιμα, ούτε τοξικά. Αυτό παραμένει αληθές όταν το θαλάσσιο νερό στους ωκεανούς (που είναι υπερβολικά αλμυρό για πόση) λαμβάνεται υπόψη. Στην πραγματικότητα, η ποιότητα του νερού είναι ένα σύνθετο θέμα, επειδή το νερό είναι ένα σύνθετο μέσο, έμφυτα συνδεδεμένο με την οικολογία της γης. Βιομηχανικές και εμπορικές δραστηριότητες (π.χ. κατασκευές, εξόρυξη, μεταφορές) είναι οι κύριες αιτίες της ρύπανσης του νερού όπως και η επιφανειακή απορροή από αγροτικές περιοχές, η αστική απορροή και η απόχυση επεξεργασμένων και ανεπεξέργαστων λυμάτων.

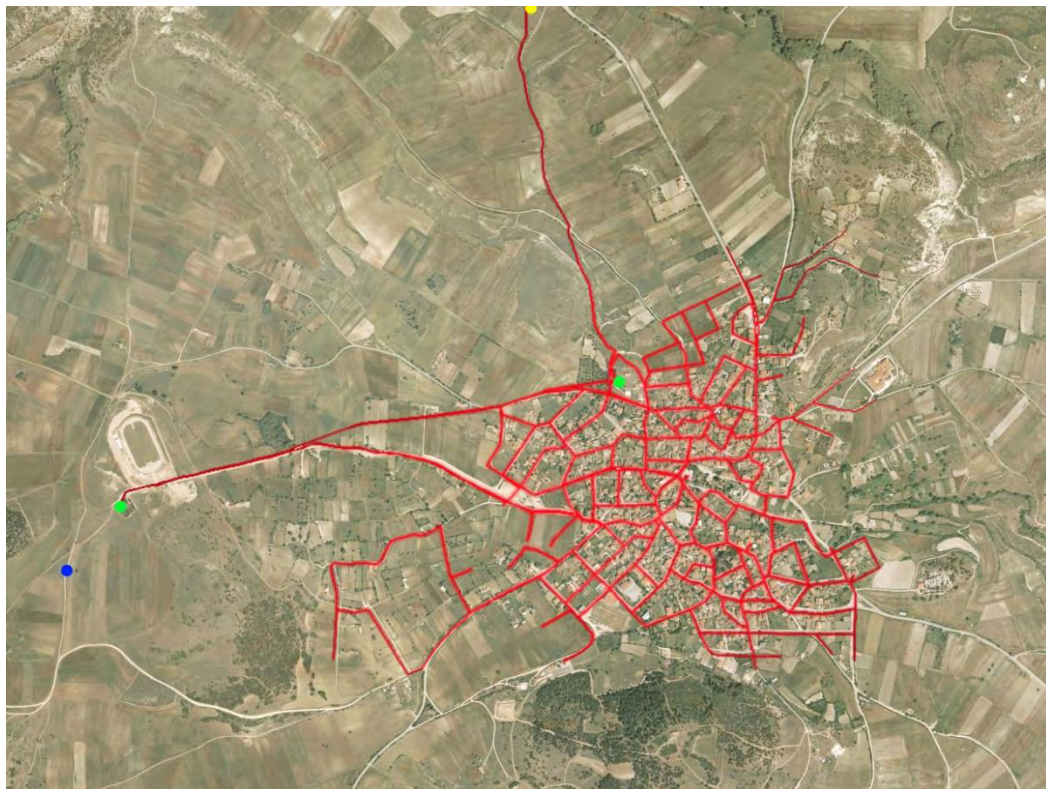
1.8 Σκοπός της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την έρευνα και την μελέτη για την εφαρμογή συγκεκριμένων βημάτων, που θα οδηγήσουν στην βελτίωση της ποιότητας νερού ως προς την ηλικία και ως προς την πίεση στο κύριο τμήμα του δικτύου ύδρευσης που βρίσκεται υπό την ευθύνη της Δ.Ε.Υ.Α. Κοζάνης, στην περιοχή της Αιανής.

Πιο συγκεκριμένα, αφορά στην προσομοίωση του υπάρχοντος δικτύου εισάγοντας πραγματικά δεδομένα στα προγράμματα Watercad V8i, Epanet, Arc Gis και Matlab. Βασικός στόχος της εργασίας είναι τα αποτελέσματα και τα εξαγόμενα συμπεράσματα να έχουν πλήρη αντίκτυπο στην πραγματικότητα και να μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια από την αρμόδια εταιρία ύδρευσης. Επιπρόσθετα, οι τελικές προτάσεις θα πρέπει να προέρχονται έπειτα από προσομοίωση και μελέτη ενός ικανοποιητικού αριθμού περιπτώσεων-σεναρίων και με την καταγραφή και επεξεργασία στοιχείων που αφορούν όλες τις δυνατές ενδιάμεσες καταστάσεις, έτσι ώστε να καθίστανται βάσιμες και πλήρως τεκμηριωμένες.

Κεφάλαιο 2: Το δίκτυο της Αιανής

2.1 Γενικές πληροφορίες



Εικόνα 6: Αεροφωτογραφία Αιανής σε συνδυασμό με το δίκτυο ύδρευσης όπως απεικονίζεται στο πρόγραμμα Gis. Μπλε κουκίδα: Γεώτρηση. Πράσινη κουκίδα: Δεξαμενές. Κίτρινη κουκίδα: Αντλιοστάσιο. Μέρη χρωματισμένα με κόκκινο: Αγωγοί.

Η Αιανή είναι κωμόπολη του νομού Κοζάνης και έχει οριστεί ως ιστορική έδρα του δήμου Κοζάνης. Βρίσκεται κοντά στον Αλιάκμονα και απέχει 22 χλμ. νότια της πόλης της Κοζάνης. Ο Δήμος Αιανής ήταν δήμος του νομού Κοζάνης που συστάθηκε με το πρόγραμμα Καποδίστριας από τη συνένωση παλαιότερων κοινοτήτων της περιοχής, που αποτέλεσαν στη συνέχεια τα δημοτικά διαμερίσματα του δήμου. Λειτούργησε την περίοδο 1999-2010 οπότε και καταργήθηκε με την εφαρμογή του προγράμματος Καλλικράτης και εντάχθηκε στον νέο δήμο Κοζάνης. Βρισκόταν στο νότιο τμήμα του νομού, στα σύνορα με τον νομό Γρεβενών. Ο δήμος περιλάμβανε 7 δημοτικά διαμερίσματα, καταλάμβανε έκταση 152,9 τετραγωνικών χιλιομέτρων και ο πληθυσμός του ήταν 3.819 κάτοικοι.

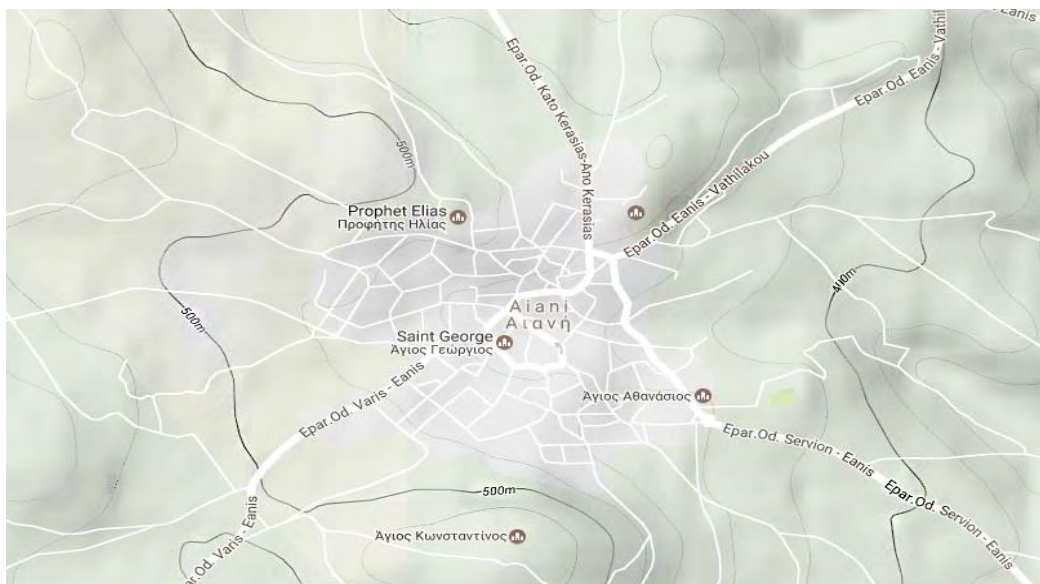


Εικόνα 7: Δήμος Αιανής. Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας. Έκταση 152,9 τ.χλμ. Πληθυσμός: 3.816 (2001).

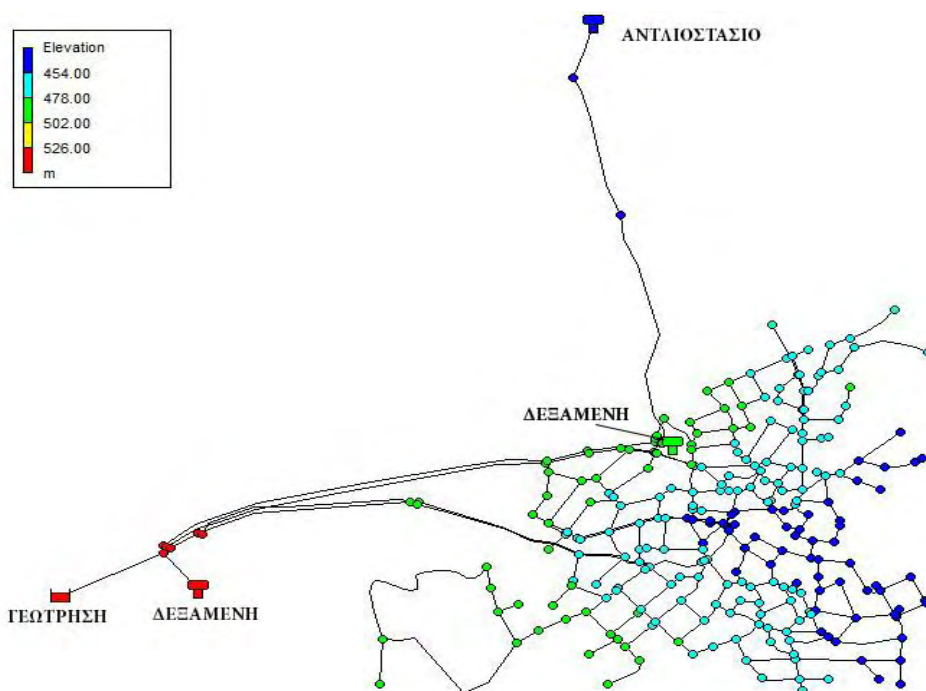
2.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά της Αιανής

Το υψόμετρο της περιοχής είναι στα 460 m. Το χαμηλότερο σημείο του δικτύου βρίσκεται στα 432 m ενώ το ψηλότερο στα 547 m. Όπως γίνεται αντιληπτό η βαρυτική επίδραση στο δίκτυο ύδρευσης

είναι μεγάλη διαδραματίζοντας σημαντικό ρόλο τόσο για την πίεση όσο και για την ποιότητα του νερού.



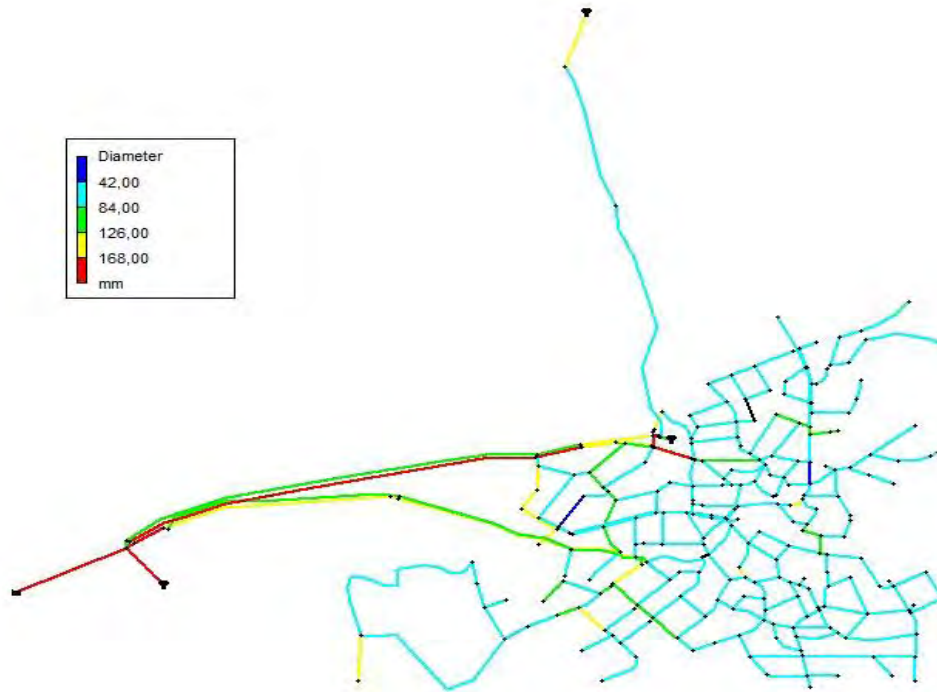
Εικόνα 8: Υψομετρικός χάρτης Αιανής. Πηγή Google Earth



Εικόνα 9: Χρωματική αποτύπωση υψών των κόμβων του δικτύου της Αιανής σε μορφή CAD (χρήση προγράμματος Eranet)

2.3 Το δίκτυο ύδρευσης της Αιανής

Το δίκτυο της Αιανής αποτελείται από 329 αγωγούς συνολικού μήκους 28.846 μέτρων. Οι αγωγοί είναι κατασκευασμένοι από PVC και οι διάμετροι τους κυμαίνονται από 63mm έως 225 mm.



Εικόνα 10: Χρωματική αποτύπωση διαμέτρων αγωγών σε μορφή CAD (χρήση προγράμματος Epanet)

Υπάρχουν συνολικά 809 μετρητές κατανάλωσης, 140 βαλβίδες, 30 τάπες, 62 φρεάτια μερισμού και 2 πιεζοθραυστικά φρεάτια.



Εικόνα 11: Δίκτυο Αιανής σε μορφή CAD (χρήση προγράμματος Epanet)



Εικόνα 12: Αποτύπωση θέσης μετρητών κατανάλωσης σε μορφή CAD (χρήση προγράμματος Arc Gis)



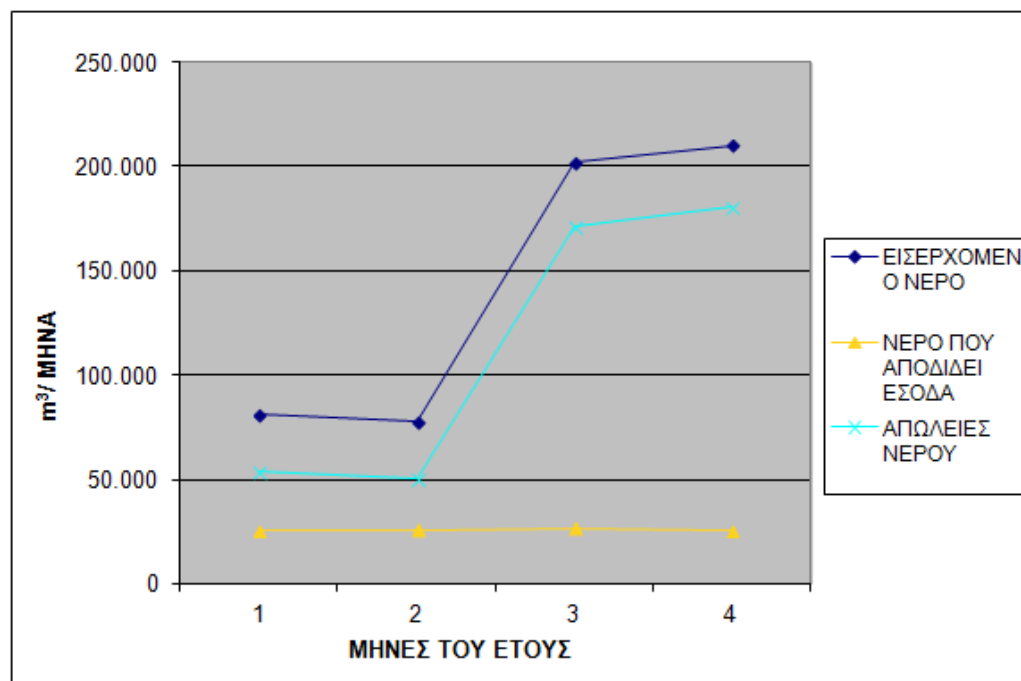
Εικόνα 13: Αποτύπωση θέσης βαλβίδων σε μορφή CAD (χρήση προγράμματος Arc Gis)

2.4 Κατανάλωση νερού

Οι μετρήσεις που έγιναν για το έτος 2014 έδειξαν σημαντικές διαφορές στην ποσότητα εισερχόμενου νερού στο δίκτυο με την κατανάλωση να παραμένει σχετικά σταθερή. Τα δύο πρώτα εξάμηνα του 2014 η κατανάλωση ήταν στα 288,75 m³/24 h και τα δύο επόμενα ήταν 291,73 m³/24 h. Το δίκτυο τροφοδοτείται από μία πηγή και μια γεώτρηση που για το συγκεκριμένο έτος τροφοδότησαν το δίκτυο με 571.939 m³ νερού.

Πίνακας 3 Υδατικό Ισοζύγιο Αιανής για το έτος 2014 του Δήμου Αιανής

	01/14	04/14	07/14	10/14	ΣΥΝΟΛΟ
ΑΠΟ ΠΗΓΕΣ	10.684	12.763	2.656	265	26.367
ΑΠΟ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	70.994	65.077	199.582	209.919	545.572
SIV (ΓΙΑ ΟΛΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ)	81.678	77.840	202.238	210.184	571.939
Billed metered Consumption	25.887	26.088	26.847	25.664	104.486
Billed unmetered Consumption	0	0	0	0	0
Billed Authorised Consumption	25.887	26.088	26.847	25.664	104.486
Unbilled Authorised Consumption	1.634	1.557	4.045	4.204	11.439
Authorised Consumption	27.521	27.645	30.892	29.868	115.925
Illegal Connections / Theft (5%)	4.084	3.892	10.112	10.509	28.597
Meter Errors, Underregistration	8.168	7.784	20.224	21.018	57.194
Apparent Losses	12.252	11.676	30.336	31.528	85.791
Real Losses	41.905	38.519	141.011	148.789	370.223
Water Losses	54.157	50.195	171.346	180.316	456.014
Revenue Water (χωρίς MCD)	25.887	26.088	26.847	25.664	104.486



Γράφημα 1: Εισερχόμενο νερό στο δίκτυο της Αιανής, νερό που αποδίδει έσοδα και απώλειες νερού

Στο δίκτυο υπάρχουν επίσης δύο δεξαμενές. Η κεντρική δεξαμενή Αιανής με ωφέλιμο όγκο 460 m³ και η δεξαμενή στον προφήτη Ηλία με ωφέλιμο όγκο 82 m³.

Διπλωματική Εργασία: Βελτιστοποίηση ποιότητας και πίεσης νερού σε δίκτυο ύδρευσης με χρήση γενετικού αλγορίθμου και διαμόρφωση υδραυλικά απομονωμένων υποζωνών (DMAs) – Η περίπτωση της Αιανής

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά δεξαμενών του δικτύου της Αιανής

Δεξαμενή	X (στην πόρτα εισόδου)	Y (στην πόρτα εισόδου)	Z (στην πόρτα εισόδου)	Διαστάσεις Δεξαμενών	Εμβαδόν ωφέλιμο	Όγκος ωφέλιμος
Κεντρική Δεξαμενή Αιανής	312527,51	4447926,87	547,28	$(8 * 8,1) + (7,9 * 8)$	128 m ²	460 m ³
Δεξαμενή Προφήτη Ηλία	313964,96	4448281,59	493,43	$(4,3 * 5,55) * 2$	48 m ²	82 m ³



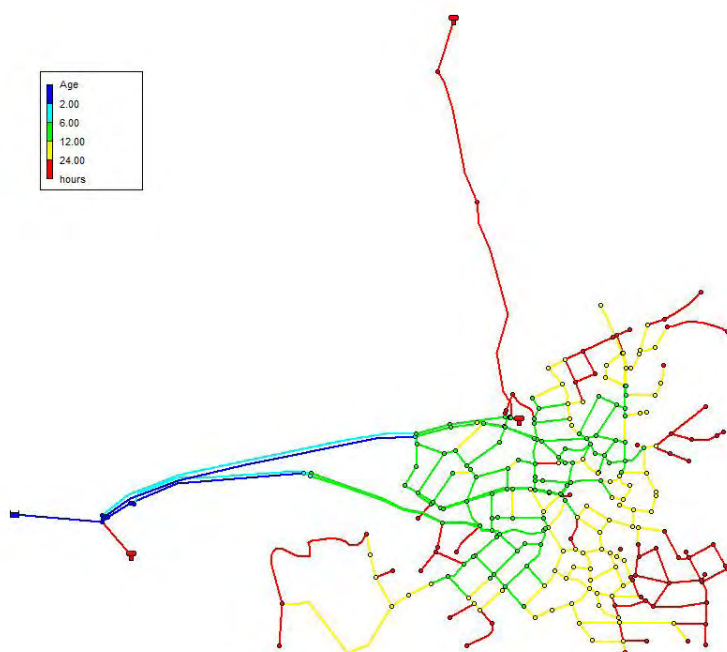
Γράφημα 2: Τιμολογούμενο νερό και απώλειες

Κεφάλαιο 3: Ποιότητα νερού ως προς την ηλικία

3.1 Ορισμός

Η ηλικία του νερού αναφέρεται στον χρόνο που απαιτείται για να φθάσει το νερό από την πηγή στο καταναλωτές. Αποτελεί πλέον έναν αναγνωρισμένο δείκτη της ποιότητας του νερού. Πιο συγκεκριμένα, όσο χαμηλότερη είναι η ηλικία τόσο υψηλότερη θεωρείται η ποιότητα του νερού στο δίκτυο που μελετάται. Είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την ποιότητα νερού σε ένα δίκτυο διανομής. Οι δύο κυριότεροι παράγοντες για την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού είναι η αλληλεπίδραση μεταξύ του τοιχώματος των σωλήνων με το νερό και οι αντιδράσεις που συμβαίνουν μέσα στο ίδιο το νερό. Καθώς το νερό κινείται μέσω του συστήματος διανομής και η ηλικία του αυξάνεται, υφίσταται ποικίλους χημικούς, φυσικούς και αισθητικούς μετασχηματισμούς που επηρεάζουν την ποιότητά του. Ανάλογα με την παροχή νερού, τα υλικά των σωλήνων, την ποιότητα του νερού και τα εναποτιθέμενα υλικά (δηλ. άμμος, σίδηρος, μαγγάνιο κτλ.) οι μετασχηματισμοί αυτοί θα προχωρήσουν είτε σε μεγαλύτερο είτε σε μικρότερο βαθμό. Γιατί να μελετάμε την ηλικία του νερού:

- Η ηλικία του νερού επηρεάζει τα επίπεδα χλωρίου. Προκαλεί δηλαδή προβλήματα με τα υποπροϊόντα απολύμανσης (Disinfection by-products, DBPs)
- Η καταστροφή του χλωρίου συνεπάγεται βακτηρίασή ανάπτυξη.
- Η ποιότητα του νερού επηρεάζει σημαντικά την υγεία των ανθρώπων
- Βοηθά στο να εντοπιστούν περιοχές που χρειάζονται «θεραπεία»
- Απλούστερη στην μοντελοποίηση από αυτή της αποσύνθεσης του χλωρίου



Εικόνα 14 : Χρωματική αποτύπωση ηλικίας νερού σε μορφή CAD στο δίκτυο της Αιανής

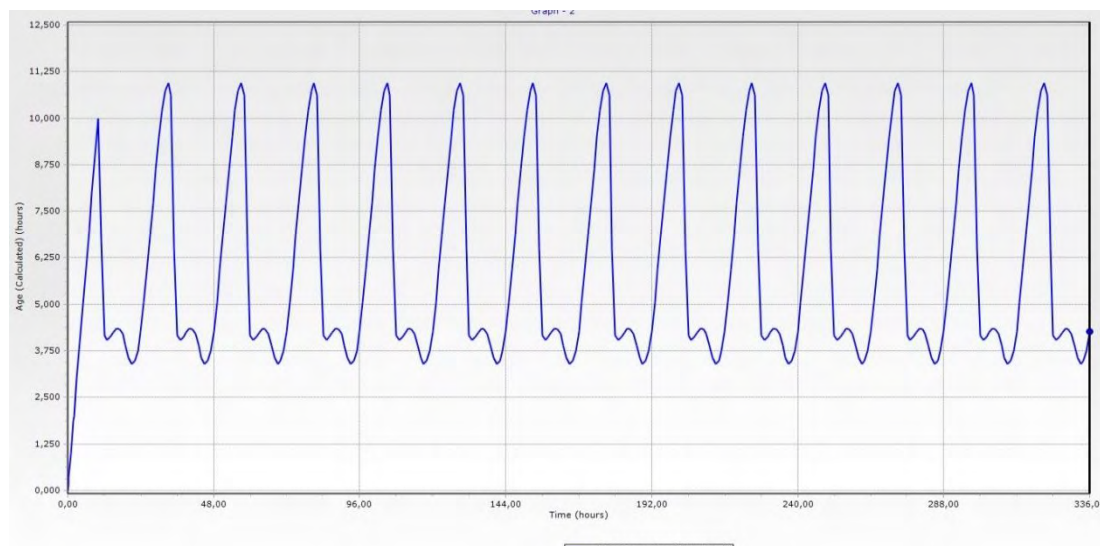
3.2 Πώς υπολογίζουμε την ηλικία του νερού

Η ηλικία του νερού δεν μπορεί να μετρηθεί με φυσικά μέσα. Είναι ένα προϊόν που προέρχεται από μαθηματικά εργαλεία μοντελοποίησης. Ως εκ τούτου, μπορεί να προσδιοριστεί χωρίς πολύπλοκες μεταβλητές έχοντας ρεαλιστική αξία σαν ένας χρήσιμος δείκτης για την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού στο σύστημα. Κάθε δίκτυο διανομής νερού έχει μοναδικά χαρακτηριστικά που επηρεάζονται από την ποιότητα του νερού της πηγής, την διάταξη των σωλήνων, το είδος των υλικών και ακόμη τα λειτουργικά συστήματα που επηρεάζουν τις ροές του συστήματος, τις κατευθύνσεις ροής και τους χρόνους αποθήκευσης. Κάθε σύστημα έχει επίσης εάν μοναδικό μοτίβο όγκου νερού, το καθένα με διαφορετική ηλικία νερού με την δυνατότητα να επηρεάσει την ποιότητα του νερού με διαφορετικό τρόπο. Συνεπώς δεν υπάρχει συγκεκριμένος στόχος ως ανώτερης ή κατώτερης ηλικίας νερού που θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε όλα τα δίκτυο, διότι το καθένα είναι μοναδικό.

Οι κοινές προσομοιώσεις ενός δικτύου διανομής υπολογίζουν την μέση ηλικία νερού υποθέτοντας πως η ηλικία νερού στους κόμβους είναι καθορισμένη ως η μέση ηλικία στους αγωγούς και με την χρήση μέσων, επαναλαμβανόμενων προτύπων ζήτησης για να βρεθεί η μέση ηλικία κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Πιο συγκεκριμένα σε ένα σενάριο προσομοίωσης παρατεταμένης περιόδου (Extended Period Simulation , EPS) :

- Ορίζουμε το μοντέλο για να εκτελέσουμε τον υπολογισμό της ηλικίας του νερού
- Η ημερήσια καμπύλη εφαρμόζεται στις ζητήσεις
- Χρήση εκτός αιχμής ή μέσες ημερήσιες ζητήσεις
- Θέτουμε τη διάρκεια ώστε να επιτύχουν οι δεξαμενές ακριβή μοτίβα (patterns) γεμίσματος/αποστράγγισης

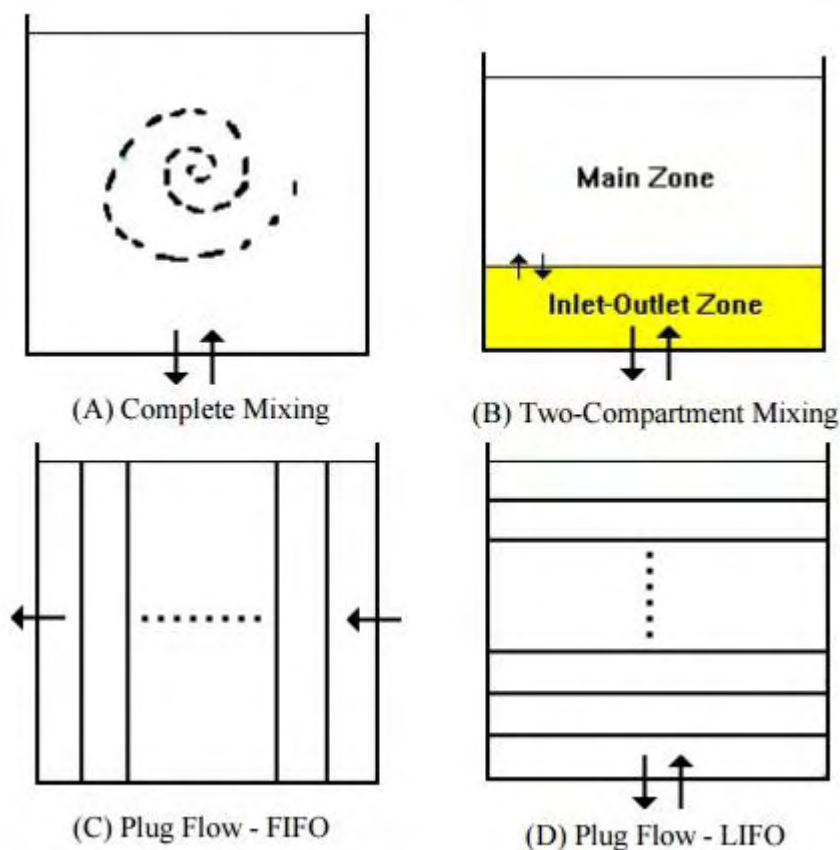


Γράφημα 3: Παράδειγμα ηλικίας νερού σε αγωγό στο δίκτυο της Αιανής

Στη παρούσα διπλωματική εργασία για τον υπολογισμό της ηλικίας νερού χρησιμοποιήσαμε τα προγράμματα WaterGEMS και WaterCAD. Αυτά τα προγράμματα μοντελοποίησης ενός δικτύου χρησιμοποιούν έναν Lagrangian αλγόριθμο για τον εντοπισμό ποσοτήτων νερού του οποίου η ποιότητα νερού (συνεπώς και η ηλικία) είναι διαφορετική από αυτή άλλων ποσοτήτων στο δίκτυο. Σαν ένα απλό παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε την διασταύρωση δύο αγωγών με διαφορετική

ηλικία νερού σε έναν κόμβο, η ροή των οποίων θα συνεχιστεί σε έναν τρίτο αγωγό. Η νέα ποσότητα νερού στον νέο αγωγόν θα είναι μια μίξη των ηλικιών των προηγούμενων δύο.

Ενδεικτικά στην παρακάτω εικόνα αναφέρονται κάποιοι τρόποι με τους οποίους ένα πρόγραμμα μοντελοποίησης υπολογίζει την μίξη νερού στις δεξαμενές αναλόγως το πώς αυτό εισέρχεται ή εξέρχεται.



Εικόνα 15: Τρόποι με τους οποίους ένα πρόγραμμα μοντελοποίησης υπολογίζει την μίξη νερού στις δεξαμενές αναλόγως το πώς αυτό εισέρχεται ή εξέρχεται. Πηγή: User's manual Epanet 2.0

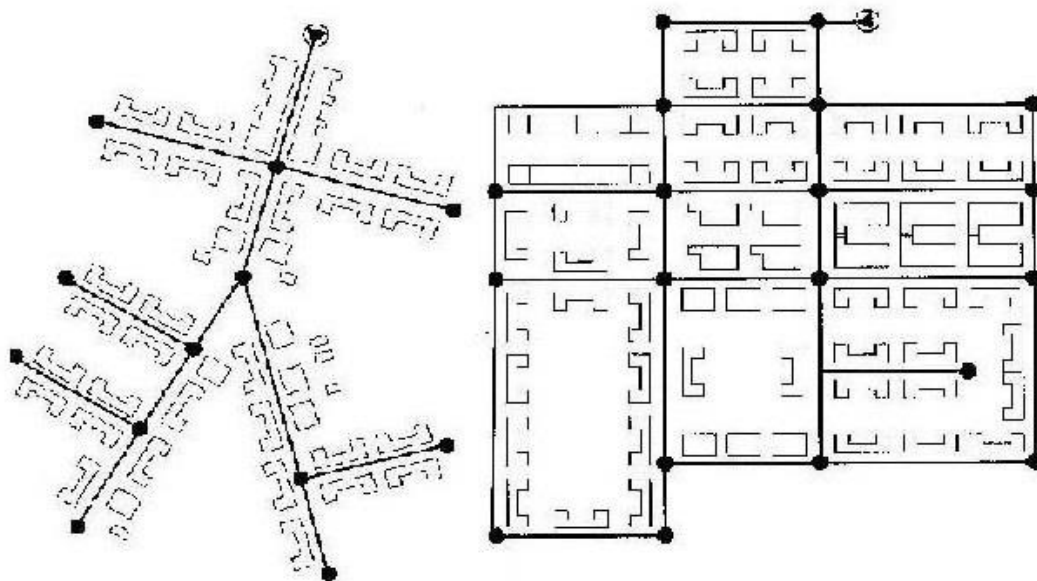
3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ηλικία του νερού

Η ηλικία του νερού εξαρτάται από:

- τη ζήτηση του νερού: Καθώς αυξάνεται η ζήτηση του νερού, αυξάνεται η ταχύτητα της ροής στο δίκτυο και συνεπώς η ηλικία του νερού μειώνεται. Η ζήτηση με τη σειρά της εξαρτάται από
 - το σκοπό χρήσης του νερού: οικιακή χρήση, βιομηχανική ή εμπορική δραστηριότητα.
 - τον καιρό : ευνοϊκός ή όχι για πότισμα κι άλλες γεωργικές εργασίες
 - το αν πραγματοποιούνται από την κοινότητα ή από κάθε νοικοκυριό ξεχωριστά πρακτικές ανακύκλωσης κι επαναχρησιμοποίησης του νερού
 - από τις ρυθμίσεις της πίεσης
- την απόσταση που διανύει το νερό από τις δεξαμενές: Όσο αναφορά την απόσταση που διανύει το νερό σε ένα δίκτυο ύδρευσης έχει αποδειχθεί ότι όσο αυτή αυξάνεται προκαλείται επίσης αύξηση κινδύνου βακτηριακής μόλυνσης (Gamache et al., 1988) . Υπάρχουν όμως αρκετοί ακόμη λόγοι για τους οποίους μπορεί να προκληθεί μόλυνση στο δίκτυο, όπως οι

χαμηλές τιμές πίεσης, η αιφνίδια διακοπή ενός σωλήνα του δικτύου, η ανεξέλεγκτη λειτουργία μιας αντλίας καθώς και το συχνό άνοιγμα και κλείσιμο των πυροσβεστικών κρουνών.

- την εποχικότητα και τις εκάστοτε ανάγκες
- το σχεδιασμό του δικτύου (ακτινωτό/ βρογχικό δίκτυο, έκταση δικτύου, σχεδιασμός δικτύου ως προς την πυροπροστασία κι ύπαρξη εγκαταστάσεων αποθήκευσης νερού)
- την υπερδιαστασιολόγηση στο σχεδιασμό του δικτύου (επιλογή αγωγών μεγαλύτερης διαμέτρου από την απαιτούμενη για μακροπρόθεσμη εξυπηρέτηση των αυξανόμενων αναγκών των καταναλωτών)



Εικόνα 16: Δύο διαφορετικά είδη δικτύων

3.4 Επιπτώσεις της αυξημένης ηλικίας του νερού

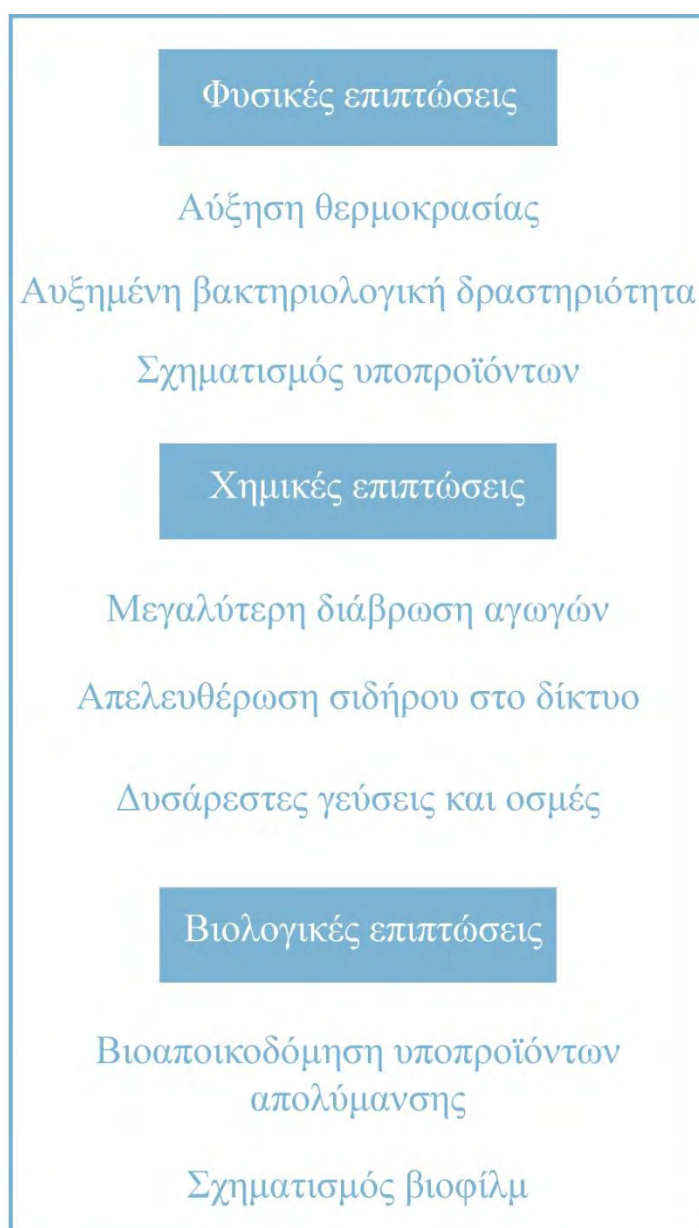
Η ηλικία του νερού δεν είναι οριστική ή καθορισμένη παράμετρος, αλλά θεωρητικά μπορεί να συσχετιστεί με πολλές από τις φυσικές, χημικές και βιολογικές παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για τον ποσοτικό προσδιορισμό και την ρύθμιση της ποιότητας του νερού.

