



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ – ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:**

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ**  
**ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ –**  
**ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΤΕΓΑΝΩΝ ΥΠΟΖΩΝΩΝ (District Metered Areas –**  
**DMAs) ΒΑΣΕΙ ΗΛΙΚΙΑΣ ΚΑΙ ΠΙΕΣΗΣ –**  
**ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ**

**ΒΕΡΙΛΛΗ ΜΑΡΙΑ || ΒΟΛΟΣ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2018**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :Κανακούδης Βασίλειος**

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή :

ΚΑΝΑΚΟΥΔΗΣ Β.

ΚΕΡΑΜΑΡΗΣ Ε.

ΚΑΡΑΚΑΣΙΔΗΣ Θ.

**ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2018**

## 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 προέκυπτε 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 ιδιαίτερω τον υποψήφιο διδάκτορα του ίδιου καθηγητή, 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 οποιαδήποτε πρόβλημα ή απορία μου παρουσιαζόταν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, Δομήνικο Βερίλλη και Δήμητρα Κωστάκη για την υποστήριξή τους σε όλα τα έτη των σπουδών μου αλλά και για την αγάπη και εμπιστοσύνη που μου δείχνουν.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό τη διερεύνηση του Υδραυλικού Δικτύου του αστικού ιστού της πόλης της Καρδίτσας, ως προς την ηλικία του νερού στο δίκτυο, το χρόνο παραμονής του καθώς και την πίεση του προαναφερόμενου δικτύου.

Για την επίτευξη του σκοπού της εργασίας, απαραίτητη ήταν η μοντελοποίηση του δικτύου, η οποία πραγματοποιήθηκε σε ειδικό λογισμικό με την ονομασία WaterGEMS v8i, σύμφωνα με τα παρεχόμενα στοιχεία από τον φορέα και χωριζόμενος σε τομείς-υποζώνες (Υδραυλικά Απομονωμένες Περιοχές – DMAs), για ευκολία στην διαχείριση και στην προσέγγιση των αναλυόμενων δεδομένων από τους ενδιαφερόμενους φορείς. Ο έλεγχος σε συγκεκριμένους τομείς βελτιώνει σε μεγάλο βαθμό και τον καλύτερο έλεγχο για διαρροές, ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα των υδραυλικών δικτύων. Η μεθοδολογία για την επίτευξη της παρούσας εργασίας και κατ’ επέκταση της ανάλυσης του δικτύου έγινε με την ανάπτυξη δύο σεναρίων, χωρίς την οριοθέτηση (No DMAs) και με χρήση της οριοθέτησης (With DMAs), διαπιστώνοντας κάποιες διαφορές και επίσης κάποιες ομοιότητες, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των επιμέρους αναλύσεων και εξάγοντας χρήσιμα συμπεράσματα για κάθε επιμέρους εξεταζόμενη παράμετρο και για κάθε υποζώνη.

Οι προαναφερθείσες παράμετροι, η ηλικία, ο χρόνος παραμονής και η πίεση του δικτύου, διερευνήθηκαν για να πιστοποιήσουν την ποιότητα του παρεχόμενου νερού στους πολίτες και τις υπηρεσίες αυτού, μετρώντας την παρεχόμενη πίεση. Στοιχεία απαραίτητα και ζωτικής σημασίας για ένα βασικής ανάγκης αγαθό. Απαραίτητη για την βελτίωση της ποιότητας είναι η περεταίρω έρευνα για την επίτευξη βελτιωτικών επεμβάσεων σε συγκεκριμένους τομείς που χρήζουν βελτίωσης.

## Λέξεις κλειδιά

ηλικία του νερού, χρόνος παραμονής νερού, διαχείριση της πίεσης, δίκτυο ύδρευσης, ομάδα υποζωνών DMAs, απώλειες νερού

## **Abstract**

This dissertation aims to investigate the urban water network of the city of Karditsa, regarding the age of the water in the grid, its time of remaining within the pipes, as well as the pressure of the aforementioned network.

In order to achieve the purpose of the current study, the network modeling, which was carried out in a specified computer program called WaterGEMS v8i, was necessary. Data used for the process are provided by the local authorities and by subdividing the city into sub-areas (DMAs), for the easiness of the management of results and the more accuracy of the analytical data that may be done by the stakeholders. When examining more specific areas, it is easier to specify the leakage area, a very crucial problem for all hydraulic networks. The methodology used for achieving this dissertation and by so the analysis of the network was done by developing two scenarios, the first without using DMAs and the second with the use of the mentioned boundaries. When it comes to the analysis of the scenarios, there are some differences and some similarities when comparing and analyzing the results, important for exporting useful conclusions for each individual parameter and for individual zone of the network.

The mentioned above parameters analyzed, age of water, remaining time and pressure in the network, are investigated to certify the quality of water supplied to citizens, as well as the services that area applied by its use, which is measured by its pressure provided. Elements essential and vital, as water is a basic necessity. In order to these factors, further research is needed in order to improve the quality of this basic good, so as to mention and specify interventions in the grid and in specific areas that changes are to be made.

## **Keywords**

water pressure, water losses, travel time, water age, district metered areas – DMAs, water network

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	4
Abstract	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	6
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ</b>	<b>8</b>
1.1 Βασικά στοιχεία του νερού	8
1.2 Η κατάσταση στην Ελλάδα και στην Καρδίτσα	8
1.3 Θεμελιώδεις έννοιες υδατικού ισοζυγίου	9
1.4 Σχέση ανάμεσα στη διαχείριση της πίεσης και των απωλειών	10
1.5 Σκοπός της Εργασίας	11
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΗΛΙΚΙΑ</b>	<b>12</b>
2.1 Η ηλικία: Ορισμός και παράγοντες που την επηρεάζουν	12
2.2 Προβλήματα που προκύπτουν από την αύξηση της ηλικίας του νερού στο δίκτυο	12
2.3 Μέθοδοι πρόληψης	13
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ Δ.Ε.Υ.Α. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ</b>	<b>15</b>
3.1 Γενικές πληροφορίες	15
3.2 Ιστορία ύδρευσης Καρδίτσας	15
3.3 Η εταιρία	16
3.4 Σύστημα Υδροληψίας – Περιγραφή Εγκατάστασης Επεξεργασίας νερού	16
3.5 Δίκτυο Μεταφοράς και Διανομής	20
3.6 Προβλήματα του υπάρχοντος δικτύου	22
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ</b>	<b>23</b>
4.1 Η έννοια της Μοντελοποίησης	23
4.2 Υδραυλική προσομοίωση δικτύου ύδρευσης με WaterGEMS	24
4.2.1 Γνωριμία με το πρόγραμμα WaterGEMS	24
4.2.2 Δεδομένα του δικτύου	24
4.2.3 Βήματα πραγματοποίησης σχεδιασμού με λογισμικό WaterGEMS	26
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΕ DMAs</b>	<b>29</b>
5.1 Σενάρια Μελέτης και Ανάλυσης	29
5.2 Ορισμός DMA	30
5.3 Περιορισμοί από την εφαρμογή των DMAs	31
5.4 Μέτρα για τον σωστό σχεδιασμό των DMAs	31
5.5 Υλοποίηση των DMAs στο δίκτυο ύδρευσης της Καρδίτσας	31
5.5.1 Υποζώνη Α	33
5.5.2 Υποζώνη Β	34

5.5.3 Υποζώνη Γ	35
5.5.4 Υποζώνη Δ	36
5.5.5 Υποζώνη Ε	37
5.5.6 Υποζώνη ΣΤ	38
5.5.7 Υποζώνη Ζ	39
5.5.8 Υποζώνη Η	40
5.5.9 Υποζώνη Θ	41
5.5.10 Υποζώνη Ι	42
5.5.11 Υποζώνη ΙΑ	43
5.6 Κατανόηση του δικτύου	44
5.7 Διάγραμμα ροής στο δίκτυο ύδρευσης	45
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ6: ΣΕΝΑΡΙΟ 1<sup>ο</sup> – NODMAs</b>	<b>46</b>
6.1 Water Age Analysis	46
6.2.Κρίσιμοι Κόμβοι ως προς την ηλικία	46
6.3 Κρίσιμοι Κόμβοι ως προς την πίεση	49
6.4 Χρόνος Παραμονής Νερού	51
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ7: ΣΕΝΑΡΙΟ 2<sup>ο</sup>–ΜΕ DMAs</b>	<b>54</b>
7.1.Κρίσιμοι Κόμβοι ως προς την ηλικία	54
7.2 Κρίσιμοι Κόμβοι ως προς την πίεση	55
7.3 Χρόνος Παραμονής Νερού	57
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>61</b>
8.1 Συμπεράσματα σχετικά με την ηλικία του δικτύου	61
8.2 Συμπεράσματα σχετικά με την πίεση του δικτύου	63
8.3 Συμπεράσματα σχετικά με τον χρόνο παραμονής νερού	65
8.4 Μελλοντική έρευνα	67
Βιβλιογραφία/Αναφορές	68
Κατάλογος εικόνων	70
Κατάλογος Πινάκων	72
Κατάλογος Σχημάτων	72
Κατάλογος Γραφημάτων	72

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

### 1.1 Βασικά στοιχεία του νερού

Το βασικότερο στοιχείο για κάθε ζωντανό οργανισμό είναι το νερό. Η γη χωρίς νερό είναι γη χωρίς ζωή. Η πολυτιμότητά του διαφαίνεται από το γεγονός ότι σε πολλές περιοχές του πλανήτη καθορίζει ολόκληρες πολιτικές ακόμη και διαμάχες μεταξύ λαών. Συχνά αμελούμε το γεγονός πως το νερό δεν είναι μόνο το ίδιο σημαντικό, αλλά και οι λειτουργίες του ως μεταφορέα υλικών καθώς και άλλων ενώσεων και τη συμμετοχή του σε αυτές. Διαδικασίες και διεργασίες πάρα πολύ σημαντικές για την ζωή σε αυτόν τον πλανήτη.

Στις μέρες μας όμως και με την άλογη χρήση του τουλάχιστον τον τελευταίο αιώνα στις ανεπτυγμένες ή στις υπό ανάπτυξη χώρες, επέφεραν πολλά προβλήματα και ως προς την ποιότητα αλλά και ως προς την ποσότητα του παρεχόμενου ή διαθέσιμου νερού. Πολλές χώρες του κόσμου κατεξοχήν αντιμετώπιζαν προβλήματα με το διαθέσιμο πόσιμο νερό και παρ’όλη τη τεχνολογική εξέλιξη, δεν υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις βελτίωσης της κατάστασης. Τουναντίον, οι αλλαγές στο κλίμα και στο μικροκλίμα κάθε περιοχής διογκώνουν το πρόβλημα.

Η ανάγκη όλο και περισσότερων ανθρώπων για πόσιμο νερό, επιβάλλουν την άμεση λήψη μέτρων από τους αρμόδιους φορείς, είτε πολιτικούς είτε κοινωνικούς, σε όλα τα επίπεδα των αποφάσεων, είτε έχουν να κάνουν με καθημερινές πρακτικές είτε έχουν να κάνουν με λήψη μέτρων και αποφάσεων για την αλλαγή της κατάστασης.

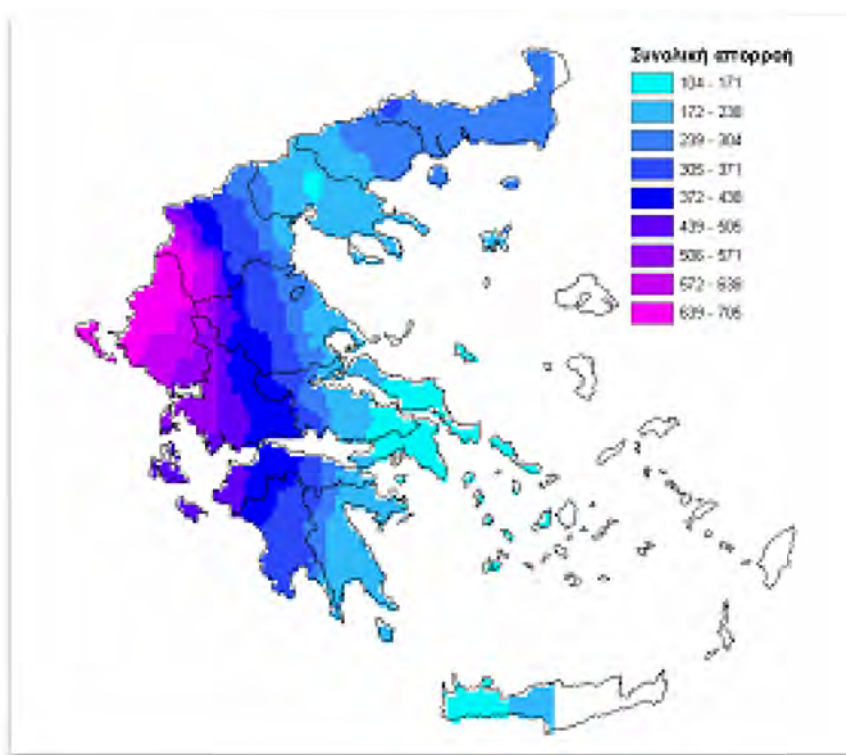
Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, η ποιότητα του νερού και ο περιορισμός των απωλειών του συστήματος ύδρευσης στα πλαίσια της μεταφοράς και διανομής βρίσκεται στο επίκεντρο. Με τη χρήση υπάρχουσών γνώσεων και δεδομένων, καθώς και με την ανάλυσή τους και την εισαγωγή και νέων εργαλείων, γίνεται μια προσπάθεια για την βελτιστοποίηση του υπάρχοντος συστήματος.

Από διάφορες διενεργηθείσες έρευνες, έχουν εκτιμηθεί πολύ μεγάλες απώλειες νερού εντός των δικτύων σε σχέση με το νερό που εισέρχεται σε αυτό και με την τελική ποσότητα του νερού που εξέρχεται από αυτήν. Η συνήθης πρακτική είναι η επιδιόρθωση των βασικών και κύριων ζημιών, χωρίς να δίνεται μια οριστική λύση που θα βελτιώσει την συνολική κατάσταση και κυρίως των βλαβών που γίνονται αντιληπτές, καθώς δεν είναι σπάνιο το φαινόμενο να μην γίνονται όλες οι αστοχίες γνωστές.

### 1.2 Η κατάσταση στην Ελλάδα και στην Καρδίτσα

Καθοριστικός παράγοντας του υδάτινου κύκλου στη χώρα μας διαδραματίζει η οροσειρά της Πίνδου, η οποία διαχωρίζει την ηπειρωτική χώρα σε 2 υδατικές περιοχές, στην δυτική με αυξημένες βροχοπτώσεις και στην ανατολική με χαμηλότερη στάθμη. Η διαθεσιμότητα γενικά των υδάτινων πόρων στην χώρα μας χαρακτηρίζονται ως επαρκείς, αλλά τα πραγματικά διαθέσιμα ως προς αξιοποίηση είναι σημαντικά μειωμένα. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η συνολική απορροή της Ελλάδας.





**Εικόνα 1:** Κατανομή της μέσης ετήσιας συνολικής απορροής στην Ελλάδα (Μιμίκου, 2004).

Από την εικόνα γίνεται κατανοητή η ανομοιομορφή κατανομή των υδατικών πόρων στο χώρο και σε συνδυασμό με τα πολλά άνυδρα νησιά της Ελλάδας και τη μεγάλη έκταση ακτών δυσχεραίνεται η αξιοποίηση των υδατικών πόρων της χώρας

Στην περίπτωση της Καρδίτσας, της περιοχής μελέτης μας, η περιοχή χαρακτηρίζεται από αυξημένη υγρασία τον χειμώνα, με ξηρούς και ορμητικούς ανέμους που κατεβαίνουν από τα ορεινά, δημιουργώντας δριμύ χειμώνα και υψηλά ποσοστά υγρασίας στην πόλη που φτάνει το 78% τον μήνα Ιανουάριο και ανήκει στη ζώνη Γ της κλίμακας που έχει δημοσιευθεί από το Τ.Τ.Ε. Το ανάγλυφο του νομού, με τις στενές κοιλάδες, δημιουργούν τις προϋποθέσεις για την ύπαρξη ποταμών και κατ'έπекταση λιμνών, τεχνητών ή μη. Ένα από αυτά τα φράγματα έχει φτιαχτεί στην κοίτη του Μέγδοβα και στο οποίο παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Αυτές οι φυσικές πηγές και οι λίμνες είναι και οι τροφοδότες του νερού για την Καρδίτσα. Το δίκτυο ύδρευσης παρεμβάλλεται και μεταφέρει το αγαθό στην πόλη, χωρίς δυστυχώς να αποφεύγονται απώλειες και διαφορές μεταξύ του εισερχομένου και του νερού που φτάνει στις διάφορες παροχές και είναι έτοιμο για χρήση. Δημιουργούνται έτσι διαφορές στο υδατικό ισοζύγιο, που εντοπίζονται στο υπάρχων δίκτυο και διαταράσσουν το υδατικό ισοζύγιο.

### **1.3 Θεμελιώδεις έννοιες υδατικού ισοζυγίου**

Μοναδικός σκοπός των δικτύων ύδρευσης ήταν η επίτευξη της πλήρους κάλυψης των ζητήσεων από τους καταναλωτές με το λιγότερο δυνατό κόστος προς την διαχειριστική εταιρία. Με το πέρασμα των χρόνων όμως κρίθηκε αναγκαία η περαιτέρω μελέτη των προβλημάτων που εμφάνισαν τα δίκτυα ύδρευσης. Τα πιο σημαντικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα δίκτυα ύδρευσης είναι οι απώλειες του νερού, η μείωση της παροχευτικότητας, η ποιότητα νερού καθώς και η φυσική ακεραιότητα.

Για την σωστή λειτουργία του δικτύου και την καλύτερη εξυπηρέτηση των καταναλωτών είναι αναγκαίος ο προσδιορισμός των αιτιών των προβλημάτων. Οι κυριότερες αιτίες είναι η διάβρωση των αγωγών, οι διαρροές, οι θραύσεις των αγωγών, η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού καθώς και η μείωση της παροχαρακτηριστικής ικανότητας.

Η 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):

- **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 αντανάκλα 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.

#### **1.4 Σχέση ανάμεσα στη διαχείριση της πίεσης και των απωλειών**

Η πίεση κατέχει σημαντικό 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. Ο όγκος των πραγματικών απωλειών, σύμφωνα με τις σύγχρονες προσεγγίσεις (IWA 2000) διαμορφώνεται από τα εξής: καλή διαχείριση των σωληνώσεων και των λοιπών συσκευών, διαχείριση της πίεσης, ενεργός έλεγχος διαρροών, ταχύτητα και ποιότητα επισκευών. Η μακροπρόθεσμη συντήρηση των αγωγών επηρεάζει τον αριθμό των νέων διαρροών που προκύπτουν, ενώ η διαχείριση της πίεσης μπορεί να επηρεάσει τη συχνότητα εμφάνισης των νέων διαρροών και τους ρυθμούς απωλειών νερού από αυτές. Η ταχύτητα και η ποιότητα της επισκευής ρυθμίζουν τη μέση διάρκεια κάθε διαρροής, ενώ ο ενεργός έλεγχος διαρροών καθορίζει το χρονικό διάστημα μεταξύ του σχηματισμού και του εντοπισμού της διαρροής.

Πιο αποτελεσματική τεχνική από τις παραπάνω αποδεικνύεται η διαχείριση της πίεσης με κύρια επίδραση στη μείωση των πραγματικών απωλειών. Η μείωση της πίεσης ενέχει κινδύνους εφόσον ξεπεράσει τα επιτρεπτά όρια. Κάποιοι καταναλωτές είναι πιθανών να μην έχουν αρκετή πίεση σε περιπτώσεις αιχμής. Ένα ακόμη αρνητικό αποτέλεσμα από την μείωση της πίεσης μπορεί να είναι η αύξηση της δυσκολίας για την εύρεση των διαρροών.

## **1.5 Σκοπός της Εργασίας**

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την έρευνα και τη μελέτη για την εφαρμογή συγκεκριμένων βημάτων που θα οδηγήσουν στη μείωση των απωλειών στο κύριο τμήμα του δικτύου ύδρευσης που βρίσκεται υπό την ευθύνη της Δ.Ε.Υ.Α Καρδίτσας αλλά και στις όμορες γειτονικές περιοχές που συνεξυπηρετούνται από το ίδιο δίκτυο. Επιπρόσθετα, πολύ σημαντικός παράγοντας για την εκπόνηση αυτής της έρευνας είναι η βελτιστοποίηση της ποιότητας του παρεχόμενου νερού, με βασικά κριτήρια την ηλικία του νερού, την πίεση του δικτύου και τον χρόνο παραμονής του νερού στους αγωγούς. Ταυτόχρονα, σημαντικός στόχος είναι και η ψηφιοποίηση του δικτύου με σύγχρονα εργαλεία, εξειδικευμένα για το συγκεκριμένο αντικείμενο, με στόχο την καλύτερη, ευκολότερη και ακριβέστερη διαχείριση του δικτύου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΗΛΙΚΙΑ

### 2.1 Η ηλικία: Ορισμός και παράγοντες που την επηρεάζουν

Η ηλικία του νερού σε ένα δίκτυο διανομής νερού αναφέρεται στο χρόνο που χρειάζεται το νερό να ταξιδέψει από τη πηγή προς τους καταναλωτές. Η ηλικία του νερού είναι ένας δείκτης της ποιότητας του νερού, όσο υψηλότερη είναι η ηλικία τόσο χαμηλότερης ποιότητας είναι το νερό του δικτύου. Η ηλικία του νερού σε ένα δίκτυο διανομής νερού επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα:

- **Σχεδιασμό του δικτύου** – εκτός από την ικανοποίηση των σημερινών απαιτήσεων, πολλά δίκτυα νερού είναι σχεδιασμένα για να διατηρούν τις πιέσεις και τις ποσότητες που απαιτούνται για την κάλυψη μελλοντικών αναγκών ή για την παροχή πρόσθετων αποθεμάτων για την πυρόσβεση.
- **Χρόνο παραμονής του νερού στις δεξαμενές.**
- **Απόσταση που διανύει το νερό από τις δεξαμενές** – όσο αυξάνεται η απόσταση προκαλείται κίνδυνος βακτηριδιακής μόλυνσης.
- **Ταχύτητα του νερού μέσα στο δίκτυο** – καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του νερού μειώνεται η ηλικία του νερού στο δίκτυο.
- **Ζήτηση του νερού** – η αύξηση της ζήτησης του νερού προκαλεί αύξηση της ταχύτητας του νερού στους αγωγούς του δικτύου με αποτέλεσμα τη μείωση της ηλικίας του νερού.
- **Μήκος των αγωγών** – καθώς μειώνεται το μήκος του αγωγού ταυτόχρονα μειώνεται και η ηλικία του νερού στο δίκτυο.

### 2.2 Προβλήματα που προκύπτουν από την αύξηση της ηλικίας του νερού στο δίκτυο

Η ηλικία του νερού αποτελεί μείζονα παράγοντα στην υποβάθμιση της ποιότητας του νερού στο δίκτυο διανομής. Οι κυριότεροι μηχανισμοί για την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού είναι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ του τοιχώματος του σωλήνα και του νερού, και οι αντιδράσεις μέσα στο ίδιο το νερό.

Σε ένα δίκτυο διανομής είναι πιθανόν να δημιουργηθούν προβλήματα που σχετίζονται με την ποιότητα του νερού εφόσον αυξηθεί η ηλικία του νερού. Καθώς το νερό ταξιδεύει μέσω του δικτύου διανομής, υπόκειται σε διάφορους χημικούς και φυσικούς μετασχηματισμούς.

Οι επιπτώσεις της αύξησης της ηλικίας του νερού σε ένα δίκτυο είναι:

- Σχηματισμός παραπροϊόντων απολύμανσης (Χημική Επίπτωση)
- Μείωση απολυμαντικής δράσης (Χημική Επίπτωση)
- Επιπτώσεις ως προς την οσμή και τη γεύση του νερού (Χημική Επίπτωση)
- Βιοαποικοδόμηση υποπροϊόντων απολύμανσης (Βιολογική Επίπτωση)
- Ανάκτηση μικροβίων (Βιολογική Επίπτωση)

- Δυσοσμία του νερού (Βιολογική Επίπτωση)
- Αύξηση θερμοκρασίας του νερού (Φυσική Επίπτωση)
- Αλλαγή στο χρώμα του νερού (Φυσική Επίπτωση)
- Εναπόθεση ιζημάτων (Φυσική Επίπτωση)

Οι επιπτώσεις της αύξησης της ηλικίας, που συνεπάγεται την κακή ποιότητα του νερού, επηρεάζουν την υγεία του ανθρώπου. Έχει παρατηρηθεί πως άνθρωποι που κατανάλωναν κακής ποιότητας νερό παρουσίασαν μεγαλύτερες πιθανότητες εμφάνισης καρκίνου ή προβλημάτων με το συκώτι, τα νεφρά και το νευρικό τους σύστημα (USEPA – United States Environmental Protection Agency). Για αυτό το λόγο, οι εταιρίες διαχείρισης ενός δικτύου ύδρευσης θα πρέπει να λαμβάνουν σοβαρά υπόψιν πιθανά παράπονα των καταναλωτών καθώς μπορεί να είναι ενδείξεις για την κακή ποιότητα του νερού.

### 2.3 Μέθοδοι πρόληψης

Η προστασία της ποιότητας του νερού αφορά τη δημόσια υγεία. Κάποιοι μέθοδοι αντιμετώπισης – πρόληψης σχετικά με τη μείωση της ηλικίας του νερού σε ένα δίκτυο διανομής είναι:

- **Εργαλεία για τον προσδιορισμό της ηλικίας του νερού** – διεξαγωγή μελετών αξιολόγησης και ανάπτυξη μοντέλων για τον υπολογισμό της ηλικίας του νερού σε όλο το δίκτυο διανομής.
- **Χρήση βαλβίδων ελέγχου (Control Valves)** – στις δεξαμενές οι οποίες ελέγχουν χειροκίνητα τη στάθμη του νερού και τη ρυθμίζουν έτσι ώστε να μην αποθηκεύονται μεγάλοι όγκοι νερού για μεγάλα χρονικά διαστήματα.
- **Χρήση βαλβίδων απομόνωσης** – σκοπός της χρήσης τους είναι η αλλαγή στην κατεύθυνση της ροής και στη ρύθμιση της πίεσης.



Εικόνα 2: Βαλβίδα απομόνωσης τύπου smart

- **Σωστή διαστασιολόγηση των δεξαμενών αποθήκευσης** – η διαστασιολόγηση θα πρέπει να επηρεάζεται από τις απαιτήσεις του δικτύου ως προς τη ζήτηση και την πίεση, καθώς σε

αντίθετη περίπτωση θα παρατηρηθεί αύξηση της ηλικίας αφού η ταχύτητα του νερού θα μειωθεί.

