

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**ΛΕΙΟΠΙΣΤΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ ΑΓΩΓΩΝ
ΥΔΑΤΟΣ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΑΝΔΡΕΑΣ ΤΑΒΟΥΛΑΡΗΣ

ΜΑΞΙΜΙΛΙΑΝΟΣ ΣΙΚ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Δρ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΙΑΚΟΥΡΟΣ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ



Α.Π.Θ. - ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Αριθμ. Εισαγ.:... 1586
Ημερομηνία: ... 19/4/06

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΛΕΙΟΠΙΣΤΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ ΑΓΩΓΩΝ ΥΔΑΤΟΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΑΝΔΡΕΑΣ ΤΑΒΟΥΛΑΡΗΣ

ΜΑΞΙΜΙΛΙΑΝΟΣ ΣΙΚ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Δρ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΠΑΚΟΥΡΟΣ

ΚΟΖΑΝΗ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2006.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Καταρχήν θα θέλαμε να να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες στον καθηγητή μας κ. Ιωάννη Μπακούρο, που χωρίς την καθοδήγηση και την πληροφόρηση που λάβαμε από αυτόν, η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας θα ήταν αδύνατη.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την Σταυρούλα Τσιτσιφλή υποψήφια διδάκτωρ, για τις πληροφορίες που μας διέθεσε, όσον αφορά την μορφή και τον τρόπο λειτουργίας του δικτύου ύδρευσης της Λάρισας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α

1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

- 1.1. Οι υδρεύσεις στην αρχαία Ελλάδα.
- 1.2. Η Ρωμαϊκή εποχή.
- 1.3. Μεσαίωνας - Αναγέννηση.
- 1.4. Η στροφή του 19^{ου} αιώνα.
- 1.5. Η σύγχρονη εποχή.
- 1.6. Η υδρευτική υποδομή στη σύγχρονη Αθήνα.
- 1.7. Οι υδρεύσεις σε συνθήκες στενότητας των υδατικών πόρων
- 1.8. Η συνολική εικόνα.

2. ΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ

- 2.1. Οι υδατικές χρήσεις
- 2.2. Η διακύμανση της κατανάλωσης
- 2.3 Η διαδικασία της προσωμίωσης
 - 2.3.2. Κόμβοι
 - 2.3.1. Αγωγοί

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ - ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ - ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

- 3.1 Παροχή σχεδιασμού
- 3.2 Γενική μορφή του δικτύου - γενικές αρχές σχεδιασμού
- 3.3 Περιγραφή των επιμέρους τμημάτων ενός δικτύου
 - 3.3.1 Αγωγοί
 - 3.3.2 Δεξαμενές
 - 3.3.4 Συσκευές ελέγχου ροής
- 3.4 Μέθοδοι επίλυσης δικτύων
- 3.5 Ανάλυση δικτύων - Κατασκευή μοντέλων

4. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΔΙΑΡΡΟΩΝ

- 4.1.1 Αιτίες των διαρροών
- 4.1.2 Συνέπειες των διαρροών
- 4.2.1 Ανιχνεύοντας τις διαρροές
- 4.2.2 Σφάλματα οικιακών μετρητών
- 4.3 Σωστή συντήρηση των επιμέρους στοιχείων του δικτύου

4.3.1 Περιοδικές επιθεωρήσεις του δικτύου

4.3.2 Έλεγχοι πίεσης και παροχής σε επιλεγμένα σημεία του δικτύου

4.3.3 Ανίχνευση διαρροών

4.3.4 Προμήθεια υλικών επισκευών

4.4 Λειτουργία βάσει προγράμματος

5. ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΔΡΕΥΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

5.1 Καθεστώς λειτουργίας και διαχείρισης των δικτύων ύδρευσης

5.2 Τυπικά εξωτερικά υδραγωγεία

5.3 Τυπικά εσωτερικά δίκτυα

5.4 Ποιότητα και ποσότητα νερού ύδρευσης

5.5 Συντήρηση και επισκευή των δικτύων

5.5.1 Έργα κεφαλής

5.5.2 Εσωτερικό δίκτυο

5.6 Μέθοδοι και τρόποι επισκευής

5.7 Καθεστώς λειτουργίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β

ΤΙΤΛΟ

1.1 Υπόβαθρο

1.2 Αποκατάσταση των δικτύων ύδατος

1.3 Εισαγωγή στη διαμόρφωση των αποτυχιών σωλήνων στα δίκτυα

ύδατος

1.4 Στόχοι, πεδίο και οργάνωση της μελέτης

2. ΑΠΟΤΥΧΙΕΣ ΣΩΛΗΝΩΝ

2.1 Εισαγωγή

2.2 Αιτίες των αποτυχιών σωλήνων

2.4 Αξιοπιστία των δικτύων ύδατος

2.5 Πρότυπα βελτιστοποίησης για την αποκατάσταση και την αντικατάσταση των δικτύων διανομής ύδατος.

