



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΥΕΛΙΚΤΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ»

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ
ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΑΣΤΟΧΙΩΝ – ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ
ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ
ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΤΖΟΥΡΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ ΚΟΥΚΟΥΜΙΑΛΟΣ

ΛΑΡΙΣΑ, ΜΑΪΟΣ 2024

Υπεύθυνη Δήλωση

«Δηλώνω υπεύθυνα ότι η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία για τη λήψη του μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών του ΠΜΣ Πλήρους Φοίτησης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας «Ενέλικτες Μέθοδοι Διοίκησης» έχει συγγραφεί από εμένα προσωπικά και δεν έχει υποβληθεί ούτε έχει εγκριθεί στο πλαίσιο κάποιου άλλου μεταπτυχιακού ή προπτυχιακού τίτλου σπουδών, στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό. Η εργασία αυτή έχοντας εκπονηθεί από εμένα, αντιπροσωπεύει τις προσωπικές μου απόψεις επί του θέματος και το κείμενο είναι γραμμένο με τα δικά μου λόγια και δεν αποτελεί προϊόν λογοκλοπής από τρίτες πηγές. Οι πηγές στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής αναφέρονται στο σύνολό τους, δίνοντας πλήρεις αναφορές στους συγγραφείς, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο».

Η Δηλούσα

Αγγελική Τζούρα

Πρόλογος – Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την υποστήριξη και τη συμβολή πολλών ανθρώπων, στους οποίους θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες. Πρώτα και κύρια, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Στυλιανό Κουκούμιαλο. Η καθοδήγηση του ήταν ζωτικής σημασίας για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην οικογένειά μου για την αγάπη, την υπομονή και την αμέριστη υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Η υποστήριξη και η ενθάρρυνσή τους αποτέλεσαν τα θεμέλια πάνω στα οποία στηρίχθηκα για να φτάσω στην ολοκλήρωση της. Τέλος, ευχαριστώ όλους όσους συνέβαλαν, άμεσα ή έμμεσα, στην ολοκλήρωση αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας. Η συνεισφορά τους υπήρξε καθοριστική και η υποστήριξή τους ανεκτίμητη.

Περίληψη Λέξεις κλειδιά

Το ζήτημα των απωλειών νερού στα δίκτυα ύδρευσης αποτελεί ένα πρόβλημα με αυξανόμενες διαστάσεις σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς η ζήτηση νερού αυξάνεται ενώ οι διαθέσιμοι πόροι μειώνονται. Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός θεωρητικού πλαισίου για την αποτελεσματική ανάλυση και διαχείριση των αστοχιών στα δίκτυα ύδρευσης καθώς επίσης και η παρουσίαση της μελέτης περίπτωσης που παρουσιάζεται στην εργασία, πραγματοποιείται την ανάλυση των βλαβών στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης της Λάρισας κατά την τελευταία δεκαετία (2013-2023). Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση προέρχονται από τη Διεύθυνση Υπηρεσίας Δικτύων & Πληροφοριακών Συστημάτων, και πιο συγκεκριμένα από το Τμήμα Πληροφορικής & Νέων Τεχνολογιών και το Γραφείο Ανάπτυξης & Ανάλυσης Δεδομένων GIS & Χαρτογράφησης της Δημοτικής Επιχείρησης Ύδρευσης Αποχέτευσης Λάρισας. Στην ανάλυση εξετάζονται οι σημαντικότερες παράμετροι, όπως η συχνότητα και ο τύπος των βλαβών, τα στοιχεία του δικτύου στα οποία εμφανίστηκαν οι βλάβες, τα υλικά των σωλήνων που επισκευάστηκαν, οι διατομές των σωλήνων που χρειάστηκαν επισκευή, καθώς και η κατανομή των βλαβών ανά συνοικία της πόλης. Τα δεδομένα παρουσιάζονται σε πίνακες συχνοτήτων και ποσοστών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το είδος επισκευών με τη μεγαλύτερη συχνότητα είναι η "ΕΠΙΣΚΕΥΗ" (48,9%), τα στοιχεία του δικτύου με τις περισσότερες επισκευές είναι οι παροχές (67,2%), το υλικό σωλήνα με τις περισσότερες επισκευές είναι το Πολυαιθυλένιο (38,6%), ενώ η συνοικία με τις περισσότερες βλάβες είναι ο ΑΓΙΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ (7.763). Συμπερασματικά, η ανάλυση των δεδομένων βλαβών στο δίκτυο ύδρευσης της Λάρισας αποκαλύπτει σημαντικές τάσεις και προτεραιότητες για τη διαχείριση και συντήρηση του δικτύου, επιτρέποντας την ανάπτυξη στρατηγικών για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του δικτύου, την ελαχιστοποίηση των διακοπών υπηρεσίας και τη διασφάλιση αξιόπιστης παροχής νερού στους κατοίκους της Λάρισας.

Λέξεις-κλειδιά: Απώλειες νερού, Δίκτυα ύδρευσης, Βλάβες, Επισκευές, Υλικά σωλήνων, Διαχείριση δικτύου, Λάρισα.

Abstract Key words

The issue of water losses in water supply networks is a problem of growing proportions globally, as water demand is increasing while available resources are decreasing. The purpose of this paper is to develop a theoretical framework for the effective analysis and management of water supply network failures and to present a case study presented in the paper, it deals with the analysis of water supply network failures in the city of Larissa during the last decade (2013-2023). The data used for the analysis were obtained from the Networks & Information Systems Service Directorate and more specifically from the Department of Information Technology & New Technologies and the GIS & Mapping Data Development & Analysis Office of the Larissa Municipal Water Supply and Sewerage Company. The analysis examines the most important parameters, such as the frequency and type of faults, the network elements where the faults occurred, the materials of the pipes repaired, the cross-sections of the pipes that needed repair, and the distribution of the faults by district of the city. The data are presented in frequency and percentage tables. The results show that the type of repair with the highest frequency is "REPAIR" (48.9%), the network elements with the most repairs are services (67.2%), the pipe material with the most repairs is Polyethylene (38.6%), and the district with the most failures is St. Constantine (7.763). In conclusion, the analysis of the failure data of the Larissa water supply network reveals important trends and priorities for network management and maintenance, allowing the development of strategies to optimize network performance, minimize service interruptions and ensure reliable water supply to the residents of Larissa.

Key words: Water losses, Water supply networks, Damages, Repairs, Pipe materials, Network management, Larissa.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη Λέξεις κλειδιά	3
Abstract Key words	4
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΝΕΡΟΥ	9
1.1 Ορισμός και ποσοτικοποίηση της απώλειας και της διαρροής του νερού	9
1.2 Διεθνής Μεθοδολογία Υδατικού ισοζυγίου IWA.....	10
1.3 Ανάλυση συνιστωσών πραγματικών απωλειών	12
1.4 Τεχνικές για την ποσοτικοποίηση των διαρροών	15
2. ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΓΙΑ ΑΠΩΛΕΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΡΡΟΗ ΝΕΡΟΥ	17
2.1 Φαινομενικές Απώλειες	18
2.2 Πραγματικές απώλειες.....	18
2.3 Αναπόφευκτες ετήσιες απώλειες (δείκτες απόδοσης επιπέδου II)	20
2.4 Λεπτομερείς δείκτες απόδοσης για τη λειτουργική διαχείριση του δικτύου (δείκτες απόδοσης επιπέδου 3).....	22
3. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ	24
3.1 Οι οικονομικές επιπτώσεις της απώλειας νερού.....	24
3.2 Η οικονομική μελέτη των διαρροών.....	29
3.3 Καθορισμός στόχων στις περιπτώσεις διαρροών των δικτύων ύδρευσης....	32
4. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΔΡΕΥΣΗΣ – ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ	35
4.1 Εξελικτική Πολυνυμική Παλινδρόμηση (EPR) και Γενετικός Αλγόριθμος.....	35
4.2 Εξελικτική πολυνυμική παλινδρόμηση (EPR) και μοντέλο ομαδοποίησης μέσω K	37
4.3 Bayesian Weibull Analogal Hazard Model (BWPHM): Προσέγγιση επικαιροποίησης	39
5. ΕΝΕΡΓΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΡΡΟΩΝ	42
5.1 Μέθοδοι μέτρησης διαρροής ανά περιοχή.....	42
5.1.1 Το ιεραρχικό σύστημα μέτρησης.....	42
5.1.2 Παρακολούθηση διαρροών και η έννοια DMA	44
5.1.3 Η επιλογή μεταξύ δοκιμής βημάτων και τοπικού εντοπισμού διαρροών	46
5.1.4 Διερεύνηση με βάση τον ήχο	47
5.1.5 Ανίχνευση διαρροών στους κύριους αγωγούς μεταφοράς.....	48

5.2	Μέθοδοι διαχείρισης της πίεσης	49
5.2.1	Προσεγγίσεις Διαχείρισης της Πίεσης του συστήματος διανομής	50
5.2.2	Σχεδιασμός Συστημάτων Διαχείρισης Πίεσης	51
5.2.3	Λειτουργία βαλβίδων μείωσης πίεσης (PRV)	53
6.	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΩΛΗΝΩΝ	55
6.1	Εντοπισμός των βλαβών στις σωληνώσεις.....	56
6.2	Τεχνικές επιδιόρθωσης βλαβών στις σωληνώσεις.....	58
6.3	Αποκατάσταση και αντικατάσταση σωλήνων χωρίς εκσκαφή	60
6.4	Απολύμανση	61
7.	Η ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ (ΔΕΥΑΛ).....	62
8.	ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΒΛΑΒΕΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΔΕΚΑΕΤΙΑ	69
8.1	Συχνότητα και τύπος βλαβών την δεκαετία 2013-2023 συνολικά σε όλη την πόλη	69
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	78
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	80

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ζήτημα των απωλειών νερού στα δίκτυα ύδρευσης αποτελεί ένα πρόβλημα με αυξανόμενες διαστάσεις σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς η ζήτηση νερού αυξάνεται ενώ οι διαθέσιμοι πόροι μειώνονται. Οι απώλειες νερού από τα δίκτυα σωληνώσεων αποτελούσαν ανέκαθεν το μεγαλύτερο πρόβλημα των υπευθύνων στα δίκτυα ύδρευσης και αποτελούν ένα σημαντικό τμήμα της διαχείρισής τους, ακόμη και σε χώρες με αναπτυγμένες υποδομές και καλές πρακτικές λειτουργίας. Ωστόσο, το πρόβλημα παίρνει μια νέα διάσταση στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου ο συνδυασμός των ανεπαρκών υποδομών, της κακής αποχέτευσης και της διακοπτόμενης παροχής συχνά θέτει σοβαρούς κινδύνους για τη δημόσια υγεία (Taha, 2020).

Παράλληλα, στις χώρες με λειψυδρία ορισμένες φορές συμπληρώνεται το επεξεργασμένο νερό με μη επεξεργασμένο, στην προσπάθεια ικανοποίησης της αυξημένης ζήτησης. Ωστόσο, δεν οφείλονται όλες οι απώλειες σε ανεπαρκείς υποδομές και διαρροές από τους σωλήνες. Οι "φαινομενικές" απώλειες από το δίκτυο, η υπερβολική κατανάλωση ή η κακή χρήση του πόσιμου νερού, συχνά είναι το αποτέλεσμα τοπικών συνηθειών, σε συνδυασμό με χαμηλές τιμολογιακές πρακτικές ή ανεπαρκείς πολιτικές μέτρησης της κατανάλωσης (Hwang, 2021). Αυτές οι απώλειες και η υπερκατανάλωση του νερού συχνά μπορούν να μειωθούν με την εφαρμογή προγραμματίων διαχείρισης της ζήτησης και εξοικονόμησης νερού, παράλληλα με πρωτοβουλίες για την αντιμετώπιση των διαρροών και τη βελτίωση του δικτύου σωληνώσεων. Εφαρμοζόμενα συνδυαστικά, τα προγράμματα αυτά συγκροτούν μια ολοκληρωμένη στρατηγική για την ανάκτηση της λειτουργικότητας του δικτύου και την εξοικονόμηση αυτού του πολύτιμου για τις κοινότητες πόρου, του νερού (Arrequin-Cortes, 1997).

Το κλειδί για την ανάπτυξη μιας επιτυχημένης στρατηγικής διαχείρισης των απωλειών νερού στο δίκτυο ύδρευσης, είναι η καλύτερη κατανόηση των αιτιών που τις προκαλούν και των παραγόντων που τις επηρεάζουν. Στη συνέχεια, μπορούν να αναπτυχθούν τεχνικές και διαδικασίες προσαρμοσμένες στα ειδικά χαρακτηριστικά του δικτύου και στους τοπικούς παράγοντες επιρροής, ώστε να αντιμετωπιστούν κατά προτεραιότητα τα αίτια των απωλειών. Αν και δεν υπάρχει γρήγορη και εύκολη λύση για τη μείωση των απωλειών, η βιομηχανία ύδρευσης παγκοσμίως, έχει αναπτύξει πρόσφατα αρκετές τεχνικές για την κατανόηση, τη μέτρηση και την παρακολούθηση των απωλειών

στο δίκτυο διανομής, από τις οποίες μπορούν να αντληθούν πολύτιμες πληροφορίες για τη συγκεκριμένη διαδικασία (Arrequin-Cortes, 1997).

Η παρούσα εργασία υιοθετεί μια διαγνωστική προσέγγιση για την ανάπτυξη μιας στρατηγικής διαχείρισης των απωλειών νερού, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε εταιρεία ύδρευσης ανά τον κόσμο, προσαρμοσμένη στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και προκλήσεις κάθε περίπτωσης. Η προτεινόμενη στρατηγική αποσκοπεί στη βελτίωση των τρεχουσών πρακτικών λειτουργίας μέσω της μεταφοράς πληροφοριών, νέων δεξιοτήτων και κινήτρων. Ξεκινώντας από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση του προβλήματος και των διαθέσιμων εργαλείων και μεθόδων αντιμετώπισής του, η διπλωματική εργασία προχωρά στην εφαρμογή της προτεινόμενης στρατηγικής στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης της Λάρισας ως μελέτη περίπτωσης.

Συνολικά, η διπλωματική εργασία στοχεύει στην ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου πλαισίου θεωρητικής ανάλυσης σχετικά με την αποτελεσματική ανάλυση και αντιμετώπιση των αστοχιών στα δίκτυα ύδρευσης, ενώ στη συνέχεια μελετάτε η περίπτωση των βλαβών στο δίκτυο ύδρευσης της Λάρισας, το οποίο έχει τα ειδικά χαρακτηριστικά και προκλήσεις του ελληνικού αστικού περιβάλλοντος.

1. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΝΕΡΟΥ

1.1 Ορισμός και ποσοτικοποίηση της απώλειας και της διαρροής του νερού

Ο ορισμός και η ποσοτικοποίηση της απώλειας και διαρροής νερού αποτελούν θεμελιώδη βήματα για την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης στρατηγικής διαχείρισης των απωλειών νερού. Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Ύδρευσης (International Water Association), η απώλεια νερού ορίζεται ως το άθροισμα των "πραγματικών" απωλειών και των "φαινομενικών" απωλειών. Οι "πραγματικές" απώλειες περιλαμβάνουν τις διαρροές από σωλήνες, συνδέσμους και εξαρτήματα, τις διαρροές από τον πυθμένα και τα τοιχώματα των δεξαμενών, καθώς και τις υπερχειλίσεις των δεξαμενών. Από την άλλη πλευρά, οι "φαινομενικές" απώλειες αναφέρονται σε απώλειες που δεν οφείλονται σε φυσικές αιτίες, όπως οι παράνομες συνδέσεις, τα σφάλματα των μετρητών ή τα λογιστικά σφάλματα (Contributors, 2002). Δηλαδή, η εξίσωση που αναφέρεται στη βιβλιογραφία είναι η εξής:

$$\text{Απώλεια νερού} = \text{"Πραγματικές" απώλειες} + \text{"Φαινομενικές" απώλειες}$$

Η ποσοτικοποίηση των απωλειών νερού εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του δικτύου σωληνώσεων και την πολιτική εντοπισμού και επισκευής διαρροών που εφαρμόζει η εκάστοτε εταιρεία ύδρευσης. Ειδικότερα, ο όγκος των πραγματικών απωλειών επηρεάζεται από την πίεση στο δίκτυο, τη συχνότητα και το είδος των παροχών από όπου προέρχονται οι διαρροές και οι αστοχίες, το ποσοστό των νέων διαρροών που "αναφέρονται", τον χρόνο "αντίληψης" (πόσο γρήγορα δηλαδή γίνεται αντιληπτή μία απώλεια), τον χρόνο "εντοπισμού" (πόσο γρήγορα δηλαδή εντοπίζεται κάθε νέα διαρροή), τον χρόνο επισκευής (πόσο γρήγορα επισκευάζεται ή απομονώνεται) και το ποσοστό των "υπόγειων" διαρροών (μη ανιχνεύσιμες μικρές διαρροές). Ενώ στις ανεπτυγμένες χώρες η διαρροή αποτελεί συνήθως το μεγαλύτερο ποσοστό των απωλειών νερού, στις αναπτυσσόμενες ή μερικώς ανεπτυγμένες χώρες οι φαινομενικές απώλειες, όπως οι παράνομες συνδέσεις, το σφάλμα των μετρητών ή τα λογιστικά σφάλματα είναι συχνά το μεγαλύτερο ποσοστό των απωλειών νερού (Lambert, 2002).

1.2 Διεθνής Μεθοδολογία Υδατικού ισοζυγίου IWA

Η Διεθνής Ένωση Ύδρευσης (International Water Association - IWA) έχει αναπτύξει μια τυποποιημένη μεθοδολογία για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου, με στόχο την παροχή ενός κοινού πλαισίου για τη σύγκριση των επιδόσεων των εταιρειών ύδρευσης σε διεθνές επίπεδο. Η μεθοδολογία αυτή αποτελεί πλέον τη βέλτιστη πρακτική και υιοθετείται στους περισσότερους οργανισμούς και εταιρείες ύδρευσης παγκοσμίως (Ociepa, 2019).

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία της IWA, το υδατικό ισοζύγιο αποτελείται από τις εξής κύριες συνιστώσες:

1. Όγκος εισερχόμενου νερού στο σύστημα (System Input Volume): Είναι ο ετήσιος όγκος νερού που εισέρχεται στο σύστημα ύδρευσης.
2. Εξουσιοδοτημένη κατανάλωση (Authorized Consumption): Είναι ο ετήσιος όγκος του μετρούμενου ή μη μετρούμενου νερού που λαμβάνεται από τους καταγεγραμμένους πελάτες, τον πάροχο ύδρευσης και άλλους που έχουν την εξουσιοδότηση να το κάνουν. Περιλαμβάνει το νερό που εξάγεται, καθώς και τις διαρροές και υπερχειλίσεις μετά το σημείο μέτρησης του πελάτη.
3. Μη ανταποδοτικό νερό (Non-Revenue Water - NRW): Είναι η διαφορά μεταξύ του όγκου εισόδου του συστήματος και της τιμολογούμενης εξουσιοδοτημένης κατανάλωσης. Το NRW αποτελείται από:
 - Μη τιμολογούμενη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση (συνήθως ένα μικρό μέρος του υδατικού ισοζυγίου)
 - Απώλειες νερού
4. Απώλειες νερού (Water Losses): Είναι η διαφορά μεταξύ του όγκου εισόδου του συστήματος και της εξουσιοδοτημένης κατανάλωσης. Αποτελούνται από τις διαφαινόμενες απώλειες (Apparent Losses) και τις πραγματικές απώλειες (Real Losses).
5. Διαφαινόμενες απώλειες (Apparent Losses): Περιλαμβάνουν τη μη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση και όλες τις ανακρίβειες οι οποίες έχουν σαν πηγή τους μετρητές νερού.
6. Πραγματικές απώλειες (Real Losses): Είναι οι ετήσιοι όγκοι που χάνονται από όλους τους τύπους διαρροών, θραύσεων και υπερχειλίσεων στους κύριους

αγωγούς, τις δεξαμενές και τις συνδέσεις του δικτύου, μέχρι το σημείο μέτρησης του πελάτη (Ociepa, 2019).

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου θα πρέπει πάντα να υπολογίζονται πρώτα ως όγκοι, πριν από οποιαδήποτε προσπάθεια υπολογισμού των δεικτών απόδοσης του δικτύου ύδρευσης. Επίσης, θα πρέπει πάντα να επιχειρείται ο διαχωρισμός του μη ανταποδοτικού νερού στις επιμέρους συνιστώσες του δηλαδή της μη τιμολογούμενης εξουσιοδοτημένης κατανάλωσης, των διαφαινόμενων απωλειών και των πραγματικών απωλειών (Alegre, 2016).

Η ευρεία διεθνής χρήση του τυποποιημένου υδατικού ισοζυγίου της IWA αποτελεί ίσως ως το πρώτο βήμα για τον υπολογισμό των δεικτών απόδοσης βέλτιστης πρακτικής της IWA. Το τυποποιημένο υδατικό ισοζύγιο της IWA έχει ευρεία αποδοχή και έχει ήδη υιοθετηθεί ή προωθείται από εθνικούς οργανισμούς σε πολλές χώρες όπως η Ελλάδα, η Αυστραλία, η Γερμανία, η Μάλτα, η Νέα Ζηλανδία, η Νότια Αφρική και οι ΗΠΑ, καθώς και από μεμονωμένες εταιρείες κοινής ωφέλειας ή εταιρείες που δρουν συμβουλευτικά τόσο στις προαναφερθείσες χώρες, όσο και στη Βραζιλία, τον Καναδά, τη Μαλαισία, τις Σκανδιναβικές χώρες και το Ηνωμένο Βασίλειο (Alegre, 2016).

Είναι συνήθως σχετικά εύκολο να γίνει ένας επαναυπολογισμός των συνιστωσών σε οποιοδήποτε "εθνικό" ή "τοπικό" δίκτυο ύδρευσης στην τυποποιημένη προσέγγιση της IWA, πριν από τον υπολογισμό των ετήσιων όγκων απωλειών και των δεικτών απόδοσης βέλτιστης πρακτικής. Όλες οι συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου και οι δείκτες απόδοσης που προκύπτουν από αυτό υπόκεινται σε σφάλματα στα δεδομένα εισόδου. Ως εκ τούτου, πρόσφατες εφαρμογές της μεθοδολογίας χρησιμοποιούν όλο και περισσότερο λογισμικό με δυνατότητα εισαγωγής ορίων εμπιστοσύνης, το οποίο βρίσκεται συνήθως το 95%, για όλα τα στοιχεία εισαγωγής δεδομένων και αυτόματου υπολογισμού ορίων εμπιστοσύνης 95% για τις συνιστώσες του NRW και τους δείκτες απόδοσης (Ociepa, 2019).

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου της IWA είναι ότι επιτρέπει τη συγκριτική αξιολόγηση (benchmarking) των επιδόσεων μεταξύ διαφορετικών εταιρειών ύδρευσης. Αυτό βοηθά τις εταιρείες να αναγνωρίσουν τους τομείς στους οποίους υστερούν και να θέσουν στόχους βελτίωσης. Επίσης, η τυποποιημένη ορολογία διευκολύνει την επικοινωνία και την ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών μεταξύ των επαγγελματιών του κλάδου (MacDonald, 2016).

Από την άλλη πλευρά, η εφαρμογή της μεθοδολογίας της IWA μπορεί να δημιουργεί προκλήσεις, ειδικά για μικρότερες εταιρείες ύδρευσης οι οποίες έχουν πιο περιορισμένους πόρους. Αρχικά, είναι σημαντικό μειονέκτημα το γεγονός ότι απαιτεί τη συλλογή και ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων, καθώς και την εκπαίδευση του προσωπικού σε νέες έννοιες και διαδικασίες. Επίσης, ορισμένες από τις παραμέτρους, όπως η μη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση, μπορεί να είναι δύσκολο να εκτιμηθούν με ακρίβεια (McDonald, 2016).

Ωστόσο, παρά τις προκλήσεις αυτές, η υιοθέτηση της μεθοδολογίας της IWA μπορεί να προσφέρει σημαντικά οφέλη στις εταιρείες ύδρευσης. Ειδικότερα, είναι δυνατό να τους παρέχει ένα σαφές πλαίσιο για την κατανόηση και τη διαχείριση των απωλειών νερού σε ένα ελεγχόμενο δίκτυο ύδρευσης, επιτρέποντάς τους, με τον τρόπο αυτό, να διαμορφώσουν στοχευμένες στρατηγικές για τη βελτίωση της απόδοσης. Μακροπρόθεσμα, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση νερού και κόστους, καθώς και σε πιο βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων (Alegre, 2016, McDonald, 2016).

1.3 Ανάλυση συνιστωσών πραγματικών απωλειών

Η ανάλυση των συνιστωσών των πραγματικών απωλειών αποτελεί ένα σημαντικό βήμα για την κατανόηση των αιτιών και των σημείων εμφάνισης των διαρροών σε ένα δίκτυο ύδρευσης. Οι πραγματικές απώλειες συμπεριλαμβάνουν τις διαρροές στους κύριους αγωγούς μεταφοράς και διανομής, τις διαρροές και υπερχειλίσσεις στις δεξαμενές, καθώς και τις διαρροές στις συνδέσεις παροχής μέχρι το σημείο του μετρητή του πελάτη. Για την εκτίμηση των διαρροών στις δεξαμενές, μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος του ελέγχου πτώσης στάθμης (drop test). Κατά τη μέθοδο αυτή, οι βαλβίδες εισόδου και εξόδου της δεξαμενής κλείνουν και μετράτε η πτώση της στάθμης του νερού στη διάρκεια του χρόνου. Εάν η δεξαμενή έχει ξεχωριστά διαμερίσματα, χρησιμοποιώντας τη συγκεκριμένη μέθοδο, μπορούμε να ελέγξουμε κάθε ένα από αυτά ξεχωριστά. Οι έλεγχοι πτώσης στάθμης συνήθως πραγματοποιούνται τη νύχτα για να ελαχιστοποιηθεί η διαταραχή της παροχής νερού από την κατανάλωση που υπάρχει φυσιολογικά στο δίκτυο (Mi, 2015).

Οι υπερχειλίσσεις από τις δεξαμενές προκαλούνται από ανεπαρκή έλεγχο της εισροής, όπως για παράδειγμα από ελαττωματικές βαλβίδες. Αυτές θα πρέπει να επιθεωρούνται όταν η στάθμη του νερού στη δεξαμενή βρίσκεται στο ανώτατο σημείο, ώστε να εντοπίζονται

αυτές που επιτρέπουν τη διέλευση νερού. Ο όγκος του νερού που διέρχεται μετράτε για την περίοδο που η στάθμη βρίσκεται στο ανώτατο σημείο. Για τον εντοπισμό διαρροών στους κύριους αγωγούς μεταφοράς, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετρητές εισαγωγής ή μετρητές υπερχειλίσης σε κάθε άκρο του αγωγού για τον υπολογισμό της μεταβολής της ογκομετρικής παροχής. Εναλλακτικά, στις μετρήσεις του δικτύου διανομής μπορούν να συμπεριληφθούν και οι αγωγοί μεταφοράς (Yu, 2021).

Για τη μέτρηση των διαρροών στο δίκτυο διανομής, μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος της μέτρησης παροχής ανά ζώνη τροφοδοσίας. Αυτή η μέθοδος μετρά τη νυχτερινή παροχή σε μια ζώνη τροφοδοσίας και περιλαμβάνει τις διαρροές στους κύριους αγωγούς μεταφοράς. Χρησιμοποιείται ένας κύριος μετρητής στη δεξαμενή για την παρακολούθηση των παροχών κατά τη διάρκεια της νύχτας (συνήθως κατά το διάστημα 02:00 - 04:00). Αφαιρείται η μετρούμενη νυχτερινή κατανάλωση από τους μεγάλους πελάτες και η εκτιμώμενη νυχτερινή κατανάλωση, καθώς επίσης και η διαρροή από τα νοικοκυριά και τους μη οικιακούς πελάτες. Εάν δεν υπάρχουν κύριοι μετρητές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια άλλη μορφή ελέγχου πτώσης στάθμης δεξαμενής. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κλείνοντας τη βαλβίδα εισόδου της δεξαμενής και μετρώντας την πτώση στάθμης για την ίδια χρονική περίοδο, αφαιρώντας τις ίδιες τιμές για την κατανάλωση των πελατών. Αυτός ο υπολογισμός περιλαμβάνει επίσης τις διαρροές δεξαμενών και τις διαρροές των κύριων αγωγών μεταφοράς (Perelman, 2015).

Μια άλλη μέθοδος για τον εντοπισμό διαρροών στο δίκτυο διανομής είναι η χρήση Περιοχών Μέτρησης Παροχής (District Meter Areas - DMAs). Οι DMAs είναι μικρές ζώνες, συνήθως 500-3000 νοικοκυριών, εντός μιας ζώνης τροφοδοσίας του δικτύου. Κάθε DMA αποτελεί μια διακριτή ζώνη, με καθορισμένα και μόνιμα όρια. Οι παροχές προς (και από) κάθε DMA πρέπει να παρακολουθούνται από έναν μετρητή παροχής. Για τον υπολογισμό των διαρροών στο δίκτυο διανομής (κύριοι αγωγοί διανομής, συνδέσεις παροχής και εξαρτήματα), χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις νυχτερινής παροχής, αφού αφαιρεθεί η νυχτερινή κατανάλωση και η διαρροή των χρηστών. Για τη μετατροπή των νυχτερινών ρυθμών διαρροής σε μέση ημερήσια διαρροή, οι νυχτερινοί ρυθμοί διαρροής πρέπει στη συνέχεια να πολλαπλασιαστούν με έναν "συντελεστή ώρας-ημέρας" που λαμβάνει υπόψη τη διακύμανση της μέσης πίεσης (και επομένως των ρυθμών διαρροής) σε μία περίοδο 24ώρου (Ozdemir, 2018).

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε ένα καλά διαχειριζόμενο σύστημα, οι μεγαλύτερες απώλειες νερού συμβαίνουν συνήθως στις συνδέσεις παροχής και όχι στους κύριους αγωγούς. Αυτό οφείλεται στο μεγάλο αριθμό συνδέσμων και εξαρτημάτων που υπάρχουν στις συνδέσεις παροχής μεταξύ του κύριου αγωγού και του δρόμου/ιδιοκτησίας, γεγονός που οδηγεί σε υψηλά επίπεδα υποβόσκουσας διαρροής στα συγκεκριμένα τμήματα υποδομής του δικτύου. Επιπλέον, μελέτες έχουν δείξει ότι η συχνότητα εμφάνισης νέων θραύσεων ανά χιλιόμετρο σωλήνα είναι αρκετές φορές υψηλότερη στις συνδέσεις παροχής απ' ό,τι στους κύριους αγωγούς. Αν και οι μέσες παροχές στις περιοχές με θραύσεις σωληνώσεων είναι υψηλότερες για τους κύριους αγωγούς, όταν λαμβάνονται υπόψη οι τυπικές συχνότητες αναφερόμενων και μη αναφερόμενων θραύσεων, καθώς και οι μέσες διάρκειες των διαφόρων τύπων θραύσεων, είναι προφανές ότι στα περισσότερα συστήματα ο μεγαλύτερος όγκος των ετήσιων πραγματικών απωλειών προκύπτει από τις συνδέσεις παροχής (Hotupan, 2019).