- **Βελτιστοποίηση των αντλιών ταχύτητας (Variable – Speed Pumps)** – επίτευξη μείωσης της ηλικίας του νερού με τη σωστή ρύθμιση της αντλίας και εναλλαγής συχνοτήτων της ταχύτητας.
- **Έκχυση περιορισμένων και ελεγχόμενων ποσοτήτων νερού** – στα όρια των υδραυλικών απομονωμένων υποπεριοχών του δικτύου όπου υπάρχουν κλειστοί αγωγοί θα ήταν συνετό να ανανεώνεται το νερό.
- **Ελαχιστοποίηση του αριθμού των καταληκτικών αγωγών του δικτύου** – σε αυτούς τους αγωγούς παρατηρείται πως το νερό μένει σχετικά στάσιμο, που οδηγεί στην αύξηση της ηλικίας του νερού.
- **Ανανέωση – Ανακατάταξη του όγκου του νερού της δεξαμενής με βοήθεια αντλιών** – σε περιόδους μικρής ζήτησης από τους καταναλωτές, το νερό μένει στη δεξαμενή για μακρά χρονικά διαστήματα με αποτέλεσμα την επίπτωση στην ηλικία το νερού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ Δ.Ε.Υ.Α. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

### 3.1 Γενικές πληροφορίες

Η πόλη της Καρδίτσας είναι πρωτεύουσα του ομώνυμου νομού στην κεντρική Ελλάδα. Το υδροδοτικό σύστημα της Καρδίτσας αποτελείται από τους υπό εκμετάλλευση υδατικούς πόρους, τα συγκροτήματα μεταφοράς νερού, το εξωτερικό υδραγωγείο και το εσωτερικό δίκτυο διανομής. Η εταιρία ύδρευσης και αποχέτευσης είναι δημοτική επιχείρηση, η Δ.Ε.Υ.Α.Κ.



Εικόνα 3: Θέση της Καρδίτσας στον ελλαδικό χώρο

### 3.2 Ιστορία ύδρευσης Καρδίτσας

Η σχέση της ύδρευσης της Καρδίτσας με την Παπαράντζα χάνεται στους χρόνους της Τουρκοκρατίας. Το πυκνό άλλοτε δάσος έφτανε μέχρι την πόλη και τα πλούσια υπόγεια νερά του υδροδοτούσαν κρήνες και δημόσια λουτρά με τη βοήθεια πήλινου αγωγού. Η πληθυσμιακή έκρηξη της πρώτης εικοσαετίας μετά την προσάρτηση της Θεσσαλίας στο Ελληνικό Κράτος (1881) ανέδειξε την ανεπάρκεια των τεχνικών υποδομών της οθωμανικής περιόδου, ανάμεσά τους και του απαρχαιωμένου δικτύου ύδρευσης. Τη θέση του παίρνουν προσωρινά τα πηγάδια, οι τουλούμπες και το μυλαύλακο, με αποτέλεσμα να πολλαπλασιαστούν οι θάνατοι από μολυσματικές ασθένειες και πυρετούς. Το 1901 η Καρδίτσα είναι η πρώτη θεσσαλική πόλη που θα αποκτήσει σύγχρονο δίκτυο ύδρευσης και δημοτικά λουτρά. Το υδροφόρο στρώμα της Παπαράντζας θα παραμείνει από τότε και μέχρι την ολοκλήρωση των έργων την τεχνητής λίμνης <<Ν. Πλαστήρα>>, το 1972, ο αποκλειστικός υδροδότης της πόλης.

### **3.3 Η εταιρία**

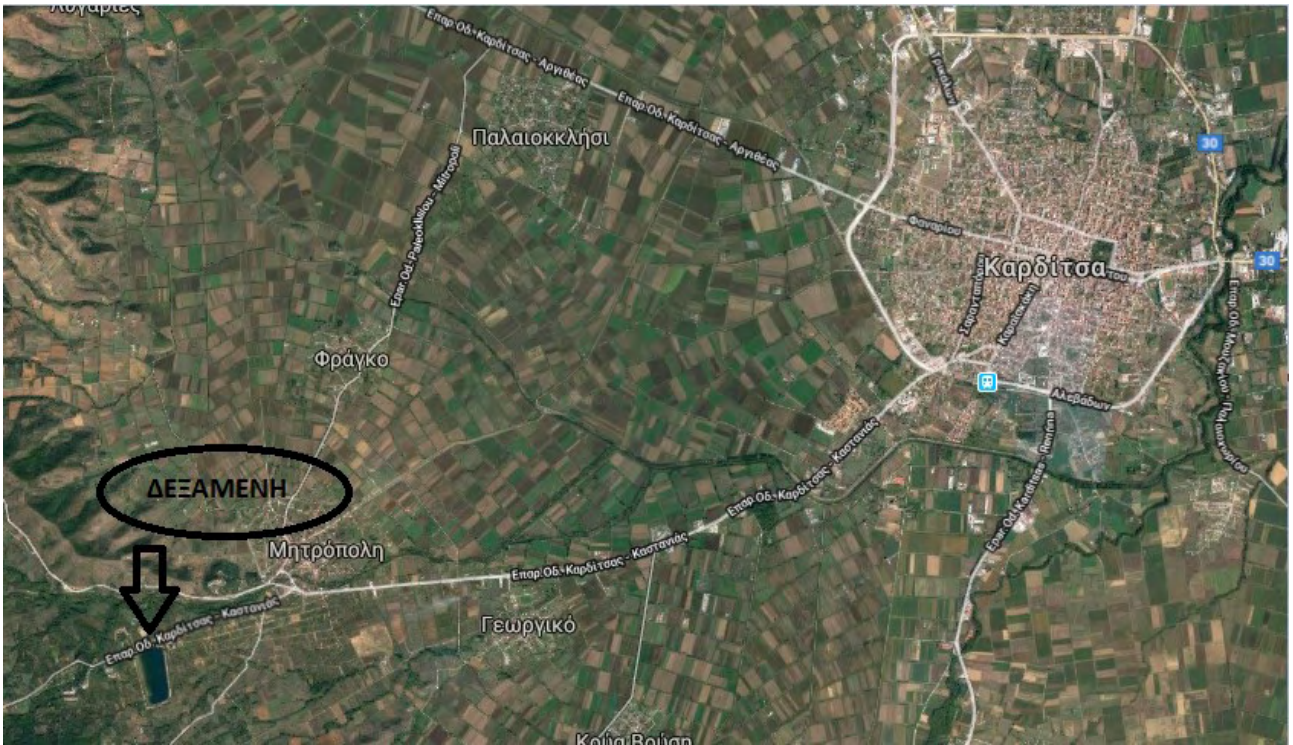
Η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Καρδίτσας (Δ.Ε.Υ.Α.Κ) ιδρύθηκε στις 3-11-1980 σε εφαρμογή του τότε νεοψηφισθέντα νόμου 1069/80 που καθόριζε τα κίνητρα για την δημιουργία αυτών των επιχειρήσεων. Από την ίδρυσή της μέχρι σήμερα, η Δ.Ε.Υ.Α.Κ. έχοντας σαν σκοπούς την κατασκευή, τη συντήρηση και τη διαχείριση των δικτύων Ύδρευσης, Αποχέτευσης, Ομβρίων και Ακαθάρτων, καθώς και των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, επετέλεσε σημαντικό έργο. Από την Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων, η οποία λειτουργεί από το 1989 και η δυναμικότητα της οποίας επεκτάθηκε το 2005, εξυπηρετούνται πλήρως οι δημότες του πρώην Δήμου Καρδίτσας και των τοπικών διαμερισμάτων Καρδίτσομαγούλας και Αρτεσιανού, στα οποία έχει κατασκευασθεί δίκτυο ακαθάρτων λυμάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η Δ.Ε.Υ.Α. Καρδίτσας υπήρξε πρωτοπόρα στον τομέα αυτό, δεδομένου ότι κατασκεύασε τον πρώτο Βιολογικό Καθαρισμό στην Ελλάδα. Η Δ.Ε.Υ.Α. Καρδίτσας σήμερα διαθέτει ικανό προσωπικό και είναι εξοπλισμένη με αυτοκίνητα και μηχανήματα που εξυπηρετούν με επάρκεια τις ανάγκες της, τις περισσότερες φορές στον ελάχιστο δυνατό χρόνο, ακόμα και σε αντίξοες καιρικές συνθήκες. Διαθέτει επίσης σύγχρονο σύστημα Τηλεχειρισμού – Τηλεέγχου του δικτύου Ύδρευσης, το οποίο παρέχει μεγάλες δυνατότητες ρυθμίσεων και ελέγχου του δικτύου εξ αποστάσεως και σε ελάχιστο χρονικό διάστημα.

### **3.4 Σύστημα Υδροληψίας – Περιγραφή Εγκατάστασης Επεξεργασίας νερού**

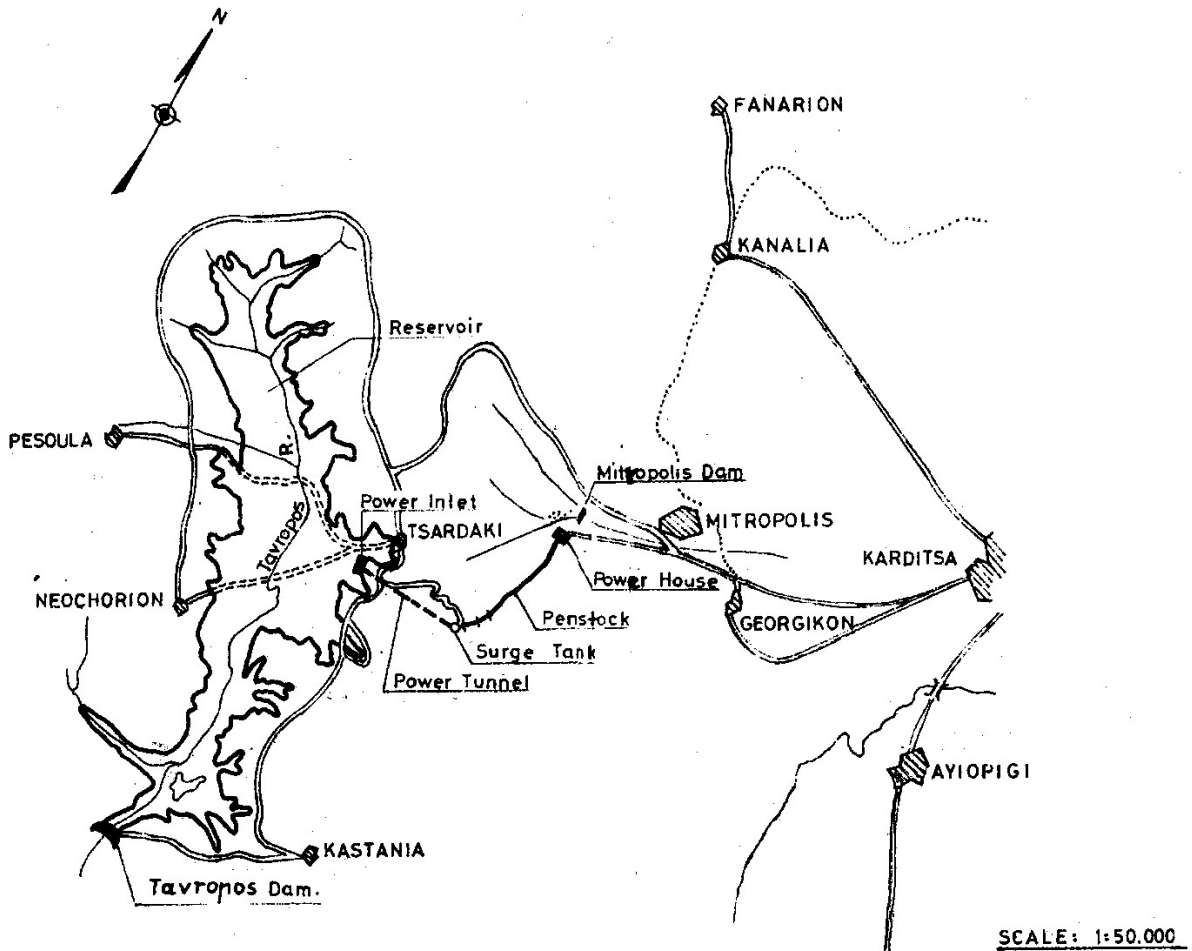
Η τροφοδοσία της πόλης της Καρδίτσας καθώς και των γύρω περιοχών, πραγματοποιείται από τη λίμνη Πλαστήρα και στη συνέχεια το νερό καταλήγει στο μοναδικό διυλιστήριο επεξεργασίας νερού του Νομού. Όσων αφορά τις τεχνικές παραμέτρους, το νερό της λίμνης από την θέση υδροληψίας μέσω της σήραγγας προσαγωγής, έχει διάμετρο 3,5m και μήκος 2625m και του αγωγού υπό πίεση μεταβλητής διαμέτρου 3m/ 2,60m/ 2,40m και μήκους 2985 m, οδηγείται προς τον ΥΗΣ Ταυρωπού. Η συνολική παροχτετευτικότητα του εξωτερικού υδραγωγείου μεταφοράς του νερού είναι της τάξης των 35,2 m<sup>3</sup>/s, ενώ ως κατώτατη στάθμη υδροληψίας έχει οριστεί από τη ΔΕΗ η στάθμη 780 m. Στην εικόνα 4 που ακολουθεί παρουσιάζεται η θέση της δεξαμενής σε σχέση με την πόλη της Καρδίτσας, μέσω του προγράμματος Google Earth. Όπως γίνεται αντιληπτό από την εικόνα η δεξαμενή βρίσκεται στους πρόποδες του βουνού, ενώ η πόλη της Καρδίτσας είναι καθαρά μια πεδινή πόλη. Απόρροια τούτου είναι πως δεν παρατηρείται μεγάλη υψομετρική διαφορά μεταξύ της δεξαμενής και των αγωγών ύδρευσης. Η δεξαμενή βρίσκεται σε υψόμετρο 170m, ενώ το υψόμετρο των αγωγών κυμαίνεται μεταξύ 99 και 113m.



**Διπλωματική Εργασία:** “Ανάπτυξη Υδραυλικού Μοντέλου στο Δίκτυο Ύδρευσης της πόλης της Καρδίτσας – Διαμόρφωση Στεγανών Υποζώνων (District Metered Areas-DMA) βάσει Ηλικίας και Πίεσης – Μελέτη του Χρόνου Παραμονής Νερού στους Αγωγούς”



Εικόνα 4: Διαδραστικός χάρτης της Καρδίτσας (Google Earth)



Σχήμα 1: Τροφοδοτικό Σύστημα της Καρδίτσας

**Υπόμνημα**

Power Intel:	Υδροληψία
Power Tunnel:	Σήραγγα Προσαγωγής
Surge Tank:	Πύργος Εκτόνωσης
Penstock:	Αγωγός
Power House:	ΥΗΣ Ταυρωπού

Το νερό αρχικά τροφοδοτεί τον ΥΗΣ Ταυρωπού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στην συνέχεια καταλήγει μέσω ανοικτής διώρυγας προσαγωγής, υπενδεδυμένης από σκυρόδεμα σε τεχνητή λίμνη χωρητικότητας 600.000m<sup>3</sup> και κατασκευάστηκε ως δεξαμενή αναρρύθμισης για την άρδευση της πεδιάδας της Καρδίτσας (Εικόνες 5). Ο μέσος χρόνος παραμονής του νερού στην αναρρυθμιστική δεξαμενή είναι περίπου 10 ημέρες. Σε περίπτωση υπερχειλίσης, υπάρχει διώρυγα φυγής, διαμέσω εκχειλιστή ασφαλείας και τάφρου.



**Εικόνα 5:** Αναρρυθμιστική Λίμνη

Στο νοτιοανατολικό άκρο της δεξαμενής αναρρύθμισης υπάρχει το έργο εκροής για τις ανάγκες της ύδρευσης και περιλαμβάνει δύο σίφωνες (Φ400 έκαστος), που οδηγούν το νερό σε φρεάτιο, το οποίο βρίσκεται σε συνέχεια της δεξαμενής σταθερής στάθμης, η οποία ρυθμίζει την παροχή για τις ανάγκες ύδρευσης. Από το φρεάτιο υδροληψίας το νερό μέσω αγωγού Φ700 εισέρχεται στα διωλιστήρια. Σε φρεάτιο που βρίσκεται μέσα στο χώρο των διωλιστηρίων ενώνεται ο αγωγός Φ700 με τους δυο αγωγούς (Φ400 έκαστος).



**Εικόνα 6:** Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού του Συνδέσμου Υδρεύσεως

Η διαδικασία επεξεργασίας νερού στα διυλιστήρια του Σ.Υ (Εικόνα 6), περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια.

- Η προχλωρίωση με υποχλωριώδες νάτριο, εφαρμοζόμενη στον αγωγό εισόδου των διυλιστηρίων (Στόχος: 0,4mg/l υπολειμματικού χλωρίου)
- Προσθήκη χημικών σε 4 δεξαμενές ταχείας ανάδευσης, κυλινδρικής διατομής. Ως κροκιδωτικό χρησιμοποιείται το θειικό αργίλιο  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$
- Συσσωμάτωση - Κροκίδωση σε 4 τριθάλαμες δεξαμενές βραδείας ανάδευσης.

Προσθήκη κροκιδωτικού γίνεται σε περίπτωση αυξημένης θολότητας στο νερό εισόδου. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι κατά το 2005 δεν απαιτήθηκε προσθήκη κροκιδωτικού, διότι η διαδικασία καθίζησης-διύλισης ήταν αρκετή, ώστε να επιτυγχάνεται θολότητα νερού στην έξοδο μικρότερη από 1 NTU.

- Καθίζηση σε 4 διθάλαμες δεξαμενές συνολικής χωρητικότητας 6400m<sup>3</sup>, οι οποίες τροφοδοτούν την παλιά και την νέα μονάδα φίλτρων
- Διύλιση, που λαμβάνει χώρα σε δύο ανεξάρτητες μονάδες:

*Παλιά μονάδα φίλτρων*, η οποία περιλαμβάνει 10 κλίνες διύλισης συμμετρικά διατεταγμένες σε δύο σειρές των πέντε με ανεξάρτητη τροφοδότηση η κάθε σειρά. Διαστάσεις κλίνης: 4x6m.  
*Νέα μονάδα φίλτρων* (κατασκευασθείσα το 1992), η οποία περιλαμβάνει 8 κλίνες διύλισης. Διαστάσεις κλίνης: 7,400x3,525m

#### Περιγραφή κλίνης

Στο δάπεδο της κλίνης εδράζεται υλικό από χαλίκια πάχους 40cm, και πάνω σ' αυτό το φίλτρο άμμου πάχους 80cm. Ύψος στήλης νερού στην κλίνη: 1,20m.

- Τελική απολύμανση με υποχλωριώδες νάτριο, εφαρμοζόμενη στο φρεάτιο συλλογής του νερού μετά τη διύλιση και πριν τη διάθεση του για κατανάλωση.  
(Στόχος: 0,5-0,55mg/l υπολειμματικού χλωρίου)
- Συνολική ποσότητα (για προχλωρίωση και τελική απολύμανση) υποχλωριώδους νατρίου (συγκέντρωσης περίπου 14%κ.ό. και πυκνότητας 1,2g/cm<sup>3</sup>): 550kg/day.Σημειώνεται ότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η συνολική ποσότητα του καταναλωθέντος NaOCl -για την επίτευξη του στόχου των 0,5-0,55mg/l υπολειμματικού χλωρίου στο νερό εξόδου- ανεβαίνει σε 1000-1200kg/day για περίπου 60.000m<sup>3</sup> νερού.

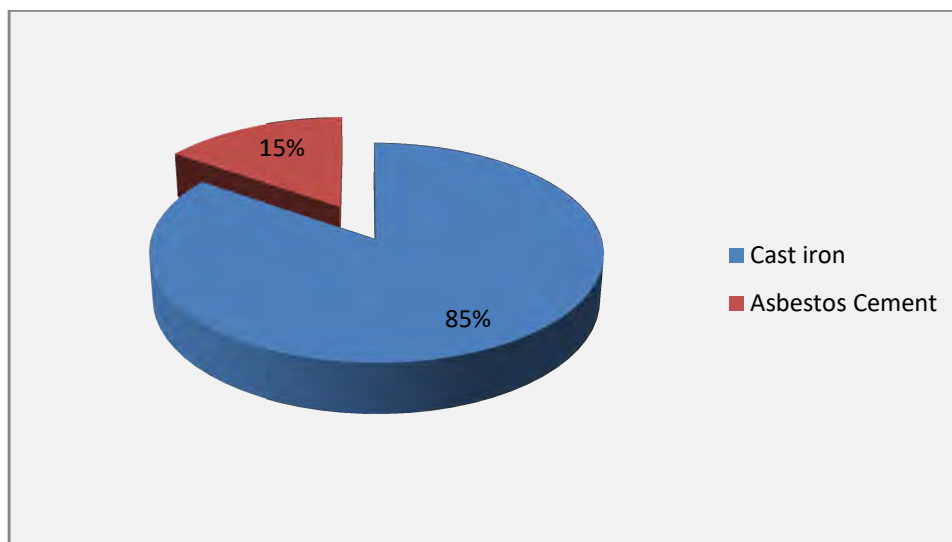
Αναφορικά με τον τρόπο λειτουργίας, θα πρέπει να αναφερθεί πως ακόμα και σε περιπτώσεις χαμηλής θολότητας, είναι σκόπιμη η εφαρμογή του κροκιδωτικού στη μονάδα διύλισης, ώστε να διαφεύγουν προς την εκροή μαζί με τα υλικά που δημιουργούν τη θολότητα. Η προσθήκη κροκιδωτικού βοηθά στην συσσωμάτωση και συγκράτηση από τα φίλτρα των κολλοειδών αυτών ενώσεων. Η μέγιστη ημερήσια παροχή του διυλιστηρίου φτάνει στα επίπεδα των 60.000m<sup>3</sup> κατά τους θερινούς μήνες, όπου η ζήτηση είναι αυξημένη και η μέση ημερήσια παροχή είναι 55.00m<sup>3</sup> νερού (Στοιχεία Δεκεμβρίου 2005 από σύνδεσμο ύδρευσης Καρδίτσας).

Το σύνολο των διεργασιών της επεξεργασίας του νερού είναι εναρμονισμένες με τις απαιτήσεις της οδηγίας 75/440/ΕΟΚ, για την επεξεργασία νερού κατηγορίας ποιότητας Α2. Σημαντικό στοιχείο της ποιότητας του παρεχόμενου νερού από το διυλιστήριο είναι ότι, σύμφωνα με εργαστηριακές αναλύσεις που εκπονείται στο εργαστήριο της εγκατάστασης καθαρισμού του νερού, η ποιότητά του αντιστοιχεί σε κατηγορία Α1.

### **3.5 Δίκτυο Μεταφοράς και Διανομής**

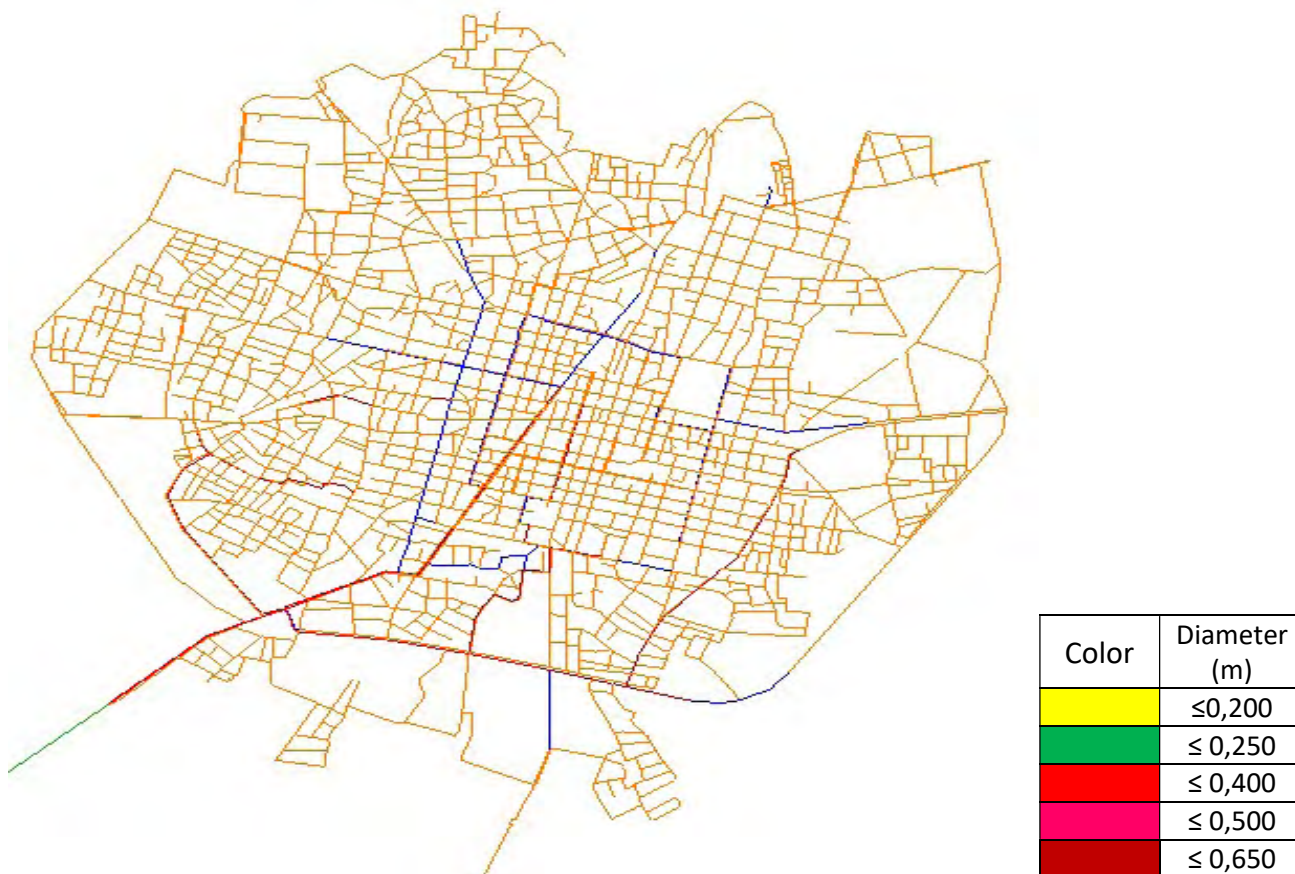
Το δίκτυο της Δ.Ε.Υ.Α. Καρδίτσας αποτελείται από 2781 αγωγούς και έχει συνολικό μήκος 205,57 χιλιομέτρων.

Τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί για το σύνολο του δικτύου είναι χυτοσίδηρος και τσιμεντοαμίαντος. Πιο συγκεκριμένα οι αγωγοί χυτοσίδηρου καταλαμβάνουν 174,73km του δικτύου και οι αγωγοί τσιμεντοαμίαντος 30,84km. Τα ποσοστά χρήσης του κάθε υλικού φαίνονται αναλυτικά στο Γράφημα1.



