



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ

ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

**Εκτίμηση Απωλειών Νερού και Διαχείριση Πίεσης
σε Δίκτυα Ύδρευσης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Κίγκας

Επιβλέπων: Γεώργιος Τσακίρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ

ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Εκτίμηση Απωλειών Νερού και Διαχείριση Πίεσης

σε Δίκτυα Ύδρευσης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Κίγκας

Επιβλέπων: Γεώργιος Τσακίρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Όνομα 1

.....
Όνομα 2

.....
Όνομα 3

Αθήνα, Μάρτιος 2017

Στις όμορφες μέρες που έρχονται....

Πρόλογος – Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα των Έργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης, της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κατά το ακαδημαϊκό έτος 2016-2017.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γεώργιο Τσακίρη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με τη ανάθεση διπλωματικής εργασίας σε ένα πολύ ενδιαφέρον αντικείμενο, για την πολύτιμη καθοδήγησή του, καθώς και για την καλλιέργεια ενός κλίματος άψογης συνεργασίας καθ'όλη την διάρκεια της μελέτης.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω, επίσης, στην οικογένεια μου, και ιδιαίτερα στους γονείς μου για τον αγώνα τους να μου προσφέρουν ένα καλύτερο παρόν και μέλλον. Το κουράγιο τους με εμπνέει να προσπαθώ πάντοτε να βελτιώνομαι.

Ακόμη, ευχαριστώ τα συγγενικά μου πρόσωπα, και όλους τους φίλους μου για την συνεχή συμπαράσταση τους και τις αξέχαστες στιγμές που ζήσαμε. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την Maria για τη βοήθεια και τη διαρκή υποστήριξη της καθ'όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τις απώλειες στα δίκτυα διανομής νερού, τις αιτίες τους και τους παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα και την αξία του νερού που χάνεται. Βασικός στόχος είναι να δοθούν κατευθυντήριες γραμμές, μέθοδοι και εργαλεία που στοχεύουν στη μείωση των απωλειών νερού, ιδιαίτερα μέσω της διαχείρισης της πίεσης. Αρχικά, γίνεται κατανοητό γιατί η διαχείριση των αστικών δικτύων ύδρευσης είναι σημαντική. Το νερό θεωρείται πολύτιμο αγαθό το οποίο πρέπει να προστατεύεται, ενώ από την άλλη πλευρά στα δίκτυα διανομής παρατηρούνται μεγάλες απώλειες νερού. Εν συνεχεία, περιγράφεται η τυπική διαδικασία σχεδιασμού και ανάλυσης των δικτύων ύδρευσης, οι σχέσεις υδραυλικής, το μαθηματικό υπόβαθρο για την επίλυση υδραυλικών δικτύων και ο εξοπλισμός τους. Παρουσιάζεται η διαχείριση των απωλειών ενός δικτύου και περιγράφονται αναλυτικά οι έννοιες των πραγματικών και φαινομενικών απωλειών νερού. Προσδιορίζεται ο όγκος και η αξία των απωλειών νερού, οι λόγοι ελάττωσης τους και το βέλτιστο επίπεδο τους. Έπειτα, γίνεται εκτενής αναφορά στο επίπεδο των απωλειών νερού και αναλύονται οι έννοιες της ελάχιστης νυχτερινής παροχής και ελάχιστης νυχτερινής κατανάλωσης. Χωρίς κατάλληλη γνώση των απωλειών είναι αδύνατο να βρεθεί ορθή και αποδοτική λύση μείωσης τους. Η διαχείριση της πίεσης θεωρείται ο πιο αποτελεσματικός τρόπος μείωσης των απωλειών νερού, αφού αποδεδειγμένα οδηγεί στη δραστική μείωση τόσο των διαρροών όσο και των μελλοντικών θραύσεων. Παρουσιάζονται οι μέθοδοι και τα εργαλεία μείωσης των πραγματικών απωλειών μέσω της διαχείρισης της πίεσης. Περιγράφονται τα διαφορετικά σενάρια διαμόρφωσης της πίεσης, περιγράφονται οι έννοιες και οι τύποι των βαλβίδων ρύθμισης πίεσης, των "περιοχών διαχείρισης πίεσης" και γίνεται μελέτη και σχεδιασμός ενός συστήματος διαχείρισης πίεσης. Τέλος, με τη χρήση του λογισμικού WB-Easy Calc. υπολογίζεται ο όγκος και η αξία των απωλειών ενός δικτύου της ΔΕΥΑ και γίνεται περαιτέρω ρύθμιση της πίεσης λειτουργίας του με στόχο να παρατηρήσουμε τα οφέλη που θα επέφερε ένα πρόγραμμα διαχείρισης πίεσης στο δίκτυο.

Abstract

The current diploma thesis deals with the losses in water distribution networks, their causes and the factors that affect the quantity and value of water lost. The main objective is to provide guidelines, methods and tools aimed at reducing water losses, particularly through pressure management. Initially, it is shown why the management of urban water supply networks is important. Water is considered a valuable material which is to be protected, while on the other hand in the distribution networks observed large water losses. Furthermore, we describe the typical process design and analysis of water supply systems, the hydraulic relations, the mathematical foundation for the solution of hydraulic networks and their equipment. We analyse the pressure water management and present the concepts of real and apparent water losses. We determine the volume and value of water losses, their lowering reasons and their optimum level. Next, we give a detailed report on the level of water losses and analyze the concepts of minimum night flow rate and minimal night consumption. Without proper knowledge of the losses it is impossible to find proper and efficient reduction solution. The pressure management is considered the most effective way to reduce water losses, since it leads to drastically reduce both leakage and future fracture. Methods and tools reducing the actual losses through pressure management are presented. We analyze pressure modulation scenarios, describe the concepts and types of pressure regulating valves, pressure management areas. For demonstration purposes we plan and design a pressure management system. Finally, using the WB-Easy Calc. software package we calculate the volume and the value of the water loss of a selected municipal water distribution network and make further adjustments aiming at operating pressure reduction to observe the benefits from a pressure management program on the network.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	17
1.1 Το νερό ένας φυσικός πόρος σε ανεπάρκεια	17
1.2 Απώλειες Νερού – Παγκόσμιο Πρόβλημα	19
1.3 Αντικείμενο εργασίας.....	21
1.4 Διάρθρωση εργασίας	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΔΡΕΥΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	23
2.1 Δίκτυα διανομής νερού	23
2.2 Σχεδιασμός Υδρευτικών Δικτύων	25
2.2.1 Γενικά.....	25
2.2.2 Εκτίμηση καταναλώσεων σχεδιασμού.....	26
2.2.3 Καθορισμός κριτηρίων λειτουργίας.....	27
2.3 Υδραυλική επίλυση δικτύων διανομής.....	28
2.3.1 Μοντελοποίηση και προσεγγίσεις ανάλυσης	28
2.3.2 Στοιχεία υδραυλικής αγωγών υπό πίεση	29
2.3.3 Μέθοδοι επίλυσης υδραυλικών δικτύων	31
2.4 Υδρόμετρα.....	36
2.5 Εξοπλισμός Δικτύων	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	43
3.1 Γενικά στοιχεία συστημάτων ύδρευσης και απωλειών νερού.....	43
3.2 Απώλειες Νερού	45
3.2.1 Γενικά.....	45
3.2.2 Πραγματικές Απώλειες	46
3.2.3 Φαινομενικές Απώλειες	51
3.3 Ζώνες Ελέγχου	55
3.3.1 Έννοια και χρησιμότητα	55
3.3.2 Διαμόρφωση.....	57
3.4 Όγκος και αξία απωλειών νερού	58
3.5 Οικονομικά Θέματα-Λόγοι Ελάττωσης Απωλειών Νερού	60
3.6 Βέλτιστο επίπεδο απωλειών νερού	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΝΕΡΟΥ	65
4.1 Γενικά.....	65
4.2 Ελάχιστη Νυχτερινή Παροχή.....	67
4.3 Ελάχιστη Νυχτερινή Κατανάλωση	69
4.4 Διαρροές Βάσης	71
4.5 Απώλειες Θραύσεων.....	74
4.6 Παρακολούθηση της Ελάχιστης Νυχτερινής Παροχής.....	75
4.7 Βέλτιστος χρόνος Εφαρμογής του Ενεργού Ελέγχου Απωλειών	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ.....	81
5.1 Έννοια και Χρησιμότητα Διαχείρισης της Πίεσης.....	81
5.2 Σενάρια διαμόρφωσης πίεσης (Modulation concepts).....	84
5.2.1 Διαμόρφωση με βάση την θέση (Modulation location)	85
5.2.2 Διαμόρφωση με βάση τον τύπο (Modulation type)	88
5.4 Βαλβίδες Ρύθμισης Πίεσης (PRVs).....	92
5.4.1 Γενικά.....	92
5.4.2 Βαλβίδες Διαφράγματος (Diaphragm Valves).....	92
5.4.3 Βαλβίδες Εμβόλου (Plunger Valves).....	93
5.4.3 Σύγκριση μεταξύ βαλβίδων διαφράγματος και εμβόλου.....	95
5.5 Περιοχές Διαχείρισης Πίεσης (PMAs).....	103
5.6 Περιορισμοί της Διαχείρισης Πίεσης.....	105
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	107
6.1 Γενικά.....	107
6.2 Περιπτώσεις χρήσης μεθόδων και εργαλείων διαχείρισης της πίεσης	107
6.3 Στάδια υλοποίησης σχεδίου	110
6.4 Εγκατάσταση Συστήματος Διαχείρισης Πίεσης	112
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	115
7.1 Λογισμικά αξιολόγησης του επιπέδου λειτουργίας δικτύων ύδρευσης.....	115
7.1.1 Γενικά.....	115
7.1.2 Το λογισμικό WB-Easy Calc	116
7.2 Σκοπός Παραδείγματος.....	117

7.3 Δεδομένα Δικτύου.....	117
7.4 Δεδομένα Εισόδου Προγράμματος	119
7.5 Αποτελέσματα.....	128
7.6 Μεταβολή Πίεσης Λειτουργίας Δικτύου.....	133
7.7 Συμπεράσματα Παραδείγματος	134
7.7.1 Αξιολόγηση Επιπέδου Λειτουργίας.....	135
7.7.2 Όγκος και Αξία Απωλειών.....	136
7.7.3 Ρύθμιση Πίεσης Λειτουργίας	136
ΚΕΦΑΙΛΑΙΟ 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	139
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	141

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

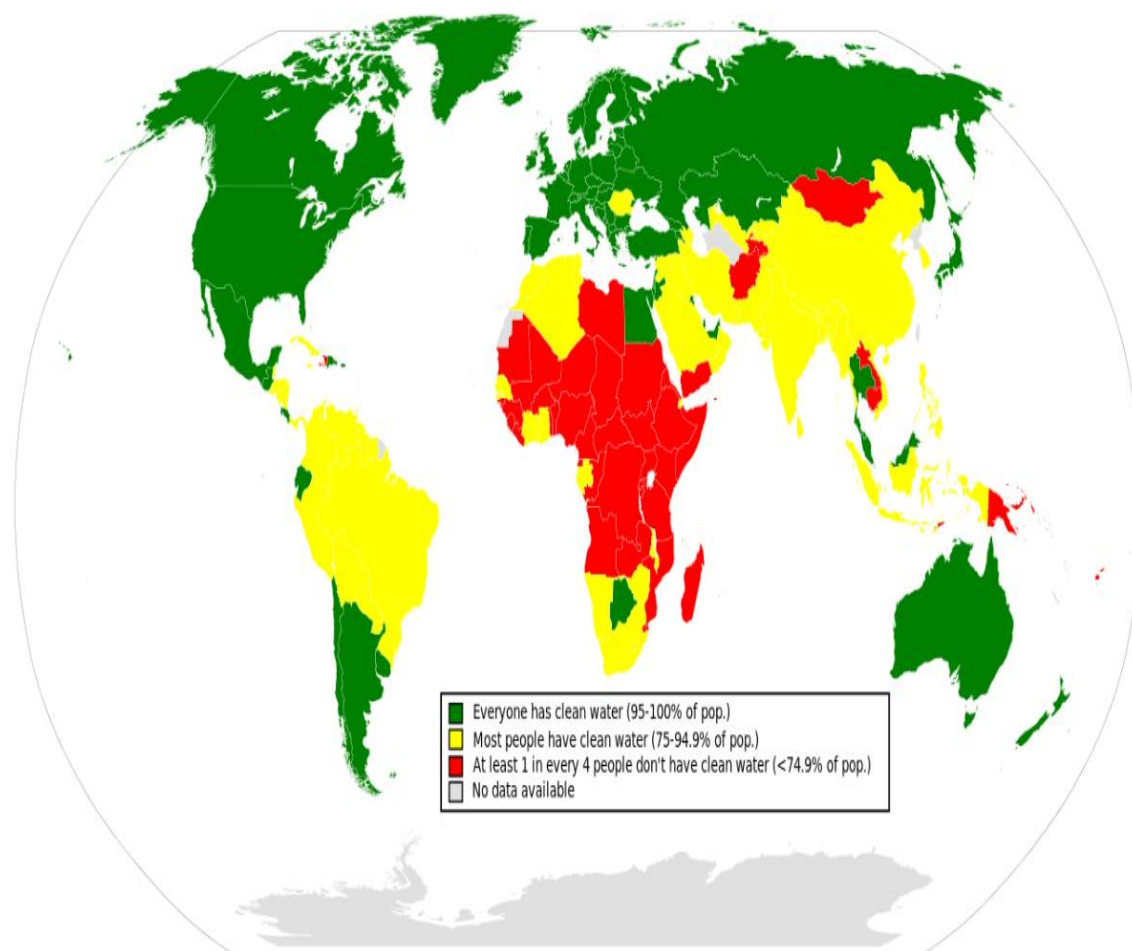
1.1 Το νερό ένας φυσικός πόρος σε ανεπάρκεια

Η σπουδαιότητα του νερού είναι αναγνωρισμένη από την αρχαιότητα, καθώς το νερό είναι απαραίτητο για τον άνθρωπο, τα ζώα και τα φυτά, και χρησιμοποιείται για την ύδρευση των πόλεων, την άρδευση των καλλιεργειών, τη βιομηχανία και την ανάπτυξη του τουρισμού. Ο υδρολογικός κύκλος ανανεώνει τα αποθέματα γλυκού νερού στην επιφάνεια της γης και τους υπόγειους υδροφορείς. Όμως, η ποσότητα του νερού είναι περιορισμένη και η κατανομή του στον χώρο και τον χρόνο άνιση. Το 70% της επιφάνειάς της γης καλύπτεται από νερό από το οποίο το 97% βρίσκεται στις θάλασσες και είναι ακατάλληλο για άμεση χρήση, λόγω της περιεκτικότητάς του σε αλάτι. Όμως και από το υπόλοιπο 3% (το λεγόμενο «γλυκό νερό»), ένα μεγάλο ποσοστό βρίσκεται υπό τη μορφή πάγου στις πολικές περιοχές και στις κορυφές των βουνών. Λιγότερο από το ένα τρίτο βρίσκεται σε υπόγειους υδροφορείς (που δεν είναι πάντα εκμεταλλεύσιμοι) και υπό τη μορφή επιφανειακού νερού σε λίμνες και ποτάμια. Επομένως, οι ποσότητες του διαθέσιμου γλυκού νερού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση, ύδρευση ή για βιομηχανική χρήση, είναι περιορισμένες (Feldman, 2009).

Στοιχεία αναφέρουν ότι, σήμερα, 750 εκατομμύρια άνθρωποι (περίπου 1 στους 9) δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό νερό, ενώ περισσότεροι από 240.000 πεθαίνουν κάθε χρόνο από ασθένειες που οφείλονται στο νερό. Από στοιχεία των Ηνωμένων Εθνών, το 65% του πληθυσμού που δεν έχει πρόσβαση σε καθαρό νερό βρίσκεται στην Ασία, το 27% στην Αφρική, το 6% στη Λατινική Αμερική και την Καραϊβική και μόλις το 2% στην Ευρώπη (United Nations, 2015). Φαινόμενα, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, η αυξημένη αστικοποίηση και οι αλλαγές στις χρήσεις γης δημιουργούν προβλήματα έλλειψης νερού παγκοσμίως και τη λεγόμενη «κρίση του νερού». Η κατανάλωση νερού σε παγκόσμιο επίπεδο αυξάνεται, ενώ τα αποθέματα νερού μειώνονται συνεχώς. Ελάχιστη προσοχή έχει δοθεί στη λειψυδρία, που αποτελεί οξυνόμενο πρόβλημα σε κάποιες περιοχές της Ευρώπης και μάλλον θα επιδεινωθεί, ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής, η οποία έχει διαπιστωθεί ότι αποτελεί σημαντική απειλή για τους υδατικούς πόρους. Η

διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων έχει μειωθεί σημαντικά τον τελευταίο αιώνα, ως αποτέλεσμα της υπεράντλησης και της ρύπανσης από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, ενώ, ταυτόχρονα, η πίεση για περισσότερο νερό για διάφορες χρήσεις είναι συνεχώς αυξανόμενη.

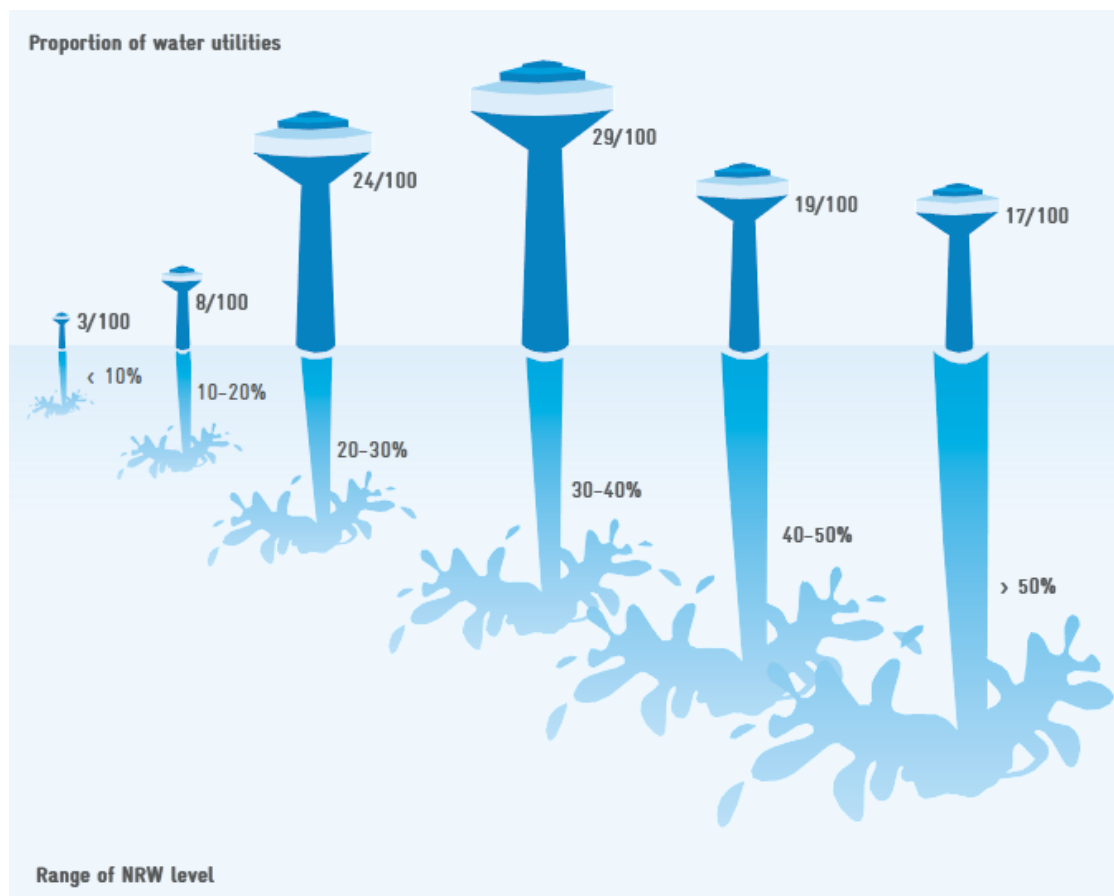
Παρόλο που οι υδατικοί πόροι είναι ανανεώσιμοι, υπάρχουν μεγάλες διαφορές στα διαθέσιμα αποθέματα πόσιμου νερού σε διάφορες περιοχές του πλανήτη (Σχήμα 1.1). Το μεγαλύτερο πρόβλημα υπάρχει στην Αφρική όπου ένας στους τέσσερις κατοίκους δεν έχει πρόσβαση σε πόσιμο νερό. Μεγάλη πίεση επίσης υφίσταται η Ασία, όπου, ενώ το ποσοστό του πληθυσμού που εξυπηρετείται ξεπερνά το 50% του παγκόσμιου πληθυσμού, διαθέτει μόνο το 36% των παγκόσμιων υδατικών πόρων. Τέλος, προβλήματα αντιμετωπίζουν οι χώρες της Λατινικής Αμερικής και της Καραϊβικής.



Σχήμα 1.1 Χάρτης διαθεσιμότητας νερού (UNESCO, 2009).

1.2 Απώλειες Νερού – Παγκόσμιο Πρόβλημα

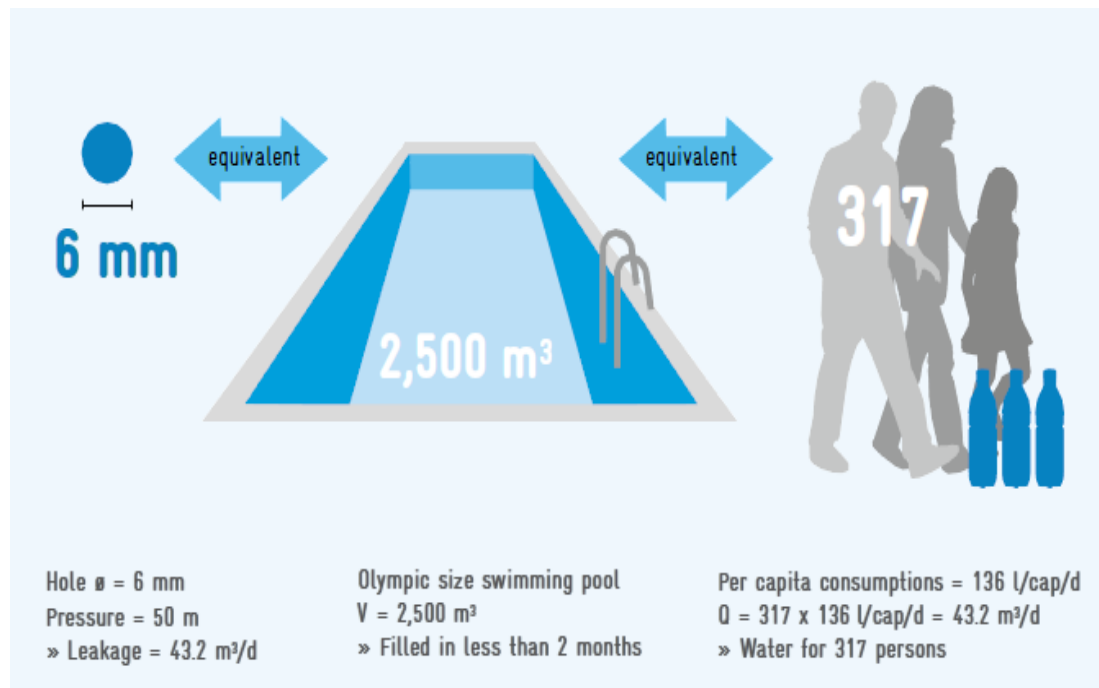
Οι απώλειες νερού στα συστήματα παροχής και διανομής νερού αποτελούν ένα παγκόσμιο πρόβλημα που χρήζει άμεσης αντιμετώπισης. Με βάση μελέτη που καλύπτει 40 εταιρείες ύδρευσης στη Νοτιοανατολική Ασία και τη βάση δεδομένων IBNET σχετικά με τις επιδόσεις σε πάνω από 900 εταιρείες ύδρευσης στις αναπτυσσόμενες χώρες, η Παγκόσμια Τράπεζα (World Bank) εκτιμά ότι το συνολικό ποσοστό απωλειών νερού (NRW-Non Revenue Water) στον αναπτυσσόμενο κόσμο είναι μεταξύ 40-50 % του νερού που παράγεται (Kingdom, κ.α., 2006). Το σχήμα 1.2 παρουσιάζει το ποσοστό των εταιρειών ύδρευσης (proportion of water utilities) και των αντίστοιχων απωλειών νερού (Range of NRW level) με βάση τη βάση δεδομένων IBNET.



Σχήμα 1.2: Επίπεδα απωλειών νερού στις εταιρείες ύδρευσης στον αναπτυσσόμενο κόσμο, βάσει της βάσης δεδομένων IBNET (Kingdom, κ.α., 2006).

Ακόμη και μια πιο συντηρητική εικόνα βάζει το μέσο επίπεδο των απωλειών νερού στο 35 % της εισόδου στο σύστημα. Η Παγκόσμια Τράπεζα εκτιμά ότι ο ετήσιος όγκος των απωλειών νερού στις αναπτυσσόμενες χώρες είναι 26,7 δισεκατομμύρια m^3 , που αντιπροσωπεύει περίπου 6 δισεκατομμύρια € που χάνονται από τις εταιρείες ύδρευσης κάθε χρόνο (Kingdom, κ.α., 2006). Η μείωση των απωλειών νερού κατά το ήμισυ θα δημιουργούσε σημαντικά κέρδη και αρκετό νερό για να παρέχει επιπλέον 90 εκατομμύρια ανθρώπους στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Αυτά τα στοιχεία είναι συγκλονιστικά, αλλά μπορεί να είναι δύσκολο να γίνουν αντιληπτά λόγω του μεγάλου μεγέθους τους. Επομένως είναι χρήσιμο να ρίξουμε μια προσεκτικότερη ματιά στο πρόβλημα σε μικρότερη κλίμακα. Δοκιμές διαρροής δείχνουν ότι η απώλεια από ένα σωλήνα διανομής με κυκλική οπή διαμέτρου 6mm (όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 1.3) σε πίεση 50m είναι 1,8 m^3 ανά ώρα ή 1.300 m^3 ανά μήνα. Αυτή η ποσότητα είναι αρκετή για να γεμίσει μια πισίνα ολυμπιακών διαστάσεων (50 x 25 x 2 = 2.500 m^3) σε λιγότερο από δύο μήνες. Η ίδια Ποσότητα νερού θα ήταν θεωρητικά αρκετή για να εξυπηρετήσει 317 κατοίκους στην πόλη Moshi της Τανζανίας (UNESCO, 2009).



Σχήμα 1.3: Ρυθμός διαρροών από οπή 6mm και ισοδύναμος όγκος νερού (UNESCO, 2009).

Πρέπει να έχουμε κατά νου ότι αυτά τα τεράστια ποσά απωλειών νερού προκύπτουν από μια μικρή όπη. Λαμβάνοντας υπόψιν τον αριθμό των οπών του δικτύου, είναι σαφές ότι η δράσεις για την μείωση των απωλειών νερού είναι ζωτικής σημασίας. Πέραν των ηθικών λόγων για την προμήθεια πόσιμου νερού σε περισσότερους ανθρώπους και του περιορισμού των υδατογενών ασθενειών η μείωση των απωλειών νερού θα μετριάσει επίσης περιβαλλοντικά προβλήματα και θα ανακουφίσει τους λιγοστούς υδάτινους πόρους. Τέλος, η μείωση των απωλειών νερού θα αυξήσει τα έσοδα που παράγονται από τις εταιρείες ύδρευσης, ιδιωτικές ή δημόσιες, βελτιώνοντας την ευημερία των εμπορικών ή οικιακών πελατών.

1.3 Αντικείμενο εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τις απώλειες στα δίκτυα διανομής νερού, την κατανόηση των διαφορετικών τύπων απωλειών νερού, τις αιτίες τους και τους παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα και την αξία του νερού που χάνεται. Βασικός στόχος είναι να δοθούν κατευθυντήριες γραμμές, μέθοδοι και εργαλεία που στοχεύουν στην μείωση των απωλειών νερού, ιδιαίτερα μέσω της διαχείρισης της πίεσης.

1.4 Διάρθρωση εργασίας

Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφεται η τυπική διαδικασία σχεδιασμού και ανάλυσης υδρευτικού δικτύου, οι σχέσεις υδραυλικής, το μαθηματικό υπόβαθρο για την επίλυση υδραυλικών δικτύων και ο εξοπλισμός ενός δικτύου.

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται η διαχείριση των απωλειών ενός δικτύου, αναλύονται οι έννοιες των πραγματικών και φαινομενικών απωλειών. Προσδιορίζεται ο όγκος και η αξία των απωλειών νερού, οι λόγοι ελλάτωσης τους και το βέλτιστο επίπεδο τους.

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται εκτενής αναφορά στο επίπεδο των απωλειών νερού και αναλύονται οι έννοιες της ελάχιστης νυκτερινής παροχής και ελάχιστης νυκτερινής κατανάλωσης.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται οι μέθοδοι και τα εργαλεία μείωσης των πραγματικών απωλειών μέσω της διαχείρισης της πίεσης. Αναλύονται διαφορετικά σενάρια για την διαμόρφωση της πίεσης και περιγράφονται οι έννοιες και οι τύποι των βαλβίδων ρύθμισης πίεσης και των περιοχών διαχείρισης πίεσης.

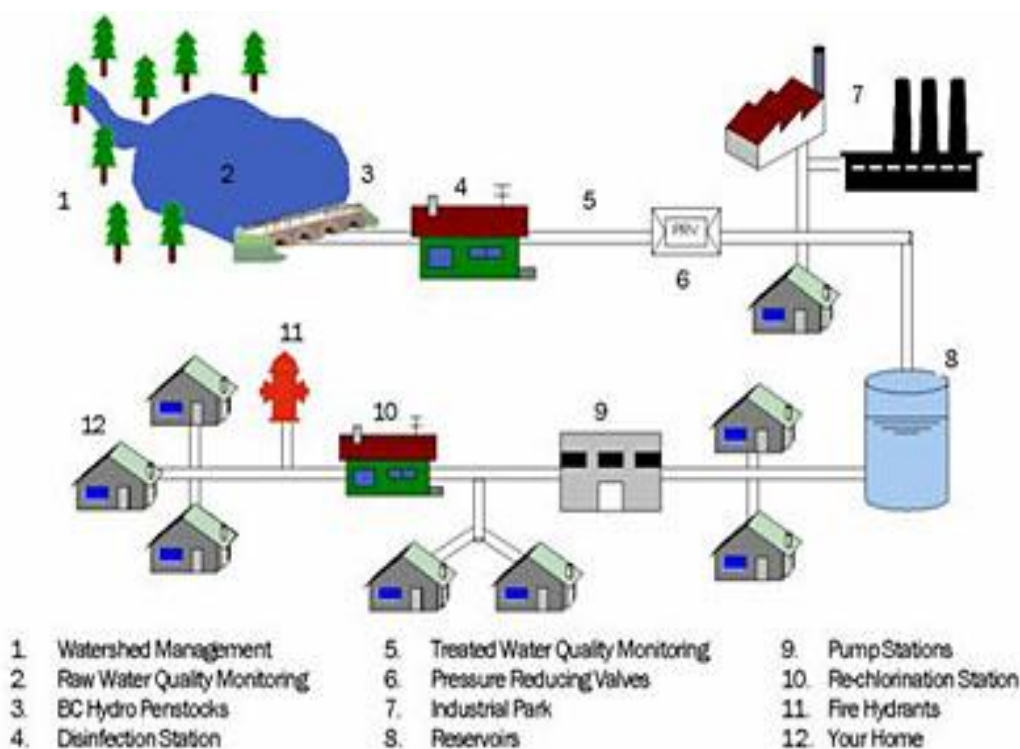
Στο Κεφάλαιο 6 γίνεται μελέτη και σχεδιασμός ενός συστήματος διαχείρισης πίεσης.

Στο Κεφάλαιο 7 υπολογίζεται ο όγκος και η αξία των απωλειών ενός δικτύου της ΔΕΥΑ και γίνεται περαιτέρω ρύθμιση της πίεσης λειτουργίας του με στόχο να παρατηρήσουμε τα οφέλη που θα επέφερε ένα πρόγραμμα διαχείρισης πίεσης στο δίκτυο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΔΡΕΥΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

2.1 Δίκτυα διανομής νερού

Ένα δίκτυο ύδρευσης μπορεί να διαχωριστεί σε Εσωτερικό και Εξωτερικό υδραγωγείο. Το εξωτερικό υδραγωγείο περιλαμβάνει τα έργα μεταφοράς του νερού, δια μέσου των κύριων τροφοδοτικών αγωγών, από την υδροληψία έως τις δεξαμενές αποθήκευσης νερού, ενώ το εσωτερικό υδραγωγείο είναι το σύστημα διανομής νερού στον οικισμό. Η δεξιάμενη αποτελεί το κοινό σημείο των δύο υδραγωγείων (Σχημα 2.1). Τα Συστήματα Διανομής Νερού περιλαμβάνουν τα μηχανικά μέρη (αγωγοί, δικλείδες), ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, εγκαταστάσεις και αυτοματισμούς που η λειτουργία τους αποσκοπεί στη μεταφορά καθαρισμένου νερού από τις δεξαμενές στους καταναλωτές. Οι λειτουργικές απαιτήσεις αφορούν τόσο στην εξασφάλιση της παροχής όσο και στη διατήρηση της πίεσης μέσα στο δίκτυο εντός αποδεκτών ορίων (Τσακίρης και Χαραλάμπους, 2010).



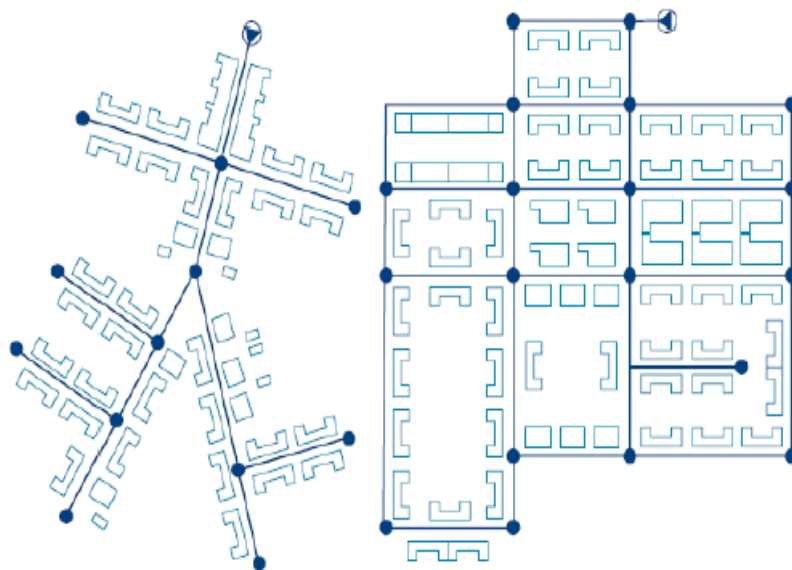
Σχήμα 2.1: Γενική διάταξη δικτύου ύδρευσης (Heritage Plumbing, 2014).

Οι σωληνώσεις απαιτούν το μεγαλύτερο ποσοστό του κεφαλαίου που επενδύεται στο δίκτυο, αλλά οι διαθέσιμες επιλογές σε υλικό και μέγεθος είναι πολλές. Οι συχνότερα χρησιμοποιούμενοι σωλήνες σε ένα σύστημα διανομής νερού είναι από πολυαιθυλένιο (PE ή HDPE), ή πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), λόγω πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν σχετικά με την ταχύτητα και ευκολία κατασκευής, την ικανοποιητική ανθεκτικότητα, την αντοχή και το κόστος. Καθοριστική παράμετρος για το κόστος αλλά και την αξιοπιστία του δικτύου είναι η μορφή του, ακτινωτή ή βρογχωτή (Σχήμα 2.2).

Στα ακτινωτά δίκτυα δεν σχηματίζονται βρόγχοι, αλλά κάθε σημείο εξόδου τροφοδοτείται μέσω μίας μοναδικής διαδρομής. Τα ακτινωτά δίκτυα, παρ' ότι οικονομικότερα σε σχέση με τα βρογχωτά λόγω μικρότερου μήκους αγωγών, παρουσιάζουν αυξημένες ενεργειακές απώλειες και μειωμένη αξιοπιστία, αφού μία πιθανή θραύση αγωγού επηρεάζει όλους τους καταναλωτές στα κατάντη. Ένα επιπλέον μειονέκτημα αυτής της διάταξης είναι η πιθανή παραμονή του νερού σε απολήξεις του δικτύου για μεγάλο χρονικό διάστημα, σε περίπτωση που δεν παρουσιαστεί ζήτηση, δημιουργώντας προβλήματα ποιότητας του νερού, ενώ απαιτούνται και έργα προστασίας έναντι τυχόν υδραυλικού πλήγματος. Ο σχεδιασμός τους είναι απλούστερος σε σχέση με τα βρογχωτά δίκτυα, διότι η κατεύθυνση του νερού στους σωλήνες είναι καθορισμένη, και η παροχή γνωστή.

Τα βρογχωτά δίκτυα ωστόσο, βελτιώνουν σημαντικά την υδραυλική συμπεριφορά του δικτύου, τόσο κατά τη κανονική του λειτουργία, όσο και για τις περιπτώσεις βλάβης ή επισκευής αγωγού, και γι' αυτό τυγχάνουν ευρείας εφαρμογής. Ωστόσο το κόστος τους είναι αυξημένο σε σχέση με τα ακτινωτά, και παρουσιάζουν μεγαλύτερη δυσκολία στην εποπτεία και τη διαχείρισή τους.

Το δίκτυο σε αστικά συστήματα διανομής νερού μπορεί να προκύπτει από συνδυασμό ακτινωτών και βρογχωτών τμημάτων. Οι κόμβοι όπου διασταυρώνονται οι αγωγοί προϋποθέτουν τη τοποθέτηση δικλείδων και άλλων ειδικών τεμαχίων, αυξάνοντας το συνολικό κόστος του δικτύου.



Σχήμα 2.2: Ακτινωτή και βρογχωτή μορφή δικτύων ύδρευσης (Smet, 2002).

2.2 Σχεδιασμός Υδρευτικών Δικτύων

2.2.1 Γενικά

Ο τυπικός σχεδιασμός ενός υδρευτικού δικτύου γίνεται έτσι ώστε να εκπληρώνονται με το ελάχιστο κόστος οι απαιτήσεις σχετικά με τη ποσότητα, τη ποιότητα και την πίεση του νερού που φτάνει στους χρήστες του δικτύου για μια δεδομένη περίοδο σχεδιασμού. Συνεπώς ο καθορισμός αυτών των κριτηρίων, που συναρτάται άμεσα με τη χρήση του νερού, είναι και το πρωταρχικό ερώτημα κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού. Πέρα από την οικιακή κατανάλωση, το υδρευτικό νερό εξυπηρετεί και άλλες αστικές χρήσεις, όπως είναι η πυρόσβεση ή το πότισμα χώρων πρασίνου. Παρ' ότι σε κάποιες περιοχές έχουν κατασκευαστεί ξεχωριστά δίκτυα για τις διάφορες χρήσεις, στις περισσότερες περιπτώσεις ο σχεδιασμός υδρευτικού δικτύου πρέπει να εξασφαλίζει νερό για όλες τις κατηγορίες χρήσης.

Σχετικά με την επιλογή της περιόδου σχεδιασμού πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη, πέρα από την ωφέλιμη διάρκεια ζωής των επιμέρους έργων, ο βαθμός δυσκολίας επέκτασης των έργων, η αβεβαιότητα στην εκτίμηση της εξέλιξης του πληθυσμού, καθώς και οικονομικοί παράγοντες, όπως η συνολική δαπάνη των

έργων και το επιτόκιο της χρηματοδότησης (Κουτσογιάννης, 1999). Διεθνώς η περίοδος σχεδιασμού των δικτύων θεωρείται 40-50 χρόνια, ενώ για τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό 20-25 χρόνια. Τόσο η μορφή και η χάραξη του δικτύου όσο και οι αγωγοί (υλικό και διάμετρος) που θα επιλεγθούν πρέπει να αποτελούν τη βέλτιστη οικονομικά λύση που θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις του συστήματος και θα εξασφαλίζει τις συνθήκες μελλοντικής ανάπτυξης.