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές καταστάσεις όσον αφορά την ιδιοκτησία και την ευθύνη συντήρησης των συνδέσεων παροχής, οι οποίες μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στον ετήσιο όγκο των πραγματικών απωλειών. Για παράδειγμα, σε ορισμένες χώρες όπως η Φινλανδία, η Ιαπωνία, η Νορβηγία και σε ορισμένες πολιτείες των ΗΠΑ, ολόκληρη η σύνδεση παροχής, από τον κύριο αγωγό μέχρι τον μετρητή του πελάτη, αποτελεί ευθύνη των πελατών και οι μετρητές μπορεί να βρίσκονται οπουδήποτε από το όριο του δρόμου/ιδιοκτησίας έως και 30 μέτρα ή περισσότερο μετά το όριο (Assad, 2019). Σε πολλά συστήματα, ο μετρητής του πελάτη βρίσκεται κοντά στο όριο του δρόμου/ιδιοκτησίας και ο σωλήνας παροχής μεταξύ του κύριου αγωγού και του μετρητή ανήκει και συντηρείται από την εταιρεία ύδρευσης. Όταν ο μετρητής του πελάτη βρίσκεται σε κάποια απόσταση μετά το όριο του δρόμου/ιδιοκτησίας, η διαρροή στους σωλήνες που ανήκουν στον ιδιώτη και βρίσκονται μεταξύ του ορίου και του μετρητή αποτελεί μια επιπλέον συνιστώσα των υπολογιζόμενων πραγματικών απωλειών (Jang, 2018).

Συμπερασματικά, η ανάλυση των συνιστωσών των πραγματικών απωλειών είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την κατανόηση της προέλευσης και της έκτασης των διαρροών σε ένα δίκτυο ύδρευσης. Μπορεί να βοηθήσει τις εταιρείες ύδρευσης να αναπτύξουν στοχευμένες στρατηγικές για τη μείωση των απωλειών, λαμβάνοντας υπόψη τα ειδικά χαρακτηριστικά του συστήματός τους και τις τοπικές συνθήκες. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι οι πραγματικές απώλειες είναι μόνο ένα μέρος του συνολικού

προβλήματος των απωλειών νερού - οι φαινόμενες απώλειες, όπως η μη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση και τα σφάλματα μέτρησης, μπορεί επίσης να είναι σημαντικές και να απαιτούν διαφορετικές στρατηγικές αντιμετώπισης.

1.4 Τεχνικές για την ποσοτικοποίηση των διαρροών

Η ποσοτικοποίηση των διαρροών σε ένα δίκτυο ύδρευσης είναι μια σύνθετη διαδικασία που απαιτεί τη χρήση διαφορετικών τεχνικών, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του συστήματος και τις συνθήκες λειτουργίας. Οι κύριοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι εάν υπάρχει 24ωρη ή διακοπτόμενη παροχή, εάν οι ρυθμίσεις παροχής μπορούν να αλλάξουν προσωρινά και εάν η παροχή γίνεται σε διακριτές ζώνες με καθορισμένα όρια ή γίνεται στο σύνολο της περιοχής διανομής (Farley, 2003).

Παρόλο που οι διαρροές στις δεξαμενές και τους κύριους αγωγούς μεταφοράς μπορεί να αποτελούν σημαντικό ποσοστό, η πλειονότητα των διαρροών συμβαίνει στους αγωγούς και τις συνδέσεις παροχής εντός του δικτύου διανομής. Για τη μέτρηση των διαρροών στις δεξαμενές, εφαρμόζεται η μέθοδος του ελέγχου πτώσης στάθμης (drop test). Στόχος είναι η μέτρηση του ρυθμού πτώσης της στάθμης του νερού κατά τη διάρκεια του ελέγχου, με κλειστές τις βαλβίδες εισόδου και εξόδου της δεξαμενής. Ο ρυθμός διαρροής υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{Ρυθμός διαρροής} = (d1 - d2) \times A / T \text{ (m}^3\text{/ώρα)}$$

όπου $d1$ = αρχικό βάθος (m), $d2$ = τελικό βάθος (m), A = επιφάνεια (m^2), T = διάρκεια ελέγχου (ώρες)

Για τη μέτρηση των διαρροών στους κύριους αγωγούς μεταφοράς, οι τρέχουσες τεχνικές βασίζονται κυρίως σε αλλαγές της ταχύτητας μεταξύ δύο σημείων κατά μήκος του αγωγού (ζεύγη μετρητών εισαγωγής τύπου τουρμπίνας ή ηλεκτρομαγνητικών μετρητών) ή σε αλλαγές της συνολικής ογκομετρικής παροχής μεταξύ δύο σημείων (παρακαμπτήριο μετρητής, DMA κύριου αγωγού μεταφοράς). Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ότι και οι δύο τεχνικές είναι επιρρεπείς σε σφάλματα (Abd Rahman, 2018).

Λόγω του μεγέθους και της πολυπλοκότητας των σωληνώσεων σε ένα δίκτυο διανομής πόσιμου νερού, δεν είναι πάντα δυνατή η άμεση μέτρηση των διαρροών, εκτός από τις περιπτώσεις μικρών δικτύων τα οποία τροφοδοτούνται από μία μετρούμενη παροχή. Επομένως, οι διαρροές στο δίκτυο διανομής υπολογίζονται από τη μέτρηση των

νυχτερινών παροχών στο σύστημα ή σε τμήμα του συστήματος. Η μέτρηση γίνεται με τη διεξαγωγή ελέγχου πτώσης στάθμης (σε ζώνη τροφοδοσίας δεξαμενής) ή με την επιλογή μιας αντιπροσωπευτικής περιοχής εντός του δικτύου διανομής και την απομόνωση της ζώνης κλείνοντας τις βαλβίδες γύρω από τα όριά της. Στη συνέχεια τοποθετείται ένας μετρητής στον αγωγό που τροφοδοτεί τη ζώνη και καταγράφεται η νυχτερινή παροχή. Η κατανάλωση των μεγάλων καταναλωτών παρακολουθείται κατά την ίδια περίοδο και αφαιρείται από τη συνολική νυχτερινή παροχή για να προκύψει η καθαρή νυχτερινή παροχή (Ramos, 2001).

Σε συστήματα με διακοπτόμενη παροχή, οι ρυθμίσεις παροχής μπορούν να αλλάξουν προσωρινά για να εξασφαλιστεί ότι η ζώνη υπό έλεγχο λαμβάνει συνεχή παροχή. Συνιστάται να αφήνεται το σύστημα να ισορροπήσει για 48 ώρες, ώστε να γεμίσουν οι δεξαμενές κ.λπ., πριν ληφθούν οι μετρήσεις νυχτερινής παροχής. Οι παροχές σε επιλεγμένες ζώνες μπορούν να παρακολουθούνται με τη χρήση υφιστάμενων μετρητών ζώνης, μετρητών που εγκαθίστανται ειδικά για τον έλεγχο ή προσωρινών μετρητών εισαγωγής τύπου probe (Puust, 2010).

Ένα ιδανικό σύστημα μέτρησης παροχής σε ένα δίκτυο διανομής νερού θα περιλάμβανε τη μέτρηση των συνολικών παροχών, ώστε με τον τρόπο αυτό να αξιολογηθεί η ζήτηση και η διαχείριση της διανομής, καθώς και τη μέτρηση των παροχών ανά ζώνη, που επιτρέπει στην επιβλέπουσα αρχή να κατανοήσει τη λειτουργία του συστήματος διαχωρίζοντάς το σε μικρότερες περιοχές, και επιτρέποντας τη διαχείριση και τον έλεγχο των διαρροών. Το σύστημα πρέπει επομένως να είναι ιεραρχικό, δηλαδή να αποτελείται από διάφορα επίπεδα, ξεκινώντας από τη μέτρηση της πηγής και καταλήγοντας στον μετρητή ή την εκτίμηση κατανάλωσης του πελάτη. Το σύστημα περιλαμβάνει:

- Μέτρηση της παραγωγής στην πηγή ή στην εγκατάσταση επεξεργασίας
- Μέτρηση της παροχής σε ζώνες τροφοδοσίας, με γεωγραφικά ή υδραυλικά όρια
- Παρακολούθηση της παροχής σε περιοχές μέτρησης παροχής (District Meter Areas - DMAs) με 500-3000 ιδιοκτησίες, με μόνιμα κλειστές βαλβίδες
- Μικρές περιοχές εντοπισμού διαρροών εντός κάθε DMA, με περίπου 500-1000 συνδέσεις, όπου οι οριακές βαλβίδες παραμένουν ανοιχτές εκτός από τις περιπτώσεις άσκησης εντοπισμού διαρροής ("step test")
- Μεμονωμένοι μετρητές καταναλωτών, τόσο οικιακοί όσο και εμπορικοί (Charalambous, 2014).

Συνοπτικά, η ποσοτικοποίηση των διαρροών σε ένα δίκτυο ύδρευσης απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που συνδυάζει διάφορες τεχνικές μέτρησης, προσαρμοσμένες στα ειδικά χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά κάθε συστήματος. Η εφαρμογή ενός ιεραρχικού συστήματος μέτρησης παροχής, από την παραγωγή έως την κατανάλωση, σε συνδυασμό με τακτικές μετρήσεις νυχτερινής παροχής σε στρατηγικά επιλεγμένες ζώνες, μπορεί να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την έκταση και την τοποθεσία των διαρροών, επιτρέποντας στις εταιρείες ύδρευσης την καλύτερη εποπτεία των διαρροών του συστήματος.

2. ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΓΙΑ ΑΠΩΛΕΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΡΡΟΗ ΝΕΡΟΥ

Η απώλεια νερού στα δίκτυα διανομής είναι ένα κρίσιμο ζήτημα που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις ύδρευσης παγκοσμίως. Για την αποτελεσματική διαχείριση και μείωση των απωλειών νερού, είναι η θέσπιση κατάλληλων και αξιόπιστων δεικτών απόδοσης, που επιτρέπουν την αξιολόγηση και τη σύγκριση των επιπέδων απώλειας νερού σε διαφορετικά συστήματα. Στο κεφάλαιο αυτό, διερευνώνται οι βασικοί δείκτες απόδοσης που συνιστά η Διεθνής Ένωση Υδάτων (IWA) για τις φαινομενικές απώλειες και τις πραγματικές απώλειες, εστιάζοντας στη σημασία και την πρακτική εφαρμογή τους στο πλαίσιο της διαχείρισης των απωλειών νερού.

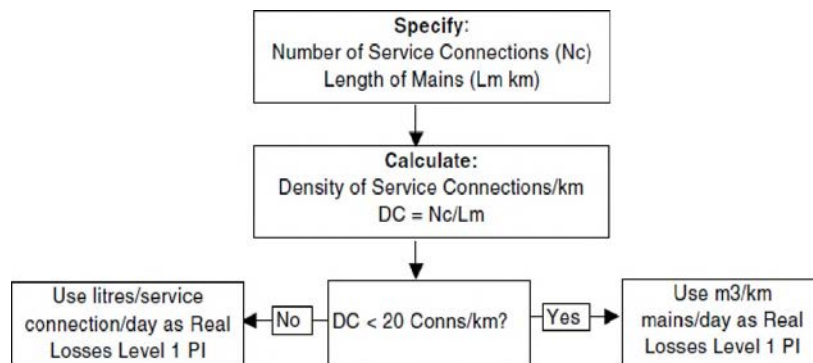
2.1 Φαινομενικές Απώλειες

Οι φαινομενικές απώλειες, στις οποίες συγκαταλέγονται οι μη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση, οι ανακρίβειες στη μέτρηση των πελατών και τα σφάλματα χειρισμού δεδομένων, αποτελούν σημαντικό συστατικό των απωλειών νερού. Η IWA συνιστά να εκφράζονται οι φαινομενικές απώλειες ως m^3 /σύνδεση υπηρεσίας/έτος. Ωστόσο, σε συστήματα όπου όλοι οι πελάτες έχουν μετρήσιμη κατανάλωση και η συνιστώσα της παράνομης χρήσης/κλοπής είναι μικρή, μπορεί οι φαινομενικές απώλειες να εκφράζονται καλύτερα ως ποσοστό της επιτρεπόμενης μετρούμενης κατανάλωσης. Αυτή η προσέγγιση αναγνωρίζει ότι οι περισσότερες φαινομενικές απώλειες σε τέτοιας μορφής συστήματα οφείλονται σε σφάλματα στη διαδικασία μέτρησης της κατανάλωσης των πελατών (Liemberger, 2007).

2.2 Πραγματικές απώλειες

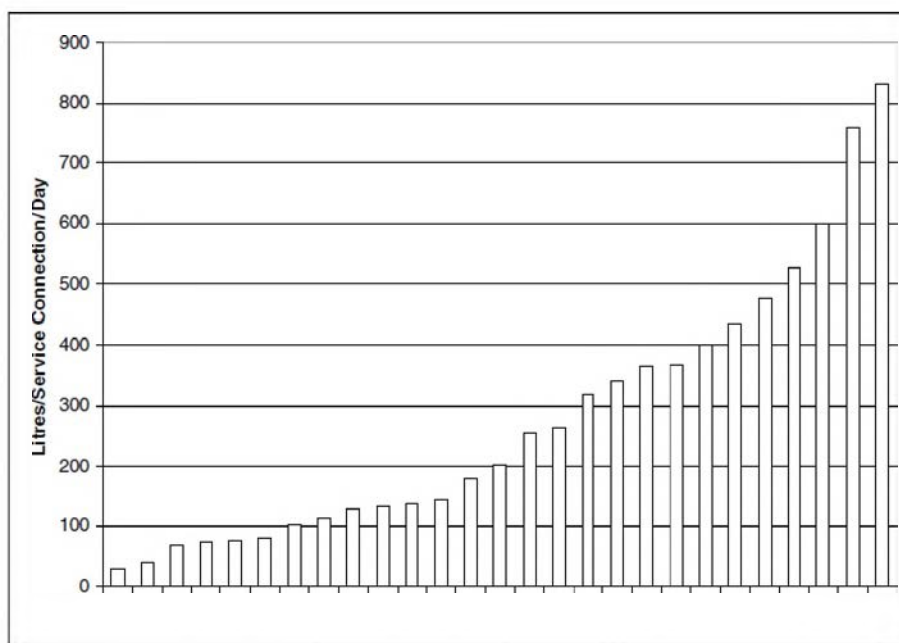
Οι πραγματικές απώλειες, οι οποίες συμπεριλαμβάνουν τις διαρροές από δίκτυα μεταφοράς και διανομής, συνδέσεις υπηρεσιών και δεξαμενές αποθήκευσης, αποτελούν τον πρωταρχικό στόχο της λειτουργικής διαχείρισης στις προσπάθειες μείωσης των απωλειών νερού. Η IWA συνιστά δύο βασικούς δείκτες απόδοσης για πραγματικές απώλειες: τους βασικούς δείκτες απόδοσης για τη λειτουργική διαχείριση και τους λεπτομερείς δείκτες απόδοσης για τη διαχείριση της υποδομής του δικτύου (Haider, 2014).

Ο βέλτιστος δείκτης απόδοσης (δείκτης απόδοσης επιπέδου 1) οποίος συνίσταται από την IWA είναι η αναλογία «λίτρων/σύνδεσης υπηρεσίας/ημέρας» ως, ένας δείκτης ο οποίος χρησιμοποιείται για τη λειτουργική διαχείριση πραγματικών απωλειών. Αυτή η επιλογή βασίζεται στη διαπίστωση ότι συνήθως το χρησιμοποιούμενο "ποσοστό όγκου εισροών" επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την κατανάλωση και τις αλλαγές στην κατανάλωση, καθιστώντας το ακατάλληλο για να χρησιμοποιηθεί σα δείκτης απόδοσης. Επιπλέον, δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται η φράση "ανά χρεωμένο λογαριασμό" ή "ανά ιδιοκτησία", καθώς ορισμένες συνδέσεις υπηρεσιών παρέχουν πολλαπλές ιδιοκτησίες, παρά το γεγονός ότι υπάρχει μόνο μία σύνδεση υπηρεσίας με πιθανότητα διαρροής. Η επιλογή μεταξύ "ανά σύνδεση υπηρεσίας" ή "ανά km δικτύου" εξαρτάται από την πυκνότητα των συνδέσεων για το υπό εξέταση σύστημα, όπως απεικονίζεται στο σχήμα της Εικόνας 1 (Fletcher, 2013).



Εικόνα 1. Διαδικασία για τον προσδιορισμό του δείκτη απόδοσης επιπέδου I για την διαχείριση των πραγματικών απωλειών του δικτύου (Πηγή: Farley, 2003).

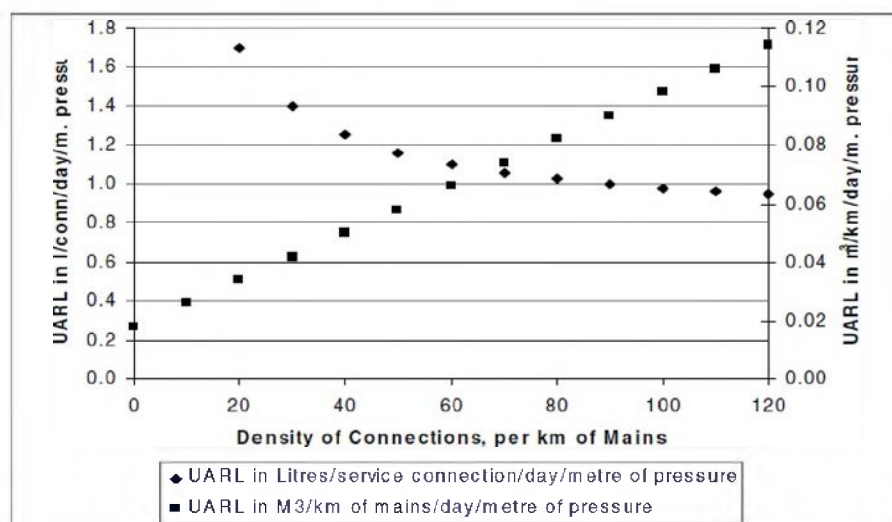
Για συστήματα με διαλείπουσα παροχή, ο δείκτης απόδοσης εκφράζεται ως "λίτρα/σύνδεση υπηρεσίας/ημέρα κατά την οποία το σύστημα είναι υπό "πίεση", λαμβάνοντας υπόψη τον ισοδύναμο αριθμό ημερών πίεσης του συστήματος και όχι τις πλήρεις 365 ημέρες. Η Εικόνα 2 παρουσιάζει τη χρήση αυτών των δεικτών απόδοσης για το διεθνές σύνολο δεδομένων της όπως αυτό αποτυπώνεται στη σχετική βιβλιογραφία τα τελευταία χρόνια, υπογραμμίζοντας την αυξανόμενη υιοθέτηση αυτών των δεικτών απόδοσης για τη λειτουργική διαχείριση των πραγματικών απωλειών (Fletcher, 2013).



Εικόνα 2. Πραγματικές απώλειες εκφρασμένες σε λίτρα/ημέρα σύνδεσης για το διεθνές σύνολο δεδομένων (πηγή: Farley, 2003)

2.3 Αναπόφευκτες ετήσιες απώλειες (δείκτες απόδοσης επιπέδου II)

Η ειδική ομάδα IWA Water Losses ανέπτυξε μια εξίσωση ειδικά για το σύστημα για τον προσδιορισμό των χαμηλότερων τεχνικά εφικτών πραγματικών απωλειών, γνωστών ως αναπόφευκτες ετήσιες πραγματικές απώλειες (UARL - Unavoidable Annual Real Losses), για καλά διαχειριζόμενες υποδομές στις οποίες το δίκτυο βρίσκεται σε καλή κατάσταση. Οι UARL λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως οι συχνότητες έκρηξης, οι μέγιστες διάρκειες και οι τυπικοί ρυθμοί ροής που σχετίζονται με την πίεση. Η εξίσωση αποτελείται από τρεις συνιστώσες: απώλειες στο δίκτυο, απώλειες σε συνδέσεις υπηρεσιών μέχρι το όριο ιδιοκτησίας και απώλειες σε συνδέσεις υπηρεσιών από το όριο ιδιοκτησίας στο μετρητή πελάτη. Το UARL είναι ένας ιδιαίτερα χρήσιμος δείκτης, καθώς επιτρέπει την πρόβλεψη των χαμηλότερων τεχνικά εφικτών ετήσιων πραγματικών απωλειών για οποιονδήποτε συνδυασμό μήκους δικτύου, αριθμού συνδέσεων, θέσης μετρητή πελάτη και μέσης πίεσης λειτουργίας, υποθέτοντας ότι το σύστημα είναι καλά συντηρημένο και διαχειριζόμενο. Η Εικόνα 3 απεικονίζει τη σχέση μεταξύ UARL και πυκνότητας συνδέσεων, καταδεικνύοντας τη σημασία της εξέτασης της πυκνότητας των συνδέσεων κατά τη σύγκριση των πραγματικών επιδόσεων απωλειών ή τον καθορισμό στόχων (Karadirek, 2022).

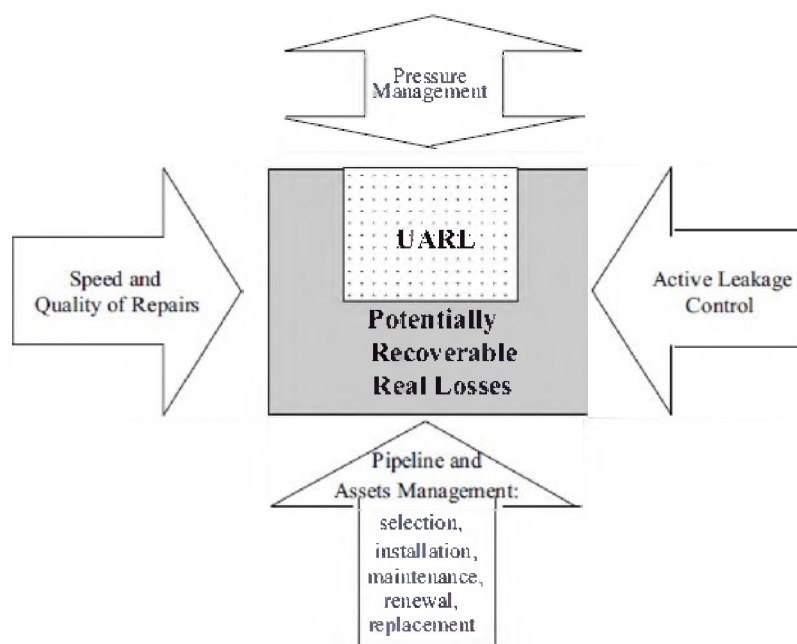


Εικόνα 3. UARL και πυκνότητα συνδέσεων (Πηγή: Karadirek, 2022)

Καθώς με την πάροδο του χρόνου, το σύστημα γερνάει, υπάρχει μια τάση για ένα φυσικό ρυθμό αύξησης των πραγματικών απωλειών μέσω νέων διαρροών και εκρήξεων, μερικές από τις οποίες δεν θα αναφερθούν στην υπηρεσία κοινής ωφέλειας. Αυτή η τάση ελέγχεται

και αντιμετωπίζεται από κάποιο συνδυασμό των τεσσάρων βασικών συνιστωσών της διαχείρισης πραγματικών ζημιών, δηλαδή:

- διαχείριση αγωγών και περιουσιακών στοιχείων
 - διαχείριση πίεσης (που μπορεί να σημαίνει αύξηση ή μείωση της πίεσης)
 - ταχύτητα και ποιότητα επισκευών
 - Ενεργός έλεγχος διαρροών, για τον εντοπισμό μη αναφερόμενων διαρροών
- (Εικόνα 4) (Karadirek, 2022).



Εικόνα 4. Οι τέσσερις βασικές μέθοδοι διαχείρισης των πραγματικών απωλειών του δικτύου (Πηγή: Karadirek, 2022)

Ο αριθμός των νέων διαρροών που προκύπτουν κάθε χρόνο επηρεάζεται κυρίως από τη μακροπρόθεσμη διαχείριση αγωγών. Η διαχείριση της πίεσης μπορεί να επηρεάσει τη συχνότητα εμφάνισης νέων διαρροών καθώς και τους ρυθμούς ροής όλων των διαρροών και εκρήξεων. Επίσης, η μέση διάρκεια των διαρροών περιορίζεται από την ταχύτητα και την ποιότητα των επισκευών και την ενεργή στρατηγική ελέγχου των διαρροών που εφαρμόζεται από την αρχή διαχείρισης των επισκευών του δικτύου η οποία ελέγχει το χρονικό διάστημα για το οποίο εκτελούνται οι μη αναφερόμενες διαρροές πριν εντοπιστούν. Ο βαθμός με τον οποίο πραγματοποιούνται αυτές οι τέσσερις

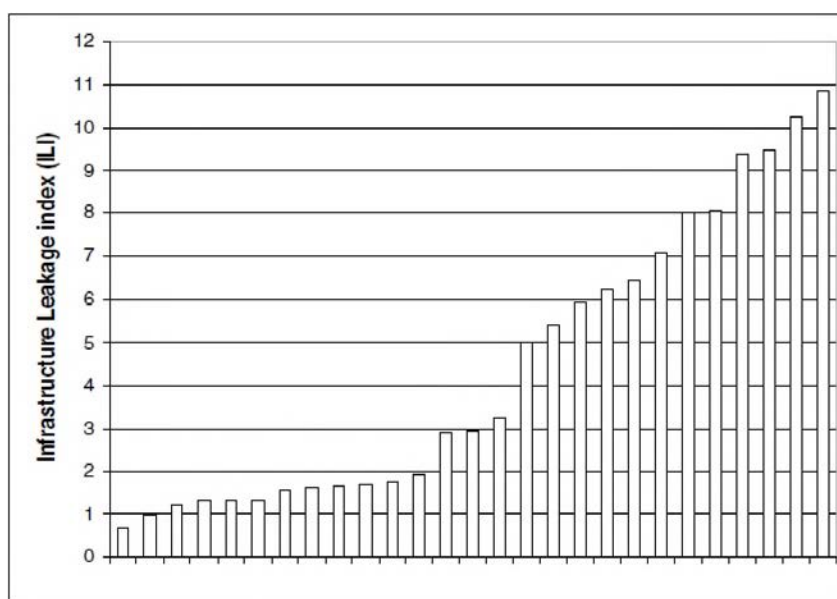
δραστηριότητες καθορίζει τελικά εάν ο όγκος των ετήσιων πραγματικών απωλειών αυξάνεται, μειώνεται ή παραμένει σταθερός.

Οι πραγματικές απώλειες δεν μπορούν να εξαλειφθούν εντελώς. Το χαμηλότερο τεχνικά εφικτό ποσοστό για ένα καλά συντηρημένο και καλά διαχειριζόμενο σύστημα είναι ο UARL, το οποίο αντιπροσωπεύεται από το μικρότερο ορθογώνιο στην Εικόνα 4. Η διαφορά μεταξύ του UARL (μικρό ορθογώνιο) και των τρεχουσών ετήσιων πραγματικών ζημιών (CARL – Current Annual Real Losses) είναι οι δυνητικά ανακτήσιμες πραγματικές ζημιές. Ο λόγος του CARL προς το UARL είναι ο δείκτης διαρροής υποδομής (ILI). Το ILI μετρά πόσο αποτελεσματικά διαχειρίζονται οι δραστηριότητες υποδομείς τις επισκευές, τον ενεργό έλεγχο διαρροών και τη διαχείριση των αγωγών/περιουσιακών στοιχείων – υπό την τρέχουσα πίεση λειτουργίας του συστήματος. Για καθεμία από τις τέσσερις δραστηριότητες, υπάρχει κάποιο οικονομικό επίπεδο επενδύσεων και δραστηριότητας, το οποίο πρέπει να υπολογιστεί ή να εκτιμηθεί, ανάλογα με την οριακή αξία, σε τοπικό νόμισμα/m³, που αποδίδεται στις πραγματικές απώλειες. Ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες και πρακτικές, η οριακή αξία που αποδίδεται στις πραγματικές απώλειες μπορεί να είναι χαμηλή – ίσως μόνο το κόστος ενέργειας και χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται – ή υψηλή, και αυτό επηρεάζει σημαντικά τις πολιτικές οικονομικής διαχείρισης για τον έλεγχο των πραγματικών απωλειών (Ociera, 2021).

2.4 Λεπτομερείς δείκτες απόδοσης για τη λειτουργική διαχείριση του δικτύου (δείκτες απόδοσης επιπέδου 3)

Η IWA συνιστά τον Δείκτη Διαρροής Υποδομής (ILI Infrastructure Leakage Index) ως τον λεπτομερή (επίπεδο 3) δείκτη απόδοσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη λειτουργική διαχείριση των πραγματικών ζημιών σε ένα δίκτυο διανομής νερού. Ο ILI είναι ο λόγος των τρεχουσών ετήσιων πραγματικών ζημιών (CARL - Current Annual Real Losses) προς το UARL, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4. Λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως το μήκος του δικτύου, τον αριθμό των συνδέσεων για την εξυπηρέτηση των χρηστών, τη θέση των μετρητών πελατών και τη μέση πίεση λειτουργίας, το ILI παρέχει ένα αξιόπιστο μέτρο για το πόσο αποτελεσματικά γίνεται η διαχείριση των δραστηριοτήτων υποδομής, των επισκευών, του ενεργού ελέγχου διαρροών και της διαχείρισης αγωγών με την τρέχουσα πίεση λειτουργίας του δικτύου. Η Εικόνα 4, παρουσιάζει τις υπολογισμένες τιμές του ILI για το πρότυπο σύνολο δεδομένων της βιβλιογραφίας, με τις τιμές κοντά στο 1,0 να αντιπροσωπεύουν τη σχεδόν τέλεια τεχνική διαχείριση των πραγματικών απωλειών από

υποδομές σε πραγματικές λειτουργικές πιέσεις. Το ILI έχει προκαλέσει σημαντικό ενδιαφέρον ως δείκτης απόδοσης, καθώς επιτρέπει συγκρίσεις επιδόσεων για συστήματα που υπερβαίνουν τις 5.000 συνδέσεις υπηρεσιών σε επίπεδο κοινής ωφέλειας, εθνικό και διεθνές επίπεδο. Αρκετοί εθνικοί οργανισμοί συμπεριλαμβανομένης της Αμερικανικής Ένωσης Έργων Ύδρευσης (AWWA - American Water Works Association) έχουν εγκρίνει τη χρήση της προσέγγισης ILI για συγκρίσεις επιδόσεων και διαχείριση απωλειών νερού ανάλογα με τους παρόχους (Ociepa, 2018).