**Γράφημα 1:** Κατανομή του δικτύου ανάλογα με τα υλικά των αγωγών

Ως προς τις διαμέτρους των αγωγών , στους γενικούς κανονισμούς χάραξης αναφέρεται ότι οι ελάχιστες διαμέτρους αγωγών που πρέπει να εφαρμόζονται είναι 90 mm, και αφορούν μόνο τους τριτεύοντες αγωγούς. Ωστόσο στο δίκτυο της Καρδίτσας υπάρχουν δυο αγωγοί με διάμετρο μέχρι 70mm. Μία ενδεικτική εικόνα του δικτύου της Καρδίτσας ως προς το διαχωρισμό με βάση τη διάμετρο των αγωγών φαίνεται παρακάτω στην Εικόνα 7:



**Εικόνα 7:** Διαχωρισμός του δικτύου ως προς τη διάμετρο των αγωγών

Η διάμετρος των αγωγών αποτελεί σημαντικό οικονομικό και λειτουργικό παράγοντα. Η μικρή διάμετρος των αγωγών δυσχεραίνει τη λειτουργία του δικτύου καθώς επηρεάζει το ρυθμό αστοχιών (B. Κανακούδης, Σ. Τσιτσιφλή, ‘Ολοκληρωμένη Διαχείριση Αστικών Δικτύων Ύδρευσης). Συγκεκριμένα, οι ρυθμοί αστοχιών των αγωγών για ένα συγκεκριμένο υλικό αυξάνονται καθώς η διάμετρος του αγωγού μειώνεται (US Environmental Protection Agency, 2006). Από μελέτες που έχουν γίνει, έχει βρεθεί ότι ο σχετικός ρυθμός αστοχιών διαφέρει από περίπτωση σε περίπτωση αλλά η τάση παραμένει. Από άλλες μελέτες, επίσης, προέκυψε ότι οι ρυθμοί αστοχιών είναι μεγαλύτεροι για αγωγούς μικρότερης διαμέτρου.

### **3.6 Προβλήματα του υπάρχοντος δικτύου**

Τα κύρια προβλήματα του δικτύου ύδρευσης της Καρδίτσας που εντοπίζονται και καταγράφονται είναι τα εξής:

- Αυξημένη πίεση στους αγωγούς του δικτύου
- Ανεπάρκεια έως διακοπή παροχής σε ορισμένους καταναλωτές σε απομακρυσμένες περιοχές
- Τοπικά προβλήματα ανεπάρκειας του παλιού δικτύου ακόμα και στο κέντρο της πόλης
- Συχνές βλάβες και εκτιμώμενο υψηλό ποσοστό διαρροών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

### 4.1 Η έννοια της Μοντελοποίησης

Τα έργα ανάπτυξης των υδατικών πόρων περιλαμβάνουν αναπόφευκτα οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές εκτιμήσεις, καθώς και υπολογιστικά μοντέλα που μπορούν να αποσαφηνίσουν τα εμπόδια και να βοηθήσουν στην αναγνώριση των σχεδίων και των πολιτικών διαχείρισης. Ωστόσο, από τον σχεδιασμό, τα μοντέλα είναι απλοποιήσεις των πραγματικών συστημάτων. Επομένως, οι προβλέψεις για το πώς ένα πραγματικό σύστημα θα λειτουργήσει βάσει εναλλακτικών σχεδίων και πολιτικών διαχείρισης είναι συχνά αμφιλεγόμενες και πάντοτε κάπως αβέβαιες, διότι περιλαμβάνουν απαραίτητα υποθέσεις σχετικά με μελλοντικά γεγονότα και συνθήκες που δεν είναι γνωστές. Εν ολίγοις, η μοντελοποίηση είναι απαραίτητο μέρος, αλλά μόνο ένα μέρος, των πληροφοριών χρησιμοποιούνται από τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων.

Χάρη στην πρόοδο της τεχνολογίας των υπολογιστών τα τελευταία 30 χρόνια, τα πιο ολοκληρωμένα μοντέλα μπορούν πλέον να περιλαμβάνουν μηχανικές, οικονομικές, οικολογικές και υδρολογικές συνιστώσες μεγάλων και πολύπλοκων συστημάτων υδατικών πόρων. Οι εφαρμογές των μοντέλων σε πραγματικά συστήματα έχουν βελτιώσει την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο λειτουργούν και οι δύο. Αυτή η εμπειρία μας διδάσκει επίσης τους περιορισμούς της μοντελοποίησης σύνθετων αλληλεξαρτώμενων φυσικών, βιοχημικών, οικολογικών και κοινωνικών συστημάτων υδατικών πόρων. Παρ’ όλα αυτά, τα μοντέλα αποτελούν ουσιαστικό μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού και υπάρχουν μοντέλα ποικίλης πολυπλοκότητας και συνεπώς διαφόρων απαιτήσεων για δεδομένα, ανάλογα με την περίπτωση.

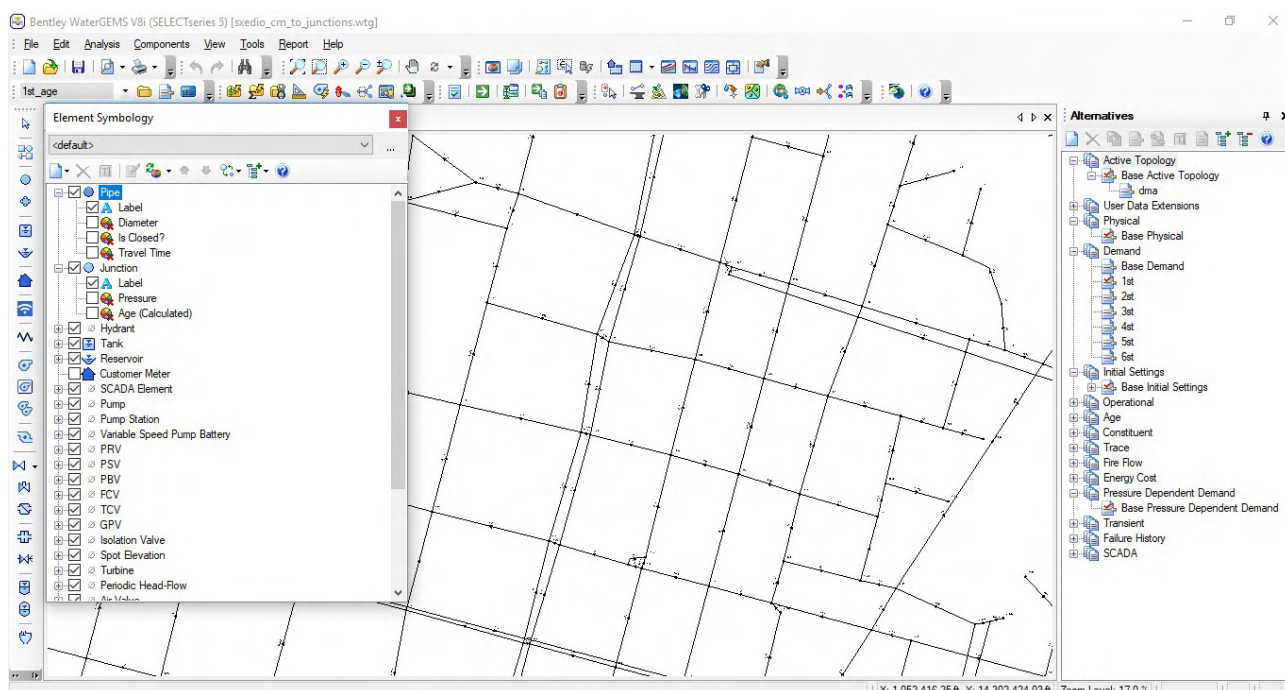
Δύο βασικό τύπο υπολογιστών βασίζονται σε μοντέλα προσομοίωσης και μοντέλα βελτιστοποίησης. Τα μοντέλα προσομοίωσης αντιμετωπίζουν τις ερωτήσεις “τι γίνεται αν”. Δεδομένων των υποθέσεων για σχεδιασμό και λειτουργία του συστήματος, ένα μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να προβλέψει πόσο καλά θα λειτουργήσει. Τα μοντέλα βελτιστοποίησης αντιμετωπίζουν τις ερωτήσεις “τι πρέπει να είναι”, ποία σχεδιαστική και λειτουργική πολιτική θα ανταποκρίνεται καλύτερα στους καθορισμένους στόχους. Ωστόσο, οι μέθοδοι – αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για την επίλυση των μοντέλων βελτιστοποίησης περιορίζουν συχνά την ποσότητα λεπτομέρειας που μπορούν να περιλαμβάνουν, έτσι είναι λιγότερο ευέλικτα από τα μοντέλα προσομοίωσης. Ειδικά για τα σύνθετα συστήματα, η βελτιστοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί πρώτα για να διακρίνει μη ικανοποιητικές εναλλακτικές λύσεις. Τα μοντέλα προσομοίωσης μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για να ερευνήσουν τις υπόλοιπες πιο ελπιδοφόρες εναλλακτικές λύσεις.

## 4.2 Υδραυλική προσομοίωση δικτύου ύδρευσης με WaterGEMS

### 4.2.1 Γνωριμία με το πρόγραμμα WaterGEMS

Το WaterGEMS είναι ένα ολοκληρωμένο αλλά εύχρηστο εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων για δίκτυα διανομής νερού. Το λογισμικό συμβάλλει στη βελτίωση της γνώσης του τρόπου με τον οποίο συμπεριφέρεται η υποδομή ενός συστήματος, του τρόπου με τον οποίο αντιδρά στις επιχειρησιακές στρατηγικές καθώς ο πληθυσμός και οι απαιτήσεις αυξάνονται. Μέσω αυτού γίνεται ο σχεδιασμός ενός δικτύου καθώς και η προσομοίωση του για περαιτέρω μελέτη.

Η κάθε διαχειριστική εταιρία μετά τον σχεδιασμό και την μελέτη του πραγματικού δικτύου που την ενδιαφέρει μπορεί να βγάλει αποτελέσματα σχετικά με την κατανάλωση, την πίεση των αγωγών του δικτύου, την ποιότητα του νερού, την ηλικία του νερού, τις συνήθειες των καταναλωτών και πολλά άλλα χρήσιμα δεδομένα.



Εικόνα 8: Περιβάλλον WaterGEMS και σχεδιασμός δικτύου

Ο πάροχος μέσω του προγράμματος είναι σε θέση να παίρνει αποφάσεις με σκοπό την καλύτερη λειτουργία του δικτύου. Ταυτόχρονα, μπορεί να έχει καλύτερη επίβλεψη του δικτύου και να βρίσκει τους καταναλωτές που κλέβουν νερό. Με αυτό τον τρόπο η εταιρία θα αυξήσει τα έσοδα της, αφού θα είναι σε θέση να κοστολογήσει όλο το νερό που προσφέρει στους καταναλωτές.

### 4.2.2 Δεδομένα του δικτύου

Για την πραγματοποίηση της μοντελοποίησης ενός δικτύου ύδρευσης είναι απαραίτητα κάποια στοιχεία ώστε το μοντέλο κατά τον σχεδιασμό να είναι όσο πιο κοντά στην πραγματικότητα γίνεται. Με αυτό τον τρόπο τα αποτελέσματα που θα εξάγει το πρόγραμμα θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη των αποφάσεων. Για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας ήταν απαραίτητη η επικοινωνία με τον πάροχο του δικτύου ύδρευσης της Καρδίτσας, Δ.Ε.Υ.Α.Κ.



Ως αρχικό δεδομένο απαιτήθηκε το τμήμα του δικτύου σε κάποιο σχεδιαστικό πρόγραμμα. Η εταιρία διαχείρισης είχε διαθέσιμο το δίκτυο ύδρευσης σε μορφή AutoCad (εικόνα 9) και σε μορφή GIS με όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τη διαδικασία του σχεδιασμού. Βάσει του σχεδίου, εξήχθησαν πληροφορίες για τα σημεία που είναι τοποθετημένοι οι αγωγοί στην Καρδίτσα, τις τεχνικές τους προδιαγραφές (μήκος, διάμετρος, υλικό κατασκευής) και το σημείο στο οποίο εισέρχεται το νερό στην πόλη.



**Εικόνα 9:** Δίκτυο ύδρευσης της Καρδίτσας σε περιβάλλον AutoCad

Ο υπεύθυνος της εταιρίας για τον έλεγχο και την παρακολούθηση του δικτύου άλλαζε κάθε οχτώ μήνες με αποτέλεσμα την μη έγκυρη και απαραίτητη ενημέρωση από τους προηγούμενους. Αυτό είχε ως απόρροια την αύξηση των δεδομένων του σχεδίου στο AutoCad καθώς ο κάθε υπεύθυνος δημιουργούσε δικά του Layers για κάθε αγωγό του δικτύου. Στο αρχείο της μορφής AutoCad προσδιορίζει τις διαμέτρους των αγωγών καθώς και λεπτομερώς τις θέσεις των κόμβων του δικτύου. Οι αγωγοί σύμφωνα με το σχέδιο είναι σχεδιασμένοι με το LayerF90 Castiron, όπου δηλώνει ότι το υλικό κατασκευής είναι ο χυτοσίδηρος και η διάμετρος του είναι 90 χιλιοστά.

Παρόλο που οι πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά των αγωγών πάρθηκαν από το αρχείου του AutoCad, το δίκτυο ύδρευσης εισήχθηκε στο πρόγραμμα WateGEMS μέσω του αρχείου της μορφής GIS. Με αυτό τον τρόπο πραγματοποιείται ο σχεδιασμός του δικτύου ύδρευσης, εντοπίζονται οι διασταυρώσεις των αγωγών και διευκρινίζονται τα στοιχεία των υλικών σωστά σε

κάθε αγωγό ξεχωριστά. Κατά την εισαγωγή του δικτύου στο πρόγραμμα χρειάστηκε να γίνει ο ενδεδειγμένος έλεγχος της σύνδεσης του κάθε αγωγού με κόμβο.

Το δεύτερο απαραίτητο στοιχείο από τον πάροχο και διαχειριστή του δικτύου είναι οι καταναλώσεις. Οι καταναλώσεις που εισήχθησαν ως στοιχεία αφορούν το οικονομικό έτος του 2013 και είναι τα πραγματικά στοιχεία με τα οποία κοστολογήθηκαν οι καταναλωτές. Πιο συγκεκριμένα, η Δ.Ε.Υ.Α.Κ παρείχε δυο αρχεία τύπου excel στα οποία το ένα αποτελούνταν από τα στοιχεία που αφορούν τις διευθύνσεις και τα υδρόμετρα των καταναλωτών και το δεύτερο αποτελούνταν από τις καταναλώσεις των πολιτών χωρισμένες σε 6 δίμηνα. Από αυτά τα αρχεία μόνο για το οικονομικό έτος 2013 ήταν ολοκληρωμένες οι μετρήσεις για αυτό και χρησιμοποιήθηκε αυτό το έτος στην έρευνα. Επιπρόσθετα, από τον Σύνδεσμο Ύδρευσης της Καρδίτσας λήφθηκε αρχείο τύπου excel σχετικό με την ποσότητα του νερού που δόθηκε στο πολεοδομικό συγκρότημα της Καρδίτσας για το έτος 2013, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση των απωλειών του δικτύου.

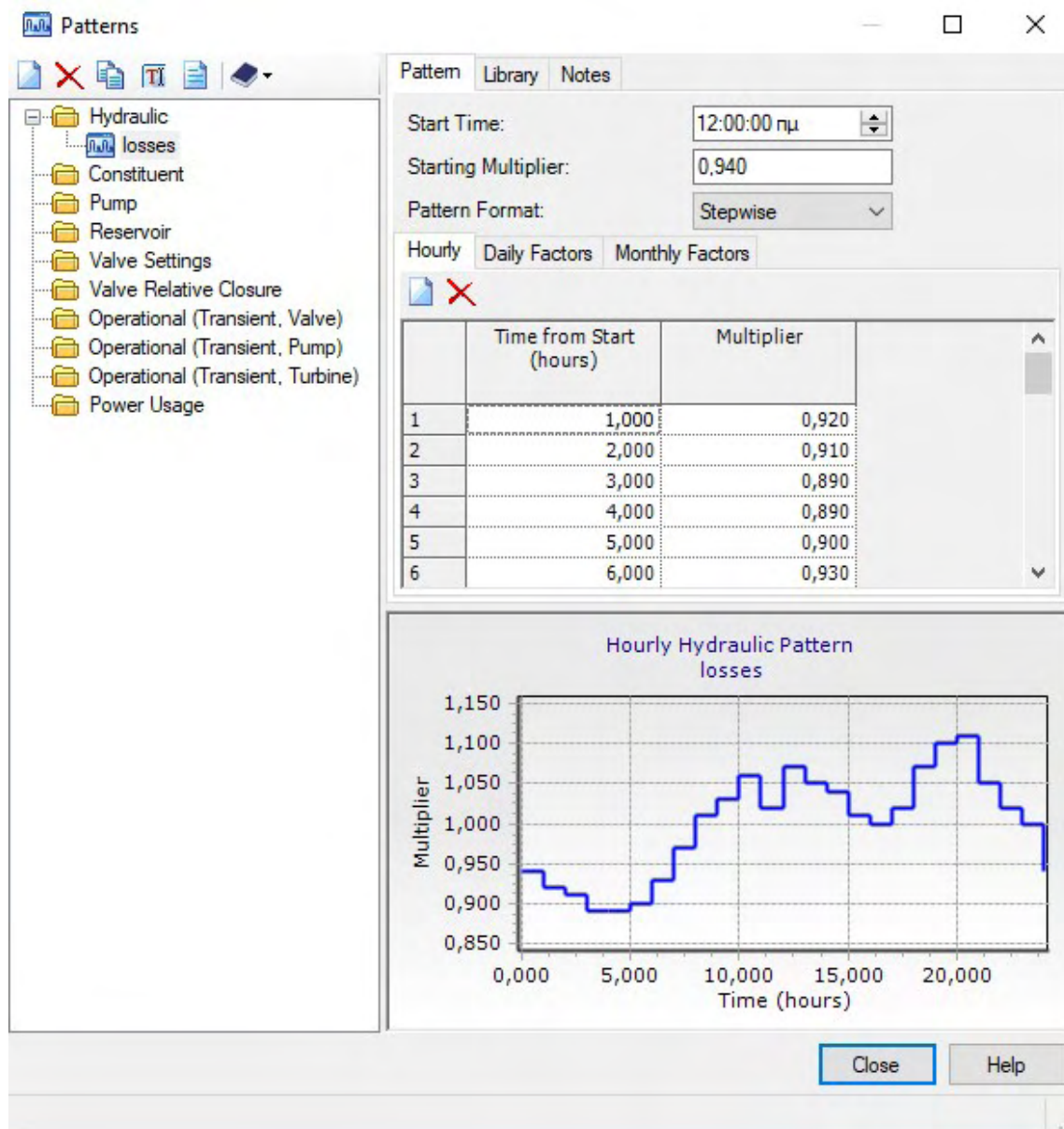
#### **4.2.3 Βήματα πραγματοποίησης σχεδιασμού με λογισμικό WaterGEMS**

Για την πραγματοποίηση του σχεδιασμού του δικτύου στο πρόγραμμα ακολουθήθηκαν μια σειρά από βήματα σχεδίασης, τα οποία παρουσιάζονται στην συνέχεια.

1. Πραγματοποιήθηκε καταχώρηση όλων των καταναλώσεων σύμφωνα με τα πραγματικά στοιχεία του κάθε καταναλωτή σε κάθε υδρόμετρο. Με τη διαδικασία αντιγραφή – επικόλληση εισήχθησαν οι καταναλώσεις από το αρχείο excel της Δ.Ε.Υ.Α.Κ. στα customer meters με τους πλησιέστερους κόμβους με τη δυνατότητα LoadBuilder που παρέχετε από το πρόγραμμα.
2. Συγκρίνοντας τις πραγματικές καταναλώσεις των πολιτών (αρχείο excel από Δ.Ε.Υ.Α.Κ.) με το σύνολο του εισερχόμενου νερού για το οικονομικό έτος 2013 (αρχείο excel από σύνδεσμο ύδρευσης), υπολογίστηκαν οι απώλειες του δικτύου. Για το έτος 2013 οι απώλειες του δικτύου ήταν 72,87%, δηλαδή χάθηκαν 7.217.427m<sup>3</sup> πόσιμου νερού. Η Δ.Ε.Υ.Α.Κ. δεν είχε διαθέσιμα στοιχεία για επιπλέον “απώλειες” του δικτύου, όπως κλοπές, μη τιμολογούμενο νερό και παράνομες συνδέσεις.

$$\text{ΑΠΩΛΕΙΕΣ} = \text{ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟ ΝΕΡΟ} - \text{ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ}$$

3. Διαιρώντας τις απώλειες του δικτύου με την παροχή του νερού (αρχείο excel από Δ.Ε.Υ.Α.Κ.) υπολογίστηκε ένας συντελεστής  $\gamma = 2.7$ . Πολλαπλασιάζοντας τον συντελεστή  $\gamma$  με τη ζήτηση του κάθε κόμβου δημιουργήθηκε ένα pattern απωλειών (εικόνα 10). Με αυτό τον τρόπο έγινε ο υπολογισμός του μεγέθους των απωλειών κάθε κόμβου με βάση τις συνολικές απώλειες του δικτύου

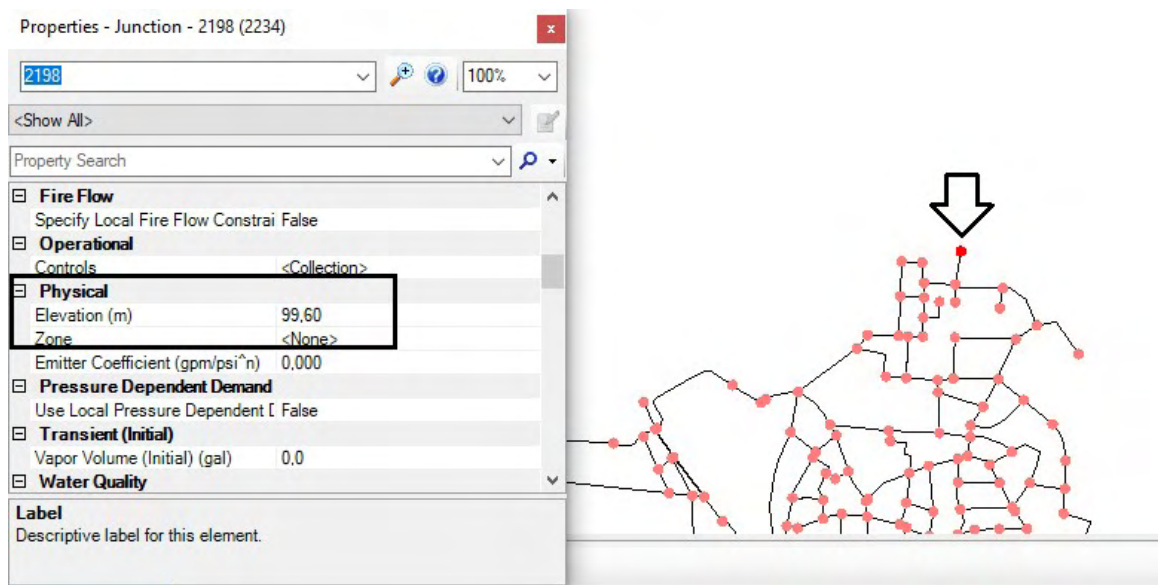


**Εικόνα 10:** Pattern απωλειών του δικτύου ύδρευσης της Καρδίτσας

Τοποθετώντας ξεχωριστά τις τιμές των καταναλώσεων και των απωλειών θα δρουν στο μοντέλο αθροιστικά.

4. Για την εξαγωγή σωστών αποτελεσμάτων σχετικά με την ηλικία του νερού, την πίεση και τον χρόνο παραμονής του νερού στους αγωγούς του δικτύου, ο κάθε κόμβος πρέπει να είναι συνδεδεμένος και με την τρίτη διάσταση. Ως εκ τούτου έγινε ο προσδιορισμός των υψομέτρων σε κάθε κόμβο του δικτύου ύδρευσης. Εξαιτίας της έλλειψης αρχείων σχετικά με τα υψόμετρα των κόμβων από τη Δ.Ε.Υ.Α.Κ., η διαδικασία του προσδιορισμού των υψομέτρων κάθε κόμβου ολοκληρώθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth το οποίο παρέχει πληροφορίες με μικρή απόκλιση για κάθε σημείο του χάρτη. Για τον καλύτερο προσδιορισμό των υψομέτρων, έγινε έλεγχος των υψομέτρων που πάρθηκαν από το πρόγραμμα Google Earth με τα υψόμετρα των δρόμων της πόλης της Καρδίτσας, αφαιρώντας 1.4m από τα υψόμετρα των δρόμων. Τα αρχεία για τα υψόμετρα των δρόμων της πόλης

πάρθηκαν από την Τ.Υ.Δ.Κ.. (Τεχνική Υπηρεσία Δήμων και Κοινοτήτων). Οι κόμβοι ελέγχθηκαν ένας ένας ξεχωριστά για όσα διαθέσιμα υψόμετρα δρόμων υπήρχαν.



**Εικόνα 11:** Δήλωση υψομέτρου σε κόμβο

5. Στο πρόγραμμα προσομοίωσης εισήχθησαν η λίμνη από την οποία παρέχεται το νερό και η δεξαμενή υδροδότησης σύμφωνα με τα στοιχεία που δόθηκαν από τον σύνδεσμο ύδρευσης της Καρδίτσας σε μορφή word. Τα φυσικά τους χαρακτηριστικά αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Με αυτόν τον τρόπο και ακολουθώντας τα παραπάνω βήματα έγινε ο σχεδιασμός του δικτύου ύδρευσης της πόλης της Καρδίτσας στο μοντέλο προσομοίωσης του προγράμματος WaterGEMS. Προσομοιώνοντας την λειτουργία του δικτύου με βάση το πρόγραμμα αυτό μοντελοποιήθηκε ένα δίκτυο το οποίο λειτουργεί σύμφωνα με τα πραγματικά στοιχεία ύδρευσης έτσι ώστε τα αποτελέσματα της έρευνας να είναι αξιόπιστα και ρεαλιστικά.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ5: ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΕ DMAs**

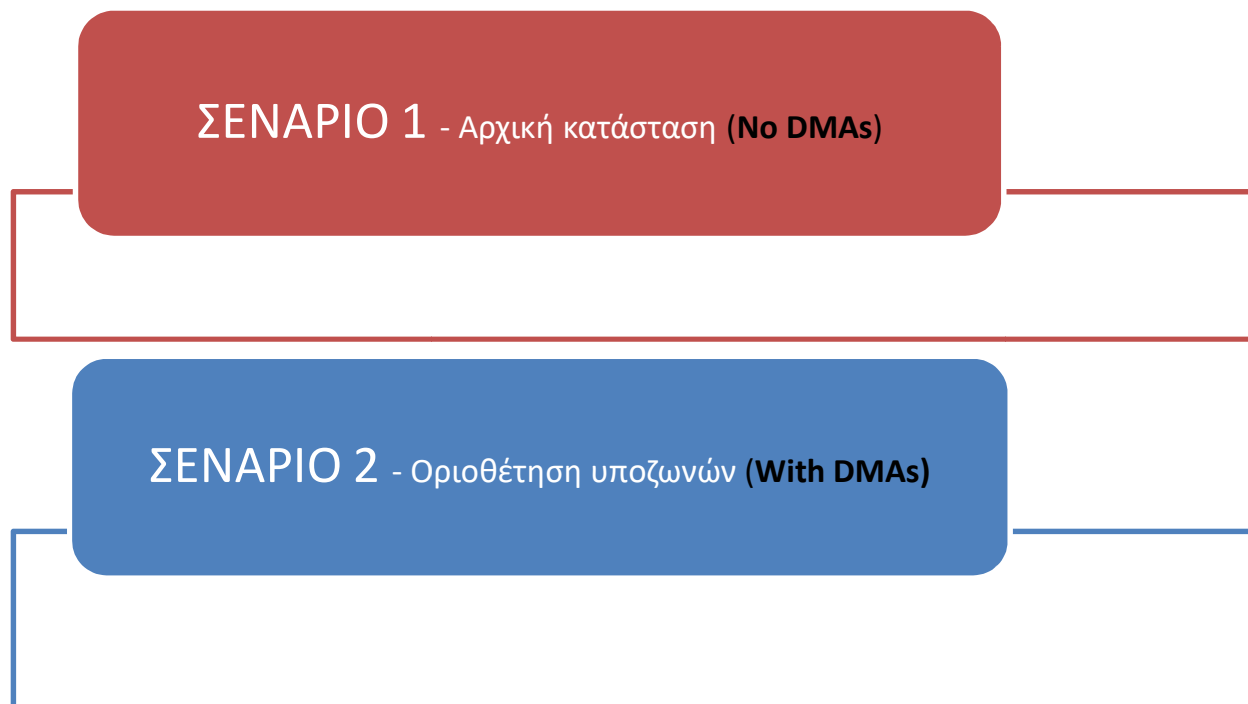
### **5.1 Σενάρια Μελέτης και Ανάλυσης**

Προϋπόθεση για την εύρυθμη λειτουργία ενός δικτύου ύδρευσης είναι η εξασφάλιση επαρκούς ποσότητας και ποιότητας νερού για την κάλυψη της κατανάλωσης. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορα υπολογιστικά πακέτα ανάλυσης δικτύων, τα οποία βάση των μαθηματικών μοντέλων που αυτά υποστηρίζουν, υποβοηθούν τον μελετητή που σχεδιάζει ή την υπηρεσία που διαχειρίζεται ένα δίκτυο ύδρευσης για την λήψη ορθολογικών αποφάσεων, από τεχνική και οικονομική άποψη.