2.2.2 Εκτίμηση καταναλώσεων σχεδιασμού

Η συνολική κατανάλωση περιλαμβάνει τις οικιακές καταναλώσεις (οικιακή παροχή), τις εμπορικές ή βιομηχανικές, δημόσιες ή δημοτικές, ενδεχομένως γεωκτηνοτροφικές καταναλώσεις (ειδική παροχή) και τις απώλειες. Επομένως θα πρέπει να γίνονται εύλογες εκτιμήσεις για κάθε μία συνιστώσα, βάσει των διαθέσιμων στοιχείων μετρημένων καταναλώσεων, των δημογραφικών εξελίξεων και των αναπτυξιακών προοπτικών στην εκάστοτε περιοχή.

Η παροχή σχεδιασμού της διάταξης υδροδότησης αναφέρεται συνήθως ως ονομαστική παροχή. Με βάση την διεθνή πρακτική όπως αυτή διαμορφώθηκε τα τελευταία χρόνια, η ονομαστική παροχή για οικιακή χρήση κυμαίνεται μεταξύ του $1\text{ m}^3/\text{h}$ και $2,5\text{ m}^3/\text{h}$ με αντίστοιχες προδιαγραφές υδρομέτρων για ονομαστικές παροχές συνεχούς λειτουργίας $1\text{ m}^3/\text{h}$ και $2,5\text{ m}^3/\text{h}$ (Τσακίρης και Χαραλάμπους, 2010).

Ο υπολογισμός της παροχής σχεδιασμού για ειδική χρήση, θα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή, ανάλογα με την περίπτωση, καθώς παρουσιάζονται μεγάλες διακυμάνσεις. Απαραίτητη είναι η ικανοποίηση της ζήτησης αλλά και η σωστή καταγραφή τόσο στις υψηλές όσο και στις χαμηλές παροχές.

Οι απώλειες συνυπολογίζονται ως ένα ποσοστό της ετήσιας συνολικής κατανάλωσης όλων των χρήσεων, με συνηθέστερες τιμές 10-20%. Το ποσοστό αυτό ωστόσο μπορεί να είναι πολύ υψηλότερο σε περιπτώσεις δικτύων όπου η ηλικία του δικτύου, το επίπεδο συντήρησης του, η ποιότητα κατασκευής, η ακρίβεια των συστημάτων μέτρησης και οι παράνομες υδροληψίες ευνοούν την αύξηση της ποσότητας του νερού που δεν χρεώνεται σε συγκεκριμένους καταναλωτές.

2.2.3 Καθορισμός κριτηρίων λειτουργίας

Οι απαιτήσεις αφορούν κυρίως στην εξασφάλιση της ελάχιστης πίεσης σε κάθε σημείο του δικτύου, καθώς και τη διατήρηση της πίεσης σε ορισμένα όρια, για τη προστασία των υδραυλικών εγκαταστάσεων. Η ελάχιστη απαιτούμενη πίεση για οικιστική κατανάλωση ορίζεται σε σχέση με το ύψος των κτιρίων, των υφιστάμενων ή προβλεπόμενων με βάση τον πολεοδομικό κανονισμό, έτσι ώστε να είναι τουλάχιστον 4m σε κάθε σημείο του κτιρίου (Κουτσογιάννης, 1999). Ωστόσο, διαπιστώνεται ότι η πίεση κάτω από 20m προκαλεί ενοχλητικές μειώσεις της ροής όταν είναι σε λειτουργία πάνω από μία συσκευή.

Οι υψηλές πιέσεις μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα οικιακών συσκευών ή μηχανικών μερών του δικτύου, με πιθανό αποτέλεσμα αυξημένα κόστη συντήρησης και απώλειες νερού λόγω διαρροών. Ο έλεγχος για τις μέγιστες πιέσεις προκύπτει από τη μέγιστη στατική πίεση στο δίκτυο (διαφορά της στάθμης του νερού στη δεξαμενή από το χαμηλότερο σημείο του δικτύου) που δεν πρέπει να ξεπερνά τα 60m. Ο κώδικας Uniform Plumbing Code αναφέρει ότι στις συνδέσεις εξυπηρέτησης η πίεση του νερού δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 80 psi (58m). Αυτό μπορεί να εξασφαλιστεί με τις κατάλληλες συσκευές μείωσης της πίεσης. Γενικά επιθυμητό είναι η διακύμανση των πιέσεων να μην ξεπερνά το εύρος των 20-30m.

Χωρίς να αποτελεί απαίτηση για τον σχεδιασμό, είναι επιθυμητό η ταχύτητα του νερού στο δίκτυο να κυμαίνεται στο όριο 0,5 m/s – 1,5 m/s. Το κάτω όριο αναφέρεται στην ελάχιστη ταχύτητα που πρέπει να έχει το νερό για να μην παρουσιάζονται φαινόμενα απόθεσης φερτών υλών και το άνω όριο στην ταχύτητα που εξασφαλίζει τον περιορισμό της διαβρωτικής ικανότητας του νερού (Mays, 1999).

2.3 Υδραυλική επίλυση δικτύων διανομής

2.3.1 Μοντελοποίηση και προσεγγίσεις ανάλυσης

Η επίλυση ενός δικτύου διανομής νερού γίνεται μέσω ενός μαθηματικού μοντέλου, στο οποίο περιγράφεται μαθηματικά η υδραυλική λειτουργία των συνιστωσών του δικτύου. Η μαθηματική περιγραφή του δικτύου διανομής γίνεται με την αναπαράσταση των συνιστωσών του φυσικού συστήματος (έργα αποθήκευσης, έργα μεταφοράς, συσκευές ρύθμισης της ροής) μέσω ενός εννοιολογικού μοντέλου σε ιδεατούς κόμβους και κλάδους. Με τον όρο κόμβος νοούνται όλα τα σημεία εισροής ή εκροής νερού, αλλαγής της γεωμετρίας του δικτύου ή μεταβολής των χαρακτηριστικών των αγωγών. Με τον όρο κλάδος νοείται κάθε στοιχείο μεταφοράς νερού, που αποτελείται από σύστημα σωλήνων σε σειρά, κοινής διαμέτρου, κλάσης και τραχύτητας, κατά μήκος του οποίου θεωρείται ενιαία παροχή. (Κουτσογιάννης, 2005). Έχουν αναπτυχθεί διάφορα υπολογιστικά πακέτα ανάλυσης δικτύων, τα οποία περιλαμβάνουν μοντέλα επίλυσης των δικτύων ύδρευσης, δηλαδή υπολογισμού των υδραυλικών χαρακτηριστικών της ροής σε συνθήκες σταθερής (στιγματικής) κατανάλωσης (steady-state analysis), ή και προσομοίωσης της λειτουργίας σε συνθήκες μεταβαλλόμενης κατανάλωσης (unsteady ή extended-period analysis).

Η επίλυση του δικτύου είναι ο υπολογισμός των ενεργειακών υψών h σε όλους τους κόμβους, ή ισοδύναμα των διερχόμενων παροχών Q σε όλους τους κλάδους του δικτύου, όταν είναι γνωστά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κλάδων (μήκος L , εσωτερική διάμετρος D , τραχύτητα ϵ), τα τοπογραφικά υψόμετρα z , οι παροχές εξόδου c των κόμβων και τα ενεργειακά ύψη h^* των σημείων τροφοδοσίας του δικτύου.

Υπάρχουν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις στους υδραυλικούς υπολογισμούς ενός σωληνωτού δικτύου. Η διαφορά έγκειται στο αν δίνεται προτεραιότητα στην ακρίβεια υπολογισμού των επικόμβιων ζητήσεων ή πιέσεων. Η πρώτη προσέγγιση υποθέτει ότι οι απαιτούμενες ζητήσεις ικανοποιούνται πάντοτε, ανεξάρτητα από τις πιέσεις του συστήματος, και οι εξισώσεις επιλύονται ως προς τα άγνωστα πιεζομετρικά φορτία των κόμβων. Αυτή η προσέγγιση ονομάζεται «Ανάλυση καθοδηγούμενη από τη ζήτηση» (AKZ – Demand Driven Analysis) και

χρησιμοποιείται στα περισσότερα μοντέλα επίλυσης δικτύων. Η ανάλυση αυτή είναι επαρκής για τις φυσιολογικές συνθήκες φόρτισης του δικτύου.

Σε έκτακτες συνθήκες του δικτύου, όπως σε περιπτώσεις θραύσης αγωγών ή πυρκαγιάς, που οι πιέσεις σε κόμβους του δικτύου γίνονται ενδεχομένως για κάποιο μικρό χρονικό διάστημα μηδενικές ή και υπολογιστικά αρνητικές, η ΑΚΖ δεν αποδίδει σωστά την αδυναμία του συστήματος να ικανοποιήσει τις επικόμβιες ζητήσεις. Αυτήν τη παράμετρο λαμβάνει υπ' όψη η «Ανάλυση καθοδηγούμενη από την Πίεση» (ΑΚΠ – Pressure Driven Analysis), κατά την οποία σε ένα κόμβο θα αποδοθεί η πλήρης ζήτησή του μόνο στη περίπτωση που η ελάχιστη πίεση εξασφαλίζεται στον κόμβο αυτό. Διαφορετικά, στον κόμβο παρέχεται μέρος της ζήτησης, που προκύπτει από τύπο που συσχετίζει τη παροχή εξόδου με τη πίεση στον κόμβο. Η ΑΚΠ βρίσκει συνεπώς εφαρμογή στα σενάρια έκτακτων φορτίσεων του δικτύου, καθώς τότε ενδέχεται ένα τμήμα του να αστοχεί. Ωστόσο, κατά την ΑΚΠ, σε κάθε κόμβο πρέπει να καθορίζεται η σχέση πίεσης-εκροής, που προκύπτει από επι τόπου μετρήσεις και σχετίζεται με το είδος της σύνδεσης εξυπηρέτησης και των εξυπηρετούμενων εγκαταστάσεων (Mays, 1999).

2.3.2 Στοιχεία υδραυλικής αγωγών υπό πίεση

Σε κάθε κλάδο του δικτύου με ροή νερού εμφανίζονται γραμμικές απώλειες, που υπολογίζονται συναρτήσει της παροχής από κάποια εξίσωση (Darcy-Weisbach, Hazen-Williams, Chezy, Manning), της γενικής μορφής:

$$h_f = R \cdot Q^n \quad (1)$$

Οι τιμές των παραμέτρων R , n αλλάζουν αναλόγως της εξίσωσης που χρησιμοποιείται (Lagock, κ.α., 1999) :

Για την εξίσωση Hazen-Williams, οι συντελεστές δίνονται από τις σχέσεις:

$$n = 1.852, \quad R = \frac{C_K \cdot L}{C_{HW}^{1.852} \cdot D^{4.87}} \quad (2)$$

όπου $C_K = 10$ (στο S.I.), L το μήκος του αγωγού, D η διάμετρος και C_{HW} συντελεστής που εκφράζει τη τραχύτητα του υλικού.

Για την εξίσωση Manning, οι συντελεστές δίνονται από τις σχέσεις:

$$n = 2 \quad R = \frac{C_K \cdot n^2 \cdot L}{D^{5.33}} \quad (3)$$

όπου $C_K = 10.29$ στο μετρικό σύστημα και n ο συντελεστής Manning.

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη εξίσωση Darcy – Weisbach δίνει την μεγαλύτερη ακρίβεια υπολογισμού των απωλειών:

$$n = 2 \quad R = \frac{8 \cdot f \cdot L}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5} \quad (4)$$

Ο συντελεστής γραμμικών απωλειών f υπολογίζεται συναρτήσει του αριθμού Reynolds ($Re = VD/\nu$) και της ισοδύναμης τραχύτητας e/D . Στον Πίνακα 2.3 που ακολουθεί συγκεντρώνονται οι εξισώσεις υπολογισμού του συντελεστή f ανάλογα του είδους της ροής:

Τύπος ροής	Εξίσωση υπολογισμού f	Εύρος εφαρμογής
Στρωτή ροή	$f=64/Re$	$Re < 2100$
Υδραυλικά λείος σωλήνας	$1/\sqrt{f} = 2 \log_{10}(Re \sqrt{f}) - 0.8$	$Re > 4000$ και $e/D > 0$
Μεταβατική περιοχή	$1/\sqrt{f} = 1.14 - 2 \log_{10}(e/D + 9.35/Re \sqrt{f})$	$Re > 4000$
Πλήρως τραχεία περιοχή	$1/\sqrt{f} = 1.14 - 2 \log_{10}(e/D)$	$Re > 4000$

Πίνακας 2.3: Υπολογισμός γραμμικών απωλειών f ανάλογα τον τύπο ροής (Mays,1999).

2.3.3 Μέθοδοι επίλυσης υδραυλικών δικτύων

Η επίλυση δικτύων βασίζεται στις αρχές διατήρησης της μάζας και διατήρησης της ενέργειας. Η πρώτη συνθήκη / αρχή μεταφράζεται μέσω της εξίσωσης συνέχειας στην απαίτηση το αλγεβρικό άθροισμα των παροχών των αγωγών που συντρέχουν σε ένα κόμβο, περιλαμβανομένης και της εκροής, να ισούται με μηδέν. Η δεύτερη συνθήκη σημαίνει ότι το αλγεβρικό άθροισμα των απωλειών σε ένα βρόχο είναι ίσο με το μηδέν.

Αν ένα κλειστό δίκτυο τροφοδοτείται από μία δεξαμενή και αποτελείται από m κόμβους, τότε διαμορφώνονται m-1 γραμμικές εξισώσεις συνέχειας παροχών ανεξάρτητες μεταξύ τους:

$$\begin{aligned}
 \sum Q_{in(1)} &= \sum Q_{out(2)} \\
 \sum Q_{in(2)} &= \sum Q_{out(21)} \\
 &\vdots \\
 \sum Q_{in(m-1)} &= \sum Q_{out(m-1)}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Και αν αποτελείται από L βρόγχους διαμορφώνονται L μη γραμμικές εξισώσεις ενέργειας βρόγχου:

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^{N_1} R_i \cdot Q_i^n &= 0 \\
 \sum_{i=1}^{N_2} R_i \cdot Q_i^n &= 0 \\
 &\vdots \\
 \sum_{i=1}^{N_L} R_i \cdot Q_i^n &= 0
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Όπου N_1, N_2, N_L : αριθμοί κλάδων των βρόγχων 1,2, ..., L αντίστοιχα.

Οι $(m-1) + L$ εξισώσεις ονομάζονται Q- εξισώσεις και είναι όσες ο αριθμός των κλάδων του δικτύου. Για τον προσδιορισμό των παροχών στους κλάδους αρκεί η επίλυση του παραπάνω συστήματος των $(m-1)+L$ εξισώσεων με τους $(m-1)+L$ αγνώστους.

Οι Q εξισώσεις μπορούν να μετασχηματισθούν σε ΔQ -εξισώσεις όταν σε αυτές εφαρμοστεί διορθωτική παροχή βρόγχου ΔQ . Για να γίνει αυτός ο μετασχηματισμός χρειάζεται να θεωρηθούν αυθαίρετες αρχικές τιμές παροχών στους κλάδους (Q_i^a) οι οποίες να ικανοποιούν τις εξισώσεις συνέχειας στους κόμβους. Αυτές αποκλίνουν κατά μία ποσότητα ΔQ από τη πραγματική τιμή της παροχής (Q_i):

$$Q_i = Q_i^a + \Delta Q
 \tag{7}$$

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω σχέση και θεωρώντας ότι κάθε βρόχος θα έχει μία διαφορετική διορθωτική παροχή, οι εξισώσεις ενέργειας των κόμβων μπορούν να γραφούν ως εξής:

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^{N_1} R_i \cdot (Q_i^a + \Delta Q_1)^n &= 0 \\
 \sum_{i=1}^{N_2} R_i \cdot (Q_i^a + \Delta Q_2)^n &= 0 \\
 &\vdots \\
 \sum_{i=1}^{N_L} R_i \cdot (Q_i^a + \Delta Q_L)^n &= 0
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Στο σύστημα των εξισώσεων ενέργειας οι άγνωστες μεταβλητές είναι οι τιμές των διορθωτικών παροχών $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \dots, \Delta Q_L$, και μπορούν να υπολογιστούν με την επίλυση του παραπάνω συστήματος των L εξισώσεων με τους L αγνώστους. Έχοντας υπολογίσει τις διορθωτικές παροχές οι πραγματικές τιμές των παροχών των κλάδων μπορούν να υπολογιστούν με την πρόσθεση αυτών στις αυθαίρετες αρχικές τιμές των παροχών (Larock, κ.α., 1999).

Μέθοδος Q-Cross

Η επίλυση με αυτή τη μέθοδο βασίζεται στις ΔQ - εξισώσεις. Υπολογίζει τις διορθωτικές παροχές $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \dots, \Delta Q_L$ των L βρόχων του δικτύου, όχι επιλύοντας το σύστημα των εξισώσεων ενέργειας, αλλά υπολογίζοντας τη διορθωτική παροχή του κάθε κόμβου ξεχωριστά.

Αγνοώντας τους όρους δεύτερης και μεγαλύτερης τάξης του διώνυμου των εξισώσεων ενέργειας των κόμβων, και επιλύοντας ως προς ΔQ η σχέση που δίνει τη διορθωτική παροχή του πρώτου βρόχου είναι:

$$\Delta Q_1 = - \frac{\sum_{i=1}^{N_i} R_i \cdot Q^{a^n}}{\sum_{i=1}^{N_i} |n \cdot R_i \cdot Q_i^{a^{n-1}}|} \quad (9)$$

Η διορθωτική παροχή που υπολογίζεται προστίθεται στις αρχικές παροχές και η διαδικασία επαναλαμβάνεται για να υπολογιστούν οι νέες τιμές των παροχών για τον πρώτο βρόχο. Όταν η ποσότητα ΔQ τείνει να μηδενιστεί, τότε οι παροχές που θα υπολογιστούν θα είναι οι πραγματικές και θα ικανοποιείται η αρχή διατήρησης ενέργειας στον πρώτο βρόχο. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και στους άλλους βρόχους του δικτύου. Για τους κλάδους που ανήκουν σε δύο βρόχους, πρέπει το αποτέλεσμα της διορθωμένης παροχής του ενός κόμβου να θεωρείται αρχική παροχή του άλλου, ή στην αρχική παροχή να προστίθενται και οι δύο διορθωτικές παροχές και το αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται από κοινού και στους δύο βρόχους.

Μέθοδος Newton-Raphson

Όπως και η προηγούμενη μέθοδος προσπαθεί να επιλύσει τις ΔQ εξισώσεις, με τη διαφορά όμως ότι προσπαθεί να υπολογίσει τη τιμή της διορθωτικής παροχής ΔQ επιλύοντας το σύστημα των μη γραμμικών εξισώσεων που προκύπτουν από την αρχή διατήρησης της ενέργειας σε κάθε βρόχο. Για να γραμμικοποιηθούν οι εξισώσεις ενέργειας χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος των Newton-Raphson.

Γραμμικοποιημένη μέθοδος

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στις Q-εξισώσεις και προσπαθεί να υπολογίσει τις παροχές των κλάδων επιλύοντας το σύστημα των $(m-1+L)$ εξισώσεων που προκύπτουν από την αρχή συνέχειας παροχής των κόμβων και αρχής διατήρησης ενέργειας των βρόχων.

Οι εξισώσεις ενέργειας κόμβων μπορούν ισοδύναμα να γραφούν:

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^{N_1} a_i \cdot Q_i &= 0 \\
\sum_{i=1}^{N_2} a_i \cdot Q_i &= 0 \\
&\vdots \\
\sum_{i=1}^{N_L} a_i \cdot Q_i &= 0
\end{aligned} \tag{10}$$

Όπου a_i παράγοντας γραμμικοποίησης για κάθε κάδο:

$$a_i = R_i \cdot |Q_i|^{n-1} \tag{11}$$

Η επίλυση του συστήματος των $(m-1+L)$ εξισώσεων έχει ως αποτέλεσμα τις τιμές παροχών που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό νέου παράγοντα γραμμικοποίησης. Το σύστημα επιλύεται με επαναληπτική διαδικασία, έως ότου υπάρξει σύγκλιση. Επειδή παρατηρείται ότι μετά την ολοκλήρωση ορισμένων επαναλήψεων τα αποτελέσματα της μεθόδου παρουσιάζουν μια διακύμανση γύρω από την πραγματική τιμή της παροχής, προτείνεται η τιμή της παροχής που τίθεται στη νέα επανάληψη να είναι ο μέσος όρος των δύο προηγούμενων τιμών. Στις παραπάνω μεθόδους επίλυσης διατυπώθηκαν οι εξισώσεις για την περίπτωση κλειστού δικτύου, αποτελούμενο από m κόμβους και τροφοδοτούμενο από μία πηγή.

Στη περίπτωση που το δίκτυο αποτελείται από n κόμβους, εκ των οποίων οι n_0 είναι γνωστού ενεργειακού υψομέτρου, τότε θεωρούνται n_0-1 επιπλέον βρόχοι, τοποθετώντας ιδεατούς κλάδους μηδενικής παροχής που συνδέουν τις δεξαμενές ανά δύο. Οι $(n-n_0)$ ανεξάρτητες εξισώσεις συνέχειας και οι (L) εξισώσεις ενέργειας

δημιουργούν ένα σύστημα $(n-n_0+L)$ εξισώσεων, ίσων προς τον αριθμό των αγνώστων παροχών στους κλάδους (r) (Lagock, κ.α., 1999).

2.4 Υδρόμετρα

Με τον όρο υδρόμετρο εννοούμε το όργανο εκείνο που μετράει και καταγράφει την ποσότητα νερού που περνάει μέσα από αυτό. Η ύπαρξη υδρομέτρων αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη αποτελεσματική διαχείριση του δικτύου ύδρευσης. Με το υδρόμετρο καταγράφεται ο όγκος του νερού που χρησιμοποιείται από τους καταναλωτές, με αποτέλεσμα να πληρώνουν με βάση το σχετικό τιμολόγιο της εταιρείας υδροδότησης. Συνήθως πρακτική των εταιριών ύδρευσης είναι να αποστέλλουν τιμολόγια ανά διμηνία, τριμηνία ή τετραμηνία (Τσακίρης και Χαραλάμπους, 2010).

Ένα υδρόμετρο τυπικά απαρτίζεται από τα εξής επιμέρους τμήματα (Σχήμα 2.4):

Τον *αισθητήρα*, ο οποίος ανιχνεύει τη ροή νερού και ενεργοποιείται από αυτήν. Τέτοιος μπορεί να είναι, για παράδειγμα, μια φτερωτή ή ένα ταλαντευόμενο έμβολο.

Τον *μετατροπέα* ή *μορφοτροπέα μέτρησης* ο οποίος αναλαμβάνει να μεταδώσει την πληροφορία ή σήμα του αισθητήρα σε άλλα μέρη του οργάνου. Συνήθως πρόκειται για μια μηχανική διάταξη – όπως, για παράδειγμα, με χρήση γριναζωμάτων.

Τον *αθροιστή* ο οποίος καταγράφει και διατηρεί τις μετρούμενες τιμές. Συνήθως πρόκειται για μετρητικούς τροχούς, οι οποίοι μπορούν να συνοδεύονται από ένα ψηφιακό ολοκληρωμένο κύκλωμα που επίσης θα αποθηκεύει τις μετρήσεις σε ηλεκτρονική μορφή.

Τέλος η διάταξη *ενδείξεων* που αποτελεί τη διεπαφή των εσωτερικών καταγραφόμενων μετρήσεων με το εξωτερικό περιβάλλον της συσκευής. Οι ενδείξεις μπορούν να παρουσιάζονται αναλογικά, μέσω αριθμών πάνω στους μετρητικούς τροχούς (Σχήμα 2.5), είτε ψηφιακά, μέσω ψηφιακής οθόνης (Σχήμα 2.6), ή με τον συνδυασμό και των δύο (Kenna, 2008).



Σχήμα 2.4 : Βασικά δομικά στοιχεία υδρομετρητή (Καστορίνης, 2014).



Σχήμα 2.5: Υδρόμετρο με αναλογικές ενδείξεις (Καστορίνης, 2014).



Σχήμα 2.6: Υδρόμετρο με ψηφιακές ενδείξεις (Καστορίνης, 2014).

Ο αισθητήρας για τη ροή νερού διαμέσου του υδρομετρητή είναι καθοριστικής σημασίας για το χαρακτηρισμό του τύπου του οργάνου. Εάν ο αισθητήρας ανιχνεύει τον όγκο του διερχόμενου νερού μετρώντας το πόσες φορές

γέμισε μια εσωτερική κοιλότητα του υδρομέτρου, τότε αυτό κατατάσσεται στα ογκομετρικά (volumetric) υδρόμετρα ή υδρόμετρα θετικής μετατόπισης (positive displacement). Εάν ο αισθητήρας ανιχνεύει την ταχύτητα με την οποία ρέει το νερό, τότε σε συνδιασμό με τη γνωστή διάμετρο των σωληνώσεων βρίσκεται έμμεσα η ποσότητα νερού που ρέει διαμέσω του υδρομετρητή, και ο μετρητής κατατάσσεται στα ταχυμετρικά υδρόμετρα (velocity meters).

Όταν ο μηχανισμός ενδείξεων των μετρητών του υδρομέτρου περιβρέχεται από νερό, τότε ο υδρομετρητής πρόκειται για υγρού τύπου (wet dial). Διαφορετικά, πρόκειται για ξηρού τύπου (dry dial).

2.5 Εξοπλισμός Δικτύων

Το δίκτυο ύδρευσης πέραν από τους κύριους αγωγούς θα πρέπει να διαθέτει δικλείδες απομόνωσης, αεροεξαγωγούς, σημεία εκκένωσης/έκπλυσης, κρούνους πυρόσβεσης, υδρόμετρα στις κεφαλές του δικτύου και συσκευές μείωσης ή ρύθμισης της πίεσης για να είναι δυνατή η άρτια και αποτελεσματική λειτουργία του.

Δικλείδες απομόνωσης

Στο δίκτυο ύδρευσης πρέπει να υπάρχει ένας ικανοποιητικός αριθμός δικλείδων, οι οποίες πρέπει να είναι σε καλή λειτουργική κατάσταση ώστε να αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά οι περιπτώσεις επέμβασης στο δίκτυο με τη μικρότερη δυνατή όχληση των καταναλωτών. Με την ύπαρξη αυτών των δικλείδων μπορεί να απομονώνεται όσο το δυνατόν μικρότερο μέρος του δικτύου. Η καλή λειτουργική κατάσταση των δικλείδων είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των διαρροών. Στην κανονική τους λειτουργία οι δικλείδες πρέπει να είναι πλήρως ανοιχτές για να υπάρχει απρόσκοπτη και επαρκής ροή του νερού εντός των αγωγών, εκτός από τις δικλείδες που πρέπει να είναι κλειστές για συγκεκριμένους λόγους π.χ. δικλείδες που χωρίζουν υδραυλικές ζώνες ή υποζώνες (Τσακίρης και Χαραλάμπους, 2010).



Σχήμα 2.7: Δικλείδα Απομόνωσης.

Εξαερισμός

Στα δίκτυα ύδρευσης αναγκαία είναι η ύπαρξη εξαερισμού όταν γίνεται εκκένωση και επαναπλήρωση του δικτύου και επίσης κατά την λειτουργία του δικτύου υπό πίεση για την αποβολή του αέρα που συγκεντρώνεται μέσα στο νερό και ειδικά στα ψηλά σημεία των αγωγών.

Για να είναι δυνατή η εκκένωση αγωγού θα πρέπει να γίνει εισαγωγή αέρα εντός του αγωγού. Σε αντίθετη περίπτωση η εκκένωση δυσχεραίνεται και ο αγωγός τίθεται σε αρνητική πίεση με πιθανά προβλήματα θραύσης.

Εκκένωση/Εκπλυση

Στα δίκτυα ύδρευσης απαραίτητη είναι η τοποθέτηση εκκενωτών, συνήθως στα χαμηλότερα υψομετρικά σημεία του δικτύου, με δυνατότητα διοχέτευσης του νερού σε δίκτυο ομβρίων αν είναι δυνατόν έτσι ώστε να μην δημιουργηθούν ανεπιθύμητες καταστάσεις με τη διοχέτευση του στην επιφάνεια του ασφαλτικού οδοστρώματος ή πεζοδρομίου. Η εκκένωση απαιτείται συνήθως για λόγους επέμβασης στον αγωγο, για την επιδιόρθωση βλάβης ή εργασιών για την επέκταση του δικτύου.

Από το σημείο εκκένωσης γίνεται συνήθως και έκπλυση του αγωγού για λόγους καθαρισμού του αγωγού, απομάκρυνσης ιζημάτων και ανανέωσης του νερού. Έκπλυση επίσης γίνεται και από άλλα σημεία του δικτύου τοποθετημένα σε

στρατηγικά σημεία π.χ . τερματικούς αγωγούς (dead ends) , ώστε να επιτυγχάνεται ο πλήρης καθαρισμός του δικτύου (Τσακίρης και Χαραλάμπους, 2010).

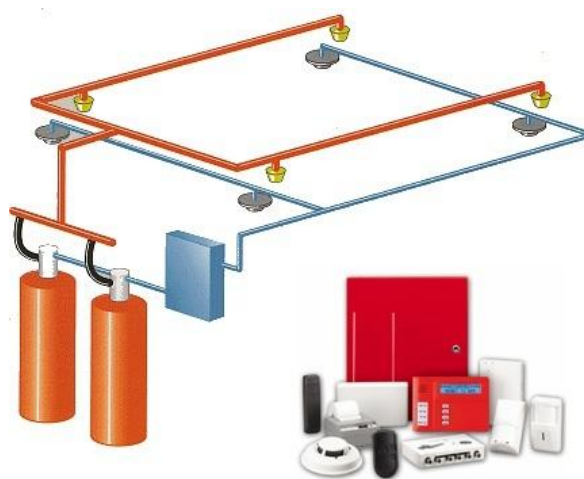
Πυρόσβεση

Στις περισσότερες χώρες η εκάστοτε νομοθετικές ρυθμίσεις επιβάλλουν την απρόσκοπτη πρόσβαση από την Πυροσβεστική υπηρεσία σε υδροστόμια πυρόσβεσης (Σχήμα 2.8) τα οποία είναι τοποθετημένα στο δίκτυο διανομής έτσι ώστε να γίνεται λήψη των αναγκαίων ποσοτήτων νερού για την πυρόσβεση.

Πέραν των κοινόχρηστων σημείων πυρόσβεσης, στους εξωτερικούς χώρους υπάρχουν και διατάξεις ιδιωτικής πυρόσβεσης (Σχήμα 2.9) συνήθως σε πολυώροφα κτήρια για την αντιμετώπιση περιστατικών πυρκαγιάς εντός των κτηρίων.



Σχήμα 2.8: Υδροστόμιο (Υδροληψίας) Πυρόσβεσης

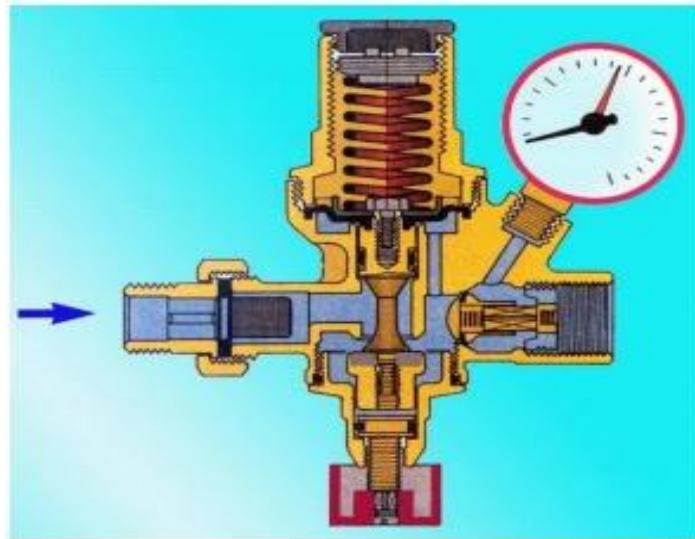


Σχήμα 2.9: Διάταξη Ιδιωτικής Πυρόσβεσης

Παροχή-Πίεση

Η συνεχής καταγραφή της παροχής και της πίεσης του νερού στο δίκτυο διανομής είναι πολύ σημαντική για την αποτελεσματική διαχείριση του δικτύου. Η καταγραφή της παροχής γίνεται με την εγκατάσταση υδρομέτρων ή παροχομέτρων στις εισόδους τροφοδοσίας μια περιοχής η οποία ονομάζεται πιεζομετρική ζώνη ή υποζώνη.

Η πίεση εντός του δικτύου ελέγχεται και ρυθμίζεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της κάθε ζώνης. Για τον έλεγχο και την ρύθμιση της πίεσης προς αποφυγή υπερπιέσεων, τοποθετούνται βαλβίδες ρύθμισης πίεσης (pressure regulating valves-PRVs) στα σημεία τροφοδοσίας των ζωνών. Εκτενής περιγραφή της σχέσης μεταξύ πίεσης-παροχής γίνεται στο 5^ο κεφάλαιο της εργασίας.



Σχήμα 2.10: Βαλβίδα Ρύθμισης Πίεσης (Trapp, 2009).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

3.1 Γενικά στοιχεία συστημάτων ύδρευσης και απωλειών νερού

Το νερό είναι ένα καθημερινό σημαντικό στοιχείο στην ζωή κάθε πολίτη, που στηρίζει την υγεία του, την οικονομική ανάπτυξη και τα οικοσυστήματα. Καθώς το νερό είναι τόσο πολύτιμο και σημαντικό στις ζωές μας, η προστασία και η σοφή χρήση των συστημάτων ύδρευσης αποτελεί μια κοινή ευθύνη. Σημαντικός παράγοντας είναι η μείωση και ο έλεγχος της απώλειας ύδατος από τα δίκτυα ύδρευσης και τα δίκτυα διανομής.

Ο συνδυασμός της αυξανόμενης ζήτησης και των ελαττωμένων πόρων δημιουργεί μεγάλη πίεση στους υδατικούς πόρους (Σχήμα 3.1). Το αποτέλεσμα από αυτό είναι ελλείψεις και περιορισμοί στο νερό οι οποίοι επιβάλλονται σε βιομηχανικές και άλλες χρήσεις σε πολλές χώρες σε όλη την Ευρώπη και, φυσικά, σε όλο τον κόσμο. Υπάρχουν επίσης περιστατικά όπου έχουν συμβεί σοβαρές ζημιές σε οικοσυστήματα. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Φορέα Περιβάλλοντος (European Environment Agency) (που δημοσιεύθηκε τις 21 Ιουλίου 1999) και το FAO AQUASTAT (Water Resources που δημοσιεύθηκε το 2002), το ένα τρίτο (1/3) των ευρωπαϊκών χωρών έχουν σχετικά χαμηλή διαθεσιμότητα σε νερό, δηλαδή λιγότερο από 5000 m³ /άτομο/έτος. Οι νότιες χώρες επηρεάζονται ιδιαίτερα, με τη Μάλτα να έχει μόνο 100 m³/άτομο/έτος. Οι πυκνοκατοικημένες χώρες της Βόρειας Ευρώπης, όπως το Βέλγιο, η Δανία και η Αγγλία που έχουν μέτριες βροχοπτώσεις επίσης βρίσκονται μέσα στην ομάδα με χαμηλή διαθεσιμότητα νερού. Πρόσφατα το καλοκαίρι του 2007, η Τουρκία και η Νοτιοανατολική Ευρώπη δεινοπάθησαν από μια σοβαρή ξηρασία. Σε Νότιες χώρες, η ζήτηση για νερό είναι γενικά μεγαλύτερη, ειδικά για τη γεωργία, αν και η βιομηχανία παραμένει ο πιο σημαντικός καταναλωτής νερού στην Ευρώπη. Για την Ευρώπη συνολικά, το 53 τοις εκατό του νερού που καταναλώνεται πηγαίνει στη βιομηχανία, το 26 τοις εκατό καταναλώνεται στην γεωργία και το 19 τοις εκατό για οικιακή χρήση αλλά με μεγάλες παραλλαγές μεταξύ των διαφόρων χωρών.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει όλο και μεγαλύτερη συνειδητοποίηση ότι δεν μπορούν να ικανοποιηθούν οι αυξανόμενες απαιτήσεις για νερό. Ως αποτέλεσμα της αυξανόμενης κατανόησης του προβλήματος έχει υπάρξει μια απομάκρυνση από την παραδοσιακή προσέγγιση στη διαχείριση της ζήτησης κατά την οποία γινόταν απλή αύξηση της παροχής μέσω της ανάπτυξης νέων πόρων και σχεδίων μεταφοράς,. Η διαχείριση της ζήτησης εστιάζει στην πιο αποδοτική χρήση του νερού, στον περιορισμό των απωλειών, σε λιγότερη σπάταλη χρήση του νερού, σε πιο αποδοτικές συσκευές και στην ανακύκλωση του νερού. Σε πολλές περιπτώσεις, είναι πιο φτηνό και πιο αποτελεσματικό να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα της χρήσης του νερού από το να αυξηθούν οι παροχές νερού.

Από την πλευρά της παροχής νερού, οι απώλειες νερού από το σύστημα διανομής υπολογίζονται κατά μέσο όρο περίπου στο 30 έως 40% του νερού που περνά από τα δίκτυα. Σε μερικές από τις πρώην ανατολικο-ευρωπαϊκές χώρες δεν είναι ασυνήθιστο η απώλεια νερού να φτάνει το 50% της συνολικής ποσότητας του νερού που περνά από το σύστημα ύδρευσης. Οι εταιρείες ύδρευσης που έχουν φτηνές και άφθονες πηγές είναι συχνά απρόθυμες να ξοδέψουν χρήματα για το θέμα της απώλειας ύδατος. Οι περισσότερες από αυτές τις εταιρείες ύδρευσης ασκούν αυτό που ονομάζεται "παθητικός έλεγχος διαρροών". Αυτό σημαίνει γενικά ότι επισκευάζουν τις ορατές διαρροές και εκείνες που αναφέρει το κοινό αλλά δεν έχουν μια πολιτική εντοπισμού των μη-ορατών ή μη αναφερόμενων διαρροών. Εν τέλει, η εύρεση και η επιδιόρθωση των διαρροών είναι δαπανηρή και επειδή η μείωση των απωλειών δεν μεταφράζεται σε υψηλότερες τιμές χρέωσης του νερού δεν υπάρχει κίνητρο για μερικές εταιρείες ύδρευσης να μειώσουν τις διαρροές σε ένα αποδεκτό επίπεδο (Pilcher, κ.α., 2008).



Σχήμα 3.1: Κατάσταση υδροφορέα λόγω ξηρασίας (Halcrow Group, 2002).

3.2 Απώλειες Νερού

3.2.1 Γενικά

Η Απώλεια Νερού (Water Loss) ή Μη Τιμολογημένο Νερό (Non-Revenue Water - NRW) αντιπροσωπεύει αναποτελεσματικές διαδικασίες παράδοσης και μέτρησης του νερού στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής και, σε μερικά δίκτυα ύδρευσης, μπορεί να αποτελεί ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό της συνολικής παραγωγής νερού. Οι Απώλειες Νερού για ένα ολόκληρο δίκτυο ή για ένα τμήμα ενός δικτύου υπολογίζονται ως η διαφορά του Όγκου Εισόδου στο Σύστημα (Systems Input Volume) μείον την Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση (Authorised Consumption). Οι Απώλειες Νερού αποτελούνται από τις Πραγματικές (Real) και τις Φαινομενικές Απώλειες (Apparent Losses).

3.2.2 Πραγματικές Απώλειες

Πραγματικές απώλειες ή Φυσικές απώλειες , ορίζονται οι απώλειες που προκύπτουν από διαρροές, θραύσεις αγωγών, καθώς και από υπερχειλίσεις δεξαμενών και λαμβάνουν χώρα μέχρι το υδρόμετρο του καταναλωτή (Τσακίρης και Χαραλάμπους, 2010).