Εικόνα 5. Δείκτης απόδοσης των υποδομών ILI (Πηγή:Ociepa, 2018)

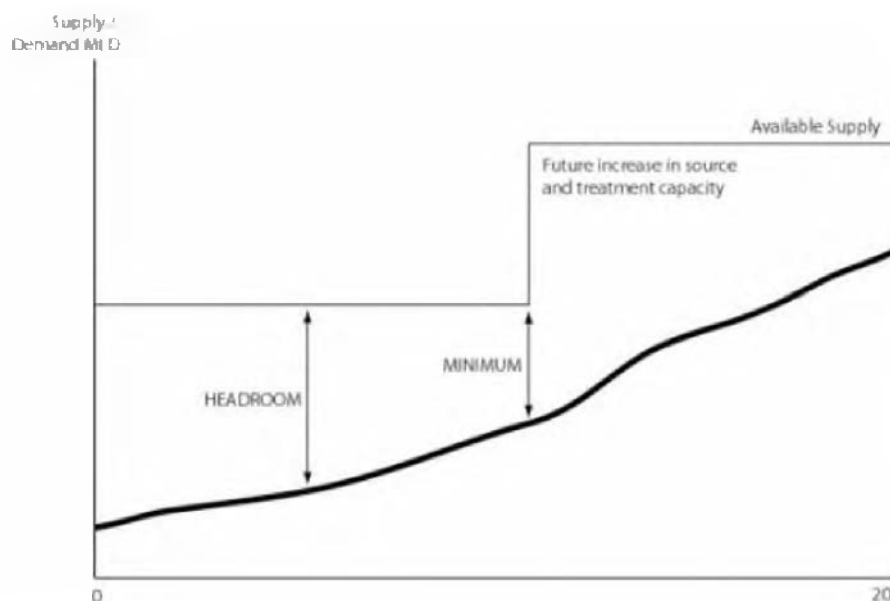
Συμπερασματικά, μπορεί να αναφερθεί ότι η καθιέρωση κατάλληλων δεικτών απόδοσης είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική διαχείριση και μείωση των απωλειών νερού στα δίκτυα διανομής. Οι συνιστώμενοι δείκτες απόδοσης της IWA για εμφανείς απώλειες και πραγματικές απώλειες παρέχουν ένα τυποποιημένο πλαίσιο για την αξιολόγηση και τη σύγκριση των επιπέδων απώλειας νερού σε διαφορετικά συστήματα. Η χρήση του "litres/service connection/day" ως τον βασικό δείκτη απόδοσης για τη λειτουργική διαχείριση των πραγματικών απωλειών, μαζί με τον Δείκτη Διαρροής Υποδομών (ILI) ως ένα πιο λεπτομερή δείκτη απόδοσης, επιτρέπει στις επιχειρήσεις ύδρευσης να εντοπίσουν τομείς βελτίωσης και να δώσουν προτεραιότητα στις προσπάθειες μείωσης των απωλειών νερού. Με την υιοθέτηση αυτών των δεικτών απόδοσης και των σχετικών μεθοδολογιών, οι επιχειρήσεις ύδρευσης παγκοσμίως μπορούν να εργαστούν για την επίτευξη πιο αποτελεσματικών και βιώσιμων συστημάτων διανομής νερού.

3. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ

3.1 Οι οικονομικές επιπτώσεις της απώλειας νερού

Η απώλεια νερού στα δίκτυα διανομής αποτελεί σημαντική πρόκληση που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις ύδρευσης παγκοσμίως. Ενώ το ιδανικό σενάριο θα ήταν να εξαλειφθεί εντελώς η διαρροή, είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε ότι ένα ορισμένο επίπεδο διαρροής είναι αναπόφευκτο και πρέπει να αντιμετωπιστεί ρεαλιστικά. Το παρόν κεφάλαιο, διερευνά την οικονομική πτυχή της απώλειας νερού, εστιάζοντας στην αρχή της μείωσης των αποδόσεων στις προσπάθειες μείωσης των διαρροών και στις διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την αποτελεσματική διαχείριση της απώλειας νερού (Ghaffour, 2013).

Κατά την αντιμετώπιση του χάσματος μεταξύ της μελλοντικής ζήτησης νερού και της τρέχουσας προσφοράς, οι επιχειρήσεις ύδρευσης έχουν γενικά δύο κύριες επιλογές: αύξηση της προσφοράς και μείωση των διαρροών σε συνδυασμό με τη διαχείριση της ζήτησης. Η αύξηση της προσφοράς περιλαμβάνει την αύξηση της δυναμικότητας μέσω μέτρων όπως η προσθήκη δεξαμενής ή αντλητικής ικανότητας, η επέκταση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας ή η εισαγωγή νερού από γειτονικές περιοχές. Από την άλλη, η μείωση των διαρροών και η διαχείριση της ζήτησης στοχεύουν στη μείωση της μελλοντικής ανάγκης για νερό ελαχιστοποιώντας τις απώλειες και προωθώντας την αποδοτική χρήση του νερού. Και οι δύο αυτές προσεγγίσεις συμβάλλουν στην αύξηση του προβλεπόμενου «περιθωρίου» που έχει το δίκτυο, το οποίο αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ διαθέσιμης προσφοράς και προβλεπόμενης ζήτησης, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο ανεπαρκούς παροχής νερού. Ωστόσο, κατά τη σύγκριση των οικονομικών αυτών των δύο μεθόδων, είναι σημαντικό να γίνει κατανοητή η αρχή της μείωσης των αποδόσεων (Εικόνα 6) (Ghaffour, 2013).

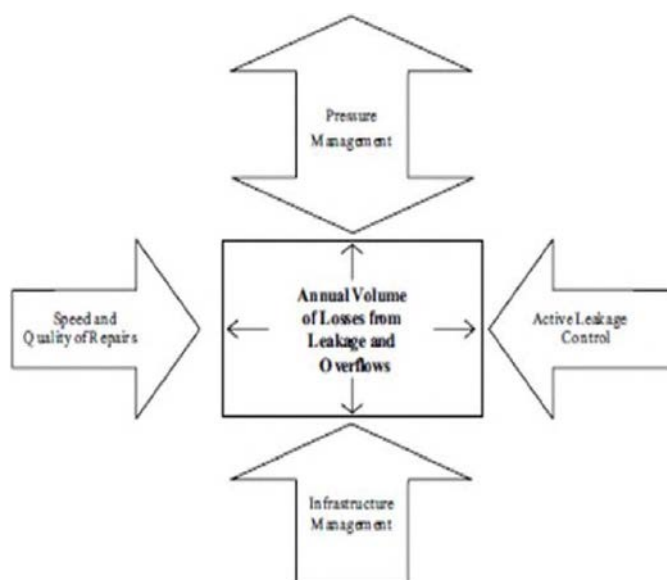


Εικόνα 6. Η αναλογία ανάμεσα στη προσφορά και τη ζήτηση του νερού (περιθώριο)
(Πηγή: Pearson, 2019)

Στα έργα τα οποία εστιάζουν στην αύξηση της προσφοράς, όπως η κατασκευή μιας νέας μονάδας επεξεργασίας, συχνά παίζουν ρόλο οι οικονομίες κλίμακας. Πιο συγκεκριμένα, καθώς αυξάνεται το μέγεθος της μονάδας, το συνολικό κόστος αυξάνεται, αλλά το μοναδιαίο κόστος (π.χ. κόστος ανά ελάχιστη ένδειξη/ημέρα παραγωγικής ικανότητας) τείνει να μειώνεται λόγω της βελτίωσης της αποτελεσματικότητας. Για παράδειγμα, μια μονάδα 100 ml/ημέρα θα κοστίσει συνήθως λιγότερο από το διπλάσιο του κόστους μιας μονάδας 50 ml/ημέρα, καθώς ορισμένες δαπάνες όπως ο σχεδιασμός, η διαχείριση συμβάσεων και η αγορά γης εξαρτώνται λιγότερο από την παραγωγική ικανότητα σε σύγκριση με άλλες δαπάνες. Ωστόσο, η αρχή αυτή δεν είναι καθολικά εφαρμόσιμη. Αντίθετα, σε ορισμένες περιπτώσεις, οι αρχικές αυξήσεις της προσφοράς μπορούν να επιτευχθούν με την επέκταση ενός υφιστάμενου έργου επεξεργασίας, ενώ οι μεγαλύτερες αυξήσεις μπορεί να απαιτούν μια νέα πηγή νερού. Σε ακραίες περιπτώσεις, μπορεί να είναι απαραίτητη η λήψη νερού μέσω διαδικασιών αφαλάτωσης, ενώ στην περίπτωση αυτή αυξάνεται σημαντικά το μοναδιαίο κόστος (Pearson, 2019).

Η μείωση των διαρροών απαιτεί επενδύσεις, αλλά σε αντίθεση με την αύξηση της προσφοράς, υπάρχουν περιορισμένα περιθώρια για τη μελέτη των οικονομιών σε επίπεδο κλίμακας. Στην πραγματικότητα, η μείωση των διαρροών ακολουθεί το νόμο μείωσης των αποδόσεων, πράγμα που σημαίνει ότι όσο περισσότερη προσπάθεια καταβάλλεται για τη μείωση των διαρροών, τόσο μικρότερες θα είναι οι επιπτώσεις στην εξοικονόμηση νερού.

Οι τέσσερις κύριες τεχνικές για τη διαχείριση διαρροών, που συχνά αναφέρονται ως οι τέσσερις «πυλώνες», είναι ο ενεργός έλεγχος διαρροών, η διαχείριση πίεσης, η περιφερειακή μέτρηση και η ανανέωση δικτύου και υπηρεσιών (Εικόνα 7). Κάθε μία από αυτές τις τεχνικές βασίζεται στις παρόμοιες αρχές των μειούμενων αποδόσεων (Fontana, 2012).



Εικόνα 7. Οι τέσσερις πυλώνες της διαχείρισης των διαρροών (Πηγή: Fontana, 2012)

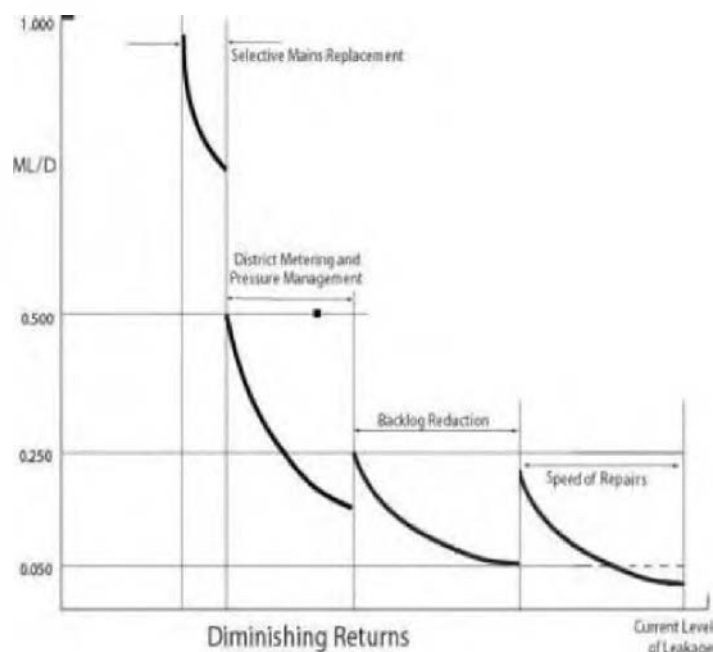
Αναλυτικότερα για τις τεχνικές αυτές:

- 1. Ενεργός έλεγχος διαρροής:** Κατά την έναρξη των εργασιών ανίχνευσης και επισκευής διαρροών, οι διαρροές είναι σχετικά εύκολο να εντοπιστούν, ειδικά εάν υπάρχει καθυστέρηση λόγω προηγούμενων ανεπαρκών επενδύσεων. Ωστόσο, καθώς αντιμετωπίζονται οι πιο εμφανείς διαρροές του δικτύου, απαιτείται υψηλότερο επίπεδο προσπάθειας για την επίτευξη παρόμοιων μειώσεων των διαρροών (Yilmaz, 2021).
- 2. Διαχείριση πίεσης:** Τα πιο οικονομικά αποδοτικά συστήματα διαχείρισης πίεσης είναι αυτά που καλύπτουν μεγάλες περιοχές και επηρεάζουν σημαντικά τις μέσες πιέσεις, όπως η εγκατάσταση μιας βαλβίδας μείωσης πίεσης (PRV – Pressure Release Valve) σε μια διακλάδωση από έναν κεντρικό αγωγό για την εξυπηρέτηση μιας ολόκληρης πόλης. Καθώς τα συστήματα γίνονται περισσότερο τοπικά, καλύπτοντας μικρότερες περιοχές ή ακόμη και μεμονωμένες ιδιοκτησίες, το

κόστος του συστήματος μειώνεται λιγότερο από το όφελος που επιτυγχάνεται, οδηγώντας σε μειωμένη σχέση κόστους - αποτελεσματικότητας (Creaco, 2017).

- 3. Περιφερειακή Μέτρηση:** Κατά την εφαρμογή της μέτρησης ανά ζώνη και ανά περιφέρεια, υπάρχει η τάση να δίνεται προτεραιότητα σε περιοχές που μπορούν να μετρηθούν χωρίς να απαιτούνται πρόσθετες εγκαταστάσεις δικτύου. Αυτές οι περιοχές δημιουργούνται συνήθως χρησιμοποιώντας φυσικές διακοπές στο δίκτυο, όπως κύριοι δρόμοι, ποτάμια, κανάλια και μη ανεκμετάλλευτη γη. Ο στόχος είναι να δημιουργηθούν περιοχές περιφερειακών μετρητών μονής τροφοδοσίας (DMA – District Meter Areas) οι οποίοι τροφοδοτούνται μέσω εγκατάστασης ενός μετρητή, ελαχιστοποιώντας τον αριθμό των βαλβίδων που πρέπει να κλείσουν για να δημιουργηθεί μια διακριτή περιοχή. Καθώς ο αριθμός των ιδιοτήτων εντός των DMA αυξάνεται, το σύστημα φτάνει σε ένα σημείο όπου η προσθήκη περαιτέρω ιδιοτήτων συνεπάγεται με υψηλότερο κόστος μονάδας λόγω της ανάγκης για πρόσθετες βαλβίδες, πολλαπλά μέτρα ή νέα μήκη στην κύρια σύνδεση. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, είναι συνήθως δυνατή η δημιουργία DMAs που καλύπτουν το 50-70% των ακινήτων χρησιμοποιώντας το υπάρχον δίκτυο με παρόμοιο μοναδιαίο κόστος ανά ακίνητο. Η προσθήκη επιπλέον ιδιοτήτων στα DMA μπορεί να γίνει με μία μικρή οικονομική επιβάρυνση, για ένα επιπλέον 10-30% των ακινήτων, αλλά συνήθως υπάρχουν ορισμένα ακίνητα (5-15%) που δεν μπορούν να προστεθούν στα DMA χωρίς να επιβαρυνθούν με κόστος που στερείται σαφούς απόσβεσης όσον αφορά την εξοικονόμηση νερού (Laucelli, 2017, Laucelli, 2016).
- 4. Ανανέωση δικτύου και υπηρεσιών:** Η αντικατάσταση ενός παλιού δικτύου ύδρευσης με ένα νέο, δοκιμασμένο στις ίδιες συνθήκες πίεσης, αναμφίβολα θα μειώσει τη διαρροή στο δίκτυο. Ωστόσο, το όφελος ενδέχεται να μην είναι τόσο σημαντικό όσο είχε αρχικά εκτιμηθεί εάν δεν ανανεωθούν επίσης οι συνδέσεις των χρηστών υπηρεσιών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να είναι δύσκολο να μεταφερθούν όλες οι συνδέσεις εξυπηρέτησης από το παλιό κύριο στο νέο δίκτυο, με αποτέλεσμα το κεντρικό δίκτυο το οποίο είναι παλαιότερης χρονολογίας να παραμείνει στο έδαφος, συμβάλλοντας περαιτέρω στο πρόβλημα διαρροής. Όταν η αντικατάσταση του δικτύου χρησιμοποιείται ως κύριο μέτρο για τη μείωση των διαρροών, θα πρέπει να διεξάγονται στοχευμένες μελέτες για τον εντοπισμό περιοχών και συγκεκριμένων δικτύων με την υψηλότερη συχνότητα ρήξεων στο δίκτυο και τα υψηλότερα επίπεδα διαρροής στις υποδομές. Η αποτελεσματική

στόχευση διασφαλίζει ότι τα αρχικά συστήματα είναι πιο αποδοτικά από τα μεταγενέστερα, αποδεικνύοντας το νόμο της μειωμένης απόδοσης στις περιπτώσεις που γίνεται συνολική αντικατάσταση του δικτύου (Εικόνα 8) (Pereira, 2012).



Εικόνα 8. Ο νόμος της μείωσης της απόδοσης σε ολική αντικατάσταση του δικτύου (Πηγή: Pereira, 2012)

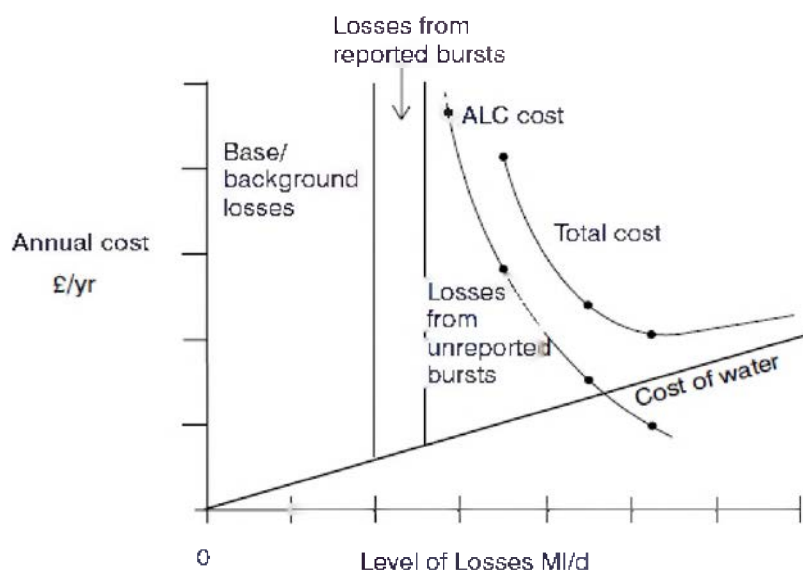
Η μείωση του χρόνου που απαιτείται για την επισκευή μιας διαρροής θα μειώσει επακόλουθα και τον όγκο της διαρροής. Ωστόσο, μόλις ο χρόνος επισκευής πέσει κάτω από ένα ορισμένο όριο, το κόστος επισκευής ανά μονάδα τείνει να αυξάνεται λόγω της αναμονής, έκτακτων κλήσεων και υπερωριών στο προσωπικό ή συμπληρωματικών πληρωμών σε εργολάβους για την παροχή πρόσθετων ομάδων επισκευής. Στην Εικόνα 8, απεικονίζεται ο τρόπος με τον οποίο κάθε επιλογή διαχείρισης διαρροών μπορεί να εφαρμοστεί με σχετικά χαμηλό μοναδιαίο κόστος ανά ημέρα, αλλά το μοναδιαίο κόστος αυξάνεται καθώς κάθε μέτρο χρησιμοποιείται εκτενέστερα. Το διάγραμμα της εικόνας αυτής, δείχνει επίσης ότι υπάρχει μια τυπική σχετική σειρά για τη χρήση κάθε μέτρου, αν και αυτή η σειρά μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες. Ενώ κάθε επιλογή απεικονίζεται με ένα καθορισμένο επίπεδο έναρξης και λήξης διαρροής, στην πράξη, υπάρχει συχνά κάποιος βαθμός αλληλο-επικάλυψης, αφού χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός μέτρων ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες σε δεδομένο επίπεδο διαρροής για την επίτευξη περαιτέρω μειώσεων (Pereira, 2012).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι, οι οικονομικές πτυχές της διαχείρισης της απώλειας νερού περιστρέφονται γύρω από τη βασική αρχή της μείωσης των αποδόσεων, όπου το μοναδιαίο κόστος μείωσης των διαρροών αυξάνεται καθώς επενδύεται περισσότερη προσπάθεια σε κάθε τεχνική διαχείρισης διαρροών. Οι επιχειρήσεις ύδρευσης πρέπει να επιτύχουν ισορροπία μεταξύ του κόστους και των οφελών των διαφόρων μέτρων μείωσης των διαρροών, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η υπάρχουσα υποδομή δικτύου, οι τοπικές συνθήκες και η συνολική κατάσταση προσφοράς - ζήτησης. Κατανοώντας τα οικονομικά της απώλειας νερού και εφαρμόζοντας στρατηγικά έναν συνδυασμό ενεργού ελέγχου διαρροών, διαχείρισης πίεσης, περιφερειακής μέτρησης και ανανέωσης δικτύου και υπηρεσιών, οι επιχειρήσεις ύδρευσης μπορούν να διαχειριστούν αποτελεσματικά τις διαρροές και να εξασφαλίσουν μια βιώσιμη, αποτελεσματική παροχή νερού για τους πελάτες τους.

3.2 Η οικονομική μελέτη των διαρροών

Η κατανόηση της οικονομίας των διαρροών είναι ζωτικής σημασίας για τις επιχειρήσεις ύδρευσης για την αποτελεσματική διαχείριση και μείωση των απωλειών νερού στα δίκτυα διανομής τους. Συνεπώς κρίνεται σκόπιμη η αναφορά της έννοιας του Οικονομικού Επιπέδου Διαρροής (ELL – Economic Level of Leakage), το οποίο αντιπροσωπεύει τη βέλτιστη ισορροπία μεταξύ του κόστους και των οφελών των προσπαθειών μείωσης των διαρροών και αναλύει πώς η διαχείριση διαρροών εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο της ισορροπίας προσφοράς - ζήτησης.

Το οικονομικό επίπεδο διαρροής μπορεί να εξεταστεί τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα. Βραχυπρόθεσμα, οι βασικές παράμετροι που διέπουν το πραγματικό επίπεδο διαρροής είναι η μέση πίεση του συστήματος, η κατάσταση του δικτύου και των σωλήνων εξυπηρέτησης και οι εγκαταστάσεις συλλογής δεδομένων σχετικά με την κατάσταση του δικτύου. Η μόνη παράμετρος που μπορεί να αλλάξει γρήγορα για να επηρεάσει τα επίπεδα διαρροής είναι ο αριθμός του προσωπικού που αναζητά και επισκευάζει διαρροές, μια διαδικασία γνωστή ως Active Leakage Control (ALC). Το βραχυπρόθεσμο ELL επιτυγχάνεται όταν το οριακό κόστος της προσπάθειας ALC ισούται με το οριακό κόστος του νερού που εξοικονομείται με την υιοθέτηση αυτής της πολιτικής ALC (Εικόνα 9) (Multikanga, 2013).



Εικόνα 9. Γενική σχέση ανάμεσα στο κόστος λειτουργίας και στο επίπεδο απωλειών (Πηγή: Multikanga, 2013)

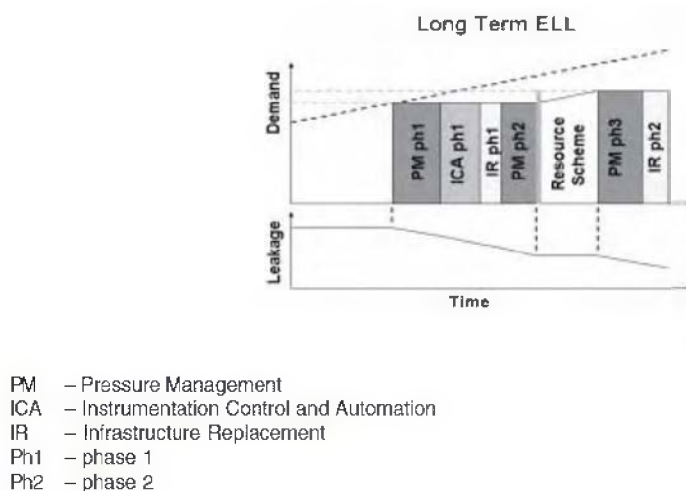
Μακροπρόθεσμα, οι επενδύσεις σε εγκαταστάσεις όπως η τηλεμέτρηση, η τηλεμετρία, η διαχείριση πίεσης και η ανανέωση του δικτύου μπορούν να επηρεάσουν το βραχυπρόθεσμο ELL. Αυτές οι επενδύσεις, που ονομάζονται επίσης μεταβατικές επιλογές ή επιλογές παρέμβασης, μπορούν να συγκριθούν όσον αφορά το κόστος τους και την επακόλουθη μείωση του βραχυπρόθεσμου ΚΕΑ. Το μακροπρόθεσμο ELL καθορίζεται μέσω μιας επενδυτικής ανάλυσης που λαμβάνει υπόψη το τρέχον επίπεδο διαρροής, το βραχυπρόθεσμο ELL, τις πιθανές αλλαγές στο βραχυπρόθεσμο ELL λόγω επενδύσεων, την εξοικονόμηση απωλειών νερού και πόρων ALC, το κόστος των προτεινόμενων επενδύσεων και την απόδοση της επένδυσης (Moslehi, 2021).

Κατά την αξιολόγηση του μακροπρόθεσμου ELL σε μια ζώνη παροχής νερού, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω βασικοί παράγοντες:

- **Κόστος νερού:** Περιλαμβάνει τόσο το λειτουργικό κόστος (π.χ. ηλεκτρική ενέργεια και χημικά για επεξεργασία και διανομή) όσο και το μακροπρόθεσμο επενδυτικό κόστος. Η μείωση των διαρροών μπορεί να αντισταθμίσει ή να καθυστερήσει την ανάγκη για νέες υποδομές, και η αναβολή των κεφαλαιουχικών δαπανών έχει μετρήσιμη αξία.

- **Βραχυπρόθεσμο κόστος μείωσης διαρροών:** Το κόστος αυτό αποτελείται κυρίως από τα έξοδα που σχετίζονται με την ALC, όπως η απασχόληση προσωπικού, οχημάτων, καυσίμων και εξοπλισμού.
- **Κόστος επισκευής:** Υπάρχει ένα επιχείρημα υπέρ της εξαίρεσης του κόστους επισκευής από την αξιολόγηση του ELL, καθώς ο αριθμός των εκρήξεων που συμβαίνουν ετησίως θεωρείται ότι παραμένει σταθερός. Ωστόσο, πρέπει να δίνεται προσοχή όταν η διαρροή μειώνεται από το ένα επίπεδο στο άλλο, καθώς η αυξημένη ALC μπορεί να οδηγήσει στην ανακάλυψη διαρροών που διαφορετικά θα είχαν περάσει απαρατήρητες, αυξάνοντας έτσι τον αριθμό των επισκευών.
- **Μακροπρόθεσμο κόστος:** Αυτό περιλαμβάνει την καθαρή παρούσα αξία των προγραμματισμένων επενδύσεων σε μέτρα που στοχεύουν στη μείωση των διαρροών, όπως η περιφερειακή μέτρηση, η διαχείριση πίεσης και η ανανέωση του δικτύου, σε χρονικό ορίζοντα 20 έως 30 ετών (Moslehi, 2021).

Η διαρροή θα πρέπει να θεωρείται μέρος της συνολικής ζήτησης σε μια περιοχή του δικτύου ύδρευσης και όχι ως ένα ξεχωριστό στοιχείο. Ο υπολογισμός του ELL πρέπει να λαμβάνει υπόψη την ανάλυση κόστους-οφέλους της μείωσης των διαρροών σε σύγκριση με άλλες επιλογές για τη διατήρηση μιας ισορροπίας στο ισοζύγιο προσφοράς - ζήτησης. Αυτές οι επιλογές περιλαμβάνουν μέτρα από την πλευρά της προσφοράς, όπως η κατασκευή νέων πηγών και έργων επεξεργασίας, η τοποθέτηση νέων αγωγών ή η αγορά νερού από γειτονικούς οργανισμούς ύδρευσης και μέτρα από την πλευρά της ζήτησης, όπως ο έλεγχος της ζήτησης των πελατών μέσω τιμολογιακών δομών, μέτρησης, εγκατάστασης συσκευών εξοικονόμησης νερού και διεξαγωγής ελέγχων νερού. Για να συγκριθούν οι διαθέσιμες επιλογές, το μακροπρόθεσμο οριακό κόστος τους θα πρέπει να αναλυθεί σε χρονικό ορίζοντα 20 έως 30 ετών σε σχέση με τα οφέλη που αποκομίζονται. Ο λόγος της καθαρής τρέχουσας αξίας του κόστους προς την καθαρή τρέχουσα αξία του οφέλους, εκφρασμένος σε μονάδες κόστους/m³, είναι ο τύπος ο οποίος χρησιμοποιείται στις περισσότερες περιπτώσεις όπου χρειάζεται κάποια σύγκριση των μεθόδων επισκευής διαρροών. Μια μακροπρόθεσμη ανάλυση μπορεί να αποκαλύψει ποια μέτρα διαχείρισης διαρροών είναι οικονομικά αποδοτικά, καθώς επίσης και το μακροπρόθεσμο ELL, το απαιτούμενο επίπεδο προσπάθειας ALC σε κάθε στάδιο και θα επιτρέψει τελικά την ανάπτυξη ενός μακροπρόθεσμου σχεδίου διαχείρισης διαρροών για τη ζώνη του δικτύου που αφορά η μελέτη (Εικόνα 10) (Yousefi Khoshwalb, 2021).



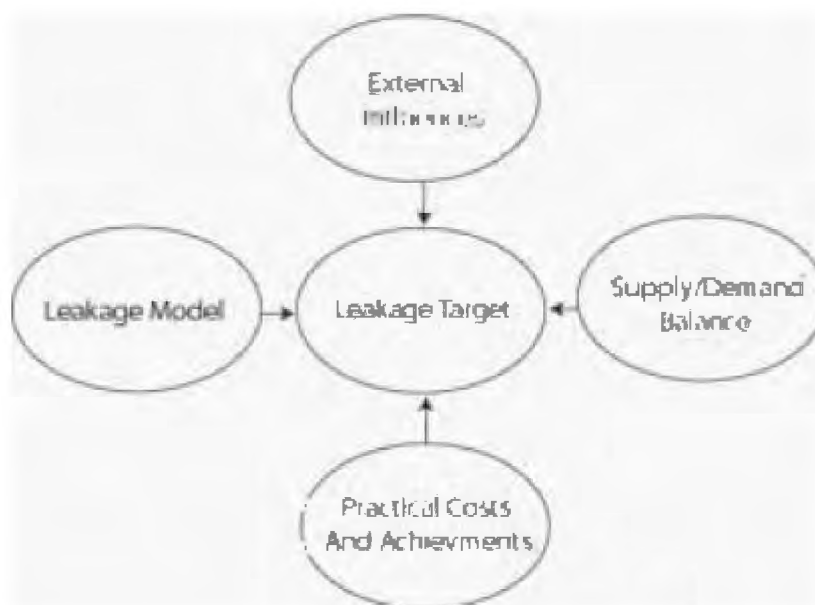
Εικόνα 10. Η επίδραση της διαχείρισης της ζήτησης και των διαθέσιμων πόρων στο μακροπρόθεσμο ELL (Πηγή: Yousefi Khoshwalb, 2021).

Συμπερασματικά, η οικονομική μελέτη των διαρροών στα δίκτυα νερού περιστρέφονται γύρω από την εξεύρεση της βέλτιστης ισορροπίας μεταξύ του κόστους και των οφελών των προσπαθειών μείωσης των διαρροών, όπως αντιπροσωπεύεται από το ELL. Εξετάζοντας τόσο βραχυπρόθεσμες όσο και μακροπρόθεσμες προοπτικές και αξιολογώντας τις επιλογές διαχείρισης διαρροών στο πλαίσιο της συνολικής ισορροπίας προσφοράς - ζήτησης, οι επιχειρήσεις ύδρευσης μπορούν να αναπτύξουν οικονομικά αποδοτικές στρατηγικές για τη μείωση των απωλειών νερού και τη διασφάλιση βιώσιμης, αποδοτικής παροχής νερού για τους καταναλωτές.