Τα υδραυλικά μοντέλα μπορούν και προσομοιώνουν την εκάστοτε υφιστάμενη κατάσταση και λειτουργία ενός δικτύου, να αναλύουν διαφορετικά σενάρια κι εκδοχές και τελικά να προτείνεται η ιδανικότερη λύση όχι μόνο ως προς την ηλικία του νερού, την πίεση και τον χρόνο παραμονής του νερού στους αγωγούς αλλά γενικά ως προς την ποιότητά του. Επίσης, η χρήση υδραυλικών μοντέλων μας επιτρέπει την απεικόνιση των αποτελεσμάτων ως προς την ηλικία, την πίεση και τον χρόνο παραμονής πάνω στο δίκτυο πριν και μετά τις αλλαγές που θα εφαρμόσουμε με εφαρμογή χρωματικής κωδικοποίησης (color coding) κι έτσι μας δίνεται η δυνατότητα να εντοπίσουμε τις κρίσιμες περιοχές πάνω στο χάρτη χωρίς να απαιτείται κάποιου είδους χρονοβόρας διαδικασία δειγματοληψίας.

Με την προσομοίωση της λειτουργίας του δικτύου στο πρόγραμμα WaterGEMs εξετάστηκαν δυο διαφορετικά σενάρια. Το πρώτο σενάριο αντιπροσωπεύει την αρχική κατάσταση του δικτύου πριν την οριοθέτηση των DMAs. Στο δεύτερο σενάριο διαμορφώνονται οι DMAs στο δίκτυο κλείνοντας κάποιους αγωγούς (pipe status=closed) ώστε να υπάρχει διαχωρισμός κάποιων υποπεριοχών του δικτύου.

Συνεπώς τα σενάρια μελέτης και ανάλυσης που επιλέχθηκαν για τη παρούσα διπλωματική εργασία είναι τα ακόλουθα:



**Γράφημα 2:** Τα σενάρια μελέτης και ανάλυσης επιγραμματικά

## 5.2 Ορισμός DMA

Ως DMA, όπως αναγράφεται στη διπλωματική εργασία του Μακρή Κ. “Μείωση του μη ανταποδοτικού νερού στα αστικά δίκτυα ύδρευσης μέσω διαχείρισης της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κω” 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. Συνήθως, η DMA έχει ένα σημείο εισόδου του νερού σε αυτήν και ένα σημείο εξόδου του νερού από αυτήν. Ιδανικά, κάθε DMA έχει μόνο έναν κόμβο εισαγωγής με το απαραίτητο παροχόμετρο και περιλαμβάνει συνήθως 1000 έως 3000 υδρόμετρα.

Η μελέτη και ανάλυση του δικτύου μετά την οριοθέτηση και εφαρμογή των υποζωνών (DMAs) οδηγεί σε αποτελέσματα για την πίεση και τις διαρροές της κάθε υποπεριοχής του δικτύου. Αυτό συντελεί στην καλύτερη εξυπηρέτηση των καταναλωτών και τη μείωση των απωλειών νερού, καθώς ο διαχειριστής του δικτύου είναι σε θέση να εντοπίσει σε μικρότερο χρονικό διάστημα την περιοχή η οποία έχει μεγάλη απώλεια νερού και την άμεση επιδιόρθωση του προβλήματος.

Δυστυχώς πολλές εταιρίες διαχείρισης του δικτύου ύδρευσης εμμένουν μόνο στη μείωση των απωλειών που γίνονται αντιληπτές και αναφέρονται από το κοινό, θεωρώντας ότι οι μικρές μη

ανιχνεύσιμες διαρροές αποτελούν ένα μικρό ποσοστό του προβλήματος. Ωστόσο, έχει πλέον αποδειχθεί ότι αυτή η θεώρηση είναι λανθασμένη.

### **5.3 Περιορισμοί από την εφαρμογή των DMAs**

Χωρίζοντας ένα δίκτυο σε υποζώνες και με ταυτόχρονη σωστή διαχείριση των απωλειών και γενικώς του δικτύου είναι δεδομένα τα οφέλη για την εταιρία διαχείρισης, τους καταναλωτές αλλά και την ισορροπία του υδατικού ισοζυγίου. Παρ’ όλα αυτά με την υλοποίηση των DMAs δημιουργούνται αδιέξοδα στο δίκτυο, καθώς χρησιμοποιούνται ενεργές βαλβίδες αποκλεισμού και υπάρχουν κλειστοί αγωγοί στο δίκτυο. Απόρροια αυτών είναι η αύξηση της πιθανότητας να μειωθεί η ποιότητα του νερού και εν συνεχεία οι καταναλωτές να είναι δυσαρεστημένοι με την εταιρία διαχείρισης του δικτύου.

### **5.4 Μέτρα για τον σωστό σχεδιασμό των DMAs**

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

- Κατά τον σχεδιασμό των DMAs, οι μεγάλοι καταναλωτές, όπως οι ξενοδοχειακές μονάδες, να τοποθετούνται στα άκρα, διατηρώντας έτσι φρέσκο το νερό στο εσωτερικό των DMAs.
- Στην περίπτωση όπου αναφερθούν προβλήματα ποιότητας του νερού, να πραγματοποιείται άνοιγμα των συνοριακών βαλβίδων αποκλεισμού ανά τακτά χρονικά διαστήματα, με ταυτόχρονη αύξηση της πίεσης (flushing programme).

Επιπρόσθετα, κατά τον σχεδιασμό των DMAs λαμβάνονται υπόψη οι εξής περιορισμοί:

- 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

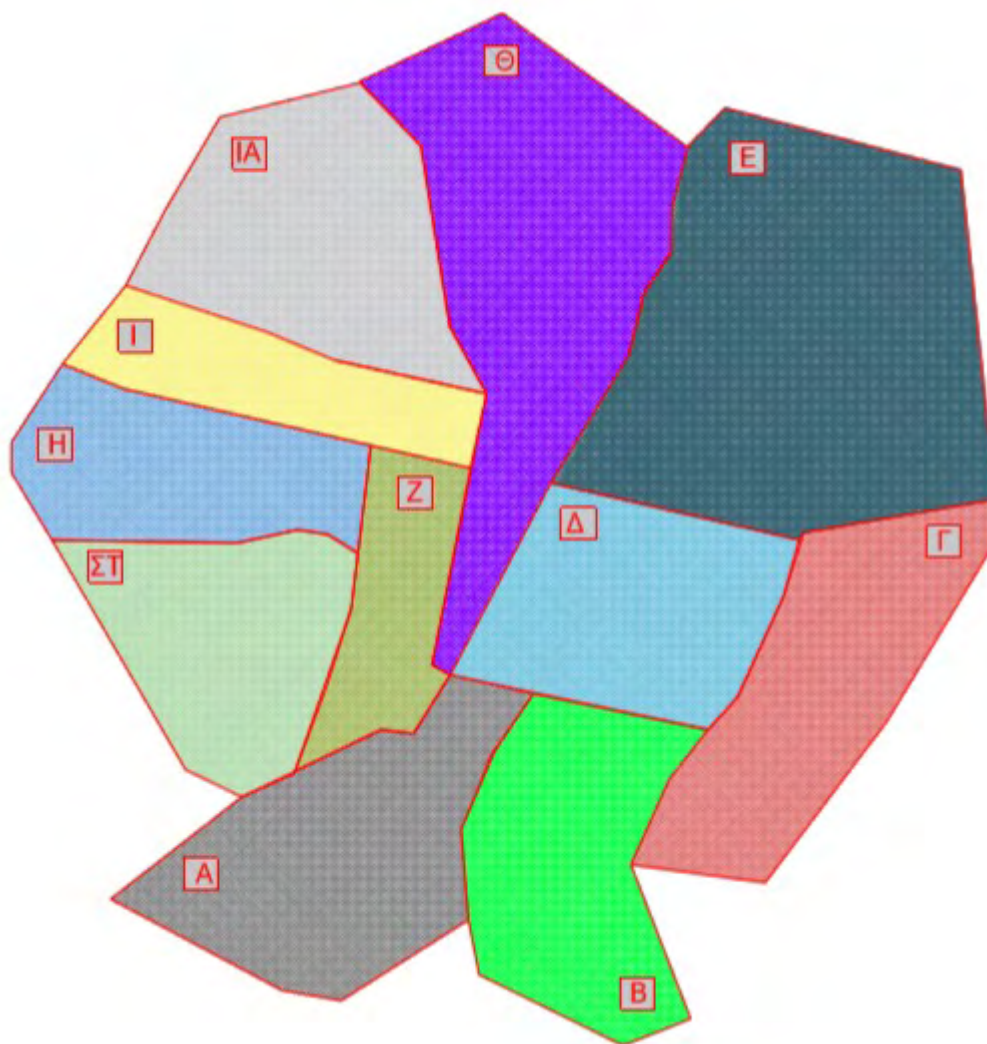
### **5.5 Υλοποίηση των DMAs στο δίκτυο ύδρευσης της Καρδίτσας**

Ο διαχωρισμός του δικτύου σε περιοχές είναι μια μεθοδολογία η οποία μπορεί να εφαρμόζεται σε κάθε δίκτυο. Το μέσο μέγεθος μιας DMA είναι γενικά μεταξύ 1000 και 3000 συνδέσεων. Το μέγεθος μιας DMA επηρεάζει το κόστος της εφαρμογής καθώς όσο μικρότερο είναι, τόσο ακριβότερα στοιχίζει η εφαρμογή, αλλά και τόσο μεγαλύτερα πλεονεκτήματα γεννιούνται όπως ότι οι νέες διαρροές εντοπίζονται νωρίτερα. Σε πρακτικό επίπεδο, στον διαχωρισμό των περιοχών σημαντικές πληροφορίες αποτελούν οποιοσδήποτε μεγάλες καταναλώσεις (νοσοκομεία κτλ), φυσικά όρια (ποταμοί, σιδηροδρομικές γραμμές, δρόμοι κτλ) και περιγράμματα επιπέδου εδάφους.

Τα κύρια στοιχεία που λήφθηκαν υπόψη για τον σχεδιασμό είναι:

- **μεγάλοι αγωγοί διανομής** – οι αγωγοί με μεγάλη διατομή είναι κύριοι και θα πρέπει να βρίσκονται συνέχεια σε λειτουργία.
- **κατανομή των πιέσεων** – κάθε DMA αποτελείται από κόμβους οι οποίοι είχαν μία παρόμοια διακύμανση της πίεσης
- **κατανομή της ηλικίας**– οι κόμβοι κάθε DMA παρουσιάζουν παρόμοια διακύμανση της ηλικίας
- **ισοκατανομή του πληθυσμού μέσω υδρομέτρων**

Η κάθε περιοχή θα πρέπει να τροφοδοτείται από μια μόνο παροχή και να απομονώνεται υδραυλικά από το υπόλοιπο δίκτυο. Με βάση τα παραπάνω κριτήρια το δίκτυο χωρίστηκε σε έντεκα DMAs, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα 12.



**Εικόνα 12:** Διαχωρισμός του δικτύου σε 11 DMAs

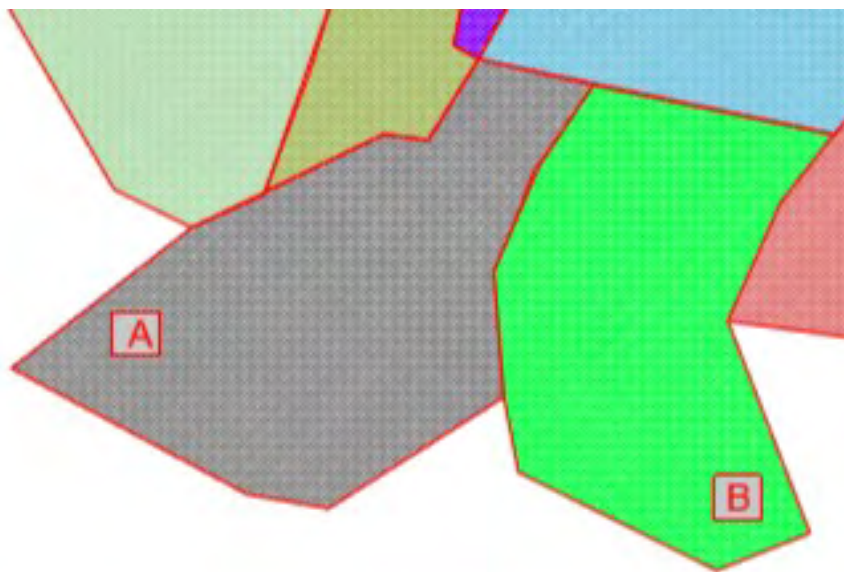


### 5.5.1 Υποζώνη Α

Η υποζώνη Α έχει ενιαία λειτουργία σε αρκετά μεγάλο βαθμό σε ότι αφορά την επιρροή των πιέσεων και της ηλικίας του νερού. Η μέση πίεση του DMA είναι 529kPa και η ηλικία είναι 29hrs. Η είσοδος του νερού στη ζώνη γίνεται από τον αγωγό 3889 που φέρνει νερό απευθείας από την δεξαμενή. Ο αγωγός αυτός είναι κύριος με διάμετρο 500mm και είναι κατασκευασμένος από χυτοσίδηρο.



**Εικόνα 13:** Υποζώνη Α με υπόβαθρο τους αγωγούς



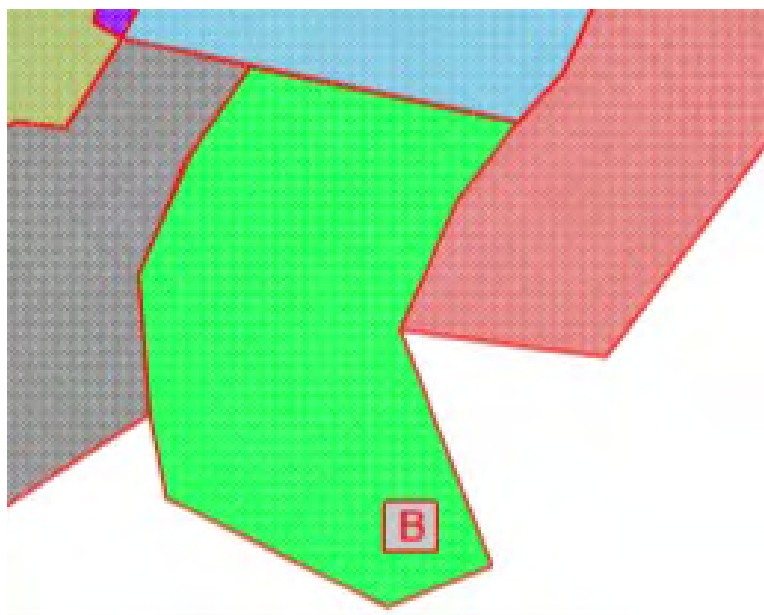
**Εικόνα 14:** Υποζώνη Α με γκρι χρώμα

### 5.5.2 Υποζώνη Β

Η υποζώνη Β έχει μέση ηλικία 38hrs και μέση πίεση 511kPa. Η είσοδος του νερού στη ζώνη γίνεται από τον αγωγό P-252 που φέρνει νερό από την υποζώνη Α. Ο αγωγός αυτός είναι κύριος με διάμετρο 450mm και είναι κατασκευασμένος από χυτοσίδηρο.



**Εικόνα 15:** Υποζώνη Β με υπόβαθρο τους αγωγούς



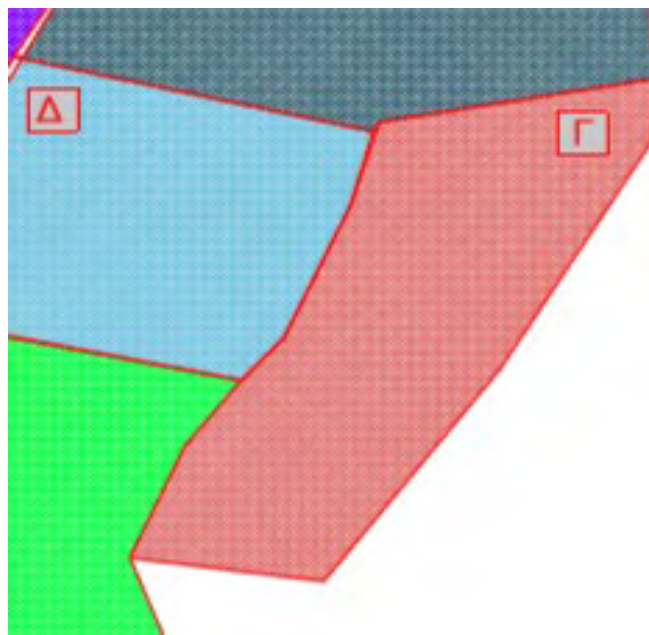
**Εικόνα 16:** Υποζώνη Β με πράσινο χρώμα

### 5.5.3 Υποζώνη Γ

Η λειτουργία της υποζώνης Γ είναι παρόμοια σε ότι αφορά τις πιέσεις και τις ηλικίες του νερού στους κόμβους. Η μέση πίεση της DMAΓ είναι 536kPa και η μέση ηλικία του νερού είναι 28hrs. Η είσοδος του νερού στη ζώνη γίνεται από τον αγωγό 9469 που φέρνει νερό από την υποζώνη Β. Ο αγωγός αυτός είναι κύριος με διάμετρο 355mm και είναι κατασκευασμένος από χυτοσίδηρο.



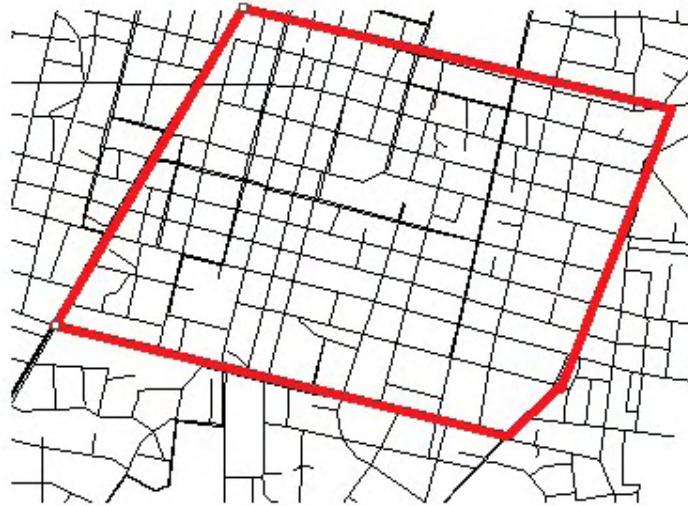
**Εικόνα 17:** Υποζώνη Γ με υπόβαθρο τους αγωγούς



**Εικόνα 18:** Υποζώνη Γ με ροζ χρώμα

### 5.5.4 Υποζώνη Δ

Η υποζώνη Δ έχει ενιαία λειτουργία σε αρκετά μεγάλο βαθμό σε ότι αφορά την επιρροή των πιέσεων και της ηλικίας του νερού. Η μέση πίεση της υποζώνης είναι 526kPa και η μέση ηλικία της είναι 29hrs. Η είσοδος του νερού στη ζώνη γίνεται από τον αγωγό 840 που φέρνει νερό από την υποζώνη Α. Ο αγωγός αυτός είναι κύριος με διάμετρο 355mm και είναι κατασκευασμένος από χυτοσίδηρο.



**Εικόνα 19:** Υποζώνη Δ με υπόβαθρο τους αγωγούς



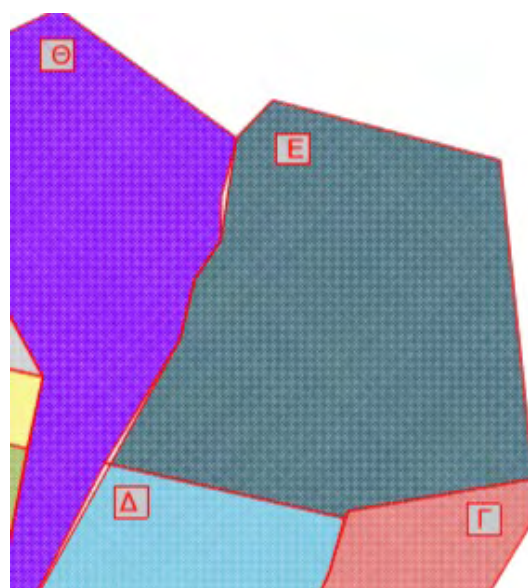
**Εικόνα 20:** Υποζώνη Δ με μπλε χρώμα

### 5.5.5 Υποζώνη Ε

Οι πιέσεις των κόμβων στην υποζώνη Ε κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με μέση πίεση 559kPa. Η μέση ηλικία της DMA είναι 47hrs. Η είσοδος του νερού στη ζώνη γίνεται από τον αγωγό P-706 που φέρνει νερό από την υποζώνη Δ. Ο αγωγός αυτός έχει διάμετρο 225mm και είναι κατασκευασμένος από τσιμεντοαμίαντο.



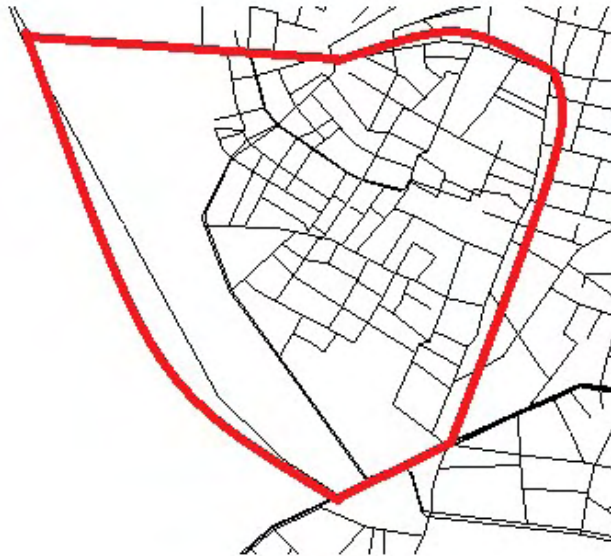
Εικόνα 21: Υποζώνη Ε με υπόβαθρο τους αγωγούς



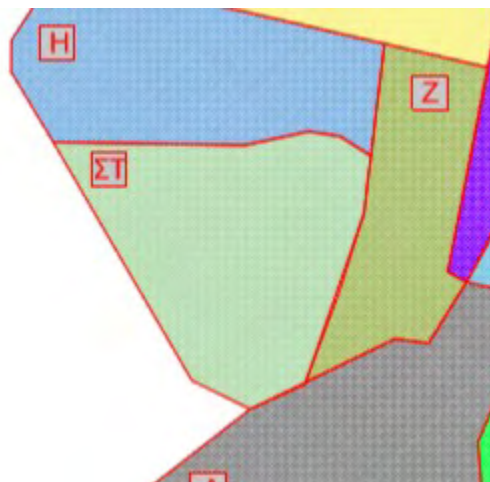
Εικόνα 22: Υποζώνη Ε με σκούρο γκρι χρώμα

### 5.5.6 Υποζώνη ΣΤ

Όπως και στις προηγούμενες υποζώνες, έτσι και στην DMAΣΤ οι πιέσεις και οι ηλικίες των κόμβων κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα. Η μέση πίεση είναι 547kPa, ενώ η μέση ηλικία των κόμβων είναι 31hrs. Η είσοδος του νερού στη ζώνη γίνεται από τον αγωγό 3126που φέρνει νερό απευθείας από την δεξαμενή. Ο αγωγός αυτός είναι κύριος με διάμετρο 355mm και είναι κατασκευασμένος από χυτοσίδηρο.



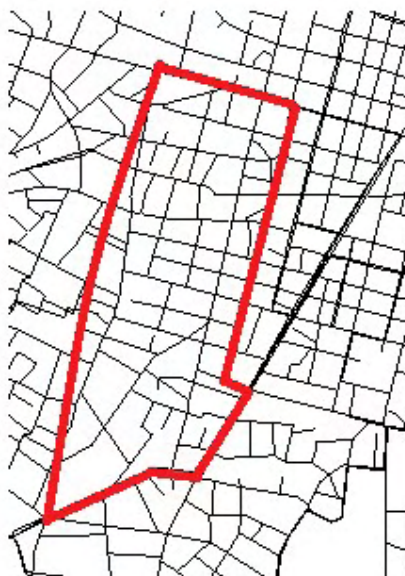
**Εικόνα 23:** Υποζώνη ΣΤ με υπόβαθρο τους αγωγούς



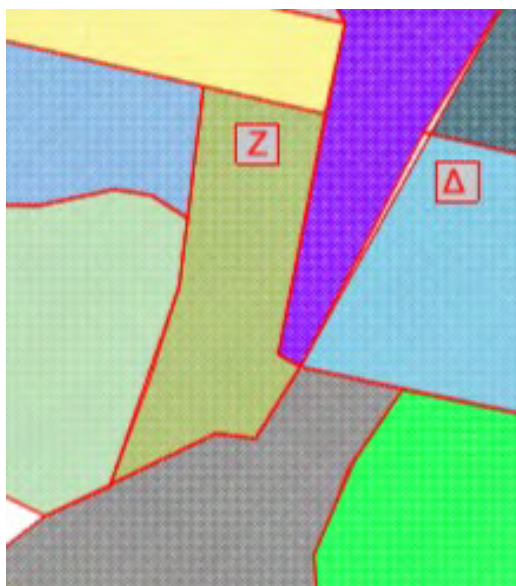
**Εικόνα 24:** Υποζώνη ΣΤ πράσινο χρώμα

### 5.5.7 Υποζώνη Z

Η υποζωνη Z έχει ενιαία λειτουργία σε αρκετά μεγάλο βαθμό σε ότι αφορά την επιρροή των πιέσεων και της ηλικίας του νερού. Η μέση πίεση σε αυτήν την περίπτωση είναι 536kPa και η μέση ηλικία του νερού είναι 26hrs. Η είσοδος του νερού στη ζώνη γίνεται από τον αγωγό P-1106 που φέρνει νερό απευθείας από την δεξαμενή. Ο αγωγός αυτός έχει διάμετρο 250mm και είναι κατασκευασμένος από τσιμεντοαμίαντο.