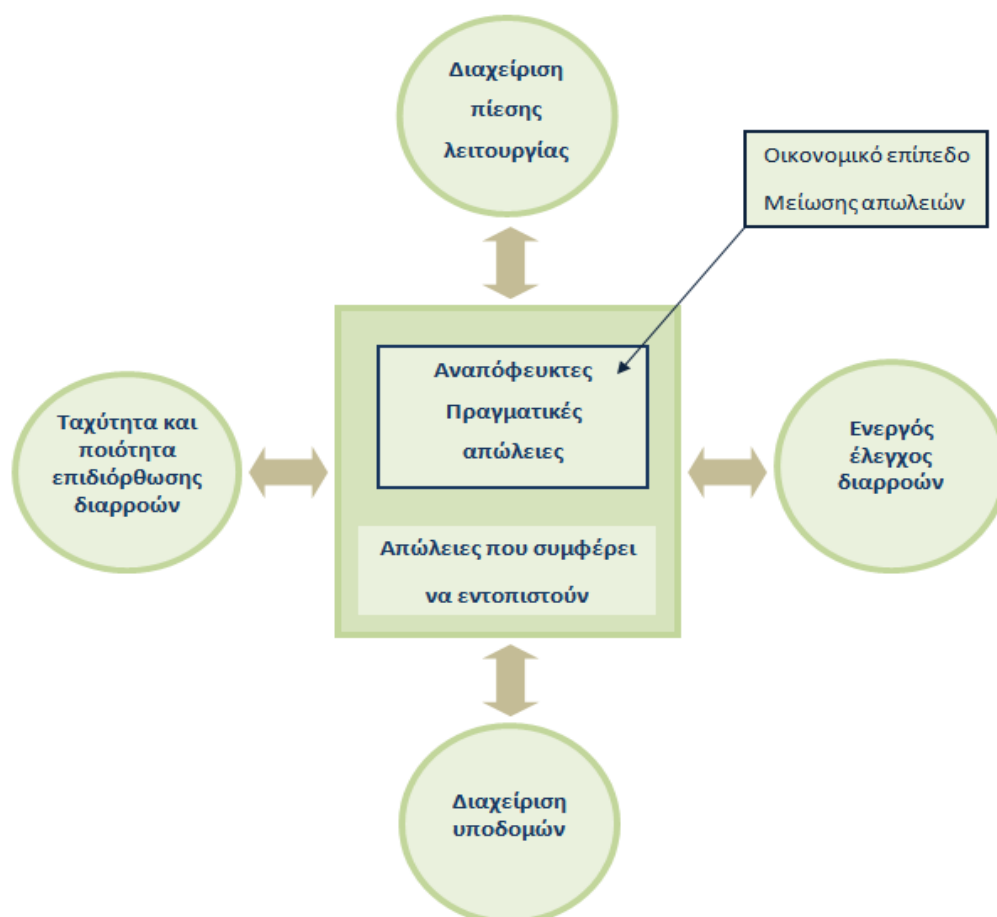
Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις Πραγματικές Απώλειες νερού και οι οποίες μπορεί να είναι τοπικές ή να καλύπτουν ευρύτερες περιοχές, είναι:

- Μήκος, διάμετρος, ηλικία και υλικό αγωγών
- Τρόπος κατασκευής και τοποθέτηση αγωγών
- Πυκνότητα και μήκος εγκάρσιων συνδέσεων καταναλωτών
- Πυκνότητα ενώσεων, δικλείδων και λοιπών εξαρτημάτων
- Πολιτική και πρακτικές εντοπισμού και επιδιόρθωσης διαρροών
- Πολιτική αντικατάστασης αγωγών, υδρομέτρων κλπ.



Σχήμα 3.2: Πραγματικές απώλειες (Halcrow Group, 2002).

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα του Σχήματος 3.3 κρίνεται σκόπιμο οι απώλειες να μειώνονται μέχρι ενός σημείου που θεωρείται ως το οικονομικό επίπεδο μείωσης απωλειών.



Σχήμα 3.3: Βασικοί πυλώνες μείωσης πραγματικών απωλειών (Τσακίρης και Χαραλάμπους, 2010).

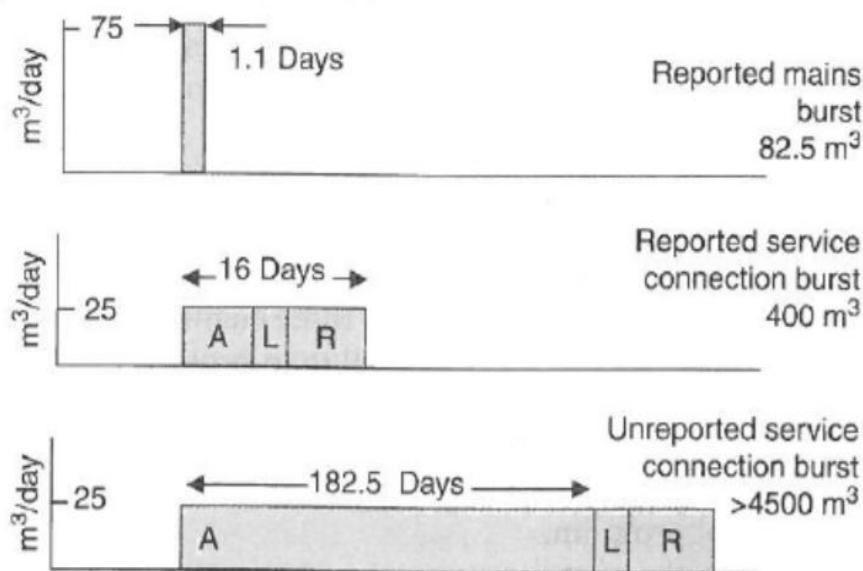
Βασικές δράσεις της διαδικασίας μείωσης των πραγματικών απωλειών είναι οι εξής:

- Ταχύτητα και Ποιότητα Επιδιορθώσεων των Διαρροών (Speed and Quality of Repairs).
- Διαχείριση Υποδομών δικτύου ύδρευσης (Infrastructure Management).
- Ενεργός έλεγχος των Διαρροών (Active Leakage Control).
- Διαχείριση της Πίεσης Λειτουργίας του Δικτύου (Pressure Management).

Ταχύτητα και ποιότητα επιδιορθώσεων των διαρροών

Είναι σημαντικό να υπάρχει άμεση και αποτελεσματική αντιμετώπιση των διαρροών είτε αυτές είναι εμφανείς είτε αφανείς. Αποτελεσματικοί τρόποι μείωσης των απωλειών νερού είναι η ταχύτητα επιδιόρθωσης των διαρροών και θραύσεων, η χρήση αρίστης ποιότητας υλικών επισκευής καθώς και η βελτίωση της ποιότητας των εργασιών επιδιόρθωσης.

Τα περιστατικά πρέπει να αντιμετωπίζονται σε συστηματική βάση και όχι πυροσβεστικά, με άρτια εξοπλισμένα συνεργεία τα οποία θα εργάζονται όλο το 24ωρο για να ελαχιστοποιείται η διάρκεια απωλειας νερού και κατά συνέπεια οι ποσότητες που χάνονται.



Σχήμα 3.4: Επιπτώσεις του χρόνου στο συνολικό όγκο νερού που χάνεται (Farley, 2001).

Διαχείριση Υποδομών

Η προσέγγιση αυτή αποτελεί μια ουσιαστική και σημαντική επένδυση και επιβάλλεται σε δίκτυα τα οποία είναι πεπαλαιωμένα και αντιμετωπίζουν συνεχή προβλήματα αστοχιών και θραύσεων.

Σημαντικά στοιχεία για την αποτελεσματική διαχείριση υποδομών είναι η χρήση άριστης ποιότητας υλικών και εξαρτημάτων τα οποία τυγχάνουν σωστής

τοποθέτησης. Επίσης, η συστηματική συντήρηση, καθώς και η ιεράρχηση των αγωγών για αντικατάσταση, συμβάλλουν ουσιαστικά και σημαντικά στην μείωση των απωλειών.

Έχουν αναπτυχθεί οικονομοτεχνικά μοντέλα διαχείρισης αστοχιών δικτύων που υπολογίζουν τον βέλτιστο χρόνο αντικατάστασης των αγωγών (repair replacement dilemma) και στηρίζονται σε ιστορικά δεδομένα διαρροών και θραύσεων καθώς και σε στοιχεία κόστους εντοπισμού και επισκευής ή αντικατάστασης των αγωγών. Η τάση είναι πριν την όποια ενέργεια να γίνεται μια ανάλυση Κόστους/Οφέλους (Cost/Benefit Analysis) ώστε να προσδιορισθεί τι συμφέρει και τι όχι.



Σχήμα 3.5: Επισκευή και αντικατάσταση αγωγών (Κανακούδης, 1998)

Ενεργός έλεγχος των διαρροών

Ο ενεργός έλεγχος των διαρροών αποτελεί τεχνική που εφαρμόζεται συστηματικά για τον εντοπισμό και επιδιόρθωση αφανών διαρροών, δηλαδή διαρροών που δεν βγαίνουν στην επιφάνεια. Η μεθοδολογία, συνίσταται κυρίως στον εντοπισμό του ήχου που δημιουργείται από την διαφυγή του νερού διαμέσου της σπής.

Οι ηλεκτρολογικές κατασκευές που χρησιμοποιούνται στα διάφορα στάδια εντοπισμού είναι:

- Καταγραφικά ήχου (Σχήμα 3.5) για τον εντοπισμό της ευρύτερης περιοχής του δικτύου όπου υπάρχουν προβλήματα διαρροών.
- Ηλεκτρονικός συσχετιστής (Σχήμα 3.6) για τον εντοπισμό διαρροής που υπάρχει σε δεδομένο μήκος αγωγού.
- Γεώφωνο (Σχήμα 3.7) για τον ακριβή (σημειακό) εντοπισμό της διαρροής.



Σχήμα 3.6: Καταγραφικό ήχου.



Σχήμα 3.7: Ηλεκτρονικός συσχετιστής.



Σχήμα 3.8: Γεώφωνο.

Διαχείριση της Πίεσης Λειτουργίας του Δικτύου

Η διαχείριση της πίεσης θεωρείται ως ο πιο αποτελεσματικός τρόπος μείωσης των απωλειών νερού, αφού αποδεδειγμένα οδηγεί στη δραστική μείωση τόσο των διαρροών όσο και των μελλοντικών θραύσεων. Οι συμβατικοί τρόποι ελέγχου και διαχείρισης της πίεσης λειτουργίας βασίζονται στην Διαμόρφωση της Πίεσης λειτουργίας (Pressure Modulation), στην εγκατάσταση Βαλβίδων Ρύθμισης Πίεσης (Pressure Regulating Valves-PRV) οι οποίες μειώνουν ελεγχόμενα και ρυθμίζουν αυτόματα την πίεση ανάλογα με τη ζήτηση και στην δημιουργία Περιοχών Διαχείρισης Πίεσης (Pressure Management Areas-PMAs). Εκτενέστερη ανάλυση της διαχείρισης της πίεσης γίνεται στο 5^ο Κεφάλαιο της εργασίας.

3.2.3 Φαινομενικές Απώλειες

Ως Φαινομενικές Απώλειες ορίζονται οι κάθε είδους ανακρίβειες στην καταμέτρηση (λόγω σφάλματος καταγραφής των υδρομέτρων) καθώς και οποιαδήποτε μη νόμιμη κατανάλωση. Οι φαινομενικές απώλειες έχουν άμεση σχέση με τα έσοδα της εταιρίας ύδρευσης και συμβάλλουν στην απώλεια εσόδων αυτής, ενώ έχουν άμεση

σχέση με την κοστολόγηση υπηρεσιών διανομής πόσιμου νερού (Τσακίρης και Χαραλάμπους, 2010).

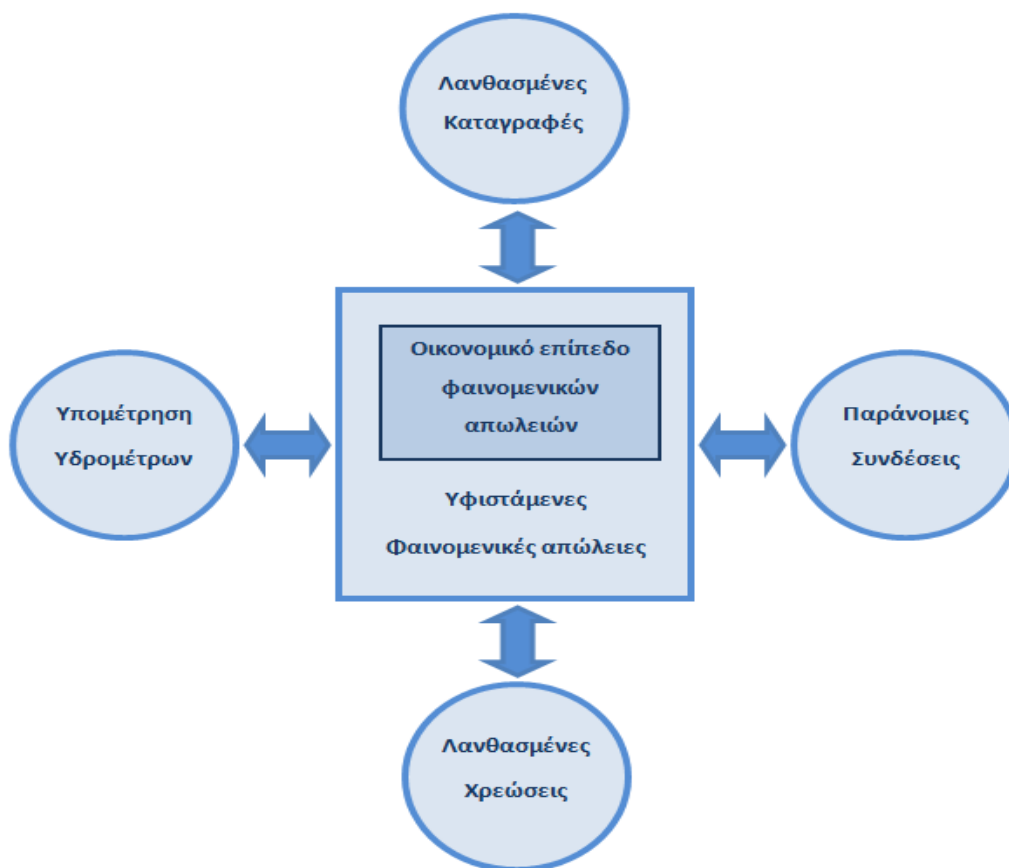


Σχήμα 3.9: Φαινομενικές Απώλειες-Παράνομη χρήση (Pilcher, 2002).

Γενικά διακρίνονται οι εξής συνιστώσες των φαινομενικών απωλειών:

- Υπομέτρηση Υδρομέτρων (Meter Under-Registration)
- Παράνομες Συνδέσεις (Illegal Connections)
- Λανθασμένες Καταγραφές (Meter Reading Error)
- Λανθασμένες Χρεώσεις (Accounting Error)

Οι πιο πάνω συνιστώσες μπορούν να επιδράσουν θετικά ή αρνητικά, δηλαδή μπορούν να μειώσουν το ποσοστό των φαινομενικών απωλειών αν υπάρχει σωστή αντιμετώπισή τους ή να το αυξήσουν αν δεν ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα και ενέργειες από την εταιρεία ύδρευσης.



Σχήμα 3.10: Συνιστώσες φαινομενικών απωλειών (Τσακίρης και Χαραλάμπους, 2010).

Υπομέτρηση Υδρομέτρων

Οι εταιρίες υδροδότησης πρέπει να μεριμνούν για την εγκατάσταση και σωστή λειτουργία των υδρομέτρων σε όλους τους καταναλωτές. Τα υδρόμετρα πρέπει να είναι σωστά διαστασιολογημένα, σύγχρονης τεχνολογίας και υψηλής ακρίβειας κυρίως στην καταγραφή της ελάχιστης παροχής.

Είναι γεγονός ότι η υπομέτρηση των υδρομέτρων είναι ένα πολύ σοβαρό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν αρκετές εταιρείες ύδρευσης ειδικά με τα παλαιότερου τύπου υδρόμετρα απλής ροπής (Single Jet). Το πρόβλημα της υπομέτρησης υδρομέτρων γίνεται εντονότερο σε χώρες που χρησιμοποιούν δεξαμενές στις οικίες για αποθήκευση νερού λόγω διακοπώμενης υδροδότησης. Στις περιπτώσεις αυτές, το πεδίο λειτουργίας του υδρομέτρου είναι συνήθως στις πολύ χαμηλές παροχές λόγω του ότι γίνεται χρήση της αποθηκευμένης ποσότητας νερού στη δεξαμενή. Από μετρήσεις πεδίου που έχουν γίνει για να εξακριβωθεί το

μέγεθος της υπομέτρησης διαπιστώθηκε ότι αυτό κυμαίνεται μεταξύ 5-10% ανάλογα με τον τύπο και ηλικία των υδρομέτρων. Επιβάλλεται συνεπώς να γίνεται περιοδικός έλεγχος και αντικατάσταση των παλαιών ή προβληματικών υδρομέτρων με υδρόμετρα υψηλής ακρίβειας, όπως αυτά ογκομετρικού τύπου (Τσακίρης και Χαραλάμπους, 2010).

Παράνομες Συνδέσεις

Παράνομες συνδέσεις είναι εκείνες οι οποίες αποσκοπούν στη λήψη νερού από το δίκτυο διανομής χωρίς την άδεια της εταιρείας ύδρευσης, πράγμα που συνιστά κλοπή. Το φαινόμενο αυτό είναι πολύ συχνό στις περιπτώσεις των λιγότερο ανεπτυγμένων χωρών ή όπου υπάρχει εξυπηρετούμενος πληθυσμός πολύ χαμηλής εισοδηματικής τάξης που αδυνατεί να ανταποκριθεί στις δαπάνες νερού ή στις περιπτώσεις που το νερό είναι υψηλό σε σύγκριση με την οικονομική δυνατότητα του καταναλωτή για εξόφληση τιμολογίου. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί σε μεγάλο βαθμό εφαρμόζοντας πολιτικές χρέωσης οι οποίες λαμβάνουν σοβαρά υπόψη τα ασθενέστερα εισοδηματικά στρώματα του κοινωνικού συνόλου, καθώς και επίσης με συχνές επιθεωρήσεις της παροχής προς τον καταναλωτή για εντοπισμό τυχόν μη μόνιμων επεμβάσεων.

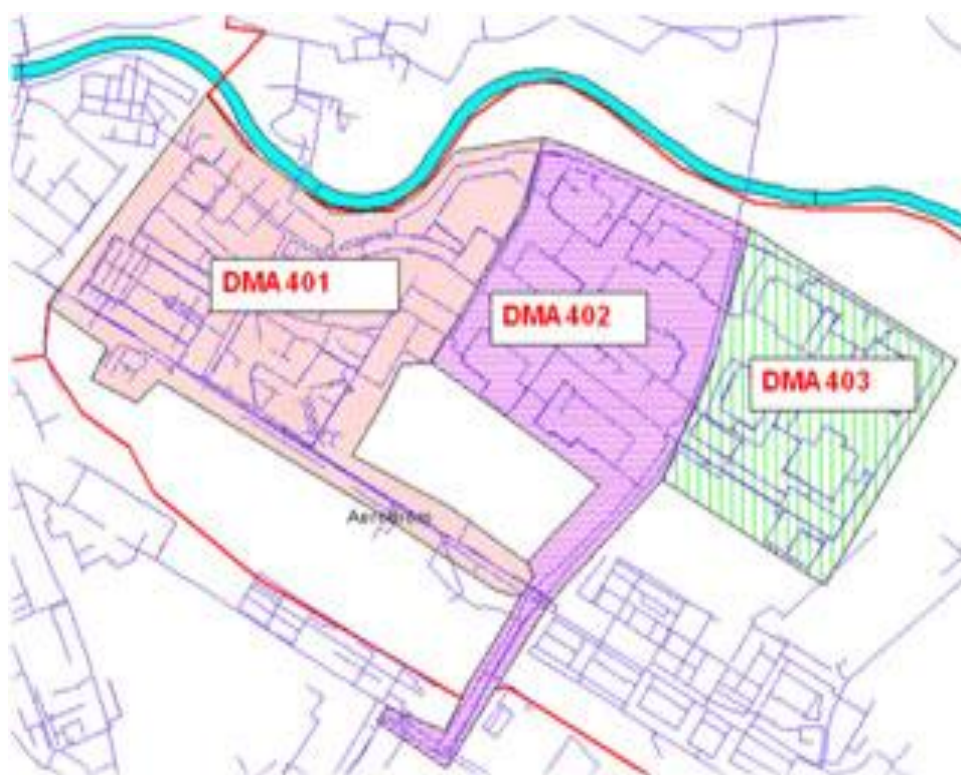
Λανθασμένες Καταγραφές και Χρεώσεις

Οι δύο αυτές συνιστώσες συνήθως σχετίζονται με ανθρώπινα λάθη τα οποία συμβαίνουν τόσο κατά την καταγραφή της κατανάλωσης όσο και κατά τη μεταφορά των δεδομένων στο σύστημα καταχώρησης για την τήρηση αρχείων καταναλώσεων για κάθε καταναλωτή. Τα λάθη αυτά περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό όταν εφαρμόζονται ημιαυτόματες ή αυτόματες λειτουργίες όπως η καταγραφή της κατανάλωσης και μεταφορά των δεδομένων μέσω προηγμένων συστημάτων ηλεκτρονικής καταγραφής (Automatic Meter Reading-AMR), αλλά και χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS).

3.3 Ζώνες Ελέγχου

3.3.1 Έννοια και χρησιμότητα

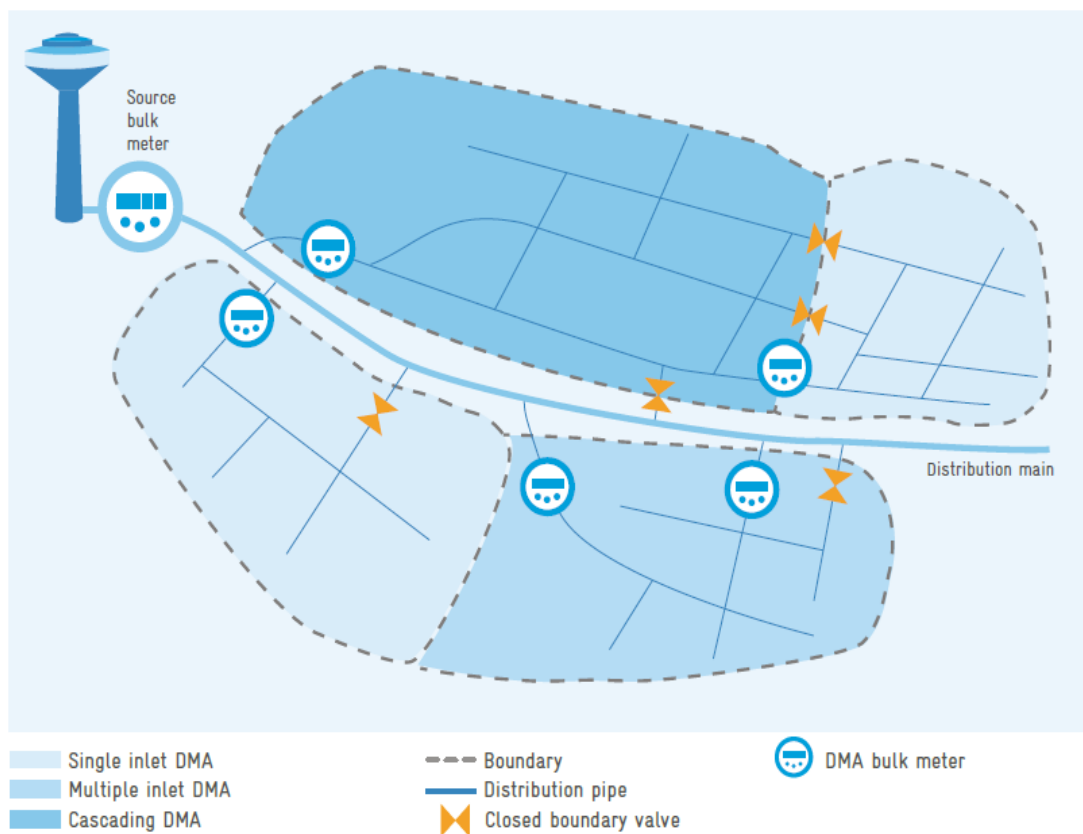
Ο χωρισμός του δικτύου σε «στεγανές» ή απόλυτα ελεγχόμενες ζώνες (District Meter Areas-DMAs ,Σχήμα 3.11) σε συνδιασμό με τη διαχείριση της πίεσης, παρέχει τη δυνατότητα άμεσου και ουσιαστικού ελέγχου και διαχείρισης των απωλειών νερού (Τσακίρης και Χαραλάμπους, 2010).



Σχήμα 3.11: Παράδειγμα χωρισμού δικτύου σε Ζώνες Ελέγχου-DMAs (Aqua Save, 2011).

Ως Ζώνη Ελέγχου (District Metered Area-DMA) ορίζεται μια διακριτή περιοχή του δικτύου υδροδότησης. Συνήθως δημιουργείται κλείνοντας τις περιφερειακές δικλείδες (closed boundary valves) έτσι ώστε να παραμένει ανεπηρέαστη στις εναλλαγές των παροχών. Ωστόσο, μια ζώνη ελέγχου μπορεί να δημιουργηθεί και με την μόνιμη αποσύνδεση των σωληνώσεων σε γειτονικές περιοχές. Ο όγκος του νερού που εισέρχεται ή εξέρχεται από την ζώνη ελέγχου μετράται έτσι ώστε να παρακολουθούνται συνεχώς τα επίπεδα των απωλειών (Morrison, κ.α., 2007). Οι ζώνες ελέγχου κατηγοριοποιούνται σε τρεις διαφορετικούς τύπους: Ζώνες Ελέγχου

Μιας Εισόδου (single inlet DMAs) , Ζώνες Ελέγχου Πολλαπλών Εισόδων (multiple inlet DMAs) και Κλιμακωτές Ζώνες Ελέγχου (cascading DMAs) (Σχήμα 3.12).



Σχήμα 3.12: Τυπική διάταξη Ζωνών Ελέγχου (Farley, 2001).

Ο χωρισμός των μεγάλων δικτύων σε συγκεκριμένο αριθμό από ζώνες και υποζώνες έχει το πλεονέκτημα ότι οι νέες και κρυμμένες διαρροές εντοπίζονται πολύ γρήγορα, (μειώνοντας την Περίοδο Ένδειξης (awareness time)) και με καλύτερη ακρίβεια (μειώνοντας την Περίοδο Εντοπισμού (detection time), οι έννοιες των οποίων εξηγούνται εκτενώς στο Κεφάλαιο 4.6). Εάν παρακολουθούνται οι εισροές και οι εκροές των ζωνών ελέγχου μπορούν να προσδιοριστούν αμέσως οι εξαιρετικά υψηλές πιέσεις σε μια περιοχή του δικτύου , με αποτέλεσμα οι περίοδοι ένδειξης, εντοπισμού και επιδιόρθωσης να μειώνονται σημαντικά. Επίσης τα επίπεδα απωλειών μπορούν να ποσοτικοποιηθούν για διαφορετικές ζώνες έτσι ώστε η ανίχνευση και οι δραστηριότητες επισκευής να κατευθύνονται αποτελεσματικότερα για τις προβληματικές ζώνες (Brothers, 2009).

Η δημιουργία των ζωνών ελέγχου είναι το πρώτο βήμα για την διευκόλυνση του άμεσου εντοπισμού και ουσιαστικού ελέγχου των απωλειών.

3.3.2 Διαμόρφωση

Η διαμόρφωση των ζωνών ελέγχου χρειάζεται βαθιά γνώση του δικτύου υδροδότησης. Η ύπαρξη τοπογραφικών πληροφοριών καθώς και ενός ενημερωμένου μητρώου των καταναλωτών είναι απαραίτητες. Επίσης, πρότυπα των καταναλώσεων νερού καθώς και δεδομένα επιχειρησιακής έρευνας για τις ροές και πιέσεις πρέπει να είναι διαθέσιμα. Για σύνθετα δίκτυα μπορεί να απαιτείται βαθμονομημένο υδραυλικό μοντέλο για τον προσδιορισμό των επιπτώσεων της πίεσης και για τον εντοπισμό πιθανών σημείων που πρόκειται για στασιμότητα. Οι παρακάτω γενικοί κανόνες (Ziegler, κ.α., 2010) πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν για τον σχεδιασμό των ζωνών ελέγχου:

- Κάθε ζώνη ελέγχου θα πρέπει κατά προτίμηση να τροφοδοτείται μέσω ενός μετρημένου σημείου παροχής. Μπορεί, βέβαια να είναι αναγκαίο ή χρήσιμο για την προμήθεια μιας ζώνης ελέγχου να χρησιμοποιούνται δύο βαλβίδες εξοπλισμένες με μετρητές ροής για την εξυπηρέτηση των απαιτήσεων σε περίπτωση πυρκαγιάς. Όλοι οι μετρητές ροής πρέπει να είναι σωστά βαθμονομημένοι και να έχουν εγκατασταθεί σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.
- Τα όρια της ζώνης ελέγχου πρέπει να δημιουργούνται κλείνοντας τις περιφερειακές δικλείδες. Τα όρια των ζωνών πρέπει να ακολουθούν τα φυσικά όρια (π.χ ποτάμια, σιδηροδρομικές γραμμές, κύριους οδικούς άξονες). Ο αριθμός των περιφερειακών δικλείδων πρέπει να ελαχιστοποιείται. Οι περιφερειακές δικλείδες πρέπει να είναι ξεκάθαρα προσημαδωμένες και εξοπλισμένες με ειδικές συσκευές για την αποφυγή οποιουδήποτε κατά λάθος ανοίγματος (από κάποια μη εξουσιοδοτημένη πηγή).
- Μεγάλες αλλαγές στο υψόμετρο του εδάφους μέσα στις ζώνες πρέπει να αποφεύγονται. Οι μελλοντικές εφαρμογές συστημάτων

διαχείρισης της πίεσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά τον σχεδιασμό μιας ζώνης ελέγχου.

- Οι τύποι της κατανάλωσης (οικιακή, εμπορική, βιομηχανική ή κρίσιμοι παράγοντες όπως π.χ. νοσοκομεία) και οι αντίστοιχες απαιτήσεις παροχής νερού τους πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν και να αξιολογούνται.
- Νομικές διατάξεις που διέπουν τις ελάχιστες πιέσεις, τοπικοί περιορισμοί λόγω τοπογραφίας και το ύψος των κτηρίων, καθώς και οι απαιτήσεις σε κατάσταση πυρκαγιάς πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη.
- Το κλείσιμο των περιφερειακών δικλίδων για την δημιουργία ζωνών ελέγχου θα αυξήσει τον αριθμό των αδιεξόδων στους σωλήνες. Οι ζώνες ελέγχου πρέπει επομένως να είναι σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο που να αποτρέπουν προβλήματα ποιότητας του νερού που οφείλονται στη στασιμότητα. Υδραυλικά μοντέλα του δικτύου συμβάλουν στον εντοπισμό και την αποφυγή πιθανών ζωνών στασιμότητας.
- Η διαχείριση της πίεσης διαδραματίζει καίριο ρόλο στην διαχείριση των απωλειών και, όπου είναι δυνατόν, πρέπει να ενσωματώνεται στη διαδικασία σχεδιασμού των ζωνών ελέγχου.

3.4 Όγκος και αξία απωλειών νερού

Η απώλεια νερού εμφανίζεται σε όλα τα δίκτυα και μπορεί να φτάσει στο 60% της ποσότητας του νερού που μπαίνει σε ένα σύστημα. Το επίπεδο των απωλειών απεικονίζει τη διαχείριση του δικτύου από την εταιρεία ύδρευσης. Για να κατανοηθούν οι λόγοι της απώλειας ύδατος θα πρέπει να γίνει ένας έλεγχος ή μια αξιολόγηση του όγκου του νερού που χάνεται, μια αξιολόγηση των φυσικών χαρακτηριστικών του δικτύου και της τρέχουσας λειτουργικής πρακτικής του. Στα

περισσότερα δίκτυα, η μέγιστη ποσότητα των απωλειών νερού είναι οι πραγματικές απώλειες, δηλαδή οι διαρροές.

Γενικά, το ποσοστό των συνολικών απωλειών, που είναι περίπου στο 75 έως 80%, θα αποδοθεί σε πραγματικές απώλειες και το 20 έως 25% σε φαινομενικές απώλειες. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι φαινομενικές απώλειες προκαλούνται κυρίως από ανακριβείς μετρήσεις στα υδρόμετρα των πελατών και η ποσότητα του νερού που χάνεται λόγω παράνομων συνδέσεων είναι συχνά λιγότερη από το 1% του νερού που μπαίνει σε ένα σύστημα.



Σχήμα 3.13: Συστατικά απωλειών νερού (Pilcher, κ.α., 2008).

Εάν εξετάσουμε μια εταιρεία ύδρευσης που παρέχει νερό σε μια περιοχή με 2 εκατομμύρια άτομα, και, κατά μέσον όρο, κάθε άτομο καταναλώνει 175 λίτρα νερό ανά ημέρα και η εταιρεία ύδρευσης εκτιμά ότι το 33% του νερού που μπαίνει στο σύστημα χάνεται, τότε η ποσότητα του νερού που πρέπει να παραχθεί, ή να αγορασθεί σε μεγάλη ποσότητα θα είναι 525.000 m³ ανά ημέρα, εκ των οποίων θα καταναλωθούν τα 350.000. Κατά συνέπεια, οι απώλειες νερού είναι 175.000 m³/ημέρα. Εάν οι πραγματικές απώλειες είναι το 80% των συνολικών απωλειών και οι φαινομενικές απώλειες είναι το 20% τότε:

1. Πραγματικές απώλειες $175.000 \times 80\% = 140.000 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$
2. Φαινομενικές απώλειες $175.000 \times 20\% = 35.000 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$

Σε ετήσια βάση, αυτό αντιπροσωπεύει 63.875 μεγα-λίτρα και για τις περισσότερες εταιρείες ύδρευσης αυτό είναι απαράδεκτο. Συχνά, η οικονομική αξία του νερού που χάνεται από ένα δίκτυο επηρεάζει κατά πολύ την εταιρεία ύδρευσης. Επομένως, εάν το κόστος του παραγόμενου νερού ήταν 50 λεπτά ανά m^3 και η χρέωση στον πελάτη ήταν 1,00 ευρώ, τότε η αξία του νερού που χάνεται κάθε ημέρα είναι 105.000 ευρώ ή 38,3 εκατομμύρια ευρώ ετησίως.

Εάν αυτή η εταιρεία ύδρευσης ήθελε να εφαρμόσει μια στρατηγική μείωσης των φυσικών απωλειών κατά 15% και μείωσης των εμπορικών απωλειών κατά 5% του όγκου εισόδου στο σύστημα, τότε η αξία του νερού που χάνεται θα ήταν 54.638 ευρώ/ημέρα ή 19,9 εκατομμύρια ευρώ/χρόνο. Η εξοικονόμηση θα ήταν 50.632 ευρώ ή 18,4 εκατομμύρια ευρώ/χρόνο, που θα μπορούσαν να μεταφραστούν ως ένα αυξανόμενο έσοδο. Είναι σημαντικό να προσδιοριστεί το κόστος της μείωσης των απωλειών νερού, καθώς η προσπάθεια που απαιτείται για την εφαρμογή αυτών των μειώσεων δεν πρέπει να υπερβαίνει τον παραπάνω αριθμό (Pilcher, κ.α., 2008).

3.5 Οικονομικά Θέματα-Λόγοι Ελλάτωσης Απωλειών Νερού

Ιδανικά, οι περισσότερες εταιρείες ύδρευσης θα ήθελαν να έχουν ένα τέλειο σύστημα που να έχει μηδενικές διαρροές αλλά, φυσικά αυτό δεν είναι δυνατό, καθώς η πλειοψηφία των σωλήνων είναι κάτω από το έδαφος και χωρίς να μπορούν να τις δουν οι τεχνικοί. Υπάρχουν πολλές αιτίες που δημιουργούνται διαρροές. Σε οποιοδήποτε δίκτυο ύδρευσης θα υπάρχει πάντα ένα επίπεδο απωλειών του οποίου η διαχείριση θα πρέπει να ρυθμίζεται κατάλληλα.

Εφ' όσον μια εταιρεία ύδρευσης θέλει να επιτύχει μείωση των λειτουργικών δαπανών της και αύξηση των εσόδων της, θα μπορεί ευκολότερα να καλύψει το λειτουργικό της κόστος καθώς επίσης και να προχωρήσει σε νέες επενδύσεις. Επιπλέον, ένα αξιόπιστο και καλά διατηρημένο δίκτυο ύδρευσης δημιουργεί πρόσθετα οφέλη μέσω βελτιωμένων υπηρεσιών προς τον πελάτη, εγκυμονεί

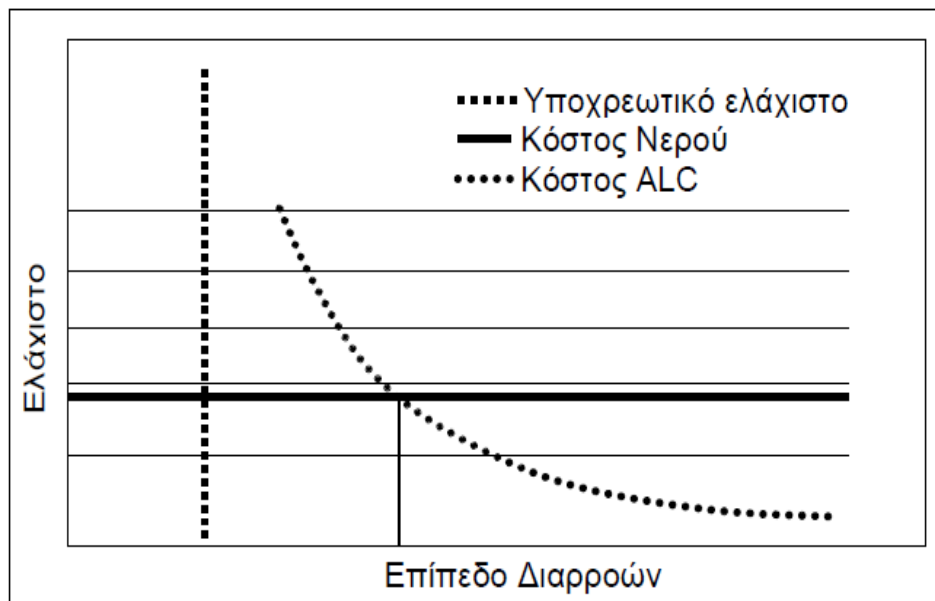
λιγότερους κινδύνους υγείας και συντελεί στην προστασία του περιβάλλοντος μέσω της μειωμένης χρήσης των υδάτινων πόρων.

Η ελάττωση των απωλειών νερού οδηγεί στα παρακάτω οφέλη:

- Βελτίωση της κοινής γνώμης σχετικά με την απόδοση της εταιρείας ύδρευσης
- Μείωση των δαπανών (κατανάλωση ρεύματος και χημικών) για άντληση και επεξεργασία του νερού
- Συνεπής και αξιόπιστη παροχή νερού 24 ώρες το 24ωρο
- Βελτίωση στην προθυμία του πελάτη να πληρώσει για το νερό – υψηλότερη αποτελεσματικότητα τιμολόγησης και συλλογής χρημάτων
- Βελτίωση της ποιότητας του πόσιμου νερού – μειωμένος κίνδυνος μόλυνσης λόγω διαρροών
- Αποτελεσματική χρήση του πόσιμου νερού – χρήση των υδάτινων πόρων φιλική προς το περιβάλλον

3.6 Βέλτιστο επίπεδο απωλειών νερού

Το βέλτιστο επίπεδο διαρροών είναι το επίπεδο αυτό κατά το οποίο η περαιτέρω μείωσή τους θα είχε κόστος που θα ξεπερνούσε τα οφέλη που θα προέκυπταν από την εξοικονόμηση ύδατος. Με άλλα λόγια, υπάρχει ένα επίπεδο διαρροών κάτω από το οποίο δεν υπάρχουν οικονομικά οφέλη αλλά ζημιές. Το διάγραμμα του Σχήματος 3.14 δείχνει αυτή την κατάσταση. Διαφοροποιώντας την καμπύλη Active Leakage Control (έλεγχος ενεργών διαρροών), μπορούμε να εκφράσουμε τις καμπύλες κόστους με ένα πιο φιλικό τρόπο.



Σχήμα 3.14 : Καμπύλη Ελέγχου Active Leakage Control (Farley and Throw, 2003).

