

Διπλωματική Εργασία

«Μείωση των απωλειών νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης με διαμόρφωση Στεγανών Υποζωνών (District Metered Areas-DMAs) για την αποτελεσματικότερη διαχείρισης της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης»

Βόλος , 17 Οκτωβρίου 2013

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Μενέλαος Πατέλης Α.Μ. 0808009



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Επίκουρος Καθηγητής κ. Κανακούδης Βασίλειος

Ευχαριστώ,

τον επίκουρο καθηγητή Κανακούδη Βασίλειο για την προσφορά της παρούσας διπλωματικής. Για τη χορήγηση κάθε απαραίτητου μέσου για την εκπόνηση της μελέτης και τη διαθεσιμότητα που επέδειξε σε κάθε απεύθυνσή μου. Για την υπομονή και επιμονή που έδειξε απέναντι στο πρόσωπό μου.

τον διπλωματούχο πολιτικό μηχανικό και υποψήφιο διδάκτορα Κωνσταντίνο Γκονέλα για την καθοδήγηση και επεξήγηση σε όλη την πορεία των εργασιών. Τη προσφορά προσωπικού του χώρου και χρόνου όποτε χρειάστηκε σε ειδικές περιπτώσεις. Τη παρέμβασή του σε όποιο πρόβλημα παρουσιάστηκε και την παροχή συμπληρωματικού υλικού που αποτελεί μέρος της διδακτορικής του διατριβής.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μείωση των απωλειών μέσω διαχείρισης της πίεσης στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης της Κοζάνης και των παροχών του δικτύου της προς γειτονικούς οικισμούς (που το διαχειρίζεται η Δ.Ε.Υ.Α. Κοζάνης). Αυτό επιτεύχθηκε μέσα από την προσομοίωση του δικτύου στο πρόγραμμα *Watercad V8i* και με την τοποθέτηση βαλβίδων μείωσης της πίεσης (PRVs) σε σημεία τα οποία έχουν υποδειχθεί από την αρμόδια εταιρία ύδρευσης.

Η έρευνα περιελάμβανε τον διαχωρισμό του δικτύου σε υδραυλικά απομονωμένες περιοχές (DMAs) με βάνες αποκλεισμού, ενώ, παράλληλα, στις εισόδους υπάρχουν και οι βαλβίδες μείωσης της πίεσης. Οι παραπάνω απομονωμένες περιοχές ενοποιήθηκαν σε ομάδες αλληλεξάρτησης, αφού κάποιες από αυτές είχαν αμοιβαία επιρροή από μία ή περισσότερες γειτονικές περιοχές. Η μείωση της πίεσης κατάντη των βαλβίδων, σε επιτρεπτά από τον κανονισμό όρια, είχε σαν αποτέλεσμα και την μείωση του διατιθέμενου νερού στο δίκτυο τόσο με την μορφή απωλειών όσο και με την μορφή ζήτησης εφόσον αυτή εξαρτάται από την πίεση. Ακολούθησε η υλοποίηση πολλαπλών σεναρίων για κάθε περιοχή σε κάθε μήνα του έτους. Στα σενάρια αυτά έγιναν υποθέσεις για την χρήση PRVs με σταθερό ή μεταβαλλόμενο κατά την διάρκεια του 24ώρου πρότυπο, καθώς και πτώση της πίεσης κάτω από την υποχρεωτικά εφαρμοζόμενη τιμή και ταυτόχρονη εφαρμογή τοπικού πιεστικού νερού (booster).

4

Έγινε καταγραφή μέσω του μοντέλου των πιέσεων και των καταναλώσεων τόσο σε επίπεδο κόμβου όσο και συνολικά σε επίπεδο κάθε περιοχής και για τις τρεις φάσεις της μελέτης, δηλαδή πριν το διαχωρισμό των περιοχών, μετά τον διαχωρισμό και με την υλοποίηση του εκάστοτε σεναρίου. Τα εξαγόμενα συμπεράσματα οδηγούν στην λήψη ορθών και τεκμηριωμένων αποφάσεων για την απόκτηση και εφαρμογή του κατάλληλου εξοπλισμού με τα μέγιστα για την εταιρία οφέλη, οικονομικά και περιβαλλοντικά.

Λέξεις-Κλειδιά

απώλειες νερού, διαχείριση της πίεσης, διαχείριση των διαρροών, δίκτυο ύδρευσης, ζήτηση, τοπικό πιεστικό booster, περιοχή με μετρητές (DMA), ομάδα υποζωνών, βαλβίδες μείωσης πίεσης (PRVs)

Abstract

The object of the present diploma project is the reduction of losses through pressure management in the water supply network of city Kozani and some nearby villages (being managed by Kozani City Water Utility - DEYA Kozani). This was achieved through the simulation of the network in the program *Watercad V8i* and with the placement of pressure reducing valves (PRV) in points which were indicated by the pertinent company of water supply.

The research included the segregation of network in district metered areas (DMA) with the use of isolation valves, while, at the same time, the PRVs are placed in the entries of each DMA. These DMAs were unified afterwards into some teams depending on the way one was affecting the other. The reduction of pressure, in permissible from the regulation limits, had as a result the reduction of the distributed water in the network both with the form of losses and with the form of provided demand if it is pressure dependent. Afterwards, the implementation of many different scenarios on each area and for each month of the year took place. In these scenarios, affairs were done considering the use of PRVs with fixed or modified through the 24-hour period patterns and, also, with the fall of pressure under the permissible point combined with the application of local pressure boosters.

The pressures and the demands were recorded via the model both on the level of each individual node and on the level of each DMA for the three phases of the research, which are before the segregation of areas (DMAs), afterwards the segregation and with the implementation of each script. The exported conclusions lead to indisputable decisions on the acquisition and application of the suitable equipment followed with the biggest company profits, economically and environmentally.

5

Key-Words

water losses, pressure management, leakage management, water network, demand, local pressure booster, district metered area (DMA), group of subareas, pressure reducing valves (PRVs)

Δομή της Εργασίας

Το **1ο κεφάλαιο** περιλαμβάνει την εισαγωγή όπου παρουσιάζεται το υδατικό ισοζύγιο ύδατος σύμφωνα με τον διεθνή οργανισμό νερού και αναλύεται η σπουδαιότητα της διαχείρισης της πίεσης σε δίκτυα ύδρευσης με σημαντικές απώλειες.

Στο **2ο κεφάλαιο** περιγράφεται η υφιστάμενη κατάσταση του δικτύου της Κοζάνης, δηλαδή τα γενικά χαρακτηριστικά του δικτύου, η δυναμική του και τα προβλήματα που αντιμετωπίζει και χρήζουν αντιμετώπισης. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στα δεδομένα πάνω στα οποία βασίστηκε η προσομοίωση στο πρόγραμμα Watercad.

Στο **3ο κεφάλαιο** γίνεται αρχικά μία γενική αναφορά για τις υδραυλικά απομονωμένες περιοχές/υποζώνες (District Metered Areas-DMAs), με αναφορά στους παράγοντες που επηρεάζουν τον τρόπο διαχωρισμού τους, τη σημασία τους, τα οφέλη και τα προβλήματα που ενδεχομένως να ανακύψουν από την εφαρμογή τους. Η τελευταία ενότητα επικεντρώνεται στην διαμόρφωση των DMAs στο δίκτυο της πόλης της Κοζάνης.

Στο **4ο κεφάλαιο** περιγράφεται η διαδικασία διαχωρισμού της ζήτησης σε εξαρτώμενη από την πίεση Pressure Dependent Demand - PDD και σε εξαρτώμενη από τον όγκο Volume Dependent Demand - VDD, καθώς και οι βασικές παραδοχές που εφαρμόστηκαν κατά την προσομοίωση.

Στο **5ο κεφάλαιο** αναφέρεται η ανάγκη και οι λόγοι σκελετοποίησης του δικτύου, η παραγωγή δηλαδή ενός μικρότερου όμοιου, αντιπροσωπευτικού και λειτουργικού μοντέλου. Παρουσιάζεται και η μέθοδος σκελετοποίησης.

Στο **6ο κεφάλαιο** παρουσιάζεται όλη η διαδικασία βήμα προς βήμα που ακολουθήθηκε για την εφαρμογή της 1^{ης} ομάδας σεναρίων πάνω στο παράδειγμα της 1^{ης} ομάδας υποζωνών.

Στο **7ο κεφάλαιο** αναλύονται τα εναλλακτικά σενάρια (2^η και 3^η ομάδα σεναρίων) που μελετήθηκαν πάνω στο ίδιο παράδειγμα της 1^{ης} ομάδας υποζωνών.

Στο **8ο κεφάλαιο** γίνεται η επιλογή του βέλτιστου σεναρίου αφού πρώτα παρουσιαστούν τα κόστη υλοποίησης αλλά και τα υδατικά οφέλη για κάθε μία από τις τρεις ομάδες σεναρίων που εφαρμόστηκαν.

Στο **9ο κεφάλαιο** έχουμε τη συζήτηση και το σχολιασμό των έως τώρα αποτελεσμάτων για την 1^η ομάδα υποζωνών, μαζί με την ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου μας στη κύρια παραδοχή της εξάρτησης της πίεσης.

Στο **10ο κεφάλαιο** ανάγονται τα αποτελέσματα σε όλες τις ομάδες υποζωνών που μελετήθηκαν και παρουσιάζεται συγκεντρωτικά τι εξοπλισμός προτείνεται να αγοραστεί που να τοποθετηθεί μαζί με τα οφέλη που θα αναμένεται να προσφέρει. Γίνονται και κάποιες παρατηρήσεις πριν το συμπέρασμα της όλης μελέτης.

Πίνακας περιεχομένων

| | |
|---|-----------|
| Περίληψη..... | 4 |
| Abstract..... | 5 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 12 |
| 1.1 Γενικά | 12 |
| 1.2 Ορισμός Απωλειών - Ισορροπία Ύδατος | 13 |
| 1.2.1 Ορολογία της Ισορροπίας Ύδατος-Απωλειών | 13 |
| 1.3 Σχέση ανάμεσα στη διαχείριση της πίεσης και των απωλειών | 15 |
| 1.4 Μείωση απωλειών και εμφανή οφέλη | 16 |
| 1.5 Σκοπός της Εργασίας | 18 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ Δ.Ε.Υ.Α.Κοζάνης | 19 |
| 2.1 Γενικές πληροφορίες | 19 |
| 2.1.1 Η εταιρεία..... | 19 |
| 2.1.2 Υδατικοί πόροι..... | 19 |
| 2.1.3 Εσωτερικό υδραγωγείο..... | 21 |
| 2.2 Προβλήματα του υπάρχοντος δικτύου..... | 21 |
| 2.3 Επίλυση των προβλημάτων με την παρούσα μελέτη..... | 23 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΕ DMAs | 24 |
| 3.1 Ορισμός DMA | 24 |
| 3.2 Ο ρόλος των DMA στη διαχείριση των απωλειών | 24 |
| 3.3 Προβλήματα-Περιορισμοί από την εφαρμογή των DMA και αντιμετώπιση | 25 |
| 3.4 Υλοποίηση των District Metered Areas στο δίκτυο της Κοζάνης..... | 26 |
| 3.4.1 ΠΡΩΤΗ ΟΜΑΔΑ ΥΠΟΖΩΝΩΝ (Μ, 5, 4Α, 4Κ, Κ-1)..... | 29 |
| 3.4.2 ΔΕΥΤΕΡΗ ΟΜΑΔΑ ΥΠΟΖΩΝΩΝ (Κ2, Κ3, 13)..... | 30 |
| 3.4.3 ΤΡΙΤΗ ΟΜΑΔΑ ΥΠΟΖΩΝΩΝ (14Κ, 11Α, 11Κ, 10)..... | 31 |
| 3.4.4 ΤΕΤΑΡΤΗ ΟΜΑΔΑ ΥΠΟΖΩΝΩΝ (12, 7, 6)..... | 32 |
| 3.4.5 ΟΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΥΠΟΖΩΝΕΣ (8, 9, 14Α, 17-16, 15Α, 15Κ, 16, 18, 19)..... | 32 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΣΕ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΙΕΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΣΕ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΟΓΚΟ ΝΕΡΟΥ | 35 |
| 4.1 Διαχωρισμός σε Pressure Dependent Demand και Volume Dependent Demand | 35 |
| 4.2 Προσομοίωση των Pressure Dependent Demand | 38 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 :ΣΚΕΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΕ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΔΙΚΤΥΟ 2000 ΑΓΩΓΩΝ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ | 40 |
| 5.1 Αίτια της σκελετοποίησης του δικτύου σε μικρότερο..... | 40 |
| 5.2.Η μέθοδος της σκελετοποίησης..... | 41 |

| | |
|---|----|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ (ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΗΣ 1 ^{Hc} ΟΜΑΔΑΣ)..... | 43 |
| 6.1 Η χρήση των PRV στη διαχείριση της πίεσης..... | 43 |
| 6.2 Πρώτη ομάδα σεναρίων | 44 |
| 6.2.1 Στόχος..... | 45 |
| 6.2.2 Σχεδιασμός και Εφαρμογή..... | 46 |
| 6.2.3 Αποτελέσματα..... | 47 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ..... | 56 |
| 7.1 Δεύτερη ομάδα σεναρίων | 56 |
| 7.1.1 Σχεδιασμός και Εφαρμογή | 56 |
| 7.1.2 Διαμόρφωση των Valve Pattern (πρότυπο 24ωρης λειτουργίας) | 56 |
| 7.1.3 Αποτελέσματα..... | 60 |
| 7.2 Τρίτη Ομάδα Σεναρίων..... | 61 |
| 7.2.1 Σχεδιασμός και εφαρμογή..... | 61 |
| 7.2.2 Επιλογή σημείων εφαρμογής των αντλιών..... | 62 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ..... | 64 |
| 8.1 Κόστος Υλοποίησης..... | 64 |
| 8.2 Οικονομικά οφέλη..... | 67 |
| 8.3 Επιλογή Βέλτιστου Σεναρίου..... | 69 |
| 8.4 Αποτελέσματα Βέλτιστου Σεναρίου (στη διαχείριση της πίεσης)..... | 71 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ | 72 |
| 9.1 Σχολιασμός Μεθόδου και Αποτελεσμάτων..... | 72 |
| 9.2 Μελέτη της Ευαισθησίας του Μοντέλου στην Παραδοχή του Ποσοστού της Pressure Dependent Demand..... | 73 |
| 9.3 Μελλοντική Έρευνα..... | 74 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΑΝΑΓΩΓΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΟΛΟ ΔΙΚΤΥΟ..... | 75 |
| 10.1 Συγκεντρωτικά οφέλη και κόστη υλοποίησης..... | 75 |
| 10.2 Μία σημαντική παρατήρηση..... | 78 |
| 10.3 Γενικό Συμπέρασμα..... | 80 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ | 81 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ..... | 82 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Το νερό αποτελεί το πιο σημαντικό στοιχείο στην καθημερινότητα του ανθρώπου καθώς σηματοδοτεί την ύπαρξη και διατήρηση της ζωής πάνω στον πλανήτη. Επιπλέον, με βάση την ταχύτητα και την ποιότητά του μεταβάλλει αναλόγως την υγεία και τις δράσεις των πολιτών, ενώ συνιστά βασικό παράγοντα για την βιομηχανική και γενικότερα οικονομική ανάπτυξη περιοχών και κρατών. Παρόλα αυτά, κυρίως στις σύγχρονες κοινωνίες επικρατεί ένας συνδυασμός συνεχούς αυξανόμενης ζήτησης και συνεχώς υποβαθμισμένων υδατικών πόρων που μεταφράζονται είτε σε ελλείψεις στις διάφορες χρήσεις του νερού είτε σε μερικές ή ολικές υποβαθμίσεις οικοσυστημάτων. Το πρόβλημα εντείνεται λόγω της κλιματικής αλλαγής, με τα φαινόμενα των πλημμυρών και των παρατεταμένων ξηρασιών να εμφανίζονται σε όλο και μεγαλύτερη συχνότητα. Οι περιορισμοί που προκύπτουν και η σπουδαιότητα του νερού έχουν οδηγήσει σταδιακά στη συνειδητοποίηση για λήψη άμεσων μέτρων και, τελικά, στη διαμόρφωση ενός ευρύτερου πλαισίου, νομοθετικού ή μη, για την προστασία και ορθολογική χρήση των συστημάτων ύδρευσης. Ένα από τα βασικότερα πλέον μέτρα απεικονίζεται στη διαχείριση και στον περιορισμό των απωλειών ύδατος στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής της ύδρευσης.

Έχει εκτιμηθεί ότι οι απώλειες νερού από τα συστήματα ύδρευσης κυμαίνονται στο 30 με 40% του συνολικού όγκου νερού που εισέρχεται σε αυτά, ενώ σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να αγγίξουν το 50 με 60%. Παρά το γεγονός αυτό, οι περισσότερες εταιρίες ύδρευσης δεν είναι πρόθυμες να δημιουργήσουν μία στρατηγική εντοπισμού και άμεσης αντιμετώπισης των απωλειών παρά μόνο εμμένουν στην επιδιόρθωση επιφανειακών διαρροών που γίνονται αντιληπτές από το κοινό ("παθητικός έλεγχος διαρροών"). Αυτό συνήθως συμβαίνει εξαιτίας της ύπαρξης πολυάριθμων και χαμηλού κόστους πηγών που μπορούν να αντισταθμίσουν τα προβλήματα που ενδεχομένως να δημιουργήσουν στο σύστημα οι απώλειες καθώς και εξαιτίας του γεγονότος ότι η εύρεση και αποκατάσταση των απωλειών δεν αντιστοιχεί απαραίτητα σε αύξηση των τιμολογίων χρέωσης. Πρέπει να επισημανθεί όμως ότι αυτή η προσέγγιση του κόστους του νερού θεωρείται παρωχημένη αφού λαμβάνεται υπόψη κυρίως ή μόνον το άμεσο κόστος και όχι το περιβαλλοντικό κόστος ή το κόστος ευκαιρίας των υδατικών πόρων. Επιπρόσθετα, σε αρκετές περιπτώσεις είναι πιο οικονομικό και αποτελεσματικό η βελτίωση της αποδοτικότητας της χρήσης του νερού σε σύγκριση με την αύξηση της ποσότητας του νερού για την κάλυψη των αναγκών.

Απόρροια της περιγραφείσας κατάστασης και των εξαγόμενων συμπερασμάτων είναι η εισαγωγή νέων δεδομένων και μεθοδολογιών στη διαχείριση της ζήτησης, καθώς η κλασική αντιμετώπιση της έλλειψης νερού μέσω της ανάπτυξης νέων πόρων και σχεδίων μεταφοράς αντικαθίσταται από την εστίαση στην αποδοτικότερη χρήση του νερού με την εγκατάσταση του κατάλληλου εξοπλισμού και τον περιορισμό των απωλειών.

1.2 Ορισμός Απωλειών – Υδατικό Ισοζύγιο

Η εκτίμηση του όγκου των απωλειών μπορεί να προκύψει εύκολα από τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου του δικτύου που στην απλούστερη μορφή του εκφράζεται ως εξής:

$$\text{Απώλειες νερού} = \text{Όγκος συνολικά εισερχόμενου νερού} - \text{Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση}$$

Ένα υδατικό ισοζύγιο του δικτύου είναι απαραίτητο για την αφετηρία λήψης πρωτοβουλιών και μέτρων καθώς αντανακλά το μέγεθος του προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα, οι απώλειες του νερού αναλύονται σε *πραγματικές* και *φαινομενικές* απώλειες, ενώ το άθροισμά τους οδηγεί στον υπολογισμό του *μη ανταποδοτικού νερού*.

Οι *πραγματικές* ή *φυσικές* απώλειες είναι αυτές οι οποίες οφείλονται σε διαρροές, σε θραύσεις ή υπερχειλίσεις και εντοπίζονται μόνο στα συστήματα ύδρευσης για τα οποία είναι υπεύθυνη η εκάστοτε εταιρία ύδρευσης, δηλαδή δεν αφορούν το τμήμα του δικτύου για το οποίο είναι υπεύθυνος ο ιδιώτης.

Οι *φαινόμενες* ή *εμπορικές* απώλειες (συνήθως είναι μέχρι το "ρολόι" (υδρομετρητή) του καταναλωτή) αποτελούνται από την μη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση και τις διάφορου τύπου ανακρίβειες που αφορούν τους μετρητές.

Σύμφωνα με τον **Διεθνή Οργανισμό Νερού (International Water Association - IWA)** το πρότυπο υδατικό ισοζύγιο εκφράζεται με τον πίνακα 1.1:

12

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

Πίνακας 1.1 : Υδατικό ισοζύγιο από το εγχειρίδιο "best practice" του IWA

Διπλωματική Εργασία: «Μείωση των απωλειών νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης με διαμόρφωση Στεγανών Υποζωνών (District Metered Areas-DMAs) για την αποτελεσματικότερη διαχείρισης της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης»

1.2.1 Ορολογία της Ισορροπίας Ύδατος-Απωλειών

Η ορολογία που αναφέρεται στο πρότυπο υδατικό ισοζύγιο έχει αναπτυχθεί από τον Διεθνή Οργανισμό Νερού (IWA) και χρησιμοποιείται κατά κόρον παγκοσμίως. Παρακάτω παρατίθενται όλοι οι ορισμοί, όπως αποτυπώνονται στο εγχειρίδιο "best practice" του IWA (2000):

- **Όγκος Εισόδου στο Σύστημα (System Input Volume):** Είναι ο ετήσιος όγκος του εισερχόμενου νερού στο δίκτυο ύδρευσης περιλαμβάνοντας κάθε δυνατό υδατικό πόρο που αξιοποιείται.
- **Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση (Authorized Consumption):** Είναι ο ετήσιος όγκος νερού, καταγεγραμμένου και μη, που λαμβάνεται από όλους τους καταχωρημένους στην εταιρία ύδρευσης χρήστες, δηλαδή πελάτες, τον προμηθευτή νερού και οποιονδήποτε εξουσιοδοτημένο από τον προμηθευτή νερού για διάφορες χρήσεις.
- **Απώλειες Νερού (Water Losses):** Είναι η διαφορά ανάμεσα στον όγκο εισόδου στο σύστημα και στον όγκο της εξουσιοδοτημένης κατανάλωσης. Οι απώλειες νερού διαχωρίζονται σε πραγματικές ή φυσικές και σε φαινόμενες ή εμπορικές απώλειες.
- **Πραγματικές/Φυσικές Απώλειες (Real Losses):** Αφορούν τους ετήσιους όγκους νερού που χάνονται στο υπό πίεση σύστημα διανομής, μέχρι το σημείο της χρήσης από τους ιδιώτες, το οποίο συνήθως είναι ο μετρητής της κατανάλωσης.
- **Φαινόμενες/Εμπορικές Απώλειες (Apparent Losses):** Αφορούν τα λάθη στους μετρητές του συστήματος ύδρευσης, κυρίως των μετρητών των πελατών, τα λάθη επεξεργασίας των δεδομένων και την μη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση (κλοπή και παράνομη χρήση).
- **Μη Ανταποδοτικό Νερό (Non-Revenue Water - NRW):** Είναι η διαφορά ανάμεσα στον εισερχόμενο όγκο νερού στο σύστημα και της τιμολογημένης εξουσιοδοτημένης κατανάλωσης. Το μη ανταποδοτικό νερό αποτελείται από την εξουσιοδοτημένη κατανάλωση χωρίς χρέωση, τις φαινόμενες και τις πραγματικές απώλειες.

1.3 Σχέση ανάμεσα στη διαχείριση της πίεσης και των απωλειών

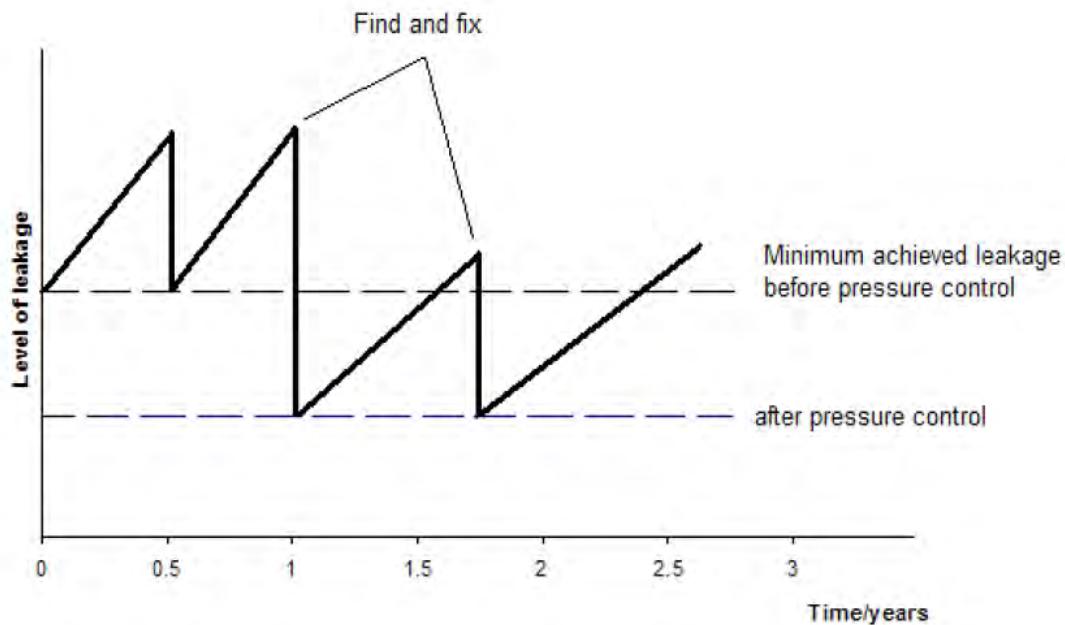
Έχει αναγνωρισθεί σε αρκετές χώρες, με πρωτοπόρες το Ισραήλ και η Αυστραλία, ότι η πίεση κατέχει θεμελιώδη ρόλο στο μέγεθος και στη συχνότητα εμφάνισης απωλειών στα δίκτυα ύδρευσης και αυτή η αλληλεπίδραση σε πολλές περιπτώσεις είναι σημαντικότερη σε πρακτικό επίπεδο από ότι μπορεί να υπολογιστεί σε 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 διαχείριση των σωληνώσεων και των λοιπών συσκευών (και εν γένει των παγίων του συστήματος), διαχείριση της πίεσης, ενεργός έλεγχος διαρροών, ταχύτητα και ποιότητα στην επισκευή. 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.

Από τις παραπάνω τεχνικές αυτή 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 μεταβατικών ροών στους αγωγούς, που επιτυγχάνεται όταν οι στρόφιγγες και οι βαλβίδες δεν είναι πολύ ανοικτές
- μείωση της εξουσιοδοτημένης ή μη κατανάλωσης στο βαθμό που αυτή εξαρτάται από την πίεση

Επιπρόσθετα, ενδιαφέρον παρουσιάζει πώς η αποτελεσματική διαχείριση της πίεσης μπορεί να επηρεάσει κάποιες από τις υπόλοιπες τεχνικές για τη διαχείριση των απωλειών. Η επιρροή αυτή είναι έκδηλη κυρίως σε ότι αφορά την τεχνική ενεργού ελέγχου διαρροών όπως φαίνεται από στο γράφημα 1.1, καθώς παρατηρείται πτώση τόσο των διαρροών όσο και της απαραίτητης δραστηριότητας εντοπισμού και επιδιόρθωσης ("find and fix").



Γράφημα 1.1: Επίδραση της μείωσης της πίεσης στη διαχείριση διαρροών (Prowat-Lambert & Toom, 2005)

1.4 Μείωση απωλειών και εμφανή οφέλη

15

Η ύπαρξη απωλειών σε ένα σύστημα ύδρευσης αποτελεί εξαρχής δεδομένο για κάθε εταιρία ύδρευσης, ασχέτως της ηλικίας ή του μεγέθους του δικτύου. Κύρια αιτία αποτελεί το γεγονός ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των αγωγών βρίσκονται μέσα στο έδαφος κάτι που καθιστά αδύνατο τον εντοπισμό όλων των διαρροών. Επειδή, λοιπόν, δεν υπάρχουν <<ιδανικά>> συστήματα όπου οι απώλειες είναι ελάχιστες ή μηδενικές, επιβάλλεται η δημιουργία κάποιας στρατηγικής για τη διαχείρισή τους.

Η μείωση των απωλειών οδηγεί σε αρκετά οφέλη τα οποία είναι ανάλογα με το μέγεθος και τη δυναμική του δικτύου. Τα άμεσα εμφανή οφέλη είναι:

- Ταυτόχρονη ανάπτυξη μίας περιβαλλοντικής πολιτικής - μειώνεται η πίεση που ασκείται στους υδάτινους πόρους
- Βελτίωση της ποιότητας του νερού - οι λιγότερες διαρροές στο δίκτυο μεταφράζονται σε μείωση της πιθανότητας μόλυνσης του νερού
- Αύξηση της αξιοπιστίας της εταιρίας ύδρευσης στην γνώμη των πολιτών
- Παροχή αξιόπιστων και αποδοτικών υπηρεσιών - επιθυμητή παροχή και πίεση σε όλους τους χρήστες του δικτύου οποιαδήποτε χρονική στιγμή

Ωστόσο, όλα τα παραπάνω οδηγούν και σε άμεσα οικονομικά οφέλη:

- Μείωση του λειτουργικού άμεσου κόστους - η μείωση των απωλειών με δεδομένη τη ζήτηση μεταφράζεται σε μείωση της άντλησης για την κάλυψή της, δηλαδή λιγότερες δαπάνες
- Ελάφρυνση της εταιρίας ύδρευσης από την επέκταση του ήδη υπάρχοντος συστήματος - η ενδεχόμενη αύξηση της ζήτησης νερού δεν συνεπάγεται πλέον αύξηση της παροχής
- Μείωση του κόστους χημικών και άλλων ουσιών για τον καθαρισμό του νερού - μειώνεται ο όγκος του αντλούμενου νερού με συνέπεια την ελάττωση του κόστους για τον καθαρισμό του (χλωρίωση, οζονισμός κτλ.)
- Αύξηση στην απόδοση της τιμολόγησης και της είσπραξης χρημάτων - όλα τα γενικά οφέλη που περιγράφηκαν εν τέλει οδηγούν στην αύξηση της προθυμίας του πολίτη για την πληρωμή του τιμολογίου ύδρευσης

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. Κοζάνης αλλά και στις όμορες γειτονικές περιοχές που συνεξυπηρετούνται από το ίδιο δίκτυο.