**Εικόνα 25:** Υποζώνη Z με υπόβαθρο τους αγωγούς



**Εικόνα 26:** Υποζώνη Z με σκούρο πράσινο χρώμα

### 5.5.8 Υποζώνη Η

Οι κόμβοι στην υποζώνη Η με την πάροδο του επηρεάζονται με τον ίδιο τρόπο σε ότι αφορά την πίεση και την ηλικία του νερού. Η μέση πίεση είναι 560kPa και η μέση ηλικία είναι 28hrs. Η είσοδος του νερού στη ζώνη γίνεται από τον αγωγό 672 που φέρνει νερό από την υποζώνη Ζ. Ο αγωγός αυτός έχει διάμετρο 225mm και είναι κατασκευασμένος από τσιμεντοαμίαντο.



**Εικόνα 27:** Υποζώνη Η με υπόβαθρο τους αγωγούς

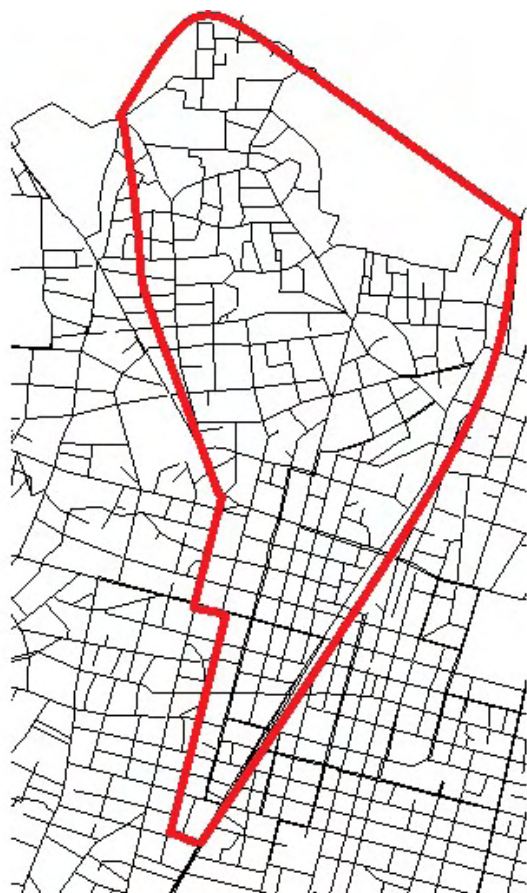


**Εικόνα 28:** Υποζώνη Η με θαλασσί χρώμα

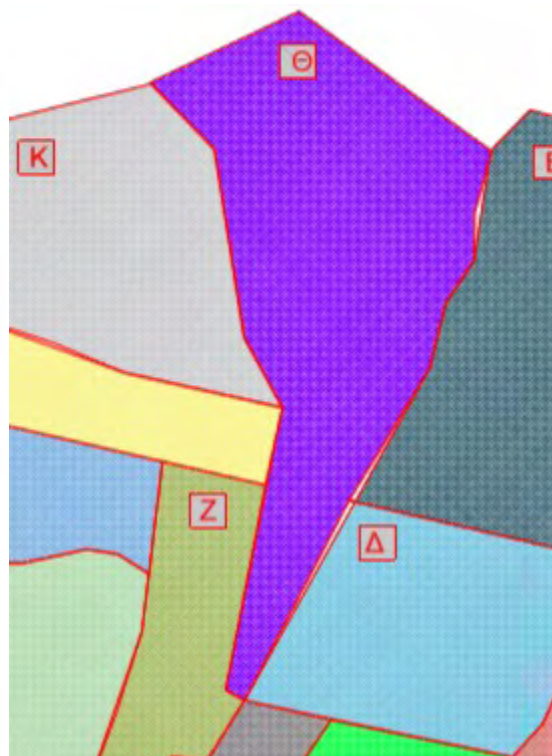


### 5.5.9 Υποζώνη Θ

Η υποζωνη Θ έχει ενιαία λειτουργία σε αρκετά μεγάλο βαθμό σε ότι αφορά την επιρροή των πιέσεων και της ηλικίας του νερού. Η τιμή της μέσης πίεσης είναι 554kPa και της ηλικίας του νερού είναι 31hrs. Η είσοδος του νερού στη ζώνη γίνεται από τον αγωγό P-948 που φέρνει νερό από την υποζώνη Δ. Ο αγωγός αυτός έχει διάμετρο 250mm και είναι κατασκευασμένος από χυτοσίδηρο.



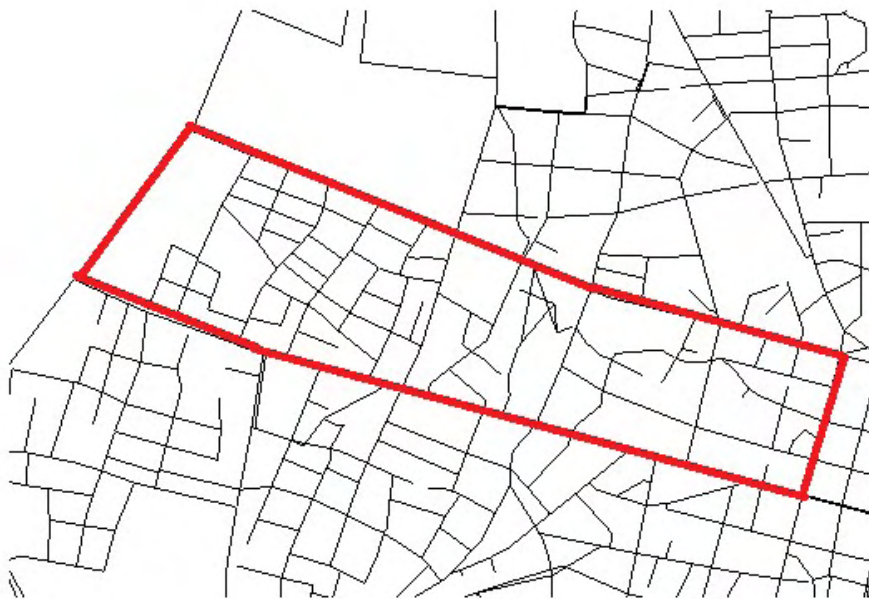
**Εικόνα 29:** Υποζώνη Θ με υπόβαθρο τους αγωγούς



**Εικόνα 30:** Υποζώνη Θ με μοβ χρώμα

### 5.5.10 Υποζώνη I

Η πίεση των κόμβων και η ηλικία του νερού στους κόμβους της DMA αλλάζει ομοιόμορφα με την πάροδο του χρόνου. Η μέση πίεση αυτής της υποζώνης είναι 565kPa και η μέση ηλικία του νερού είναι 30hrs. Η είσοδος του νερού στη ζώνη γίνεται από τον αγωγό 1405 που φέρνει νερό από την υποζώνη Z. Ο αγωγός αυτός έχει διάμετρο 225mm και είναι κατασκευασμένος από αμίαντο.



**Εικόνα 31:** Υποζώνη I με υπόβαθρο τους αγωγούς



**Εικόνα 32:** Υποζώνη I με κίτρινο χρώμα

### 5.5.11 Υποζώνη ΙΑ

Η λειτουργία της υποζώνης ΙΑ είναι ενιαία σε αρκετά μεγάλο βαθμό σε ότι αφορά την επιρροή των πιέσεων και της ηλικίας του νερού. Η μέση πίεση της DMA ΙΑ είναι 574kPa και η μέση ηλικία είναι 34hrs. Η είσοδος του νερού στη ζώνη γίνεται από τον αγωγό 2464 που φέρνει νερό από την υποζώνη Ι. Ο αγωγός αυτός έχει διάμετρο 225mm και είναι κατασκευασμένος από αμίαντο.



**Εικόνα 33:** Υποζώνη ΙΑ με υπόβαθρο τους αγωγούς



**Εικόνα 34:** Υποζώνη ΙΑ με ανοιχτό γκρι χρώμα

## 5.6 Κατανόηση του δικτύου

Προκειμένου να γίνει πιο κατανοητή η λειτουργία του δικτύου εξετάστηκε ο τρόπος λειτουργίας της κάθε DMA κι ο εντοπισμός των σημείων εισόδου της καθεμιάς. Μία ενδεικτική χαρτογράφηση της λειτουργίας του δικτύου φαίνεται στην εικόνα 35. Οι κλειστοί αγωγοί δηλώνονται με μπλε χρώμα κι αποτελούν τα όρια των επιμέρους υποζωνών.

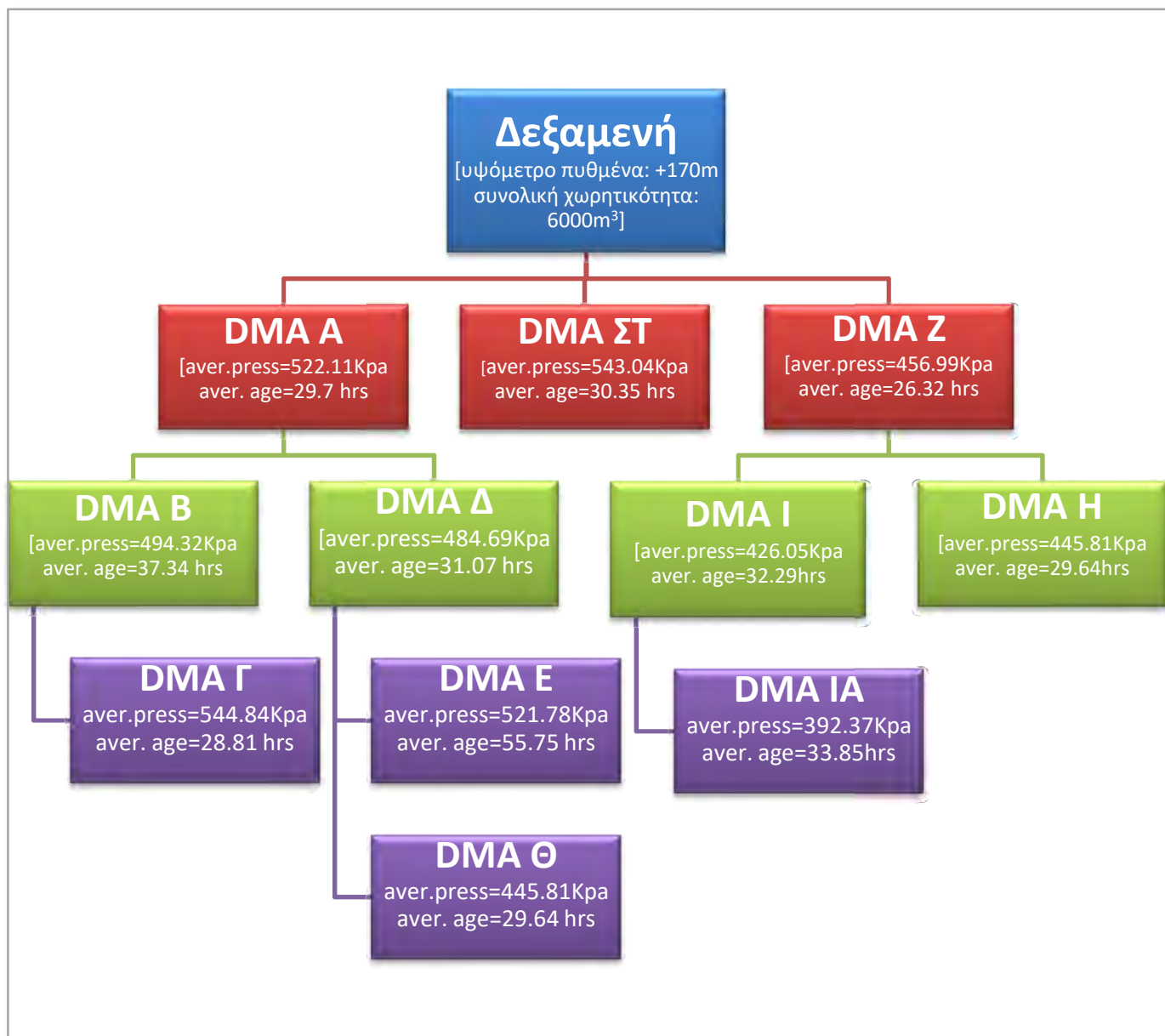
Από την δεξαμενή του δικτύου ξεκινά ο κύριος τροφοδοτικός αγωγός που φτάνει στην περίμετρο της πόλης από όπου και διακλαδίζεται προς όλους τους πρωτεύοντες αγωγούς διανομής. Αρχικά λοιπόν, τροφοδοτούνται: η DMA Α, η DMA ΣΤ και η DMA Ζ. Το νερό ταξιδεύει από τη DMA Α στη DMA Β και από εκεί στη DMA Γ, ενώ από τη DMA Α τροφοδοτείται η DMA Δ. Στη συνέχεια η DMA Δ τροφοδοτεί την DMA Ε και Θ. Η DMA ΙΑ τροφοδοτείται από την DMA Ι.



**Εικόνα 35:** Χαρτογράφηση της λειτουργίας του δικτύου

## 5.7 Διάγραμμα ροής στο δίκτυο ύδρευσης

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του υφιστάμενου δικτύου ακολουθεί στο διάγραμμα 2 η αποτύπωση της πορείας του νερού στο δίκτυο της Καρδίτσας.

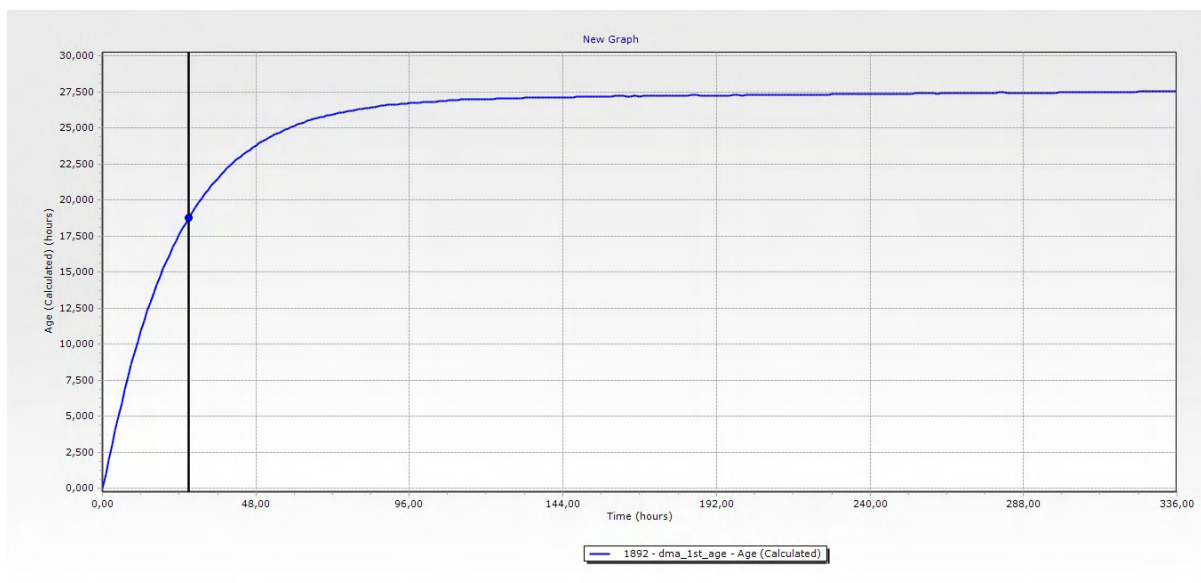


Γράφημα 3: Η πορεία του νερού στο δίκτυο ύδρευσης της Καρδίτσας

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ6: ΣΕΝΑΡΙΟ 1<sup>ο</sup> – NODMAs

### 6.1 Water Age Analysis

Το πρόγραμμα WaterGEMS παρέχει τη δυνατότητα να προσομοιώσει την κατάσταση του νερού από την άποψη της ηλικίας του για πεπερασμένα χρονικά διαστήματα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η έρευνα πραγματοποιήθηκε για χρονικό διάστημα 2 εβδομάδων (336 hours).



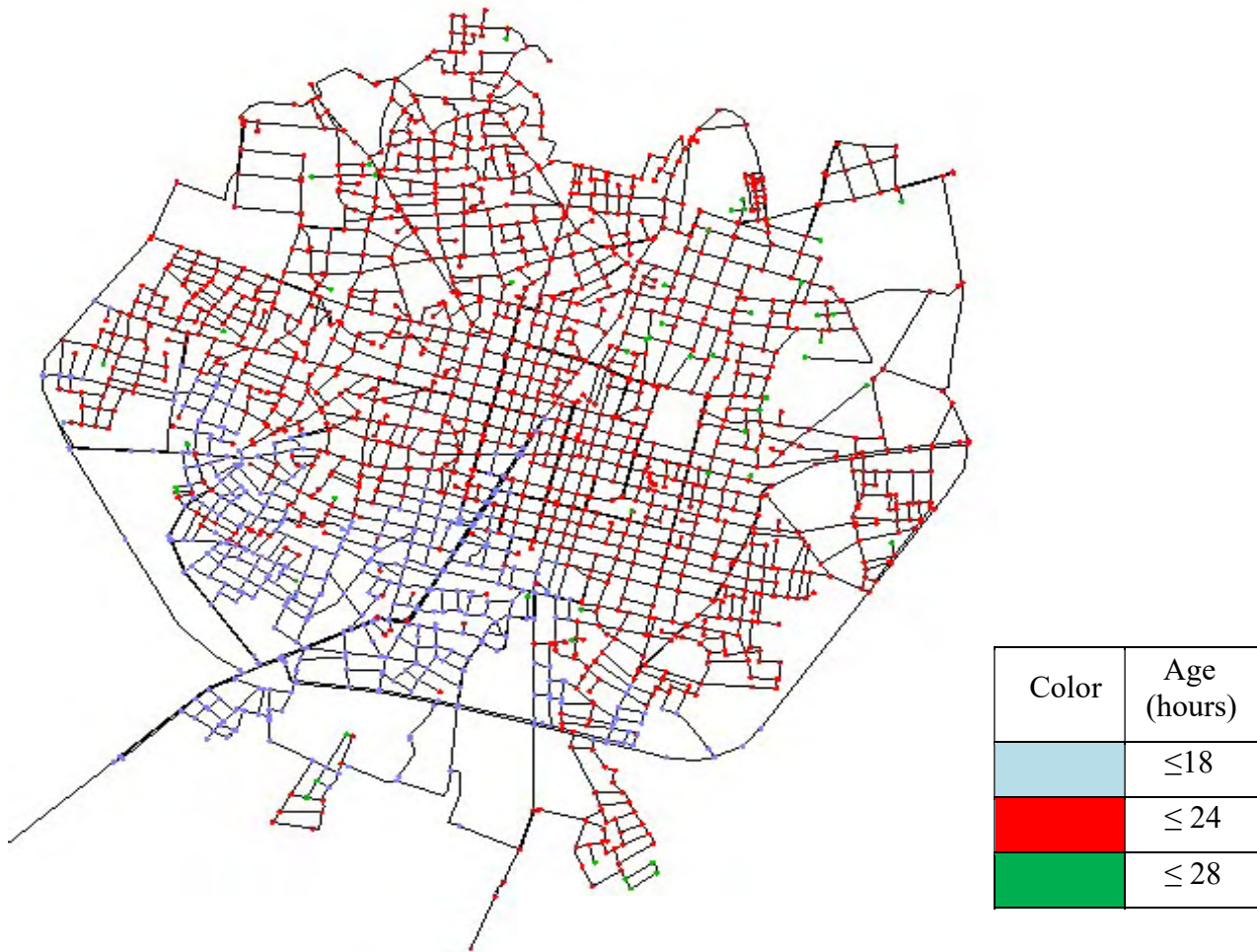
Γράφημα 4: Παρουσίαση ηλικία νερού σε κόμβο 1892

Παρατηρείται ότι η ηλικία του νερού αυξάνεται σχεδόν γραμμικά και στη συνέχεια σταθεροποιείται με ένα μικρό εύρος επανάληψης τιμών. Το ίδιο συμβαίνει σε όλους τους κόμβους του δικτύου μας.

### 6.2.Κρίσιμοι Κόμβοι ως προς την ηλικία

Για ένα δίκτυο ύδρευσης κρίσιμος κόμβος ως προς την ηλικία θεωρείται αυτός με τη μέγιστη ηλικία νερού. Για κάθε DMA του δικτύου της Καρδίτσας εντοπίστηκε ο κρίσιμος κόμβος για το 1<sup>ο</sup> σενάριο.

Στην ακόλουθη εικόνα 36 απεικονίζονται οι ηλικίες των κόμβων του δικτύου ύδρευσης της Καρδίτσας μετά από 24 ώρες. Οι ηλικίες των κόμβων για εκείνη τη χρονική στιγμή κυμαίνονται μεταξύ 17 και 18 ωρών. Οι κόμβοι που βρίσκονται πιο κοντά στη δεξαμενή παρουσιάζουν μικρότερες ηλικίες (μπλε χρώμα στην εικόνα 36).



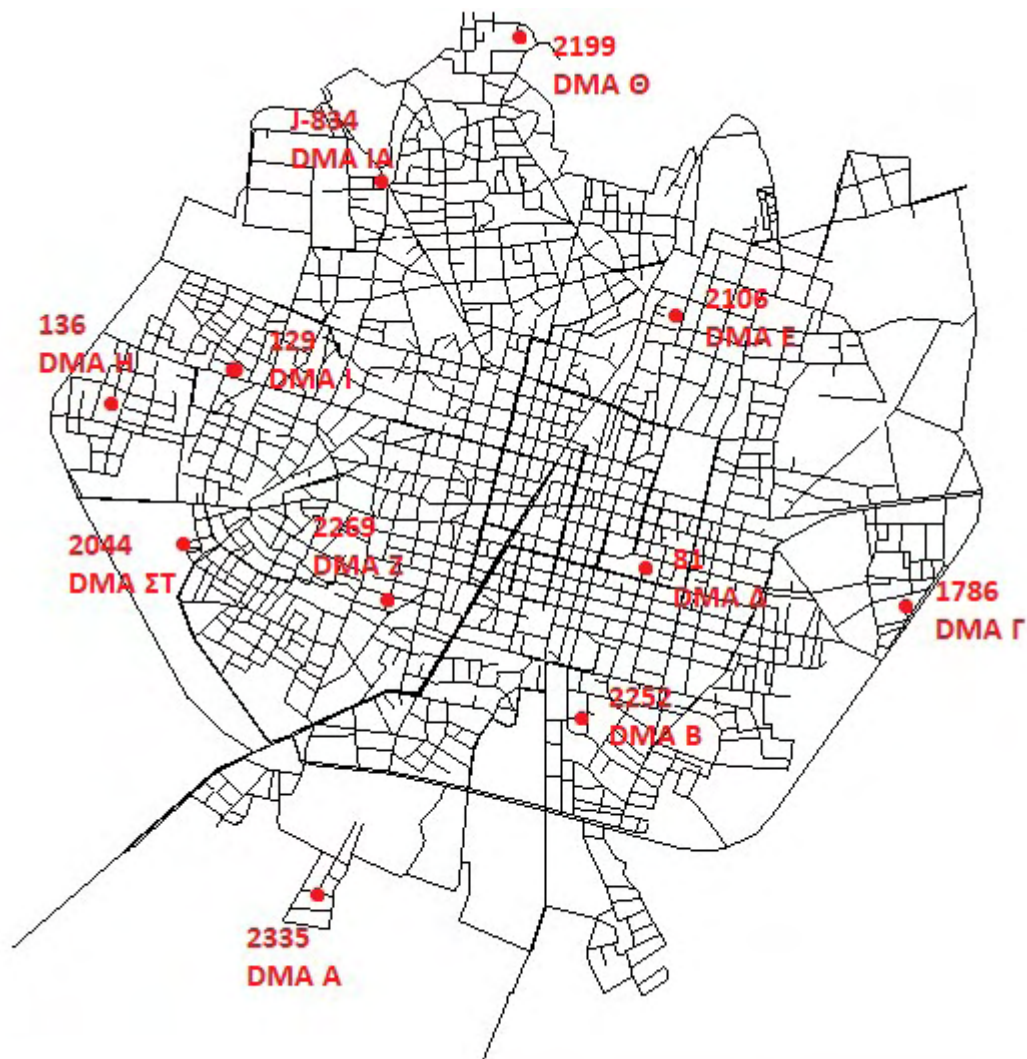
**Εικόνα 36:** Απεικόνιση των ηλικιών των κόμβων του δικτύου μετά από 24 ώρες για το 1<sup>ο</sup> σενάριο

Για κάθε κρίσιμο κόμβο του δικτύου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα οι τιμές της μέσης ηλικίας στον κόμβο, της μέγιστης ηλικίας του νερού του κόμβου και η μέση τιμή της ηλικίας του νερού της αντίστοιχης υποζώνης. Στον ίδιο πίνακα εμφανίζονται οι αντίστοιχες τιμές που αφορούν την πίεση του κόμβου και της DMA. Ακολουθεί ακόμη η απεικόνιση των κρίσιμων ως προς την ηλικία κόμβων του δικτύου για την αρχική κατάσταση του δικτύου.

**Διπλωματική Εργασία:** “Ανάπτυξη Υδραυλικού Μοντέλου στο Δίκτυο Ύδρευσης της πόλης της Καρδίτσας – Διαμόρφωση Στεγανών Υποζώνων (District Metered Areas-DMA) βάσει Ηλικίας και Πίεσης – Μελέτη του Χρόνου Παραμονής Νερού στους Αγωγούς”

NO DMAs							
DMAs	Κρίσιμοι κόμβοι	Ηλικία(hrs)			Πίεση (kPa)		
		average per dma	average κομβου	max κρισιμου	average per dma	average κομβου	min κρισιμου
A	2335	29,71	168,00	336,00	529,71	511,83	442,00
B	2252	38,74	168,00	336,00	511,56	524,66	455,00
Γ	1786	28,47	168,00	336,00	536,13	539,54	471,00
Δ	81	29,90	168,00	336,00	526,50	525,70	457,00
E	2106	47,72	168,00	336,00	559,22	557,83	489,00
ΣΤ	2044	30,90	168,00	336,00	547,73	552,45	483,00
Z	2269	26,30	33,79	35,75	536,49	534,87	460,00
H	136	28,17	168,00	336,00	560,27	558,58	490,00
Θ	2199	30,86	168,00	336,00	554,00	574,80	507,00
I	129	29,81	168,00	336,00	565,26	566,40	498,00
IA	J-834	33,97	168,00	336,00	574,26	577,17	510,00

**Πίνακας 1:** Κρίσιμοι κόμβοι ως προς την ηλικία σε κάθε DMA για 1<sup>ο</sup> σενάριο



**Εικόνα 37:** Αποτύπωση των κρίσιμων ως προς την ηλικία κόμβων του δικτύου για το 1<sup>ο</sup> σενάριο



### 6.3 Κρίσιμοι Κόμβοι ως προς την πίεση

Κατά την διάρκεια της έρευνας μελετήθηκε το δίκτυο ύδρευσης της Καρδίτσας ως προς την πίεση των κόμβων του δικτύου. Στην ακόλουθη εικόνα 38 παρουσιάζονται οι τιμές των πιέσεων των κόμβων στην αρχή της ανάλυσης για το 1<sup>ο</sup> σενάριο. Στην αρχή της ανάλυσης οι τιμές των πιέσεων των κόμβων κυμαίνονται μεταξύ 417 και 522kPa. Οι τιμές αυτές έχουν δυνατότητα βελτίωσης, αφού ως κρίσιμη πίεση θεωρείται η τιμή των 200kPa.