Φυσικές παράμετροι: η αύξηση της θερμοκρασία τους νερού οδηγεί σε αυξημένη βακτηριολογική δραστηριότητα, μπορεί να προκαλέσει νέες αντιδράσεις, να αυξήσει τους ρυθμούς των υπαρχουσών αντιδράσεων και να ωθήσει στο σχηματισμό υποπροϊόντων. Για παράδειγμα ο σχηματισμός τριαλομεθανίων (THM) από χλώριο και υλικά όπως το οργανικό χρώμα. Οι Le Chevallier et al. (1996) έδειξαν ότι η θερμοκρασία του νερού, η ταχύτητα ροής (μεταβολές) και ο χρόνος παραμονής έχουν αντίκτυπο στη μικροβιακή δραστηριότητα και ότι η βιολογική δραστηριότητα αυξάνεται περίπου 100% όταν η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 10 °C και η θερμοκρασία 15 °C είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη των κολοβακτηριδίων.

Χημικές παράμετροι: Το νερό με την μεγαλύτερη ηλικία αποδείχθηκε πως είναι πιο διαβρωτικό για τους σωλήνες σιδήρου σε σύγκριση με εκείνο που προκλήθηκε από σχετικά νέο νερό και εκεί όπου οι φωσφορικές ενώσεις χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της διάβρωσης, αποτελεσματικότητά τους θα μπορούσε να μειωθεί με το χρόνο, επειδή οι αντιδράσεις υδρόλυσης μειώνουν την επίδραση των φωσφορικών αλάτων στους μηχανισμούς διάβρωσης που προκαλούν αποχρωματισμό. Οι Mutoti et al. (2007) κατέδειξαν ότι η απελευθέρωση του σιδήρου στα δίκτυα διανομής ήταν συνάρτηση της χημείας ύδατος και των υδραυλικών ροών και επομένως της ηλικίας

των υδάτων εντός του δικτύου. Οι Rossman et al. (1994) και Wu et al. (2005) υπογράμμισαν ότι το παλαιότερο νερό μπορεί να έχει ελάχιστο ή καθόλου υπολειμματικό απολυμαντικό λόγω της αποσύνθεσης της ουσίας και των αντιδράσεων της με τα υλικά του δικτύου με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά η βιοκτόνος αποτελεσματικότητα του συστήματος, προωθώντας έτσι μια επιπλέον βιολογική δραστηριότητα που μπορεί να προκαλέσει δυσάρεστες γεύσεις και οσμές.

Βιολογικές παράμετροι: Τα βιολογικά ζητήματα στα δίκτυα διανομής περιλαμβάνουν το σχηματισμό και τη μικροβιακή διάβρωση. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την βακτηριολογική εκ νέου ανάπτυξη περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία, το χρόνο παραμονής νερού (ηλικία νερού), τη συγκέντρωση οργανικών ενώσεων την υπολειμματική συγκέντρωση απολύμανσης και τα υλικά του συστήματος διανομής. Οι Speh κ.ά., 1976, Le Chevallier et al., 1987, Prévost et al., 1997 έδειξαν ότι οι θέσεις με μακρό χρόνο παραμονής, όπως τα περιφερειακά τμήματα του συστήματος διανομής και οι δεξαμενές υπηρεσίας, είναι ευάλωτες στην βακτηριολογική εκ νέου ανάπτυξη λόγω μειωμένου απολυμαντικού υπολοίπου, τη μεταφορά των ιζημάτων και την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού.



Πίνακας 5: Επιπτώσεις ηλικίας νερού

Η US EPA (United States Environmental Protection Agency) εντόπισε κι όρισε τις δυνητικές δυσμενείς επιπτώσεις για την υγεία οι οποίες συνδέονται με τη δημιουργία αλογονικών οξέων ΗΑΑ5 (Haloacetic acids) και Β THMs (trihalomethanes) που αποτελούν παραπροϊόντα απολύμανσης. Πιο συγκεκριμένα, η επίσημη ανακοίνωση της Διεύθυνσης EPA ανέφερε: "Μερικοί άνθρωποι που καταναλώνουν εδώ και πολλά χρόνια νερό που περιέχει αλογονοζικά οξέα πέραν των επιτρεπτών θεσπισμένων επιπέδων συγκέντρωσης τους (MCL: Maximum Contaminant Level) μπορεί να έχουν αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου, ή να αντιμετωπίζουν προβλήματα με το συκώτι, τα νεφρά και νευρικό τους σύστημα".

3.5 Τρόποι αντιμετώπισης

Ύστερα από έρευνες πάνω στην μείωση την ηλικίας του νερού σε ένα δίκτυο διανομής, προτάθηκαν αρκετοί τρόποι αντιμετώπισης του θέματος ορισμένοι εκ των οποίων θα παρουσιαστούν παρακάτω:

- Έκπλυση νερού (Flushing) σε συγκεκριμένες περιοχές του δικτύου. Αφού πρώτα έχει διερευνηθεί η ηλικία του νερού σε ένα δίκτυο και συνεπώς έχουν βρεθεί οι ευπαθείς περιοχές.
- Έκχυση νερού στα όρια ζωνών μέσα στο δίκτυο, διαδικασία παρόμοια με το flushing. Μια τέτοια περιοχή αποτελείται συνήθως από τα κενά στο σύστημα των αγωγών ή από κλειστές βαλβίδες που δημιουργούν αδιέξοδα.
- Ανανέωση του νερού των δεξαμενών: Οι δεξαμενές αποθηκεύουν νερό για μεγάλα χρονικά διαστήματα, γεγονός που επηρεάζει την ηλικία νερού σε πολλά μέρη του δικτύου. Ανανέωση νερού δεξαμενής σημαίνει ποιο ποσοστό του αποθηκευμένου νερού της ανανεώνεται με καινούριο σε κάθε κύκλο αποστράγγισης-γεμίσματος.

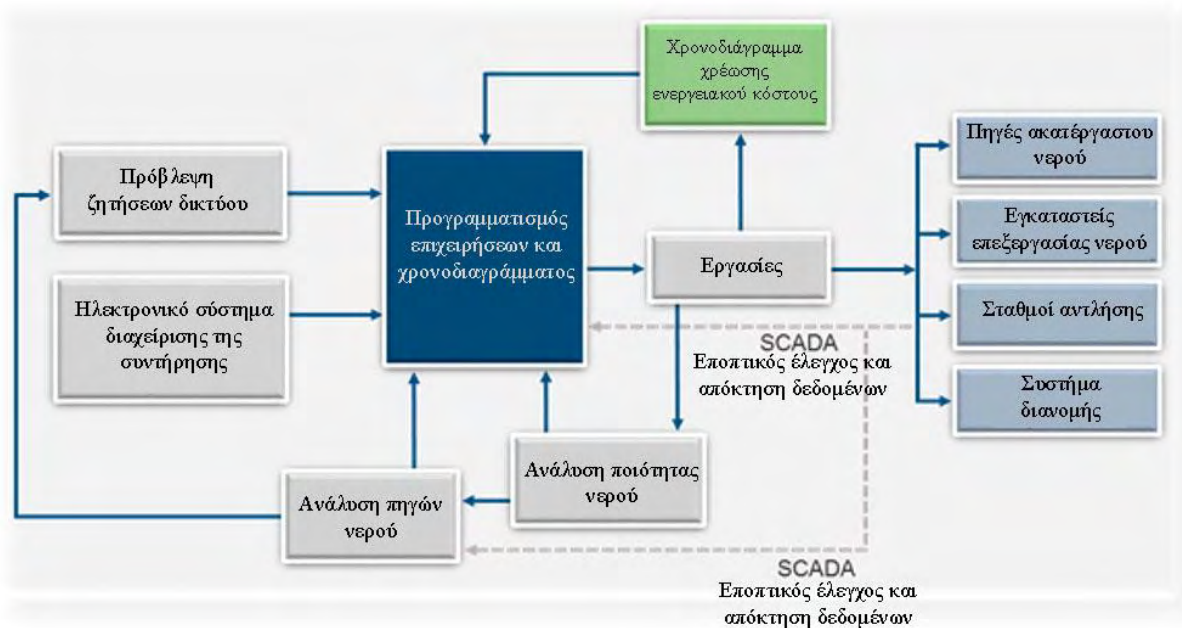


Εικόνα 17: Παραδείγματα δεξαμενών

- Βελτιστοποίηση των αντλιών ταχυτήτων (Variable-Speed Pumps): Αύξηση της ανανέωσης των αντλιών και μείωση της ηλικίας νερού μπορεί να επιτευχθεί με την βελτιστοποίηση των αντλιών ταχυτήτων, οι οποίες λειτουργούν βάσει της πίεσης. Δηλαδή η ταχύτητα της αντλίας μειώνεται ή αυξάνεται αναλόγως με το όριο πίεσης που έχει τεθεί από τον χρήστη.
- Χρήση βαλβίδων ελέγχου (Control Valves): κυρίως στις δεξαμενές οι οποίες ελέγχουν χειροκίνητα τη στάθμη του νερού και τη ρυθμίζουν έτσι ώστε να μην αποθηκεύονται μεγάλοι όγκοι για μακρά χρονικά διαστήματα.
- Κλείσιμο αγωγών: Κλείνοντας έναν αγωγό με μία τέτοια βαλβίδα αλλάζει η ροή του νερού και αυξάνεται η ταχύτητα της σε άλλα σημεία του δικτύου.

- Αλλαγές στις μεθόδους λειτουργίας, στην κατεύθυνση της ροής και στη ρύθμιση της πίεσης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη τοποθέτηση ειδικών βαλβίδων απομόνωσης (Isolation Valves) ή μείωσης της πίεσης (PRVs).
- Εξάλειψη νεκρών σημείων – καταληκτικών αγωγών: Νεκρά σημεία είναι κόμβοι στους οποίους η ροή σταματάει. Η εξάλειψη τους μπορεί να γίνει με τοποθέτηση αγωγών για συνέχιση της ροής. Ωστόσο οι διαδικασίες αυτές μπορεί να αποβούν ιδιαίτερα δαπανηρές. Ένα ακόμη ευνοϊκό μέτρο θα ήταν η αντικατάσταση κεντρικών κύριων αγωγών με άλλους μικρότερους.
- Χρήση πολλαπλών εισόδων ροής στο δίκτυο: Η είσοδος νερού σε ένα δίκτυο διανομής από διαφορετικές εισόδους συμβάλει στην αύξηση της ροής του δικτύου και κατά συνέπεια στην διατήρηση της ηλικίας του νερού σε χαμηλότερο επίπεδο.

Εξετάζοντας αρκετές από τις παραπάνω λύσεις, είναι σίγουρο πως θα διαπιστώσουμε ότι ανάλογα με το δίκτυο εφαρμόζουμε και άλλη λύση η οποία εξαρτάται από συγκεκριμένες λεπτομέρειες. Σημαντικός παράγοντας για την εφαρμογή τους είναι το κόστος που απαιτείται για την υλοποίησή τους. Από τις παραπάνω προτάσεις η εξάλειψη καταληκτικών αγωγών και η χρήση πολλαπλών εισόδων ροής στο δίκτυο είναι ίσως οι πιο κοστοβόρες, διότι είναι μέτρα που πρέπει να παρθούν κατά την κατασκευή ένα δικτύου.



Γράφημα 4: Διάγραμμα διερεύνησης κόστους και ενεργειακής βελτιστοποίησης συστημάτων διανομής πόσιμου νερού. Πηγή: American Chemical Society

Κεφάλαιο 4: Ποιότητα νερού ως προς την χλωρίωση

4.1 Η έννοια της απολύμανσης

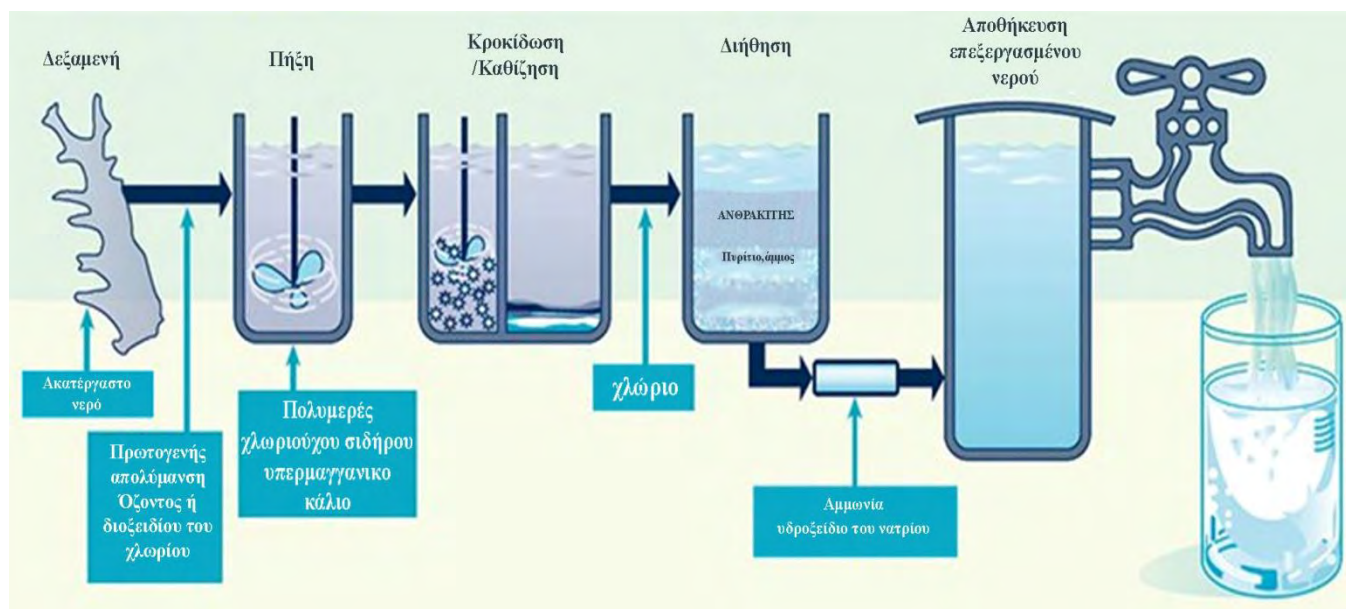
Η απολύμανση του πόσιμου νερού μπορεί να θεωρηθεί το σημαντικότερο μέτρο του τελευταίου αιώνα για την προστασία της δημόσιας υγείας. Η καταστροφή των παθογόνων στο πόσιμο νερό έχει συμβάλει στην δραστική μείωση των ασθενειών που μεταδίδονται από το νερό στις αναπτυγμένες κυρίως χώρες, ενώ η έλλειψη του μέτρου αυτού σε ορισμένες αναπτυσσόμενες χώρες είναι η αιτία χιλιάδων θανάτων, κυρίως παιδιών. Οι βασικές κατηγορίες απολύμανσης είναι δύο:

- Μέθοδοι με παραμένουσα δράση μετά τη διαδικασία απολύμανσης στο δίκτυο
- Μέθοδοι χωρίς παραμένουσα δράση μετά τη διαδικασία απολύμανσης στο δίκτυο

Για την απολύμανση του νερού χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες χημικές ουσίες οι οποίες επιδρούν στο κύτταρο των μικροοργανισμών με αποτέλεσμα την καταστροφή τους. Ο τρόπος επίδρασης τους στο κυτταρικό τοίχωμα δεν έχει διασαφηνιστεί πλήρως. Ορισμένα απολυμαντικά επιδρούν στην διαπερατότητα του κυτταρικού τοιχώματος, ενώ οι χλωραμίνες και το διοξείδιο του χλωρίου παρεμβαίνουν στον ενζυματικό μηχανισμό. Η απολυμαντική ουσία μειώνει τον αρχικό πληθυσμό παθογόνων μικροοργανισμών κατά την διάρκεια συγκεκριμένου χρόνου επαφής.

Το αποτέλεσμα της απολύμανσης μπορεί να επηρεαστεί από την θολερότητα του νερού, επειδή οι αιωρούμενες οργανικές ή ανόργανες ουσίες παίζουν τον ρόλο ασπίδας προστασίας των παθογόνων μικροοργανισμών.

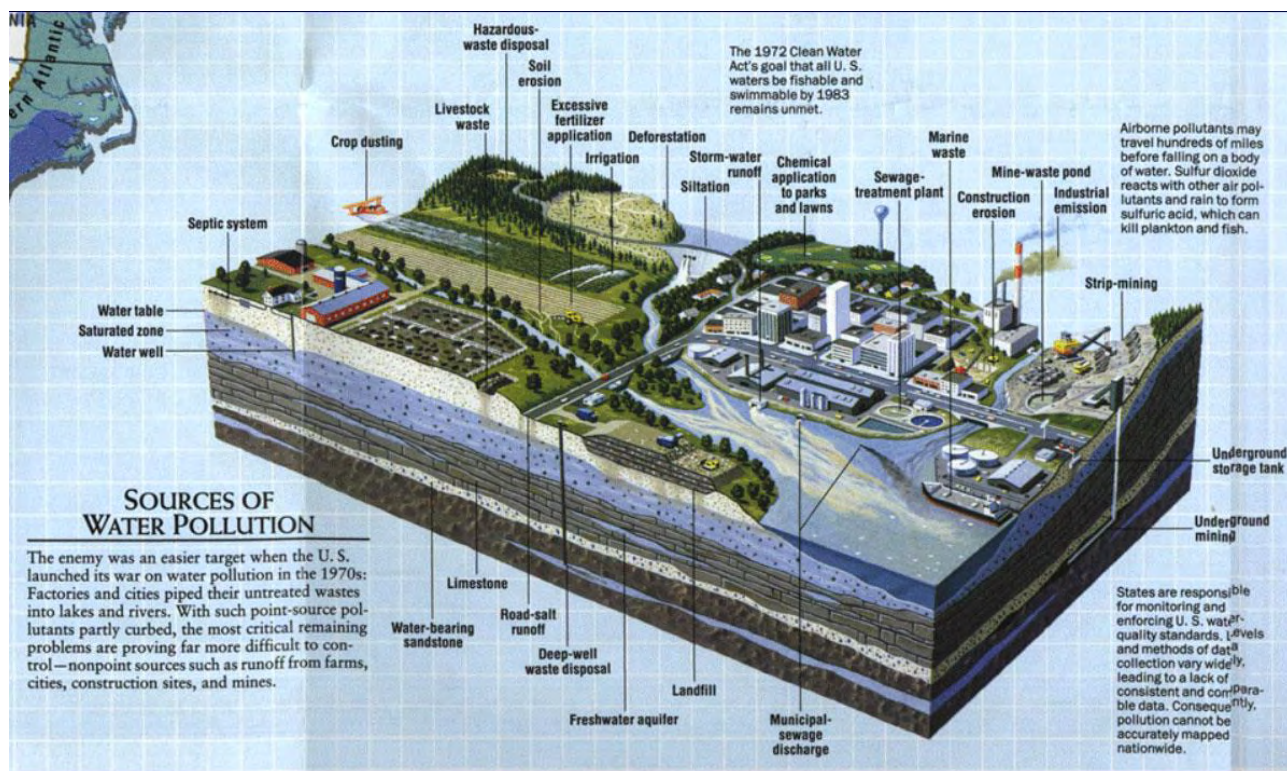
Επίσης, συγκεκριμένοι μικροοργανισμοί, όπως τα πρωτόζωα, αντέχουν στην χλωρίωση και είναι δυνατόν στην περίπτωση που είναι φορείς παθογόνων βακτηρίων και ιών να τους αποδώσουν στο υδάτινο περιβάλλον, επιβαρύνοντας



Εικόνα 18 : Διαδικασία επεξεργασίας πόσιμου νερού της πόλης του San Diego

Πρωταρχικός σκοπός της απολύμανσης είναι η αναστολή του πολλαπλασιασμού και της επιβίωσης κάθε παθογόνου μικροοργανισμού μέσα στο σύστημα ύδρευσης. Οι βασικοί παράγοντες της απολυμαντικής δράσης (συγκέντρωση απολυμαντικού και χρόνος επαφής) είναι μεταβλητά στοιχεία, διότι η θερμοκρασία, το pH και η θολερότητα του νερού μπορούν να επηρεάσουν την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης. Είναι δυνατόν να χρειαστεί να αυξήσουμε την συγκέντρωση ή τον χρόνο δράσης του απολυμαντικού.

Ένα αρχικό φιλτράρισμα στο νερό που πρόκειται να απολυμανθεί, βοηθάει στην κατακράτηση αιωρούμενων στερεών ουσιών και κατά συνέπεια διευκολύνει την διαδικασία της απολύμανσης. Επίσης, μία βοηθητική δεξαμενή νερού μπορεί να βοηθήσει σε μία έκτακτη περίπτωση που θα χρειαστεί μεγαλύτερος χρόνος δράσης της απολυμαντικής ουσίας.



Εικόνα 19: National Geographic Special edition : Water (September 1993)

4.2 Η σημασία της απολύμανσης , ιστορική αναδρομή

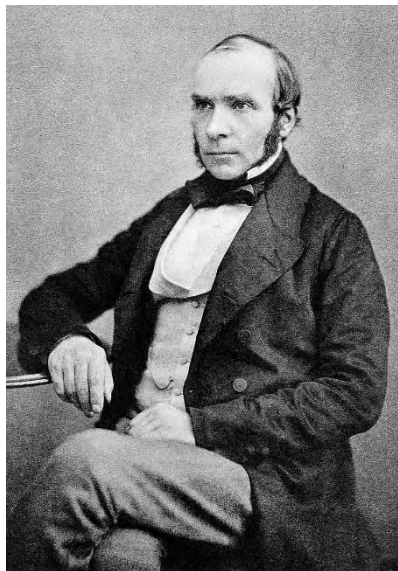
Οι κίνδυνοι από την υποβάθμιση ποιότητας νερού για τον άνθρωπο και το περιβάλλον αναγνωρίστηκαν από τον Ο.Η.Ε και το 1975 ,στα πλαίσια του προγράμματος του για το περιβάλλον (UNEP) , ιδρύθηκε το Παγκόσμιο Σύστημα Περιβαλλοντικού Ελέγχου (Global Monitoring Environmental System , GEMS) .Από τότε έχουν εφαρμοσθεί πολλά διεθνή προγράμματα ελέγχου από:

1. UNEP (United Nations Environmental Project)
2. Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO)
3. Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας (WMO)
4. Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO)
5. Οργανισμό Εκπαίδευσης , Επιστήμης και Πολιτισμού (UNESCO)κ.α.

Παρόμοια δράση ανέλαβε η ΕΕ (τότε ΕΟΚ) το 1977 , θεσπίζοντας κοινή διαδικασία ανταλλαγής πληροφοριών σχετικά με την ποιότητα των γλυκών επιφανειακών νερών. Η απόφαση τροποποιήθηκε το 1986.

Οι πρωτοποριακές μελέτες του John Snow έδειξαν τη σχέση δικτύου ύδρευσης και της εξάπλωσης της χολέρας στο Λονδίνο (1854) . Ο John Snow ήταν Άγγλος ιατρός και πρωτοπόρος στην

υιοθέτηση της αναισθησίας και της ιατρικής υγιεινής. Θεωρείται ένας από τους πατέρες της σύγχρονη επιδημιολογίας ,λόγω της δουλειάς του για τον εντοπισμό της πηγής μια επιδημίας χολέρας στο Σόχο του Λονδίνου το 1854. Τα ευρήματά του ενέπνευσαν θεμελιώδης αλλαγές στα συστήματα ύδρευσης και αποβλήτων του Λονδίνου. Παρόμοιες αλλαγές σε άλλες πόλεις και σημαντική βελτίωση της γενικής δημόσιας υγείας σε ολόκληρο τον κόσμο.

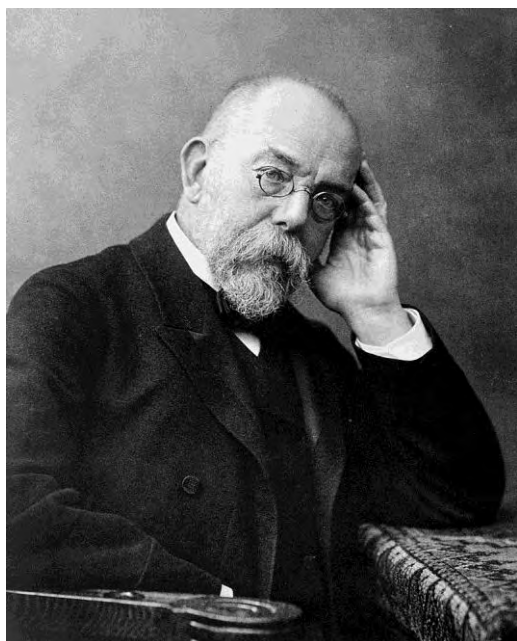


John Snow

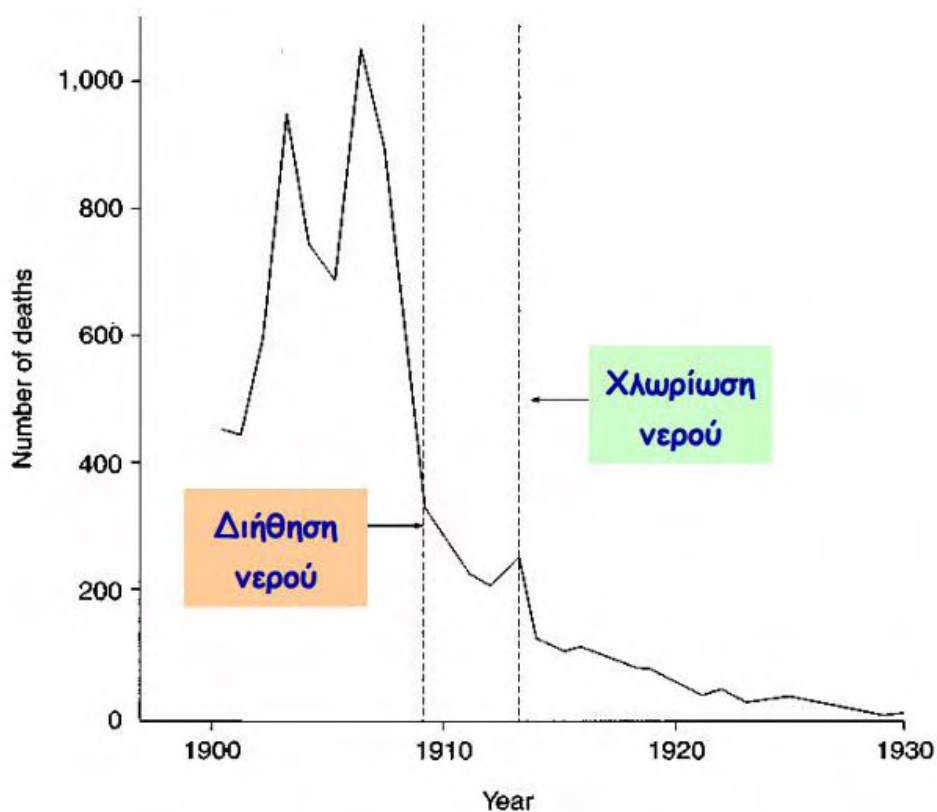
Εικόνα 20: *John Snow*

Ο Robert Koch στη Γερμανία (1892) απέδειξε τη σημασία της διήθησης για την αφαίρεση βακτηρίων της χολέρας από το πόσιμο νερό. Πειράματα στις Ηνωμένες Πολιτείες σχετικά με τον έλεγχο του τυφοειδούς πυρετού επιβεβαίωσαν τις παρατηρήσεις του Koch και αποκάλυψαν τα επί πλέον οφέλη από την προσθήκη χημικών ουσιών που προκαλούν κροκίδωση (συσσωμάτωση, θρόμβωση) του νερού από τη διήθηση.

Η εισαγωγή της χλωρίωσης το 1909 ήταν η σημαντικότερη σύγχρονη εξέλιξη για την επεξεργασία του πόσιμου νερού.



Εικόνα 21: *Ρόμπερτ Κοχ (11 Δεκεμβρίου 1843 - 27 Μαΐου 1910), γεννημένος στο χωριό Κλάουσταλ του Αννόβερου, ήταν διάσημος ιατρός και ο θεμελιωτής της μικροβιολογίας και της βακτηριολογίας.*



Deaths from typhoid fever, Philadelphia, PA, 1900–1930

Γράφημα 5: Θάνατοι από τυφοειδή πυρετό στην Φιλαδέλφεια (ΗΠΑ) στις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα

Συνήθειες ασθένειες από μολυσμένο πόσιμο νερό

ΑΣΘΕΝΕΙΑ	ΥΠΕΥΘΥΝΟΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ
<u>Ασθένειες που οφείλονται σε βακτήρια</u>		
Σαλμονέλωση	<i>Salmonella sp.</i>	Ζωικά & ανθρώπινα περιττώματα
Τυφοειδής πυρετός	<i>Salmonella typhi</i>	
Παρατυφοειδής πυρετός	<i>Salmonella paratyphi-A</i>	
Σιγγέλωση (δυσεντερία)	<i>Shigella sp.</i>	Ανθρώπινα περιττώματα
Χολέρα	<i>Vibrio cholerae</i>	Ανθρώπινα περιττώματα
Λεπτοσπίρωση	<i>Leptospira SP.</i>	Ανθρώπινα περιττώματα
Γαστρεντερίτιδα	<i>Escherichia coli</i>	Ζωικά & ανθρώπινα περιττώματα
Διάρροια	<i>Campylobacter jejuni</i>	Ανθρώπινα περιττώματα
<u>Ασθένειες ιογενούς φύσης</u>		
Ιογενής ηπατίτιδα	<i>Ιός ηπατίτιδας Α</i>	Ανθρώπινα περιττώματα
Οξεία γαστρεντερίτιδα	<i>Ιοί τύπου Norwalk</i>	Ανθρώπινα περιττώματα
<u>Ασθένειες που οφείλονται σε υδρόβια παράσιτα</u>		
Αμοιβάδωση (αμοιβαδική δυσεντερία)	<i>Entamoeba histolytica</i>	Ανθρώπινα περιττώματα
Κυκλοσποριδίωση	<i>Cyclospora cayatanensis</i>	Ανθρώπινα περιττώματα
Κρυπτοσποριδίωση	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Ζωικά & ανθρώπινα περιττώματα
Γιαρδίαση	<i>Giardia lamblia</i>	Ζωικά & ανθρώπινα περιττώματα

Εικόνα 22: Ασθένειες από μολυσμένο νερό

4.3 Νομοθετικό πλαίσιο

Σύμφωνα με τον κανονισμό EC 178/2002 ως τρόφιμα (ή είδη διατροφής) νοούνται ουσίες ή προϊόντα, είτε αυτά έχουν υποστεί πλήρη ή μερική επεξεργασία είτε όχι, τα οποία προορίζονται για βρώση από τον άνθρωπο ή αναμένεται ευλόγως ότι θα χρησιμεύσουν για τον σκοπό αυτόν. Σε αυτά τα τρόφιμα περιλαμβάνεται και το πόσιμο νερό.

Η οδηγία 98/83/EK (σχετικά με την ποιότητα του νερού που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση) αποσκοπεί στην προστασία της υγείας του κοινού με την καθιέρωση κριτηρίων υγιεινής και καθαριότητας στα οποία πρέπει να ανταποκρίνεται το πόσιμο νερό στην Κοινότητα. Τα κράτη μέλη μεριμνούν ώστε το πόσιμο νερό:

- Να μην περιέχει μικροοργανισμούς, παράσιτα ή κάθε άλλη ουσία σε συγκέντρωση τέτοια που μπορεί να δημιουργήσει κίνδυνο για την υγεία των ανθρώπων
- Να τηρεί τις ελάχιστες απαιτήσεις (μικροβιολογικές, χημικές και ραδιενεργές παράμετροι) που καθορίζονται στην οδηγία.
- Η οδηγία επιβάλλει στα κράτη μέλη την υποχρέωση να ελέγχουν τακτικά την ποιότητα του νερού, ακολουθώντας τις προσδιοριζόμενες αναλυτικές μεθόδους
- Στην περίπτωση μη τήρησης των παραμετρικών τιμών, τα εκάστοτε ενδιαφερόμενα κράτη μέλη μεριμνούν για τη λήψη των απαραίτητων διορθωτικών μέτρων, για να αποκαταστήσουν την ποιότητα του νερού .
- Ανεξάρτητα από την τήρηση ή μη τήρηση των παραμετρικών τιμών, τα κράτη μέλη απαγορεύουν τη διάθεση πόσιμου νερού ή περιορίζουν τη χρήση ή και λαμβάνουν κάθε απαραίτητο μέτρο αν διαπιστώσουν ότι το νερό αυτό παρουσιάζει ενδεχομένως κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία
- Οι καταναλωτές ενημερώνονται για τα εν λόγω μέτρα
- Τουλάχιστον κάθε πέντε χρόνια η Επιτροπή επανεξετάζει τις καθορισμένες από την οδηγία παραμέτρους υπό το φως των τεχνολογικών εξελίξεων
- Κάθε τρία χρόνια, τα κράτη μέλη δημοσιεύουν έκθεση προς τους καταναλωτές σχετικά με την ποιότητα του πόσιμου νερού. Με βάση τις εκθέσεις αυτές, η Επιτροπή εκπονεί μια συνθετική έκθεση για την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης στην κοινότητα
- Σε προθεσμία πέντε ετών το αργότερο, τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα απαραίτητα μέτρα για να εξασφαλίσουν ότι η ποιότητα του νερού είναι σύμφωνη προς τις διατάξεις της οδηγίας. Η προθεσμία μπορεί, σε εξαιρετικές περιπτώσεις, να παραταθεί για περίοδο που δεν ξεπερνά τα τρία χρόνια

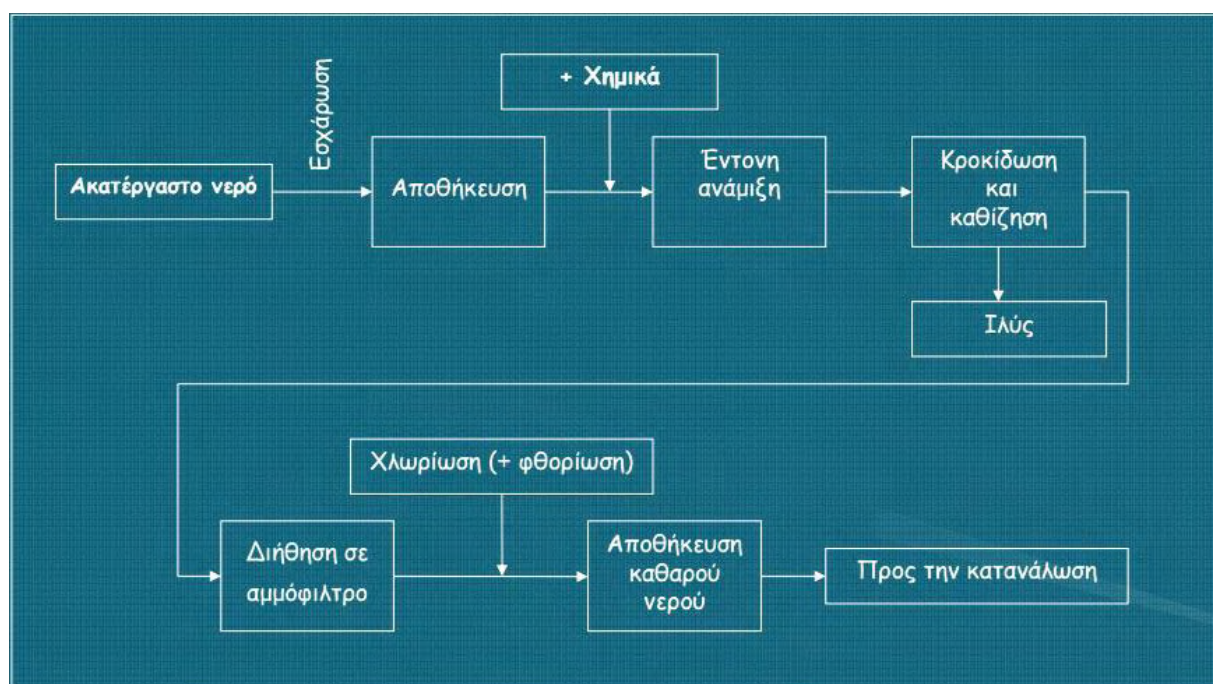
Η οδηγία 98/83/EK προβλέπει τη δυνατότητα για τα κράτη μέλη να θεσπίζουν παρεκκλίσεις στις παραμετρικές τιμές μέχρι κάποια μέγιστη τιμή, υπό κάποιες προϋποθέσεις τηρήσεις της ανθρώπινης υγείας.

4.4 Η έννοια της χλωρίωσης

Μία ευρέως διαδεδομένη μέθοδος απολύμανσης είναι η χρήση ελεύθερου χλωρίου, το οποίο είναι τοξικό στους περισσότερους παθογόνους μικροοργανισμούς. Ελεύθερο (ή υπολειμματικό) είναι το χλώριο στην μοριακή του μορφή και τα παράγωγα του (υποχλωριώδες οξύ, υποχλωριώδη ιόντα). Το χλώριο υπό την μορφή αερίου [Cl₂] όταν διαλυθεί στο νερό δίνει ενώσεις με ισχυρή δράση εναντίον των βακτηρίων και των ιών. Παρόμοια δράση έχουν και τα υποχλωριώδη άλατα [ClO⁻].

Προσφέρει επίσης μία παραμένουσα προστασία στο νερό που διακινείται στο δίκτυο διανομής εναντίον πιθανής τοπικής μόλυνσης ή ανάπτυξης βακτηρίων που ευρίσκονται σε λανθάνουσα κατάσταση.

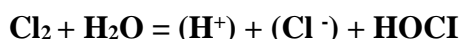
Το χλώριο διατίθεται στο εμπόριο σε αέρια μορφή, σε υγρή (υποχλωριώδες νάτριο) ή σε σκόνη (υποχλωριωδών αλάτων). Η επιλογή της μορφής που θα χρησιμοποιηθεί για την απολύμανση του νερού εξαρτάται από το κόστος, τις συνθήκες ασφαλείας και τις λειτουργικές ιδιαιτερότητες της εγκατάστασης. Όταν το pH του νερού είναι όξινο ($\text{pH} < 5$) το χλώριο παραμένει στην μοριακή του μορφή, ενώ για $\text{pH} > 5$ δημιουργείται υποχλωριώδες οξύ. Το μεγάλο προτέρημα της χλωρίωσης, έναντι άλλων απολυμαντικών ουσιών, είναι η ισχυρή δραστικότητα του σε πολλούς παθογόνους μικροοργανισμούς αλλά και η υπολειμματική του δράση (παραμένει σαν προστατευτικός παράγοντας για αρκετό χρονικό διάστημα μέσα στο νερό). Ένα πρόβλημα που μπορεί να παρουσιαστεί σε συστήματα ύδρευσης είναι αυτό της προσκόλλησης των μικροοργανισμών σε τοιχώματα των σωλήνων και η δημιουργία biofilms κάνοντας το έργο της απολύμανσης πολύ δύσκολο.



Εικόνα 23: Βασικά στάδια καθαρισμού (διύλισης) του πόσιμου νερού.