Κυριάρχα θέματα για τον υπολογισμό του βέλτιστου επιπέδου διαρροών είναι ότι το βέλτιστο επίπεδο διαρροών μπορεί να αλλάζει στη διάρκεια του χρόνου καθώς θα επηρεάζεται από παράγοντες όπως έργα αντικατάστασης αγωγών αλλά και από αλλαγές της συχνότητας των διαρροών λόγω μη σταθερών καιρικών συνθηκών. Η υλοποίηση έργων διαχείρισης των διαρροών, όπως διαχείριση της πίεσης, καταμέτρηση περιοχής και το επίπεδο ελέγχου ενεργού διαρροών, επηρεάζει επίσης το βέλτιστο επίπεδο διαρροών.

Οι αλλαγές στην αξία του ύδατος, στο κόστος παραγωγής και διανομής, τυχόν αυξήσεις της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας, ή και ελλείψεις που προκαλούνται από ξηρασία θα επηρεάσουν το βέλτιστο επίπεδο διαρροών. Επίσης, οι κανονισμοί ελέγχου ποιότητας του νερού μπορεί να αλλάξουν, αναγκάζοντας την Εταιρεία Ύδρευσης στην αναβάθμιση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας του νερού (Farley and Throw, 2003).

Επιπροσθέτως, οι τεχνικές και οι πρακτικές εντοπισμού των διαρροών βελτιώνονται συνεχώς. Η ανάπτυξη νέου εξοπλισμού εντοπισμού των διαρροών θα συντελέσει σε πιο αποτελεσματικό εντοπισμό των διαρροών, μειώνοντας κατά συνέπεια το κόστος του ελέγχου ενεργών διαρροών.

Τέλος, τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του βέλτιστου επιπέδου διαρροών από μια εταιρεία ύδρευσης μπορεί να αλλάζουν

καθώς η εταιρεία αυτή υλοποιεί έργα μείωσης απωλειών. Εάν αυτό συμβαίνει, συνιστάται να αναθεωρείται το βέλτιστο επίπεδο διαρροών κάθε δύο χρόνια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΝΕΡΟΥ

4.1 Γενικά

Στα σύγχρονα δίκτυα ύδρευσης οι απώλειες είναι μια διεθνώς αποδεκτή πραγματικότητα. Ο προβληματισμός των εταιρειών ύδρευσης θα πρέπει να είναι η επιλογή μιας τέτοιας στρατηγικής που να καθιστά δυνατό τον άμεσο εντοπισμό και κατά συνέπεια την άμεση επιδιόρθωση των απωλειών και να μην αρκούνται στον παθητικό μόνο εντοπισμό τους στο δίκτυο.

Ερωτήματα όπως που βρίσκονται οι απώλειες, πόσο μεγάλη ή μικρή είναι η απώλεια νερού, πως εντοπίζονται, πόσο στοιχίζει ο εντοπισμός τους και ποια τα οικονομικά οφέλη από τον εντοπισμό και την επιδιόρθωσή τους, καθιστούν εξαιρετικά δύσκολη τη διαδικασία προσδιορισμού του τρόπου αντιμετώπισης του προβλήματος ή οδηγούν σε λύσεις που δεν αποφέρουν το επιθυμητό αποτέλεσμα και ως εκ τούτου υπάρχει ανάγκη επαναπροσδιορισμού του τρόπου αντιμετώπισης του προβλήματος (Τσακίρης και Χαραλάμπους, 2010).

Η Επιτροπή Διαχείρισης Δικτύων της IWA καθόρισε συγκεκριμένη μεθοδολογία για την ρεαλιστική αντιμετώπιση των απωλειών λαμβάνοντας υπόψη τα παρακάτω:

- Ιεράρχηση των απωλειών με βάση τις ζώνες ή υποζώνες του δικτύου ύδρευσης.
- Εφαρμογή της σχέσης κόστους-οφέλους για τον εντοπισμό και επιδιόρθωση μια διαρροής.
- Αξιολόγηση της φυσικής κατάστασης του δικτύου καθώς και της πίεσης λειτουργίας που είναι άμεσα συνυφασμένη με την ηλικία και τις συνθήκες λειτουργίας του δικτύου.

Η ορθολογική αντιμετώπιση του προβλήματος των απωλειών προϋποθέτει την εφαρμογή συστήματος συνεχούς καταγραφής της παροχής και πίεσης στις ζώνες ή υποζώνες του δικτύου έτσι ώστε να συλλέγονται τα απαραίτητα στοιχεία για αξιολόγηση και καθορισμό στρατηγικής για τον εντοπισμό των διαρροών.

Πολύ ουσιώδης είναι η αξιολόγηση της πίεσης λειτουργίας του δικτύου και η μείωση της στο ελάχιστο δυνατό επίπεδο χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα στους καταναλωτές, πράγμα που θα μειώσει κατά αναλογία την ποσότητα νερού που χάνεται. Ο Mays (1994) πρότεινε τη χρήση της μεθόδου FAVAD (Fixed and Variable Discharge) που βασίζεται στη συσχέτιση του ρυθμού διαρροής με την πίεση. Το υλικό του αγωγού επηρεάζεται από τη σχέση πίεσης-διαρροής. Σύμφωνα με τους Lambert & Fantozzi (2010) , η επίδραση της πίεσης στις απώλειες νερού εκφράζεται από την εξίσωση :

$$L1 = L0 \cdot (P1/P0)^{N1} \quad (12)$$

Όπου: $L0$ = Αρχική Απώλεια Νερού

$L1$ = Νέα Απώλεια Νερού που θα προκύψει μετά την μείωση της πίεσης

$P0$ = Αρχική Πίεση Λειτουργίας

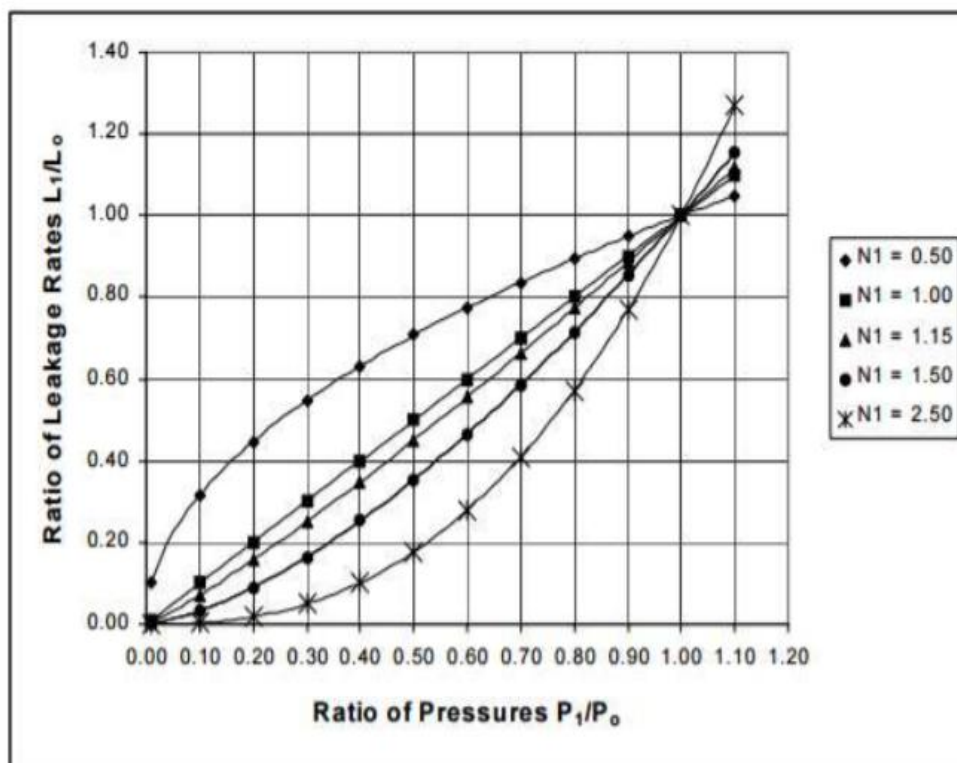
$P1$ = Νέα Πίεση Λειτουργίας

$N1$ = Δείκτης ο οποίος μεταβάλλεται από 0.5 για άκαμπτους αγωγούς (rigid walls) μέχρι 1.5 για εύκαμπτους αγωγούς (flexible walls), ανάλογα με το υλικό κατασκευής των αγωγών. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι τιμές του φτάνουν και το 2.5.

Όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές του δείκτη $N1$, τόσο πιο ευαίσθητοι είναι οι ρυθμοί ροής των υφιστάμενων απωλειών στις μεταβολές της πίεσης. Μικρές μη ανιχνεύσιμες απώλειες (διαρροές βάσης) σε συνδέσεις μεταξύ των αγωγών έχουν τιμές $N1$ ίσες με 1.5 , όπως και οι διαρροές και οι θραύσεις σε πλαστικούς αγωγούς. Ανιχνεύσιμες διαρροές και θραύσεις σε μεταλλικούς αγωγούς έχουν τιμές $N1$ κοντά στο 0.5.

Τιμές του δείκτη $N1$ μπορούν να εξαχθούν από τεστ σε ζώνες του συστήματος διανομής, μειώνοντας τις πιέσεις σε διάφορα στάδια τη νύχτα , κατά τη διάρκεια της ελάχιστης κατανάλωσης. Οι ρυθμοί απωλειών νερού μπορούν να

συγκριθούν με τις πιέσεις που μετρήθηκαν στη μέση πίεση ζώνης, ώστε να βρεθεί ο δείκτης N1.



Σχήμα 4.1: Σχέση μεταξύ πίεσης λειτουργίας και ρυθμού απωλειών νερού χρησιμοποιώντας την προσέγγιση του δείκτη N1 (Farley and Throw, 2003).

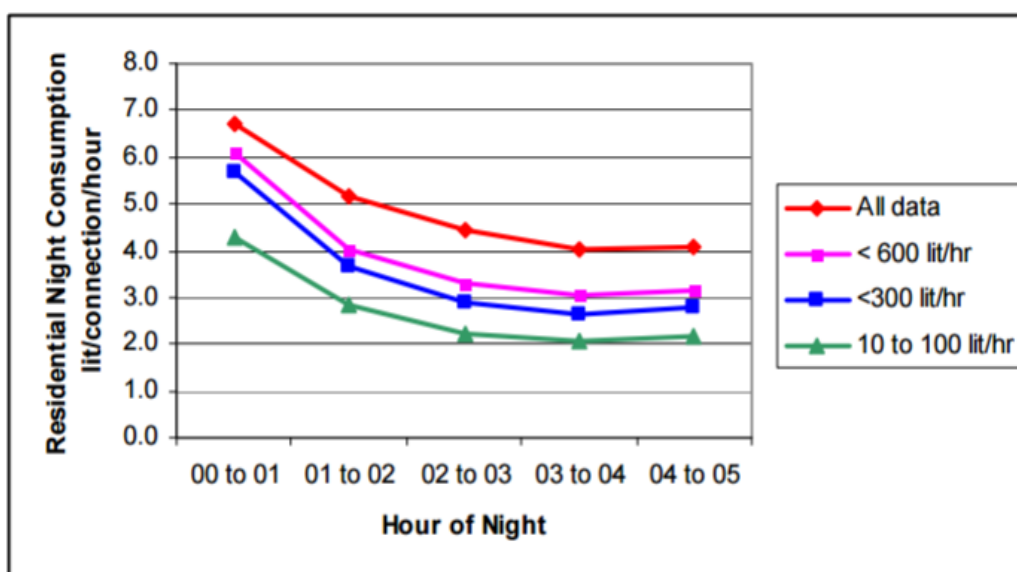
Η συνεχής παρακολούθηση της παροχής σε 24ωρη βάση είναι ο πλέον ενδεδειγμένος τρόπος αναγνώρισης νέων συμβάντων απωλειών σε ένα δίκτυο ύδρευσης, λόγω της άμεσης μεταβολής της συνήθους κατάστασης (Τσακίρης, 2010). Η Ελάχιστη Νυχτερινή Παροχή αποτελεί έναν εύκολο και αποτελεσματικό τρόπο παρακολούθησης του δικτύου.

4.2 Ελάχιστη Νυχτερινή Παροχή

Καθοριστικό στοιχείο στον προσδιορισμό του επιπέδου των απωλειών καθώς και στην ανάλυση των δεδομένων του δικτύου είναι η αξιολόγηση της Ελάχιστης Νυχτερινής Παροχής.

Λαμβάνουμε ως Ελάχιστη Νυχτερινή Παροχή (Minimum Night Flow) την χαμηλότερη παροχή κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου και συνήθως για τον Ευρωπαϊκό χώρο σε οικιστικές περιοχές είναι μεταξύ 2:00 και 5:00 μετά τα μεσάνυχτα (Τσακίρης και Χαραλάμπους, 2010). Η ανάλυση της Ελάχιστης Νυχτερινής Παροχής οδηγεί σε αξιόπιστο προσδιορισμό του επιπέδου των πραγματικών απωλειών στα δίκτυα.

Στο σχήμα 4.2 φαίνεται η μέση ωριαία οικιακή κατανάλωση που προέρχεται από δεδομένα μέτρησης την παροχής σε νυχτερινές ώρες για το έτος 2008-2009 σε τέσσερις διαφορετικές οικιστικές ζώνες της Αυστραλίας (Fantozzi, κ.α., 2011). Η πάνω καμπύλη μας δείχνει τον ετήσιο μέσο όρο για κάθε ώρα της νύχτας. Οι δύο μεσαίες καμπύλες περιλαμβάνουν τους ετήσιους μέσους όρους για κατανάλωση μεγαλύτερη των 600L/h και 300L/h αντίστοιχα (που θεωρούνται και τα ανώτατα όρια για εσωτερική κατανάλωση). Η κάτω καμπύλη περιλαμβάνει τα δεδομένα έως 100 L/h (και μεγαλύτερα από 10 L/h , καθώς τα δεδομένα αποθηκεύονται σε βήματα των 10L/h).



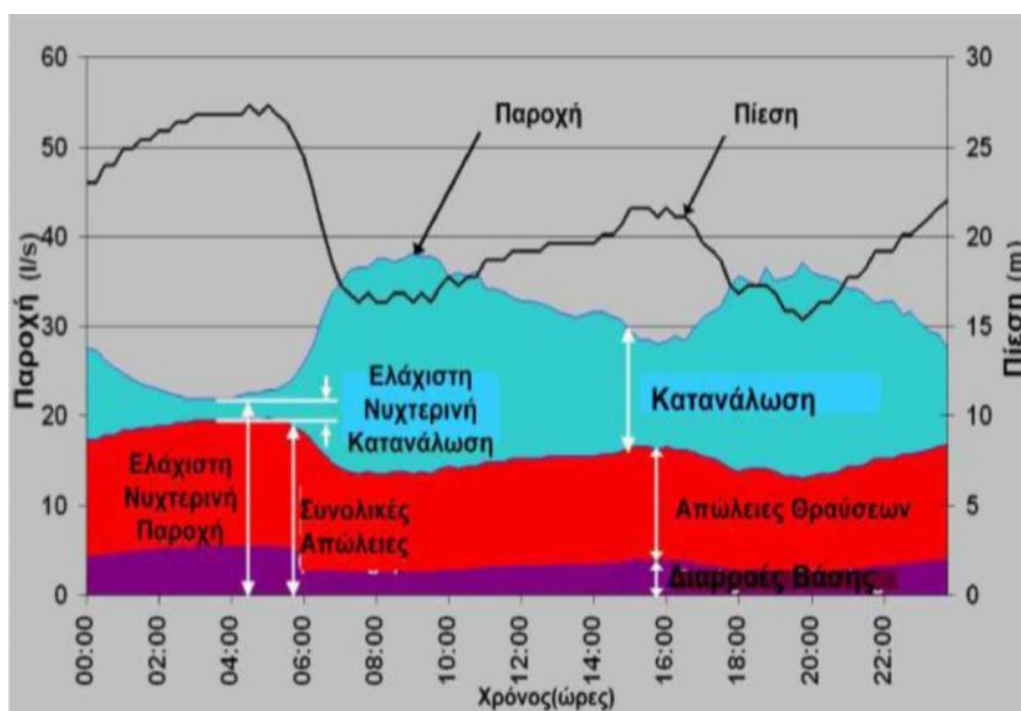
Σχήμα 4.2: Μέτρηση παροχής νυχτερινών ωρών σε οικιστική περιοχή (Cole, 2011).

Όπως παρατηρούμε όλες οι καμπύλες δείχνουν ότι η ελάχιστη μέση οικιακή κατανάλωση στις ζώνες είναι μεταξύ των ωρών 03 και 04, οι οποίες θα είναι και εκείνες που θα επιλέξουμε για να υπολογίσουμε την ελάχιστη νυχτερινή παροχή μας.

Σαφώς κατανοούμε ότι για τον υπολογισμό της ελάχιστης νυχτερινής παροχής δεν υπάρχει «σταθερή ώρα» αλλά συνήθως χρησιμοποιούμε τις μεταμεσονύκτιες ώρες. Αυτές κυμαίνονται από 2:00 εως 5:00 μετά τα μεσάνυχτα ανάλογα με παράγοντες όπως το γεωγραφικό πλάτος, το κλίμα ,την κοινωνία, την θρησκεία καθώς και την ηλικία των κατοίκων , το είδος της περιοχής (αστική/αγροτική), την παρουσία ή απουσία δεξαμενών αποθήκευσης κ.λπ.

Οι κύριες συνιστώσες της Ελάχιστης Νυχτερινής Παροχής (Minimum Night Flow) όπως φαίνονται και στο Σχήμα 4.2 είναι :

- Ελάχιστη Νυχτερινή Κατανάλωση (Minimum Night Consumption)
- Διαρροές Βάσης (Background Leakage)
- Απώλειες Θραύσεων (Burst Losses)



Σχήμα 4.3: Συνιστώσες της ελάχιστης νυχτερινής παροχής (Farley and Throw, 2003).

4.3 Ελάχιστη Νυχτερινή Κατανάλωση

Ως Ελάχιστη Νυχτερινή Κατανάλωση (Minimum Night Consumption), ορίζεται η κατανάλωση του νερού που οφείλεται σε ανθρώπινη χρήση κατά την περίοδο της Ελάχιστης Νυχτερινής Παροχής. Είναι γεγονός ότι η χρήση νερού από τους

καταναλωτές κατά την διάρκεια της νύχτας έχει άμεση σχέση με τις συνήθειες του πληθυσμού, τις καιρικές συνθήκες και τις ανθρώπινες δραστηριότητες (Τσακίρης, 2010).

Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες καταναλώσεων που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στον υπολογισμό της Ελάχιστης Νυχτερινής Κατανάλωσης, ήτοι:

- Οικιακή Κατανάλωση (σπίτια, διαμερίσματα κ.λπ).
- Εμπορική Κατανάλωση (ξενοδοχεία , εστιατόρια , κέντρα ψυχαγωγίας κ.λπ).
- Ειδική Κατανάλωση (εργοστάσια, νοσοκομεία κ.λπ).

Η Οικιακή Κατανάλωση ισούται με τον αριθμό των οικιστικών μονάδων πολλαπλασιαζόμενο με την τυπική νυχτερινή χρήση νερού. Η τυπική νυχτερινή χρήση νερού στις περισσότερες χώρες κυμαίνεται μεταξύ 1.8 και 3.0 L/h ανά οικία. Θα πρέπει όμως για τον ακριβή υπολογισμό της οικιακής κατανάλωσης να γίνει καταγραφή της κατανάλωσης κατά τις νυχτερινές ώρες ώστε να υπάρξουν στοιχεία που να βασίζονται στις πραγματικές συνθήκες και να υπολογιστεί με ακρίβεια η πραγματική νυχτερινή οικιακή χρήση.

Η Εμπορική Κατανάλωση ισούται με τον αριθμό των εμπορικών καταναλωτών πολλαπλασιαζόμενο με την τυπική νυχτερινή χρήση νερού. Η τυπική νυχτερινή χρήση για Εμπορικούς Καταναλωτές, αν και μπορεί πολύ δύσκολα να προσδιοριστεί, κυμαίνεται μεταξύ 8 και 10 L/h ανά εμπορικό καταναλωτή κατά μέσο όρο. Όπως και για την οικιακή χρήση , η καταγραφή της κατανάλωσης κατά τις νυχτερινές ώρες σε τυπικούς εμπορικούς καταναλωτές θα συμβάλει σε ακριβέστερο υπολογισμό της ελάχιστης νυχτερινής παροχής.

Ως Ειδική Κατανάλωση ορίζεται η κατανάλωση η οποία υπερβαίνει τα 500 L/h και μπορεί να αλλοιώσει τη νυχτερινή χρήση από νύχτα σε νύχτα. Οι χρήστες που εντάσσονται στην κατηγορία αυτή θα μπορούν να εντοπιστούν από τα αρχεία των καταναλωτών και να καταγραφούν οι νυχτερινές τους χρήσεις νερού (Τσακίρης, 2010).

4.4 Διαρροές Βάσης

Ως Διαρροές Βάσης (Background Leakage) ορίζονται το σύνολο των πολύ μικρών διαρροών που ο εντοπισμός και η επιδιόρθωση τους είναι οικονομικά ασύμφορος εκτός αν σταδιακά αυξηθεί η απώλεια νερού σε σημείο που ο εντοπισμός να είναι δυνατός και η επιδιόρθωση του οικονομικά συμφέρουσα.



Σχήμα 4.4: Διαρροή σε κεντρικό αγωγό (Pilcher, 2002).

Συνήθως μεγάλα μέρη των δικτύων ύδρευσης είναι πολύ παλιά και δεν έχουν αντικατασταθεί. Σε συνδιασμό με αυτό ο μεγάλος αριθμός των εγκάρσιων συνδέσεων, των κόμβων και των εξαρτημάτων που χαρακτηρίζουν τα σύγχρονα δίκτυα ύδρευσης παρουσιάζονται πολλές ευκαιρίες για να συμβούν διαρροές βάσης. Οι παράγοντες αυτοί σε συνδιασμό με τις υψηλές πιέσης διανομής κάνουν τις διαρροές βάσης αναπόφευκτες. Γενικά οι διαρροές βάσης μπορούν να αποδοθούν σε τρεις κύριες αιτίες (Κανακούδης, 1998) :

- Μεγάλες πιέσεις τροφοδοσίας. Η πίεση που υπερβαίνει τις αρχικές παραμέτρους των εγκατεστημένων σωληνώσεων (ιδιαίτερα σε παλαιότερα δίκτυα) μπορεί να προκαλέσει στις σωληνώσεις και στις συνδέσεις διαρροές.

- Διάβρωση-Σκούριασμα σωληνώσεων (Σχήμα 4.4), εξαρτημάτων και συνδέσεων. Η διάβρωση και η σκουριά μειώνουν την αποδοτικότητα και οδηγούν σε διαρροές. Αιτίες της διάβρωσης μπορεί να προκύψουν τόσο στο εσωτερικό των σωληνώσεων (εσωτερική διάβρωση) όταν το νερό αποτελεί τον διαβρωτικό παράγοντα κάτι που μπορεί να οφείλεται στην πίεση του νερού ή στην διαβρωτική του δράση λόγω των ποιοτικών του χαρακτηριστικών (π.χ όξινα νερά σε ορεινές περιοχές) καθώς και στο εξωτερικό τους όταν ο περιβάλλον χώρος προκαλεί φαινόμενα διάβρωσης (π.χ από «επιθέσεις» των στοιχείων του εδάφους). Και στις δύο περιπτώσεις η διάβρωση μπορεί να αποδυναμώσει τα τοιχώματα των σωληνώσεων, μειώνοντας την ικανότητα τους να αντέχουν την πίεση παροχής και να δημιουργούνται διαρροές.
- Χαρακτηριστικά του εδάφους-Μεταβολές στα χαρακτηριστικά του εδάφους στο σημείο της εγκατάστασης μπορεί να έχουν σημαντική επίπτωση στον αγωγό. Οι αλλαγές στην θερμοκρασία και την υγρασία , ενδέχεται να προκαλέσουν την συστολή και διαστολή στο χώμα προκαλώντας τους αγωγούς να λυγίζουν. Κινήσεις στο έδαφος επίσης μπορούν να προκαλέσουν κίνηση των αγωγών και των σχετικών εξαρτημάτων, αυξάνοντας τους κινδύνους αστοχίας και διαρροών βάσης.



Σχήμα 4.5: Αγωγός που έχει υποστεί εσωτερική και εξωτερική διάβρωση (Κανακούδης, 1998).

Οι Διαρροές Βάσης μπορεί να υπολογισθούν αν τα πιο κάτω δεδομένα είναι γνωστά

- Μήκος αγωγών διανομής
- Μέση Νυχτερινή Πίεση Λειτουργίας
- Αριθμός Εγκάρσιων Αγωγών Σύνδεσεις
- Μήκος Εγκάρσιων Αγωγών Σύνδεσης μέχρι το υδρόμετρο ή μέχρι το κτήριο σε περίπτωση που δεν υπάρχει υδρόμετρο , σε μέτρα.

Σύμφωνα με την IWA προτείνεται η εξής εμπειρική εξίσωση για τον υπολογισμό των Διαρροών Βάσης (ΔB). Η χρήση της εξίσωσης προϋποθέτει ότι το δίκτυο διανομής είναι γενικά σε καλή κατάσταση και η μέση νυχτερινή πίεση λειτουργίας είναι 50m.

$$\Delta B = 0.02 \cdot L + 1.25 \cdot N + 0.033 \cdot s \quad (13)$$

Όπου: L = το μήκος των αγωγών σε m

N = ο αριθμός των συνδέσεων

s = το μήκος των συνδέσεων σε m

ΔB = οι διαρροές βάσης σε L/h

Η παρακάτω εξίσωση διαμορφώνεται ως εξής λαμβάνοντας υπόψη την πραγματική Μέση Νυχτερινή Πίεση Λειτουργίας, \dot{P} νύχτας:

$$\Delta B = [0.02 \cdot L + 1.25 \cdot N + 0.03 \cdot s] \cdot \left(\frac{\dot{P} \text{ νύχτας}}{50} \right)^{1.5} \quad (14)$$

4.5 Απώλειες Θραύσεων

Οι Απώλειες Θραύσεων (Burst Leakage), είναι οι απώλειες που έχουν συνήθως μεγάλες επιπτώσεις και προκαλούν την μεγαλύτερη κοινωνική αντίδραση αφού είναι εμφανείς (Σχήμα 4.6). Πρέπει να εντοπίζονται και να επιδιορθώνονται άμεσα.



Σχήμα 4.6: Θραύση αγωγού στο Houston, Texas (Nolan, 2000).

Οι θραύσεις γενικά διακρίνονται σε εκείνες που προέρχονται από προϋπάρχουσες διαρροές και αποτελούν αποτελέσματα σταδιακής εξέλιξης και σε εκείνες που συμβαίνουν χωρίς να έχει προϋπάρξει σημείο διαρροής.

Η διαφορά των θραύσεων με των διαρροών είναι εμφανείς καθώς ο εντοπισμός του είναι άμεσος, αφού γίνονται εύκολα αντιληπτές σε αντίθεση με τις διαρροές. Επίσης, οι απώλειες νερού εξαιτίας των διαρροών είναι τελικά πολύ μεγαλύτερες από αυτές που προκαλούνται από θραύσεις.

Πιθανές αιτίες θραύσεων των αγωγών (Κανακούδης, 1998) είναι:

- Η υπέρβαση της αντοχής τους σε εξωτερικές φορτίσεις ή σε εσωτερικές πιέσεις που αναπτύσσονται κατά τη λειτουργία (υδραυλικό πλήγμα, πάγωμα μεταφερόμενου νερού, κ.λπ)
- Αστοχία λόγω μείωσης της αντοχής του εξαιτίας της φυσιολογικής του γήρανσης ή λόγω κακοτεχνίας.
- Εσωτερική ή εξωτερική διάβρωση
- Επαφή του αγωγού με γειτονικές κατασκευές
- Σεισμική δραστηριότητα

Οι Απώλειες Θραύσεων (ΑΘ) υπολογίζονται ως η διαφορά της Ελάχιστης Νυχτερινής Παροχής (ΕΝΠ) από το άθροισμα της Ελάχιστης Νυχτερινής Κατανάλωσης (ΕΝΚ) και των Διαρροών Βάσης (ΔΒ):

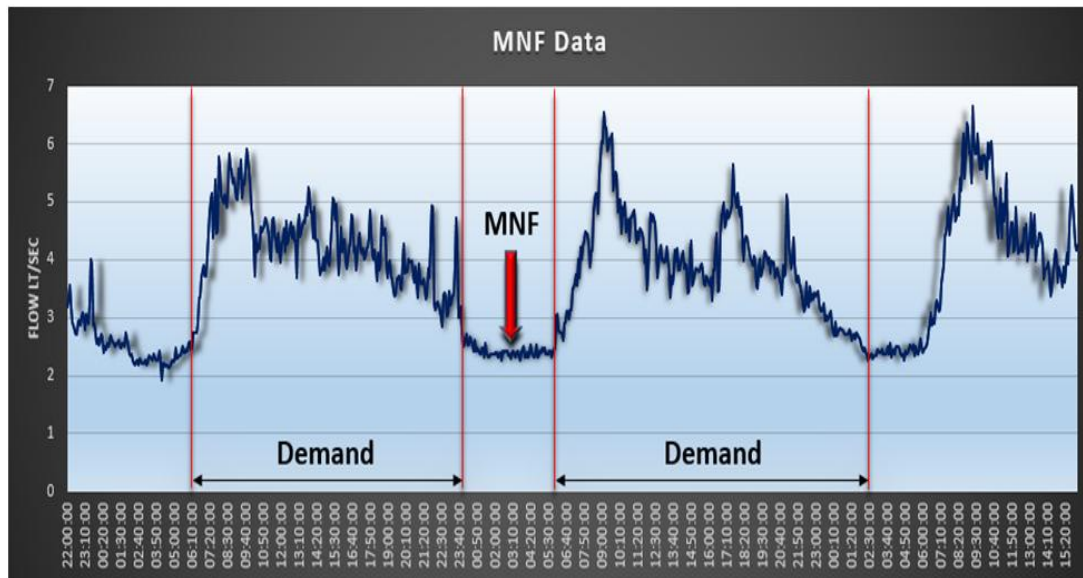
$$A\theta = EN\Pi - ENK - \Delta B \quad (15)$$

Μετά τον εντοπισμό και την επιδιόρθωση των θραύσεων, οι απώλειες νερού μειώνονται και στη συνέχεια πρέπει να διατηρηθούν σε οικονομικά επίπεδα.

4.6 Παρακολούθηση της Ελάχιστης Νυχτερινής Παροχής

Η ορθολογική διαχείριση ενός δικτύου ύδρευσης προϋποθέτει την συστηματική παρακολούθηση του για τον έγκαιρο εντοπισμό θραύσεων στο δίκτυο οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια μεγάλων ποσοτήτων νερού. Ο χωρισμός του δικτύου ύδρευσης σε ζώνες και υποζώνες πίεσης παρέχει έναν απλό και αποτελεσματικό τρόπο άμεσου και ουσιαστικού ελέγχου των απωλειών.

Η συνεχής καταγραφή και τηλεμέτρηση της παροχής στη ζώνη ή υποζώνη αποτελεί βασική προϋπόθεση για συστηματική και μόνιμη βάση παρακολούθησης του δικτύου. Οι μετρήσεις παροχής τυγχάνουν καθημερινής επεξεργασίας και η Ελάχιστη Νυχτερινή Παροχή εξετάζεται για τυχόν μεταβολές από τα συνήθη επίπεδα .

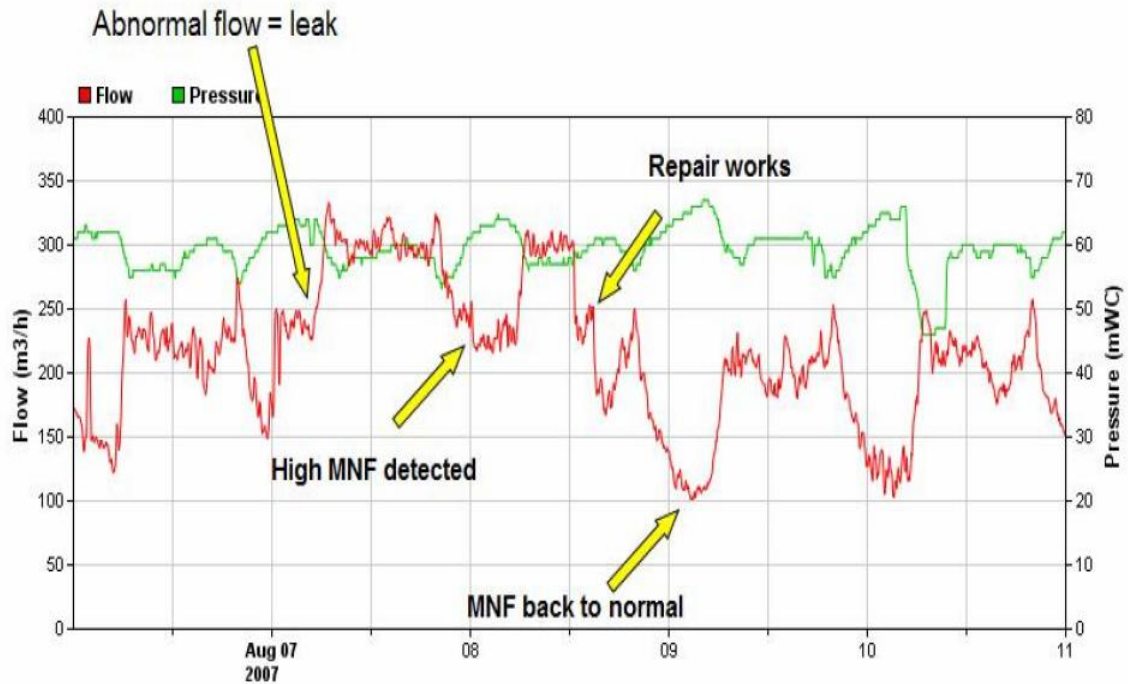


Σχήμα 4.7: Καταγραφή της Ελάχιστης Νυχτερινής παροχής (IWA, 2006).

Η Ελάχιστη Νυχτερινή Παροχή γενικά αυξομειώνεται ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και γενικά παρουσιάζει αύξηση κατά τους θερινούς μήνες Ιούλιο και Αύγουστο στις Μεσογειακές πόλεις και μετά μειώνεται στα συνήθη επίπεδα.

Η χρονική διάρκεια μιας απώλειας από τη στιγμή που εκδηλώνεται μέχρι την επιδιόρθωση της χαρακτηρίζεται από τρεις χαρακτηριστικές περιόδους, ήτοι : την περίοδο Ένδειξης (Awareness) , την περίοδο Εντοπισμού (Detection) και την περίοδο Επιδιόρθωσης (Repair) (Τσακίρης και Χαραλάμπους, 2010):

- Περίοδος Ένδειξης (Awareness) είναι η χρονική διάρκεια από την εκδήλωση της απώλειας μέχρι να γίνει αντιληπτή.
- Περίοδος Εντοπισμού (Detection) είναι η χρονική διάρκεια από τη στιγμή που έγινε αντιληπτή μέχρι τον εντοπισμό της.
- Περίοδος Επιδιόρθωσης (Repair) είναι η χρονική διάρκεια από τον εντοπισμό της μέχρι και την επιδιόρθωση της.



Σχήμα 4.8: Καταγραφή της παροχής και της πίεσης σε ένα γεγονός διαρροής (EWRA, 2010).

Για τις εμφανείς απώλειες, η περίοδος ένδειξης και εντοπισμού είναι πολύ μικρή καθώς το νερό ανεβαίνει στην επιφάνεια και εύκολα γίνεται αντιληπτό. Για τις αφανείς απώλειες είναι δεν είναι ιδιαίτερα εύκολο και χρειάζεται συστηματική προσπάθεια βασιζόμενη σε Ενεργό Έλεγχο Διαρροών για τον εντοπισμό και επιδιόρθωση τους.

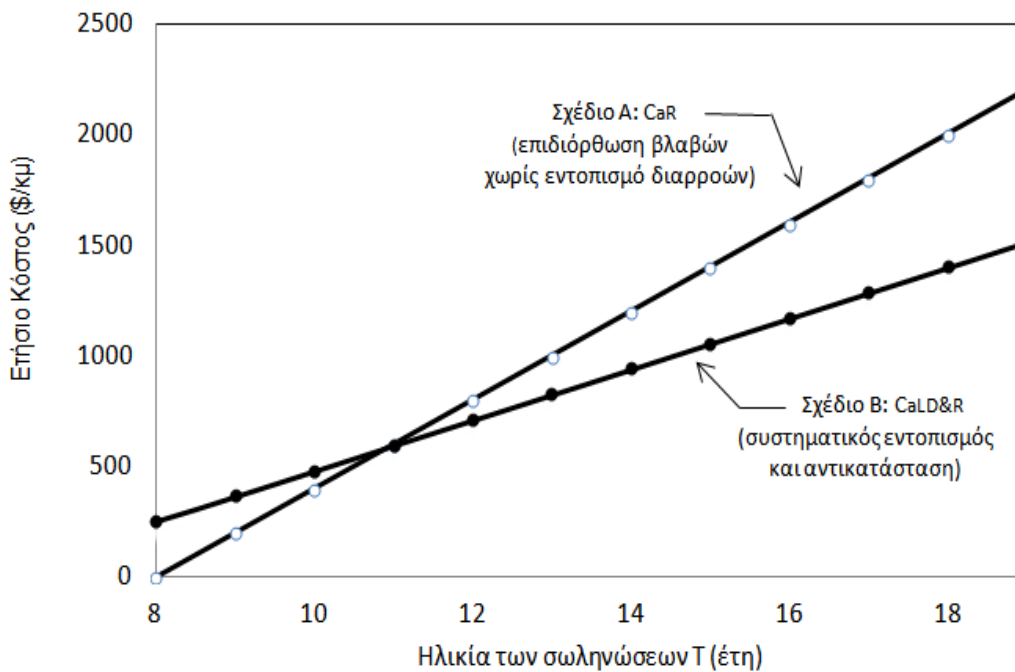
4.7 Βέλτιστος χρόνος Εφαρμογής του Ενεργού Ελέγχου

Απωλειών

Κυρίαρχο ρόλο στη διαχείριση ενός δικτύου ύδρευσης είναι και ο χρόνος που εφαρμόζεται ένα πρόγραμμα εντοπισμού απωλειών νερού καθώς και αντικατάστασης τμήματος ενός δικτύου. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολλές προσπάθειες προσδιορισμού του βέλτιστου χρόνου αντικατάστασης των σωληνώσεων ενός δικτύου. Συνήθως εξετάζονται δύο σενάρια:

1. Πρόγραμμα επιδιόρθωσης βλαβών όταν αυτές προκύψουν (χωρίς συστηματικό εντοπισμό) (C_{aR}).
2. Πρόγραμμα εντοπισμού διαρροών και αντικατάστασης σωληνώσεων που κρίνεται ότι πρέπει να αντικατασταθούν ($C_{aLD \& R}$).

Υπολογίζοντας το ετήσιο συνολικό κόστος της απώλειας νερού του συνεργείου για τον εντοπισμό και του κόστους αντικατάστασης των σωληνώσεων μπορεί να προκύψει ο βέλτιστος χρόνος ζωής των σωληνώσεων (Τσακίρης και Χαραλάμπους, 2010). Στο Σχήμα 4.9 της επόμενης σελίδας απεικονίζονται διαγραμματικά τα δύο προγράμματα (Σχέδιο Α: C_{aR} και Σχέδιο Β: $C_{aLD \& R}$) για τον προσδιορισμό του βέλτιστου χρόνου εφαρμογής του σχεδίου εντοπισμού και αντικατάστασης, συναρτήση της ηλικίας των σωληνώσεων και του ετήσιου κόστους.



Σχήμα 4.9: Προσδιορισμός του βέλτιστου χρόνου εφαρμογής του σχεδίου εντοπισμού και αντικατάστασης των σωληνώσεων

Σύμφωνα με μια εφαρμογή της μεθόδου στο δίκτυο της ισπανικής πόλης Valencia το 1991 προέκυψε ότι ο βέλτιστος χρόνος εφαρμογής του δεύτερου προγράμματος $C_{aLD \& R}$ που περιλαμβάνει συστηματικό εντοπισμό απωλειών (περιλαμβανομένων και των αφανών διαρροών) ήταν 11 και 19 έτη για δύο είδη σωληνώσεων (αμιαντοτσιμέντου και χυτοσιδήρου). Σημειώνεται ότι το δίκτυο της

Valencia έχει συνολικό μήκος 774 Km εκ των οποίων τα 265 Km είναι από αμιαντοσωλήνες και τα 467 Km από χυτοσίδηρο. Το δίκτυο εξυπηρετεί 400,000 καταναλωτές και για το έτος αναφοράς (1991) είχε τιμολογημένο νερό 78.12 Mm³ από τα 119.27 Mm³ που δόθηκαν στο δίκτυο και συνεπώς ατιμολόγητο νερό 41.15 Mm³ (Τσακίρης και Χαραλάμπους, 2010).