Πιο συγκεκριμένα, αφορά στην προσομοίωση του υπάρχοντος δικτύου σε συνδυασμό με την εγκατάσταση του επιπρόσθετου απαραίτητου εξοπλισμού στο πρόγραμμα Watercad V8i. Η αρχική αποτύπωση του δικτύου και η ανάλυση της κατανάλωσης στη διάρκεια της ημέρας υπήρχε σαν δεδομένο, καθώς αποτελεί τμήμα της διδακτορικής διατριβής του Κ. Γκονέλα.

Τμήμα της παρούσας εργασίας αποτελεί η περαιτέρω ανάλυση της προσομοίωσης με την προσθήκη επιπλέον στοιχείων, όπως για παράδειγμα βάνες αποκλεισμού και βαλβίδες μείωσης της πίεσης και εφαρμογή συστημάτων ανύψωσης της πίεσης για βέλτιστο αποτέλεσμα.

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε και περιγράφεται στο κύριο μέρος της εργασίας έχει εφαρμοστεί επιτυχώς από ορισμένες εταιρίες ύδρευσης ανά τον κόσμο, οι οποίες αντιμετώπιζαν παρόμοια προβλήματα στη διαχείριση των απωλειών, ενώ έχει υπάρξει αντικείμενο έρευνας διάφορων μελετητών τα τελευταία χρόνια. Αποτελεί δε καινοτόμο στοιχείο για τα δεδομένα της Ελλάδας και δύναται να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε δίκτυο ύδρευσης με εντυπωσιακά αποτελέσματα στη μείωση των απωλειών σε αρκετές περιπτώσεις.

17

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 είτε αυτά αφορούν καθαρά το επιστημονικό κομμάτι είτε αφορούν το οικονομικό κομμάτι. 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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ Δ.Ε.Υ.Α.Κοζάνης

2.1 Γενικές πληροφορίες

Η πόλη της Κοζάνης είναι πρωτεύουσα του ομώνυμου νομού στην βορειοδυτική Ελλάδα (περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας). Το υδροδοτικό σύστημα της Κοζάνης αποτελείται από τους υπό εκμετάλλευση υδατικούς πόρους, τα συγκροτήματα άντλησης και μεταφοράς του νερού, τους υδαταγωγούς μεταφοράς (εξωτερικό υδραγωγείο) και το εσωτερικό δίκτυο διανομής. Η εταιρεία ύδρευσης και αποχέτευσης είναι δημοτική επιχείρηση, η Δ.Ε.Υ.Α.Κ.

2.1.1 Η εταιρεία

Η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Κοζάνης (ΔΕΥΑΚ) ιδρύθηκε το 1985 και λειτούργησε για πρώτη φορά στις 20 Ιουνίου 1988, για να βελτιώσει την ποιότητα ζωής των πολιτών, προσφέροντας τις καλύτερες δυνατές υπηρεσίες ύδρευσης και αποχέτευσης. Οι υπηρεσίες που προσφέρει η ΔΕΥΑΚ αφορούν στη λειτουργία, συντήρηση, κατασκευή και διαχείριση των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης του Δήμου Κοζάνης. Το 1992 στις δραστηριότητες της εταιρίας προστέθηκε και η τηλεθέρμανση. Η άριστη λειτουργία του πρωτοποριακού αυτού συστήματος ανέδειξε με τον καλύτερο τρόπο τις δυνατότητες της. Ταυτόχρονα λειτουργεί και δύο μονάδες βιολογικού καθαρισμού. Το μόνιμο προσωπικό της εταιρείας ανέρχεται σε 121 άτομα από τα οποία τα 17 είναι απόφοιτοι ΑΕΙ και τα 20 απόφοιτοι ΤΕΙ. Σήμερα το δίκτυο ύδρευσης της ΔΕΥΑΚ υδροδοτεί 34.675 οικίες στο Δήμο Κοζάνης. Ο κύκλος εργασιών της εταιρείας το 2009 ανήλθε σε 17.500.000€.

18

2.1.2 Υδατικοί πόροι

Οι υδατικοί πόροι που τροφοδοτούν το εξωτερικό υδραγωγείο της ΔΕΥΑΚ είναι από πηγές και από γεωτρήσεις. Από τις πηγές λαμβάνεται ποσότητα κατά μέσο όρο 70 m³. ανά ώρα, ενώ από τις γεωτρήσεις αντλείται ποσότητα κατά μέσο 660 c.m. ανά ώρα. Η ΔΕΥΑΚ διαθέτει σύστημα τηλεμετρίας και τηλεχειρισμού το οποίο καταγράφει την κατανάλωση νερού ανά ζώνη, τον όγκο του νερού ανά ζώνη και τη λειτουργική κατάσταση των γεωτρήσεων και των σταθμών άντλησης. Το σύστημα περιλαμβάνει τον τηλε-έλεγχο της κατανάλωσης του νερού και τον τηλε-έλεγχο του εσωτερικού δικτύου ύδρευσης στην πόλη της Κοζάνης. Η ΔΕΥΑΚ διαθέτει σύστημα GIS και σύστημα ανίχνευσης των απωλειών νερού. Η ΔΕΥΑΚ εκτίμησε ότι το

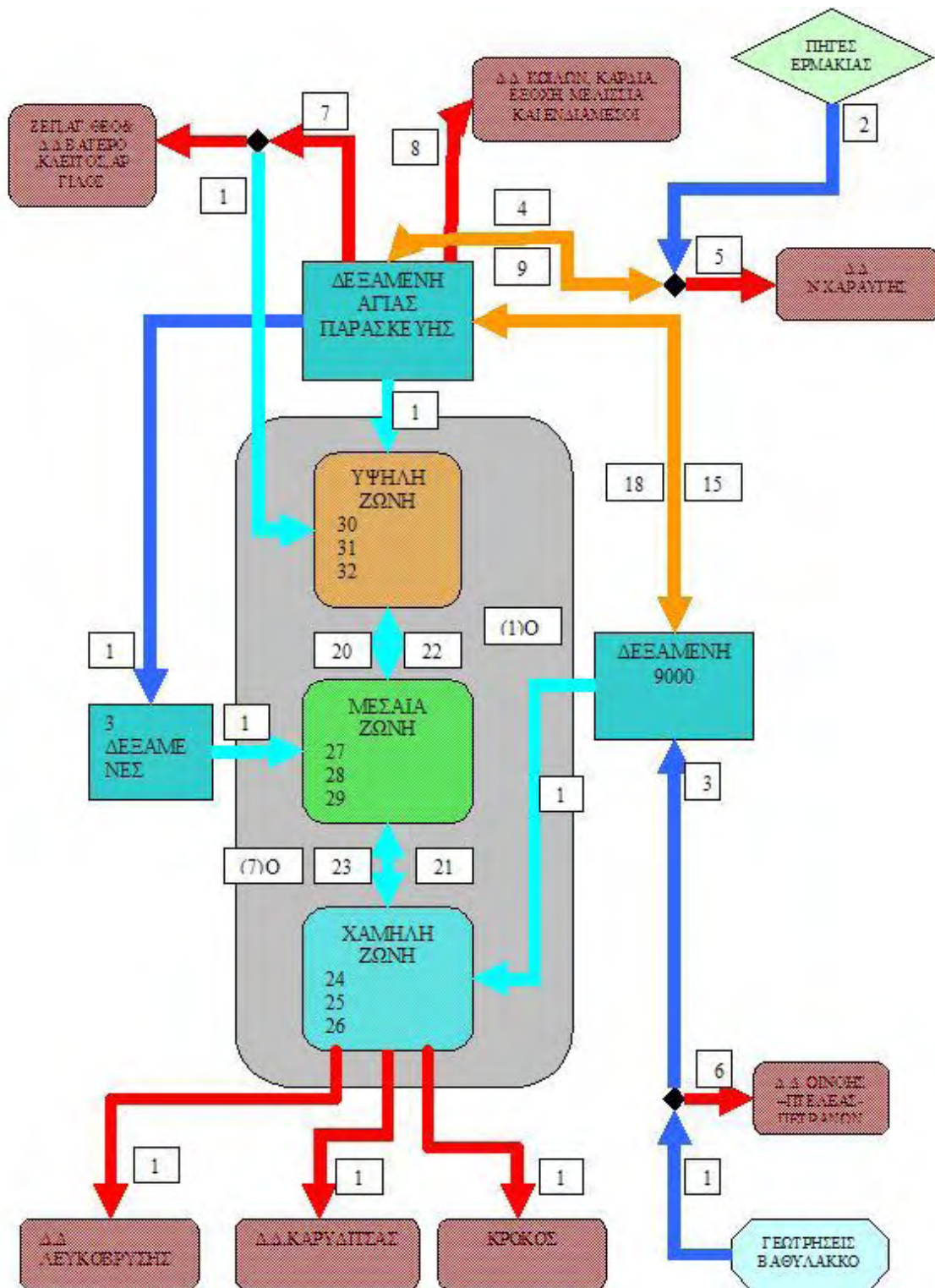
2009 το 60,4% του παρεχόμενου νερού δεν απέφερε έσοδα. Από αυτό το 60% αφορά απώλειες νερού, το 30% όγκο νερού που καταγράφηκε αλλά δεν χρεώθηκε και το 10% παράνομες συνδέσεις.

Από το 1992 χρησιμοποιούνται οι πηγές της Ερμακιάς για την υδροδότηση της πόλης της Κοζάνης. Το νερό με αγωγό από χάλυβα Φ500 μήκους περίπου 25Km οδηγείται στο συγκρότημα δεξαμενών της Αγίας Παρασκευής. Επίσης χρησιμοποιούνται τα αντλιοστάσια Α1 και Α2 που βρίσκονται στον Βαθύλακο απ' όπου αντλείται νερό που μεταφέρεται με αγωγό Φ700 μήκους 12Km, ο οποίος στην συνέχεια γίνεται Φ500 μήκους 5Km. Το νερό από τις γεωτρήσεις του Βαθύλακου οδηγείται στην δεξαμενή 9000. Οι δεξαμενές που χρησιμοποιούνται για την συγκέντρωση του νερού και την διανομή του στην πόλη και τα δημοτικά διαμερίσματα της Κοζάνης είναι οι εξής:

1. Δεξαμενή Αγίας Παρασκευής: Έχει χωρητικότητα 1.000 m³. Σ' αυτή τη δεξαμενή συγκεντρώνεται το νερό από τις πηγές της Ερμακιάς και συνδέεται με την δεξαμενή 9000 αναμιγνύοντας έτσι το νερό από τις δύο πηγές υδροληψίας. Η δεξαμενή της Αγίας Παρασκευής υδροδοτεί την υψηλή ζώνη της πόλης, τα δημοτικά διαμερίσματα Κοίλων, Καρδιάς, Εξοχής, Μελισσίων (και ενδιάμεσους), τη περιοχή ΖΕΠ, τα δημοτικά διαμερίσματα Αγίων Θεοδώρων, Βατερού, Κλείτους και Αργίλου, και το δημοτικό διαμέρισμα Ν. Χαραυγής. Τέλος τροφοδοτεί με νερό συγκρότημα 3 δεξαμενών.
2. Συγκρότημα 3 δεξαμενών: Αποτελείται από δεξαμενές χωρητικότητας 1.200 m³ κατασκευής περίπου 1938, 1.800 m³ κατασκευής περίπου 1976 και 3.000 m³ κατασκευής 1982. Το συγκρότημα των 3 δεξαμενών υδροδοτεί την μεσαία ζώνη της πόλης.
3. Δεξαμενή 9000: Έχει χωρητικότητα 9.000 m³ και κατασκευάστηκε το 2008. Υδροδοτεί την μεσαία και χαμηλή ζώνη της πόλης και τα δημοτικά διαμερίσματα Οινόης, Πτελεάς και Πετρανών.
4. Υπάρχει μία ανενεργή δεξαμενή στην υπερυψηλή ζώνη της πόλης.

19

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το σκαρίφημα του εξωτερικού και του εσωτερικού υδραγωγείου της ΔΕΥΑΚ.



Γράφημα 2.1: Σκαρίφημα του εξωτερικού και του εσωτερικού υδραγωγείου (ΔΕΥΑΚ)

Διπλωματική Εργασία: «Μείωση των απωλειών νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης με διαμόρφωση Στεγανών Υποζωνών (District Metered Areas-DMAs) για την αποτελεσματικότερη διαχείρισης της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης»

2.1.3 Εσωτερικό υδραγωγείο

Το υδραγωγείο της Κοζάνης καλύπτει τις υδρευτικές ανάγκες του πληθυσμού της πόλης, ο οποίος είναι 35.942 άτομα (σύμφωνα με την απογραφή του 2001) και υδρεύονται από 28.281 υδρόμετρα (στοιχεία 2010). Οι υδρευτικές ανάγκες της ΔΕΥΑΚ ανέρχονται το 2009 σε 5.535.078 (παροχή) m³ ενώ το 2010 παρατηρείται μία μικρή αύξηση στην παροχή νερού η οποία ανέρχεται σε 5.688.642 m³. Το δίκτυο διανομής της ΔΕΥΑΚ, συνολικού μήκους 129.584,4 μέτρων αποτελείται από αγωγούς PVC, αμιαντοτσιμέντου και HDPE. Το δίκτυο λειτουργεί σε 3 ζώνες: υψηλή, μέση και χαμηλή ζώνη. Η πίεση λειτουργίας συνολικά στο δίκτυο κυμαίνεται μεταξύ 3-5 atm με μέση πίεση λειτουργίας τις 4 atm. Ο συνολικός αριθμός συνδέσεων είναι 9.150 συνδέσεις. Το μέσο μήκος της κάθε σύνδεσης είναι 6 m. Οι αγωγοί συνδέσεων αποτελούνται από 60% γαλβανιζέ σιδηροσωλήνες 1,5 ίντσας, 30% PE Φ22 και 10% HDPE Φ25 και Φ 28. Οι ζώνες που υπάρχουν στο δίκτυο αντιπροσωπεύουν την υψομετρική διαφορά μεταξύ περιοχών στην πόλη της Κοζάνης. Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν υδραυλικά απομονωμένες ζώνες (District Metered Areas) γιατί δεν υπάρχει μοναδική είσοδος και έξοδος προς και από κάθε ζώνη.

2.2 Προβλήματα του υπάρχοντος δικτύου

21

Τα βασικά προβλήματα του παρόντος δικτύου είναι εξαρτώμενα από τις μεγάλες πιέσεις που αναπτύσσονται οι οποίες σε περιοχές αγγίζουν την τιμή των 10 ατμοσφαιρών. Οι μεγάλες πιέσεις έχουν σοβαρά αρνητικά αποτελέσματα στον εξοπλισμό του δικτύου. Φθείρει ταχύτερα αγωγούς, βάνες, βαλβίδες, αντλιοστάσια και τα υποβαθμίζει, οδηγώντας τα στην αστοχία. Αποτέλεσμα αυτού είναι συχνές και πυκνές θραύσεις που είτε γίνονται επιφανειακά αντιληπτές είτε όχι, διακοπές στην υδροδότηση περιοχών του δικτύου λόγω αστοχίας αυτού ή λήψη μέτρων αποκατάστασής του, ακόμη και φρεάτια αποχέτευσης γεμάτα νερό το οποίο τα καθιστά άχρηστα σε περίπτωση ανάγκης. (έντονης βροχόπτωσης-πλημμύρας)

Μεγάλο πρόβλημα επίσης είναι η υψηλή τιμή του μη τιμολογούμενου νερού (στο δίκτυο της Κοζάνης το μη τιμολογούμενο νερό αγνίζει το 60% του εισερχόμενου νερού από τις δεξαμενές). Του νερού που εισέρχεται στο δίκτυο αλλά δεν καταναλώνεται από τους καταναλωτές, παρά χάνεται. Δεχόμαστε πως οι κλοπές, λάθη μετρήσεων των μετρητών και βλάβες μετρητών δεν αποτελούν μεγάλο μέρος του μη ανταποδοτικού νερού. Επίσης τα παραπάνω δεν αποτελούν μέρος της παρούσας διπλωματικής έρευνας αφού δεν εξαρτώνται κατά μεγάλο ποσοστό από την πίεση αλλά και ο περιορισμός αυτών είναι άλλο αντικείμενο.

Τέλος πρόβλημα αποτελεί και το γεγονός πως όλο και περισσότερο νερό απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών του παρόντος δικτύου. Δεχόμαστε πως αυξάνεται η ζήτηση λόγω αύξησης του πληθυσμού και της δραστηριοποίησης του, αλλά ρόλο σημαντικό παίζει και η υποβαθμισμένη κατάσταση του εξοπλισμού που τον καθιστά ανεπαρκή. Η παραπάνω ανάγκη αναγκάζει την αρμόδια εταιρία ύδρευσης να εξαντλεί τις τοπικές προσφορές πόσιμου νερού υποβαθμίζοντας τον υδροφόρο ορίζοντα. Ακόμη και να αναζητά νερό επεκτείνοντας το δίκτυο

Διπλωματική Εργασία: «Μείωση των απωλειών νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης με διαμόρφωση Στεγανών Υποζωνών (District Metered Areas-DMAs) για την αποτελεσματικότερη διαχείρισης της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης»

τροφοδότησης με μεγάλους δαπανηρούς αγωγούς και περισσότερες δεξαμενές, νερό από άλλες περιοχές όπου ακόμα πλεονάζει.

2.3 Επίλυση των προβλημάτων με την παρούσα μελέτη

Βασικό μέτρο επίλυσης των προβλημάτων του δικτύου ύδρευσης της πόλης της Κοζάνης είναι η ρύθμιση της πίεσης. Η πίεση είναι αυτή που ρυθμίζει την επάρκεια και τη λειτουργία ενός δικτύου αλλά και αυτή που προκαλεί όλα τα παραπάνω προβλήματα αν ξεπερνά τα επιτρεπόμενα όρια λειτουργίας των μελών ενός δικτύου.

Βρίσκοντας λοιπόν έναν αποτελεσματικό και συμφέρον τρόπο να ελεγχθεί η πίεση του νερού μέσα στο δίκτυο της Κοζάνης θα περιορισθούν τα προβλήματα που ήδη υπάρχουν αλλά και θα αποφευχθούν άλλα μελλοντικά προβλήματα μεγαλύτερης βαρύτητας για τις επόμενες γενεές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΕ DMAs

3.1 Ορισμός DMA

Η ιδέα και η εφαρμογή των District Metered Areas (DMAs) έχουν εισαχθεί από τις αρχές της δεκαετίας του '80 από τις βρετανικές εταιρίες ύδρευσης και σαν τεχνική έχει αναπτυχθεί κυρίως σε χώρες της Ευρώπης και μεταγενέστερα σε χώρες της Λατινικής Αμερικής. Ως DMA ορίζεται μία πλήρως καθορισμένη και υδραυλικά απομονωμένη περιοχή ενός συστήματος διανομής νερού στην οποία οι ποσότητες που εισέρχονται και εξέρχονται από αυτή μετρώνται. Ο διαχωρισμός αυτών των περιοχών συνήθως γίνεται με βάνες αποκλεισμού. Ιδανικά, κάθε DMA έχει μόνο έναν κόμβο εισαγωγής με το απαραίτητο παροχόμετρο και περιλαμβάνει πεντακόσια με τρεις χιλιάδες υδρόμετρα.

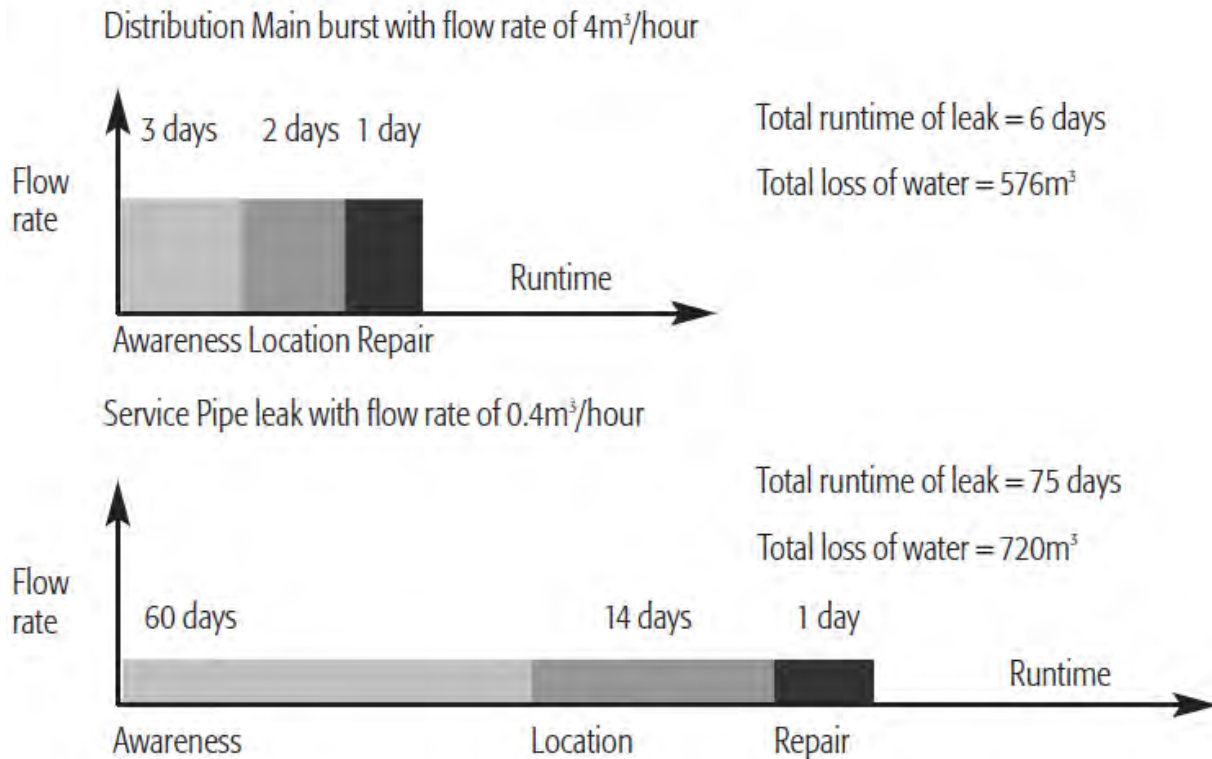
Η ανάλυση των παροχών, έπειτα από την καταγραφή τους στις DMA, οδηγεί σε συμπεράσματα για το επίπεδο των διαρροών κάθε DMA και ακολούθως για την ανάγκη ή μη λήψης μέτρων για την μείωσή τους. Επιπλέον, με αυτή τη μέθοδο επιτρέπεται η σύγκριση των επιπέδων διαρροής μεταξύ των περιοχών αυτών σε ένα δίκτυο και η εκτίμηση κατά πόσο και που είναι πιο αποδοτική η ανάληψη δραστηριοτήτων διαχείρισης των απωλειών.

23

3.2 Ο ρόλος των DMA στη διαχείριση των απωλειών

Σκοπός της ύπαρξης των DMA είναι ο διαχωρισμός του δικτύου σε μικρότερες και διαχειρίσιμες περιοχές στις οποίες οι παροχές μπορούν να μετρηθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια έτσι ώστε να διαπιστωθεί εάν υπάρχουν διαρροές στο σύστημα. Επιπλέον, καταγράφοντας και αναλύοντας τα δεδομένα των παροχών σε κάθε περιοχή μειώνεται ο χρόνος εντοπισμού οδηγώντας σε ελάττωση των απωλειών ύδατος. Αυτό απορρέει από το γεγονός ότι ο συνολικός όγκος απωλειών νερού που οφείλεται από διαρροές ή θραύσεις προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του ρυθμού της διαρροής επί το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τη δημιουργία μέχρι τον εντοπισμό της διαρροής. Οπότε, όσο πιο μεγάλη είναι η συχνότητα ανάλυσης των δεδομένων τόσο πιο μικρός θα είναι ο όγκος του νερού που χάνεται.

Πολλές εταιρίες ύδρευσης επαφίουν την στρατηγική μείωσης απωλειών στην επιδιόρθωση των διαρροών 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. Στο Γράφημα 3.1, που αποτελεί προϊόν εργασίας του IWA Task Force, καταδεικνύεται ότι μία μικρή αλλά μεγάλης διάρκειας διαρροή οδηγεί σε μεγαλύτερες απώλειες στο σύστημα.



Γράφημα 3.1: Επίδραση της χρονικής διάρκειας της διαρροής στον συνολικό όγκο απωλειών (IWA Task Force)

3.3 Προβλήματα-Περιορισμοί από την εφαρμογή των DMA και αντιμετώπιση

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 στην ποιότητα του διοχετευόμενου νερού στους πελάτες. Η υλοποίηση των DMAs προϋποθέτουν την ύπαρξη ενεργών βαλβίδων αποκλεισμού στα όρια μεταξύ τους και 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.

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.
- Στην περίπτωση όπου αναφερθούν προβλήματα ποιότητας του νερού, να πραγματοποιείται άνοιγμα των συντοριακών 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
- Σε πρακτικό επίπεδο, η τακτική συντήρηση και εξασφάλιση της ακεραιότητας των ορίων των DMAs

3.4 Υλοποίηση των District Metered Areas στο δίκτυο της Κοζάνης

Ο διαχωρισμός του δικτύου σε περιοχές είναι μία μεθοδολογία η οποία μπορεί να εφαρμόζεται σε κάθε δίκτυο. Το δίκτυο της ΔΕΥΑΚ έχει διαιρεθεί σε τομείς ή DMAs, με τον ελάχιστο αριθμό μετρητών, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης των ροών σε κάθε περιοχή ξεχωριστά. Η πιο σημαντική πτυχή στην σχεδίαση των DMAs είναι η διασφάλιση του επιθυμητού επιπέδου ποιότητας και ποσότητας παροχής νερού στους καταναλωτές. Οι βασικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι:

- Το μέγεθος της περιοχής και ο αριθμός συνδέσεων των πελατών.
- Το ανάγλυφο του εδάφους.
- Ο τύπος στέγασης (πολυώροφα ή χαμηλά κτίρια).
- Οι ιδιαίτερες κατά τόπου απαιτήσεις πίεσης.
- Ικανότητα πυρόσβεσης.

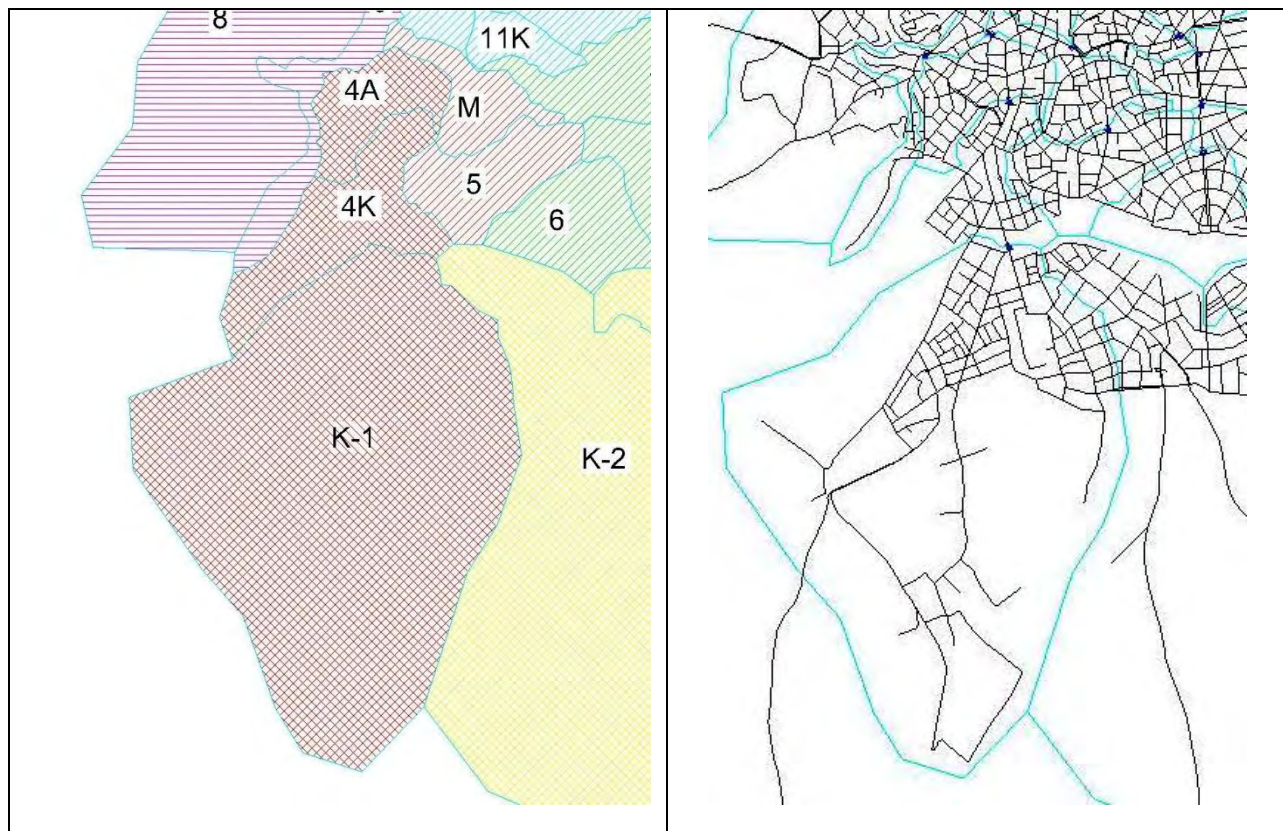
- Ποσοτικός στόχος στρατηγικής μείωσης των διαρροών.
- Υφιστάμενες υποδομές (βαλβίδες απομόνωσης).
- Ιδανικά η περιοχή θα πρέπει να τροφοδοτείται από μια παροχή.
- Η περιοχή θα πρέπει να απομονώνεται υδραυλικά από το υπόλοιπο δίκτυο.

Το μέσο μέγεθος μιας DMA είναι γενικά μεταξύ 1000 και 3000 συνδέσεων (PROWAT, Planning and Implementing a Non-Revenue Water Reduction Strategy Improves the Performance of Water Supply and Distribution Systems, 2008). 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 οποιεσδήποτε μεγάλες καταναλώσεις (νοσοκομεία κλπ), φυσικά όρια (ποταμοί, σιδηροδρομικές γραμμές, δρόμοι κλπ) και περιγράμματα επιπέδου εδάφους. Θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη η υδραυλική αποδοτικότητα του προτεινόμενου DMA, έτσι ώστε το κλείσιμο των βαλβίδων ορίων (οι βαλβίδες που εγκαθίστανται ή υπάρχουν ήδη στα όρια των DMAs και διασφαλίζουν την υδραυλική απομόνωση της περιοχής) να μην προκαλεί προβλήματα στα κρίσιμα σημεία που είναι οι θέσεις της χαμηλότερης πίεσης.