4.5 Η δράση του χλωρίου

Όταν το χλώριο διαλύεται στο νερό υδρολύεται σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Οι σταθερές της κάθε αντίδρασης εξαρτώνται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία και το pH. Μοριακό χλώριο μπορεί να υπάρχει μόνο σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις και χαμηλές τιμές pH. Το ποσοστό του υποχλωριώδους οξέος (HOCl) και του υποχλωριώδους ιόντος (OCl⁻) στους 15 C° και διάφορες τιμές pH δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6: Ποσοστό του υποχλωριώδους οξέος (HOCl) και του υποχλωριώδους ιόντος (OCl-) στους 15 C°

pH	HOCl%	OCl- %
5	99,7	0,3
6	97,5	2,5
7	79,5	20,3
8	28	72
9	3,8	96,2

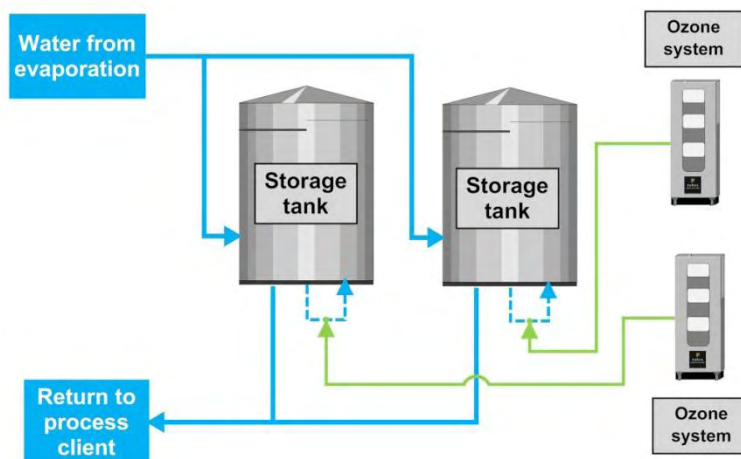
Αν και τα δύο είδη, το υποχλωριώδες οξύ και το υποχλωριώδες ιόν, είναι βακτηριοκτόνα, το HOCl είναι πιο ισχυρό. Έχει δείχθει ότι το HOCl είναι 80 φορές πιο ισχυρό από το OCl- στην καταστροφή των E.Coli και 300 έως 500 φορές στην καταστροφή των κυστών Entamoeba histolytica και Giardia.

Ο μηχανισμός καταστροφής των βακτηρίων πιστεύεται ότι είναι η καταστροφή της κυτοπλασμικής μεμβράνης και η αδρανοποίηση της ενζυματικής δραστηριότητας που σχετίζεται με αυτήν. Υπάρχει διχογνωμία ως προς τον μηχανισμό καταστροφής των ιών αλλά πιστεύεται ότι η αντίδραση του HOCl με τα νουκλεοτίδια του RNA είναι πιθανότερο να συμβαίνει παρά η καταστροφή της πρωτεϊνικής κάψουλας του ιού.

4.6 Εναλλακτικές μέθοδοι απολύμανσης

Χλωραμίνωση: Οι χλωραμίνες παράγονται στο σημείο χρήσης από χλώριο και αμμωνία και βοηθούν στην απομάκρυνση οσμών και γεύσης που αφήνει στο νερό η χλωρίωση. Έχουν ασθενέστερη απολυμαντική δράση από το ελεύθερο χλώριο, έχουν χημικά σταθερότερη υπολειμματική απολυμαντική δράση και δεν ευνοούν την δημιουργία τριαλομεθανίων. Απαιτούνται όμως μεγαλύτερες εγκαταστάσεις που να επιτρέπουν μεγάλο χρόνο δράσης, ενώ έχουν μειωμένη δραστηριότητα έναντι της Legionella, των πρωτόζωων και των ιών. Γενικά, η χλωραμίνωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δευτερογενής απολύμανση για την βελτίωση των οργανοληπτικών ιδιοτήτων του χλωριωμένου νερού.

Διοξείδιο του Χλωρίου: Έχει καλή απολυμαντική δράση και δημιουργεί πολύ λίγα παραπροϊόντα, όπως τριαλομεθάνια. Είναι όμως ασταθές αέριο και δεν μπορεί να παραχθεί σε εμπορεύσιμη μορφή, αλλά πρέπει να παράγεται στο σημείο χρήσης κάτω από αυστηρές διαδικασίες ασφαλείας. Σε σύγκριση με το ελεύθερο χλώριο παρουσιάζει καλύτερη δράση έναντι παθογόνων βακτηρίων και μικρότερη δράση έναντι ιών.



Εικόνα 24: Απολύμανση με όζον

Όζον: Είναι το ισχυρότερο από τα κοινά απολυμαντικά και δεν δημιουργεί τριαλομεθάνια. Η δράση του όμως επηρεάζεται από το pH του νερού, από το μονοξείδιο ή διοξείδιο του άνθρακα και από διάφορες οργανικές ή ανόργανες ουσίες που βρίσκονται στο νερό. Επειδή στη θερμοκρασία και πίεση του περιβάλλοντος είναι ένα ασταθές αέριο, πρέπει να παρασκευάζεται στο σημείο χρήσης. Μετά την εισαγωγή του στο νερό, παραμένει για ένα μικρό χρονικό διάστημα, αρκετό για την απολύμανση και στη συνέχεια αποσυντίθεται. Το όζον καταστρέφει την βασική δομή του μικροβιακού κυττάρου (μέσω οξειδωτικών αντιδράσεων), εφόσον δεν υπάρχει αυξημένη θολερότητα στο νερό (η οποία προστατεύει τα κύτταρα των μικροοργανισμών).

Υπεριώδης Ακτινοβολία: Αδρανοποιεί βακτήρια και ιούς, ενώ έχει μικρότερη αποτελεσματικότητα έναντι των πρωτόζωων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υπόγεια νερά ή νερά προς εμφιάλωση και δεν δημιουργούνται καθόλου παραπροϊόντα όπως τριαλομεθάνια. Η υπεριώδης ακτινοβολία δεν σκοτώνει μικροοργανισμούς αλλά αδρανοποιεί το πυρηνικό DNA με αποτέλεσμα να μην λειτουργεί ο αναπαραγωγικός μηχανισμός. Εδώ πρέπει να επισημάνουμε το φαινόμενο της φωτοενεργοποίησης (photoreactivation). Η επίδραση του φωτός ορισμένου κύματος είναι δυνατόν να επανεργοποιήσει ορισμένους μικροοργανισμούς οι οποίοι στην συνέχεια θα πολλαπλασιαστούν και θα γίνουν λοιμογόννοι. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται σε ορισμένα βακτήρια (κολοβακτηριοειδή, σιγκέλλες) ενώ δεν παρατηρείται στους ιούς. Η υπεριώδης ακτινοβολία δεν έχει υπολειμματική δράση γι' αυτό πρέπει να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους απολύμανσης.

Υπερμαγγανικό Κάλιο: Δεν χρησιμοποιείται ως κύριο απολυμαντικό, αλλά για την διατήρηση της ποιότητας του νερού. Βελτιώνει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του νερού, όπως την οσμή και το χρώμα, μετά την απολύμανση ενώ βοηθάει στην απομάκρυνση σιδήρου και μαγγανίου. Η απολυμαντική του δράση είναι καλύτερη σε όξινο περιβάλλον και μπορεί να αντιμετωπίσει προβλήματα από Legionella ή από ιό της πολιομυελίτιδος.

4.7 Παραπροϊόντα χλωρίωσης και επιπτώσεις στην δημόσια υγεία

Η εξέλιξη της τεχνολογίας οδήγησε σε καλύτερες μεθόδους ανίχνευσης των παραπροϊόντων της χλωρίωσης. Χημικές ουσίες διαλυμένες στο νερό (όπως χουμικά, φουλβικά ή υδρόφιλα οξέα, αμινοξέα και υδατάνθρακες) είναι δυνατόν να αντιδρούν με το χλώριο και να δημιουργηθούν τριαλομεθάνια (πχ χλωροφόρμιο). Η ανησυχία για τις πιθανές επιπτώσεις των τριαλομεθανίων στην ανθρώπινη υγεία, άρχισε με την υπόθεση ότι το χλωροφόρμιο είναι καρκινογόνο. Σήμερα όμως μελετώνται και άλλες παρενέργειες (στεριότητα, επίδραση στα νεφρά ή το συκώτι, επίδραση στο νεφρικό ή αιμοποιητικό σύστημα).

Η εκτίμηση της καρκινογένεσης από την χρήση χλωριωμένου νερού γίνεται με επιδημιολογικές μελέτες και με πειράματα σε πειραματόζωα. Η επιδημιολογική μελέτη παρουσιάζει δυσκολίες, διότι δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για την χρόνια κατανάλωση νερού με τριαλομεθάνια, ενώ παράγοντες όπως κάπνισμα, άγχος, διατροφή, μόλυνση ατμόσφαιρας ή συνθήκες εργασίας πρέπει να αξιολογηθούν.

Συνοπτικά, μπορούμε να πούμε ότι δεν υπάρχουν προς το παρόν σαφείς ενδείξεις για τις επιπτώσεις των τριαλομεθάνια στην ανθρώπινη υγεία.

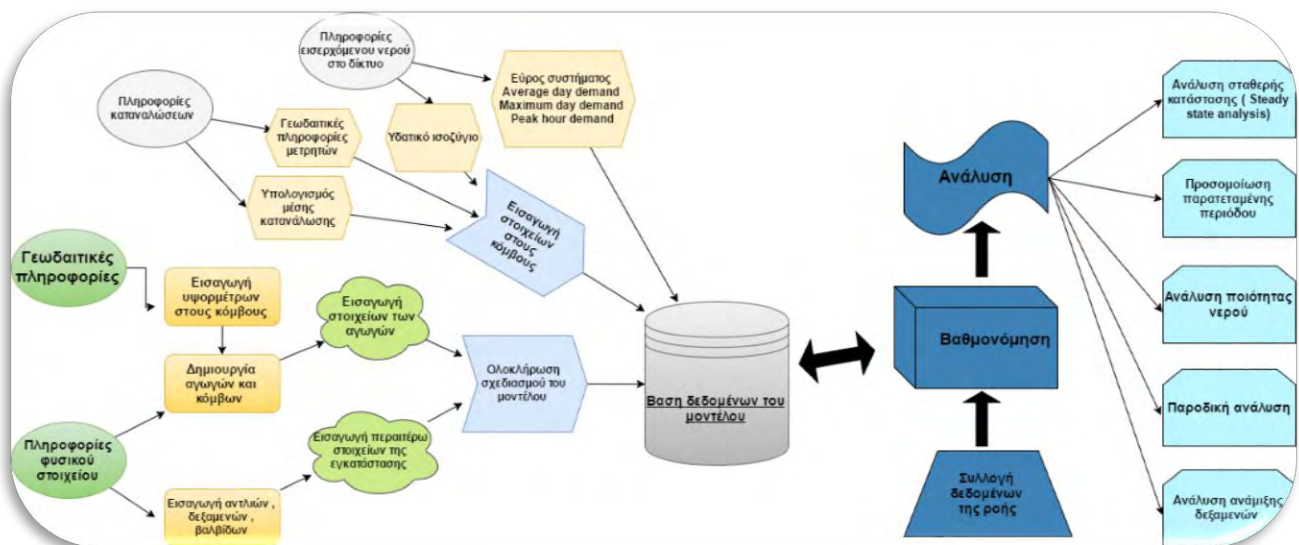
Κεφάλαιο 5: Μοντελοποίηση του δικτύου ύδρευσης

5.1 Η έννοια της μοντελοποίησης

Οι εταιρείες κοινής ωφέλειας νερού επιδιώκουν να παρέχουν στους πελάτες τους μια ασφαλή και συνεχή παροχή νερού υψηλής ποιότητας, ελαχιστοποιώντας το κόστος. Το νερό αυτό παραδίδεται συχνά μέσω σύνθετων συστημάτων διανομής που περιλαμβάνουν χιλιόμετρα αγωγών και συχνά ενσωματώνουν πολλές αντλίες, βαλβίδες ρύθμισης και δεξαμενές αποθήκευσης. Η απόδοση αυτών των συστημάτων είναι δύσκολο να κατανοηθεί, όχι μόνο λόγω του φυσικού μεγέθους και της πολυπλοκότητάς τους, αλλά και λόγω του μεγάλου όγκου πληροφοριών του συστήματος και δεδομένων που απαιτούνται για να κατανοηθεί πλήρως ο τρόπος λειτουργίας τους. Κάποιες φορές, μάλιστα, λείπουν βασικά κομμάτια των πληροφοριών που απαιτούνται για την κατανόηση του συστήματος. Ένα εργαλείο που έχει εξελιχθεί με την πάροδο του χρόνου για να βοηθήσει τους σχεδιαστές, τους χειριστές και τους διαχειριστές συστημάτων ύδρευσης να επιτύχουν τους στόχους τους για την παροχή ασφαλούς και αξιόπιστης παροχής νερού με χαμηλό κόστος είναι η μοντελοποίηση του συστήματος διανομής.

Η προσομοίωση βασισμένη σε μοντέλο είναι μια μέθοδος για την προσέγγιση της συμπεριφοράς πραγματικών συστημάτων διανομής νερού. Για να αξιοποιήσει αποτελεσματικά τις δυνατότητες του λογισμικού προσομοίωσης του συστήματος διανομής και να ερμηνεύσει τα αποτελέσματα που παράγονται, ο μηχανικός πρέπει να κατανοήσει τις σχετικές μαθηματικές αρχές.

Η χρήση ενός μοντέλου γίνεται για την πρόβλεψη της απόδοσης του συστήματος για την επίλυση μιας μεγάλης ποικιλίας προβλημάτων σχεδίασης, λειτουργίας και ποιότητας του νερού. Για παράδειγμα ένα μοντέλο υπολογιστή μπορεί να προβλέψει τις πιέσεις και τις ροές μέσα σε ένα σύστημα ύδρευσης για να αξιολογήσει ένα σχέδιο και να συγκρίνει τα πρότυπα σχεδίασης των επιδόσεων του συστήματος. Τα μοντέλα χρησιμοποιούνται επίσης σε επιχειρησιακές μελέτες για την επίλυση προβλημάτων, όπως η αξιολόγηση της χωρητικότητας αποθήκευσης, η διερεύνηση των συστημάτων ελέγχου και η εξεύρεση τρόπων για την παροχή νερού υπό δύσκολες λειτουργικές συνθήκες. Τα μοντέλα ποιότητας νερού χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ηλικίας του ύδατος, για την απολύμανση των απολυμαντικών υπολειμμάτων και για τη μείωση των υποπροϊόντων απολύμανσης.



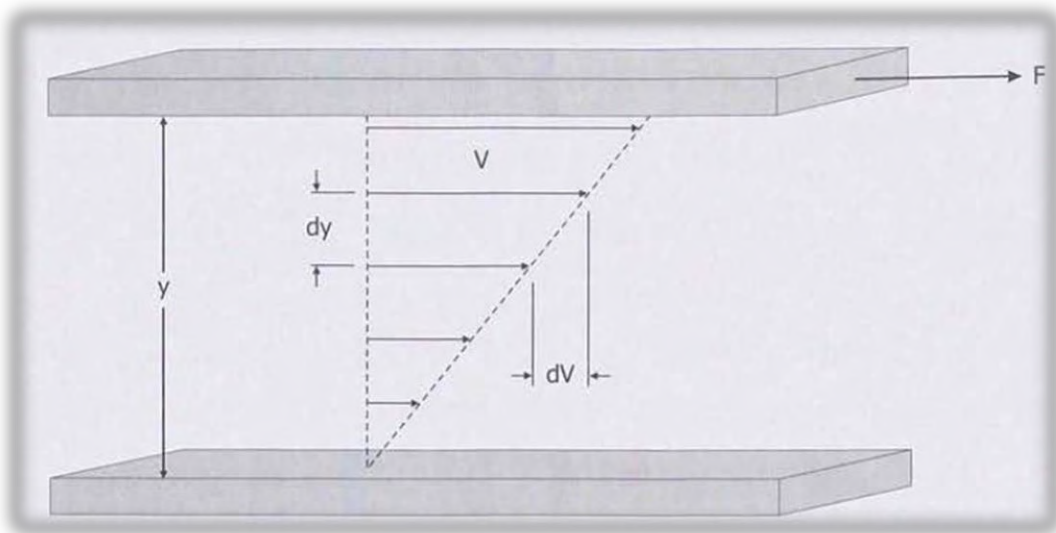
Γράφημα 6: Η διαδικασία από δημιουργία μοντέλου στην ανάλυσή του

Τα νέα προγράμματα μοντελοποίησης μπορούν εύκολα να μοιράζονται δεδομένα χρησιμοποιώντας γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (GIS), σύστημα σχεδίασης και σύνταξης (CADD), σύστημα εποπτείας και απόκτησης δεδομένων (SCADA), σύστημα πληροφόρησης πελατών (CIS), μηχανογραφικό σύστημα διαχείρισης συντήρησης (CMMS) κλπ. μειώνοντας έτσι την προσπάθεια που απαιτείται για τη δημιουργία, την ενημέρωση και τη διατήρηση ενός μοντέλου.

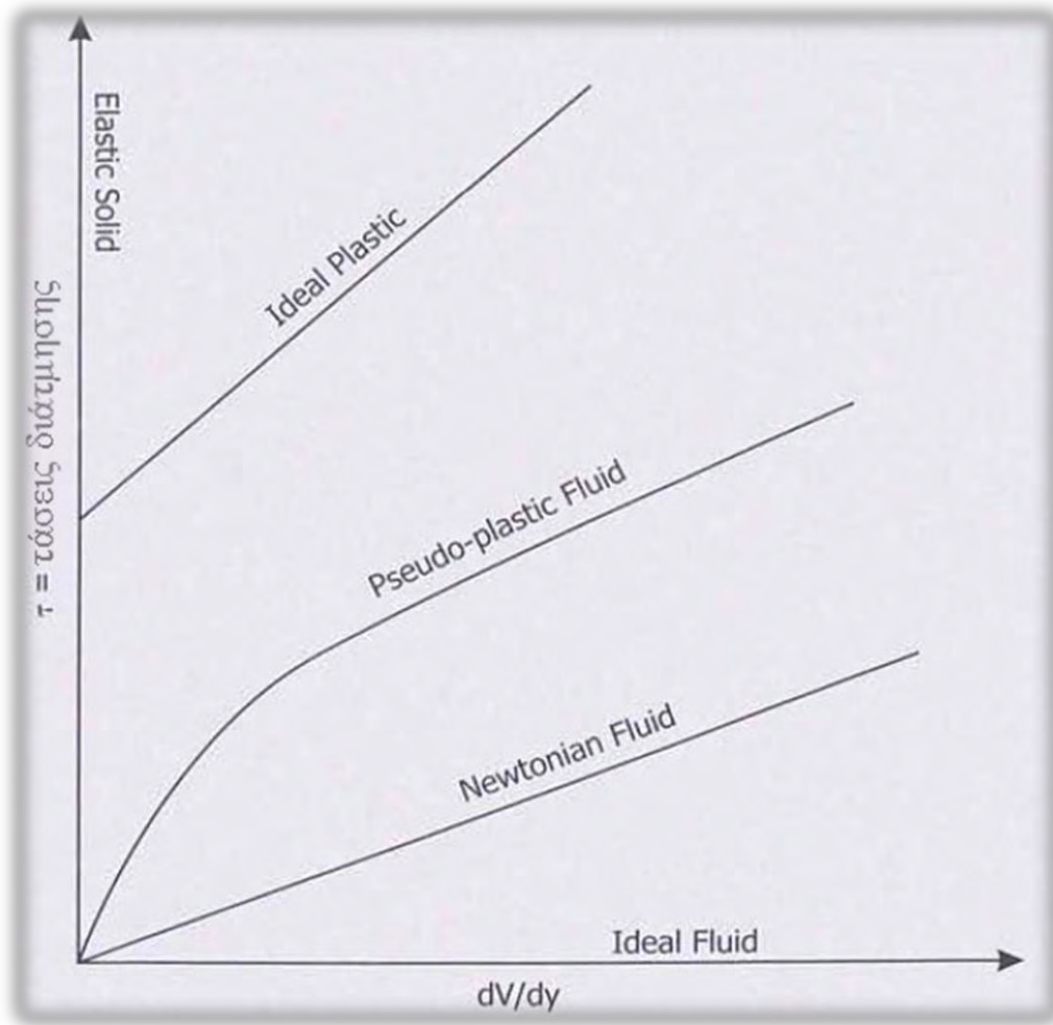
5.2 Μεγέθη που χρησιμοποιούνται σε ένα μοντέλο

Το μαθηματικό υπόβαθρο που απαιτείται για την ανάλυση ενός δικτύου έτσι ώστε να προσεγγίζει την πραγματικότητα αποτελείται από αρκετές παραδοχές και πολύπλοκους μαθηματικούς τύπους. Τα παρακάτω μεγέθη είναι μερικά από εκείνα που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση ενός δικτύου:

- Πυκνότητα και ειδικό βάρος ρευστού
- Ιξώδες: Το ιξώδες ρευστού είναι η ιδιότητα που περιγράφει την ικανότητα του να αντισταθεί στην παραμόρφωση λόγω της διατμητικής πίεσης. Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα της άνω πλάκας, οι τάσεις διατμήσεως στο ρευστό θα αυξάνονται με τον ίδιο ρυθμό. Τα υγρά που παρουσιάζουν αυτή την ιδιότητα συμμορφώνονται με τον Νόμο του Ιξώδους του Νεύτωνα και ονομάζονται Νευτώνια υγρά. Το νερό και ο αέρας είναι παραδείγματα Νευτώνων ρευστών. Ορισμένοι τύποι υγρών, όπως τα μελάνια και η λάσπη, υφίστανται αλλαγές στο ιξώδες καθώς αλλάζει η διατμητική τάση. Τα υγρά που τρέχουν από αυτόν τον τύπο συμπεριφοράς είναι ονομαζόμενα ως ψευδο-πλαστικά ρευστά.



Γράφημα 7: Φυσική ερμηνεία του Νόμου Ιξώδους του Νεύτωνα



Γράφημα 8: Σχέση διατμητική τάσης και επιτάχυνσης για νευτώνια και μη νευτώνια ρευστά

- Συμπιεστότητα ρευστού
- Πίεση ατμού

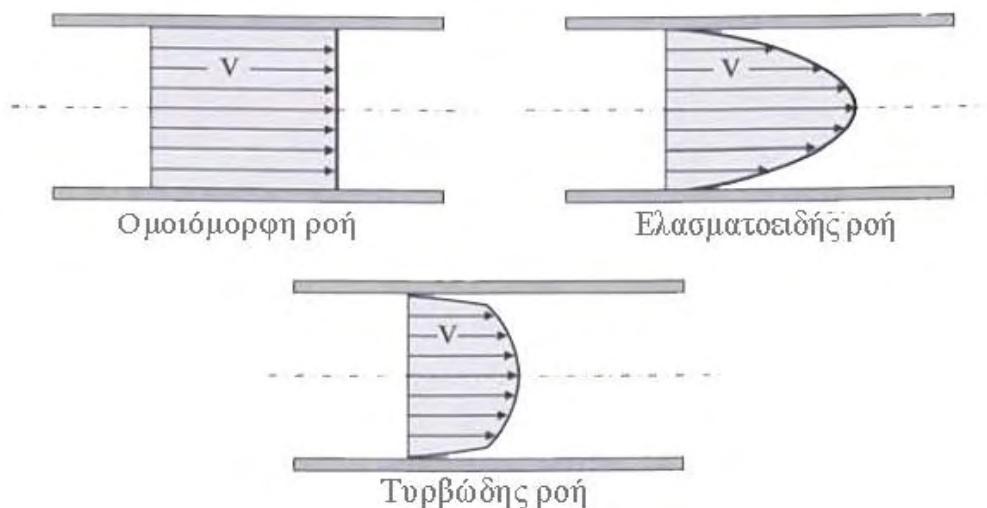


Εικόνα 25: Υδροστατική πίεση στην βάση της δεξαμενής

- Υδροστατική πίεση
- Ταχύτητα και ρυθμός ροής

$$V = \frac{Q}{A}$$

- Αριθμός Reynolds: Στη μηχανική ρευστών, ο αριθμός Reynolds (Re) είναι μια αδιάστατη ποσότητα, η οποία χρησιμοποιείται για να προσδιορίσουμε όμοια πρότυπα ροής σε διαφορετικές καταστάσεις ροής ρευστών. Η έννοια του αριθμού Reynolds εισήχθη από τον Τζωρτζ Στόουκς το 1851, αλλά πήρε το όνομά του από τον Όσμπορν Ρέινολτς (1842–1912), ο οποίος καθιέρωσε την χρήση του το 1883. Ο αριθμός Reynolds ορίζεται ως, ο λόγος των δυνάμεων αδράνειας προς τις δυνάμεις ιξώδους και συνεπώς ποσοτικοποιεί την μεταξύ τους σημαντικότητα για μια συγκεκριμένη κατάσταση ροής. Συχνά προκύπτουν κατά τη διάρκεια πειραμάτων μοντελοποίησης, προκειμένου να προσδιορίσουμε την σχέση μεταξύ δυο διαφορετικών περιπτώσεων ροής ρευστού. Επίσης χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό του είδους μια ροής, όπως είναι η στρωτή και η τυρβώδης ροή.
- Προφίλ της ταχύτητας



Γράφημα 9: Προφίλ ταχύτητας

- Απώλειες μανομετρικού: Στην παρούσα εργασία έχουμε χρησιμοποιήσει την φόρμουλα Hazen-Williams για τη συχνότητα των απωλειών.

$$h_L = \frac{C_f L}{C^{1.852} D^{4.87}} Q^{1.852}$$

h_L = απώλειες λόγω τριβής (m)

L = μήκος μεταξύ δυο σημείων (m)

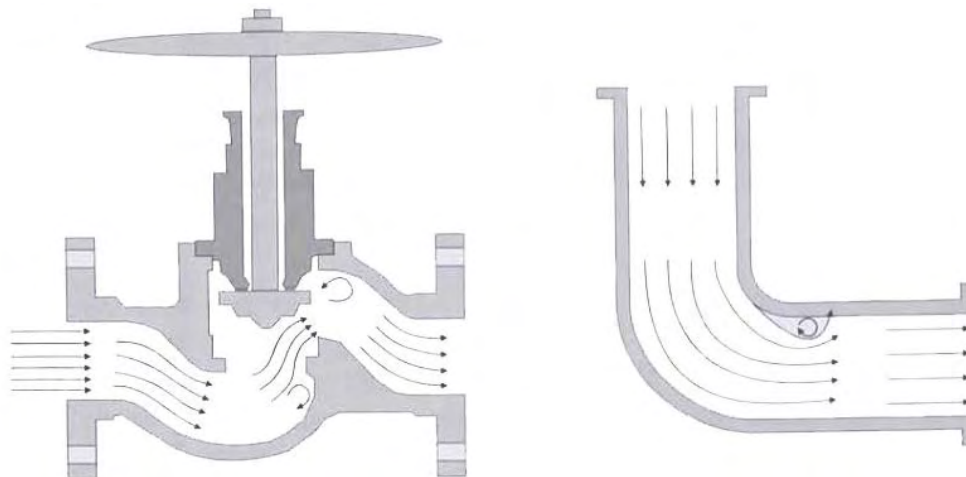
C = συντελεστής Hazen-Williams

D = διάμετρος (m)

Q = παροχή ρευστού (m^3/s)

C_f = συντελεστής μετατροπής μονάδας (10.7 στο SI)

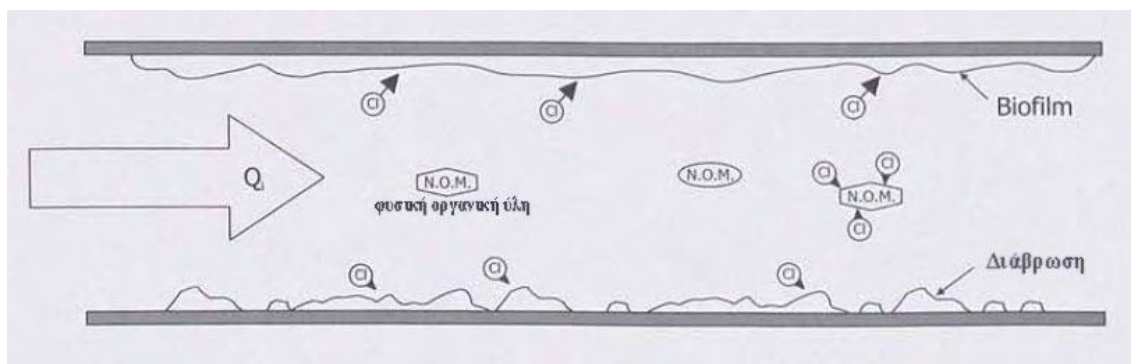
- Απώλειες λόγω της μορφής των αγωγών



Εικόνα 26: Διατομές αγωγού και βαλβίδας που προκαλούν μικρές απώλειες

5.3 Μοντελοποίηση δικτύου ύδρευσης και ποιότητα νερού

Η μοντελοποίηση της ποιότητας του νερού είναι μια άμεση επέκταση της μοντελοποίησης του υδραυλικού δικτύου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση πολλών χρήσιμων αναλύσεων. Οι προγραμματιστές μοντέλων προσομοίωσης υδραυλικού δικτύου αναγνώρισαν τις δυνατότητες ανάλυσης της ποιότητας των υδάτων και άρχισαν να προσθέτουν χαρακτηριστικά υπολογισμού νερού σε μοντέλα στα μέσα της δεκαετίας του '80. Η μεταφορά, η ανάμιξη και η αποσύνθεση είναι οι θεμελιώδεις φυσικές και χημικές διεργασίες που παρουσιάζονται συνήθως σε μοντέλα ποιότητας νερού. Οι προσομοιώσεις ποιότητας νερού χρησιμοποιούν επίσης την υδραυλική λύση του δικτύου ως μέρος των υπολογισμών τους. Οι ρυθμοί ροής στους σωλήνες και οι διαδρομές ροής που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο το νερό μετακινείται μέσω του δικτύου χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ανάμιξης, των χρόνων κατανομής και άλλων υδραυλικών χαρακτηριστικών που επηρεάζουν τη μεταφορά και την αποσύνθεση του στοιχείου που χρησιμοποιείται για απολύμανση του νερού και στην περίπτωση μας το χλώριο.



Εικόνα 27: Απολυμαντικές αντιδράσεις που εμφανίζονται σε ένα τυπικό σωλήνα συστήματος διανομής

Οι χημικές διεργασίες που μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα του συστήματος διανομής είναι συνάρτηση της χημείας του ύδατος και των φυσικών χαρακτηριστικών του ίδιου του συστήματος διανομής (για παράδειγμα, υλικό σωλήνων και ηλικία). Γενικότερα όμως, αυτές οι διαδικασίες εμφανίζονται με την πάροδο του χρόνου, καθιστώντας το χρόνο παραμονής στο σύστημα διανομής ένα κρίσιμο παράγοντα που επηρεάζει την ποιότητα του νερού. Ο συσσωρευτικός χρόνος παραμονής του νερού στο σύστημα ή η ηλικία των υδάτων έχει καταστεί αξιόπιστο χαρακτηριστικό για το νερό. Η ηλικία του νερού προκαλεί ιδιαίτερη ανησυχία όταν υπολογίζει την επίδραση της δεξαμενής αποθήκευσης στην ποιότητα του νερού. Είναι επίσης ωφέλιμη για την αξιολόγηση της απώλειας υπολειμμάτων απολυμαντικών και για το σχηματισμό παραπροϊόντων ζιζανιοκτόνων σε συστήματα διανομής.

Το κύριο πλεονέκτημα μιας ανάλυσης ηλικίας νερού σε σύγκριση με μια ανάλυση συστατικών είναι ότι μόλις βαθμονομηθεί το υδραυλικό μοντέλο, δεν απαιτούνται πρόσθετες διαδικασίες βαθμονόμησης της ποιότητας του νερού. Η ανάλυση της ηλικίας των υδάτων, ωστόσο, δεν θα είναι τόσο ακριβής όσο μια συστατική ανάλυση για τον προσδιορισμό της ποιότητας του νερού. Παρόλα αυτά, είναι ένας εύκολος τρόπος να αξιοποιηθούν οι πληροφορίες που ενσωματώνονται στο βαθμονομημένο υδραυλικό μοντέλο. Εάν έχει αναπτυχθεί και βαθμονομηθεί επαρκώς ένα υδραυλικό μοντέλο, μπορεί αμέσως να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της ηλικίας του νερού. Η ανάλυση της ηλικίας του νερού μπορεί να υποδεικνύει ότι οι υπερβολικά μακρείς χρόνοι παραμονής εντός της δεξαμενής συμβάλλουν στην υποβάθμιση της ποιότητας του νερού. Χρησιμοποιώντας αυτές τις πληροφορίες, μπορεί να προγραμματιστεί μια πιο ακριβής ανάλυση (όπως η αξιολόγηση της υδραυλικής δυναμικής δεξαμενής και των χαρακτηριστικών ανάμιξης ή

μια συστατική ανάλυση για τον προσδιορισμό των επιπτώσεων στα απολυμαντικά υπολείμματα) και μπορούν να αξιολογηθούν προκαταρκτικές αλλαγές στο σχεδιασμό ή τη λειτουργία.

5.4 Πλεονεκτήματα της χρήσης μοντέλων

Για την επίλυση προβλημάτων υδραυλικού συστήματος, πρέπει να υπάρχει μία εξίσωση για κάθε αγωγό, αντλία και βαλβίδα ή για κάθε διασταύρωση, ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται στους υδραυλικούς υπολογισμούς. Ο αριθμός των εξισώσεων που πρέπει να ρυθμιστούν και να λυθούν σε ένα πρόβλημα υδραυλικού συστήματος είναι πολύ μεγάλος, ακόμη και για το πιο βασικό σύστημα διανομής νερού. Η αξία ενός μοντέλου υπολογιστή είναι ότι οι πολύπλοκοι υπολογισμοί εκτελούνται πολύ πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη ακρίβεια από τους χειρωνακτικούς υπολογισμούς. Επιπλέον, ο υπολογιστής αποτελεί αποτελεσματικό μέσο διαχείρισης μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων που είναι απαραίτητα για την ανάλυση ενός συστήματος διανομής νερού. Χρησιμοποιώντας μοντέλα υπολογιστών, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων μπορούν να επικεντρωθούν περισσότερο στην μελέτη των αποτελεσμάτων μοντελοποίησης και στη διαμόρφωση και σύγκριση εναλλακτικών λύσεων σχεδιασμού του συστήματος αντί να επικεντρωθούν στη διαδικασία της επίλυσης των εξισώσεων του συστήματος. Τα μοντέλα υπολογιστών των συστημάτων διανομής νερού δεν αποτελούν αυτοσκοπό, αλλά αποτελούν εργαλεία για να βοηθήσουν τους μηχανικούς, τους υπεύθυνους σχεδιασμού και το προσωπικό των επιχειρήσεων. Όταν εφαρμόζονται σωστά, τα μοντέλα αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της διαδικασίας λήψης αποφάσεων για τον σχεδιασμό, το σχεδιασμό και τη λειτουργία των συστημάτων διανομής νερού. Οι μηχανικοί και οι χειριστές ενός συστήματος ύδρευσης εξακολουθούν να είναι υπεύθυνοι για τις αποφάσεις που βασίζονται στα αποτελέσματα που παρέχουν τα μοντέλα υπολογιστών.

Επίσης η προσομοίωση της ποιότητας του νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βελτιώσει την απόδοση των τροποποιήσεων του συστήματος διανομής που αποσκοπούν στη μείωση του χρόνου υδραυλικής παραμονής και ως εργαλείο για τη βελτίωση της διαχείρισης απολυμαντικών υπολειμμάτων και άλλων λειτουργιών που σχετίζονται με την ποιότητα του νερού. Οι συνεχείς εξελίξεις στην τεχνολογία σε συνδυασμό με αυστηρότερους κανονισμούς για την ποιότητα προτρέπουν έναν αυξανόμενο αριθμό επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας να αρχίσουν να χρησιμοποιούν τις ισχυρές δυνατότητες μοντελοποίησης της ποιότητας του νερού που τους προσφέρονται ήδη.

5.5 Βελτιστοποίηση προβλημάτων με χρήση γενετικών αλγορίθμων σε μοντέλα δικτύων ύδρευσης

Τις τελευταίες δεκαετίες σημειώθηκε σημαντική ανάπτυξη στον τομέα της βελτιστοποίησης των μοντέλων διαχείρισης των υδάτινων πόρων. Αρκετές νέες τεχνικές και μέθοδοι έχουν εξελιχθεί και δοκιμαστεί με την πάροδο του χρόνου ώστε να παραχθούν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Τα προβλήματα διαχείρισης των υδάτινων πόρων ήταν πάντοτε πολύ σύνθετα και μεγάλα για απλή μέθοδο π.χ. γραμμικού προγραμματισμού. Ως εκ τούτου, υπήρξε συνεχής ανάγκη για μια καλύτερη, ταχύτερη και ακριβέστερη μέθοδο. Ο μη γραμμικός προγραμματισμός, ο δυναμικός προγραμματισμός, ο μη γραμμικός αέριος προγραμματισμός, ο γενετικός αλγόριθμος και πολλές άλλες τεχνικές έχουν εξελιχθεί με το χρόνο.

Μια προσέγγιση βελτιστοποίησης που υιοθετήθηκε ιδιαίτερα για συστήματα διανομής νερού πολλαπλών δεξαμενών και πολλαπλών πηγών είναι η χρήση γενετικού αλγορίθμου. Η κατασκευή της αντικειμενικής συνάρτησης και των περιορισμών υπήρξε συχνή μέθοδος για τέτοιες τεχνικές. Στον τομέα του σχεδιασμού υδάτινων πόρων, αυτή ήταν μια επιτυχημένη προσπάθεια να

απαλλαγούμε από πολύπλοκα προβλήματα με μεγάλες διαστάσεις. Τα τελευταία χρόνια η βιομηχανία ύδρευσης έχει αρχίσει να διερευνά τη χρήση και την ενσωμάτωση ηλεκτρονικών υπολογιστών και τεχνολογίας ελέγχου για τη βελτίωση της καθημερινής λειτουργίας των συστημάτων διανομής νερού. Αυτό υποκινήθηκε από την επιθυμία να μειωθεί το λειτουργικό κόστος και να παρέχονται πιο αξιόπιστες λειτουργίες. Χρησιμοποιώντας μη γραμμικό προγραμματισμό, ένα τέλειο μοντέλο μπορεί εύκολα να αναπτυχθεί για τη λήψη πολιτικής για ένα σύστημα διανομής νερού πολλαπλών πηγών και πολλαπλών δεξαμενών. Ο αλγόριθμος έχει το πλεονέκτημα ότι είναι υπολογιστικά αποδοτικός ενώ ενσωματώνει τα μη γραμμικά χαρακτηριστικά του δικτύου διανομής νερού. Επιπροσθέτως, παρέχει αρκετές εφικτές λύσεις στο πρόβλημα ελέγχου, το οποίο στη συνέχεια παρέχει αυξημένη ευελιξία στον χειριστή του συστήματος.