3.3 Καθορισμός στόχων στις περιπτώσεις διαρροών των δικτύων ύδρευσης

Ο καθορισμός στόχων για τη μείωση της διαρροής νερού απαιτεί περισσότερες παραμέτρους από τον απλό υπολογισμό του ELL. Αυτοί οι στόχοι πρέπει να είναι συγκεκριμένοι για κάθε ζώνη τροφοδοσίας και ο συνολικός στόχος για τον προμηθευτή νερού θα πρέπει να είναι το άθροισμα του στόχου κάθε μεμονωμένης ζώνης. Για το λόγο αυτό, εφαρμόζονται διαφορετικές διαδικασίες σε κάθε ζώνη με βάση την ανάλυση του ELL, αν και υπάρχουν και ορισμένες πολιτικές που μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε οργανωτικό επίπεδο. Για παράδειγμα, θα ήταν δύσκολο να υπάρχουν διαφορετικές πολιτικές για τη διαχείριση διαρροών σωλήνων παροχής ή εσωτερικών απωλειών υδραυλικών εγκαταστάσεων σε διαφορετικές περιοχές σε ένα δίκτυο που διαχειρίζεται στο σύνολό του από έναν οργανισμό. Ως αποτέλεσμα, αυτές οι γενικές πολιτικές θα επηρεάσουν τον συνολικό στόχο σε σύγκριση με το πραγματικό ELL. Ένα άλλο θέμα που

πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ο αντίκτυπος των εξωτερικών παραγόντων που μπορεί να επηρεάσουν το στόχο για τον περιορισμό της διαρροής (Εικόνα 11) (Allegre, 2016).



Εικόνα 11. Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το στόχο για τις διαρροές (Πηγή: Allegre, 2016)

Οι εξωτερικοί αυτό παράγοντες είναι:

- Διεθνείς συγκρίσεις.
- Πολιτικές επιρροές. Το πραγματικό ELL για μια εταιρεία με άφθονους πόρους και οι κακές υποδομές μπορεί να ισοδυναμούν, για παράδειγμα, με το 35% της συνολικής ζήτησης. Όμως η εταιρεία μπορεί να βρεθεί υπό πίεση από τους πελάτες της ή από την κυβέρνηση ή πίεση από άλλες, ανταγωνιστικές εταιρείες με σκοπό τη μείωση της διαρροής επειδή θεωρείται πολύ υψηλή.

Επιπλέον, ο στόχος θα εξαρτηθεί από τον σκοπό για τον οποίο χρησιμοποιείται:

- Μπορεί να είναι ένας γενικός στόχος για την εταιρεία στο σύνολό της, με βάση τα δεδομένα σε ολόκληρη την εταιρεία, ή να είναι μια συγχώνευση στόχων περιοχής και ζώνης;
- Μπορεί να είναι ένας στόχος που έχει τεθεί με αναφορά σε προηγούμενη εσωτερική εμπειρία διαρροής και χρησιμοποιεί τα δεδομένα από μια διαχείριση επί

σειρά ετών, ή να είναι ένας αρχικός στόχος ο οποίος δημιουργείται με βάση προεπιλεγμένα δεδομένα και συγκρίσεις με άλλους παρόμοιους οργανισμούς.

Υπάρχει επίσης το ερώτημα πώς ο στόχος σχετίζεται με το πραγματικό ELL, και μάλιστα εάν μπορεί πραγματικά να υπάρξει μια οικονομικά συμφέρουσα ELL δεδομένων αυτών των εξωτερικών πιέσεων (Allegre, 2016).

Το υπολογιζόμενο ELL θα διαφέρει με την πάροδο του χρόνου για διάφορους λόγους. Αναλυτικότερα, τα καιρικά φαινόμενα μπορεί να οδηγήσουν σε βραχυπρόθεσμες ελλείψεις στην ποσότητα του νερού που φτάνει στο δίκτυο, οδηγώντας σε υψηλότερο κόστος ή τιμές για το νερό και, ως εκ τούτου, οδηγώντας σε μείωση του ELL σε ένα συγκεκριμένο έτος. Για παράδειγμα, σε ένα έτος ξηρασίας, μπορεί να χρειαστεί να συμπληρωθούν οι προμήθειες με εισαγωγές από γειτονικές περιοχές ή να αυξηθεί το κόστος προμήθειας. Σε μια τέτοια περίπτωση, μόλις τελειώσει η ξηρασία, ο μέσος όρος του ELL θα αυξηθεί μακροπρόθεσμα. Επίσης, διαφορετικά καιρικά φαινόμενα μπορεί να οδηγήσουν σε έξαρση εκρήξεων και διαρροών λόγω της κίνησης του εδάφους ή ζημιών στις σωληνώσεις από παγετό. Υπό αυτές τις συνθήκες, το εποχιακό επίπεδο διαρροής μπορεί να υπερβαίνει το ELL και να μην είναι οικονομικά συμφέρουσα η παροχή πρόσθετων πόρων για την οικονομική βιωσιμότητα του δικτύου μακροπρόθεσμα (Kanakoudis, 2015).

Τα οικονομικά της προσφοράς και της ζήτησης μπορούν να επηρεάσουν το κόστος διαχείρισης διαρροών σε ένα δίκτυο. Σε ορισμένες χώρες υπάρχει έλλειψη έμπειρου προσωπικού και, ως εκ τούτου, το αρχικό κόστος (η ζήτηση υπερβαίνει την προσφορά) μπορεί να είναι υψηλό, με αποτέλεσμα υψηλότερα περιθώρια κέρδους για τους εργολάβους. Ωστόσο, καθώς ο όγκος εργασίας αυξάνεται σε μια περιοχή και περισσότερο προσωπικό αποκτά την απαραίτητη εμπειρία, ο ανταγωνισμός μεταξύ των προμηθευτών έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των τιμών. Αυτή η μείωση, κανονικά θα πρέπει να μειώσει και το ELL. Τέλος, η νέα τεχνολογία θα τείνει να καταστήσει αποτελεσματικότερες τις λειτουργίες διαχείρισης διαρροών και, μόλις αυτές οι τεχνικές εδραιωθούν, θα υπάρξει νέα τάση μείωσης της ELL (Kanakoudis, 2015).

Ως εκ τούτου, η θεωρητική ELL θα ποικίλει τόσο μεταξύ διαφορετικών δικτύων, όσο και με την πάροδο του χρόνου. Από την άλλη πλευρά, οι στόχοι επισκευής της διαρροής επηρεάζονται σε μικρότερο βαθμό από αυτούς τους παράγοντες. Τελικά, ο στόχος θα

πρέπει να είναι η μείωση των διαρροών σε ένα μακροπρόθεσμο βέλτιστο επίπεδο, το οποίο θα είναι βιώσιμο. Οι διακυμάνσεις αυτού του μακροπρόθεσμου μέσου όρου θα πρέπει να εξαιρούνται και να γίνονται αποδεκτές.

4. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΔΡΕΥΣΗΣ – ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Τα δίκτυα διανομής νερού είναι κρίσιμα περιουσιακά στοιχεία υποδομής που απαιτούν προληπτική διαχείριση και συντήρηση για τη διασφάλιση αξιόπιστης παροχής νερού και την ελαχιστοποίηση των διακοπών της υπηρεσίας. Η πρόβλεψη των αστοχιών του δικτύου ύδρευσης είναι μια κρίσιμη πτυχή αυτής της διαδικασίας, καθώς επιτρέπει στις επιχειρήσεις ύδρευσης να δώσουν προτεραιότητα στις προσπάθειες αντικατάστασης και αποκατάστασης σωλήνων, να βελτιστοποιήσουν την κατανομή των πόρων και να μειώσουν το συνολικό κόστος διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων. Τα τελευταία χρόνια, έχουν αναπτυχθεί διάφορα προηγμένα μοντέλα πρόβλεψης αστοχίας για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, αξιοποιώντας ιστορικά δεδομένα, χαρακτηριστικά σωλήνων, περιβαλλοντικούς παράγοντες και εξελιγμένες τεχνικές στατιστικής και μηχανικής μάθησης. Αυτό το δοκίμιο διερευνά τρία τέτοια μοντέλα: το μοντέλο Εξελικτικής Πολυωνυμικής Παλινδρόμησης (EPR) και Γενετικού Αλγορίθμου, το μοντέλο ομαδοποίησης EPR και K-means και το Bayesian Weibull Analogal Hazard Model (BWPHM) (Dawood, 2020).

4.1 Εξελικτική Πολυωνυμική Παλινδρόμηση (EPR) και Γενετικός Αλγόριθμος

Οι Laucelli et al., ανέπτυξαν ένα προηγμένο μοντέλο πρόβλεψης αστοχίας που βασίζεται στο προηγούμενο μοντέλο των Rajani et al., οι οποίοι προσδιόρισαν για πρώτη φορά την επίδραση της θερμοκρασίας στα σπασίματα σωλήνων νερού συνδυάζοντας ένα μη ομοιογενές μοντέλο Poisson με συμμεταβλητές που βασίζονται στη θερμοκρασία. Αυτές οι συμμεταβλητές περιλάμβαναν τον μέσο όρο των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, τη μέγιστη αύξηση θερμοκρασίας, τη μέγιστη μείωση θερμοκρασίας, τον δείκτη παγώματος, την αύξηση της θερμοβαθμίδας και τη μείωση της θερμοβαθμίδας (Laucelli, 2014, Rajani et al., 2012).

Οι Laucelli et al., προσάρμοσαν και τροποποίησαν το μοντέλο ρυθμού θραύσης των Rajani et al., για να συνδέσουν τις εκρήξεις σωλήνων με παράγοντες που σχετίζονται με το κλίμα, εισάγοντας τρεις ουσιαστικές βελτιώσεις:

1. Υποθέτοντας διαφορετικά σύνολα κλιματικών παραμέτρων για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο.
2. Προχώρησαν στην προσθήκη τριών νέων παραμέτρων: ημερήσια διακύμανση θερμοκρασίας, μέση χιονοκάλυψη και συνολική ποσότητα βροχής.
3. Εφαρμογή του παραδείγματος της Εξελικτικής Πολυωνυμικής Παλινδρόμησης (EPR - Evolutionary Polynomial Regression), το οποίο υλοποιεί έναν γενετικό αλγόριθμο με πολλαπλά κριτήρια με σκοπό τη βελτιστοποίηση των μοντέλων όσον αφορά την ακρίβεια και την οικονομία (Lauccelli, 2014).

Στο συγκεκριμένο μοντέλο έχουν επιλεγεί δύο βασικά μοντέλα για να αναπαραστήσουν τις σχέσεις μεταξύ των κλιματικών παραμέτρων και του ρυθμού διάρρηξης σωλήνων, ένα για κάθε εποχή. Το προτεινόμενο μοντέλο για τη χειμερινή περίοδο ορίζεται από το εξίσωση (1):

$$BR = a_1 \cdot FZI + a_0 \cdot ADD - 1 \quad (1)$$

Ενώ το προτεινόμενο μοντέλο για τη θερινή περίοδο ορίζεται από την εξίσωση (2):

$$BR = a_1 \cdot MTD - 1 + a_0 \cdot ADD \quad (2)$$

όπου a_1 και a_0 είναι οι σταθεροί συντελεστές που καθορίζονται από το μοντέλο, BR (Burst Rate) είναι ο ρυθμός ρήξης των σωληνώσεων, FZI (Freezing Index) είναι ο συντελεστής ψύξης, ADD (Daily Variation of Temperature) είναι η καθημερινή διακύμανση της θερμοκρασίας, MTD (Maximum Temperature Increase) είναι η μέγιστη αύξηση της θερμοκρασίας. Για να ληφθούν υπόψη άλλοι μηχανισμοί που μπορεί να επηρεάσουν τη συχνότητα διάρρηξης σωλήνων, όπως η γήρανση των σωλήνων και η αύξηση του μήκους των εγκατεστημένων σωλήνων με την πάροδο των ετών, το MOGA-EPR συνδυάστηκε με ένα νέο σύνολο επεξηγηματικών μεταβλητών για τη μοντελοποίηση και την εκτίμηση των τιμών a_1 και a_0 (Dawood, 2020).

Τα μοντέλα αυτά, αναπτύχθηκαν χρησιμοποιώντας ιστορικά δεδομένα διάρκειας 22 ετών, τα οποία συλλέχθηκαν από το Scarborough του Οντάριο του Καναδά, και περιλάμβαναν κυρίως ρήξεις σε σωλήνες χυτοσιδήρου διαμέτρου 150 mm. Πραγματοποιήθηκε μια διαδικασία επικύρωσης χρησιμοποιώντας δεδομένα ρήξεως σωλήνων από τα επόμενα δύο χρόνια, σχεδιάζοντας τις προβλεπόμενες τιμές ρήξης έναντι των παρατηρούμενων. Το σχήμα επικύρωσης αντικατόπτριζε μια αρκετά καλή συσχέτιση, με συντελεστή προσδιορισμού ($CD - Coefficient of Determination$) 0,79 (Dawood, 2020).

Η εξελικτική μοντελοποίηση που εισήχθη από τους Laucelli et al. προσφέρει ένα αξιόπιστο πλαίσιο το οποίο είναι ικανό να προβλέψει τις ρήξεις των σωλήνων νερού. Η αξιοπιστία και η ακρίβεια του μοντέλου πηγάζει από την ικανότητά του να χειρίζεται μια ψευδο-πολυωνυμική έκφραση με ακρίβεια και να λαμβάνει υπόψη διάφορους συμπαράγοντες. Επιπλέον, η στρατηγική πολλαπλών περιπτώσεων η οποία χρησιμοποιεί το MOGA μεγιστοποιεί την ακρίβεια του μοντέλου βελτιστοποιώντας τις αντικειμενικές συναρτήσεις και ελαχιστοποιώντας τον αριθμό των επεξηγηματικών μεταβλητών (Dawood, 2020).

Η εφαρμογή του μοντέλου αυτού, έδειξε ότι κατά το χειμώνα, το FZI είχε θετική γραμμική σχέση με τον ρυθμό έκρηξης, ενώ το ADD έδειξε μια αντίστροφη σχέση. Αντίθετα, το καλοκαίρι, οι παράμετροι οι οποίοι επηρέαζαν περισσότερο το μοντέλο, φάνηκαν να είναι MTD και ADD. Το μοντέλο για το χειμώνα είχε γενικά καλύτερη απόδοση σε σύγκριση με το μοντέλο του καλοκαιριού, το οποίο επέδειξε χαμηλότερη ακρίβεια. Παρά τις βελτιώσεις που έγιναν στο αρχικό μοντέλο, εξακολουθούν να υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί. Βασικός εξ αυτών είναι το γεγονός ότι οι συγγραφείς δεν μπορούσαν να συγκρίνουν άμεσα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το μοντέλο τους με εκείνα του αρχικού μοντέλου, λόγω θεμελιωδών διαφορών στο σχεδιασμό του μοντέλου, όπως για παράδειγμα η υπόθεση των πολυκλιματικών συμμεταβλητών, η εφαρμογή της αναπτυγμένης μεθοδολογίας μόνο στους σωλήνες CI και ο διαφορετικός τρόπος με τον οποίο επικυρώθηκε και δοκιμάστηκε η ποιότητα των αποτελεσμάτων (Laucelli, 2014).

4.2 Εξελικτική πολυωνυμική παλινδρόμηση (EPR) και μοντέλο ομαδοποίησης μέσων K

Οι Farmani et al. εφάρμοσαν την EPR και τη μέθοδο ομαδοποίηση K-means για να μοντελοποιήσουν και να προβλέψουν βλάβες σωλήνων νερού, προτείνοντας δύο διαφορετικά μοντέλα: το μακροπρόθεσμο και το μεσοπρόθεσμο μοντέλο πρόβλεψης. Το μακροπρόθεσμο μοντέλο χρησιμοποίησε την ηλικία, τη διάμετρο, το μήκος και τον τύπο εδάφους στο οποίο είναι τοποθετημένοι οι σωλήνες ως παραμέτρους για την παραγωγή ενός ομοιογενούς συνόλου δεδομένων. Αυτά τα σύνολα δεδομένων, χωρίστηκαν σε ομάδες εκπαίδευσης και δοκιμών χρησιμοποιώντας την τεχνική διασταυρούμενης επικύρωσης που αναπτύχθηκε από τους Grossman et al., και Gandhi et al. Ο αλγόριθμος K-means χρησιμοποιήθηκε για τη διαίρεση του συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης σε ομάδες k και το EPR χρησιμοποιήθηκε για την απόκτηση πολυλειτουργικών

ψευδομοντέλων (Farmani, 2017, Seni, 2010, Gandhi, 2011). Η δομή μοντέλου για την εκτίμηση της αστοχίας σωλήνων εκφράζεται από την εξίσωση (3):

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1E_{11} + a_2 \cdot X_2E_{21} + \dots + a_n \cdot X_nE_{n1} \quad (3)$$

όπου Y είναι ο προβλεπόμενος αριθμός βλαβών σωλήνων, X_i είναι η επεξηγηματική μεταβλητή i και E_{ij} είναι ένας συντελεστής άγνωστων εκθετών. Οι υποψήφιες τιμές που επιλέχθηκαν για τους εκθέτες E_{ij} ήταν $-2, -1, -0,5, 0, 0,5, 1$ και 2 , χαρακτηρίζοντας πιθανούς εκθέτες τετραγωνικής ρίζας για επεξηγηματικές μεταβλητές του μοντέλου EPR. Οι συγγραφείς αξιολόγησαν την απόδοση του μοντέλου τους χρησιμοποιώντας τη μέθοδο διασταυρούμενης επικύρωσης m -fold που αναπτύχθηκε από τον Kohavi et al. (Kohavi, 1995).

Το μεσοπρόθεσμο μοντέλο συγκέντρωσε τις βλάβες σωλήνων σε ετήσια βάση και καθόρισε μεταβλητές που σχετίζονται με το κλίμα. Τα δεδομένα που δημιουργήθηκαν χωρίστηκαν τυχαία σε σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης (70%) και δοκιμών (30%) και αναπτύχθηκαν μοντέλα EPR με βάση το σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης. Και τα δύο μοντέλα διερευνήθηκαν χρησιμοποιώντας δύο όρους σφάλματος: τον συντελεστή προσδιορισμού (R^2) ως μέτρο της συσχέτισης μεταξύ των τιμών πρόβλεψης και παρατήρησης και τη μέση τετραγωνική απόκλιση ως μέτρο πρόβλεψης σφάλματος (Farmani, 2017).

Οι Farmani et al., παρουσίασαν τα αποτελέσματα των μακροπρόθεσμων και μεσοπρόθεσμων μοντέλων πρόβλεψης μέσω στατιστικών συγκρίσεων. Οι δύο όροι σφάλματος παρουσίασαν σημαντική βελτίωση όταν ο αριθμός των ομάδων αυξήθηκε σε έξι, χωρίς να παρατηρηθεί περαιτέρω βελτίωση τόσο για τα σύνολα δεδομένων κατάρτισης όσο και για τα σύνολα δεδομένων δοκιμών. Η μέση τετραγωνική απόκλιση έδειξε σημαντική βελτίωση όταν το EPR έξι ομάδων συγκρίθηκε με το μη ομαδοποιημένο EPR, με βελτίωση 30% στο σύνολο δεδομένων δοκιμών και βελτίωση 20% στο σύνολο δεδομένων κατάρτισης. Επιπλέον, το R^2 παρουσίασε αξιοσημείωτη βελτίωση τόσο για τα σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης όσο και για τα σύνολα δεδομένων δοκιμών. Οι συγγραφείς τόνισαν τη σημασία της ενσωμάτωσης του EPR και της μεθόδου ομαδοποίησης K-means για την αύξηση της ακρίβειας της πρόβλεψης μακροπρόθεσμης βλάβης σωλήνων νερού. Τα μεσοπρόθεσμα μοντέλα αποκάλυψαν επίσης υψηλή ακρίβεια και για τους δύο όρους σφάλματος, με τιμές R^2 0,89 και 0,83 για σύνολα δεδομένων

εκπαίδευσης και δοκιμών, αντίστοιχα, και τιμές μέσης τετραγωνικής απόκλισης 7,67 και 9,23 για σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης και δοκιμών, αντίστοιχα (Farmani, 2017).

Τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου μοντέλου έγκειται στην παρουσίαση ενός ολοκληρωμένου πλαισίου που λαμβάνει υπόψη τόσο στατικούς όσο και δυναμικούς παράγοντες για την πρόβλεψη βλάβης σωλήνων νερού. Ωστόσο, διαπιστώθηκαν αρκετές ελλείψεις στην εφαρμογή του μοντέλου, σημαντικότερη εκ των οποίων ήταν η απλή προσέγγιση και των δύο μοντέλων (βραχυπρόθεσμου και μακροπρόθεσμου). Επιπλέον, οι συγγραφείς δεν έλεγξαν το θόρυβο στο αρχικό συνόλων δεδομένων εκπαίδευσης και δοκιμών, γεγονός που αποτελεί ουσιαστικό πρόβλημα στην κατανόηση της συνοχής των μοντέλων στην αντιμετώπιση των διακυμάνσεων των δεδομένων (Farmani, 2017).

4.3 Bayesian Weibull Analogal Hazard Model (BWPHM): Προσέγγιση επικαιροποίησης

Οι Kabir et al., πρότειναν μία προσέγγιση η οποία βασίστηκε σε ένα Bayesian δίκτυο που συμπεριλάμβανε την πρόβλεψη των ποσοστών αστοχίας στους κύριους σωλήνες νερού και την αξιολόγηση της απόδοσης του μοντέλου όταν συλλέγονται νέα σύνολα δεδομένων. Το μοντέλο δοκιμάστηκε στο σύστημα ύδρευσης του Κάλγκαρι, Αλμπέρτα, στη χώρα του Καναδά, χρησιμοποιώντας δεδομένα σχετικά με τα χαρακτηριστικά των σωλήνων (π.χ. διάμετρος, ηλικία, περίοδος κατασκευής, έτος εγκατάστασης, αντίσταση εδάφους, μήκος οικοδομικού τετραγώνου, αριθμός συνολικών συνδέσεων σωλήνων) που συλλέχθηκαν από τη βάση δεδομένων GIS της πόλης του Κάλγκαρι, στην οποία το δίκτυο ύδρευσης έχει συνολικό μήκος αγωγού νερού 4281 χλμ. Επιπλέον, μελετήθηκαν δεδομένα καιρού (π.χ. θερμοκρασία, βροχόπτωση, γεωγραφικό πλάτος και μήκος), όπως αυτά ελήφθησαν από τις τοπικές μετεωρολογικές υπηρεσίες (Kabir, 2016).

Η μελέτη επικεντρώθηκε στους σωλήνες χυτοσιδήρου και όλκιμου σιδήρου, καθώς οι στατιστικές της πόλης έδειξαν ότι και οι δύο τύποι σωλήνων παρουσίασαν πολλαπλές βλάβες στο δίκτυο σύμφωνα με τα δεδομένα από το 1956 έως το 2013. Οι σημαντικότεροι παράμετροι για το μοντέλο, επιλέχθηκαν με βάση την προσέγγιση Bayesian model averageaging (BMA), μία προσέγγιση η οποία μείωσε την αρχική ομάδα των 256 μοντέλων σε 52 μοντέλα. Οι Kabir et al., υπολόγισαν τις τιμές BMA των συντελεστών παλινδρόμησης και ανέπτυξαν μοντέλα πρόβλεψης αστοχίας χρησιμοποιώντας την προσέγγιση BWPHM (Bayesian Weibull Analogal Hazard Model), ένα μοντέλο ανάλυσης

επιβίωσης για δίκτυα ύδρευσης που προσδιορίζει την υποβάθμιση και την αστοχία με την πάροδο του χρόνου και μοντελοποιεί τον χρόνο που έχει παρέλθει μεταξύ ενός αρχικού και ενός τελικού γεγονότος (Kabir, 2016).

Για την επίτευξη των παραμέτρων του μοντέλου, οι Kabir et al., πρότειναν την εξίσωση (4) αξιοποιώντας τον αλγόριθμο λογαριθμικής πιθανότητας:

$$\log(L) = \sum nrc \log[F(T_i)] + \sum rc \log[f(T_i; \beta \cdot e^{X_i\beta}, \beta)] \quad (4)$$

όπου T_i είναι ο γενικός χρόνος μεταξύ αφίξεων που αντιστοιχεί στην i -οστή αστοχία, β είναι το διάνυσμα σειράς $= \beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m$, X είναι το συνμεταβλητό διάνυσμα $= [x_1, x_2, \dots, x_m]$ και F είναι η συνάρτηση επιβίωσης. Θεωρείται ότι η T_i συμμετέχει στη συνάρτηση πιθανότητας εάν συνδέεται με το ιστορικό θραύσης της περιόδου παρακολούθησης. Το BWRPHM ενημερώθηκε για να δημιουργήσει καμπύλες επιβίωσης για σωλήνες από χυτοσίδηρο και όλκιμο σίδηρο χρησιμοποιώντας αρχεία θραύσης σωλήνων της πόλης του Calgary συνολικής διάρκειας 58 ετών. Η μεθοδολογία περιελάμβανε τη διαίρεση ολόκληρου του συνόλου δεδομένων αποτυχίας σε πολλές περιόδους. Για κάθε περίοδο, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο πρόβλεψης αστοχίας BWRPHM χρησιμοποιώντας τα αρχεία αστοχίας της προηγούμενης περιόδου και ενημερώνοντας τις παραμέτρους του μοντέλου εφαρμόζοντας τα αρχεία αστοχίας της αμέσως επόμενης περιόδου. Τα παραγόμενα γραφήματα έδειξαν ότι οι καμπύλες για σωλήνες που δεν είχαν προηγούμενες βλάβες είχαν μικρότερη κορυφή σε σύγκριση με τις καμπύλες για σωλήνες με προηγούμενες βλάβες και το ποσοστό επιβίωσης των σωλήνων DI ήταν υψηλότερο από αυτό των σωλήνων CI. Επιπλέον, η πιθανότητα θραύσης ενός σωλήνα αυξάνεται μετά το πρώτο σπάσιμο, το οποίο αντιστοιχεί και σε ευρήματα προηγούμενων μελετών (Fuchs-Hanusch, 2012, Park, 2008 και Pelletier, 2003).

Η αποτελεσματικότητα του μοντέλου αυτού, δοκιμάστηκε χρησιμοποιώντας διαφορετικές στατιστικές μετρήσεις, επιλέγοντας τυχαία το 20% του συνόλου των δεδομένων και συγκρίνοντας τις παρατηρούμενες και προβλεπόμενες τιμές θραύσης των σωλήνων του νερού. Το μοντέλο στη συνέχεια συγκρίθηκε με το τυπικό μοντέλο αναλογικού κινδύνου Cox (Cox-PHM) και τα μοντέλα Poisson. Η προσέγγιση που εισήχθη από τους Kabir et al. (2016a) παρέχει ένα δυναμικό και προσαρμοζόμενο πλαίσιο για την πρόβλεψη των ποσοστών αστοχίας του κύριου νερού. Με την ενσωμάτωση νέων δεδομένων αστοχίας μόλις αυτά καθίστανται διαθέσιμα, το μοντέλο μπορεί να βελτιώνει συνεχώς τις

προβλέψεις του και να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του δικτύου διανομής νερού. Η χρήση της προσέγγισης μέσου όρου του μοντέλου Bayesian για την επιλογή σημαντικών παραμέτρων βοηθά στον εντοπισμό των πιο σχετικών παραγόντων που συμβάλλουν στις αστοχίες σωλήνων, ενώ η προσέγγιση BWPHM επιτρέπει τη μοντελοποίηση του χρόνου που έχει παρέλθει μεταξύ των συμβάντων αστοχίας. Οι παραγόμενες καμπύλες επιβίωσης παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τα διαφορετικά πρότυπα αστοχίας των σωλήνων από χυτοσίδηρο και όλκιμο σίδηρο, καθώς και την αυξημένη πιθανότητα θραύσης μετά την πρώτη αστοχία (Kabir, 2016).

Η σύγκριση του BWPHM με παραδοσιακά μοντέλα, όπως το μοντέλο αναλογικού κινδύνου Cox και τα μοντέλα Poisson, αποδεικνύει την αποτελεσματικότητά του στην πρόβλεψη αστοχιών του κύριου νερού. Ωστόσο, η μελέτη δεν παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τις συγκεκριμένες μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύγκριση αυτή ή την έκταση της βελτίωσης του BWPHM σε σχέση με αυτά τα μοντέλα. Ένας πιθανός περιορισμός της προσέγγισης ενημέρωσης του BWPHM είναι η εξάρτησή της από εκτεταμένα ιστορικά δεδομένα αποτυχίας. Η απόδοση του μοντέλου μπορεί να παρεμποδιστεί σε περιπτώσεις όπου τα δεδομένα αυτά είναι περιορισμένα ή κακής ποιότητας. Επιπλέον, η μελέτη επικεντρώνεται σε σωλήνες από χυτοσίδηρο και όλκιμο σίδηρο και μπορεί να χρειαστεί περαιτέρω έρευνα για την επικύρωση της δυνατότητας εφαρμογής του μοντέλου σε άλλα υλικά σωλήνων και διαφορετικές συνθήκες δικτύου (Kabir, 2016).

Από την ανάλυση των προηγμένων μοντέλων πρόβλεψης αστοχίας, όπως το μοντέλο Εξελικτικής Πολυωνυμικής Παλινδρόμησης (EPR) και Γενετικού Αλγορίθμου, το μοντέλο ομαδοποίησης EPR και K-means και το Bayesian Weibull Analogal Hazard Model (BWPHM) με μια προσέγγιση ενημέρωσης, προσφέρουν ισχυρά εργαλεία στις υπηρεσίες ύδρευσης για την προληπτική διαχείριση των δικτύων διανομής τους και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των αστοχιών των σωλήνων στην ομαλή λειτουργία του δικτύου. Αυτά τα μοντέλα αξιοποιούν δεδομένα παρελθόντων ετών, χαρακτηριστικά σωλήνων, περιβαλλοντικούς παράγοντες και εξελιγμένες τεχνικές στατιστικής και μηχανικής μάθησης για τον εντοπισμό μοτίβων και την πρόβλεψη μελλοντικών αποτυχιών. Λαμβάνοντας υπόψη τόσο στατικούς όσο και δυναμικούς παράγοντες, καθώς και ενσωματώνοντας νέα δεδομένα μόλις αυτά καθίστανται διαθέσιμα, τα τρία μοντέλα που περιγράφηκαν, μπορούν να παρέχουν ακριβείς προβλέψεις οι οποίες μπορούν να

προσαρμοστούν σε νέα δεδομένα, για την υποστήριξη της τεκμηριωμένης λήψης αποφάσεων στη διαχείριση περιουσιακών στοιχείων.

Από την άλλη πλευρά, είναι σημαντικό να αναγνωριστούν οι περιορισμοί και οι πιθανές προκλήσεις που σχετίζονται με αυτά τα μοντέλα, όπως η διαθεσιμότητα και η ποιότητα των δεδομένων, η πολυπλοκότητα του μοντέλου και η ανάγκη για συνεχή επικύρωση και βελτίωσή τους. Καθώς η έρευνα σε αυτόν τον τομέα εξελίσσεται, αναμένεται ότι τα μοντέλα πρόβλεψης αποτυχίας θα συνεχίσουν να εξελίσσονται, ενσωματώνοντας νέες πηγές δεδομένων, προηγμένες αναλύσεις και τεχνογνωσία στον τομέα για περαιτέρω βελτίωση της ακρίβειας και της πρακτικής εφαρμογής τους. Τελικά, η επιτυχής εφαρμογή προηγμένων μοντέλων πρόβλεψης βλαβών στη διαχείριση του δικτύου διανομής νερού απαιτεί στενή συνεργασία μεταξύ ερευνητών, επιχειρήσεων ύδρευσης και άλλων ενδιαφερόμενων με τελικό σκοπό να διασφαλιστεί ότι αυτά τα εργαλεία πρόβλεψης αστοχιών του δικτύου, αξιοποιούνται με τρόπο αποτελεσματικό για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των περιουσιακών στοιχείων, την ελαχιστοποίηση των διακοπών των υπηρεσιών και την προστασία της δημόσιας υγείας.

5. ΕΝΕΡΓΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΡΡΟΩΝ

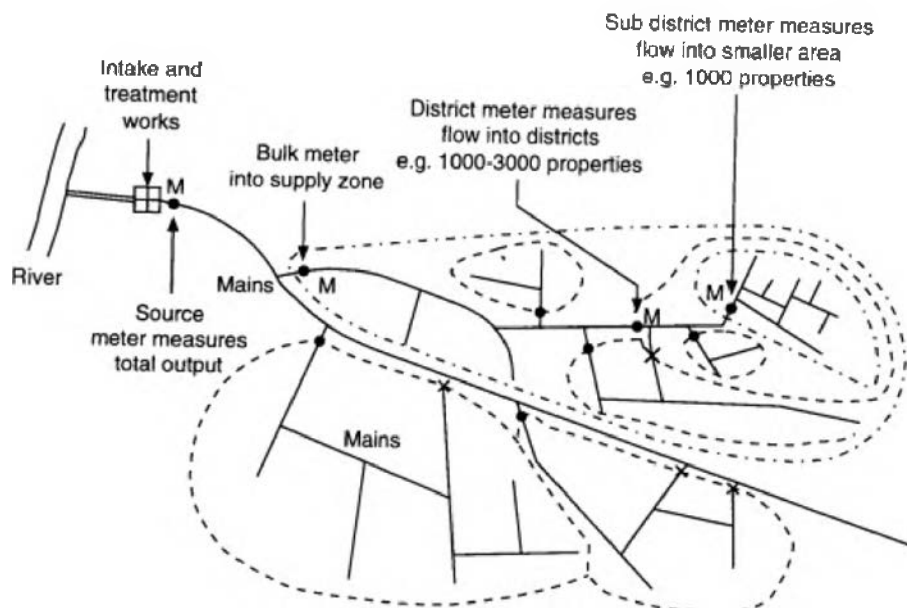
5.1 Μέθοδοι μέτρησης διαρροής ανά περιοχή

Η αποτελεσματική διαχείριση διαρροών στα δίκτυα διανομής νερού βασίζεται σε μια συστηματική προσέγγιση για τον ακριβή εντοπισμό, και την έγκαιρη επισκευή διαρροών. Μια κρίσιμη πτυχή αυτής της διαδικασίας είναι η διαίρεση του δικτύου σε διακριτές ζώνες, καθεμία από τις οποίες έχει καθορισμένο και μόνιμο όριο, επιτρέποντας την παρακολούθηση των νυχτερινών ροών και τον εντοπισμό μη αναφερόμενων εκρήξεων και διαρροών. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι τεχνικές και οι στρατηγικές που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση διαρροών σε διαφορετικές ζώνες, εστιάζοντας στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των District Meter Areas (DMAs), την επιλογή μεταξύ διαφορετικών τεχνικών εντοπισμού διαρροών και τις συγκεκριμένες προκλήσεις που σχετίζονται με την ανίχνευση διαρροών στο δίκτυο μετάδοσης (Perelman, 2015, Hajder, 2023).

5.1.1 Το ιεραρχικό σύστημα μέτρησης

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα μέτρησης ροής σε ένα δίκτυο διανομής νερού θα πρέπει να ενσωματώνει μετρήσεις σε πολλαπλά επίπεδα, σχηματίζοντας μια ιεραρχική δομή (Εικόνα

11). Αυτή η ιεραρχία αρχίζει με τη μέτρηση της παραγωγής στην πηγή ή στα έργα επεξεργασίας, ακολουθούμενη από μετρήσεις ροής ζώνης και περιοχής και ολοκληρώνεται με μεμονωμένους μετρητές καταναλωτών ή εκτιμήσεις κατανάλωσης. Με την κατανόηση και τη λειτουργία του συστήματος σε μικρότερες περιοχές, οι μηχανικοί μπορούν να επιτύχουν ακριβέστερη πρόβλεψη ζήτησης, διαχείριση διαρροών και έλεγχο.



Εικόνα 12. Σχηματική απεικόνιση του ιεραρχικού συστήματος μέτρησης (Πηγή: Farley, 2003)

Το ιεραρχικό σύστημα μέτρησης αποτελείται από τα ακόλουθα επίπεδα:

1. Μέτρηση της προσφοράς στην πηγή ή στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας
2. Μέτρηση της ροής σε ζώνες παροχής, με γεωγραφικά ή υδραυλικά όρια, που εξυπηρετούν συνήθως 10.000 - 50.000 ιδιοκτησίες
3. Παρακολούθηση ροής σε DMAs έως 3.000 ιδιοκτησιών, με μόνιμα κλειστές βαλβίδες
4. Μικρές περιοχές εντοπισμού διαρροών εντός κάθε DMA, που περιέχουν περίπου 500 – 1.000 συνδέσεις, όπου οι οριακές βαλβίδες παραμένουν ανοικτές εκτός από τη διάρκεια άσκησης θέσης διαρροής («δοκιμή βημάτων»)
5. Ατομικοί καταναλωτικοί μετρητές, οικιακοί και εμπορικοί (Farley, 2003).

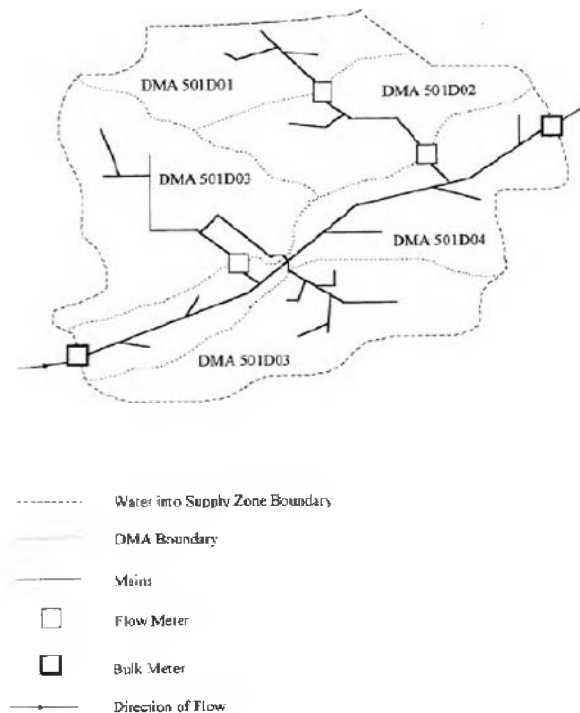
5.1.2 Παρακολούθηση διαρροών και η έννοια DMA

Η παρακολούθηση διαρροών θεωρείται ο σημαντικότερος παράγοντας που συμβάλλει στην οικονομικά αποδοτική και αποτελεσματική διαχείριση διαρροών. Περιλαμβάνει την εγκατάσταση μετρητών ροής σε στρατηγικά σημεία σε όλο το σύστημα διανομής, κάθε μετρητής καταγράφει τις ροές σε μια διακριτή περιοχή με καθορισμένο και μόνιμο όριο, γνωστό ως District Meter Area (DMA). Ο σχεδιασμός και η λειτουργία των DMAs έχουν περιγραφεί λεπτομερώς σε αρκετές μελέτες στη βιβλιογραφία (Nardo, 2013).

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος παρακολούθησης διαρροών έχει δύο πρωταρχικούς στόχους:

1. Διαίρεση του δικτύου διανομής σε ζώνες ή DMA με καθορισμένα και μόνιμα όρια, επιτρέποντας την τακτική παρακολούθηση των νυχτερινών ροών και τον εντοπισμό μη αναφερόμενων εκρήξεων και διαρροών.
2. Διαχείριση της πίεσης σε κάθε περιοχή ή ομάδα περιοχών, διασφαλίζοντας ότι το δίκτυο λειτουργεί στο βέλτιστο επίπεδο πίεσης (Nardo, 2013).

Ένα σύστημα παρακολούθησης διαρροών περιλαμβάνει έναν αριθμό περιοχών με μόνιμα εγκατεστημένους μετρητές ροής, μερικοί από τους οποίους μπορεί να ενσωματώνουν βαλβίδα μείωσης πίεσης (PRV – Pressure Release Valve). Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του δικτύου, μια DMA μπορεί να τροφοδοτείται μέσω μίας ή πολλαπλών τροφοδοσιών, να είναι διακριτή περιοχή χωρίς ροή σε παρακείμενες DMA ή να κλιμακώνεται σε παρακείμενη DMA (Εικόνα 13).



Εικόνα 13 Διαμόρφωση διαφόρων τύπων DMA εντός μιας ζώνης παροχής νερού (WIS) (Liemberger, 2005).

Οι μετρητές DMA μπορούν να συνδεθούν με έναν κεντρικό σταθμό ελέγχου μέσω τηλεμετρίας για την καταγραφή δεδομένων συνεχούς ροής. Ωστόσο, συνιστάται προσοχή κατά την εξέταση της τηλεμετρίας, καθώς το κόστος μπορεί γρήγορα να κλιμακωθεί και να υπερβεί την σχετική τιμή της απώλειας νερού. Η ανάλυση των καταγεγραμμένων δεδομένων, ιδιαίτερα των ρυθμών νυχτερινής ροής, καθορίζει εάν η κατανάλωση σε οποιοδήποτε DMA έχει σημειώσει προοδευτική αξιοσημείωτη πρόοδο και, υποδεικνύοντας έκρηξη ή μη ανιχνευμένη διαρροή (Khoa, 2020).

Διάφορες τεχνικές χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση διαρροών στο δίκτυο, όπως:

- Υποδιαίρεση DMA σε μικρότερες περιοχές με προσωρινό κλείσιμο βαλβίδων ή εγκατάσταση μετρητών
- Παραλλαγές της παραδοσιακής βαθμιδωτής δοκιμής
- Η χρήση εντοπισμών διαρροών (καταγραφικά θορύβου)
- Έρευνες με ηχητικές μεθόδους (Khoa, 2020)

5.1.3 Η επιλογή μεταξύ δοκιμής βημάτων και τοπικού εντοπισμού διαρροών

Η απόφαση ανίχνευσης διαρροών χρησιμοποιώντας δοκιμές βημάτων ή τοπικό εντοπισμό διαρροών εξαρτάται από το αν το δίκτυο υποστηρίζει τη διαδικασία δοκιμής βημάτων. Διάφοροι παράγοντες μπορεί να εμποδίσουν τη διεξαγωγή μιας δοκιμής βημάτων, όπως η ανάγκη για νυχτερινή εργασία, οι πολλαπλοί χειριστές, οι προειδοποιήσεις πελατών, τα πιθανά προβλήματα ποιότητας του νερού, οι εκρήξεις σε αδύναμους σωλήνες και η ταλαιπωρία των χρηστών τη νύχτα. Εάν αυτοί οι παράγοντες δημιουργούν πρόβλημα σε ένα συγκεκριμένο DMA, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος τοπικού εντοπισμού των διαρροών. Ωστόσο, οι δοκιμές βημάτων προσφέρουν πλεονεκτήματα, όπως άμεσα αποτελέσματα και δυνατότητα ταυτόχρονου εντοπισμού διαρροών. Η επιλογή της μεθόδου ανίχνευσης εξαρτάται τελικά από τη διαμόρφωση και τα χαρακτηριστικά κάθε DMA, τις προτιμήσεις του χειριστή και την πολιτική της εκάστοτε εταιρείας ύδρευσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μια τεχνική μπορεί να είναι πιο κατάλληλη ή συμφέρουσα, ενώ σε άλλες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά (Adedeji, 2017).

Η δοκιμή βημάτων περιλαμβάνει την προοδευτική απομόνωση των τμημάτων σωλήνων κλείνοντας βαλβίδες γραμμής, ξεκινώντας από τους σωλήνες που βρίσκονται πιο μακριά από το μετρητή και δουλεύοντας προς τον πλησιέστερο σωλήνα στο μετρητή. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής αυτής, εξετάζεται ο ρυθμός ροής μέσω του μετρητή και καταγράφονται οι χρόνοι απομόνωσης κάθε τμήματος του σωλήνα. Μια σημαντική μείωση της ροής, ή "βήμα" όπως αποκαλείται στη συγκεκριμένη μέθοδο, υποδεικνύει διαρροή στο τμήμα του σωλήνα που μόλις απομονώθηκε. Η διαδικασία δοκιμής βημάτων έχει εξελιχθεί από την αρχική τεκμηρίωσή της στην έκθεση "Πολιτική και πρακτική ελέγχου διαρροών". Οι περιοχές δοκιμής βημάτων, όπως εφαρμόζονται στα σύγχρονα δίκτυα νερού, είναι γενικά μικρότερες (500 - 1.000 ιδιοκτησίες) και συνήθως ενσωματώνονται σε μεγαλύτερες DMA, χρησιμοποιώντας το μετρητή DMA για την παρακολούθηση των ροών στο DMA και για τη διεξαγωγή δοκιμών βημάτων σε κάθε περιοχή (Puust, 2010).

Ο τοπικός εντοπισμός διαρροών ή η καταγραφή θορύβου έχει κερδίσει δημοτικότητα τα τελευταία χρόνια ως εναλλακτική λύση στις δοκιμές βημάτων. Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει την εγκατάσταση ενός συνόλου μικροφώνων, καθένα από τα οποία ενσωματώνει ένα καταγραφικό, σε μια ομάδα παρακείμενων εξαρτημάτων (συνήθως βαλβίδες ή κρουνοί). Οι καταγραφείς έχουν ρυθμιστεί να ενεργοποιούνται αυτόματα σε

προκαθορισμένο χρόνο, συνήθως για μια περίοδο δύο ωρών κατά τη νύχτα, για να καταγράψουν τον συνεχή θόρυβο που παράγεται από μια διαρροή, με βάση το θόρυβο που προκαλείται. Η ανάλυση των μετρήσεων γίνεται συγκρίνοντας το θόρυβο υποβάθρου και την ηχητική εξάπλωση όπως αυτή αναγράφεται σε κάθε καταγραφικό, υποδεικνύοντας εάν υπάρχει σταθερή ανωμαλία σε ένα ή περισσότερα εξαρτήματα που απαιτεί προσεκτικότερη επιθεώρηση. Η εγγύτητα σε μια διαρροή αντιπροσωπεύεται συνήθως από ένα υψηλό επίπεδο ντεσιμπέλ και μία στενή εξάπλωση θορύβου. Κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων των καταγραφικών, θα πρέπει να συγκρίνονται μεταξύ τους και όχι μεμονωμένα για να προσδιοριστεί η σημασία των αποτελεσμάτων από την ομάδα (Li, 2015).

Ο εντοπισμός διαρροών προσφέρει πλεονεκτήματα, αφού μπορεί να εφαρμοστεί σε πολυσύχναστες ή επικίνδυνες περιοχές, καθώς οι καταγραφείς τοποθετούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας και καταγράφουν αυτόματα τα επίπεδα θορύβου τη νύχτα. Ορισμένα συστήματα επιτρέπουν στους καταγραφείς να αξιολογούνται από ένα διερχόμενο όχημα εξοπλισμένο με μονάδα ελέγχου και δέκτη, διερευνώντας μόνο εκείνους τους καταγραφείς που δίνουν ένα προβληματικό σήμα. Διατίθενται επίσης "καταγραφικά συσχετισμού", τα οποία καταγράφουν τον ήχο διαρροής στη μνήμη του καταγραφικού και συσχετίζουν και εμφανίζουν θέσεις διαρροής μεταξύ των καταγραφών.

5.1.4 Διερεύνηση με βάση τον ήχο

Μια διερεύνηση με βάση τον ήχο, περιλαμβάνει τη συστηματική έρευνα ενός DMA, ακούγοντας για θορύβους διαρροής σε βαλβίδες, κρουνούς, βαλβίδες διακοπής ή στην επιφάνεια του εδάφους πάνω από το σωλήνα. Αυτή η έρευνα μπορεί να διεξαχθεί ως συνέχεια μιας ανίχνευσης διαρροών ή ως γενική έρευνα ολόκληρου του DMA. Ενώ ο γενικός ήχος μπορεί να είναι αναποτελεσματικός όσον αφορά την εστίαση σε περιοχές με διαρροές, παρέχει συστηματική εξέταση του DMA, όπως όταν τίθεται για πρώτη φορά σε λειτουργία DMA, και επιτρέπει τον εντοπισμό άλλων σφαλμάτων στα οποία δεν υπάρχουν διαρροές. Οι διερευνήσεις ήχου, διεξάγονται χρησιμοποιώντας διάφορους τύπους εξοπλισμού, συμπεριλαμβανομένων βασικών ακουστικών ραβδίων, ηλεκτρονικών ακουστικών ραβδίων, μικροφώνων γείωσης και συσχετιστών θορύβου διαρροής (σε λειτουργία έρευνας). Το βασικό ραβδί ήχου εξακολουθεί να προτιμάται ευρέως από τους επαγγελματίες και χρησιμοποιείται για γενικές έρευνες, ακούγοντας βαλβίδες και

κρουνοούς και επιβεβαιώνοντας τη θέση μιας διαρροής που βρέθηκε από άλλα όργανα (Wu, 2008).

5.1.5 Ανίχνευση διαρροών στους κύριους αγωγούς μεταφοράς

Οι αγωγοί μεταφοράς, που ορίζονται ως αγωγοί που μεταφέρουν νερό μεταξύ πηγών, έργων επεξεργασίας και δεξαμενών εξυπηρέτησης, ή μεγάλοι αγωγοί διανομής εκτός των ορίων μιας DMA, μπορούν να δημιουργήσουν συγκεκριμένες προκλήσεις για τον εντοπισμό διαρροών. Αυτά τα δίκτυα έχουν συχνά χαρακτηριστικά όπως χαμηλή πίεση, χαμηλή συχνότητα θορύβου, μεγάλη διάμετρο, μη μεταλλικά υλικά και σπάνια σημεία επαφής για ακουστική θέση, καθιστώντας τις διαρροές εμφανώς δύσκολο να εντοπιστούν. Για παράδειγμα, οι αγροτικοί αγωγοί αντιμετωπίζουν πρόσθετα μειονεκτήματα, όπως απομακρυσμένες τοποθεσίες, μεγάλες αποστάσεις, δύσκολο έδαφος και αναξιοπιστία στον ακριβή προσδιορισμό των θέσεων τους. Οι παραδοσιακές τεχνικές ανίχνευσης διαρροών και εντοπισμού μπορεί να είναι λιγότερο αποτελεσματικές σε αυτές τις περιπτώσεις, ωθώντας την ανάπτυξη εναλλακτικών τεχνολογιών (El-Zahab, 2019).

Μια έρευνα της παραδοσιακής και νέας τεχνολογίας για την ανίχνευση και τον εντοπισμό διαρροών στο δίκτυο μετάδοσης, που διεξήχθη για τη βιομηχανία νερού του Ηνωμένου Βασιλείου, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι πιο κοινές εναλλακτικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό διαρροών στους κύριους αγωγούς είναι τα ραντάρ διείσδυσης εδάφους (GPR – Ground Penetrating Radar) και ο εντοπισμός μέσω αερίου υδρογόνου. Ένας κατάλληλος συνδυασμός για ένα σύστημα ανίχνευσης διαρροών (ή εντοπισμού) και εντοπισμού είναι οι τοπικιστές GPR ή διαρροών για ανίχνευση και συσχέτιση ή τεχνολογία in-pipe για τοποθεσία (Charlton, 2001). Η θερμική απεικόνιση με τη χρήση αεροσκαφών ή ελικοπτέρων σταθερών πτερύγων θεωρείται δαπανηρή αλλά γρήγορη τεχνολογία για τη σάρωση αγροτικών δικτύων μετάδοσης νερού, ωστόσο είναι δυνητικά οικονομικά αποδοτική σε ακραίες ή μεμονωμένες καταστάσεις (Parida, 2013). Οι νέες τεχνολογίες που δοκιμάζονται και αναπτύσσονται περαιτέρω περιλαμβάνουν τεχνολογία ραντάρ για την ανίχνευση δονήσεων διαρροής, υδρόφωνα χρησιμοποιώντας αρχές σόναρ και ακουστικής συμπεριφοράς του ήχου στο νερό και δορυφορική απεικόνιση, όπου υπάρχει διαθεσιμότητα εικόνων κατάλληλης ανάλυσης (Bakhtawar, 2021).

Συμπερασματικά, φαίνεται ότι η ανίχνευση διαρροών σε διαφορετικές ζώνες ενός δικτύου διανομής νερού αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο της αποτελεσματικής διαχείρισης του συνόλου των διαρροών. Με τη δημιουργία ενός ιεραρχικού συστήματος μέτρησης και τη διαίρεση του δικτύου σε περιοχές περιφερειακών μετρητών (DMA), οι επιχειρήσεις ύδρευσης μπορούν να παρακολουθούν τις νυχτερινές ροές και να εντοπίζουν πιο αποτελεσματικά τις μη αναφερόμενες εκρήξεις και διαρροές. Διάφορες τεχνικές ανίχνευσης διαρροών, όπως δοκιμές βημάτων, εντοπισμός διαρροών και οι μέθοδοι διερεύνησης με βάση τον ήχο, προσφέρουν διαφορετικά πλεονεκτήματα και μπορούν να επιλεγούν με βάση τα ειδικά χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις κάθε DMA. Η επιλογή μεταξύ δοκιμής βημάτων και τοπικού εντοπισμού διαρροών εξαρτάται από παράγοντες όπως η υποστήριξη δικτύου για δοκιμές βημάτων, οι προτιμήσεις χειριστή και η πολιτική της εταιρείας ύδρευσης.

Το δίκτυο μετάδοσης παρουσιάζει μοναδικές προκλήσεις για την ανίχνευση διαρροών και τον εντοπισμό λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους, όπως χαμηλή πίεση, χαμηλή συχνότητα θορύβου, μεγάλη διάμετρος, μη μεταλλικά υλικά και σπάνια σημεία επαφής. Εναλλακτικές τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένου του εντοπισμού διαρροών, του ραντάρ που διεισδύει στο έδαφος, του εντοπισμού αερίου υδρογόνου, της θερμικής απεικόνισης και των αναδιδόμενων τεχνολογιών όπως το ραντάρ, τα υδρόφωνα και η δορυφορική απεικόνιση, χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων. Η αποτελεσματική ανίχνευση διαρροών σε διαφορετικές ζώνες απαιτεί συνδυασμό παραδοσιακών και καινοτόμων τεχνικών, προσαρμοσμένων στις ιδιαίτερες ανάγκες και τα χαρακτηριστικά κάθε περιοχής. Με τη συνεχή βελτίωση και προσαρμογή αυτών των στρατηγικών, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας νερού μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τις απώλειες νερού, να βελτιώσουν την αποδοτικότητα του δικτύου και να εξασφαλίσουν αξιόπιστη παροχή νερού στα δίκτυα που διαχειρίζονται.

5.2 Μέθοδοι διαχείρισης της πίεσης

Η διαχείριση της πίεσης είναι μια σημαντική παράμετρος στο συνολικό έλεγχο του ελέγχου των βλαβών και της αποτελεσματικής λειτουργίας των δικτύων διανομής νερού. Περιλαμβάνει τη βελτιστοποίηση των πιέσεων σε όλο το σύστημα, από την πηγή έως τη βρύση, για την ελαχιστοποίηση των απωλειών νερού, τη μείωση της συχνότητας των εκρήξεων σωλήνων και τη βελτίωση της συνολικής εξυπηρέτησης των πελατών. Η διαχείριση της πίεσης θα πρέπει να αποτελεί αναπόσπαστο μέρος μιας μακροπρόθεσμης

στρατηγικής για τις επιχειρήσεις ύδρευσης, λαμβάνοντας υπόψη ολόκληρο το σύστημα ύδρευσης και διανομής, και όχι μεμονωμένα υπό-συστήματα, τα οποία διαχειρίζονται ένα μικρό ποσοστό του συστήματος, ακόμη και αν αυτό το τμήμα είναι αυτό με τη μεγαλύτερη αναλογία προσφοράς/ζήτησης (Vicente, 2016).

5.2.1 Προσεγγίσεις Διαχείρισης της Πίεσης του συστήματος διανομής

Διάφορες τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποτελεσματική διαχείριση της πίεσης στα δίκτυα διανομής νερού οι οποίες περιγράφονται στις παρακάτω παραγράφους:

- **Εγκατάσταση βαλβίδων μείωσης πίεσης (PRV – Pressure Release Valves):** Τα PRV έχουν σχεδιαστεί για να δημιουργούν απώλεια κεφαλής που μειώνει την πίεση στην πλευρά εξόδου. Υπάρχουν διάφοροι τύποι PRV, συμπεριλαμβανομένων βαλβίδων που ενεργοποιούνται με διάφραγμα τύπου σφαίρας, βαλβίδων διαφράγματος κύλισης, βαλβίδων ελατηρίου άμεσης δράσης, βαλβίδων φορτίου βάρους και ηλεκτρικά ελεγχόμενων βαλβίδων. Η επιλογή της βαλβίδας εξαρτάται από τη λειτουργία της στο δίκτυο, καθώς και με την υπάρχουσα υποδομή του δικτύου, με τις βαλβίδες διαφράγματος να είναι δημοφιλείς για χρήση σε συνδυασμό με την περιφερειακή μέτρηση (Prescott, 2008).
- **Εισαγωγή δεξαμενών θραύσης:** Οι δεξαμενές θραύσης μπορούν να εγκατασταθούν σε έναν κύριο για να σπάσουν την υδραυλική κλίση σε ένα σημείο που είναι αποδοτικό για τη διαδικασία επίβλεψης του δικτύου και να ρίξουν την πίεση στην ατμοσφαιρική. Αυτή η μέθοδος είναι αξιόπιστη για τον έλεγχο της πίεσης σε μεγάλα μήκη του κύριου αγωγού, ακόμη και αν το έδαφος είναι ανώμαλο. Όπου απαιτείται αποθήκευση, μια δεξαμενή παροχής μπορεί να έχει το ίδιο αποτέλεσμα (Van Rhyn, 2015).
- **Επανατοποθέτηση ζωνών (Rezoning):** Με την εγκατάσταση δικτύων σύνδεσης και βαλβίδων γραμμής, είναι δυνατή η τροφοδοσία περιοχών με διαφορετικούς τρόπους, επιτρέποντας τη μεταφορά περιοχών σε παρακείμενα συστήματα χαμηλότερης πίεσης ή σε παροχή υψηλότερης πίεσης για να καταστεί δυνατή η μείωση της πίεσης στην υπόλοιπη περιοχή (Gungor, 2019).
- **Κύριος έλεγχος κορμού:** Η εγκατάσταση PRV ή ηλεκτρικά ελεγχόμενων βαλβίδων στους κύριους αγωγούς, μπορεί να ελέγξει τις πιέσεις σε μια ευρεία περιοχή τροφοδοσίας. Αν και οι μειώσεις πίεσης είναι συνήθως σχετικά μικρές τη

νύχτα, τα οφέλη είναι υψηλά σε σύγκριση με το τοπικό κόστος λόγω της μεγάλης περιοχής που καλύπτεται.

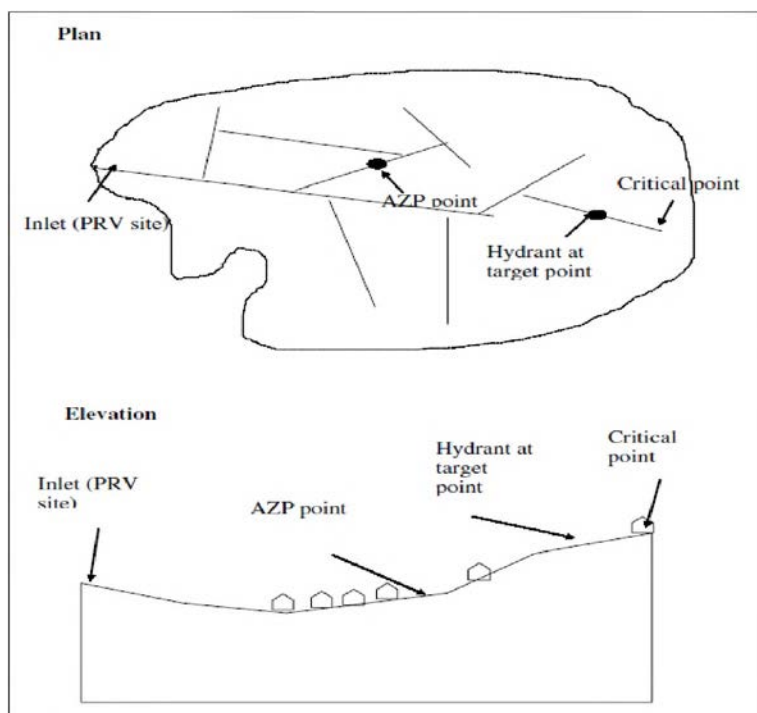
- **Συνδυασμός ενισχυτή και PRV:** Σε περιοχές με υψηλό υψόμετρο, οι εγκαταστάσεις άντλησης σε σειρά μπορούν να αυξήσουν την πίεση σε μια μικρή περιοχή, επιτρέποντας τη μείωση της πίεσης στην υπόλοιπη περιοχή χαμηλότερου υψόμετρου. Το κόστος άντλησης στη μικρή περιοχή αντισταθμίζεται από την εξοικονόμηση από μειωμένα ποσοστά διαρροών και βλαβών στο δίκτυο στη μεγαλύτερη αυτή περιοχή (Prescott, 2008).
- **Έλεγχος αντλίας:** Τα χειριστήρια αργής εκκίνησης και οι βαλβίδες εκτόνωσης πίεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σύνολα άντλησης για την αποφυγή υπερτάσεων πίεσης. Οι αντλίες μεταβλητής ταχύτητας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την πρόληψη της υπερβολικής πίεσης καθώς μειώνεται η ζήτηση (Page, 2017).
- **Έλεγχος εισόδου και εξόδου δεξαμενής:** Οι βαλβίδες στις δεξαμενές εισόδου προς εξυπηρέτηση μπορούν να ελέγξουν τη ροή σε σχέση με το συνολικό απόθεμα νερού, ενώ οι βαλβίδες ελέγχου εξόδου μπορούν να κάνουν μικρές μειώσεις πίεσης που έχουν επίδραση σε μια μεγάλη περιοχή (Page, 2017).
- **Συνοικίες ημέρας/νύχτας:** Σε σύνθετα αστικά δίκτυα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρικά ελεγχόμενες βαλβίδες προκειμένου να κλείσουν τις συνδέσεις τη νύχτα, επιτρέποντας την κάλυψη της ζήτησης κατά τη διάρκεια της ημέρας χωρίς υπερβολική απώλεια κεφαλής, μειώνοντας παράλληλα τη διαρροή κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ζήτησης (Novarini, 2019).