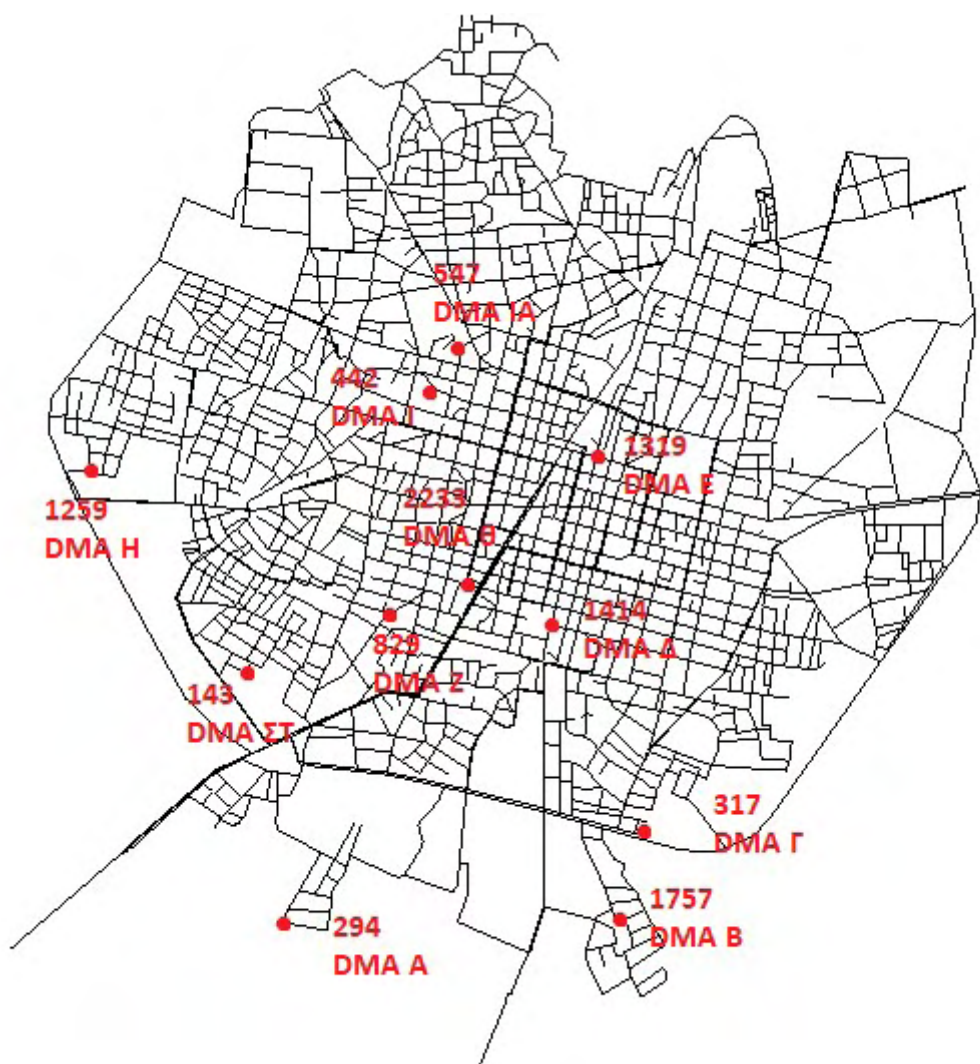


Εικόνα 38: Απεικόνιση των πιέσεων των κόμβων του δικτύου για το 1<sup>ο</sup> σενάριο

Όπως και στην περίπτωση της ηλικίας του νερού, για κάθε κρίσιμο κόμβο του δικτύου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα οι τιμές της μέσης πίεσης στον κόμβο, της μέγιστης πίεσης του νερού του κόμβου και η μέση τιμή της πίεσης του νερού της αντίστοιχης υποζώνης. Στον ίδιο πίνακα εμφανίζονται οι αντίστοιχες τιμές που αφορούν την ηλικία του κόμβου και της DMA. Ακολουθεί ακόμη η απεικόνιση των κρίσιμων ως προς την πίεση κόμβων του δικτύου για την αρχική κατάσταση του δικτύου.

NO DMAs							
DMAs	Κρίσιμοι κόμβοι	Πίεση (kpa)			Ηλικία (hours)		
		average per dma	average κομβου	min κρισιμου	average per dma	average κομβου	max κρισιμου
A	294	529,71	503,67	528,00	29,70	27,58	29,97
B	1757	511,56	486,70	511,00	38,74	27,30	29,70
Γ	317	536,13	511,37	441,00	28,47	25,61	27,90
Δ	1414	526,52	486,00	417,00	29,90	25,72	27,93
E	1319	559,20	526,90	458,00	47,72	27,06	29,39
ΣΤ	143	547,73	532,20	462,00	30,90	25,50	27,70
Z	829	536,49	526,16	456,00	26,30	25,56	27,70
H	1259	560,27	547,83	479,00	28,17	26,43	28,70
Θ	2233	554,28	522,08	453,00	30,86	25,84	28,13
I	442	565,25	537,00	471,00	29,81	27,41	29,78
IA	547	574,26	551,00	483,00	33,97	27,68	30,07

**Πίνακας 2:** Κρίσιμοι κόμβοι ως προς την πίεση σε κάθε DMAγια 1<sup>ο</sup> σενάριο



**Εικόνα 39:** Αποτύπωση των κρίσιμων ως προς την πίεση κόμβων του δικτύου για το 1<sup>ο</sup> σενάριο

## 6.4 Χρόνος Παραμονής Νερού

Στο πλαίσιο της εργασίας μελετήθηκε και ο χρόνος παραμονής του νερού στους αγωγούς και για τα δύο σενάρια (χωρίς DMAs–με DMAs). Ως χρόνος παραμονής του νερού θεωρείται ο χρόνος που χρειάζεται το νερό να πάει από έναν κόμβο στον αμέσως επόμενο κόμβο μια δεδομένη χρονική στιγμή.

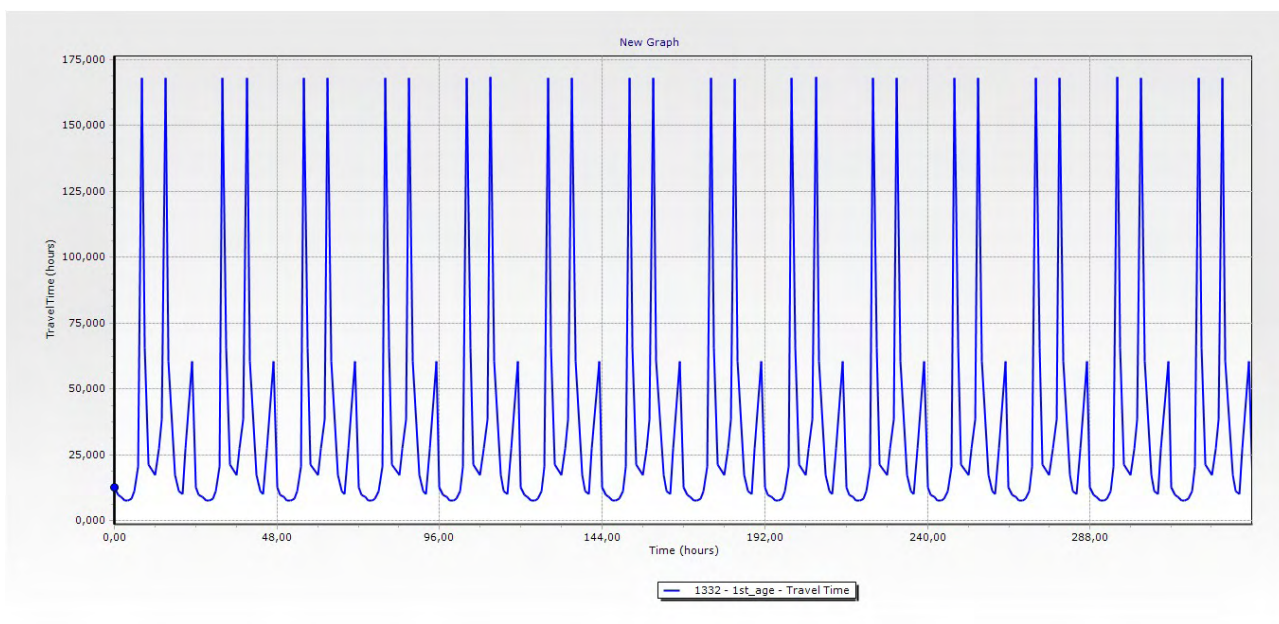
Στο πρώτο σενάριο όπου το δίκτυο είναι το αρχικό χωρίς τη δημιουργία υποζωνών χρησιμοποιώντας την δυνατότητα color coding του προγράμματος WaterGEMS παρατηρήθηκε πως ο χρόνος παραμονής του νερού στους περισσότερους αγωγούς ήταν μικρότερος της μιας ώρας (στην εικόνα 40 εμφανίζονται με πορτοκαλί χρώμα). Σε αρκετούς αγωγούς ο χρόνος παραμονής ήταν μεταξύ της μιας ώρας και των τριών ωρών (στην εικόνα 40 εμφανίζονται με κίτρινο χρώμα). Οι αγωγοί αυτοί ανήκουν στις ζώνες Θ, Ε και ΙΑ. Βρίσκονται δηλαδή στην άκρη της πόλης, μακριά από την δεξαμενή, και οι καταναλώσεις σε εκείνες τις περιοχές είναι μικρές.

Ελάχιστοι αγωγοί είναι αυτοί που ο χρόνος παραμονής του νερού είναι αισθητά μεγαλύτερος από τους υπόλοιπους αγωγούς και η διακύμανση του σε βάθος χρόνου είναι αρκετά υψηλή. Στην συνέχεια παρουσιάζονται δυο αγωγοί (1332 και 2061) με αυτά τα χαρακτηριστικά.



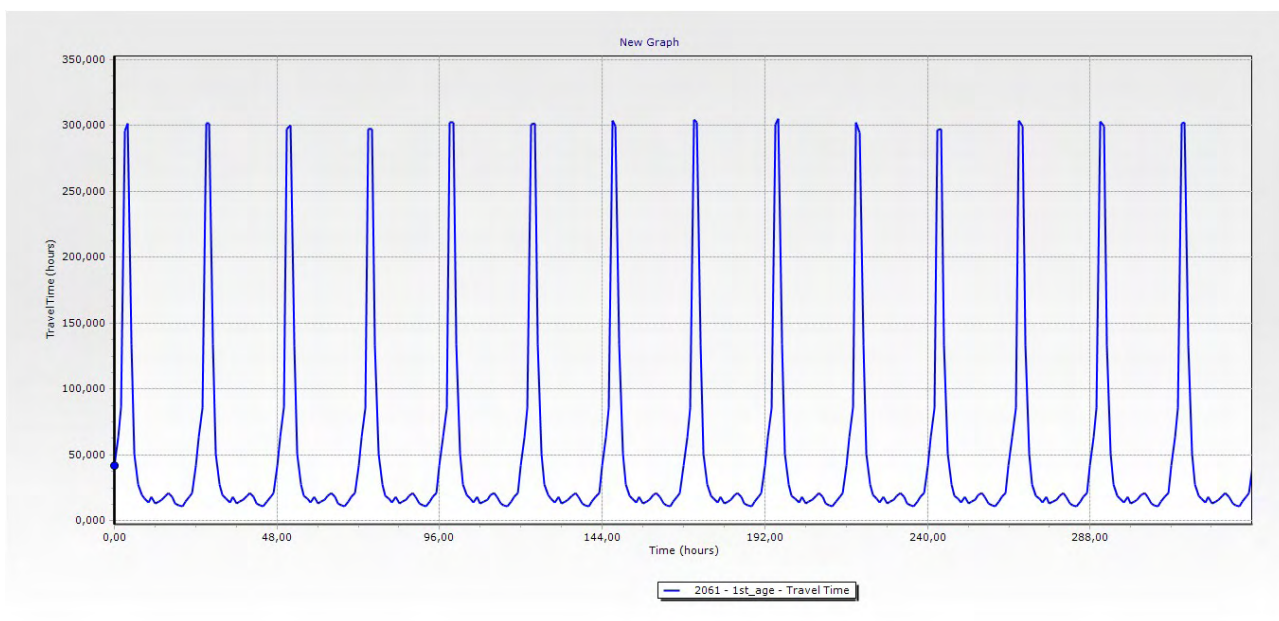
Εικόνα 40: Απεικόνιση του χρόνου παραμονής του νερού στους αγωγούς για το 1<sup>ο</sup> σενάριο

Ο αγωγός 1332 παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση ακόμα και μέσα σε 24 ώρες. Ο χρόνος παραμονής του νερού σε αυτόν τον αγωγό κυμαίνεται μεταξύ 7,5 και 168,17 ώρες. Στο πρώτο 24ωρο η μέγιστη τιμή του εμφανίζεται τις ώρες 8:00 και 15:00. Με το πέρασμα του χρόνου η διεύθυνση του νερού στον αγωγό αλλάζει αλλά πάντα η ταχύτητα του είναι σε χαμηλές τιμές. Ο χρόνος παραμονή του νερού στον αγωγό με την πάροδο του χρόνου παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5.



**Γράφημα 5:**Χρόνος παραμονής του νερού στον αγωγό 1332

Ο αγωγός 2061 παρουσιάζει μεγαλύτερη διακύμανση σε σύγκριση με τον αγωγό 1332. Η μέγιστη τιμή είναι περίπου 300 ώρες και εμφανίζεται κάθε 24 ώρες. Ο χρόνος παραμονή του νερού στον αγωγό με την πάροδο του χρόνου παρουσιάζεται στο διάγραμμα 6.



**Γράφημα 6:**Χρόνος παραμονής του νερού στον αγωγό 2061

Στην συνέχεια παρουσιάζεται πίνακας με τους κρίσιμους αγωγούς κάθε υποζώνης με βάση τον χρόνο παραμονής του νερού στους αγωγούς. Κρίσιμος θεωρείται ο αγωγός με το μεγαλύτερο χρόνο παραμονής μετρημένο σε ώρες.

DMAs	Κρίσιμοι κόμβοι	Χρόνος Παραμονής (hrs)	
		average per dma	max κρισιμου
A	P-242	0,20	3,49
B	1705	0,42	6,66
Γ	4050	0,71	80,49
Δ	P-1153	0,37	23,74
E	<b>2061</b>	1,25	<b>305,40</b>
ΣΤ	P-1071	0,28	17,10
Z	2907	0,30	7,67
H	1303	0,89	93,17
Θ	P-777	0,48	20,76
I	1161	1,02	62,83
IA	1488	1,05	83,63

**Πίνακας 3:**Κρίσιμοι αγωγοί ως προς τον χρόνο παραμονής σε κάθε DMAγια 1<sup>ο</sup> σενάριο

Παρατηρούμε ότι ο αγωγός 2061, που αναφέρθηκε νωρίτερα, είναι κρίσιμος κόμβος για την υποζώνη E. Η μέγιστη τιμή του χρόνου παραμονής στον αγωγό είναι 305,4 ώρες, ενώ η μέση τιμή της υποπεριοχής είναι μόλις 1,25 ώρες.

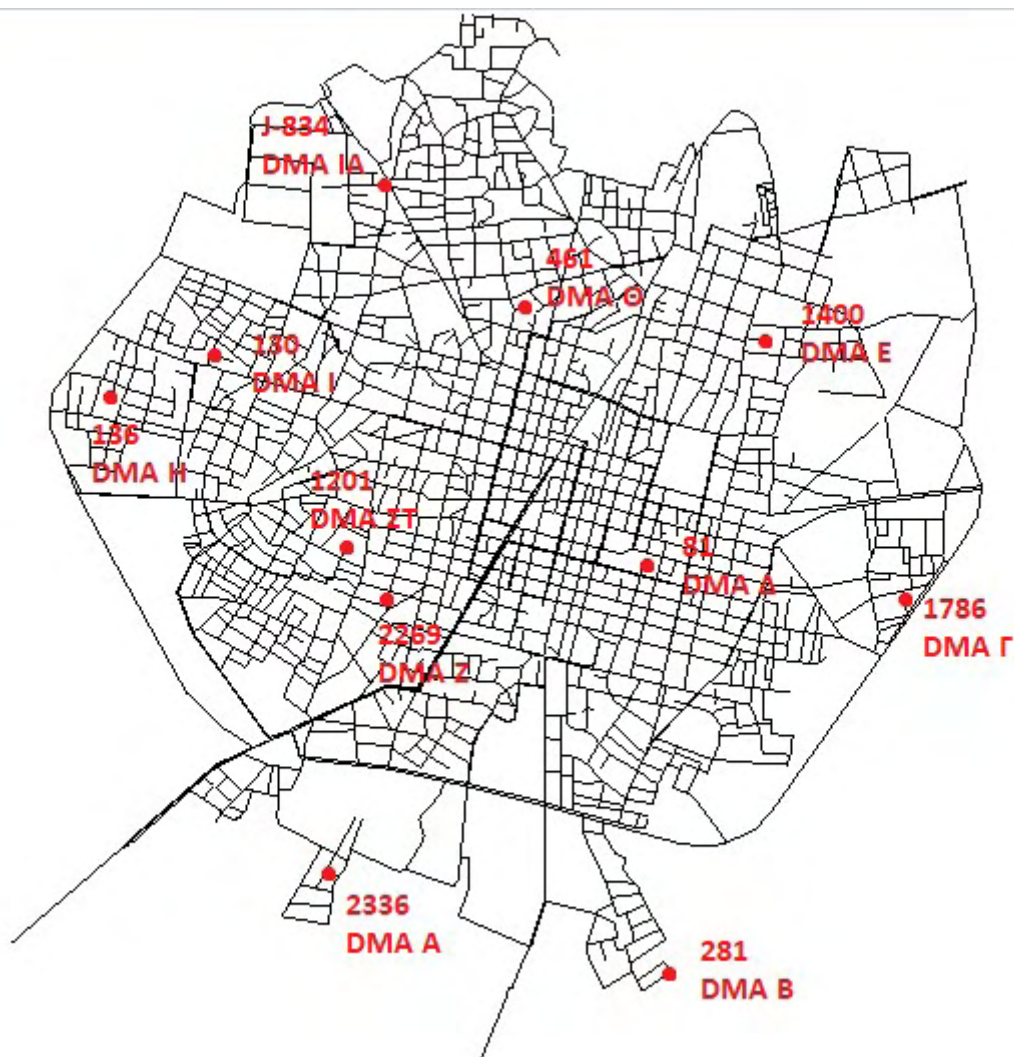
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ7: ΣΕΝΑΡΙΟ 2<sup>ο</sup>–ΜΕ DMAs

### 7.1.Κρίσιμοι Κόμβοι ως προς την ηλικία

Για κάθε υποπεριοχή του δικτύου εντοπίστηκε ο κρίσιμος κόμβος ως προς την ηλικία. Στον ακόλουθο πίνακα εμφανίζονται οι κρίσιμοι κόμβοι για το 2<sup>ο</sup> σενάριο με την οριοθέτηση DMAs. Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται για κάθε κρίσιμο κόμβο του δικτύου οι τιμές της μέσης ηλικίας στον κόμβο, της μέγιστης ηλικίας του νερού του κόμβου και η μέση τιμή της ηλικίας του νερού της αντίστοιχης υποζώνης. Στον ίδιο πίνακα εμφανίζονται οι αντίστοιχες τιμές που αφορούν την πίεση του κόμβου και της DMA. Ακολουθεί ακόμη η απεικόνιση των κρίσιμων ως προς την ηλικία κόμβων του δικτύου για το 2<sup>ο</sup> σενάριο.

WITH DMAs							
DMAs	Κρίσιμοι κόμβοι	Ηλικία (hrs)			Πίεση (kpa)		
		average per dma	average κομβου	max κρισιμου	average per dma	average κομβου	min κρισιμου
A	2336	29,70	168,00	336,00	522,10	505,00	436,00
B	281	37,34	168,00	336,00	494,30	507,42	438,00
Γ	1786	28,81	168,00	336,00	544,83	549,67	480,00
Δ	81	31,07	168,00	336,00	484,70	483,76	422,00
E	1400	55,74	168,00	336,00	521,77	522,97	458,00
ΣΤ	1201	30,35	168,00	336,00	543,04	533,12	464,00
Z	2269	26,32	32,73	35,68	475,00	473,18	408,00
H	136	29,63	168,00	336,00	445,81	434,40	376,00
Θ	461	30,17	168,00	336,00	446,10	432,36	373,00
I	130	32,29	168,00	336,00	426,04	423,20	367,00
IA	J-834	33,85	168,00	336,00	392,37	388,93	331,00

Πίνακας 4:Κρίσιμοι κόμβοι ως προς την ηλικία σε κάθε DMAγια 2<sup>ο</sup> σενάριο

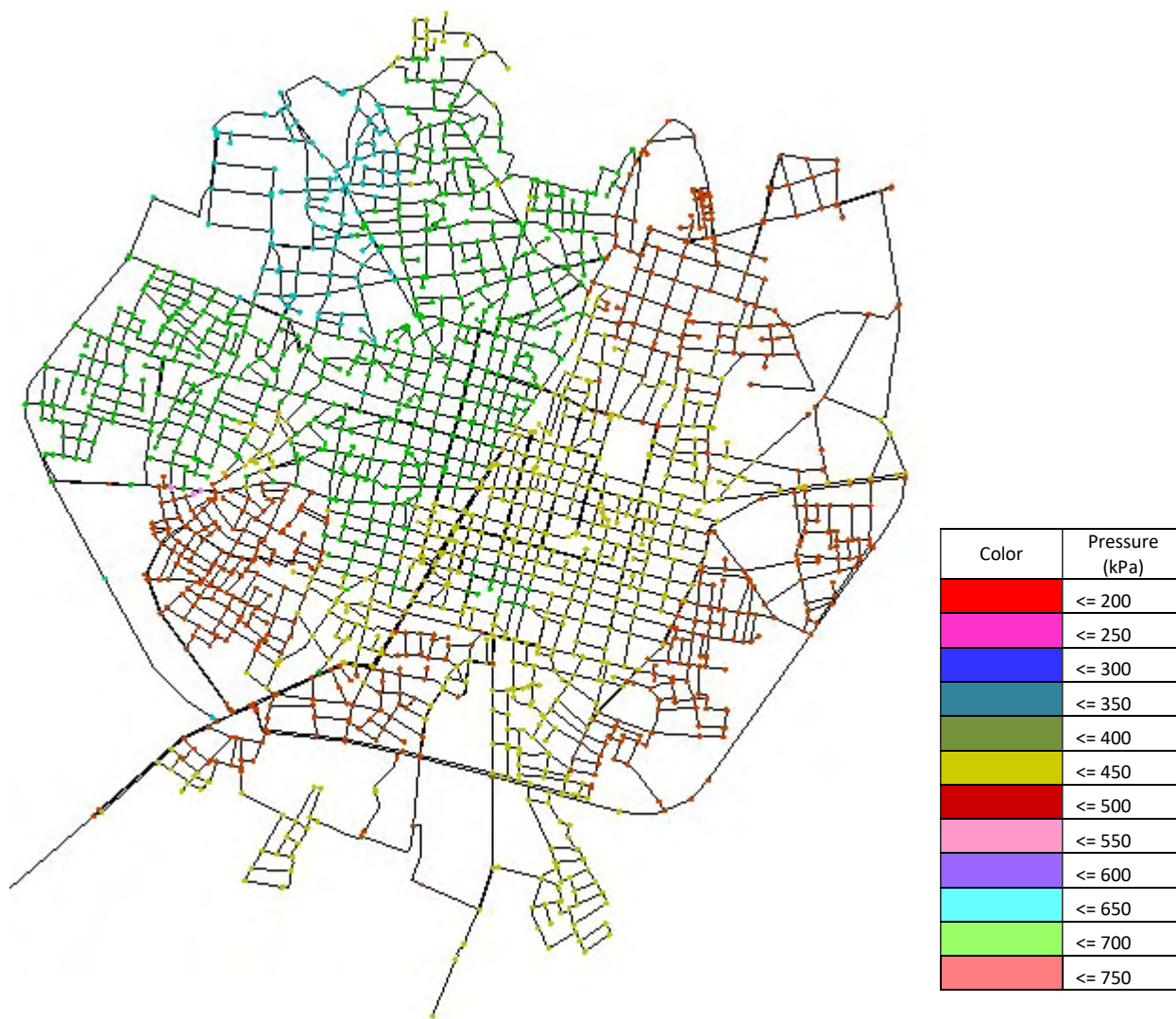


Εικόνα 41: Αποτύπωση των κρίσιμων ως προς την ηλικία κόμβων του δικτύου για το 2<sup>ο</sup> σενάριο

## 7.2 Κρίσιμοι Κόμβοι ως προς την πίεση

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, κατά την διάρκεια της έρευνας μελετήθηκε το δίκτυο ύδρευσης της Καρδίτσας ως προς την πίεση των κόμβων του δικτύου. Στην ακόλουθη εικόνα 42 παρουσιάζονται οι τιμές των πιέσεων των κόμβων στην αρχή της ανάλυσης για το 2<sup>ο</sup> σενάριο. Στην αρχή της ανάλυσης οι τιμές των πιέσεων των κόμβων κυμαίνονται μεταξύ 312 και 480kPa. Οι τιμές αυτές έχουν δυνατότητα βελτίωσης, αφού ως κρίσιμη πίεση θεωρείται η τιμή των 200kPa.

Όπως και στην περίπτωση της ηλικίας του νερού, για κάθε κρίσιμο κόμβο του δικτύου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα οι τιμές της μέσης πίεσης στον κόμβο, της μέγιστης πίεσης του νερού του κόμβου και η μέση τιμή της πίεσης του νερού της αντίστοιχης υποζώνης. Στον ίδιο πίνακα εμφανίζονται οι αντίστοιχες τιμές που αφορούν την ηλικία του κόμβου και της DMA. Ακολουθεί ακόμη η απεικόνιση των κρίσιμων ως προς την πίεση κόμβων του δικτύου για την αρχική κατάσταση του δικτύου.