Τέλος σύμφωνα με νεότερες εργασίες (Loganathan, κ.α., 2002) προτάθηκαν εξισώσεις που υπολογίζουν το χρόνο κατά τον οποίο το άθροισμα του αθροιστικού κόστους επισκευών και αντικατάστασης του δικτύου είναι ελάχιστο. Ο υπολογισμός γίνεται αν είναι γνωστό το κόστος ανά βλάβη (\$ / γεγονός) και το κόστος αντικατάστασης (\$/μέτρο μήκος σωλήνωσης). Με τον υπολογισμό του χρόνου (ηλικίας σωληνώσεων) για την αντικατάσταση των σωληνώσεων δίνεται μια ορθολογική μέθοδος αντικατάστασης τμημάτος του δικτύου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

5.1 Έννοια και Χρησιμότητα Διαχείρισης της Πίεσης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια η υψηλή πίεση μπορεί να μεγαλώσει τον κίνδυνο για νέες πιθανές απώλειες νερού . Επίσης η σχέση μεταξύ πίεσης-διαρροών (pressure-leakage relationship) σημαίνει ότι υψηλές πιέσεις ενδέχεται να προκαλέσουν υπερβολικά μεγάλο μέγεθος απωλειών νερού.

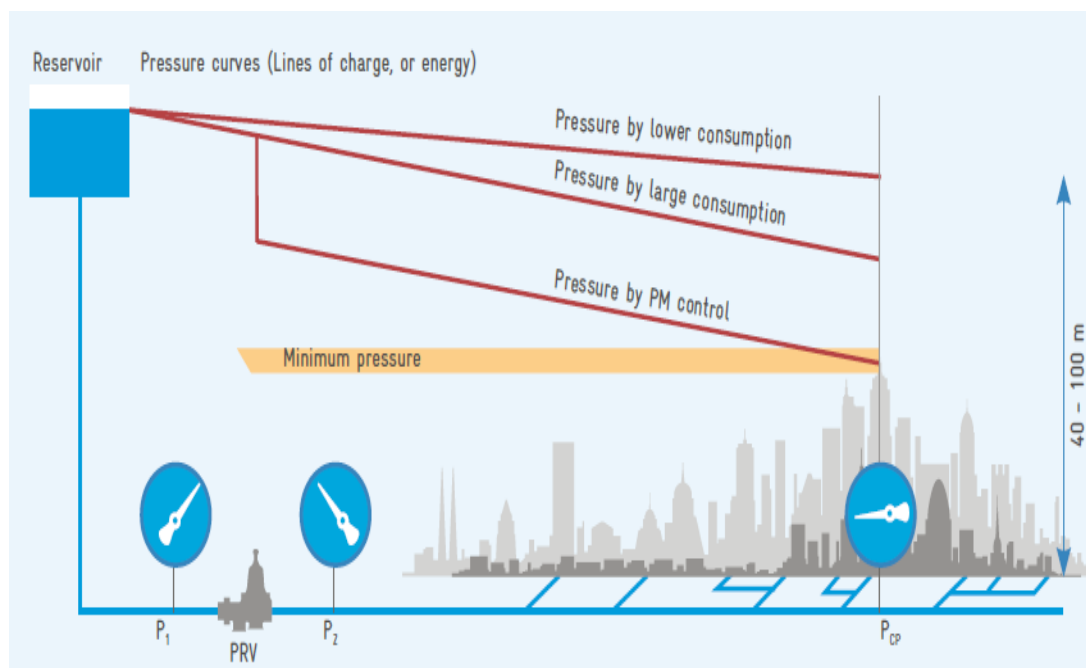
Η διαχείριση της πίεσης λοιπόν, περιλαμβάνει την προσαρμογή και τον έλεγχο της πίεσης του νερού στα δίκτυα διανομής σε ένα βέλτιστο δυνατό επίπεδο. Η εφαρμογή ενός συστήματος διαχείρισης της πίεσης μπορεί να επικεντρωθεί όχι μόνο στα υπάρχοντα δίκτυα, αλλά και σε νέα μελλοντικά δίκτυα. Γενικά Διαχείριση της Πίεσης ορίζεται ως η πρακτική διαχείρισης της πίεσης του συστήματος στο βέλτιστο επίπεδο υπηρεσιών που θα εξασφαλίζει επαρκή και σε αποτελεσματικό επίπεδο παροχή για νόμιμες χρήσεις και καταναλωτές, καθώς και την μείωση των περιττών υπερβολικών πιέσεων, εξαλείφοντας τα μεταβατικά και ελαττωματικά επίπεδα τους τα οποία προκαλούν άσκοπες διαρροές στο σύστημα διανομής (Thornton, κ.α., 2005).

Παράλληλα με την μείωση της πίεσης πρέπει να εξασφαλίζεται η ελάχιστη απαιτούμενη πίεση παροχής του δικτύου. Η ίδια η χρησιμότητα του νερού, οι αρχές και η τοπική νομοθεσία συνήθως ορίζουν την ελάχιστη πίεση παροχής. Επιπροσθέτως, πρέπει πάντα να αποφεύγονται οι αρνητικές πιέσεις, για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια της αιχμής της κατανάλωσης ή κάτω από συνθήκες πυρκαγιάς.

Η ελάχιστη πίεση παροχής εξαρτάται επίσης από το ύψος των κτιρίων , την τοπική νομοθεσία και τις απαιτήσεις των πελατών. Στη Γερμανία, για παράδειγμα, 15 m πίεση πρέπει να εξασφαλίζεται ανά πάσα στιγμή σε όλα τα σημεία του δικτύου. Μέγιστες πιέσεις, ειδικά στην χαμηλή κατανάλωση σε νυχτερινές περιόδους , είναι συνήθως πολύ υψηλότερες , συχνά φτάνουν τα 60 m. Αυτό

σημαίνει μεγάλες πιθανότητες για μειώσεις των πιέσεων και συνεπώς των απωλειών νερού.

Παρακάτω εξηγούμε τις αρχές πίσω από την ιδέα της διαχείρισης της πίεσης. Το Σχήμα 5.1 μας δείχνει ένα σκίτσο μιας τυπικής Περιοχής Διαχείρισης Πίεσης (Pressure Management Area, PMA) με ενιαία είσοδο και μια Βαλβίδα Ρύθμισης Πίεσης (Pressure Regulating Valve, PRV). Στο Σχήμα 5.1, P1 αναφέρεται η πίεση ανάντη της βαλβίδας ρύθμισης πίεσης, P2 αναφέρεται η πίεση κατάντη της βαλβίδας και PCP η πίεση στο κρίσιμο σημείο, δηλαδή στο σημείο χαμηλότερης πίεσης εντός της περιοχής ρύθμισης της πίεσης. Το κρίσιμο σημείο μπορεί να βρίσκεται οπουδήποτε στην PMA και εξαρτάται από την τοπογραφία, τις διαμέτρους των σωλήνων και την καταναλωτική συμπεριφορά εντός του δικτύου.



Σχήμα 5.1: Απλοποιημένη απεικόνιση πιέσεων σε ένα δίκτυο διανομής (Muntz, 2010).

Οι κόκκινες γραμμές στο Σχήμα 5.1 αντιπροσωπεύουν μια απλοποιημένη κατανομή της πίεσης εντός του δικτύου, από την είσοδο (P1) προς το κρίσιμο σημείο (PCP). Η απώλεια ενέργειας στους σωλήνες μειώνει την πίεση μεταξύ του P1 και του κρίσιμου σημείου. Χωρίς διαχείριση της πίεσης, η πίεση στο κρίσιμο σημείο θα ποικίλει κατά την διάρκεια της μέρας: υψηλή κατανάλωση κατά τη διάρκεια της ημέρας θα προκαλέσει υψηλές απώλειες πίεσης, ενώ οι ταχύτητες ροής και οι

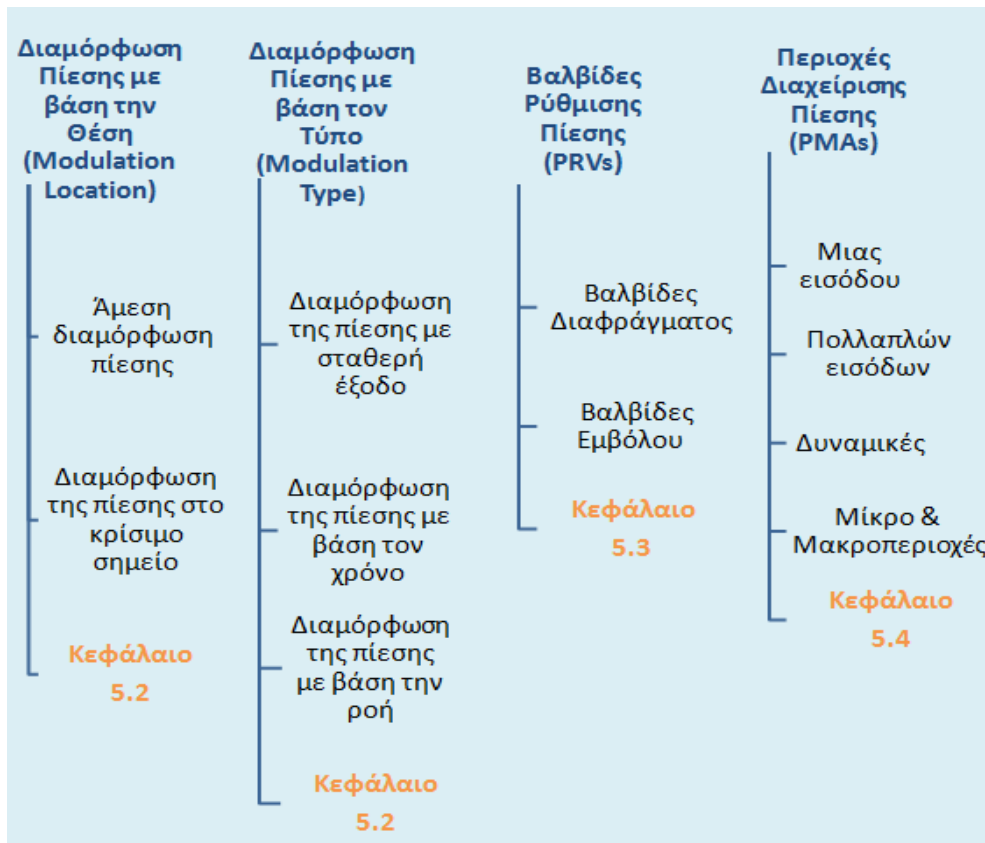
επιπρόσθετες απώλειες πίεσης θα είναι ελάχιστες κατά τις νυχτερινές ώρες. Ωστόσο, η διαχείριση της πίεσης μπορεί να μειώσει την πίεση σε ένα κρίσιμο, σημείο ελάχιστης απαιτούμενης πίεσης και επίσης να κρατήσει ένα σταθερό επίπεδο καθ' όλη την ημέρα χρησιμοποιώντας με στρατηγικό τρόπο διαφορετικές βαλβίδες ρύθμισης πίεσης.

Για να το θέσουμε πιο απλά, η διαχείριση της πίεσης όχι μόνο μειώνει τις διακυμάνσεις της πίεσης, αλλά επιπρόσθετα εξαλείφει περιττές πιέσεις από το δίκτυο και συνεπώς μειώνει του ρυθμούς διαρροής και τις πραγματικές απώλειες νερού.

Αυτός ο στόχος μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές λύσεις. Ωστόσο, η επίτευξη δεν είναι πάντα εύκολη, δεδομένου ότι περιλαμβάνει διάφορα στάδια ανάλυσης των δεδομένων πριν από τον σχεδιασμό ενός προγράμματος μείωσης της πίεσης. Κάθε PMA είναι διαφορετική και έχει τους δικούς της ειδικούς περιορισμούς. Ως εκ τούτου, κάθε στάδιο εφαρμογής πρέπει να προσαρμόζεται κατάλληλα.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι PRVs δεν είναι το μόνο εργαλείο ρύθμισης της πίεσης. Αντλίες ελεγχόμενης ταχύτητας (speed-controlled pumps) μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν για την διαχείριση της πίεσης σε περιπτώσεις που η αντλία διανέμει νερό απευθείας στο σύστημα διανομής.

Το κεφάλαιο 5.4.2 εισάγει σε διαφορετικά σενάρια διαμόρφωσης (pressure modulation) της πίεσης, το κεφάλαιο 5.4.3 περιγράφει την έννοια και τους διάφορους τύπους Βαλβίδων Ρύθμισης Πίεσης (PRVs) και το κεφάλαιο 5.4.4 εξηγεί τα διάφορα είδη των Περιοχών Διαχείρισης Πίεσης (PMAs). Το Σχήμα 5.1 της επόμενης σελίδας συνοψίζει τα διαφορετικές διαθέσιμες τεχνικές και έννοιες για την διαχείριση της πίεσης στα δίκτυα.



Σχήμα 5.2: Ταξινόμηση των διαφόρων εργαλείων και εξαρτημάτων για την διαχείριση της πίεσης.

5.2 Σενάρια διαμόρφωσης πίεσης (Modulation concepts)

Ο όρος διαμόρφωση (modulation) περιγράφει τις μεθόδους με τις οποίες οι βαλβίδες ρύθμισης πίεσης ελέγχονται σε ένα σύστημα διαχείρισης πίεσης. Τα σενάρια διαμόρφωσης μπορούν να χωριστούν ανάλογα με τον τύπο της διαμόρφωσης (το οποίο περιλαμβάνει διαφορετικούς τρόπους ελέγχου των βαλβίδων ρύθμισης πίεσης) και με την θέση της διαμόρφωσης (που καθορίζει αν η πίεση ελέγχεται άμεσα πίσω από την βαλβίδα ρύθμισης πίεσης ή σε ένα διακριτό σημείο στο σύστημα διανομής του νερού). Οι δύο αυτές έννοιες περιγράφονται στις ακόλουθες ενότητες. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλοι οι τύποι διαμόρφωσης της πίεσης είναι ευέλικτοι και μπορούν να προσαρμοστούν ή να αναβαθμιστούν απλά αλλάζοντας τις ρυθμίσεις του προγραμματισμένου λογικού ελεγκτή (programmable logic controller, PLC) ή της βαλβίδας ρύθμισης πίεσης (PRV).

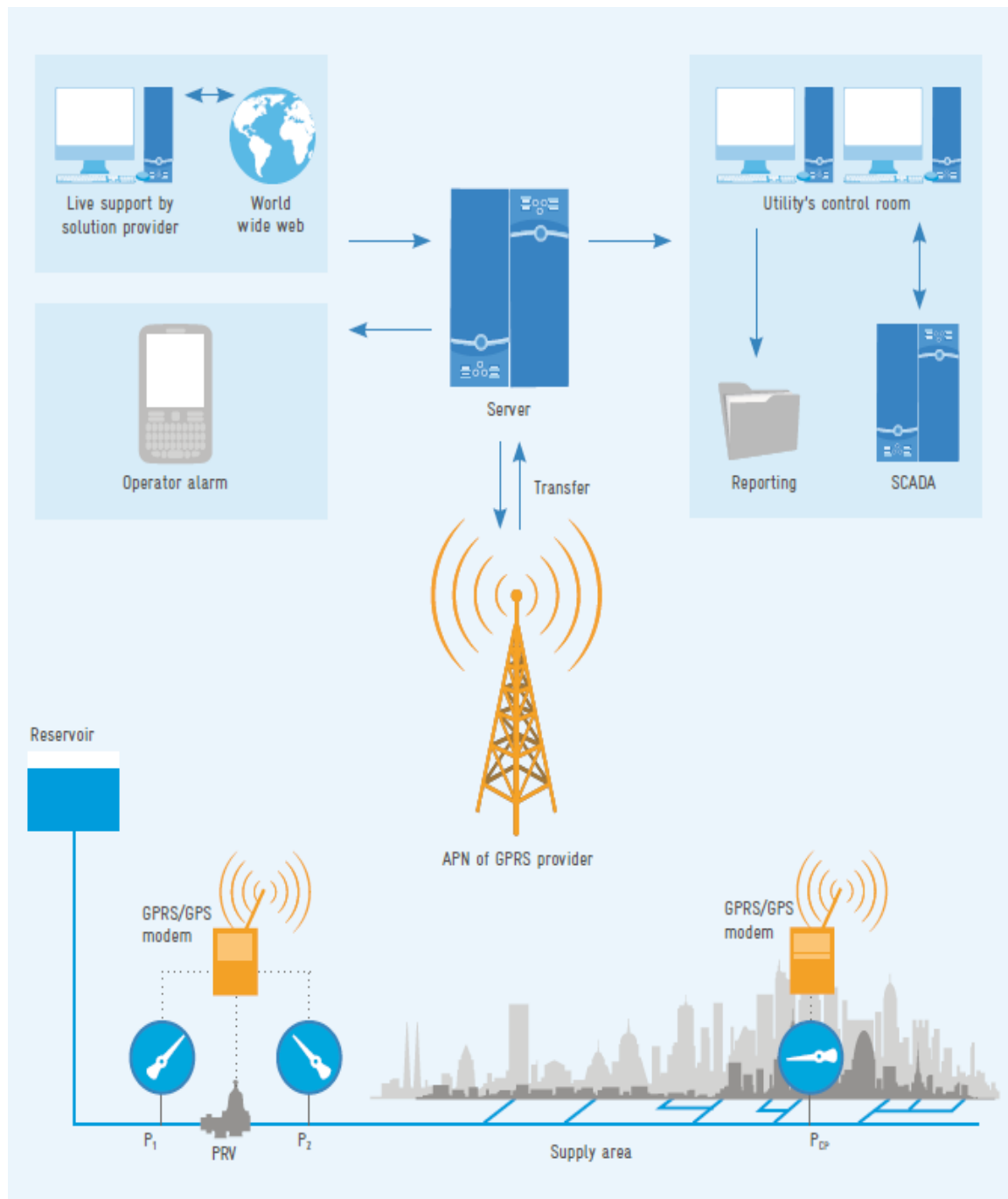
5.2.1 Διαμόρφωση με βάση την θέση (Modulation location)

Άμεση διαμόρφωση πίεσης (Local point pressure modulation)

Αυτή η τεχνική είναι ο απλούστερος τρόπος για να μειωθεί η πίεση. Η πίεση διαμορφώνεται στην είσοδο της περιοχής ρύθμισης πίεσης με την εγκατάσταση μιας βαλβίδας ρύθμισης πίεσης με σκοπό την ρύθμιση της πίεσης κατάντη αυτής σε σταθερές ή προκαθορισμένες τιμές. Οι αισθητήρες πίεσης απαιτούνται μόνο πριν και μετά την βαλβίδα και η επικοινωνία μεταξύ των αισθητήρων και της βαλβίδας είναι απλή. Αυτό το είδος της διαμόρφωσης απαιτεί πολύ χαμηλή χρηματική επένδυση, αλλά η πίεση δεν μπορεί να μειωθεί σε ένα βέλτιστο επίπεδο λόγω του ότι πρέπει να εξασφαλίζεται η πίεση λειτουργίας στο κρίσιμο σημείο, άρα πρέπει να έχουμε ένα περιθώριο πίεσης στην βαλβίδα. Συνεπώς η μείωση των απωλειών είναι περιορισμένη (Ziegler, κ.α., 2010). Αυτή η τεχνική συχνά συνδιάζεται με την διαμόρφωση με βάση τον χρόνο (time modulation, η οποία εξηγείται στην παράγραφο 5.2.2).

Διαμόρφωση της πίεσης στο κρίσιμο σημείο (Critical point pressure modulation)

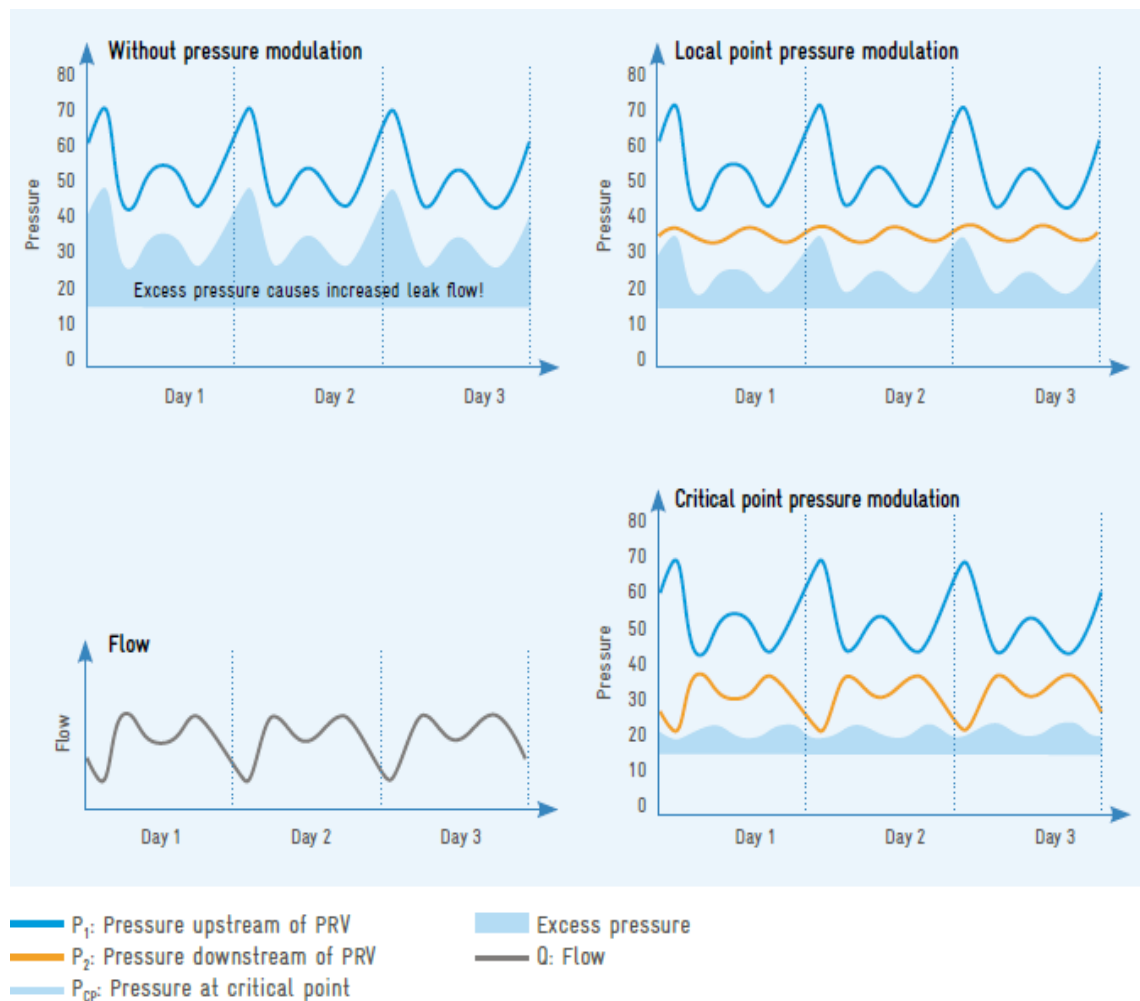
Η διαμόρφωση της πίεσης στο κρίσιμο σημείο συνήθως επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα πίεσης στο κρίσιμο σημείο που συνεχώς παρακόλουθι την πίεση και μεταφέρει πληροφορίες στην βαλβίδα ρύθμισης πίεσης στην είσοδο της περιοχής διαχείρισης πίεσης. Αυτή η βαλβίδα ρύθμισης πίεσης συνεχώς προσαρμόζει την πίεση κατάντη της, έτσι ώστε η πίεση στο κρίσιμο σημείο να παραμένει όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην επιθυμητή τιμή (π.χ στην ελάχιστη πίεση παροχής των 20m). Αυτή η τεχνική έχει καλύτερα αποτελέσματα από την άμεση διαμόρφωση της πίεσης (local point pressure modulation), αλλά απαιτεί επιπρόσθετες επενδύσεις για τον αισθητήρα της πίεσης στο κρίσιμο σημείο και για τις συσκευές επικοινωνίας. Ραδιομεταδοτές (Radio transmission) ή ένα μόντεμ GPRS/GSM με κάρτα SIM χρησιμοποιώντας το διαδίκτυο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ανακοινώνουν τα αποτελέσματα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.3. Επίσης ένα τυπικό σύστημα επιτρέπει την ζωντανή παρακολούθηση και τον έλεγχο της περιοχής διαχείρισης πίεσης (Ziegler, κ.α., 2010).



Σχήμα 5.3: Επικοινωνία σε ένα απομακρυσμένο σύστημα ελέγχου (Baader, 2010).

Η θέση του κρίσιμου σημείου εντός μια περιοχής διαχείρισης πίεσης μπορεί να τροποποιηθεί λόγω αλλαγών στην δομή της ζώνης (επιπλέον σημείο εισόδου, αλλαγή περιφερειακών δικλίδων, τροποποιήσεις σε τμήματα σωλήνων), ή λόγω μεταβολής της συμπεριφοράς κατανάλωσης του νερού. Ως εκ τούτου, οι πιέσεις στο

εσωτερικό του δικτύου πρέπει να παρακολουθούνται τακτικά. Οι επιδράσεις των διαφορετικών τύπων διαμόρφωσης της πίεσης παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.4 στο τέλος της σελίδας. Το σχήμα μας δείχνει την ανάντη πίεση (P_1), την κατάντη (P_2) πίεση της βαβίδας ρύθμισης πίεσης, την πίεση στο κρίσιμο σημείο (PCP) και την ροή (Q) για ένα σύστημα δίχως διαμόρφωση της πίεσης (without pressure modulation) και για δύο συστήματα με άμεση διαμόρφωση της πίεσης (local point pressure modulation) και με διαμόρφωση της πίεσης στο κρίσιμο σημείο (critical point pressure modulation).



Σχήμα 5.4: Διαφορετικά σενάρια διαμόρφωση της πίεσης και τα αποτελέσματά τους στην πίεση (Baader, 2010).

Όπως φαίνεται στο σχήμα, οι πιέσεις εισόδου P_1 και η πίεση στο κρίσιμο σημείο PCP είναι αντιστρόφως συνδεδεμένες με το πρότυπο κατανάλωσης, όπου δεν υπάρχει διαχείριση της πίεσης. Στην περίπτωση άμεσης διαμόρφωσης της πίεσης (local point pressure modulation), η πίεση στα κατάντη (P_2) της βαλβίδας

έχει οριστεί σε μια καθορισμένη τιμή, η οποία συνεπάγεται μειωμένη πίεση στο κρίσιμο σημείο. Ωστόσο η πίεση στο κρίσιμο σημείο (PCP) εξακολουθεί να διαφέρει λόγω των αλλαγών στο πρότυπο κατανάλωσης. Στην περίπτωση της διαμόρφωσης στο κρίσιμο σημείο (critical point modulation) η πίεση διατηρείται σχεδόν σταθερή στο επιθυμητό επίπεδο, ενώ η πίεση (P2) στα κατάντη της βαλβίδας ρύθμισης πίεσης συνεχώς διαμορφώνεται.

5.2.2 Διαμόρφωση με βάση τον τύπο (Modulation type)

Διαμόρφωση της πίεσης με σταθερή έξοδο (Fixed outlet pressure modulation)

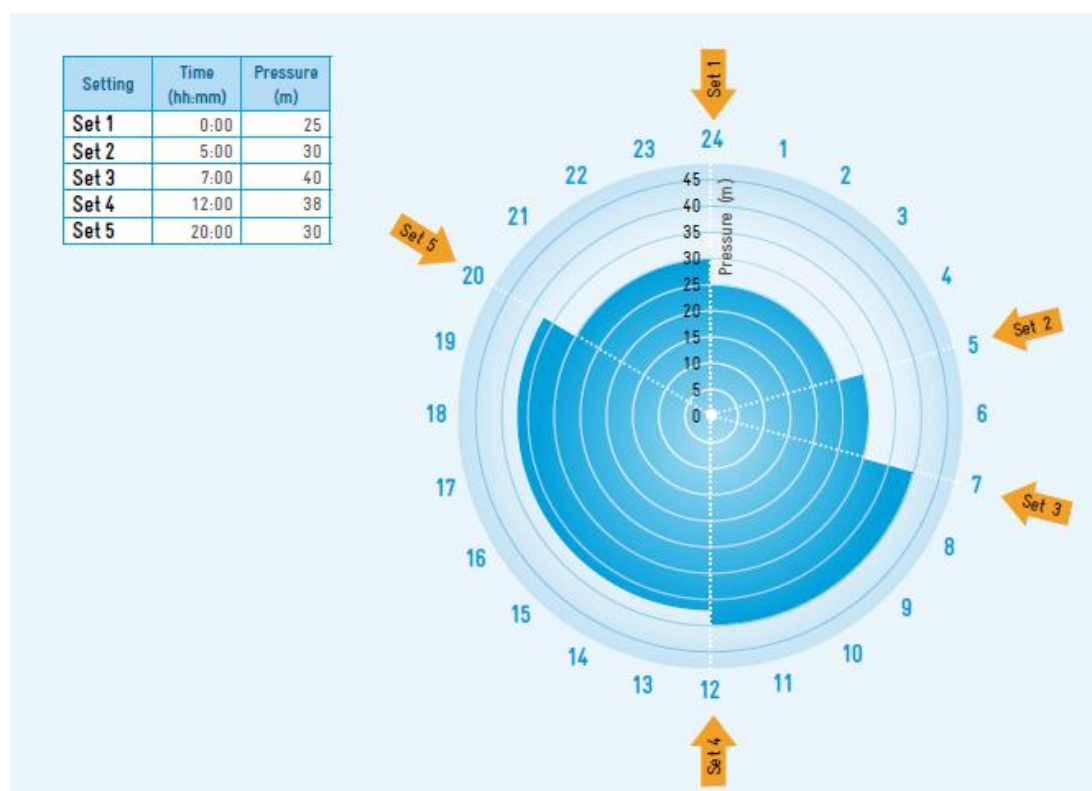
Μια σταθερής εξόδου βαλβίδα ρύθμισης πίεσης (PRV) θέτει την πίεση στα κατάντη (P2) στην επιθυμητή τιμή. Η βαλβίδα στη συνέχεια είναι συνεχώς ενεργοποιημένη για να διατηρήσει αυτή την πίεση. Η πίεση στα κατάντη πρέπει να ρυθμιστεί με τέτοιο τρόπο ώστε το ελάχιστο επίπεδο υπηρεσιών της να εγγυάται την μέγιστη ζήτηση στο κρίσιμο σημείο. Το μειονέκτημα αυτού του τύπου διαμόρφωσης είναι ότι η πίεση του δικτύου αυξάνεται κατά τη διάρκεια περιόδων ελάχιστης ζήτησης χωρίς να είναι σε θέση να εφαρμοστεί αποτελεσματικά επιπλέον έλεγχος. Ωστόσο, η διαμόρφωση της πίεσης με σταθερή έξοδο είναι αποτελεσματική για περιοχές διαχείρισης πίεσης με χαμηλές απώλειες μεταξύ της πίεσης κατάντη της βαλβίδας και του κρίσιμου σημείου και για ομοιόμορφα πρότυπα κατανάλωσης χωρίς σημαντικές ημερήσιες ή εποχιακές διακυμάνσεις (Thornton and Lambert, 2005).

Διαμόρφωση της πίεσης με βάση τον χρόνο (Time-based pressure modulation)

Η διαμόρφωση της πίεσης με βάση τον χρόνο επιτρέπει να υπάρχει υψηλότερη πίεση στα κατάντη (P2) για τη διάρκεια της μέρας και χαμηλότερη πίεση για την διάρκεια της νύχτας, όταν η κατανάλωση μειώνεται. Ωστόσο, η διαμόρφωση της πίεσης με βάση τον χρόνο μπρεί να είναι περίπλοκη: ένα σχέδιο πίεσης με διαφορετικές ώρες ελέγχου (set points) μπορεί να προσδιορίσει αναλύοντας την κανονική κατανάλωση του νερού και την σχέση της με την πίεση στο κρίσιμο σημείο σε διαφορετικές ώρες της ημέρας. Αυτό το πρότυπο πίεσης

δείχνει την επιθυμητή πίεση εξόδου στα κατάντη P2 σε διαφορετικές ώρες της ημέρας. Το Σχήμα 5.5 παρουσιάζει ένα παράδειγμα του σεναρίου της διαμόρφωσης της πίεσης με βάση τον χρόνο.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο ελεγκτής δεν μπορεί να αναγκάσει μια βαλβίδα ρύθμισης πίεσης να αλλάξει την πίεση στιγμιαία. Αντ' αυτού, το άνοιγμα της βαλβίδας πρέπει να προσαρμοστεί στο νέο περιβάλλον ομαλά για ένα χρονικό διάστημα που συνήθως διαρκεί αρκετά λεπτά.



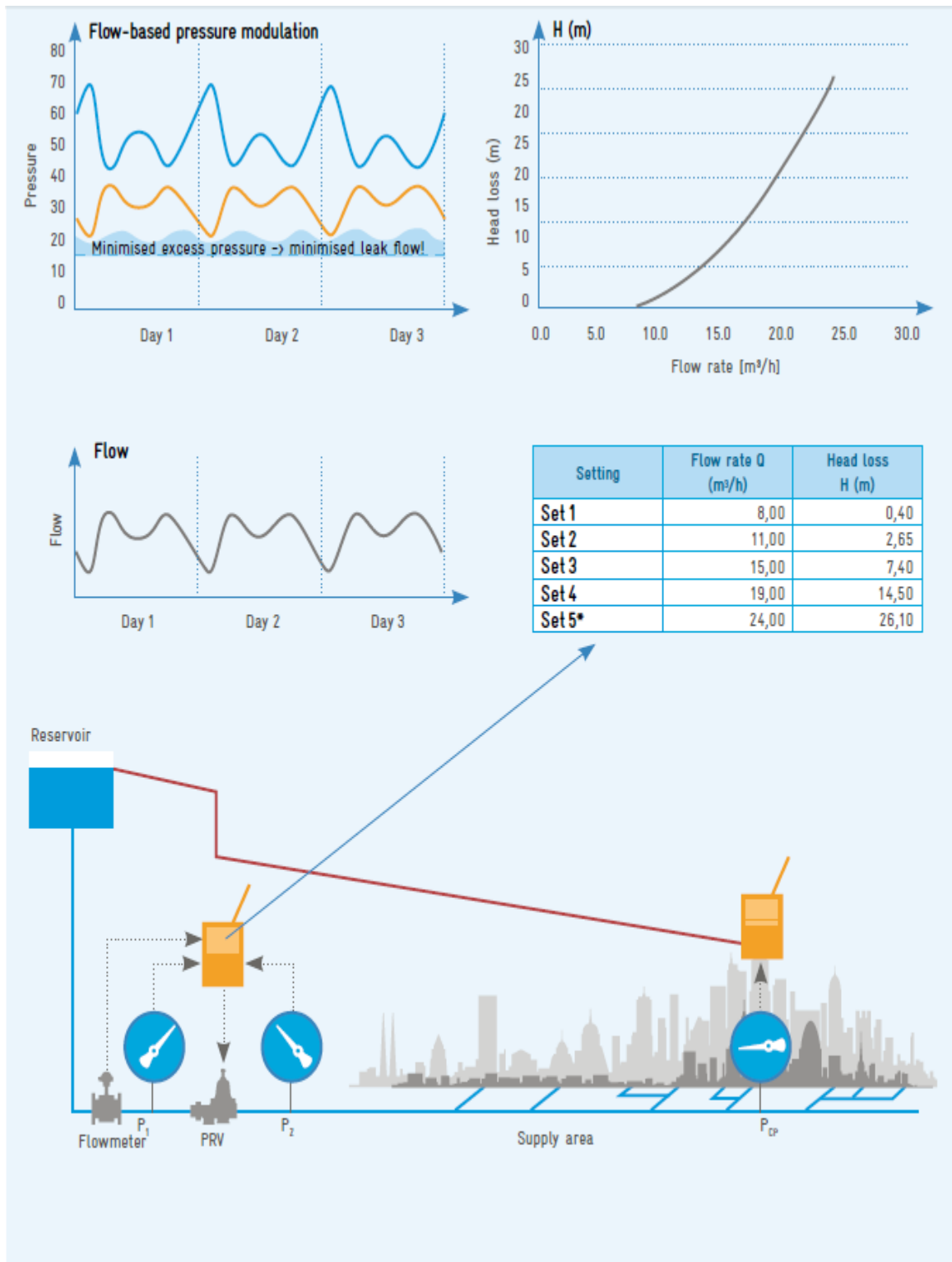
Σχήμα 5.5: Διαμόρφωση της πίεσης με βάση τον χρόνο (Ziegler, κ.α., 2010).

Διαμόρφωση της πίεσης με βάση την ροή (*Flow-based pressure modulation*)

Η διαμόρφωση της πίεσης με βάση την ροή απαιτεί την εγκατάσταση ενός μετρητή ροής στην είσοδο της περιοχής διαχείρισης πίεσης, ο οποίος παρακολουθεί συνεχώς την ροή εντός της περιοχής. Ο ελεγκτής της βαλβίδας ρύθμισης πίεσης στη συνέχεια συγκρίνει τους μετρούμενους ρυθμούς ροής με τον ειδικό ρυθμό ροής

προς τις απώλειες της περιοχής. Το άνοιγμα της βαλβίδας ρύθμισης πίεσης τότε ενεργοποιείται ανάλογα.

Το Σχήμα 5.6, της επόμενης σελίδας μας δείχνει πως μια σχέση, μεταξύ του ρυθμού ροής και των απωλειών. Σε αυτό το παράδειγμα, οι τέσσερις πρώτες ρυθμίσεις (sets) αντιπροσωπεύουν το φυσιολογικό καθημερινό μοτίβο της ροής, η οποί κυμαίνεται μεταξύ των 8 και 19 m³/h. Για αυτούς τους ρυθμούς ροής, η απώλειες (head loss) μεταξύ του σημείου P2 κατάντη της βαλβίδας ρύθμισης πίεσης και του κρίσιμου σημείου PCP έχει προσδιοριστεί από 0,4 έως 14,5m. Η πίεση P2 εξόδου της βαλβίδας ρύθμισης πίεσης ρυθμίζεται σε υψηλότερες τιμές στην περίπτωση εξαιρετικά υψηλών ποσοστών ροής, π.χ σε κάποια πιθανή φωτιά. Όσο ευκρινέστερα είναι γνωστή η σχέση μεταξύ ρυθμών ροής και απωλειών , τόσο ακριβέστερες μπορούν να γίνουν οι ρυθμίσεις στην βαλβίδα ρύθμισης πίεσης, προκειμένου να εξασφαλιστεί ο ομαλός έλεγχος της πίεσης του συστήματος (Ziegler, κ.α., 2010).



- P₁: Pressure upstream of PRV
 - P₂: Pressure downstream of PRV
 - P_{CP}: Pressure at critical point
 - - - P_{min}: Min. service pressure
 - Excess pressure
 - Q: Flow
- * flow - head loss relationship for fire flow conditions

Σχήμα 5.6: Διαμόρφωση της πίεσης με βάση την ροή (Ziegler, κ.α., 2010).

5.4 Βαλβίδες Ρύθμισης Πίεσης (PRVs)

5.4.1 Γενικά

Βαλβίδες Ρύθμισης Πίεσης (Pressure Regulating Valves - PRVs) ονομάζουμε συσκευές που εγκαθίστανται σε στρατηγικά σημεία με στόχο να ρυθμίζουν και να διατηρούν την πίεση σε ένα επιθυμητό επίπεδο. Οι δύο συνηθέστεροι τύποι PRVs, που κυκλοφορούν στην αγορά, είναι οι Βαλβίδες Διαφράγματος (Diaphragm Valves) και οι Βαλβίδες Εμβόλου (Plunger Valves). Η ενότητα αυτή εξηγεί την λειτουργικότητα των διαφόρων τύπων βαλβίδων, τα χαρακτηριστικά τους, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους, προκειμένου να προσδιοριστεί ποιος είναι ο κατάλληλος τύπος για συγκεκριμένες ανάγκες.

