

ΤΕΙ ΛΑΡΙΣΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΡΓΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ»**

**«ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΓΙΑ ΕΠΙΣΚΕΥΗ Ή
ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΘΡΑΥΣΕΩΝ
ΑΓΩΓΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΔΡΕΥΣΗΣ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΑΒΒΟΡΓΙΝΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΣΥΡΑΚΟΥΛΗΣ ΚΛΕΑΝΘΗΣ

ΛΑΡΙΣΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ: 2014 – 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η αξιοποίηση των ιστορικών στοιχείων θραύσεων αγωγών, που τηρούνται στις Επιχειρήσεις διανομής πόσιμου νερού, για τον εντοπισμό των παραγόντων επιρροής τους και τη λήψη απόφασης βελτίωσης διαχείρισης των αστικών δικτύων ύδρευσης.

Το βασικό θέμα είναι η βέλτιστη αξιοποίηση των πόρων, με την αύξηση του ωφέλιμου χρόνου λειτουργίας των δικτύων, που θα πρέπει να επισκευαστούν ή σε κατάλληλο χρόνο να αντικατασταθούν. Η αποτύπωση των στοιχείων «συμπεριφοράς» των εγκατεστημένων σωληνώσεων σε πραγματικές συνθήκες, θα αποτελέσει την πηγή γνώσης για την χάραξη στρατηγικής διαχείρισης δικτύων από τους υπεύθυνους επιχειρήσεων νερού.

Το συγκριτικό πλεονέκτημα της παρούσας εργασίας είναι η συστηματική μακροχρόνια τήρηση στοιχείων επεμβάσεων σε δίκτυα ύδρευσης από τις Υπηρεσίες της ΔΕΥΑ Λάρισας, που αφορούν όχι μόνο τα δίκτυα αλλά και τις συνδέσεις τους μέχρι την οικοδομική γραμμή των καταναλωτών. Στόχος είναι να εντοπιστούν τα στοιχεία και η διαδικασία τήρησής τους από αντίστοιχες επιχειρήσεις νερού, προκειμένου να αποτελέσουν ασφαλή βάση πραγματικών δεδομένων για τη χάραξη τεκμηριωμένης στρατηγικής διαχείρισης δικτύων ύδρευσης.

Η οικονομική κρίση στην Ελλάδα αλλά και ο περιορισμός επενδύσεων για αντικαταστάσεις δικτύων στην Ευρώπη και σε ολόκληρο τον κόσμο, ανάγουν σε κυρίαρχης σημασίας το θέμα της αύξησης του χρόνου ζωής των δικτύων ύδρευσης. Το μοναδικό αξιόπιστο κριτήριο για την τεκμηρίωση των αποφάσεων των στελεχών των επιχειρήσεων νερού για επισκευή ή επιλογή στρατηγικής αντικατάστασης δικτύων είναι το ιστορικό επεμβάσεων στα δίκτυα ύδρευσης.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλά αξιόλογα και αξιόπιστα ερευνητικά συγγράμματα για την αξιολόγηση της πραγματικής κατάστασης των σωληνώσεων δικτύων ύδρευσης. Αυτά στηρίχτηκαν κυρίως σε ιδανικές συνθήκες κατασκευής υλικών και δικτύων, αλλά και σε επιρροές παραγόντων, με βάση θεωρητικές ή πρακτικές διαπιστώσεις συγκεκριμένης χρονικής στιγμής. Τίποτα δεν είναι πιο αξιόπιστο όμως από τα πραγματικά γεγονότα που αποτυπώνουν την πραγματική αξιολόγηση της κατάστασης των σωλήνων και που αναφέρονται όχι μόνο σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, αλλά στην ιστορική εξέλιξη των περιστατικών θραύσεων.

Τα θέματα που τίθενται για τις επιχειρήσεις διαχείρισης δικτύων νερού είναι η αξιόπιστη, έγκαιρη και έγκυρη καταγραφή των γεγονότων, έτσι ώστε να αποτελέσουν όχι μόνο τη

βάση αξιολόγησης της πραγματικής κατάστασης των σωληνών, αλλά και το εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων επιλογών επισκευής ή στρατηγικών προγραμματισμένης αντικατάστασης σωληνώσεων και εξαρτημάτων δικτύων.

Οι επιχειρήσεις νερού στην πλειονότητά τους τηρούν αρχεία καταγραφής συμβάντων, η ποιότητα των στοιχείων αυτών ποικίλει όμως, με αποτέλεσμα σε κάποιες περιπτώσεις την κατασπατάληση πόρων και ανθρωποπυρών χωρίς το επιθυμητό αποτέλεσμα αξιοποίησης των καταγραφών.

Αποτελεί έναν από τους σκοπούς της παρούσας εργασίας η προσπάθεια υπόδειξης και καθοδήγησης της απλουστευμένης διαδικασίας ποιοτικής αποτύπωσης περιστατικών δικτύων ύδρευσης για τις μεγάλες αλλά κυρίως για τις μικρότερες επιχειρήσεις νερού, όπου το πρόβλημα έλλειψης προσωπικού αφενός και η κατασπατάληση υδατικών πόρων αφετέρου, τις φέρνουν αντιμέτωπες με τεράστια οικονομικά και τεχνικά προβλήματα.

Αποτέλεσμα της αντιμετώπισης της καθημερινότητας, χωρίς να υπάρχει στρατηγική κατεύθυνσης επιλογών, είναι το γεγονός ότι για πολλές από τις επιχειρήσεις νερού τα καταγεγραμμένα γεγονότα αποτελούν αναξιποίητη αποθηκευμένη πηγή γνώσης, αφού δεν είναι γνωστή η απλουστευμένη διαδικασία επιλεκτικής αξιοποίησής τους και τελικής βαθμονόμησης των παραγόντων επιρροής των αποφάσεων στρατηγικών επιλογών διαχείρισης δικτύων.

Στο 1^ο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη σημαντικότερη οικονομικά και περιβαλλοντικά επίπτωση των θραύσεων δικτύων ύδρευσης, που είναι οι απώλειες νερού. Γίνεται αναφορά σε έννοιες και τρόπους διαχείρισης των απωλειών νερού. Στη συνέχεια γίνεται προσπάθεια καταγραφής των ερευνών που έχουν γίνει αναφορικά με τα απαραίτητα δεδομένα «περιστατικών» σωληνώσεων που καταγράφονται από επιχειρήσεις νερού, προκειμένου να είναι αξιοποιήσιμα στη συνέχεια για τη χάραξη στρατηγικών αποφάσεων.

Στο 2^ο Κεφάλαιο καταγράφονται οι παράγοντες επιρροής των ρυθμών αποτυχιών δικτύων ύδρευσης, σύμφωνα με παλιότερες αλλά και σύγχρονες ερευνητικές μελέτες.

Στο 3^ο Κεφάλαιο γίνεται καταγραφή στατιστικών μοντέλων καθώς και συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων προκειμένου να γίνει προσπάθεια πρόβλεψης αστοχιών με βάση προηγούμενη «συμπεριφορά» των δικτύων ύδρευσης. Στο τέλος του 3^{ου} κεφαλαίου εξάγονται συμπεράσματα με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία, σύμφωνα με την οποία είναι εξαιρετικά πολύπλοκη η διαχείριση δικτύων ύδρευσης και η τεκμηριωμένη λήψη στρατηγικών αποφάσεων που αφορούν όχι μόνο αξιοποίηση περιορισμένων υδατικών πόρων, αλλά και θέματα που σχετίζονται με την ανθρώπινη υγεία. Η πολυπλοκότητα

διαχείρισης οφείλεται κυρίως στη διαρκώς μεταβαλλόμενη δυναμική κατάσταση λειτουργίας των δικτύων ύδρευσης και γίνεται ακόμη πιο σύνθετη για τις επιχειρήσεις νερού με περιορισμένους ανθρώπινους και οικονομικούς πόρους.

(Τα παραπάνω αποτέλεσαν και το κυρίαρχο κίνητρο και ερέθισμα για την επιλογή του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας σε συνδυασμό με την πολυετή ενασχόλησή μου με τη διαχείριση δικτύων ύδρευσης.)

Στο 4^ο Κεφάλαιο μελετάται η περίπτωση της Δημοτικής Επιχείρησης Ύδρευσης Αποχέτευσης Λάρισας, κάνοντας στην αρχή αναφορά στο ιστορικό της Επιχείρησης που λειτουργεί με ιδιωτικοοικονομικά κριτήρια, παρά το Δημόσιο χαρακτήρα της.

Παρουσιάζονται οι ενέργειες και τα αποτελέσματα για διαχείριση των απωλειών δικτύων ύδρευσης της πόλης της Λάρισας καθώς και τεχνικά στοιχεία που αφορούν υλικά αγωγών ανά περιοχή, χωρισμό ζωνών πίεσης, αλλά και το τυποποιημένο έντυπο καταγραφής περιστατικών επισκευών και αντικαταστάσεων. Παρατίθενται τέλος στοιχεία κόστους επισκευής ή αντικατάστασης.

Στο 5^ο Κεφάλαιο αναλύεται η μεθοδολογία της έρευνας και γίνεται προσπάθεια αξιοποίησης των δεδομένων επεμβάσεων στα δίκτυα ύδρευσης που αφορούν τη δεκαετία 2004-2013. Από τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης των στοιχείων, εξάγονται συμπεράσματα των παραγόντων επιρροής σωληνώσεων δικτύων ύδρευσης και στη συνέχεια γίνεται σχολιασμός σε σχέση με τη βιβλιογραφία.

Τέλος στο 6^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και που αφορούν και τη βιβλιογραφία αλλά και τη χρησιμότητα αξιοποίησης των δεδομένων θραύσεων αγωγών στις επιχειρήσεις νερού.

ABSTRACT

The subject of the present dissertation is the exploitation of the historical data on breakages on the water supply network, that the drinking water distribution enterprise keeps, in order to identify the main factors that influence the frequency of the breakages and consequently the decision-making on whether to improve or not the urban water supply networks.

The main theme is an improved use of resources, by increasing the useful operation of networks, which have to be repaired or replaced at the appropriate time. The recording of the “behavior” of the placed pipes under field conditions is a source of knowledge for developing a strategy for the network management by the responsible water enterprise.

The comparative advantage of this work is the systematic and long-term record keeping procedure in water supply of DEYA Larissa Services, concerning not only the main water network, but also the household connections.

The objective is to identify the elements and the processes for record-keeping by other water companies in order to provide a secure database of real data for an evidence-based strategy for the management of water supply.

The economic crisis in Greece and the limitations in investment for water network replacements in Europe and throughout the world make vital the issue of increase of life time of water supply systems.

The only reliable criterion that water enterprise executives have in order to decide whether to repair or replace water networks is the historical data of water networks breakages.

In the literature there are many valuable and reliable researches that evaluate the real situation of water pipe networks.

These were based mainly on ideal conditions for both the manufacturing of the materials used and the construction of the networks. But also, on factors that are based on theoretical or practical observations of specific time. Nothing is more reliable as facts that illustrate the actual condition of the pipes and are based, not only at a specific time, but on the historical evolution of breakages.

The issues raised for water network management companies are reliable, timely and accurate recording of events, in order to constitute not only the basis for evaluating the actual condition of pipes, but as well the decision support system for repair choices or strategies of scheduled replacement of pipes and other components of the network.

Water companies keep event logs, however, the quality of them varies. As such, in some cases the waste of resources and man-hours is big and without the desired result of usable

records.

One of the purposes of this work is the guidance of a simplified and qualitative record of water networks breaks incidents procedure for large but mostly for smaller water companies, where the shortage of human resources on the one hand and waste water resources on the other hand, confronted them with huge financial and technical problems.

The result of everyday troubleshooting, without strategy is the fact that for many of water companies the recorded breakage events are stored as unused source of knowledge, because they are not aware of the simplified selective exploitation procedure and the final calibration of the decision-influencing factors for strategic water networks management.

The 1st Chapter makes reference to the significant economic and environmental impact of water networks breakage, which are the water losses. Main concepts and ways of water losses managing are also mentioned. In addition, the existing research concerning the required data of incidents that are recorded by water utility companies, in order to be usable then for making strategic decisions, is represented

The 2nd Chapter lists the identified factors influencing the water networks failures rates, according to earlier and more recent research studies.

Chapter 3 lists the statistical models and decision support systems used in order to forecast failures by prior "behavior" of water supply systems.

At the end of third chapter conclusions are drawn based on the existing literature, according to which is extremely complicated to manage water networks and to document strategic decisions concerning not only the use limited water resources, but issues related to human health as well. This complexity is mainly caused by the continuously changing dynamics of operating conditions of water supply networks and becomes even more complex for the water utility companies by the limited human and financial resources.

Chapter 4 describes the case study of the Municipal Enterprise for Water Supply and Sewerage of Larissa, making a reference to the history of the enterprise, which operates by private economic criteria, although it has public character.

It also represents the actions and the outcomes of the water network losses management of Larissa city, as well as technical data relating to pipe materials by region, pressure zones division, and the standard repair or replacement events recording form. It finally lists the repair or replacement costs.

Chapter 5 describes the methodology used in this research work for the exploitation of the data on interventions in the distribution network in the last decade, 2004-2013. From the

results of the statistical analysis of the data, conclusions are drawn for the factors that influence the breakages of water piping and then these conclusions are commented and are compared with the relevant literature.

Finally, in the 6th Chapter presents the conclusions of the dissertation and related to literature review and the usefulness of exploitation historical data on breakages on the water supply network for the water utilities.

Πίνακας περιεχομένων

| | |
|---|------|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | ii |
| ABSTRACT | v |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ | xi |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ | xii |
| ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ ΟΡΩΝ | xiii |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ | xiv |
| Πρόλογος | xiv |
| Κίνητρο και υπόβαθρο | xvi |
| Σκοπός της διατριβής | xvii |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο | 1 |
| 1.1 Απώλειες νερού | 1 |
| 1.2. Συλλογή απαραίτητων δεδομένων - Αρχεία απογραφής αστοχιών αγωγών ύδρευσης | 7 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο | 13 |
| Παράγοντες που επηρεάζουν τους ρυθμούς αποτυχιών στους αγωγούς ύδρευσης | 13 |
| 2.1 Επίδραση του παράγοντα: «ηλικία αγωγών» | 17 |
| 2.2 Επίδραση του παράγοντα: «υλικό αγωγών» | 18 |
| 2.3 Επίδραση του παράγοντα: «διαμέτρος αγωγών» | 19 |
| 2.4 Επίδραση του παράγοντα: «κατάσταση εδάφους» | 20 |
| 2.5 Επίδραση του παράγοντα: «συνθήκες κυκλοφορίας και φορτίων» | 20 |
| 2.6 Επίδραση του παράγοντα: «αρχική κατάσταση αγωγών και προηγούμενων αποτυχιών» | 21 |
| 2.7 Επίδραση του παράγοντα: «κλιματικές συνθήκες» | 22 |

| | |
|--|----|
| 2.8 Επίδραση του παράγοντα: « διάβρωση» | 22 |
| 2.9 Επίδραση του παράγοντα: «μήκος σωλήνων» | 22 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο | 23 |
| Διαχείριση αστοχιών δικτύων ύδρευσης – Στατιστικά μοντέλα | 23 |
| 3.1 Πρότυπα περιγραφής Τεχνικής Κατάστασης σωλήνων | 23 |
| 3.2 Προβλέψεις σε συστήματα διανομής νερού | 23 |
| 3.3 Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων - Στρατηγική επιλογή στο δίλημμα «ΕΠΙΣΚΕΥΗ ή ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ» | 32 |
| 3.4 Συμπεράσματα | 36 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο | 37 |
| Η περίπτωση της Δημοτικής Επιχείρησης Ύδρευσης Αποχέτευσης Λάρισας | 37 |
| 4.1 Ταυτότητα – Ιστορικό της Επιχείρησης | 37 |
| 4.2 Διαχείριση απωλειών δικτύων ύδρευσης στη Δ.Ε.Υ.Α.Λ. | 39 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο | 51 |
| 5.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ | 51 |
| 5.2 Περιγραφική Ανάλυση Δεδομένων – Παράγοντες επιρροής επεμβάσεων | 52 |
| 5.3 Παράγοντας επιρροής «υλικό και διατομή αγωγού». | 59 |
| <i>Πίνακας 11. Συμβάντα ανά χιλ. μήκους δικτύου για κάθε υλικό.</i> | 61 |
| 5.4 Παράγοντας επιρροής «εποχή του χρόνου και χρονικό διάστημα από προηγούμενη επέμβαση» | 62 |
| 5.5 Εμφάνιση θραύσεων σε GIS | 64 |
| <i>Πίνακας 13. Συμβάντα ανά έτος</i> | 66 |
| 5.6 Παραμετρικοί έλεγχοι | 67 |
| 5.7 Μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης | 70 |

| | |
|--|-----------|
| 5.7.1 Μοντέλο αθροιστικού κόστους | 70 |
| 5.8 Σχολιασμός αποτελεσμάτων στατιστικής ανάλυσης | 76 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο | 81 |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ | 81 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ | 87 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | |
|--|----|
| Σχήμα 1: Τέσσερα ενδεχόμενα εργαλεία παρεμβάσεων για την εφαρμογή προγράμματος ενεργητικής διαχείρισης απωλειών (πηγή IWA Water Loss Task Force και AWWA Water Loss Control Committee) | 2 |
| Σχήμα 2: Τέσσερα ενδεχόμενα εργαλεία παρεμβάσεων ενός προγράμματος διαχείρισης εμφανών απωλειών (πηγή IWA Water Loss Task Force και AWWA Water Loss Control Committee) | 3 |
| Σχήμα 3: Παράγοντες επιρροής ρυθμού αποτυχιών κεντρικών αγωγών ύδρευσης (Wang, 2009) | 15 |
| Σχήμα 4: Κατανομή συχνότητας θραύσεων (Πηγή: Dave Pearson Sofia Water) | 16 |
| Σχήμα 5: Ζώνες πίεσης στην πόλη της Λάρισας {Z1()=3,7 bar, Z2()=5 bar, Z3()=3,2 bar, Z4()=3,3bar , Z5() = 3,5 bar | 40 |
| Σχήμα 6: Ποσοστό απωλειών δικτύων ύδρευσης ΔΕΥΑΛ από το 1971 έως το 2013 και επιρροή τους από γεγονότα και δράσεις. | 41 |
| Σχήμα 7: Δίκτυα ύδρευσης από PVC και PE στην πόλη της Λάρισας | 42 |
| Σχήμα 8: Δίκτυα ύδρευσης από Αμιαντοσιμέντο στην πόλη της Λάρισας | 43 |
| Σχήμα 9: Δίκτυα ύδρευσης από Χυτοσίδηρο στην πόλη της Λάρισας | 44 |
| Σχήμα 10: Ποσοστά υλικών αγωγών δικτύων ύδρευσης Λάρισας | 45 |
| Σχήμα 11: Τυποποιημένο έντυπο καταγραφής εκτελεσμένων εργασιών ΔΕΥΑΛ (1 ^η σελίδα) | 48 |
| Σχήμα 12: Τυποποιημένο έντυπο καταγραφής εκτελεσμένων εργασιών ΔΕΥΑΛ (2 ^η σελίδα) | 49 |
| Σχήμα 13: Ποσοστό επεμβάσεων ανά είδος εργασίας στη δεκαετία 2004 - 2013 | 59 |
| Σχήμα 14: Θραύσεις κύριων αγωγών δικτύων ύδρευσης της ΔΕΥΑ Λάρισας ανά διατομή και υλικό | 62 |
| Σχήμα 15: Γράφημα χρονικού διαστήματος (ημέρες) μεταξύ θραύσεων στην ίδια οδό της Λάρισας | 63 |
| Σχήμα 16: Μηνιαίος αριθμός θραύσεων κατά τη δεκαετία 2004 -2013 Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης | |
| Σχήμα 17: Οδός Αμοργού επεμβάσεις ΔΕΥΑΛ στη δεκαετία 2004 - 2013 | 65 |
| Σχήμα 18: Οδός Δήλου επεμβάσεις ΔΕΥΑΛ στη δεκαετία 2004 - 2013 | 65 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|---|----|
| <i>Πίνακας 1: Απαιτούμενοι παράμετροι για τον υπολογισμό των συστατικών των Πραγματικών Ετήσιων Απωλειών (Πηγή Water Loss Control Manual, 1st ed).</i> | 6 |
| <i>Πίνακας 2: Απαιτούμενα στοιχεία τροφοδοσίας βάσης δεδομένων αστοχιών αγωγών (Moglia κ.α. 2006)</i> | 12 |
| <i>Πίνακας 3: Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων για στρατηγική αντικατάστασης αγωγών (Moglia κ.α. 2006)</i> | 35 |
| <i>Πίνακας 4: Μήκος δικτύων ανά υλικό αγωγών</i> | 44 |
| <i>Πίνακας 5: Αριθμός υδρομέτρων ανά Τοπική Κοινότητα</i> | 46 |
| <i>Πίνακας 6: Κόστος εργασιών που προκύπτει από το Ενιαίο Περιγραφικό Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων 2013 του ΥΠ.Ε.Κ.Α (ανά είδος εργασίας ΔΕΥΑ)</i> | 50 |
| <i>Πίνακας 7: Συχνότητες εργασιών</i> | 53 |
| <i>Πίνακας 8: Αριθμός συμβάντων ανά εργασία και υλικό.</i> | 56 |
| <i>Πίνακας 9: Αριθμός επεμβάσεων ανά κατηγορία εργασίας</i> | 58 |
| <i>Πίνακας 10: Συχνότητα επεμβάσεων θραύσεων σε δίκτυα ύδρευσης της ΔΕΥΑΑ ανά ομάδα διατομής αγωγού.</i> | 60 |
| <i>Πίνακας 11. Συμβάντα ανά χιλ. μήκους δικτύου για κάθε υλικό.</i> | 61 |
| <i>Πίνακας 12: Συμβάντα ανά μήνα</i> | 64 |
| <i>Πίνακας 13. Συμβάντα ανά έτος</i> | 66 |
| <i>Πίνακας 14: Επισκευές/Αντικαταστάσεις ανά έτος</i> | 66 |
| <i>Πίνακας 15: Σύγκριση μέσων συμβάντων ανά δρόμο για το υλικό</i> | 68 |
| <i>Πίνακας 16: Σύγκριση μέσων συμβάντων ανά δρόμο για το φόρτο κυκλοφορίας</i> | 69 |
| <i>Πίνακας 17: Αποτελέσματα SPSS</i> | 76 |

ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ ΟΡΩΝ

Ανακαίνιση (Renovation): Μέθοδοι αποκατάστασης κατά την οποία όλη, ή μέρος της αρχικής δομής ενός δικτύου ύδρευσης έχουν ενσωματωθεί για να βελτιώσουν την απόδοσή του. Η εσωτερική επένδυση είναι ένα τυπικό παράδειγμα ανακαίνισης αγωγού.

Ανανέωση (Renewal): Η κατασκευή νέου αγωγού, που εξασφαλίζει την ίδια λειτουργία του συστήματος διανομής, αλλά δεν έχει απαραίτητα ακριβώς την ίδια διαδρομή με τον αγωγό που αντικαθίσταται.

Αντικατάσταση (Replacement): Η κατασκευή νέου αγωγού, στην ίδια ή σε κοντινή θέση με παλιό αγωγό. Η λειτουργία του νέου αγωγού θα ενσωματώσει την παλιά λειτουργία, αλλά μπορεί να περιλαμβάνει και βελτιώσεις.

Αξιοπιστία (Reliability): Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8402 αξιοπιστία ενός συστήματος ορίζεται ως "η ικανότητα του συστήματος να εκτελεί μια απαιτούμενη λειτουργία, κάτω από καθορισμένες περιβαλλοντικές και λειτουργικές συνθήκες και για ορισμένο χρονικό διάστημα".

Αποκατάσταση (Rehabilitation): Όλες οι μέθοδοι για την αποκατάσταση ή την αναβάθμιση της απόδοσης ενός υφιστάμενου συστήματος σωλήνων ύδρευσης. Ο όρος αποκατάσταση περιλαμβάνει επισκευή, ανακαίνιση, ανανέωση και αντικατάσταση.

Διάρκεια ζωής (Service life): Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 15686 ορίζεται ως "το χρονικό διάστημα μετά την εγκατάσταση, κατά την οποία ένα κτίριο ή τα εξαρτήματα πληρούν ή υπερβαίνουν τις απαιτήσεις απόδοσης". Αναλογικά για τα δίκτυα ύδρευσης: "Το χρονικό διάστημα μετά την εγκατάσταση κατά την οποία ένα δίκτυο ύδρευσης ή τα εξαρτήματά του, πληρούν ή υπερβαίνουν τις απαιτήσεις απόδοσης".

Επισκευάσιμο σύστημα (Repairable system): Ένα σύστημα το οποίο, μετά από αποτυχία εκτέλεσης τουλάχιστον μιας από τις απαιτούμενες λειτουργίες του, μπορεί να αποκατασταθεί για να εκτελέσει όλες τις λειτουργίες με οποιαδήποτε μέθοδο, εκτός από την αντικατάσταση όλου του συστήματος.

Επισκευή (Repair): Μια προγραμματίστη δραστηριότητα συντήρησης, που πραγματοποιείται μετά την εμφάνιση της βλάβης. Μετά την επισκευή το σύστημα θα επανέλθει σε κατάσταση κατά την οποία μπορεί να πραγματοποιήσει μια επιθυμητή λειτουργία (π. χ. παροχή νερού, επιδιόρθωση τοπικής ζημιάς).

Θραύση (Break): Μια αποτυχία σε ένα σωλήνα που οδηγεί σε απώλεια νερού. Παραδείγματα τύπων θραύσεων μπορεί να είναι μια τρύπα ή μια ρωγμή στο τοίχωμα του σωλήνα.

Κεντρικοί αγωγοί διανομής (distribution main): Κάθε αγωγός του συστήματος διανομής εκτός των σωλήνων συνδέσεων με τους καταναλωτές

Ποσοστό θραύσεων (Break rate): ο όρος ποσοστό θραύσεων χρησιμοποιείται ευρέως σε αναλύσεις θραύσεων σωλήνων δικτύων διανομής νερού. Το ποσοστό θραύσεων για ένα συγκεκριμένο σωλήνα ή σετ σωλήνων κανονικοποιείται για σωλήνα μήκους και χρόνου. Η μονάδα μέτρησης ποσοστού θραύσεων συχνά εκφράζεται ως ο αριθμός των θραύσεων ανά χιλιόμετρο ετησίως [αριθμός θραύσεων/μήκος/ώρα].

Προληπτική στρατηγική (Proactive strategy): Στη διαχείριση δικτύων ύδρευσης μια στρατηγική είναι προληπτική, εάν η δράση έχει αναληφθεί πριν εκδηλωθεί η βλάβη.

Στρατηγική αντίδρασης (Reactive strategy): Στη διαχείριση δικτύων ύδρευσης η στρατηγική αντίδρασης αφορά τη δράση μετά την εκδήλωση της βλάβης.

Σύνδεση εξυπηρέτησης ή σύνδεση παροχής (service connection): Το τμήμα του σωλήνα εξυπηρέτησης της επιχείρησης νερού, προς τη βάνια διακοπής στο πεζοδρόμιο του πελάτη, ή στην οικοδομική γραμμή της ιδιοκτησίας.

Σωλήνας (Pipe): Είναι ο σωλήνας μεταξύ των κόμβων του δικτύου ύδρευσης (π. χ. έως το φρεάτιο επίσκεψης, ή την αλλαγή διαμέτρου σωλήνα). Συνήθως είναι μήκους 50 - 150 m. Κάθε σωλήνας συνήθως αποτελείται από πολλά τμήματα σωλήνα ή μήκη.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πρόλογος

Ξεκινώντας την προσπάθεια παρακολούθησης του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών, που κλείνει με την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, είχα λάβει υπόψη μου τις απαιτήσεις και τις θυσίες που έπρεπε να γίνουν και που δεν αφορούσαν μόνο το άτομό μου.

Η παρακολούθηση ενός απαιτητικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών παράλληλα με τις επαγγελματικές και οικογενειακές υποχρεώσεις και μάλιστα μετά από μακροχρόνια αποχή από πειστικές εξεταστικές συνθήκες, αποτελεί ένα ακόμη μάθημα για

τη διερεύνηση των αντοχών και των ικανοτήτων μας. Το άρωμα που έμεινε τελικά μετά το «ταξίδι» ήταν οπωσδήποτε ευχάριστο αλλά και αναζωογονητικό και αφορά την προσωπικότητα αλλά και την επαγγελματική καριέρα.

Η πίεση χρόνου και η κόπωση ίσως δεν αποτελούν τα σημαντικότερα εμπόδια στην ολοκλήρωση μιας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας. Ο προσδιορισμός ερευνητικού αντικειμένου, η μεθοδολογία διεξαγωγής της έρευνας, η επεξεργασία των αποτελεσμάτων και η ασφαλής εξαγωγή συμπερασμάτων προϋποθέτουν καλή επιστημονική κατάρτιση, που δεν περιορίζεται σε ένα μόνο επιστημονικό πεδίο, αλλά και ουσιαστική επίβλεψη από ανθρώπους που αδιαμφισβήτητα κατέχουν την επιστημονική γνώση για να συμβάλλουν στην επιτυχή ολοκλήρωση της έρευνας.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον επιβλέποντα Επίκουρο Καθηγητή κ. Κλεάνθη Συρακούλη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της Διπλωματικής μου Εργασίας, ο οποίος αντιμετώπισε ως πρόκληση την ουσιαστική του συμμετοχή στην ολοκλήρωση της έρευνας προκειμένου τα αποτελέσματά της να είναι κατά το δυνατόν χρηστικά για τις επιχειρήσεις νερού. Οι συζητήσεις που πραγματοποιήθηκαν και η ανταλλαγή απόψεων σε ακαδημαϊκά θέματα, αλλά και σε πρακτικά θέματα που αντιμετώπιζα μέχρι σήμερα κατά την επαγγελματική μου ενασχόληση με τη διαχείριση δικτύων ύδρευσης, αποτέλεσαν πολύτιμη βοήθεια για την καλύτερη ερευνητική προσέγγιση του θέματος της εργασίας. Οι επισημάνσεις του στην πορεία εκπόνησης της εργασίας ήταν πολύ ουσιαστικές και χρήσιμες και καταβλήθηκε κάθε δυνατή προσπάθεια για την εναρμόνιση της εργασίας προς αυτή την κατεύθυνση.

Ευχαριστώ επίσης τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της εργασίας μου, Καθηγητές κ. Ζαούτσο Στέφανο και Φιτσιλή Παναγιώτη.

Ευχαριστώ οπωσδήποτε τους συναδέλφους μου στη ΔΕΥΑΛ για τα στοιχεία που μου παρείχαν σχετικά με τα αρχεία δεδομένων θραύσεων, καθώς επίσης και για τα στοιχεία εκτελεσμένων έργων αντικαταστάσεων δικτύων.

Ευχαριστίες οφείλω επίσης στο σύνολο του εκπαιδευτικού προσωπικού του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών "Διοίκηση και Διαχείριση Έργων και Προγραμμάτων". Η παροχή επιστημονικής γνώσης με συντονισμένο τρόπο και η ηθική υποστήριξη, καθόλη τη διάρκεια του υπόψη προγράμματος, συντέλεσαν θετικά στην επιτυχή ολοκλήρωση των σπουδών.

Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στη σύζυγό μου Ζέστα Νίκη για την κατανόηση και υπομονή της και την έμπρακτη βοήθειά της, καθώς και στα παιδιά μου Εμμανουέλα και Ηλιάνα για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους.

Αφιερώνω αυτή την εργασία στα παιδιά μου και εύχομαι να μην εγκαταλείπουν την προσπάθεια που ξεκινούν και να τα δω μια μέρα άξιες επιστήμονες.

Κίνητρο και υπόβαθρο

Άμεσο αποτέλεσμα της παγκοσμιοποίησης και της συνεχιζόμενης αστικοποίησης του πληθυσμού σε ολόκληρο τον κόσμο, είναι η αύξηση των αναγκών χρήσης υδατικών πόρων, που οδηγεί με τη σειρά της σε αύξηση των αναγκών αξιοπιστίας των συστημάτων ύδρευσης και των παρεχόμενων υπηρεσιών από τις επιχειρήσεις διανομής νερού, ενώ παράλληλα έχουν θέσει σε υψηλή καταπόνηση τα αστικά δίκτυα ύδρευσης.

Τα θέματα αυτά είναι πιο εμφανή και χρονικά πιεστικά σε χώρες με περιορισμένους υδάτινους πόρους. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η πολυπλοκότητα και η σοβαρότητα του προβλήματος επιδεινώνεται και ενισχύεται από την αδυναμία των αρμόδιων επιχειρήσεων να διαχειριστούν εύκολα από άποψη κόστους, το θέμα αντικατάστασης των δικτύων και της απώλειας των πόρων (νερού), καθώς βρίσκονται αντιμέτωπες με την έλλειψη εναλλακτικών λύσεων και την επιτακτική ανάγκη να παρέχουν τους πόρους αυτούς στους καταναλωτές.

Το νερό είναι αγαθό σε ανεπάρκεια. Οι ποσότητες που χάνονται καθημερινά και η αξία τους είναι τεράστιες. Γι' αυτό είναι απαραίτητη η αξιολόγηση του επιπέδου λειτουργίας των δικτύων ύδρευσης και η πρόβλεψη της αξιοπιστίας τους. Η σημασία των απωλειών νερού στα δίκτυα ύδρευσης είναι μεγάλη, αφού στην πραγματικότητα αποτελούν έναν «εν δυνάμει» υδατικό πόρο. Για τη διαχείριση των απωλειών νερού στα δίκτυα ύδρευσης κρίνεται αναγκαία η πρόβλεψη των αστοχιών των αγωγών τους.

Το νερό αποτελεί βασικό στοιχείο για την ανθρώπινη ύπαρξη και η διαχείριση των δικτύων διανομής νερού είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη διαχείριση των πόρων, αφού έως σήμερα δεν υπάρχει υποκατάστατο που να μπορεί να εκπληρώσει το ρόλο του νερού ή των δικτύων διανομής. Η προσφορά όμως του νερού δεν είναι δεδομένη, έχει κάποια ανώτερα όρια. Είναι αναγκαία επομένως η σωστή βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων. Επιπλέον, στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες τα δίκτυα διανομής νερού

βασίζονται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους, σε γηρασμένες υποδομές που παρουσιάζουν προβλήματα αποτελεσματικής λειτουργίας και αξιοπιστίας. Ως αποτέλεσμα, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας που είναι επιφορτισμένες με τη διαχείριση αυτών των δικτύων διανομής νερού, είναι σήμερα αντιμέτωπες με το διαρκώς αυξανόμενης πολυπλοκότητας έργο για έξυπνη και αποτελεσματική διαχείριση, με τρόπους που μεγιστοποιούν την αξιοπιστία του συστήματος και ελαχιστοποιούν το λειτουργικό και διαχειριστικό τους κόστος. Το κόστος κύκλου ζωής και οι στρατηγικές συντήρησης είναι κυρίαρχης σημασίας για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, καθώς αναζητούν τρόπους να αυξήσουν την αξιοπιστία και την ποιότητα των υπηρεσιών του συστήματος, ελαχιστοποιώντας το κόστος λειτουργίας.