Κεφάλαιο 6: Κατασκευή μοντέλου του δικτύου ύδρευσης της Αιανής

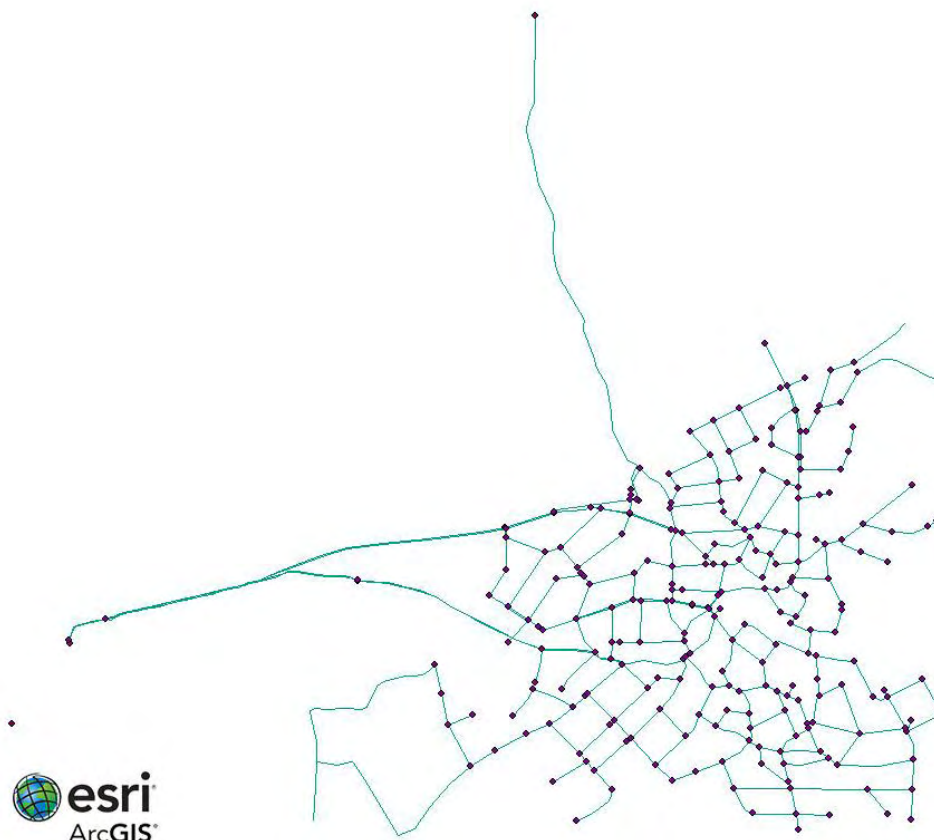
6.1 Δημιουργία μοντέλου σε περιβάλλον Epanet 2.0 και WaterGems

Για την κατασκευή του μοντέλου στο περιβάλλον των προγραμμάτων WaterGems και Epanet 2.0 εισάγαμε τα παρακάτω στοιχεία ,από το μοντέλο που είχε δημιουργηθεί στο πρόγραμμα ArcGis:

- Γεωδαιτικές συντεταγμένες κόμβων (Εικόνα 28)
- Ύψη κόμβων (Πίνακας 7)
- Υλικό αγωγών (Πίνακας 8)
- Γεωδαιτικές συντεταγμένες μετρητών κατανάλωσης
- Καταναλώσεις μετρητών
- Γεωδαιτικές συντεταγμένες δεξαμενών, γεώτρησης και αντλιοστασίου
- Στοιχεία εισερχόμενου/εξερχόμενου νερού δεξαμενών, γεώτρησης και αντλιοστασίου
- Γεωδαιτικές πληροφορίες φρεατίων
- Είδος φρεατίων



Εικόνα 28: Γεωδαιτικές συντεταγμένες κόμβων



Εικόνα 29: Γεωδαιτικές συντεταγμένες κόμβων και αγωγών

Πίνακας 8: Στοιχεία αγωγών

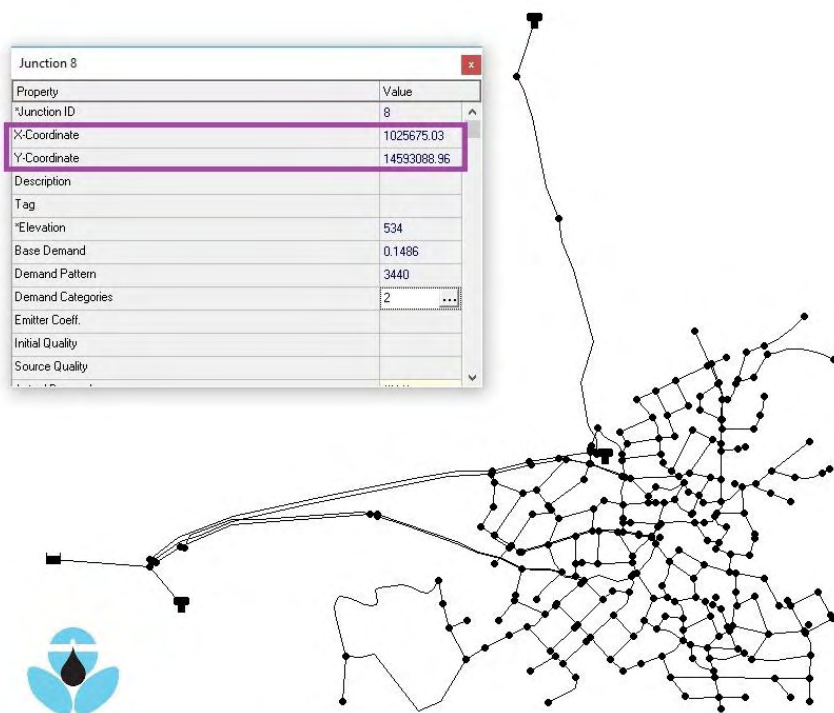
pipes					
FID	Shape *	OBJECTID	SHAPE_LEN	MATERIAL	DIAMETER
0	Polyline	2883	191,911178	PVC	63
1	Polyline	2884	97,761112	PVC	63
2	Polyline	2885	125,079033	PVC	63
3	Polyline	2886	27,137337	HDPE	125
4	Polyline	2887	197,542921	PVC	160
5	Polyline	2888	636,639832	PVC	160
6	Polyline	2889	126,535878	PVC	200
7	Polyline	2890	1034,45148	PVC	225
8	Polyline	2896	81,750656	PVC	90
9	Polyline	2897	86,039544	PVC	110
10	Polyline	2891	216,218679	PVC	140
11	Polyline	2892	527,543012	PVC	140
12	Polyline	2893	66,581937	PVC	63
13	Polyline	2894	117,512671	PVC	90
14	Polyline	2895	76,196893	PVC	90
15	Polyline	2970	1510,12005	PVC	110
16	Polyline	2971	194,80098	PVC	63
17	Polyline	2972	169,572125	PVC	63
18	Polyline	2973	49,59894	PVC	110
19	Polyline	2974	61,741921	PVC	63
20	Polyline	2975	90,906664	PVC	63
21	Polyline	2976	43,875787	PVC	63
22	Polyline	2977	128,861161	PVC	110
23	Polyline	2978	104,637839	PVC	63
24	Polyline	2979	23,317758	PVC	63
25	Polyline	2980	42,46755	PVC	90
26	Polyline	2981	65,485923	PVC	110
27	Polyline	2982	16,496579	PVC	110
28	Polyline	2983	68,23076	PVC	63
29	Polyline	2984	38,626805	PVC	63

Πίνακας 7: Στοιχεία κόμβων

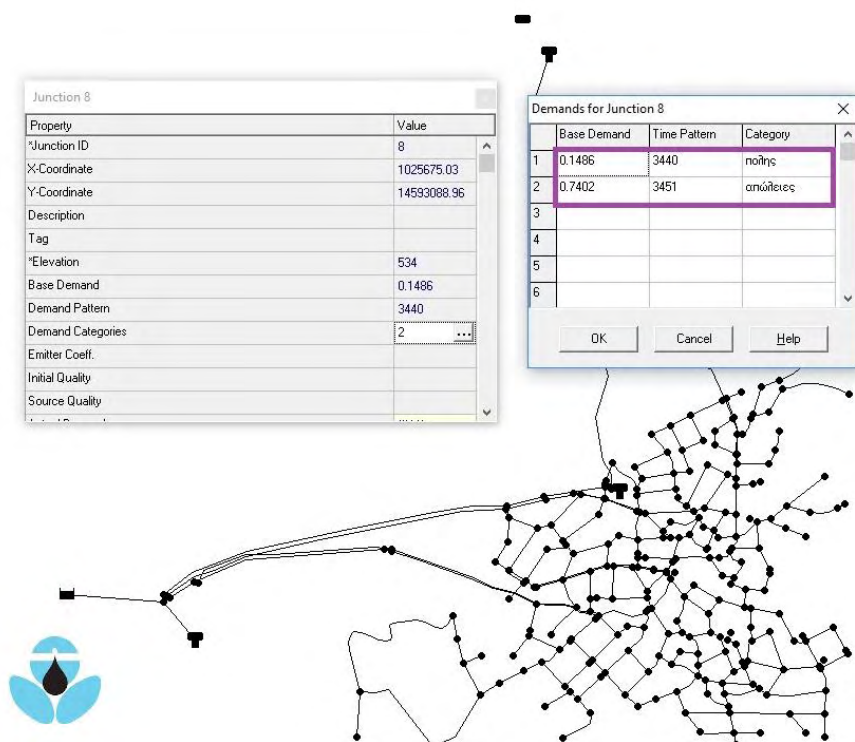
nodes			
FID	Shape *	ID	H
0	Point	33	494
1	Point	46	547
2	Point	44	547
3	Point	40	547
4	Point	0	534,099976
5	Point	64	495,799988
6	Point	61	495
7	Point	296	500
8	Point	39	500
9	Point	65	497,100006
10	Point	24	477,799988
11	Point	62	494,5
12	Point	36	491
13	Point	63	490
14	Point	68	486,5
15	Point	28	488
16	Point	25	483,799988
17	Point	69	484,200012
18	Point	67	484,299988
19	Point	66	479,5
20	Point	70	475,5
21	Point	2	473
22	Point	54	476,399994
23	Point	59	478
24	Point	56	486,5
25	Point	52	481,700012
26	Point	72	477
27	Point	23	472,700012
28	Point	74	473,700012
29	Point	73	472,600006

Χρησιμοποιώντας όλα τα παραπάνω στοιχεία σχεδιάστηκαν ένας προς ένα οι κόμβοι σύμφωνα με τις συντεταγμένες τους. Όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα τα βασικά στοιχεία που απαιτούνται για κάθε κόμβο είναι οι συντεταγμένες του, το υψόμετρο, η ζήτηση.

Διπλωματική Εργασία: Βελτιστοποίηση ποιότητας και πίεσης νερού σε δίκτυο ύδρευσης με χρήση γενετικού αλγορίθμου και διαμόρφωση υδραυλικά απομονωμένων υποζωνών (DMAs) – Η περίπτωση της Αιανής

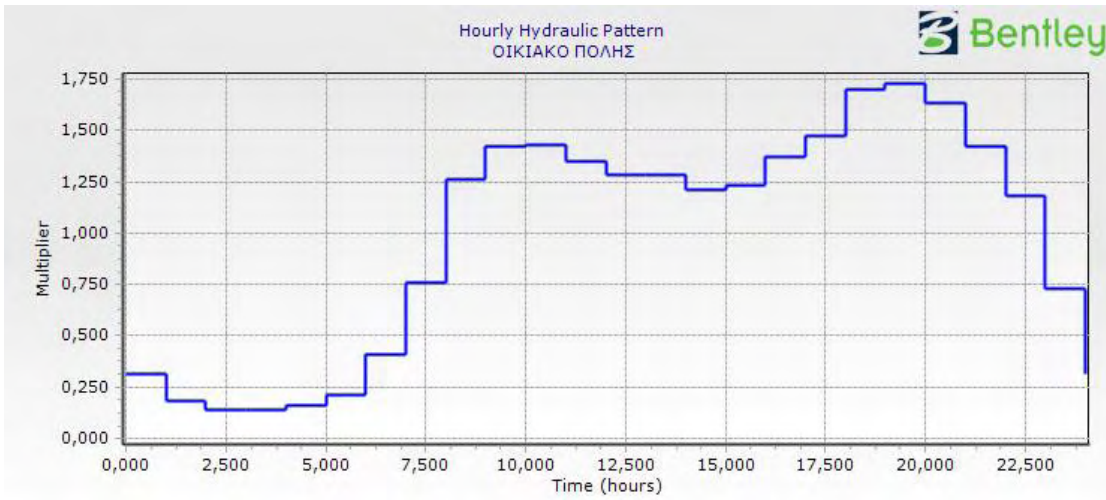


Εικόνα 30: Μοντέλο δικτύου Αιανής σε περιβάλλον Epanet 2.0. Εισαγωγή συντεταγμένων

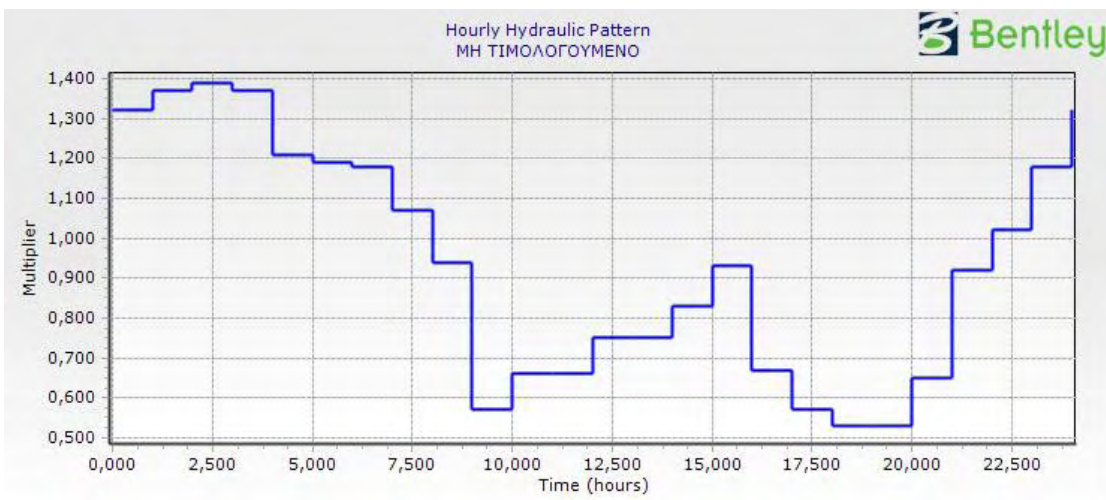


Εικόνα 31: Μοντέλο δικτύου Αιανής σε περιβάλλον Epanet 2.0. Εισαγωγή ζητήσεων

Ένα σημαντικό στοιχείο για την λειτουργία του μοντέλου είναι τα πρότυπα των ζητήσεων, τα οποία αλλάζουν αναλόγως με το είδος της ζήτησης (απώλειες, τιμολογούμενο νερό κτλ.).



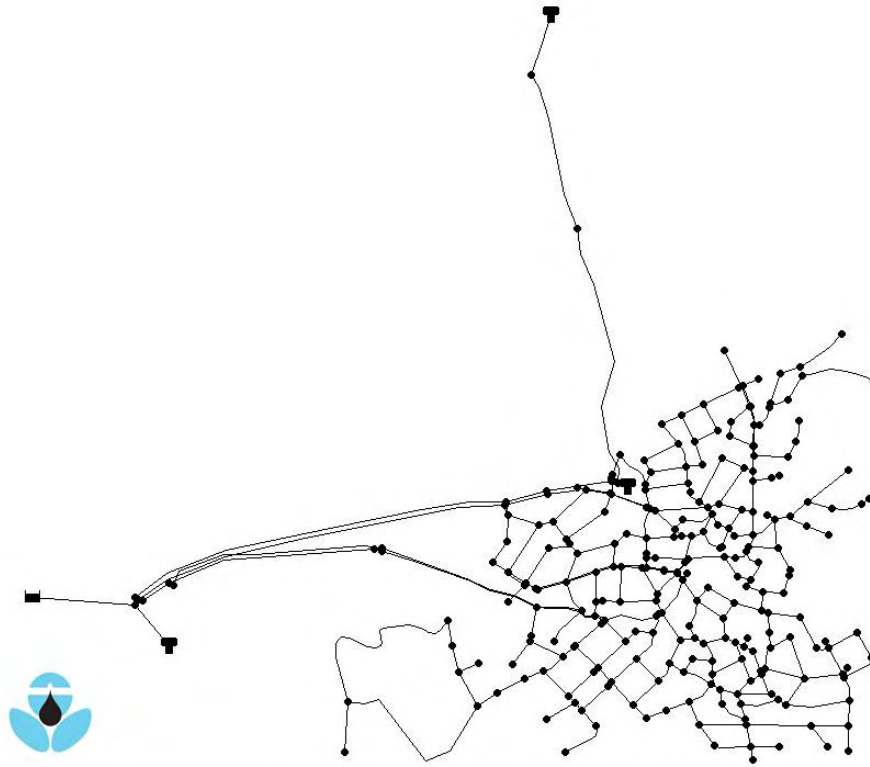
Γράφημα 10: Πρότυπο ζήτησης για τιμολογούμενο νερό σε περιβάλλον WaterGems



Γράφημα 11: Πρότυπο ζήτησης για απώλειες σε περιβάλλον WaterGems.

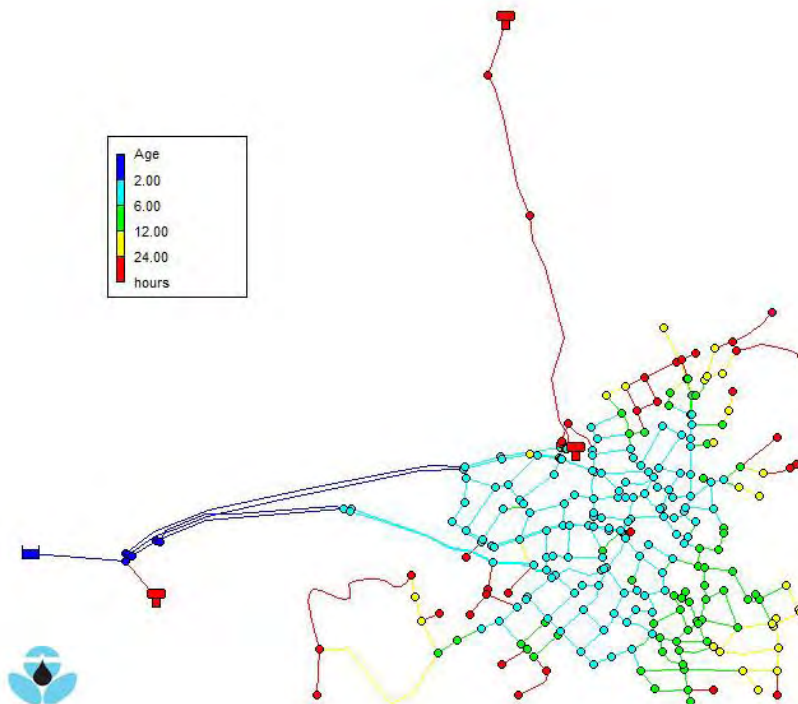


Εικόνα 32: Τελική μορφή μοντέλου δικτύου σε περιβάλλον WaterGems

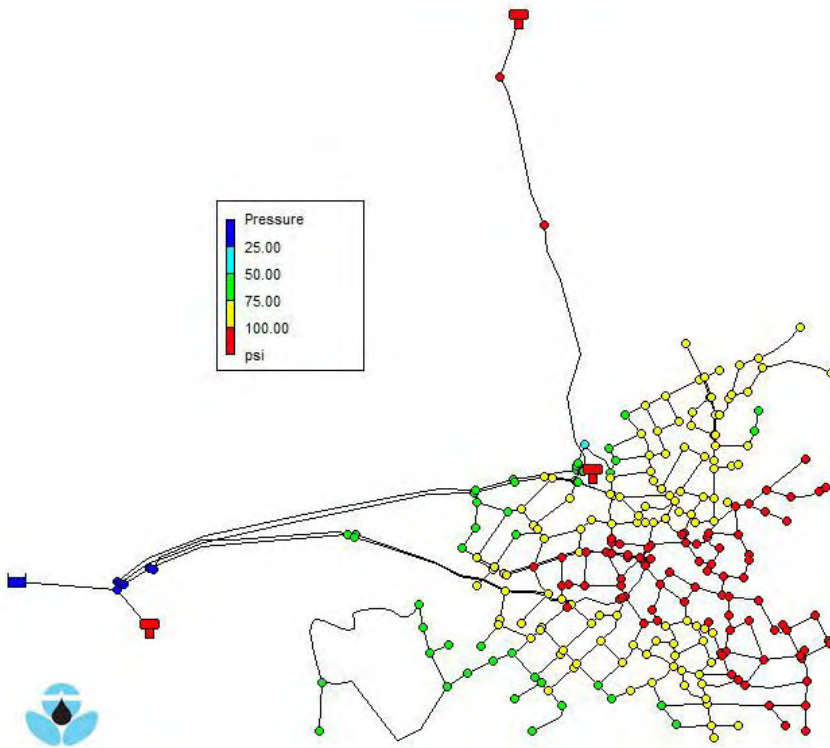


Εικόνα 33: Τελική μορφή μοντέλου δικτύου σε περιβάλλον Epanet 2.0

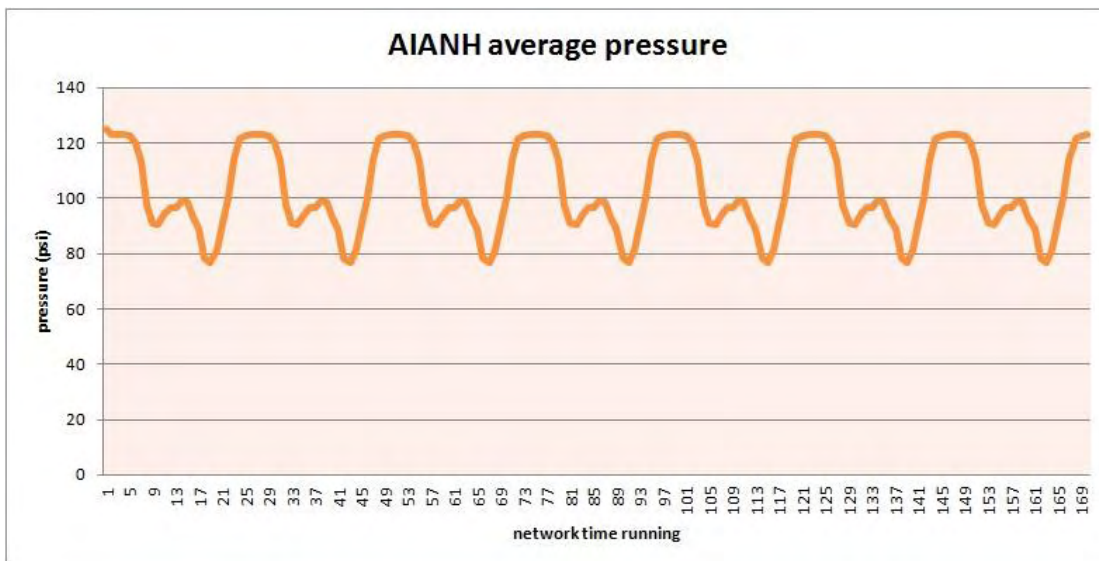
Έχοντας δημιουργήσει το μοντέλο της Αιανής μπορέσαμε να αποκτήσουμε μια εικόνα για την πίεση του δικτύου και την ηλικία του νερού σε αυτό.



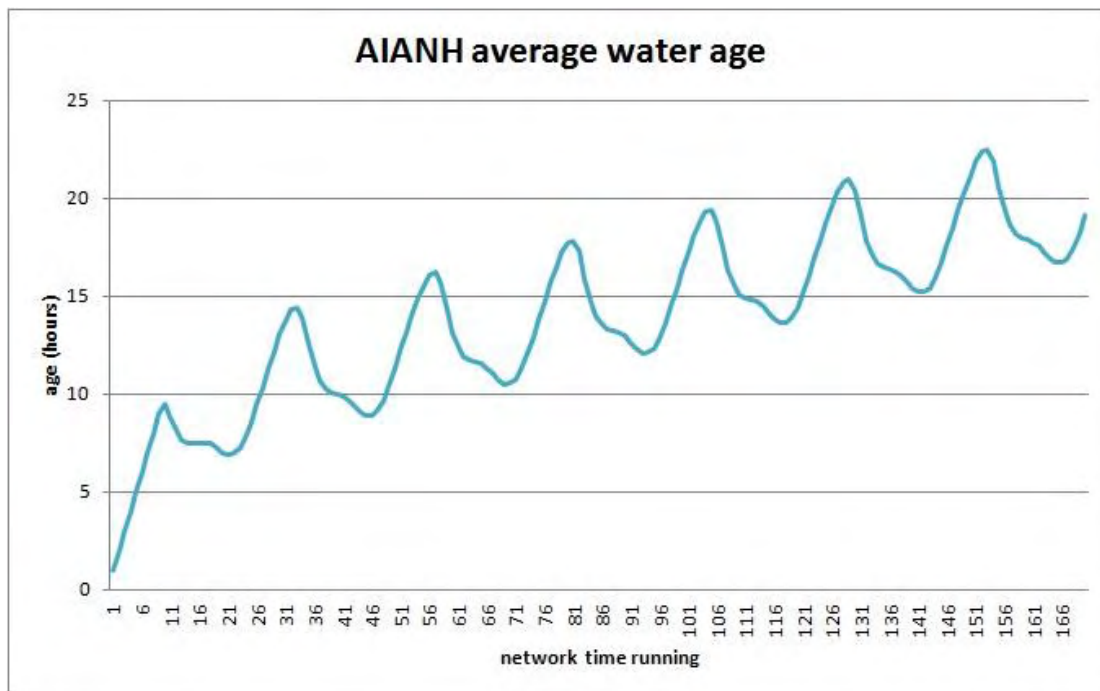
Εικόνα 34: Χρωματική αποτύπωση ηλικίας νερού σε μορφή CAD (χρήση προγράμματος Epanet 2.0)



Εικόνα 35: Χρωματική αποτύπωση πίεσης στους κόμβους σε μορφή CAD (χρήση προγράμματος Epanet 2.0)



Γράφημα 12: Μέσος όρος πίεσης δικτύου Αιανής αν ώρα (Πίεση σε psi)



Γράφημα 13: Μέσος όρος ηλικίας νερού ανά ώρα (ηλικία σε ώρες)

6.2 Σύνδεση Epanet 2.0 με Matlab

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.

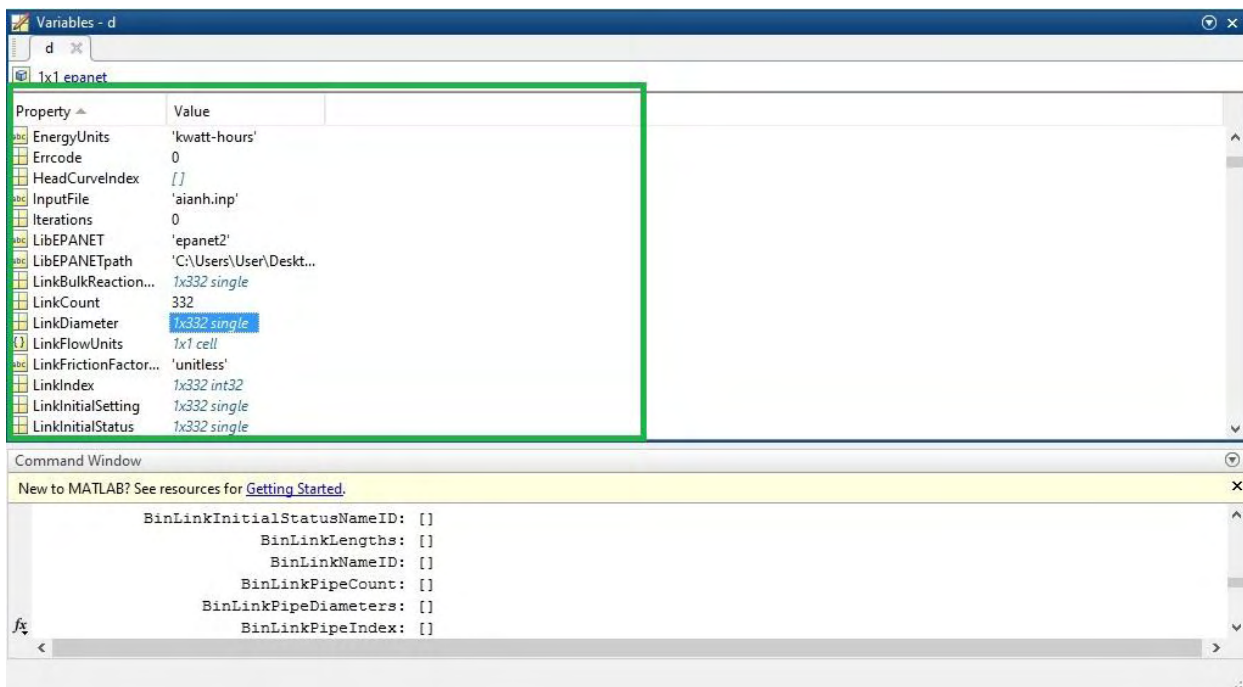
Μέσω ενός οδηγού (OpenWaterAnalytics-EPANET-Matlab-Toolkit) παρέχεται μια σειρά από λειτουργίες, που επιτρέπουν στους προγραμματιστές να προσαρμόσουν τη χρήση της υδραυλικής και της μελέτης της ποιότητας του νερού του EPANET για τις δικές τους εφαρμογές. Για τη χρήση του οδηγού θα πρέπει να έχει προηγηθεί 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.)

Χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κώδικα, όπως το notepad ++, θα διαπιστώσουμε πως αν ανοίξουμε ένα αρχείο epanet θα δούμε πινακοποιημένους αριθμούς όπου ο καθένας εκφράζει κάποιο μέγεθος (μορφολογικά χαρακτηριστικά δικτύου, ζητήσεις κτλ). Με την ίδια μορφή εισάγονται τα δεδομένα του δικτύου στο πρόγραμμα matlab, με την χρήση κατάλληλων εντολών και του toolkit γίνεται η επεξεργασία του δικτύου.

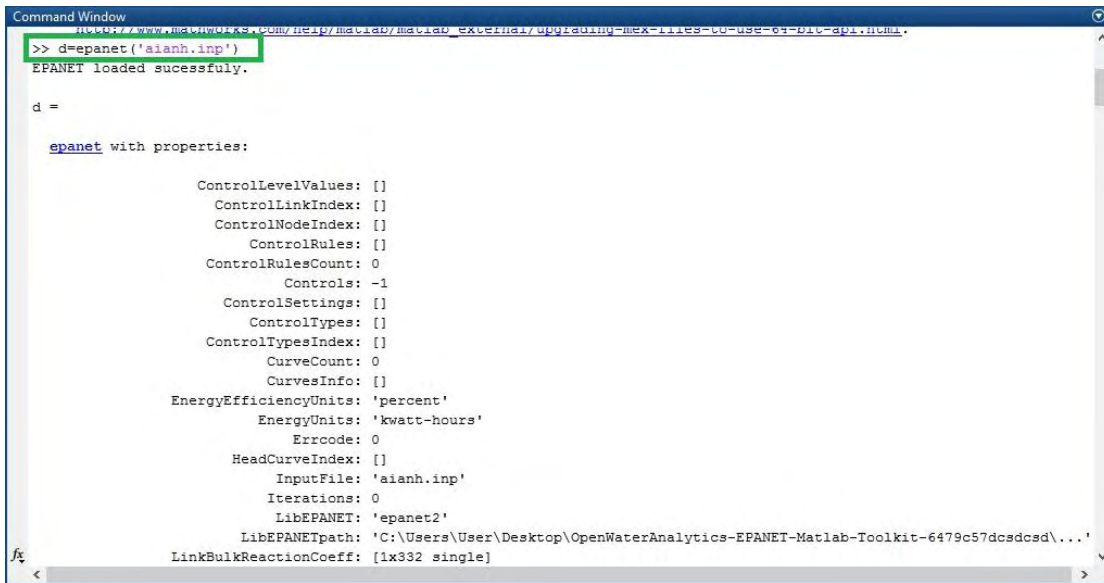
Διπλωματική Εργασία: Βελτιστοποίηση ποιότητας και πίεσης νερού σε δίκτυο ύδρευσης με χρήση γενετικού αλγορίθμου και διαμόρφωση υδραυλικά απομονωμένων υποζωνών (DMAs) – Η περίπτωση της Αιανής

262	261	472.5	2.0796	3440				
263	262	475.3	0.1264	3440				
264	263	478.6	0.7174	3440				
265								
266	[RESERVOIRS]							
267	;ID	Head	Pattern					
268	1	550						
269								
270	[TANKS]							
271	;ID	Elevation	InitLevel	MinLevel	MaxLevel	Diameter	MinVol	VolCurve
272	3	547.28	547.28	539	555	6.38	0.14	
273	81	493.43	493.43	488	498	3.91	0.03	
274	87	450	493.43	488	498	3.61	0.03	
275								
276	[PIPES]							
277	;ID	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	MinorLoss	Status
278	1	1	2	778	201	130	0	Open ;
279	2	2	3	72.54	201	130	0	Open ;
280	3	4	2	62	99	130	0	Open ;
281	4	5	2	55	99	130	0	Open ;
282	5	6	2	57	201	130	0	Open ;
283	6	6	7	377	181	130	0	Open ;
284	7	7	8	54	152	130	0	Open ;
285	8	7	9	2091	146	130	0	Open ;
286	9	8	10	2564	99	130	0	Open ;
287	10	5	11	3413	203	130	0	Open ;
288	11	4	12	3858	99	130	0	Open ;
289	12	9	13	81	127	130	0	Open ;
290	13	13	14	1659	127	130	0	Open ;
291	14	11	15	105	127	130	0	Open ;
292	15	12	15	126	57	130	0	Open ;
293	16	15	16	262	127	130	0	Open ;
294	17	16	17	263	127	130	0	Open ;
295	18	17	18	177	127	130	0	Open ;
296	19	15	19	330	57	130	0	Open ;
297	20	19	18	555	57	130	0	Open ;
298	21	18	20	213	127	130	0	Open ;
299	22	18	21	207	57	130	0	Open ;

Εικόνα 36: Μορφή δικτύου Epanet με χρήση προγράμματος επεξεργασίας κώδικα



Εικόνα 37: Μορφή δικτύου Epanet με χρήση του προγράμματος Matlab.



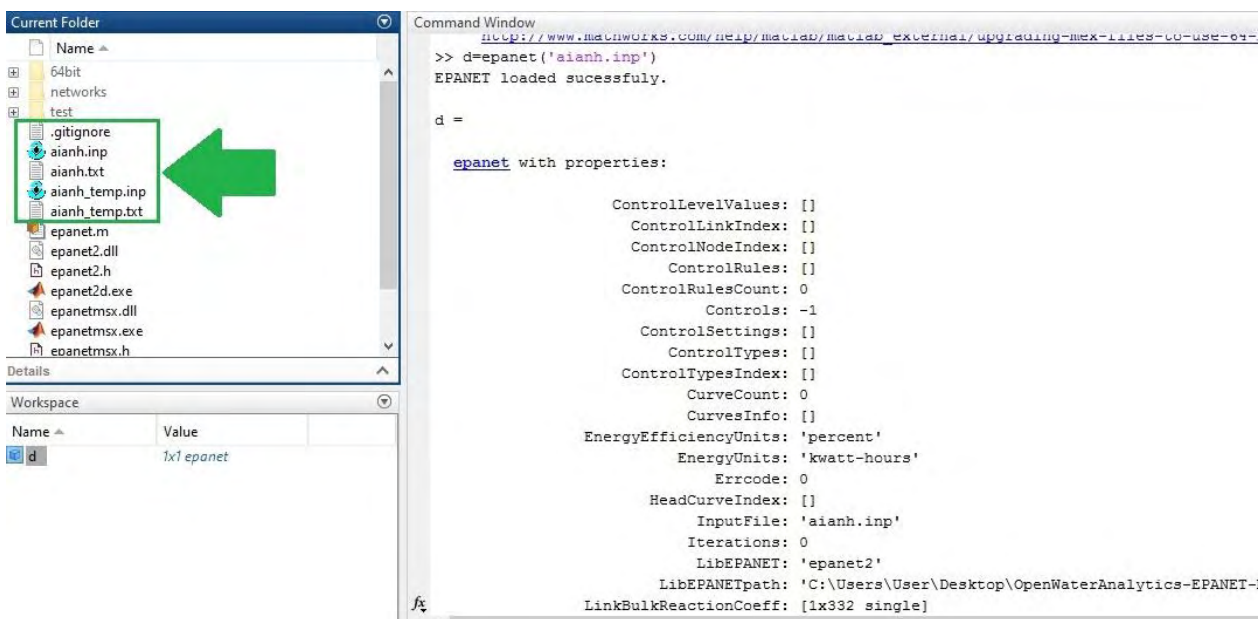
```
Command Window
http://www.mathworks.com/help/matlab/matlab_external/upgrading-mex-files-to-use-64-bit-api.html
>> d=epanet('aianh.inp')
EPANET loaded successfully.

d =

    epanet with properties:

        ControlLevelValues: []
        ControlLinkIndex: []
        ControlNodeIndex: []
        ControlRules: []
        ControlRulesCount: 0
        Controls: -1
        ControlSettings: []
        ControlTypes: []
        ControlTypesIndex: []
        CurveCount: 0
        CurvesInfo: []
        EnergyEfficiencyUnits: 'percent'
        EnergyUnits: 'kwatt-hours'
        Errcode: 0
        HeadCurveIndex: []
        InputFile: 'aianh.inp'
        Iterations: 0
        LibEPANET: 'epanet2'
        LibEPANETpath: 'C:\Users\User\Desktop\OpenWaterAnalytics-EPANET-Matlab-Toolkit-6479c57dcscsd\...'
        LinkBulkReactionCoeff: [1x332 single]
```

Εικόνα 38: Επιτυχής εισαγωγή δικτύου από Epanet σε Matlab



```
Current Folder
Name
64bit
networks
test
.gitignore
aianh.inp
aianh.txt
aianh_temp.inp
aianh_temp.txt
epanet.m
epanet2.dll
epanet2.h
epanet2d.exe
epanetmsx.dll
epanetmsx.exe
epanetmsx.h

Workspace
Name Value
d 1x1 epanet

Command Window
http://www.mathworks.com/help/matlab/matlab_external/upgrading-mex-files-to-use-64-
>> d=epanet('aianh.inp')
EPANET loaded successfully.

d =

    epanet with properties:

        ControlLevelValues: []
        ControlLinkIndex: []
        ControlNodeIndex: []
        ControlRules: []
        ControlRulesCount: 0
        Controls: -1
        ControlSettings: []
        ControlTypes: []
        ControlTypesIndex: []
        CurveCount: 0
        CurvesInfo: []
        EnergyEfficiencyUnits: 'percent'
        EnergyUnits: 'kwatt-hours'
        Errcode: 0
        HeadCurveIndex: []
        InputFile: 'aianh.inp'
        Iterations: 0
        LibEPANET: 'epanet2'
        LibEPANETpath: 'C:\Users\User\Desktop\OpenWaterAnalytics-EPANET-
        LinkBulkReactionCoeff: [1x332 single]
```

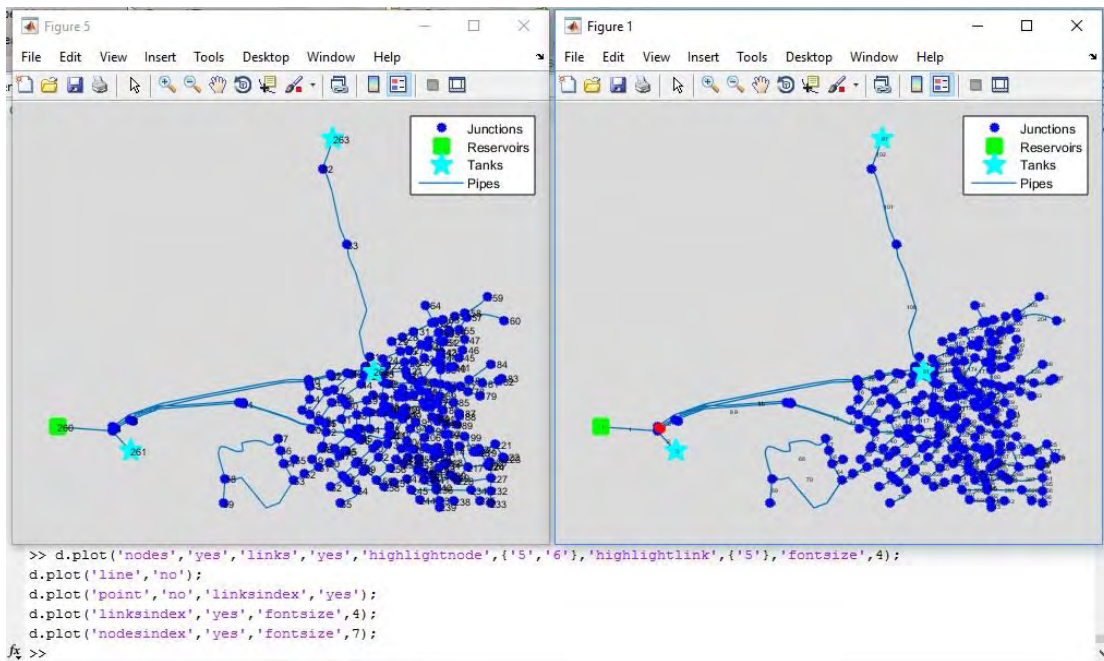
Εικόνα 39: Εισαγωγή δικτύου Epanet σε Matlab.