5.2.2 Σχεδιασμός Συστημάτων Διαχείρισης Πίεσης

Κατά τον σχεδιασμό συστημάτων διαχείρισης πίεσης, είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος της περιοχής που καλύπτεται από το σύστημα και ο λόγος της τρέχουσας πίεσης προς την προτεινόμενη πίεση. Θα πρέπει επίσης να αξιολογηθούν τα τρέχοντα επίπεδα διαρροών που προέρχονται από αστοχίες/εκρήξεις σωλήνων, προκειμένου να καθοριστεί εάν θα πρέπει να μειωθεί πριν αξιολογηθεί το πραγματικό όφελος του συστήματος (Novarini, 2019).

Οι περιοχές διαχείρισης πίεσης (PMA – Pressure Management Areas) έχουν σχεδιαστεί για τη βελτιστοποίηση των πιέσεων εντός μιας καθορισμένης ζώνης (Εικόνα 14). Τα βασικά σημεία παρακολούθησης σε ένα PMA περιλαμβάνουν την είσοδο (τόσο ανάντη όσο και

κατάντη της βαλβίδας μείωσης πίεσης, εάν υπάρχει), το μέσο σημείο ζώνης (AZP – Average Zone Point) και σημαντικότερα σημεία ή σημεία-στόχους. Το AZP αντιπροσωπεύει τη μέση πίεση στο σύστημα και προσδιορίζεται εκτιμώντας το μέσο ύψος ιδιοκτησίας (APH) με βάση τα υψόμετρα της ιδιότητας (Πίνακας 1). Τα πιο κρίσιμα σημεία είναι οι τοποθεσίες που θα μείνουν πρώτες χωρίς νερό, στην περίπτωση που μειωθεί η πίεση, όπως είναι για παράδειγμα τα σημεία σε μεγάλο υψόμετρο, απομακρυσμένες περιοχές ή εκείνες που τροφοδοτούν πελάτες με υψηλές απαιτήσεις παροχής. Όλα τα κρίσιμα σημεία θα πρέπει να καταγράφονται ή να ερευνώνται αρχικά και το πιο κρίσιμο σημείο χρησιμοποιείται ως σημείο στόχος για τον προσδιορισμό του μέγιστου βαθμού μείωσης της πίεσης (Novarini, 2019).



Εικόνα 14. Σχηματική αναπαράσταση μιας περιοχής στην οποία εφαρμόζεται διαχείριση της πίεσης στο δίκτυο του νερού (Πηγή: Novarini, 2010)

Πίνακας 1. Κατανομή του εύρους της στάθμης του εδάφους και των αντίστοιχων ιδιοτήτων σε μία περιοχή μελέτη

Περίγραμμα επιπέδου εδάφους (m)	Εύρος στάθμης εδάφους (m)	Ποσοστό ιδιοτήτων	Αριθμός Ιδιοτήτων	Μέτρα ιδιοκτησίας
35	32.5–37.5	20	1000	35 000
40	37.5–42.5	25	1250	50 000
45	42.5–47.5	10	500	22 500
50	47.5–52.5	40	2000	100 000
55	52.5–57.5	5	250	13 750
Total		100	5000	221 250
Average				44.25m

5.2.3 Λειτουργία βαλβίδων μείωσης πίεσης (PRV)

Οι αυτόματες βαλβίδες ελέγχου, ιδιαίτερα οι PRV, είναι απαραίτητες για την αποτελεσματική διαχείριση της πίεσης. Εκτός από τη μείωση της πίεσης, οι βαλβίδες ελέγχου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη ρύθμιση των ροών σε δεξαμενές, τον έλεγχο της λειτουργίας της αντλίας, τη διατήρηση των ανάντη πιέσεων και τον έλεγχο των ρυθμών ροής σε βιομηχανικές παροχές. Κατά την επιλογή PRV, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως η αξιοπιστία, η ποιότητα, η καταλληλότητα, το προσδόκιμο ζωής, οι απαιτήσεις συντήρησης, η τυποποίηση και η υποστήριξη του κατασκευαστή. Η επιλογή του μεγέθους της βαλβίδας είναι συχνά ένας συμβιβασμός μεταξύ της προσαρμογής των μέγιστων ρυθμών ροής και της διατήρησης σταθερής πίεσης εξόδου σε χαμηλές ροές. Οι κατασκευαστές παρέχουν λογισμικό για να βοηθήσουν στην επιλογή βαλβίδων, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως οι μέγιστοι και ελάχιστοι ρυθμοί ροής, ο λόγος πίεσης εισόδου προς έξοδο, η αποδεκτή απώλεια κεφαλής στη μέγιστη ροή, το κύριο μέγεθος και το μέγεθος του μετρητή (Brentan, 2018).

Τα PRV τύπου διαφράγματος χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μείωση της πίεσης σε συνδυασμό με την υδρομέτρηση. Μπορούν να είναι βαλβίδες σταθερής αναλογίας, οι οποίες διατηρούν σταθερή αναλογία πίεσης εξόδου προς είσοδο ή σταθερές βαλβίδες εξόδου και ταυτόχρονα χρησιμοποιούν πιλοτικές ρυθμίσεις για τη διατήρηση μιας καθορισμένης πίεσης εξόδου ανεξάρτητα από τον ρυθμό ροής ή τις διακυμάνσεις της πίεσης εισόδου. Χρησιμοποιούνται αμφίδρομες και τριοδικές πιλοτικές ρυθμίσεις ανάλογα με την απαιτούμενη απώλεια κεφαλής κατά μήκος της βαλβίδας. Η θέση σε λειτουργία PRV περιλαμβάνει μια συστηματική διαδικασία εγκατάστασης καταγραφικών δεδομένων,

πλήρους ανοίγματος της βαλβίδας, ανίχνευσης και επισκευής διαρροών και σταδιακής μείωσης της πίεσης σταδιακά, ενώ παρακολουθεί τις κλήσεις των πελατών και τις διορθωτικές ενέργειες. Η πίεση στόχου στο κρίσιμο σημείο είναι συνήθως 30 m σε ώρες αιχμής, με ελάχιστο 15 m σε οποιαδήποτε ιδιότητα. Οι μειώσεις πίεσης θα πρέπει να γίνονται σταδιακά σε διάστημα αρκετών ημερών, με παρακολούθηση και επίλυση ζητημάτων μεταξύ κάθε σταδίου (Wright, 2015).

Πιθανά προβλήματα με PRV περιλαμβάνουν βλάβη βαλβίδας λόγω μπλοκαρίσματος ή δυσλειτουργιών στις σωληνώσεις του πιλότου, διάσπαση διαφράγματος και αστάθεια. Συνιστάται τακτική συντήρηση, όπως επιθεώρηση και καθαρισμός φίλτρων και πιλότων, αλλαγή σφραγίδων και διαφραγμάτων, σε διαστήματα που κυμαίνονται από 6 μήνες έως 2 χρόνια. Οι βαλβίδες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ομάδες υψηλού και χαμηλού κινδύνου, με συχνότερη συντήρηση να εκτελείται σε εκείνες που είναι πιο πιθανό να αποτύχουν ή με σημαντικό αντίκτυπο στις προμήθειες των πελατών. Η παρακολούθηση της λειτουργίας των βαλβίδων είναι ζωτικής σημασίας, ακόμη και με ένα πρόγραμμα συντήρησης. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω τακτικών επιτόπιων επισκέψεων για τον έλεγχο των ρυθμίσεων του μετρητή εξόδου, της καταγραφής διαστημάτων, της συνεχούς καταγραφής ή της εγκατάστασης τηλεμετρίας, ανάλογα με το κόστος και τον κίνδυνο (Wright, 2015).

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η διαχείριση της πίεσης αποτελεί ζωτικό στοιχείο του ελέγχου των διαρροών και της αποτελεσματικής λειτουργίας του δικτύου διανομής νερού. Η αποτελεσματική διαχείριση πίεσης περιλαμβάνει έναν συνδυασμό τεχνικών, συμπεριλαμβανομένης της εγκατάστασης PRV, δεξαμενών θραύσης, επαναπροσδιορισμού ζωνών, κύριου ελέγχου κορμού, συνδυασμένων συστημάτων ενίσχυσης και PRV, ελέγχου αντλίας και ελέγχου εισόδου και εξόδου δεξαμενής. Ο σχεδιασμός συστημάτων διαχείρισης πίεσης απαιτεί προσεκτική εξέταση της καλυπτόμενης περιοχής, των λόγων πίεσης και των σημερινών επιπέδων διαρροής. Οι PRV διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στη διαχείριση της πίεσης και η επιλογή, το μέγεθος, η θέση σε λειτουργία και η συντήρησή τους είναι κρίσιμες για την επιτυχία. Μια συστηματική προσέγγιση στη θέση σε λειτουργία, που περιλαμβάνει σταδιακές μειώσεις πίεσης και παρακολούθηση, βοηθά στη διασφάλιση της ομαλής μετάβασης στις βέλτιστες πιέσεις (Vicente, 2016).

Η τακτική συντήρηση και παρακολούθηση των PRV είναι απαραίτητη για την πρόληψη αστοχιών και τη διασφάλιση σταθερής απόδοσης. Κατηγοριοποιώντας τις βαλβίδες με

βάση τον κίνδυνο και τις επιπτώσεις, οι επιχειρήσεις ύδρευσης μπορούν να δώσουν προτεραιότητα στις προσπάθειες συντήρησης και να ελαχιστοποιήσουν τις διαταραχές στην παροχή νερού προς τους πελάτες. Τελικά, η αποτελεσματική διαχείριση της πίεσης απαιτεί συλλογική προσπάθεια με τη συμμετοχή όλου του προσωπικού που εργάζεται στο σύστημα διανομής νερού. Με την ενσωμάτωση της βελτιστοποίησης της πίεσης σε όλες τις πτυχές της λειτουργίας, της συντήρησης, της αποκατάστασης και της επέκτασης του δικτύου, οι επιχειρήσεις ύδρευσης μπορούν να επιτύχουν σημαντικά οφέλη όσον αφορά τη μείωση των διαρροών, τη βελτιωμένη διαχείριση περιουσιακών στοιχείων και την αυξημένη ικανοποίηση των πελατών (Vicente, 2016).

6. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΩΛΗΝΩΝ

Οι σωλήνες εξυπηρέτησης, οι οποίοι συνδέουν το δίκτυο διανομής νερού με μεμονωμένες ιδιοκτησίες, είναι επιρρεπείς σε διάφορους τύπους διαρροών και ζημιών. Η αποδοτική και αποτελεσματική επισκευή αυτών των ζητημάτων είναι ιδιαίτερα σημαντικοί για τη διατήρηση της ακεραιότητας του συστήματος ύδρευσης, την ελαχιστοποίηση των απωλειών νερού και την εξασφάλιση αξιόπιστης παροχής στους καταναλωτές. Σε αυτό το κεφάλαιο διερευνώνται οι πιο συχνοί τύποι βλαβών που συναντώνται στους κύριους σωλήνες εξυπηρέτησης και τις τεχνικές επισκευής που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπισή τους (Puust, 2010).

Οι βασικότεροι τύποι βλαβών διαρροών είναι οι εξής:

- **Διαχωρισμοί:** Υλικά όπως ο χάλυβας και το PVC μπορεί να παρουσιάσουν οριζόντιες σχισμές, συνήθως λόγω υπερβολικής πίεσης, ελαττωμάτων στο τοίχωμα του σωλήνα ή εξωτερικών ζημιών. Σε συστήματα όπου επικρατούν οι σωληνώσεις από PVC οι οποίες έχουν υποστεί συγκόλληση με κάποιο διαλύτη, οι διαχωρισμοί μπορούν να επεκταθούν μέσω αρμών και να υπάρχουν για αρκετά μέτρα (Rajani, 2001).
- **Ρωγμές δακτυλίου:** Τα κάθετα κατάγματα δακτυλίου είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος αστοχίας σε σωλήνες από χυτοσίδηρο, ιδιαίτερα σε περιστρεφόμενους σιδερένιους σωλήνες με σχετικά λεπτά τοιχώματα και χαμηλή αντοχή δέσμης. Οι σωλήνες μικρότερης διαμέτρου είναι πιο ευαίσθητοι σε ρωγμές δακτυλίου σε σύγκριση με τους μεγαλύτερους (Andreou, 1986).

- **Οπές διάβρωσης:** Όλα τα μεταλλικά συστήματα είναι ευάλωτα στη διάβρωση, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται οπές διάβρωσης. Σε χαλύβδινους αγωγούς, η αρχική πρόσκρουση μπορεί να δημιουργήσει μία οπή μικρής διαμέτρου, ενώ σε σωλήνες από χυτοσίδηρο, τα τοιχώματα των σωληνώσεων γραφίτοποιούνται και ένα κομμάτι του τοιχώματος του σωλήνα μπορεί να εκτοξευθεί όταν βρεθεί υπό πίεση (Jara-Arriagada, 2024).
- **Ζημιά Περιβλήματος:** Το σημείο σύνδεσης μεταξύ των δευτερευόντων και του κύριου είναι ένα κοινό σημείο αστοχίας. Επίσης, τυχόν κίνηση του κύριου σωλήνα μπορεί να προκαλέσει ζημιά και να αυξήσει την πιθανότητα διάβρωσης.
- **Διαρροές αρμών:** Ακόμη και σε νέα συστήματα σωληνώσεων, οι αρμοί είναι μια κοινή πηγή διαρροής. Για το λόγο αυτό θα πρέπει πάντα να διεξάγονται δοκιμές πίεσης νέων αγωγών, συμπεριλαμβανομένων των αγωγών μικρής διαμέτρου, για τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση διαρροών στους αρμούς (Saegrov, 1999).
- **Διαρροές στα εξαρτήματα:** Τα εξαρτήματα δικτύου που βασίζονται σε μηχανικούς αρμούς, όπως για παράδειγμα οι πυροσβεστικοί κρουνοί, οι βαλβίδες γραμμής, οι βαλβίδες αέρα και οι σύνδεσμοι με φλάντζες, αποτελούν πιθανές πηγές διαρροής (Misztal-Kruk, 2014).

6.1 Εντοπισμός των βλαβών στις σωληνώσεις

Ο εντοπισμός της ακριβούς θέσης της βλάβης στις σωληνώσεις είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική συντήρηση και επέκταση του δικτύου διανομής νερού. Οι αλλαγές στην κατεύθυνση του σωλήνα, όπως στροφές και διασταυρώσεις σε σχήμα T, θα πρέπει να επισημαίνονται με δείκτες σωλήνων για να διευκολύνεται ο εύκολος εντοπισμός. Τα κιβώτια βαλβίδων και οι κρουνοί μπορούν επίσης να χρησιμεύσουν ως χρήσιμοι δείκτες για τη θέση των σωλήνων. Επιπλέον, τα σχέδια όπως κατασκευάστηκαν θα πρέπει να παρέχουν ακριβείς πληροφορίες σχετικά με τη θέση των σωλήνων και άλλων εξαρτημάτων. Ωστόσο, όταν οι παραπάνω μέθοδοι δεν είναι διαθέσιμες ή ανεπαρκείς, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξειδικευμένες τεχνικές εντοπισμού σωλήνων για την αποφυγή περιττών εκσκαφών (Van Zyl, 2014). Αυτές οι τεχνικές περιλαμβάνουν:

- Ηλεκτρομαγνητικούς ανιχνευτές μετάλλων για τον εντοπισμό χαλύβδινων σωλήνων, μερικές φορές προκαλώντας ένα σήμα στο σωλήνα από μια βαλβίδα ή

κρουνό που μπορεί να ληφθεί από έναν αισθητήρα ο οποίος βρίσκεται πάνω από το έδαφος.

- Ραντάρ διείσδυσης εδάφους, μέθοδοι ηχητικών κυμάτων και υπέρυθρη θερμογραφία.
- Εκσκαφή κατά μήκος της γραμμής του σωλήνα, εάν άλλες τεχνικές δεν είναι διαθέσιμες ή αποτυγχάνουν. Πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε να αποφευχθεί η καταστροφή του σωλήνα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκσκαφής (Li, 2015).

Η ενεργή ανίχνευση διαρροών εξίσου σημαντική διαδικασία με σκοπό την ελαχιστοποίηση των απωλειών νερού και την πρόληψη ζημιών στο δίκτυο σωλήνων. Διάφορες τεχνικές είναι διαθέσιμες για τον εντοπισμό διαρροών και η επιλογή κάποιας από αυτές τις μεθόδους εξαρτάται από παράγοντες όπως το υλικό του σωλήνα, η διάμετρος και η παρουσία συνδέσεων παροχών.

Οι κύριες τεχνικές περιλαμβάνουν:

- Έγχυση αερίου: Ένας ανιχνευτής αερίου χρησιμοποιείται για να βρει την παρουσία ενός αερίου ιχνηθέτη (π.χ. υδρογόνο ή ήλιο) που έχει εγχυθεί σε έναν άδειο σωλήνα. Ένας ανιχνευτής χρησιμοποιείται κατά μήκος της διαδρομής του αγωγού για την ανίχνευση αερίου που απελευθερώνεται μέσω διαρροών.
- Χειροκίνητο ακουστικό ραβδί: Ένα στηθοσκόπιο ή ένα ραβδί ακρόασης με ακουστικό πιέζεται στα εξαρτήματα για να ακούσει για κοντινές διαρροές στο σωλήνα.
- Συσχέτιση θορύβου διαρροής: Οι συσχετιστές θορύβου συγκρίνουν τον θόρυβο που ανιχνεύεται σε δύο διαφορετικά σημεία του αγωγού για να εκτιμήσουν τη θέση της διαρροής. Χρησιμοποιούνται δύο τύποι αισθητήρων:
 - Επιταχυνσιόμετρα, τα οποία είναι περισσότερο αποτελεσματικά σε μεταλλικούς σωλήνες.
 - Υδρόφωνα τα οποία είναι περισσότερο κατάλληλα για πλαστικούς σωλήνες και σωλήνες μεγάλης διαμέτρου, οι οποίοι έρχονται σε επαφή με το νερό. Σε αυτή την περίπτωση τα υδρόφωνα τοποθετούνται σε κρουνοί (Li, 2015).
- Τεχνικές ανίχνευσης σε σειρά: Κατάλληλες για αγωγούς μεγάλης διαμέτρου, αυτές οι τεχνικές περιλαμβάνουν την τοποθέτηση ανιχνευτών στο σωλήνα για να ανιχνεύσουν τους θορύβους διαρροής καθώς περνούν. Υπάρχουν στο εμπόριο

συστήματα ανίχνευσης σε σειρά τα οποία είτε προσδένονται σε κάποιο σημείο των σωληνώσεων, είτε κυκλοφορούν ελεύθερα στο νερό (El-Zahab, 2019).

- Καταγραφικά θορύβου διαρροής: Τοποθετημένες σε ειδικά εξαρτήματα, αυτές οι συσκευές συλλέγουν το θόρυβο που δημιουργείται από κάποια διαρροή στο σωλήνα (Hunaidi, 2000).

6.2 Τεχνικές επιδιόρθωσης βλαβών στις σωληνώσεις

Η διαδικασία επισκευής ενός σωλήνα διαρροής περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. Εντοπισμός της βλάβης με χρήση εξωτερικής σήμανσης ή εξειδικευμένου εξοπλισμού ανίχνευσης διαρροών.
2. Απομόνωση της διαρροής κλείνοντας τις βαλβίδες απομόνωσης και επισημαίνοντάς τις με ξεκάθαρο τρόπο.
3. Εξασφάλιση ασφαλούς χώρου εργασίας με τη χρήση κατάλληλων πινακίδων, φραγμάτων και μέτρων εκτροπής της κυκλοφορίας.
4. Εκσκαφή του τμήματος του σωλήνα όπου υπάρχει το πρόβλημα, διασφαλίζοντας παράλληλα την ασφάλεια των εργαζομένων και αποφεύγοντας περαιτέρω ζημιές στο σωλήνα.
5. Αποστράγγιση νερού από την τάφρο χρησιμοποιώντας αντλία εξαγωγής ικανή να χειρίζεται λάσπη.
6. Επισκευή του σωλήνα που εμφανίζεται το πρόβλημα εφαρμόζοντας κατάλληλη μέθοδο ανάλογα με το μέγεθος της διαρροής: α. Μικρές διαρροές: Τοποθέτηση ενός σφικτήρα επισκευής πάνω από τη διαρροή ή συγκόλληση της διαρροής κλειστή (για χαλύβδινους σωλήνες). β. Εκτεταμένες διαρροές: κοπή του κατεστραμμένου τμήματος και τοποθέτηση ενός νέου τμήματος σωλήνα χρησιμοποιώντας κατάλληλους συνδέσμους (π.χ. PVC με ειδικά εξαρτήματα για σύνδεση με άλλα υλικά σωλήνων). γ. Εκτεταμένη ζημιιά ή κακή κατάσταση σωλήνων: Αντικατάσταση του σωλήνα στο συνολικό του μήκος.
7. Καθαρισμός και απολύμανση εκτεθειμένων και νέων τμημάτων σωλήνων, φροντίζοντας για την απομάκρυνση τυχόν στερεών που τυχόν εισήλθαν κατά την επισκευή.
8. Επαναφορά όλων των βαλβίδων στην επιθυμητή κατάσταση.
9. Ξέπλυμα του τμήματος επισκευής, χρησιμοποιώντας έναν κρουνό για να αφαιρεθούν τυχόν ρύποι και στερεά.

10. Επιθεώρηση των επισκευών για διαρροές όταν το τμήμα είναι υπό πίεση.
11. Αποκατάσταση της στρωμνής σωλήνων αλλά και της επίχωσης χρησιμοποιώντας κατάλληλες μεθόδους και τα υλικά τοποθέτησης και συμπίεσης.
12. Αποκατάσταση και καθαρισμός του χώρου εκσκαφής.
13. Συμπλήρωση έκθεσης επισκευής σωλήνων, συμπεριλαμβανομένης ανάλυσης της πιθανής αιτίας της βλάβης και ασφαλής αποθήκευση της αναφοράς για μελλοντική αναφορά.

Οι ενώσεις επισκευής (collars) τοποθετούνται γύρω από το σωλήνα χωρίς να κόβονται σε αυτόν. Διατίθενται σε χυτοσίδηρο ή όλκιμο σίδηρο με ελαστικές σφραγίδες σε κάθε άκρο και μερικές φορές κατά διαστήματα κατά μήκος τους. Οι ενώσεις αυτές, αποτελούνται από δύο μισά που βιδώνονται μαζί για να σχηματίσουν μια σφράγιση γύρω από το εξωτερικό του σωλήνα. Διατίθενται επίσης εύκαμπτες ενώσεις επισκευής από ανοξείδωτο χάλυβα με πρόσθετα λαστιχένια φύλλα, επιτρέποντας με τον τρόπο αυτό, μεγαλύτερη διακύμανση στη διάμετρο του σωλήνα. Οι ενώσεις επισκευής είναι κατάλληλες για την επισκευή διαρροών οπών και κάθετων ρωγμών, σε περιπτώσεις στις οποίες τα άκρα του σωλήνα παραμένουν ευθυγραμμισμένα και δεν υπάρχει ζημιά στους πλησιέστερους ανάντη και κατόντη αρμούς. Επίσης, διαθέσιμοι είναι και ειδικοί τύποι ενώσεων επισκευής, οι οποίοι χρησιμεύουν κυρίως για επισκευές αρμών και διαφορετικά υλικά σωλήνων, όπως PVC (συγκολλημένες με διαλύτη ή μηχανικές ενώσεις) και πολυαιθυλένιο (συγκολλημένες με σύντηξη ή μηχανικές ενώσεις) (Farley, 2003).

Μία ακόμη μέθοδος επισκευής είναι η χρήση κομματιών σωλήνα και συνδέσμων. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όταν ένα τμήμα σωλήνα πρέπει να κοπεί λόγω εκτεταμένων ζημιών, όπως την περίπτωση που υπάρχουν μεγάλες οπές, διαμήκεις σχισμές, μη ευθυγραμμισμένα άκρα σε μια κάθετη θραύση ή ζημιά κοντά στη ρήξη, και περιλαμβάνει τη χρήση ένα μικρού τμήματος σωλήνα και δύο συνδέσμων. Οι σύνδεσμοι τοποθετούνται στον κύριο σε κάθε άκρο και τραβιούνται στη θέση τους μόλις ευθυγραμμιστεί το νέο τμήμα του σωλήνα. Σήμερα στο εμπόριο είναι διαθέσιμοι διάφοροι τύποι συνδέσμων για να ταιριάζουν σε διαφορετικά υλικά σωλήνων, συμπεριλαμβανομένου του PVC, του πολυαιθυλενίου, του GRP, του όλκιμου σιδήρου, του χάλυβα και του αμιαντοτσιμέντου. Ορισμένοι σύνδεσμοι έχουν σχεδιαστεί για να ταιριάζουν σε μια ποικιλία υλικών και έχουν ευελιξία όσον αφορά την εξωτερική διάμετρο, μειώνοντας τον αριθμό των

αντικειμένων που απαιτείται να διατηρούνται σε απόθεμα με σκοπό την έγκαιρη αντιμετώπιση βλαβών και αστοχιών (Grafenauer, 2014).

6.3 Αποκατάσταση και αντικατάσταση σωλήνων χωρίς εκσκαφή

Οι τεχνολογίες χωρίς εκσκαφή προσφέρουν μια σειρά τεχνικών για την αντικατάσταση ή την αποκατάσταση σωλήνων με ελάχιστη εκσκαφή. Αυτές οι μέθοδοι μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: με μη δομική επένδυση, με δομική επένδυση και με πλήρη αντικατάσταση των σωλήνων. Η μη δομική επένδυση περιλαμβάνει την τοποθέτηση λεπτής επίστρωσης υλικού (π.χ. τσιμεντοκονίας ή εποξειδικού) μέσα στο σωλήνα για την αποφυγή διαρροών και την αύξηση της διάρκειας ζωής. Ο σωλήνας πρέπει να καθαριστεί για να αφαιρεθεί η κλίμακα, τα προϊόντα διάβρωσης και τα ιζήματα πριν από την εφαρμογή της επένδυσης (Lueke, 2001).

Οι δομικές επενδύσεις παρέχουν μια νέα επιφάνεια μέσα στον υπάρχοντα σωλήνα ενώ προσφέρουν επίσης κάποια δομική στήριξη. Οι κοινές τεχνικές περιλαμβάνουν:

- **Sliplining:** Τράβηγμα ενός νέου, μικρότερης διαμέτρου σωλήνα (συνήθως HDPE) μέσω του υπάρχοντος σωλήνα.
- **Σκλήρυνση στη θέση σωλήνας:** Χρησιμοποιώντας ένα σωλήνα υφάσματος ο οποίος είναι εμποτισμένος με μια θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη που σκληραίνει σε έναν δομικά υγιή, χωρίς αρμούς σωλήνα όταν εκτίθεται σε ζεστό νερό ή ατμό.
- **Δίπλωμα, διαμόρφωμα και κλείσιμο των σωλήνων:** Χρησιμοποιώντας θερμοπλαστικά υλικά (π.χ. PVC ή πολυαιθυλένιο) που θερμαίνονται, παραμορφώνονται και εισάγονται στον υπάρχοντα σωλήνα τα οποία στη συνέχεια ανακτούν το αρχικό κυκλικό τους σχήμα όταν εκτίθενται σε ζεστό νερό ή ατμό.

Οι μέθοδοι αντικατάστασης σωλήνων χωρίς εκσκαφή, όπου ο υφιστάμενος σωλήνας δεν παρέχει συνεχή υποστηρικτικό ρόλο, περιλαμβάνουν:

- **Διάτρηση σωλήνα:** Χρησιμοποιώντας μία μέθοδο κοπής ή ρήξης του σωλήνα για να σπάσει ή για να ανοίξει ο παλιός σωλήνας, ενώ απομακρύνεται ο προβληματικός σωλήνας (συνήθως HDPE) από το κενό που αφήνει το εργαλείο.
- **Microtunneling:** Χρησιμοποιώντας ένα τηλεχειριζόμενο, καθοδηγούμενο με λέιζερ σύστημα ανύψωσης σωλήνων το οποίο τοποθετεί έναν νέο σωλήνα οριζόντια και μέσω του εδάφους.

- **Οριζόντια ή διάτρηση με κατεύθυνση:** Χρησιμοποιώντας μια εξέδρα διάτρησης που ωθεί μια κεφαλή κοπής ή διάτρησης κατευθυνόμενη από την επιφάνεια, με υγρό διάτρησης που αντλείται πίσω από την κεφαλή για να κρατήσει την τρύπα ανοιχτή.

Τελικά, η επιλογή της μεθόδου αποκατάστασης εξαρτάται από παράγοντες όπως το μέγεθος του σωλήνα, το υλικό, η πρόσβαση και οι τοπικές συνθήκες, οι οποίοι επηρεάζουν το συνολικό κόστος του έργου.

6.4 Απολύμανση

Η απολύμανση των σωλήνων και των εξαρτημάτων πριν από τη σύνδεσή τους με το σύστημα διανομής είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της ποιότητας του νερού και την πρόληψη της μόλυνσης. Αυτή η διαδικασία ισχύει τόσο για εγκαταστάσεις νέων σωλήνων όσο και για επισκευές. Το πρώτο βήμα είναι η προσπάθεια για διατήρηση της καθαριότητας του σωλήνα στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό κατά την αποθήκευση, τη μεταφορά και την εγκατάσταση. Οι εργαζόμενοι θα πρέπει να εκπαιδεύονται ώστε να κατανοούν τη σημασία της διατήρησης καθαρού εσωτερικού χώρου σωλήνων και αρμών, καθώς και τις πιθανές συνέπειες της αποτυχίας της συγκεκριμένης πρακτικής (Ngwenya, 2012).

Για την απολύμανση του σωλήνα, πρώτα ξεπλένεται για να απομακρυνθούν τυχόν ακαθαρσίες και στη συνέχεια γεμίζεται με νερό που περιέχει τουλάχιστον 25 mg/l χλωρίου (από πηγές όπως κόκκοι υποχλωριώδους ασβεστίου ή υγρό υποχλωριώδες νάτριο) για τουλάχιστον 24 ώρες. Το νερό θα πρέπει να έχει υπόλειμμα χλωρίου τουλάχιστον 10 mg/l στο τέλος αυτής της περιόδου. Εναλλακτικά, νερό με συγκέντρωση χλωρίου 100 mg/l μπορεί να παραμείνει στο σωλήνα για τουλάχιστον τρεις ώρες, με συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου τουλάχιστον 50 mg/l (WHO, 2014).

Μετά την απολύμανση, ο σωλήνας ξεπλένεται με πόσιμο νερό πριν συνδεθεί με το υπόλοιπο δίκτυο. Το χλωριωμένο νερό έκπλυσης θα πρέπει να αποχλωριώνεται ή να απορρίπτεται με περιβαλλοντικά ασφαλή τρόπο. Όταν επισκευάζονται οι σωλήνες, πρέπει επίσης να ξεπλένονται και να απολυμαίνονται. Εάν δεν είναι δυνατόν να αφεθεί το απολυμαντικό στο σωλήνα για την απαιτούμενη περίοδο, θα πρέπει να εκδοθεί προληπτική ειδοποίηση σύμφωνα με την οποία οι καταναλωτές θα πρέπει να βράζουν το νερό για να το κάνουν πόσιμο οι ίδιοι (WHO, 2014).