Σκοπός της διατριβής

Το νερό είμαστε αναγκασμένοι να το «διαχειριζόμαστε», να μεριμνούμε δηλαδή για την εξισορρόπηση των αναγκών και την εξασφάλιση επαρκούς ποσότητας αλλά και ποιότητας για την κάλυψη των αναγκών.

Η επιλογή της στρατηγικής συντήρησης για ένα σύστημα διανομής νερού είναι ένα πολυσύνθετο πρόβλημα που οφείλεται: στο μεγάλο αριθμό των εξαρτημάτων του συστήματος (π.χ. σωληνώσεις, αντλίες, βαλβίδες, μετρητές, κλπ), στη δυναμική εξέλιξη του τρόπου λειτουργίας των βλαβών και της επιδείνωσης των σωλήνων νερού, στους περιορισμένους πόρους που διατίθενται για τις δραστηριότητες συντήρησης και στη σχετική δυσκολία ποσοτικοποίησης πολλών από τα οφέλη και τα κόστη.

Για τους παραπάνω λόγους, το πρόβλημα επιλογής στρατηγικής συντήρησης και διαχείρισης συστημάτων διανομής νερού, συχνά αντιμετωπίζεται ως ένα σύνθετο πρόβλημα βελτιστοποίησης, με πολλούς πιθανούς στόχους που χρησιμοποιούνται μεμονωμένα ή σε συνδυασμό, π.χ. μεγιστοποίηση της αξιοπιστίας, ή ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής παρεχόμενων υπηρεσιών ή ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους συντήρησης.

Κάθε χρόνο, χιλιάδες χιλιόμετρα δικτύων ύδρευσης σε όλη την υδρόγειο χρειάζονται βελτίωση και απαιτείται η επισκευή ή αντικατάστασή τους, προκειμένου να διατηρηθεί η απρόσκοπτη μεταφορά του νερού. Ο στόχος είναι τριπλός:

- (1) η διαφύλαξη της υγείας των αστικών πληθυσμών,
- (2) η αύξηση της αξιοπιστίας των δικτύων και των παρεχόμενων υπηρεσιών προς τους καταναλωτές, και
- (3) η αύξηση της βιωσιμότητας της σχέσης κόστους - απόδοσης λειτουργίας και συντήρησης των δικτύων αυτών.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου, οι Επιχειρήσεις παροχής Υπηρεσιών διανομής νερού, απαιτείται να αναπτύξουν και να εφαρμόσουν νέες μεθόδους για την παρακολούθηση, την επισκευή ή την αντικατάσταση λόγω γήρανσης των δικτύων, καθώς και για τη μοντελοποίηση της επιδείνωσης της λειτουργικής τους κατάστασης, όπως και την χάραξη προληπτικής στρατηγικής για τη διατήρηση λειτουργίας των υποδομών. Στην ουσία, οι υπεύθυνοι των Επιχειρήσεων παροχής Υπηρεσιών διανομής νερού είναι αντιμέτωποι με το ολοένα και πιο σύνθετο έργο της έξυπνης και αποτελεσματικής εκτίμησης (ή μοντελοποίησης) της κατάστασης του δικτύου σωληνώσεων, ενώ παράλληλα η διαχείριση του δικτύου πρέπει να γίνεται, με τρόπους που μεγιστοποιούν την αξιοπιστία του και ελαχιστοποιούν τα λειτουργικά και διαχειριστικά έξοδα. Το ερώτημα που συνήθως τίθεται είναι αν ένας οργανισμός θα πρέπει να επισκευάσει ή να αντικαταστήσει το φθαρμένο δίκτυο ύδρευσης και, σε κάθε περίπτωση, ποια μακροπρόθεσμη στρατηγική θα πρέπει να ακολουθηθεί για την αποκατάσταση των δικτύων ύδρευσης. Πηγή γνώσης και σημαντικό βοήθημα στην επιλογή στρατηγικής κατεύθυνσης διαχείρισης των δικτύων ύδρευσης αποτελούν τα ιστορικά στοιχεία θραύσεων των αγωγών που τηρούνται διαχρονικά από τις Επιχειρήσεις νερού.

Η γήρανση του δικτύου διανομής πόσιμου νερού συνεπάγεται την ανάγκη για στρατηγικές αντικατάστασης και την πρόβλεψη της διάρκειας ζωής των περιουσιακών στοιχείων. Το δίκτυο διανομής πόσιμου νερού αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό των επενδύσεων όχι μόνο όσον αφορά το ύψος των απαιτούμενων κεφαλαίων περιουσιακών στοιχείων αλλά και όσον αφορά την συμβολή τους στην ποιότητα του παρεχόμενου αγαθού. Είναι ζωτικής σημασίας για τις Επιχειρήσεις παροχής Υπηρεσιών διανομής νερού, η γνώση των μελλοντικών απαιτούμενων χρηματοδοτικών αναγκών για αντικαταστάσεις δικτύων.

Μέχρι σήμερα η στρατηγική αντικατάστασης των δικτύων ύδρευσης αξιοποιεί κυρίως στατιστικά στοιχεία του χρόνου κατασκευής των αγωγών (χρόνος ζωής δικτύων), ή το υλικό κατασκευής τους. Η μεγάλη σημασία που δίνεται όμως σήμερα στον οικονομικό

παράγοντα (περιορισμοί χρηματοδοτήσεων αντικαταστάσεων δικτύων κλπ), οδηγεί σε κατεύθυνση στρατηγικών επιλογών με γνώμονα την αύξηση της διάρκειας ζωής των δικτύων, αλλά και τις ιδιαίτερες συνθήκες κατασκευής τους, που επηρεάζουν σημαντικά το χρόνο ζωής τους .

Η χρησιμότητα της έρευνας θα είναι να επιβεβαιώσει τη σημασία και το ρόλο της αξιοποίησης των ιστορικών στοιχείων θραύσεων, στην επιλογή απόφασης για επιδιόρθωση ή αντικατάσταση δικτύων ύδρευσης. Οι μηχανικοί των επιχειρήσεων διαχείρισης νερού θα πρέπει να εμπεδώσουν ένα ενεργητικό σύστημα διαχείρισης των δικτύων ύδρευσης, που θα οδηγεί στην αποκατάσταση των κατάλληλων σωλήνων στον σωστό χρόνο.

Η παράμετρος της ανάγκης αύξησης του κύκλου ζωής των δικτύων διανομής νερού, μέσα από τεκμηριωμένες επιλογές, παρέχοντας παράλληλα απολύτως υγιεινό νερό, είναι ζωτικής σημασίας για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας που διαχειρίζονται τα δίκτυα αυτά. Τα αποτελέσματα των ερευνών που καθορίζουν το χρόνο ζωής των δικτύων είναι αντικρουόμενα, (ειδικά των δικτύων από υλικά που επηρεάζονται από εξωγενείς παράγοντες όπως συνθήκες κατασκευής, βάθος τοποθέτησης, φορτία, πιέσεις κλπ), αλλά και της επιρροής στην ποιότητα του νερού που σχετίζεται με τις συχνές επισκευές διαρροών.

Η συλλογή των απαραίτητων στοιχείων για τα δίκτυα ύδρευσης πρέπει να αρχίζει με την τοποθέτηση των σωληνώσεων και να συνεχίζεται κατά την επισκευή ή την αντικατάστασή τους, διότι εάν δεν γίνεται συστηματική και σωστή καταγραφή των απαιτούμενων στοιχείων των δικτύων, στη συνέχεια όλες οι μελλοντικές στρατηγικές αποφάσεις διαχείρισης ύδρευσης θα υποστούν τις αντίστοιχες συνέπειες. Οι επιχειρήσεις νερού παρότι καταγράφουν στοιχεία των αγωγών, εντούτοις έχουν δώσει πολύ μικρή σημασία στη διαδικασία και στην ποιότητα των καταγεγραμμένων στοιχείων σωλήνων ειδικά για τα δίκτυα διανομής .

Οι επιχειρήσεις διανομής νερού θα επωφεληθούν από τα αποτελέσματα της έρευνας, με την αξιοποίηση των συμπερασμάτων της για την εξοικονόμηση πόρων και την μέγιστη αξιοποίηση του ωφέλιμου χρόνου ζωής των αστικών δικτύων.

Η διανομή πόσιμου νερού στην Ελλάδα όσον αφορά τις Επιχειρήσεις Νερού, γίνεται αφενός από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. και την ΕΥΑΘ Α.Ε. που καλύπτουν την υδροδότηση της Αττικής και της Θεσσαλονίκης αντίστοιχα και αφετέρου από τις Δημοτικές Επιχειρήσεις

Υδρευσης Αποχέτευσης (Δ.Ε.Υ.Α.) που καλύπτουν την υδροδότηση των διοικητικών ορίων της πλειονότητας των Δήμων της Ελληνικής περιφέρειας. Σε ελάχιστες περιπτώσεις η υδροδότηση των Δήμων γίνεται από Υπηρεσίες των Δήμων. Αναφορικά με τη Νομική τους μορφή η ΕΥΔΑΠ Α.Ε. και η ΕΥΑΘ Α.Ε. είναι Ανώνυμες Εταιρίες εισηγμένες στο χρηματιστήριο, με το Ελληνικό Δημόσιο να κατέχει το σημαντικότερο ποσοστό των μετοχών τους, ενώ οι Δ.Ε.Υ.Α. έχουν ιδρυθεί με βάση τον Ν.1069/80, είναι Δημοτικές Επιχειρήσεις – Νομικά Πρόσωπα Ιδιωτικού Δικαίου, που διοικούνται από Διοικητικό Συμβούλιο το οποίο ορίζεται από το Δημοτικό Συμβούλιο.

Στην Ελλάδα, αλλά και στις περισσότερες περιπτώσεις σ' ολόκληρο τον κόσμο οι Επιχειρήσεις νερού είναι επιφορτισμένες με την παροχή νερού στους καταναλωτές. Η παροχή νερού περιλαμβάνει την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή του νερού. Μέσα σε αυτή την δομή τα δίκτυα σωληνώσεων αντιπροσωπεύουν ένα από τα μεγαλύτερα περιουσιακά στοιχεία των υποδομών των Επιχειρήσεων νερού. Η διαχείριση του πόσιμου νερού δικτύων περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες που ασχολούνται κυρίως με: την παροχή νερού από την έξοδο των έργων επεξεργασίας νερού μέχρι το υδρόμετρο των καταναλωτών και όλων των συναφών λειτουργιών, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης των υδάτινων πόρων, της επεξεργασίας νερού και ελέγχου της ποιότητάς του έως τη βρύση του καταναλωτή, των σχέσεων με τον πελάτη, τον επιχειρηματικό σχεδιασμό, την αξιοποίηση του ανθρώπινου δυναμικού και των υπηρεσιών πληροφόρησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 Απώλειες νερού

Το πρόβλημα της εκτίμησης της αξιοπιστίας των δικτύων ύδρευσης αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητών μέχρι σήμερα. Η Ομάδα Εργασίας Απωλειών Νερού (Water Loss Task Force) της International Water Association (IWA) ανέπτυξε μία μεθοδολογία ποσοτικοποίησης των απωλειών νερού (Farley και Trow, 2003). Η ίδια ομάδα υποστηρίζει και προωθεί τέσσερις βασικές δραστηριότητες διαχείρισης για τη μείωση των διαρροών (Lambert και Mckenzie, 2002) αυτές είναι:

- διαχείριση της πίεσης,
- ενεργός έλεγχος διαρροών,
- ταχύτητα και ποιότητα των επισκευών και
- διαχείριση αγωγών και παγίων.

Αναπτύχθηκαν επίσης δείκτες απόδοσης για την εκτίμηση του επιπέδου λειτουργίας του δικτύου (Alegre κ.α., 2006).

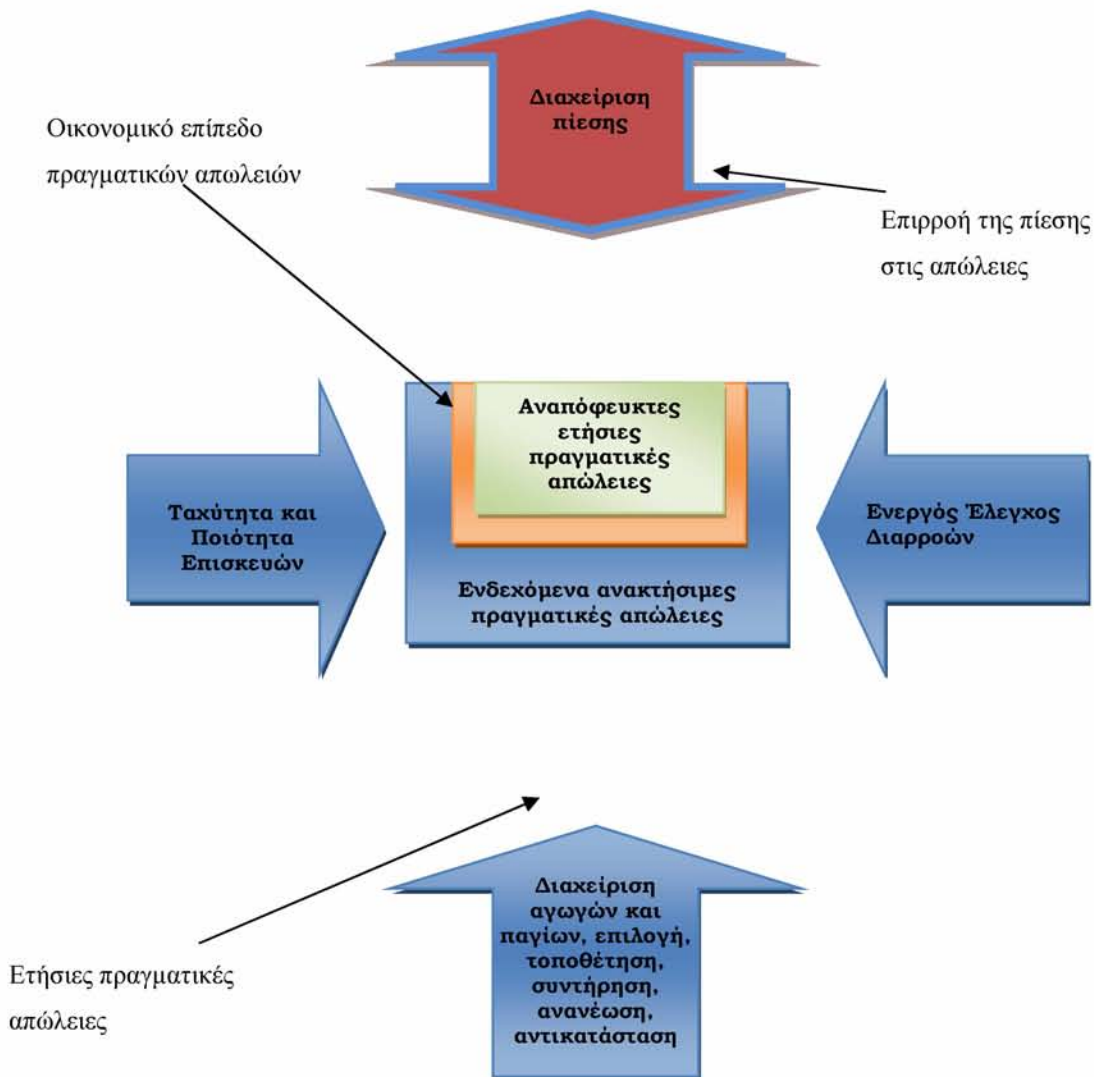
Σε πολλές έρευνες στη βιβλιογραφία όπως του Isenor κ' Lalonde (2003), του Bainbridge (2004) αλλά και του Cameron (2005) κ.α., τα ετήσια ποσοστά θραύσεων κεντρικών αγωγών νερού χρησιμοποιούνται ως ένα από τα κριτήρια ελέγχου κατά την εκτίμηση της κατάστασης των κεντρικών αγωγών νερού (αναφέρεται από τον Wang, 2009)

Οι απώλειες νερού αποτελούνται από τις πραγματικές απώλειες (διαρροές, θραύσεις κλπ.) και τις εμφανείς απώλειες (Farley και Trow 2003).

Οι *Πραγματικές Απώλειες* είναι οι ετήσιοι όγκοι νερού που χάνονται μέσω όλων των τύπων των διαρροών, των θραύσεων και των υπερχειλίσεων στους κύριους αγωγούς, τις δεξαμενές και τις συνδέσεις των καταναλωτών, μέχρι το σημείο των μετρητών των καταναλωτών.

Τα στάδια και τα περιεχόμενα ενός προγράμματος ελέγχου πραγματικών απωλειών νερού φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα (Thornton κ.α., 2008)

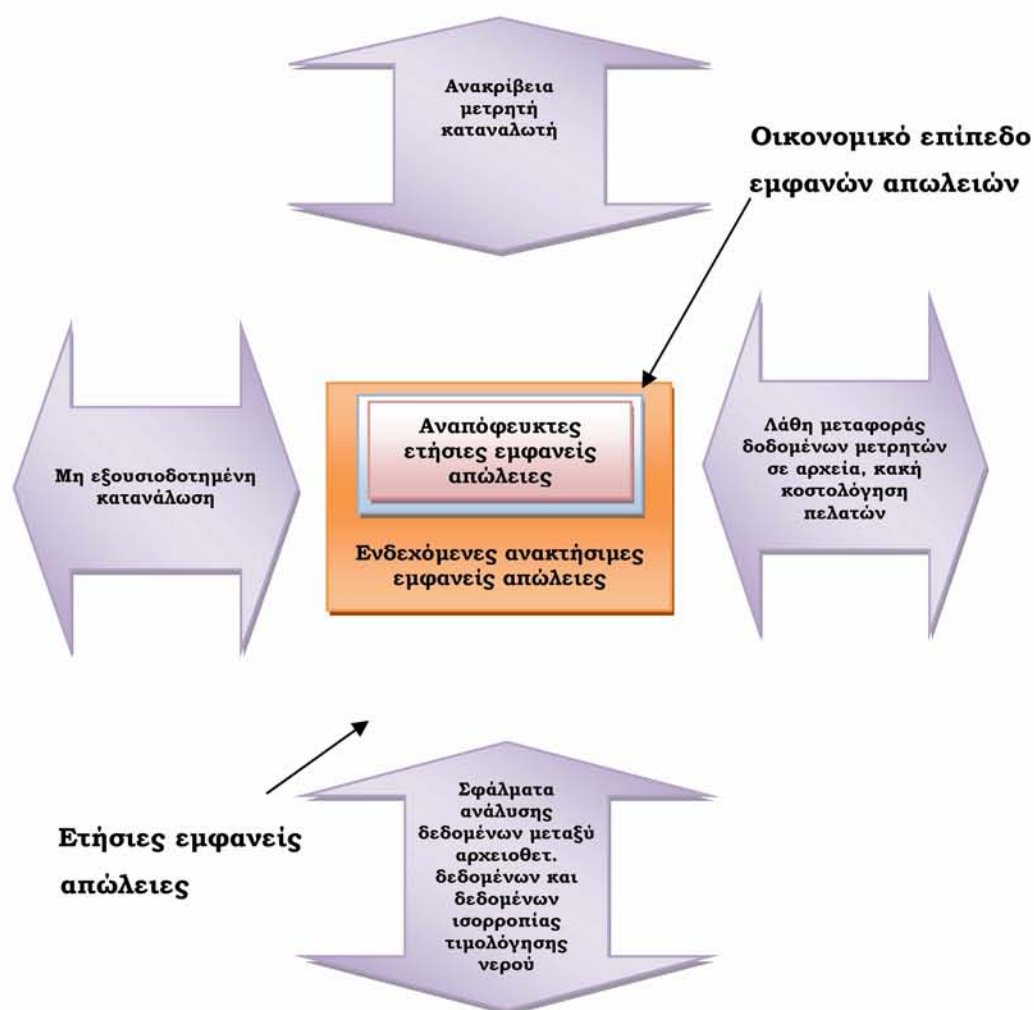
ΒΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΩΛΕΙΩΝ



Σχήμα 1: Τέσσερα ενδεχόμενα εργαλεία παρεμβάσεων για την εφαρμογή προγράμματος ενεργητικής διαχείρισης απωλειών (πηγή IWA Water Loss Task Force και AWWA Water Loss Control Committee)

Οι *Εμφανείς απώλειες* αποτελούνται από την μη-εξουσιοδοτημένη κατανάλωση που περιλαμβάνει την κλοπή, την παράνομη χρήση, τη χρήση μη καταμετρούμενων πυροσβεστικών κρουνών και όλους τους τύπους ανακριβειών στις μετρήσεις.

Τα εργαλεία παρεμβάσεων ενός προγράμματος διαχείρισης εμφανών απωλειών νερού φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα (Thornton κ.α., 2008)



Σχήμα 2: Τέσσερα ενδεχόμενα εργαλεία παρεμβάσεων ενός προγράμματος διαχείρισης εμφανών απωλειών (πηγή IWA Water Loss Task Force και AWWA Water Loss Control Committee)

Η διαχείριση των απωλειών νερού εκτός από περιβαλλοντική έχει και οικονομική διάσταση αφού οι επιχειρήσεις νερού πρέπει να στοχεύσουν να διαχειριστούν τις απώλειες για να ελαχιστοποιηθούν οι γενικές λειτουργικές τους δαπάνες. Όσο χαμηλότερο είναι το επίπεδο απωλειών νερού, που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή στρατηγικής διαχείρισης δικτύων, τόσο υψηλότερο είναι το απαιτούμενο κόστος περαιτέρω μείωσης των απωλειών νερού. Γι' αυτό το λόγο ποτέ δεν είναι οικονομικά συμφέρον για μια επιχείρηση νερού να μηδενίσει το ποσοστό απωλειών νερού (Thornton κ.α., 2008).

Η καλύτερη πρακτική για τις επιχειρήσεις νερού είναι να προσδιορίσουν το οικονομικά βέλτιστο επίπεδο, των πραγματικών και των εμφανών απωλειών, προκειμένου να επιλέξουν εάν είναι οικονομικά συμφέρον να μειώσουν πέρα από αυτό το όριο, τις πραγματικές ή και τις εμφανείς απώλειες.

Η εφαρμογή στρατηγικής διαχείρισης απωλειών δικτύων πρέπει να συνεχίζεται, παρά την επίτευξη του οικονομικά βέλτιστου επιπέδου απωλειών, διότι η έλλειψη στρατηγικής με την πάροδο του χρόνου, θα οδηγήσει σε αύξηση απωλειών και θραύσεων και το κόστος της προσπάθειας διατήρησης του στόχου είναι πολύ μικρότερο από την προσπάθεια επίτευξης του στόχου.

Ο Thornton κ.α. (2008) διαχωρίζει τις διαρροές αγωγών δικτύων ύδρευσης, σε θραύσεις κεντρικών αγωγών δικτύων και σε διαρροές υποβάθρου αγωγών οι οποίες αφορούν τις μικρότερες διαρροές σωλήνων συνδέσεων παροχών. Οπότε η στρατηγική αποκατάστασης σωλήνων πρέπει να στοχεύει χωριστά στους κεντρικούς σωλήνες από τους σωλήνες παροχών.

Οι Trifunovic κ.α. (2006) έδειξαν ότι οι διαρροές στα δίκτυα διανομής νερού μπορούν να μοντελοποιηθούν με διάφορους τρόπους χρησιμοποιώντας το EPANET, που παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ τους, όσον αφορά την πολυπλοκότητα, τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς. Κάποιες από αυτές τις προσεγγίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικά για χαμηλά επίπεδα διαρροών ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων.

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για τον προσδιορισμό στατιστικών σχέσεων μεταξύ των

ρυθμών των θραύσεων των αγωγών και των χαρακτηριστικών τους, που επηρεάζουν την συμπεριφορά των αγωγών, όπως η ηλικία των αγωγών, η διάμετρος τους και το υλικό τους, η διαβρωτικότητα του εδάφους, η πίεση λειτουργίας και η θερμοκρασία, πιθανά εξωτερικά φορτία (συμπεριλαμβανομένης και της μεγάλης κίνησης) και ιστορικά στοιχεία προηγούμενων θραύσεων αγωγών.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, κατά τη διάρκεια της Εθνικής Πρωτοβουλίας Ελέγχου Διαρροών στη Μεγάλη Βρετανία αναπτύχθηκε από τον Allan Lambert μια συστηματική προσέγγιση για τη μοντελοποίηση των συστατικών των πραγματικών απωλειών. Αναγνωρίζοντας ότι ο ετήσιος όγκος των πραγματικών απωλειών είναι αποτέλεσμα πολλών περιστατικών διαρροών και ότι ο όγκος κάθε ξεχωριστής απώλειας νερού επηρεάζεται από την ταχύτητα ροής και τη διάρκεια, ο Lambert για να υπολογίσει την αξία της επίδρασης κάθε συστατικού δικτύου στις ετήσιες απώλειες, έλαβε υπόψη τρεις κατηγορίες συμβάντων διαρροών (Thornton κ.α., 2008).

- Μη ανιχνεύσιμες διαρροές: Μικρό ποσοστό ροής, τρέχει συνεχώς
- Αναφερθείσες θραύσεις: Υψηλός ρυθμός ροής, σχετικά μικρής διάρκειας
- Μη αναφερθείσες θραύσεις: Μέτρια ποσοστά ροής, η διάρκεια εξαρτάται από την πολιτική επέμβασης για κάθε συστατικό του δικτύου (κεντρικοί αγωγοί διανομής, συνδέσεις παροχών, δεξαμενές).

Η αξία της επίδρασης κάθε συστατικού στις ετήσιες απώλειες μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του παρακάτω πίνακα, για δεδομένη πίεση.

| <u>Στοιχείο</u> <u>Υποδομών</u> | <u>Μη ανιγνέσιμες</u> <u>απώλειες</u> | <u>Αναφερθείσες</u> <u>θραύσεις</u> | <u>Μη αναφερθείσες</u> <u>θραύσεις</u> |
|--|---|--|--|
| Κεντρικοί αγωγοί δικτύου διανομής | Μήκος Πίεση Ελάχ. Ποσ. απωλειών /Χλμ* | Αριθμός/έτος Πίεση Μέση παροχή* Μέση διάρκεια | Αριθμός/έτος Πίεση Μέση παροχή* Μέση διάρκεια |
| Δεξαμενές αποθήκευσης νερού | Διαρροές τοιχωμάτων | Αναφερθείσες υπερχειλίσεις: Παροχές, διάρκεια | Μη αναφερθείσες υπερχειλίσεις: Παροχές, διάρκεια |
| Συνδέσεις παροχών κύριων αγωγών στην άκρη του δρόμου | Αριθμός Πίεση Ελάχ. Ποσ. απωλειών /σύνδεση* | Αριθμός/έτος Πίεση Μέση παροχή* Μέση διάρκεια | Αριθμός/έτος Πίεση Μέση παροχή* Μέση διάρκεια |
| Συνδέσεις παροχών μετά την άκρη του δρόμου | Μήκος Πίεση Ελάχ. Ποσ. απωλειών /Χλμ* | Αριθμός/έτος Πίεση Μέση παροχή* Μέση διάρκεια | Αριθμός/έτος Πίεση Μέση παροχή* Μέση διάρκεια |

*Σε ορισμένη σταθερή πίεση

Πίνακας 1: Απαιτούμενοι παράμετροι για τον υπολογισμό των συστατικών των Πραγματικών Ετήσιων Απωλειών (Πηγή Water Loss Control Manual, 1st ed).

Αναπτύχθηκε τότε το στατιστικό μοντέλο BABE που χρησιμοποιείται για να παρέχει εκτιμήσεις του όγκου των πραγματικών απωλειών σε διάφορα συστατικά των δικτύων διανομής και βασίζεται στη συγκέντρωση παρόμοιων γεγονότων κάνοντας απλουστευμένους υπολογισμούς, ενώ ενδείκνυται για συστήματα με περισσότερες από 5000 συνδέσεις παροχών. Ωστόσο απαιτείται συνδυασμός και με άλλο στατιστικό μοντέλο για την ακριβέστερη εκτίμηση απωλειών (Thornton κ.α. 2008)

Οι Christodoulou κ.α. (2006) χρησιμοποίησαν τη γνώση που αποκτήθηκε από την μελέτη περίπτωσης της Νέας Υόρκης και ανέπτυξαν μία μεθοδολογία για την ολοκληρωμένη διαχείριση, την εκτίμηση κινδύνου και τον καθορισμό προτεραιοτήτων των δράσεων για μείωση των διαρροών, βασισμένη σε σύστημα GIS.

Στην έρευνα των Malm κ.α (2012) αναφέρεται ότι από άποψη επιρροής των αποτυχιών των δικτύων στη δημόσια υγεία, η επισκευή διαρροών και θραύσεων σωλήνων ενέχει κίνδυνο εισόδου παραγόντων ρύπανσης στα δίκτυα, ενώ υπάρχει περιορισμένη γνώση σχετικά με τις επιπτώσεις της κατάστασης των δικτύων διανομής που σχετίζονται με τον κίνδυνο εισόδου παραγόντων ρύπανσης στο νερό, (π.χ. Besner κ.α., 2011, Sadiq κ.α., 2010), αλλά δεν μπορεί να αγνοηθεί ο κίνδυνος επιρροής των επισκευών στην ποιότητα του παρεχόμενου νερού (π.χ. Risebro κ.α., 2007, Nygard κ.α., 2007).

1.2.Συλλογή απαραίτητων δεδομένων - Αργεία απογραφής αστοχιών αγωγών ύδρευσης

Οι αστοχίες των δικτύων ύδρευσης, παρά το γεγονός ότι είναι πηγή δυσαρέσκειας για τις επιχειρήσεις διαχείρισης δικτύων αλλά και για τους καταναλωτές της, εντούτοις μπορούν να αποτελέσουν την ευκαιρία για ανάπτυξη δυνατότητας αξιολόγησης της κατάστασης των σωλήνων στο δίκτυο διανομής.

Οι θραύσεις των αγωγών ύδρευσης εκτός από την αξιοποίηση της συλλογής άμεσων φυσικών δεδομένων, αποτελούν και την ιδανική ευκαιρία για την εκτίμηση της κατάστασης του συστήματος διανομής νερού,. Για παράδειγμα, για την ανάλυση των τάσεων θραύσεων σωλήνων, μπορούν να συνδυαστούν φυσικά χαρακτηριστικά κοινά, με παρόμοιες ομάδες σωλήνων στο σύστημα διανομής, και να ληφθούν υπόψη χωρικές τάσεις των θραύσεων. Τα παραπάνω είναι εφικτά μόνο εάν συλλέγονται επαρκή στοιχεία κατά τη διάρκεια του χρόνου.

Οι εταιρείες ύδρευσης πρέπει να εκμεταλλευτούν όλες τις ευκαιρίες για τη συλλογή στοιχείων σχετικά με την κατάσταση των σωλήνων. Πρέπει να αναπτύξουν τυποποιημένες διαδικασίες συλλογής των δεδομένων και να εντοπίσουν και να εφαρμόσουν τις δυνατότητες αξιοποίησής τους. Η διαθεσιμότητα βάσης δεδομένων επεμβάσεων στα δίκτυα ύδρευσης, είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση των αιτιών θραύσεων, αλλά και για τον μελλοντικό σχεδιασμό προγράμματος ανανέωσης του δικτύου ύδρευσης.

Οι περισσότερες επιχειρήσεις νερού σε ολόκληρο τον κόσμο διατηρούν αρχεία καταγραφής θραύσεων αγωγών δικτύων διανομής, (χειρόγραφα ή ψηφιακά), τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την ποιότητα, την ποσότητα, την πιστότητα καταγραφής και τελικά την αξιοπιστία.

Το περιεχόμενο της βάσης δεδομένων μπορεί να ποικίλει από επιχείρηση σε επιχείρηση, για ορισμένα όμως βασικά πεδία δεδομένων, είναι απαραίτητο να υπάρχει η δυνατότητα

επιτυχούς αξιοποίησής της βάσης δεδομένων για σκοπούς προληπτικού στρατηγικού σχεδιασμού.

Οι καθημερινές διαδικασίες λειτουργίας και συντήρησης των δικτύων διανομής πόσιμου νερού και τα διαθέσιμα στοιχεία ηλικίας των δικτύων, μπορούν να συνδυαστούν για να βοηθήσουν στην αξιολόγηση των μελλοντικών αναγκών αντικατάστασης των δικτύων ύδρευσης. Οι δυνατότητες αξιόπιστων προβλέψεων της διάρκειας ζωής των δικτύων είναι περιορισμένες εξαιτίας της έλλειψης κατανόησης των διαδικασιών επιδείνωσης των διαφόρων υλικών, αλλά και των ποικίλων συνθηκών τοποθέτησης των δικτύων στο έδαφος.

Οι απώλειες των δικτύων ύδρευσης δεν εξαφανίζονται, αλλά αποτελούν μια δυναμική και συνεχή διαδικασία. Το πρόβλημα διαχείρισης των απωλειών νερού στα δίκτυα ύδρευσης δεν αποτελεί «άσκηση μιας φοράς», διότι οι μεταβλητές διαρκώς μεταβάλλονται (π.χ. ζήτηση, πίεση, γήρανση κλπ), με αποτέλεσμα να απαιτούνται και διαρκώς μεταβαλλόμενες λύσεις. Οι λύσεις μπορούν να δοθούν μόνο όταν υπάρχει άριστη γνώση του προβλήματος, μέσω της παρακολούθησης και της αξιοποίησης των δεδομένων λειτουργίας των δικτύων.

Έρευνα που έγινε στο σύστημα διανομής νερού της Νέας Υόρκης (Committee on National Urban Policy κ.α., 1984), αξιοποίησε υπάρχουσες καταγραφές περιστατικών δικτύων, για την αξιολόγηση της κατάστασης του συστήματος διανομής νερού, χωρίς τη χρήση εκτεταμένων ερευνών πεδίου, γνωρίζοντας ότι τα αποτελέσματα δεν θα είναι τόσο πολύτιμα όσο μια πλήρης έρευνα σε πραγματικές συνθήκες. Αφορμή της παραπάνω έρευνας ήταν η διαπίστωση μετά από μελέτη, ότι θα έπρεπε να δαπανηθούν περίπου 2,5 δις. δολάρια την επόμενη δεκαετία για την αντικατάσταση του 39% του δικτύου ύδρευσης και του 8% των βανών, τα οποία ήταν τουλάχιστο 60 ετών και είχαν ξεπεράσει τον κύκλο ζωής τους. Τα προβλήματα εκτός από το κόστος θα ήταν και κυκλοφοριακά και όχλησης πολιτών με την εκσκαφή του 39% των δρόμων, ενώ το ερώτημα θα παρέμενε για το εάν αυτό ήταν η λύση των προβλημάτων των κύριων αγωγών νερού της πόλης. Το αποτέλεσμα αξιοποίησης των καταγεγραμμένων δεδομένων έδειξε ότι:

- Το σύστημα κύριων αγωγών διανομής νερού δεν ήταν σε κίνδυνο κατάρρευσης
- Το ποσοστό θραύσεων των κύριων αγωγών δεν σχετιζόταν με την ηλικία
- Η θέση μπορεί να είναι ο σημαντικότερος παράγοντας πρόβλεψης θραύσεων κύριων αγωγών νερού
- Οι αντικαταστάσεις θα πρέπει να στοχεύουν σε εκείνους στους αγωγούς με τις

περισσότερες καταγεγραμμένες θραύσεις, ανεξάρτητα από την ηλικία.