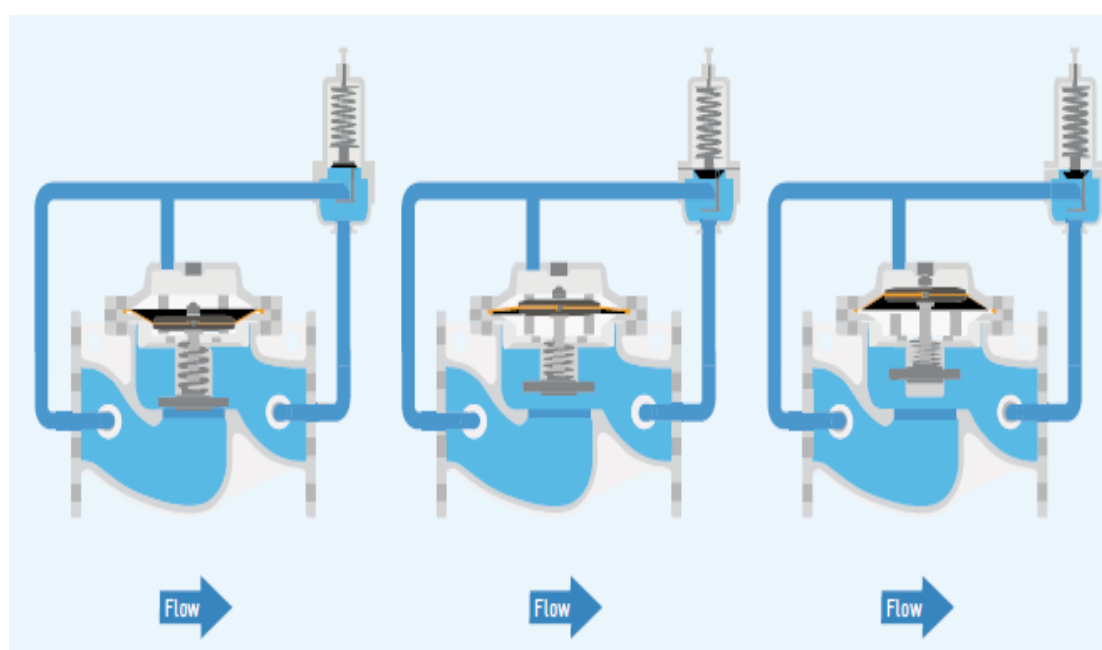
5.4.2 Βαλβίδες Διαφράγματος (Diaphragm Valves)

Οι Βαλβίδες Διαφράγματος, ονομάζονται επίσης και Βαλβίδες Μεμβράνης (Membrane Valves), γενικά αποτελούνται από μια υδραυλικά λειτουργική κύρια βαλβίδα (main valve) και ένα πιλοτικό κύκλωμα (pilot circuit). Γενικά οι βαλβίδες ποικίλουν σε σχήμα, χαρακτηριστικά ροής και μηχανισμούς ενεργοποίησης.

Η κύρια βαλβίδα αποτελείται από τρία βασικά μέρη: το κύριο μέλος, το κάλυμμα και το διάφραγμα. Το συγκρότημα του διαφράγματος είναι το μόνο κινούμενο μέρος της κύριας βαλβίδας. Το διάφραγμα συνήθως κατασκευάζεται από συνθετικό καουτσούκ, συσφίγγεται μεταξύ του σώματος και του καλύμματος, ώστε να διαχωρίζει την πίεση ελέγχου με την πίεση της γραμμής. Όταν το άνοιγμα του στομίου του πιλότου της βαλβίδας μειώνεται, περισσότερο νερό εισέρχεται στον χώρο μεταξύ του καλύμματος και του διαφράγματος, και η βαλβίδα μεταβαίνει σε κλειστή κατάσταση, και αντίστροφα. Η πίεση εξόδου της βαλβίδας μπορεί να ρυθμιστεί απλά με την περιστροφή ενός κοχλία στην πιλοτική βαλβίδα έως ότου η επιθυμητή σταθερή πίεση να επιτευχθεί. Η βαλβίδα ρύθμισης πίεσης, μέχρι στιγμής, λειτουργεί υδραυλικά και δεν απαιτείται εξωτερικό τροφοδοτικό ή μπαταρίες.

Ένα σύστημα μπαταρίας PLC πρέπει να εγκατασταθεί με την προϋπόθεση ότι μια βαλβίδα διαφράγματος λειτουργεί με βάση τον χρόνο ή την διαφοροποίηση της

ροής. Το ακριβές σχέδιο ελέγχου καθορίζεται από ένα πίνακα τιμών οι οποίες ορίζουν την επιθυμητή πίεση εξόδου για μια συγκεκριμένη ώρα της ημέρας ή για μια δεδομένη ροή. Το σύστημα PLC τότε ενεργοποιεί μικροσκοπικές σωληνοειδής βαλβίδες επί των σωλήνων του πιλοτικού κυκλώματος. Η δράση αυτή μεταφέρει μικρές ποσότητες νερού γύρω από το πιλοτικό κύκλωμα, αλλάζοντας την πίεση επί του ενεργοποιητή της πιλοτικής βαλβίδας και ως εκ τούτου τη θέση του διαφράγματος μέχρι να επιτυγχάνεται η επιθυμητή πίεση εξόδου (Ziegler, κ.α., 2010).

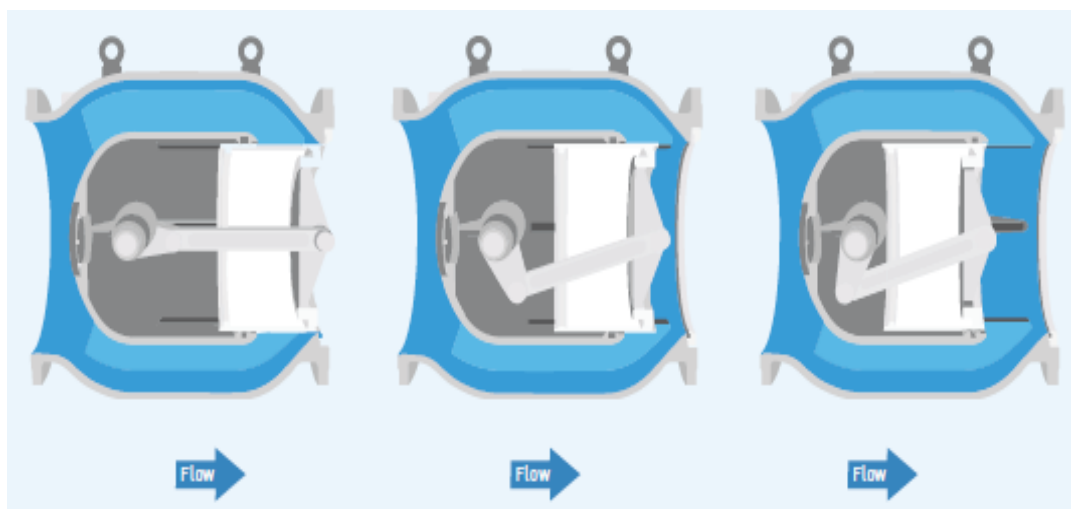


Σχήμα 5.7: Λειτουργικότητα μιας βαλβίδας διαφράγματος: κλειστή(αριστερά), 50% ανοιχτή(κέντρο) και 100% ανοιχτή (δεξιά) (VAG Armaturen, 2009).

5.4.3 Βαλβίδες Εμβόλου (Plunger Valves)

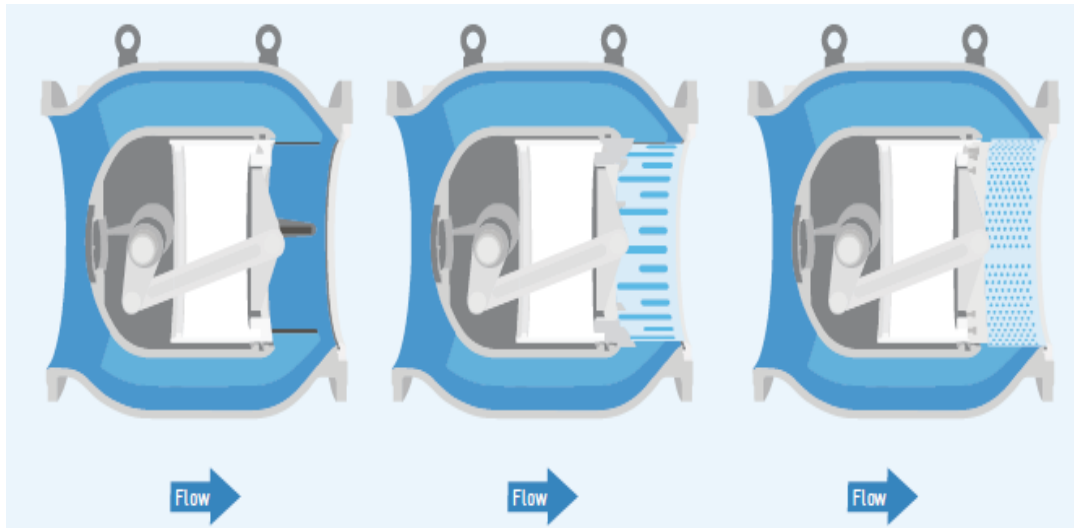
Οι Βαλβίδες Εμβόλου, επίσης γνωστές και ως Βαλβίδες Βελόνας (Needle Valves), είναι εξίσου κατάλληλες για την μείωση και τον έλεγχο των πιέσεων και του ρυθμού ροής σε ένα ασφαλές και αξιόπιστο επίπεδο. Σε αντίθεση με τις βαλβίδες διαφράγματος, οι οποίες ενεργοποιούνται υδραυλικά, οι βαλβίδες εμβόλου απαιτούν εξωτερικούς ενεργοποιητές οι οποίοι συνήθως ενεργοποιούνται χειροκίνητα ή ηλεκτρονικά. Οι βαλβίδες εμβόλου συνήθως αποτελούνται από το

σώμα της βαλβίδας και ένα αξονικά καθοδηγούμενο με ολίσθηση έμβολο. Η γραμμική κίνηση του εμβόλου έχει ως αποτέλεσμα την μετατροπή της περιστροφικής κίνησης του εξωτερικού ενεργοποιητή. Αυτό εξασφαλίζει μια συμμετρική, σχήματος δακτυλίου κίνηση στη διατομή σε κάθε θέση της, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5.8.



Σχήμα 5.8: Λειτουργικότητα μιας βαλβίδας εμβόλου: κλειστή(αριστερά), 50% ανοιχτή(κέντρο) και 100% ανοιχτή (δεξιά) (VAG Armaturen, 2009).

Διαφορετικοί κύλινδροι τοποθετημένοι στο έμβολο και διαφορετικά τμήματα εξόδου χρησιμοποιούνται για την βέλτιστη προσαρμογή της βαλβίδας εμβόλου για την προβλεπόμενη χρήση της. Οι κύλινδροι διαιρούν την ροή σε στοιχειώδεις πίδακες νερού που χτυπούν ο ένας τον άλλον κατάντη του εμβόλου στο σωλήνα της κεντρικής γραμμής με στόχο να διαχέεται η ενέργεια χωρίς να υπάρχει κίνδυνος σπηλαιώσης. Παραδείγματα διαφόρων κυλίνδρων και η λειτουργία τους παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.9.



Σχήμα 5.9: Δίχως κύλινδρο (αριστερά), με κύλινδρο με σχισμές (κέντρο) και με κύλινδρο με πολλαπλά στόμια (δεξιά) (VAG Armaturen, 2009).

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ένας εξωτερικός ενεργοποιητής θέτει την βαλβίδα εμβόλου σε κίνηση. Η επιθυμητή πίεση κατάντη της Βαλβίδας Ρύθμισης Πίεσης (P2 ή PCP) ορίζεται ως η ονομαστική αξία της διαδικασίας. Αισθητήρες πίεσης στα P2 ή PCP αναφέρουν την πραγματική πίεση στην θέση της βαλβίδας ελέγχου, καθορίζοντας εάν ο ενεργοποιητής πρέπει να ανοίξει ή να κλείσει την βαλβίδα, προκειμένου να έχουμε την επιθυμητή πίεση. Ένα περιθώριο ανοχής μας προστατεύει από μόνιμο άνοιγμα ή κλείσιμο της βαλβίδας (Ziegler, κ.α., 2010).

5.4.3 Σύγκριση μεταξύ βαλβίδων διαφράγματος και εμβόλου

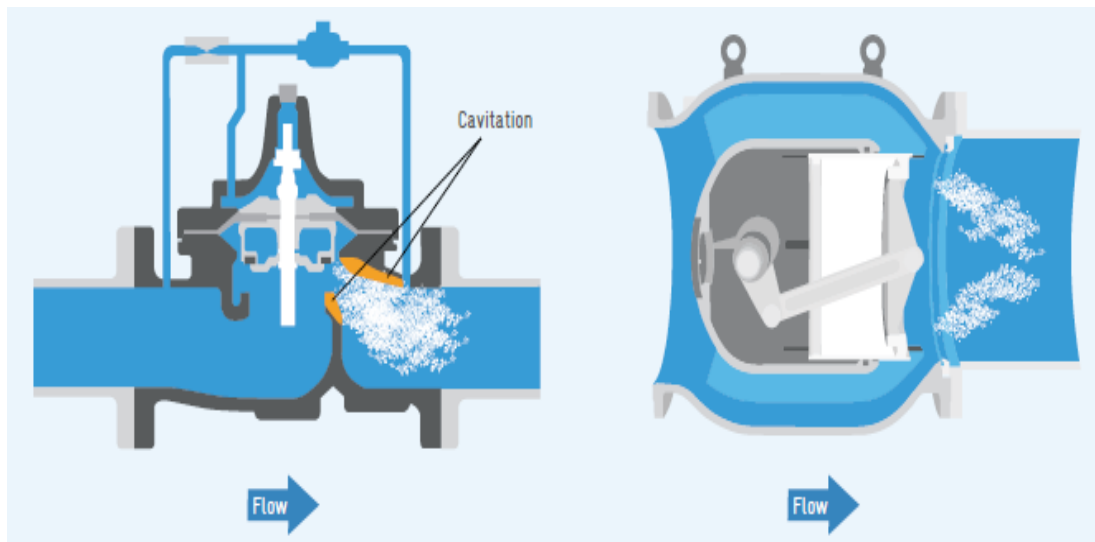
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι διαφορές μεταξύ των βαλβίδων διαφράγματος και εμβόλου, τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, καθώς και διάφορες πτυχές που πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά την επιλογή ενός τύπου βαλβίδας.

Συμπεριφορά Σπηλαιώσης (Cavitation Behaviour)

Η δυναμική διαδικασία του σχηματισμού και της κατάρρευσης των κοιλοτήτων στα υγρά είναι γνωστή ως σπηλαιώση (Klininger, P., 2010). Σπηλαιώση μπορεί να συμβεί όταν υψηλές ταχύτητες ροής μειώνουν την τοπική υδροστατική πίεση κάτω από μια κρίσιμη τιμή η οποία αντιστοιχεί στην πίεση ατμοποίησης. Κατά συνέπεια, σχηματίζονται μικρές φυσαλίδες αερίου οι οποίες συμπυκνώνονται και καταρρέουν όταν φθάσουν σε ζώνες υψηλότερων πιέσεων. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται πολύ μεγάλα πιεστικά κύματα (μερικές χιλιάδες bars). Αυτό μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα, όπως ο δυνατός θόρυβος, ισχυρές δονήσεις, άστατες ταχύτητες ροής, διάβρωση ή ακόμη και ολική καταστροφή των προσβεβλημένων εξαρτημάτων των αγωγών ή των βαλβίδων.

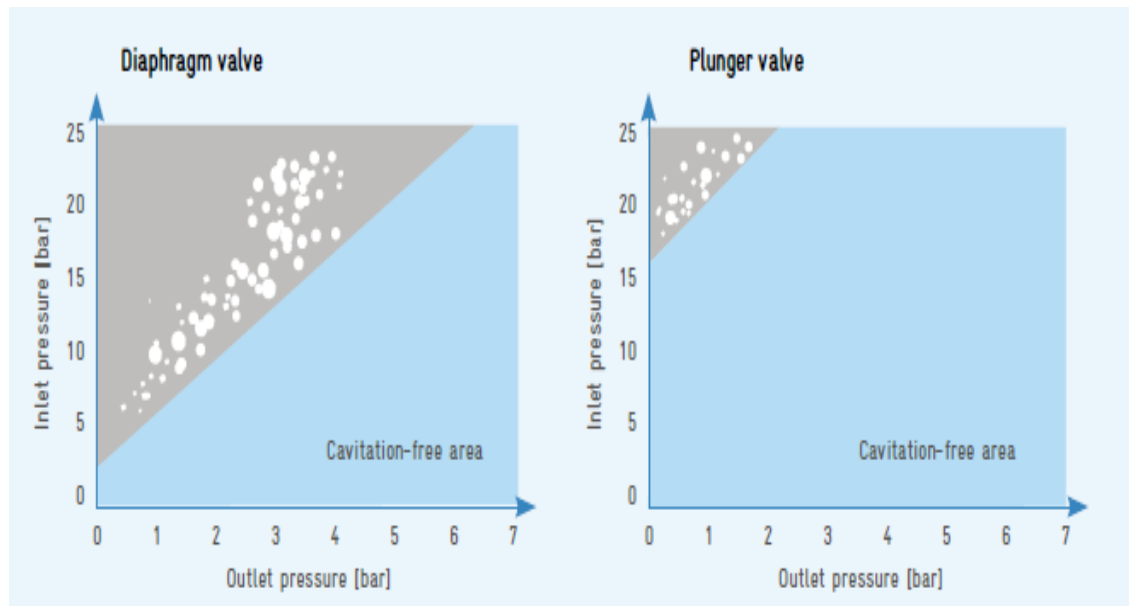
Οι βαλβίδες ελέγχου είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς σε σπηλαιώση. Η πίεση μπορεί να μειωθεί σε κρίσιμες τιμές στην διατομή στενώσεως λόγω την αυξημένης ταχύτητας ροής. Πίσω από την στένωση, η πίεση αυξάνεται πάλι και οι φυσαλίδες αερίου καταρρέουν. Η επιφάνεια των τοιχωμάτων του σωλήνα σε αυτόν τον τομέα μπορεί να καταστραφεί σημαντικά από τις επιπτώσεις του δημιουργούμενου πίδακα νερού και από το ωστικό κύμα από τις καταρρέουσες φυσαλίδες.

Στις βαλβίδες εμβόλου, η διατομή σε σχήμα δακτυλίου επιτρέπει μια συμμετρική ροή και περιορίζει τον πίδακα νερού να βρίσκεται κατάντη της στενώσεως στο κέντρο του σωλήνα. Αυτό επιτρέπει μια εντατική ώθηση ανταλλαγής με το περιβάλλον νερό και επίσης προστατεύει τα τοιχώματα, επειδή οι φυσαλίδες αέρα έχουν επικεντρωθεί στο κέντρο του σωλήνα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.10.



Σχήμα 5.10: Χαρακτηριστικά ροής και σπηλαιώση σε βαλβίδες διαφράγματος (αριστερά) και σε βαλβίδες εμβόλου (δεξιά) (VAG Armaturen, 2009).

Ο κίνδυνος της σπηλαιώσης στις βαλβίδες εμβόλου μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με την χρήση κατάλληλων κυλίνδρων, ακόμη και στην περίπτωση σημαντικών διαφορών μεταξύ της πίεσης εισόδου (inlet pressure) και εξόδου (outlet pressure). Σε αντίθεση, οι βαλβίδες διαφράγματος περιορίζονται σε σχετικά μικρό διαφορικό πίεσης, όπως απεικονίζεται από τα διαγράμματα στο Σχήμα 5.11. Συνεπώς, οι βαλβίδες εμβόλου διευκολύνουν σε περιπτώσεις μεγάλων μειώσεων πίεσης. Δύο βαλβίδες μπορούν να συνδεθούν σε σειρά, αν βαλβίδες διαφράγματος πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για υψηλές διαφορικές πιέσεις (Samson, 2003).



Σχήμα 5.11: Συμπεριφορά σπηλαιώσης για βαλβίδες διαφράγματος (αριστερά) και για βαλβίδες εμβόλου (δεξιά) (Muntz, 2010).

Ο κίνδυνος της σπηλαιώσης πρέπει να εξετάζεται σε συστήματα με υψηλές ανάντη πιέσεις και με σημαντικές διαφορές πιέσεων (πάνω από 3:1 ως κανόνας για P1:P2). Ο κίνδυνος της σπηλαιώσης είναι αμελητέος στις περιπτώσεις για ανάντη πιέσεις μικρότερες των 25m (Headley, 2003).

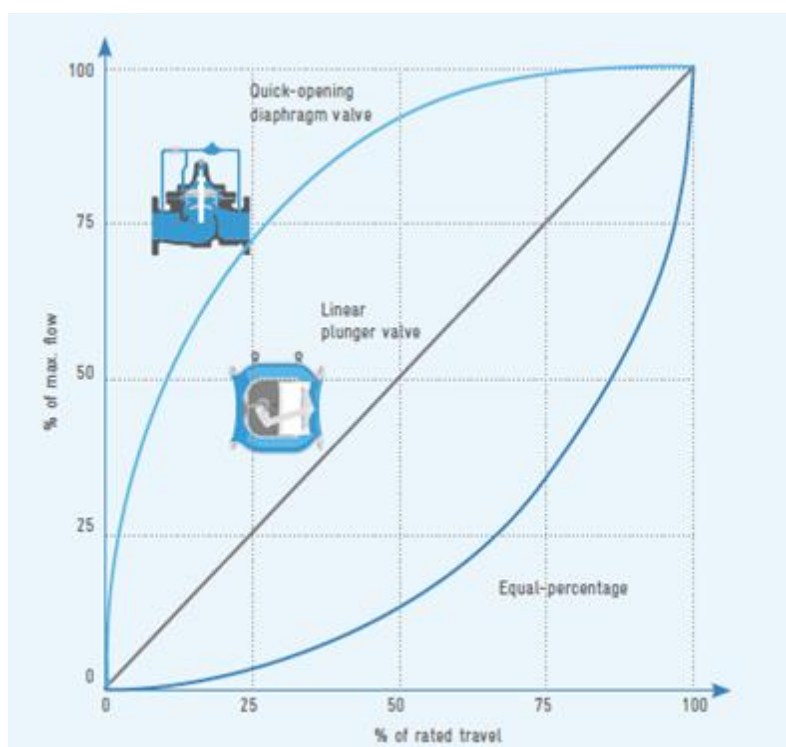
Χαρακτηριστικά Ρυθμισμού και Ακρίβεια Ελέγχου (Regulation characteristics and precision of control)

Η «αύξηση» μιας βαλβίδα ρύθμισης πίεσης (valve gain) πρέπει να εξεταστεί, προκειμένου να εξασφαλιστεί η σταθερότητα ρύθμισης της πίεσης για ένα ευρύ φάσμα ρυθμών ροής. Αύξηση Βαλβίδας (valve gain) είναι η κλίση της χαρακτηριστικής καμπύλης της βαλβίδας και ορίζεται ως ο λόγος της αλλαγής στη ροή προς την αλλαγή της διαδρομής της βαλβίδας. Τυπικά χαρακτηριστικά της ροής των βαλβίδων ελέγχου μπορεί να κατηγοριοποιηθούν σε : (α) γρήγορου ανοίγματος (quick opening), (β) γραμμική (linear), (γ) ίσου ποσοστού (equal percentage), όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.12 της επόμενης σελίδας.

Οι βαλβίδες διαφράγματος είναι συνήθως γρήγορου ανοίγματος και προσφέρουν πολύ μεγάλη αύξηση βαλβίδας (valve gain) σε χαμηλές συνθήκες ροής, προκαλώντας μεγάλες αυξήσεις στη ροή κατά την έναρξη του ανοίγματος της

βαλβίδας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.12. Ως εκ τούτου οι βαλβίδες διαφράγματος μπορεί να υπόκεινται σε αστάθεια υπό συνθήκες χαμηλής ροής. Αυτές οι αστάθειες μπορεί να προκαλέσουν ταλαντώσεις και ανεπιθύμητες διακυμάνσεις πίεσης μέσα στο σύστημα (Headley, 2003).

Οι βαλβίδες εμβόλου έχουν σχεδόν γραμμικά χαρακτηριστικά ελέγχου λόγω της μεγάλης διαδρομής τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.12. Για αυτό το λόγο, οι βαλβίδες εμβόλου έχουν πολύ συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ρύθμισης, ακόμη και σε χαμηλούς ρυθμούς ροής, και υπόκεινται λιγότερο σε ταλάντωση. Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι μια ακριβέστερη προσαρμογή στις συνθήκες πίεσης είναι δυνατή σε όλο το φάσμα των ποσοστών ροής (Ziegler, κ.α., 2010).



Σχήμα 5.12: Χαρακτηριστικά ρύθμισης βαλβίδων διαφράγματος- εμβόλου (Headley, 2003).

Παροχή Ρεύματος (Power supply)

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των βαλβίδων διαφράγματος είναι ότι λειτουργούν υδραυλικά και ως εκ τούτου δεν απαιτούν βοηθητικές πηγές ενέργειας. Από την αλλη, οι βαλβίδες εμβόλου συνήθως τίθενται σε κίνηση με

ηλεκτρικούς ενεργοποιητές. Συνεπώς οι βαλβίδες διαφράγματος είναι πιο κατάλληλες για απομακρυσμένες περιοχές χωρίς πρόσβαση σε παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

Απώλειες (Head loss)

Οι βαλβίδες ρύθμισης πίεσης και ο εξοπλισμός τους (π.χ μετρητές ροής, βαλβίδες απομόνωσης, κομμάτια αποσυναρμολόγησης, κλπ) δημιουργούν πάντα τοπικές απώλειες, ακόμα και όταν είναι πλήρως ανοιχτές. Οι απώλειες σε πλήρως ανοιχτή θέση είναι συνήθως μικρότερες για βαλβίδες εμβόλου, ανάλογα με τον κύλινδρο που θα χρησιμοποιηθεί. Χωρίς ειδικό κύλινδρο, οι συντελεστές απωλειών στις βαλβίδες εμβόλου κυμαίνονται από 1.0 έως 2.0, σε αντίθεση με 3.0 έως 8.0 για κυλίνδρους με σχισμές. Οι βαλβίδες διαφράγματος συνήθως έχουν συντελεστές απωλειών μεταξύ 5.0 και 6.0 .

Χαμηλές απώλειες πίεσης και υψηλά ποσοστά ροής σε πλήρως ανοιχτή θέση είναι ιδιαίτερα σημαντικά κατά την διάρκεια συνθηκών ροής πυρκαγιάς καθώς και σε συστήματα που η ανάντη πίεση μπορεί να πέσει σε τιμές κοντά στην απαιτούμενη πίεση κατά την διάρκεια της ροής αιχμής. Ωστόσο, θα πρέπει πάντα να έχουμε κατά νου ότι η αρχική λειτουργία μιας βαλβίδας ρύθμισης πίεσης είναι να μειώσει την πίεση. Ως εκ τούτου, οι απώλειες δεν θα πρέπει να θεωρούνται το βασικό κριτήριο επιλογής (Headley, 2003).

Απαιτήσεις Συντήρησης

Σε γενικές γραμμές όλα τα είδη βαλβίδων ρύθμισης πίεσης θα πρέπει να ελέγχονται και να συντηρούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα, προκειμένου να διασφαλίζεται η λειτουργικότητά τους και η βέλτιστη επιχειρησιακή λειτουργία τους. Η DVGW (Deutscher Verein des Gas) συνιστά την εκτέλεση των επιθεωρήσεων και των μέτρων συντήρησης που παρατίθενται στον Πίνακα 5.13 σε διάστημα ενός έτους.

Οι βαλβίδες εμβόλου απαιτούν λίγη ειδική συντήρηση, ενώ στις βαλβίδες διαφράγματος απαιτείται περισσότερη προσοχή. Μικρές διάμετροι του κυκλώματος ελέγχου σημαίνει ότι μικρά σωματίδια, άμμος ή κρούστες μπορεί να προσκολληθούν στους σωλήνες, μεταβάλλοντας τα χαρακτηριστικά ελέγχου και τελικά μπλοκάρουν την βαλβίδα. Οι βαλβίδες διαφράγματος, λοιπόν, χρειάζονται περισσότερη συντήρηση, ειδικά όταν η ποιότητα του νερού είναι χαμηλή. Το φίλτρο της κύριας γραμμής που παγιδεύει την βρωμιά καθώς και το φίλτρο του κυκλώματος πρέπει να ελέγχονται και να καθαρίζονται κάθε τρεις μήνες. Επιπλέον, το διάφραγμα από καουτσούκ και όλες οι σφραγίδες συνιστάται να αντικαθίστανται κάθε πέντε έτη (Ziegler, κ.α., 2010).

Πίνακας 5.13: Ετήσιες επιθεωρήσεις και μέτρα συντήρησης για PRVs (DVGW).

Επιθεωρήσεις	Απαιτήσεις Συντήρησης
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ζημιές και Διάβρωση ➤ Λειτουργικότητα της PRV ➤ Εξωτερικό σφίξιμο ➤ Μηδενική ροή όταν η βαλβίδα είναι σε εντελώς κλειστή θέση ➤ Σωστή ρύθμιση της πίεσης εξόδου 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Καθαρισμός ➤ Προστασία από την διάβρωση ➤ Λίπανση κινητών εξωτερικών μερών
Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Λειτουργικότητα και ακρίβεια μανομέτρων ➤ Λειτουργικότητα των βαλβίδων αέρα ➤ Έλεγχος κυκλώματος 	

Επένδυση και Συνολικό Κόστος

Εκτός από το επενδυτικό κόστος για μια βαλβίδα ρύθμισης πίεσης θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν και το συνολικό κόστος κύκλου ζωής της (lifecyle costs, για την λειτουργία και συντήρηση, την εργασία και τα ανταλλακτικά). Οι βαλβίδες διαφράγματος γενικά έχουν χαμηλότερη αρχική επένδυση από ό,τι οι βαλβίδες εμβόλου. Εκτός από το κόστος της ίδιας της βαλβίδας, οι αναγκαίες εγκαταστάσεις και προφυλάξεις του τροφοδοτικού είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες του κόστους των βαλβίδων εμβόλου.

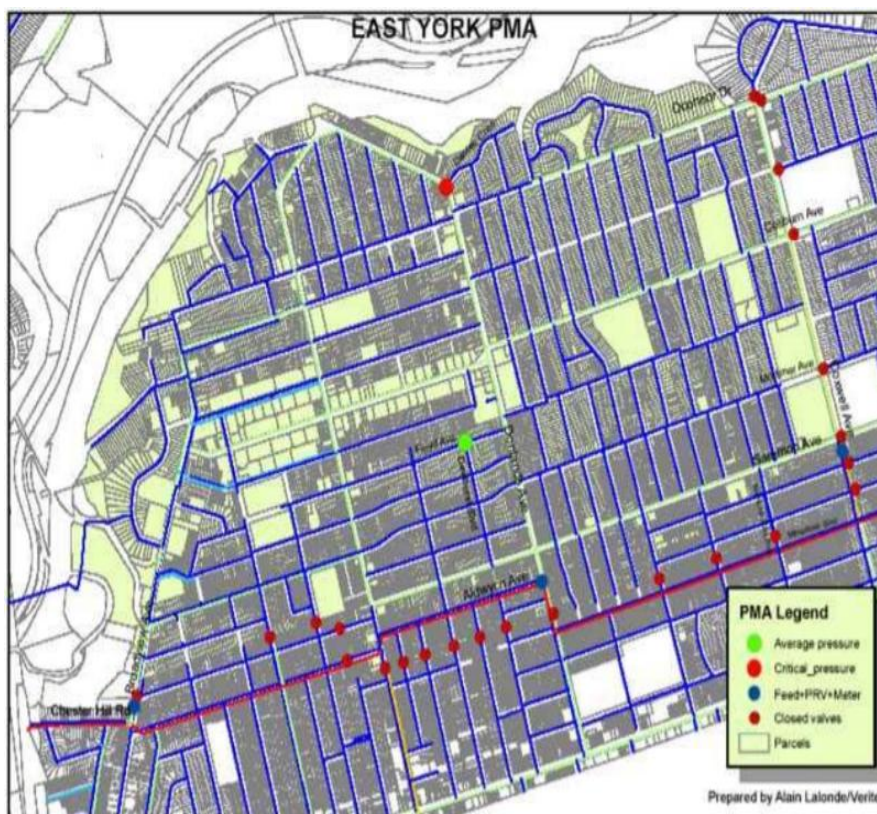
Ωστόσο, οι βαλβίδες εμβόλου μπορεί να είναι η πιο οικονομική λύση για μεγάλες διαμέτρους (μεγαλύτερες από DN 400) σε περιπτώσεις όπου δύο βαλβίδες διαφράγματος πρέπει να εγκατασταθούν παράλληλα για να αντιμετωπίσουν την κλίμακα ροής. Το ίδιο ισχύει και για μεγάλες διαφορές πίεσης, όπου οι βαλβίδες διαφράγματος πρέπει να εγκαθίστανται σε σειρά.

Από την άποψη συνολικού κόστους κύκλου ζωής, οι βαλβίδες διαφράγματος έχουν συνήθως υψηλότερες απαιτήσεις συντήρησης (αντικατάσταση φθαρμένων διαφραγμάτων, έλεγχος και καθαρισμός των φίλτρων, κ.λ.π.) ενώ οι βαλβίδες εμβόλου απαιτούν ένα ποσό ενέργειας για τον ηλεκτρικό ενεργοποιητή της βαλβίδας.

Από την άλλη πλευρά, οι βαλβίδες εμβόλου προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις, διότι η διατομή σχήματος δακτυλίου προσφέρει μια γραμμική καμπύλη ελέγχου σε ένα ευρύ φάσμα ρυθμών ροής. Η εύκολη αντικατάσταση των κυλίνδρων βοηθά επίσης την βαλβίδα να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες, ενώ το διάφραγμα στις βαλβίδες διαφράγματος συνήθως πρέπει να αντικαθίσταται πλήρως.

5.5 Περιοχές Διαχείρισης Πίεσης (PMAs)

Περιοχή Διαχείρισης Πίεσης (Pressure Management Area, PMA), είναι μια υδραυλικά διακριτή περιοχή, η οποία έχει την δυνατότητα μείωσης των υπερβολικών πιέσεων του συστήματος, καθώς διατηρεί σε αποδεκτά επίπεδα τις παρεχόμενες υπηρεσίες προς τους πελάτες (IWA).



Σχήμα 5.14: Περιοχή Διαχείρισης Πίεσης στο East York του Τορόντο (Lalonde,M., 2009).

Το παραπάνω σχήμα μας δείχνει μια επισκόπηση ενός επιλεγμένου ορίου μιας περιοχής διαχείρισης πίεσης στην συνοικία East York του Τορόντο. Η μεγάλη πράσινη κουκίδα (Average pressure) μας υποδεικνύει το σημείο της Μέσης Πίεσης, η μεγάλη κόκκινη κουκίδα (Critical_pressure) το κρίσιμο σημείο PCP, οι μπλέ κουκίδες (Feed PRV Meter) τα σημεία που έχουν τοποθετηθεί οι Βαλβίδες Ρύθμισης Πίεσης (PRVs) και οι μικρές μπορντό κουκίδες (Closed Valves) τα σημεία των κλειστών περιφερειακών δικλίδων (closed boundary valves).

Υπάρχουν διάφορα στάδια που σχετίζονται με τον σχεδιασμό μιας περιοχής διαχείρισης πίεσης. Οι κύριες εργασίες (Lalonde, κ.α., 2011) περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

1. Επιλογή υδραυλικού ορίου της περιοχής διαχείρισης πίεσης.
2. Ανάλυση της ζήτησης της περιοχής διαχείρισης πίεσης συμπεριλαμβανομένων και των απαιτήσεων για την αντιμετώπιση πυρκαγιάς.
3. Μετρήσεις πεδίου για την πίεση και την παροχή.
4. Επιλογή και διαστασιολόγηση των βαλβίδων ρύθμισης πίεσης.
5. Επιλογή τύπου ελέγχου και έλεγχος των ορίων.
6. Εκτίμηση της αναμενόμενης εξοικονόμησης απωλειών.

Οι Περιοχές Διαχείρισης Πίεσης μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την τοπική κατάσταση, την διαμόρφωση και τις δυνατότητες εισόδου. Επιπλέον, η διάκριση μπορεί να γίνει ανάμεσα σε μικρο και μακροπεριοχές (micro and macro PMAs) ανάλογα με το μήκος του δικτύου και τον αριθμό των συνδέσεων μέσα σε μια περιοχή ρύθμισης πίεσης.

(α) Περιοχές διαχείρισης πίεσης μιας εισόδου (Single inlet PMAs)

Ένας αγωγός ενιαίας εισόδου προμηθεύει την περιοχή με νερό, είτε με έναν σωλήνα διακλάδωσης από έναν κεντρικό αγωγό ή από έναν σωλήνα με βαρύτητα πίσω από μια δεξαμενή. Η περιοχή διαχείρισης πίεσης διαχωρίζεται από τα γειτονικά δίκτυα κλείνοντας τις περιφερειακές δικλείδες (boundary valves). Μια τέτοια περιοχή διαχείρισης πίεσης μπορεί να γίνει με την αναβάθμιση της υφιστάμενης Ζώνης Ελέγχου (Κεφάλαιο 5.2).

(β) Περιοχές διαχείρισης πίεσης πολλαπλών εισόδων (Multiple inlet PMAs)

Ένα σύστημα ρύθμισης για δύο ή περισσότερες εισόδους σε μια περιοχή διαχείρισης πίεσης απαιτεί πιο πολύπλοκους υπολογισμούς ώστε να εξασφαλίζεται σταθερή η πίεση στο κρίσιμο σημείο. Είναι όμως δυνατόν να πραγματοποιηθούν

και διαφορετικές διαδικασίες. Για παράδειγμα, μπορεί να παρθεί η απόφαση να κρατηθεί μια είσοδος σε μια σταθερή θέση και να ρυθμίζεται μόνο η δεύτερη βαλβίδα. Για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή μιας περιοχής διαχείρισης πίεσης πολλαπλών εισόδων πάντα απαιτείται λεπτομερέστερος σχεδιασμός από αυτήν μιας εισόδου. Συνίσταται η χρήση ενός υδραυλικού μοντέλου.

(γ) Δυναμικές περιοχές διαχείρισης πίεσης (Dynamic PMAs)

Η δυναμική περιοχή διαχείρισης πίεσης είναι το πιο εξελιγμένο είδος της τεχνολογίας διαχείρισης της πίεσης. Η θέση του κρίσιμου σημείου, η θέση των ορίων και του αριθμού εισόδων σε τέτοια περιοχή διαχείρισης πίεσης μπορούν να αλλάξουν για να ρυθμιστεί το σύστημα με βέλτιστο τρόπο για την κάλυψη των πραγματικών αναγκών.

(δ) Μικρο και Μακροπεριοχές διαχείρισης πίεσης (Micro and macro PMAs)

Επιπλέον, μια διαφοροποίηση μπορεί να γίνει μεταξύ μακρο και μικροπεριοχών διαχείρισης της πίεσης. Μια μικροπεριοχή διαχείρισης πίεσης συνήθως αποτελείται από μια ανεξάρτητη ζώνη διανομής όπου η πίεση ελέγχεται σε ένα ή περισσότερα σημεία εισόδου. Μια μακροπεριοχή διαχείρισης πίεσης αποτελείται από μια βαλβίδα ρύθμισης πίεσης σε ένα σωλήνα που τροφοδοτεί διάφορα δίκτυα διανομής ή μικροπεριοχές διαχείρισης πίεσης.

5.6 Περιορισμοί της Διαχείρισης Πίεσης

Θα πρέπει πάντα να έχουμε κατά νου ότι η διαχείριση της πίεσης δεν αποτελεί πανάκεια, αλλά μια μέθοδο για την μείωση των απωλειών νερού στα δίκτυα που πρέπει να συμπληρωθεί από άλλα μέτρα όπως ο έλεγχος των διαρροών, η διαχείριση των υποδομών του δικτύου, η ταχύτητα και η ποιότητα επιδιόρθωσης των διαρροών.