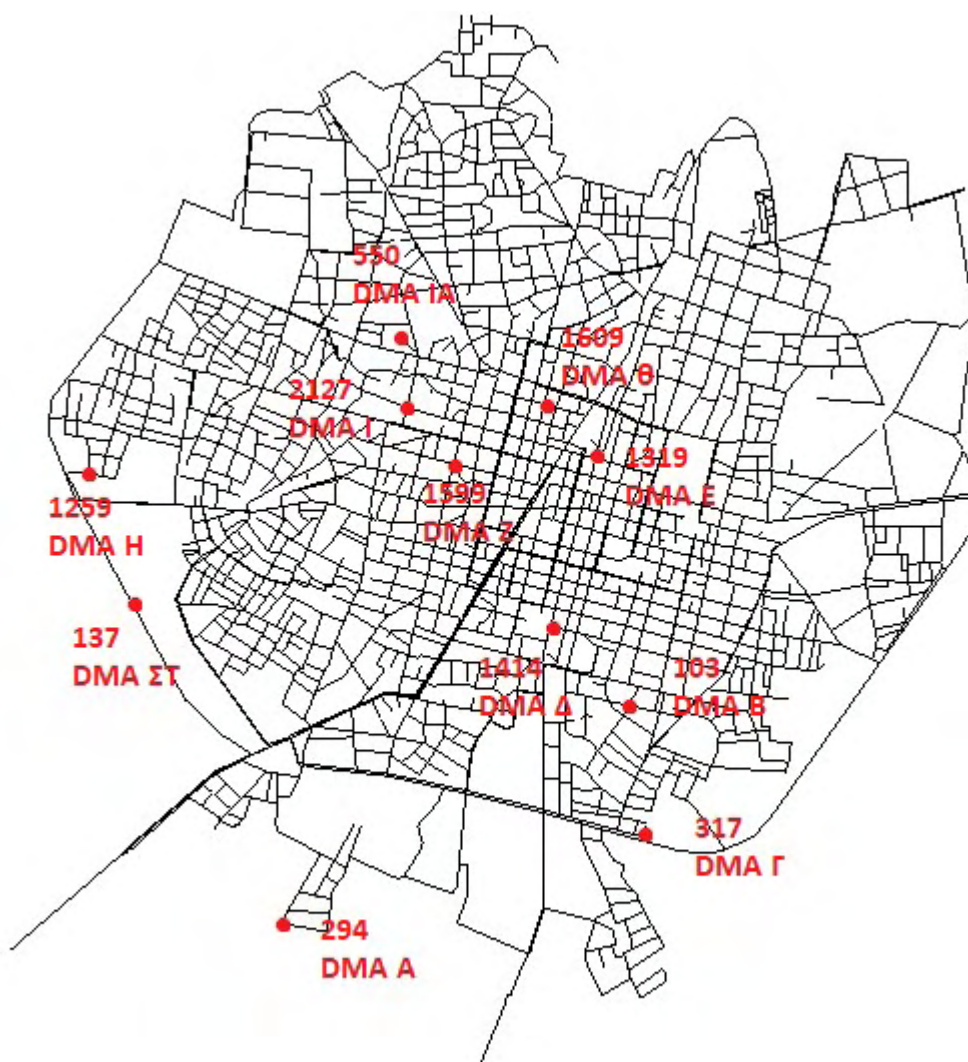


**Εικόνα 42:** Απεικόνιση των πιέσεων των κόμβων του δικτύου για το 2<sup>ο</sup> σενάριο

WITH DMAs							
DMAs	Κρίσιμοι κόμβοι	Πίεση (kpa)			Ηλικία (hours)		
		average per dma	average κομβου	min κρισιμου	average per dma	average κομβου	max κρισιμου
A	294	522,10	496,00	427,00	29,70	27,36	29,73
B	103	494,31	475,20	409,00	37,34	26,74	29,04
Γ	317	544,00	515,04	445,00	28,81	25,78	28,26
Δ	1414	484,69	440,35	375,00	31,07	26,50	28,78
E	1319	521,77	489,51	424,00	55,74	26,52	28,80
ΣΤ	137	543,04	412,37	353,00	30,35	44,34	49,20
Z	1599	457,00	433,78	373,00	26,32	26,54	28,82
H	1259	445,81	422,53	364,00	29,63	30,12	32,96
Θ	1609	446,10	418,11	358,00	30,17	27,13	29,48
I	2127	426,05	401,00	345,00	32,29	30,05	32,83
IA	550	392,37	366,26	308,00	33,85	41,07	45,26

**Πίνακας 5:** Κρίσιμοι κόμβοι ως προς την πίεση σε κάθε DMA για 2<sup>ο</sup> σενάριο





Εικόνα 43: Αποτύπωση των κρίσιμων ως προς την πίεση κόμβων του δικτύου για το 2<sup>ο</sup> σενάριο

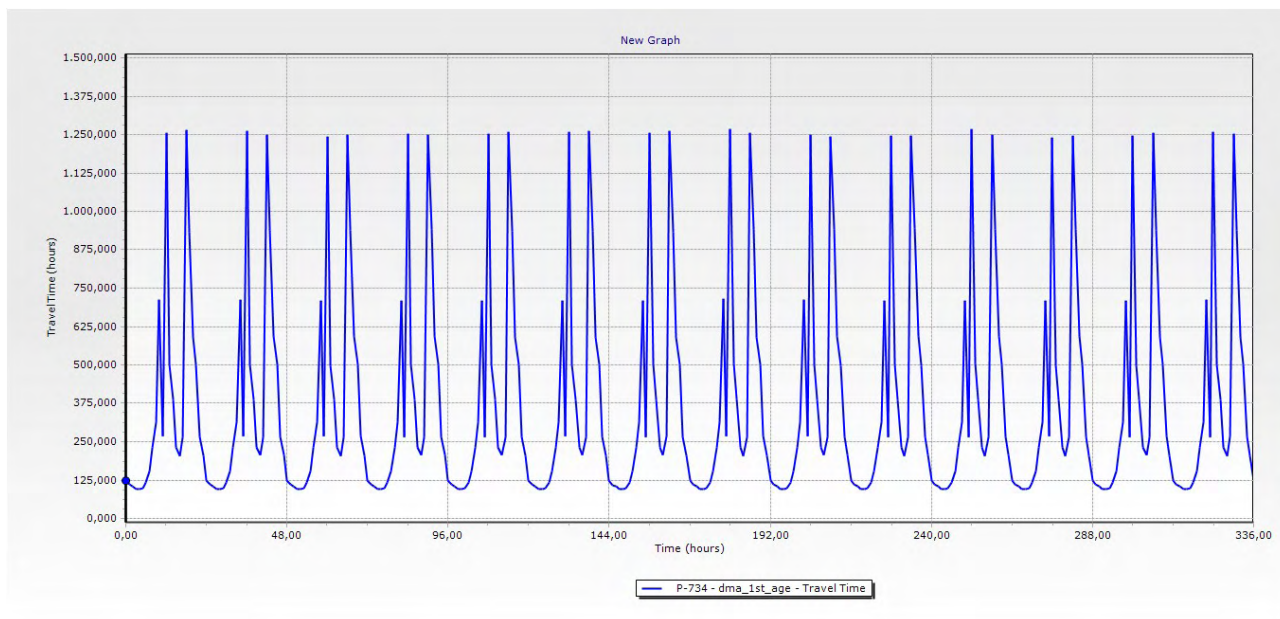
### 7.3 Χρόνος Παραμονής Νερού

Στο δεύτερο σενάριο όπου το δίκτυο είναι χωρισμένο σε υποζώνες χρησιμοποιώντας την δυνατότητα color coding του προγράμματος WaterGEMS παρατηρήθηκε πως ο χρόνος παραμονής του νερού στους περισσότερους αγωγούς ήταν μικρότερος της μιας ώρας (στην εικόνα 44 εμφανίζονται με πορτοκαλί χρώμα). Σε αρκετούς αγωγούς ο χρόνος παραμονής ήταν μεταξύ της μιας ώρας και των τριών ωρών (στην εικόνα 44 εμφανίζονται με κίτρινο χρώμα).

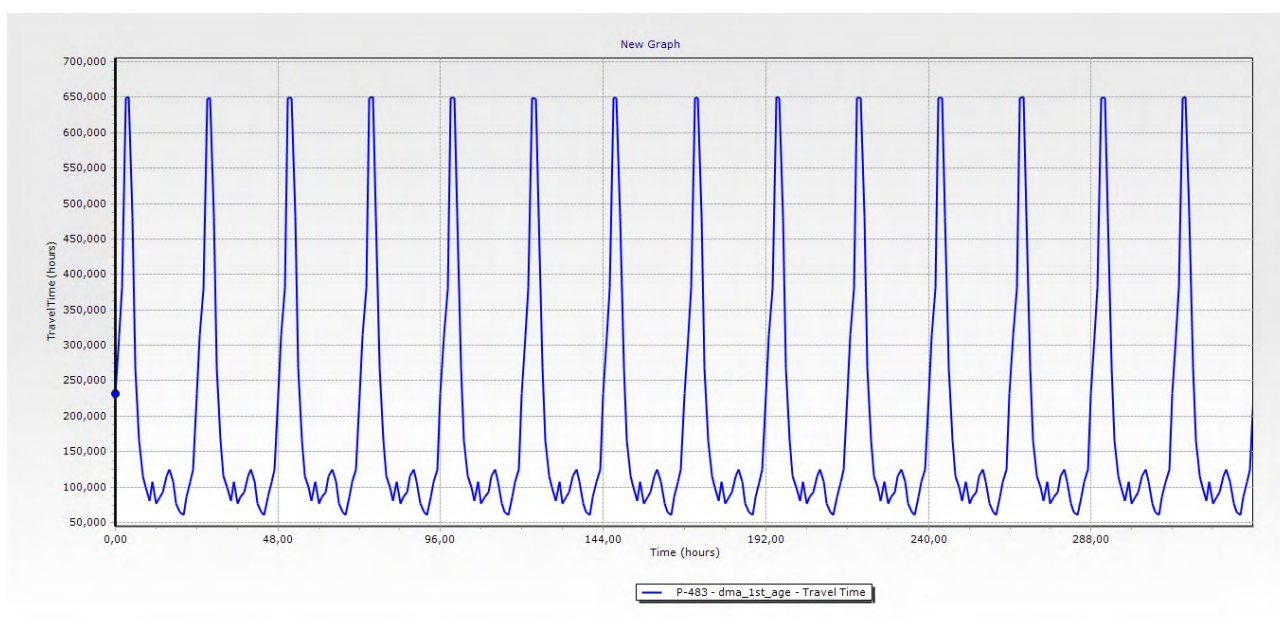


**Εικόνα 44:** Απεικόνιση του χρόνου παραμονής του νερού στους αγωγούς για το 2<sup>ο</sup> σενάριο

Αρκετοί όμως είναι και οι αγωγοί που ο χρόνος παραμονής του νερού είναι αισθητά μεγαλύτερος από τους υπόλοιπους αγωγούς και η διακύμανση του σε βάθος χρόνου είναι αρκετά υψηλή. Η πλειοψηφία αυτών των αγωγών βρίσκονται στην υποζώνη Ε, όπου η ζήτηση του νερού είναι η μικρότερη σε σχέση με τις υπόλοιπες υποπεριοχές. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα δυο χαρακτηριστικών αγωγών (P-734 και P-483) όπου η διακύμανση του χρόνου παραμονής του νερού είναι μεγάλη.



**Γράφημα 7:** Χρόνος παραμονής του νερού στον αγωγό P-734



**Γράφημα 8:** Χρόνος παραμονής του νερού στον αγωγό P-483

Στην συνέχεια παρουσιάζεται πίνακας 6 με τους κρίσιμους αγωγούς κάθε υποζώνης με βάση τον χρόνο παραμονής του νερού στους αγωγούς. Όπως και στο προηγούμενο σενάριο, κρίσιμος θεωρείται ο αγωγός με το μεγαλύτερο χρόνο παραμονής μετρημένο σε ώρες.

DMAs	Κρίσιμοι αγωγοί	Χρόνος Παραμονής (hrs)	
		average per dma	max κρισιμου
A	P-1109	0,68	68,23
B	P-1159	0,65	17,58
Γ	P-331	0,95	168,64
Δ	899	0,78	94,88
E	P-483	4,40	208,40
ΣΤ	2745	0,67	24,99
Z	2907	0,43	7,67
H	2188	0,81	19,03
Θ	P-777	0,43	20,76
I	585	1,13	223,83
ΙΑ	1190	1,17	43,78

**Πίνακας 6:**Κρίσιμοι αγωγοί ως προς τον χρόνο παραμονής σε κάθε DMAγια 2<sup>ο</sup> σενάριο

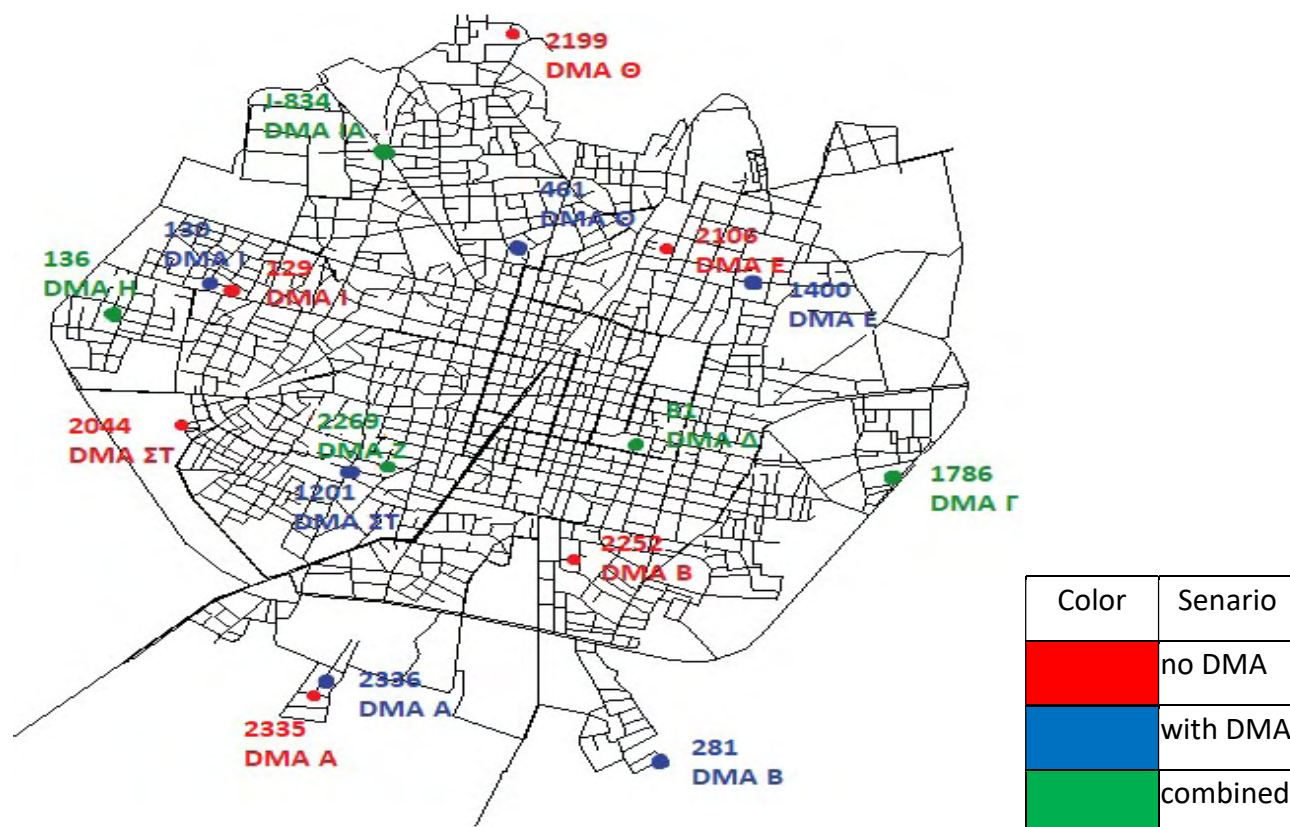
Παρατηρούμε ότι κάποιες υποζώνες ενώ έχουν χαμηλή μέση τιμή στο χρόνο παραμονής του νερού, η τιμή του μέγιστου αγωγού είναι πολύ υψηλή. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι υποπεριοχές Γ και Ι όπου ενώ η μέγιστη τιμή του κρίσιμου αγωγού είναι περίπου 200 ώρες, η μέση τιμή της κάθε υποζώνης είναι γύρω στη 1 ώρα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 8.1 Συμπεράσματα σχετικά με την ηλικία του δικτύου

Σε προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκε η ηλικία των κόμβων του δικτύου ύδρευσης της Καρδίτσας στην περίπτωση όπου το δίκτυο είναι το αρχικό χωρίς διαχωρισμό υποζωνών και στην περίπτωση όπου το δίκτυο χωρίστηκε σε 11 DMAs. Η ηλικία του δικτύου είναι ένας γενικός δείκτης ποιότητας του νερού, αφού η ανάλυση της ηλικίας καθορίζει πόσο χρόνο έχει το νερό στο δίκτυο.

Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζονται οι κρίσιμοι κόμβοι και για τα δύο σενάρια. Γίνεται αντιληπτό πως οι κρίσιμοι κόμβοι και για τις δυο περιπτώσεις είναι στα περίχωρα της πόλης και όχι κοντά στους κεντρικούς αγωγούς. Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς το νερό πρώτα κινείται στους κεντρικούς αγωγούς και μετά διακλαδίζεται στο υπόλοιπο δίκτυο, με αποτέλεσμα να κάνει περισσότερη ώρα να φθάσει στους απομακρυσμένους κόμβους.



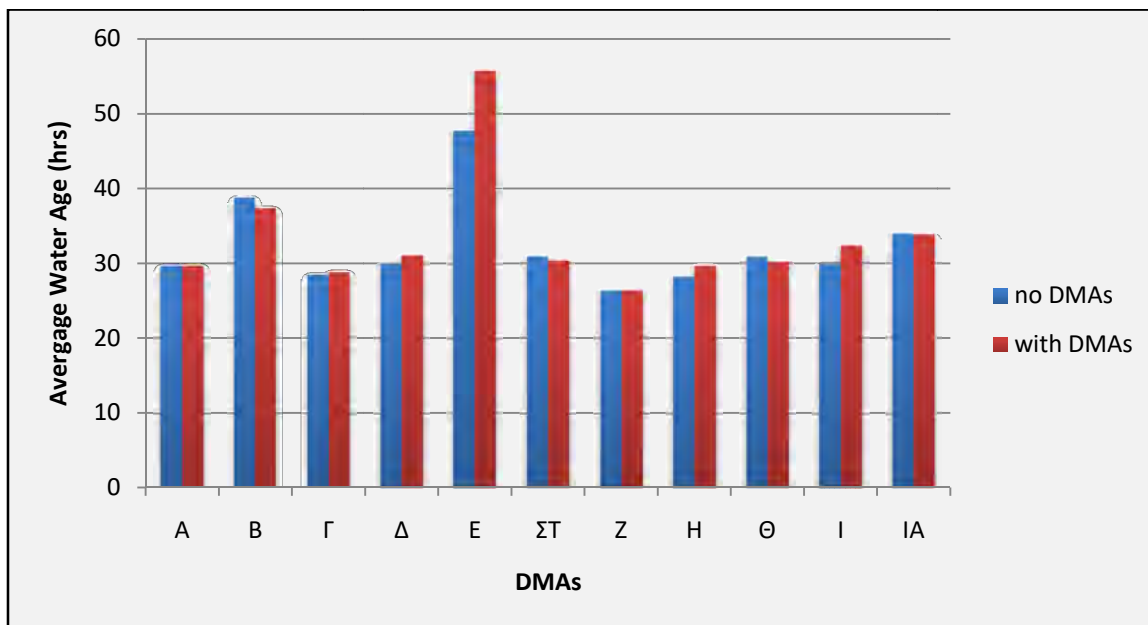
Εικόνα 45: Απεικόνιση κρίσιμων κόμβων ως προς την ηλικία των κόμβων και για τα δυο σενάρια

Από τον ακόλουθο πίνακα 7 γίνεται ξεκάθαρο πώς μετά των διαχωρισμό υποπεριοχών η ηλικία των κόμβων του δικτύου κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με ελάχιστες αυξομειώσεις, χωρίς να μπορεί να παρατηρηθεί μια γενική τάση προς το ένα ή το άλλο σενάριο. Στις υποζώνες A, B, ΣΤ, Θ, ΙΑ παρατηρείται μείωση της μέσης ηλικίας της υποζώνης, ενώ στις υποζώνες Γ, Δ, Ε, Ζ, Η και Ι υπάρχει μια μικρή αύξηση της μέσης ηλικίας της υποζώνης.

DMAs	Average Water Age (hrs)	
	no DMAs	with DMAs
A	29,71	29,70
B	38,74	37,34
Γ	28,47	28,81
Δ	29,90	31,07
E	47,72	55,74
ΣΤ	30,90	30,35
Z	26,30	26,32
H	28,17	29,63
Θ	30,86	30,17
I	29,81	32,29
IA	33,97	33,85

**Πίνακας 7:** Μέση ηλικία νερού για κάθε DMA για κάθε σενάριο

Κάνοντας ανάλυση της ηλικία του δικτύου και για τα δύο σενάρια (no DMAs – with DMAs), βρέθηκε πως η υποπεριοχή E έχει την μεγαλύτερη ηλικία του δικτύου και για τις δυο περιπτώσεις. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς οι ζητήσεις στην DMAE είναι πολύ μικρές και βρίσκεται μακριά από τη δεξαμενή, με συνέπεια το νερό να μην φθάνει τόσο γρήγορα όσο στις άλλες υποζώνες.



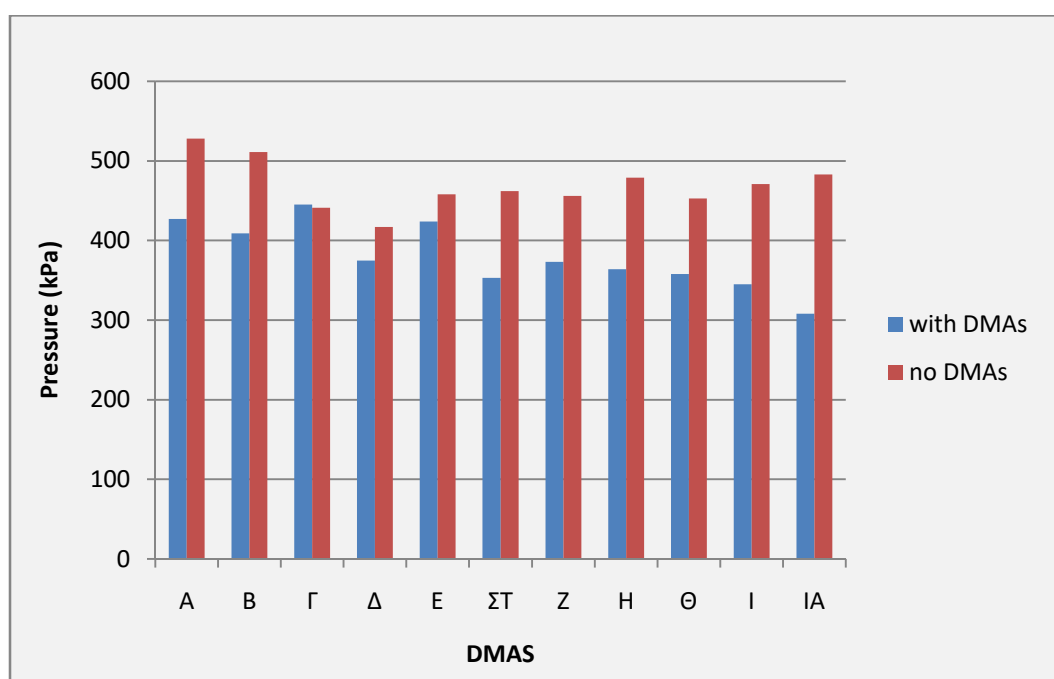
**Γράφημα 9:** Παρουσίαση μέσης ηλικίας νερού για κάθε DMA

Η συγκεκριμένη εξέλιξη καταδεικνύει το γεγονός πως η χρησιμοποίηση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας επιβεβαιώνει την υπάρχουσα κατάσταση, κάτι πάρα πολύ σημαντικό για τη λήψη αποφάσεων, είτε για την βελτίωση του δικτύου είτε για την περαιτέρω έρευνα όσον αφορά την καταγραφή των δεδομένων και την ανάλυσή τους.

## 8.2 Συμπεράσματα σχετικά με την πίεση του δικτύου

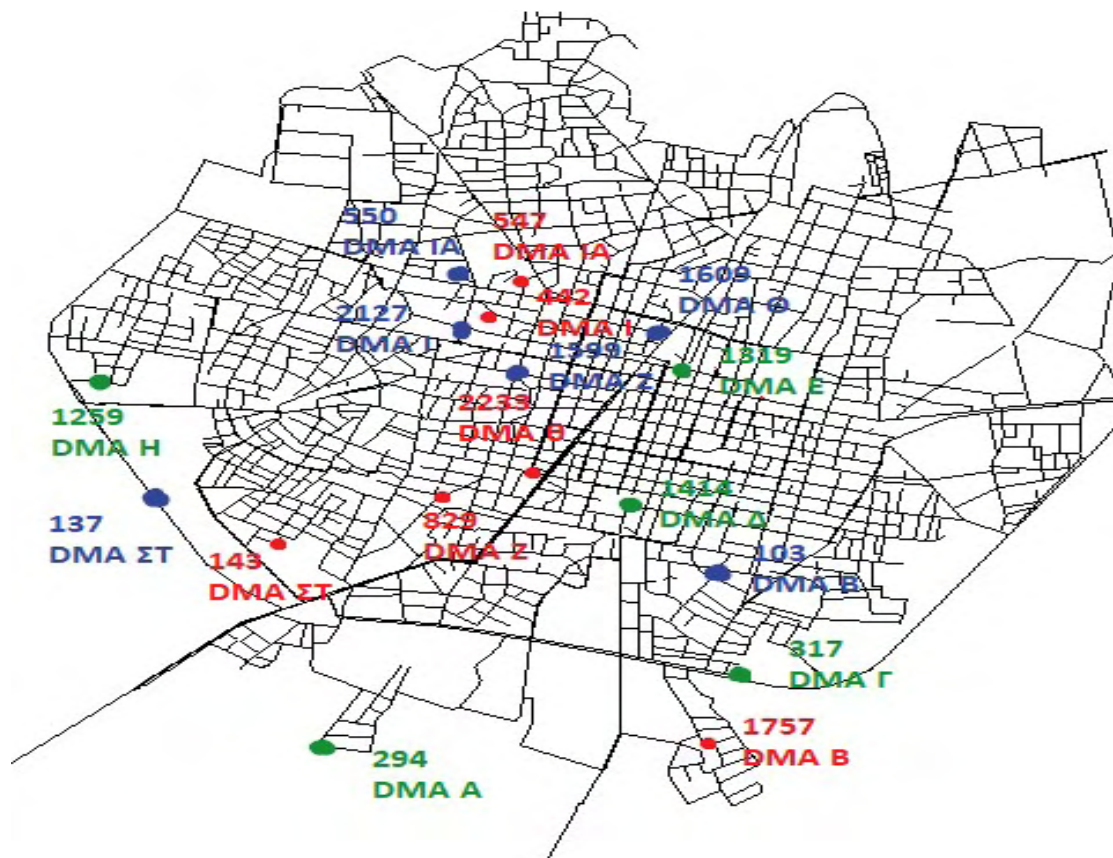
Σε προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκε η πίεση των κόμβων του δικτύου ύδρευσης της Καρδίτσας στην περίπτωση όπου το δίκτυο είναι το αρχικό χωρίς διαχωρισμό υποζωνών και στην περίπτωση όπου το δίκτυο χωρίστηκε σε 11 DMAs.