Η παραπάνω έρευνα απέδειξε ότι η προσεκτική ανάλυση και η αποτελεσματική χρήση των διαθέσιμων καταγεγραμμένων δεδομένων των αγωγών των δικτύων, μπορεί να αποτελέσει τον πιο αξιόπιστο τρόπο βελτίωσης αξιολόγησης της κατάστασης των δικτύων ύδρευσης για τις επιχειρήσεις νερού.

Ο Malm κ.α. (2012) αναφέρει ότι ενώ σύμφωνα με τον Saegrov (2007), η πραγματική κατάσταση των σωλήνων ύδρευσης είναι το σημαντικότερο κριτήριο για την επιλογή αποκατάστασης, παρόλα αυτά, σύμφωνα με άλλους ερευνητές όπως ο Malm κ.α. (2009) αλλά και ο Torterotot κ.α. (2004), οι εξωτερικοί παράγοντες όπως οι αλλαγές σε απαιτήσεις ποσότητας νερού, τα μεγάλα έργα υποδομών οδοποιίας, η αντικατάσταση σωλήνων αποχέτευσης κλπ, είναι αυτοί που μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στις ανάγκες αποκατάστασης των δικτύων πόσιμου νερού.

Ο Thornton κ.α (2008) αναφέρει ότι στην Αγγλία και στην Ουαλία εφαρμόζουν μια διαδικασία συλλογής δεδομένων για τη χρήση προτύπων καθορισμού μακροπρόθεσμης οικονομικής πολιτικής απωλειών νερού, η οποία όμως είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και υψηλών απαιτήσεων εργατικού δυναμικού. Αντίθετα η χρήση βραχυπρόθεσμης οικονομικής ανάλυσης που βασίζεται στη σύγκριση μεταξύ της αξίας του χαμένου όγκου νερού, σε σχέση με το κόστος επέμβασης, αποτελεί προσέγγιση πολύ μικρότερων απαιτήσεων εργασίας για συγκέντρωση δεδομένων, προκειμένου να επιλεγεί η βέλτιστη στρατηγική παρεμβάσεων.

Ο Cox (2003) διαπίστωσε ότι η έλλειψη κατάλληλων στοιχείων, έχει οδηγήσει τις επιχειρήσεις νερού να στηρίζονται σε υπερβολικά απλοϊκά πρότυπα χρήσης ομάδων ομοιογενών σωληνώσεων, παραμελώντας κρίσιμες διαφορές στα δίκτυα σωληνώσεων και για παράδειγμα αναφέρει την έρευνα που έγινε σε επιχείρηση νερού και αφορούσε προγραμματισμένη αντικατάσταση 28 χιλιομέτρων σωλήνων νερού, για τα οποία διαπιστώθηκε σε επιθεώρηση που έγινε, ότι το 75% του δικτύου ήταν σε καλή έως πολύ καλή κατάσταση και μόνο το 8% χρειαζόταν πραγματικά αντικατάσταση (αναφέρεται στον Moglia κ.α., 2006).

Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι για τις επιχειρήσεις νερού υπάρχει ιδιαίτερη ανάγκη σωστής καταγραφής και αξιοποίησης στοιχείων δικτύων για την ορθή επιλογή των

σωλήνων που είναι σε κακή κατάσταση.

Οι Kleiner κ.α. (1998) και Kleiner & Rajani (1999) ανέπτυξαν μία μεθοδολογία για την εκτίμηση μελλοντικών αναγκών αποκατάστασης στη βάση των διαθέσιμων ιστορικών αρχείων θραύσεων των αγωγών νερού. Τα αρχεία στα οποία βασίστηκαν αποτελούνται από βάσεις περιορισμένων και ελλιπών δεδομένων μεταβλητών που προκαλούν θραύσεις στους αγωγούς.

Μια εναλλακτική προσέγγιση είναι η χρήση των πραγματικών ιστορικών στοιχείων αντικατάστασης, για την επιλογή αντικατάστασης δικτύων βασισμένη σε εκτεταμένα χρονικά δεδομένα, που εφάρμοσε ο Malm κ. α. (2012) και εξετάσανε την πρόβλεψη μελλοντικών αναγκών αντικατάστασης αγωγών, χρησιμοποιώντας ιστορικά στοιχεία, σε συναρτήσεις επιβίωσης, από το δίκτυο ύδρευσης του Γκέτεμποργκ, Σουηδίας. Τα διαθέσιμα δεδομένα ήταν διάρκειας περισσότερο από εκατό έτη και συμπεράναν ότι η διαδικασία είναι κατάλληλη για την πρόβλεψη αναγκών αντικατάστασης, όταν η αιτία αντικατάστασης είναι μόνο η κατάσταση του σωλήνα (ποσοστό αποτυχίας) και στις περιπτώσεις που δεν επηρεάζουν την επιλογή αντικατάστασης εξωγενείς παράγοντες (π.χ. αποφάσεις για αλλαγές που αφορούν: υλικό σωλήνων, υδραυλικές απαιτήσεις δικτύων, προτιμήσεις καταναλωτών, στρατηγικές αποφάσεις, κύρια έργα υποδομών κλπ) προκειμένου να αποφευχθεί η υπερεκτίμηση ή υποεκτίμηση των αναγκών αντικατάστασης.

Ως διάρκεια ζωής περιουσιακών στοιχείων ενός δικτύου διανομής μπορεί να περιγραφεί το σημείο έγκαιρης επιλογής αντικατάστασης δικτύου, όταν η επιλογή επισκευής είναι πλέον κοινωνικά ή και οικονομικά μη αποδεκτή. Η ηλικία σαν χαρακτηριστικό από μόνο του, δεν έχει αποφασιστική επιρροή στην επιλογή του βέλτιστου σημείου έγκαιρης αντικατάστασης σωλήνα. Το ποσοστό αποτυχίας σωλήνων, εξαρτάται από παράγοντες όπως το έδαφος, οι συνθήκες τοποθέτησης και το υλικό σωλήνων, και αποδεικνύεται ότι είναι τα καλύτερα κριτήρια για τη βέλτιστη μεμονωμένη ανακαίνιση ή αντικατάσταση (Herz, 1998 Saegrov, 2005), εντούτοις, η ηλικία ή η υπολειπόμενη ζωή αγωγών, είναι χρήσιμα κριτήρια για τη στρατηγική διαχείριση περιουσιακών στοιχείων δικτύων ((Burn κ.α.,2010)) για την πρόβλεψη αναγκών αποκατάστασης δικτύου διανομής πόσιμου νερού (αναφέρεται από τον Malm κ.α., 2012).

Οι περισσότεροι ερευνητές και οι μηχανικοί των εταιρειών παροχής νερού συμφωνούν ότι η διαδικασία συλλογής δεδομένων έχει μεγάλο κόστος. Επειδή τα κόστη συλλογής δεδομένων είναι τόσο υψηλά, οι εταιρείες ύδρευσης θα πρέπει να αποφεύγουν την

συλλογή δεδομένων που δεν είναι χρήσιμα και τα οποία σπάνια αν όχι ποτέ δεν θα χρησιμοποιηθούν.

Η διαδικασία καταγραφής των δεδομένων πρέπει να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Ακρίβεια
- Τυποποίηση
- Οργάνωση
- Αξιοπιστία

Για να είναι δυνατή η επεξεργασία των δεδομένων των αστοχιών από τα ιστορικά αρχεία απογραφής, αυτά θα πρέπει να καταγράφονται με λεπτομέρεια, να ενημερώνονται και να επεξεργάζονται κατάλληλα.

Για την επιτυχή εφαρμογή μεθόδων πρόβλεψης, τα δεδομένα των αγωγών πρέπει να είναι καταγεγραμμένα ανά κωδικό αριθμό αγωγού και τα δίκτυα να είναι ψηφιακά αποτυπωμένα. Το γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (GIS) θα πρέπει να μπορεί να ενημερώνεται τόσο με το δίκτυο των αγωγών όσο και με τις αστοχίες που παρατηρούνται. Θα πρέπει επίσης σταθμοί τηλεμετρίας να δίνουν τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με την πίεση λειτουργίας, τη ροή του νερού κ.α. σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Σύμφωνα με τον Malm κ.α (2012) τα στοιχεία που απαιτείται να καταχωρούνται από τις επιχειρήσεις νερού, για την πρόβλεψη αναγκών αντικατάστασης δικτύων διανομής νερού είναι:

- Ετήσια ή βασισμένα στη δεκαετία στοιχεία μήκους σωλήνων που τοποθετούνται
- Υφιστάμενο μήκος σωλήνων για κάθε έτος/δεκαετία
- Λόγος - Αιτία αντικατάστασης
- Ποσοστό αντικατάστασης για μια περίοδο περίπου 10 ετών (προαιρετικά)
- Στατιστικές αποτυχίας σωλήνων (προαιρετικά)
- Μελλοντικοί πιθανοί οδηγοί απόφασης (προαιρετικά).

Ο Moglia κ.α. (2006) αναφέρει ότι τα στοιχεία με τα οποία απαιτείται να τροφοδοτούν τις βάσεις δεδομένων οι επιχειρήσεις νερού σχετικά με αστοχίες αγωγών πρέπει να είναι σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

| Όνομα πεδίου | Περιγραφή |
|---------------------|--|
| 1. Κωδικός αστοχίας | Μοναδικό αναγνωριστικό αποτυχίας σωλήνα.. |
| 2. Κωδικός υλικού | Μοναδικό αναγνωριστικό του σωλήνα και διασύνδεση με σωλήνες πίνακα βάσης δεδομένων σωλήνων |

| | |
|--|---|
| 3. Ημερομηνία αστοχίας | Ημέρα της αποτυχίας |
| 4. Τύπος αστοχίας | Τύπος αποτυχίας όπως αναφέρεται από Davis κ.α. (2001). |
| 5. Ώρα αστοχίας | Ώρα της ημέρας που αναφέρθηκε η αστοχία |
| 6. Συνταταγμένες | Συντεταγμένες της αστοχίας εφόσον έχουν συλλεχθεί |
| 7. Αριθμός διακοπών υδροδότησης | Πόσες φορές έγινε διακοπή υδροδότησης λόγω αποτυχίας |
| 8. Μήκος σωλήνα που αντικαταστάθηκε | Μήκος σωλήνα που αντικαταστάθηκε σε μέτρα. |
| 9. Κόστος αντικατάστασης | Κόστος επισκευής του σωλήνα (\$) ή (€) |
| 10. Ζημιές πλημμυρών | Εάν υπήρχε ζημιά από πλημμύρα που οφείλεται στο νερό που προέρχεται από το σπασμένο σωλήνα: ναι / όχι. |
| 11. Κόστος ζημιάς | Συνολικό κόστος (\$) ή (€) |
| 12. Τύπος επισκευής | Είδος της επισκευής που απαιτήθηκε για την αποκατάσταση του σπασμένου σωλήνα π.χ. σέλλα επισκευής, αντικατάσταση του σωλήνα, αντικατάσταση συνδέσμων κ.λπ. |
| 13. Εγκατάσταση προσωρινής υδροδότησης | Όπου είχε εγκατασταθεί προσωρινή παροχή νερού |
| 14. Σχόλιο | Κάθε σχόλιο σχετικά με τη μελλοντική συντήρηση, ή απόφαση ανανέωσης ή άλλη διαχείριση θραύσεων σωλήνα. Παραδείγματα: "κάτω από τα υπόγεια ύδατα", "οπτικό καλώδιο δίπλα στο σωλήνα", "διαχείριση της κυκλοφορίας είναι δύσκολη", "θυμωμένος πελάτης", "δυσκολίες στην εξεύρεση βαλβίδα", "προκάλεσε καθυστερήσεις της κυκλοφορίας", "κακός φωτισμός του δρόμου", κ.λπ. |
| 15. Όνομα οδού | Όνομα οδού που συνέβη η αποτυχία του σωλήνα |
| 16. Αναφορά σε χάρτη | Αναφορά σε κάποιο επιλεγμένο χάρτη |

Πίνακας 2: Απαιτούμενα στοιχεία τροφοδοσίας βάσης δεδομένων αστοχιών αγωγών (Moglia κ.α. 2006)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Παράγοντες που επηρεάζουν τους ρυθμούς αποτυχιών στους αγωγούς ύδρευσης

Οι αποτυχίες των σωλήνων και των συνδέσεων προκύπτουν από έναν συνδυασμό αιτιών οι οποίες αφορούν : λειτουργικά, περιβαλλοντικά και χαρακτηριστικά των υλικών των αγωγών (Pratt κ.α., 2011)

Ενδεικτικοί παράγοντες που αναφέρονται στη βιβλιογραφία ότι επηρεάζουν τις αποτυχίες των αγωγών ύδρευσης είναι:

- *Ηλικία Αγωγού*

Αναμένεται ότι μεγαλύτεροι σε ηλικία αγωγοί θα είναι πιο ευάλωτοι σε αστοχίες / διαρροές.

- *Διάμετρος Αγωγού*

Μεγαλύτεροι σε διάμετρο αγωγοί αναμένεται ότι, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, θα είναι πιο ευάλωτοι σε αστοχίες / διαρροές (είτε διότι υπόκεινται σε μεγαλύτερες πιέσεις, όταν ο όγκος νερού που μεταφέρουν είναι μεγάλος, είτε διότι όταν δεν τις διαπερνά ο όγκος χωρητικότητάς τους, ενεργούν σαν κούφιο κέλυφος υπό εξωτερικό φορτίο).

- *Υλικό Αγωγού*

Το υλικό των αγωγών (πλαστικοί, γαλβανιζέ, κ.λπ.) επηρεάζει την ανθεκτικότητά τους σε εσωτερικά και εξωτερικά φορτία αλλά και τη διάβρωσή τους σε βάθος χρόνου.

- *Μήκος Αγωγού*

Το μήκος αγωγού αυξάνει τις πιθανότητες αστοχίας / διαρροής, ενώ, επίσης, επηρεάζει τη συμπεριφορά του αγωγού ως στατικό φορέα (μεγαλύτεροι σε μήκος αγωγοί αστοχούν ευκολότερα σε περιόδους ξηρασίας).

- *Αριθμός Προηγούμενων Παρατηρημένων στον Αγωγό Διαρροών*

Αυτός ο δείκτης είναι σημαντικός ως προς τη συχνότητα σπασίματος ενός αγωγού και τη συμπεριφορά του στο χρόνο, καθώς και ενδεικτικός ως προς το πόσο ευάλωτος είναι ο αγωγός σε μελλοντικές διαρροές. Όσο αυξάνει η τιμή του δείκτη αυτού τόσο πιο ευάλωτος είναι ο αγωγός (αυξάνεται το ρίσκο διαρροής σε αυτό). Επίσης, ο δείκτης αυτός

χρησιμεύει για την επανέναρξη του χρόνου ζωής εκάστου αγωγού για σκοπούς στατιστικής ανάλυσης και ανάλυσης θνησιμότητας του αγωγού.

Εξωγενείς Παράγοντες:

- *Πίεση Δικτύου - Εσωτερική Πίεση Αγωγού*

Όσο αυξάνεται η εσωτερική πίεση στα τοιχώματα του αγωγού, ή υπάρχουν απότομες αλλαγές σε αυτήν, τόσο αυξάνεται η πιθανότητα διαρροής. Επομένως, είναι σημαντική η διατήρηση σταθερής πίεσης στους αγωγούς.

- *Καταπόνηση Δικτύου*

Ένα δίκτυο γίνεται πιο ευάλωτο και επιρρεπές σε διαρροές όσο περισσότερη είναι η καταπόνηση των αγωγών του. Η καταπόνηση αυτή συνδέεται με την πίεση του νερού στους αγωγούς και τη γενικότερη χρήση των αγωγών. Για παράδειγμα, η συνεχής διακοπή παροχής νερού που επιβλήθηκε την περίοδο 2008-2009 στα μεγάλα αστικά κέντρα της Κύπρου εκτιμάται ότι είχε αρνητικό αντίκτυπο στα παρατηρούμενα ποσοστά άδηλων διαρροών σε αυτά τα δίκτυα.

- *Μέσος Όρος Θερμοκρασίας Περιόδου*

Η θερμοκρασία περιόδου φαίνεται ιστορικά να συντείνει στη συχνότητα διαρροών (αύξησή αστοχιών κατά τους καλοκαιρινούς μήνες).

- *Κατηγορία Περιβάλλοντος Χώρου*

Η περιοχή (περιβάλλον χώρος) στην οποία βρίσκεται ο αγωγός επηρεάζει το ρίσκο διαρροής σε αυτόν. Αγωγοί σε βιομηχανικές περιοχές υπόκεινται καθημερινά σε διαφορετικά και αυξημένα φορτία συγκριτικά με αγωγούς σε οικιστικές ζώνες, και, επομένως, είναι πιο ευάλωτοι.

- *Κυκλοφοριακός Φόρτος Περιοχής*

Αγωγοί σε περιοχές με αυξημένο κυκλοφοριακό φόρτο (κύριες οδικές αρτηρίες, οδικές αρτηρίες με βαριά φορτία κ.λπ.) υπόκεινται καθημερινά σε αυξημένα εξωτερικά φορτία και, επομένως, είναι πιο ευάλωτοι.

- *Οικοδομικός Φόρτος Περιοχής*

Αγωγοί σε περιοχές με αυξημένο οικοδομικό φόρτο (κτήρια, αποχετευτικό σύστημα κ.λπ.) υπόκεινται καθημερινά σε αυξημένα εξωτερικά φορτία και, επομένως, είναι πιο ευάλωτοι.

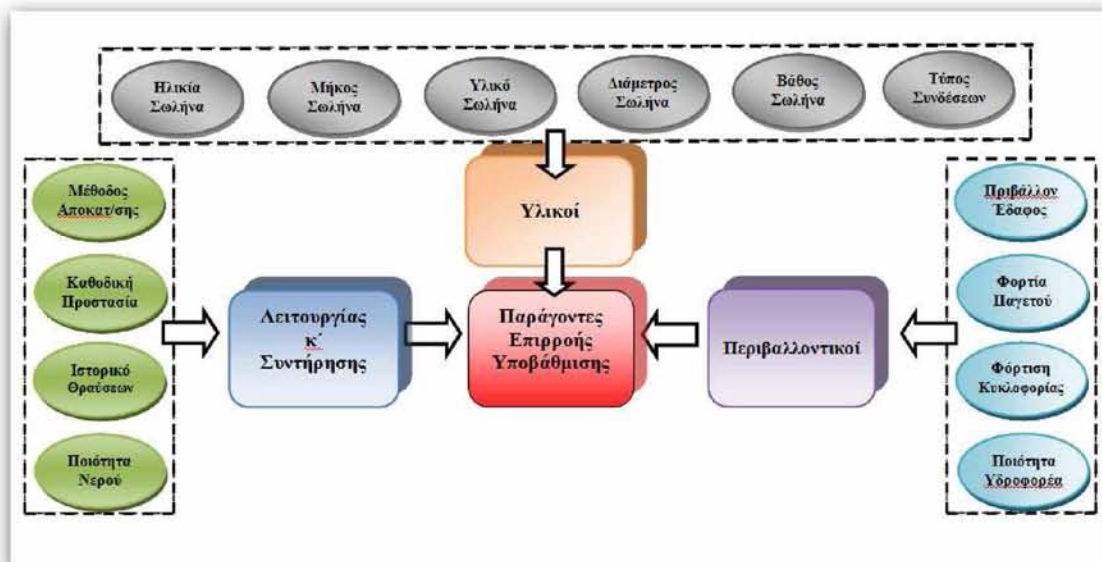
- *Κατηγορία Εδάφους Περιοχής*

Η επίδραση του τύπου εδάφους, στο οποίο βρίσκεται ένας αγωγός επηρεάζει τη συμπεριφορά του (φορτία, υπόβαθρο / στήριξη, διάβρωση, κ.λπ.).

Η κρισιμότητα του καθενός από αυτούς τους παράγοντες ποικίλει και εξαρτάται από τις συνθήκες στο υπό μελέτη δίκτυο. Συνήθως όμως, οι σημαντικότεροι παράγοντες όσον αφορά τη συμβολή τους στο ποσοστό μη αναφερθέντων διαρροών είναι: η ηλικία και το υλικό κατασκευής των αγωγών, η πίεση στο δίκτυο, και ο αριθμός προηγούμενων περιστατικών διαρροών στους συγκεκριμένους αγωγούς

Οι ρυθμοί αποτυχίας των αγωγών επηρεάζονται από παράγοντες που μπορεί να είναι στατικοί (να μην αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου) ή δυναμικοί (να εξαρτώνται από το χρόνο), (Wang κ.α., 2009). Η διάμετρος που αγωγού ή το υλικό του αγωγού είναι παραδείγματα στατικών παραγόντων, ενώ η ηλικία των αγωγών, η θερμοκρασία, η πίεση του νερού, η εδαφική διαβρωτική ικανότητα, και οι παρατηρηθείσες αποτυχίες των αγωγών είναι παραδείγματα τυχαίων χρονικά εξαρτημένων παραγόντων (δυναμικών) που μπορεί να επηρεάζουν το ρυθμό αποτυχιών των αγωγών που βρίσκονται κάτω από το έδαφος.

Στον πίνακα 1. Συνοψίζονται οι παράγοντες ανά κατηγορία που επηρεάζουν τους ρυθμούς αποτυχιών των κυρίων αγωγών, οι οποίοι είναι ταξινομημένοι σε φυσικές, περιβαλλοντικές, και λειτουργικές κατηγορίες (Wang κ.α., 2009)



Σχήμα 3: Παράγοντες επιρροής ρυθμού αποτυχιών κεντρικών αγωγών ύδρευσης (Wang, 2009)

Όπως αναφέρει ο Thornton κ.α (2008), υπάρχει μία κατανομή της συχνότητας εμφάνισης θραύσεων αγωγών στα δίκτυα ύδρευσης, σύμφωνα με την οποία μικρό ποσοστό σωληνώσεων θα παρουσιάσει μεγάλη συχνότητα θραύσεων, ενώ άλλα τμήματα του δικτύου θα παρουσιάσουν θραύσεις σε μικρή συχνότητα θραύσεων. Στο σχήμα 4 φαίνεται η τυπική καμπύλη κατανομής συχνότητας θραύσεων.



Σχήμα 4:Κατανομή συχνότητας Θραύσεων (Πηγή:Dave Pearson Sofia Water)

Το πρόβλημα που θα πρέπει να αντιμετωπιστεί στη συνέχεια είναι ο εντοπισμός και η αντικατάσταση πρώτα των σωλήνων που εμφανίζουν υψηλή συχνότητα θραύσεων και ο ορισμός του σημείου πέρα από το οποίο δεν είναι συμφέρουσα οικονομικά η αντικατάσταση.

Για τον εντοπισμό του οικονομικού σημείου αυτού προτείνεται :

- A) Η αξιολόγηση του οφέλους αντικατάστασης τμήματος ή ομάδας παρόμοιων σωλήνων στην ίδια περιοχή από άποψη μείωσης συχνότητας θραύσεων κεντρικών σωλήνων ή/και διαρροών σωλήνων παροχών.
- B) Η εκτίμηση του κόστους αντικατάστασης των σωλήνων.
- Γ) Η εκτίμηση μείωσης της διαρροής με τη χρήση μοντέλου απωλειών.
- Δ) Η αξιολόγηση εξοικονόμησης δαπανών επιθεωρήσεων , επισκευών και ενεργού ελέγχου διαρροών δικτύων.

Ε) Η αξιολόγηση του οριακού κόστους/οφέλους που ορίζεται ως το κόστος (αντικατάστασης) μείον το άθροισμα εξοικονόμησης δαπανών (επιθεωρήσεις, επισκευές, ενεργού ελέγχου), διαιρούμενου με την εξοικονόμηση διαρροής. Δηλ $E=(B-\Delta)/\Gamma$

2.1 Επίδραση του παράγοντα: «ηλικία αγωγών»

Είναι γνωστό ότι η γήρανση έχει επίδραση στη συχνότητα συντήρησης των αγωγών. Γι' αυτό το λόγο, πολλά μοντέλα αποκατάστασης αγωγών έχουν βασιστεί αποκλειστικά στην ηλικία των αγωγών.

Οι Shamir και Howard (1979) ανέπτυξαν ένα εκθετικό μοντέλο που περιγράφει την αύξηση των θραύσεων των αγωγών με την ηλικία τους και παρουσίασαν μία τεκμηριωμένη και ολοκληρωμένη μεθοδολογία υπολογισμού του βέλτιστου χρόνου αντικατάστασης των αγωγών.

Οι πρώτες αναλύσεις (O'Day κ.α., 1980) ανέτρεψαν την άποψη ότι ο ρυθμός εμφάνισης των θραύσεων σε κάποιον αγωγό είχε αναλογική σχέση με την ηλικία του αγωγού. Παρόλα αυτά όμως, μετέπειτα αναλύσεις (Clark κ.α., 1982) αμφισβήτησαν τα παραπάνω και απέδειξαν ότι πραγματικά ο ρυθμός εμφάνισης των θραύσεων σε έναν αγωγό έχει σχέση με την ηλικία του αγωγού (αναφέρεται από τον Christodoulou κ.α., 2012).

Έρευνα που έγινε στο σύστημα διανομής νερού της Νέας Υόρκης (Committee on National Urban Policy κ.α., 1984), απέδειξε μεταξύ άλλων ότι τα ποσοστά θραύσεων των αγωγών δεν είχαν σχέση με την ηλικία τους και ότι η αντικατάσταση των δικτύων μπορεί να γίνεται στα δίκτυα με τις χειρότερες επιδόσεις θραύσεων, ανεξάρτητα από την ηλικία των αγωγών.

Ο Malm κ.α. (2012) αναφέρουν ότι το ποσοστό αποτυχίας των σωλήνων αυξάνεται με την ηλικία, αλλά όχι σταθερά και ότι υπάρχει ένας συσχετισμός της ηλικίας και του είδους των θραύσεων που σχετίζονται με τη διάβρωση (διαμήκης ρωγμή ή αφαίρεση τμήματος σωλήνα), ενώ για τις θραύσεις στις συνδέσεις και τις περιφερειακές θραύσεις του σωλήνα δεν υπάρχει κανένας συσχετισμός με την ηλικία. Επίσης οι Al-Barqawi και Zayed (2006) δεν εντοπίζουν καμία σαφή σχέση μεταξύ παλαιότητας σωλήνα και αύξησης ποσοστού αποτυχίας όσον αφορά το φαιό χυτοσίδηρο. Τέλος ο Wengström (1993b) διαπίστωσε ότι η ηλικία δεν είναι κυρίαρχος παράγοντας για τις θραύσεις σωλήνων.

Σε μία μελέτη που έγινε σε πέντε Σουηδικές εταιρείες παροχής νερού για πέντε χρόνια αποδείχθηκε ότι ο αριθμός των διαρροών των αγωγών αυξανόταν μέχρι οι αγωγοί να γίνουν 30 ετών. Μετά από αυτό και μέχρι οι αγωγοί να γίνουν περίπου 80 ετών δεν υπήρχε σημαντική συσχέτιση μεταξύ της συχνότητας των διαρροών και της ηλικίας των αγωγών (U.S. Environmental Protection Agency, 2002).

2.2 Επίδραση του παράγοντα: «υλικό αγωγών»

Από μελέτες που έχουν γίνει τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Αμερική έχειδειχθεί ότι οι ρυθμοί διαρροών και θραύσεων διαφέρουν για αγωγούς διαφορετικών υλικών (U.S. Environmental Protection Agency, 2002).

Οι αποτυχίες των σωλήνων προκύπτουν από έντονες πιέσεις που ασκούνται σε αυτούς και ξεπερνούν τη δομική ικανότητα αντίστασής τους, σε συνδυασμό με τις εσωτερικές και εξωτερικές αλλοιώσεις των σωλήνων (Gould κ.α., 2011). Σύμφωνα με τους Rajani & Zhan (1996) η δομική ικανότητα των σωλήνων μειώνεται με την πάροδο του χρόνου λόγω της γήρανσης του υλικού, οι μηχανισμοί της οποίας εξαρτώνται από το υλικό σωλήνων (αναφέρεται από τους Kleiner & Rajani, 2000)

Στην περιοχή Reggio Emilia της Ιταλίας όπου έγινε μελέτη σχετικά με την επίδραση του υλικού των αγωγών στους ρυθμούς αποτυχιών τους, βρέθηκε ότι ο ρυθμός αποτυχιών είναι μεγαλύτερος για αγωγούς από χυτοσίδηρο και από αμιαντοτσιμέντο (US Environmental Protection Agency, 2002). Σε αυτή την περίπτωση η μέση ηλικία των αγωγών δεν λήφθηκε υπόψη. Στο Bordeaux της Γαλλίας, οι αγωγοί από χυτοσίδηρο αποτυγχάνουν περισσότερο από αυτούς από όλκιμο σίδηρο (ductile iron) (US Environmental Protection Agency, 2002). Στην Νορβηγία επίσης οι αγωγοί από αμιαντοτσιμέντο και μη προστατευμένο όλκιμο χυτοσίδηρο είναι περισσότερο εκτεθειμένοι από αυτούς από χυτοσίδηρο (US Environmental Protection Agency, 2002). Σε έρευνα του Pratt C. (2012) οι σωλήνες από φαιό χυτοσίδηρο παρουσιάζουν αστοχίες συνήθως που οφείλονται στην εξωτερική διάβρωση, ενώ οι αστοχίες των ενισχυμένων τσιμεντοσωλήνων παρατηρούνται συνήθως στις συνδέσεις.

2.3 Επίδραση του παράγοντα: «διαμέτρος αγωγών»

Στη βιβλιογραφία υπάρχει γενικά συμφωνία ότι ο ρυθμός εμφάνισης αστοχιών είναι υψηλότερος στους σωλήνες μικρότερων διαμέτρων (π.χ. Andreou, 1986). Παρατηρείται ειδικότερα ότι σωλήνες με διάμετρο έως 200 χιλ. παρουσιάζουν ιδιαίτερα μεγάλο αριθμός αποτυχιών και αυτό οφείλεται σύμφωνα με τον Wengstrom (1993b) στην μικρή αξιοπιστία ενώσεων αυτών των σωλήνων, αλλά και στα πρότυπα κατασκευής τους, με αποτέλεσμα το μειωμένο πάχος τοιχώματός τους αλλά και τη μειωμένη αντοχή.

Ευρωπαϊοί ερευνητές έχουν βρει ότι η διάμετρος των αγωγών επηρεάζει σημαντικά τους ρυθμούς αποτυχιών των αγωγών (US Environmental Protection Agency 2002).

Συγκεκριμένα, οι ρυθμοί αποτυχιών των αγωγών για ένα συγκεκριμένο υλικό αυξάνονται καθώς η διάμετρος του αγωγού μειώνεται. Από μελέτες που έχουν γίνει έχει βρεθεί ότι ο σχετικός ρυθμός αποτυχιών διαφέρει από περίπτωση σε περίπτωση αλλά η τάση παραμένει.

Από άλλες μελέτες επίσης προέκυψε το ίδιο συμπέρασμα, ότι οι ρυθμοί αποτυχιών είναι μεγαλύτεροι για αγωγούς μικρότερης διαμέτρου. Μία μελέτη του Sundahl (1996) στο Malmo της Σουηδίας έδειξε επίσης ότι η συχνότητα των διαρροών ανά χιλιόμετρο αγωγού μειώθηκε όσο αυξανόταν η διάμετρος του (αναφέρεται από την Τσιτσιφλή, 2010).

Οι Kettler & Goulter (1985, αναφέρεται από τους Park κ.α., 2001)) παρατήρησαν μία ισχυρή γραμμική συσχέτιση μεταξύ των θραύσεων των αγωγών και της διαμέτρου τους και μία μέτρια γραμμική συσχέτιση μεταξύ των θραύσεων και της ηλικίας των αγωγών. Σε μελέτη του O'Day (1982), διαπιστώθηκε ότι η διάμετρος του αγωγού έχει σχέση με τον ρυθμό και το είδος των θραύσεων. Οι Walski κ.α. (1982) και ο O'Day (1982) παρουσίασαν κάποια δεδομένα, για τους χρόνους μεταξύ διαδοχικών θραύσεων αγωγών και εξέτασαν ποιοτικά κάποιους παράγοντες που επηρεάζουν αυτούς τους χρόνους.

2.4 Επίδραση του παράγοντα: «κατάσταση εδάφους»

Ευρωπαϊοί ερευνητές (US Environmental Protection Agency, 2002) έχουν βρει ότι όπως η διάμετρος έτσι και οι συνθήκες του περιβάλλοντος εδάφους επηρεάζουν σημαντικά τους ρυθμούς αποτυχιών των αγωγών. Γενικά ισχύει ότι τα προσχωσιγενή εδάφη (alluvial soils) έχουν σαν αποτέλεσμα αυξημένους ρυθμούς βλαβών. Βεβαίως υπάρχουν και κάποιοι παράγοντες που επηρεάζουν τους ρυθμούς βλαβών και παρουσιάζονται περιπτώσεις στις οποίες ισχύουν τα αντίθετα αποτελέσματα. Ο ορισμός της ποιότητας του εδάφους είναι επίσης διαφορετικός σε διαφορετικές περιοχές, π.χ. πολύ επιθετικό έδαφος, μεσαία επιθετικό και καθόλου επιθετικό. Υπάρχουν και περιπτώσεις με σεισμογενή εδάφη. Σε άλλες περιπτώσεις λήφθηκε υπόψη η διαβρωτικότητα του εδάφους.

Μια σημαντική αιτία των πιέσεων που ασκούνται στους θαμμένους σωλήνες αποδίδεται στις συστολές και διαστολές του εδάφους που οφείλονται σε ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα η θερμοκρασία και η περιεκτικότητα υγρασίας του εδάφους έχει προσδιοριστεί στη βιβλιογραφία πως έχουν το σημαντικότερο συσχετισμό στα ποσοστά αποτυχίας (Gould κ.α., 2011)

2.5 Επίδραση του παράγοντα: «συνθήκες κυκλοφορίας και φορτίων»

Από έρευνα που έγινε στην Ευρώπη αποδείχθηκε ότι η κυκλοφοριακή φόρτιση είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τους ρυθμούς αποτυχιών αγωγών (US Environmental Protection Agency, 2002).