6.2.1 Εντολές διαχείρισης δικτύου από μορφή epanet.inp σε περιβάλλον matlab

Έχοντας εισάγει το δίκτυο σε περιβάλλον matlab μπορούμε να εξάγουμε διαφόρων ειδών αποτελέσματα, από τα πιο βασικά όπως μονάδες μετρήσεις μέχρι την χρήση γενετικού αλγορίθμου για βελτιστοποίηση του δικτύου ως προς κάποιο μέγεθος.


```
>> d.getFlowUnits  
  
ans =  
  
    'GPM'
```

Εικόνα 40: Εντολή σε περιβάλλον matlab που μας δείχνει τις μονάδες του δικτύου (Gallons per minute)



Εικόνα 41: Εντολές απεικόνισης στοιχείων του δικτύου

Οι βασικές εντολές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιβάλλον matlab για την διαχείριση του δικτύου είναι οι παρακάτω:

% εισάγει το αρχείο του epanet στο matlab

```
d=epanet('aianh.inp');
```

Ονομάσαμε το δίκτυο “d” οπότε παρακάτω οι περισσότερες εντολές ξεκινούν με το όνομα του αρχείου “d.όνομα εντολής”

%% Εξαγωγή πληροφοριών για κόμβους

```
all_elevations = d.getNodeElevations;  
disp(all_elevations);
```

```
elevationForIndex10 = d.getNodeElevations(10);  
disp(elevationForIndex10);
```

```
all_elevations2 = d.getNodeElevations(1:d.getNodeCount);  
disp(all_elevations2);
```

```
elevationsSp = d.getNodeElevations([1 5 10]);  
disp(elevationsSp);
```

```
d.getNodeDemandCategoriesNumber
```

```
d.getNodeDemandCategoriesNumber(2)

numCategories=1;nodeindex=2;
d.getNodeDemandPatternIndex{numCategories}
d.getNodeDemandPatternIndex{numCategories}(nodeindex)
d.getNodeDemandPatternNameID{numCategories}
d.getNodeDemandPatternNameID{numCategories}(nodeindex)

d.getNodeBaseDemands{numCategories}
d.getNodeBaseDemands{numCategories}(nodeindex)

d.getNodePatternIndex
d.getNodePatternIndex(2)

d.getNodeEmitterCoeff
d.getNodeEmitterCoeff(3)

d.getNodeInitialQuality
d.getNodeInitialQuality(1)

d.getNodeSourceQuality
d.getNodeSourceQuality(1)

d.getNodeSourcePatternIndex
d.getNodeSourcePatternIndex(2)

d.getNodeSourceTypeIndex
d.getNodeSourceTypeIndex(2)

d.getNodeSourceType
d.getNodeSourceType(3)

%% Εξαγωγή πληροφοριών για δεξαμενές
d.getNodeTankInitialLevel
d.getNodeTankInitialLevel(11)

d.getNodeTankInitialWaterVolume
d.getNodeTankInitialWaterVolume(11)

d.getNodeTankMixZoneVolume
d.getNodeTankMixZoneVolume(11)

d.getNodeTankDiameter
d.getNodeTankDiameter(11)

d.getNodeTankMinimumWaterVolume
d.getNodeTankMinimumWaterVolume(11)

d.getNodeTankVolumeCurveIndex
d.getNodeTankVolumeCurveIndex(11)

d.getNodeTankMinimumWaterLevel
d.getNodeTankMinimumWaterLevel(11)

d.getNodeTankMaximumWaterLevel
d.getNodeTankMaximumWaterLevel(11)

d.getNodeTankMinimumFraction
d.getNodeTankMinimumFraction(11)

d.getNodeTankBulkReactionCoeff
d.getNodeTankBulkReactionCoeff(11)
```

```
d.getNodeTankVolume
d.getNodeTankVolume(11)

d.getNodeTankMaxVolume
d.getNodeTankMaxVolume(11)

d.getNodeType
d.getNodeType(11)

d.getNodeNameID
d.getNodeNameID(11)

d.getNodeCoordinates
d.getNodeCoordinates{1}
d.getNodeCoordinates{2}
d.getNodeCoordinates(2)
d.getNodeCoordinates(1:d.NodeCount)
```

Η μορφή των εντολών είναι τέτοια ώστε ο χρήστης να καταλαβαίνει κατευθείαν για ποιο μέγεθος του δικτύου αναφέρονται, γεγονός που κάνει την όλη διαδικασία πιο εύκολη.

% Τρέχει το δίκτυο βήμα προς βήμα

```
d.openHydraulicAnalysis;
d.initializeHydraulicAnalysis;
tstep=1; T=[];P=[];H=[];D=[];Q=[];
index=2;
while (tstep>0)
    t=d.runHydraulicAnalysis;
    D=[D; d.getNodeActualDemand(index)];
    H=[H; d.getNodeHydraulicHead(index)];
    P=[P; d.getNodePressure(index)];
    Q=[Q; d.getNodeActualQuality(index)];
    T=[T; t];
    tstep=d.nextHydraulicAnalysisStep;
end
d.closeHydraulicAnalysis
disp(D);
disp(Q);
disp(H);
disp(P);
```

%% Είσαγωγή πληροφοριών για τους κόμβους

```
d.getNodeElevations
d.setNodeElevations(2*d.getNodeElevations);
d.getNodeElevations
d.getNodeElevations(2)
d.setNodeElevations(2,200); %index, value
d.getNodeElevations(2)

d.getNodeEmitterCoeff
d.setNodeEmitterCoeff(2*ones(1,d.NodeCount));
d.getNodeEmitterCoeff
d.getNodeEmitterCoeff(2)
d.setNodeEmitterCoeff(2,1.5); %index, value
d.getNodeEmitterCoeff(2)
```

```
d.getNodeInitialQuality
d.setNodeInitialQuality(2*d.getNodeInitialQuality);
d.getNodeInitialQuality
d.getNodeInitialQuality(2)
d.setNodeInitialQuality(2,1.5); %index, value
d.getNodeInitialQuality(2)

d.getNodeCoordinates(2)
d.setNodeCoordinates(2,[10 10]);
d.getNodeCoordinates(2)

d.getNodeBaseDemands{1}
d.setNodeBaseDemands(3,20);
d.getNodeBaseDemands{1}

d.getNodeDemandPatternIndex{1}
d.setNodeDemandPatternIndex(3,0); %remove pattern..
d.getNodeDemandPatternIndex{1}

d.getNodeSourceType
d.setNodeSourceType(1,'MASS')
d.setNodeSourceType(2,'CONCEN')
d.setNodeSourceType(3,'SETPOINT')
d.setNodeSourceType(4,'FLOWPACED')
d.getNodeSourceType

d.getNodeSourcePatternIndex
d.setNodeSourcePatternIndex(1,1);
d.getNodeSourcePatternIndex

d.getNodeSourceQuality
d.setNodeSourceQuality(2*d.getNodeSourceQuality);
d.getNodeSourceQuality
d.setNodeSourceQuality(3,20);
d.getNodeSourceQuality

%% Εισαγωγή πληροφοριών για δεξαμενές
indTank = d.getNodeTankIndex

d.getNodeTankInitialLevel
d.setNodeTankInitialLevel(d.getNodeTankInitialLevel+20);
v=d.getNodeTankInitialLevel
d.setNodeTankInitialLevel(indTank(1),v(indTank(1))+10);
d.getNodeTankInitialLevel

d.getNodeTankDiameter
d.setNodeTankDiameter(d.getNodeTankDiameter+20);
d.getNodeTankDiameter
d.setNodeTankDiameter(indTank(1),100);
d.getNodeTankDiameter

d.getNodeTankBulkReactionCoeff
d.setNodeTankBulkReactionCoeff(d.getNodeTankBulkReactionCoeff+1);
d.getNodeTankBulkReactionCoeff
d.setNodeTankBulkReactionCoeff(indTank(1),-1);
d.getNodeTankBulkReactionCoeff

d.getNodeTankMaximumWaterLevel
d.setNodeTankMaximumWaterLevel(d.getNodeTankMaximumWaterLevel+21);
d.getNodeTankMaximumWaterLevel
d.setNodeTankMaximumWaterLevel(indTank(1),200);
```

```
d.getNodeTankMaximumWaterLevel

d.getNodeTankMinimumWaterLevel
d.setNodeTankMinimumWaterLevel(d.getNodeTankMinimumWaterLevel-21);
n=d.getNodeTankMinimumWaterLevel
d.setNodeTankMinimumWaterLevel(indTank(1),n(indTank(1))+20);
d.getNodeTankMinimumWaterLevel

d.getNodeTankMinimumFraction
d.setNodeTankMinimumFraction(d.getNodeTankMinimumFraction+0.1);
d.getNodeTankMinimumFraction
d.setNodeTankMinimumFraction(indTank(1),0.2);
d.getNodeTankMinimumFraction

d.getNodeTankMinimumWaterVolume
d.setNodeTankMinimumWaterVolume(d.getNodeTankMinimumWaterVolume+10000);
d.getNodeTankMinimumWaterVolume
d.setNodeTankMinimumWaterVolume(indTank(1),20000);
d.getNodeTankMinimumWaterVolume

values = d.getNodeTankMixingModelType
d.getNodeTankMixingModelCode
values{end}='MIX2';
d.setNodeTankMixingModelType(values);
d.getNodeTankMixingModelType
d.getNodeTankMixingModelCode
d.setNodeTankMixingModelType(indTank(1),'FIFO');
d.getNodeTankMixingModelType
d.getNodeTankMixingModelCode
```

%% Εξαγωγή πληροφοριών για αγωγούς

```
all_diameters = d.getLinkDiameter;
disp(all_diameters);

diameterForIndex10 = d.getLinkDiameter(10);
disp(diameterForIndex10);

all_diameters2 = d.getLinkDiameter(1:d.getLinkCount);
disp(all_diameters2);

diametersSp = d.getLinkDiameter([1 5 10]);
disp(diametersSp);

% similar..
d.getLinkLength
d.getLinkLength(5)

d.getLinkRoughnessCoeff
d.getLinkRoughnessCoeff(3)

d.getLinkMinorLossCoeff
d.getLinkMinorLossCoeff(2)

d.getLinkInitialStatus
d.getLinkInitialStatus(2)

d.getLinkInitialSetting
d.getLinkInitialSetting(2)

d.getLinkBulkReactionCoeff
```

```
d.getLinkBulkReactionCoeff(2)
```

```
d.getLinkWallReactionCoeff  
d.getLinkWallReactionCoeff(2)
```

```
d.getLinkType  
d.getLinkType(13)
```

```
d.getLinkTypeIndex  
d.getLinkTypeIndex(5:d.getLinkCount)
```

%% Εισαγωγή πληροφοριών για αγωγούς

```
d.getLinkDiameter  
d.setLinkDiameter(2*d.getLinkDiameter);  
d.getLinkDiameter  
d.getLinkDiameter(2)  
d.setLinkDiameter(2,200); %index, value  
d.getLinkDiameter(2)
```

```
d.getLinkLength  
d.setLinkLength(2*d.getLinkLength)  
d.getLinkLength  
d.getLinkLength(2)  
d.setLinkLength(2,500)%index, value  
d.getLinkLength(2)
```

```
d.getLinkRoughnessCoeff  
d.setLinkRoughnessCoeff(2*d.getLinkRoughnessCoeff)  
d.getLinkRoughnessCoeff  
d.getLinkRoughnessCoeff(2)  
d.setLinkRoughnessCoeff(2,150)%index, value  
d.getLinkRoughnessCoeff(2)
```

```
d.getLinkMinorLossCoeff  
d.setLinkMinorLossCoeff(d.getLinkMinorLossCoeff+1.1)  
d.getLinkMinorLossCoeff  
d.getLinkMinorLossCoeff(2)  
d.setLinkMinorLossCoeff(2,1.01)%index, value  
d.getLinkMinorLossCoeff(2)
```

```
d.getLinkInitialStatus  
d.setLinkInitialStatus(0*d.getLinkInitialStatus)  
d.getLinkInitialStatus  
d.getLinkInitialStatus(2)  
d.setLinkInitialStatus(2,1)  
d.getLinkInitialStatus(2)
```

```
d.getLinkBulkReactionCoeff  
d.setLinkBulkReactionCoeff(d.getLinkBulkReactionCoeff-0.055)  
d.getLinkBulkReactionCoeff  
d.getLinkBulkReactionCoeff(1)  
d.setLinkBulkReactionCoeff(1,0.2)  
d.getLinkBulkReactionCoeff(1)
```

```
d.getLinkWallReactionCoeff  
d.setLinkWallReactionCoeff(-1.1*d.getLinkWallReactionCoeff)  
d.getLinkWallReactionCoeff  
d.getLinkWallReactionCoeff(2)  
d.setLinkWallReactionCoeff(2,-2)  
d.getLinkWallReactionCoeff(2)
```

Προσομοίωση δικτύου ως προς υδραυλικά χαρακτηριστικά και ποιότητα νερού:

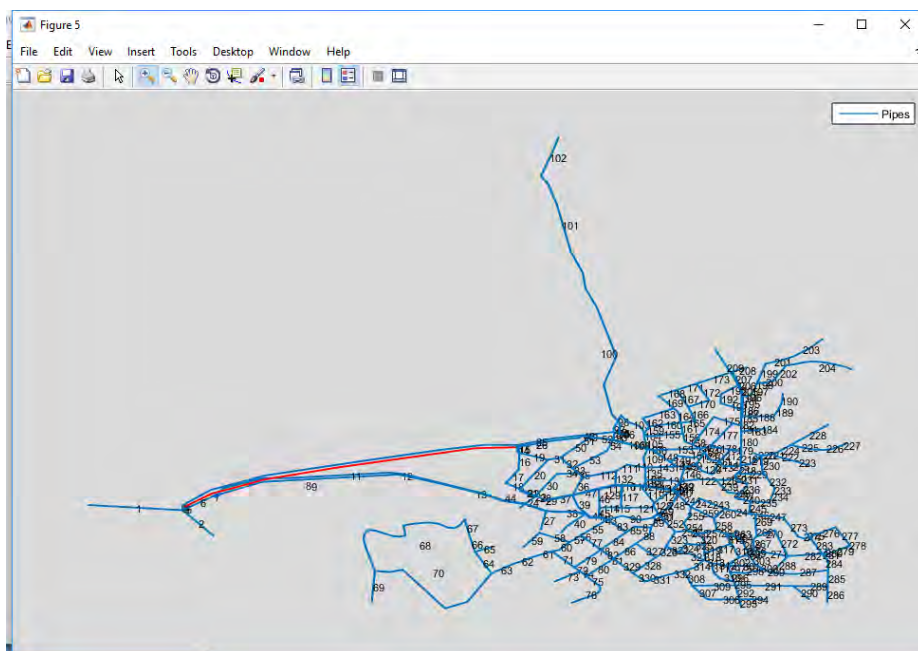
```
%% Simulate all
```

```
HTS=d.getComputedHydraulicTimeSeries % Also are included:  
obj.openHydraulicAnalysis;obj.initializeHydraulicAnalysis;obj.runHydraulicAnalysis;  
obj.nextHydraulicAnalysisStep;obj.closeHydraulicAnalysis;  
QTS=d.getComputedQualityTimeSeries% Also are included:  
obj.openQualityAnalysis;obj.initializeQualityAnalysis;obj.runQualityAnalysis;obj  
.stepQualityAnalysisTimeLeft;obj.closeQualityAnalysis;
```

Παράδειγμα :

```
d.Binplot('nodes','yes','links','yes','highlightnode',{'10','11'},'colornode',{'r','k'},  
'highlightlink',{'10'},'fontsize',8);  
nodeSet1={'10','11','22'};  
nodeSet2={'21','23','31'};  
colorNodeSet1={'r','r','r'};  
colorNodeSet2={'g','g','g'};  
linkSet1={'111','122','121'};  
linkSet2={'110','12','113'};  
colorLinkSet1={'k','k','k'};  
colorLinkSet2={'y','y','y'};  
d.Binplot('nodes','yes','links','yes','highlightnode',[nodeSet1  
nodeSet2],'colornode',[colorNodeSet1 colorNodeSet2],...  
'highlightlink',[linkSet1 linkSet2],'colorlink',[colorLinkSet1 colorLinkSet2])  
d.Binplot('nodes','yes','links','yes','highlightnode',{'10','11'},'highlightlink',  
{'10'},'fontsize',8);  
d.Binplot('nodes','yes','links','yes','highlightnode',{'10','11'},'colornode',{'r','k'},  
'highlightlink',{'10'},'fontsize',8);  
d.Binplot('links','yes','highlightnode',{'10','11'},'colornode',{'r','k'},'highlightlink',  
{'10'},'fontsize',8,'point','no');  
disp('Press any key to continue...')  
pause
```

Χρησιμοποιώντας τις προηγούμενες εντολές μπορούμε να έχουμε κάποιες γραφικές απεικονίσεις του δικτύου όπως η παρακάτω:



Εικόνα 42: Γραφική απεικόνιση δικτύου σε περιβάλλον matlab

6.3 Χρήση γενετικού αλγορίθμου

Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε το Matlab 2016a μαζί με το τελευταίο EPANET-Matlab-Toolkit2 [Kyriakou & Eliades, 2016] που βασίζεται στην έκδοση EPANET 2.1. Δημιουργήθηκαν δύο προσαρμοσμένες λειτουργίες, για να διασταυρωθούν διάφορα σενάρια βελτιστοποίησης για το δίκτυο με διαφορετικούς στόχους. Ο στόχος βελτιστοποίησης ήταν να ελαχιστοποιηθεί η συνάρτηση (z) (που παρουσιάζεται στην παρακάτω εξίσωση (2)) κατά τη διάρκεια μιας περιόδου προσομοίωσης (1 εβδομάδα) της συνεχούς λειτουργίας του δικτύου. Τα αποτελέσματα 24 ωρών (από $t = 0$ έως $t = 24$) παραλείφθηκαν (ο χρόνος που χρειάστηκε το σύστημα για να φτάσει στην ισορροπία του) καθώς οι αρχικές τιμές του δικτύου επηρέασαν τις εξόδους του μοντέλου, οι οποίες έπρεπε να εξισορροπηθούν κατά τη διάρκεια της συνεχούς λειτουργίας του υδραυλικού μοντέλου για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Επομένως, η υπόλοιπη περίοδος προσομοίωσης (δηλ. 6 ημέρες ή $t = 25-168$) ήταν το πραγματικό χρονικό πλαίσιο για τον καθορισμό της βέλτιστης διαδρομής ύδατος προκειμένου ο χρόνος κατακράτησης νερού να ελαχιστοποιηθεί.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η πίεση λειτουργίας σε οποιονδήποτε κόμβο του δικτύου θα πρέπει να διατηρείται πάνω από το κατώφλι της ελληνικής νομοθεσίας (1).

$$P_{min} \geq 200 \text{ KPa} \quad (1)$$

Μια συνήθης συνάρτηση (2) αναπτύχθηκε για να ελαχιστοποιήσει το άθροισμα της ηλικίας του νερού στο δίκτυο σε οποιοδήποτε δεδομένο χρονικό βήμα.

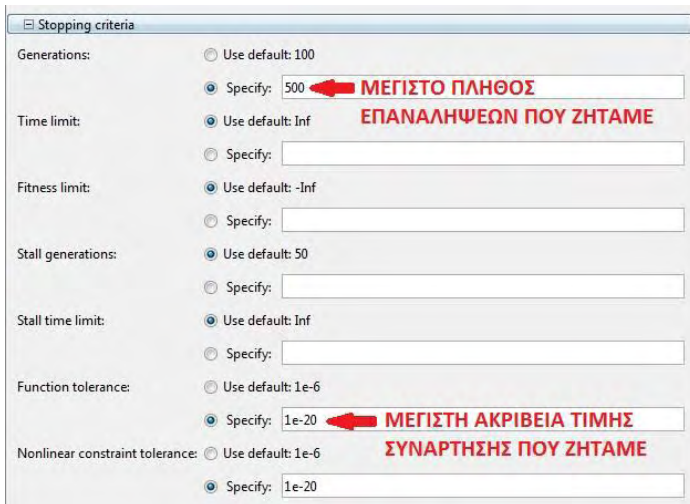
$$z = \max_{25 \leq t \leq 168} \left(\sum_{i=1}^N \text{Age}_i | t \right) \quad (2)$$

Όπου i είναι κόμβος στο δίκτυο, t είναι το χρονικό βήμα της ανάλυσης ποιότητας [hrs], Age είναι η ηλικία του νερού [hrs], N είναι ο μέγιστος αριθμός κόμβων στο δίκτυο.

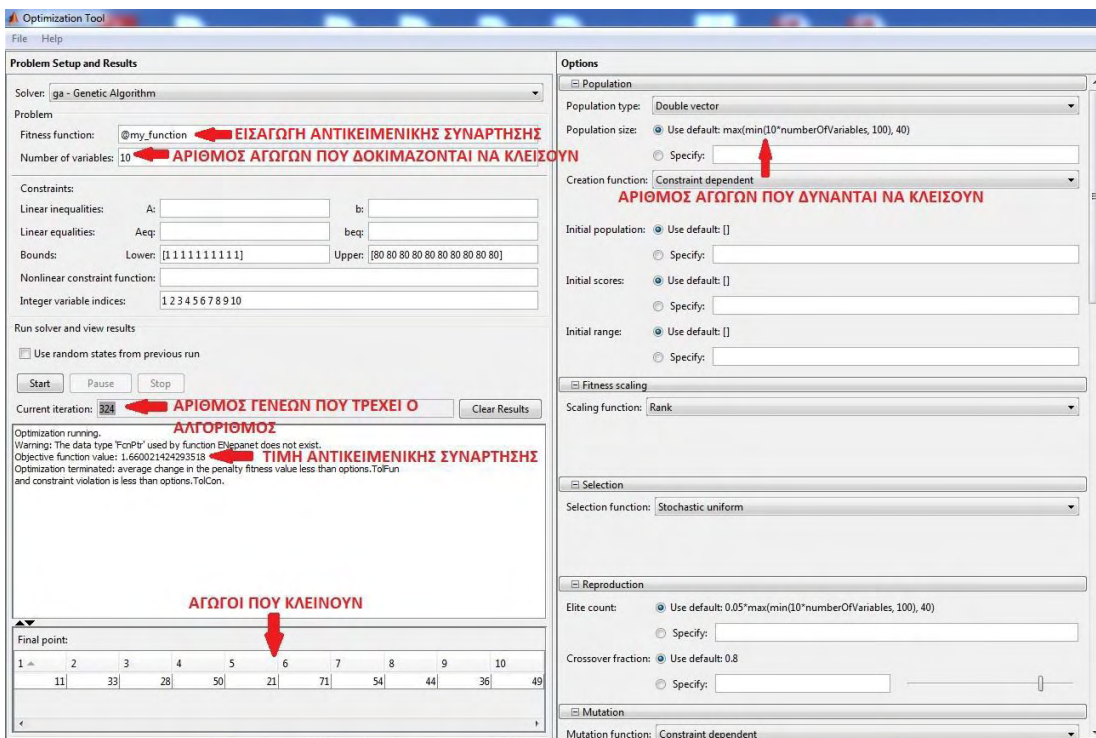
Για να μπορέσει να υλοποιηθεί η ζητούμενη βελτιστοποίηση απαιτείται η γνώση του τρόπου λειτουργίας του αλγόριθμου. Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται τα δεδομένα που εισάγονται στο εργαλείο του αλγόριθμου και με κόκκινα γράμματα περιγράφονται, ώστε να υπάρξει πλήρης κατανόηση.

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.

Διπλωματική Εργασία: Βελτιστοποίηση ποιότητας και πίεσης νερού σε δίκτυο ύδρευσης με χρήση γενετικού αλγορίθμου και διαμόρφωση υδραυλικά απομονωμένων υποζωνών (DMAs) – Η περίπτωση της Αιανής



Εικόνα 43 : Εργαλείο γενετικού αλγόριθμου. Καθοδήγηση τοποθέτησης απαραίτητων δεδομένων για το τρέξιμο της συνάρτησης που έχουμε δημιουργήσει. Πηγή : Παναγιώτα Κορκανά Διπλωματική εργασία «Βελτιστοποίηση διαμόρφωσης στεγανών περιοχών (dmAs) σε δίκτυα ύδρευσης με χρήση γενετικών αλγορίθμων»



Εικόνα 44: Εργαλείο γενετικού αλγόριθμου. Καθοδήγηση τοποθέτησης απαραίτητων δεδομένων για το τρέξιμο της συνάρτησης που έχουμε δημιουργήσει. Πηγή : Παναγιώτα Κορκανά Διπλωματική εργασία «Βελτιστοποίηση διαμόρφωσης στεγανών περιοχών (dmAs) σε δίκτυα ύδρευσης με χρήση γενετικών αλγορίθμων»

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 επιλεχθεί αυτή, που προσομοιώνει καλύτερα το συγκεκριμένο πρόβλημα (έχει τα καλύτερα αποτελέσματα).

6.4 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης στο δίκτυο της Αιανής

Στο περιβάλλον του εργαλείου βελτιστοποίησης του matlab δοκιμάστηκαν οι εξής περιπτώσεις για να εξαχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα:

- Να κλείνουν 4 αγωγοί
- Να κλείνουν 6 αγωγοί
- Να κλείνουν 8 αγωγοί
- Να κλείνουν 10 αγωγοί
- Να κλείνουν 12 αγωγοί
- Να κλείνουν 14 αγωγοί
- Να κλείνουν 16 αγωγοί
- Να κλείνουν 18 αγωγοί

Βάσει του αλγορίθμου βρέθηκε ο συνδυασμός των εκάστοτε αγωγών για τους οποίους το δίκτυο παρουσιάζει την καλύτερη ηλικία. Ο αλγόριθμος κάνει αρκετές επαναλήψεις (δημιουργεί πολλές γενιές) και απαιτείται αρκετός χρόνος για να γίνουν επαναλήψεις για όλες τις περιπτώσεις. Βασική προϋπόθεση στην βελτιστοποίηση ήταν η πίεση του δικτύου να μην πέφτει κάτω από την πρότυπη οδηγία που έχει δοθεί από τις εταιρίες ύδρευσης. Για τον λόγο αυτό οι περιπτώσεις με 16 και 18 αγωγούς κλειστούς αποκλείστηκαν, διότι η πίεση του δικτύου έπεφτε χαμηλότερα από την ελάχιστη επιτρεπτή.

```
for 4 break 15 best 11662:
121.0 96.0 143.0 198.0

for 6 break 15 best 11609:
218.0 121.0 155.0 215.0 139.0 221.0

for 8 break 15 best 11651:
213.0 255.0 242.0 150.0 127.0 111.0 68.0 121.0

for 10 break 15 best 11696:
114.0 255.0 238.0 222.0 216.0 96.0 121.0 243.0 132.0 214.0

for 12 break 15 best 11726:
160.0 215.0 28.0 68.0 48.0 134.0 154.0 150.0 238.0 207.0 107.0 96.0

for 14 break 15 best 11760:
229.0 193.0 165.0 227.0 48.0 185.0 240.0 132.0 58.0 155.0 160.0 224.0 211.0
249.0

for 16 and 18 pressure was lower than boundary constraint:
51 5200 5e+07 5e+07 50
EPANET loaded successfully.
Optimization terminated: average change in the penalty fitness value less than options.FunctionTolerance
and constraint violation is less than options.ConstraintTolerance.
```

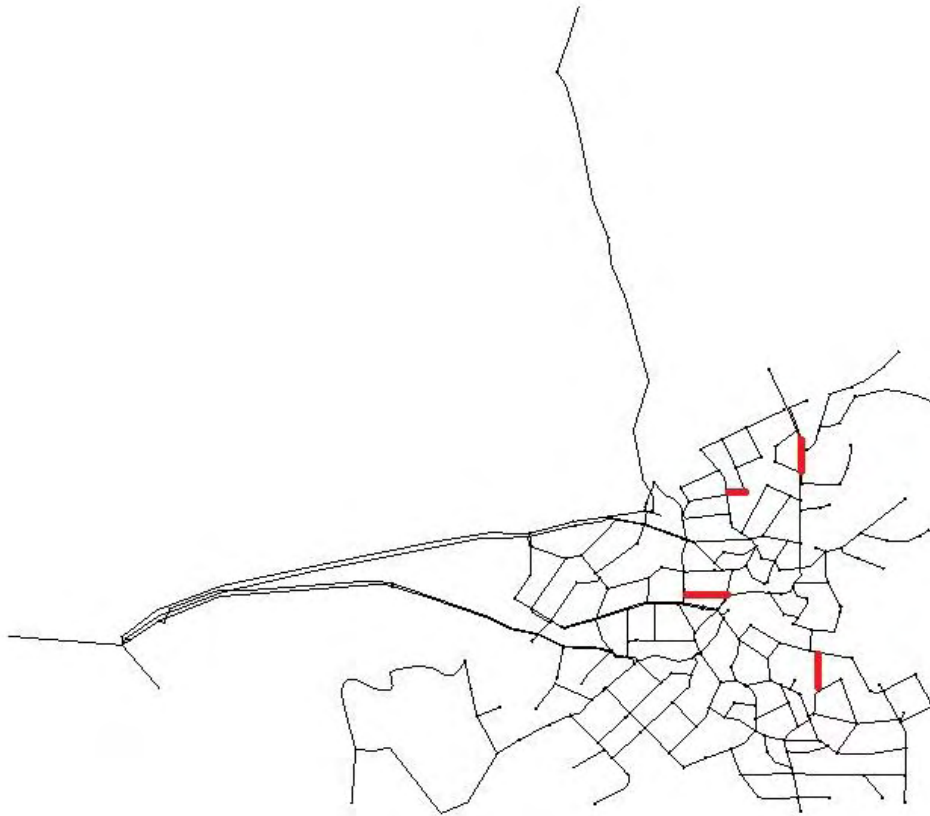
Εικόνα 45: Αποτελέσματα αγωγών που πρέπει να κλείσουν βάσει της βελτιστοποίησης

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, ανατρέξαμε στο δίκτυο και βρήκαμε το πραγματικό ID των αγωγών που πρέπει να κλείσουν για το κάθε σενάριο.

Οπότε, στη συνέχεια θα διερευνηθεί η μεταβολή ηλικίας του νερού στο δίκτυο για κάθε ένα σενάριο, η μεταβολή της πίεσης του δικτύου και θα γίνει σύγκριση με το αρχικό δίκτυο.

6.4.1 Σενάριο για 4 αγωγούς κλειστούς

ID αγωγών που έκλεισαν: 194,165,137,269

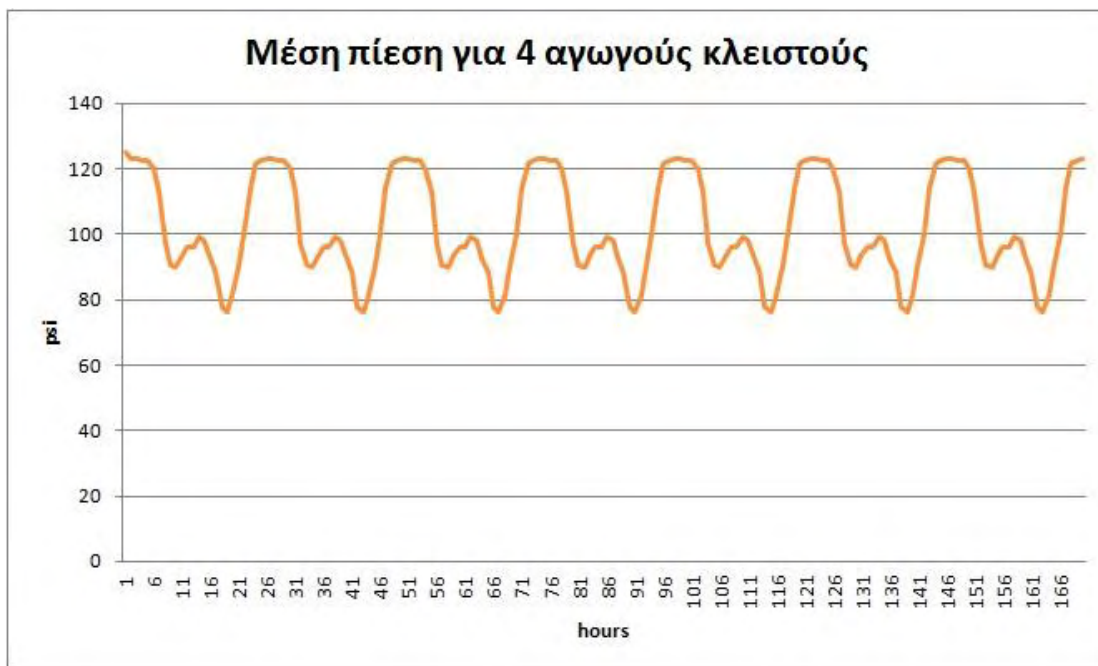


Εικόνα 46: Σενάριο με 4 αγωγούς κλειστούς

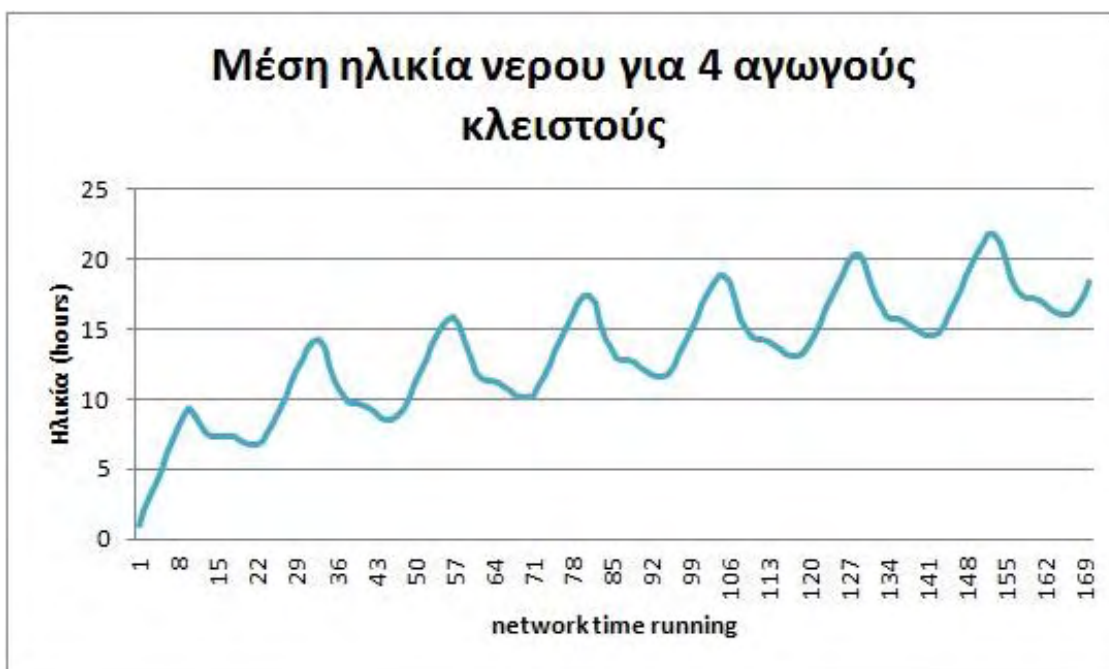
Πίνακας 9 : Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία , κρίσιμος κόμβος ως προς την ηλικία για σενάριο με 4 κλειστούς αγωγούς.

Σενάριο με 4 κλειστούς αγωγούς					
Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία			Κρίσιμος κόμβος ως προς την πίεση		
<u>69</u> - Base - Age (Calculated) (hours)	max age (hours)	average age (hours)	<u>59</u> - Base - Pressure (psi)	min pressure (psi)	average pressure (psi)
	52,579	42,05590643		32	56,0705882

Κλείνοντας τους 4 αγωγούς εξάχθηκαν κάποια αποτελέσματα για την μέση ηλικία του νερό στο δίκτυο και την μέση πίεση.