Λαμβάνοντας υπόψη τους μεγάλους αγωγούς διανομής, τα υψόμετρα της πόλης και τυχόν άλλα εμπόδια που διαμορφώνουν υποπεριοχές όπως η ύπαρξη των γραμμών του τραίνου, χάραχθηκαν από την αρχή υποψήφια όρια υποζωνών. Στη συνέχεια γινόταν προσομοίωση της υδραυλικής λειτουργίας του δικτύου και παρατηρούνταν οι αναπτυσσόμενες πιέσεις των κόμβων. Εφαρμόστηκαν επίσης συσκευές μείωσης της πίεσης (Pressure Reducing Valves-PRVs) στις βέλτιστες θέσεις των υποζωνών έτσι ώστε κατά την εφαρμογή τους να παρουσιάζονται οι μικρότερες αναπτυσσόμενες πιέσεις, κάτι που οδηγεί σε μικρότερες ποσότητες μη τιμολογούμενου νερού. Στη συνέχεια έγινε σύγκριση στις αναπτυσσόμενες μέσες, ελάχιστες και μέγιστες πιέσεις που αναπτύσσονται στους κόμβους της κάθε DMA πριν την υλοποίηση τους και μετά. Το ίδιο συνέβη και με την κατανάλωση του νερού αφού μικρότερες πιέσεις ισοδυναμούν με λιγότερο εισερχόμενο νερό στις DMAs. Στο παράρτημα ακολουθούν πίνακες για κάθε DMA με σύγκριση των παραπάνω μεγεθών, όπως και απεικονίσεις του δικτύου. Τέλος παρατίθεται και η υδραυλική επίλυση του δικτύου όπως είναι σήμερα και με τις υποζώνες δημιουργημένες.

3.4.1 ΠΡΩΤΗ ΟΜΑΔΑ ΥΠΟΖΩΝΩΝ (Μ, 5, 4Α, 4Κ, Κ-1)

Η μεγάλη αυτή πρώτη ζώνη αποτελείται από 5 υποζώνες, αλλά έχει ενιαία λειτουργία σε αρκετά μεγάλο βαθμό σε ότι αφορά την επιρροή των πιέσεων. Η είσοδος του νερού στην ζώνη γίνεται από τον Α/Σ 350 που φέρνει νερό απευθείας από την δεξαμενή 9000. Η πρώτη υποζώνη είναι η Μ και αφού ο κύριος τροφοδοτικός αγωγός που την διατρέχει διασπάται σε 2 Α/Σ 250, ο ένας εξέρχεται από την Μ και εισέρχεται στην 4Α και ο δεύτερος εισέρχεται στην υποζώνη 5. Η υποζώνη 5 κατόπιν είναι τερματική ως προς την ροή του νερού, ενώ από την 4Α εξέρχεται πλέον αγωγός Α/Σ 200, ο οποίος αφού διανείμει νερό σε όλη την υποζώνη, εισέρχεται στην υποζώνη Κ1. Στην εικόνα 3 εμφανίζεται η πρώτη ομάδα στεγανών υποζωνών.

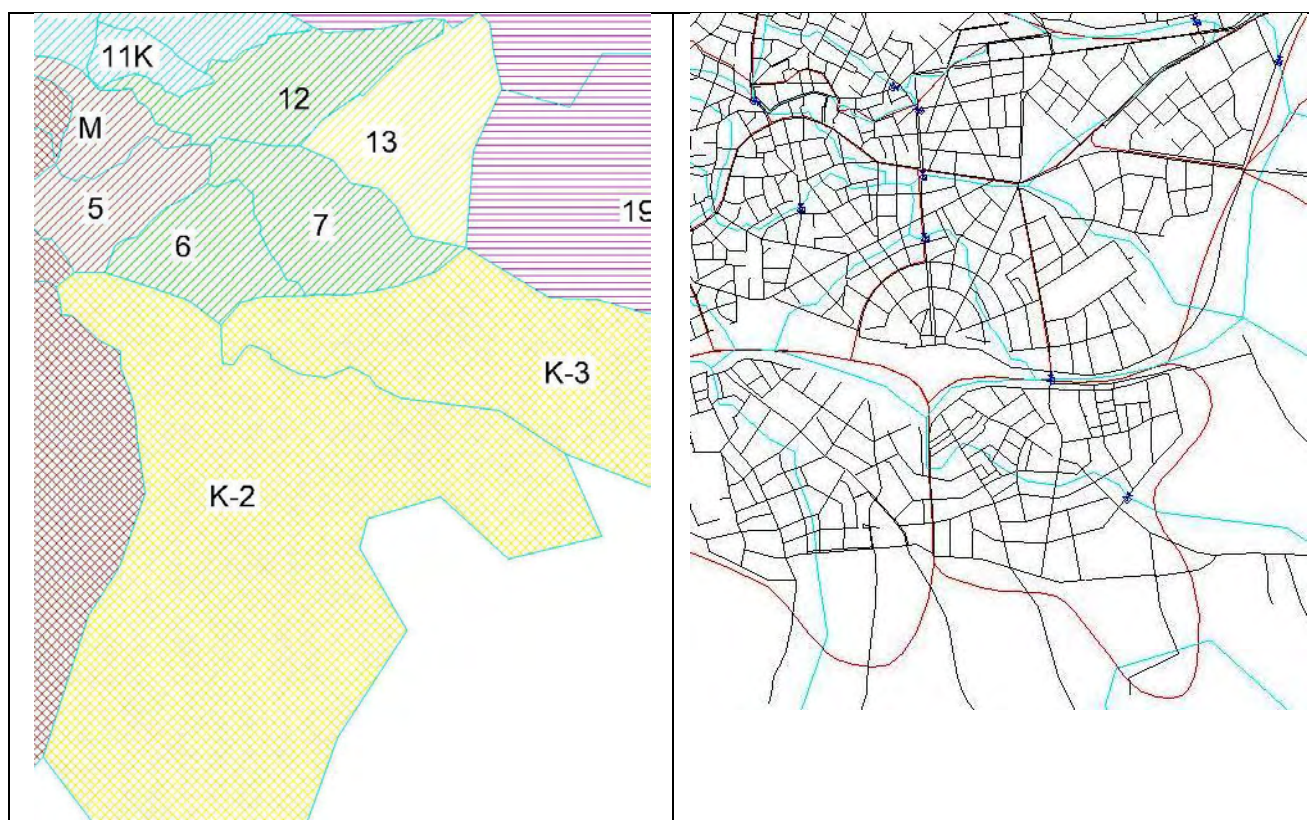


Εικόνα 3α: Η πρώτη ομάδα στεγανών υποζωνών με κόκκινο χρώμα αριστερά

Εικόνα 3β: Η πρώτη ομάδα στεγανών υποζωνών με υπόβαθρο τους αγωγούς δεξιά.

3.4.2 ΔΕΥΤΕΡΗ ΟΜΑΔΑ ΥΠΟΖΩΝΩΝ (Κ2, Κ3, 13)

Η δεύτερη ζώνη αποτελείται από 3 υποζώνες, αλλά έχει επίσης ενιαία λειτουργία σε αρκετά μεγάλο βαθμό σε ότι αφορά την επιρροή των πιέσεων, δηλαδή μια αλλαγή της πίεσης εισόδου στην αρχική υποζώνη επηρεάζει σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό τις άλλες δύο. Ο βαθμός επιρροής θα υπολογιστεί στο παραδοτέο Π5 της παρούσας σύμβασης. Η είσοδος του νερού στην ζώνη γίνεται από τον PVC 160 που φέρνει νερό από την δεξαμενή 9000 μέσω ενός PVC 280. Η πρώτη υποζώνη είναι η 13 και αφού ο κύριος τροφοδοτικός αγωγός που την διατρέχει, περνάει μέσα από την DMA 7 χωρίς όμως να την τροφοδοτήσει, και εισέρχεται στην Κ-3 με έναν A/C 80 (ο οποίος πρέπει να αλλαχθεί και να αυξηθεί η διατομή του) ο οποίος στην συνέχεια αυξάνεται σε PVC 200. Στην συνέχεια και αφού τροφοδοτήσει την Κ-3 εισέρχεται ως PVC 200 στην Κ-2, η οποία DMA είναι τερματική ως προς την ροή του νερού. Στην εικόνα 4 εμφανίζεται η δεύτερη ομάδα στεγανών υποζωνών.



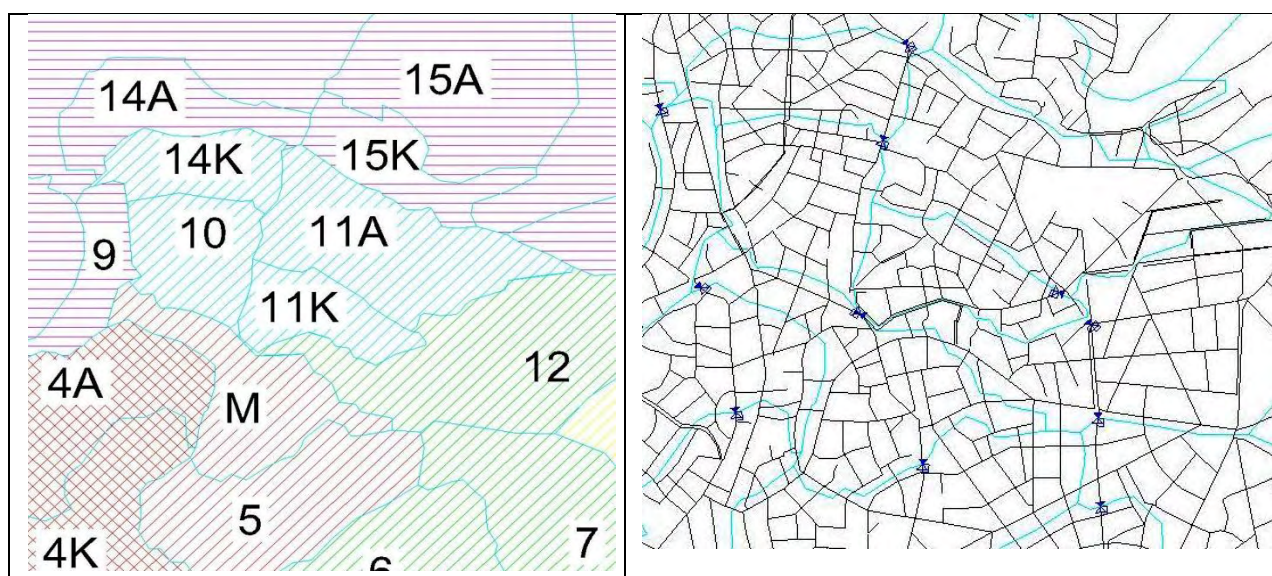
28

Εικόνα 4α: Η δεύτερη ομάδα στεγανών υποζωνών με κίτρινο χρώμα αριστερά.

Εικόνα 4β: Η δεύτερη ομάδα στεγανών υποζωνών με υπόβαθρο τους αγωγούς δεξιά.

3.4.3 ΤΡΙΤΗ ΟΜΑΔΑ ΥΠΟΖΩΝΩΝ (14K, 11A, 11K, 10)

Η τρίτη ζώνη αποτελείται από 4 υποζώνες, αλλά έχει επίσης ενιαία λειτουργία σε αρκετά μεγάλο βαθμό σε ότι αφορά την επιρροή των πιέσεων, δηλαδή μια αλλαγή της πίεσης εισόδου στην αρχική υποζώνη επηρεάζει σε μεγαλύτερο η μικρότερο βαθμό τις άλλες δύο. Ο βαθμός επιρροής θα υπολογιστεί στο παραδοτέο Π5 της παρούσας σύμβασης. Η είσοδος του νερού στην ζώνη γίνεται από τον PVC 160 που φέρνει νερό από την δεξαμενή Αγ. Παρασκευής. Η πρώτες δύο υποζώνες είναι οι 14K και 11A με τους κύριους τροφοδοτικούς αγωγούς που τις διατρέχουν να είναι A/C 150 και PVC 140. Στην DMA 10 εισέρχεται ο ίδιος A/C 150, ενώ στην 11K εισέρχεται αγωγός PVC αλλά διατομής 200. Και οι δύο DMAs είναι τερματικές ως προς την ροή του νερού. Στην εικόνα 5 εμφανίζεται η τρίτη ομάδα στεγανών υποζωνών.

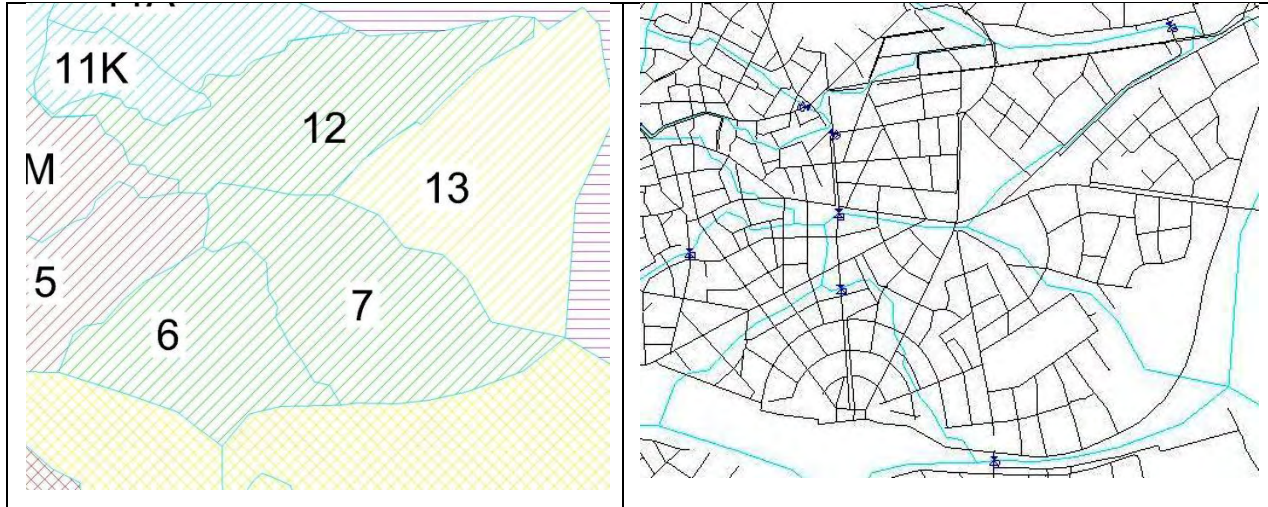


Εικόνα 5α: Η τρίτη ομάδα στεγανών υποζωνών με θαλασσί χρώμα αριστερά

Εικόνα 5β: Η τρίτη ομάδα στεγανών υποζωνών με υπόβαθρο τους αγωγούς δεξιά.

3.4.4 ΤΕΤΑΡΤΗ ΟΜΑΔΑ ΥΠΟΖΩΝΩΝ (12, 7, 6)

Η τέταρτη ζώνη αποτελείται από 3 υποζώνες, αλλά έχει επίσης ενιαία λειτουργία σε αρκετά μεγάλο βαθμό σε ότι αφορά την επιρροή των πιέσεων, δηλαδή μια αλλαγή της πίεσης εισόδου στην αρχική υποζώνη επηρεάζει σε μεγαλύτερο η μικρότερο βαθμό τις άλλες δύο. Ο βαθμός επιρροής θα υπολογιστεί στο παραδοτέο Π5 της παρούσας σύμβασης. Η είσοδος του νερού στην ζώνη γίνεται στην DMA 12 από τον A/C 200 που παραλαμβάνει νερό από την δεξαμενή 9000 μέσω του κύριου τροφοδοτικού A/C 350. Στη συνέχεια και αφού ο αγωγός διανείμει νερό στην DMA, εισέρχεται με τη ίδια διατομή στην DMA 7 και κατόπιν στην DMA 6. Στην εικόνα 6 εμφανίζεται η τέταρτη ομάδα στεγανών υποζωνών.



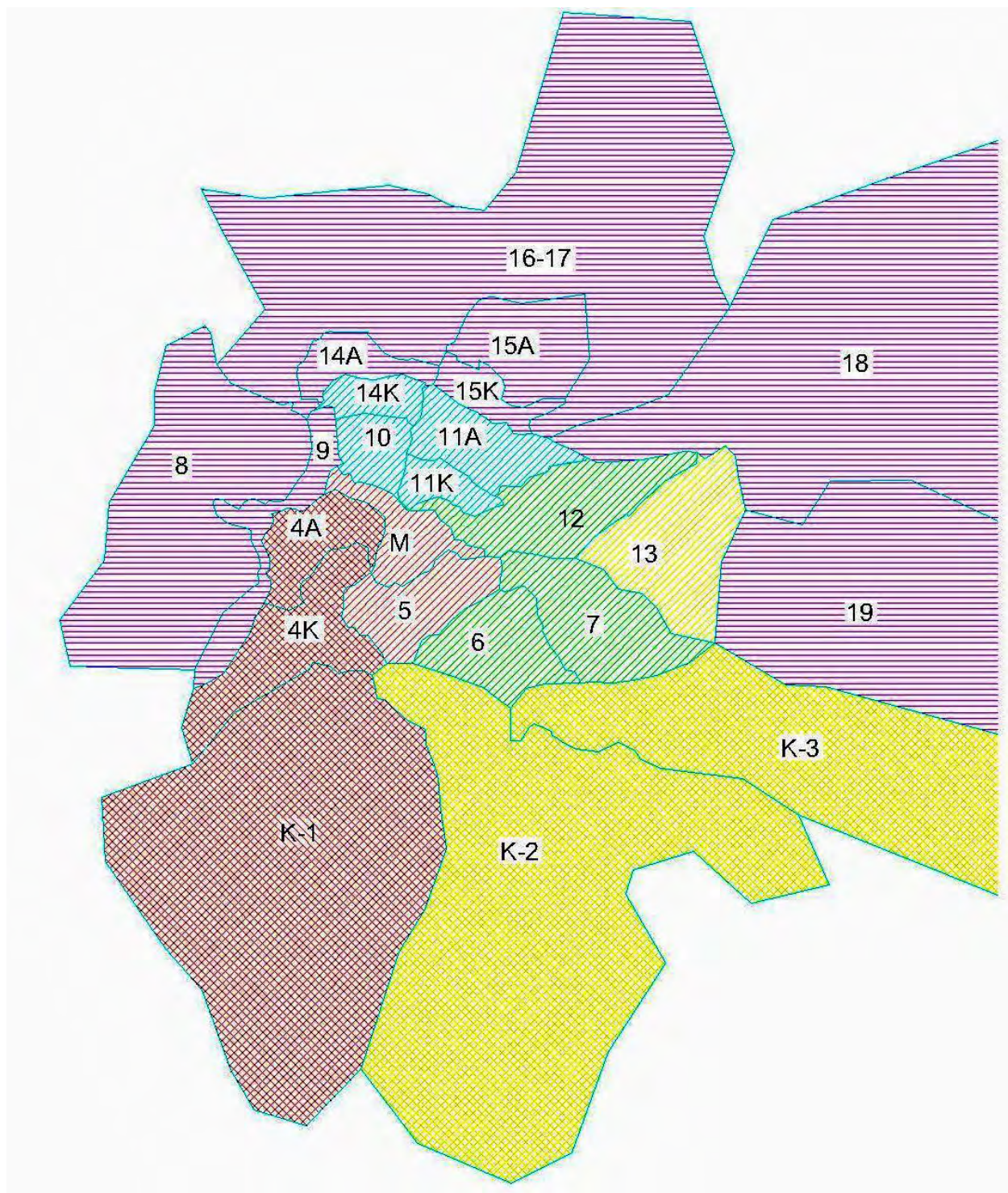
Εικόνα 6α: Η τέταρτη ομάδα στεγανών υποζωνών με πράσινο χρώμα αριστερά

Εικόνα 6β: Η τέταρτη ομάδα στεγανών υποζωνών με υπόβαθρο τους αγωγούς δεξιά.

3.4.5 ΟΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΥΠΟΖΩΝΕΣ (8, 9, 14Α, 17-16, 15Α, 15Κ, 16, 18, 19)

Οι υπόλοιπες στεγανές υποζώνες δεν συνιστούν κάποια μεγαλύτερη ομάδα. Αυτό συμβαίνει γιατί βρίσκονται στα άκρα του δικτύου, χωρίς μεγάλες συνολικές καταναλώσεις άρα με μικρό αποτύπωμα στο όλο δίκτυο.

Ακολουθεί η πανοραμική άποψη των στεγανών υποζωνών του δικτύου ης ΔΕΥΑΚ όπως ορίστηκε και χρησιμοποιήθηκε για την έρευνα της παρούσας μελέτης.



Εικόνα 7: Πανοραμική άποψη των στεγανών υποζωνών του δικτύου ης ΔΕΥΑΚ

Πρέπει να σημειωθεί ότι τελικά ο διαχωρισμός του δικτύου έγινε σε 24 (DMAs) υδραυλικά απομονωμένες περιοχές. Όμως λόγω τεχνικών δυσκολιών και περιορισμών το δίκτυο περιορίστηκε ώστε να είναι απόλυτα αντιπροσωπευτικό του αρχικού. Παρακάτω θα γίνει αναφορά στο γεγονός εκτενής, αφού η διαδικασία παραγωγής ενός δικτύου ομοίου με το πραγματικό αλλά περιορισμένο κατά 20% σε πλήθος αγωγών αποτέλεσε σημαντική εργασία χρονικά αλλά και ερευνητικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΣΕ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΙΕΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΣΕ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΟΓΚΟ ΝΕΡΟΥ

4.1 Διαχωρισμός σε Pressure Dependent Demand και Volume Dependent Demand

Η βασική παραδοχή που γίνεται στην ανάλυση μοντέλων μεταφοράς και διανομής νερού είναι η αρχή διατήρησης της μάζας στους κόμβους του συστήματος, όπου ως κόμβος ορίζεται μία θέση του δικτύου όπου απαιτείται παροχή με τη μορφή της ζήτησης. Η παροχή αυτή συνήθως θεωρείται γνωστή και σταθερή ανεξαρτήτως των διαφορών στην πίεση, κάτι που ισχύει μόνο στην περίπτωση κατά την οποία οι πιέσεις σε όλους τους κόμβους είναι αρκετά υψηλές ώστε η ζήτηση να είναι ανεξάρτητη της πίεσης. Για την πλειοψηφία, όμως, των δικτύων είναι ρεαλιστικό να γίνεται διαχωρισμός της κατανάλωσης σε *Pressure Dependent Demand* και *Volume Dependent Demand*.

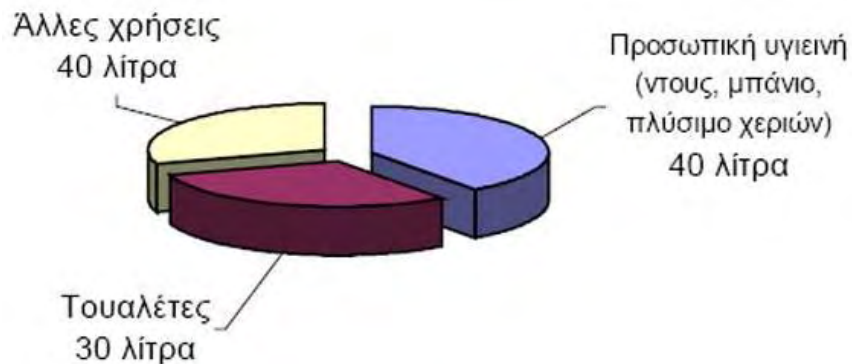
33

Όπως αναφέρθηκε, ο διαχωρισμός της ζήτησης είναι χρήσιμος για την πιο ακριβή προσομοίωση και την εξαγωγή αποτελεσμάτων που συνάδουν πιο πολύ με την πραγματικότητα. Παρακάτω ακολουθεί η ανάλυση των δύο κατηγοριών που μπορεί να διαχωριστεί η ζήτηση και η μέθοδος εύρεσης των ποσοστών που αντιστοιχούν για την κάθε μία. Πιο συγκεκριμένα:

Ως *Volume Dependent Demand (VDD)* θεωρούνται οι καταναλώσεις οι οποίες εξαρτώνται από τον απαιτούμενο όγκο νερού και είναι ανεξάρτητες της πίεσης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα καταναλώσεων εξαρτώμενων από τον όγκο είναι τα πλυντήρια πιάτων και ρούχων και οι τουαλέτες.

Ως *Pressure Dependent Demand (PDD)* θεωρούνται οι καταναλώσεις οι οποίες εξαρτώνται από την πίεση, δηλαδή σε μία ενδεχόμενη μείωση της πίεσης θα επέλθει και μείωση της κατανάλωσης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων καταναλώσεων είναι η χρήση ντουζιέρας και οι διαρροές που οφείλονται σε θραύσεις.

Η εύρεση του ποσοστού που αντιστοιχεί σε κάθε κατηγορία από τις αναφερόμενες σε ότι αφορά την εξουσιοδοτημένη κατανάλωση προήλθε έπειτα από μελέτη υπάρχουσών ερευνών για την κατανομή της ημερήσιας κατανάλωσης νερού.

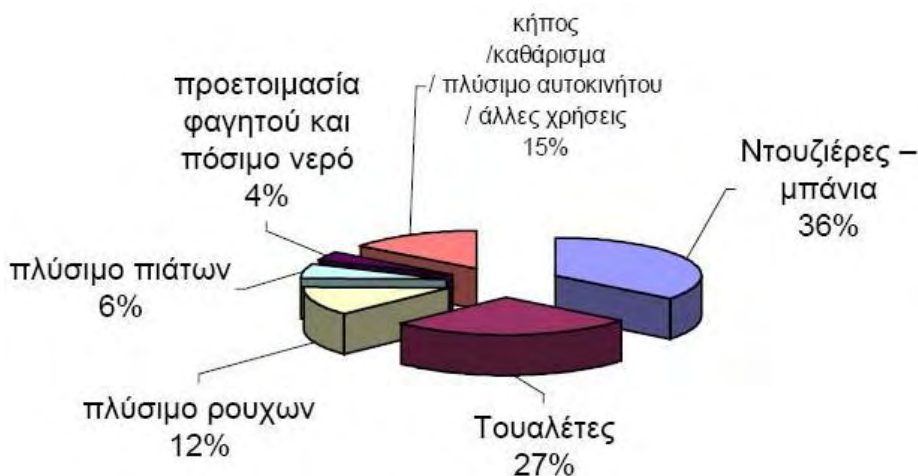


Γράφημα 4. 1: Η κατανομή της χρήσης νερού στην Ελλάδα. (Γαϊόραμα-Experiment Νερό: Πηγή ζωής, 1998)

Στο γράφημα 4.1 γίνεται μία πρώτη προσέγγιση της κατανομής, όπου διακρίνονται οι βασικές χρήσεις του νερού, ενώ, επιπλέον, προέρχεται από έρευνα που αφορά αποκλειστικά την Ελλάδα και την καθιστά πιο αξιόπιστη σε πρακτικό επίπεδο. Όπως παρατηρείται στο γράφημα 4.1., η ημερήσια κατανάλωση έχει χωριστεί σε τριών ειδών χρήσεις: προσωπική υγιεινή (ντους, μπάνιο, πλύσιμο χεριών), τουαλέτες και άλλες χρήσεις με ποσοστά επί της συνολικής κατανάλωσης 36, 27 και 37% αντίστοιχα.