Σε μελέτες που πραγματοποίησαν οι Eisenbeis κ.α. (2000, αναφέρεται από την Τσιτσιφλή, 2010) σε τρία συστήματα ύδρευσης στη Γαλλία, αποδείχθηκε ότι αυξάνουν οι ρυθμοί θραύσης των αγωγών, λόγω του κυκλοφοριακού φορτίου. Στην παραπάνω μελέτη λήφθηκαν υπόψη τα παρακάτω έξι συστήματα κυκλοφορίας :

- ✓ ελαφριά κίνηση (<25 φορτηγά/ημέρα),
- ✓ βαριά κίνηση (25-300 φορτηγά/ημέρα),
- ✓ δευτερεύον δρόμος,
- ✓ πολύ βαριά κίνηση (>300 φορτηγά/ημέρα),
- ✓ κύριος (εθνικός) δρόμος,
- ✓ κάτω από πεζοδρόμιο.

2.6 Επίδραση του παράγοντα: «αρχική κατάσταση αγωγών και προηγούμενων αποτυχιών»

Οι Clark και Goodrich (1989) σε έρευνα που έγινε στις ΗΠΑ, απέδειξαν ότι γενικά κάθε φορά που επιδιορθώνεται μία βλάβη σε έναν αγωγό, ο χρόνος μέχρι την επόμενη βλάβη μειώνεται (αναφέρεται στο U.S. Environmental Protection Agency, 2002).

Παρόλο που και στην Ευρώπη αυτό το θέμα είναι υπό συζήτηση δεν είναι εύκολο να βρεθούν δεδομένα που να το υποστηρίζουν.

Οι Walski και Pelliccia (1982) αναφέρουν ότι για την πρόβλεψη μελλοντικών αποτυχιών σωλήνων, σημαντικός παράγοντας είναι το προηγούμενο ιστορικό αποτυχιών και η διάμετρος του σωλήνα. Ο Andreou (1986) χρησιμοποίησε το μοντέλο αναλογικού κινδύνου του Cox (1972) Proportional Hazards Model (PHM), για να αναλύσει τις θραύσεις στο δίκτυο ύδρευσης σε δύο μεγάλες επιχειρήσεις νερού στις βορειοανατολικές ΗΠΑ και βρήκε σημαντική επιρροή των προηγούμενων θραύσεων στον κίνδυνο εμφάνισης και επόμενων. Σε αυτό το πρότυπο, η διάρκεια ζωής του σωλήνα διαιρείται σε δυο στάδια (γρήγορης θραύσης και αργής θραύσης) ανάλογα με τον αριθμό των εμφανιζόμενων θραύσεων και οριοθετώντας ότι το στάδιο της αργής θραύσης περιλαμβάνει έως δυο περιστατικά θραύσεων σωλήνα. Η μελέτη καταλήγει στο ότι οι πιο σημαντικές μεταβλητές για την ανάλυση θραύσεων σωλήνα είναι: η πίεση στο σωλήνα, ο αριθμός των προηγούμενων θραύσεων, η ηλικία του σωλήνα κατά τη στιγμή της δεύτερης θραύσης, η περίοδος εγκατάστασης, η χρήση της γης και το μήκος του σωλήνα.

Οι Goulter και Kanzemi (1988) παρατηρώντας τη χρονική και χωρική συγκέντρωση των θραύσεων κυρίων αγωγών νερού, διαπίστωσαν ότι μια προηγούμενη θραύση αυξάνει την πιθανότητα μελλοντικών θραύσεων στο άμεσο μέλλον. Διαπίστωσαν επίσης ότι το 60% όλων των επόμενων θραύσεων εμφανίστηκε μέσα σε 3 μήνες από την προηγούμενη θραύση και απέδωσαν την αιτία των επόμενων θραύσεων στις διαδικασίες αποκατάστασης θραύσης, το πλήγμα κατά τη διακοπή και γέμισμα με νερό του σωλήνα και στην επανεπίχωση, (αναφέρεται στον Rostum, 2000).

2.7 Επίδραση του παράγοντα: «κλιματικές συνθήκες»

Η περιβαλλοντική και εδαφική υγρασία έχει προσδιοριστεί στη βιβλιογραφία πως έχουν το σημαντικότερο συσχετισμό στα ποσοστά αποτυχίας δικτύων ύδρευσης Gould κ.α., (2011). Έχουν ερευνηθεί από διάφορους συγγραφείς Hu & Hubble (2005) οι σχέσεις μεταξύ των κλιματολογικών συνθηκών και της ετήσιας θερμοκρασιακής διακύμανσης, στα ποσοστά αποτυχίας σωλήνων.

Όπως αναφέρεται από τον Pratt κ.α. (2011) τα ποσοστά αποτυχίας των σωλήνων από φαιό χυτοσίδηρο αλλά και των τσιμεντοσωλήνων αυξάνονται στο μέσο του χειμώνα, το οποίο αποδίδεται στην αύξηση περιεκτικότητας υγρασίας του εδάφους η οποία προκαλεί εδαφική διαστολή.

2.8 Επίδραση του παράγοντα: « διάβρωση»

Η διάβρωση είναι ένας από τους κύριους λόγους αντικαταστάσεων σωλήνων (Rostum, 2000). Διακρίνουμε την εσωτερική και εξωτερική διάβρωση στους σωλήνες από φαιό ή ελατό χυτοσίδηρο ή από χάλυβα. Η εσωτερική διάβρωση εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του νερού που μεταφέρεται (π.χ. το pH, η αλκαλικότητα, τα βακτηρίδια και η περιεκτικότητα σε οξυγόνο) και η εξωτερική διάβρωση εξαρτάται από το περιβάλλον γύρω από το σωλήνα (π.χ. εδαφολογικά χαρακτηριστικά, εδαφολογική υγρασία, και αερισμός).

2.9 Επίδραση του παράγοντα: «μήκος σωλήνων»

Το μήκος σωλήνων διαφέρει από σωλήνα σε σωλήνα μέσα σε ένα δίκτυο αλλά και μεταξύ των ίδιων δικτύων ύδρευσης. Για τους σωλήνες μεγάλου μήκους (π.χ. >1000 μ) οι εξωτερικές επιρροές, όπως οι συνθήκες του εδάφους και ο κυκλοφοριακός φόρτος, ποικίλλουν κατά μήκος του σωλήνα. Ο Røstum κ.α. (1997, αναφέρεται στον Rostum, 2000) προτείνουν να γίνονται προμήθειες και να τοποθετούνται μήκη σωλήνων σε παραγγελία 100m προκειμένου να αποφεύγονται διαφοροποιήσεις συνθηκών για τον ίδιο σωλήνα. Ο Andreou (1986) έκανε συσχετισμό κινδύνου και πιθανής αστοχίας και συγκεκριμένα βρήκε τη λειτουργία του κινδύνου να είναι ανάλογη προς την τετραγωνική ρίζα του μήκους του σωλήνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Διαχείριση αστοχιών δικτύων ύδρευσης – Στατιστικά μοντέλα

3.1 Πρότυπα περιγραφής Τεχνικής Κατάστασης σωλήνων

Υπήρξαν τρεις κύριες προσεγγίσεις για τη μοντελοποίηση της τεχνικής κατάστασης των δικτύων ύδρευσης σε σχέση με τις αποτυχίες σωλήνων: η περιγραφική ανάλυση, η φυσική ανάλυση και η προγνωστική ανάλυση, όπως περιγράφονται από τον Wengstrom (1993a). Η περιγραφική ανάλυση οργανώνει και συνοψίζει τα στοιχεία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάδειξη των τάσεων και των παραγόντων που επηρεάζουν τις αποτυχίες των σωλήνων ύδρευσης. Αποτελεί τη βασική ανάλυση για τη μοντελοποίηση της δομικής κατάστασης του δικτύου ύδρευσης. Η φυσική ανάλυση κάνει χρήση των εκτιμήσεων εξωτερικών φορτίων, της εσωτερικής και εξωτερικής διάβρωσης και των ασκούμενων πιέσεων στους σωλήνες για να μοντελοποιήσει την δομική κατάσταση του υλικού του σωλήνα. Η προγνωστική ανάλυση χρησιμοποιεί τις στατιστικές τεχνικές για να προβλεφθούν οι μελλοντικές θραύσεις των σωλήνων του δικτύου ύδρευσης .

3.2 Προβλέψεις σε συστήματα διανομής νερού

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων αποτυχίας αγωγών είναι αναμενόμενο να διευκολύνει την κατανόηση της διαδικασίας αύξησης ή μείωσης της ταχύτητας επιδείνωσης των σωλήνων.

Ο Marlow κ.α. (2009, αναφέρεται στην U.S.Environmental Protection Agency, 2013) περιγράφει διάφορες προσεγγίσεις για τη μοντελοποίηση της εναπομένουσας διάρκειας ζωής δικτύων, κάνοντας τη διάκριση μεταξύ των αιτιοκρατικών μοντέλων, των στατιστικών μοντέλων, των φυσικών πιθανολογικών μοντέλων και του απλού υπολογισμού ή του μοντέλου τεχνητής νοημοσύνης. Τα στατιστικά πρότυπα βασίζονται σε ιστορικά ποσοστά αστοχιών και άλλα στοιχεία, ενώ ένα από τα στατιστικά πρότυπα διαιρεί τους σωλήνες σε ομάδες με βάση τις ιδιότητές που επηρεάζουν τη γήρανση, όπως το υλικό ή η προστασία διάβρωσης.

Οι Yamijala κ.α.(2009) προσπάθησαν να συγκρίνουν διαφορετικά στατιστικά μοντέλα παλινδρόμησης που προτείνονται στη βιβλιογραφία, για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας των σωλήνων, βάσει ιστορικών δεδομένων σύντομων χρονικών περιόδων(5-10 έτη), με στόχο να εκτιμηθεί η πιθανότητα θραύσεων σωλήνων στο μέλλον και να καθοριστούν οι παράμετροι που επηρεάζουν περισσότερο την πιθανότητα θραύσεων σωλήνων. Η έρευνα μελέτησε την περίπτωση επιχείρησης νερού στο Τέξας, με δεδομένα θραύσεων πενταετίας (2000 – 2005).

Τα στατιστικά μοντέλα που συγκρίθηκαν ήταν τα εξής :

- γραμμικού χρόνου τακτικής παλινδρόμησης ελαχίστων τετραγώνων,
- εκθετικού χρόνου τακτικής παλινδρόμησης ελαχίστων τετραγώνων,
- Γενικευμένα Γραμμικά Πρότυπα (GLMs) , και
- λογιστικά Γενικευμένα Γραμμικά Πρότυπα (logistic GLMs), ενώ τα μοντέλα αναλογικών κινδύνων δεν συμμετείχαν στην έρευνα διότι απαιτούν δεδομένα μακροπρόθεσμης χρονικής περιόδου για να παρέχουν αξιόπιστα συμπεράσματα για τις πιθανότητες θραύσεων σωλήνων Andreou (1986)

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι τα υπόλοιπα στατιστικά μοντέλα επίλυσης του προβλήματος που συμμετείχαν στη σύγκριση, δεν παρείχαν καλές εκτιμήσεις, σε αντίθεση με τα λογιστικά γενικευμένα γραμμικά μοντέλα, τα οποία παρείχαν καλές εκτιμήσεις αξιοπιστίας σωλήνων και μπορούν να είναι χρήσιμα στον προγραμματισμό επιθεώρησης και συντήρησης αγωγών.

Προκειμένου να καταλήξουμε σε εκτίμηση της κατάστασης των συστημάτων ύδρευσης αναφορικά με τις απώλειες, τα περισσότερα μοντέλα ανάλυσης στατιστικών στοιχείων απαιτούν στοιχεία που αφορούν :

- υποδομή και σύστημα δεδομένων
- συντελεστές και προεπιλεγμένες τιμές

Ο συνδυασμός των στατιστικών προτύπων BABY και FAVAD απαιτεί την καταχώρηση των παρακάτω δεδομένων για την εκτίμηση του πραγματικού όγκου των απωλειών:

- Μήκος, υλικό, και διάμετρος των κεντρικών αγωγών
- Ο όγκος των δεξαμενών αποθήκευσης νερού
- Αριθμός συνδέσεων παροχών
- Θέση των μετρητών των καταναλωτών σε σχέση με τη βάνα διακοπής υδροδότησης καταναλωτή στο πεζοδρόμιο

- Αριθμός οικιακών καταναλωτών, πληθυσμού, και κατανάλωσης
- Αριθμός μη οικιακών καταναλωτών και κατανάλωσης
- Μέση πίεση ζώνης (τη νύχτα, και εικοσιτετράωρος μέσος όρος)
- Αριθμοί ή συχνότητες των διαφορετικών κατηγοριών διαρροών και σπασιμάτων
- Μέση διάρκεια κάθε κατηγορίας διαρροών και σπασιμάτων (ανάλογα με την πολιτική ανίχνευσης και επισκευής διαρροών της επιχείρησης νερού)

Ο Wang κ.α. (2009) αξιοποιώντας στοιχεία θραύσεων 15ετίας, από το Κεμπέκ του Καναδά αναπτύσσει πέντε στατιστικά μοντέλα πολλαπλής παλινδρόμησης, προκειμένου να πετύχει ανάλυση των τάσεων επιδείνωσης των κεντρικών αγωγών ύδρευσης και να προβλέψει το ετήσιο ποσοστό θραύσεων εξετάζοντας το μήκος, τη διάμετρο και την ηλικία των κύριων αγωγών και διαπιστώνει ότι το μήκος σωλήνων είναι ο παράγοντας που συνδέεται περισσότερο με το ετήσιο ποσοστό αστοχιών.

Στην Νέα Υόρκη χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο προσομοίωσης για να αναλύσουν τις στρατηγικές αντικατάστασης δικτύων ύδρευσης και ο Vanrenterghem κ.α. (2003) στηρίχθηκε στην ίδια μελέτη περίπτωσης, για να αναπτύξει μοντέλα για την υποβάθμιση των συστημάτων διανομής αστικού νερού, ενώ ο Aslani (2003) και ο Christodoulou κ.α. (2003) αξιοποίησαν τα ίδια δεδομένα της Νέας Υόρκης για να επεκτείνουν τη γνώση αξιολόγησης της υποβάθμισης των δικτύων ύδρευσης, χρησιμοποιώντας μοντέλα προσομοίωσης (αναφέρεται στον Christodoulou, 2007).

Μέθοδοι γενετικών αλγορίθμων χρησιμοποιήθηκαν από τους Dandy κ.α. (2003) για τον προσδιορισμό των οικονομικά αποδοτικότερων λύσεων στο πρόβλημα βελτιστοποίησης αποφάσεων αντικατάστασης, αποκατάστασης ή κατάργησης αγωγών δικτύων ύδρευσης, βάζοντας παράλληλα τον παράγοντα επαναδιαστασιολόγησης των κύριων αγωγών.

Σύμφωνα με τους Yamijala κ.α.(2009) υπάρχει υψηλός βαθμός μεταβλητότητας στον τρόπο καταγραφής δεδομένων θραύσεων των διαφόρων συστημάτων διανομής νερού, καθώς επίσης και μεταξύ των σωλήνων του ίδιου συστήματος.

Παράλληλα, οι εταιρείες ύδρευσης πρέπει να πάρουν αποφάσεις επιθεώρησης και συντήρησης για κάθε τμήμα αγωγού στο δίκτυό τους με βάση τις ελλειπείς πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των σωλήνων.

Εάν υπάρχουν επαρκή δεδομένα σχετικά με τους σωλήνες, τότε η φυσική μοντελοποίηση μεμονωμένων σωλήνων μπορεί να οδηγήσει σε ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με την

κατάσταση των σωλήνων, επειδή όμως οι αγωγοί θάβονται, είναι απαγορευτικά δύσκολο να υπάρχουν τα απαιτούμενα στοιχεία για το φυσικό μοντέλο κάθε σωλήνα σε ένα σύστημα διανομής νερού Yamijala κ.α.(2009). Φυσικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται πιο συχνά αφορούν μεγαλύτερες διατομές σωλήνων που είναι πιο κρίσιμες για τη λειτουργία του συστήματος. Όπως αναφέρει ο Yamijala κ.α.(2009), παραδείγματα αυτών των φυσικών μοντέλων αποτελούν το πρότυπο φορτίου παγετού που αναπτύχθηκε από τους Rajani και Zhan (1996), η ανάλυση της αλληλεπίδρασης του σωλήνα-εδάφους από τους Rajani κ.α. (1996) η ανάλυση απομένουσας δομικής αντίστασης από τους Kiefner κ.α. (1989), και ο δείκτης κατάστασης διάβρωσης Kumar κ.α.(1984).

Ενώ τα φυσικά πρότυπα είναι περιορισμένης χρησιμότητας στην ολοκλήρωση μοντελοποίησης δικτύων διανομής νερού, τα στατιστικά μοντέλα μπορούν να εφαρμοστούν στους σωλήνες διανομής νερού, βασισμένα στα ποικίλα επίπεδα δεδομένων εισόδου. Διάφορα στατιστικά μοντέλα έχουν προταθεί από διάφορους συγγραφείς για αυτόν το λόγο, η ακρίβεια όμως και η χρησιμότητα αυτών των προτύπων δεν είναι συστηματικά συγκρίσιμη.

Τις τελευταίες δεκαετίες ερευνητές προσπαθούν να καταλάβουν τον τρόπο εμφάνισης και λειτουργίας των αστοχιών στα δίκτυα ύδρευσης και να προτείνουν αποτελεσματικούς τρόπους από άποψη κόστους, για τη βελτίωση της αξιοπιστίας τους.

Από το 1978 και μετά έγιναν τα πρώτα βήματα εκμετάλλευσης των αρχείων των θραύσεων στα δίκτυα, ώστε με την κατάλληλη στατιστική τους επεξεργασία να εξάγονται νόμοι, που θα εκφράζουν τους ρυθμούς εμφάνισής τους. Ταυτόχρονα άρχισε να μελετάται η επίδραση των διαφόρων παραγόντων που επηρεάζουν την εμφάνιση των θραύσεων (Clark κ.α., 1978). Όπως αναφέρεται από το American Water Works Association Research Foundation (2002), ο Stacha (1978), καθόρισε τα κριτήρια του βέλτιστου οικονομικά χρόνου αντικατάστασης των αγωγών στα δίκτυα ύδρευσης, αναγνωρίζοντας και το κοινωνικό κόστος από την όχληση των καταναλωτών. Ο Stacha κατά τον καθορισμό της επιλογής για επισκευή ή αντικατάσταση ενός σωλήνα που απέτυχε, έκανε σύγκριση του ετήσιου κόστους αντικατάστασης σωλήνα, με το ετήσιο κόστος επισκευής του σωλήνα.

Σύμφωνα με το πρότυπο καθορισμού του βέλτιστου χρόνου αντικατάστασης σωλήνων ύδρευσης των Shamir και Howard (1979), γίνεται πρόβλεψη του αριθμού των θραύσεων σωλήνων ανά μονάδα μήκους, ανά έτος, με βάση τα καταγεγραμμένα δεδομένα αστοχιών δικτύων. Η μέθοδος λαμβάνει υπόψη της, τους υφιστάμενους σωλήνες αλλά και αυτούς

που έχουν αντικατασταθεί. Η πρόβλεψη του αριθμού των θραύσεων ανά μονάδα μήκους ανά έτος γίνεται με βάση τον τύπο:

$$B(t) = B(t_0) \cdot e^{A(t-t_0)}$$

όπου $B(t)$ δηλώνει την αναλογία θραύσεων (θραύσεις / έτος / km) κατά το έτος t και $B(t_0)$ την αρχική αναλογία θραύσεων στο χρόνο t_0 , ενώ το A είναι μια σταθερά στη μονάδα χρόνου. Μετά την αντικατάσταση, ο σωλήνας θεωρείται «πρακτικά απαλλαγμένος θραύσεων» στα πλαίσια του ορίζοντα σχεδιασμού. Οι Shamir και Howard (1979) συνδύασαν την πρόβλεψη των θραύσεων με οικονομικά δεδομένα για να προσδιορίσουν το βέλτιστο χρόνο αντικατάστασης. Οι περιορισμοί όμως της παραπάνω μεθόδου (όπως και παρόμοιων μεθόδων οπισθοδρόμησης) προέρχονται από τη χρήση μόνο της ηλικίας των σωλήνων για τις προβλέψεις θραύσεων, ενώ θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες όπως διάμετρος, πίεση, υλικό, έδαφος, προηγούμενες θραύσεις, καθώς επίσης και πληροφορίες σωλήνων που δεν έχουν αστοχήσει ακόμη. Παρ' όλα αυτά όμως τα μοντέλα παλινδρόμησης αποτυχιών είναι εύκολα στη χρήση τους και έχουν χρησιμοποιηθεί πάρα πολύ σε ερευνητικά προγράμματα για την πρόβλεψη μελλοντικών αστοχιών σε δίκτυα ύδρευσης (π.χ. Kleiner & Rajani, 1999).

Ο Wengström (1993b) παρουσιάζει μια ανάλυση της συμπεριφοράς του συστήματος των δικτύων διανομής νερού, χρησιμοποιώντας το μοντέλο πρόσθετου κινδύνου (Additive Hazards Model AHM). Σε αυτό το πρότυπο παλινδρόμησης οι συμμεταβλητές συνδέονται με το χρόνο μεταξύ των αποτυχιών. Σε αντίθεση με το PHM, το AHM δεν εξετάζει τη γήρανση των σωλήνων, αλλά αξιολογεί το χρόνο μεταξύ των αποτυχιών/των επισκευών.

Ο Rostum (2000) υποστηρίζει ότι τα μοντέλα αναλογικού κινδύνου (PHM) πρέπει να χρησιμοποιούνται για ανάλυση μεμονωμένων σωλήνων, ενώ τα μοντέλα πρόσθετου κινδύνου (AHM) πρέπει να χρησιμοποιούνται για να αναλύσουν τη συμπεριφορά του συστήματος από άποψη ιστορικού θραύσεων και επιρροής των επισκευών. Τέλος διαπιστώνει στα πλαίσια της διδακτορικής του διατριβής ότι οι δραστηριότητες επισκευών στο δίκτυο ύδρευσης αυξάνουν την πιθανότητα αποτυχιών.

Στην έρευνα του Christodoulou κ.α. (2007) αναφέρεται ότι ο Goulter κ.α. (1993) ανέπτυξε μία μέθοδο για τον ποσοτικό προσδιορισμό της μεταβολής των ποσοστών θραύσεων σωλήνων που σχετίζεται με χρονική και χωρική ομαδοποίηση των θραύσεων κύριων αγωγών νερού. Το πρώτο βήμα αυτής της μεθόδου χρησιμοποιεί ένα «σύστημα παραπομπών» για τον καθορισμό του μέσου όρου θραύσεων σε σωλήνα μετά την εμφάνιση της πρώτης θραύσης. Στο δεύτερο βήμα, μια μη-γραμμική παλινδρόμηση χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τις τιμές των συντελεστών σε μια εξίσωση που αποτυπώνει τις αλλαγές του μέσου αριθμού των μετέπειτα θραύσεων με τη διακύμανση στο χρόνο και στο χώρο. Αυτές οι παράμετροι εφαρμόζονται σε μία μη ομογενή κατανομή Poisson που προβλέπει την πιθανότητα μιας μεταγενέστερης θραύσης σε ένα σωλήνα, δεδομένου ότι έχει συμβεί η πρώτη θραύση. Το μοντέλο περιορίζεται στην πρόβλεψη των μετέπειτα θραύσεων, και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει την πρώτη θραύση. Η μη ομογενής κατανομή Poisson που χρησιμοποιείται δεν περιλαμβάνει επεξηγηματικές μεταβλητές.

Ο Christodoulou κ.α.(2007) εντοπίζει το πρόβλημα των επιχειρήσεων νερού για την επιλογή απόφασης για επισκευή ή αντικατάσταση σωλήνων, ως μέρος ενός μακροπρόθεσμου προγράμματος διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων αγωγών που πρέπει να πραγματοποιηθούν για να βελτιώσουν την αξιοπιστία των δικτύων διανομής νερού. Στην έρευνά του που εφάρμοσε στην επιχείρηση υδατοπρομήθειας Λεμεσού έχει θέσει στόχο την προσπάθεια καλύτερης διαχείρισης και αξιολόγησης των πληροφοριών και την επεξεργασία των ιστορικών δεδομένων των αγωγών μέσω μιας σειράς αναλυτικών και αριθμητικών μοντέλων, για να μπορέσουν τελικά να αξιολογήσουν τους αντίστοιχους κίνδυνους αποτυχίας των αγωγών των δικτύων, αποδίδοντας οπτικά τις πληροφορίες μέσω Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών.

Ο Malandain κ.α. (1999, αναφέρεται στον Rostum, 2000) κάνουν χρήση ενός μοντέλου παλινδρόμησης Poisson για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης του ποσοστού θραύσεων από τις μεταβλητές της διαμέτρου, του υλικού, και της θέσης του σωλήνα (δηλαδή εάν βρίσκεται σε δρόμο ή όχι). Ο χρόνος μετά την εγκατάσταση δεν περιλαμβάνεται στην παλινδρόμηση. Η προσέγγιση θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο σε επίπεδο δικτύου και όχι σε επίπεδο σωλήνα. Κατά την έρευνα χρησιμοποιείται Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) για τον προσδιορισμό της χωρικής διακύμανσης του ποσοστού θραύσεων που προκαλούνται από περιβαλλοντικές μεταβλητές (π.χ. την κατάσταση του εδάφους).

Ο Κανακούδης (1998) παρατηρεί ότι η αρχική ταξινόμηση των αποτυχιών με βάση των μέσο ρυθμό εμφάνισής τους σε αποτυχίες ανά km αγωγού ανά έτος, δεν ξεκαθαρίζει ποια χαρακτηριστικά των αγωγών είναι τα πιο σημαντικά και αυτά που επηρεάζουν την αξιοπιστία των αγωγών, αφού αγνοεί εντελώς τις συσχετίσεις τους και γι' αυτό υπάρχει κίνδυνος να οδηγήσει σε λανθασμένες προτάσεις και περιοριστικά μοντέλα για την εκτίμηση της αξιοπιστίας αγωγών σε δεδομένη χρονική περίοδο (αναφέρεται στην Τσιτσιφλή, 2010).

Η μέθοδος Συσχέτισης και Παλινδρόμησης δίνει λύση στην παραπάνω αδυναμία κάνοντας χρήση τεχνικών στατιστικής ανάλυσης για να ποσοτικοποιήσει τις σχέσεις μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής και μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών και να πετύχει ανάλυση του ρυθμού των βλαβών συνεξετάζοντας όλες τις μεταβλητές. Μία πολυμεταβλητή στατιστική τεχνική που αναδεικνύει τις συσχετίσεις μεταξύ όλων των μεταβλητών που έχουν παρατηρηθεί, είναι η Ανάλυση Παραγόντων (Factor Analysis) που απέδειξε ότι η χρήση στατιστικών τεχνικών βασισμένων στις συσχετίσεις όλων των μεταβλητών μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς ενός αγωγού, ενώ δεν μπορεί να παρέχει ένα «μοντέλο» πρόβλεψης της αξιοπιστίας των αγωγών με βάση όλα τα χαρακτηριστικά επιρροής εμφάνισης αποτυχιών αγωγών (Bakouros, 1988, αναφέρεται στην Τσιτσιφλή, 2010). Ο Bakouros (1988) διαπιστώνει ότι η στατιστική τεχνική της Διαχωριστικής Ανάλυσης λαμβάνει υπόψη όλα τα χαρακτηριστικά των αγωγών και μπορεί να παρέχει ένα μοντέλο πρόβλεψης αξιοπιστίας αγωγών (αναφέρεται στην Τσιτσιφλή, 2010)

Η μέθοδος Διαχωριστικής Ανάλυσης και Ταξινόμησης (DAC) εφαρμόστηκε σε μία μελέτη για την περιοχή του Manhattan το 1980, από το Department of the Army Corps of Engineers, New York (Male κ.α., 1990). Οι αγωγοί χωρίστηκαν σε ομάδες ανά διάμετρο και στη συνέχεια έγινε διαχωρισμός σε αυτούς που έσπασαν (αποτυχία) και σε αυτούς που δεν έσπασαν (επιτυχία) για κάθε ομάδα διαμέτρου.

Η μέθοδος DAC εφαρμόστηκε χωριστά για κάθε διάμετρο αγωγού και οι μεταβλητές που προέκυψαν στατιστικά, παρουσίασαν σημαντικές διαφορές για κάθε κατηγορία. Έτσι ήταν αδύνατο να εξαχθούν γενικά συμπεράσματα για συγκεκριμένους παράγοντες θραύσης.

Για να είναι επιτυχημένη η εφαρμογή της μεθόδου DAC στην πρόβλεψη της αξιοπιστίας των αγωγών, χρειάζεται να υπάρχουν αρκετά και αξιόπιστα αρχεία δεδομένων αστοχιών. Τέτοιου είδους αρχεία τηρούνται από τις εταιρείες διαχείρισης αγωγών πετρελαίου, λόγω της ανταποδοτικής αξίας του πετρελαίου/αερίου. Αντίθετα οι επιχειρήσεις ύδρευσης δεν τηρούν συνήθως συστηματικά και επαρκή αρχεία δεδομένων αγωγών. Τα δεδομένα επίσης μπορεί να μην είναι αξιόπιστα εξαιτίας του τρόπου συλλογής τους (π.χ. λάθος περιγραφή από τους εργοδηγούς, λάθος ταξινόμηση από τον άνθρωπο που καταχωρεί τα στοιχεία κλπ). Την τελευταία δεκαετία όμως λόγω της οικονομικής αλλά και περιβαλλοντικής σημαντικότητας της διαχείρισης των δικτύων ύδρευσης, γίνεται προσπάθεια συστηματικής τήρησης ιστορικού δικτύων από τις επιχειρήσεις ύδρευσης

Η μέθοδος Διαχωριστικής ανάλυσης και ταξινόμησης, λαμβάνει υπόψη έναν μεγάλο αριθμό διαφορετικών και πολύπλοκων μεταβλητών των αγωγών, μελετώντας τις διαφορές των δύο ομάδων (των επιτυχιών και των αποτυχιών) και παράγει ένα μοντέλο πρόβλεψης της αξιοπιστίας βασισμένο στα χαρακτηριστικά των αγωγών

Η Τσιτσιφλή Στ. (2010) προκειμένου να πετύχει πρόβλεψη αστοχιών αγωγών, χρησιμοποίησε σε δυο μελέτες περίπτωσης ΔΕΥΑ (Λάρισας και Λάρνακας), την ανάλυση των αστοχιών των αγωγών των δικτύων ύδρευσης με προσομοίωση της μεθόδου Διαχωριστικής Ανάλυσης και Ταξινόμησης (μέθοδος DAC), η οποία οδηγεί στον προσδιορισμό ενός μοντέλου πρόβλεψης των αστοχιών των αγωγών. Ο σκοπός της έρευνας ήταν να εφαρμοστεί η μέθοδος DAC σε δίκτυα μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου και να εξεταστεί κατά πόσο η εφαρμογή αυτή είναι επιτυχημένη και κατά πόσο μπορεί να εφαρμοστεί σε δίκτυα μεταφοράς νερού.

Στα πλαίσια της προαναφερόμενης έρευνας της Τσιτσιφλή Σ. (2010), επιβεβαιώθηκε η μέθοδος DAC στην πρόβλεψη αστοχιών αγωγών πετρελαίου σε ποσοστό 96,6%. Για τους αγωγούς ύδρευσης αντιμετωπίστηκαν δυσκολίες εξαιτίας της μορφής των δεδομένων των αγωγών και επιβεβαιώθηκε ότι είναι δυνατή η πρόβλεψη με τη μέθοδο DAC των αγωγών που θα αστοχήσουν στο μέλλον και μάλιστα προβλέπονται οι αγωγοί διαμέτρου και υλικού που παρουσιάζουν τις περισσότερες αστοχίες, ενώ δεν είναι δυνατή η εξαγωγή ποσοστού πρόβλεψης.

Η επιτυχημένη εφαρμογή της μεθόδου DAC στα δίκτυα πετρελαίου οφείλεται στη διαθεσιμότητα των δεδομένων και στην αρτιότητα και αξιοπιστία τους.

Για να είναι δυνατή η εφαρμογή της σε δίκτυα μεταφοράς άλλων ρευστών και συγκεκριμένα νερού, είναι απαραίτητος ο εξοπλισμός των ΔΕΥΑ με όλες τις τεχνολογικές εξελίξεις (π.χ. σύστημα GIS, SCADA, σταθμούς τηλεμετρίας κ.α.) για την παρακολούθηση των δικτύων τους. Είναι επίσης απαραίτητη η επιμελής καταγραφή και απεικόνιση αυτών των δικτύων (τόσο των αγωγών όσο και των υπόλοιπων συσκευών).

Από την εφαρμογή της μεθόδου DAC στο δίκτυο ύδρευσης της Λάρισας επιβεβαιώθηκε ότι ο μεγαλύτερος αριθμός χαρακτηριστικών δίνει καλύτερα αποτελέσματα διαχωρισμού.

Τέλος κατά την εφαρμογή της μεθόδου DAC έγινε ανάλυση της συμπεριφοράς και επίδρασης του κάθε χαρακτηριστικού στην αξιοπιστία των αγωγών, κατατάσσοντας περισσότερο σημαντική μεταβλητή τις «προηγούμενες αποτυχίες», ενώ ακολουθούν σε σημαντικότητα και χαρακτηρίζονται ασταθείς μεταβλητές το «έδαφος» και το «μήκος» του σωλήνα (Τσιτσιφλή, 2010).

Οι Roshani και Fillion (2014) εφαρμόζοντας μια νέα προσέγγιση γονιδιακής κωδικοποίησης βασισμένη σε γεγονότα αποκατάστασης, με παράλληλη χρήση μοντέλου πρόβλεψης απωλειών δικτύων ύδρευσης, προσπαθούν να βελτιστοποιήσουν το σωστό χρόνο αποκατάστασης κεντρικών αγωγών νερού, καλύπτοντας πλήρη σειρά αποφάσεων που αφορούν την αντικατάσταση, την αποκατάσταση αγωγών (με εσωτερική ή εξωτερική επικάλυψη), τη νέα εγκατάσταση σωληνώσεων, και τις στρατηγικές διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων. Κατά την ανάλυση ευαισθησίας της παραπάνω μεθόδου διαπιστώνουν ότι τις κύριες επιδράσεις στις λειτουργικές δαπάνες δικτύων ύδρευσης ασκούν οι αυξομειώσεις αναγκών ζήτησης νερού, τα ποσοστά αύξησης διαρροών και τα ποσοστά αύξησης θραύσεων.