Η διαχείριση της πίεσης δεν επισκευάζει μια απλή απώλεια του δικτύου, αλλά μπορεί να μειώσει σημαντικά τους ρυθμούς απωλειών νερού. Αυτό είναι ένα σημαντικό πρώτο βήμα, το οποίο μπορεί να μετριάσει την πίεση στις εταιρείες ύδρευσης και να τις ενθαρρύνει στην λήψη περαιτέρω μέτρων.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν πολλοί σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την εφαρμογή της διαχείρισης της πίεσης σε ένα δίκτυο ή περιοχή: ακόμη και αν η πίεση μειωθεί σε ένα επίπεδο το οποίο εξακολουθεί να πληρεί τις απαιτήσεις των καταναλωτών, κάποιες συσκευές μπορεί να επηρεαστούν, όπως συστήματα στιγμιαίας παραγωγής ζεστού νερού, συστήματα ψεκαστήρων πυρκαγιάς ή συστήματα κατ'οίκον αιμοκάθαρσης. Η εγκατάσταση αντλιών αύξησης της πίεσης σε υψηλά πολυώροφα κτίρια μπορεί να είναι απαραίτητη, προκειμένου να διανέμεται νερό στους πάνω ορόφους.

Μια σημαντική πτυχή που πρέπει να εξεταστεί κατά την εγκατάσταση ενός συστήματος μείωσης της πίεσης είναι οι τοπικές απαιτήσεις πυρόσβεσης. Αρνητικές επιπτώσεις στην ικανότητα πυρόσβεσης πρέπει να αποφεύγονται με κάθε μέσο, είτε με μια παράκαμψη έκτακτης ανάγκης (emergency bypass) ή χρησιμοποιώντας τη διαμόρφωση της ροής (flow modulation). Η ρύθμιση της ροής επιτρέπει στην πίεση να ελέγχεται με ένα προκαθορισμένο προφίλ που σχετίζεται με την αλλαγή της σχέσης των απωλειών προς την ταχύτητα ροής, μέσα σε μια περιοχή διαχείρισης πίεσης. Στην περίπτωση αυτή, ο ελεγκτής αυξάνει την πίεση της ροής εξασφαλίζοντας ότι το δίκτυο θα έχει επαρκή πίεση για την καταπολέμηση της πυρκαγιάς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

6.1 Γενικά

Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει διαφορετικά σενάρια χρήσης των μεθόδων και εργαλείων διαχείρισης πίεσης, εξηγεί τα τυπικά στάδια υλοποίησης ενός έργου διαχείρισης πίεσης και δείχνει τον τρόπο που εγκαθίστανται οι βαλβίδες ρύθμισης πίεσης στο σύστημα.

6.2 Περιπτώσεις χρήσης μεθόδων και εργαλείων διαχείρισης της πίεσης

Οι διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης των μεθόδων και εργαλείων διαχείρισης της πίεσης παρέχουν καθοδήγηση για την εύρεση της καταλληλότερης λύσης σε διαφορετικές συνθήκες. Οι περιπτώσεις 1-5 είναι για περιοχές διαχείρισης πίεσης μιας εισόδου (single inlet PMAs) και οι περιπτώσεις 6 και 7 για περιοχές διαχείρισης πίεσης με περισσότερες από μία εισόδους (multiple inlet PMAs) (Ziegler, κ.α., 2010).

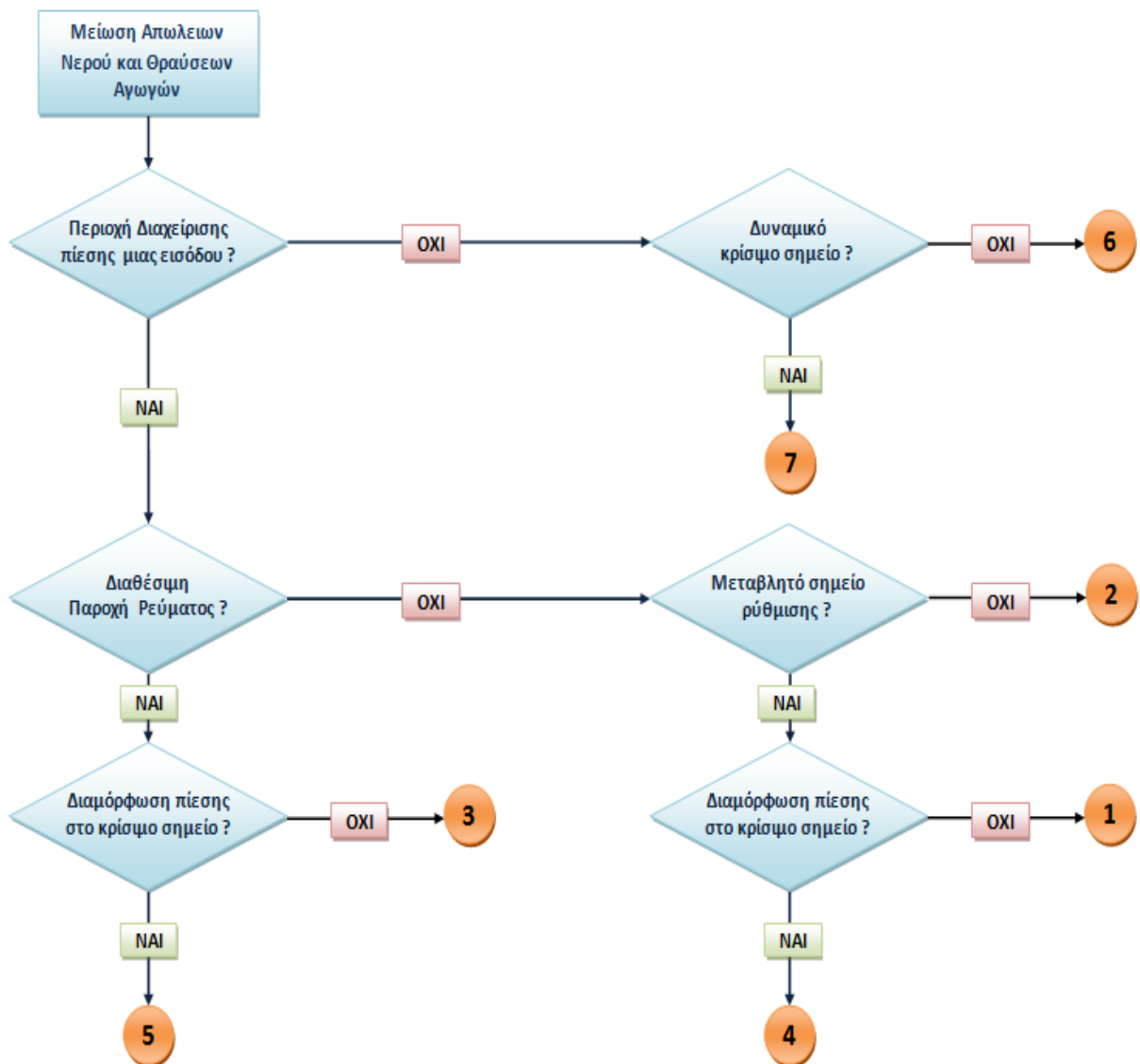
- *Περίπτωση 1:* Άμεση διαμόρφωση της πίεσης (local point modulation), βαλβίδα διαφράγματος με σταθερή πίεση εξόδου. Αυτή είναι η πιο βασική λύση διαχείρισης πίεσης και είναι κατάλληλη για περιοχές δίχως παροχή ρεύματος (απομακρυσμένες περιοχές) ή με συχνές διακοπές ρεύματος. Η εγκατάσταση μιας βαλβίδας διαφράγματος με σταθερή πίεση εξόδου είναι σχετικά φθηνή και προσφέρει γρήγορο χρόνο απόσβεσης. Θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε περιοχές με λίγες ή αναξιόπιστες πληροφορίες σχετικά με το δίκτυο και τους πελάτες. Μπορεί να είναι το πρώτο στάδιο για την δημιουργία μιας περιοχής διαχείρισης πίεσης και θα πρέπει να συνοδεύεται από την παρακολούθηση της πίεσης και της ροής.
- *Περίπτωση 2:* Άμεση διαμόρφωση της πίεσης, βαλβίδα διαφράγματος με διαμόρφωση πίεσης με βάση το χρόνο ή τη ροή (time-based or flow-based modulation). Αυτή η περίπτωση συνδυάζει την άμεση διαμόρφωση της πίεσης με την διαμόρφωση με βάση τον χρόνο ή την ροή. Για παράδειγμα, η

πίεση θα μειωθεί το βράδυ ή θα μειωθεί ανάλογα με μια προκαθορισμένη σχέση μεταξύ πίεσης/ροής. Η συγκεκριμένη περίπτωση είναι επίσης κατάλληλη για περιοχές με λίγες ή αναξιόπιστες πληροφορίες.

- *Περίπτωση 3:* Άμεση διαμόρφωση της πίεσης, βαλβίδα εμβόλου με διαμόρφωση πίεσης με βάση το χρόνο ή τη ροή. Αυτή η περίπτωση είναι η ίδια με την 2, αλλά χρησιμοποιείται βαλβίδα εμβόλου. Οι βαλβίδες εμβόλου απαιτούν μια εξωτερική πηγή ενέργειας, αλλά επιτρέπουν μεγαλύτερη διάμετρο εισόδου και υψηλότερη διαφορά πίεσης. Επιπλέον το κόστος συντήρησης είναι χαμηλό.
- *Περίπτωση 4:* Διαμόρφωση της πίεσης με βάση το κρίσιμο σημείο (critical point modulation), βαλβίδα διαφράγματος με διαμόρφωση της πίεσης με βάση το χρόνο ή τη ροή. Αυτή η περίπτωση απαιτεί επικοινωνία μεταξύ ενός αισθητήρα πίεσης που είναι εγκατεστημένος στο κρίσιμο σημείο της περιοχής διαχείρισης πίεσης και της βαλβίδας ρύθμισης πίεσης. Η πιο αποδοτική λύση είναι να επικοινωνούν με το τοπικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας GSM.
- *Περίπτωση 5:* Διαμόρφωση της πίεσης με βάση το κρίσιμο σημείο (critical point modulation), βαλβίδα εμβόλου με διαμόρφωση της πίεσης με βάση το χρόνο ή τη ροή. Απαιτεί επίσης επικοινωνία μεταξύ του αισθητήρα στο κρίσιμο σημείο και της βαλβίδας. Η διαμόρφωση της πίεσης στο κρίσιμο σημείο προσφέρει μεγαλύτερες δυνατότητες βελτιστοποίησης. Βέβαια τα συστήματα αυτά εξακολουθούν να μην είναι οικονομικά αποδοτικά για συστήματα με σχετικά μικρές απώλειες νερού. Ένα υδραυλικό μοντέλο του συστήματος συνίσταται καθώς θα επιτρέψει τον βέλτιστο σχεδιασμό του.
- *Περίπτωση 6:* Αυτή η περίπτωση αναφέρεται για μια Περιοχή διαχείρισης πίεσης πολλαπλών εισόδων. Όλες οι έννοιες και οι μέθοδοι του Σχήματος 5.2 μπορούν να εφαρμοστούν σύμφωνα με τις υδραυλικές πληροφορίες.
- *Περίπτωση 7:* Αυτή η περίπτωση περιλαμβάνει μια δυναμική περιοχή διαχείρισης πίεσης (dynamic PMA) με ένα δυναμικό κρίσιμο σημείο. Το κρίσιμο σημείο μπορεί να ποικίλει στην περιοχή καθ'όλη την ημέρα. Ένα υδραυλικό μοντέλο είναι απαραίτητο και συνίσταται ένα σύστημα SCADA

στην περίπτωση πολλαπλών εισόδων στο σύστημα. Αυτή είναι μια λύση υψηλού προϋπολογισμού, αλλά προσφέρει μεγάλες δυνατότητες βελτιστοποίησης.

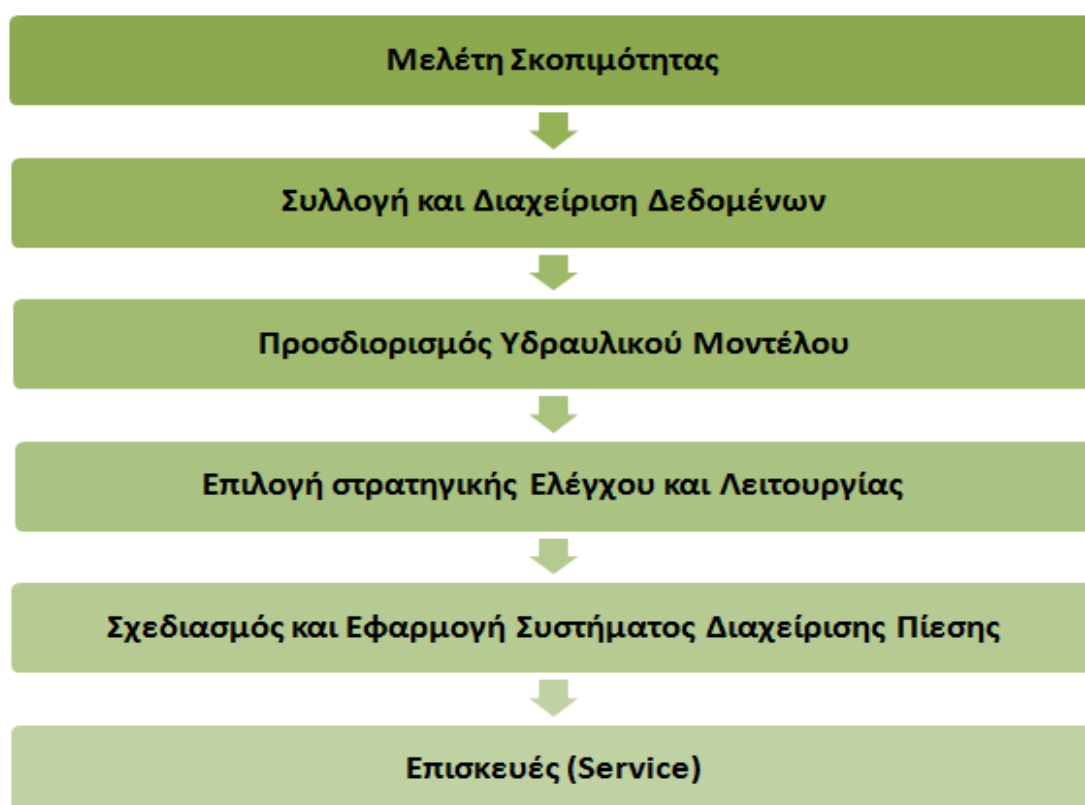
Το παρακάτω διάγραμμα ροής (Σχήμα 6.1) απεικονίζει την διαδικασία επιλογής της καταλληλότερης λύσης διαχείρισης της πίεσης για ένα δίκτυο ή μια ζώνη διανομής.



Σχήμα 6.1: Διάγραμμα Ροής λήψης αποφάσεων για τις επτά χαρακτηριστικές περιπτώσεις.

6.3 Στάδια υλοποίησης σχεδίου

Ένα τυπικό σχέδιο διαχείρισης της πίεσης συνήθως αποτελείται από τα στάδια που φαίνονται στο Σχήμα 6.2. Ωστόσο, οι τοπικές συνθήκες μπορεί να απαιτούν πρόσθετες πρακτικές που δεν αναφέρονται ή ενδέχεται σε διαφορετικές περιπτώσεις να μην είναι απαραίτητο κάθε βήμα. Τα πάντα εξαρτώνται από την περίπτωση χρήσης της μεθόδου.



Σχήμα 6.2: Τυπικά στάδια εφαρμογής Διαχείρισης της Πίεσης.

Μελέτη Σκοπιμότητας

Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει την αρχική αξιολόγηση, που εμπεριέχει την μελέτη σκοπιμότητας και τα οικονομικά οφέλη από την εφαρμογή της μεθόδου.

Περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέτρα:

- Προσδιορισμό μιας Περιοχής Διαχείρισης Πίεσης (PMA).
- Υπολογισμό της Απόδοσης των Επενδύσεων (Return of Investment – ROI).
- Ανάλυση των τοπικών υποδομών και πόρων.

Συλλογή και Διαχείριση Δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων μπορεί να είναι χρονοβόρα ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες. Ωστόσο, είναι αναγκαία για να προσδιοριστεί η πιο κατάλληλη επιλογή για την περαιτέρω βελτιστοποίηση του συστήματος. Η διαχείριση των δεδομένων είναι επωφελής, ακόμη και αν το δίκτυο δεν χρειάζεται κάποιο πρόγραμμα διαχείρισης της πίεσης, καθώς επιτρέπει στην εταιρεία ύδρευσης να έχει καλύτερη γνώση και κατανόηση του δικτύου. Περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Συλλογή Δεδομένων (π.χ δεδομένα πίεσης, κατανάλωσης, ροής, αγωγών και βαλβίδων).
- Δομή και προετοιμασία των δεδομένων.
- Πιθανή απόκτηση πρόσθετων δεδομένων (δεδομένα GIS).
- Έλεγχος επαλήθευσης και αληθοφάνειας των διαθέσιμων δεδομένων.

Προσδιορισμός Υδραυλικού Μοντέλου

Ο προσδιορισμός του υδραυλικού μοντέλου είναι απαραίτητος για να κατανοήσουμε την υφιστάμενη και μελλοντική συμπεριφορά του δικτύου. Το υδραυλικό μοντέλο, εκτελώντας προσομοιώσεις θα βοηθήσει στον εντοπισμό των βέλτιστων περιοχών διαχείρισης πίεσης. Περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Καθορισμό και βαθμονόμηση του υδραυλικού μοντέλου.
- Εκτέλεση προσομοιώσεων.
- Ανάλυση των αποτελεσμάτων και προσδιορισμό των βέλτιστων ρυθμίσεων πίεσης.

Επιλογή Στρατηγικής Ελέγχου και Λειτουργίας

Μετά τον προσδιορισμό του υδραυλικού μοντέλου μπορούν να ελεγχθούν διαφορετικές περιπτώσεις καθώς και να γίνει προσομοίωση για τον αντίκτυπο διαφόρων παραμέτρων. Έτσι προτείνεται η καλύτερη λύση στην εταιρεία ύδρευσης. Το υδραυλικό μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελέγξει τις ακόλουθες πτυχές:

- Επιλογή της βέλτιστης στρατηγικής λειτουργίας βαλβίδων και αντλιών.
- Προσομοίωση αλλαγής στον τρόπο λειτουργίας.

Σχεδιασμός και Εφαρμογή Συστήματος Διαχείρισης Πίεσης

Αυτό το στάδιο εμπεριέχει την διαστασιολόγηση, την κατασκευή και την εγκατάσταση του συστήματος διαχείρισης πίεσης λαμβάνοντας υπόψιν τα τεχνικά και μηχανικά προβλήματα. Μέρος αυτού του σταδίου επίσης αποτελεί η εκπαίδευση του προσωπικού και η εισαγωγή ενός συστήματος παρακολούθησης. Περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Διαστασιολόγηση του συστήματος (βαλβίδες και εξαρτήματα).
- Σχεδιασμό και κατασκευή του συστήματος διαχείρισης της πίεσης.
- Διενέργεια εντατικών λειτουργικών δοκιμών του συστήματος.
- Εκπαίδευση πεδίου για την ομάδα χειρισμού.
- Εφαρμογή συστήματος παρακολούθησης (monitoring system).

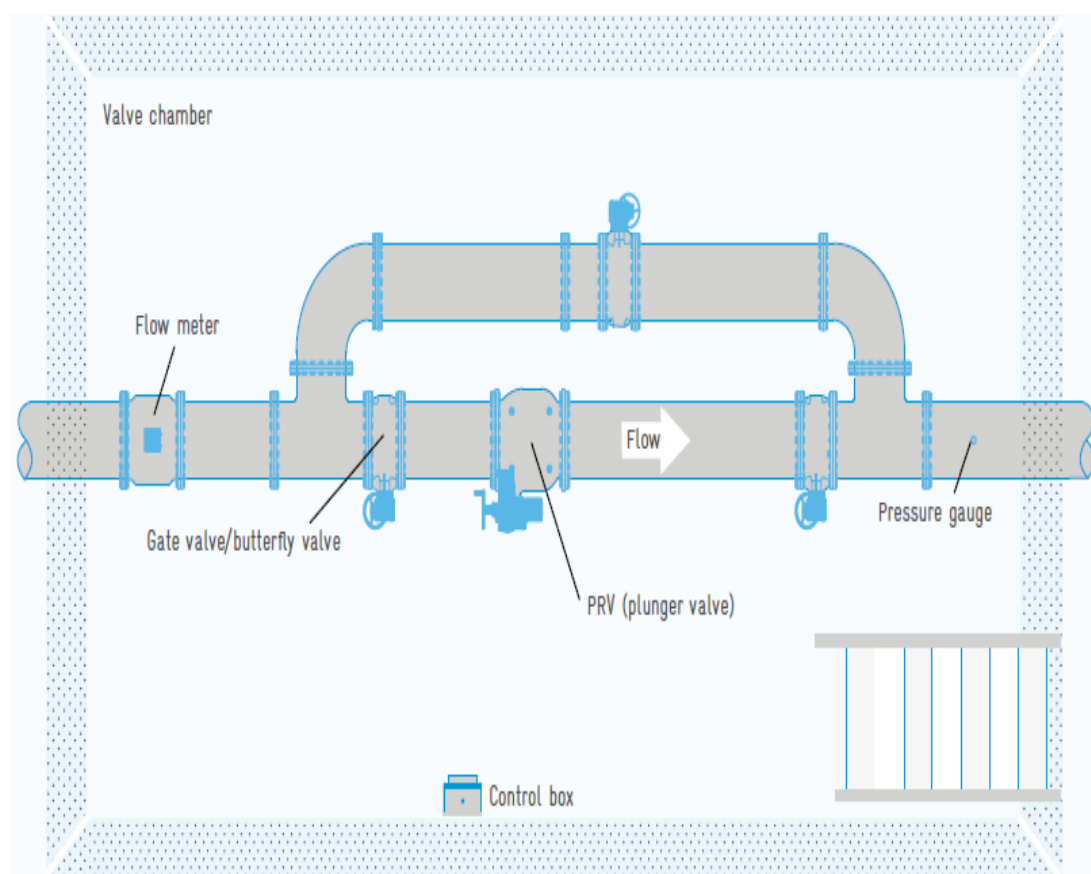
Επισκευές (Service)

Επισκευές θα πρέπει να παρέχονται σε μακροπρόθεσμη βάση και να περιλαμβάνουν την τεχνική υποστήριξη καθώς και την περαιτέρω βελτιστοποίηση του συστήματος. Υπηρεσίες επισκευής προσφέρονται συνήθως από τους κατασκευαστές σε συνεργασία με την εταιρεία ύδρευσης. Οι υπηρεσίες επισκευής περιλαμβάνουν την τεχνική υποστήριξη και την αντιμετώπιση των προβλημάτων, απευθείας (remote) ή επί τόπου παρακολούθηση του συστήματος, συστήματα ανάλυσης δεδομένων (system data analysis) καθώς και επαναβαθμονόμηση του συστήματος στην περίπτωση μεταβολής των οριακών συνθηκών.

6.4 Εγκατάσταση Συστήματος Διαχείρισης Πίεσης

Για την εγκατάσταση ενός συστήματος διαχείρισης πίεσης συνήθως πρέπει αρχικά να εγκατασταθεί ένας υπόγειος θάλαμος (valve chamber) στην είσοδο της επιλεγμένης περιοχής διαχείρισης πίεσης. Ο θάλαμος θα πρέπει να μπορεί να εκκενώνεται (Κεφάλαιο 2.5) εύκολα και να παρέχει επαρκή χώρο για την εγκατάσταση, την λειτουργία και την συντήρηση του συστήματος.

Το σύστημα συνήθως αποτελείται από μια βαλβίδα ρύθμισης πίεσης-PRV (εμβόλου ή διαφράγματος), ένα υδρόμετρο (flow meter), αισθητήρες πίεσης (pressure sensors), δύο βαλβίδες απομόνωσης (isolating valves) και ένα πίνακα ελέγχου (control box). Συνίσταται η εγκατάσταση μιας βαλβίδας αέρα κατάντη της βαλβίδας ρύθμισης πίεσης για τους ανάντη αγωγούς του δικτύου. Μια παράκαμψη (bypass) με βαλβίδα απομόνωσης είναι σκόπιμη προκειμένου να διατηρηθεί παροχή νερού στους καταναλωτές κατά την διάρκεια εργασιών συντήρησης. Βαλβίδες τύπου πεταλούδας ή πύλης (butterfly/gate valve) θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σαν βαλβίδες απομόνωσης. Μια γενική διάταξη ενός θαλάμου και ένα πλήρες σύστημα συμπεριλαμβανομένου του αγωγού παράκαμψης δίνεται στο Σχήμα 6.3 (Ziegler, κ.α., 2010).



Σχήμα 6.3: Γενική διάταξη θαλάμου και σύστημα διαχείρισης πίεσης με βαλβίδα εμβόλου και παράκαμψη (Ziegler, κ.α., 2010).

Το υδρόμετρο καταγράφει συνεχώς τον όγκο του νερού που παρέχεται στην περιοχή διανομής. Ο αισθητήρας πίεσης πίσω από την παράκαμψη χρησιμοποιείται για την καταγραφή της τιμής της πραγματικής πίεσης που θα δοθεί ως δεδομένο εισόδου για την λειτουργία μείωσης της πίεσης του προγραμματισμένου ελεγκτή (PLC, Programmable Logic Controller). Ο PLC συγκεντρώνει πληροφορίες για την κατάσταση σχετικά με τις μετρημένες ποσότητες για τον έλεγχο της βαλβίδας εμβόλου. Η βαλβίδα εμβόλου τροφοδοτείται από συνεχές (DC) ή εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα, ή από έναν τριφασικό ενεργοποιητή ανάλογα με την τοπική παροχή ρεύματος.

Μια δεύτερη βαλβίδα ρύθμισης πίεσης μπορεί να εγκατασταθεί παράλληλα σε περίπτωση που η απαιτούμενη κλίμακα ροής είναι υψηλότερη από την ικανότητα μιας μόνο βαλβίδας ρύθμισης πίεσης. Σε αυτή την περίπτωση μια μεγαλύτερη βαλβίδα ρύθμισης πίεσης λειτουργεί μόνη της, συλλαμβάνοντας τις ροές μέσα στο ελάχιστο και μέγιστο εύρος της. Η μικρότερη βαλβίδα λειτουργεί μόνο στην περίπτωση που έχουμε πολύ χαμηλά ποσοστά ροής. Αν και οι δύο βαλβίδες λειτουργούν ταυτόχρονα, η συνολική χωρητικότητα είναι ίση με το άθροισμα του μέγιστου ρυθμού ροής και των δύο βαλβίδων.

Δύο βαλβίδες ρύθμισης πίεσης μπορεί να εγκατασταθούν σε σειρά εάν η απαιτούμενη διαφορική πίεση προκαλεί κίνδυνο σπηλαίωσης (Κεφάλαιο 5.4). Σε αυτήν την περίπτωση, η πίεση μειώνεται σε δύο στάδια και κάθε βαλβίδα λειτουργεί εντός της περιοχής σπηλαίωσης. Στην περίπτωση που η διαφορική πίεση είναι υψηλή, μια βαλβίδα ρύθμισης πίεσης πρέπει επίσης να εγκατασταθεί στην παράκαμψη, προκειμένου να λειτουργεί κατά τη διάρκεια των υπηρεσιών συντήρησης (Ziegler, κ.α., 2010).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

7.1 Λογισμικά αξιολόγησης του επιπέδου λειτουργίας δικτύων ύδρευσης

7.1.1 Γενικά

Η διαδικασία αξιολόγησης του επιπέδου λειτουργίας δικτύων ύδρευσης (water audit) συνίσταται στη λογιστική απεικόνιση των όγκων νερού που εισέρχονται στο δίκτυο και καταναλώνονται ή χάνονται και στην εξέταση του δικτύου διανομής του νερού στο σύστημα. Σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι η εξέταση της λειτουργικής αποδοτικότητας του συστήματος και ο εντοπισμός πηγών απωλειών νερού και απωλειών εσόδων (Κανακούδης, 2015).

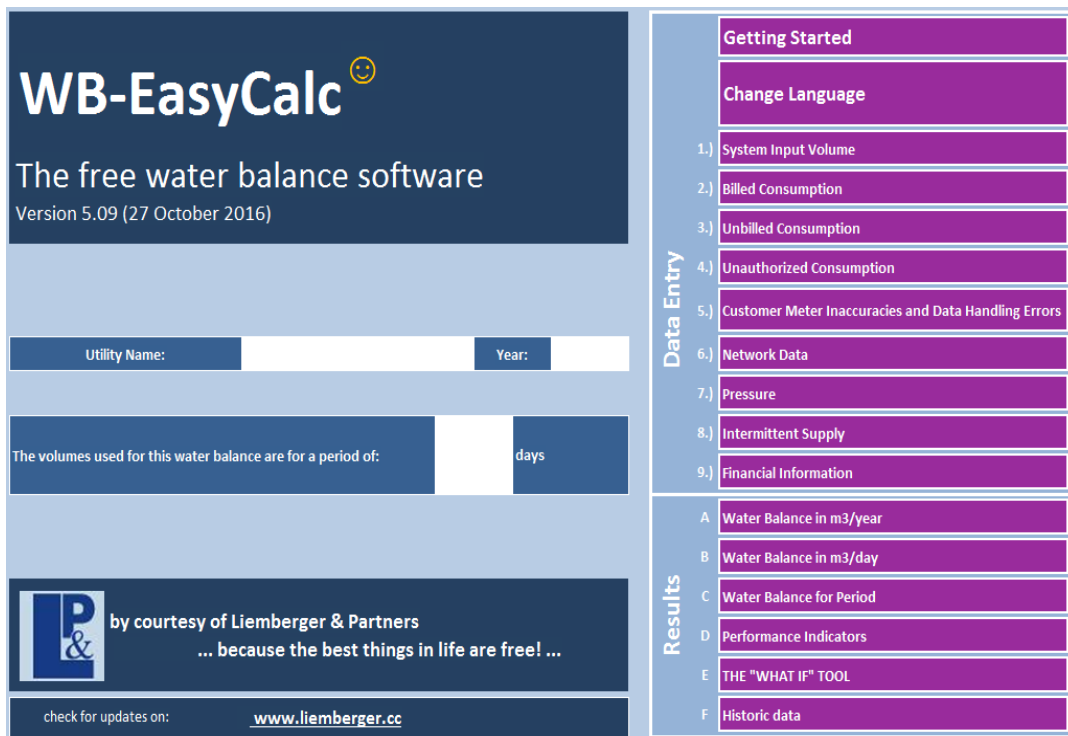
Τα βασικά περιεχόμενα μιας αξιολόγησης της απόδοσης (water audit) περιλαμβάνουν:

- τη λογιστική απεικόνιση των όγκων νερού εντός και εκτός του συστήματος διανομής,
- τον υπολογισμό του Υδατικού Ισοζυγίου με τη χρήση των στοιχείων της εταιρείας,
- τον υπολογισμό επιλεγμένων δεικτών απόδοσης διαχρονικά, ώστε να παρακολουθείται το σύστημα και να σχεδιάζονται προγράμματα αντιμετώπισης των προβλημάτων που παρουσιάζονται.

Για την αξιολόγηση του επιπέδου λειτουργίας των δικτύων ύδρευσης χρησιμοποιείται η μεθοδολογία της IWA (Υδατικό Ισοζύγιο και Δείκτες Απόδοσης). Για τον υπολογισμό του Υδατικού Ισοζυγίου της IWA και των σχετικών δεικτών απόδοσης χρησιμοποιούνται εργαλεία αξιολόγησης (water audit tools). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα χρησιμοποιούμε το ελεύθερο λογισμικό WB-Easy Calc (Version 5.09).

7.1.2 Το λογισμικό WB-Easy Calc

Το λογισμικό WB-EasyCalc (Εικόνα 7.1) αναπτύχθηκε από την ομάδα συνεργατών του Roland Liemberger (www.liemberger.cc) και υποστηρίχθηκε από το Ινστιτούτο της Παγκόσμιας Τράπεζας. Το συγκεκριμένο λογισμικό υπολογίζει το Υδατικό Ισοζύγιο της IWA, καθώς και κάποιους από τους βασικούς δείκτες απόδοσης, όπως τις τρέχουσες πραγματικές απώλειες (CARL), τις αναπόφευκτες πραγματικές απώλειες (UARL), τον εφικτό όγκο των πραγματικών απωλειών (MAPL) και τον δείκτη ILI (Infracture Leakage Index). Επίσης πραγματοποιεί την αξιολόγηση και κατάταξη του δικτύου με βάση τον πίνακα κατάταξης της Παγκόσμιας Τράπεζας (World Bank Institute). Πλεονέκτημα του λογισμικού θεωρείται ότι, σε σχέση με άλλα λογισμικά, χρησιμοποιεί περιθώρια σφάλματος και τα αποτελέσματα εξάγονται μεταξύ των κατάλληλων ορίων. Τέλος, περιλαμβάνει στα αποτελέσματα το εργαλείο “What if” («Τι θα συμβεί AN»), όπου μεταβάλλοντας τη μέση πίεση, τον μέσο χρόνο παροχής, το ποσοστό κάλυψης, την τιμή του δείκτη ILI και τις φαινόμενες (εμπορικές) απώλειες (L/σύνδεση/ημέρα) δίνει τη μεταβολή των παρακάτω αποτελεσμάτων: αριθμό συνδέσεων, μήκος αγωγών, τιμολογούμενη κατανάλωση, εισερχόμενο νερό, μη ανταποδοτικό νερό, πραγματικές απώλειες, φαινόμενες απώλειες, ετήσια έσοδα, ετήσιο κόστος λειτουργίας, όγκο μη ανταποδοτικού νερού σαν % του εισερχόμενου νερού και αξία μη ανταποδοτικού νερού σαν % του συνολικού ετήσιου κόστους λειτουργίας.



Σχήμα 7.1: Εικόνα από την έναρξη του λογισμικού WB-Easy Calc έκδοση 5.09 (<http://www.liemberger.cc/>).

7.2 Σκοπός Παραδείγματος

Σκοπός του συγκεκριμένου παραδείγματος είναι, με την βοήθεια του λογισμικού WB-Easy Calc, να γίνει η αξιολόγηση ενός τυπικού δικτύου της ΔΕΥΑ, να υπολογιστεί ο όγκος και η αξία των απωλειών νερού και με τη χρήση του εργαλείου (“What if”) να γίνει μια περαιτέρω ρύθμιση της πίεσης λειτουργίας του δικτύου για να παρατηρήσουμε τα οφέλη που θα επέφερε ένα πρόγραμμα διαχείρισης της πίεσης στο δίκτυο.

7.3 Δεδομένα Δικτύου

Για ένα τυπικό δίκτυο ύδρευσης της ΔΕΥΑ δίνονται τα παρακάτω δεδομένα:

Το δίκτυο υδροδοτείται από 4 ομάδες γεωτρήσεων από τις οποίες το 2014 αντλήθηκαν οι εξής ποσότητες νερού: από την ομάδα Α 3.400.000 m³, από την ομάδα Β 2.500.000 m³, από την ομάδα Γ 2.800.000 m³ και από την ομάδα Δ 4.900.000 m³ (περιθώριο σφάλματος 2%). Κατά μέσο όρο, οι διμηνιαίες καταγραφές

των μετρητών ανήλθαν για το 2014 σε 1.150.000 m³/δίμηνο. Η ΔΕΥΑ μέτρησε την ποσότητα νερού που χρειάστηκε το 2014 για χρήση σε δημοτικά κτίρια και ιδρύματα στα οποία δεν χρεώνει το νερό για κοινωνικούς λόγους. Η ποσότητα αυτή για το 2014 ανήλθε σε 2.000.000 L ανά δίμηνο. Η παροχή νερού στο δίκτυο είναι συνεχής. Υπάρχει μία περιοχή στην οποία δεν έχουν τοποθετηθεί ακόμη μετρητές από την ΔΕΥΑ και η οποία περιλαμβάνει 100 καταναλωτές στους οποίους χρεώνεται κατανάλωση 640lt την ημέρα στον καθένα. Επίσης υπολογίστηκε ότι το νερό που απαιτήθηκε το 2014 για πλύσιμο αγωγών, πότισμα δημοτικών κήπων, πυρόσβεση κλπ. είναι 10.000 m³ (περιθώριο σφάλματος 9%). Οι συνολικές συνδέσεις των καταναλωτών είναι 12.000, το 10% των οποίων είναι βιομηχανικές. Η αναλογία όμως της κατανάλωσης είναι 60% οικιακή και 40% βιομηχανική. Το δίκτυο χωρίζεται σε 2 ζώνες πίεσης. Η πρώτη λειτουργεί με μέση πίεση 4,4 atm, ενώ η δεύτερη 6,4 atm. Στην πρώτη ζώνη βρίσκονται το 45% των συνδέσεων. Το δίκτυο αποτελείται από αγωγούς διαφόρων υλικών (PVC= 60.000 m, αμιαντοσιμέντο = 20.000 m, χάλυβα = 96.000 m, χυτοσίδηρο = 36.000 m και από PE = 58.000 m). Το μέσο μήκος των συνδέσεων (από το όριο της ιδιοκτησίας μέχρι τον μετρητή του καταναλωτή) είναι 7 m. Από έρευνα πεδίου υπολογίστηκε ότι οι παράνομες οικιακές συνδέσεις ανέρχονται στο 3% των οικιακών συνδέσεων, ενώ οι υπόλοιπες παράνομες συνδέσεις ανέρχονται στο 8% των υπόλοιπων συνδέσεων (εκτός από τις οικιακές). Επίσης προέκυψε ότι η υπομέτρηση ανέρχεται στο 8% των συνολικών μετρήσεων και τα σφάλματα χειρισμού των δεδομένων (από το γραφείο) σε 4.000.000 lt για το συγκεκριμένο έτος. Οι εκφυλισμένες πρακτικές μέτρησης αποτελούν το 0,5% της υπομέτρησης. Ο πληθυσμός της πόλης ανέρχεται σε 100.000 κατοίκους και θεωρείται ότι κατοικούν 3 άτομα σε κάθε οικία. Η μέση τιμή του νερού για το έτος 2014 ανήλθε σε 1,20 €/m³.



Σχήμα 7.2: Απεικόνιση του δικτύου στο EPANET.

7.4 Δεδομένα Εισόδου Προγράμματος

Το λογισμικό WB-Easy Calc χρησιμοποιεί ως Δεδομένα Εισόδου-Data Entry (Σχήμα 7.2) τις παρακάτω μεταβλητές: Όγκος Εισόδου (System Input Volume), Τιμολογημένη Μετρούμενη Κατανάλωση (Billed Consumption), Μη Τιμολογημένη Μετρούμενη Κατανάλωση (Unbilled Consumption), Μη Τιμολογημένη Μη Μετρούμενη Κατανάλωση (Unauthorized Consumption), Υπομέτρηση Υδρομέτρων και Σφάλματα Χειρισμού Δεδομένων (Customer Meter Inaccuracies and Data Handling Errors), Δεδομένα Δικτύου (Network Data), Πίεση Λειτουργίας (Pressure), Παροχή (Intermittent Supply), Οικονομικά Στοιχεία (Financial Information).

Data Entry	1.)	System Input Volume
	2.)	Billed Consumption
	3.)	Unbilled Consumption
	4.)	Unauthorized Consumption
	5.)	Customer Meter Inaccuracies and Data Handling Errors
	6.)	Network Data
	7.)	Pressure
	8.)	Intermittent Supply
	9.)	Financial Information

Σχήμα 7.3: Δεδομένα Εισόδου στο λογισμικό WB-Easy Calc.

Για την χρήση του λογισμικού οι τιμές των δεδομένων του δικτύου πρέπει να μεταβληθούν ώστε να εισαχθούν στο πρόγραμμα με την κατάλληλη μορφή. Όπου δεν δίνεται περιθώριο σφάλματος από την εταιρεία, θεωρούμε επίπεδο σφάλματος $\pm 5\%$. Οι μεταβλητές των δεδομένων εισόδου επεξηγούνται παρακάτω:

1.) Όγκος Εισόδου (System Input Volume)

Για τον υπολογισμό του Όγκου Εισόδου εισάγουμε στο σύστημα τις ποσότητες του νερού που αντλήθηκαν από τις 4 ομάδες γεωτρήσεων με τα περιθώρια σφάλματος τους.