34

Στη συνέχεια, στο Γράφημα 4.2., παρατίθενται τα αποτελέσματα παρόμοιας έρευνας με σκοπό την πλήρη διευκρίνηση των χρήσεων



Γράφημα 4.2: Η κατανομή της χρήσης του νερού (German National Association of the Gas and Water Industry,2000)

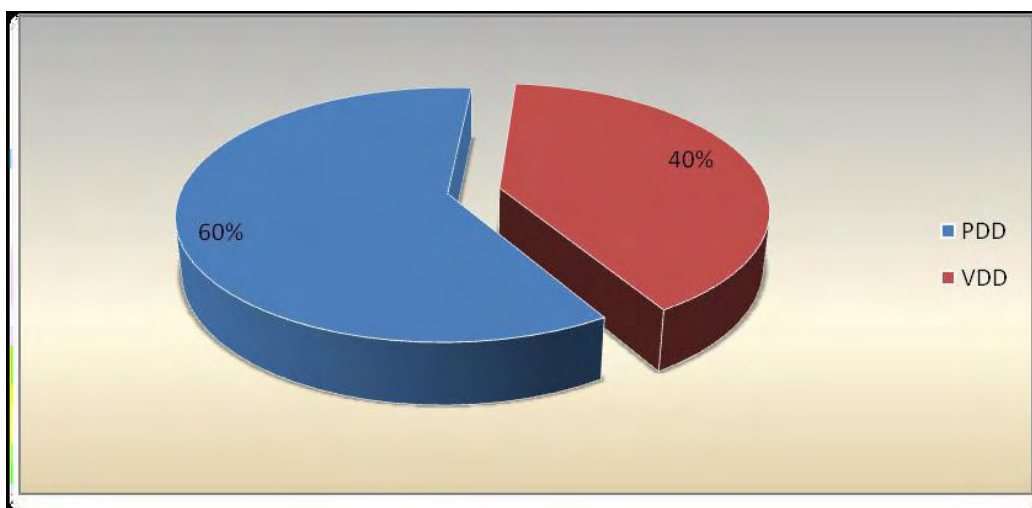
Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο παραπάνω διάγραμμα (Γράφημα 4.2) έδωσαν την τελική μορφή στα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν όπως φαίνονται στον πίνακα 4.1:

Πίνακας 4.1: Κατηγοριοποίηση της χρήσης νερού σε PDD και VDD

| ΧΡΗΣΗ ΝΕΡΟΥ | ΠΟΣΟΣΤΟ (%) | ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ |
|--|-------------|-----------|
| Προσωπική υγιεινή (ντουζιέρες- μπάνιο) | 36 | PDD |
| Τουαλέτες | 27 | VDD |
| Πλύσιμο ρούχων/πιάτων | 18 | PDD-VDD |
| Πόσιμο νερό | 4 | VDD |
| Καθάρισμα/πλύσιμο αυτοκινήτου/κήπος /άλλες χρήσεις | 15 | PDD |

Κατά συνέπεια, προέκυψαν τα ποσοστά της εξουσιοδοτημένης κατανάλωσης που είναι Pressure Dependent Demand και Volume Dependent Demand όπως αποτυπώνονται στο Γράφημα 4.3:

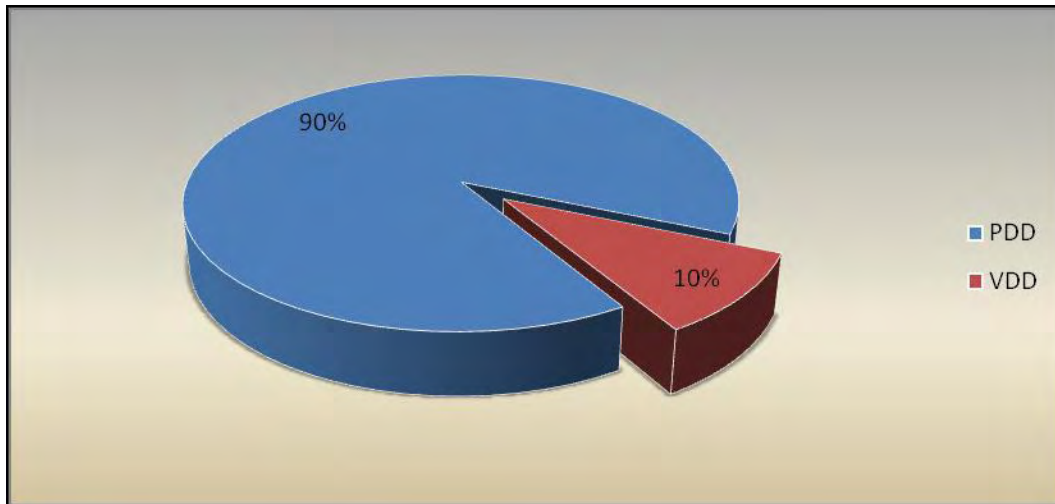
35



Γράφημα 4.3: Διαχωρισμός εξουσιοδοτημένης κατανάλωσης σε PDD και VDD

Σε ότι αφορά τη διερεύνηση του μη τιμολογημένου νερού, μελετώντας τα συστατικά που το αποτελούν (Πίνακας 1.1) έγινε η παραδοχή ότι το μεγαλύτερο ποσοστό κατατάσσεται στην

κατηγορία των καταναλώσεων που εξαρτώνται πλήρως από την πίεση (PDD). Έτσι προκύπτει το γράφημα 4.4:



Γράφημα 4.4: Διαχωρισμός μη τιμολογημένου νερού σε PDD και VDD

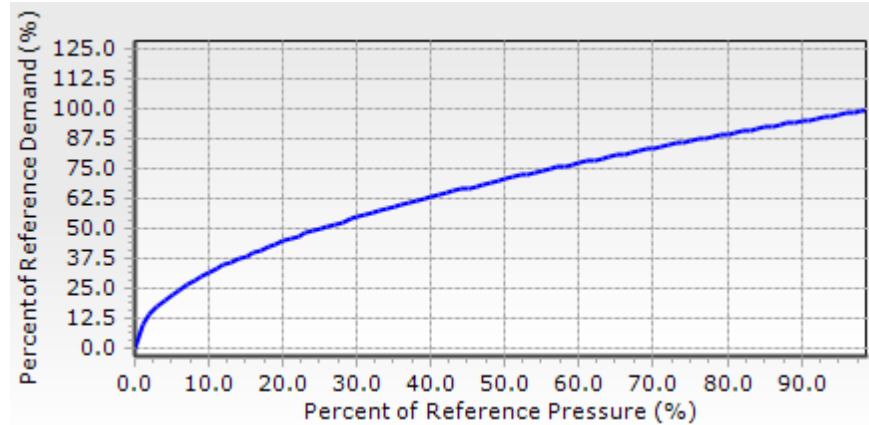
Τελικά, το ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης που εξαρτάται από την πίεση επιλέχθηκε προσεγγιστικά ως 70% και προέκυψε λαμβάνοντας υπόψη ότι το 30% του εισερχόμενου νερού στο δίκτυο αποτελεί τις απώλειες ($0.7 \times 60\% + 0.3 \times 90\% \approx 70\%$).

36

4.2 Προσομοίωση των Pressure Dependent Demand

Για την προσομοίωση των PDD στο Watercad V8i ήταν αναγκαίος ο προσδιορισμός της συνάρτησης που εκφράζει την σχέση μεταξύ της πίεσης στον κόμβο και της ζήτησης. Ο λόγος της πραγματικής παρεχόμενης ζήτησης προς τη ζήτηση αναφοράς (reference demand), δηλαδή το ποσοστό της καθορισμένης ζήτησης στους κόμβους που έχει θεωρηθεί εξαρτώμενη από την πίεση, ορίζεται ως μια εκθετική συνάρτηση του λόγου της πραγματικής πίεσης με την πίεση αναφοράς (reference pressure).

Σαν εκθέτης της συνάρτησης λήφθηκε ο προτεινόμενος από το πρόγραμμα, 0.5, καθώς θεωρείται ως μία τιμή που αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό των περιπτώσεων. Γενικά, χρησιμοποιώντας στο Watercad μία εκθετική συνάρτηση για να περιγράψει τη σχέση ζήτησης-πίεσης ισοδυναμεί με την υπόθεση ύπαρξης ενός ανοίγματος ή στομίου σε κάθε κόμβο. Έτσι προκύπτει και η τιμή του εκθέτη, καθώς η συνάρτηση του στομίου (*orifice equation*) ορίζεται ως $Q=K \cdot P^{0.5}$, όπου Q είναι η παροχή στο άνοιγμα, P η πίεση ανάντη του ανοίγματος και K ένας συντελεστής που εκφράζει κάποιο μέγεθος της εξίσωσης. Τελικά, η μορφή της συνάρτησης αποτυπώνεται στο γράφημα 4.5.



Γράφημα 4.5: Εκθετική συνάρτηση ζήτησης - πίεσης (από Watercad)

Επιπρόσθετα, είναι απαραίτητο να τονιστεί ότι στο Watercad δεν είναι εφικτή η χρήση δύο PDD συναρτήσεων με ξεχωριστά ποσοστά καταναλώσεων για ταυτόχρονη εφαρμογή στο ίδιο δίκτυο. Έτσι, προέκυψε η ανάγκη για την εξαγωγή ενός συνολικού ποσοστού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΚΕΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΕ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΔΙΚΤΥΟ 2000 ΑΓΩΓΩΝ

5.1 Αίτια της σκελετοποίησης του δικτύου σε μικρότερο

Όλη η εργασία έχει βασίσει την ερευνητική της δραστηριότητα για παραγωγή αποτελεσμάτων στη λειτουργία του λογισμικού Watercad V8i. Εκεί έχουν προστεθεί τα όσα γνωστά δεδομένα, χάρτες και καταναλώσεις ώστε έπειτα με τις απαραίτητες ρυθμίσεις και προσαρμογές, να παραληφθούν πληροφορίες για τις όποιες παρεμβάσεις (προσθήκες συσκευών, κλείσιμο βαλβίδων) δοκιμασθούν.

Έχουμε επίσης αναφέρει πως η ψηφιοποιημένη μορφή του δικτύου αλλά και η ανάλυση των καταναλώσεων και των μετρήσεων των πηγών (εισερχόμενο – εξερχόμενο νερό) είναι μέρος της διδακτορικής διατριβής του υποψηφίου διδάκτορα Κ. Γκονέλα, άρα και προϋπήρχαν (Δίκτυο με 2541 αγωγούς). Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι το λογισμικό Watercad αποτελεί επαγγελματικό εξοπλισμό ο οποίος δεν παραχωρείται δωρεάν εκτός από ιδιαίτερες πολύ περιπτώσεις, καταλαβαίνουμε ότι χρειάζεται άδεια για την όποια χρήση του προγράμματος, ακόμα και εντός των πανεπιστημιακών εργαστηρίων. Η έκδοση του λογισμικού που υπάρχει διαθέσιμη για τον όποιο φοιτητή είναι η εκπαιδευτική και έχει σαν περιορισμό και διαφορά με την επαγγελματική το όριο επεξεργασίας των 2000 αγωγών. **Άρα για την συνέχεια της εργασίας απαραίτητο ήταν να δημιουργηθεί με βάση το πραγματικό, ένα νέο μικρότερο δίκτυο (όχι σε εμβαδό, κατανάλωση, όγκο νερού) με πλήθος 2000 αγωγών.**

38

Γενικά σαν τακτική η παραπάνω διαδικασία, μπορεί να ωφελήσει πολύ τα μεγάλα δίκτυα τα οποία δεν έχουν σκοπό να αποδώσουν σημειακά (μικροσκοπικά) αποτελέσματα. Σε δίκτυα όμως που σχεδιάζονται και δοκιμάζονται με σκοπό τη λήψη δεδομένων για συγκεκριμένους κόμβους ή αγωγούς ακόμα και η διαγραφή ενός μη γειτονικού αγωγού μπορεί να αλλοιώσει τα όποια επιθυμητά αποτελέσματα. Στη δική μας περίπτωση σκοπός της εργασίας είναι να εφαρμόσει μεθόδους και συστήματα για περιορισμό του μη ανταποδοτικού νερού και των απωλειών όλου του δικτύου και δεν κρίνεται επικίνδυνη η αφαίρεση ενός αγωγού, υπό αυστηρές όμως προϋποθέσεις.

5.2 Η μέθοδος της σκελετοποίησης

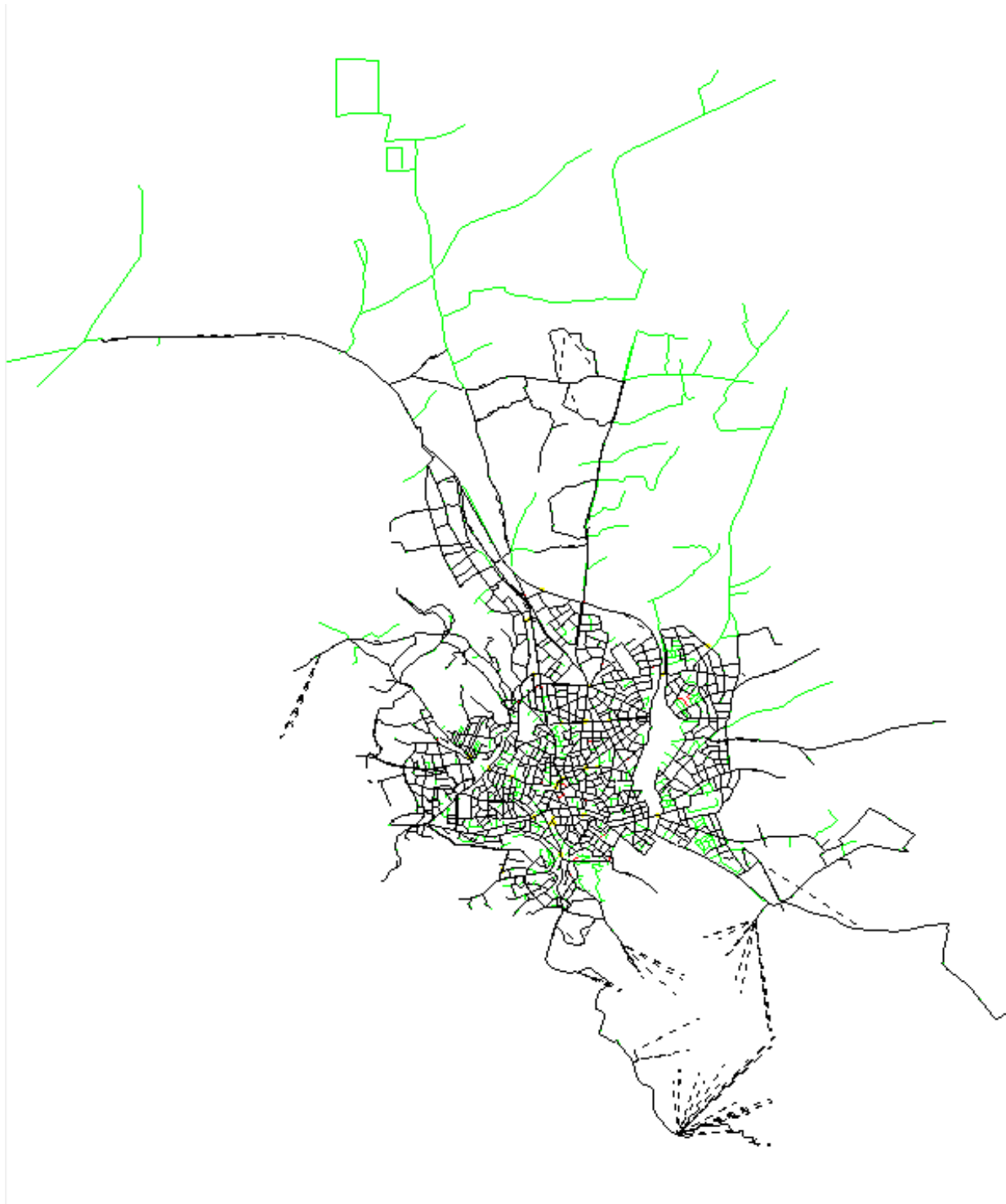
Το ίδιο το λογισμικό του Watercad V8i παρέχει τη δυνατότητα να μικρύνεις το δίκτυό σου αφαιρώντας αγωγούς όμως η μέθοδος που ακολουθούσε δεν περιοριζόταν αρκετά ώστε να μην επηρεάζει τη λειτουργία του δικτύου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αφαίρεση **βασικών αγωγών** μεγάλης διατομής άνω των 200mm που αποτελούν τους αγωγούς εισόδου στις υδατικά αποκλεισμένες μας περιοχές (DMAs). Μαζί με άλλα προβλήματα τα οποία δημιουργούνταν κρίθηκε απαραίτητο να γίνει «χειροκίνητα» η διαδικασία αφαίρεσης αγωγών προσέχοντας τα παρακάτω σημεία.

- Δεν αφαιρούνται αλλά ούτε και τροποποιούνται βασικοί αγωγοί μεταφοράς μεγάλων όγκων νερού.
- Δεν πρέπει υπό καμία προϋπόθεση να μείνει κόμβος που φέρει κατανάλωση χωρίς αγωγό να του παρέχει νερό.
- Δεν αφαιρούνται αγωγοί που αποτελούν σύνορα διαχωρισμένων περιοχών ελέγχου.

Κατά προτεραιότητα:

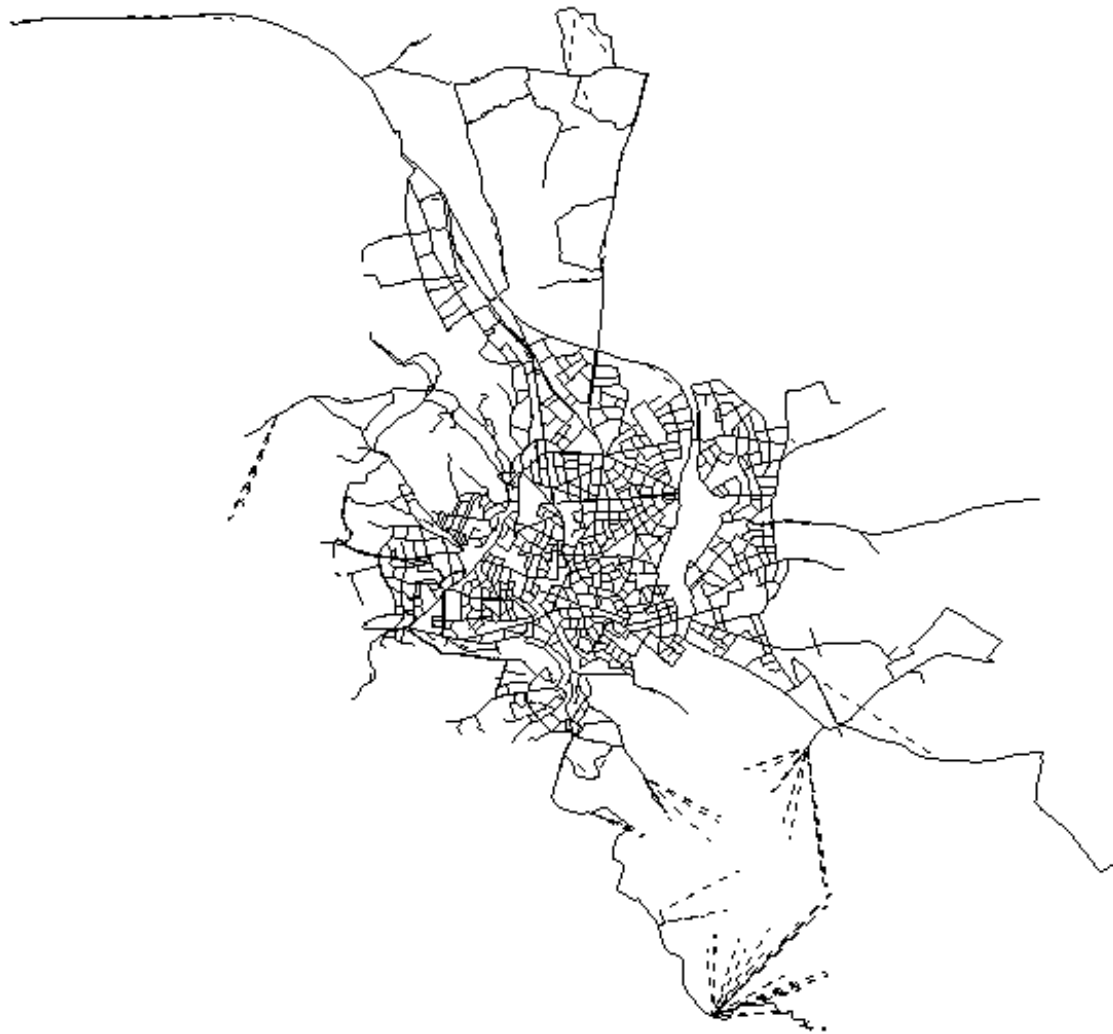
- πρώτα ανιχνεύθηκαν οι διαδοχικοί αγωγοί που δεν τροφοδοτούσαν κάποιο κόμβο ανάμεσά τους και αντικαταστάθηκαν από ένα μεγαλύτερου μήκους αγωγό όμοιων χαρακτηριστικών (διάμετρο, υλικό, ηλικία, τραχύτητα).
- περιοχές με πολύ μικρές καταναλώσεις προτιμήθηκαν για περιορισμό του πλήθους των αγωγών τους.
- προτιμήθηκαν να αφαιρεθούν οι αγωγοί με τη μικρότερη διάμετρο όταν περισσότεροι από ένας εξυπηρετούσαν τον ίδιο κόμβο.

Ακολουθώντας τα παραπάνω αφαιρέθηκαν 541 αγωγοί και έτσι καταλήξαμε σε ένα δίκτυο 2000 αγωγών που πλέον μπορούσε το λογισμικό υπό την εκπαιδευτική άδεια να επεξεργαστεί και να παράγει αποτελέσματα. Φυσικά ακολούθησε σύγκριση του προϊόντος αναγωγής με το πρωτότυπο δίκτυο και έλεγχος αυτού από τον υπογνήφιο διδάκτωρ Κ. Γκονέλα, σχεδιαστή του αρχικού δικτύου, για να διαπιστωθεί η ομοιότητά των δύο. Παρακάτω βλέπουμε πως ήταν το δίκτυο πριν και μετά την αναγωγή.



Εικόνα 5.1: Δίκτυο με 2541 αγωγούς, με πράσινο υποδεικνύονται οι αγωγοί που αφαιρέθηκαν.

Διπλωματική Εργασία: «Μείωση των απωλειών νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης με διαμόρφωση Στεγανών Υποζωνών (District Metered Areas-DMAs) για την αποτελεσματικότερη διαχείρισης της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης»



Εικόνα 5.2: Δίκτυο με 2000 αγωγούς.

Διπλωματική Εργασία: «Μείωση των απωλειών νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης με διαμόρφωση Στεγανών Υποζωνών (District Metered Areas-DMAs) για την αποτελεσματικότερη διαχείρισης της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης»

Συνοψίζοντας πρέπει να τονίσουμε ότι, δεν υπάρχει πάγια τεχνική κατά την οποία συρρικνώνει κανείς ένα δίκτυο ώστε να ωφεληθεί του μικρότερου αριθμού αγωγών και κόμβων. Κάθε δίκτυο μπορεί να παρουσιάζει παραπάνω από μία ιδιαιτερότητα που να το κάνει ξεχωριστό και να χρήζει άλλων κριτηρίων η μέθοδος συρρίκνωσής του. Πιθανοί συντελεστές που θα επηρέαζαν τον παραπάνω τρόπο θα ήταν η πυκνότητα του πληθυσμού αλλά και η διασπορά του, η παρουσία σημειακών μεγάλων καταναλώσεων σε μοναδικούς κόμβους, ηπειρωτικό έδαφος με μεγάλες υψομετρικές μεταβολές, μεγάλη ποικιλία υλικών και διαμετρημάτων των αγωγών, μεγάλη διακύμανση της ημερήσιας ζήτησης και άλλοι.

Ενδιαφέρον θα είχε η έρευνα των μεθόδων, με τις οποίες κανείς μπορεί να περιορίσει το μέγεθος του υπό μελέτη δικτύου, χωρίς να κινδυνεύει η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Ικανό αντικείμενο μίας διπλωματικής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ (ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΗΣ 1^{ΗΣ} ΟΜΑΔΑΣ)

6.1 Η χρήση των PRV στη διαχείριση της πίεσης

Οι βαλβίδες μείωσης της πίεσης (PRVs) είναι συσκευές που δίνουν τη δυνατότητα μείωσης της κατάντη σε σύγκριση με την ανάντη πίεση. Στην αγορά πλέον υπάρχουν σε μία ευρεία ποικιλία από συσκευές απλού χειρισμού μέχρι μηχανισμούς σύνθετων ηλεκτρονικών μορφών ελέγχου. Υπάρχουν τρεις τύποι PRV που επιλέγονται κυρίως με βάση το κόστος της επένδυσης και την υδραυλική συμπεριφορά του δικτύου. Οι τύποι των PRVs είναι οι ακόλουθοι:

➤ *Fixed Outlet PRV*

Αποτελεί την πιο απλής λειτουργίας PRV ελεγχόμενη με μία υδραυλική βαλβίδα. Ανεξαρτήτως της πίεσης του εισερχόμενου νερού, ρυθμίζει την κατάντη πίεση σε μία προκαθορισμένη, σταθερή τιμή. Είναι ιδανική για συστήματα στα οποία δεν υπάρχει σημαντική εποχιακή διακύμανση της ζήτησης και για ομοιόμορφη περιοχές σε ότι αφορά την παροχή.

43

➤ *Modulated PRV (multi point control)*

Αποτελεί μία πιο εξελιγμένη μορφή της fixed PRV, καθώς περιλαμβάνει εσωτερικό χρονόμετρο. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να ρυθμίσει τη χρονική μεταβολή του ανοίγματος της βαλβίδας με βάση δεδομένα προφίλ της ζήτησης. Τέτοιες PRV είναι κατάλληλες για δίκτυα με σταθερά χρονικά προφίλ της ζήτησης και των απωλειών, ενώ χρησιμοποιούνται ευρέως σε περιπτώσεις όπου απαιτείται προηγμένη διαχείριση της πίεσης με περιορισμούς σε ότι αφορά το κόστος.

➤ *Flow Modulating PRV (flow based dynamic modulation)*

Αποτελεί την πιο σύνθετης μορφής PRV που υπάρχει στην αγορά, καθώς το άνοιγμα της βαλβίδας υπόκειται σε δυναμική διαμόρφωση στο χρόνο με βάση την παροχή του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει ένα παροχόμετρο το οποίο στέλνει αυτόματα δεδομένα στον έλεγχο της βαλβίδας, ρυθμίζοντας έτσι τη θέση της και κατά συνέπεια την πίεση. Ο έλεγχος της βαλβίδας συνήθως παρέχεται με τοπικό καταγραφέα δεδομένων και με δυνατότητα τηλεπικοινωνίας. Η χρήση μίας τέτοιας μορφής PRV είναι ιδανική για τη διαχείριση της πίεσης σε δίκτυα με εναλλασσόμενες συνθήκες ζήτησης και απωλειών καθώς και περιοχές με υψηλές απαιτήσεις

στον τομέα της πυρόσβεσης, ενώ θεωρείται δυσανάλογα αντιοικονομική για τοποθέτηση σε αγωγούς διαμέτρου άνω των 200mm.

Στην παρούσα εργασία έγινε χρήση μόνο των δύο πρώτων τύπων PRV, δηλαδή fixed outlet και modulated 24h. Ο τρίτος τύπος, flow modulating PRV, δεν χρησιμοποιήθηκε εξαιτίας της αδυναμίας του προγράμματος Watercad να το προσομοιώσει ευθέως. Η προσομοίωση ήταν δυνατή έπειτα από μία σειρά εντολών που οδηγούσαν ωστόσο σε αμφίβολα αποτελέσματα για την πιστότητα σε πραγματικές συνθήκες. Παράλληλα, δεν μπορούσε να παραβλεφθεί το γεγονός ότι αποτελεί την πιο δαπανηρή επιλογή για την ΔΕΥΑΚοζάνης.

Παρακάτω θα παρουσιαστεί με κάθε λεπτομέρεια η εφαρμογή κάθε σεναρίου σε μία ομάδα υποζωνών, την 1^η κατά σειρά που περιλαμβάνει τις DMA (M,4^A,4K,5,1K). Θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για αυτή την ομάδα απομονωμένα, θα εξηγηθούν αλλά και θα σχολιαστούν. Επειδή ο όγκος της εργασίας ήταν αρκετά μεγάλος για τις υπόλοιπες ομάδες υποζωνών αλλά και τις υποζώνες που απομένουν θα παρουσιαστούν μόνο τα αποτελέσματα της μελέτης αφού η διαδικασία είναι όμοια σε κάθε βήμα. Ας αναφέρουμε απλά πως για κάθε μία από τις 24 υδραυλικά απομονωμένες ζώνες που χωρίσαμε το δίκτυο έχουμε να εξετάσουμε 4 εφαρμογές (χωρισμός ζώνης, fixed PRV, modulated 24h PRV, συνδυασμός του τελευταίου με τοπική εφαρμογή αντλιών) για κάθε μήνα του χρόνου. Συνολικά 1152 διαφορετικές περιπτώσεις για ανάλυση σε ομαδοποιημένα μεν δεδομένα που όμως έπρεπε να αναλυθεί ξεχωριστά πόσο επηρέαζε η κάθε εφαρμογή PRV την DMA που αφορούσε αλλά και όλες τις κατάντη υποζώνες που είχαν ως είσοδο νερού την έξοδο της παραπάνω.

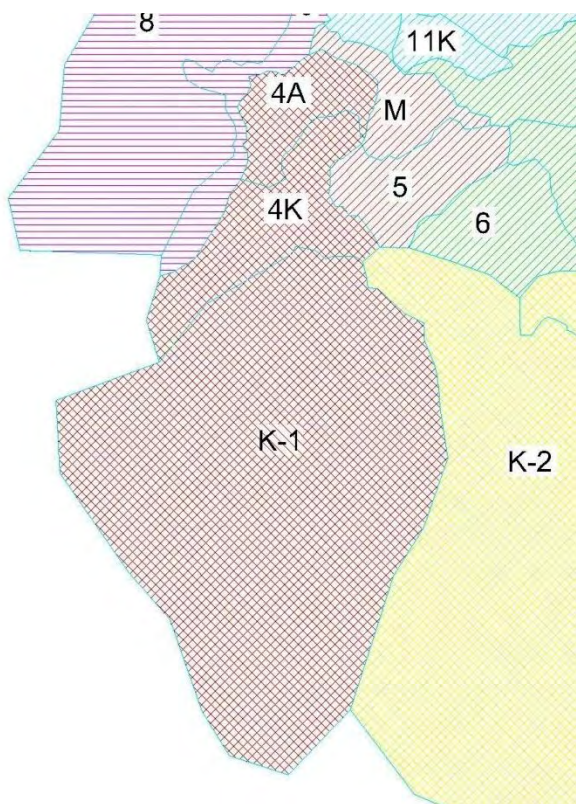
6.2. 1^η ομάδα σεναρίων

6.2.1 Στόχος

Η πρώτη ομάδα σεναρίων με βάση τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό αφορά την αποκλειστική χρήση βαλβίδων μείωσης της πίεσης τύπου *PRV Fixed Outlet*. Ο κύριος στόχος κάθε σεναρίου είναι η μείωση της μέσης πίεσης σε κάθε DMA, με τον περιορισμό η πίεση του κρίσιμου σημείου (σημείο με τη χαμηλότερη πίεση) να μην πέφτει σε όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου κάτω από την κατώτατη τιμή όπως έχει επιβληθεί από τον κανονισμό, δηλαδή 2 bar(200kPa) ή περίπου 2 ατμόσφαιρες. Η κατώτατη τιμή των δύο ατμοσφαιρών προτείνεται για κανονικές συνθήκες λειτουργίας στο "*Prowat εγχειρίδιο αντιμετώπισης απωλειών ύδατος*", ενώ αναφέρεται και σαν υποχρέωση των Δ.Ε.Υ.Α. για παροχή νερού με την αναφερόμενη πίεση στη θέση του μετρητή των πελατών.

Ένα ξεχωριστό σενάριο αποτελεί σε κάθε DMA η λειτουργία του δικτύου χωρίς εφαρμογή PRV στην είσοδο του νερού αλλά απλά έχοντας διαχωρίσει και απομονώσει υδραυλικά τις περιοχές. Παρατηρείται πως και μόνο με το διαχωρισμό αυτό επιτυγχάνεται ένας έλεγχος των απωλειών και περιορισμός αυτών σε μικρό επίπεδο. (περίπου 1.25% μείωση)

6.2.2 Σχεδιασμός και Εφαρμογή



Ας εξηγήσουμε ξανά πως επηρεάζονται μεταξύ τους οι υποζώνες της 1^{ης} ομάδας για να είναι και πιο κατανοητά τα όσα αναφέρουμε παρακάτω. Πρώτη σε τροφοδοσία DMA είναι η M που στη συνέχεια παρέχει νερό στην 4A και στη 5. Η 5 είναι τελική ενώ η 4A τροφοδοτεί την 4K, η οποία με τη σειρά της παρέχει νερό στην τελική K-1 (K1).

45

Κάνοντας χρήση του μοντέλου του δικτύου στο *watercad* για το κάθε σενάριο, έγιναν δοκιμές μέχρις ότου η πίεση κατάντη της PRV να είναι τέτοια, έτσι ώστε η αντίστοιχη πίεση στο κρίσιμο σημείο σε κάθε DMA να γίνει περίπου ίση με 2 ατμόσφαιρες. Καθώς μερικές DMA αποτελούν τις 'δεξαμενές τροφοδοσίας' μίας επόμενης DMA έπρεπε να δοθεί προσοχή στη μείωση της πίεσης. Ενώ θα μπορούσαμε να είμαστε εξασφαλισμένοι πάνω από 2 ατμόσφαιρες στο κρίσιμο σημείο μας, κινδυνεύουμε να ρίξουμε την πίεση στην είσοδο της επόμενης DMA τόσο που το κρίσιμο σημείο της επόμενης να πέφτει κάτω από 2 ατμόσφαιρες χωρίς λειτουργία PRV στη δεύτερη ζώνη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της παραπάνω ανησυχίας αποτελεί το γεγονός ότι η PRV 6 που εφαρμόζεται στην ζώνη M είναι ικανή να ελέγξει το κρίσιμο σημείο της M αλλά και της 4A αφού μπορεί να κατεβάσει το κρίσιμο της 4^A κάτω από 2 ατμόσφαιρες πριν κατεβάσει εξίσου το κρίσιμο σημείο της M.