3.3 Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων - Στρατηγική επιλογή στο δίλημμα «ΕΠΙΣΚΕΥΗ ή ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ»

Σήμερα σε ολόκληρο τον κόσμο είναι ιδιαίτερα πειστική η ανάγκη για αποτελεσματική διαχείριση υδάτινων πόρων και οι λόγοι είναι περιβαλλοντικοί αλλά και οικονομικοί. Στην κατεύθυνση αποτελεσματικής διαχείρισης των υδάτινων πόρων υπάρχει έντονο ενδιαφέρον από τις επιχειρήσεις διαχείρισης αστικών δικτύων νερού, για την εφαρμογή στρατηγικών και εργαλείων για ολοκληρωμένη και αυτοματοποιημένη διαχείριση των δικτύων ύδρευσης.

Για πολλούς από τους σωλήνες των δικτύων ύδρευσης, με το πέρασμα του χρόνου αρχίζει να αυξάνεται σημαντικά ο αριθμός των αποτυχιών με άμεσες δυσμενείς συνέπειες, όπως διακοπές υδροδότησης πελατών, ζημιές ιδιοκτησιών (πλημμύρες), δαπανηρές επισκευές, και απώλεια νερού.

Στα πλαίσια διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων διανομής νερού (νερό, σωλήνες, βαλβίδες, συνδέσεις, κλπ) οι επιχειρήσεις νερού πρέπει να εξετάσουν την εφαρμογή στρατηγικών διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων, παράλληλα με τις εργασίες συντήρησης και τις μεθοδολογίες που βελτιώνουν την αξιοπιστία και την οικονομική απόδοση των συστημάτων νερού. Η αποτελεσματικότητα ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων αγωγών έχει μεγάλη σημασία για την παρακολούθηση, την αποκατάσταση και την κοστολόγηση του κύκλου ζωής των αστικών δικτύων διανομής νερού.

Για να υπάρξει αξιολόγηση της κατάστασης του δικτύου διανομής στην υδατοπρομήθεια Λεμεσού, εφαρμόστηκε στρατηγική διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων, αξιοποιώντας τα ιστορικά δεδομένα περιστατικών θραύσεων, με παράλληλη απεικόνιση των περιοχών υψηλού κινδύνου αποτυχίας αγωγών, προτείνοντας τελικά στρατηγικές επισκευών ή αντικαταστάσεων και δίνοντας προτεραιότητες σε έργα με βάση τον κίνδυνο και το κόστος δράσης (Christodoulou κ.α., 2007).

Η μέθοδος στρατηγικής διαχείρισης παγίων που εφαρμόστηκε στην Κύπρο απαιτούσε:

- Στοιχεία σχετικά με τα χαρακτηριστικά του συστήματος (όπως η διάμετρος του σωλήνα, το μήκος, το υλικό, την ημερομηνία εγκατάστασης, ζώνες, κ.λπ.),

- Ιστορικά στοιχεία για τα περιστατικά θραύσης σωλήνα (η ημερομηνία συμβάντος, το χρόνο απόκρισης και το κόστος για την επισκευή / αντικατάσταση, τον αριθμό των προηγούμενων παρατηρηθέντων θραύσεων, αιτία και ταξινόμηση των περιστατικών θραύσης, κ.λπ.),
- Ένα εργαλείο στατιστικής ανάλυσης για την ανάλυση των περιστατικών θραύσης σωλήνα,
- Ένα τεχνητό νευρωνικό συστατικό δικτύου για τον προσδιορισμό προτύπων δεδομένων,
- Ένα επεξεργαστή ασαφούς λογικής , για την ανάπτυξη κανόνων ασαφούς λογικής που περιγράφουν τη συμπεριφορά του δικτύου,
- Μια μονάδα αξιολόγησης των κινδύνων (μονάδα ανάλυσης επιβίωσης),
- Ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) για την απεικόνιση,
- Μία ενότητα κοστολόγησης κύκλου ζωής για το συνυπολογισμό του κόστους ανά περιοχή και σωληνώσεις
- Μία μονάδα καθορισμού προτεραιοτήτων εργασίας
- Ένα σύστημα ερώτησης και αναφοράς δεδομένων για την ανάκτηση της απαιτούμενης πληροφόρησης .

Τα ιστορικά στοιχεία αναλύθηκαν με στόχο τον εντοπισμό πιθανών παραγόντων κινδύνου για θραύση σωλήνων και έγινε ταξινόμησή τους, σύμφωνα με τη σοβαρότητά τους και την αιτιώδη τους επίδραση. Ο Christodoulou κ.α. (2006) κατέταξε σε βαθμονομημένη λίστα τους πιθανούς παράγοντες κινδύνου για θραύση σωλήνων, με τη βοήθεια νευρωνικού συστήματος (π.χ. τη διάμετρο του σωλήνα, το υλικό, το μήκος, την ηλικία, τον αριθμό προηγούμενων θραύσεων, κλπ.)

Τα πιο αξιοσημείωτα παραδείγματα Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων που αναπτύχθηκαν σε ολόκληρο τον κόσμο για να δώσουν απάντηση στην πρόκληση για βελτιωμένες στρατηγικές αντικατάστασης αγωγών, περιλαμβάνονται στον παρακάτω πίνακα 3(Moglia, 2006)

| Όνομα | Αναφορές | Σχόλια |
|----------------|--------------------------------------|---|
| KANEW | Herz (1998) | Βασίζεται στη στατιστική ανάλυση ζωής ομοειδών ομάδων σωλήνων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιορίσει τα κατάλληλα μήκη των σωλήνων διαφορετικών τύπων υλικού που πρέπει να αντικατασταθούν σε κάθε έτος. Δεδομένου ότι είναι μοντέλο που βασίζεται σε πρότυπο ομάδας, δεν επιτρέπει την αναλυτική ιεράρχηση των ανανεώσεων αγωγών. |
| PRAWDS | Kleiner <i>et al.</i> (1998a, 1998b) | Μοντέλο εκθετικού χρόνου που διαμορφώνει στατιστικά τα ποσοστά θραύσης και υπολογίζει την απώλεια πίεσης με βάση την εξίσωση πρότυπο. Αυτό το μοντέλο προσδιορίζει τις βελτιστοποιημένες στρατηγικές αποκατάστασης. |
| WRAP | Geehman (1999) | Βασίζεται σε μεθοδολογία βαθμολόγησης όπου δίνονται υποκειμενικά βάρη στους συντελεστές. Οι προβλέψεις αποτυχίας δεν βασίζονται σε αυστηρή στατιστική ανάλυση των ιστορικών αποτυχιών σωλήνων και βελτιώσεις στις προβλέψεις αποτυχίας θα μπορούσαν να πετύχουν περισσότερες οικονομικά αποδοτικές στρατηγικές. |
| UtilNets | Hadzilacos <i>et al.</i> (2000) | Σύστημα αξιολόγησης κινδύνου μέσα από μεγάλο φάσμα αποτυχιών αγωγών. Αρχικά αναπτύχθηκε μόνο για σωλήνες φαιού χυτοσίδηρου. Απαιτείται ευρύ φάσμα πληροφοριών. |
| PARMS-PLANNING | Burn <i>et al.</i> (2003) | Σύστημα για μακροπρόθεσμο προγραμματισμό και ρυθμίσεις προϋπολογισμών. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται για προβλέψεις ποσοστών αποτυχίας, δαπανών και εξόδων αξιολογώντας μια σειρά από στρατηγικές. |
| CARE-W | Sægrov (2004) | Υποστηρίζει Επιχειρήσεις Νερού στην αλλαγή πολιτικής αντικατάστασης αγωγών από αντιδραστική |

| | | |
|--|--|---|
| | | σε προληπτική. Προτείνει στρατηγικές αντικατάστασης δίνοντας προτεραιότητες, ενώ ενσωματώνει υδρολογικά μοντέλα για την εκτίμηση αξιοπιστίας αγωγών κατά τη μεθοδολογία προτεραιοτήτων ανανέωσης. |
|--|--|---|

Πίνακας 3: Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων για στρατηγική αντικατάστασης αγωγών (Moglia κ.α 2006)

Το PARMs-PRIORITY είναι ένα συμπληρωματικό σύστημα αποφάσεων του PARMs-PLANNING που δοκιμάζεται και αξιολογείται από δυο Αυστραλιανές επιχειρήσεις νερού και αφορά μια προληπτική μέθοδο που επιτρέπει την αξιολόγηση διαφορετικών στρατηγικών για την επιλογή αντικατάστασης σωλήνων, χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση με βάση τον κίνδυνο, που περιλαμβάνει τόσο την πρόβλεψη πιθανότητας αποτυχίας σωλήνα, όσο και τις οικονομικές συνέπειες των μελλοντικών αστοχιών (Moglia M. κ.α 2006).

Στη βιβλιογραφία μέχρι σήμερα ο βέλτιστος προγραμματισμός αποκατάστασης των κύριων αγωγών δικτύων ύδρευσης, έχει αντιμετωπιστεί εστιάζοντας κυρίως στην αντικατάσταση των σωλήνων και σε ορισμένες σπάνιες περιπτώσεις στην επένδυση των σωλήνων. Αυτό έγινε ως επί το πλείστον για να απλουστευθεί το πρόβλημα βελτιστοποίησης του προγραμματισμού. (Roshani και Filion, 2014)

Οι Roshani και Filion (2014) σε μελέτη που κάνανε για τη βελτιστοποίηση της επιλογής του χρόνου αποκατάστασης και αντικατάστασης των κύριων αγωγών στο δίκτυο ύδρευσης του Fairfield, εξετάσανε τον αντίκτυπο των στρατηγικών διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων, αναφορικά με τις δαπάνες κεφαλαίων και τα λειτουργικά κόστη των λύσεων αποκατάστασης. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι εφαρμόζοντας διαδικασίες περιορισμού προϋπολογισμού οδηγήθηκαν σε περιορισμό της έρευνας και κατευθύνθηκαν σε επενδύσεις αποκαταστάσεων σωλήνων σε χρόνο νωρίτερα από αυτόν που απαιτούνταν και σε υπερβολικό βαθμό. Από τον περιορισμό προϋπολογισμού συνεπώς προέκυπε αναβολή της ορθής διαδικασίας αποκατάστασης σωλήνων, αφού αυτή δεν γινότανε στους κατάλληλους σωλήνες αλλά ούτε τον σωστό χρόνο, με αποτέλεσμα την αύξηση του λειτουργικού κόστους που συνδέεται με διαρροές, θραύσεις, και ενεργειακή χρήση σε σωλήνες που δεν έχουν αποκατασταθεί. Επίσης από τη μελέτη αναδείχθηκε ότι η εφαρμογή εκπτώσεων, μειώνει το λειτουργικό και επενδυτικό κόστος και ευνοεί τη

στρατηγική επιλογή επένδυσης του σωλήνα, σε σχέση με την αντικατάσταση ή επικάλυψη του σωλήνα. Στην ίδια μελέτη η ανάλυση ευαισθησίας έδειξε ότι η ζήτηση νερού, η αύξηση του ποσοστού διαρροών και θραύσεων μπορούν να έχουν μέτρια έως σημαντική επίπτωση επί του κεφαλαίου και του λειτουργικού κόστους.

Ο Torterotot κ.α. (2004) καταλήγει στο συμπέρασμα ότι ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων επιλογών αποκατάστασης σωλήνων, θα πρέπει να είναι ευέλικτο και προσαρμοσμένο στους κανόνες συμμετοχής των τελικών χρηστών, προκειμένου να διασφαλιστεί η ομαλή εφαρμογή του όχι μόνο προσωρινά αλλά και στο μέλλον.

3.4 Συμπεράσματα

Η αστοχία σωλήνων δικτύων ύδρευσης (π.χ. θραύση) είναι περίπλοκο γεγονός, το οποίο προκύπτει σαν αποτέλεσμα συνδυασμού διαφόρων παραγόντων. Υπάρχει πολύ μεγάλη ποικιλία σχεδίων αντιμετώπισης αστοχιών όχι μόνο μεταξύ δικτύων διανομής νερού, αλλά και μεταξύ σωλήνων στο ίδιο δίκτυο διανομής.

Το δίκτυο ύδρευσης πρέπει να αναλυθεί χωριστά για να εντοπιστούν οι μεταβλητές που σχετίζονται με τις αποτυχίες σωλήνων. Τα κύρια εμπόδια στην ανάπτυξη ενός φυσικού προτύπου για τις αποτυχίες σωλήνων είναι η έλλειψη γνώσης της δύναμης του συστήματος και οι πολλές εξωτερικές μεταβλητές που ασκούν πίεση σε κάθε σωλήνα. Για να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία, τα στατιστικά πρότυπα θα πρέπει να βασιστούν σε ανάλυση των ιστορικών αποτυχιών του δικτύου. Η αξιοπιστία όλων των μοντέλων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των δεδομένων εισόδου.

Η σημαντικότητα για την ανθρώπινη, ύπαρξη του εν ανεπαρκεία πόρου που διαχειρίζονται οι αρμόδιες επιχειρήσεις νερού, σε συνδυασμό με την έλλειψη οικονομικών πόρων, επιβάλλει την αξιοποίηση των ιστορικών στοιχείων θραύσεων δικτύων διανομής νερού στη διαμόρφωση στρατηγικής επιλογής διαχείρισης. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας θα είναι ένα από τα στοιχεία που θα πρέπει να τροφοδοτήσουν το εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων της επιχείρησης νερού. Έχουν ξεκινήσει έρευνες και θα πρέπει να ολοκληρωθούν στην κατεύθυνση αυτή. Ο στόχος θα πρέπει να είναι σε πρώτο στάδιο να βοηθηθούν οι επιχειρήσεις διαχείρισης δικτύων νερού, με όσο το δυνατόν υλοποιήσιμα και απλουστευμένα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων. Επιπλέον οι περαιτέρω έρευνες θα μπορούσαν να κατηγοριοποιήσουν τις επιλογές τροφοδοτούμενων στοιχείων συστημάτων, ανάλογα με το επίπεδο ανάπτυξης της χώρας (αναπτυγμένες, υπό ανάπτυξη ή τρίτες χώρες) και ανάλογα με το επίπεδο έλλειψης του πόρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Η περίπτωση της Δημοτικής Επιχείρησης Ύδρευσης Αποχέτευσης

Λάρισα

4.1 Ταυτότητα – Ιστορικό της Επιχείρησης

Η ΔΕΥΑΛ είναι Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου, κοινωφελούς χαρακτήρα.

Τη σημερινή της νομική μορφή απέκτησε το 1981, (Π.Δ. 374/1981) Ιδρυτικός Νόμος των Δ.Ε.Υ.Α είναι ο Νόμος «Περί κινήτρων δια την ίδρυσιν Επιχειρήσεων Ύδρευσεως και Αποχετεύσεως» (Ν.1069/1980), ο οποίος ορίζει το αντικείμενο και τις αρμοδιότητές τους, που είναι :

- παροχή υπηρεσιών Ύδρευσης και αποχέτευσης,
- μελέτη ,
- κατασκευή
- συντήρηση, εκμετάλλευση, διοίκηση και λειτουργία των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης ομβρίων και ακαθάρτων υδάτων και μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και αποβλήτων (Βιολογικός Καθαρισμός), στην περιοχή της αρμοδιότητάς της.

Το αντικείμενο και οι αρμοδιότητες της Δ.Ε.Υ.Α.Λ. διευρύνθηκαν, σύμφωνα με το άρθρο 2 του Ν. 1069/80 και την υπ' αριθμ. 12635/16-8-2005 απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας Θεσσαλίας, με τη διαχείριση, αξιοποίηση και εμπορία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προέρχονται από τα αντικείμενα δραστηριότητας της ΔΕΥΑΛ και των δραστηριοτήτων του Δήμου Λαρισαίων.

Οι νέες δυνατότητες δραστηριοτήτων της ΔΕΥΑΛ είναι:

- παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την εκμετάλλευση ηλιακής ακτινοβολίας ή την καύση του Βιοαερίου του Βιολογικού Καθαρισμού και του ΧΥΤΑ του Δήμου Λαρισαίων
- άρδευση των νέων τοπικών κοινοτήτων, μετά την εφαρμογή του Καλλικράτη.

Παράλληλα υπάρχει η δυνατότητα με απόφαση του Δ.Σ. της ΔΕΥΑΛ της επέκτασης του αντικειμένου

- στη μελέτη, κατασκευή, συντήρηση, εκμετάλλευση, διοίκηση και λειτουργία των δικτύων τηλεθέρμανσης,

- στη μελέτη, κατασκευή, συντήρηση, εκμετάλλευση, επίβλεψη, διοίκηση και λειτουργία των δικτύων φυσικού αερίου, σύμφωνα με την υπάρχουσα νομοθεσία και
- στην εμφιάλωση και εμπορία νερού

Η Δ.Ε.Υ.Α.Λ. είναι από τα βασικά ιδρυτικά μέλη της Ένωσης Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης Αποχέτευσης (ΕΔΕΥΑ, έτος ίδρυσης 1989), που έχει την έδρα της στη Λάρισα. Είναι μέσα στις πρώτες σε μέγεθος, (από άποψη Διοικητικής οργάνωσης, οικονομικής και τεχνολογικής επάρκειας) επιχειρήσεις ύδρευσης της Ελλάδας μετά την ΕΥΔΑΠ και ΕΥΑΘ (οι οποίες λειτουργούν υπό κρατική εποπτεία)

Η ΔΕΥΑΛ απασχολεί σήμερα 273 εργαζόμενους, είναι αυτόνομη οικονομικά και διοικητικά, ενώ διοικείται από Δ.Σ. που ορίζεται από το Δημοτικό Συμβούλιο και λειτουργεί με βάση τον ιδρυτικό της Νόμο (Ν.1069/1980).

Η Οργάνωση και Ιστορία της Δ.Ε.Υ.Α.Λ. ξεκίνησε το 1927, και συνεχίστηκε με από υποδειγματικές για τους υπόλοιπους Δήμους της χώρας, επιχειρηματικές δράσεις του Δήμου Λάρισας, διότι κατασκεύασε έργα ύδρευσης κόστους 20.000.000 δρχ. χωρίς κρατική επιχορήγηση, σε περίοδο παγκόσμιας σοβαρής οικονομικής κρίσης το 1930. Στη συνέχεια την 20ετία μετά τον πόλεμο του 1940 η επιχείρηση απέδωσε τεράστιο και δυναμικό έργο στην πόλη, που αφορούσε τον τεχνικό, κοινωνικό και πολιτιστικό τομέα. Στο τεράστιο έργο της ΔΕΥΑΛ συνετέλεσαν αρκετοί παράγοντες με κυριότερους το εξειδικευμένο κατά κλάδους προσωπικό και τις διοικήσεις, με τις οργανωτικές και διοικητικές ικανότητες και διορατικότητα. Η Νομική μορφή της επιχείρησης ήταν από το 1925 έως το 1974 με συμμετοχή μετόχων ιδιωτών κατά 24% και του Δήμου κατά 76%, ενώ από το 1974 έως σήμερα είναι Δημοτική Επιχείρηση. τα παραπάνω αναφέρονται στην ηλεκτρονική σελίδα της Δ.Ε.Υ.Α.Λ. (2013).

Με το πρόγραμμα «Καλλικράτης» (Ν.3852/2010), τα γεωγραφικά όρια του τομέα ευθύνης της Δ.Ε.Υ.Α.Λ. περιλαμβάνουν τα όρια του Δήμου Λαρισαίων εκτείνονται σε επιφάνεια 335 τετρ.χλμ. Πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνουν την πόλη της Λάρισας και τις κοινότητες Τερψιθέας, Γιάννουλης, Φαλάνης, Κουλουρίου, Αμφιθέας, Κοιλιάδας, Ραχούλας, Μάνδρας, Κουτσόχερου, Ελευθερών, Λουτρού και Αργυρόμυλων. Παράλληλα με απόφαση του Δ.Σ της Δ.Ε.Υ.Α.Λ. μετά από αίτημα του Δήμου Κιλελέρ, η Δ.Ε.Υ.Α.Λ. ανέλαβε από το 2012, την υδροδότηση διαχείριση και λειτουργία των δικτύων ύδρευσης της Νίκαιας, Νέων Καρυών, Μελισσοχωρίου, Ομορφοχωρίου, Κρανώνα, Μεσοράχης, Αγίων Αναργύρων και Κάμπου.

Η υδροδότηση της πόλης της Λάρισας γινότανε από τον Πηνειό ποταμό έως το 1989 που υπήρξε πρόβλημα λειψυδρίας. Από το 1989 έως σήμερα η υδροδότηση γίνεται με το νερό από 36 υδρευτικές γεωτρήσεις και η άρδευση από 19 αρδευτικές γεωτρήσεις .

Οι εξυπηρετούμενοι κάτοικοι είναι 208.500 (85.000 ενεργά υδρόμετρα) και το μήκος των αγωγών ύδρευσης φτάνει τα 1.050 Χλμ.

Η ετήσια παραγωγή νερού ξεπερνάει τα 17.000.000 μ³. Το νερό είναι υγιεινό, πλήρως ελεγμένο στα εξοπλισμένα με σύγχρονη τεχνολογία Εργαστήρια (Χημικό-Μικροβιολογικό). Το Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας νερών εφαρμόζει σύστημα ποιότητας, πιστοποιημένο από τον ΕΛΟΤ , κατά το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 9001: 2008.

Το δίκτυο αποχέτευσης, που ανέρχεται στα 580 km (360 Km αγωγοί ακαθάρτων και 220 Km όμβριων).

Ο Βιολογικός Καθαρισμός έχει δυναμικότητα επεξεργασίας 40.000 κυβικών, μετά την αναβάθμιση και επέκτασή του, με δυνατότητα εξυπηρέτησης 210.000 κατοίκων.

Οι επενδύσεις της ΔΕΥΑΛ , σε όλους τους τομείς των δραστηριοτήτων της, από το 1983 έως σήμερα ανέρχονται σε σημερινές τιμές στα 360.000.000 Ευρώ, τα παραπάνω αναφέρονται στην ηλεκτρονική σελίδα της Δ.Ε.Υ.Α.Λ. (2013).

4.2 Διαχείριση απωλειών δικτύων ύδρευσης στη Δ.Ε.Υ.Α.Λ.

Η συστηματική διαχείριση των απωλειών στη ΔΕΥΑΛ ξεκίνησε το 1992 με τη συμμετοχή της στο Ευρωπαϊκό πρόγραμμα Sprint Specific Project 257, για την προμήθεια εξοπλισμού, την μεταφορά τεχνολογίας και την αξιοποίηση τεχνογνωσίας στη διαχείριση των δικτύων ύδρευσης και τον ενεργό έλεγχο των διαρροών. Οι απώλειες το 1993 ήταν 41% του παραγόμενου νερού και ο στόχος που είχε τεθεί ήταν να περιοριστούν στο 25%

Η παρεχόμενη πίεση τροφοδοσίας του δικτύου ύδρευσης ακολούθησε την οικοδομική εξέλιξη της πόλης της Λάρισας. Έτσι έως το 1983 η κάλυψη των αναγκών γινότανε από τον υδατόπυργο με μέση παρεχόμενη πίεση 2,8 bar. Από το 1983 έως το 1999 η τροφοδοσία γίνεται με πιεστικά συγκροτήματα παρέχοντας μέση πίεση 4,6 bar για να καλυφθούν οι ανάγκες των πολυώροφων κτιρίων. Από το 1999 έως σήμερα η τροφοδοσία είναι βαρυντική, μέσω δεξαμενών συνολικής χωρητικότητας 18.000 μ³ που κατασκευάστηκαν σε δυο λόφους της πόλης. (Μεζούρλο και Αγ. Παρασκευή)

Από το 1992 έως το 2000 η διαχείριση των απωλειών στα δίκτυα ύδρευσης περιορίστηκε στη δημιουργία κλειστών ζωνών ελέγχου διαρροών, στον εντοπισμό εμφανών και αφανών διαρροών μέσω ακουστικών ελέγχων, και στην παρακολούθηση μεγάλων καταναλωτών,

ενώ παράλληλα ξεκίνησε συστηματική προσπάθεια βελτίωσης της ποιότητας αλλά και του χρόνου επισκευής των θραύσεων. Από το 2000 ξεκίνησε η διαχείριση της πίεσης με την εγκατάσταση υδραυλικών βανών ρύθμισης πίεσης αρχικά, συνεχίζοντας σε χωρισμό της πόλης σε επτά ζώνες πίεσης και προχωρώντας επιπρόσθετα σε ρύθμιση της νυχτερινής πίεσης. Το 2005 ξεκινά η εποπτεία και καταγραφή δεδομένων παροχής και πίεσης του δικτύου μέσω 25 σταθμών τηλεμετρίας, παρέχοντας νέες δυνατότητες κατανόησης της λειτουργίας του δικτύου ύδρευσης στους παραπάνω σταθμούς προστίθενται 35 νέοι το 2014. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η μείωση του επιπέδου των απωλειών που έγινε εμφανής από το 2002 (29,5% απώλειες) και έφτασε το 2013 στο 24,5%.

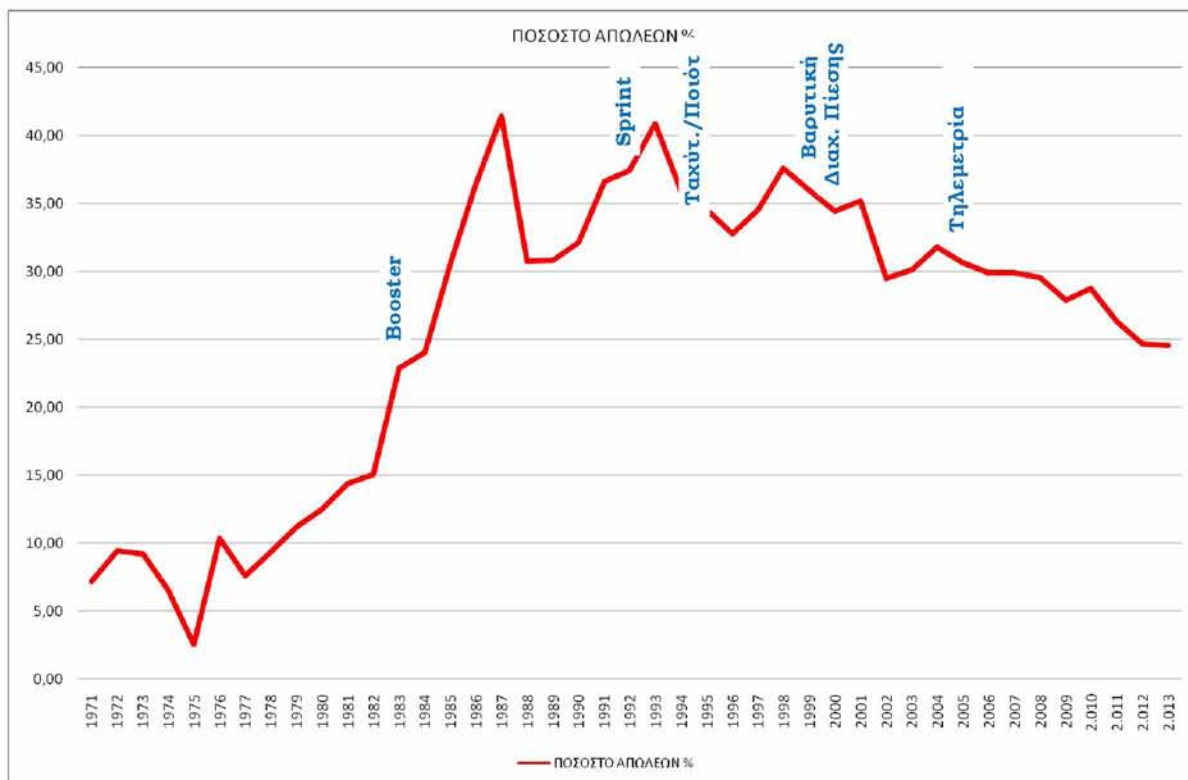
Στο παρακάτω Σχήμα φαίνεται χωρισμός των ζωνών πίεσης για την πόλη της Λάρισας.



Σχήμα 5: Ζώνες πίεσης στην πόλη της Λάρισας (Z1(●)=3,7 bar, Z2(●)=5 bar,

Z3(●)=3,2 bar, Z4(●)=3,3bar, Z5(●)= 3,5 bar

Στο παρακάτω Σχήμα φαίνεται η πορεία των απωλειών από το 1972 έως το 2013, όπου επισημαίνεται ότι έως το 1991 οι απώλειες βασίζονται σε κατ' εκτίμηση στοιχεία.



Σχήμα 6: Ποσοστό απωλειών δικτύων ύδρευσης ΔΕΥΑΑ από το 1971 έως το 2013 και επιρροή τους από γεγονότα και δράσεις.

Από το 1987 ξεκίνησε η καταγραφή δεδομένων δικτύων ύδρευσης που περιλαμβάνουν το ιστορικό θραύσεων αγωγών, αλλά και την κατασκευή νέων δικτύων που τα πρώτα χρόνια είναι χειρόγραφα και υπάρχει συγκεντρωτική και όχι αναλυτική ψηφιοποίησή τους έως το 2003.

Από το 2003 έως σήμερα η καταγραφή του ιστορικού θραύσεων και παρεμβάσεων στα δίκτυα ύδρευσης είναι καθημερινή και ψηφιοποιημένη και περιλαμβάνει στοιχεία ανά διεύθυνση εργασίας που αφορούν:

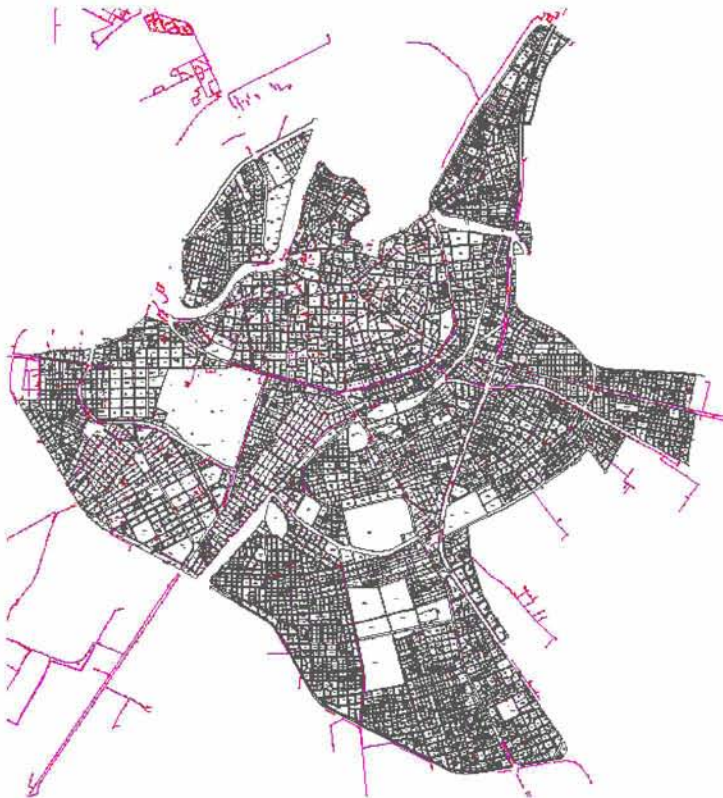
- Αντικαταστάσεις αγωγών ανά διατομή και υλικό,
- Αντικαταστάσεις συνδέσεων παροχών καταναλωτών,
- Αντικαταστάσεις βανών, αερεξαγωγών, υδροστομίων κλπ εξαρτημάτων δικτύου
- Αντικαταστάσεις συλλεκτών υδρομετρητών
- Απομόνωση και αποξήλωση δικτύων
- Απομόνωση και αποξήλωση συνδέσεων παροχών καταναλωτών
- Επεκτάσεις – κατασκευές νέων αγωγών ανά διατομή και υλικό
- Επισκευές αγωγών ανά διατομή και υλικό
- Επισκευές συνδέσεων παροχών καταναλωτών

- Επισκευές βανών, αερεξαγωγών, υδροστομιών κλπ εξαρτημάτων δικτύου
- Τοποθετήσεις νέων βανών, αερεξαγωγών, υδροστομιών κλπ εξαρτημάτων δικτύου

Το 1996 έχει ολοκληρωθεί η ψηφιοποίηση των δικτύων ύδρευσης, ενώ το 2011 έγινε προσαρμογή των δεδομένων υποβάθρων και δικτύων ύδρευσης στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87).

Οι αγωγοί του εσωτερικού δικτύου ύδρευσης της πόλης της Λάρισας αποτελούνται από πλαστικούς σωλήνες (PVC και PE), από σωλήνες φαιού ή ελατού χυτοσίδηρου, από σωλήνες αμιαντοτσιμέντου και από χαλυβδοσωλήνες.

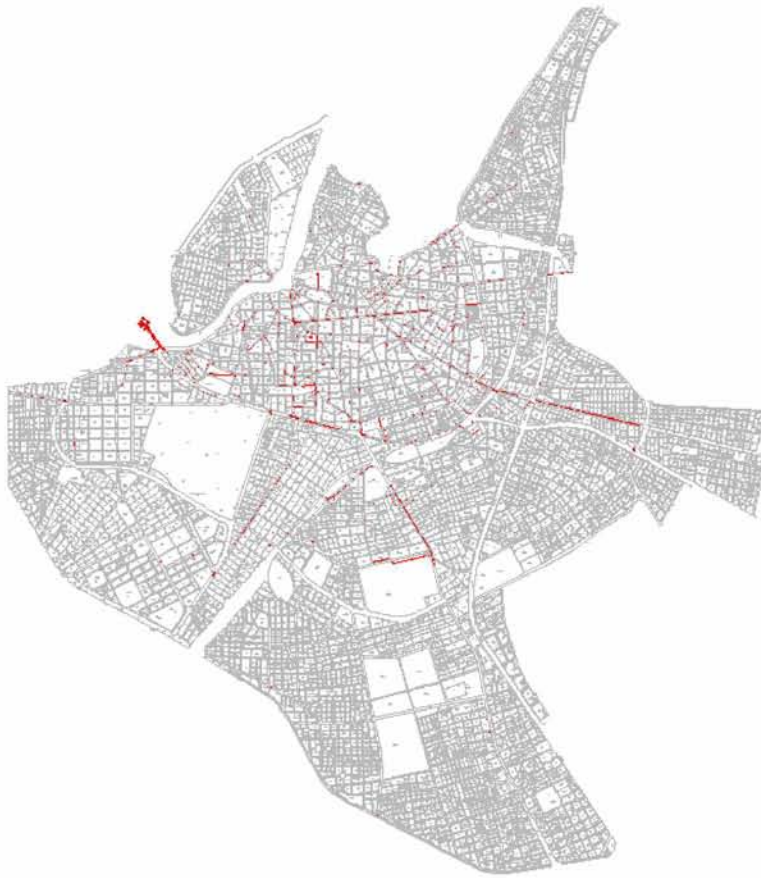
Η κατανομή των δικτύων ανά υλικό για την πόλη της Λάρισας απεικονίζεται αντίστοιχα στα παρακάτω σχέδια:



Σχήμα 7: Δίκτυα ύδρευσης από PVC και PE (3^{ΗΣ} γενιάς) στην πόλη της Λάρισας



Σχήμα 8: Δίκτυα ύδρευσης από Αμιαντοτσιμέντο στην πόλη της Λάρισας



Σχήμα 9: Δίκτυα ύδρευσης από Φαϊό Χυτοσίδηρο στην πόλη της Λάρισας

Το εξωτερικό δίκτυο ύδρευσης αποτελείται από χαλυβδοσωλήνες. Το συνολικό μήκος του δικτύου ύδρευσης είναι 1054 χλμ. ενώ τα μήκη των δικτύων ανά υλικό φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

| <u>ΥΛΙΚΟ ΑΓΩΓΟΥ</u> | <u>ΜΗΚΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ</u> |
|----------------------------|-----------------------------|
| ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΣ | 69.881 |
| ΑΜΙΑΝΤΟΤΣΙΜΕΝΤΟ | 165.470 |
| PVC | 573.637 |
| ΧΑΛΥΒΑΣ | 89.189 |
| PE (Πολυαιθυλένιο) | 156.734 |

Πίνακας 4: Μήκος δικτύων ανά υλικό αγωγών

Στο παρακάτω Σχήμα απεικονίζεται σε γράφημα το ποσοστό των δικτύων ύδρευσης ανά υλικό αγωγών



Σχήμα 10: Ποσοστά υλικών αγωγών δικτύων ύδρευσης Λάρισας

Τα παλαιότερα δίκτυα ύδρευσης στην πόλη της Λάρισας είναι των αγωγών από φαιό χυτοσίδηρο, ενώ τα νεότερα σε ηλικία δίκτυα είναι από πολυαιθυλένιο 3^{ης} γενιάς υψηλής πυκνότητας, καθώς και τα δίκτυα από ελατό χυτοσίδηρο.