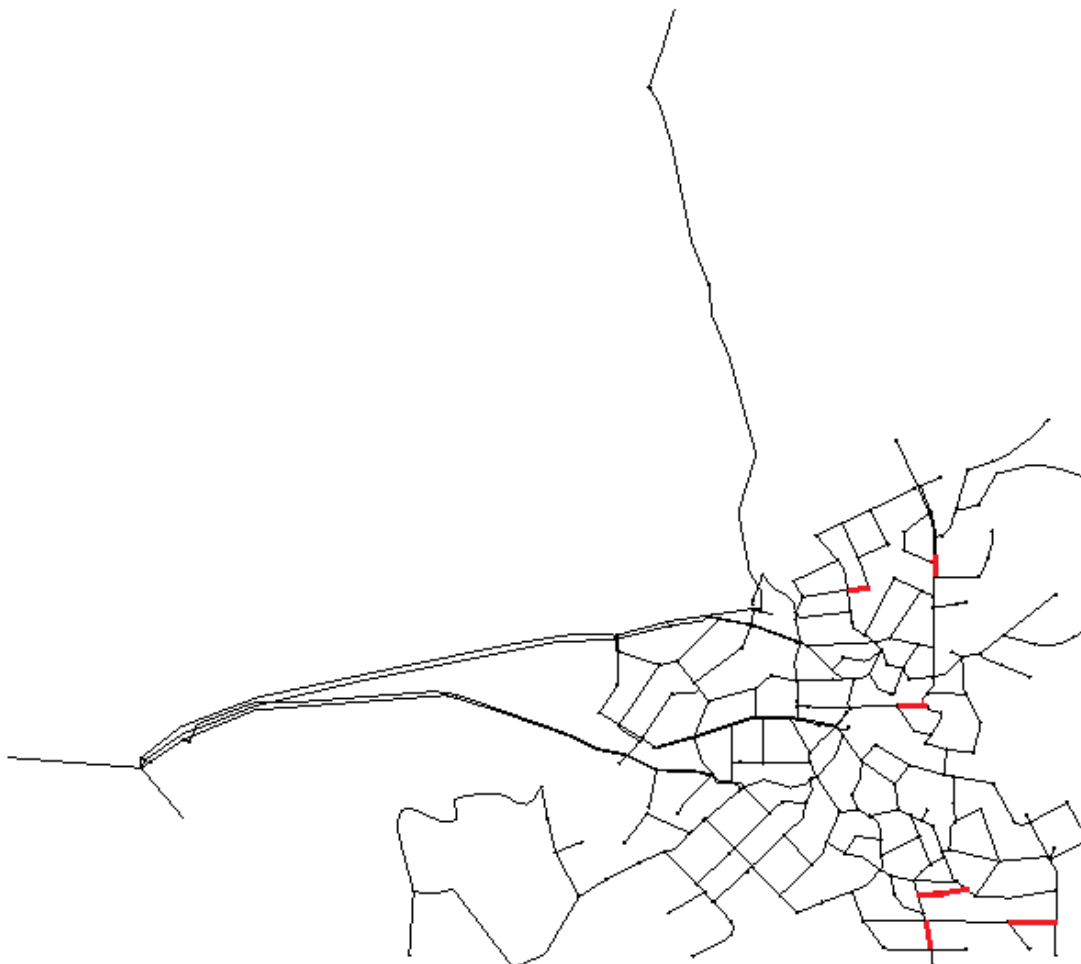
Γράφημα 14: Μέση πίεση δικτύου για 4 αγωγούς κλειστούς



Γράφημα 15: Μέση ηλικία νερού για 4 αγωγούς κλειστούς.

6.4.2 Σενάριο για 6 αγωγούς κλειστούς

ID αγωγών που έκλεισαν: 150,186,165,298,292,289

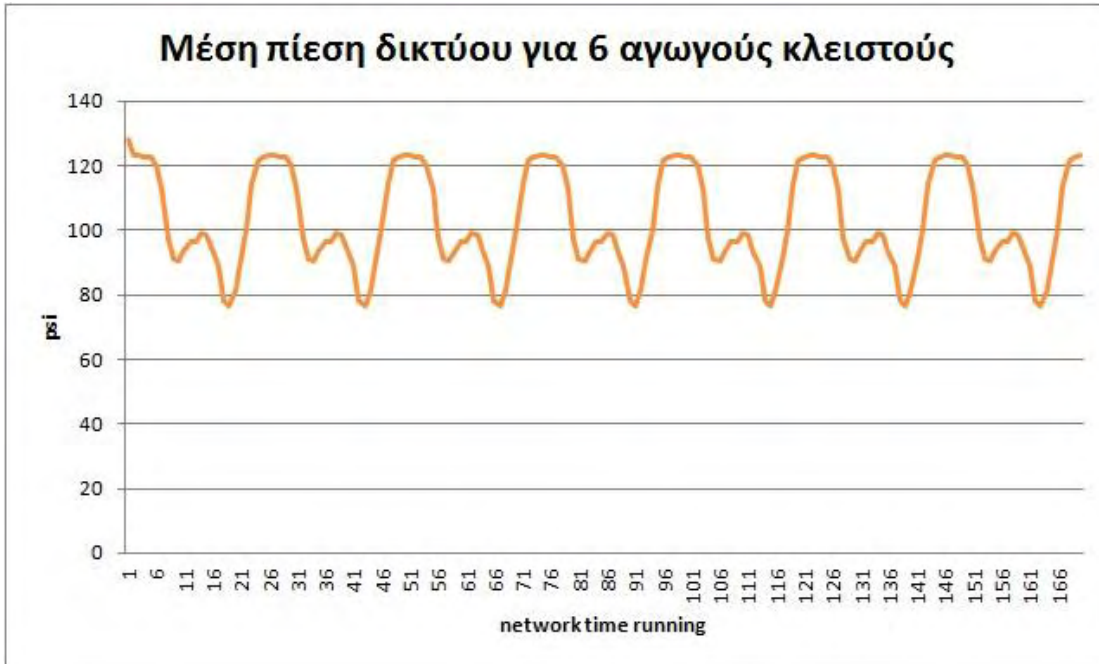


Εικόνα 47: Σενάριο με 6 αγωγούς κλειστούς

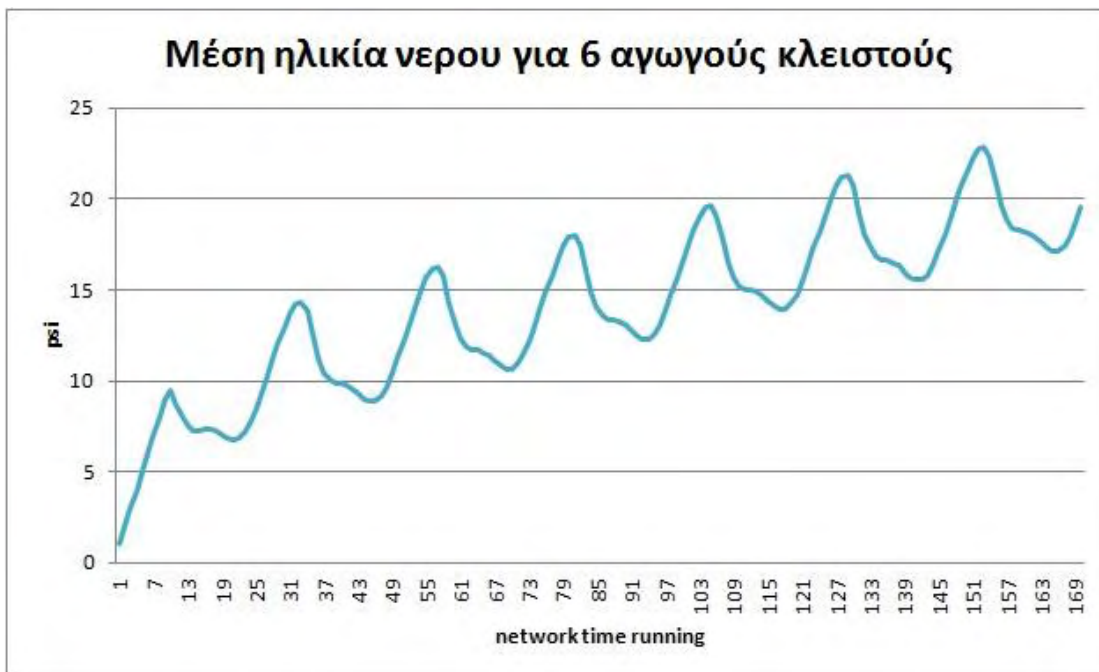
Πίνακας 10: Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία , κρίσιμος κόμβος ως προς την ηλικία για σενάριο με 6 κλειστούς αγωγούς.

Σενάριο με 6 κλειστούς αγωγούς					
Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία			Κρίσιμος κόμβος ως προς την πίεση		
255 - Base - Age (Calculated) (hours)	max age (hours)	average age (hours)	59 - Base - Pressure (psi)	min pressure (psi)	average pressure (psi)
	70,309	50,24240936		32	56,1941176

Κλείνοντας τους 6 αγωγούς εξάχθηκαν κάποια αποτελέσματα για την μέση ηλικία του νερό στο δίκτυο και την μέση πίεση.



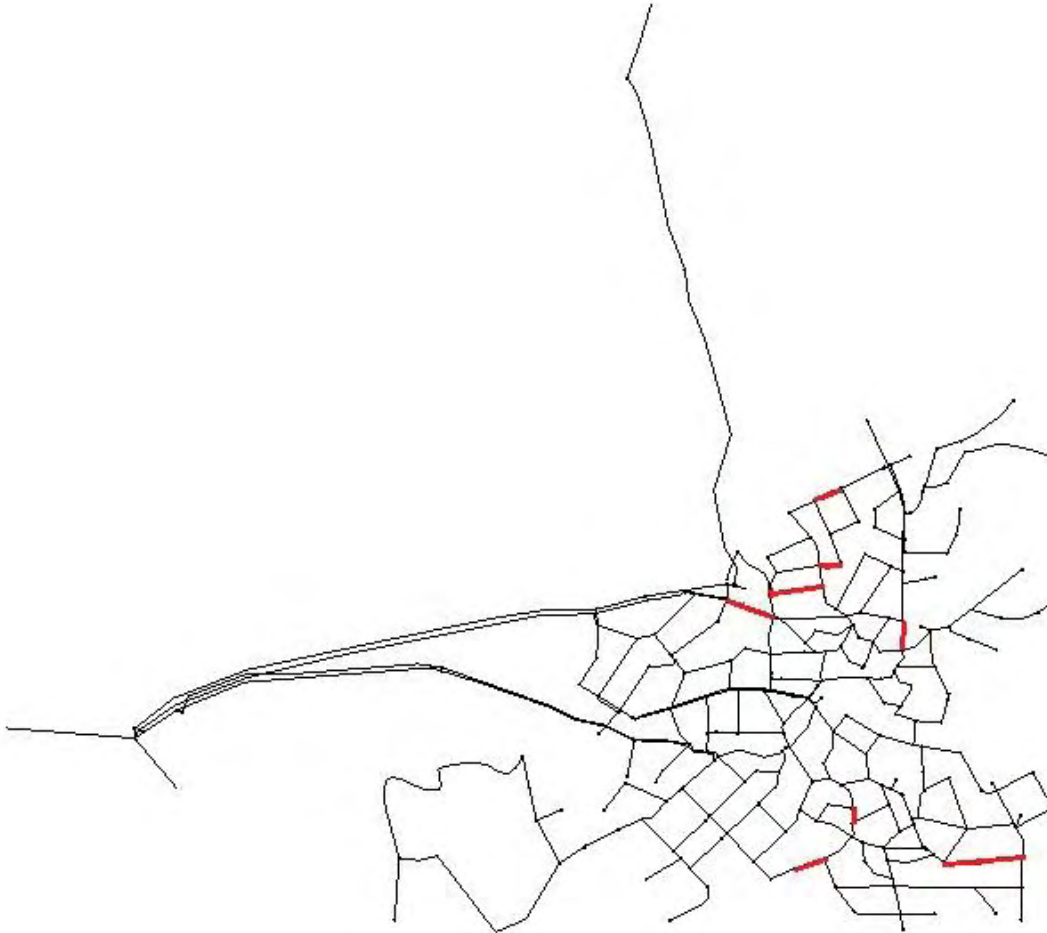
Γράφημα 16: Μέση πίεση δικτύου για 6 αγωγούς κλειστούς



Γράφημα 17: Μέση ηλικία νερού για 6 κλειστούς αγωγούς

6.4.3 Σενάριο για 8 κλειστούς αγωγούς

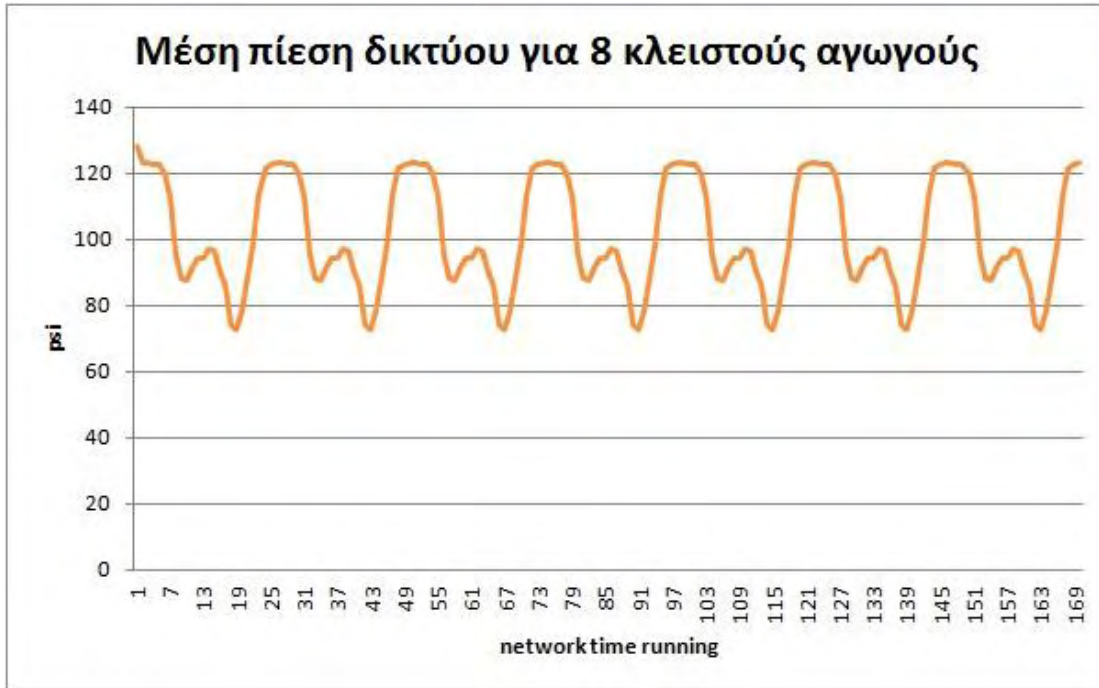
ID αγωγών που έκλεισαν: 216,171,165,155,106,332,319,287



Εικόνα 48: Σενάριο με 8 κλειστούς αγωγούς

Πίνακας 11: Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία , κρίσιμος κόμβος ως προς την ηλικία για σενάριο με 8 κλειστούς αγωγούς.

Σενάριο με 8 κλειστούς αγωγούς					
Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία			Κρίσιμος κόμβος ως προς την πίεση		
69 - Base - Age (Calculated) (hours)	max age (hours)	average age (hours)	59 - Base - Pressure (psi)	min pressure (psi)	average pressure (psi)
	52,794	42,20457895		34	57,0176471



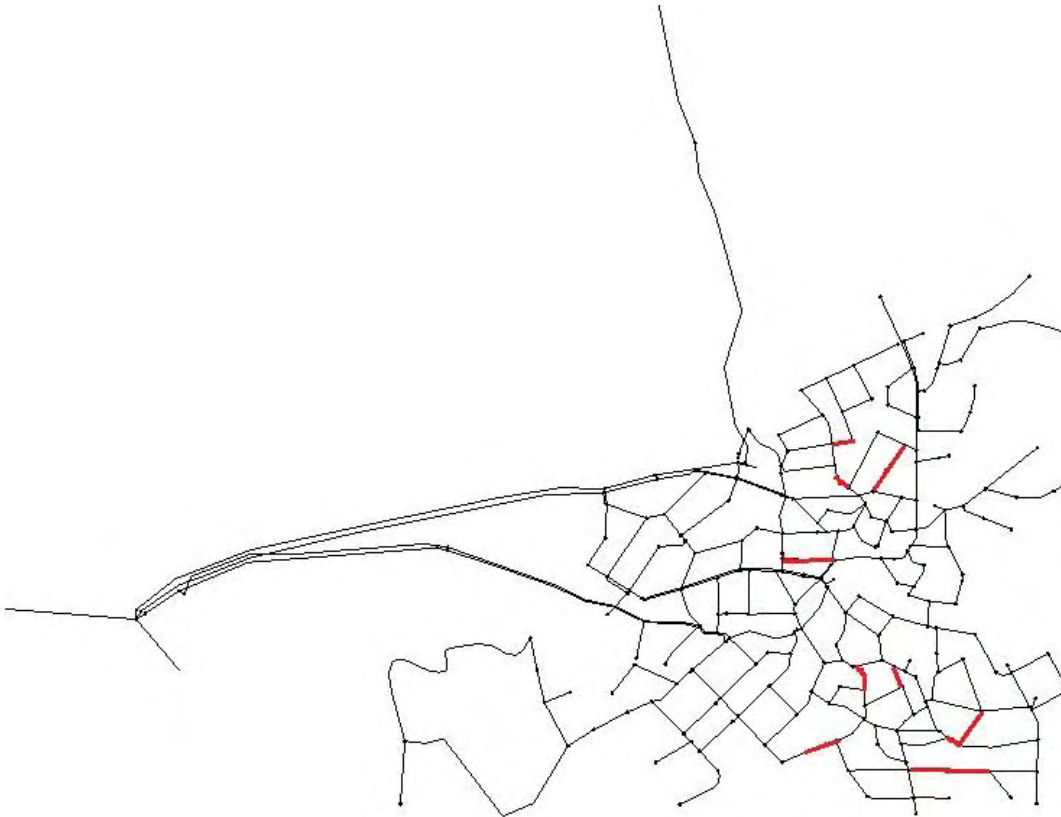
Γράφημα 18: Μέση πίεση δικτύου για 8 κλειστούς αγωγούς



Γράφημα 19: Μέση ηλικία νερού για 8 κλειστούς αγωγούς

6.4.4 Σενάριο με 10 κλειστούς αγωγούς

ID αγωγών που έκλεισαν: 177,165,158,137,332,320,315,299,291,288



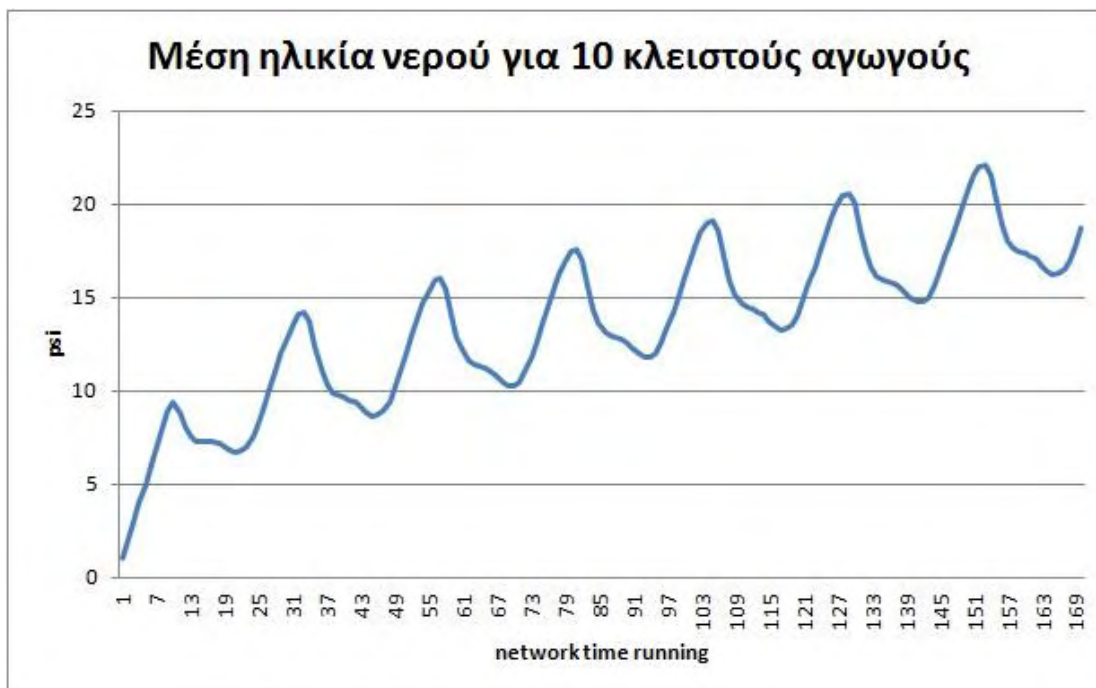
Εικόνα 49: Σενάριο με 10 αγωγούς κλειστούς

Πίνακας 12: Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία , κρίσιμος κόμβος ως προς την ηλικία για σενάριο με 10 κλειστούς αγωγούς.

Σενάριο με 10 κλειστούς αγωγούς					
Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία			Κρίσιμος κόμβος ως προς την πίεση		
69 - Base - Age (Calculated) (hours)	max age (hours)	average age (hours)	59 - Base - Pressure (psi)	min pressure (psi)	average pressure (psi)
	52,699	42,13887135		34	56,8647059



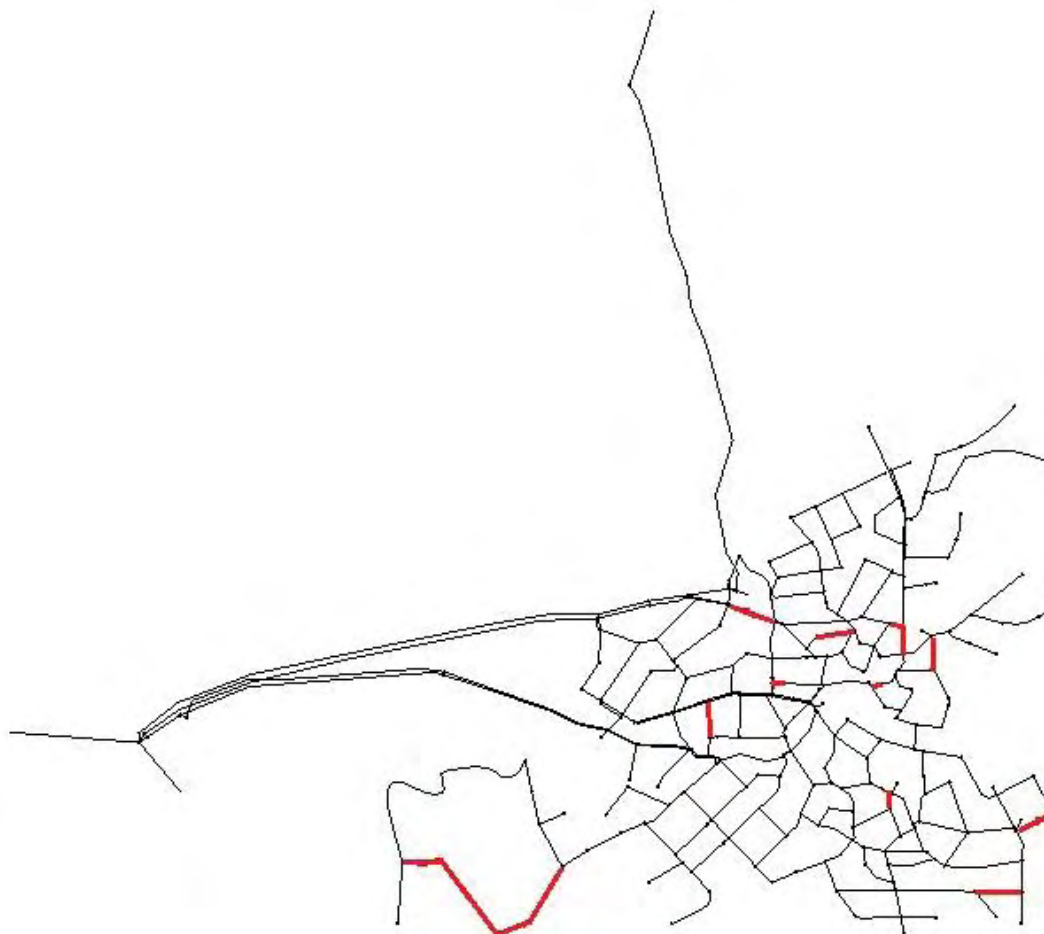
Γράφημα 20: Μέση πίεση δικτύου για 10 κλειστούς αγωγούς



Γράφημα 21: Μέση ηλικία νερού για 10 κλειστούς αγωγούς

6.4.5 Σενάριο με 12 κλειστούς αγωγούς

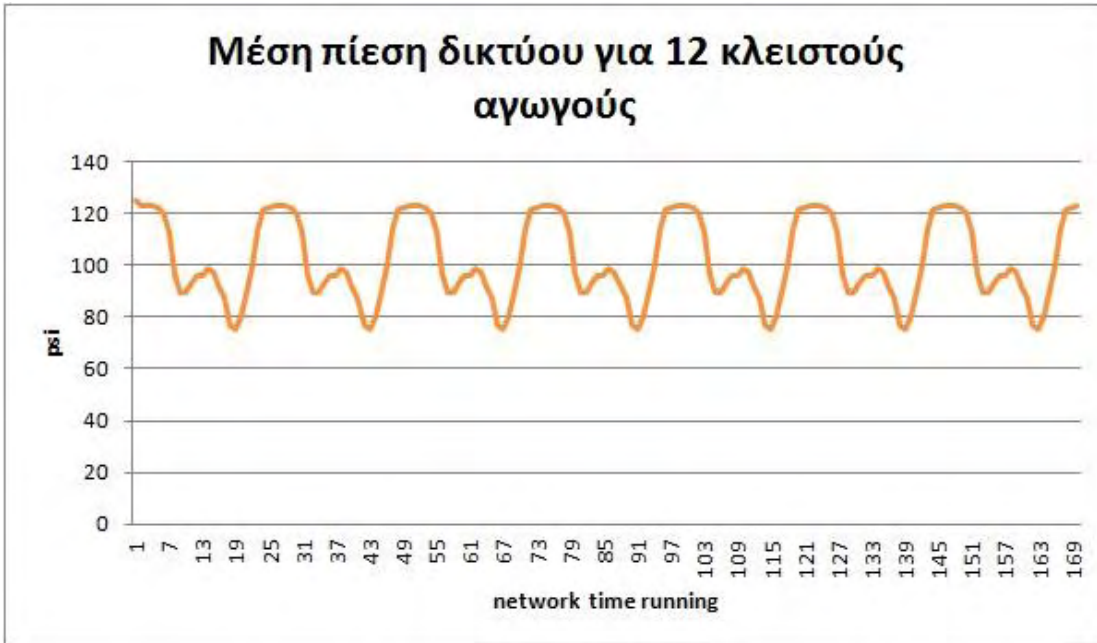
ID αγωγών που κλείνουν: 230,123,216,179,151,137,106,70,46,315,289,279



Εικόνα 50: Σενάριο με 12 κλειστούς αγωγούς

Πίνακας 13: Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία , κρίσιμος κόμβος ως προς την ηλικία για σενάριο με 12 κλειστούς αγωγούς.

Σενάριο με 12 κλειστούς αγωγούς					
Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία			Κρίσιμος κόμβος ως προς την πίεση		
203 - Base - Age (Calculated) (hours)	max age (hours)	average age (hours)	59 - Base - Pressure (psi)	min pressure (psi)	average pressure (psi)
	42,673	35,04070588		32	56,0705882



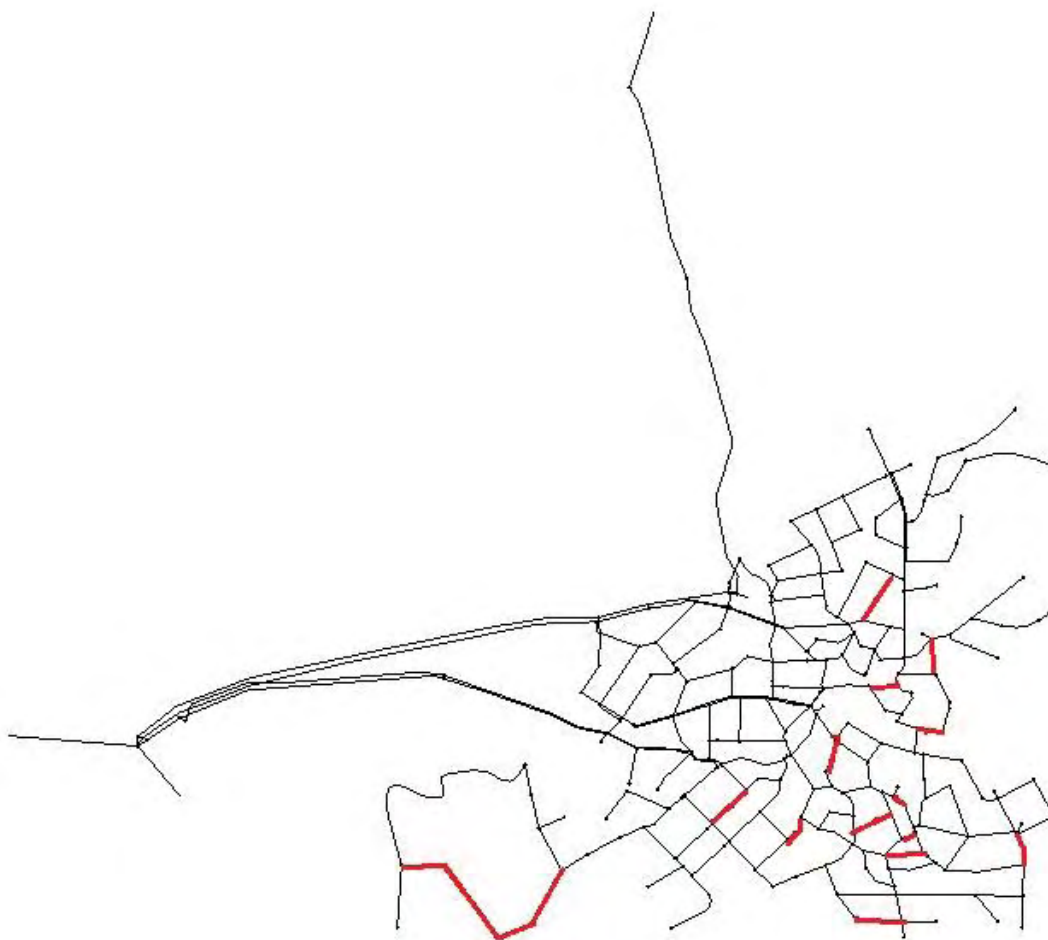
Γράφημα 22: Μέση πίεση δικτύου για 12 κλειστούς αγωγούς



Γράφημα 23: Μέση ηλικία νερού για 12 κλειστούς αγωγούς

6.4.6 Σενάριο με 14 αγωγούς κλειστούς

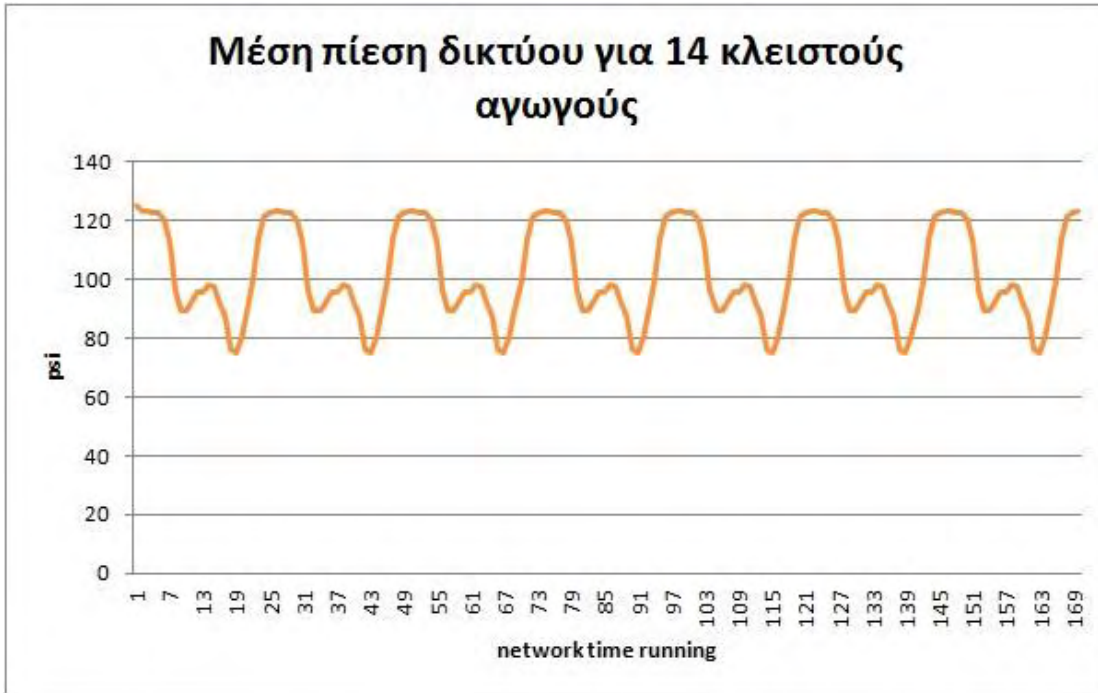
ID κλειστών αγωγών: 235,230,150,177,84,70,326,317,306,304,301,284,264,255



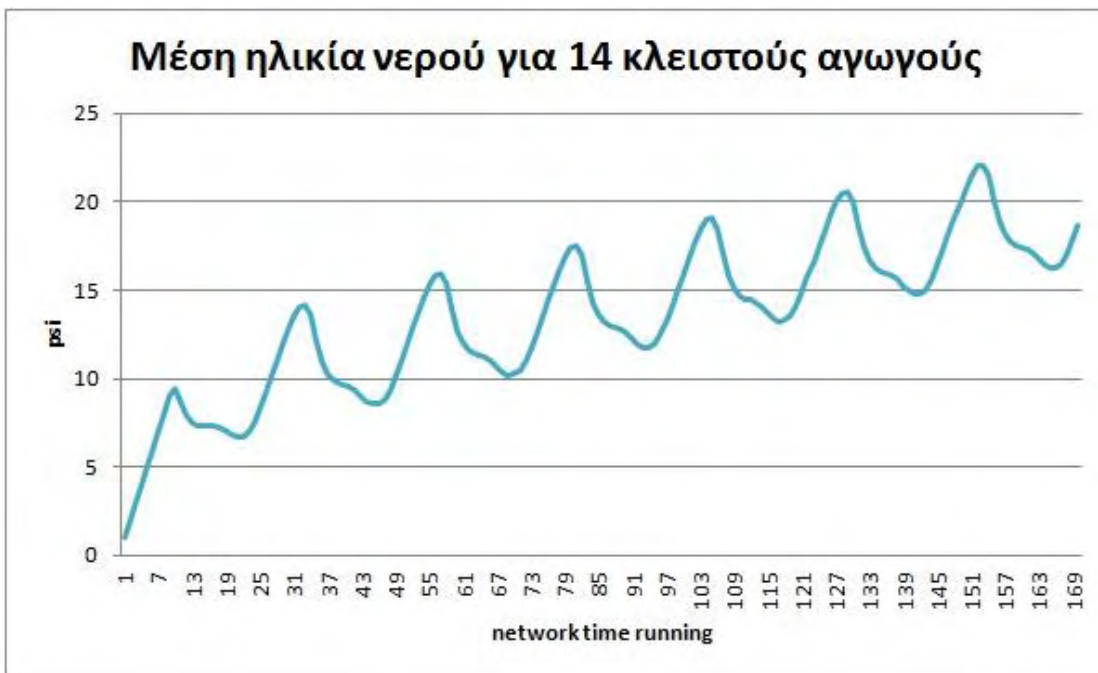
Εικόνα 51 : Σενάριο με 14 κλειστούς αγωγούς

Πίνακας 14: Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία , κρίσιμος κόμβος ως προς την ηλικία για σενάριο με 14 κλειστούς αγωγούς.

Σενάριο με 14 κλειστούς αγωγούς					
Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία			Κρίσιμος κόμβος ως προς την πίεση		
289 - Base - Age (Calculated) (hours)	max age (hours)	average age (hours)	59 - Base - Pressure (psi)	min pressure (psi)	average pressure (psi)
	61,883	47,35669006		34	56,6470588



Γράφημα 24: Μέση πίεση δικτύου για 14 κλειστούς αγωγούς



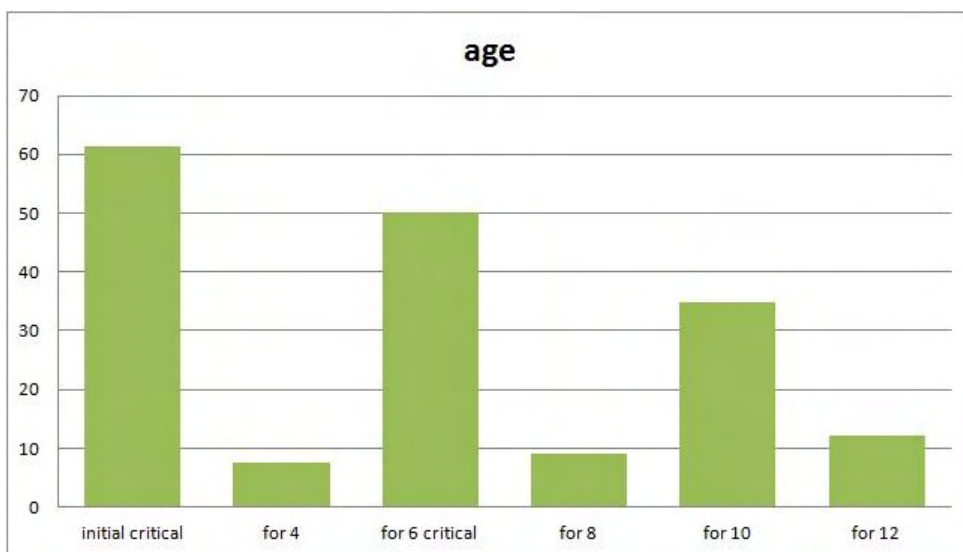
Γράφημα 25: Μέση ηλικία νερού για 14 κλειστούς αγωγούς

6.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης

Στις παραπάνω παραγράφους παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της ηλικίας νερού και της πίεσης του δικτύου της Αιανής για κάθε ένα από τα σενάρια κλειστών αγωγών, όπως αυτοί προέκυψαν από τη βελτιστοποίηση. Αυτά θα συγκριθούν με την ηλικία και την πίεση του αρχικού δικτύου της Αιανής τόσο για να διερευνηθούν τυχόν μεταβολές, όσο και για βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός κλειστών αγωγών.