Αρχικά διαπιστώθηκε ότι με την εφαρμογή μίας τέτοιου τύπου PRV δύναται να επιτευχθεί τιμή της πίεσης του κρίσιμου σημείου ίση με 2 ατμόσφαιρες μόνο για ένα μικρό διάστημα, ίσως και μίας ώρας στη διάρκεια του εικοσιτετραώρου όπου η κατανάλωση έφθανε το μέγιστο επίπεδο. Τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας η πίεση είχε τιμή άνω της οριακής με ελάχιστη ή σημαντική διακύμανση ανάλογα με την DMA. Βαρυσήμαντος παράγοντας για την ύπαρξη

ομοιομορφίας των πιέσεων κατά την διάρκεια της ημέρας αποτελεί ο εισερχόμενος όγκος νερού στο δίκτυο. Για τους παραπάνω λόγους η πίεση λειτουργίας της κάθε PRV επιλέχθηκε ώστε σε όλη τη διάρκεια της ημέρας να υπάρχει αρκετή πίεση στο κρίσιμο σημείο. Ανάγοντας το παραπάνω στους δώδεκα μήνες του χρόνου που μελετήθηκαν, ορίστηκε πίεση λειτουργίας αυτή που θα ικανοποιούσε κάθε μήνα κάθε ώρα της μέρας. Μία απλοποίηση που έγινε δεκτή αφού οι διακυμάνσεις που παρουσιάζονται μέσα στους μήνες ήταν λιγότερο από 1% της τιμής του πρώτου μήνα. Παρακάτω παρουσιάζονται οι πιέσεις όλων των PRV (με κόκκινο φόντο οι τιμές για την πρώτη ομάδα υποζωνών).

| Label | Pressure Setting (Initial) (kPa) |
|--------|-------------------------------------|
| PRV-6 | 200.0 |
| PRV-9 | 305.0 |
| PRV-11 | 255.0 |
| PRV-14 | 200.0 |
| PRV-15 | 235.0 |
| PRV-1 | 200.0 |
| PRV-2 | 250.0 |
| PRV-3 | 220.0 |
| PRV-4 | 210.0 |
| PRV-5 | 210.0 |
| PRV-6 | 210.0 |
| PRV-7 | 230.0 |
| PRV-8 | 220.0 |
| PRV-9 | 230.0 |
| PRV-10 | 255.0 |
| PRV-11 | 200.0 |
| PRV-12 | 300.0 |
| PRV-13 | 275.0 |

Πίνακας 6.1: Οι πιέσεις λειτουργίας των PRV όπως οριστήκαν για την παρούσα μελέτη.

Παρατήρηση: Βλέπουμε ότι οι πιέσεις δεν απομακρύνονται πολύ από την τιμή των 200kpa που είναι και η ζητούμενη για το κρίσιμο σημείο. Χαρακτηριστικό δείγμα του ηπειρωτικού αναγλύφου που βρίσκεται η πόλη της Κοζάνης με το δίκτυο ύδρευσης να εκμεταλλεύεται την λειτουργία της βαρύτητας και των διαθέσιμων κλίσεων για την κάλυψη της πίεσης. Επίσης ρόλο παίζει η θέση των δεξαμενών αλλά και η ανάπτυξη των υποζωνών που εκμεταλλεύονται τα υψηλότερα συνήθως σημεία τους για σημεία εισαγωγής του νερού σε αυτές. Σπανιότερα έχουμε υποζώνες που παρουσιάζουν ανάγκη της ρύθμισης της PRV σε υψηλότερα επίπεδα πίεσης.

6.2.3 Αποτελέσματα

Η ενεργοποίηση της διαχείρισης της πίεσης μέσω των PRVs οδήγησε σε σημαντικές διαπιστώσεις και (επιθυμητά) αποτελέσματα. Υπήρξε ένας συνδυασμός μείωσης της πίεσης και της κατανάλωσης εκφρασμένος σε επίπεδο DMA και σε επίπεδο διμήνου. Το σύνολο της κατανάλωσης που μειώθηκε αφορά τόσο το τιμολογημένο όσο και το μη τιμολογημένο νερό και αποτελεί κυρίως μία ένδειξη της μείωσης του απαιτούμενου εισερχόμενου νερού στο σύστημα. Ακολουθούν οι πίνακες που παρουσιάζουν την πίεση σε χαρακτηριστικά σημεία αρχικά στις υποζώνες της πρώτης ομάδας και τις πιέσεις που διαμορφώθηκαν με τον διαμορφώθηκαν μετά τον υδραυλικό αποκλεισμό των υποζωνών.

Ξεκινώντας για το μήνα Ιανουάριο η διαδικασία ελέγχου των απωλειών αλλά και της κατανάλωσης που εξαρτάται από την πίεση είχε ως εξής:

1^ο ρυθμίστηκε και ενεργοποιήθηκε η PRV 6 για την DMA M ώστε να πετύχουμε μία μείωση πίεσης όλης της ζώνης όπως φαίνεται στον πίνακα 6.4. Χαρακτηριστικά επιλέχθηκαν τα σημεία με τη μέγιστη, μέση και ελάχιστη πίεση. Με την λειτουργία όμως της παραπάνω βαλβίδας είχαμε αλλαγές και στις πιέσεις των κατάντη υποζωνών. Χαρακτηριστικό της αλληλεξάρτησης των υποζωνών μίας ομάδας μελέτης. Όλες οι άλλες PRV της ομάδας παρέμειναν ανενεργές.

2^ο ρυθμίστηκε και ενεργοποιήθηκε η PRV 5 για την DMA 5 ώστε να μειωθεί η πίεση όπως φαίνεται στον πίνακα 6.5. Η DMA 5 είναι τελική οπότε και δεν επηρεάζει κάποια άλλη υποζώνη.

47

3^ο ρυθμίστηκε και ενεργοποιήθηκε η PRV 4 για την DMA 4A ώστε να μειωθεί η πίεση όπως φαίνεται στον πίνακα 6.6. Παρουσιάζεται επίσης η επιρροή αυτής στις παρακάτω υποζώνες 4K και 1K. Οι PRV των 4K και 1K παρέμειναν ανενεργές.

4^ο ρυθμίστηκε και ενεργοποιήθηκε η PRV 3 για την DMA 4K ώστε να μειωθεί η πίεση όπως φαίνεται στον πίνακα 6.7. Παρουσιάζεται επίσης η επιρροή αυτής στη παρακάτω υποζώνη 1K. Η PRV της 1K παρέμεινε ανενεργή.

5^ο ρυθμίστηκε και ενεργοποιήθηκε η PRV 9 για την DMA 1K ώστε να μειωθεί η πίεση όπως φαίνεται στον πίνακα 6.8. Η DMA 1K είναι τελική οπότε δεν επηρεάζει κάποια άλλη υποζώνη.

Παράλληλα με τις πιέσεις στα σημεία που αναφέρθηκε δημιουργήθηκε και ο πίνακας 6.9 με τις καταναλώσεις/απώλειες των υποζωνών όπως αυτές διαμορφώνονται μετά από κάθε βήμα.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε για κάθε μήνα του χρόνου. Ενδεικτικά επιλέγεται ο μήνας Αύγουστος για παρουσίαση των πινάκων του ως ο μήνας με τις μεγαλύτερες καταναλωτικές απαιτήσεις.

Προηγούνται όλων οι πίνακες 6.2 και 6.3 που παρουσιάζουν την πίεση σε χαρακτηριστικά σημεία αρχικά στις υποζώνες της πρώτης ομάδας και τις πιέσεις που διαμορφώθηκαν μετά τον υδραυλικό αποκλεισμό των υποζωνών (κλείσιμο αγωγών).

| Απώλειες χωρίς σχηματισμό των dma | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|
| DMA Pressure data kPa | | | |
| | max | mean | min |
| M | 655.2 | 573.6 | 480.7 |
| 4A | 621.5 | 549.9 | 478.9 |
| 4K | 781.8 | 660.7 | 587.6 |
| 5 | 766 | 704.3 | 640.4 |
| 1K | 960.8 | 700.5 | 621.8 |

Πίνακας 6.2 πιέσεις του αρχικού δικτύου πριν γίνει όποια παρέμβαση

| Απώλειες με σχηματισμό των dma | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| Δεδομένα πίεσης DMA (kPa) | | | |
| | max | mean | min |
| M | 629.6 | 552.9 | 453.8 |
| 4A | 586.2 | 523.9 | 451.8 |
| 4K | 734.9 | 617.2 | 543.7 |
| 5 | 746.7 | 674.5 | 614.4 |
| 1K | 917.9 | 658.1 | 578.9 |

Πίνακας 6.3 πιέσεις του δικτύου μετά τον υδραυλικό αποκλεισμό των υποζωνών

| PRV 6 fixed on 210 kPa | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|
| Δεδομένα πίεσης DMA (kPa) | | | |
| | max | mean | min |
| M | 375.4 | 298.1 | 203.1 |
| 4A | 335.3 | 270.1 | 200.8 |
| 4K | 488.7 | 369.9 | 296.5 |
| 5 | 492.4 | 421.6 | 361.9 |
| 1K | 673.9 | 413.9 | 334.9 |

Πίνακας 6.4 πιέσεις του δικτύου μετά τη λειτουργία της PRV 6 (βήμα 1^ο)

| PRV5 ρυθμισμένη στα 210 kPa | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|
| Δεδομένα πίεσης DMA (kPa) | | | |
| | max | mean | min |
| M | 375.4 | 298.1 | 203.1 |
| 4A | 335.3 | 270.1 | 200.8 |
| 4K | 488.7 | 369.9 | 296.5 |
| 5 | 329.4 | 259.6 | 200 |
| 1K | 673.9 | 413.9 | 334.9 |

Πίνακας 6.5 πιέσεις του δικτύου μετά τη λειτουργία και της PRV 5 (βήμα 2^ο)

| PRV 4 ρυθμισμένη στα 210 kPa | | | |
|------------------------------|-------|-------|-------|
| Δεδομένα πίεσης DMA (kPa) | | | |
| | max | mean | min |
| M | 375.4 | 298.1 | 203.1 |
| 4A | 335.3 | 270.1 | 200.8 |
| 4K | 488.7 | 369.9 | 296.5 |
| 5 | 492.4 | 421.6 | 361.9 |
| 1K | 673.9 | 413.9 | 334.9 |

Πίνακας 6.6 πιέσεις του δικτύου μετά τη λειτουργία και της PRV 4 (βήμα 3^ο)

| PRV3 ρυθμισμένη στα 210 kPa | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|
| Δεδομένα πίεσης DMA (kPa) | | | |
| | max | mean | min |
| M | 375.4 | 298.1 | 203.1 |
| 4A | 335.3 | 270.1 | 200.8 |
| 4K | 395.1 | 275.9 | 202.5 |
| 5 | 329.4 | 259.6 | 200 |
| 1K | 581.6 | 321.1 | 242.2 |

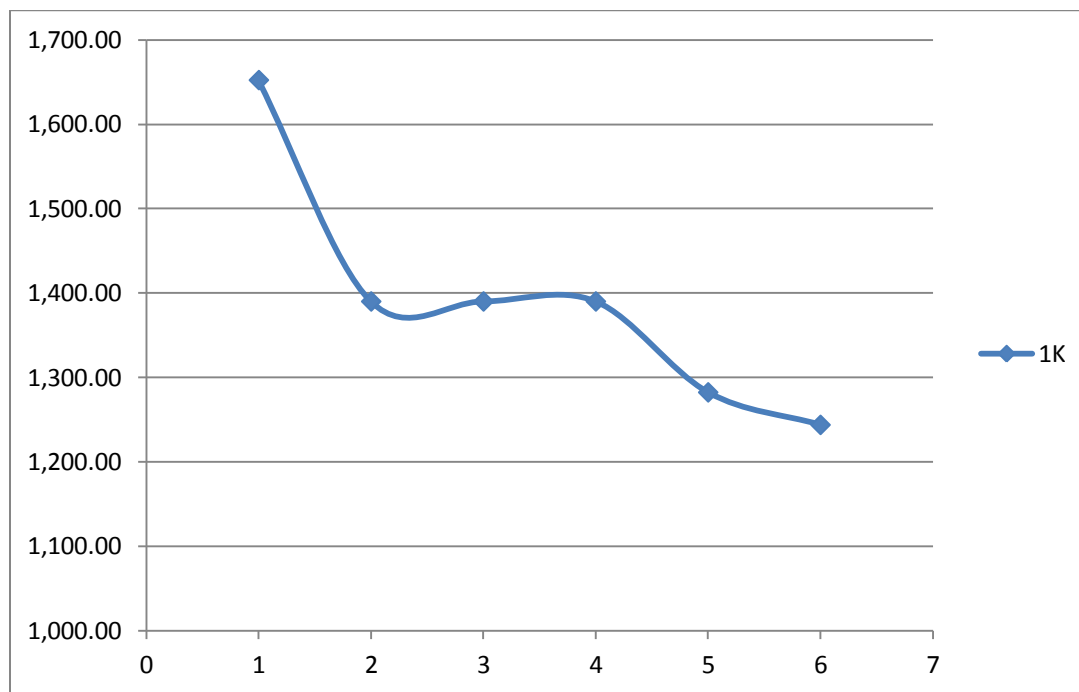
Πίνακας 6.7 πιέσεις του δικτύου μετά τη λειτουργία και της PRV 3 (βήμα 4^ο)

| PRV9 ρυθμισμένη στα 305 kPa | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|
| Δεδομένα πίεσης DMA (kPa) | | | |
| | max | mean | min |
| M | 375.4 | 298.1 | 203.1 |
| 4A | 335.3 | 270.1 | 200.8 |
| 4K | 395.1 | 275.9 | 202.5 |
| 5 | 329.4 | 259.6 | 200 |
| 1K | 550.4 | 289.8 | 210.9 |

Πίνακας 6.8 πιέσεις του δικτύου μετά τη λειτουργία και της PRV 9 (βήμα 5^ο)

| | Μήνας | | Αύγουστος | | |
|-----|-----------------------------|----------|-----------|----------|----------|
| | | | | | |
| | DMA απώλειες m ³ | | | | |
| | M | 4A | 4K | 5 | 1K |
| | 1,144.81 | 1,232.88 | 1,136.93 | 1,804.40 | 1,652.31 |
| | 1,136.68 | 1,218.50 | 1,114.67 | 1,788.97 | 1,625.52 |
| PRV | | | | | |
| 6 | 912.65 | 969.37 | 917.77 | 1,489.02 | 1,389.97 |
| 4 | 912.65 | 969.37 | 917.77 | 1,489.02 | 1,389.97 |
| 5 | 912.65 | 969.37 | 917.77 | 1,241.24 | 1,389.97 |
| 3 | 912.65 | 969.37 | 828.8 | 1,241.24 | 1,282.22 |
| 9 | 912.65 | 969.37 | 829.07 | 1,241.24 | 1,243.67 |

Πίνακας 6.9 καταναλώσεις/απώλειες όπως διαμορφώθηκαν για κάθε υποζώνη κατά τη διαδοχική ενεργοποίηση των βαλβίδων.



Γράφημα 6.1 απεικόνιση των μεταβολών του εισερχόμενου νερού για την υποζώνη 1K

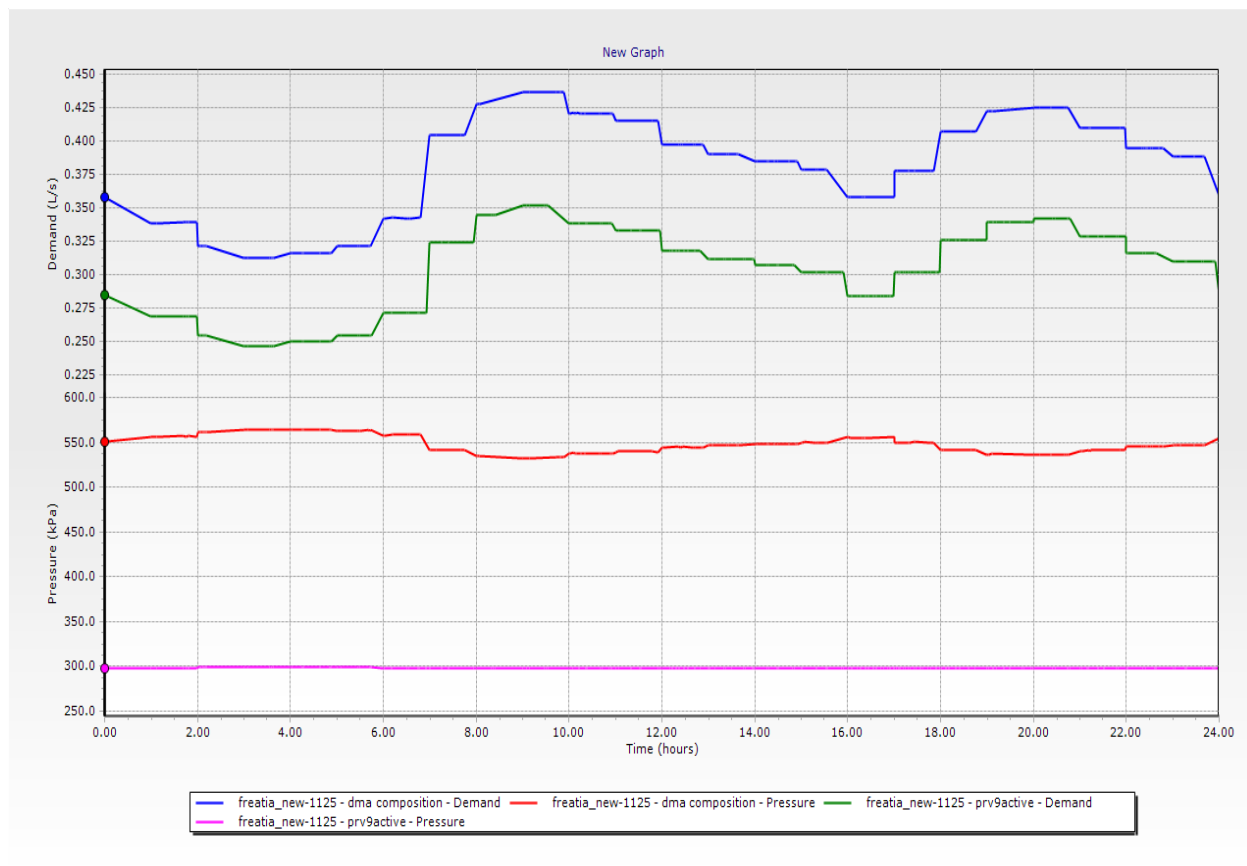
Συνολικά με τη χρήση της πρώτης ομάδας σεναρίων επιτεύχθηκε μία μείωση του εισερχόμενου νερού στην 1^η ομάδα υποζωνών της τάξης του **24.93 %** για το μήνα Αύγουστο. Ακολουθεί ο πίνακας 6.10 με την ποσοστιαία μείωση του εισερχόμενου νερού για όλους τους μήνες.

| | | Μήνες | | | | | |
|-----------|----|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | | Ιουλ | Αυγ | Σεπ | Οκτ | Νοε | Δεκ |
| DMA | M | 20.14 | 20.098 | 20.47 | 20.08 | 20.34 | 19.91 |
| | 4A | 21.09 | 21.060 | 21.43 | 21.08 | 21.43 | 20.99 |
| | 4K | 26.95 | 26.955 | 27.22 | 26.94 | 27.15 | 26.78 |
| | 5 | 31.02 | 31.058 | 31.28 | 31.04 | 31.26 | 30.92 |
| | 1K | 24.94 | 24.920 | 25.15 | 24.50 | 24.78 | 24.43 |
| Μέση τιμή | | 24.83 | 24.818 | 25.10 | 24.73 | 24.99 | 24.61 |
| | | Ιουλ | Αυγ | Σεπ | Οκτ | Νοε | Δεκ |
| DMA | M | 19.95 | 20.279 | 20.19 | 20.47 | 20.59 | 20.40 |
| | 4A | 21.07 | 21.373 | 21.38 | 21.65 | 21.77 | 21.52 |
| | 4K | 26.80 | 27.078 | 27.43 | 27.64 | 27.77 | 27.37 |
| | 5 | 30.93 | 31.216 | 31.31 | 31.52 | 31.61 | 31.44 |
| | 1K | 24.33 | 24.736 | 24.59 | 24.82 | 24.99 | 24.81 |
| Μέση τιμή | | 24.61 | 24.975 | 24.95 | 25.68 | 25.34 | 25.11 |

Πίνακας 6.10 Επί τις εκατό μείωση του εισερχόμενου νερού στις DMAs για κάθε μήνα

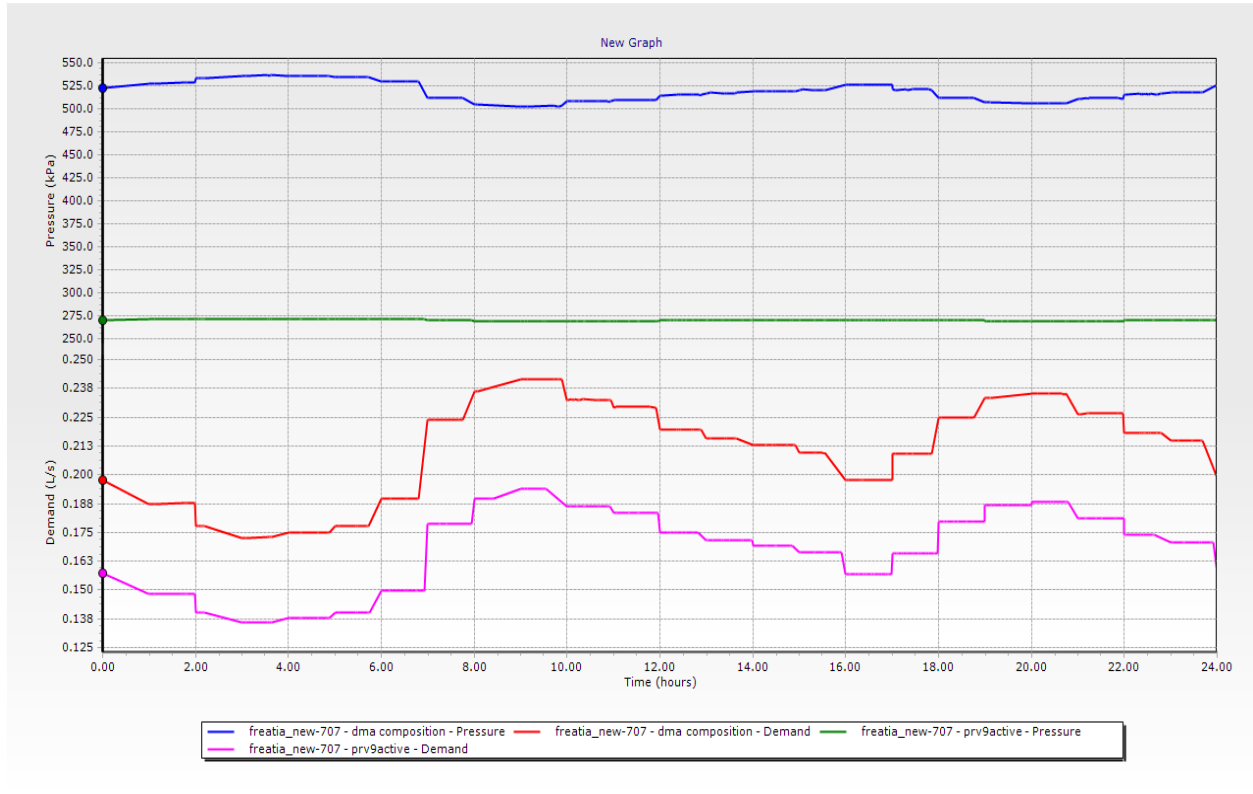
Γενικά, διαπιστώνεται μία ομοιομορφία στα αποτελέσματα για κάθε DMA σε όλα τα δίμηνα. Επιπλέον, υπάρχει και η αναγκαία αναλογία ανάμεσα στην πίεση και την κατανάλωση, η οποία προέρχεται από την εφαρμογή των Pressure Dependent Demand. Πέρα όμως του οφέλους από την μείωση του εισερχόμενου όγκου νερού, με την πτώση της πίεσης επιτυγχάνεται και μία σειρά επιπρόσθετων οφελών όπως αναπτύχθηκαν σε παραπάνω ενότητες.

Για την ακριβή αποτύπωση της μεταβολής της πίεσης και της κατανάλωσης στη διάρκεια του εικοσιτετραώρου χρησιμοποιήθηκε το Σημείο Μέσης Πίεσης (Average Zone Point) κάθε υποζώνης. Στα γραφήματα που ακολουθούν αποτυπώνεται αυτή η μεταβολή πριν και μετά την εφαρμογή των PRVs για τα σημεία μέσης πίεσης της κάθε DMA για το μήνα Αύγουστο ενδεικτικά όπως χρησιμοποιήθηκε και παραπάνω.



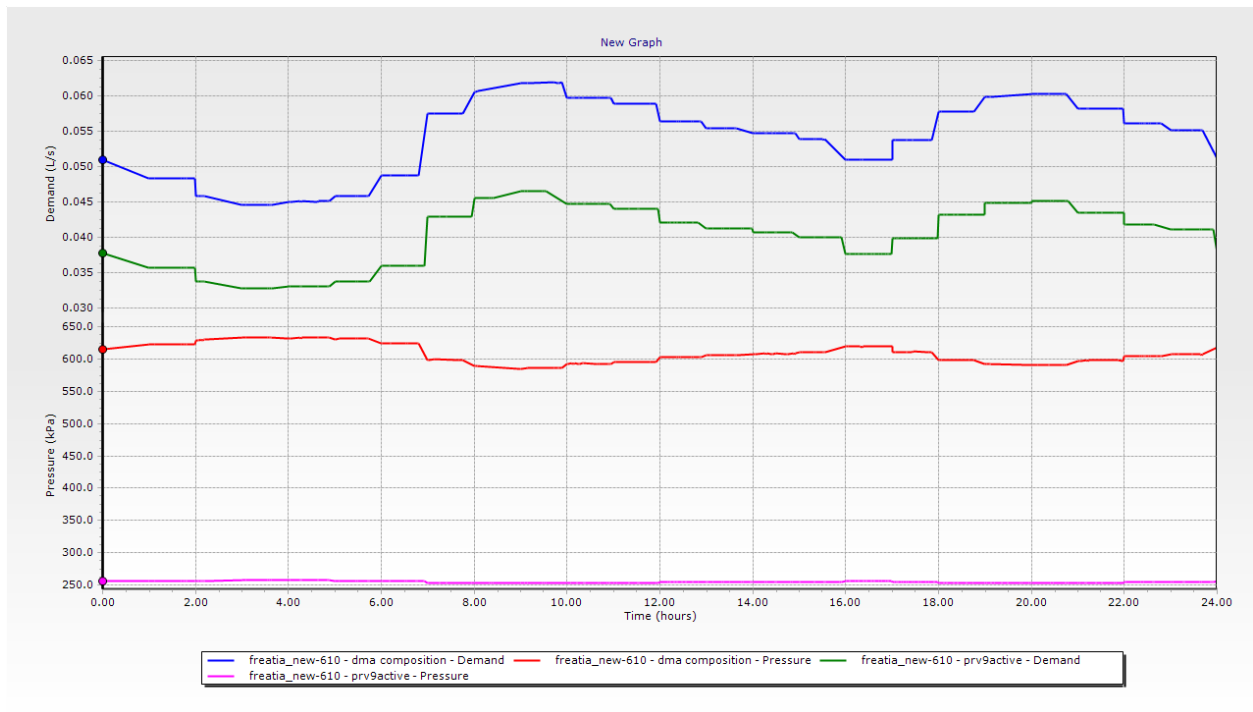
Γράφημα 6.2 πιέσεις(kpa) και ζήτηση(L/s) του χαρακτηριστικού σημείου της υποζώνης M

Επεξήγηση: Στο παραπάνω σχήμα καθώς και στα 4 επόμενα απεικονίζονται με μπλε και κόκκινο χρώμα, η κατανάλωση και η πίεση πριν την εφαρμογή του σεναρίου, με πράσινο και μοβ μετά την εφαρμογή του σεναρίου.