Τα πιο γηρασμένα δίκτυα καλύπτουν κυρίως τις παλαιότερες συνοικίες και το πυκνοδομημένο ή πεζοδρομημένο κέντρο της πόλης, οπότε είναι δύσκολη η απόφαση αντικατάστασής τους.

Προκειμένου να γίνει αντιληπτή η αντιστοίχιση του μεγέθους των Τοπικών Κοινοτήτων σε σχέση με τον αριθμό θραύσεων, δίνονται παρακάτω οι πίνακες με τους αντίστοιχους αριθμούς υδρομετρητών. Περίπου το 10% του συνολικού αριθμού των υδρομέτρων αντιστοιχούν στις Τοπικές Κοινότητες που ανήκουν στον τομέα ευθύνης της ΔΕΥΑΛ. Παρόλα αυτά η κακή και χωρίς προγραμματισμό συντήρηση και διαχείριση των δικτύων ύδρευσης τα προηγούμενα χρόνια, έχουν σαν αποτέλεσμα εκτός από το μεγάλο ποσοστό απωλειών και την αντίστοιχη ανάγκη συχνών επεμβάσεων στα δίκτυα ύδρευσης των τοπικών Κοινοτήτων που ανέλαβε η ΔΕΥΑΛ μετά τη Διοικητική μεταρρύθμιση του

προγράμματος «Καλλικράτης» που έγινε το έτος 2011.

Αντίστοιχα ο αριθμός των υδρομέτρων ανά Τοπική Κοινότητα φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

| <u>ΤΟΠΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ</u> | <u>ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΩΝ</u> |
|---------------------------|-----------------------------|
| ΓΙΑΝΝΟΥΛΗ (μαζί με Ο.Ε.Κ) | 3400 |
| ΦΑΛΑΝΗ | 1219 |
| ΔΑΣΟΧΩΡΙ | 152 |
| ΕΛΕΥΘΕΡΑΙ | 221 |
| ΚΟΙΛΑΔΑ | 265 |
| ΡΑΧΟΥΛΑ | 201 |
| ΜΑΝΔΡΑ | 273 |
| ΚΟΥΤΣΟΧΕΡΟ | 155 |
| ΑΜΥΓΔΑΛΕΑ | 181 |
| ΛΟΥΤΡΟ | 182 |
| ΝΙΚΑΙΑ | 1.484 |
| ΝΕΕΣ ΚΑΡΥΕΣ | 278 |
| ΟΜΟΡΦΟΧΩΡΙ | 353 |
| ΜΕΛΙΣΣΟΧΩΡΙ | 448 |
| ΜΕΣΟΡΑΧΗ | 79 |
| ΑΓ. ΑΝΑΡΓΥΡΟΙ | 285 |
| ΚΡΑΝΝΩΝΑΣ | 57 |
| ΚΑΜΠΙΟΣ | 37 |
| ΜΕΣΟΡΑΧΗ | 79 |
| ΑΓ. ΑΝΑΡΓΥΡΟΙ | 285 |
| ΚΡΑΝΝΩΝΑΣ | 57 |

Πίνακας 5: Αριθμός υδρομέτρων ανά Τοπική Κοινότητα

Το συνολικό μήκος των δικτύων ύδρευσης που η ηλικία τους ξεπερνά τα πενήντα έτη και ενδέχεται να χρειαστεί αντικατάστασή τους την επόμενη δεκαετία ανέρχεται στα 230 χλμ περίπου, που αντιστοιχεί στο 23% του συνολικού δικτύου.

Τα έτη 2012 και 2013 η ΔΕΥΑΛ αντικατέστησε γηρασμένα δίκτυα ύδρευσης σε μια συνοικία της πόλης (Νεράϊδα) με δύο εργολαβίες συνολικού προϋπολογισμού 2,5 εκ. ευρώ (δεν περιλαμβάνεται η προσφερόμενη έκπτωση) και συνολικό μήκος 14.962 μ.μ. δικτύων που αντικαταστάθηκαν.

Τα έργα που εκτελεί η ΔΕΥΑΛ διακρίνονται σε έργα που εκτελεί με ίδιους πόρους και σε έργα χρηματοδοτούμενα από Ευρωπαϊκά προγράμματα.

Με δεδομένο ότι δεν προβλέπεται στα επόμενα χρόνια η χρηματοδότηση αντικαταστάσεων δικτύων ύδρευσης, είναι κρίσιμο για την επιχείρηση η ορθή επιλογή και αξιολόγηση των δικτύων που πρέπει να αντικατασταθούν.

Το τυποποιημένο έντυπο της ΔΕΥΑ Λάρισας για την καταγραφή εργασιών και υλικών που χρησιμοποιούνται στην επισκευή ή αντικατάσταση δικτύων φαίνεται στο παρακάτω σχέδιο.



Τριολα Διοργάνωση

ΕΝΤΟΛΗ ΠΡΟΣ ΤΟ ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΚΔΟΣΗΣ 18-9-2013 No 45225
 ΕΝΤΟΛΕΑΣ Ευθυμίου

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΡ
 ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ 23 Ουρ. 64 ΑΡ. ΚΑΡΤΕΛΑΣ
 ΕΙΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΑΛΙΟ ΥΔΡ/ΤΡΟ

| ΕΡΓΑΣΙΑ | ΔΙΚΤΥΟ | ΠΑΡΟΧΗ | ΔΑΠΑ | ΥΔΡΟΤΟΜΟ | ΥΔΡΟΜΕΤΡΟ | ΡΑΚΟΡ | ΚΕΣΤΡΟ | ΒΡΕΛΑΤΙΟ | ΚΑΔΑΡ 99 | ΠΕΣΑ |
|---------------|--------|--------|------|----------|-----------|-------|--------|----------|----------|------|
| ΕΠΕΚΤΑΣΗ | | | | | | | | | | |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ | | | | | | | | | | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ | | | | | | | | | | |
| ΑΠΟΣΗΛΩΣΗ | | | | | | | | | | |
| ΣΥΝΔΕΣΗ | | | | | | | | | | |
| ΜΕΤΑΦΟΡΑ | | | | | | | | | | |
| ΥΨΟΣΗ | | | | | | | | | | |
| ΚΑΤΑΣΤΡΕΥΗ | | | | | | | | | | |
| ΕΥΡΕΣΗ | | | | | | | | | | |
| ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ | | | | | | | | | | |
| ΑΦΑΙΡΕΣΗ | | | | | | | | | | |

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: Να οντ/θωιν οι μιλλιμετρα 3Χ9
401 1Χ3

ΑΝΑΦΟΡΑ ΤΟΥ ΤΕΧΝΙΤΗ:
Διοργάνωση οι Σελιδες 1-9 - 2-9 Διοργάνωση
18.9.2013
HT

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΟΜΕΤΡΟΥ | | | |
|---------------------|------------------|----------------------|----------------|
| | ΠΟΥ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΚΕ | ΠΟΥ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΘΗΚΕ | ΠΟΥ ΑΦΑΙΡΕΘΗΚΕ |
| ΑΡ. ΥΔΡΟΜΕΤΡΟΥ | | | |
| ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ | | | |
| ΕΝΔΕΙΞΗ ΥΔΡΟΜΕΤΡΟΥ | | | |
| ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ | | | |

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ 23-9-2013 ΘΕΩΡΗΣΗΚΕ
 Ο ΤΕΧΝΙΤΗΣ Τριολα Ο ΠΡΟΣΤΑΜΕΝΟΣ HT
 Διοργάνωση

ΧΡΕΩΣΗ
 ΠΕΛΑΤΗ
 ΔΗΜΟ ΛΑΡΙΣΑΣ
 ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ
 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ
 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σχήμα 11: Τυποποιημένο έντυπο καταγραφής εκτελεσμένων εργασιών ΔΕΥΑΛ (1^η σελίδα)

«Νεράϊδα» της Λάρισας που ξεκίνησε το 2009 και ολοκληρώθηκε το 2012 προέκυψε ότι το μέσο μικτό προϋπολογισμένο κόστος αντικατάστασης δικτύων διατομής Φ90 έως Φ200 ανέρχεται σε 60 €/μ.μ.. Επισημαίνεται ότι στο προϋπολογισμένο μικτό κόστος των 60 € ανά μέτρο μήκους περιλαμβάνεται και η αντικατάσταση των συνδέσεων παροχών, αλλά και η αποκατάσταση της τομής με ασφαλτικό, ενώ δεν περιλαμβάνεται η έκπτωση εκτέλεσης της εργολαβίας.

Το κόστος σύμφωνα με το επίσημο ισχύον ενιαίο περιγραφικό τιμολόγιο Υδραυλικών έργων του ΥΠΕΚΑ ανά κατηγορία εργασίας, φαίνεται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα κόστους εργασιών.

| ΕΙΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ | ΚΟΣΤΟΣ (€) |
|--|-------------------|
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΣΠΑΣΙΜΟ ΠΑΡΟΧΗΣ | 162,36 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ90 | 265,46 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ110 | 265,46 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ160 | 285,46 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ200 | 317,76 |
| ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΝΕΑΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ | 300,00 |
| ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΝΕΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ90 ΜΕΣΟΥ ΜΗΚΟΥΣ 90 μ.μ X 1,00 X 1,2 | 3693,24 |
| ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΝΕΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ110 ΜΕΣΟΥ ΜΗΚΟΥΣ 90 μ.μ X 1,00 X 1,2 | 4098,24 |
| ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΝΕΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ160 ΜΕΣΟΥ ΜΗΚΟΥΣ 90 μ.μ X 1,00 X 1,2 | 5288,24 |
| ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΝΕΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ200 ΜΕΣΟΥ ΜΗΚΟΥΣ 90 μ.μ X 1,00 X 1,2 | 6579,24 |

Πίνακας 6: Κόστος εργασιών που προκύπτει από το Ενιαίο Περιγραφικό Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων 2013 του ΥΠ.Ε.Κ.Α (ανά είδος εργασίας ΔΕΥΑ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

5.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από την ΔΕΥΑΛ και αφορούν στοιχεία επεμβάσεων στο δίκτυο ύδρευσης μεταξύ των ετών 2004-2013. Τα στοιχεία που συλλέγονται για κάθε επέμβαση είναι:

- Αρ. εντολής
- Είδος εργασίας
- Υλικό
- Διάμετρος
- Ημερομηνία
- Υπάλληλος
- Διεύθυνση

Τα δεδομένα εξήχθησαν από το πληροφοριακό σύστημα της ΔΕΥΑΛ και επεξεργάστηκαν έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παρούσα ανάλυση. Η επεξεργασία αφορούσε την ομογενοποίηση των δεδομένων καθώς υπήρχαν αρκετά τυπογραφικά λάθη τόσο στο είδος εργασίας όσο και στη διεύθυνση.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι της Ποσοτικής μη Πειραματικής έρευνας, η οποία αφορά έρευνα πρόβλεψης αναφορικά με το σκοπό της, ενώ αναφορικά με το χρόνο, είναι εκ των υστέρων έρευνα. Θα διερευνηθούν συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών (παράγοντες επιρροής θραύσεων) στο υπό εξέταση φαινόμενο (θραύσεις – επεμβάσεις).

Η στατιστική ανάλυση έγινε με το λογισμικό IBM SPSS Statistics Version 21. Για την προσέγγιση των ερευνητικών ερωτημάτων της εργασίας επιλέχθηκε η γραμμική παλινδρόμηση πρώτα με εξαρτημένη μεταβλητή το κόστος επισκευής ή αντικατάστασης και στη συνέχεια τον αριθμό των συμβάντων. Ως ανεξάρτητες μεταβλητές που ελέγχθηκαν για τη σημαντικότητά τους **στη διαμόρφωση του κόστους** για τη ΔΕΥΑΛ ή **του συνολικού αριθμού θραύσεων** (εξαρτημένες μεταβλητές – κόστος ή συνολ. Αριθμός θραύσεων) είναι το **υλικό** ως ψευδομεταβλητή για να εξεταστεί αν τα διάφορα υλικά έχουν διαφορετική επιρροή, ο **κυκλοφοριακός φόρτος** επίσης ως ψευδομεταβλητή, ο **αριθμός των συμβάντων**, ο **αριθμός των προηγούμενων συμβάντων** και άλλες

μεταβλητές όπως συμβάντα μέσα σε ένα, δύο τρεις και τέσσερις μήνες πριν από το συγκεκριμένο.

5.2 Περιγραφική Ανάλυση Δεδομένων - Παράγοντες επιρροής επεμβάσεων

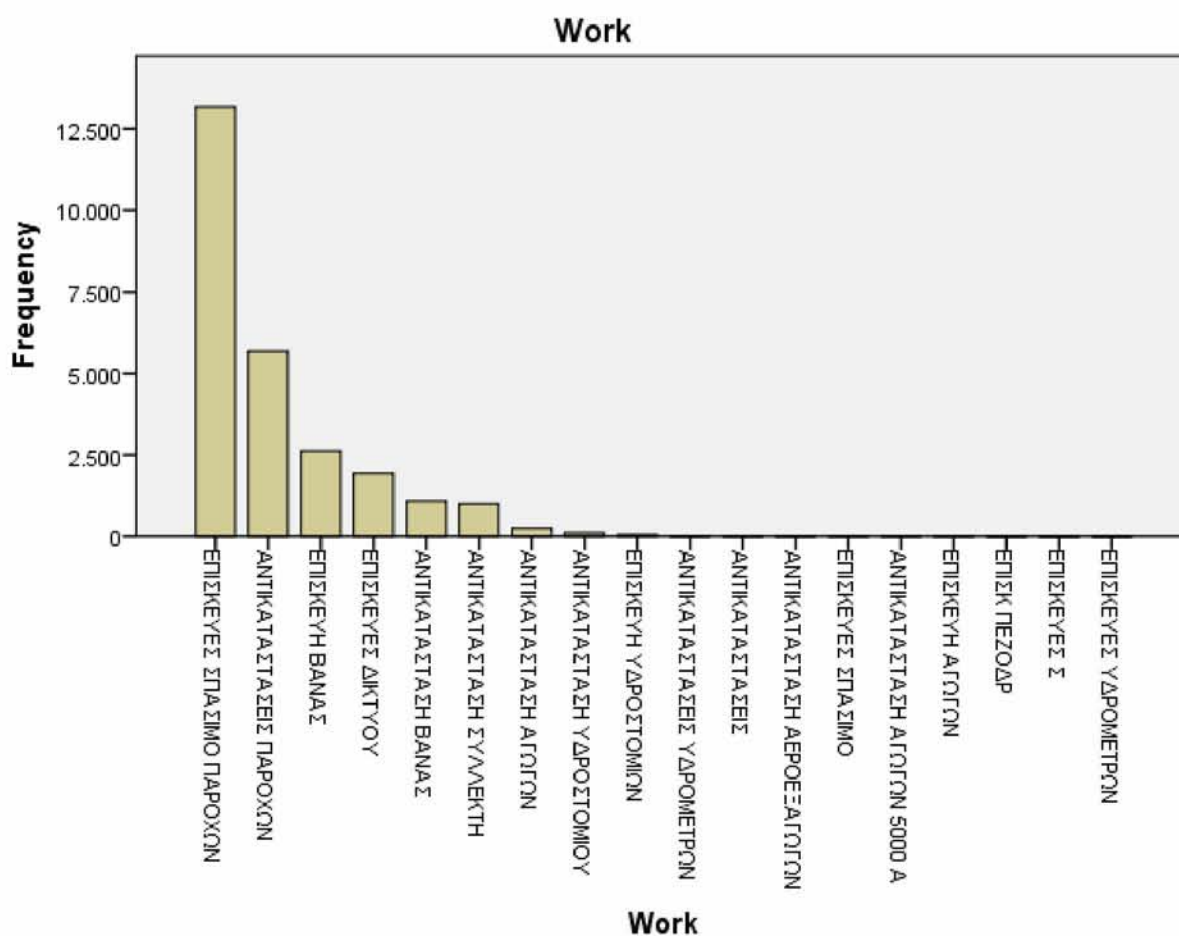
Οι κατηγορίες εργασιών επεμβάσεων στα δίκτυα ύδρευσης που τηρούνται στη ΔΕΥΑ Λάρισας αφορούν, επισκευές και αντικαταστάσεις δικτύων κύριων αγωγών ύδρευσης καθώς και παροχών συνδέσεων καταναλωτών έως τα υδρόμετρα των καταναλωτών. Αφορούν επίσης και επισκευές και αντικαταστάσεις εξαρτημάτων (βανών κλπ) δικτύων ύδρευσης.

Συνολικά, μεταξύ των ετών 2004-2013, έχουν καταγραφεί 25.908 συμβάντα. Τα μισά περίπου συμβάντα (50,9%) αφορούν επισκευές παροχών και ακολουθούν οι αντικαταστάσεις παροχών με 21,9% και οι επισκευές βανών με 10,1%. Την πεντάδα των συχνότερων εργασιών συμπληρώνουν οι επισκευές δικτύου με 7,4% και οι αντικαταστάσεις βανών με 4,2% (βλ. πίνακα).

| | Work | Frequency | Percent | Valid Percent | Cumulative Percent | |
|-------|---------------------------|------------------|----------------|----------------------|---------------------------|--|
| Valid | ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΣΠΑΣΙΜΟ ΠΑΡΟΧΩΝ | 13182 | 50,9 | 50,9 | 50,9 | |
| | ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΑΡΟΧΩΝ | 5679 | 21,9 | 21,9 | 72,8 | |
| | ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΒΑΝΑΣ | 2623 | 10,1 | 10,1 | 82,9 | |
| | ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ | 1922 | 7,4 | 7,4 | 90,3 | |
| | ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΑΝΑΣ | 1079 | 4,2 | 4,2 | 94,5 | |
| | ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ | 996 | 3,8 | 3,8 | 98,4 | |
| | ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΩΝ | 249 | 1,0 | 1,0 | 99,3 | |
| | ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΔΡΟΣΤΟΜΙΟΥ | 108 | ,4 | ,4 | 99,7 | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

| | | | | |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------|
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΥΔΡΟΣΤΟΜΙΩΝ | 47 | ,2 | ,2 | 99,9 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΥΔΡΟΜΕΤΡΩΝ | 5 | ,0 | ,0 | 99,9 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ | 4 | ,0 | ,0 | 99,9 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ | 4 | ,0 | ,0 | 100,0 |
| ΑΕΡΟΞΕΛΑΓΩΓΩΝ | | | | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΣΠΑΣΙΜΟ | 3 | ,0 | ,0 | 100,0 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ | 2 | ,0 | ,0 | 100,0 |
| ΑΓΩΓΩΝ 5000 Α | | | | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΑΓΩΓΩΝ | 2 | ,0 | ,0 | 100,0 |
| ΕΠΙΣΚ ΠΕΖΟΔΡ | 1 | ,0 | ,0 | 100,0 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ Σ | 1 | ,0 | ,0 | 100,0 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ | 1 | ,0 | ,0 | 100,0 |
| ΥΔΡΟΜΕΤΡΩΝ | | | | |
| Total | 25908 | 100,0 | 100,0 | |

Πίνακας 7: Συχνότητες εργασιών



Σχήμα 13. Αριθμός ανά κατηγορία εργασιών

Από τα 25.908 καταγεγραμμένα συμβάντα στα 23.736, δηλαδή στο 91,6% δεν έχει καταγραφεί το υλικό. Ωστόσο, αναλύοντας τα υλικά σε σχέση με τις εργασίες, είναι φανερό ότι το υλικό καταγράφεται μόνο για τις εργασίες αντικατάστασης ή επισκευής συνδέσεων παροχών κεντρικών αγωγών διανομής ή δικτύων $\Phi 1 \frac{1}{2}''$, το οποίο διευκρινίστηκε ότι αφορά υλικό από Πολυαιθυλένιο αντοχής 6 bar που εγκαταστάθηκε από τη ΔΕΥΑΛ πριν από 20 και πλέον έτη σε παροχές και δευτερεύοντα δίκτυα σε πεζοδρόμια . Το υλικό των παλιών συνδέσεων παροχών ήταν διαφοροποιημένης ποιότητας από το υλικό «Πολυαιθυλένιο» που τοποθετείται τα τελευταία 15 έτη στα δίκτυα ύδρευσης και στις συνδέσεις παροχών και αφορά υλικό PE100 MRS 10, 3^{ης} γενιάς, υψηλής πυκνότητας, και αντοχής σε πίεση 16 bar.

Επομένως, από τα 2.175 συμβάντα που αφορούν τις παραπάνω περιπτώσεις, οι 1.081 αφορούν δίκτυο από PVC (49,7%), οι 660 από αμίαντο (30,3%), οι 358 από χυτοσίδηρο (16,4%), οι 56 από χάλυβα (2,6%) και 17 από πολυαιθυλένιο PE100 3^{ης} γενιάς και αντοχής 16 bar (0,8%). Ενώ υπάρχουν και 3 συμβάντα στα οποία δεν έχει καταγραφεί το υλικό.

| | Material | | | | | | Total |
|--------------------------------|----------|---------|-----|-----------------------|---------|---------|-------|
| | - | PV C | A | ΠΟΛΥΑΙ ΘΥΛΕΝΙ Ο | ΧΑ Λ | ΧΥ Τ | |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΑΡΟΧΩΝ | 5679 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5679 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΥΔΡΟΜΕΤΡΩΝ | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΩΝ | 0 | 226 | 0 | 5 | 16 | 2 | 249 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΩΝ 5000 A | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΕΡΟΕΞΑΓΩΓΩΝ | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΑΝΑΣ | 1079 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1079 |
| Work ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ | 996 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 996 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΔΡΟΣΤΟΜΙΟΥ | 108 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 108 |
| ΕΠΙΣΚ ΠΕΖΟΔΡ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ | 3 | 854 | 658 | 12 | 40 | 355 | 1922 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ Σ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΣΠΑΣΙΜΟ | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΣΠΑΣΙΜΟ ΠΑΡΟΧΩΝ | 1318 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1318 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΥΔΡΟΜΕΤΡΩΝ | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΑΓΩΓΩΝ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |

| | | | | | | | |
|----------------------|------|------|-----|----|----|-----|-------|
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΒΑΝΑΣ | 2623 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2623 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΥΔΡΟΣΤΟΜΙΩΝ | 47 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 47 |
| Total | 2373 | 1081 | 660 | 17 | 56 | 358 | 25908 |
| | 6 | | | | | | |

Πίνακας 8. Αριθμός συμβάντων ανά εργασία και υλικό.

Αναλυτικά η καταγραφή των επεμβάσεων ανά και υλικό και ο αντίστοιχος αριθμός θραύσεων που αντιμετωπίστηκαν στον τομέα ευθύνης της ΔΕΥΑ Λάρισας κατά τη δεκαετία 2004 – 2013, εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα

| ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ | ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΤΗΜΑ 2004-2013 |
|---------------------------------|---|
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΣΠΑΣΙΜΟ ΠΑΡΟΧΩΝ | 13.182 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΑΡΟΧΩΝ | 5.679 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΒΑΝΝΑΣ Φ2" | 1.979 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ | 996 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ80 Α | 491 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΒΑΝΝΑΣ Φ80 | 417 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΑΝΝΑΣΦ2" | 404 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΑΝΝΑΣ Φ1 1/2" | 329 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ90 PVC. | 265 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ63 PVC | 203 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ80 ΧΥΤ. | 176 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΑΝΝΑΣ Φ80 | 186 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΔΡΟΣΤΟΜΙΟΥ | 108 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΩΝ Φ90 PVC | 103 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ1 1/2 ΠΛ. | 94 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ100 Α. | 83 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΒΑΝΝΑΣ Φ150 | 77 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΩΝ Φ1 1/2 ΠΛ. | 69 |

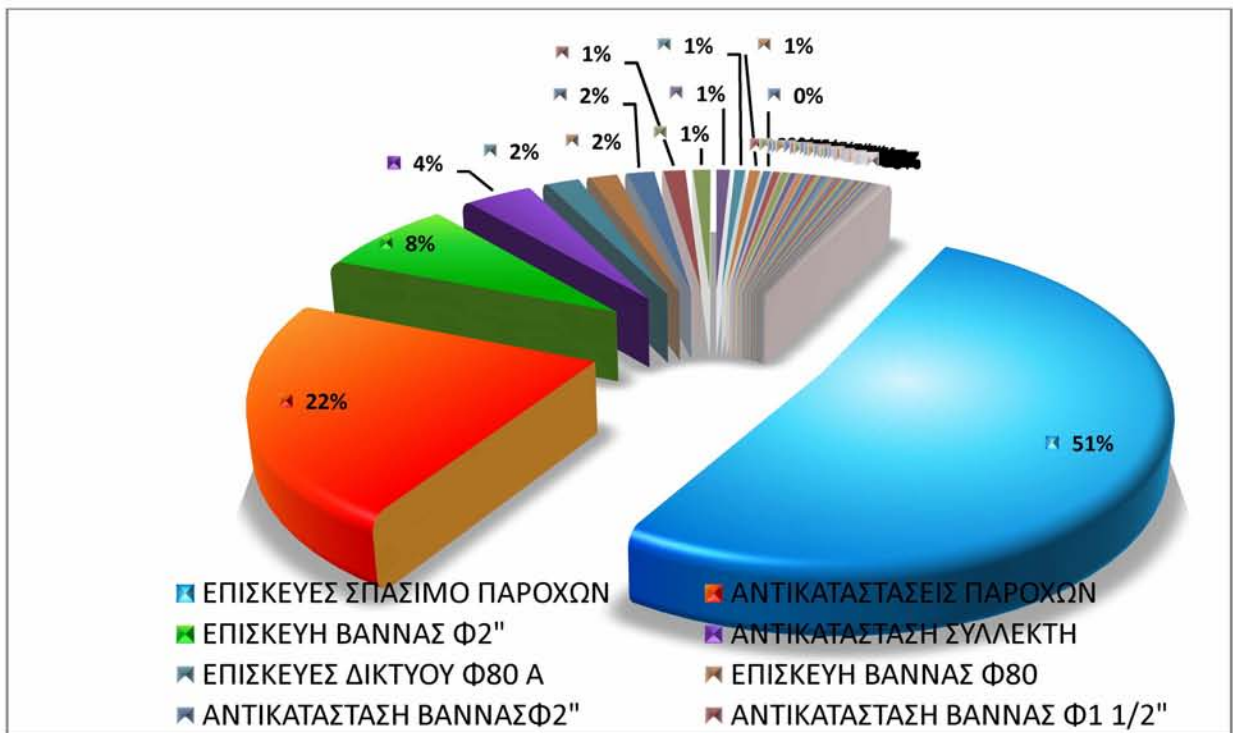
| | |
|--------------------------------|----|
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ150 Α. | 59 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ160 PVC. | 55 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΒΑΝΝΑΣ Φ100 | 52 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ40ΧΥΤ | 48 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΥΔΡΟΣΤΟΜΙΩΝ | 47 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ125 ΧΥΤ | 42 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ200PVC | 42 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ60 ΧΥΤ. | 41 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΑΝΝΑΣΦ150 | 38 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΒΑΝΝΑΣ Φ300 | 34 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΑΝΝΑΣ Φ2" | 33 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΩΝ Φ110 PVC | 29 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ140PVC | 26 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΑΝΝΑΣΦ100 | 25 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ150 ΧΥΤ. | 24 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΒΑΝΝΑΣ Φ200 | 18 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ280PVC | 16 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ3" ΠΛ. | 15 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ100 ΧΑΛ. | 12 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΒΑΝΝΑΣ Φ125 | 11 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΑΝΝΑΣ Φ150 | 9 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ40 Α. | 9 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΒΑΝΝΑΣ Φ1 ½ | 9 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΩΝ Φ100 ΧΑΛ. | 8 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΩΝ Φ160 PVC | 8 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΑΝΝΑΣΦ1 ¼ | 8 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ1" ΠΛ. | 8 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ300 Α. | 8 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΩΝ Φ200PVC | 7 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΑΝΑΣ Φ125 | 7 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΑΝΝΑΣ Φ1 1/4" | 6 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΑΝΝΑΣΦ200 | 6 |

| | |
|-----------------------------|---|
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ110 PVC | 6 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ300 ΧΥΤ. | 6 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΒΑΝΝΑΣ Φ1 1/4" | 6 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ150 ΧΑΛ. | 5 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ200 ΧΥΤ. | 5 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ300 ΧΑΛ. | 5 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ355PVC | 5 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ80 ΧΑΛ. | 5 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ100 ΧΥΤ. | 4 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ75 PVC | 4 |
| ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΑΝΝΑΣ Φ300 | 3 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ500 ΧΑΛ. | 3 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ225PVC | 1 |

Πίνακας 9: Αριθμός επεμβάσεων ανά κατηγορία εργασίας

Η συντριπτική πλειοψηφία των επεμβάσεων στα δίκτυα ύδρευσης της ΔΕΥΑΛάρισας αφορούν το τμήμα των συνδέσεων των δικτύων διανομής με το υδρόμετρο του καταναλωτή (σύνδεση παροχής), στο οποίο επιπρόσθετα περιλαμβάνονται και οι συνδέσεις βανών διακοπής έως 2'' και οι συλλέκτες υδρομετρητών. Αντίστοιχα από τα δίκτυα διανομής οι επισκευές των δικτύων διανομής Φ80Α παρουσίασαν τον μεγαλύτερο αριθμό αστοχιών κατά τη δεκαετία 2004 – 2013.

Στο παρακάτω Σχήμα απεικονίζεται σε γράφημα η ποσοστιαία αντιμετώπιση θραύσεων ανά κατηγορία εργασίας.



Σχήμα 14: Ποσοστό επεμβάσεων ανά είδος εργασίας στη δεκαετία 2004 - 2013

5.3 Παράγοντας επιρροής «υλικό και διατομή αγωγού».

Στον πίνακα που ακολουθεί αναλύονται οι επεμβάσεις που γίνανε σε κύριους αγωγούς δικτύων ύδρευσης κατά τη δεκαετία 2004 – 2013, όπου διαπιστώνεται επαλήθευση της θεωρίας του Andreou 1986 για συχνότερη εμφάνιση θραύσεων σε διατομές σωλήνων μικρότερες από Φ200 και το οποίο διαπιστώνεται για όλα τα υλικά των αγωγών.

| ΥΛΙΚΟ ΑΓΩΓΟΥ | ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΓΩΓΟΥ <Φ90 | ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΓΩΓΟΥ Φ100-Φ200 | ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΓΩΓΟΥ >Φ200 |
|------------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ80 Α | 491 | | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ90 PVC. | 265 | | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ63 PVC | 203 | | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ80 ΧΥΤ. | 176 | | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ1 1/2 ΠΛ. | 94 | | |

| | | | |
|------------------------------|----|----|----|
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ100 Α. | | 83 | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ150 Α. | | 59 | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ160 PVC. | | 55 | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ40ΧΥΤ | 48 | | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ125 ΧΥΤ | | 42 | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ200PVC | | 42 | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ60 ΧΥΤ. | 41 | | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ140PVC | | 26 | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ150 ΧΥΤ. | | 24 | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ280PVC | | | 16 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ3" ΠΛ. | 15 | | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ100 ΧΑΛ. | | 12 | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ40 Α. | 9 | | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ1" ΠΛ. | 8 | | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ300 Α. | | | 8 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ110 PVC | | 6 | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ300 ΧΥΤ. | | | 6 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ150 ΧΑΛ. | | 5 | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ200 ΧΥΤ. | | 5 | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ300 ΧΑΛ. | | | 5 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ355PVC | | | 5 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ80 ΧΑΛ. | 5 | | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ100 ΧΥΤ. | | 4 | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ75 PVC | 4 | | |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ500 ΧΑΛ. | | | 3 |
| ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ Φ225PVC | | | 1 |

Πίνακας 10: Συχνότητα επεμβάσεων θραύσεων σε δίκτυα ύδρευσης της ΔΕΥΑΛ ανά ομάδα διατομής αγωγού.