Η συντήρηση των σωλήνων είναι μια κρίσιμη πτυχή της διασφάλισης της αξιοπιστίας, της αποδοτικότητας και της ασφάλειας των συστημάτων διανομής νερού. Οι βασικές εργασίες συντήρησης περιλαμβάνουν τον εντοπισμό σωλήνων, τον εντοπισμό και την επισκευή διαρροών, την αποκατάσταση ή αντικατάσταση φθαρμένων σωλήνων και την απολύμανση σωλήνων μετά την εγκατάσταση ή την επισκευή. Χρησιμοποιώντας μια σειρά τεχνικών και βέλτιστων πρακτικών, όπως ανιχνευτές ηλεκτρομαγνητικών μετάλλων, συσχέτιση θορύβου διαρροών, αποκατάσταση χωρίς εκσκαφή και κατάλληλες διαδικασίες απολύμανσης, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας νερού μπορούν να ελαχιστοποιήσουν αποτελεσματικά τις απώλειες νερού, να αποτρέψουν τη μόλυνση και να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής της υποδομής των αγωγών τους. Η τακτική συντήρηση όχι μόνο συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της απόδοσης του δικτύου διανομής νερού, αλλά διασφαλίζει επίσης την παροχή ασφαλούς, υψηλής ποιότητας νερού στους καταναλωτές. Επενδύοντας στην προληπτική συντήρηση σωλήνων, οι επιχειρήσεις ύδρευσης μπορούν να μειώσουν το μακροπρόθεσμο κόστος, να βελτιώσουν την ικανοποίηση των πελατών και να συμβάλουν στη βιώσιμη διαχείριση αυτού του ιδιαίτερα σημαντικού για την κοινότητα πόρου.

7. Η ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ (ΔΕΥΑΛ)

Η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Λάρισας (ΔΕΥΑΛ) είναι ένα Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου (ΝΠΙΔ) κοινωφελούς χαρακτήρα. Η τρέχουσα νομική της μορφή αποκτήθηκε το 1981, σύμφωνα με το Π.Δ. 374/1981, το οποίο βασίζεται στον ιδρυτικό Νόμο 1069/1980 "Περί κινήτρων για την ίδρυση Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης". Ο νόμος αυτός καθορίζει το πεδίο δράσης και τις αρμοδιότητες της ΔΕΥΑΛ, οι οποίες περιλαμβάνουν την παροχή υπηρεσιών ύδρευσης και αποχέτευσης, τη μελέτη, κατασκευή, συντήρηση, λειτουργία, διαχείριση και εκμετάλλευση των δικτύων ύδρευσης, αποχέτευσης ομβρίων και ακαθάρτων, καθώς και των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων και αποβλήτων (βιολογικός καθαρισμός) στην περιοχή ευθύνης της.

Με βάση το άρθρο 2 του Νόμου 1069/80 και την Απόφαση 12635/16-8-2005 του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας Θεσσαλίας, το πεδίο δράσης και οι αρμοδιότητες της ΔΕΥΑΛ επεκτάθηκαν στη διαχείριση, αξιοποίηση και εμπορία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που προκύπτουν από τα αντικείμενα δραστηριότητας της ΔΕΥΑΛ αλλά και του Δήμου Λαρισαίων. Οι δραστηριότητες στις οποίες μπορεί να εμπλακεί δυνητικά η ΔΕΥΑΛ

περιλαμβάνουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας ή της καύσης βιοαερίου από τη Μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού και το ΧΥΤΑ του Δήμου Λαρισαίων, καθώς και την άρδευση των νέων τοπικών κοινοτήτων μετά την εφαρμογή του προγράμματος "Καλλικράτης". Επιπλέον, με απόφαση του Διοικητικού Συμβουλίου της ΔΕΥΑΛ, υπάρχει η δυνατότητα επέκτασης του αντικειμένου της στη μελέτη, κατασκευή, συντήρηση, λειτουργία, διαχείριση και εκμετάλλευση των δικτύων τηλεθέρμανσης, των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων φυσικού αερίου, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, καθώς και στην εμφιάλωση και εμπορία νερού.

Η ΔΕΥΑΛ αποτελεί ένα από τα ιδρυτικά μέλη της Ένωσης Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης (ΕΔΕΥΑ), η οποία ιδρύθηκε το 1989 και έχει την έδρα της στη Λάρισα. Συγκαταλέγεται μεταξύ των πρώτων σε μέγεθος (ως προς τη διοικητική οργάνωση, οικονομική και τεχνολογική επάρκεια) επιχειρήσεων ύδρευσης στην Ελλάδα, μετά την ΕΥΔΑΠ και την ΕΥΑΘ. Σήμερα, η ΔΕΥΑΛ απασχολεί συνολικά 273 υπαλλήλους, είναι οικονομικά αυτόνομη και διοικείται από Διοικητικό Συμβούλιο που ορίζεται από το Δημοτικό Συμβούλιο, λειτουργώντας με βάση τον ιδρυτικό της νόμο (Ν. 1069/1980).

Η ιστορία και η οργάνωση της ΔΕΥΑΛ ξεκίνησε το 1927 και αποτέλεσε παράδειγμα προς μίμηση για τους υπόλοιπους δήμους της χώρας, χάρη στις επιχειρηματικές δράσεις του Δήμου Λαρισαίων. Κατασκεύασε έργα ύδρευσης αξίας 20.000.000 δρχ. χωρίς κρατική επιχορήγηση, σε μια περίοδο βαθιάς παγκόσμιας οικονομικής κρίσης το 1930. Στην εικοσαετία μετά τον πόλεμο του 1940, η εταιρεία απέδωσε τεράστιο και δυναμικό έργο στην πόλη, που αφορούσε τους τεχνικούς, κοινωνικούς και πολιτιστικούς τομείς. Στην επιτυχία της ΔΕΥΑΛ συνέβαλαν σημαντικοί παράγοντες, με κυριότερους το εξειδικευμένο προσωπικό και τις διοικήσεις με τις οργανωτικές και διοικητικές τους ικανότητες και διορατικότητα. Από το 1925 έως το 1974, η νομική μορφή της εταιρείας ήταν με ιδιώτες μετόχους να κατέχουν το 24% και τον δήμο το 76%, ενώ από το 1974 έως σήμερα είναι δημοτική επιχείρηση.

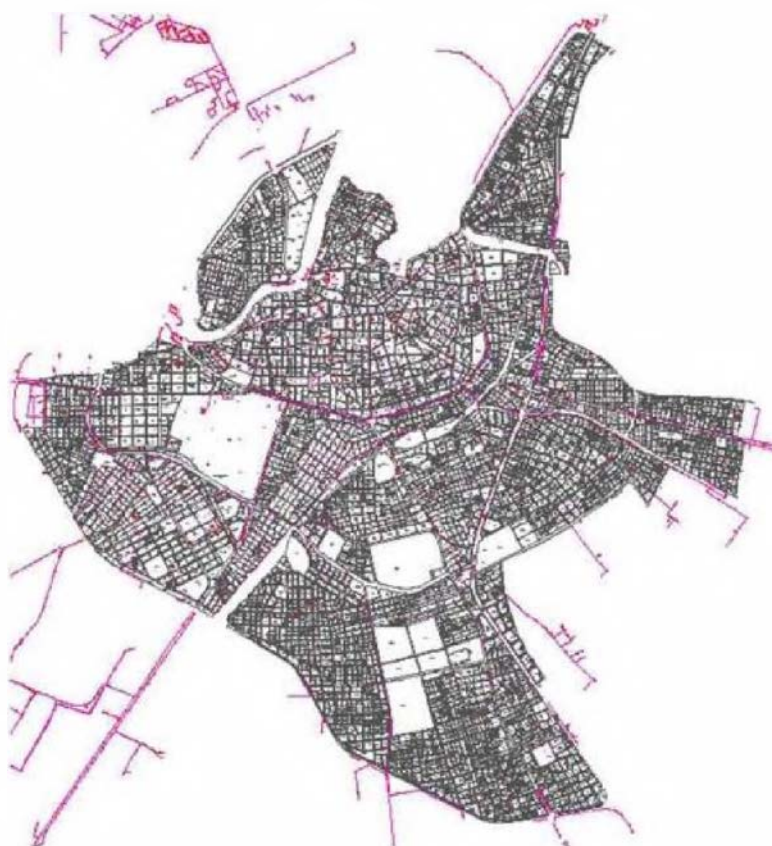
Με το πρόγραμμα "Καλλικράτης" (Ν. 3852/2010), τα γεωγραφικά όρια της περιοχής ευθύνης της ΔΕΥΑΛ περιλαμβάνουν τα όρια του Δήμου Λαρισαίων και εκτείνονται σε μια έκταση 335 τ.χλμ. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει την πόλη της Λάρισας και τις δημοτικές ενότητες Τερψιθέας, Γιάννουλης, Φαλάνης, Κουλουρίου, Αμφιθέας, Κοιλιάδας,

Ραχούλας, Μάνδρας, Κουτσόχερου, Ελευθερών, Λουτρού και Αργυρόμυλων. Επιπλέον, με απόφαση του Δ.Σ. της ΔΕΥΑΛ κατόπιν αιτήματος του Δήμου Κιλελέρ, από το 2012 η ΔΕΥΑΛ διαχειρίζεται και λειτουργεί τα δίκτυα ύδρευσης των οικισμών Νίκαιας, Νέων Καρυών, Μελισσοχωρίου, Ομορφοχωρίου, Κραννώνα, Μεσοράχης, Αγίων Αναργύρων και Κάμπου.

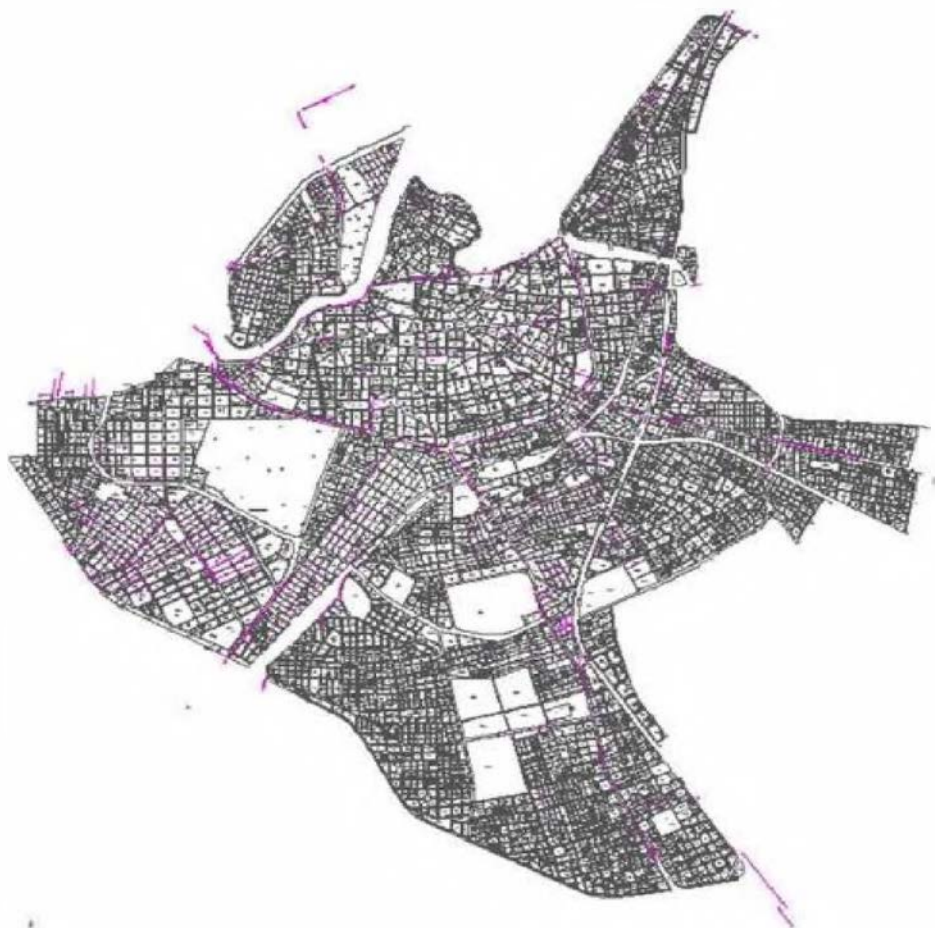
Μέχρι το 1989, η πόλη της Λάρισας υδροδοτούνταν από τον Πηνειό ποταμό, όταν και παρουσιάστηκε πρόβλημα λειψυδρίας. Από το 1989 έως σήμερα, η υδροδότηση γίνεται από 33 υδρευτικές γεωτρήσεις και η άρδευση από 18 αρδευτικές. Ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός ανέρχεται σε 208.500 κατοίκους (85.000 ενεργοί υδρομετρητές) και το μήκος των αγωγών ύδρευσης φτάνει τα 1.110 χλμ. Η ετήσια παραγωγή νερού ξεπερνά τα 18.000.000 m³. Το νερό είναι υγιεινό, πλήρως ελεγμένο στα εργαστήρια (Χημικό-Μικροβιολογικό) που είναι εξοπλισμένα με σύγχρονη τεχνολογία. Το Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Νερού εφαρμόζει σύστημα διασφάλισης ποιότητας πιστοποιημένο από τον ΕΛΟΤ, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 9001:2008.

Το δίκτυο αποχέτευσης, που ανέρχεται σε 770 χλμ (516 χλμ αγωγών ακαθάρτων και 254 χλμ ομβρίων), είναι πιστοποιημένο κατά ISO 9001:2000. Η μονάδα βιολογικού καθαρισμού έχει δυναμικότητα επεξεργασίας 40.000 m³ και μετά την αναβάθμιση και επέκτασή της, εξυπηρετεί 210.000 κατοίκους.

Η καταγραφή των δεδομένων συμπεριλαμβανομένων των επισκευών ξεκίνησε το 1987 ωστόσο αρχικά η διαδικασία ήταν χειρόγραφη και ψηφιοποιήθηκε από το 2003 και μετά. Η ψηφιοποιημένη καταγραφή βλαβών και επισκευών του δικτύου περιλαμβάνει: αντικαταστάσεις αγωγών ανά διατομή και υλικό, αντικαταστάσεις συνδέσεων παροχών καταναλωτών, αντικαταστάσεις βανών, υδροστομίων, αερεξαγωγών και άλλων εξαρτημάτων του δικτύου, αντικαταστάσεις συλλεκτών υδρομετρητών, απομόνωση και αποξήλωση δικτύων, επεκτάσεις και κατασκευές νέων αγωγών, επισκευές συνδέσεων παροχών καταναλωτών και επισκευές ανά διατομή και υλικό, επισκευές υδροστομίων, αερεξαγωγών, βανών και τοποθετήσεις νέων βανών, αερεξαγωγών, υδροστομίων και λοιπών εξαρτημάτων του δικτύου. Οι αγωγοί του εσωτερικού δικτύου ύδρευσης της πόλης της Λάρισας είναι κατασκευασμένοι από πλαστικούς σωλήνες (PE και PVC), από σωλήνες αμιαντοτσιμέντου, από χαλυβροσωλήνες ή από σωλήνες φαιού σιδήρου. Η κατανομή των σωλήνων του δικτύου ανά υλικό φαίνεται στις Εικόνες 15, 16 και 17.



Εικόνα 15. Δίκτυο ύδρευσης Λάρισας σωλήνων PVC και PE

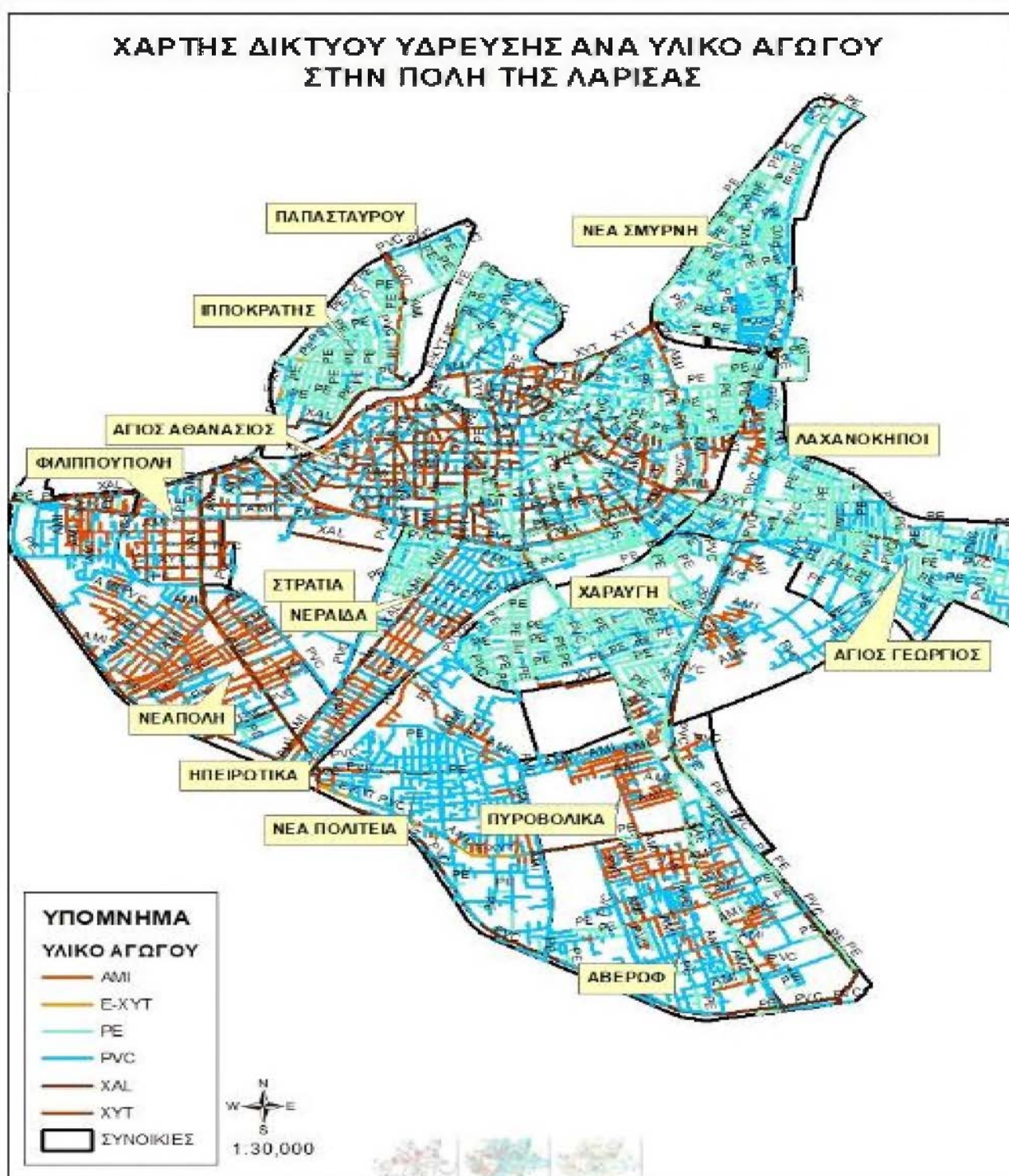


Εικόνα 16. Δίκτυο ύδρευσης Λάρισας από σωλήνες αμιαντοτσιμέντου



Εικόνα 17. Δίκτυο ύδρευσης Λάρισας από σωλήνες φαιού χυτοσίδηρου

Τα δίκτυα με τη μεγαλύτερη παλαιότητα είναι αυτά που είναι κατασκευασμένα από φαιό χυτοσίδηρο, ενώ τα πιο νέα σε ηλικία δίκτυα είναι από PVC 3^{ης} γενιάς (υψηλής πυκνότητας), ενώ νεότερα είναι και τα δίκτυα από ελατό χυτοσίδηρο. Το συνολικό μήκος των δικτύων ανά υλικό αγωγών είναι 28.131m για το χυτοσίδηρο, 69.722m για αμιαντοτσιμέντο, 205.467m για PVC, 37.827m για χάλυβα και 176.090m από πολυαιθυλένιο (PE).



Εικόνα 18. Χάρτης δικτύου ύδρευσης ανά υλικό αγωγού στην πόλη της Λάρισας

8. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΒΛΑΒΕΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΔΕΚΑΕΤΙΑ

Η μελέτη περίπτωσης η οποία παρουσιάζεται σε αυτή την παράγραφο, πραγματεύεται την ανάλυση των βλαβών στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης της Λάρισας κατά την τελευταία δεκαετία (2013-2023). Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση προέρχονται από τη Διεύθυνση Υπηρεσίας Δικτύων & Πληροφοριακών Συστημάτων, και πιο συγκεκριμένα από το Τμήμα Πληροφορικής & Νέων Τεχνολογιών και το Γραφείο Ανάπτυξης & Ανάλυσης Δεδομένων GIS & Χαρτογράφησης της Δ.Ε.Υ.Α.Λ. Τα δεδομένα που επεξεργάζεται το Γραφείο Ανάπτυξης προέρχονται από το Τμήμα Διαχείρισης Δικτύων Ύδρευσης. Το συνεργείο που αναλαμβάνει την επισκευή των βλαβών χρησιμοποιεί την Mobile εφαρμογή Field Maps μέσω της οποίας καταχωρεί τα σχετικά στοιχεία στο κινητό του. Τα στοιχεία αυτά αποθηκεύονται ταυτόχρονα στη βάση δεδομένων του ArcGIS, όπου υφίστανται περαιτέρω επεξεργασία εφόσον χρειαστεί, και εξάγονται τα απαραίτητα στατιστικά δεδομένα.

Στην ανάλυση εξετάζονται οι σημαντικότερες παράμετροι, όπως η συχνότητα και ο τύπος των βλαβών, τα στοιχεία του δικτύου στα οποία εμφανίστηκαν οι βλάβες, τα υλικά των σωλήνων που επισκευάστηκαν, οι διατομές των σωλήνων που χρειάστηκαν επισκευή, καθώς και η κατανομή των βλαβών ανά συνοικία της πόλης. Τα δεδομένα παρουσιάζονται σε πίνακες συχνοτήτων και ποσοστών, επιτρέποντας μια λεπτομερή και ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης του δικτύου ύδρευσης και των προκλήσεων που αντιμετωπίζει η ΔΕΥΑΛ στη διαχείριση και συντήρησή του.

8.1 Συχνότητα και τύπος βλαβών την δεκαετία 2013-2023 συνολικά σε όλη την πόλη

Πίνακας 1. Είδος Εργασίας στο δίκτυο ύδρευσης της Λάρισας την περίοδο 2013-2023

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	ΧΩΡΙΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ	19	,2	,2	,2
	ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	3188	27,2	27,2	27,4
	ΑΠΟΞΗΛΩΣΗ	219	1,9	1,9	29,3
	ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ	25	,2	,2	29,5
	ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ	76	,6	,6	30,1

ΕΝΩΣΗ	1	,0	,0	30,1
ΕΠΕΚΤΑΣΗ	127	1,1	1,1	31,2
ΕΠΙΣΚΕΥΗ	5729	48,9	48,9	80,1
ΕΥΡΕΣΗ	83	,7	,7	80,8
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	1273	10,9	10,9	91,7
ΜΕΤΑΦΟΡΑ	354	3,0	3,0	94,7
ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ	10	,1	,1	94,8
ΠΑΡΟΧΕΣ	445	3,8	3,8	98,6
ΣΥΝΔΕΣΗ	12	,1	,1	98,7
ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ	101	,9	,9	99,6
ΥΨΩΣΗ	48	,4	,4	100,0
Total	11711	100,0	100,0	

Από τον Πίνακα 1, φαίνεται ότι το είδος επισκευών με τη μεγαλύτερη συχνότητα και ποσοστό είναι η "ΕΠΙΣΚΕΥΗ", με συχνότητα 5729 εμφανίσεις και ποσοστό 48,9%. Ακολουθεί η "ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ" με συχνότητα 3188 εμφανίσεις και ποσοστό 27,2%. Η "ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ" έχει συχνότητα 1273 και ποσοστό 10,9%. Οι υπόλοιπες μεταβλητές έχουν σημαντικά χαμηλότερες συχνότητες και ποσοστά. Οι "ΠΑΡΟΧΕΣ" εμφανίζονται 445 φορές (3,8%), η "ΜΕΤΑΦΟΡΑ" 354 φορές (3,0%), η "ΑΠΟΞΗΛΩΣΗ" 219 φορές (1,9%), η "ΕΠΕΚΤΑΣΗ" 127 φορές (1,1%) και η "ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ" 101 φορές (0,9%). Οι επισκευές "ΕΥΡΕΣΗ", "ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ", "ΥΨΩΣΗ", "ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ", "ΣΥΝΔΕΣΗ", "ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ" και "ΕΝΩΣΗ" έχουν όλες συχνότητες κάτω από 100 και ποσοστά κάτω από 1%. Τέλος, υπάρχουν 19 περιπτώσεις (0,2%) που δεν έχουν καταχωρημένη τιμή για τη μεταβλητή. Συνολικά, ο πίνακας περιέχει 11.711 επισκευές για την περίοδο από το 2013-2023 οι οποίες αντιστοιχούν στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης της Λάρισας, με τις μεταβλητές "ΕΠΙΣΚΕΥΗ", "ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ" και "ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ" να αποτελούν τις πιο συχνές κατηγορίες, αντιπροσωπεύοντας αθροιστικά το 87% των περιπτώσεων.

Πίνακας 2. Στοιχείο Δικτύου

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	ΧΩΡΙΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ	154	1,3	1,3	1,3
	ΑΕΡΟΕΞΑΓΩΓΟΣ	8	,1	,1	1,4

ΚΡΟΥΝΟΣ	20	,2	,2	1,6
ΣΤΟΙΧΕΙΟ	1	,0	,0	1,6
ΣΥΛΛΕΚΤΗ	328	2,8	2,8	4,4
ΑΓΩΓΟΣ	533	4,6	4,6	8,9
BANA	1463	12,5	12,5	21,4
ΔΙΚΤΥΟ	935	8,0	8,0	29,4
ΚΑΠΑΚΙ	3	,0	,0	29,4
ΚΙΒΩΤΙΟ	2	,0	,0	29,4
ΠΑΡΟΧΗ	7865	67,2	67,2	96,6
ΠΩΜΑ	7	,1	,1	96,7
ΡΑΚΟΡ	3	,0	,0	96,7
ΥΔΡΟΜΕΤΡΟ	274	2,3	2,3	99,0
ΥΔΡΟΣΤΟΜΙΟ	115	1,0	1,0	100,0
Σύνολο	11711	100,0	100,0	

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι συχνότητες και τα ποσοστά των στοιχείων του δικτύου ύδρευσης της πόλης της Λάρισας, στα οποία έγιναν οι συγκεκριμένες επισκευές. Το στοιχείο στο οποίο έγιναν οι επισκευές με μεγαλύτερη συχνότητα και ποσοστό είναι οι παροχές, με 7865 εμφανίσεις και ποσοστό 67,2%. Ακολουθούν οι επισκευές στις βάνες με 1463 εμφανίσεις και ποσοστό 12,5%, και οι επισκευές σε δίκτυα, με 935 εμφανίσεις και ποσοστό 8,0%. Οι επισκευές στα υπόλοιπα στοιχεία του δικτύου, έχουν σημαντικά χαμηλότερες συχνότητες και ποσοστά. Πιο συγκεκριμένα, οι επισκευές σε αγωγούς εμφανίζεται 533 φορές (4,6%), σε συλλέκτες 328 φορές (2,8%), σε υδρόμετρα 274 φορές (2,3%) και σε υδροστόμια 115 φορές (1,0%). Οι επισκευές στις μεταβλητές "ΚΡΟΥΝΟΣ", "ΑΕΡΟΕΞΑΓΩΓΟΣ", "ΠΩΜΑ", "ΚΑΠΑΚΙ", "ΡΑΚΟΡ", "ΚΙΒΩΤΙΟ" και "ΣΤΟΙΧΕΙΟ" έχουν όλες συχνότητες κάτω από 30 και ποσοστά κάτω από 0,2%. Τέλος, υπάρχουν 154 περιπτώσεις (1,3%) που δεν έχουν καταχωρημένη τιμή για τη μεταβλητή. Συνολικά, ο πίνακας περιέχει 11.711 παρατηρήσεις (Σύνολο), με τις μεταβλητές "ΠΑΡΟΧΗ", "BANA" και "ΔΙΚΤΥΟ" να αποτελούν τις πιο συχνές κατηγορίες, αντιπροσωπεύοντας αθροιστικά περίπου το 87,7% των περιπτώσεων στις οποίες έγιναν επισκευές στα συγκεκριμένα στοιχεία του δικτύου ύδρευσης.

Πίνακας 3. Υλικό αγωγού στον οποίο έγινε η επισκευή

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Αμίαντος	370	3,2	3,2	44,6
	Ελατός Χυτοσίδηρος	171	1,5	1,5	46,1
	Other	892	7,6	7,6	53,7
	Πολυαιθυλένιο	4515	38,6	38,6	92,3
	PVC	468	4,0	4,0	96,3
	U	22	,2	,2	96,4
	Χάλυβας	37	,3	,3	96,8
	Χυτοσίδηρος	379	3,2	3,2	100,0
	Total	11711	100,0	100,0	

Σχετικά, με τα υλικά του σωλήνα στον οποίο έγινε η επισκευή και σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα 3, φαίνεται ότι το υλικό που χρησιμοποιήθηκε με τη μεγαλύτερη συχνότητα και ποσοστό είναι το Πολυαιθυλένιο , με 4515 εμφανίσεις και ποσοστό 38,6%. Ακολουθεί το υλικό που συμβολίζεται με "Other", με 892 εμφανίσεις και ποσοστό 7,6%. Το PVC (Πολυβινυλοχλωρίδιο) εμφανίζεται 468 φορές (4,0%), ο Χυτοσίδηρος (XYT) 379 φορές (3,2%), και το αμίαντο 370 φορές (3,2%). Ο Ελατός Χυτοσίδηρος (E-XYT) έχει συχνότητα 171 και ποσοστό 1,5%, ο Χάλυβας (XAL) 37 φορές (0,3%), και το U (Άγνωστο Υλικό) 22 φορές (0,2%). Συνολικά, ο πίνακας περιέχει 11.711 παρατηρήσεις (Total), με το Πολυαιθυλένιο (PE) και το υλικό "Other" να αποτελούν τις πιο συχνές κατηγορίες, αντιπροσωπεύοντας αθροιστικά περίπου το 46,2% των περιπτώσεων.