Στο ακόλουθο γράφημα 10 παρουσιάζεται η ελάχιστη πίεση των κρίσιμων κόμβων του 1<sup>ου</sup> σεναρίου (no DMAs) για κάθε υποζώνη και για τα δυο σενάρια. Παρατηρούμε ότι με τον διαχωρισμό του δικτύου σε υποζώνες μειώθηκε η πίεση των κρίσιμων κόμβων. Με την μείωση αυτή κανένας κόμβος δεν είναι κάτω από 200kPa που είναι το κατώτατο επιτρεπτό όριο για την εύρυθμη λειτουργία ενός δικτύου.



Γράφημα 10: Πίεση κρίσιμων κόμβων του 1<sup>ου</sup> σεναρίου για κάθε DMA

Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζονται οι κρίσιμοι κόμβοι ως προς την πίεση και για τα δύο σενάρια. Σε αντίθεση με την ηλικία του νερού, στην περίπτωση των πιέσεων των κόμβων παρατηρείται πως οι κρίσιμοι κόμβοι και στις δυο περιπτώσεις είναι πλησίον των κεντρικών αγωγών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως το νερό ταξιδεύει πρώτα από τους κύριους αγωγούς σε συνδυασμό με την αυξημένη ζήτηση του νερού στο κέντρο της πόλης δεν επιτρέπει την αύξηση της πίεσης.



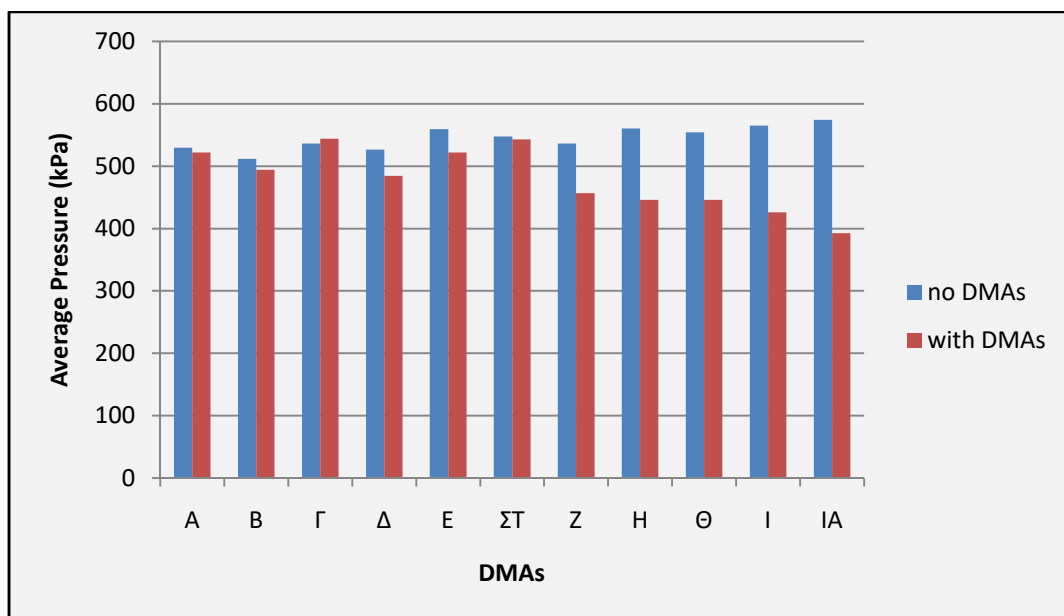
**Εικόνα 46:** Απεικόνιση κρίσιμων κόμβων ως προς την πίεση των κόμβων και για τα δυο σενάρια

Με το κλείσιμο των αγωγών που επιλέχθηκαν παρατηρήθηκε μια γενική μείωση της πίεσης στους κόμβους του δικτύου. Οι μέσες πιέσεις της κάθε DMAs και για τα δύο σενάρια εμφανίζονται στον πίνακα 8. Ακολουθεί και γράφημα με τις μέσες πιέσεις κάθε υποζώνης του δικτύου. Η συγκεκριμένη εξέλιξη μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια θετική μεταβολή, καθώς η πίεση του δικτύου είναι επιθυμητό να διατηρείται σε χαμηλότερα επίπεδα και φυσικά πάνω από το όριο των 200kPa.



DMAs	Average Pressure (kpa)	
	no DMAs	with DMAs
A	529,71	522,10
B	511,56	494,31
Γ	536,13	544,00
Δ	526,52	484,69
E	559,20	521,77
ΣΤ	547,73	543,04
Z	536,49	457,00
H	560,27	445,81
Θ	554,28	446,10
I	565,25	426,05
IA	574,26	392,37

**Πίνακας 8:** Μέση πίεση για κάθε DMA για κάθε σενάριο

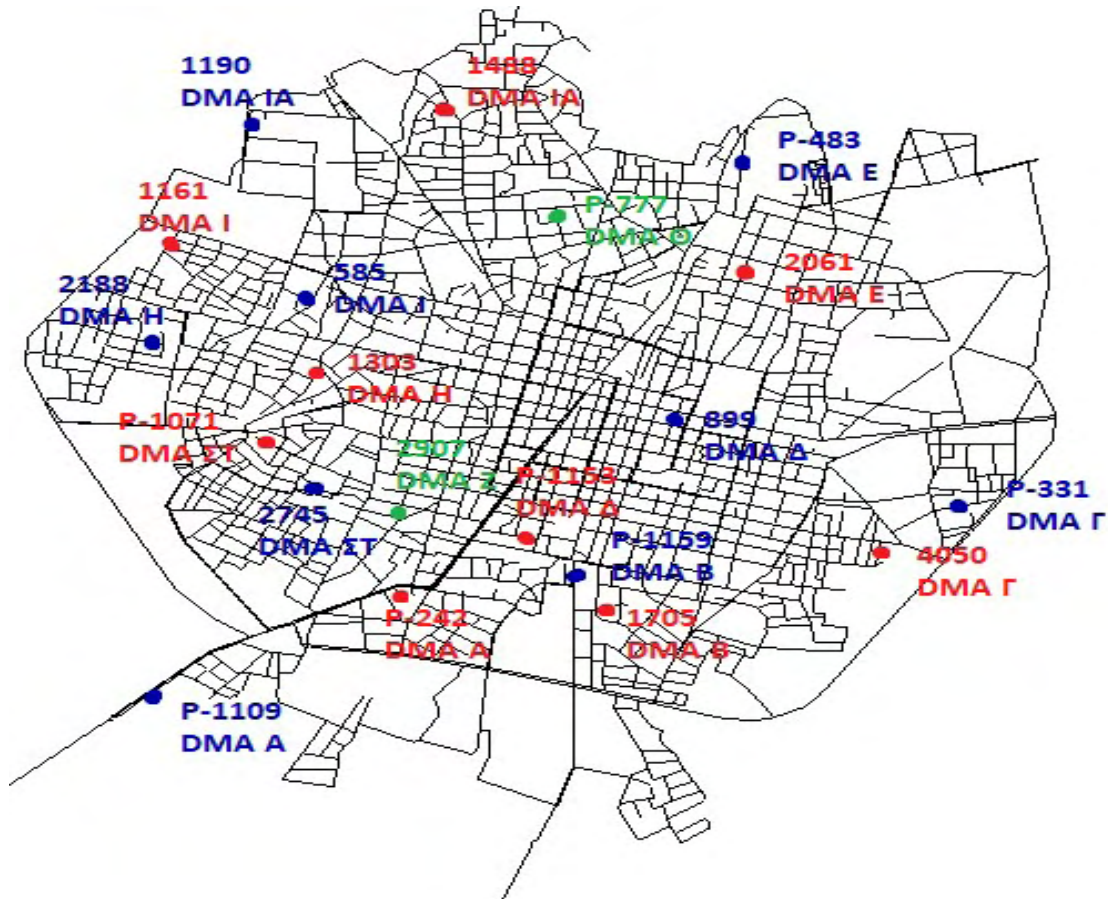


**Γράφημα 11:** Παρουσίαση μέσης πίεσης νερού για κάθε DMA

### 8.3 Συμπεράσματα σχετικά με τον χρόνο παραμονής νερού

Σε προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκε ο χρόνος παραμονής του νερού στους αγωγούς του δικτύου ύδρευσης της Καρδίτσας στην περίπτωση όπου το δίκτυο είναι το αρχικό χωρίς διαχωρισμό υποζωνών και στην περίπτωση όπου το δίκτυο χωρίστηκε σε 11 DMAs.

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι κρίσιμοι κόμβοι ως προς τον χρόνο παραμονής του νερού στους αγωγούς του δικτύου και για τα δυο σενάρια (no DMAs – with DMAs).



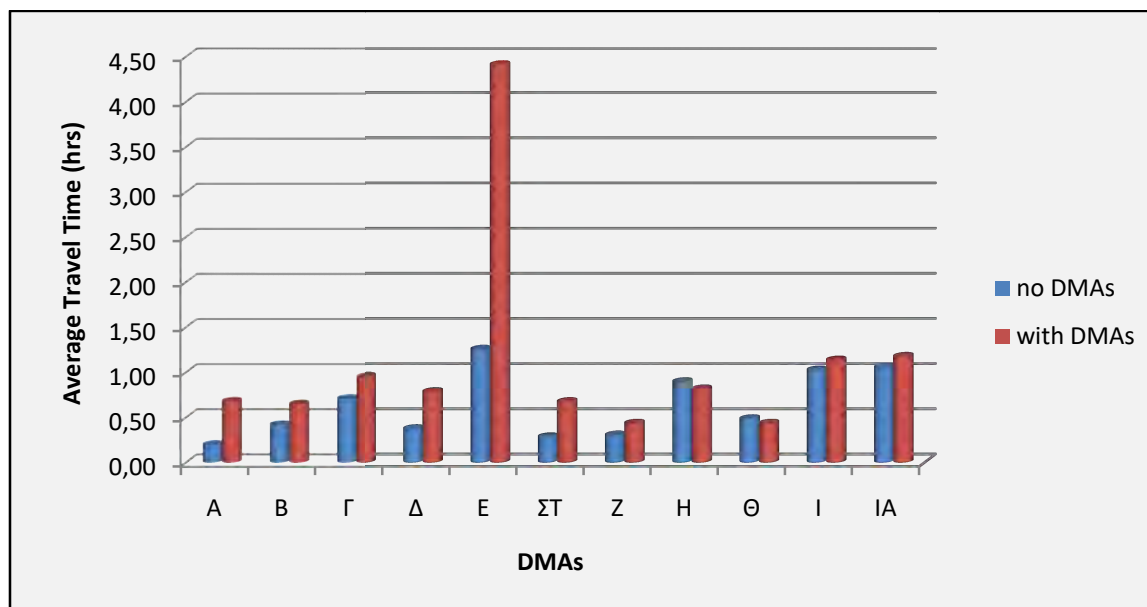
Εικόνα 47: Απεικόνιση κρίσιμων αγωγών ως προς τον χρόνο παραμονής του νερού και για τα δυο σενάρια

Στον ακόλουθο πίνακα 9 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές του χρόνου παραμονής του νερού στους αγωγούς για κάθε DMAs και για τα δύο σενάρια. Από τον πίνακα 9 είναι φανερό πως με το διαχωρισμό του δικτύου σε υποζώνες ο χρόνος παραμονής του νερού αυξήθηκε στις περισσότερες υποζώνες. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς η κάθε ζώνη στο 2<sup>ο</sup> σενάριο έχει έναν αγωγό τροφοδοσίας.

DMAs	Χρόνος Παραμονής (hrs)	
	no DMAs	with DMAs
A	0,20	0,68
B	0,42	0,65
Γ	0,71	0,95
Δ	0,37	0,78
E	1,25	4,40
ΣΤ	0,28	0,67
Z	0,30	0,43
H	0,89	0,81
Θ	0,48	0,43
I	1,02	1,13
IA	1,05	1,17

Πίνακας 9: Μέσος χρόνος παραμονής του νερού για κάθε DMA για κάθε σενάριο

Επιπρόσθετα, από την μελέτη του δικτύου παρατηρήθηκε πως και στα δυο σενάρια οι απομακρυσμένες περιοχές Ε, Θ και ΙΑ παρουσίαζαν μεγαλύτερο εύρος τιμών στο χρόνο παραμονής του νερού. Ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου το δίκτυο είναι χωρισμένο σε υποζώνες οι αγωγοί της DMA Ε εμφάνισαν υψηλές διακυμάνσεις. Αυτό γίνεται αντιληπτό και από το ακόλουθο γράφημα.



**Γράφημα 12:** Παρουσίαση μέσου χρόνου παραμονής του νερού για κάθε DMA

## 8.4 Μελλοντική έρευνα

Οι κύριες προτάσεις για μελλοντική έρευνα συνδέονται άμεσα με τις υπόλοιπες ενότητες αυτού του κεφαλαίου. Πιο αναλυτικά, θα μπορούσε να γίνει μία προσομοίωση με την εισαγωγή πιο συγκεκριμένων στοιχείων κυρίως σε ότι αφορά τις απώλειες και τις συνιστώσες τους. Ταυτόχρονα, θα μπορούσε να γίνει ελαχιστοποίηση της πίεσης του δικτύου με οριοθέτηση DMAs με μοναδικό κριτήριο την πίεση.

Επιπλέον, μέσω του *WaterGEMs* δίνεται η δυνατότητα προσομοίωσης του δικτύου σε ακόμη μεγαλύτερο βαθμό. Η ζήτηση δέχεται υδραυλικά pattern που δείχνουν την κατανομή τους όχι μόνο στο 24ωρο αλλά και εβδομαδιαία ή μηνιαία.

Ακόμη, είναι δυνατός ο υπολογισμός σημαντικών στοιχείων για τη λειτουργία των *boosters* και άλλων αντλιοστατικών συστημάτων, που αφορούν για παράδειγμα την κατανάλωση ενέργειας.

Τέλος, θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη και καινοτόμος η εύρεση του βέλτιστου αριθμού PRVs που απαιτούνται για κάθε DMA καθώς και ο εντοπισμός του πιο κατάλληλου σημείου για την τοποθέτησή τους. Για το σκοπό αυτό προτείνεται η αναζήτηση των βέλτιστων λύσεων της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τη χρήση γενετικών αλγορίθμων και την ανάπτυξη του προγραμματιστικού τμήματος με σκοπό τη σύνδεση του *WaterGEMs* με το περιβάλλον του *Matlab*.

## Βιβλιογραφία/Αναφορές

- [1] Κανακούδης & Τσιτσιφλή (2015). “Ολοκληρωμένη Διαχείριση Αστικών Δικτύων Ύδρευσης”
- [2] Κράββαρη Ν. (2017). “Διερεύνηση των επιπτώσεων τεχνικών διαχείρισης της πίεσης σε αστικά δίκτυα ύδρευσης στην ποιότητα του νερού (ηλικία νερού, συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου) – Η περίπτωση της πόλης της Κω”, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- [3] Λέκκα Φ. (2006) “Κείμενα για την ιστορία της Καρδίτσας – Έχει δε και ύδωρ θαυμαστόν η Παπαράντζα από την ιστορία της ύδρευσης στην Καρδίτσα” Εταιρία διαχείρισης δικτύου ύδρευσης της Καρδίτσας, ΔΕΥΑΚ
- [4] Μακρής Κ. (2013). “Μείωση του μη ανταποδοτικού νερού στα αστικά δίκτυα ύδρευση μέσω διαχείρισης της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κω” , Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- [5] Μ.Α. Μιμίκου, καθηγήτρια Ε.Μ.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, “Εκτίμηση και αξιοποίηση των υδατικών πόρων της Ηπείρου”
- [6] 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
- [7] WaterGEMS Programmer’s Toolkit , <http://www.communities.bentley.com>
- [8] A. Jackson & J. M. Jackson “Environmental Science – The Natural Environment and Human Impact”
- [9] Διαδίκτυο:
  - a. <http://www.water-research.net/index.php/water-treatment/tools/chlorination-of-water> (Water Research Center)
  - b. [https://www.gewater.com/handbook/cooling\\_water\\_systems/ch\\_27\\_chlorine.jsp](https://www.gewater.com/handbook/cooling_water_systems/ch_27_chlorine.jsp) (GE Power & Water, Water & Process Technologies)
  - c. <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/totee/TOTEE-20701-3-Final-TEE%202nd.pdf>
  - d. <http://www.lenntech.com/processes/disinfection/chemical/disinfectants-chlorine.htm> (LENNTECH, Water Treatment)
- [10] Dan Barr, PE (2013). “Dealing with high water age in a water distribution system”, Ohio AWWA Southeast District Fall Meeting.
- [11] American Water Works Association with assistance from Economic and Engineering Services, Inc. (2002). “Effects of water age on distribution system water quality”, Office of Water (4601M), prepared for U.S. Environmental Protection Agency, NW Washington DC 20004.
- [12] The National Academic Press, (2006). “Drinking Water Distribution Systems: Assessing and Reducing Risks”, Chapter5: Hydraulic Integrity
- [13] AWWA. (2005). AWWA Manual M32: “Computer modeling of water distribution systems. Denver”.
- [14] Shamsaei H. et al., (2013). “Disadvantage pressure changes on the decline of water quality in water distribution systems”, University Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia, Article ID: 27079, DOI:10.4236/eng.2013.51015

- [15] Cruickshank R. (2010), *“Hydraulic models shed light on water age”*, Opflow Magazine, Office of Water (4601M)
- [16] Shamsaei H. et al., (2013). *“Effects residence time to water quality in large water distribution systems”*, University Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia, DOI: 10.4236/eng.2013.54054
- [17] Jespersen K., (2012), West Virginia University, *“How old is your water?”*, EPA’s web site
- [18] AWWA. (1986). *“Introduction to Water Distribution Principles and Practices of Water Supply Operations”*.
- [19] Mostafa et al., (2013). Civil and environmental research, Cairo University, *“Simulation of chlorine decay in water distribution networks using EPANET-Case study”*, ISSN 2224-5790(Paper)
- [20] Tarnowski et al., (2014). 16<sup>th</sup> Conference on water distribution system analysis, WDSA 2014, *“Online model for hydraulic and water quality analysis in ‘Hangzone Sonnenberg’, Zurich”*.
- [21] Avi Ostfeld & Elad Salomons, (2014). 16<sup>th</sup> Conference on water distribution system analysis, WDSA 2014, *“Optimal disinfection of water distribution networks following a contamination event”*
- [22] H. Jetmarova et al., (2014). 16<sup>th</sup> 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”*.
- [23] Martinez-Solano et al., (2014). 16<sup>th</sup> Conference on water distribution system analysis, WDSA 2014, *“Using the set point concept to allow water distribution system skeletonization preserving water quality constraints”*
- [24] Moerman A. et al., (2014). 16<sup>th</sup> Conference on water distribution system analysis, WDSA 2014, *“Drinking water temperature modeling in domestic systems”*
- [25] Puleo V. et al., (2014). 16<sup>th</sup> Conference on water distribution system analysis, WDSA 2014, *“Multi sources supply system optimal control: a case study”*
- [26] I. Ethem Karadirek et al., (2015). Article in Desalination and water treatment, *“Chlorine modeling in water distribution networks using Arx and Armax model structures”*

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Κατανομή της μέσης ετήσιας συνολικής απορροής στην Ελλάδα (Μιμίκου, 2004). ....	9
Εικόνα 2: Βαλβίδα απομόνωσης τύπου smart .....	13
Εικόνα 3: Θέση της Καρδίτσας στον ελλαδικό χώρο .....	15
Εικόνα 4: Διαδραστικός χάρτης της Καρδίτσας (GoogleEarth) .....	17
Εικόνα 5:Αναρρυθμιστική Λίμνη .....	18
Εικόνα 6:Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού του Συνδέσμου Υδρεύσεως.....	19
Εικόνα 7: Διαχωρισμός του δικτύου ως προς τη διάμετρο των αγωγών .....	21
Εικόνα 8: Περιβάλλον WaterGEMS και σχεδιασμός δικτύου.....	24
Εικόνα 9: Δίκτυο ύδρευσης της Καρδίτσας σε περιβάλλον AutoCad.....	25
Εικόνα 10: Pattern απωλειών του δικτύου ύδρευσης της Καρδίτσας .....	27
Εικόνα 11: Δήλωση υψομέτρου σε κόμβο.....	28
Εικόνα 12: Διαχωρισμός του δικτύου σε 11 DMAs .....	32
Εικόνα 13: Υποζώνη Α με υπόβαθρο τους αγωγούς.....	33
Εικόνα 14: Υποζώνη Α με γκρι χρώμα.....	33
Εικόνα 15: Υποζώνη Β με υπόβαθρο τους αγωγούς.....	34
Εικόνα 16: Υποζώνη Β με πράσινο χρώμα .....	34
Εικόνα 17: Υποζώνη Γ με υπόβαθρο τους αγωγούς .....	35
Εικόνα 18: Υποζώνη Γ με ροζ χρώμα.....	35
Εικόνα 19: Υποζώνη Δ με υπόβαθρο τους αγωγούς.....	36
Εικόνα 20: Υποζώνη Δ με μπλε χρώμα.....	36
Εικόνα 21: Υποζώνη Ε με υπόβαθρο τους αγωγούς.....	37
Εικόνα 22: Υποζώνη Ε με σκούρο γκρι χρώμα .....	37
Εικόνα 23: Υποζώνη ΣΤ με υπόβαθρο τους αγωγούς .....	38
Εικόνα 24: Υποζώνη ΣΤ πράσινο χρώμα .....	38
Εικόνα 25: Υποζώνη Ζ με υπόβαθρο τους αγωγούς .....	39
Εικόνα 26: Υποζώνη Ζ με σκούρο πράσινο χρώμα .....	39
Εικόνα 27: Υποζώνη Η με υπόβαθρο τους αγωγούς .....	40
Εικόνα 28: Υποζώνη Η με θαλασσί χρώμα .....	40
Εικόνα 29: Υποζώνη Θ με υπόβαθρο τους αγωγούς .....	41
Εικόνα 30: Υποζώνη Θ με μοβ χρώμα .....	41
Εικόνα 31: Υποζώνη Ι με υπόβαθρο τους αγωγούς.....	42
Εικόνα 32: Υποζώνη Ι με κίτρινο χρώμα .....	42
Εικόνα 33: Υποζώνη ΙΑ με υπόβαθρο τους αγωγούς.....	43
Εικόνα 34: Υποζώνη ΙΑ με ανοιχτό γκρι χρώμα .....	43
Εικόνα 35: Χαρτογράφηση της λειτουργίας του δικτύου.....	44
Εικόνα 36: Απεικόνιση των ηλικιών των κόμβων του δικτύου μετά από 24 ώρες για το 1 <sup>ο</sup> σενάριο.....	47
Εικόνα 37:Αποτύπωση των κρίσιμων ως προς την ηλικία κόμβων του δικτύου για το 1 <sup>ο</sup> σενάριο .	48
Εικόνα 38: Απεικόνιση των πιέσεων των κόμβων του δικτύου για το 1 <sup>ο</sup> σενάριο.....	49
Εικόνα 39: Αποτύπωση των κρίσιμων ως προς την πίεση κόμβων του δικτύου για το 1 <sup>ο</sup> σενάριο .	50
Εικόνα 40: Απεικόνιση του χρόνου παραμονής του νερού στους αγωγούς για το 1 <sup>ο</sup> σενάριο .....	51
Εικόνα 41: Αποτύπωση των κρίσιμων ως προς την ηλικία κόμβων του δικτύου για το 2 <sup>ο</sup> σενάριο.....	55

Εικόνα 42: Απεικόνιση των πιέσεων των κόμβων του δικτύου για το 2 <sup>ο</sup> σενάριο .....	56
Εικόνα 43: Αποτύπωση των κρίσιμων ως προς την πίεση κόμβων του δικτύου για το 2 <sup>ο</sup> σενάριο .	57
Εικόνα 44: Απεικόνιση του χρόνου παραμονής του νερού στους αγωγούς για το 2 <sup>ο</sup> σενάριο .....	58
Εικόνα 45: Απεικόνιση κρίσιμων κόμβων ως προς την ηλικία των κόμβων και για τα δυο σενάρια	61
Εικόνα 46: Απεικόνιση κρίσιμων κόμβων ως προς την πίεση των κόμβων και για τα δυο σενάρια	64
Εικόνα 47: Απεικόνιση κρίσιμων αγωγών ως προς τον χρόνο παραμονής του νερού και για τα δυο σενάρια .....	66

## **Κατάλογος Πινάκων**

Πίνακας 1:Κρίσιμοι κόμβοι ως προς την ηλικία σε κάθε DMA για 1 <sup>ο</sup> σενάριο.....	48
Πίνακας 2:Κρίσιμοι κόμβοι ως προς την πίεση σε κάθε DMAγια 1 <sup>ο</sup> σενάριο.....	50
Πίνακας 3:Κρίσιμοι αγωγοί ως προς τον χρόνο παραμονής σε κάθε DMAγια 1 <sup>ο</sup> σενάριο .....	53
Πίνακας 4:Κρίσιμοι κόμβοι ως προς την ηλικία σε κάθε DMAγια 2 <sup>ο</sup> σενάριο.....	54
Πίνακας 5:Κρίσιμοι κόμβοι ως προς την πίεση σε κάθε DMAγια 2 <sup>ο</sup> σενάριο.....	56
Πίνακας 6:Κρίσιμοι αγωγοί ως προς τον χρόνο παραμονής σε κάθε DMAγια 2 <sup>ο</sup> σενάριο .....	60
Πίνακας 7:Μέση ηλικία νερού για κάθε DMAγια κάθε σενάριο .....	62
Πίνακας 8:Μέση πίεση για κάθε DMAγια κάθε σενάριο .....	65
Πίνακας 9: Μέσος χρόνος παραμονής του νερού για κάθε DMA για κάθε σενάριο.....	66

## **Κατάλογος Σχημάτων**

Σχήμα 1:Τροφοδοτικό Σύστημα της Καρδίτσας.....	17
--	----

## **Κατάλογος Γραφημάτων**

Γράφημα 1: Κατανομή του δικτύου ανάλογα με τα υλικά των αγωγών.....	21
Γράφημα 2: Τα σενάρια μελέτης και ανάλυσης επιγραμματικά.....	30
Γράφημα 3: Η πορεία του νερού στο δίκτυο ύδρευσης της Καρδίτσας.....	45
Γράφημα 4: Παρουσίαση ηλικία νερού σε κόμβο 1892 .....	46
Γράφημα 5:Χρόνος παραμονής του νερού στον αγωγό 1332 .....	52
Γράφημα 6:Χρόνος παραμονής του νερού στον αγωγό 2061 .....	52
Γράφημα 7:Χρόνος παραμονής του νερού στον αγωγό P-734 .....	59
Γράφημα 8:Χρόνος παραμονής του νερού στον αγωγό P-483 .....	59
Γράφημα 9: Παρουσίαση μέσης ηλικίας νερού για κάθε DMA .....	62
Γράφημα 10: Πίεση κρίσιμων κόμβων του 1 <sup>ου</sup> σεναρίου για κάθε DMA .....	63
Γράφημα 11: Παρουσίαση μέσης πίεσης νερού για κάθε DMA .....	65
Γράφημα 12:Παρουσίαση μέσου χρόνου παραμονής του νερού για κάθε DMA .....	67