Για να υπάρξει όμως μια σωστή εικόνα για το ποιο υλικό παρουσιάζει τις περισσότερες θραύσεις θα πρέπει να υπολογιστούν οι θραύσεις ανά χιλιόμετρο μήκους για κάθε υλικό. Γνωρίζοντας τα μήκη των δικτύων για κάθε υλικό και από τα καταγεγραμμένα συμβάντα μπορούμε να υπολογίσουμε τις θραύσεις ανά χιλιόμετρο μήκους δικτύου για κάθε υλικό. Όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί, ο χυτοσίδηρος είναι το υλικό που έχει τις περισσότερες θραύσεις ανά χιλιόμετρο και ακολουθεί ο αμίαντος και το PVC, ενώ τα υλικά με τις λιγότερες θραύσεις ανά χιλιόμετρο μήκους είναι το πολυαιθυλένιο και ο χάλυβας.

| Υλικό | Συνολικό Μήκος (χμ) | Θραύσεις | Θραύσεις/χμ |
|---------------|--------------------------------|-----------------|--------------------|
| XYT | 69.88 | 358 | 5.12 |
| AMI | 165.47 | 660 | 3.99 |
| PVC | 648.85 | 1081 | 1.67 |
| ΧΑΛ | 89.19 | 56 | 0.63 |
| PE | 81.52 | 17 | 0.21 |
| Σύνολο | 1,054.91 | 2172 | |

Πίνακας 11. Συμβάντα ανά χιλ. μήκους δικτύου για κάθε υλικό.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι θραύσεις ανά διατομή και υλικό:



Σχήμα 15: Θραύσεις κύριων αγωγών δικτύων ύδρευσης της ΔΕΥΑ Λάρισας ανά διατομή και υλικό

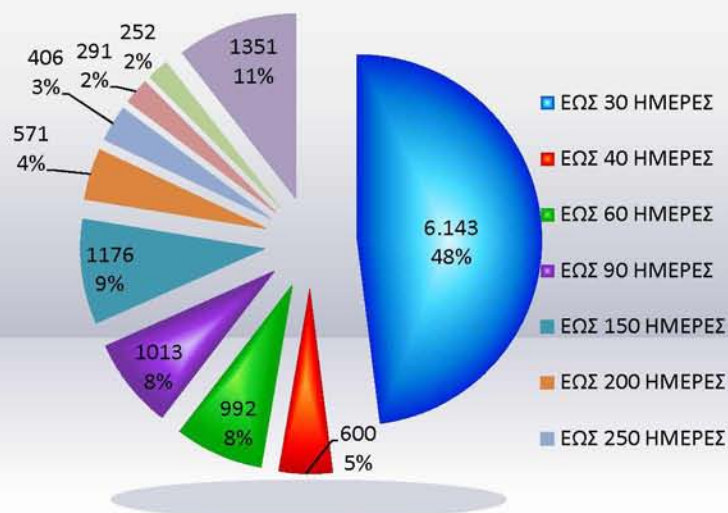
Παρατηρείται ότι για όλες τις κατηγορίες υλικών οι διατομές υλικών που είναι μικρότερες από Φ200, αποτελούν την συντριπτική πλειοψηφία των επεμβάσεων αποκατάστασης δικτύων ύδρευσης, αφού οι επεμβάσεις αποκαταστάσεων για διατομές όλων των υλικών σωλήνων μέχρι Φ200 αντιπροσωπεύουν το 97,51 % του συνόλου των επεμβάσεων σε δίκτυα κύριων αγωγών διανομής νερού στη ΔΕΥΑΛ.

5.4 Παράγοντας επιρροής «εποχή του χρόνου και χρονικό διάστημα από προηγούμενη επέμβαση»

Διαπιστώνεται όσον αφορά τη διάσταση του χρόνου, ότι στο εξεταζόμενο χρονικό διάστημα ο μέσος χρόνος επανεμφάνισης θραύσης σε οδό, που να αφορά δίκτυο ή παροχή της ΔΕΥΑΛ είναι 4 μήνες περίπου (130 ημέρες).

Τα αντίστοιχα ποσοστά των περιπτώσεων επανάληψης επέμβασης σε δίκτυα ύδρευσης για τις κατηγορίες χρονικών διαστημάτων που μεσολαβούν μέχρι την επανεμφάνιση θραύσης για χρονικό διάστημα έως (30, 40, 60, 90, 150, 200, 250, 300, 350, >350 ημέρες) φαίνονται στο επόμενο Σχήμα.

ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΜΕΧΡΙ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ



Σχήμα 16: Γράφημα χρονικού διαστήματος (ημέρες) μεταξύ θεραπειών στην ίδια οδό της Λάρισας

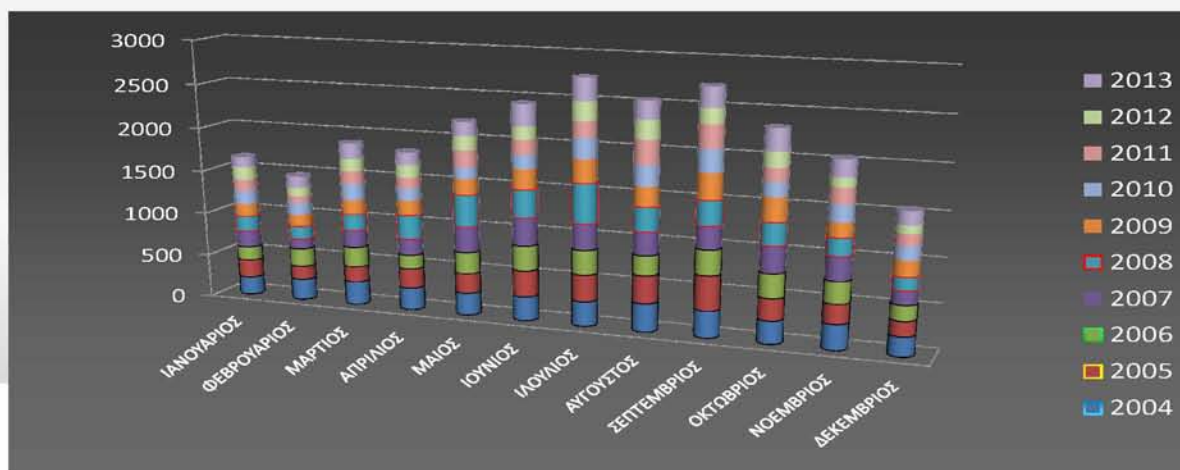
Αναλύοντας τα συμβάντα ανάλογα με τον μήνα που έχουν συμβεί φαίνεται ότι τους μήνες από Ιούνιο μέχρι και Οκτώβριο τα συμβάντα είναι περισσότερα σε σχέση με τους μήνες Νοέμβριο με Μάιο. Τους καλοκαιρινούς μήνες δηλαδή είναι αυξημένες οι θεραπείες.

| Month | Frequency | Percent | Valid Percent | Cumulative Percent |
|---------|-----------|---------|---------------|--------------------|
| 1 | 1688 | 6.5 | 6.5 | 6.5 |
| 2 | 1533 | 5.9 | 5.9 | 12.4 |
| 3 | 1920 | 7.4 | 7.4 | 19.9 |
| 4 | 1847 | 7.1 | 7.1 | 27.0 |
| Valid 5 | 2238 | 8.6 | 8.6 | 35.6 |
| 6 | 2511 | 9.7 | 9.7 | 45.3 |
| 7 | 2778 | 10.7 | 10.7 | 56.1 |
| 8 | 2560 | 9.9 | 9.9 | 65.9 |
| 9 | 2747 | 10.6 | 10.6 | 76.6 |

| | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| 10 | 2373 | 9.2 | 9.2 | 85.7 |
| 11 | 2102 | 8.1 | 8.1 | 93.8 |
| 12 | 1596 | 6.2 | 6.2 | 100.0 |
| Total | 25893 | 99.9 | 100.0 | |
| Missing System | 15 | .1 | | |
| Total | 25908 | 100.0 | | |

Πίνακας 12: Συμβάντα ανά μήνα

ΜΗΝΙΑΙΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΡΑΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΕΚΑΕΤΙΑ 2004 - 2013



Σχήμα 17: Μηνιαίος αριθμός θραύσεων κατά τη δεκαετία 2004 -2013

5.5 Εμφάνιση θραύσεων σε GIS

Η απεικόνιση των θραύσεων στο χώρο (ενδεχόμενα με τη χρήση GIS) αποτελεί εργαλείο άμεσης εποπτικής απεικόνισης για την προβολή της κατάστασης της οδού ως αναφορά τις επεμβάσεις σε αγωγούς δικτύων ύδρευσης. Παρακάτω ενδεικτικά απεικονίζονται δυο οδοί της συνοικίας «Νεράιδα» για τις οποίες η συχνότητα εμφάνισης θραύσεων οδήγησε στην επιλογή απόφασης αντικατάστασης των δικτύων ύδρευσης.



Σχήμα 18: Οδός Αμοργού επεμβάσεις ΔΕΥΑΑ στη δεκαετία 2004 - 2013



Σχήμα 19: Οδός Δήλου επεμβάσεις ΔΕΥΑΑ στη δεκαετία 2004 - 2013

Η εξέλιξη των συμβάντων ανά έτος εμφανίζονται στον πίνακα 11 και στο σχήμα 15. Είναι φανερό ότι μετά το 2008 τα συμβάντα μειώνονται. Στα έτη μεταξύ 2004 – 2008 τα συμβάντα κυμαίνονται από 2.791 μέχρι 3.201 στα έτη 2003 με 2013 ο αριθμός συμβάντων κυμαίνεται μεταξύ 1928 και 2424.

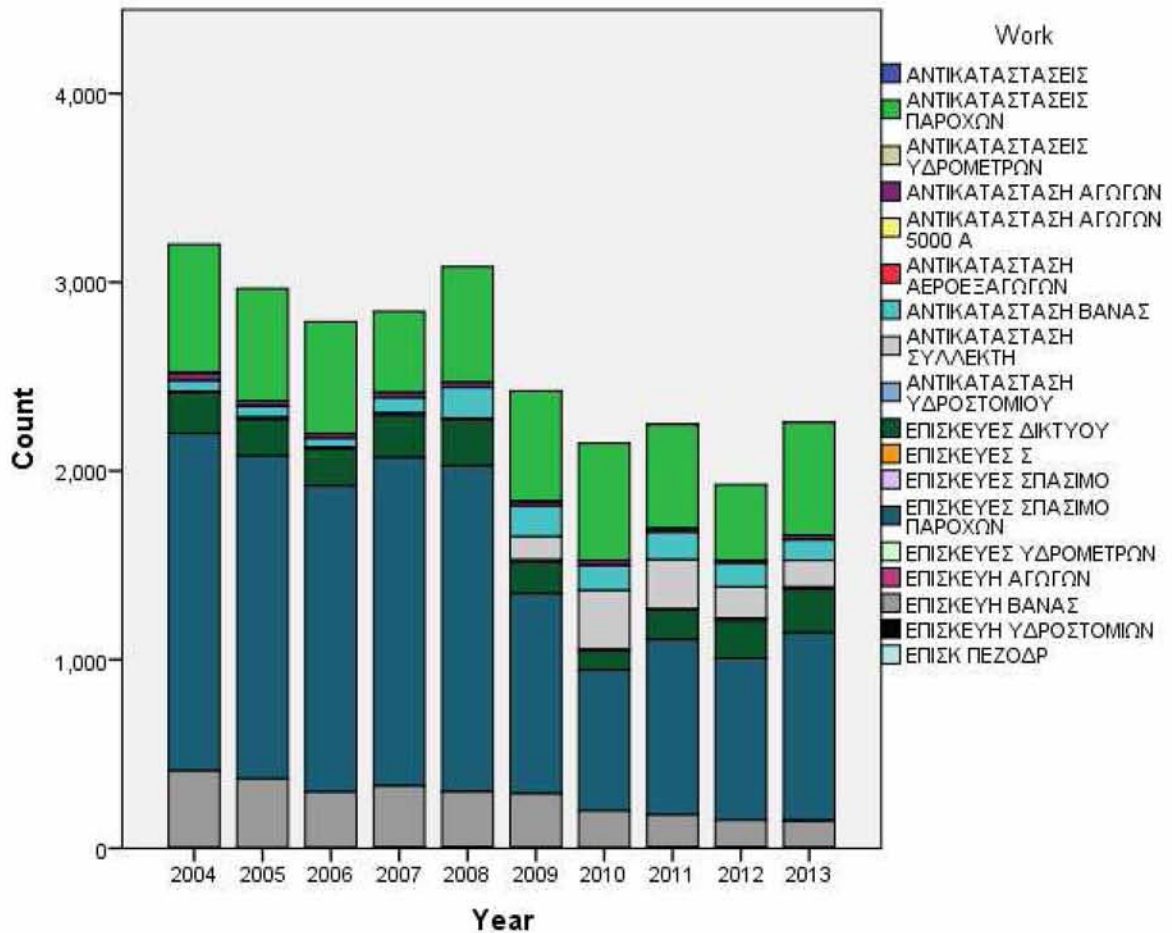
| Year | Frequency | Percent | Valid Percent | Cumulative Percent |
|----------------|-----------|---------|---------------|--------------------|
| 2004 | 3201 | 12.4 | 12.4 | 12.4 |
| 2005 | 2966 | 11.4 | 11.5 | 23.8 |
| 2006 | 2791 | 10.8 | 10.8 | 34.6 |
| 2007 | 2846 | 11.0 | 11.0 | 45.6 |
| 2008 | 3083 | 11.9 | 11.9 | 57.5 |
| Valid 2009 | 2424 | 9.4 | 9.4 | 66.9 |
| 2010 | 2147 | 8.3 | 8.3 | 75.1 |
| 2011 | 2248 | 8.7 | 8.7 | 83.8 |
| 2012 | 1928 | 7.4 | 7.4 | 91.3 |
| 2013 | 2259 | 8.7 | 8.7 | 100.0 |
| Total | 25893 | 99.9 | 100.0 | |
| Missing System | 15 | .1 | | |
| Total | 25908 | 100.0 | | |

Πίνακας 13. Συμβάντα ανά έτος

Με περαιτέρω ανάλυση των συμβάντων μεταξύ επισκευών και αντικαταστάσεων γίνεται φανερό ότι μετά το 2008 μειώνονται αισθητά επισκευές σπασίματος παροχών.

| | Year | | | | | | | | | | Total |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | |
| Replace | 785 | 693 | 675 | 550 | 814 | 908 | 1102 | 986 | 720 | 888 | 8121 |
| Repair | 2416 | 2273 | 2116 | 2296 | 2269 | 1516 | 1045 | 1262 | 1208 | 1371 | 17772 |
| Total | 3201 | 2966 | 2791 | 2846 | 3083 | 2424 | 2147 | 2248 | 1928 | 2259 | 25893 |

Πίνακας 14: Επισκευές/Αντικαταστάσεις ανά έτος



Σχήμα20: Εξέλιξη αριθμού συμβάντων ανά εργασία

5.6 Παραμετρικοί έλεγχοι

Στη συνέχεια επιχειρήθηκαν παραμετρικοί έλεγχοι σύγκρισης μέσω όρων, όσον αφορά τον αριθμό των συμβάντων ανάλογα με το υλικό και ανάλογα με το φόρτο. Με αυτόν τον τρόπο εξετάζεται αν τα διαφορετικά υλικά ή ο διαφορετικός κυκλοφοριακός φόρτος επηρεάζει τον συνολικό αριθμό των συμβάντων ανά οδό. Να σημειωθεί πως για την περαιτέρω ανάλυση έχουν αφαιρεθεί τα συμβάντα των χωριών και έτσι γίνεται ανάλυση μόνο για την πόλη της Λάρισας. Η επιλογή αυτή έγινε διότι τα χωριά προστέθηκαν στον

τομέα ευθύνης της ΔΕΥΑ Λάρισας από το 2011 και μετά, σύμφωνα με τη Διοικητική μεταρρύθμιση «Καλλικράτης».

Στον πίνακα 15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης μέσω όρων για το υλικό. Το μικρότερο μέσο όρο συμβάντων ανά οδό έχει το πολυαιθυλένιο με 1 συμβάν ανά οδό και ακολουθεί ο χάλυβας με 1,46. Τα υπόλοιπα τρία υλικά έχουν αρκετά μεγαλύτερο μέσο όρο, ο αμιάντος έχει 1,87, το PVC 1,96 και ο χυτοσίδηρος 1,97. Ωστόσο, όπως φαίνεται από τον πίνακα ανάλυσης της διακύμανσης (ANOVA) οι διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές (sig = 0.535). Αυτές οι διαφορές μπορεί να οφείλονται και σε τυχαιότητα, ενώ σε περίπτωση που είχαμε sig<0,05 τότε θα είχαμε στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Report

N_BREAK

| material | Mean | N | Std. Deviation |
|----------|------|-----|----------------|
| PVC | 1.96 | 354 | 2.781 |
| AMIANΤ | 1.87 | 325 | 1.599 |
| ΟΣ | | | |
| ΠΟΛΥΑΙ | 1.00 | 6 | .000 |
| Θ. | | | |
| ΧΑΛ | 1.46 | 35 | .950 |
| XYT | 1.97 | 174 | 1.499 |
| Total | 1.90 | 894 | 2.114 |

ANOVA Table

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig . |
|--------------------------------------|----------------|-----|-------------|------|-------|
| Between Groups N_BREAK (Combined) | 14.055 | 4 | 3.514 | .785 | .535 |
| * material Within Groups | 3978.479 | 889 | 4.475 | | |
| Total | 3992.534 | 893 | | | |

Πίνακας 15: Σύγκριση μέσω όρων ανά δρόμο για το υλικό

Όσον αφορά το φόρτο κυκλοφορίας η σύγκριση δείχνει ότι οι διαφορές μεταξύ των μέσων όρων είναι σημαντικές. Η χαμηλή κυκλοφορία έχει πολύ χαμηλό μέσο αριθμό συμβάντων, 10,54, όπως ήταν αναμενόμενο. Λίγο μεγαλύτερο μέσο παρουσιάζουν οι πεζόδρομοι, ενώ ο μέσος για τη βαριά και πολύ βαριά κυκλοφορία αυξάνονται σημαντικά στο 53,43 και 93,13 αντίστοιχα. Αντίθετα, ο μέσος αριθμός συμβάντων ανά εθνικό δρόμο μειώνεται σε σχέση με τους δρόμους πολύ βαριάς κυκλοφορίας, στα 60,60 συμβάντα.

Report

N_BREAK

| Traffic | Mean | N | Std. Deviation |
|---------------------------------------|-------|------|----------------|
| ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΟ ΧΑΜΗΛΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ | 22.06 | 17 | 31.856 |
| ΒΑΡΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ | 53.43 | 63 | 42.726 |
| ΠΟΛΥ ΒΑΡΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ | 93.13 | 16 | 71.426 |
| ΚΥΡΙΟΣ ΕΘΝΙΚΟΣ ΔΡΟΜΟΣ | 60.60 | 5 | 56.677 |
| Total | 13.81 | 1367 | 22.937 |

ANOVA Table

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------------------------|----------------|------|-------------|---------|------|
| Between N_BREAK Groups | 225178.783 | 4 | 56294.696 | 155.380 | .000 |
| * traffic Within Groups | 493455.765 | 1362 | 362.302 | | |
| Total | 718634.549 | 1366 | | | |

Πίνακας 16: Σύγκριση μέσων συμβάντων ανά δρόμο για το φόρτο κυκλοφορίας

5.7 Μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης

Στη συνέχεια ερευνώνται οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαμόρφωση του αθροιστικού κόστους και του αριθμού των συμβάντων για ένα συγκεκριμένο δρόμο. Αυτό γίνεται με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης με εξαρτημένη μεταβλητή το αθροιστικό κόστος για την πρώτη περίπτωση και τον αριθμό των συμβάντων για την δεύτερη. Το αθροιστικό κόστος ενός δρόμου προκύπτει αν σε κάθε συμβάν προστίθεται και το κόστος του προηγούμενου.

5.7.1 Μοντέλο αθροιστικού κόστους

Το πρώτο μοντέλο είναι το **μοντέλο αθροιστικού κόστους** στο οποίο γίνεται χρήση του πίνακα 7 (κόστος εργασιών) και οι εξαρτημένες μεταβλητές που χρησιμοποιούνται είναι α) το υλικό, η οποία είναι ψευδομεταβλητή β) ο κυκλοφοριακός φόρτος του δρόμου, επίσης ψευδομεταβλητή, γ) το διάστημα που μεσολάβησε από το προηγούμενο συμβάν σε ημέρες και δ) ο αριθμός των συμβάντων τον τελευταίο μήνα πριν το τελευταίο συμβάν. Οι κατηγορίες των ψευδομεταβλητών εισάγονται στο μοντέλο με τη διαδικασία των τεσσάρων ψευδομεταβλητών και του ενός σταθερού όρου. Δηλ. οι κατηγορίες των ψευδομεταβλητών εισάγονται στο μοντέλο κάθε μια ξεχωριστά εκτός από μια. Για παράδειγμα για την ψευδομεταβλητή υλικό, θα εισαχθούν στο μοντέλο τέσσερις ψευδομεταβλητές υλικών, μία για κάθε ξεχωριστή κατηγορία (αμίαντος, πολυαιθυλένιο, χάλυβας, χυτοσίδηρος) όπου η κάθε μία παίρνει την τιμή 1 για την κατηγορία που αντιπροσωπεύει και 0 για όλες τις άλλες. Η τιμή της πέμπτης κατηγορίας, που στο προηγούμενο παράδειγμα είναι το PVC αντικατοπτρίζεται στον σταθερό όρο.

Στο μοντέλο εξετάζεται η επιρροή στο αθροιστικό κόστος επεμβάσεων ανά οδό και ανά συνολικό αριθμό εμφανιζόμενων θραύσεων των παραγόντων υλικό, κυκλοφοριακός φόρτος, καθώς και των ημερών από την προηγούμενη θραύση αλλά και τις θραύσεις του τελευταίου μήνα.

Το μοντέλο δηλαδή έχει την παρακάτω μορφή:

$$Y=c+b_1*AM+b_2*POL+b_3*XAL+b_4*XYT+b_5*PEZ+b_6*B.KYKL+b_7*P.B.KYKL+b_8*EO+b_9*DAYSFROMPREV+B_{10}*INCALLLASTMONTH$$

Το αποτέλεσμα της παλινδρόμησης του προηγούμενου μοντέλου είναι
 $Y=7.398,16-1.761,90*AM+10.369,71*POL-2.371,90*XAL-35,52*XYT$
 $se = (630,80) \quad (712,13) \quad (5.472,00) \quad (1921,55) \quad (832,00)$
 $t= \mathbf{(11,728)} \quad \mathbf{(-2,44)} \quad (1,895) \quad (-1,234) \quad (-0,043)$

$+4.081,20*PEZ+6.224.50*B.KYKL+20751,47*P.B.KYKL+13.767,26*EO$
 $(3079,60) \quad (794,00) \quad (1060,86) \quad (1541,16)$
 $(1,325) \quad \mathbf{(7,839)} \quad \mathbf{(19,561)} \quad \mathbf{(8,933)}$

$-4,32*DAYSFROMPREV+684,578*INCALLLASTMONTH$
 $(0,99) \quad (151,02)$
 $\mathbf{(-4,379)} \quad \mathbf{(4,533)}$

$R^2 = 0,548$

Το μέσο κόστος αποκατάστασης συνόλου παρατηρηθέντων θραύσεων από υλικό PVC σε οδούς χαμηλής κυκλοφορίας είναι 7.398,16 ευρώ. Αντίστοιχα για οδούς χαμηλής κυκλοφορίας σε σχέση με το κόστος του PVC, ο αμίαντος παρουσιάζει κατά 1.761,90 ευρώ μικρότερο μέσο κόστος, ενώ το πολυαιθυλένιο κατά 10.369,71 ευρώ μεγαλύτερο μέσο κόστος σε σχέση με το PVC, ο χάλυβας κατά 2.371 ευρώ μικρότερο μέσο κόστος από το PVC και ο χυτοσίδηρος 35,52 ευρώ χαμηλότερο μέσο κόστος. Μόνο ο αμίαντος παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά από το PVC ενώ το πολυαιθυλένιο είναι οριακά μη στατιστικά σημαντικό με επίπεδο σημαντικότητας 95% (πιθανότητα 95% το αποτέλεσμα να είναι σωστό)

Όλες οι κατηγορίες κυκλοφοριακού φόρτου έχουν μεγαλύτερο από τις οδούς χαμηλής κυκλοφορίας με στατιστικά σημαντική διαφορά.

Οι πεζόδρομοι παρουσιάζουν αυξημένο μέσο κόστος σε σχέση με τους χαμηλής κυκλοφορίας κατά 4.081,2 ευρώ, οι βαριάς κυκλοφορίας κατά 6.224.5 ευρώ, οι πολύ βαριάς κυκλοφορίας κατά 20.751,47 ευρώ και οι εθνικές οδοί κατά 1.541,16 ευρώ.

Όσο αυξάνονται οι μέρες από το προηγούμενο συμβάν το μέσο κόστος αποκατάστασης συνόλου παρατηρηθέντων θραύσεων, μειώνεται κατά 4,32 ευρώ ανά ημέρα, ενώ ένα ακόμη συμβάν μέσα στον ίδιο μήνα ανεβάζει το μέσο κόστος κατά 684,578 ευρώ. (στο οποίο περιλαμβάνονται επισκευές και αντικαταστάσεις)

Το συνολικό R2 του μοντέλου είναι 0,548 που σημαίνει πως το μοντέλο εξηγεί το 54,8% της διακύμανσης του αθροιστικού κόστους, που σημαίνει ότι οι παράγοντες που εξετάστηκαν καλύπτουν το σημαντικότερο ποσοστό των παραγόντων επιρροής του αθροιστικού κόστους επεμβάσεων αποκατάστασης δικτύων ύδρευσης.

5.7.2 Μοντέλο αριθμού συμβάντων

Το δεύτερο μοντέλο εξετάζει ποιόι παράγοντες και σε ποιο βαθμό επηρεάζουν τον συνολικό αριθμό συμβάντων. Η εξαρτημένη μεταβλητή δηλαδή είναι ο αριθμός συμβάντων που έχουν καταγραφεί ανά οδό. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι οι ίδιες με αυτές που περιγράφηκαν στο πρώτο μοντέλο, ενώ προστίθεται και ο αριθμός όλων των προηγούμενων συμβάντων μέχρι το παρόν συμβάν. Δηλ οι εξαρτημένες μεταβλητές που χρησιμοποιούνται είναι α) το υλικό, η οποία είναι ψευδομεταβλητή β) ο κυκλοφοριακός φόρτος του δρόμου, επίσης ψευδομεταβλητή, γ) το διάστημα που μεσολάβησε από το προηγούμενο συμβάν σε ημέρες και δ) ο αριθμός των συμβάντων τον τελευταίο μήνα πριν το τελευταίο συμβάν και ε) ο αριθμός όλων των προηγούμενων συμβάντων. Οι κατηγορίες των ψευδομεταβλητών εισάγονται στο μοντέλο με τη διαδικασία των τεσσάρων ψευδομεταβλητών και του ενός σταθερού όρου.

$$Y=c+b_1*AM+b_2*POL+b_3*XAL+b_4*XYT+b_5*PEZ+b_6*B.KYKL+b_7*P.B.KYKL+b_8*EO+b_9*DAYSFROMPREV+B_{10}*INCALLLASTMONTH+B_{11}*INCBEFTHAT$$

Το αποτέλεσμα της παλινδρόμησης παρουσιάζεται παρακάτω:

$$Y=25,56 - 1,93*AM - 24,74*POL - 12,98*XAL + 0,1*XYT$$

$$se=(1,943) \quad (2,163) \quad (16,402) \quad (5,757) \quad (2,499)$$

$$t= (13,153) \quad (-0,890) \quad (-1,508) \quad (-2,254) \quad (0,04)$$

$$+ 38,61*PEZ + 23,63*B.KYKL + 78,19*P.B.KYKL + 41,85*EO$$

$$(9,237) \quad (2,432) \quad (3,624) \quad (4,711)$$

$$(4,179) \quad (9,717) \quad (21,574) \quad (8,882)$$

$$- 0,02*DAYSFROMPREV + 2,31*INCALLLASTMONTH + 0,83* INCBEFTHAT$$

$$(0,03) \quad (0,455) \quad (0,24)$$

$$(-7,653) \quad (5,073) \quad (34,837)$$

$$R^2 =0,859$$

Ο μέσος αριθμός συμβάντων στις οδούς χαμηλής κυκλοφορίας με σωλήνες PVC είναι 25,56. Ο αμίαντος παρουσιάζει μειωμένα συμβάντα κατά 1,93, αντίστοιχα σε οδούς χαμηλής κυκλοφορίας συγκριτικά με το PVC το πολυαιθυλένιο έχει ακόμη πιο μειωμένα συμβάντα κατά 24,74, ενώ ο χάλυβας μειωμένα κατά 12,98 από το PVC και ο χυτοσίδηρος αυξημένα κατά 0,1. Μόνο ο χάλυβας παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά από το PVC ενώ σε επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Σε σχέση με το φόρτο κυκλοφορίας όλες οι κατηγορίες κυκλοφοριακού φόρτου έχουν μεγαλύτερο μέσο αριθμό συμβάντων από τις οδούς χαμηλής κυκλοφορίας με στατιστικά σημαντική διαφορά. Οι πεζόδρομοι παρουσιάζουν αυξημένα συμβάντα σε σχέση με τους χαμηλής κυκλοφορίας κατά 38,61, οι βαριάς κυκλοφορίας κατά 23,64, οι πολύ βαριάς κυκλοφορίας κατά 78,19 και οι εθνικές οδοί κατά 41,85.

Όσο περνάνε οι μέρες από ένα συμβάν, μειώνονται οι πιθανότητες να εμφανιστεί νέο κατά 2%, ενώ υπερδιπλασιάζονται (2,31 %) οι πιθανότητες να εμφανιστεί ένα συμβάν μέσα σε ένα μήνα από την ημέρα που εμφανίστηκε το προηγούμενο. Τέλος, όσο αυξάνονται τα γεγονότα που έχουν προηγηθεί αυξάνεται κατά 83,0% η πιθανότητα να εμφανιστεί ένα νέο συμβάν.

Το R^2 της παλινδρόμησης είναι 0,859, δηλαδή το μοντέλο εξηγεί το 85,9% της διακύμανσης συνολικού αριθμού συμβάντων, που σημαίνει ότι οι παράγοντες που εξετάστηκαν καλύπτουν σχεδόν ολόκληρο το ποσοστό των παραγόντων επιρροής του συνολικού αριθμού συμβάντων.

Ακολουθούν οι πίνακες των αποτελεσμάτων από το SPSS

Model Summary

| Model | R | R Square | Adjusted Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------------------|----------|-----------------|----------------------------|
| 1 | .548 ^a | .301 | .296 | 12179.178088 757102000 |

a. Predictors: (Constant), incalllastmonth, POLYAITH, PEZ, XAL, ETHNIKH_ODOS, XYT, BARIA_KLYKL, daysfromprevious, POLY_BARIA_KLYKL, AMIAN

ANOVA^a

| Model | Sum of Squares | Df | Mean Square | F | Sig. |
|--------------|------------------|------|----------------|--------|-------------------|
| 1 Regression | 98661802104.968 | 10 | 9866180210.497 | 66.514 | .000 ^b |
| Residual | 229470190185.622 | 1547 | 148332378.918 | | |
| Total | 328131992290.590 | 1557 | | | |

a. Dependent Variable: cum.cost

b. Predictors: (Constant), incalllastmonth, POLYAITH, PEZ, XAL, ETHNIKH_ODOS, XYT, BARIA_KLYKL, daysfromprevious, POLY_BARIA_KLYKL, AMIAN

Coefficients^a

| Model | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|------------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 (Constant) | 7398.156 | 630.799 | | 11.728 | .000 |
| AMIAN | -1761.895 | 722.127 | -.058 | -2.440 | .015 |
| POLYAITH | 10369.712 | 5472.003 | .040 | 1.895 | .058 |
| XAL | -2371.898 | 1921.554 | -.027 | -1.234 | .217 |
| XYT | -35.516 | 832.004 | -.001 | -.043 | .966 |
| PEZ | 4081.182 | 3079.601 | .028 | 1.325 | .185 |
| BARIA_KLYKL | 6224.496 | 794.009 | .176 | 7.839 | .000 |
| POLY_BARIA_KLYKL | 20751.468 | 1060.858 | .453 | 19.561 | .000 |
| ETHNIKH_ODOS | 13767.256 | 1541.158 | .197 | 8.933 | .000 |
| daysfromprevious | -4.319 | .986 | -.097 | -4.379 | .000 |
| incalllastmonth | 684.578 | 151.020 | .101 | 4.533 | .000 |

a. Dependent Variable: cum.cost

Model Summary

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1 | .859 ^a | .737 | .735 | 36.482 |

a. Predictors: (Constant), incalllastmonth, POLYAITH, PEZ, XAL, ETHNIKH_ODOS, XYT, BARIA_KLYKL, daysfromprevious, incallbeforethat, AMIAN, POLY_BARIA_KLYKL

ANOVA^a

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------|------------|----------------|------|-------------|---------|-------------------|
| 1 | Regression | 5773373.359 | 11 | 524852.124 | 394.346 | .000 ^b |
| | Residual | 2057639.532 | 1546 | 1330.944 | | |
| | Total | 7831012.892 | 1557 | | | |

a. Dependent Variable: incidentsall

b. Predictors: (Constant), incalllastmonth, POLYAITH, PEZ, XAL, ETHNIKH_ODOS, XYT, BARIA_KLYKL, daysfromprevious, incallbeforethat, AMIAN, POLY_BARIA_KLYKL

Coefficients^a

| Model | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|----------------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| | B | Std. Error | Beta | | |
| (Constant) | 25.557 | 1.943 | | 13.153 | .000 |
| AMIAN | -1.926 | 2.163 | -.013 | -.890 | .373 |
| POLYAITH | -24.738 | 16.402 | -.020 | -1.508 | .132 |
| XAL | -12.978 | 5.757 | -.030 | -2.254 | .024 |
| XYT | .100 | 2.499 | .001 | .040 | .968 |
| PEZ | 38.606 | 9.237 | .055 | 4.179 | .000 |
| 1 BARIA_KLYKL | 23.634 | 2.432 | .137 | 9.717 | .000 |
| POLY_BARIA_KL YKL | 78.189 | 3.624 | .349 | 21.574 | .000 |
| ETHNIKH_ODOS | 41.845 | 4.711 | .122 | 8.882 | .000 |
| daysfromprevious | -.023 | .003 | -.105 | -7.653 | .000 |
| incallbeforethat | .829 | .024 | .552 | 34.837 | .000 |
| incalllastmonth | 2.307 | .455 | .070 | 5.073 | .000 |

a. Dependent Variable: incidentsall

Πίνακας 17: Αποτελέσματα SPSS

5.8 Σχολιασμός αποτελεσμάτων στατιστικής ανάλυσης

Η στατιστική ανάλυση με τη μέθοδο της παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε από πολλούς ερευνητές για την πρόβλεψη αστοχιών δικτύων, αλλά και την αξιολόγηση αξιοπιστίας σωλήνων ύδρευσης (π.χ. Kleiner & Rajani, 1999; Yamijala κ.α., 2009 κ.α)

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης για τα δεδομένα επεμβάσεων σε δίκτυα ύδρευσης της ΔΕΥΑ Λάρισας για τη δεκαετία 2004 – 2013 σε γενικές γραμμές παρουσιάζουν ευρήματα που χρειάζονται περισσότερη διερεύνηση και αφορούν τους παράγοντες επιρροής στη

διαμόρφωση του αθροιστικού κόστους αποκατάστασης συμβάντων δικτύων ύδρευσης. Παράλληλα εμφανίζονται όμως και ευρήματα που κρίνονται ικανοποιητικά για τους σκοπούς της έρευνας και αυτά αναφέρονται στους παράγοντες επιρροής του αριθμού συμβάντων ανά οδό.

Αναλυτικότερα προκύπτει και από τα δύο μοντέλα το αποτέλεσμα ότι οι διαφορές μεταξύ των υλικών των αγωγών δεν είναι αρκετά σημαντικές στην επιρροή του αριθμού των θραύσεων και κατ' επέκταση και του κόστους. Συγκεκριμένα στον πίνακα 15, ενώ ο χάλυβας και το πολυαιθυλένιο εμφανίζονται να παρουσιάζουν τον μικρότερο Μ.Ο. συμβάντων ανά οδό, εντούτοις από τον πίνακα διακύμανσης ANOVA προκύπτει ότι οι διαφορές μεταξύ των υλικών δεν είναι στατιστικά σημαντικές.