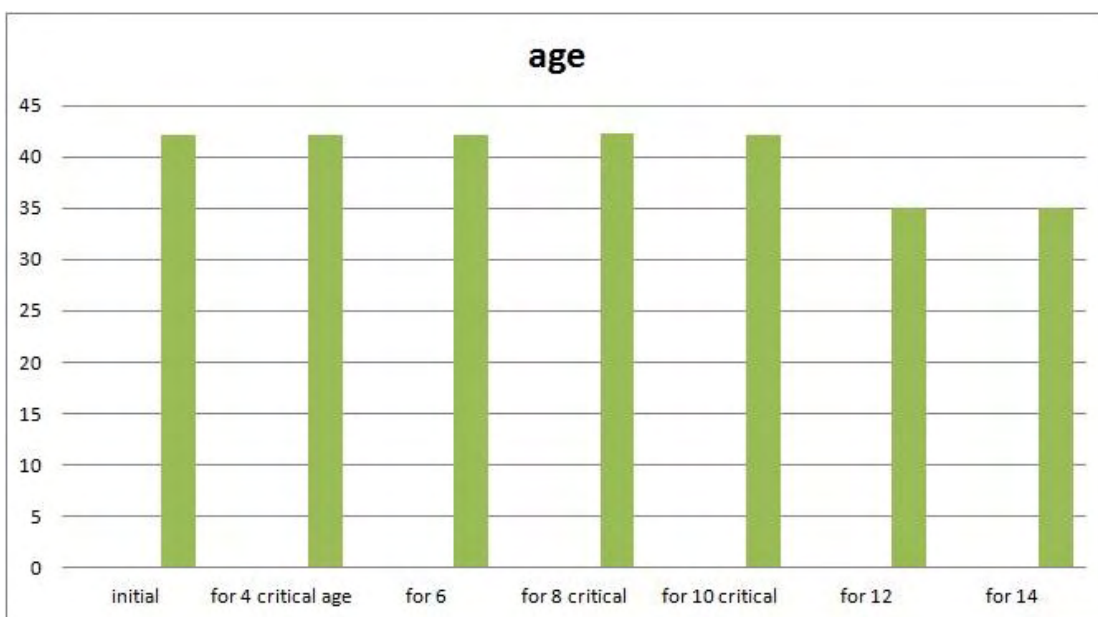
Στα παρακάτω γραφήματα θα συγκριθούν οι κρίσιμοι κόμβοι ως προς την πίεση και οι κρίσιμοι αγωγοί ως προς την ηλικία :

Ο αγωγός με id: 255 είναι κρίσιμος ως προς την ηλικία του νερού και για το αρχικό δίκτυο και για το σενάριο με 6 κλειστούς αγωγούς.



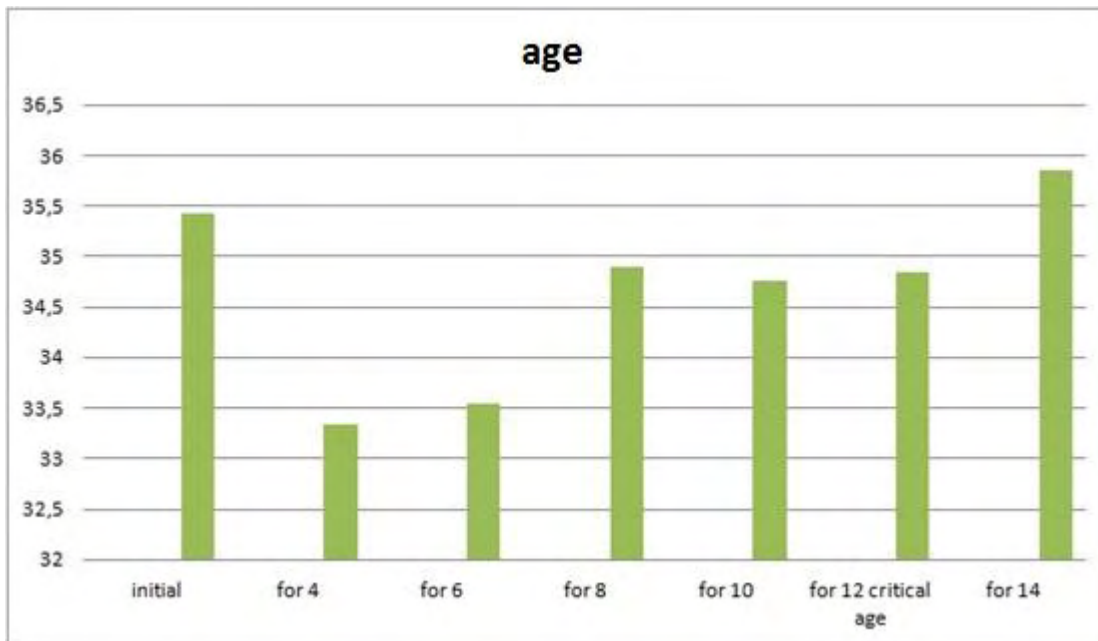
Γράφημα 26: Κρίσιμος αγωγός αρχικού δικτύου Αιανής και σεναρίου με 6 κλειστούς αγωγούς

Ο αγωγός με id: 69 είναι ο κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία του νερού για τα σενάρια με 4,6,10 κλειστούς αγωγούς αντίστοιχα.



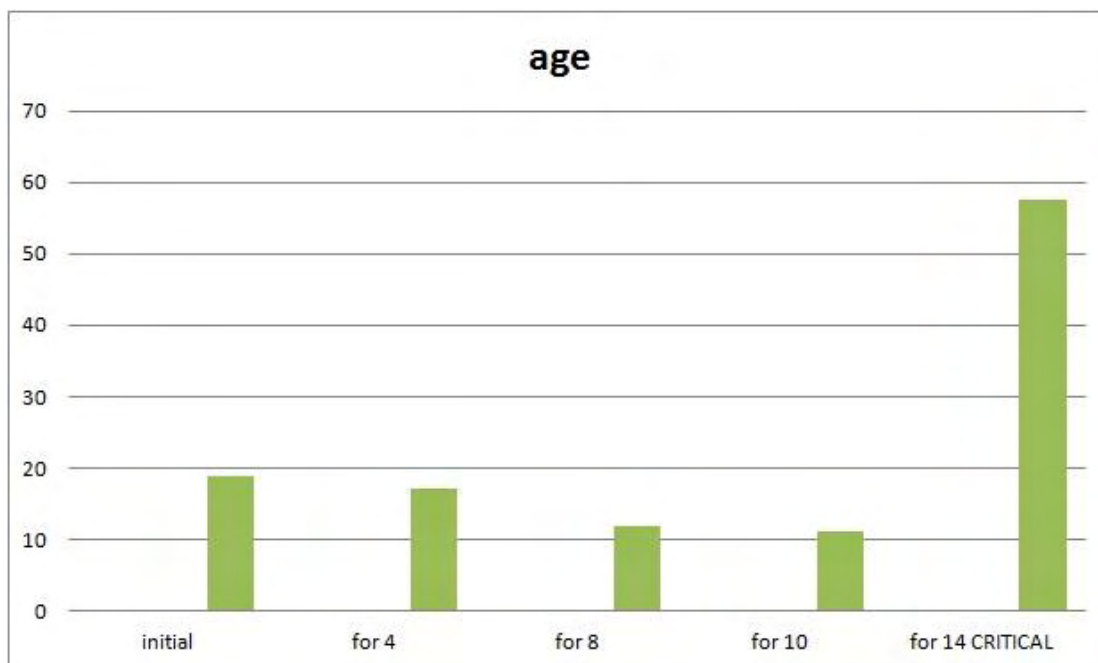
Γράφημα 27: Κρίσιμοι αγωγοί για σενάρια με 4,8 και 10 κλειστούς αγωγούς αντίστοιχα.

Ο αγωγός με id: 203 είναι ο κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία του νερού για το σενάριο με 12 κλειστούς αγωγούς.



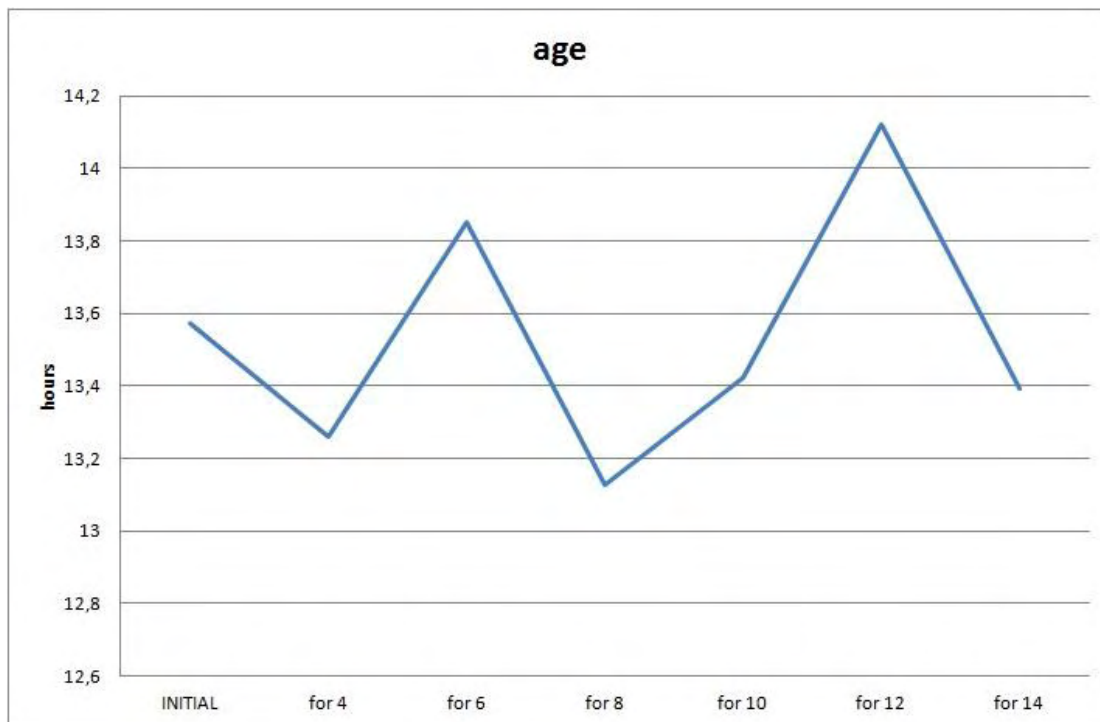
Γράφημα 28: Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία για σενάριο με 12 κλειστούς αγωγούς

Ο αγωγός με id: 289 είναι ο κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία νερού για το σενάριο με 14 κλειστούς αγωγούς.

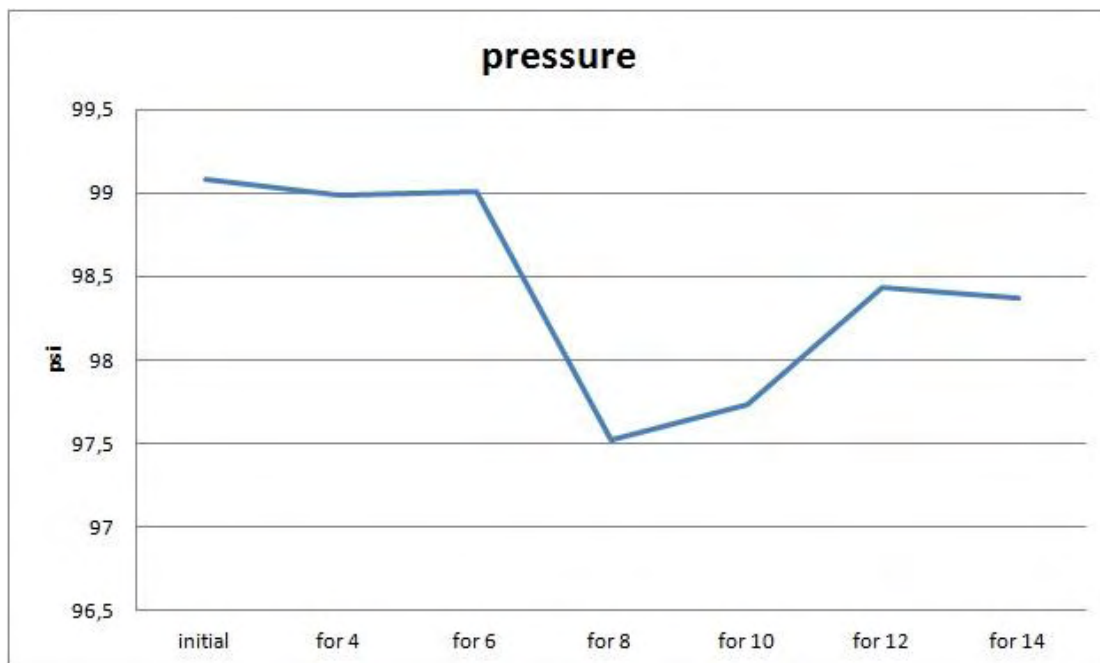


Γράφημα 29: Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία νερού για σενάριο με 14 κλειστούς αγωγούς

Στα παρακάτω γραφήματα φαίνεται πιο από τα σενάρια είναι το βέλτιστο ως προς την ηλικία νερού και ως προς την πίεση:



Γράφημα 30: Σύγκριση μέσων όρων ηλικίας νερού κάθε σεναρίου με το αρχικό.



Γράφημα 31: Σύγκριση μέσου όρου πίεσης δικτύου για κάθε σενάριο με το αρχικό.

Από τα παραπάνω γραφήματα συμπεραίνουμε πως το σενάριο με τους 8 κλειστούς αγωγούς στο δίκτυο της Αιανής μας δίνει καλύτερα αποτελέσματα ως προς την ηλικία του νερού και ως προς την πίεση.

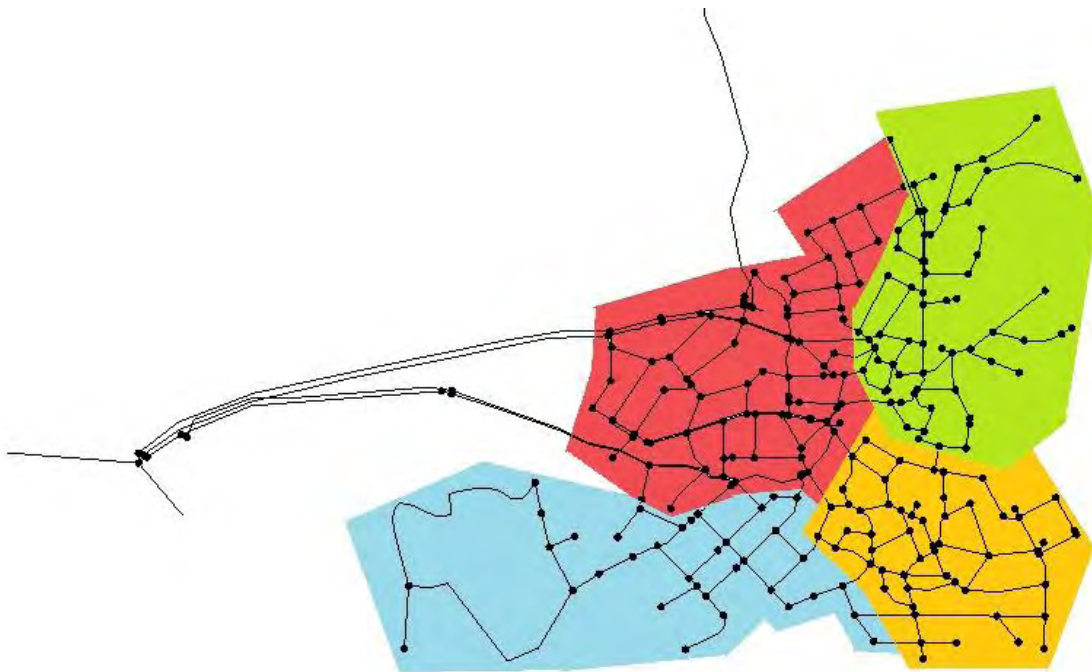
Κεφάλαιο 7: Χωρισμός δικτύου σε DMAs

7.1 Σενάρια χωρισμού του δικτύου σε DMAs

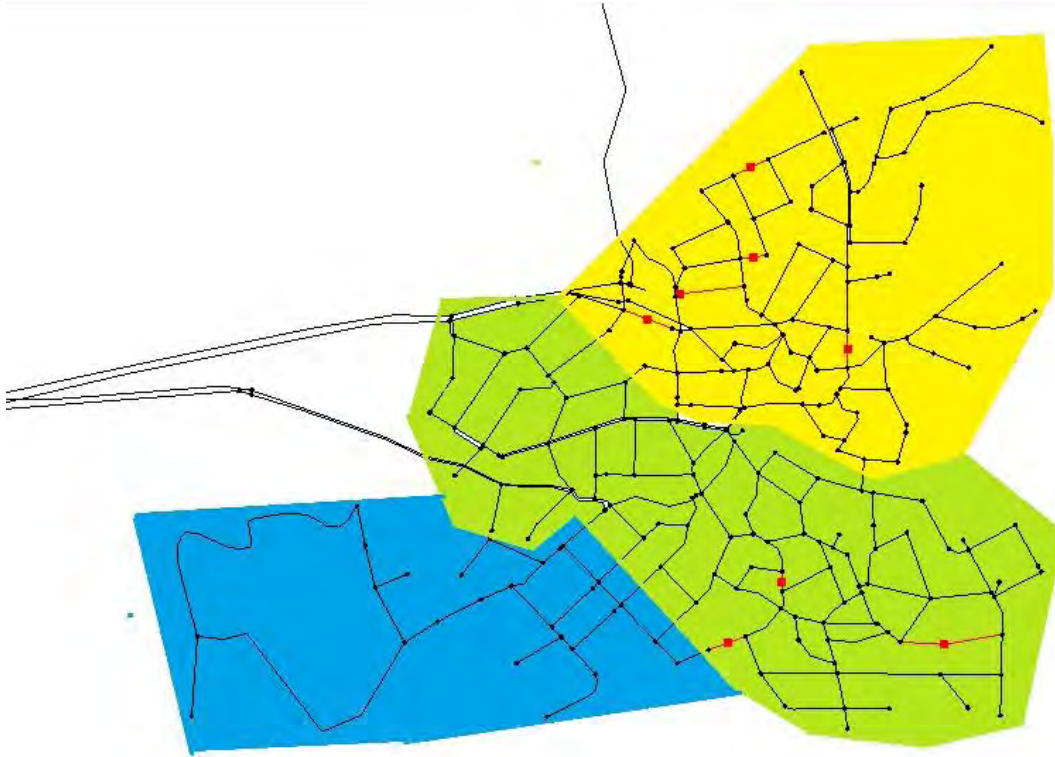
Η πρώτη προσπάθεια χωρισμού του δικτύου έγινε βάσει των σεναρίων κλειστών αγωγών από την διαδικασία της βελτιστοποίησης. Λόγω της περίεργης μορφολογίας του δικτύου ο διαχωρισμός σε DMAs που προέκυπτε δεν ήταν αποδοτικός. Το δίκτυο χωρίστηκε σε υποζώνες εμπειρικά. Για τον χωρισμό του δικτύου σε υδραυλικά απομονωμένες περιοχές, δημιουργήσαμε τρία διαφορετικά σενάρια. Τα σενάρια είναι τα εξής:

- Δημιουργία τεσσάρων DMAs
- Δημιουργία τριών DMAs
- Δημιουργία δύο DMAs

Οι DMAs που δημιουργήθηκαν φαίνονται στις παρακάτω εικόνες:



Εικόνα 52: Σενάριο τεσσάρων DMAs



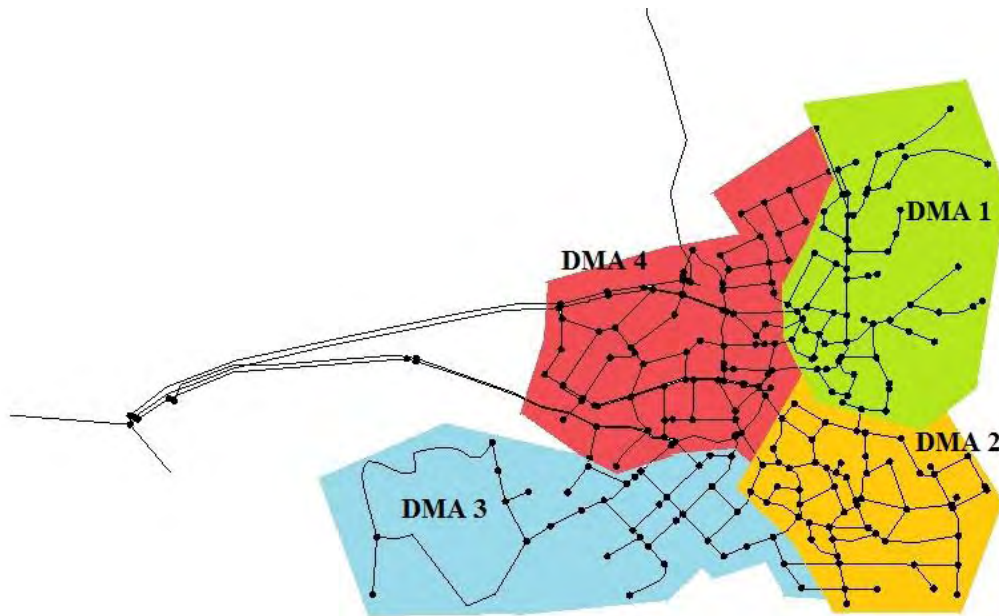
Εικόνα 53: Σενάριο τριών DMAs



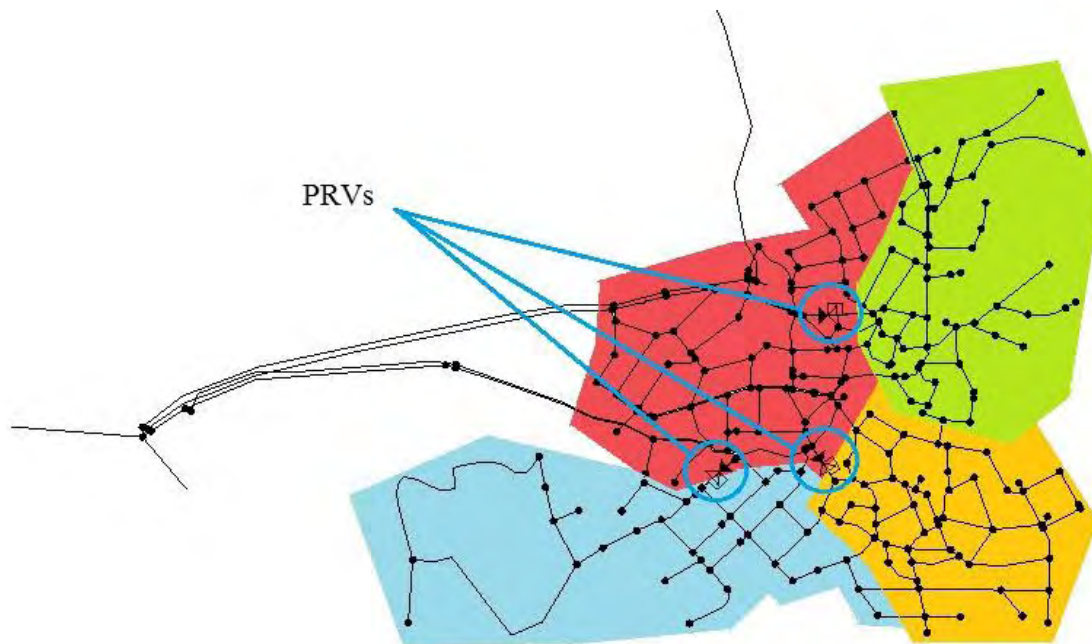
Εικόνα 54: Σενάριο δύο DMAs

Τα σενάρια με τις τρεις και τις δύο DMAs δεν θα ληφθούν υπόψιν ως βελτιωμένες περιπτώσεις του δικτύου. Και στα δυο σενάρια οι επεμβάσεις που γίνονται στο δίκτυο αλλοιώνουν την αντικειμενικότητα του μοντέλου ως προς την πραγματικότητα. Θα εξεταστεί το πρώτο σενάριο με των τεσσάρων υποζωνών το οποίο και θα συγκριθεί με τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης .

7.2 Διερεύνηση ποιότητας νερού ως προς την ηλικία και ως προς την πίεση για το σενάριο των τεσσάρων DMAs



Εικόνα 55: Αρίθμηση DMAs

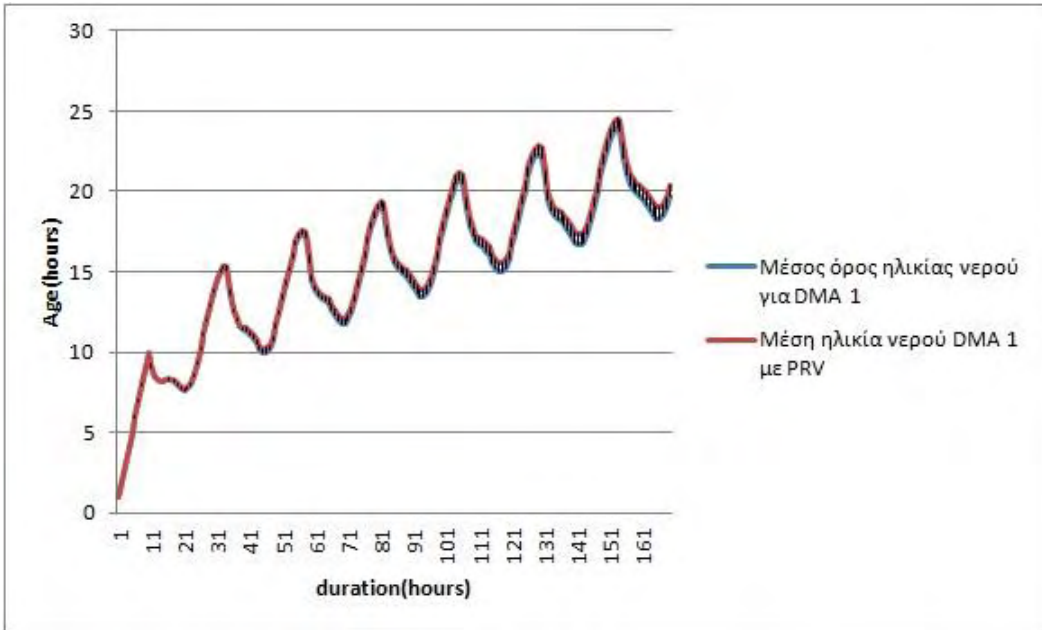


Εικόνα 56: Σημεία τοποθέτησης των PRVs

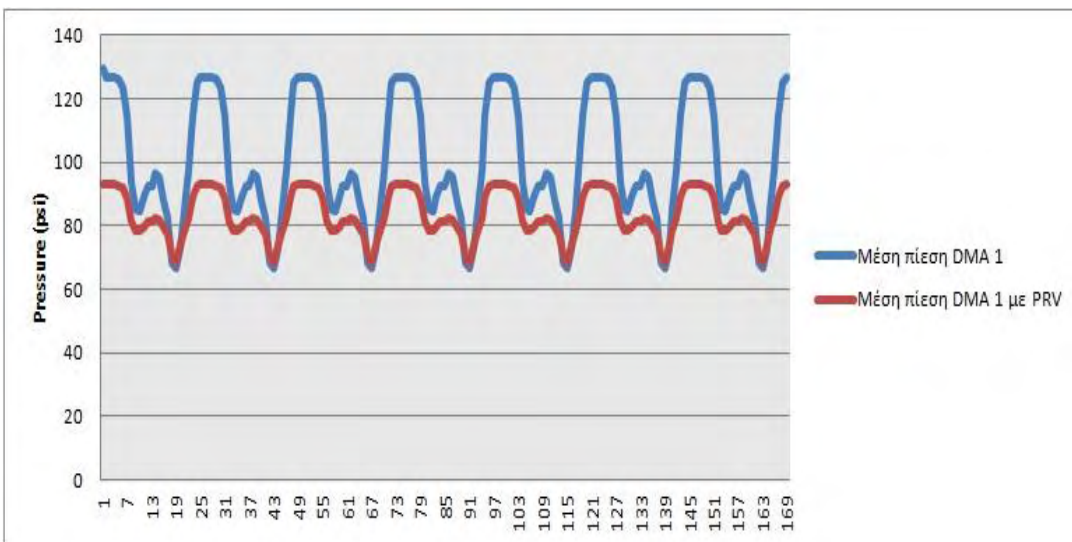
Για το συγκεκριμένο σενάριο μελετήθηκε η ποιότητα του νερού ως προς την ηλικία και την πίεση για κάθε DMA ξεχωριστά για τις περιπτώσεις:

- DMAs χωρίς PRVs
- DMAs με PRVs

Τα αποτελέσματα των δυο περιπτώσεων παρουσιάζονται στα παρακάτω γραφήματα.

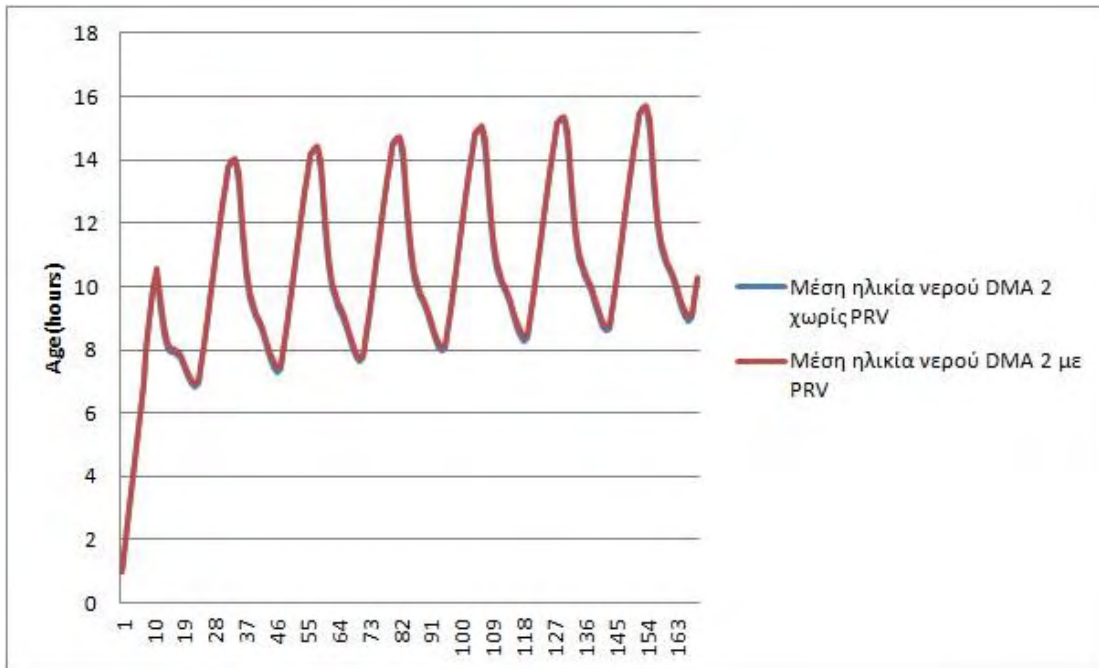


Γράφημα 32: Μέσος όρος ηλικίας νερού για DMA 1

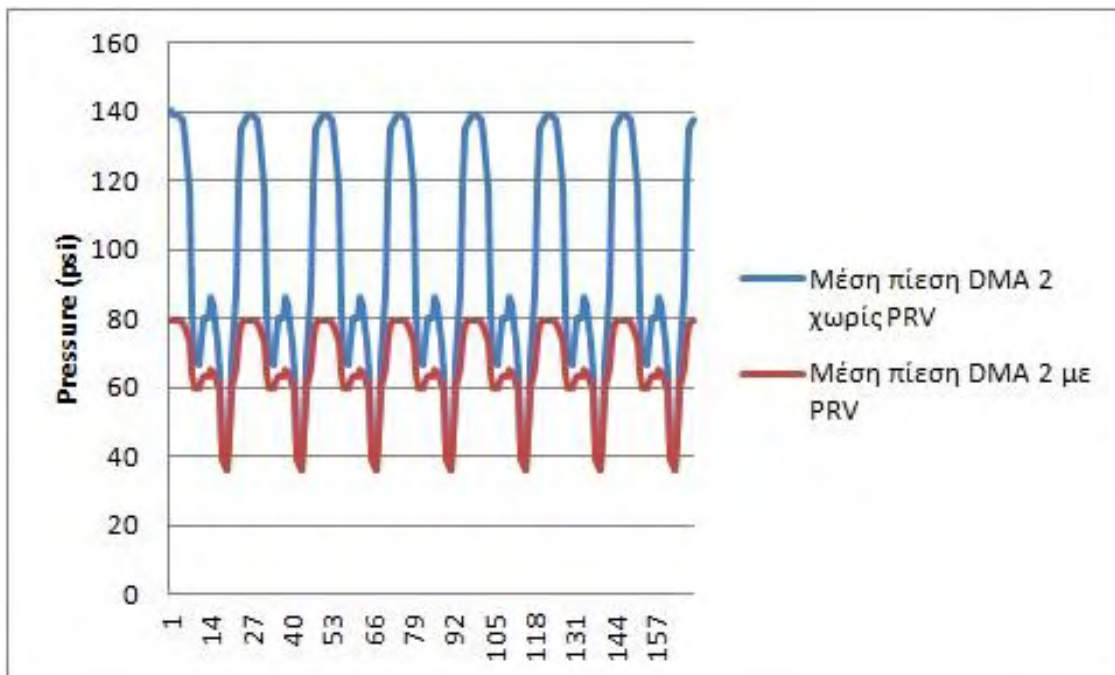


Γράφημα 33: Μέση πίεση για DMA 1

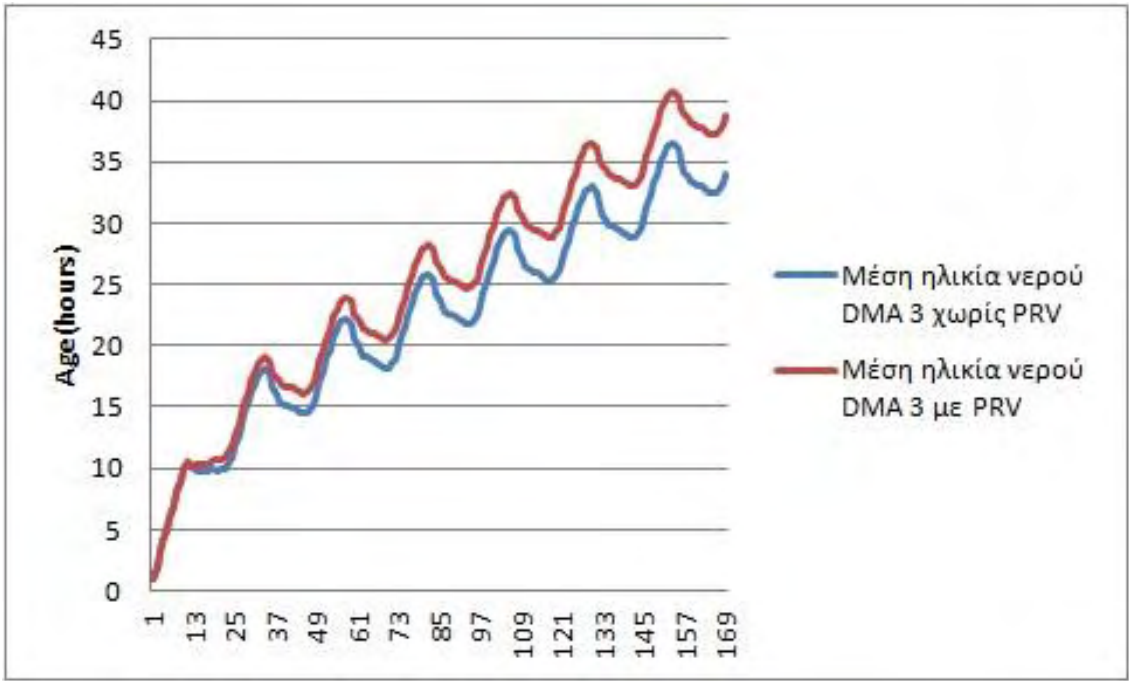
Η πίεση στην DMA 1 με την χρήση των PRVs μειώνεται σημαντικά ενώ η ηλικία του νερού αυξάνεται ελάχιστα.