Πίνακας 4. Διατομή του σωλήνα που χρειάστηκε επισκευή

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	ΧΩΡΙΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ	4172	35,6	35,6	35,6
	-1	18	,2	,2	35,8
	0	14	,1	,1	35,9
	0,5	90	,8	,8	36,7
	0,75	368	3,1	3,1	39,8
	1	1071	9,1	9,1	49,0
	1,5	3759	32,1	32,1	81,1
	100	67	,6	,6	81,6
	110	87	,7	,7	82,4
	125	69	,6	,6	83,0
	140	16	,1	,1	83,1
	150	124	1,1	1,1	84,2
	16	3	,0	,0	84,2
	160	68	,6	,6	84,8
	2	518	4,4	4,4	89,2
	200	52	,4	,4	89,6
	22	1	,0	,0	89,6
	225	10	,1	,1	89,7
	25	2	,0	,0	89,7
	275	1	,0	,0	89,7
	280	4	,0	,0	89,8
	3	12	,1	,1	89,9
	300	33	,3	,3	90,2
	355	9	,1	,1	90,2
	40	33	,3	,3	90,5
	400	1	,0	,0	90,5
	450	2	,0	,0	90,5
	50	21	,2	,2	90,7
	500	7	,1	,1	90,8
	60	26	,2	,2	91,0
	63	56	,5	,5	91,5
	70	1	,0	,0	91,5
	75	23	,2	,2	91,7

80	676	5,8	5,8	97,5
90	294	2,5	2,5	100,0
900	3	,0	,0	100,0
Total	11711	100,0	100,0	

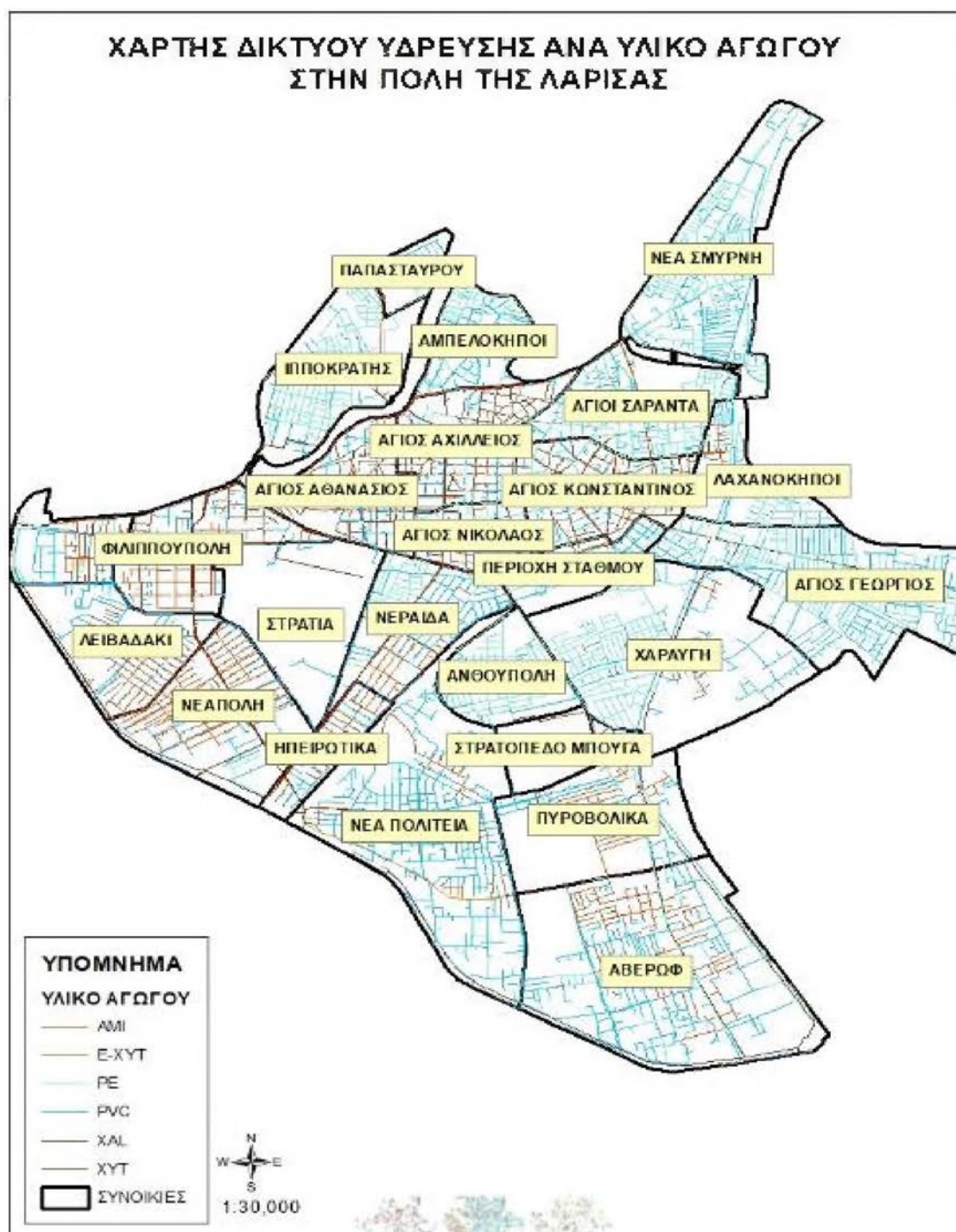
Στον Πίνακα 4 εμφανίζονται οι συχνότητες και τα ποσοστά για τις διάφορες διατομές σωλήνων οι οποίες χρειάστηκαν επισκευή. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα, η διατομή με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης είναι η 1,5 (ίντσες ή εκατοστά), με 3759 περιπτώσεις και ποσοστό 32,1%. Ακολουθεί η διατομή 1 με 1071 εμφανίσεις (9,1%) και η διατομή 80 με 676 εμφανίσεις (5,8%). Άλλες διατομές με σημαντικές συχνότητες είναι οι 2 (518 εμφανίσεις, 4,4%), 0,75 (368 εμφανίσεις, 3,1%), 90 (294 εμφανίσεις, 2,5%), 150 (124 εμφανίσεις, 1,1%) και 110 (87 εμφανίσεις, 0,7%). Οι υπόλοιπες διατομές έχουν συχνότητες κάτω από 100 και ποσοστά μικρότερα του 1%. Ορισμένες ασυνήθιστες τιμές, όπως -1, 16, 22, 25, 275, 400, 450 και 900, εμφανίζονται με πολύ χαμηλές συχνότητες (λιγότερο από 20 περιπτώσεις η καθεμία). Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν 4172 περιπτώσεις (35,6%) όπου η διατομή δεν έχει καταγραφεί ή είναι άγνωστη. Συνολικά, ο πίνακας περιέχει 11.711 παρατηρήσεις, με τις διατομές 1,5, 1 και 80 να αποτελούν τις πιο συχνές κατηγορίες, αντιπροσωπεύοντας αθροιστικά περίπου το 47% των περιπτώσεων όπου η διατομή είναι γνωστή.

Πίνακας 5. Πλήθος βλαβών ανά συνοικία

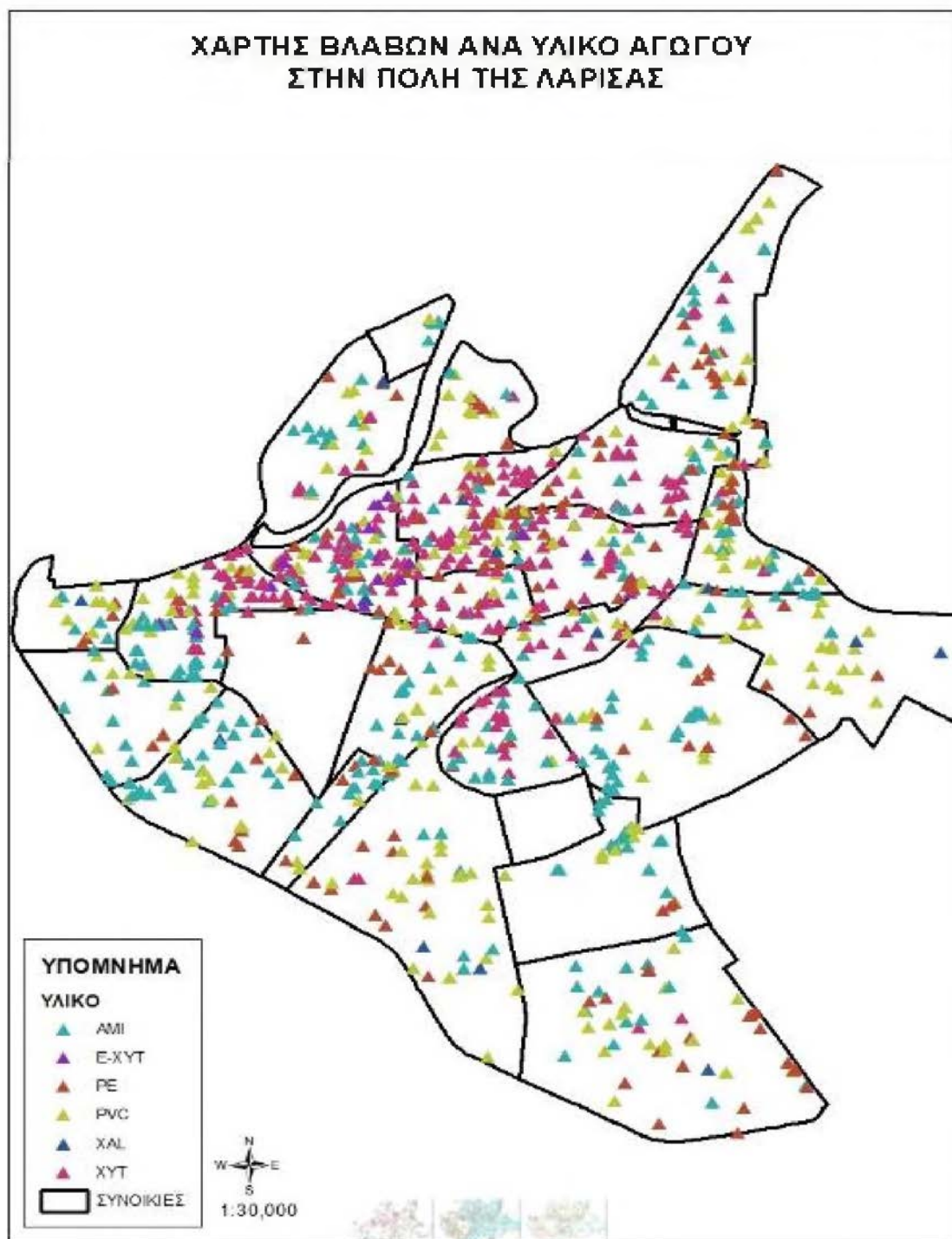
ΣΥΝΟΙΚΙΑ	ΠΛΗΘΟΣ ΒΛΑΒΩΝ
ΠΥΡΟΒΟΛΙΚΑ	775
ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΑ	545
ΝΕΑΠΟΛΗ	1.149
ΝΕΑ ΠΟΛΙΤΕΙΑ	1.207
ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ	817
ΛΕΙΒΑΔΑΚΙ	815
ΝΕΡΑΙΔΑ	1.083
ΣΤΡΑΤΙΑ	34
ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΤΑΘΜΟΥ	528
ΑΓΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ	1.211
ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	1.430
ΦΙΛΙΠΠΟΥΠΟΛΗ	1.393
ΑΓΙΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ	7.763
ΑΒΕΡΩΦ	1.273
ΑΓΙΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ	1.883

ΛΑΧΑΝΟΚΗΠΟΙ	751
ΑΓΙΟΣ ΑΧΙΛΛΕΙΟΣ	2.347
ΑΓΙΟΙ ΣΑΡΑΝΤΑ	1.749
ΙΠΠΟΚΡΑΤΗΣ	1.094
ΑΜΠΕΛΟΚΗΠΟΙ	740
ΝΕΑ ΣΜΥΡΝΗ	1.279
ΣΤΡΑΤΟΠΕΔΟ ΜΠΟΥΓΑ	1
ΧΑΡΑΥΓΗ	1.346
ΑΓΙΟΣ ΘΩΜΑΣ	353
ΠΑΠΑΣΤΑΥΡΟΥ	151
Σύνολο	31.717

Στον Πίνακα 5 φαίνεται το πλήθος των βλαβών ανά συνοικία, και σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα η συνοικία με τις περισσότερες βλάβες είναι ο ΑΓΙΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, με 7.763 περιστατικά. Ακολουθούν ο ΑΓΙΟΣ ΑΧΙΛΛΕΙΟΣ με 2.347 βλάβες, ο ΑΓΙΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ με 1.883 βλάβες και ΑΓΙΟΙ ΣΑΡΑΝΤΑ με 1.749. Άλλες συνοικίες με σημαντικό αριθμό βλαβών είναι οι ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ (1.430 βλάβες), η ΦΙΛΙΠΠΟΥΠΟΛΗ (1.393), η ΧΑΡΑΥΓΗ (1.346), η ΝΕΑ ΣΜΥΡΝΗ (1.279) η ΑΒΕΡΩΦ (1.273), ο ΑΓΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (1.211), η ΝΕΑ ΠΟΛΙΤΕΙΑ (1.207), η ΝΕΑΠΟΛΗ (1.149), ο ΙΠΠΟΚΡΑΤΗΣ (1094) και η ΝΕΡΑΙΔΑ (1.083). Αντίθετα, οι συνοικίες με τις λιγότερες βλάβες είναι το ΣΤΡΑΤΟΠΕΔΟ ΜΠΟΥΓΑ (1 βλάβη), η ΣΤΡΑΤΙΑ (34 βλάβες) και η συνοικία ΠΑΠΑΣΤΑΥΡΟΥ (151 βλάβες). Οι υπόλοιπες συνοικίες έχουν αριθμό βλαβών που κυμαίνεται από 350 έως 820. Συνολικά, υπάρχουν στοιχεία για την καταγραφή βλαβών από 25 συνοικίες και το πλήθος των βλαβών που καταγράφηκαν είναι 31.717. Στην Εικόνα 15 φαίνεται και ο χάρτης των βλαβών ανά συνοικία και ανά υλικό αγωγού, όπως καταγράφηκε από το σύστημα GIS.



Εικόνα 19. Βλάβες ανά συνοικία και ανά υλικό αγωγού το οποίο χρειάστηκε επισκευή



Εικόνα 20. Βλάβες ανά υλικό αγωγού το οποίο χρειάστηκε επισκευή σύμφωνα με το σύστημα GIS

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, η διαχείριση των απωλειών νερού στα δίκτυα ύδρευσης αποτελεί μια σύνθετη και πολυδιάστατη πρόκληση για τις επιχειρήσεις ύδρευσης παγκοσμίως. Η υιοθέτηση μιας ολοκληρωμένης και στρατηγικής προσέγγισης, που περιλαμβάνει την κατανόηση της έκτασης και των αιτιών των απωλειών νερού, την εφαρμογή κατάλληλων δεικτών απόδοσης, την ανάπτυξη οικονομικά αποδοτικών στρατηγικών ελέγχου διαρροών και τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης και αποκατάστασης του δικτύου σωληνώσεων, είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης. Η εφαρμογή προηγμένων μοντέλων πρόβλεψης αστοχίας, ο ενεργός έλεγχος διαρροών, η διαχείριση της πίεσης και η έγκαιρη συντήρηση και επισκευή των σωλήνων διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ελαχιστοποίηση των απωλειών νερού και τη διασφάλιση της ακεραιότητας και απόδοσης του συστήματος διανομής. Η υιοθέτηση βέλτιστων πρακτικών, όπως η χρήση του τυποποιημένου υδατικού ισοζυγίου της IWA και των συνιστώμενων δεικτών απόδοσης, επιτρέπει συγκρίσεις και συνεργασία μεταξύ των επιχειρήσεων ύδρευσης για τη συνεχή βελτίωση των στρατηγικών διαχείρισης απωλειών νερού. Ωστόσο, η επιτυχής εφαρμογή αυτών των στρατηγικών απαιτεί ισχυρή δέσμευση, επαρκείς πόρους και μια συλλογική προσπάθεια που περιλαμβάνει όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη, από τις επιχειρήσεις ύδρευσης και τις ρυθμιστικές αρχές έως τους καταναλωτές. Μέσω συνεχούς έρευνας, καινοτομίας και συνεργασίας, ο κλάδος της ύδρευσης μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά την πρόκληση των απωλειών νερού, διασφαλίζοντας τη βιώσιμη, αποδοτική και αξιόπιστη παροχή αυτού του ζωτικής σημασίας πόρου για τις σημερινές και τις μελλοντικές γενιές.

Η μελέτη περίπτωσης που παρουσιάζεται, πραγματεύεται την ανάλυση των βλαβών στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης της Λάρισας κατά την τελευταία δεκαετία (2013-2023). Συμπερασματικά, η ανάλυση των δεδομένων βλαβών στο δίκτυο ύδρευσης της Λάρισας αποκαλύπτει σημαντικές τάσεις και προτεραιότητες για τη διαχείριση και συντήρηση του δικτύου. Η υψηλή συχνότητα επισκευών, ιδιαίτερα στις παροχές και τα δίκτυα, καθώς και η κατανομή των βλαβών σε συγκεκριμένες συνοικίες, υποδεικνύουν πιθανές περιοχές για στοχευμένες παρεμβάσεις και αναβάθμιση υποδομών. Η κατανόηση των υλικών και των διατομών των σωλήνων που είναι επιρρεπή σε βλάβες μπορεί επίσης να καθοδηγήσει τις αποφάσεις για μελλοντικές αντικαταστάσεις και επεκτάσεις του δικτύου. Η ολοκληρωμένη ανάλυση των δεδομένων βλαβών παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τη ΔΕΥΑΛ,

επιτρέποντας την ανάπτυξη στρατηγικών για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του δικτύου, την ελαχιστοποίηση των διακοπών υπηρεσίας και τη διασφάλιση αξιόπιστης παροχής νερού στους κατοίκους της Λάρισας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abd Rahman, N., Muhammad, N. S., & Wan Mohtar, W. H. M. (2018). Evolution of research on water leakage control strategies: Where are we now? *Urban Water Journal*, 15(8), 812–826. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2018.1547773>
- Adedeji, K. B., Hamam, Y., Abe, B. T., & Abu-Mahfouz, A. M. (2017). Towards achieving a reliable leakage detection and localization algorithm for application in water piping networks: An overview. *IEEE Access*, 5, 20272–20285. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2752802>
- Alegre, H., Baptista, J. M., Cabrera Jr, E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W., & Parena, R. (2016). *Performance indicators for water supply services*. IWA publishing.
- Andreou, S. A. (1986). *Predictive models for pipe break failures and their implications on maintenance planning strategies for deteriorating water distribution systems*.
- Arreguín-Cortes, F. I., & Ochoa-Alejo, L. H. (1997). Evaluation of water losses in distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 123(5), 284–291. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1997\)123:5\(284\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1997)123:5(284))
- Assad, A., Moselhi, O., & Zayed, T. (2019). A new metric for assessing resilience of water distribution networks. *Water*, 11(8), 1701. <https://doi.org/10.3390/w11081701>
- Bakhtawar, B., & Zayed, T. (2021). Review of water leak detection and localization methods through hydrophone technology. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 12(4), 03121002. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.1949-1204.0000574](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000574)
- Brentan, B., Meirelles, G., Luvizotto Jr, E., & Izquierdo, J. (2018). Joint operation of pressure-reducing valves and pumps for improving the efficiency of water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(9), 04018055. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000974](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000974)

- Charalambous, B., Foufeas, D., & Petroulias, N. (2014). Leak detection and water loss management. *Water Utility Journal*, 8(3), 25–30.
- Charlton, M., & Mulligan, M. (2001). *Efficient detection of mains water leaks using ground-penetrating radar (GPR)*. 4491, 375–386.
- Contributors, S., Mendaza, F., Tveit, O., Lazzarin, L., Lorenze, H., Lee, H., UK, M. F., Masakat, E., Suphani, R., & Esko, H. (2002). Water losses management and techniques. *Water Supply*, 2(4), 1–20. <https://doi.org/10.2166/ws.2002.0115>
- Dawood, T., Elwakil, E., Novoa, H. M., & Gárate Delgado, J. F. (2020). Water pipe failure prediction and risk models: State-of-the-art review. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 47(10), 1117–1127. <https://doi.org/10.1139/cjce-2019-0481>
- Di Nardo, A., Di Natale, M., & Di Mauro, A. (2013). *Water supply network district metering: Theory and case study*. Springer Science & Business Media.
- El-Zahab, S., & Zayed, T. (2019). Leak detection in water distribution networks: An introductory overview. *Smart Water*, 4(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s40713-019-0017-x>
- Farley, M. (2003). *Non-revenue water—international best practice for assessment, monitoring and control*. 28.
- Farley, M., & Trow, S. (2003). *Losses in water distribution networks*. IWA publishing.
- Farmani, R., Kakoudakis, K., Behzadian, K., & Butler, D. (2017). Pipe failure prediction in water distribution systems considering static and dynamic factors. *Procedia Engineering*, 186, 117–126. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.217>
- Fletcher, T. D., Andrieu, H., & Hamel, P. (2013). Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in Water Resources*, 51, 261–279. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.09.001>

- Fontana, N., Giugni, M., & Portolano, D. (2012). Losses reduction and energy production in water-distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 138(3), 237–244. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000179](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000179)
- Fuchs-Hanusch, D., Kornberger, B., Friedl, F., Scheucher, R., & Kainz, H. (2012). Whole of life cost calculations for water supply pipes. *Water Asset Management International*, 8(2), 19–24.
- Gandhi, T., Panigrahi, B. K., & Anand, S. (2011). A comparative study of wavelet families for EEG signal classification. *Neurocomputing*, 74(17), 3051–3057. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2011.04.029>
- Ghaffour, N., Missimer, T. M., & Amy, G. L. (2013). Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*, 309, 197–207. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.10.015>
- Giustolisi, O., & Savic, D. A. (2006). A symbolic data-driven technique based on evolutionary polynomial regression. *Journal of Hydroinformatics*, 8(3), 207–222. <https://doi.org/10.2166/hydro.2006.020b>
- Grafenauer, T., Najafi, M., Sangster, T., & Slavin, L. M. (2014). Repair of In-Service HDPE Water Distribution Pipe. In *Pipelines 2014: From Underground to the Forefront of Innovation and Sustainability* (pp. 1274–1285).
- Güngör, M., Yazar, U., Cantürk, Ü., & Fırat, M. (2019). Increasing performance of water distribution network by using pressure management and database integration. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 10(2), 04019003. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.1949-1204.0000367](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000367)
- Haider, H., Sadiq, R., & Tesfamariam, S. (2014). Performance indicators for small-and medium-sized water supply systems: A review. *Environmental Reviews*, 22(1), 1–40. <https://doi.org/10.1139/er-2013-0013>

- Hajder, S., & El Sayed, A. (2023). *REDUCTION OF LOSSES IN WATER DISTRIBUTION NETWORKS USING ZONAL WATER METERS*. 107.
- Hoțupan, A., Mare, R., & Hădărean, A. (2019). Water Loss Reduction in Water Distribution Networks. Case Study. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 9(1), 73–80. <https://doi.org/10.2478/jaes-2019-0009>
- Hunaidi, O., Chu, W., Wang, A., & Guan, W. (2000). Detecting leaks in plastic pipes. *Journal-American Water Works Association*, 92(2), 82–94. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2000.tb08819.x>
- Jang, D. (2018). A parameter classification system for nonrevenue water management in water distribution networks. *Advances in Civil Engineering*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/3841979>
- Jara-Arriagada, C., & Stoianov, I. (2024). Pressure-induced fatigue failures in cast iron water supply pipes. *Engineering Failure Analysis*, 155, 107731. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107731>
- Kabir, G., Tesfamariam, S., Loepky, J., & Sadiq, R. (2016). Predicting water main failures: A Bayesian model updating approach. *Knowledge-Based Systems*, 110, 144–156. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2016.07.024>
- Kanakoudis, V., & Gonelas, K. (2015). Estimating the economic leakage level in a water distribution system. *Water Resources Management in a Changing World: Challenges and Opportunities*, 1–7.
- Karadirek, I. E., & Aydin, M. E. (2022). Water losses management in urban water distribution systems. In *Water and Wastewater Management: Global Problems and Measures* (pp. 53–65). Springer.

- Khoa Bui, X., S. Marlim, M., & Kang, D. (2020). Water network partitioning into district metered areas: A state-of-the-art review. *Water*, 12(4), 1002. <https://doi.org/10.3390/w12041002>
- Kohavi, R. (1995). *A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection*. 14(2), 1137–1145.
- Lambert, A. O. (2002). International report: Water losses management and techniques. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2(4), 1–20. <https://doi.org/10.2166/ws.2002.0115>
- Laucelli, D. B., Simone, A., Berardi, L., & Giustolisi, O. (2016). Optimal design of district metering areas. *Procedia Engineering*, 162, 403–410. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.081>
- Laucelli, D. B., Simone, A., Berardi, L., & Giustolisi, O. (2017). Optimal design of district metering areas for the reduction of leakages. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(6), 04017017. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000768](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000768)
- Laucelli, D., Rajani, B., Kleiner, Y., & Giustolisi, O. (2014). Study on relationships between climate-related covariates and pipe bursts using evolutionary-based modelling. *Journal of Hydroinformatics*, 16(4), 743–757. <https://doi.org/10.2166/hydro.2013.082>
- Li, R., Huang, H., Xin, K., & Tao, T. (2015). A review of methods for burst/leakage detection and location in water distribution systems. *Water Science and Technology: Water Supply*, 15(3), 429–441. <https://doi.org/10.2166/ws.2014.131>
- Liemberger, R., Brothers, K., Lambert, A., McKenzie, R., Rizzo, A., & Waldron, T. (2007). *Water loss performance indicators*. 148–160.
- Lueke, J. S., & Ariaratnam, S. T. (2001). Rehabilitation of underground infrastructure utilizing trenchless pipe replacement. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 6(1), 25–34. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0680\(2001\)6:1\(25\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0680(2001)6:1(25))

- McDonald, D. A. (2016). The weight of water: Benchmarking for public water services. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 48(11), 2181–2200. <https://doi.org/10.1177/0308518X16654913>
- Mi, M. (n.d.). *Water Distribution Network Topology Validation Using Pressure Drop Test*.
- Miszta-Kruk, K., Kwietniewski, M., Malesińska, A., & Chudzicki, J. (2014). Modern devices for detecting leakages in water supply networks. *The Detective's Handbook*, 149.
- Moslehi, I., Jalili-Ghazizadeh, M., & Yousefi-Khoshqalb, E. (2021). Developing a framework for leakage target setting in water distribution networks from an economic perspective. *Structure and Infrastructure Engineering*, 17(6), 821–837. <https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1777568>
- Mutikanga, H. E., Sharma, S. K., & Vairavamoorthy, K. (2013). Methods and tools for managing losses in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(2), 166–174. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000245](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000245)
- Ngwenya, N., Ncube, E. J., & Parsons, J. (2012). Recent advances in drinking water disinfection: Successes and challenges. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 111–170.
- Novarini, B., Brentan, B. M., Meirelles, G., & Luvizotto Junior, E. (2019). Optimal pressure management in water distribution networks through district metered area creation based on machine learning. *RBRH*, 24, e37. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180165>
- Ociepa, E. (2021). Analysis and assessment of water losses reduction effectiveness using examples of selected water distribution systems. *Desalination and Water Treatment*, 211, 196–209. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.26594>
- Ociepa, E., Molik, R., & Lach, J. (2018). *Assessment of water loss level on the example of selected distribution systems*. 44, 00131.

- Ociepa, E., Mrowiec, M., & Deska, I. (2019). Analysis of water losses and assessment of initiatives aimed at their reduction in selected water supply systems. *Water*, 11(5), 1037. <https://doi.org/10.3390/w11051037>
- Özdemir, Ö. (2018). Water leakage management by district metered areas at water distribution networks. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(4), 182. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6559-9>
- Page, P. R., Abu-Mahfouz, A. M., & Mothetha, M. L. (2017). Pressure management of water distribution systems via the remote real-time control of variable speed pumps. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(8), 04017045. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000807](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000807)
- Parida, R. K., Thyagarajan, V., & Menon, S. (2013). *A thermal imaging based wireless sensor network for automatic water leakage detection in distribution pipes*. 1–6.
- Park, S., Kim, J., Newland, A., Kim, B., & Jun, H. (2008). *Survival analysis of water distribution pipe failure data using the proportional hazards model*. 1–10.
- Pearson, D. (2019). *Standard definitions for water losses*. IWA Publishing London, UK.
- Pelletier, G., Mailhot, A., & Villeneuve, J.-P. (2003). Modeling water pipe breaks—Three case studies. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129(2), 115–123. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2003\)129:2\(115\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2003)129:2(115))
- Pereira, L. S., Cordery, I., & Iacovides, I. (2012). Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural Water Management*, 108, 39–51. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.08.022>
- Perelman, L. S., Allen, M., Preis, A., Iqbal, M., & Whittle, A. J. (2015). Automated sub-zoning of water distribution systems. *Environmental Modelling & Software*, 65, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.11.025>

- Prescott, S. L., & Ulanicki, B. (2008). Improved control of pressure reducing valves in water distribution networks. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(1), 56–65. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2008\)134:1\(56\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:1(56))
- Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D., & Koppel, T. (2010). A review of methods for leakage management in pipe networks. *Urban Water Journal*, 7(1), 25–45. <https://doi.org/10.1080/15730621003610878>
- Rajani, B., & Kleiner, Y. (2001). Comprehensive review of structural deterioration of water mains: Physically based models. *Urban Water*, 3(3), 151–164. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00032-2](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00032-2)
- Rajani, B., Kleiner, Y., & Sink, J.-E. (2012). Exploration of the relationship between water main breaks and temperature covariates. *Urban Water Journal*, 9(2), 67–84. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2011.630093>
- Ramos, H., Reis, C., Ferreira, C., Falcão, C., & Covas, D. (2001). Leakage control policy within operating management tools. *Computer and Control for Water Industry*, 61–73.
- Saegrov, S., Baptista, J. M., Conroy, P., Herz, R., LeGauffre, P., Moss, G., Oddevald, J., Rajani, B., & Schiatti, M. (1999). Rehabilitation of water networks: Survey of research needs and on-going efforts. *Urban Water*, 1(1), 15–22. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(99\)00002-3](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(99)00002-3)
- Taha, A.-W., Sharma, S., Lupoja, R., Fadhl, A.-N., Haidera, M., & Kennedy, M. (2020). Assessment of water losses in distribution networks: Methods, applications, uncertainties, and implications in intermittent supply. *Resources, Conservation and Recycling*, 152, 104515.
- Van Rhyn, P., & Pretorius, J. H. C. (2015, May). Utilising high and premium efficiency three phase motors with VFDs in a public water supply system. In 2015 IEEE 5th International

- Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG) (pp. 497-502). IEEE.
- Van Zyl, J. (2014). *Introduction to Operation and Maintenance of Water Distribution Systems* EDITION. Water Research Commission.
- Vicente, D., Garrote, L., Sánchez, R., & Santillán, D. (2016). Pressure management in water distribution systems: Current status, proposals, and future trends. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(2), 04015061. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000589](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000589)
- World Health Organization. (2014). *Water safety in distribution systems*. World Health Organization.
- Wright, R., Abraham, E., Parpas, P., & Stoianov, I. (2015). Optimized control of pressure reducing valves in water distribution networks with dynamic topology. *Procedia Engineering*, 119, 1003–1011. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.994>
- Wu, Z. Y. (2008). Innovative optimization model for water distribution leakage detection. *Watertown, USA: Bentley Systems Inc.*
- Yilmaz, S., Firat, M., Ateş, A., & Özdemir, Ö. (2021). Analysis of economic leakage level and infrastructure leakage index indicator by applying active leakage control. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 12(4), 04021046. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.1949-1204.0000583](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000583)
- Yousefi Khoshqalb, E., Moslehi, I., Jalili Ghazizadeh, M., & Ghamkhar, H. (2021). A Review on Methods for Economic Analysis of Leakage in Water Distribution Networks. *Iran-Water Resources Research*, 17(1), 68–101.
- Yu, J., Zhang, L., Chen, J., Xiao, Y., Hou, D., Huang, P., Zhang, G., & Zhang, H. (2021). An integrated bottom-up approach for leak detection in water distribution networks based on

assessing parameters of water balance model. *Water*, 13(6), 867.

<https://doi.org/10.3390/w13060867>