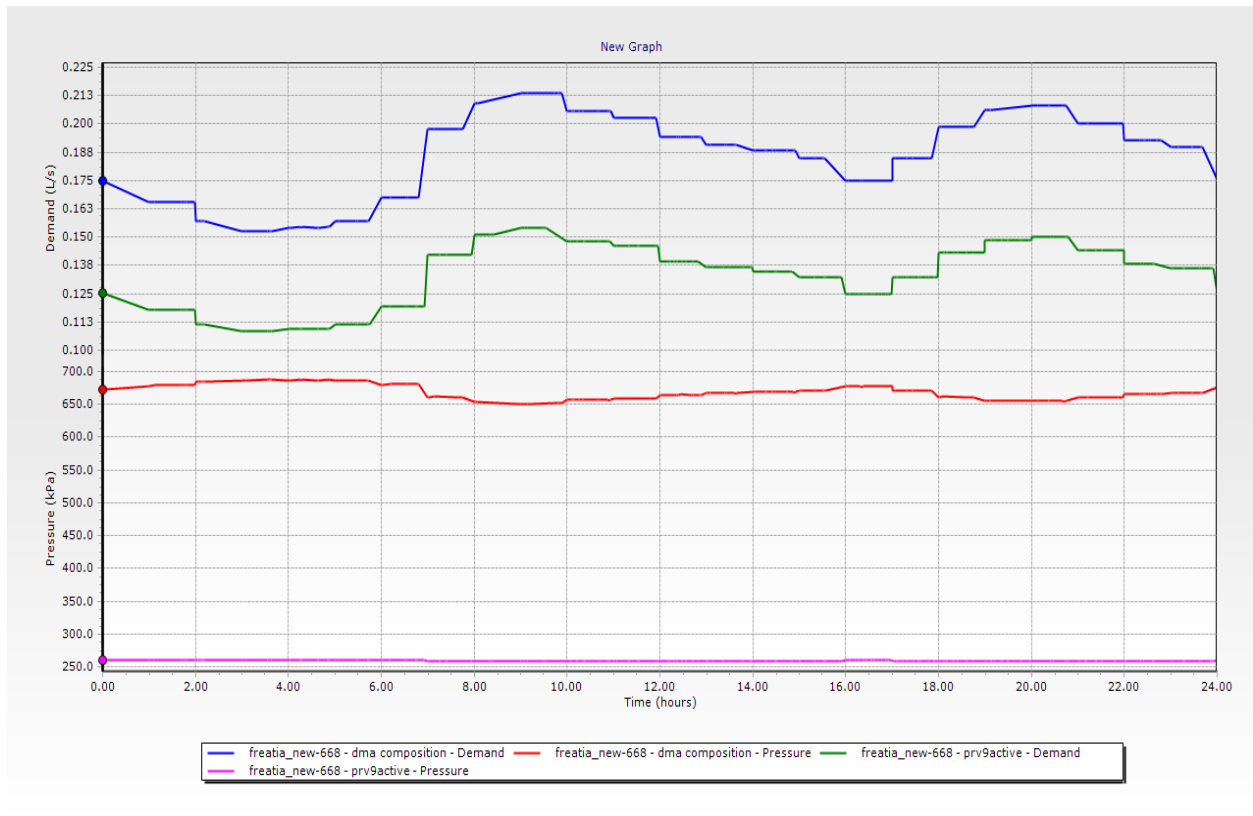
53

Γράφημα 6.3 πιέσεις(kpa) και ζήτηση(L/s) του χαρακτηριστικού σημείου της υποζώνης 4A

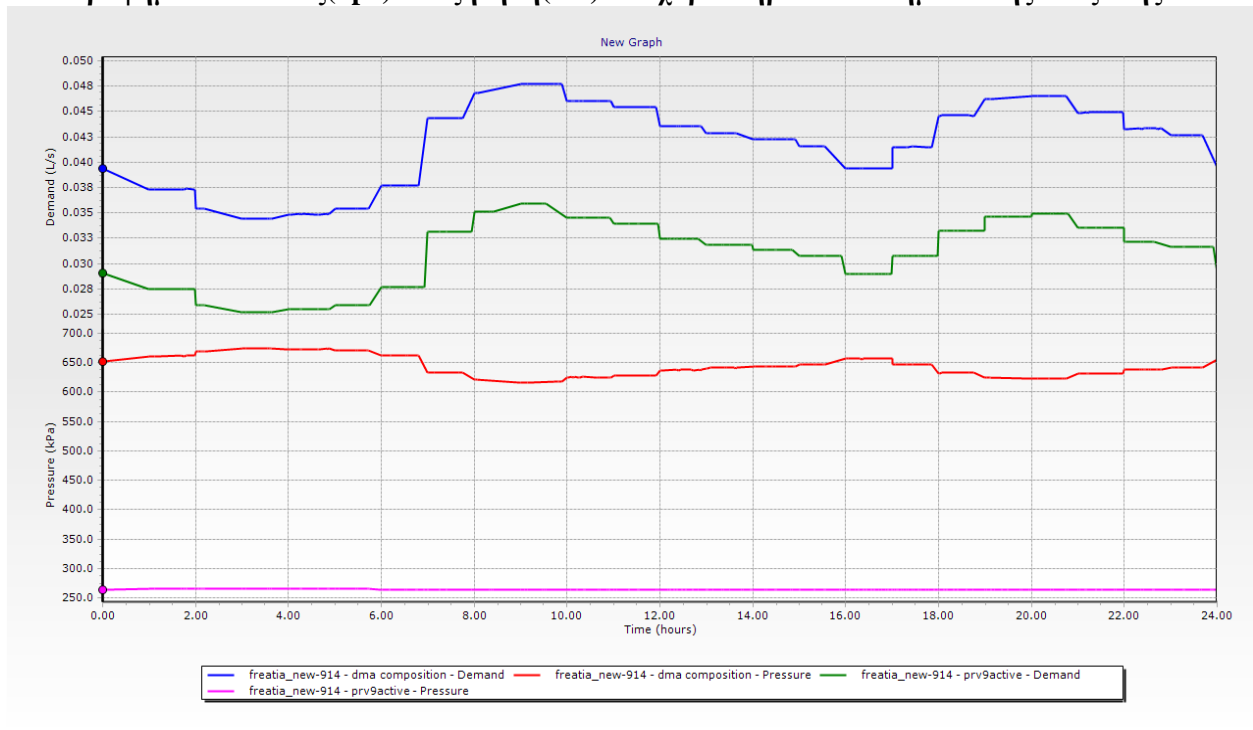


Γράφημα 6.4 πιέσεις(kpa) και ζήτηση(L/s) του χαρακτηριστικού σημείου της υποζώνης 4K

Διπλωματική Εργασία: «Μείωση των απωλειών νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης με διαμόρφωση Στεγανών Υποζωνών (District Metered Areas-DMAs) για την αποτελεσματικότερη διαχείρισης της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης»



Γράφημα 6.5 πιέσεις(kpa) και ζήτηση(L/s) του χαρακτηριστικού σημείου της υποζώνης 5



Γράφημα 6.6 πιέσεις(kpa) και ζήτηση(L/s) του χαρακτηριστικού σημείου της υποζώνης 1Κ

Διπλωματική Εργασία: «Μείωση των απωλειών νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης με διαμόρφωση Στεγανών Υποζωνών (District Metered Areas-DMAs) για την αποτελεσματικότερη διαχείρισης της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης»

Τα παραπάνω γραφήματα απεικονίζουν τις μεταβολές της **πίεσης** και της **ζήτησης** μέσα στη διακύμανση του 24ώρου για το σημείο μέσης πίεσης της κάθε υποζώνης για το μήνα **Αύγουστο**. Στο πρόγραμμα του **Watercad** που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση του μοντέλου έχουν δημιουργηθεί όλα τα σενάρια για **κάθε υποζώνη**, για **κάθε μήνα** οπότε εύκολα μπορούν να εξαχθούν αποτελέσματα ανά πάσα στιγμή για μελλοντική χρήση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

7.1 2η Ομάδα Σεναρίων

7.1.1 Σχεδιασμός και Εφαρμογή

Η δεύτερη ομάδα σεναρίων αφορά την αποκλειστική χρήση βαλβίδων *PRV fixed modulated* (24h). Με τη χρήση τέτοιου τύπου PRV δόθηκε η δυνατότητα μεταβολής της κατάντη πίεσης κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου μέσω της εφαρμογής δεδομένου για κάθε περίπτωση pattern (πρότυπο). Οι πιέσεις των PRVs παρέμειναν ίδιες με την 1η ομάδα εκτός ελάχιστων εξαιρέσεων, ενώ με την εισαγωγή των pattern επιτεύχθηκε μία σχετική σταθερότητα στις πιέσεις όλων των κόμβων, με το κρίσιμο σημείο να εμφανίζει σταθερή πίεση 2 ατμόσφαιρες ανεξαρτήτως ώρας.

Σταδιακά όπως και στην 1^η ομάδα σεναρίων τέθηκε μία κάθε PRV σε λειτουργία ώστε να εξετασθεί η επιρροή τόσο στη δική της DMA όσο και στις κατάντη αυτής υποζώνες έως όπου τέθηκαν όλες σε λειτουργία με τις κατάλληλες ρυθμίσεις στην ανά ώρα λειτουργία ώστε το κρίσιμο σημείο να έχει μία σταθερή πίεση όσο πιο κοντά στις 2 ατμόσφαιρες που είναι και ο στόχος.

56

7.1.2 Διαμόρφωση των Valve Pattern (πρότυπο 24ωρης λειτουργίας)

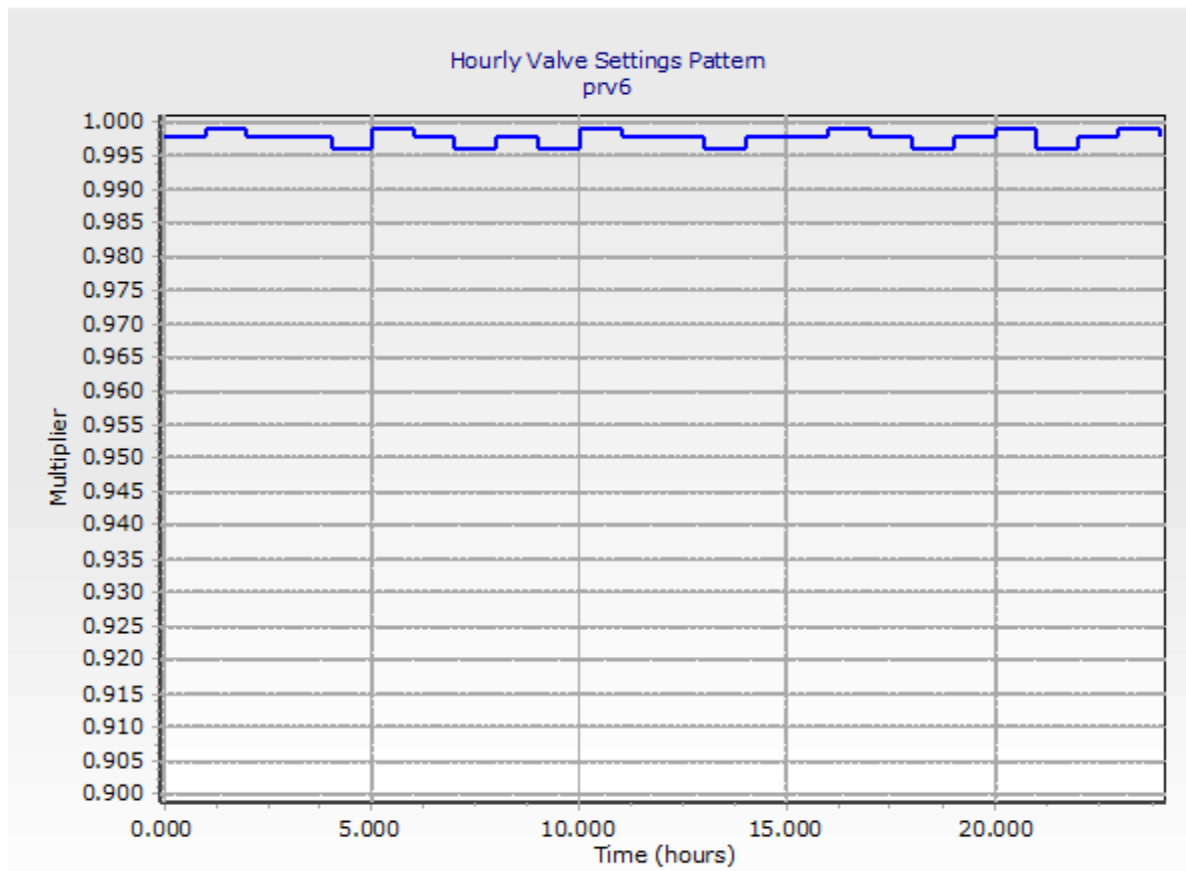
Η δημιουργία των Valve Pattern έγινε με βάση τη διακύμανση της μέσης πίεσης σε κάθε DMA στη διάρκεια της ημέρας πριν την εφαρμογή των PRV και η τελική τους μορφή διαμορφώθηκε χειροκίνητα με το κατάλληλο <<καλιμπράρισμα>>. Όπως είναι εμφανές και στα παρακάτω γραφήματα, επειδή τα pattern αποτυπώνουν το άνοιγμα της βαλβίδας των PRVs, είναι ενδεικτικά της μεταβολής της κατανάλωσης στη διάρκεια του εικοσιτετραώρου. Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωσή τους παίζει και η πίεση των PRVs.

Συνολικά, ήταν αναγκαία η δημιουργία ενός pattern για κάθε υποζώνη για όλους τους μήνες αφού οι υπό εξέταση prn του δικτύου όλου είναι 18. Η χρήση όμως 216 διαφορετικών προτύπων καθιστούσε το έργο της μελέτης δύσκολο και χρονοβόρο. Παράλληλα με της παρατήρηση ότι η ημερήσια διακύμανση της πίεσης είναι πανομοιότυπη για κάθε μήνα, η όλη ανάπτυξη προτύπων περιορίστηκε στα 18 με την παρακάτω προϋπόθεση:

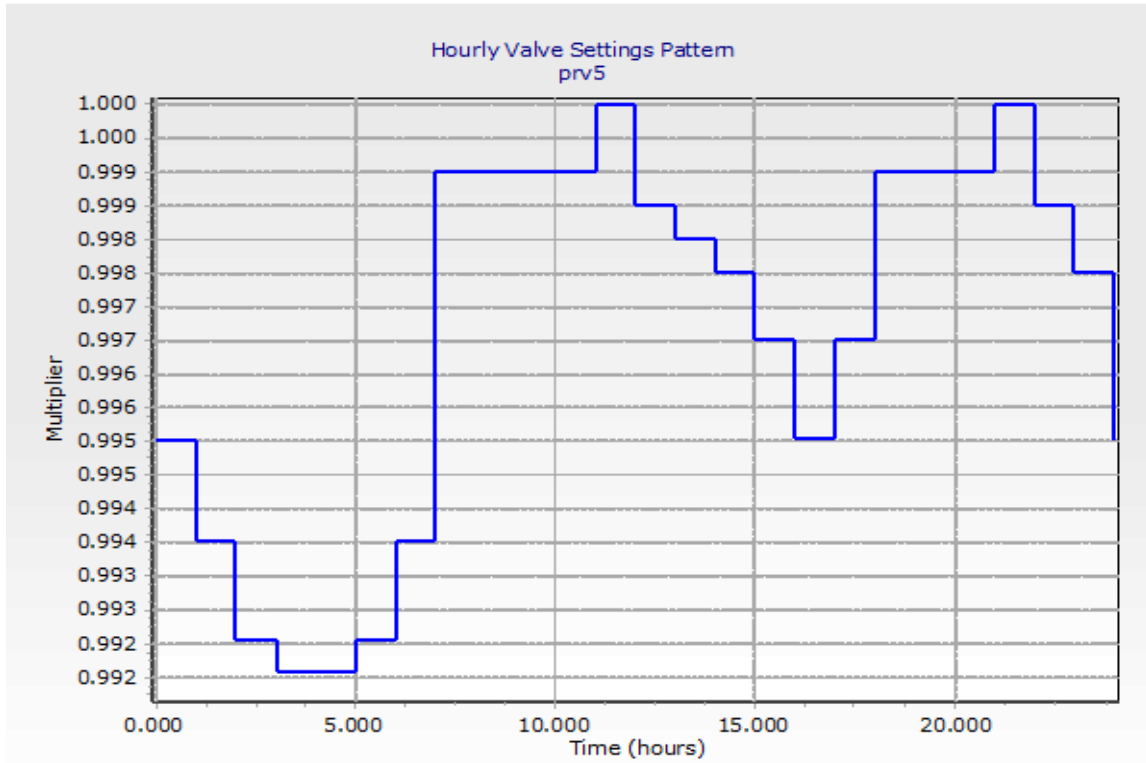
Η ανάπτυξη προτύπου για την PRV μίας υποζώνης πρέπει να φέρει το κρίσιμο σημείο σε όσο πιο σταθερή και πλησίον των 2 ατμοσφαιρών πίεση για κάθε μήνα του χρόνου. Δεν

δεχόμαστε πρότυπα που γίνονται δεκτά για κάποιο αριθμό μηνών αλλά μόνο όσα μας καλύπτουν και για τους δώδεκα μήνες.

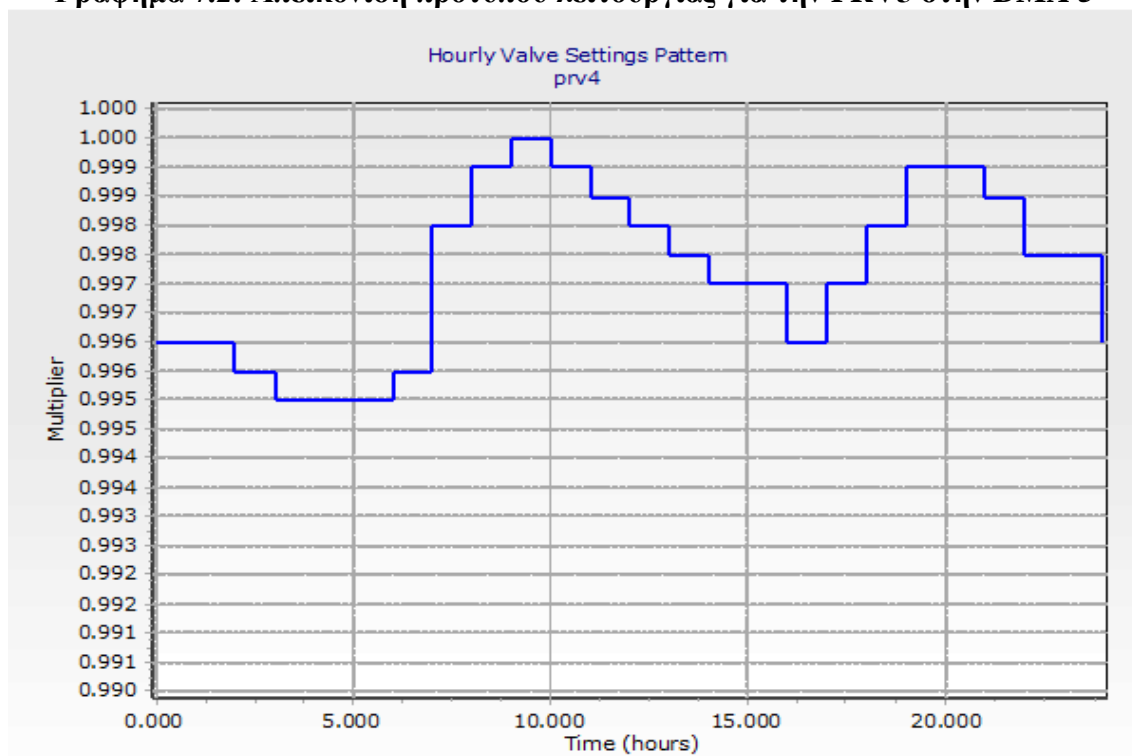
Παρακάτω παρατίθενται τα πρότυπα 24ωρης λειτουργίας των πιεζοθραυστικών βαλβίδων όπως ρυθμίστηκαν και καλιμπραρίστηκαν ώστε να ληφθούν τα αποτελέσματα της χρήσης τους. Παρουσιάζονται μόνο τα 5 που χρησιμοποιήθηκαν για την 1η ομάδα υποζωνών (M,5,4A,4K,1K).



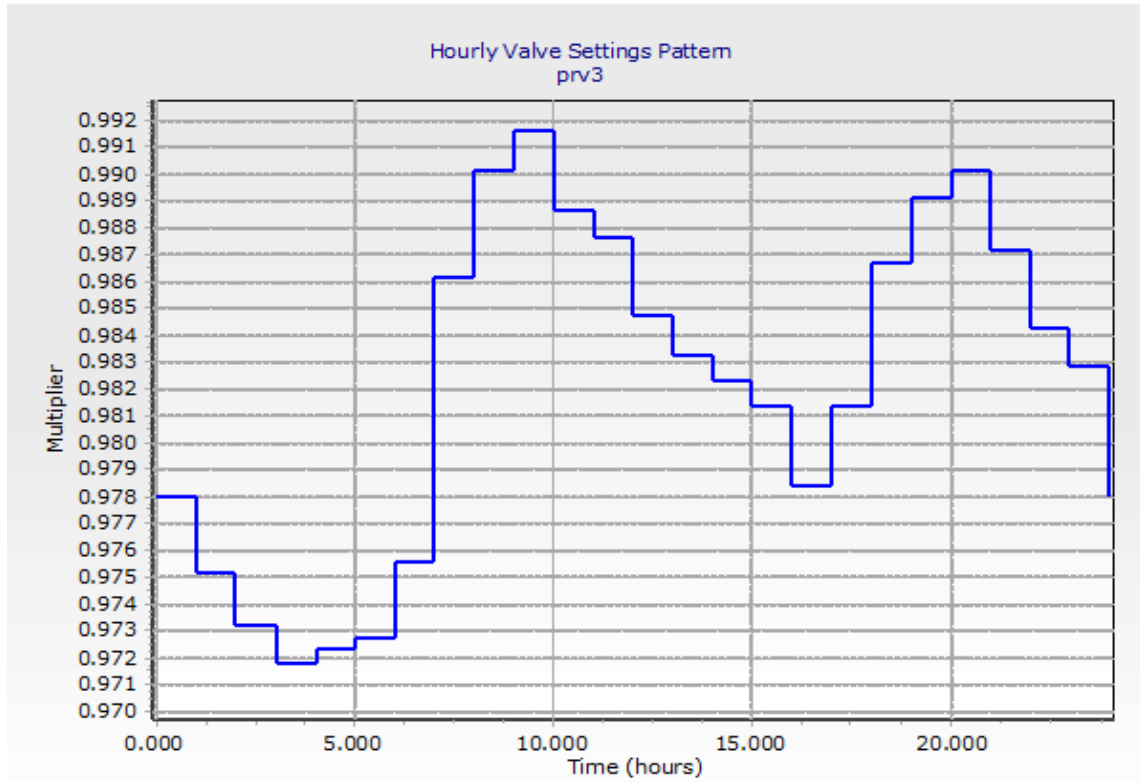
Γράφημα 7.1: Απεικόνιση προτύπου λειτουργίας για την PRV6 στην DMA M



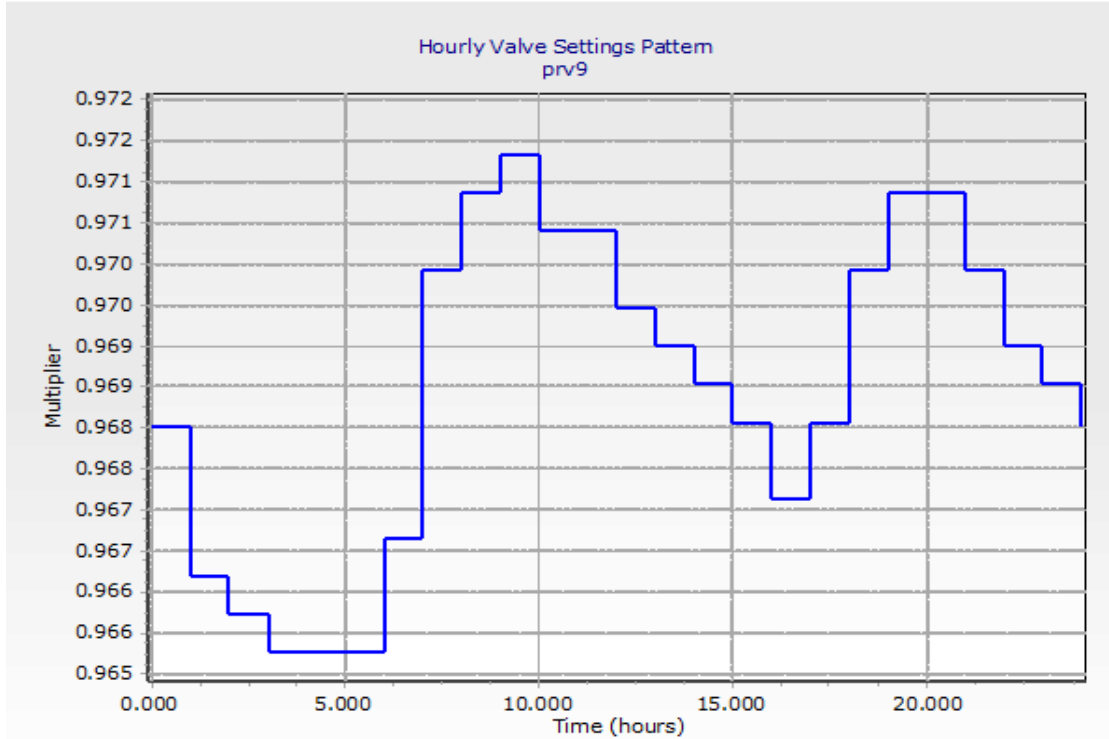
Γράφημα 7.2: Απεικόνιση προτύπου λειτουργίας για την PRV5 στην DMA 5



Γράφημα 7.3: Απεικόνιση προτύπου λειτουργίας για την PRV4 στην DMA 4A



Γράφημα 7.4: Απεικόνιση προτύπου λειτουργίας για την PRV3 στην DMA 4K



Γράφημα 7.5: Απεικόνιση προτύπου λειτουργίας για την PRV9 στην DMA 1K

Διπλωματική Εργασία: «Μείωση των απωλειών νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης με διαμόρφωση Στεγανών Υποζωνών (District Metered Areas-DMAs) για την αποτελεσματικότερη διαχείρισης της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης»

7.1.3 Αποτελέσματα

Η χρήση των βαλβίδων *PRV fixed modulated (24h)* επέφερε αποτελέσματα τα οποία κινήθηκαν σε όμοια επίπεδα με αυτά της πρώτης ομάδας σεναρίων. Είχαμε βελτίωση αλλά σχετικά μικρή αν συγκριθεί με τη διαφορά κόστους των δύο τύπων βαλβίδων αλλά και του επιπλέον προγραμματισμού. Ενδεικτικά ενώ όπως είχαμε αναφέρει για το μήνα Αύγουστο είχε επιτευχθεί μείωση του εισερχόμενου νερού κατά **24.93 %**, με την εφαρμογή της δεύτερης ομάδας σεναρίων οδηγηθήκαμε σε μείωση **25.17%** από τη μείωση του αρχικά εισερχόμενου νερού.

Τα αποτελέσματα θα μπορούσαν να κριθούν και αναμενόμενα, αφού αν παρατηρούσε κανείς τη διακύμανση της πίεσης που διαφαίνεται στα παραπάνω γραφήματα 6.1 έως 6.5, θα καταλάβαινε πως η ρύθμιση της πίεσης σε πιο κάτω σημεία ανά τις ώρες της ημέρας δεν οδηγεί σε δραστηκές αλλαγές. Επίσης αυτό διαπιστώνεται και από τα πρότυπα λειτουργίας των *PRV fixed modulated (24h)* τα οποία δεν απομακρύνονται πολύ από τις τιμές του 0.95 και πολλές φορές τείνουν στην τιμή 1. (Η πίεση είχε ρυθμιστεί όπως φαίνεται σε χαμηλά επίπεδα και σχεδόν σταθερά και μόνο με τη χρήση των *fixed PRV*)

Συγκριτικά παρουσιάζεται και πάλι ο πίνακας με τις ποσοστιαίες μειώσεις του εισερχόμενου νερού σε κάθε υποζώνη της πρώτης ομάδας για κάθε μήνα, όπως και στην πρώτη ομάδα σεναρίων.

| | | Μήνες | | | | | |
|-----------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Ιαν | Φεβρ | Μαρ | Απρ | Μαϊ | Ιουν |
| DMA | M | 20.18 | 20.14 | 20.44 | 20.12 | 20.41 | 19.96 |
| | 4A | 21.15 | 21.10 | 21.47 | 21.13 | 21.49 | 21.04 |
| | 4K | 27.28 | 27.27 | 27.54 | 27.28 | 27.47 | 27.10 |
| | 5 | 31.07 | 31.05 | 31.33 | 31.09 | 31.30 | 30.98 |
| | 1K | 25.70 | 25.67 | 25.91 | 25.27 | 25.55 | 25.24 |
| Μέση τιμή | | 25.07 | 25.05 | 25.34 | 24.98 | 25.24 | 24.86 |
| | | Ιουλ | Αυγ | Σεπ | Οκτ | Νοε | Δεκ |
| DMA | M | 19.94 | 20.33 | 20.24 | 20.53 | 20.64 | 20.44 |
| | 4A | 21.13 | 21.42 | 21.43 | 21.70 | 21.83 | 21.57 |
| | 4K | 27.12 | 27.42 | 27.76 | 27.67 | 28.09 | 27.69 |
| | 5 | 30.98 | 31.21 | 31.35 | 31.57 | 31.66 | 31.49 |
| | 1K | 25.11 | 25.50 | 25.37 | 25.66 | 25.78 | 25.58 |
| Μέση τιμή | | 24.86 | 25.17 | 25.23 | 25.43 | 25.61 | 25.35 |

Πίνακας 7.1: Παρουσίαση ποσοστιαίων μειώσεων του εισερχόμενου νερού στις υποζώνες ανά μήνα για τη 2^η ομάδα σεναρίων

Διπλωματική Εργασία: «Μείωση των απωλειών νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης με διαμόρφωση Στεγανών Υποζωνών (District Metered Areas-DMAs) για την αποτελεσματικότερη διαχείρισης της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης»

7.2 3η Ομάδα Σεναρίων

7.2.1 Σχεδιασμός και εφαρμογή

Η τρίτη ομάδα σεναρίων αφορά τον συνδυασμό χρήσης βαλβίδων μείωσης της πίεσης τύπου PRV modulated (24h) και τοπικών πιεστικών τύπου *booster*. Θέτοντας από την πρώτη ομάδα σεναρίων την τελική τιμή της κατάντη πίεσης των PRVs fixed ως τιμή εκκίνησης, προκαλείται περαιτέρω πτώση της μέσης πίεσης για κάθε DMA. Στόχος είναι να μειωθεί η ποσότητα του εισερχόμενου νερού ακόμα περισσότερο από την δεύτερη ομάδα σεναρίων. Όπως είναι αναμενόμενο προκαλείται παράλληλα και πτώση της πίεσης του κρίσιμου και πιθανότατα άλλων σημείων κάτω από το κατώτατο όριο που επιβάλλεται από τον κανονισμό. Η επαναφορά της πίεσης σε αποδεκτά επίπεδα σε όποιους κόμβους απαιτείται γίνεται μέσω της εφαρμογής τοπικών πιεστικών νερού.

Τα *patterns* που εκφράζουν το άνοιγμα των βαλβίδων παραμένουν όπως έχουν υπολογιστεί και η πίεση αυξομειώνεται μόνο από τη διαχείριση της κατάντη πίεσης των PRVs. Η ταυτόχρονη εφαρμογή του παρεχόμενου εξοπλισμού αποτελεί την πιο εκσυγχρονισμένη μορφή διαχείρισης της πίεσης σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια, αλλά δεν μπορεί να επιλεγεί εξαρχής ως η βέλτιστη λύση, καθώς αποτελεί και την πιο δαπανηρή λύση.