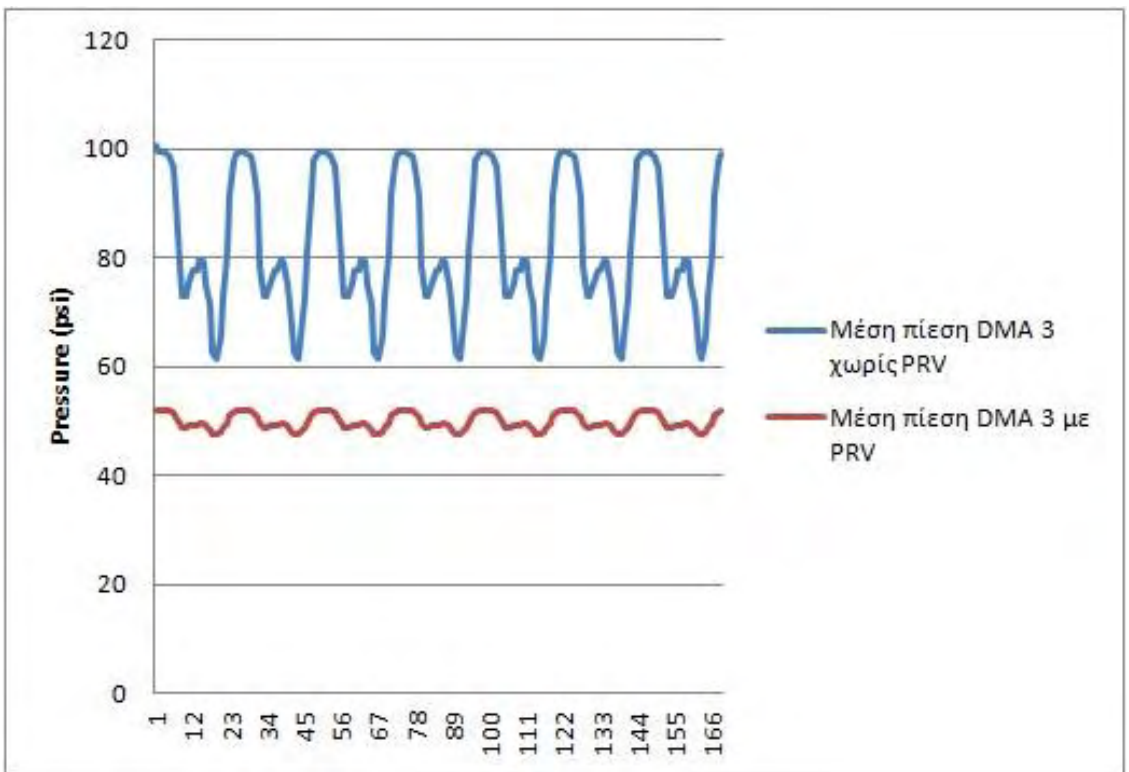
Γράφημα 34: Μέση ηλικία νερού για DMA 2



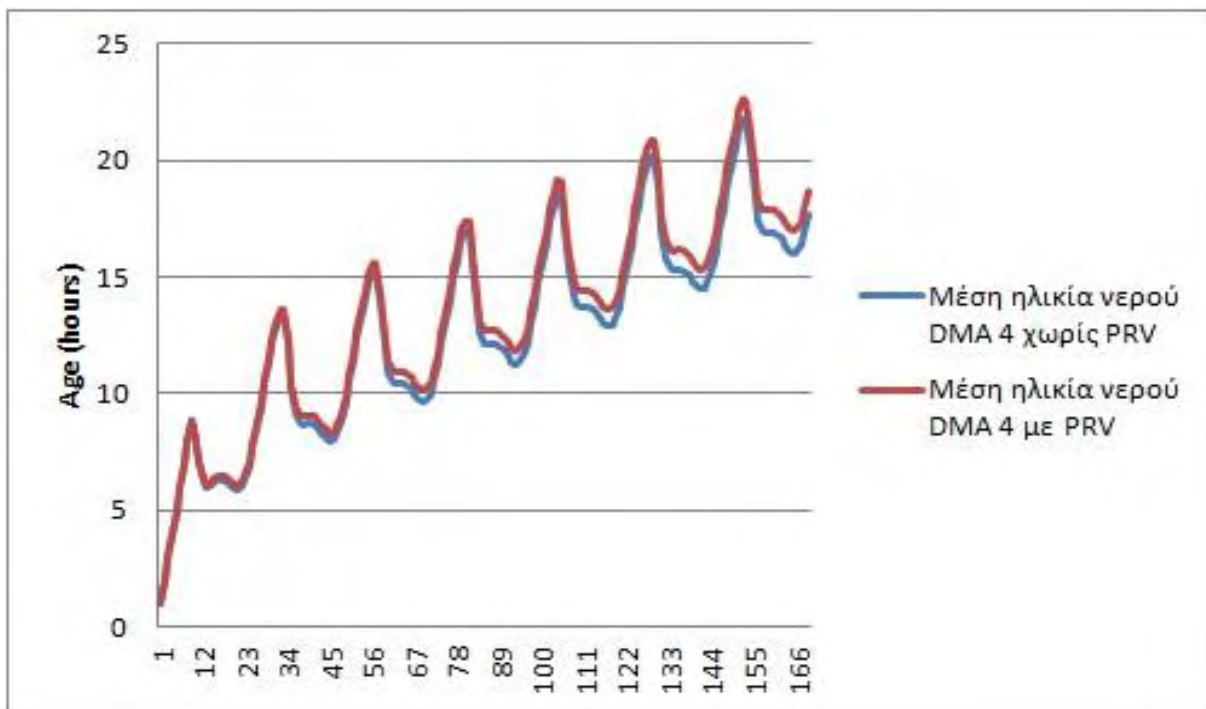
Γράφημα 35: Μέση πίεση για DMA 2



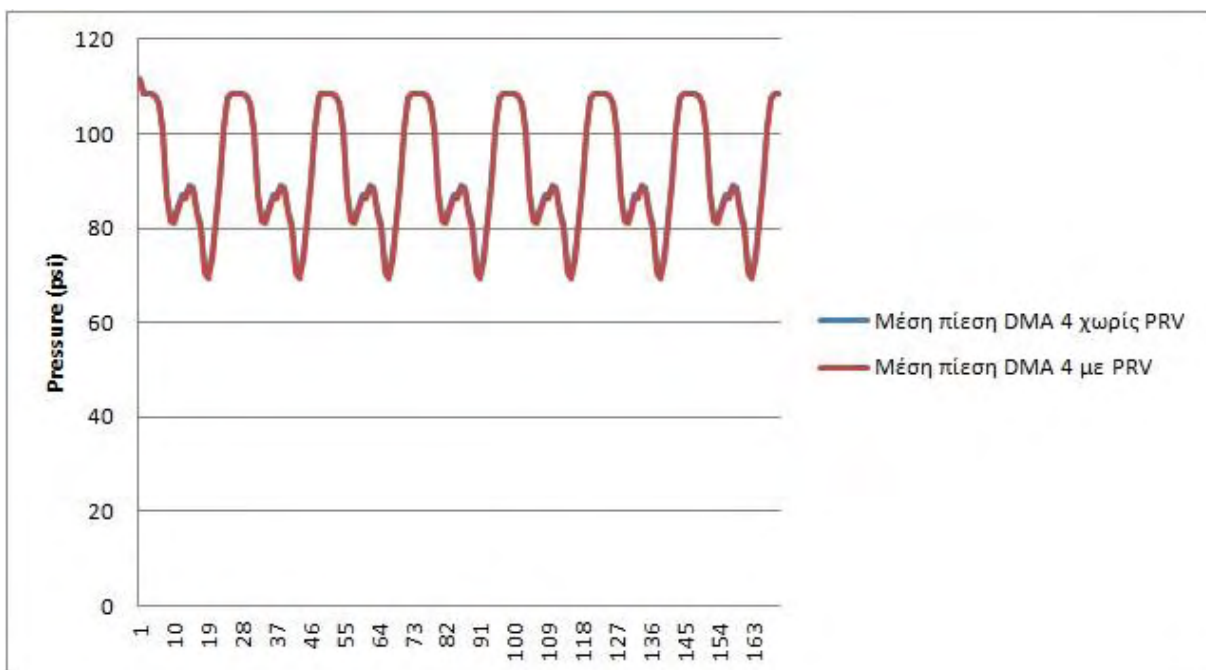
Γράφημα 36: Μέση ηλικία νερού για DMA 3



Γράφημα 37: Μέση πίεση για DMA 3

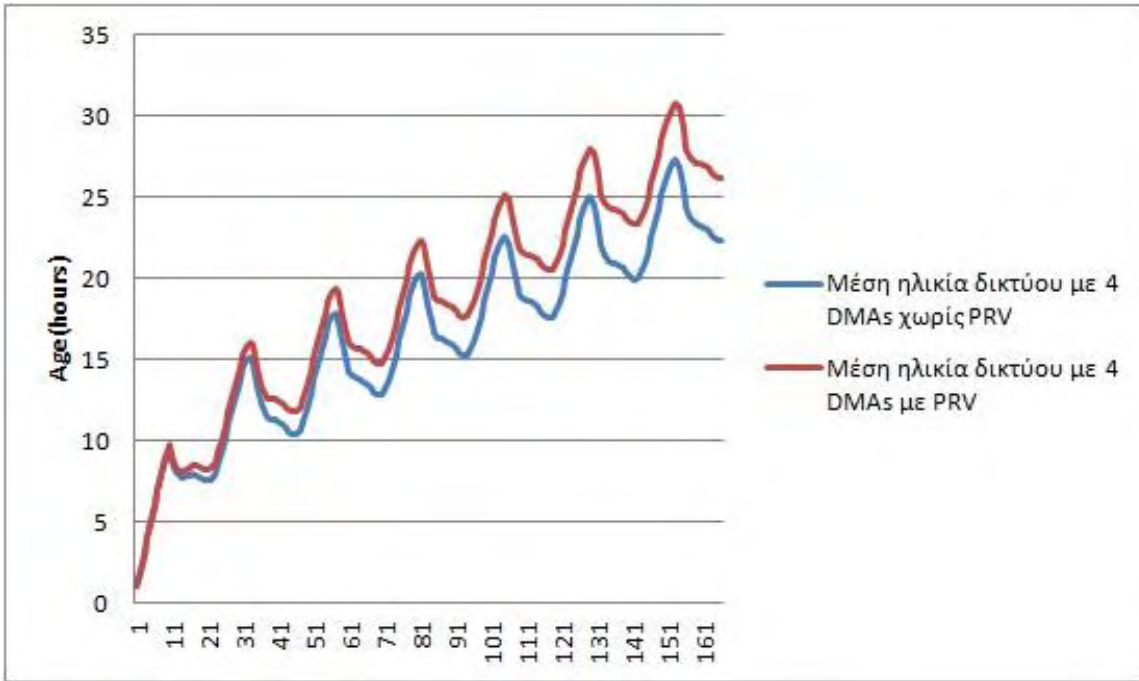


Γράφημα 38: Μέση ηλικία νερού για DMA 4

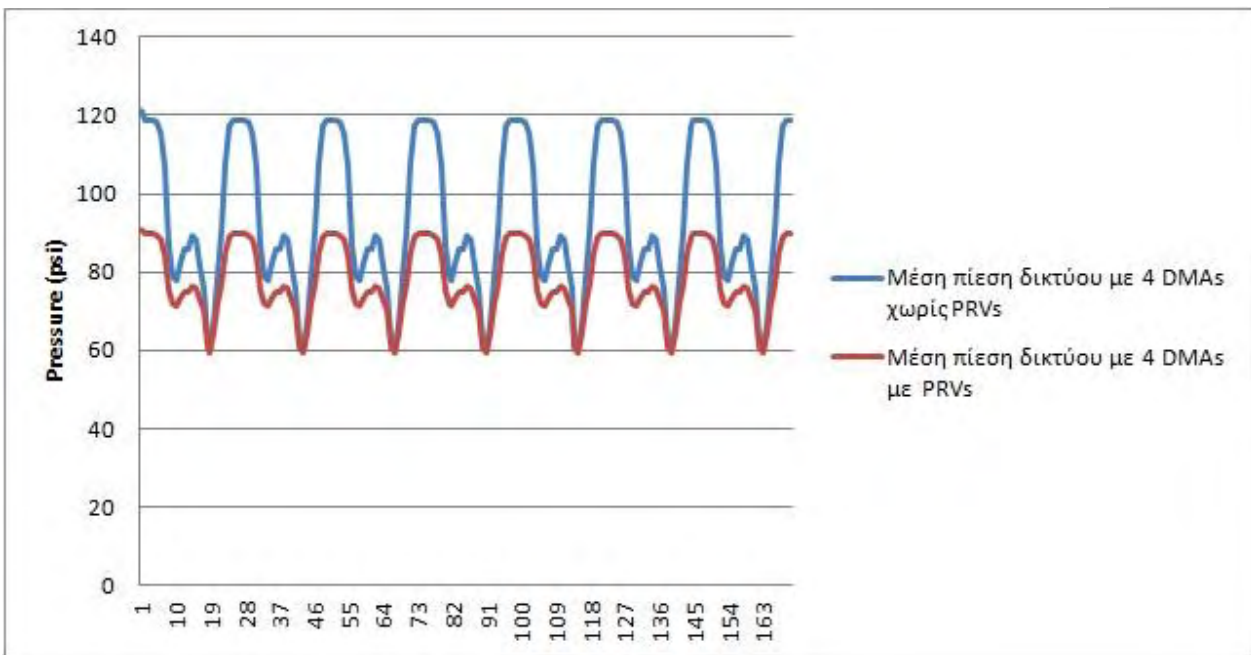


Γράφημα 39: Μέση πίεση για DMA 4

Όπως φαίνεται στα γραφήματα η πίεση στις περιπτώσεις με PRVs μειώνεται για όλες τις DMAs ενώ η ηλικία του νερού είτε παραμένει ίδια είτε αυξάνεται ελάχιστα. Το συμπέρασμα αυτό βγαίνει και από τα παρακάτω γραφήματα που παρουσιάζουν την συνολική εικόνα του δικτύου ως προς την ηλικία και την πίεση.



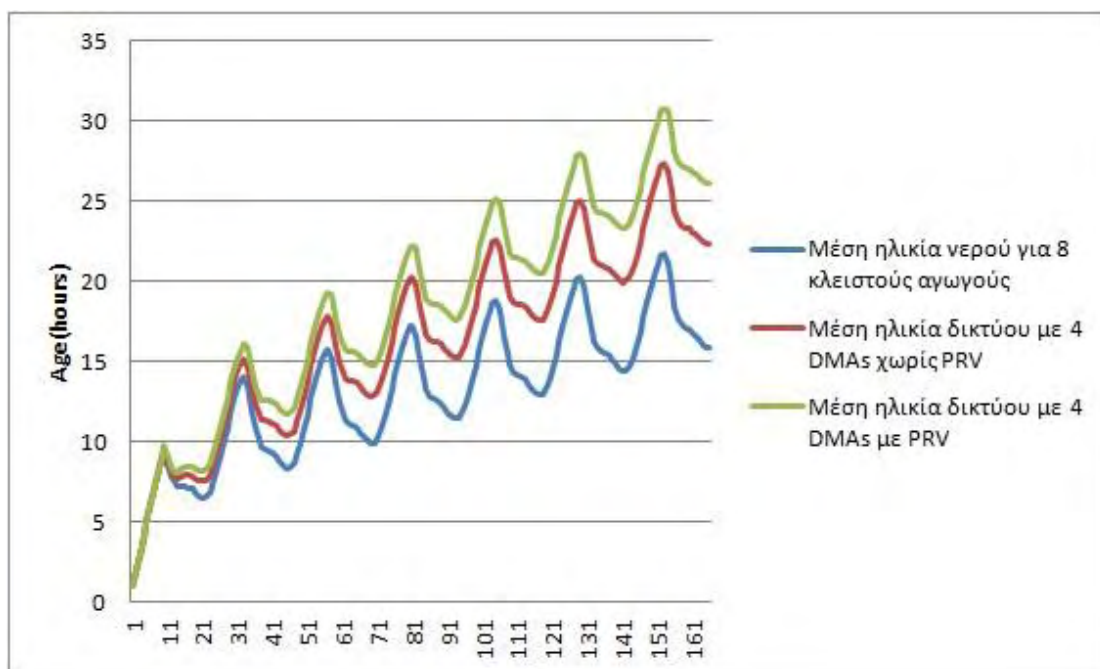
Γράφημα 40: Μέση ηλικία νερού για το δίκτυο



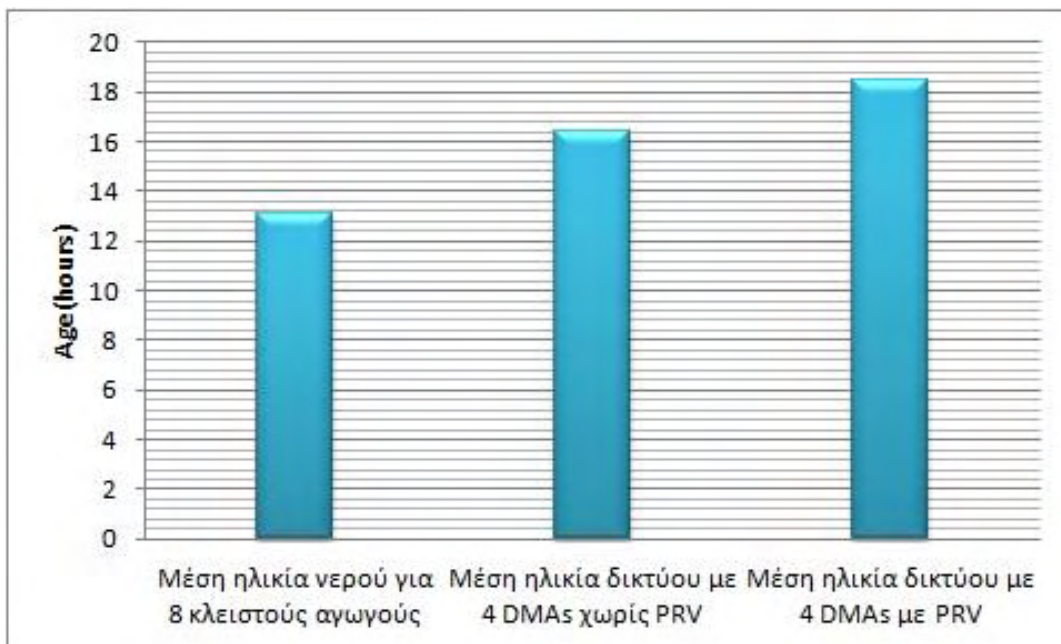
Γράφημα 41: Μέση πίεση για το δίκτυο

7.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων των DMAs με τα αποτελέσματα βάσει της βελτιστοποίησης και συμπεράσματα

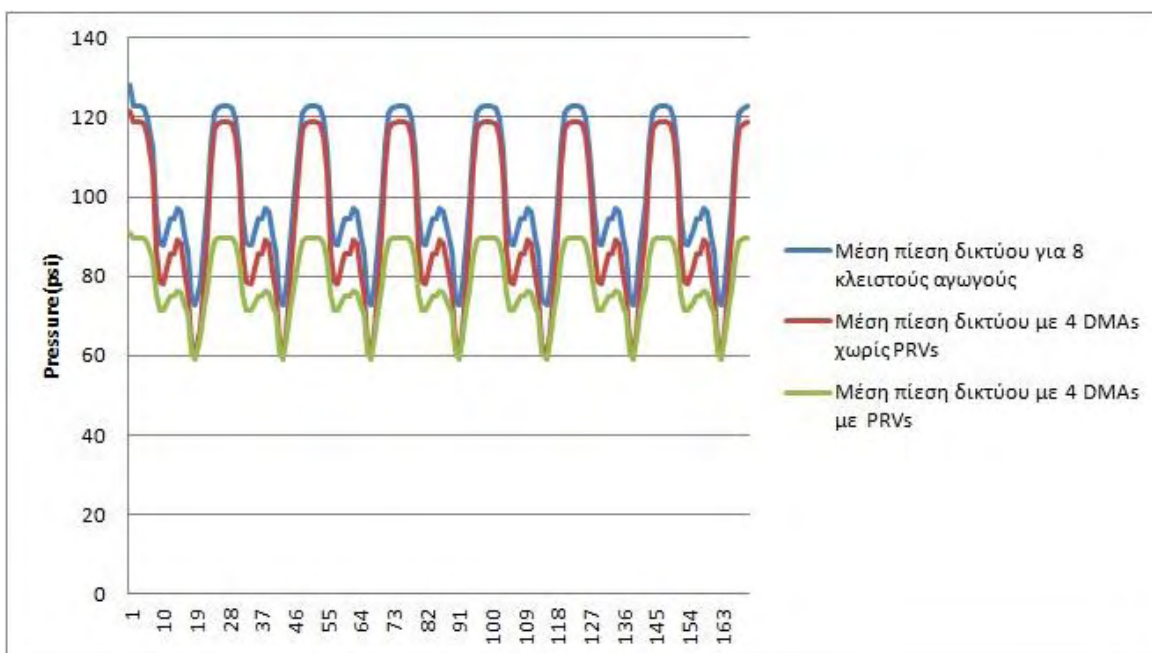
Σύμφωνα με την διερεύνηση τρόπων με τους οποίους το δίκτυο ύδρευσης της Αιανής θα παρουσιάσει βελτιωμένη πίεση και ηλικία νερού παρουσιάστηκαν κάποια αποτελέσματα. Με την χρήση γενετικού αλγορίθμου βρέθηκε πως η καλύτερη από τις προτεινόμενες λύσεις ήταν το κλείσιμο των 8 αγωγών ενώ με τον διαχωρισμό του δικτύου σε υδραυλικά απομονωμένες περιοχές, η καλύτερη λύση ήταν χρήση τεσσάρων DMAs. Ο χωρισμός στις τέσσερις DMAs και το κλείσιμο των 8 αγωγών αποτελούν δυο διαφορετικές λύσεις για το πρόβλημα οι οποίες πρέπει να συγκριθούν για την εύρεση της καλύτερης όπως φαίνεται στα παρακάτω γραφήματα:



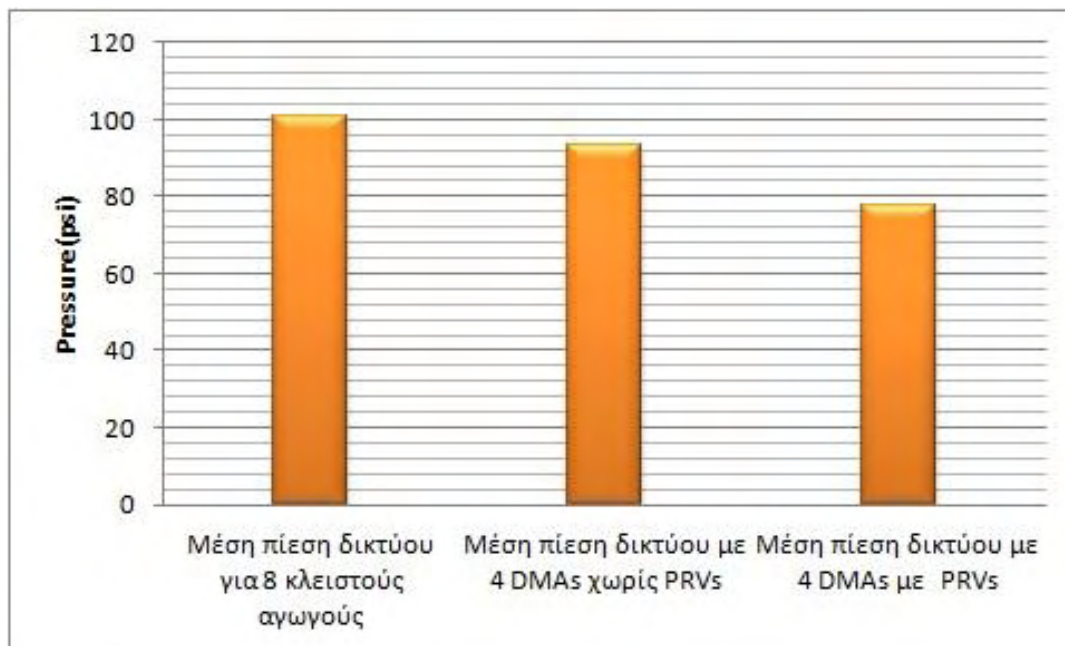
Γράφημα 42: Ηλικία νερού για κάθε περίπτωση



Γράφημα 43: Μέσος όρος ηλικίας δικτύου για κάθε περίπτωση



Γράφημα 44: Πίεσης δικτύου για κάθε περίπτωση



Γράφημα 45: Μέσος όρος πίεσης δικτύου για κάθε περίπτωση

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα, το σενάριο με τέσσερις DMAs και PRVs είναι το καλύτερο ως προς την πίεση και το σενάριο με τους οκτώ κλειστούς αγωγούς είναι το καλύτερο ως προς την ηλικία. Η λύση που παρουσιάζει τις καλύτερες τιμές ως προς ηλικία και πίεσης, είναι το σενάριο με τέσσερις DMAs χωρίς PRVs. Δηλαδή, η χρήση των 4 DMAs είναι και η ζητούμενη λύση, διότι παρέχει το καλύτερο συνδυασμό πίεσης – ηλικίας.

7.4 Μελλοντική έρευνα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε εκτεταμένη περιγραφή της κατασκευής μοντέλου για το δίκτυο ύδρευσης της Αιανής, την σύνδεσης του μοντέλου με προγράμματα επεξεργασίας κώδικα με σκοπό την βελτιστοποίηση του δικτύου ως προς την πίεση και την ηλικία του νερού. Θα μπορούσε επίσης, με την χρήση του γενετικού αλγορίθμου να προταθεί μια βέλτιστη συνδυαστική λύση για τον αριθμό PRVs που χρειάζεται το δίκτυο και ο εντοπισμός του πιο κατάλληλου σημείου για την τοποθέτησή τους, με σκοπό: τη μείωση της ηλικίας και τη μείωση των απωλειών του δικτύου.

Βιβλιογραφία / Αναφορές

- [1] Κανακούδης & Τσιτσιφλή (2009) Ερευνητικό έργο: προσδιορισμός των δεικτών λειτουργίας του δικτύου ύδρευσης Δ.Ε.Υ.Α. ΚΩ σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο της IWA
- [2] Κανακούδης & Τσιτσιφλή (2015). “Ολοκληρωμένη Διαχείριση Αστικών Δικτύων Ύδρευσης”
- [3] 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
- [4] Μακρής Κ. (2013). “Μείωση του μη ανταποδοτικού νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης μέσω διαχείρισης της πίεσης – η περίπτωση της πόλης της Κω”, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- [5] Κορκανά Π. (2015). “Βελτιστοποίηση διαμόρφωσης στεγανών περιοχών (dmAs) σε δίκτυα ύδρευσης με χρήση γενετικών αλγορίθμων” Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- [6] WaterGEMS Programmer’s Toolkit , <http://www.communities .bentley.com>
- [7] EPANET Programmer’s Toolkit
- [8] AWWA. (2005). AWWA Manual M32: “Computer modeling of water distribution systems. Denver”.
- [9] Tarnowski et al., (2014). 16th Conference on water distribution system analysis, WDSA 2014, “Online model for hydraulic and water quality analysis in ‘Hangzone Sonnenberg’, Zurich”.
- [10] Avi Ostfeld & Elad Salomons, (2014). 16th Conference on water distribution system analysis, WDSA 2014, “Optimal disinfection of water distribution networks following a contamination event”
- [11] Shweta Rathi & Rajesh Gupta. (2014). 16th Conference on water distribution system analysis, WDSA 2014, “Sensor placement methods for contamination detection in water distribution networks: areview”.
- [12] H. Jetmarova et al., (2014). 16th Conference on water distribution system analysis, WDSA 2014, “Optimal operation of a multiquality water distribution system with changing turbidity and salinity levels in source reservoirs”.
- [13] Kuhnert C. et al., (2014). 16th Conference on water distribution system analysis, WDSA 2014, “Water quality supervision of distribution networks based on machine learning algorithms and operator feedback”.
- [14] Martinez-Solano et al., (2014). 16th Conference on water distribution system analysis, WDSA 2014, “Using the set point concept to allow water distribution system skeletonization preserving water quality constraints”
- [15] Διαδίκτυο:
 - [a] https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/distribution_system_water_quality_monitoring_sensor_technology_evaluation_methodology_results.pdf
 - [b] <http://www.water-research.net/index.php/standards/primary-standards>
 - [c] <https://el.wikipedia.org>
 - [d] <http://www.who.int/en/>

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Διαδικασία ελέγχου της κατασκευής ενός αγωγού ολκίμου σιδήρου μήκους περίπου 40 km και διάμετρο 1600 mm, που διανέμει νερό, στην πόλη Musaffah του Αμπού Ντάμπι	8
Εικόνα 2: Συλλογή νερού σε υποανάπτυκτες χώρες. Πηγή: worldlearningnow.files.wordpress.com	10
Εικόνα 3: Διαβρωμένοι χαλύβδινοι αγωγοί (Greyvenstein and Van Zyl, 2006)	13
Εικόνα 4: Παράδειγμα απωλειών σε αγωγό λόγω υψηλής πίεσης (πηγή: www.nj.gov).....	13
Εικόνα 5: Παράδειγμα χωρισμού δικτύου σε DMAs (Πηγή : www.aquasave.mk)	13
Εικόνα 6: Αεροφωτογραφία Αιανής σε συνδυασμό με το δίκτυο ύδρευσης όπως απεικονίζεται στο πρόγραμμα Gis. Μπλε κουκίδα: Γεώτρηση. Πράσινη κουκίδα: Δεξαμενές. Κίτρινη κουκίδα: Αντλιοστάσιο. Μέρη χρωματισμένα με κόκκινο: Αγωγοί	18
Εικόνα 7: Δήμος Αιανής. Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας. Έκταση 152,9τ.χλμ. Πληθυσμός: 3.816 (2001).	18
Εικόνα 8: Υψομετρικός χάρτης Αιανής. Πηγή Google Earth	19
Εικόνα 9: Χρωματική αποτύπωση υψών των κόμβων του δικτύου της Αιανής σε μορφή CAD (χρήση προγράμματος Eranet)	19
Εικόνα 10: Χρωματική αποτύπωση διαμέτρων αγωγών σε μορφή CAD (χρήση προγράμματος Eranet).....	20
Εικόνα 11: Δίκτυο Αιανής σε μορφή CAD (χρήση προγράμματος Eranet)	20
Εικόνα 12: Αποτύπωση θέσης μετρητών κατανάλωσης σε μορφή CAD (χρήση προγράμματος Arc Gis).....	21
Εικόνα 13: Αποτύπωση θέσης βαλβίδων σε μορφή CAD (χρήση προγράμματος Arc Gis).....	21
Εικόνα 14 : Χρωματική αποτύπωση ηλικίας νερού σε μορφή CAD στο δίκτυο της Αιανής	24
Εικόνα 15: Τρόποι με τους οποίους ένα πρόγραμμα μοντελοποίησης υπολογίζει την μίξη νερού στις δεξαμενές αναλόγως το πώς αυτό εισέρχεται ή εξέρχεται. Πηγή: User's manual Eranet 2.0	26
Εικόνα 16: Δύο διαφορετικά είδη δικτύων	27
Εικόνα 17: Παραδείγματα δεξαμενών.....	29
Εικόνα 18 : Διαδικασία επεξεργασίας πόσιμου νερού της πόλης του San Diego	31
Εικόνα 19: National Geographic Special edition : Water (September 1993)	32
Εικόνα 20: John Snow	33
Εικόνα 21: Ρόμπερτ Κοχ (11 Δεκεμβρίου 1843 - 27 Μαΐου 1910), γεννημένος στο χωριό Κλάουσταλ του Αννόβερου, ήταν διάσημος ιατρός και ο θεμελιωτής της μικροβιολογίας και της βακτηριολογίας.....	33
Εικόνα 22: Ασθένειες από μολυσμένο νερό.....	34
Εικόνα 23: Βασικά στάδια καθαρισμού (διύλισης) του πόσιμου νερού.	36
Εικόνα 24: Απολύμανση με όζον.....	38
Εικόνα 25: Υδροστατική πίεση στην βάση της δεξαμενής.....	43
Εικόνα 26: Διατομές αγωγού και βαλβίδας που προκαλούν μικρές απώλειες	44
Εικόνα 27: Απολυμαντικές αντιδράσεις που εμφανίζονται σε ένα τυπικό σωλήνα συστήματος διανομής.....	45
Εικόνα 28: Γεωδαιτικές συντεταγμένες κόμβων.....	48
Εικόνα 29: Γεωδαιτικές συντεταγμένες κόμβων και αγωγών.....	49
Εικόνα 30: Μοντέλο δικτύου Αιανής σε περιβάλλον Eranet 2.0. Εισαγωγή συντεταγμένων	50
Εικόνα 31: Μοντέλο δικτύου Αιανής σε περιβάλλον Eranet 2.0. Εισαγωγή ζητήσεων	50
Εικόνα 32: Τελική μορφή μοντέλου δικτύου σε περιβάλλον WaterGems	51
Εικόνα 33: Τελική μορφή μοντέλου δικτύου σε περιβάλλον Eranet 2.0.....	52
Εικόνα 34: Χρωματική αποτύπωση ηλικίας νερού σε μορφή CAD (χρήση προγράμματος Eranet 2.0)	52
Εικόνα 35: Χρωματική αποτύπωση πίεσης στους κόμβους σε μορφή CAD (χρήση προγράμματος Eranet 2.0)....	53
Εικόνα 36: Μορφή δικτύου Eranet με χρήση προγράμματος επεξεργασίας κώδικα.....	55
Εικόνα 37: Μορφή δικτύου Eranet με χρήση του προγράμματος Matlab.	55
Εικόνα 38: Επιτυχής εισαγωγή δικτύου απο Eranet σε Matlab	56
Εικόνα 39: Εισαγωγή δικτύου Eranet σε Matlab.....	56
Εικόνα 41: Εντολές απεικόνισης στοιχείων του δικτύου	57

Εικόνα 40: Εντολή σε περιβάλλον matlab που μας δείχνει τις μονάδες του δικτύου (Gallons per minute).....	57
Εικόνα 42: Γραφική απεικόνιση δικτύου σε περιβάλλον matlab	63
Εικόνα 43 : Εργαλείο γενετικού αλγόριθμου. Καθοδήγηση τοποθέτησης απαραίτητων δεδομένων για το τρέξιμο της συνάρτησης που έχουμε δημιουργήσει. Πηγή : Παναγιώτα Κορκανά Διπλωματική εργασία «Βελτιστοποίηση διαμόρφωσης στεγανών περιοχών (dmas) σε δίκτυα ύδρευσης με χρήση γενετικών αλγορίθμων»	65
Εικόνα 44: Εργαλείο γενετικού αλγόριθμου. Καθοδήγηση τοποθέτησης απαραίτητων δεδομένων για το τρέξιμο της συνάρτησης που έχουμε δημιουργήσει. Πηγή : Παναγιώτα Κορκανά Διπλωματική εργασία «Βελτιστοποίηση διαμόρφωσης στεγανών περιοχών (dmas) σε δίκτυα ύδρευσης με χρήση γενετικών αλγορίθμων»	65
Εικόνα 45: Αποτελέσματα αγωγών που πρέπει να κλείσουν βάσει της βελτιστοποίησης	66
Εικόνα 46: Σενάριο με 4 αγωγούς κλειστούς	67
Εικόνα 47: Σενάριο με 6 αγωγούς κλειστούς.....	69
Εικόνα 48: Σενάριο με 8 κλειστούς αγωγούς.....	71
Εικόνα 49: Σενάριο με 10 αγωγούς κλειστούς.....	73
Εικόνα 50: Σενάριο με 12 κλειστούς αγωγούς.....	75
Εικόνα 51 : Σενάριο με 14 κλειστούς αγωγούς.....	77
Εικόνα 52: Σενάριο τεσσάρων DMAs.....	82
Εικόνα 54: Σενάριο δύο DMAs.....	83
Εικόνα 53: Σενάριο τριών DMAs	83
Εικόνα 55: Αρίθμηση DMAs	84
Εικόνα 56: Σημεία τοποθέτησης των PRVs	84

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: Εισερχόμενο νερό στο δίκτυο της Αιανής , νερό που αποδίδει έσοδα και απώλειες νερού.....	22
Γράφημα 2: Τιμολογούμενο νερό και απώλειες.....	23
Γράφημα 3: Παράδειγμα ηλικίας νερού σε αγωγό στο δίκτυο της Αιανής.....	25
Γράφημα 4: Διάγραμμα διερεύνησής κόστους και ενεργειακής βελτιστοποίησης συστημάτων διανομής πόσιμου νερού. Πηγή: American Chemical Society	30
Γράφημα 5: Θάνατοι από τυφοειδή πυρετό στην Φιλαδέλφεια (ΗΠΑ) στις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα.....	34
Γράφημα 6: Η διαδικασία από δημιουργία μοντέλου στην ανάλυσή του	40
Γράφημα 7: Φυσική ερμηνεία του Νόμου Ιξώδους του Νεύτωνα	41
Γράφημα 8: Σχέση διατμητική τάσης και επιτάχυνσης για νευτόνια και μη νευτόνια ρευστά.....	42
Γράφημα 9: Προφίλ ταχύτητας	44
Γράφημα 10: Πρότυπο ζήτησης για τιμολογούμενο νερό σε περιβάλλον WaterGems	51
Γράφημα 11: Πρότυπο ζήτησης για απώλειες σε περιβάλλον WaterGems.	51
Γράφημα 12: Μέσος όρος πίεσης δικτύου Αιανής αν ώρα (Πίεση σε psi)	53
Γράφημα 13: Μέσος όρος ηλικίας νερού ανά ώρα (ηλικία σε ώρες).....	54
Γράφημα 14: Μέση πίεση δικτύου για 4 αγωγούς κλειστούς	68
Γράφημα 15: Μέση ηλικία νερού για 4 αγωγούς κλειστούς	68
Γράφημα 16: Μέση πίεση δικτύου για 6 αγωγούς κλειστούς	70
Γράφημα 17: Μέση ηλικία νερού για 6 κλειστούς αγωγούς	70
Γράφημα 18: Μέση πίεση δικτύου για 8 κλειστούς αγωγούς	72
Γράφημα 19: Μέση ηλικία νερού για 8 κλειστούς αγωγούς	72
Γράφημα 20: Μέση πίεση δικτύου για 10 κλειστούς αγωγούς	74
Γράφημα 21: Μέση ηλικία νερού για 10 κλειστούς αγωγούς.....	74

Γράφημα 22: Μέση πίεση δικτύου για 12 κλειστούς αγωγούς	76
Γράφημα 23: Μέση ηλικία νερού για 12 κλειστούς αγωγούς	76
Γράφημα 24: Μέση πίεση δικτύου για 14 κλειστούς αγωγούς	78
Γράφημα 25: Μέση ηλικία νερού για 14 κλειστούς αγωγούς	78
Γράφημα 26: Κρίσιμος αγωγός αρχικού δικτύου Αιανής και σεναρίου με 6 κλειστούς αγωγούς.....	79
Γράφημα 27: Κρίσιμοι αγωγοί για σεσάρια με 4 ,8 και 10 κλειστούς αγωγούς αντίστοιχα.....	79
Γράφημα 28: Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία για σεσάριο με 12 κλειστούς αγωγούς.....	80
Γράφημα 29: Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία νερού για σεσάριο με 14 κλειστούς αγωγούς	80
Γράφημα 30: Σύγκριση μέσων όρων ηλικίας νερού κάθε σεναρίου με το αρχικό.....	81
Γράφημα 31: Σύγκριση μέσου όρου πίεσης δικτύου για κάθε σεσάριο με το αρχικό.....	81
Γράφημα 32: Μέσος όρος ηλικίας νερού για DMA 1	85
Γράφημα 33: Μέση πίεση για DMA 1	85
Γράφημα 34: Μέση ηλικία νερού για DMA 2.....	86
Γράφημα 35: Μέση πίεση για DMA 2	86
Γράφημα 36: Μέση ηλικία νερού για DMA 3.....	87
Γράφημα 37: Μέση πίεση για DMA 3	87
Γράφημα 38: Μέση ηλικία νερού για DMA 4.....	88
Γράφημα 39: Μέση πίεση για DMA 4	88
Γράφημα 40: Μέση ηλικία νερού για το δίκτυο.....	89
Γράφημα 41: Μέση πίεση για το δίκτυο	89
Γράφημα 42: Ηλικία νερού για κάθε περίπτωση.....	90
Γράφημα 43: Μέσος όρος ηλικίας δικτύου για κάθε περίπτωση	91
Γράφημα 44: Πίεσης δικτύου για κάθε περίπτωση	91
Γράφημα 45: Μέσος όρος πίεσης δικτύου για κάθε περίπτωση.....	92

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Υδατικό ισοζύγιο από το εγχειρίδιο "best practice" του IWA.....	11
Πίνακας 2: Υδατικό Ισοζύγιο (Κανακούδης & Τσιτσιφλή,2010) [2η Τροποποίηση]	12
Πίνακας 3 Υδατικό Ισοζύγιο Αιανής για το έτος 2014 του Δήμου Αιανής	22
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά δεξαμενών του δικτύου της Αιανής	23
Πίνακας 5: Επιπτώσεις ηλικίας νερού.....	28
Πίνακας 6: Ποσοστό του υποχλωριώδους οξέος (HOCl) και του υποχλωριώδους ιόντος (OCI-) στους 15 C ^o ...	37
Πίνακας 7: Στοιχεία κόμβων	49
Πίνακας 8: Στοιχεία αγωγών	49
Πίνακας 9 : Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία , κρίσιμος κόμβος ως προς την ηλικία για σεσάριο με 4 κλειστούς αγωγούς.	67
Πίνακας 10: Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία , κρίσιμος κόμβος ως προς την ηλικία για σεσάριο με 6 κλειστούς αγωγούς.....	69
Πίνακας 11: Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία , κρίσιμος κόμβος ως προς την ηλικία για σεσάριο με 8 κλειστούς αγωγούς.....	71
Πίνακας 12: Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία , κρίσιμος κόμβος ως προς την ηλικία για σεσάριο με 10 κλειστούς αγωγούς.....	73
Πίνακας 13: Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία , κρίσιμος κόμβος ως προς την ηλικία για σεσάριο με 12 κλειστούς αγωγούς.....	75
Πίνακας 14: Κρίσιμος αγωγός ως προς την ηλικία , κρίσιμος κόμβος ως προς την ηλικία για σεσάριο με 14 κλειστούς αγωγούς.....	77