Unbilled Metered Consumption		Unbilled Unmetered Consumption		
Description	[m3]	Description	[m3]	Error Margin [+/- %]
Bulk Water Supply (Export)		Πλύσιμο αγωγών, Πυρόσβεση, κ.λ.π	10.000	10,0%
Μη τιμολογημένη μετρούμενη από την εταιρία	12.000			
Unbilled Metered Consumption		Error Margin [+/-]:		
[m3] 12.000		Unbilled Unmetered Consumption		
		[m3]		
		Minimum 9.000		
		Maximum 11.000		
		Best Estimate 10.000		

Σχήμα 7.6: Μη Τιμολογημένη Μετρούμενη Κατανάλωση (Unbilled Consumption) όπως συμπληρώθηκε για το συγκεκριμένο παράδειγμα στο λογισμικό WB-Easy Calc.

4.) Μη Τιμολογημένη Μη Μετρούμενη Κατανάλωση (Unauthorized Consumption)

Οι οικιακές συνδέσεις αποτελούν το 90% των συνολικών συνδέσεων (άρα $12.000 \times 90\% = 10.800$), ενώ οι βιομηχανικές τις υπόλοιπες 1.200. Οι παράνομες οικιακές συνδέσεις αποτελούν το 3% των οικιακών συνδέσεων, άρα $10.800 \times 3\% = 324$ παράνομες οικιακές συνδέσεις, ενώ οι παράνομες βιομηχανικές συνδέσεις αποτελούν το 7% των βιομηχανικών συνδέσεων, άρα $1.100 \times 8\% = 88$ παράνομες βιομηχανικές συνδέσεις.

Η οικιακή κατανάλωση αποτελεί το 60% της συνολικής κατανάλωσης, άρα $6.900.000 \times 60\% = 4.140.000 \text{ m}^3/\text{έτος} = 113,42 \text{ L}/\text{άτομο}/\text{ημέρα}$.

Η βιομηχανική κατανάλωση αποτελεί το 40% της συνολικής κατανάλωσης, άρα $6.900.000 \times 40\% = 2.760.000 \text{ m}^3/\text{έτος} = 7.561,64 \text{ L}/\text{σύνδεση}/\text{ημέρα}$.

Unauthorized Consumption					
Description	Estimated Number	Error Margin [+/- %]	Persons per House	Consumption [liters/person/day]	Total [m3]
Illegal Connections - domestic	324	5%	3,0	113	40.239
				Consumption [liters/connection/day]	
Illegal Connections - others	96	5%		7.652	268.113
				Consumption [liters/customer/day]	
Meter tampering, bypasses, etc. at registered customers					-
				Consumption [m3/day]	
					-
					-
					-
					-
Error Margin [+/-]:		4,4%			
Unauthorized Consumption [m3]					
Minimum					294.797
Maximum					321.908
Best Estimate					308.353

Σχήμα 7.7: Μη Τιμολογημένη Μη Μετρούμενη Κατανάλωση (Unauthorized Consumption) όπως συμπληρώθηκε για το συγκεκριμένο παράδειγμα στο λογισμικό WB-Easy Calc.

5.) Υπομέτρηση Υδρομέτρων και Σφάλματα Χειρισμού Δεδομένων (Customer Meter Inaccuracies and Data Handling Errors)

Ο υπολογισμός της υπομέτρησης γίνεται με την χρήση ποσοστού (8% των συνολικών μετρήσεων) αφού μόνο αυτό μας δίνεται από την εταιρεία ύδρευσης. Επίσης τα σφάλματα χειρισμού των δεδομένων (από το γραφείο) ανέρχονται σε 4.000 m³ για το συγκεκριμένο έτος. Τέλος, οι εκφυλισμένες πρακτικές μέτρησης που αφορούν σε εσκεμμένα λανθασμένες μετρήσεις των υδρομέτρων (π.χ υδρονομείς που γνωρίζουν τον καταναλωτή και σημειώνουν μηδενική κατανάλωση, κλπ.) αποτελούν το 0,5% της υπομέτρησης.

Customer Meter Inaccuracies and Data Handling Errors				
Description	Total [m3]	Meter under-registration	Total [m3]	Error Margin [+/- %]
Enter 1 to use an overall % for meter under-registration or 2 for manual entering of volumes and under-registration of different meter or customer types		2		
Billed Metered Consumption (without Bulk Supply)	-		-	
Billed Metered Consumption (without Bulk Supply)	Total [m3]	Meter under-registration		
Υπομέτρηση Υδρομέτρων	6.600.000	8,0%	573.913	5%
Σφάλματα χειρισμού δεδομένων (από το γραφείο)	4.000	50,0%	4.000	5%
Εκφυλισμένες πρακτικές μέτρησης	573.913	0,5%	2.884	5%
			-	
			-	
			=	
Metered Bulk Supply (Export)	-		-	
Unbilled Metered Consumption (without Bulk Supply)	12.000		-	
		Estimated % of under-reading		
Corrupt Meter Reading Practices	6.923.360		-	
Data Handling Errors (Office)				
Error Margin [+/-]:				4,9%
Customer Meter Inaccuracies and Data Handling Errors				
Minimum			552.100	
Maximum			609.494	
Best Estimate			580.797	

Σχήμα 7.8: Υπομέτρηση Υδρομέτρων και Σφάλματα Χειρισμού Δεδομένων (Customer Meter Inaccuracies and Data Handling Errors) όπως συμπληρώθηκαν για το συγκεκριμένο παράδειγμα στο λογισμικό WB-Easy Calc.

6.) Δεδομένα Δικτύου (Network Data)

Εισάγουμε τα μήκη σε Km των διαφόρων αγωγών (Distribution and Transmission Mains) , τον αριθμό των πελατών (number of customers) καθώς και το μέσο μήκος των συνδέσεων (από το όριο της ιδιοκτησίας μέχρι τον μετρητή του καταναλωτή (average length of service connection from property boundary to customer meter).

Financial Information		
	per m3	Currency
Average Tariff	1,20	EUR
Variable Production and Distribution Cost (Marginal Cost of Water)		EUR
NRW Component	Annual Value	
Unbilled Metered Consumption	14.400	EUR
Unbilled Unmetered Consumption	12.000	EUR
Commercial Losses	1.066.980	EUR
Customer Meter Inaccuracies and Data Handling	696.956	EUR
Unauthorized Consumption	370.023	EUR
Physical Losses	-	EUR
Total Volume (m3/d)	15.796	
Volume which could be sold to existing or new customers (m3/d)		
Total Value of NRW	1.093.380	EUR
Annual Operating Cost (without Depreciation)		EUR

Σχήμα 7.12: Οικονομικά Στοιχεία (Financial Information) όπως συμπληρώθηκαν για το συγκεκριμένο παράδειγμα στο λογισμικό WB-Easy Calc.

7.5 Αποτελέσματα

Τα Αποτελέσματα (Results) που λαμβάνονται από το λογισμικό είναι:

- 1.) το Υδατικό Ισοζύγιο (Water Balance) σε m³/έτος (Σχήμα 7.12)
- 2.) το Υδατικό Ισοζύγιο (Water Balance) σε m³/ημέρα (Σχήμα 7.13)
- 3.) Οι Δείκτες Απόδοσης (Performance Indicators) και η κατάταξη του δικτύου σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση της Παγκόσμιας Τράπεζας (World Bank Institute) (Σχήματα 7.14 και 7.15)

1.) Υδατικό Ισοζύγιο (Water Balance) σε m³/έτος

System Input Volume 13.600.000 m ³ /year Error Margin [+/-]: 1,0%	Authorized Consumption 6.945.360 m ³ /year Error Margin [+/-]: 0,0%	Billed Authorized Consumption 6.923.360 m ³ /year	Billed Metered Consumption 6.900.000 m ³ /year	Revenue Water 6.923.360 m ³ /year
			Billed Unmetered Consumption 23.360 m ³ /year	
	Water Losses 6.654.640 m ³ /year Error Margin [+/-]: 2,1%	Unbilled Authorized Consumption 22.000 m ³ /year Error Margin [+/-]: 4,5%	Unbilled Metered Consumption 12.000 m ³ /year	Non-Revenue Water 6.676.640 m ³ /year Error Margin [+/-]: 2,1%
			Unbilled Unmetered Consumption 10.000 m ³ /year Error Margin [+/-]: 10,0%	
		Commercial Losses 889.150 m ³ /year Error Margin [+/-]: 3,6%	Unauthorized Consumption 308.353 m ³ /year Error Margin [+/-]: 4,4%	
		Customer Meter Inaccuracies and Data Handling Errors 580.797 m ³ /year Error Margin [+/-]: 4,9%		
	Physical Losses 5.765.490 m ³ /year Error Margin [+/-]: 2,5%			

Σχήμα 7.13: Υδατικό Ισοζύγιο σε m³/έτος όπως υπολογίστηκε για το συγκεκριμένο παράδειγμα στο λογισμικό WB-Easy Calc.

2.) Υδατικό Ισοζύγιο (Water Balance) σε m³/ημέρα

System Input Volume 37.260 m ³ /day Error Margin [+/-]: 1,0%	Authorized Consumption 19.028 m ³ /day Error Margin [+/-]: 0,0%	Billed Authorized Consumption 18.968 m ³ /day	Billed Metered Consumption 18.904 m ³ /day	Revenue Water 18.968 m ³ /day
			Billed Unmetered Consumption 64 m ³ /day	
	Water Losses 18.232 m ³ /dav Error Margin [+/-]: 2,1%	Unbilled Authorized Consumption 60 m ³ /day Error Margin [+/-]: 4,5%	Unbilled Metered Consumption 33 m ³ /day	Non-Revenue Water 18.292 m ³ /day Error Margin [+/-]: 2,1%
			Unbilled Unmetered Consumption 27 m ³ /day Error Margin [+/-]: 10,0%	
		Commercial Losses 2.436 m ³ /day Error Margin [+/-]: 3,6%	Unauthorized Consumption 845 m ³ /day Error Margin [+/-]: 4,4%	
		Customer Meter Inaccuracies and Data Handling Errors 1.591 m ³ /day Error Margin [+/-]: 4,9%		
	Physical Losses 15.796 m ³ /day Error Margin [+/-]: 2,5%			

Σχήμα 7.14: Υδατικό Ισοζύγιο σε m³/ημέρα όπως υπολογίστηκε για το συγκεκριμένο παράδειγμα στο λογισμικό WB-Easy Calc.

3.) Δείκτες Απόδοσης (Performance Indicators)

Δείκτης Τρεχουσών Πραγματικών Απωλειών (CARL)

Ο Δείκτης Τρεχουσών Πραγματικών Απωλειών CARL έχει αναπτυχθεί από την IWA WLTF και έχει υιοθετηθεί από αρκετές εθνικές ενώσεις και επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας τα τελευταία δέκα χρόνια (Farley, 2001) . Ορίζεται ως εξής:

$$CARL = \frac{Q_{RL} \cdot 10^3}{N_{dwspl}} \quad (16)$$

Όπου:

CARL	[l/day w.s.p]	Τρέχουσες Πραγματικές Απώλειες (CARL)
Q_{RL}	[m ³ /a]	Ετήσιες Πραγματικές Απώλειες (Annual Real Losses)
N_{dwspl}	[-]	Αριθμός ημερών που το σύστημα είναι υπό πίεση

Δείκτης Αναπόφευκτων Πραγματικών Απωλειών (UARL)

Οι πραγματικές απώλειες σε κάθε μεγάλο δίκτυο υδροδότησης δεν μπορούν να εξαλειφθούν εντελώς. Ένα μεγάλο ποσό των απωλειών θα παραμείνει , ακόμα και στα πιο πρόσφατα κομμάτια του δικτύου. Το ποσό αυτό αναφέρεται ως αναπόφευκτες πραγματικές απώλειες (Unavoidable Real Losses). Η εξίσωση υπολογισμού τους αναπτύχθηκε το 1999 από τον Adam Lambert και έκτοτε έχει επικυρωθεί από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της με τα αποτελέσματα των δοκιμών από ένα μεγάλο αριθμό συστημάτων παροχής νερού σε διάφορες χώρες (Farley, 2001). Ορίζεται ως εξής:

$$UARL = (18 \cdot L_N + 0.8 \times N_c + 25 \cdot L_p) \cdot P_A \quad (17)$$

Όπου:

UARL	[l/day w.s.p]	Αναπόφευκτες Πραγματικές Απώλειες (UARL)
L_N	[km]	Μήκος δικτύου
N_c	[-]	Αριθμός συνδέσεων

L_p	[km]	Μέσο μήκος των συνδέσεων από το όριο της ιδιοκτησίας μέχρι τον μετρητή του καταναλωτή
P_A	[m]	Μέση Πίεση Λειτουργίας

Δείκτης *ILI* (*Infraction Leakage Index*)

Ο αδιάστατος δείκτης απόδοσης *ILI* είναι ένα μέτρο που αντιπροσωπεύει πόσο καλά η εταιρεία ύδρευσης κάνει διαχείριση των διαρροών και των εγκαταστάσεων της. Δείχνει τις δυνατότητες για περαιτέρω μείωση των πραγματικών απωλειών (Farley, 2001). Ορίζεται ως εξής:

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad (18)$$

Παρακάτω απεικονίζονται οι Δείκτες Απόδοσης Πραγματικών Απωλειών (*Physical Loss Performance Indicators*) και η κατάταξη του δικτύου για τις πραγματικές απώλειες σύμφωνα με την κατάταξη της Παγκόσμιας Τράπεζας.

Performance Indicators				
Level of Service				
	Best Estimate	Error Margin [+/- %]	Lower Bound	Upper Bound
Average Supply Time [h/day]	24,0	0%	24,0	24,0
Average Pressure [m]	56,0	0%	56,0	56,0
Volume of Physical Losses				
	Best Estimate	Error Margin [+/- %]	Lower Bound	Upper Bound
CAPL - Current Annual Volume of Physical Losses [m3/day]	15.796	3%	15.400	16.192
MAPL - Minimum Achievable Volume of Physical Losses [m3/day]	306	0%	305	307
Physical Loss Performance Indicators				
	Best Estimate	Error Margin [+/- %]	Lower Bound	Upper Bound
Infrastructure Leakage Index (ILI)	52	3%	50	53
Liters per Connection per Day (w.s.p.) w.s.p.: when the system is pressurized - this means the value is already corrected in the case of intermittent supply	37.609	6%	35.506	39.713
Liters per Connection per Day per meter Pressure (w.s.p.)	672	6%	634	709
m3/km mains per hour (w.s.p.)	2,34	3%	2,28	2,40

Performance Group	
Standard	Low and Middle Income Countries
D	D
Explanations	Explanations

Σχήμα 7.15: Δείκτες Απόδοσης Πραγματικών Απωλειών (Physical Loss Indicators) και κατάταξη δικτύου όπως υπολογίστηκαν για το συγκεκριμένο παράδειγμα στο λογισμικό WB-Easy Calc.

Παρακάτω απεικονίζονται οι Δείκτες Απόδοσης Φαινομενικών Απωλειών (Commercial Loss Performance Indicators), οι Δείκτες Απόδοσης Μη-Τιμολογημένου Νερού (NRW Performance Indicators) και η κατάταξη δικτύου για το μη-τιμολογημένο νερό σύμφωνα με την κατάταξη της Παγκόσμιας Τράπεζας.

Commercial Loss Performance Indicators				
	Best Estimate	Error Margin [+/- %]	Lower Bound	Upper Bound
Commercial Losses expressed in % of Authorized Consumption	13%	4%	12%	13%
liters/connection/day	5.800	6%	5.444	6.156
liters/customer/day	24	4%	23	25

NRW Performance Indicators					Performance Group	
	Best Estimate	Error Margin [+/- %]	Lower Bound	Upper Bound	Standard	Low and Middle Income Countries
Volume of Non-Revenue Water expressed in % of System Input Volume	49%	2%	48%	50%	D	D
Value of Non-Revenue Water expressed in % of Annual Operating Cost	0%	2%	0%	0%		
Liters per Connection per Day (w.s.p.) w.s.p.: when the system is pressurized - this means the value is already corrected in the case of intermittent supply	43.553	2%	42.633	44.472		

Σχήμα 7.16: Δείκτες Απόδοσης Φαινομενικών Απωλειών (Commercial Loss Indicators), Δείκτες Απόδοσης Μη-Τιμολογημένου Νερού (NRW Performance Indicators) και κατάταξη δικτύου όπως υπολογίστηκαν για το συγκεκριμένο παράδειγμα στο λογισμικό WB-Easy Calc.

7.6 Μεταβολή Πίεσης Λειτουργίας Δικτύου

Χρησιμοποιώντας το εργαλείο “What if” («τι θα γίνει αν») το λογισμικό μας δίνει την δυνατότητα μεταβάλλοντας τις τιμές κάποιων μεταβλητών να λάβουμε χρήσιμα στοιχεία για την λήψη συγκεκριμένων αποφάσεων.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, μεταβάλλουμε την Μέση Πίεση Λειτουργίας (Average Pressure) κατά 10m κρατώντας όλες τις άλλες μεταβλητές σταθερές (Σχήμα 7.16).

THE "WHAT IF" TOOL

IF				
Average Pressure	changes	from	56,0 m	to 46,0 m
Average Supply Time	changes	from	24,0 h/day	to 24,0 h/day
Coverage	increases	from	100 %	to 100 %
Additional volume sold to existing customers				additional m3/d
Physical Losses	change	from	52 l/l	to 52 l/l
Commercial Losses	change	from	5800 l/conn./d	to 5800 l/conn./d

THEN				
Number of Connections will increase approximately		from	420	to 420
Length of mains will increase approximately		from	281 km	to 281 km
Billed Consumption will change approximately		from	18.968 m3/day	to 20.489 m3/day
System Input Volume will change approximately		from	37.260 m3/day	to 34.794 m3/day
Non-Revenue Water will change approximately		from	18.292 m3/day	to 14.305 m3/day
		from	43.553 l/conn./d (w.s.p.)	to 34.059 l/conn./d (w.s.p.)
Physical Losses will change approximately		from	15.796 m3/day	to 13.330 m3/day
Annual Production and Distribution Cost will change approximately		from	0 EUR	to 0 EUR
Commercial Losses will change approximately		from	2.436 m3/day	to 915 m3/day
Annual Revenues will change approximately		from	8.308.032 EUR	to 8.974.347 EUR
Annual operating cost will change approximately		from	0 EUR	to 0 EUR
The volume of NRW will change approximately		from	49 %	to 41 % of System Input Volume
The value of NRW will change approximately		from	0 %	to 0 % of Total Annual Operating Cost

Σχήμα 7.17: Αποτελέσματα μετά την μεταβολή της πίεσης όπως υπολογίστηκαν για το συγκεκριμένο παράδειγμα στο λογισμικό WB-Easy Calc.

7.7 Συμπεράσματα Παραδείγματος

Η χρήση του λογισμικού WB-Easy Calc μας δίνει την δυνατότητα να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα για την αξιολόγηση του επιπέδου λειτουργίας του δικτύου, τον όγκο και την αξία των απωλειών νερού, για το ποσοστό μείωσης των απωλειών νερού και την αύξηση των εσόδων της εταιρίας ύδρευσης μέσω της ρύθμισης της πίεσης λειτουργίας του δικτύου.

7.7.1 Αξιολόγηση Επιπέδου Λειτουργίας

Η αξιολόγηση του δικτύου όπως παρατηρούμε από τους δείκτες απόδοσης των πραγματικών απωλειών για το συγκεκριμένο παράδειγμα (Σχήμα 7.14) κατατάσσει (με βάση την κατάταξη της Παγκόσμιας Τράπεζας) το δίκτυο στην κατηγορία D.

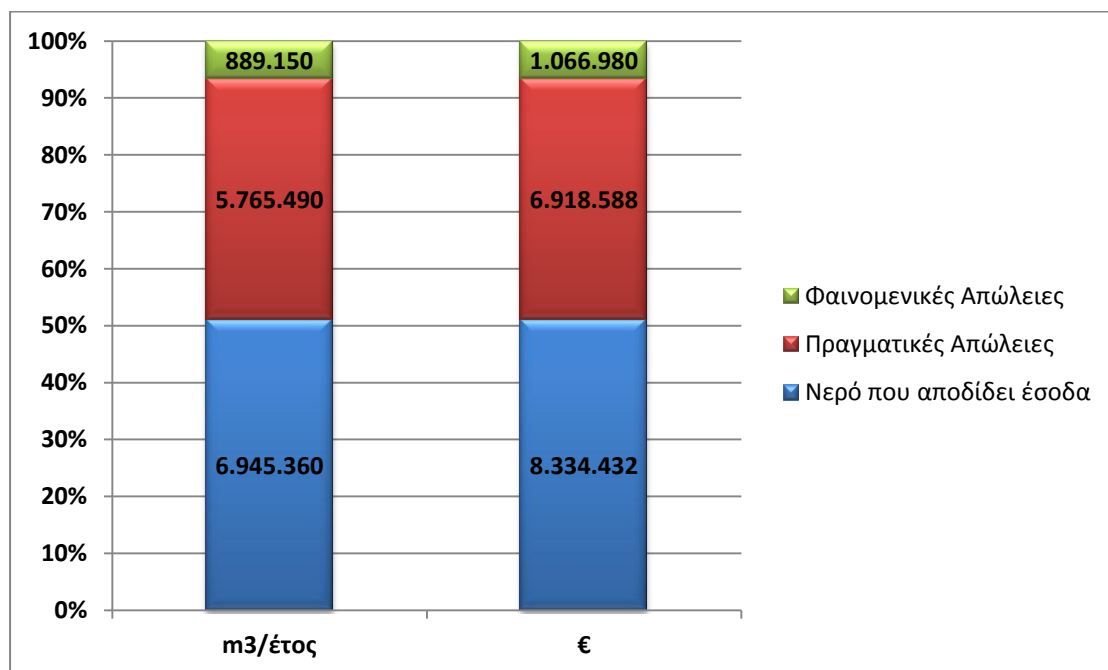
Πίνακας Αξιολόγησης Πραγματικών Απωλειών							
Κατηγορία Τεχνικής Απόδοσης	ILI	λίτρα/σύνδεση/ημέρα (όταν το σύστημα είναι υπό πίεση) σε μία μέση πίεση:					
		10 m	20 m	30 m	40 m	50 m	
Κατάσταση Αναπτυγμένων Χωριών	A	1 - 2		< 50	< 75	< 100	< 125
	B	2 - 4		50-100	75-150	100-200	125-250
	C	4 - 8		100-200	150-300	200-400	250-500
	D	> 8		> 200	> 300	> 400	> 500
Κατάσταση Αναπτυσσόμενων Χωριών	A	1 - 4	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250
	B	4 - 8	50-100	100-200	150-300	200-400	250-500
	C	8 - 16	100-200	200-400	300-600	400-800	500-1000
	D	> 16	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000
A	Περατέρω μείωση των απωλειών ενδεχομένως να μην είναι οικονομική εκτός αν υπάρχουν ελλείψεις - προσεκτική ανάλυση απαιτείται για τον προσδιορισμό οικονομικά αποδοτικών βελτιώσεων						
B	Δυνατότητα για βελτιώσεις - διαχείριση πίεσης - καλύτερες πρακτικές ενεργού ελέγχου διαρροών και καλύτερη συντήρηση δικτύου						
C	Κακές Επιδόσεις Διαρροών - ανεκτή κατάσταση μόνο αν το νερό είναι σε αφθονία - ακόμη και τότε απαιτείται ανάλυση του επιπέδου και της φύσης των διαρροών και ενίσχυση προσπαθειών μείωσης των διαρροών						
D	Καθόλου αποδοτική χρήση των πόρων - επιβάλλονται προγράμματα μείωσης των διαρροών και είναι υψηλής προτεραιότητας						

Σχήμα 7.18: Κατάταξη του δικτύου για το συγκεκριμένο παράδειγμα σύμφωνα με τον Πίνακα Αξιολόγησης των Πραγματικών Απωλειών της Παγκόσμιας Τράπεζας (όπου προκύπτει από το λογισμικό WB-EasyCalc)

Στην κατηγορία D όπως μας δείχνει το (Σχήμα 7.16) . Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει καθόλου αποδοτική χρήση των πόρων και καταδεικνύεται η επιτακτική ανάγκη μείωσης των απωλειών νερού.

7.7.2 Όγκος και Αξία Απωλειών

Η ανάλυση των στοιχείων του Υδατικού Ισοζυγίου (Σχήμα 7.12) μας δείχνει ότι το ποσοστό των απωλειών νερού ανέρχεται σε 6.654.640 m³/έτος εκ των οποίων το 86% είναι πραγματικές απώλειες (5.765.490 m³/έτος) και το υπόλοιπο 14% φαινομενικές (889.150 m³/έτος). Παρατηρούμε ότι οι απώλειες καταλαμβάνουν το 49% του νερού που παράγεται. Επίσης αν μετατρέψουμε αυτά τα δεδομένα σε οικονομικά στοιχεία η εταιρεία ύδρευσης χάνει κάθε χρόνο από τις απώλειες ποσό που ανέρχεται στα 7.985.568 € (Σχήμα 7.17). Συμπεραίνουμε ότι ο όγκος των απωλειών του νερού είναι πολύ μεγάλος και συνεπώς οι χρηματικές απώλειες πολύ υψηλές. Η εταιρεία ύδρευσης πρέπει να λάβει μέτρα για την σωστή και αποτελεσματική αντιμετώπιση του προβλήματος.



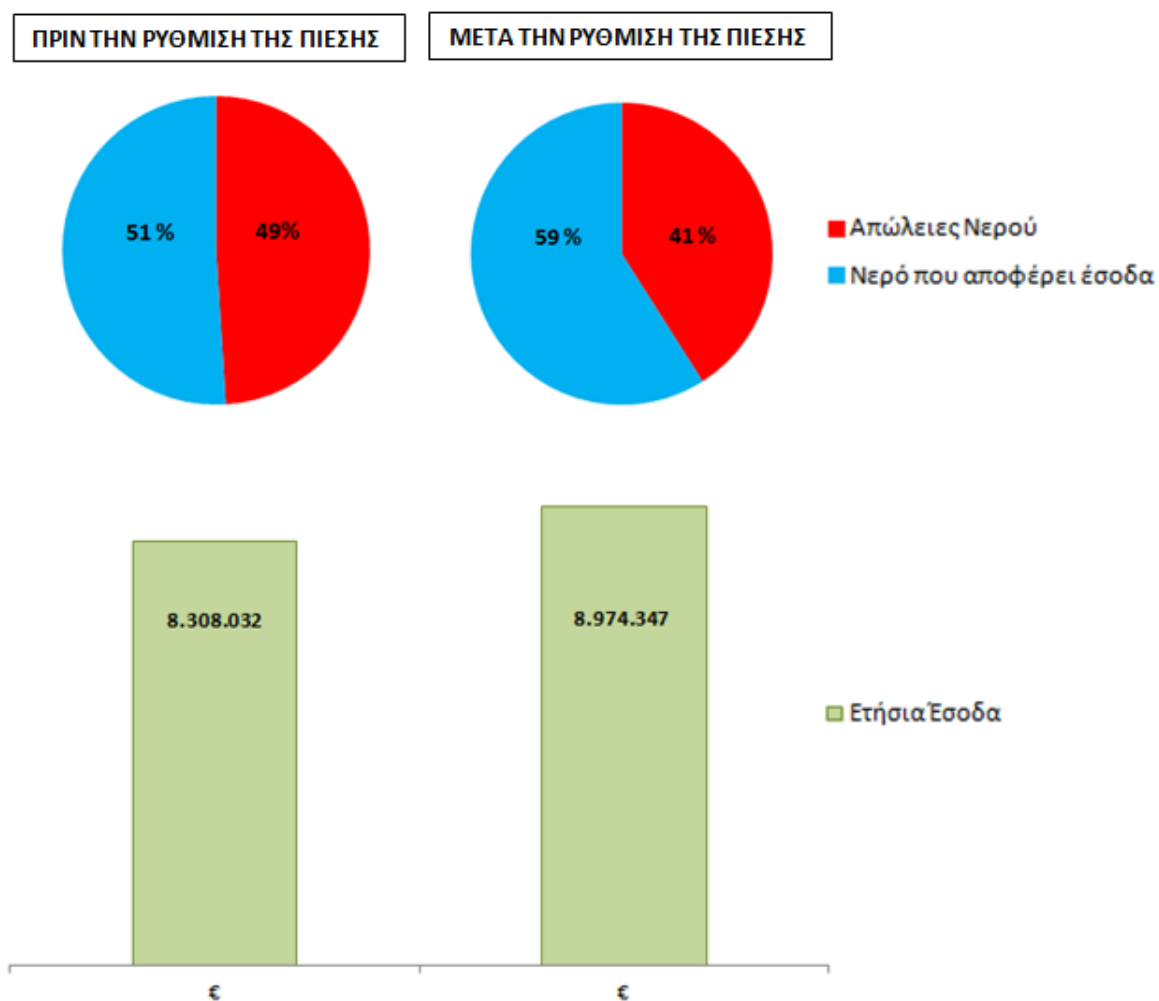
Σχήμα 7.19: Όγκος και αξία απωλειών νερού για το συγκεκριμένο παράδειγμα.

7.7.3 Ρύθμιση Πίεσης Λειτουργίας

Η μείωση της πίεσης λειτουργίας γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζει επαρκές επίπεδο παροχής για νόμιμες χρήσεις και καταναλωτές. Παράλληλα με την μείωση της πίεσης εξασφαλίζεται η ελάχιστη απαιτούμενη πίεση παροχής του

δικτύου. Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 7.17 με ρύθμιση της μέσης πίεσης λειτουργίας του δικτύου από 56m σε 46m :

- Οι πραγματικές απώλειες θα μειωθούν κατά 16%.
- Ο όγκος των απωλειών νερού θα ανέρχεται στο 41% του συνολικού όγκου του συστήματος (από 49%).
- Τα ετήσια έσοδα της εταιρείας ύδρευσης θα αυξηθούν κατά περίπου 700.000€.



Σχήμα 7.20: Όγκος απωλειών νερού και ετήσια έσοδα σε € πριν και μετά την ρύθμιση της πίεσης για το συγκεκριμένο παράδειγμα.

Τα αποτελέσματα από μια απλή ρύθμιση της πίεσης λειτουργίας είναι εντυπωσιακά καθώς έχουμε μεγάλες μειώσεις των απωλειών νερού. Η ετήσια ανάλυση μας δείχνει ότι στο δίκτυο πρέπει να εφαρμοστεί ένα πρόγραμμα διαχείρισης πίεσης καθώς η εξοικονόμηση θα μπορεί να είναι υψηλότερη ανάλογα με το επίπεδο που μπορεί να ρυθμιστεί η πίεση.

Βέβαια, δεν θα πρέπει να γίνει μια απλή μείωση της πίεσης αλλά θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν διάφορες επιπρόσθετες τεχνικές λύσεις όπως η ανάλυση των δεδομένων πριν το σχεδιασμό, η εγκατάσταση βαλβίδων ρύθμισης πίεσης, η διαμόρφωση της πίεσης. Η ρύθμιση της πίεσης θα είναι ένα πρώτο βήμα για την εταιρεία ύδρευσης που πρέπει να συμπληρωθεί από την δημιουργία ενός προγράμματος διαχείρισης πίεσης και από άλλα μέτρα, όπως ο έλεγχος των διαρροών, η διαχείριση των υποδομών του δικτύου, η ταχύτητα και η ποιότητα επιδιόρθωσης των διαρροών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διαχείριση των δικτύων ύδρευσης είναι πολύ σημαντική. Οι απώλειες στα δίκτυα ύδρευσης είναι μια πραγματικότητα η οποία είναι πλέον διεθνώς αποδεκτή. Είναι γεγονός ότι οι εταιρείες ύδρευσης δεν δίνουν την δέουσα προσοχή και σημασία στην ορθολογική διαχείριση των απωλειών αντιμετωπίζοντας τα προβλήματα με βραχυπρόθεσμες λύσεις μη ενταγμένες στο ευρύτερο λειτουργικό πλαίσιο των δικτύων.

Κυρίαρχο ρόλο στην διαχείριση ενός δικτύου ύδρευσης είναι αρχικά η κατανόηση και η βαθιά γνώση του καθώς και των στοιχείων και εργαλείων εξοπλισμού του. Ιδιαίτερη βάση πρέπει να δίνεται στον προσδιορισμό των προβλημάτων που εμφανίζει ένα δίκτυο, τη διερεύνηση των αιτιών τους και γενικά την εκτίμηση του επιπέδου λειτουργίας τους. Θα πρέπει να υπάρχει καλή κατανόηση της φύσης και του επιπέδου των απωλειών νερού, καθώς και των εννοιών που σχετίζονται με την ανάπτυξη στρατηγικών για μείωση τους. Επίσης οι εταιρείες ύδρευσης θα πρέπει να επιλέγουν μια στρατηγική που να καθιστά άμεσο τον εντοπισμό και κατά συνέπεια άμεση την επιδιόρθωση των απωλειών και να μην αρκούνται στον παθητικό μόνο εντοπισμό τους στο δίκτυο.

Η διαχείριση της πίεσης είναι μια άμεση και σχετικά οικονομική λύση για τη μείωση των πραγματικών απωλειών νερού σε ένα δίκτυο διανομής, εξασφαλίζει σε επαρκή και σε αποτελεσματικό επίπεδο παροχή για νόμιμες χρήσεις και καταναλωτές, καθώς και την μείωση των περιττών υπερβολικών πιέσεων, εξαλείφοντας τα μεταβατικά και ελαττωματικά επίπεδα τους τα οποία προκαλούν άσκοπες διαρροές στο σύστημα. Ωστόσο, η μείωση των απωλειών δεν είναι το μοναδικό όφελος από την διαχείριση της πίεσης καθώς αποφέρει πολλαπλά οφέλη: στις εταιρείες ύδρευσης (μείωση κόστους επισκευής και συντήρησης, επέκταση της διάρκειας ζωής του δικτύου, μείωση κόστους ελέγχου διαρροών), στην διατήρηση του νερού (μείωση της κατανάλωσης, μείωση των θραύσεων και των διαρροών), στους καταναλωτές (μείωση παραπόνων πελατών, μείωση προβλημάτων στα υδραυλικά και στις συσκευές των πελατών). Εκτός από τα παραπάνω, τα θετικά αποτελέσματα από τη διαχείριση της πίεσης μπορεί να δημιουργήσουν πρόσθετες

έμμεσα οφέλη στην αύξηση του αριθμού των νοικοκυριών που έχουν πρόσβαση σε δημόσια παροχή νερού, στην αυξημένη διάρκεια της ύδρευσης (ώρες / ημέρα) και στην ίση και δίκαιη κατανομή ύδρευσης λαμβάνοντας υπόψη κοινωνικούς περιορισμούς καθώς και στην μείωση του κόστους παραγωγής και της κατανάλωσης ενέργειας.

Θα πρέπει βέβαια να έχουμε κατά νου ότι η διαχείριση της πίεσης δεν αποτελεί πανάκεια, αλλά μια μέθοδο για την επιτυχή, μακροπρόθεσμη μείωση των απωλειών νερού στα δίκτυα που πρέπει να συμπληρωθεί από άλλα μέτρα όπως ο έλεγχος των διαρροών, η διαχείριση των υποδομών του δικτύου, η ταχύτητα και η ποιότητα επιδιόρθωσης των διαρροών.

Η διαχείριση της πίεσης δεν επισκευάζει μια απλή απώλεια του δικτύου, αλλά μπορεί να μειώσει σημαντικά τους ρυθμούς απωλειών νερού. Αυτό είναι ένα σημαντικό πρώτο βήμα, το οποίο μπορεί να μετριάσει την πίεση στις εταιρείες ύδρευσης και να τις ενθαρρύνει στην λήψη περαιτέρω μέτρων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AWWA. (1999). *Water Audit and Leak Detection (2nd ed.)*, M36. Denver: AWWA.
- AWWA. (2006). *Near Final Draft for Water Loss Committee Review: AWWA M36 Publication Rewrite*. USA: AWWA.
- Brothers, K. (2009). *DMA Design One Size May Not Fit All. Proceeding of the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference*. Cape Town South Africa: IWA.
- DVGW. (Deutscher Verein de Gas and Wasserfaches e.V Technisch wissenschaftliche Rechner). (2003). *DVGW Worksheet W392. Pipe Network Inspection and Water Losses - Measures, Techniques and Assessment (In German)*. Bonn.
- Fantozzi, M., Lambert, A. (2011). *Residential Night Consumption - Assessment, Choice of Scaling Units and Calculation of Variability*. United Kingdom.
- Farley, M. and Throw, S. (2003). *Losses in Water Distribution Networks, A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control*. London: IWA, ISBN1 900222 116.
- Farley, M. (2001). *Leakage management and control. A best practice training manual*.
- Feldman, M. (2009). *Aspects of Energy Efficiency in Water Supply Systems. Paper presented at the International Speciality Conference Water Loss 2009*. Cape Town, South Africa.
- Headley, M. C. (2003). *Guidelines for selecting the proper valve characteristics. Valve Magazine, Volume 15, No. 2*. Washington D.C.
- Kenna, B. (2008). *Water Metering and Revenue Protection, University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying, dissertation*.
- Kingdom, B., Liemberger, R., Martin, P. (2006). *The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries*. Washington, USA: Word Bank.
- Lalonde, M., Candice, P., Fanner, P., Lei, J. (2011). *City of Toronto Water Loss Study and Pressure Management Pilot*. Toronto, Canada.
- Larock, B. E., Jeppson, R. W., & Watters, G. Z. (1999). *Hydraulics of pipeline systems*. CRC press.

- Loganathan, G., Park, S. and Sherali, H. (2002). *Threshold break rate for pipeline replacement in water distribution systems. J. of Water Resources Planning and Management. ASCE*, 128(4) 271-279.
- Mays, L. (1999). *Reliability Analysis for Design. In Water Distribution Systems Handbook*. American Water Works Association.
- Morrison, J., Tooms, S. and Rogers, D. (2007). *District Metered Areas Guidance Notes*. London, United Kingdom: IWA Publishing.
- Pilcher, R., Dizdar, A., Toprak, S., Dilsiz, C., Bacanlı, U.G. (2008). *ProWat*. Ankara: Erbil Consulting CO. LTD.
- Samson, A. G. (2003). *Cavitation in control valves. Samson Technical Information*.
- Savic, D. A. and Walters, G. A. (1997). *Genetic algorithms for least-cost design of water distribution networks*. Journal of water resources planning and management, 123(2), 67-77.
- Thornton, J. and Lambert, A. (2005). *Progress in Practical Prediction of Leakage: leakage, pressure:burst frequency and pressure: consumption relationships, IWA Specialised Conference "Leakage 2005"*. Halifax, Nova Scotia, Canada: Conference Proceedings.
- UNESCO. (2009). *The United Nations. World Water Development Report 3 - Water in Changing Word. The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*. France: UNESCO.
- UnitedNations. (2015). *Water For Life 2005-2015. Report On The Achievements During The International Decade For Action Water For Life 2005-2015*. Bonn, Germany: UNW-DPC.
- Ziegler, D., Sorg, F., Fallis, P., Happich, J., Baader, R., Muntz, D., Oertle, E., Klingler, P., Knoboch, A. (2010). *Guidelines for Water Loss Reduction*. Muttenz, Switzerland.
- Κανακούδης, Β. (2015). *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Αστικών Δικτύων Ύδρευσης. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα*.
- Κανακούδης, Β. (1998). *Ο Ρόλος των Έκτακτων Περιστατικών στη Διαμόρφωση Κριτηρίων Προληπτικής Συντήρησης και Αντικατάστασης των Αγωγών στα Δίκτυα Ύδρευσης. Διδακτορική Διατριβή*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Καστορίνης, Ν. (2014). *Ελαχιστοποίηση Σφαλμάτων Μέτρησης Υδρομετρητών μέσω Επεξεργασίας Δεδομένων Τηλεμετρίας, Διπλωματική Εργασία*. Αθήνα: ΕΜΠ.

Κουτσογιάννης, Δ. (1999). *Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης*. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

Τσακίρης, Γ. και Χαραλάμπους, Π. (2010). *ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ Σχεδιασμός και Διαχείριση. Τόμος Ι: Άστικά Υδραυλικά Έργα*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.