Για τη μελέτη αυτής της ομάδας σεναρίων πρέπει να ορίσουμε κάποιες παραδοχές που λήφθηκαν υπόψη:

- Σε κάθε DMA κρίνεται εξ' ορισμού οικονομικό να χρησιμοποιηθούν μέχρι 3 boosters (ανορθωτές πίεσης) και όχι επιπλέον.
- Σε DMA που η χρήση booster μειώνει μεν τη μέση πίεση ή την τοπικά μέγιστη πίεση αλλά αυξάνει δε το εισερχόμενο νερό, απορρίπτεται η χρήση αντλιών.
- Σε περίπτωση που η χρήση αντλιών είναι πιο δαπανηρή σε κόστος λειτουργίας των αντλιών από την αξία του εισερχόμενου νερού που μειώνεται, κρίνεται η χρήση αντιοικονομική.
- Αν η μείωση της πίεσης λειτουργίας μίας DMA για την συνδυαστική χρήση booster επηρεάζει αρνητικά μία κατάντη υποζώνη τότε απορρίπτεται η χρήση αντλιών.
- Κατά την τοποθέτηση αντλιών πρέπει να ληφθεί υπ όψιν ο διχασμός αγωγών που απαιτείται ως προς το όριο των 2000 που ορίζεται από την άδεια χρήσης του προγράμματος. Η όποια επιπλέον απομάκρυνση αγωγών πρέπει να γίνει σε συμμόρφωση με την παραπάνω αναφερόμενη διαδικασία ελαχιστοποίησης δικτύου.

7.2.2 Επιλογή σημείων εφαρμογής των αντλιών

Αναφερόμενοι στο παράδειγμα της 1^{ης} ομάδας υποζωνών, αναλυτικά μελετήθηκε η κάθε υποζώνη για κάθε μήνα ώστε να βρεθούν οι βέλτιστες περιπτώσεις σημείων όπου θα μπορούσε να εφαρμοστεί συνδυαστική λειτουργία των PRVs και των boosters. Σταδιακά μειώνεται η πίεση λειτουργίας της PRV ανά 1kpa από αυτή που είχε ορισθεί και παρατηρείται επί του προγράμματος ποιοι κόμβοι της υποζώνης χάνουν πίεση και πέφτουν κάτω από τις 2 ατμόσφαιρες. Παρακάτω περιγράφεται η διαδικασία για κάθε υποζώνη:

DMA M

Η εφαρμογή της σταδιακής μείωσης της πίεσης οδήγησε άμεσα σε δύο λόγους για τους οποίους αποκλείστηκε η χρήση booster σε αυτή την υποζώνη.

A) Η πίεση λειτουργίας της PRV ήταν ήδη πολύ κοντά στα 200kpa (2ατμόσφαιρες) πράγμα που επηρέαζε άμεσα μεγάλο πλήθος κόμβων πολύ κοντά στην είσοδο του νερού. Η εφαρμογή αντλίας αμέσως μετά την πιεζοθραυστική βαλβίδα είναι ανορθολογική.

B) Το κρίσιμο σημείο της DMA M είναι ο τελευταίος κόμβος αμέσως πριν την είσοδο του νερού προς την DMA 4A. Η πίεση αυτού του σημείου έχει ήδη πλησιάσει τις 2 ατμόσφαιρες σε σχετικά μηδενική διακύμανση κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η όποια μείωση πίεσης αυτού του κόμβου συνδέεται άμεσα με την πίεση ανάντη της βαλβίδας της 4A θέτοντας την εκτός λειτουργίας αφού η πίεση λειτουργίας της είναι ανώτερη της εισερχόμενης πίεσης.

62

DMA 5

Η εφαρμογή της σταδιακής μείωσης της πίεσης οδήγησε άμεσα σε ένα κύριο λόγο για τον οποίο αποκλείστηκε η χρήση booster σε αυτή την υποζώνη.

Η πίεση λειτουργίας της PRV 5 έχει ήδη ορισθεί στα 210 kpa. Μειώνοντας την πίεση σε αυτή τη βαλβίδα επηρεάζεται όλη η υποζώνη αμέσως μετά την είσοδο του νερού και πέφτει κάτω από τις 2 ατμόσφαιρες. Όπως παραπάνω η εφαρμογή αντλίας αμέσως μετά την πιεζοθραυστική βαλβίδα είναι ανορθολογική.

DMA 4A

Η εφαρμογή της σταδιακής μείωσης της πίεσης οδήγησε ομοίως με παραπάνω στους ίδιους λόγους για τους οποίους απορρίφθηκε η χρήση αντλιών.

DMA 4K

Η εφαρμογή της σταδιακής μείωσης της πίεσης οδήγησε στην δυνατότητα εφαρμογής δύο booster σε συνδυασμό με τον υδραυλικό αποκλεισμό των κατάντη περιοχών των αντλιών. Ο αποκλεισμός οφείλεται στο γεγονός ότι αν μετά την ανόρθωση της πίεσης υπάρχει έξοδος εκτόνωσης αυτής τότε δεν υπάρχει αύξηση της πίεσης στην ζητούμενη περιοχή. Παρακάτω στον πίνακα 7.2 παρουσιάζεται στο πέρασμα των μηνών η ποσοστιαία μείωση του εισερχόμενου νερού που οφείλεται στη χρήση των αντλιών.

DMA 1K

Η εφαρμογή της σταδιακής μείωσης της πίεσης οδήγησε στην δυνατότητα εφαρμογής τριών booster σε συνδυασμό (όπως εξηγήθηκε παραπάνω) με τον υδραυλικό αποκλεισμό των κατάντη περιοχών των αντλιών. Στον πίνακα 7.2 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα αυτών στην υποζώνη 1K επίσης.

| | | Μήνες | | | | | |
|-----------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Ιαν | Φεβρ | Μαρ | Απρ | Μαϊ | Ιουν |
| DMA | M | 20.18 | 20.14 | 20.44 | 20.12 | 20.41 | 19.96 |
| | 4A | 21.14 | 21.10 | 21.47 | 21.13 | 21.49 | 21.04 |
| | 4K | 28.75 | 28.74 | 29.03 | 28.76 | 28.96 | 28.57 |
| | 5 | 31.07 | 31.05 | 31.33 | 31.09 | 31.30 | 30.98 |
| | 1K | 27.27 | 27.24 | 27.49 | 26.81 | 27.11 | 26.75 |
| Μέση τιμή | | 25.68 | 25.66 | 25.95 | 25.58 | 25.85 | 25.46 |
| | | Ιουλ | Αυγ | Σεπ | Οκτ | Νοε | Δεκ |
| DMA | M | 19.94 | 20.33 | 20.24 | 20.53 | 20.64 | 20.44 |
| | 4A | 21.13 | 21.42 | 21.47 | 21.70 | 21.85 | 21.57 |
| | 4K | 28.59 | 28.90 | 29.26 | 29.17 | 29.61 | 29.19 |
| | 5 | 30.98 | 31.21 | 31.35 | 31.57 | 31.66 | 31.49 |
| | 1K | 26.64 | 27.06 | 26.91 | 27.23 | 27.33 | 27.14 |
| Μέση τιμή | | 25.45 | 25.78 | 25.84 | 26.04 | 26.21 | 25.97 |

Πίνακας 7.2: Παρουσίαση ποσοστιαίων μειώσεων του εισερχόμενου νερού στις υποζώνες ανά μήνα για τη 3^η ομάδα σεναρίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

8.1 Κόστος Υλοποίησης

Η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού συνάδει άμεσα με την επιλογή των πιο αποδοτικών και οικονομικών σεναρίων για την Δ.Ε.Υ.Α. Κοζάνης. Γίνεται μία εμπειριστατωμένη μελέτη της τελικής σχέσης οφέλους - κόστους όπου, πλέον, το όφελος περιλαμβάνει την εξοικονόμηση νερού καθώς και μία γενικότερη εκτίμηση για τα πλεονεκτήματα από την πτώση της πίεσης, ενώ το κόστος περιλαμβάνει τις απαιτούμενες επενδύσεις για την απόκτηση του απαραίτητου εξοπλισμού (PRV fixed outlet, PRV modulated, Booster νερού) και την πρόσθετη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και γενικά θεωρείται προφανές ότι η μέγιστη εξοικονόμηση νερού κατέχει τον πρωτεύοντα ρόλο στην επιλογή σεναρίου, καθώς εκεί αποτυπώνεται τόσο το άμεσο κέρδος όσο και μία περιβαλλοντική σκοπιά του όλου εγχειρήματος, μέσω της έκφρασης του περιβαλλοντικού κόστους και του κόστους ευκαιρίας των υδατικών πόρων, δεν πρέπει να ξεχνούμε πως οι εταιρίες ύδρευσης δεν έχουν απεριόριστα χρήματα προς δαπάνη ανά πάσα στιγμή καθώς επίσης ο μέγιστος έλεγχος της πίεσης οδηγεί και στη μείωση του ανταποδοτικού νερού. (όπως έχουμε παραδεχθεί η κατανάλωση είναι 30% εξαρτώμενη από την πίεση) Κάτι τέτοιο ίσως να μην ωφελεί τη λειτουργία της επιχείρησης.

64

Το κόστος υλοποίησης συνδέεται άμεσα με τις τιμές που χρησιμοποιούνται στην έκφραση οφέλους-κόστους, οι οποίες έχουν προκύψει είτε ύστερα από συνεννόηση με τη Δ.Ε.Υ.Α. Κοζάνης είτε έχουν χρησιμοποιηθεί ενδεικτικές τιμές που αναφέρονται στο διαδίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή άντλησης του νερού από γεωτρήσεις ή η παραλαβή αυτού από πηγές, λήφθηκε ως 1€/m³ και περιλαμβάνει μία ενδεικτική τιμή του συνολικού κόστους του νερού (full water cost). Η τιμή της kWh που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία των booster αναφέρεται στην μεσαία κλίμακα του οικιακού τιμολογίου 0,1036€/kWh, όπου περιλαμβάνεται μόνο το καθαρό κόστος του ρεύματος συμπεριλαμβανομένου και του ειδικού τέλους μείωσης εκπομπών αέριων ρύπων. Τα κόστη απόκτησης του επιπρόσθετου εξοπλισμού προκύπτουν με βάση την ονομαστική διάμετρο των αγωγών στους οποίους εφαρμόζονται και παρουσιάζονται ενδεικτικά στον πίνακα 7.1.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται αναλυτικά οι εξοπλιστικές και λειτουργικές δαπάνες που απαιτούνται για κάθε ομάδα σεναρίων.

| | πλήθος | PRVs | κόστος αγοράς | κόστος λειτουρ |
|---------------------|--------|----------------|--------------------|----------------|
| 1η ομάδα σεναρίων | | | | |
| DMA M | 1 | fixed 350mm | € 10,000.00 | - |
| DMA 5 | 1 | fixed 250mm | € 6,000.00 | - |
| DMA 4A | 1 | fixed 250mm | € 6,000.00 | - |
| DMA 4K | 1 | fixed 200mm | € 3,750.00 | - |
| DMA 1K | 1 | fixed 160mm | € 2,400.00 | - |
| Σύνολο μερικό | | | € 28,150.00 | |
| Σύνολο ολικό | | | € 28,150.00 | |

Πίνακας 8.1: Παρουσίαση κόστους για 1^η ομάδα σεναρίων

| | πλήθος | PRVs | κόστος αγοράς | κόστος λειτουρ |
|---------------------|--------|----------------|--------------------|----------------|
| 2η ομάδα σεναρίων | | | | |
| DMA M | 1 | (24h) 350mm | € 29,000.00 | - |
| DMA 5 | 1 | (24h) 250mm | € 18,250.00 | - |
| DMA 4A | 1 | (24h) 250mm | € 18,250.00 | - |
| DMA 4K | 1 | (24h) 200mm | € 11,250.00 | - |
| DMA 1K | 1 | (24h) 160mm | € 9,500.00 | - |
| Σύνολο μερικό | | | € 86,250.00 | |
| Σύνολο ολικό | | | € 86,250.00 | |

Πίνακας 8.2: Παρουσίαση κόστους για 2^η ομάδα σεναρίων

Για την τρίτη ομάδα σεναρίων προσθέτουμε το κόστος των boosters που αφορά την απόκτηση αλλά και την λειτουργία τους ετησίως.

Διπλωματική Εργασία: «Μείωση των απωλειών νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης με διαμόρφωση Στεγανών Υποζωνών (District Metered Areas-DMAs) για την αποτελεσματικότερη διαχείρισης της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης»

Η τιμή κτήσης που χρησιμοποιήθηκε στον υπολογισμό του κόστους των *boosters*, 500 ευρώ για μικρής διαμέτρου αγωγούς 1000 ευρώ για μεσαίους αγωγούς και 2000 για κεντρικούς αγωγούς, προέκυψε ως ενδεικτική τιμή έρευνας αγοράς, που σε κανονικές συνθήκες διαφέρει από την πραγματική καθώς εξαρτάται από τον τύπο, τα ειδικά χαρακτηριστικά και την μάρκα των *boosters*.

| | πλήθος | boosters | κόστος αγοράς | ετήσιο κόστος λειτουρ |
|---------------------|--------|----------|---------------|-----------------------|
| 3η ομάδα σεναρίων | | | | |
| DMA M | - | - | - | - |
| DMA 5 | - | - | - | - |
| DMA 4A | - | - | - | - |
| DMA 4K | 1 | 63mm | € 500.00 | € 109.50 |
| | 1 | 100mm | € 1,000.00 | € 152.00 |
| DMA 1K | 1 | 200mm | € 2,000.00 | € 230.00 |
| | 2 | 63mm | € 500.00 | € 109.50 |
| Σύνολο μερικό | | | € 4,500.00 | € 601.00 |
| Σύνολο ολικό | | | € | 5,101.00 |

Πίνακας 8.3: Παρουσίαση κόστους των αντλιών για την 3^η ομάδα σεναρίων

Άρα συνολικά για την 3^η ομάδα σεναρίων θα έχουμε κόστος 91,351.00€

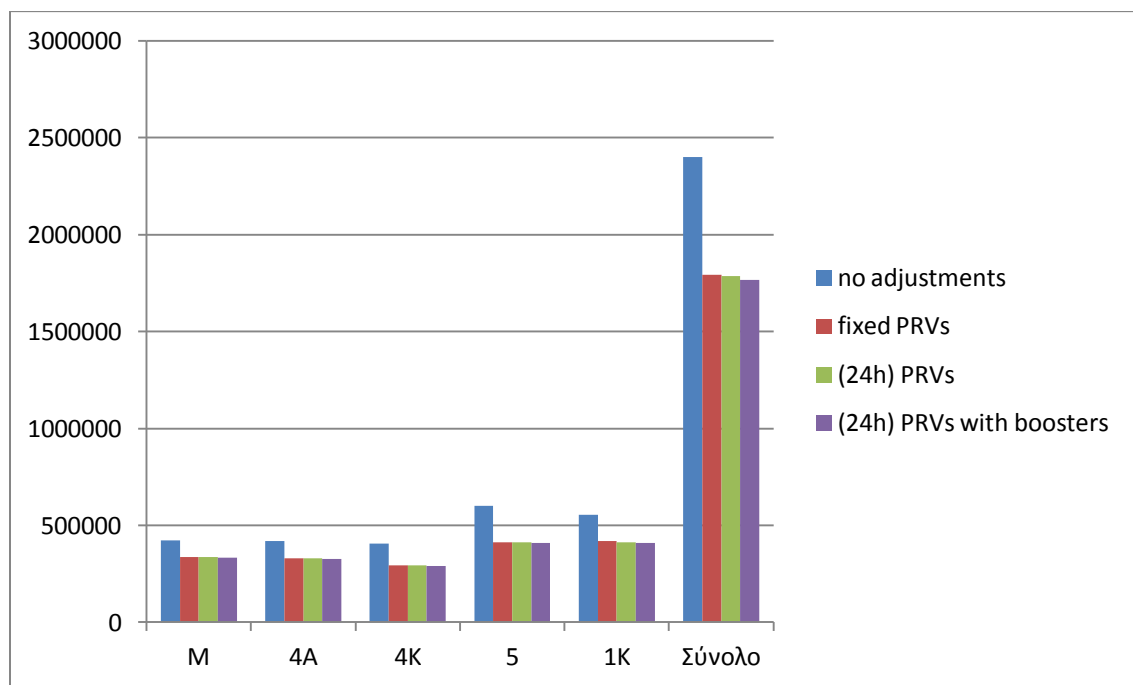
8.2 Οικονομικά οφέλη

Μειώνοντας την πίεση καθώς εφαρμόζουμε κάθε μία από τις τρεις ομάδες σεναρίων, έχουμε μία μείωση του εισερχόμενου νερού στην ομάδα υποζωνών που εξετάζουμε. Για να έχουμε μία ολοκληρωμένη εικόνα για την πρώτη ομάδα υποζωνών πρέπει να αθροίσουμε την εικόνα σε επίπεδο έτους. Έτσι θα δούμε για κάθε DMA πόσο νερό εξοικονομήθηκε και την χρηματική αντιστοιχία αυτού. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζουμε την ετήσια κατανάλωση που προϋπήρχε πριν γίνει οποιαδήποτε παρέμβαση στο δίκτυο και πως αυτή άλλαξε με την εφαρμογή κάθε σεναρίου.

| Ετήσιες Καταναλώσεις (m ³) | | | | | |
|--|----|------------------|------------------|------------------|------------------------|
| | | Καμία παρέμβαση | fixed PRVs | (24h) PRVs | (24h) PRVs με boosters |
| DMA | M | 421455.9 | 336179.1 | 335977.8 | 332618.022 |
| | 4A | 417957.6 | 328865.7 | 328647 | 325360.53 |
| | 4K | 405238.2 | 295101.3 | 293890.2 | 290951.298 |
| | 5 | 600612.3 | 413146.8 | 412911 | 408781.89 |
| | 1K | 555124.2 | 417750 | 413472.6 | 409337.874 |
| Σύνολο | | 2400388.2 | 1791042.9 | 1784898.6 | 1767049.614 |

67

Πίνακας 8.4: Παρουσίαση των ετησίως καταναλισκόμενων κυβικών μέτρων νερού για κάθε σενάριο



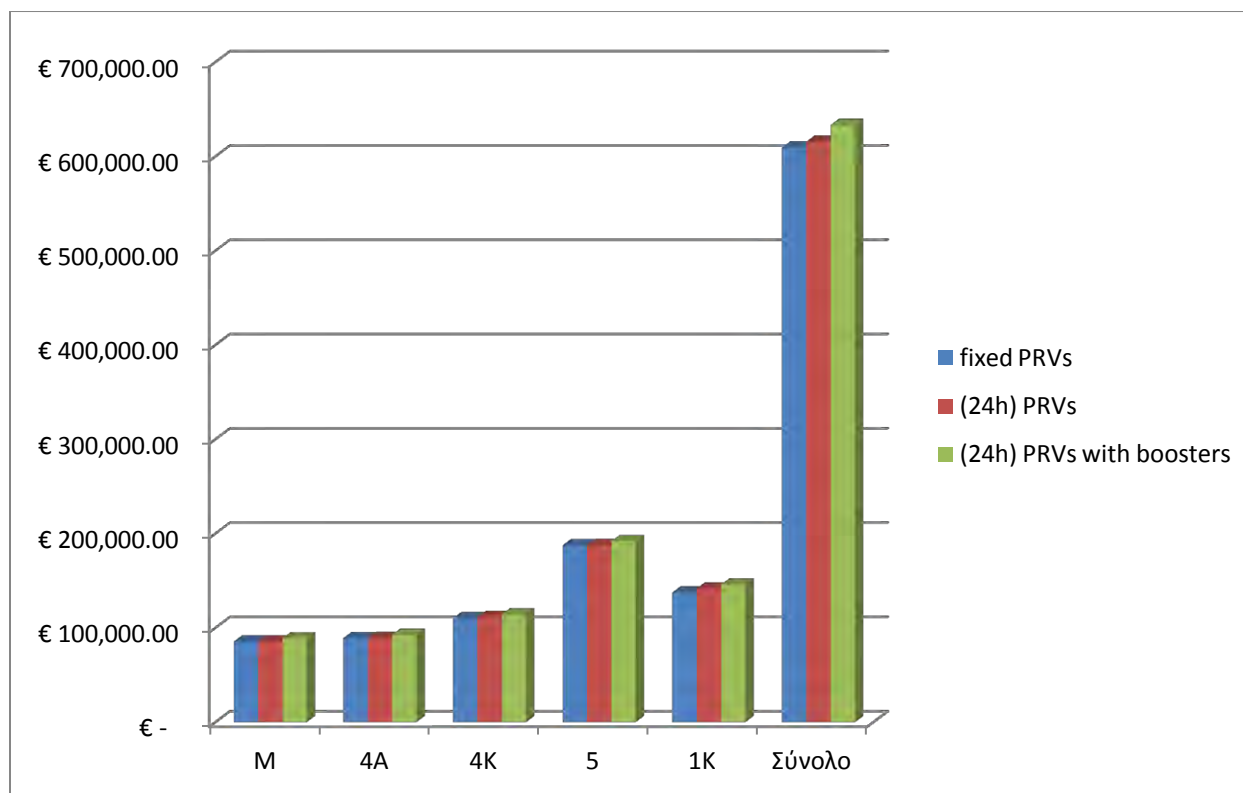
Γράφημα 8.1: Διαγραμματική παρουσίαση του πίνακα 8.4

Διπλωματική Εργασία: «Μείωση των απωλειών νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης με διαμόρφωση Στεγανών Υποζωνών (District Metered Areas-DMAs) για την αποτελεσματικότερη διαχείρισης της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης»

Παραπάνω θεωρήσαμε ότι το κόστος άντλησης από γεώτρηση ή δέσμευσης από πηγή ενός κυβικού νερού είναι 1 €. Οπότε μπορούμε να υπολογίσουμε το οικονομικό όφελος του κάθε σεναρίου απλά υπολογίζοντας το νερό που δεν εισέρχεται πλέον στο δίκτυο, άρα και δεν αντλείται ή δεσμεύεται.

| | | Μείωση Κόστους = κέρδος | | |
|---------------|----|-------------------------|--------------------|--------------------------|
| | | fixed PRVs | (24h) PRVs | (24h) PRVs with boosters |
| DMA | M | € 2,842.56 | € 2,849.27 | € 2,961.26 |
| | 4A | € 2,969.73 | € 2,977.02 | € 3,086.57 |
| | 4K | € 3,671.23 | € 3,711.60 | € 3,809.56 |
| | 5 | € 6,248.85 | € 6,256.71 | € 6,394.35 |
| | 1K | € 4,579.14 | € 4,721.72 | € 4,859.54 |
| Σύνολο | | € 20,311.51 | € 20,516.32 | € 21,111.29 |

Πίνακας 8.5: Παρουσίαση των ετήσιων κερδών για κάθε ομάδα σεναρίων



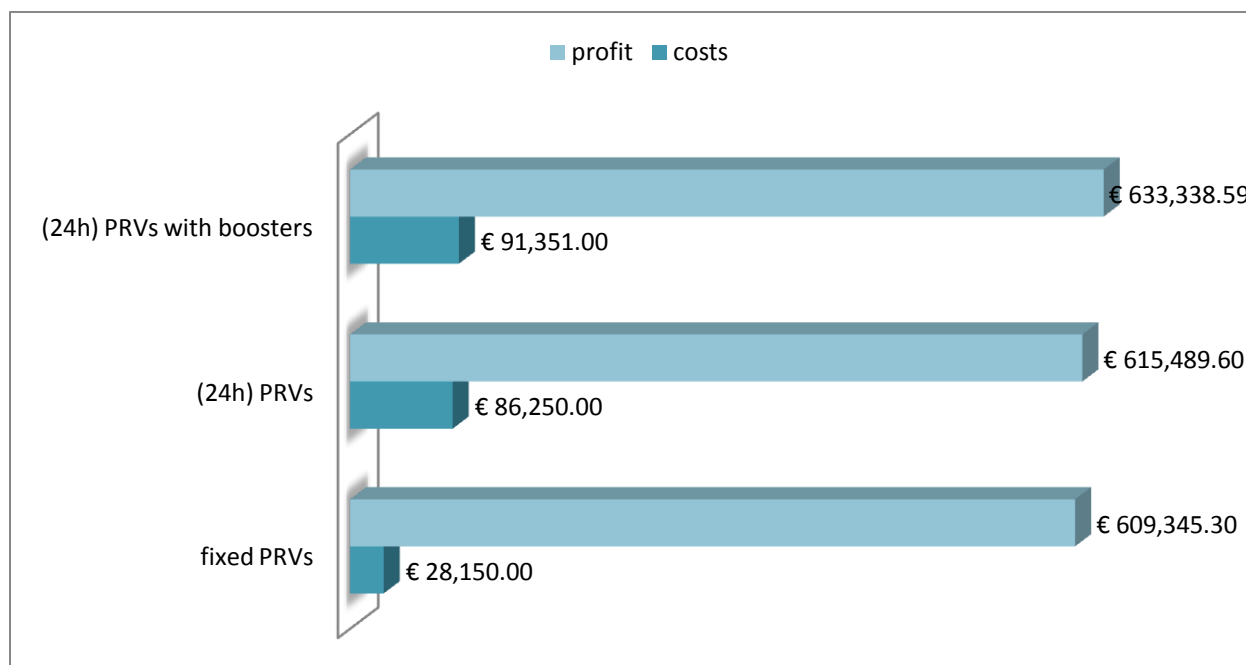
Γράφημα 8.2: Διαγραμματική παρουσίαση του πίνακα 8.5

8.3 Επιλογή Βέλτιστου Σεναρίου

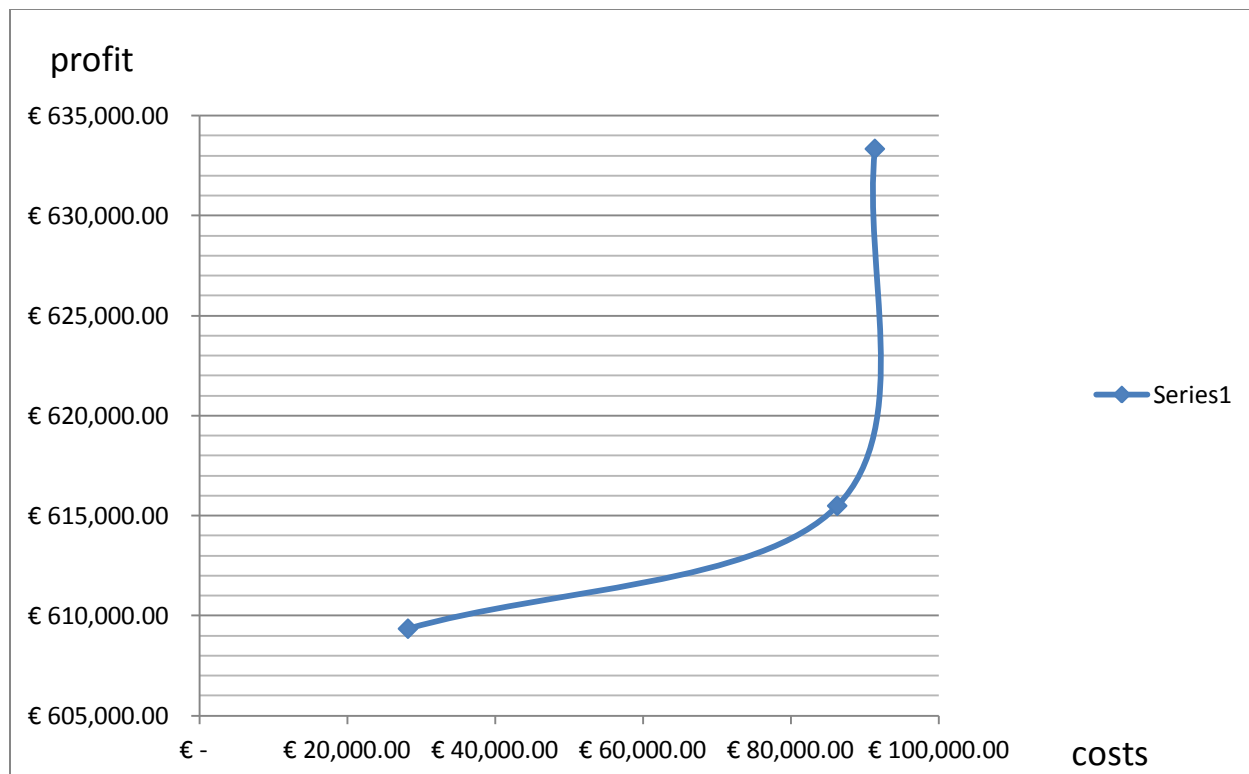
Για να επιλεγθεί το βέλτιστο σενάριο που θα εφαρμοστεί για τη διαχείριση της πίεσης στο δίκτυο της Δ.Ε.Υ.Α. Κοζάνης πρέπει να συγκριθεί το κόστος εφαρμογής-υλοποίησης του κάθε ένα με τα οφέλη που προσφέρει. Σαφώς θα ληφθεί υπόψη και το περιβαλλοντικό όφελος αλλά θα κριθεί και το οικονομικό όφελος της κάθε περίπτωσης. Παρακάτω στον πίνακα 8.6 παρουσιάζονται τα συγκεκρωτικά κόστη και οφέλη της κάθε ομάδας σεναρίων.

| | fixed PRVs | (24h) PRVs | (24h) PRVs with boosters |
|--------|--------------|--------------|--------------------------|
| costs | € 28,150.00 | € 86,250.00 | € 91,351.00 |
| profit | € 609,345.30 | € 615,489.60 | € 633,338.59 |

Πίνακας 8.6: Παρουσίαση των ολικών ετήσιων κερδών και δαπανών για κάθε ομάδα σεναρίων



Γράφημα 8.3: Διαγραμματική παρουσίαση του πίνακα 8.6



Γράφημα 8.4: Διαγραμματική παρουσίαση της σχέσης κόστους-κέρδους

Παρατηρώντας τα παραπάνω μπορεί κανείς να αντιληφθεί πως αν και με την 3^η ομάδα σεναρίων εξοικονομούμε περισσότερο νερό σε σχέση με κάθε άλλη μέθοδο, το κόστος εφαρμογής κυρίως των 24h modulated PRVs είναι πολύ μεγαλύτερο (πάνω από 4 φορές) από το κόστος εφαρμογής βαλβίδων τύπου fixed.

Συνοψίζοντας, επιλέγουμε να εφαρμόσουμε την 1^η ομάδα σεναρίων (fixed PRVs) για την πρώτη ομάδα υποζωνών που μελετήσαμε αναλυτικά παραπάνω. Ας θυμίσουμε πως η διαφορά της εξοικονόμησης νερού μεταξύ των διαφορετικών σεναρίων είναι πολύ μικρή και όχι άξια να δαπανήσουμε 4 φορές περισσότερα χρήματα με προοπτική απόσβεσης πάνω από 3 χρόνια, για να γλυτώσουμε 0.5% περισσότερο νερό από την 1^η ομάδα σεναρίων.