Αντίθετα στον πίνακα 10 και στο σχήμα 18 φαίνεται ξεκάθαρα ότι υλικά φαιού χυτοσίδηρου και σωλήνες από αμιαντοτσιμέντο είναι τα κυρίαρχα υλικά όσον αφορά την ανάγκη συχνών επισκευών. Οι παρατηρήσεις για τα δύο υλικά σωλήνων συμφωνούν με τα αποτελέσματα πολλών ερευνητών όπως και της US Environmental Protection Agency (2002) αναφορικά με μελέτη στην περιοχή Reggio Emilia της Ιταλίας, σχετικά με την επίδραση του υλικού των αγωγών στους ρυθμούς αποτυχιών τους, όπου αποδείχθηκε ότι ο ρυθμός αποτυχιών είναι μεγαλύτερος για αγωγούς από χυτοσίδηρο και από αμιαντοτσιμέντο.

Όσον αφορά το χάλυβα ο οποίος στα δίκτυα της ΔΕΥΑΛ συμμετέχει σε πολύ μικρό ποσοστό, ενώ παράλληλα δεν κατασκευάζονται συνδέσεις παροχών που να συνδέονται με κεντρικό χαλ/να, με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται από συχνές διακοπές από αποκαταστάσεις βλαβών συνδέσεων παροχών. Ο χάλυβας γενικά όμως αποδεικνύεται ότι αποτελεί αξιόπιστο ανθεκτικό υλικό που δεν επηρεάζεται μεν από εξωγενείς παράγοντες όπως βάθος εκσκαφής, διατομή, προηγούμενες θραύσεις, κυκλοφοριακό φόρτο, παρεμβάσεις τρίτων κλπ, χρειάζεται όμως καθοδική προστασία έναντι της διάβρωσης και το κόστος συντήρησης αλλάζει υπό κατάλληλες συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος, ενώ παράλληλα το κόστος κατασκευής σωλήνων από χάλυβα είναι πολύ υψηλότερο σε σχέση με το πολυαιθυλένιο κλπ.

Η ανακολουθία του στατιστικού μοντέλου σε σχέση με την πραγματικότητα όσον αφορά την επιρροή του υλικού, πιθανώς να προκύπτει από έλλειψη δεδομένων όσον αφορά στοιχεία μήκους δικτύων ανά οδό, με αποτέλεσμα στο Μ.Ο. θραύσεων ανά οδό να μη λαμβάνεται υπόψη το μήκος της οδού.

Αντίθετα, από τη γραμμική παλινδρόμηση προέκυψε ότι ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι ένας αρκετά σημαντικός παράγοντας. Από τους συντελεστές των μεταβλητών του κυκλοφοριακού φόρτου προκύπτει ότι οι πιο επιβαρυνόμενοι οδοί είναι αυτοί με την πολύ βαριά κυκλοφορία και όχι οι εθνικές οδοί και επίσης οι πεζόδρομοι είναι πιο επιβαρυνόμενοι σε σχέση με τους χαμηλής κυκλοφορία και ίσως και από τους βαριάς κυκλοφορίας (ο συντελεστής των πεζόδρομων είναι μεγαλύτερος από αυτόν της βαριάς κυκλοφορίας στο δεύτερο μοντέλο). Παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία σε μελέτες που πραγματοποίησαν οι Eisenbeis κ.α. (2000, αναφέρεται από την Τσιτσιφλή, 2010) σε τρία συστήματα ύδρευσης στη Γαλλία, και όπου αποδείχθηκε ότι αυξάνουν οι ρυθμοί θραύσης των αγωγών, λόγω του κυκλοφοριακού φορτίου.

Όσον αφορά την παράμετρο του χρόνου από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι σημαντικοί παράγοντες εμφάνισης θραύσεων είναι οι μέρες που έχουν προηγηθεί από την προηγούμενη θραύση, ενώ όσο απομακρυνόμαστε από την ημέρα εμφάνισης της τελευταίας θραύσης τόσο μειώνεται η πιθανότητα επανάληψης. Πιο συγκεκριμένα σε περνάνε οι μέρες από ένα συμβάν, μειώνονται οι πιθανότητες να εμφανιστεί νέο κατά 2%, ενώ κρίσιμο διάστημα εμφανίζεται το διάστημα των 30 ημερών μετά τη θραύση. Μέσα στο διάστημα των 30 ημερών από την προηγούμενη αστοχία υπερδιπλασιάζονται (2,31 %) οι πιθανότητες να εμφανιστεί ένα νέο συμβάν. Αυτό οφείλεται κυρίως σε εσφαλμένη διαδικασία χειρισμού βανών διακοπής νερού και επαναπλήρωσης του δικτύου ύδρευσης. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία υπερπίεσεων, καθώς και φαινομένων «πλήγματος κριού» στο δίκτυο ύδρευσης με επακόλουθο την εμφάνιση νέων αστοχία των υλικών σωλήνων που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ευπάθεια.

Τέλος, η στατιστική ανάλυση εμφανίζει και ταυτόχρονα αποδεικνύεται η φυσική αλληλουχία των γεγονότων ότι όσο αυξάνονται τα γεγονότα που έχουν προηγηθεί, τότε αυξάνεται κατά ποσοστό 83,0% η πιθανότητα να εμφανιστεί ένα νέο συμβάν.

Το R^2 της παλινδρόμησης είναι 0,859, δηλαδή το μοντέλο εξηγεί το 85,9% της

διακύμανσης συνολικού αριθμού συμβάντων, που σημαίνει ότι οι παράγοντες που εξετάστηκαν καλύπτουν σχεδόν ολόκληρο το ποσοστό των παραγόντων επιρροής του συνολικού αριθμού συμβάντων.

Όπως και ο αριθμός θραύσεων που έχουν προηγηθεί τόσο τον τελευταίο μήνα όσο και όλες οι προηγούμενες. Αν εμφανιστεί μια θραύση είναι σχεδόν σίγουρο ότι θα επαναληφθεί μέσα στον ίδιο μήνα στην ίδια οδό και επίσης όσες περισσότερες είναι οι προηγούμενες θραύσεις σε μια οδό αυξάνει οι πιθανότητα εμφάνισης νέας. Επαληθεύεται στην έρευνα που αφορά τη ΔΕΥΑΑ η διαπίστωση των Gultar και Kanzemi (1988) για τη χρονική και χωρική συγκέντρωση των θραύσεων αγωγών νερού, όπου διαπίστωσαν ότι μια προηγούμενη θραύση αυξάνει την πιθανότητα μελλοντικών θραύσεων στο άμεσο μέλλον, και ότι το 60% όλων των επόμενων θραύσεων εμφανίστηκε μέσα σε 3 μήνες από την προηγούμενη θραύση. Συγκεκριμένα για τη ΔΕΥΑΑ, οι περισσότερες περιπτώσεις επανάληψης επέμβασης γίνεται σε χρονικό διάστημα 3 μηνών. Αναλυτικότερα διαπιστώνεται ότι το 69% των περιπτώσεων που παρατηρείται επανάληψη επέμβασης σε ενενήντα ημέρες από την προηγούμενη θραύση. Η αιτία των επόμενων θραύσεων αποδίδεται στις διαδικασίες αποκατάστασης θραύσης, στο πλήγμα κατά τη διακοπή και γέμισμα με νερό του σωλήνα και στην διαδικασία επανεπίχωσης

Παρατηρείται επίσης ότι οι μήνες Ιούλιος και Σεπτέμβριος είναι οι μήνες με τον υψηλότερο ετήσιο αριθμό επεμβάσεων για όλα τα έτη, πράγμα που εξηγείται με την επιρροή των καταναλωτικών συνηθειών και των καιρικών συνθηκών και την αύξηση της κατανάλωσης κατά τους συγκεκριμένους μήνες στον Ελλαδικό χώρο. Η γνώση του παραπάνω στοιχείου απαιτεί οργάνωση των Υπηρεσιών για αξιοποίηση πόρων ανθρώπινων και οικονομικών κυρίως κατά τα συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα για την αντιμετώπιση των αυξημένων περιστατικών.

Το θέμα επιρροής των σωληνώσεων των δικτύων ύδρευσης από αύξηση της ζήτησης κατανάλωσης κατά τους θερινούς μήνες είναι πιθανόν να σχετίζεται και με θέματα που αφορούν ανεπάρκεια διατομών ή «στενώσεις» δικτύων ή κλειστές βάνες σε κάποια τμήματα του δικτύου τα οποία, απαιτούν συνδυασμένη χρήση μαθηματικού υδραυλικού μοντέλου προσομοίωσης για την επίλυσή τους. Στη ΔΕΥΑ Λάρισας το θέμα των κλειστών

βανών αντιμετωπίζεται με την καταγραφή στο έντυπο εργασίας των κωδικών των βανών που χρησιμοποιήθηκαν (σχήμα 12) για την διακοπή υδροδότησης με παράλληλο ετήσιο έλεγχο χειρισμού όλων των βανών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Τα προβλήματα που συνδέονται με τους υδατικούς πόρους και την αξιοποίησή τους αυξάνονται. Η έλλειψη νερού και οι γενικότερες συνθήκες κλιματικής αλλαγής καθιστούν το νερό αγαθό σε ανεπάρκεια. Γι' αυτό και η ενασχόληση με το πεδίο έρευνας της διαχείρισης των δικτύων ύδρευσης προέκυψε αφενός από την σπουδαιότητα του νερού ως αγαθού και την ανεπάρκεια που παρουσιάζει και αφετέρου από την απουσία εφαρμογής των μοντέλων διαχείρισης του επιπέδου λειτουργίας των δικτύων ύδρευσης και πρόβλεψης των αστοχιών των αγωγών τους.

Η διαχείριση των υδατικών πόρων συνδέθηκε με τη διαχείριση των δικτύων αφού οι απώλειες στα δίκτυα αποτελούν εν δυνάμει υδατικό πόρο, και γι' αυτό κρίθηκε αναγκαία η αξιολόγηση όχι μόνο της πραγματικής κατάστασης αλλά και των παραγόντων που επηρεάζουν τα δίκτυα ύδρευσης.

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη της δυνατότητας εξαγωγής ασφαλών συμπερασμάτων για την αξιολόγηση της κατάστασης των δικτύων ύδρευσης μέσα από τα μακροχρόνια καταγεγραμμένα γεγονότα επεμβάσεων στα δίκτυα ύδρευσης και να εξεταστεί κατά πόσο είναι δυνατή η εφαρμογή στρατηγικής έγκαιρης επιλογής για επισκευή ή αντικατάσταση σωλήνων, μέσα από τα πραγματικά καταγεγραμμένα γεγονότα.

Κατά τη διαδικασία εκπόνησης της μελέτης στην αρχή γίνεται εισαγωγή στη έννοια των απωλειών νερού που σχετίζονται άμεσα με την εκτίμηση της αξιοπιστίας δικτύων ύδρευσης καθώς και τις μεθόδους και διαδικασίες περιορισμού απωλειών. Στη συνέχεια περιγράφονται έρευνες και πρακτικές που έχουν εφαρμοστεί για την τυποποίηση διαδικασίας συλλογής των απαραίτητων δεδομένων που αφορούν όχι μόνο επεμβάσεις, αλλά και ηλικία ή χωρικά δεδομένα κλπ. προκειμένου να αξιοποιηθούν για την αξιολόγηση της πραγματικής κατάστασης σωλήνων και της αξιοποίησης των πραγματικά κρίσιμων γεγονότων δικτύων. Η πολυπλοκότητα του προβλήματος εντείνεται από τους

παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία και τις αστοχίες των δικτύων και σχετίζονται όχι μόνο με τεχνικά θέματα που αφορούν υλικό σωλήνων, διακυμάνσεις πίεσης, ηλικία, διάβρωση, καταπονήσεις φορτίων, αλληλεξαρτήσεις επεμβάσεων θραύσεων, αλλά και με παράγοντες που αφορούν πολιτικές και απόφασης αντικατάστασης δικτύων μετά από πιέσεις πολιτών. Θα μπορούσε να πει κάποιος ότι οι παράγοντες επιρροής παρουσιάζουν τη ρευστότητα της ίδια της φύσης του υγρού που μεταφέρουν οι σωλήνες.

Για να επιλυθεί η συνθετότητα του προβλήματος έχουν γίνει έρευνες και αναπτύχθηκαν από απλά στατιστικά μοντέλα έως πιο σύνθετα μοντέλα υποστήριξης αποφάσεων για την ανάλυση των δεδομένων αποτυχίας αγωγών, την κατανόηση της διαδικασίας επιδείνωσης της κατάστασης των σωλήνων και τη χάραξη στρατηγικής πολιτικής.

Είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό σε ερευνητές αλλά και μηχανικούς επιχειρήσεων νερού η ανάγκη προσαρμογής των προτεινόμενων λύσεων και στατιστικών μεθόδων στις ανάγκες ακόμη και μικρομεσαίων επιχειρήσεων νερού. Δεν πρέπει στην εφαρμογή προτάσεων και τεχνικών λύσεων να ξεχνιέται η «υλοποίηση του εφικτού», λαμβάνοντας υπόψη τα σημερινά δεδομένα του διαρκούς περιορισμού ανθρώπινων και οικονομικών πόρων των επιχειρήσεων νερού, ο στόχος των μελετητών τεχνολογικών λύσεων θεμάτων νερού θα πρέπει να αγγίζει τη χρυσή τομή κόστους - οφέλους για την επιχείρηση, για να υπάρχει δυνατότητα υλοποίησης όχι μόνο προσωρινής αλλά και μελλοντικής.

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από την παρούσα έρευνα και συμφωνεί με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, είναι ότι ο παράγοντας «ηλικία αγωγού» δεν μπορεί να αποτελέσει το κριτήριο για την αντικατάσταση δικτύων ύδρευσης. Στη βιβλιογραφία διαπιστώθηκε ότι μελέτες αντικατάστασης δικτύων που βασίστηκαν σε στοιχεία ηλικίας αγωγών, οδηγούσαν σε άσκοπες επενδύσεις κεφαλαίων και τελικά σε λάθος αξιολόγηση της πραγματικής κατάστασης των σωλήνων δικτύων ύδρευσης και τελικά σε άσκοπες επενδύσεις κεφαλαίων. Η αξιολόγηση της πραγματικής κατάστασης μπορεί να γίνει μόνο με την αξιοποίηση των καταγεγραμμένων πραγματικών γεγονότων επεμβάσεων. Από το μέγεθος και την ποιότητα των πληροφοριών θα προκύψει αντίστοιχη ποιότητα εξαγόμενων αποτελεσμάτων για την επιχείρηση νερού.

Κατά τη μελέτη περίπτωσης της ΔΕΥΑ Λάρισας με την αξιοποίηση των αρχείων καταγραφής περιστατικών θραύσεων της δεκαετίας 2004 – 2013 προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Οι περισσότερες επεμβάσεις αφορούν τις σωληνώσεις και τα εξαρτήματα των συνδέσεων παροχών από το δίκτυο διανομής μέχρι το υδρόμετρο του καταναλωτή. Αυτό συνέβη διότι τα υλικά των συνδέσεων παροχών στην πόλη της Λάρισας, ήταν κατάλληλα για χαμηλή πίεση λειτουργίας (6 bar), ενώ τότε η πίεση λειτουργίας του δικτύου ύδρευσης στην πόλη ήταν 3 bar. Η αλλαγή του τρόπου λειτουργίας του δικτύου για την κάλυψη αναγκών πίεσης ψηλότερων νέων κτιρίων, οδήγησε σε απόφαση αύξησης της πίεσης στο δίκτυο της πόλης στα 5 bar και οδήγησε σταδιακά σε αντικατάσταση όλων των παλιών παροχών, μετά από πολλές επαναλήψεις θραύσεων. Σε αυτό οφείλεται ο περιορισμός των επεμβάσεων από το 2008 και μετά. Σήμερα η στρατηγική επιλογή που ακολουθείται σε θέματα συνδέσεων παροχών μετά την αποκτηθείσα εμπειρία, είναι η αντικατάσταση της σύνδεσης και όχι η επισκευή της. Αντίστοιχα προβλήματα αντιμετωπίζονται στα χωριά που ανήκουν στον τομές ευθύνης της ΔΕΥΑΛ από το 2011 και όπου υπήρχε πλήρης έλλειψη στοιχείων καταγραφής περιστατικών από τις προηγούμενες επιχειρήσεις νερού.
- Από τη ανάλυση των τηρούμενων στοιχείων θραύσεων σχετικά με το χρόνο, και συγκεκριμένα με το μήνα εμφάνισης των επεμβάσεων, αναδείχθηκε η ανάγκη επιχειρησιακής ετοιμότητας για την αντιμετώπιση των πάγια αυξημένων επεμβάσεων κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Παράλληλα πρέπει να μελετηθεί το θέμα της κάλυψης της αύξησης της ζήτησης, χωρίς να επηρεάζεται η παρεχόμενη πίεση λειτουργίας (θέματα ανεπάρκειας διατομών, ελέγχου απωλειών, τηλεμετρία, υδραυλικό μοντέλο)
- Επιβεβαιώθηκε από την παρούσα ερευνητική εργασία η επιρροή των προηγούμενων επεμβάσεων στην εμφάνιση νέων θραύσεων, πράγμα που διαπιστώθηκε και σε άλλες ερευνητικές εργασίες (Andreou, 1986; Rostum, 2000; κ.α). Από τη στατιστική ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης προέκυψε σχετικά με την επιρροή προηγούμενων θραύσεων στην εμφάνιση επόμενων, ότι το κρίσιμο διάστημα μετά την εμφάνιση της προηγούμενης θραύσης, είναι οι τριάντα ημέρες, μέσα στις οποίες υπερδιπλασιάζεται η πιθανότητα επανεμφάνισης θραύσης. Αυτό είναι χαρακτηριστικό αποτέλεσμα εσφαλμένης διαδικασίας διακοπής νερού και επαναπλήρωσης αγωγών μετά την αποκατάσταση θραύσης, το οποίο μπορεί να επιλυθεί με τροποποίηση και βελτίωση των διαδικασιών χειρισμού βανών. Η αντιμετώπιση του φαινομένου επανεμφάνισης θραύσεων σε χρονικό διάστημα 30

ημερών μετά από περιστατικό επέμβασης με διακοπή υδροδότησης στο δίκτυο, αναδεικνύεται σε μείζον θέμα αφού αφορούν το 48% του συνόλου των επεμβάσεων. Έχει τεράστιο οικονομικό ενδιαφέρον για τις επιχειρήσεις νερού, οι οποίες αξίζει να επενδύσουν για την αντιμετώπισή του φαινομένου της ουσιαστικά «αυτοκαταστροφικής» σύντομης χρονικά επανάληψης θραύσεων.

- Διαπιστώθηκε η δυσκολία ασφαλούς οικονομικής αποτύπωσης των εμπλεκόμενων παραγόντων επιρροής του κόστους επισκευής ή αντικατάστασης σωλήνων ύδρευσης, λόγω της έλλειψης στοιχείων μήκους οδών, τα οποία λόγω του πειστικού χρόνου ολοκλήρωσης της έρευνας δεν ήταν δυνατό άμεσα να διατεθούν.
- Το μεγάλο ποσοστό θραύσεων των σωλήνων από Χυτοσίδηρο πρώτα και στη συνέχεια από Αμιαντοτσιμέντο πρέπει να οδηγήσουν σε μελέτη προγραμματισμού αντικατάστασης των σωλήνων στις οδούς που παρουσιάζονται συχνότερα περιστατικά.
- Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε επίσης το συμπέρασμα της επιρροής του κυκλοφοριακού φόρτου στην εμφάνιση θραύσεων, επιβεβαιώνοντας τις μέχρι σήμερα ερευνητικές μελέτες.
- Σχετικά με τα αποτελέσματα της έρευνας όσον αφορά τη συχνότητα εμφάνισης αστοχιών σε διατομές μικρότερες από DN200, επιβεβαιώθηκε η σχετική θεωρία της βιβλιογραφίας, αφού διαπιστώθηκε ότι το 97,5 % των περιπτώσεων επεμβάσεων αφορούν διατομές μικρότερες από Φ200.
- Είναι απαραίτητη η εφαρμογή και αξιοποίηση συστήματος GIS, η χρήση του οποίου θα επιλύει άμεσα τα θέματα ταυτοποίησης μήκους αγωγών ανά οδό, αλλά και θέματα καταγραφής ορθού χειρισμού βανών και αναξιπιστίας αποτυπωμένων δικτύων. Παρατηρείται ότι η χρήση απλών δυνατοτήτων υποτυπώδους συστήματος GIS, απεικονίζουν παραστατικά και άμεσα το πρόβλημα εμφάνισης πολλαπλών επεμβάσεων σε οδούς, προκειμένου να συμμετέχουν στη διαμόρφωση απόφασης επιλογής επισκευής ή αντικατάστασης για τις επιχειρήσεις νερού.
- Η τήρηση της διαδικασίας καταγραφής γεγονότων της ΔΕΥΑΛ μπορεί να αποτελέσει πρότυπο για εφαρμογή της σε μικρότερες ΔΕΥΑ της περιφέρειας Θεσσαλίας. Στην παρούσα φάση πρέπει να τονιστεί ότι από την αξιοποίηση των καταγεγραμμένων επεμβάσεων δικτύων, προκύπτουν συμπεράσματα που κατά κανόνα ισχύουν και στα περισσότερα αστικά συστήματα ύδρευσης, αλλά και συμπεράσματα που αποτελούν ιδιαίτερες συνθήκες κατασκευής ή λειτουργίας της

κάθε επιχείρησης. Για παράδειγμα τα προβλήματα που αναδείχθηκαν στο σύστημα ύδρευσης Λεμεσού κατά την ερευνητική μελέτη του Christodoulou (2007), και αφορούσαν την επιρροή του ριζικού συστήματος στις θραύσεις δεν εντοπίστηκαν στη ΔΕΥΑ Λάρισας. Η ορθή αποτύπωση όμως των δεδομένων μπορεί να είναι κοινή προκειμένου να εξάγονται σαφή και κοινά αποδεκτά συμπεράσματα.

- Η πρόταση της παρούσας εργασίας για απλοποιημένη και ουσιαστική χρήση τυποποιημένης διαδικασίας τήρησης στοιχείων επεμβάσεων δικτύων πρέπει να περιλαμβάνει:
 - ✓ Αρ. εντολής
 - ✓ Είδος εργασίας (Επισκευή, αντικατάσταση, νέο έργο)
 - ✓ Υλικό
 - ✓ Διάμετρος
 - ✓ Ημερομηνία
 - ✓ Υπάλληλος
 - ✓ Διεύθυνση
 - ✓ Κωδ. Βανών που χρησιμοποιήθηκαν
 - ✓ Πιθανή αιτία επέμβασης
 - ✓ Πίεση δικτύου (προαιρετικά)
 - ✓ Τροφοδοσία πληροφ. σε GIS
- Είναι απαραίτητη η εγκατάσταση πιλοτικού αρχικά συστήματος υποστήριξης αποφάσεων (DSS), στη ΔΕΥΑΛ προκειμένου να βελτιωθεί η τεκμηριωμένη διαδικασία λήψης αποφάσεων και να διαπιστωθεί η προσαρμοστικότητα και χρηστικότητα του συστήματος στο υπάρχον σύστημα και τις συνθήκες λειτουργίας της ΔΕΥΑΛ.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αξιοποίησε τα καταγεγραμμένα συμβάντα της ΔΕΥΑΛάρισας της δεκαετίας 2004 έως 2013, που αποτελούν όγκο δεδομένων 25.909 περιστατικών.

Η συνέχεια και επέκταση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήταν χρήσιμο να σχετίζεται με τα παρακάτω θέματα:

- Αξιοποίηση των επεξεργασμένων καταγεγραμμένων δεδομένων επεμβάσεων στα δίκτυα ύδρευσης της ΔΕΥΑ Λάρισας με προσθήκη δεδομένων μήκους οδών για τη βελτίωση του οικονομικού μοντέλου, προκειμένου να βελτιωθούν τα αποτελέσματα των παραγόντων επιρροής κόστους για την επιλογή επισκευής ή αντικατάστασης σωλήνων.
- Αξιοποίηση των συμπερασμάτων που προέκυψαν από την παρούσα εργασία σχετικά με το πρότυπο απαραίτητων δεδομένων καταγραφής και προσπάθεια υιοθέτησής του από άλλες ΔΕΥΑ μέσω της Ελληνικής Ένωσης Δημοτικών Επιχειρήσεων (ΕΔΕΥΑ), ή από την Υπηρεσία της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων του ΥΠΕΚΑ, προκειμένου να αξιοποιηθούν στοιχεία για την πραγματική κατάσταση δικτύων ύδρευσης στη Ελλάδα
- Αξιοποίηση των καταγεγραμμένων δεδομένων, με παράλληλη χρήση των δεδομένων κόστους και στατιστική επεξεργασία τους για τροφοδότηση σε σύστημα λήψης αποφάσεων (DSS) και σύγκριση με τα αποτελέσματα της παρούσας ερευνητικής εργασίας.

Σε παγκόσμιο επίπεδο το πρόβλημα των αστοχιών των δικτύων ύδρευσης και κατά συνέπεια των απωλειών φυσικών πόρων – νερού, αλλά και οικονομικών πόρων- επενδύσεις κεφαλαίων, είναι ιδιαίτερα σημαντικό και απασχολεί όλο και περισσότερο τους εμπλεκόμενους φορείς (εταιρείες παροχής νερού, επιστημονική κοινότητα, κατασκευαστές στοιχείων κ.α.), εξαιτίας του περιορισμού ή της έλλειψης των πόρων.

Είναι επομένως κρίσιμο να βρεθούν μέθοδοι για την εκτίμηση της αξιοπιστίας των αγωγών που να μπορούν να προβλέπουν την μελλοντική κατάσταση του αγωγού ώστε να γίνεται η επιλογή της μελλοντικής στρατηγικής συντήρησης ή αντικατάστασης του δικτύου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Al-Barqawi, H., Zayed, T., (2006) Condition rating model for underground infrastructure sustainable water mains. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 20(2), p.126-135.
2. Alegre, H., Baptista, J.M., Cabrera, E. Jr., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W. and Parena, R. (2006) *Performance Indicators for Water Supply Services*. Second Edition. London: IWA publishing.
3. American Water Works Association Research Foundation (AWWARF) (2002) *Prioritizing Water Main Replacement and Rehabilitation*. Denver, Co: USA
4. Andreou, S. (1986) *Predictive models for pipe break failures and their implications on maintenance planning strategies for deteriorating water distribution systems*. PhD thesis. Massachusetts Institute of Technology.
5. Christodoulou, S., Aslani, P. and Deligianni, A. (2006) Integrated GIS-based management of water distribution networks: Proceedings of 2006 International Conference on Computing and Decision-Making in Civil and Building Engineering. Montreal: Canada.
6. Christodoulou, S., Charalambous, C., Adamou, C. (2007) Managing the “Repair or Replace” dilemma on Water Leakages: Proceedings of 2007 International Water Resources Association Conference on Water Resources Management – New Approaches and Technologies. Chania: Greece.
7. Christodoulou, S., Gagatsis, A., Agathokleous, A., Xanthos, S., Kranioti, S. (2012) Urban Water Distribution Network Asset Management Using Spatial - Temporal Analysis of Pipe - Failure Data: Procceeding of 2012 14th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. Moscow: Russia.
8. Clark, R.M., Stevie, R.G. and Trygg, G.D. (1978) An Analysis of municipal water supply costs. *Journal of American Water Works Association*, 70(10), p.543-547.
9. Committee on National Urban Policy, Commission on Behavioral and Social Sciences and Education National Research Council (1984) *Perspectives on Urban Infrastructures*. Washington: NATIONAL ACADEMY PRESS.
10. Cox, D.R. (1972). *Regression Models and Lifetables (with discussion)*. *Journal of the Royal Statistical Society*. 34(2), p.187-220

11. Dandy, G., Kolokas, L., Simpson, A. (2003) Optimising Asset Replacement Decisions for Water Distribution Systems. Proceedings of the 2003 20th Australian Water Association Convention held at Perth. Perth: Australian Water Association.
12. Farley, M. and Trow, S. (2003) *Losses in Water Distribution Networks – A practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control*. 1st Edition. London: IWA Publishing.
13. Gould, S., Boulaire, F., Burn, S., Zhao, X.L. & Kodikara, J.K. (2011) Seasonal factors influencing the failure of buried water reticulation pipes. *Water Science & Technology*, 63(11), p.2692-2699.
14. Goulter, I., Davidsen, J. and Jacobs, P. (1993). Predicting Water-Main Breakage Rates. *Journal of Water Resources Planning and Management-Asce*, 119(4), p. 419-436.
15. Hu, Y. & Hubble, DW. (2005) Failure conditions of asbestos cement water mains in Regina: Proceeding of the 2005 33rd Annual Conference Canadian Society of Civil Engineering held at Toronto. Toronto: Ontario.
16. Kleiner, Y. and Rajani, B. (1999) Using limited data to assess future needs. *Journal (American Water Works Association)*, 91(7), p.47-61.
17. Kleiner, Y. and Rajani, B. (2000) Considering Time - Dependent Factors in the Statistical Prediction of Water Main Breaks: Proceedings of the 2000 American Water Works Association Infrastructure Conference, March 12-15, 2000 held at Baltimore. Baltimore: Maryland.
18. Kleiner, Y., Adams, B. and Rogers, J. (1998) Long-term planning methodology for water distribution system rehabilitation. *Water Resources Research*, 34(8), p.2039-2051.
19. Kleiner, Y., Rajani, B. (1999) Using limited data to assess future needs. *Journal of American Water Work Association*, 91(7), p.47-61.
20. Lambert, A. and Mckenzie, R. (2002) Practical experience in using the infrastructure leakage index: Proceedings of the 2002 International Water Association's specialised conference on Leakage Management – A Practical Approach held at Lemesos of Cyprus. Lemesos: Water Board of Lemesos.
21. Male, J., Walski, T., Slutsky, A. (1990) New York Water Supply Infrastructure Study. Volume V: Analysis of Replacement Policy. N° AD 219 212. ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION. VICKSBURG MS ENVIRONMENTAL LAB.
22. Malm, A., Ljunggren, O., Bergstedt, O., Pettersson, T., Morrison, G. (2012) Replacement predictions for drinking water networks through historical data. *ScienceDirect, water*

- research, 46 (7), p.2149 – 2158.
23. Malm, A., Pettersson, T.J.R. and Bergstedt, O., 2009. Rehabilitation planning of water distribution and sewer networks in 18 Swedish municipalities (In Swedish), Paper presented at the-11th Nordic Sewer Conference, Odense, 10-12 Nov.
 24. Moglia, M., Burn, S., Meddings, S. (2006) Decision support system for water pipeline renewal prioritisation. ITcon Vol. 11, Special Issue Decision Support Systems for Infrastructure Management, p. 237-256, ITcon papers [Online]. Available at: <http://www.itcon.org/2006/18> [Accessed: 27 September 2014].
 25. O'Day, D.K. (1982) Organizing and analyzing leak and break data for making main replacement decisions. *Journal AWWA*, 74(11), p.589-594.
 26. O'Day, D.K., Fox, C.M. and Huguet, G.M. (1980) Aging water distribution systems: A computerized case study. *Journal of Public Works*, 3(8), p.61-111.
 27. Park, S., Loganathan, G. (2002) Methodology for Economically Optimal Replacement of Pipes in Water Distribution Systems: 1. Theory. *Journal Of Civil Engineer*, 6(4), p.539-543.
 28. Pratt, C., Yang, H., Hodkiewicz, M. (2011) Factors Influencing Pipe Failures in the WA Environment. University of Western Australia (UWA) Co-operative Education for Enterprise Development (CEED) Seminar Proceedings 2011.
 29. Roshani, E., Fillion, Y. (2014) Event-Based Approach to Optimize the Timing of Water Main Rehabilitation with Asset Management Strategies. *Journal of Water Resources Planning and Management (ASCE)*, 140(6), p.1-11.
 30. Rostum, J. (2000) Statistical Modelling of Pipe Failures in Water Networks. PhD thesis. Department of Hydraulic and Environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology. NTNU. Trondheim, Norway.
 31. Shamir, U. and Howard, C. (1979) An analytical approach to scheduling pipe replacement. *Journal of American Water Works Association*, 71(5), p.248-258.
 32. Stacha, J.H. (1978) Criteria for pipeline replacement. *Journal American Water Works Association*, 256-258 *Study*
 33. Thornton, J., Sturm, R., Kunkel, G. (2008) *Water Loss Control*. 2nd Edition. U.S.A.: McGraw-Hill Professional.
 34. Torterotot, J.P., Rebelo, M., Wery, C., Craveiro, J. (2004) Rehabilitation of water networks: analysis of the decision making processes: Proceedings of 2004 4th IWA World Water Congress. Marrakech: Morocco.

35. Trifunovic, N. (2006) *Introduction to urban water distribution*. 1st Edition. London: Taylor & Francis Group.
36. Τσιτσιφλή, Α. Σ. (2010) Διαχείριση αξιοπιστίας και επιπέδου λειτουργίας αγωγών και δικτύων ύδρευσης. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.
37. U.S. Environmental Protection Agency (2002) *Decision-Support Tools for Predicting the Performance of Water Distribution and Wastewater Collection Systems*, EPA/600/R-02/029. Washington, D.C., USA. US EPA.
38. U.S. Environmental Protection Agency (2013) *Primer on Condition Curves for Water Mains*, EPA/600/R-13/080. Washington, D.C., USA. US EPA.
39. Walski, T.M. and Pelliccia, A. (1982). Economic Analysis of Water Main Breaks. *Journal of American Water Works Association*, 74(3), p.140-147.
40. Wang, Y., Zayed, T, Mosehli, O. (2009) Prediction Models for Annual Break Rates of Water Mains. *Journal of performance of constructed facilities*, 23(1), p.47-54.
41. Wengström, T.R. (1993a) Comparative analysis of pipe break rates: a literature review. Publication 2:93. Department of Sanitary Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
42. Wengström, T.R. (1993b) Drinking water pipe breakage records : a tool for evaluating pipe and system reliability. PhD dissertation. Publication 4:93. Department of Sanitary Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
43. Yamijala, S., Guikema, S., Brumbelow, K. (2009) Statistical models for the analysis of water distribution system pipe break data. *Reliability Engineering and System Safety*. ScienceDirect, 94(2), p.282–293.
44. Νέα Αρχιτεκτονική της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης – Πρόγραμμα Καλλικράτης (2010) Ν.3852/2010, Αθήνα: Εθνικό Τυπογραφείο.
45. Περί Κινήτρων διά την Ίδρυσιν Επιχειρήσεων Υδρεύσεως και Αποχετεύσεως (1980) Ν. 1069/80, Αθήνα: Εθνικό Τυπογραφείο