8.4 Αποτελέσματα Βέλτιστου Σεναρίου (στη διαχείριση της πίεσης)

| loses without dma composition | | | |
|-------------------------------|---------|---------|---------|
| average DMA Pressure data kPa | | | |
| | max | mean | min |
| M | 655.616 | 574.210 | 481.066 |
| 4A | 621.891 | 550.226 | 475.675 |
| 4K | 782.766 | 661.727 | 588.566 |
| 5 | 766.95 | 704.668 | 641.175 |
| 1K | 963.25 | 707.942 | 624.408 |

Πίνακας 8.7: Παρουσίαση των μέσων ετήσιων πιέσεων για τα χαρακτηριστικά σημεία της κάθε υποζώνης χωρίς οποιαδήποτε παρέμβαση στο δίκτυο

| PRV fixed | | | |
|-------------------------------|---------|---------|---------|
| average DMA Pressure data kPa | | | |
| | max | mean | min |
| M | 404.741 | 298.15 | 201.3 |
| 4A | 336.45 | 270.558 | 200.15 |
| 4K | 411.533 | 292.05 | 218.55 |
| 5 | 343.116 | 273.508 | 213.891 |
| 1K | 548.408 | 288.268 | 209.116 |

Πίνακας 8.8: Παρουσίαση των μέσων ετήσιων πιέσεων για τα χαρακτηριστικά σημεία της κάθε υποζώνης μετά την εφαρμογή του 1^{ου} σεναρίου

| PRV fixed | | | |
|--------------------------|--------|--------|--------|
| % DMA Pressure reduction | | | |
| | max | mean | min |
| M | 38.265 | 48.071 | 58.571 |
| 4A | 45.898 | 50.827 | 58.343 |
| 4K | 47.425 | 55.865 | 62.867 |
| 5 | 55.262 | 61.186 | 66.640 |
| 1K | 43.066 | 59.280 | 66.509 |

Πίνακας 8.9: Παρουσίαση της ποσοστιαίας μείωσης της πίεσης

Διπλωματική Εργασία: «Μείωση των απωλειών νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης με διαμόρφωση Στεγανών Υποζωνών (District Metered Areas-DMAs) για την αποτελεσματικότερη διαχείρισης της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης»

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

9.1 Σχολιασμός Μεθόδου και Αποτελεσμάτων

Η παραπάνω μελέτη αναπτύσσεται στο παράδειγμα της πρώτης ομάδας υποζωνών η οποία κρίθηκε ως η καταλληλότερη για αυτό το σκοπό λόγω της ποικιλίας σε απαιτήσεις και περιορισμούς. Η μελέτη όμως πραγματοποιήθηκε ομοίως και για τις υπόλοιπες ομάδες εφαρμόζοντας όλα τα πιθανά σενάρια ακριβώς με την ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε και στην 1^η.

Κύριο μέλημα της παρούσας εργασίας αποτελεί η εξαγωγή χρήσιμων και τεκμηριωμένων αποτελεσμάτων έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησής τους από την ΔΕΥΑΚοζάνης Για το σκοπό αυτό, έχει γίνει μία προσπάθεια προσομοίωσης ενός μεγάλου αριθμού σεναρίων για κάθε μήνα με κριτήρια τον εξοπλισμό που απαιτείται για την επίτευξη του κύριου στόχου. Επίσης 2^ο στόχος είναι η δημιουργία ενός λειτουργικού μικρότερου αλλά όμοιου μοντέλου του δικτύου της πόλης της Κοζάνης με προγραμματισμένα όλα τα πιθανά σενάρια, το οποίο θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξάγει ασφαλή αποτελέσματα.

72

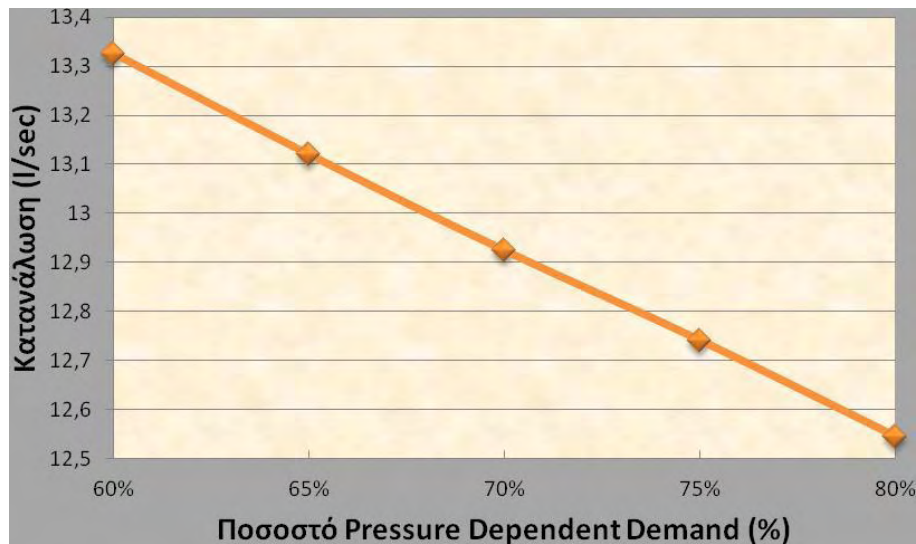
Ο κύριος περιορισμός κατά την προσομοίωση στο watercad ήταν το γεγονός ότι δεν ήταν εφικτή η εξαγωγή δύο ομάδων αποτελεσμάτων που προέρχονται από δύο διαφορετικά είδη κατανάλωσης, της οικιακής ζήτησης και των απωλειών. Επιπλέον, η εισαγωγή των συναρτήσεων των *pressure dependent demand* δεν μπορούν να αντιστοιχηθούν αποκλειστικά σε κάθε υδραυλικό pattern, οπότε εισήχθηκε μία συνάρτηση που αντιπροσωπεύει το σύνολο των επί μέρους αναλύσεων. Συνεπώς, ενώ γνωρίζουμε επακριβώς τις αρχικές τιμές που αντιστοιχούν στην ζήτηση και τις απώλειες κάθε κόμβου, οι τελικές τιμές μετά την εφαρμογή της μεθόδου αποτελούν το άθροισμα της συνολικής κατανάλωσης χωρίς εμφανή διαχωρισμό.

Επιπρόσθετα, οι απώλειες έχουν κοινό υδραυλικό pattern, χωρίς να έχει γίνει κάποιος διαχωρισμός σύμφωνα με αυτόν που ενδείκνυται από το πρότυπο υδατικό ισοζύγιο του IWA.

9.2 Μελέτη της Ευαισθησίας του Μοντέλου στην Παραδοχή του Ποσοστού της Pressure Dependent Demand

Η κυριότερη παραδοχή που έγινε και πάνω στην οποία βασίζεται η προσομοίωση του δικτύου και τα εξαγόμενα αποτελέσματα αφορά το διαχωρισμό της κατανάλωσης σε Pressure Dependent Demand και Volume Dependent Demand. Πιο συγκεκριμένα, το ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης που επηρεάζεται από την πίεση λήφθηκε ως 70%, όπως προέκυψε από την ανάλυση που παρουσιάζεται σε παραπάνω ενότητα. Σκοπός της παρούσας υποενότητας είναι η μελέτη ευαισθησίας του μοντέλου σε περίπτωση που το ποσοστό αυτό διαφοροποιηθεί στην πραγματικότητα.

Σαν βασικό σενάριο για την ανάλυση θεωρήθηκε αυτό το οποίο αντιστοιχεί στην DMA 5 με 24h Modulating PRVs για το μήνα Αύγουστο. Αλλάζοντας το ποσοστό των PDD από 60% έως 80% με βήμα 5% προέκυψαν 4 επιπρόσθετα σενάρια και μετρήθηκε η συνολική κατανάλωση της DMA 5 για το καθένα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Γράφημα 9.1



Γράφημα 9.1: Μελέτη της ευαισθησίας του μοντέλου στα ποσοστά των PDD με βήμα 5%

Όπως φαίνεται και στο γράφημα οι αποκλίσεις της κατανάλωσης από το βασικό σενάριο (PDD=70%) κυμαίνονται από 1.4% έως 3.1% ανάλογα με ποσοστό της PDD. Ωστόσο, τα ποσοστά αυτά διευρυμένα σε όλες τις DMAs και σε ετήσια βάση επιφέρουν σημαντικές διαφορές στα υπολογιζόμενα κέρδη και απαιτούν εκ νέου υπολογισμούς.

9.3 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, δηλαδή μία επέκταση των τελευταίων επιπρόσθετων σεναρίων σε όλο το δίκτυο. Τα εξαγόμενα συμπεράσματα θα κυμαίνονταν στα ίδια πλαίσια με την παρούσα έρευνα αλλά θα προσέγγιζαν ακόμη περισσότερο την πραγματική κατάσταση.

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

Ακόμη, είναι δυνατός ο υπολογισμός σημαντικών στοιχείων για τη λειτουργία των *boosters* και άλλων αντλιοστατικών συστημάτων, που αφορούν για παράδειγμα στην κατανάλωση ενέργειας. Επιπρόσθετα, θα μπορούσαν να εκφραστούν οι καταναλώσεις με δύο ή παραπάνω διαφορετικά ποσοστά ως *pressure dependent* είτε με τη χρήση κάποιας μελλοντικής βελτιωμένης εκδοχής του *Watercad* είτε με τη χρήση κάποιου άλλου λογισμικού.

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. Παρόμοιες προσπάθειες έχουν γίνει με τη χρήση γενετικών αλγόριθμων αν και η έρευνα σε αυτό το επίπεδο βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο, ενώ παράλληλα η εφαρμογή μίας τέτοιου τύπου ανάλυσης θεωρείται χρονοβόρα. Επιπλέον, στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται η χρήση τους κυρίως όταν ο παρεχόμενος εξοπλισμός αποτελείται από Flow Modulating PRV, δηλαδή τον τρίτο τύπο PRV που δεν χρησιμοποιήθηκε στα σενάκια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΑΝΑΓΩΓΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΟΛΟ ΔΙΚΤΥΟ

10.1 Συγκεντρωτικά οφέλη και κόστη υλοποίησης

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία πρέπει να παρουσιάσουμε τα τελικά συμπεράσματα από την εφαρμογή του σεναρίου που επιλέχθηκε σε όλο το δίκτυο. Πρέπει να αναφέρουμε πως τα αποτελέσματα παρακάτω προέρχονται από την εφαρμογή των σεναρίων στο μοντέλο από το πρόγραμμα Watercad. Η εφαρμογή των σεναρίων έγινε για τις 4 ομάδες υποζωνών που αποτελούν και το μεγαλύτερο κομμάτι του δικτύου. Για τις DMAs (8, 9, 14A, 17-16, 15A, 15K, 16, 18, 19) δεν εφαρμόστηκαν τα σενάκια λόγω του φόρτου εργασίας. Όπως αναφέραμε όμως δεν έχουν σημαντικές καταναλώσεις και άρα έχουν μικρό αποτύπωμα στο όλο δίκτυο.

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες με τα συνολικά οφέλη και κόστη.

75

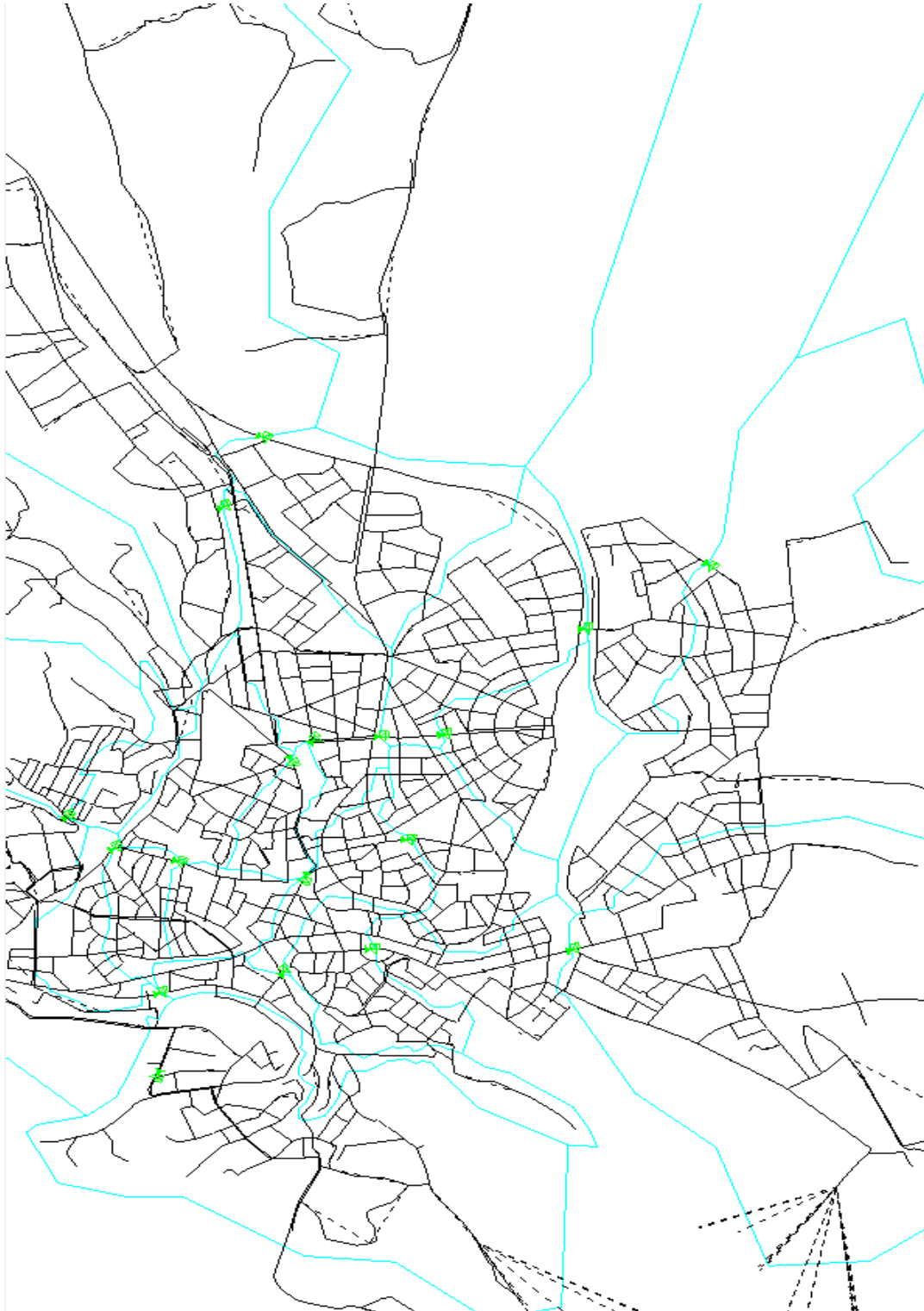
| DMA | δεδομένα in m ³ | | | |
|---------------|----------------------------|------------------|------------------|-----------------------|
| | no adjustments | fixed PRVs | reduction | profit |
| M | 421455.9 | 336179.1 | 85276.8 | € 85,276.80 |
| 4A | 417957.6 | 328865.7 | 89091.9 | € 89,091.90 |
| 4K | 405238.2 | 295101.3 | 110136.9 | € 110,136.90 |
| 5 | 600612.3 | 413146.8 | 187465.5 | € 187,465.50 |
| 1K | 555124.2 | 417750 | 137374.2 | € 137,374.20 |
| 13 | 295254 | 221583.6 | 73670.4 | € 73,670.40 |
| 3K | 200401.2 | 141084 | 59317.2 | € 59,317.20 |
| 2K | 393202.8 | 287712 | 105490.8 | € 105,490.80 |
| 12 | 616695.84 | 545148.36 | 71547.48 | € 71,547.48 |
| 7 | 342741.24 | 248987.88 | 93753.36 | € 93,753.36 |
| 6 | 275258.88 | 191319.48 | 83939.4 | € 83,939.40 |
| 14K | 142969.68 | 117939.24 | 25030.44 | € 25,030.44 |
| 11A | 277581.24 | 256619.52 | 20961.72 | € 20,961.72 |
| 11K | 161471.52 | 131382.72 | 30088.8 | € 30,088.80 |
| 10 | 312003.72 | 277981.2 | 34022.52 | € 34,022.52 |
| Σύνολο | 5417968.32 | 4210800.9 | 1207167.4 | € 1,207,167.42 |

Πίνακας 10.1: Παρουσίαση του ετήσιου οικονομικού οφέλους για τις 4 ομάδες

Διπλωματική Εργασία: «Μείωση των απωλειών νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης με διαμόρφωση Στεγανών Υποζωνών (District Metered Areas-DMAs) για την αποτελεσματικότερη διαχείρισης της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης»

| DMA | PRV | κόστος αγοράς |
|---------------|----------------|--------------------|
| M | fixed 350mm | € 10,000.00 |
| 4A | fixed 250mm | € 6,000.00 |
| 4K | fixed 250mm | € 6,000.00 |
| 5 | fixed 200mm | € 3,750.00 |
| 1K | fixed 160mm | € 2,400.00 |
| 13 | fixed 160mm | € 2,400.00 |
| 3K | fixed 160mm | € 2,400.00 |
| 2K | fixed 200mm | € 3,750.00 |
| 12 | fixed 350mm | € 10,000.00 |
| 7 | fixed 200mm | € 3,750.00 |
| 6 | fixed 200mm | € 3,750.00 |
| 14K | fixed 160mm | € 2,400.00 |
| 11A | | |
| 11K | fixed 200mm | € 3,750.00 |
| 10 | fixed 150mm | € 2,150.00 |
| Σύνολο | | € 62,500.00 |

Πίνακας 10.2: Παρουσίαση του ετήσιου οικονομικού κόστους (κόστος αγοράς) για κάθε υποζώνη των 4ων ομάδων, και συνολικά.



Γράφημα 10.1: Οι θέσεις των fixed PRV στο δίκτυο

Διπλωματική Εργασία: «Μείωση των απωλειών νερού σε αστικά δίκτυα ύδρευσης με διαμόρφωση Στεγανών Υποζωνών (District Metered Areas-DMAs) για την αποτελεσματικότερη διαχείρισης της πίεσης: η περίπτωση της πόλης της Κοζάνης»

10.2 Μία σημαντική παρατήρηση

Προτού προχωρήσουμε παρακάτω στον ορισμό του κέρδους ετησίως της επιχείρησης από τη παραπάνω διαδικασία ελέγχου της πίεσης πρέπει να **παρατηρήσουμε** το εξής:

Κατά την όποια απόπειρα ελέγχου της πίεσης ενός δικτύου, όπως έχουμε παραδεχθεί, επηρεάζουμε κατά ένα μέρος τις απώλειες, οι οποίες εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από την πίεση, και ένα άλλο την κατανάλωση που είναι κατά μέρος της εξαρτώμενη από την πίεση. Με την παρούσα ρύθμιση της πίεσης επιτυγχάνεται μείωση του εισερχόμενου νερού στο δίκτυο. Η μείωση αυτή είναι της τάξης του 22.23% συγκεντρωτικά και για τις 4 ομάδες υποζωνών.

Το ενδιαφέρον της παρατήρησης είναι κυρίως οικονομικό και αφορά την όποια εταιρία ύδρευσης (εδώ αφορά τη Δ. Ε. Υ. Α. Κοζάνης). Μέρος του νερού που ελαττώνεται αποτελεί τιμολογούμενο νερό. Ποσότητα που μεν εξοικονομείται από τις πηγές-γεωτρήσεις αφαιρείται και από τα τιμολόγια των καταναλωτών αφού καταναλώνουν πλέον μικρότερη ποσότητα νερού. Με αποτέλεσμα να μειώνονται και τα έσοδα της επιχείρησης πέρα από τη μείωση των λειτουργικών της εξόδων. Παρακάτω λοιπόν θα παραχωρηθεί η ποσοτικοποίηση αυτής της μείωσης των εσόδων που μερικές φορές θα μπορούσε να επηρεάσει την λήψη αποφάσεων γύρω από την εφαρμογή πλάνου ρύθμισης της πίεσης ενός δικτύου.

Ας θυμηθούμε ότι το μη τιμολογούμενο νερό (απώλειες) είναι το 60% περίπου του εισερχόμενου νερού. Η εξάρτηση της κατανάλωσης από την πίεση που ρυθμίσαμε είναι 30% ενώ η εξάρτηση των απωλειών είναι 100%. (όπως έχουμε παραδεχθεί και παραπάνω.

78

| | | |
|------------------|----------|------|
| εισερχόμενο νερό | | |
| 100% | | |
| τιμολογούμενο | μή τιμολ | |
| 40% | 60% | |
| PD | NPD | PD |
| 30% | 70% | 100% |

Πίνακας 10.3: Ανάλυση του εισερχόμενου νερού

Άρα από την ποσότητα νερού που εισέρχεται στο δίκτυο μόλις το 12% εκπροσωπεί την εξαρτώμενη από την πίεση κατανάλωση ενώ έχω και το 28% του εισερχόμενου που εκπροσωπεί την κατανάλωση που είναι ανεξάρτητη της πίεσης. Με την εφαρμογή του πρώτου σεναρίου πετύχαμε 22.23% μείωση του εισερχόμενου νερού, μα μόνο το 72% του νερού μπορεί να μειωθεί μειώνοντας την πίεση.

Θεωρώντας τώρα X την ποσότητα του νερού που επηρεάζεται από την πίεση μπορούμε να βρούμε ότι τα $12/72$ του X (**16.67%** X) είναι η εξαρτώμενη κατανάλωση και $60/72$ του X (**83.33%** X) είναι οι απώλειες. Μειώνοντας την πίεση δείξαμε ότι για τις 4 ομάδες υποζωνών

εξοικονομήσαμε 1,207,167.4 κ.μ. νερού, από τα οποία σύμφωνα με τα παραπάνω, τα 201,234.8 κ.μ. είναι τιμολογούμενο νερό και η εταιρία ύδρευσης δεν το πληρώνεται.

Τελικά το νερό που εξοικονομείται από το περιβάλλον είναι το μεγαλύτερο κέρδος της ρύθμισης της πίεσης στα δίκτυα ύδρευσης. Όμως οι εταιρίες διαχείρισης των υδατικών πόρων έχουν να λάβουν υπ' όψιν τους το κόστος εγκατάστασης μίας βελτιώσης (πιεζοθραυστική βαλβίδα), το κόστος λειτουργίας/συντήρησης της, το κέρδος από τη μείωση του απαιτούμενου νερού προς άντληση ή δέσμευση αλλά και τη μείωση των εσόδων από τη μείωση των καταναλώσεων.

| κόστος | | εξοικονόμηση νερού | | καθαρό κέρδος |
|----------------|-------------|--------------------|-------------------|---------------|
| εγκατάστασης | λειτουργίας | γενικό όφελος | μείωση τιμολογίων | |
| € 62,500.00 | - | € 1,207,167.42 | € 201,234.81 | € 943,432.61 |

Πίνακας 10.4: Ετήσιο τελικό κέρδος

Ας μην παραλείψουμε να αναφέρουμε ότι η μείωση των τιμολογίων είναι ζημιά για μια επιχείρηση ύδρευσης αλλά είναι όφελος για τους καταναλωτές. Η κάλυψη της ανάγκης των καταναλωτών για νερό είναι ο άξονας λειτουργίας μίας εταιρίας ύδρευσης και όχι το μέγιστο κέρδος.

Άρα το ετήσιο καθαρό κέρδος για την εφαρμογή του 1^{ου} σεναρίου στις 4 ομάδες υποζωνών υπολογίζεται στα € **943,432.61**.

10.3 Γενικό Συμπέρασμα

Γενικά τα αποτελέσματα που πήραμε είναι άκρως ενθαρρυντικά. Δείξαμε ένα τρόπο μείωσης των λειτουργικών εξόδων και των βλαβών ενός δικτύου που παράλληλα συνδυάζεται και με δραματική μείωση του κόστους άντλησης-δέσμευσης νερού. Μεγάλης σημασίας βήματα για τον εκσυγχρονισμό όλων των δικτύων που εφαρμόζονται με απλή μελέτη και με ελάχιστα (μπροστά στα οφέλη) κόστη.

Από οικονομική πλευρά η γενική τακτική εκτίμησης μίας απόπειρας μείωσης του μη ανταποδοτικού νερού γίνεται ανάποδα. Βρίσκεται βάση του σεναρίου τα χρήματα που χάνονται από τη μείωση του ανταποδοτικού νερού και εκτιμώντας το χρηματικό όφελος επιλέγει κανείς και το ύψος της επένδυσης που θα επιχειρήσει. Αν μιλάμε για μία δημόσια

Ίσως είναι αυτός ο λόγος που ιδιωτικές εταιρίες διαχείρισης υδατικών πόρων και δικτύων ύδρευσης δείχνουν τόσο ενδιαφέρον στην ανάλυση των δικτύων μας; Μήπως η τραγική κατάσταση που βρίσκοντα τα δίκτυά μας με τα έως σήμερα δεδομένα αφήνουν μεγάλα περιθώρια κέρδους για κάποιον ο οποίος θα εφαρμόσει απλές τακτικές; Προς όφελος των καταναλωτών ή όχι;

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Araujo L. S., Ramos H., Coelho S. T. (2005) Pressure Control for Leakage Minimization in Water Distribution Systems Management

Farley M., Liemberger R. (2005) Developing a non-revenue water reduction strategy: planning and implementing the strategy after Science and Technology: Water Supply Vol 5 No 1 pp 41–50 -IWA

Haestad, Walski, T., Chase, D., Savic, D., Grayman, W., Beckwith, S., Koelle E. (2004) Advanced Water Distribution Modeling and Management

Lambert A. (2006) Assessing Non-Revenue Water and its Components: A Practical Approach, THE IWA WATER LOSS TASK FORCE Water 21 - Article No 2

Morrison J. (2004) Managing leakage by District Metered Areas: a practical approach THE IWA WATER LOSS TASK FORCE Water 21

Pilcher R., Dizdar A., Toprak S., De Angelis E., Cem Koc A., Dilsiz C., De Angelis K., Dikbas F., Firat M., Bacanli U. G. (2008) PROWAT: PLANNING AND IMPLEMENTING A NON-REVENUE WATER REDUCTION STRATEGY IMPROVES THE PERFORMANCE OF WATER SUPPLY AND DISTRIBUTION SYSTEMS”

81

PROWAT, Planning and Implementing a Non-Revenue Water Reduction Strategy Improves the Performance of Water Supply and Distribution Systems

Thornton J., Lambert A.. (2006) Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships, Water 21

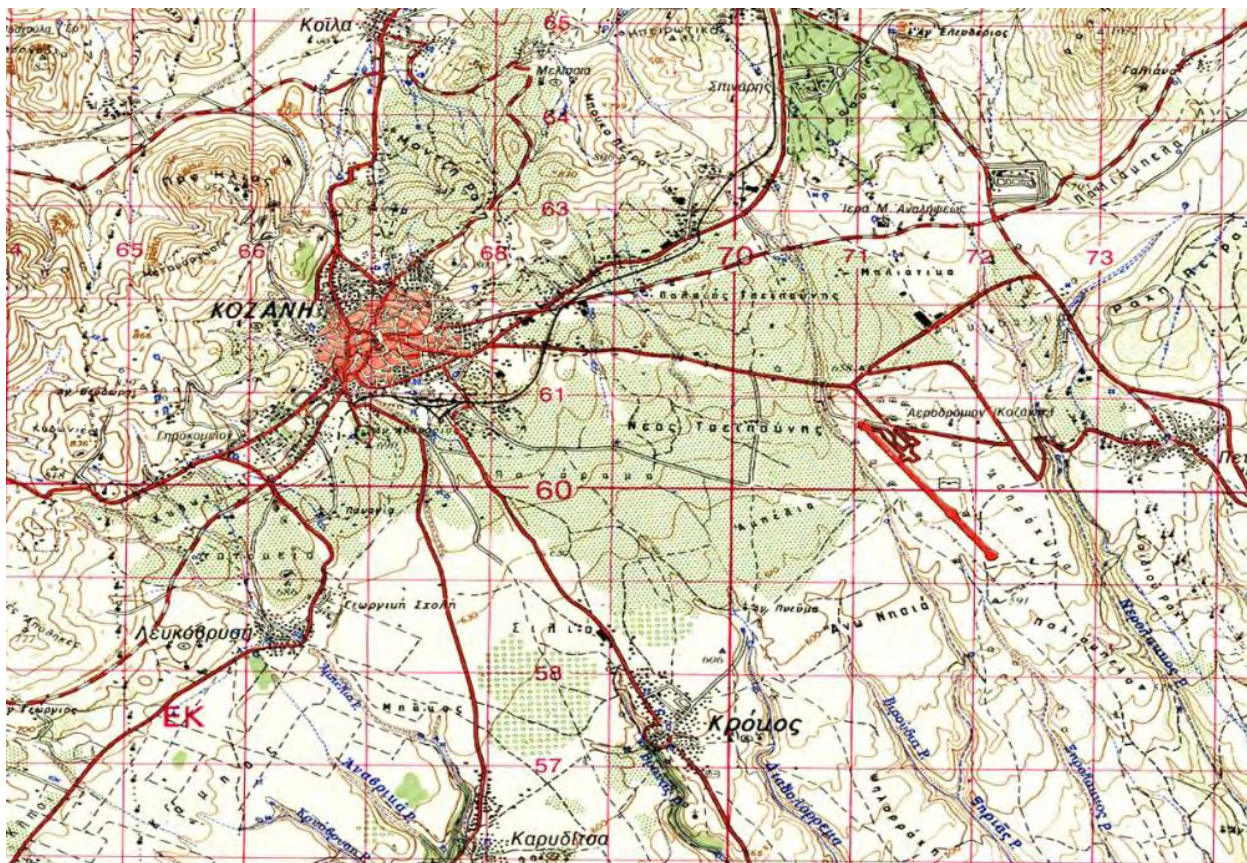
WaterCAD User’s Guide, Waterbury, Connecticut, Haestad Methods (2005).

Yi Wu, Z., Wang, R., Walski, T., Yang, S., Bowdler, D., Baggett, C. (2006) Efficient Pressure Dependent Demand Model for Large Water Distribution System Analysis. Water Distribution System Analysis Symposium, Cincinnati, Ohio.

ΔΕΥΑΚ – Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Κοζάνης

Κανακούδης Β. Τσιτσιφλή Σ. (2009) Ερευνητικό έργο: Προσδιορισμός των δεικτών λειτουργίας του δικτύου ύδρευσης της Δ.Ε.Υ.Α. ΚΩ σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο της IWA

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Χάρτης ΓΥΣ της περιοχής της Κοζάνης και των εξυπηρετούμενων άλλων οικισμών