2.4 Αξιοπιστία των δικτύων ύδατος

2.5 Πρότυπα βελτιστοποίησης για την αποκατάσταση και την αντικατάσταση των δικτύων διανομής ύδατος.

2.6 Συμπεράσματα

3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΔΑΤΟΣ

- 3.1 Χρόνοι αποτυχίας και ενδιάμεσοι χρόνοι αποτυχίας**
- 3.2 Ελλιπής διαθεσιμότητα στοιχείων αποτυχίας**
- 3.3 Προσέγγιση ανάλυσης επιβίωσης**
 - 3.3.1 Λειτουργία επιβίωσης**
 - 3.3.2 Λειτουργία κινδύνου**
 - 3.3.3 Λογοκρίνοντας στην ανάλυση διάρκειας ζωής**
 - 3.3.4 ανάλογο πρότυπο κινδύνων COX**
 - 3.3.5 Ανάλογο πρότυπο κινδύνων Weibull
/επιταχυνόμενο πρότυπο**
 - 3.3.6 Στρωματοποιημένο ανάλογο πρότυπο κινδύνων**
 - 3.3.7 Πρότυπα επιβίωσης (PHM) για την ανάλυση των επισκευάσιμων συστημάτων/ διαδοχικές αποτυχίες**
 - 3.3.8. Πρόβλεψη αποτυχιών σε ένα PHM
χρησιμοποιώντας την προσομοίωση Monte Carlo.**
- 3.4.1 Ανομοιογενής διαδικασία Poisson**
 - 4.1.4 Εκτίμηση των παραμέτρων στη μέθοδο NHPP/
Μέθοδος μέγιστης πιθανότητας**
- 3.5 Τεχνικές για την εκτίμηση των προτύπων**
- 3.6 Συμπέρασμα στατιστικών μοντέλων**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ

1. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΕΣ ΣΤΟ ΚΙΝΔΥΝΟ (RISK BASED) ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΚΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΓΩΓΩΝ

Περίληψη

1.1 Εισαγωγή

2. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΚΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΕΣ ΣΤΟΝ ΚΙΝΔΥΝΟ (RBIM)

2.1 Κίνδυνος

3. ΑΠΟΔΟΧΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΑΓΩΓΩΝ

4. ΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (TPM)

5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

- 6. ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ, ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**
- 7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΔΟΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ**
- 8. ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΥΝΑΜΗΣ/ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ**
- 9. Η ΧΡΗΣΗ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ RBIM ΩΣΤΕ ΝΑ ΜΕΙΩΘΕΙ Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ

1. ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΑΠΟ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗΣ ΠΛΕΥΡΑΣ

Περίληψη

1.1 Αξιοπιστία

2. Πολιτική αξιοπιστίας

3. Ζητήματα για τις διαδικασίες

4. Πρότυπα αξιοπιστίας

5. Εφαρμοσμένη μηχανική αξιοπιστίας εναντίον της εφαρμοσμένης μηχανικής συντήρησης

6. Εργαλεία εφαρμοσμένης μηχανικής αξιοπιστίας

ΒΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Είναι χαρακτηριστική η επισήμανση του Αμερικανού ιστορικού J.C.Stobart, ότι η ανθρωπότητα, μόλις στα τέλη του 19ου αιώνα κατάφερε να φθάσει σε επίπεδο υγιεινής, συγκρίσιμο με εκείνο των υδραυλικών εγκαταστάσεων της Μινωικής εποχής, στην Κνωσό (19^{ος} αιώνας π.Χ.), όπου αποκαλύφθηκαν λουτρά και τουαλέτες με υδραυλική εγκατάσταση βρόχινου νερού.

1.1. Οι υδρεύσεις στην αρχαία Ελλάδα.

Τον 6^ο π.Χ. αιώνα, ο Ευπαλίνος κατασκευάζει στη Σάμο, εξωτερικό υδραγωγείο σε σήραγγα, μήκους 7 σταδίων (ενός περίπου χιλιομέτρου) για τη μεταφορά πόσιμου νερού στην αρχαία πρωτεύουσα του Πολυκράτη, το σημερινό Πυθαγόρειο. Ο Ηρόδοτος αναφέρεται με λεπτομέρειες στο "Ευπαλίνειον Όρυγμα", ύψους και πλάτους οκτώ ποδών, που διατρέχεται από παράλληλο πλευρικό σκάμμα με κατακόρυφα τοιχώματα, πλάτους τριών ποδών και βάθους δέκα περίπου μέτρων, όπου και είχαν τοποθετηθεί πήλινοι αγωγοί για τη μεταφορά του νερού με βαρύτητα. Όπως ισχυρίζονται ορισμένοι αρχαιολόγοι η διάνοιξη έγινε συγχρόνως από δύο μέτωπα με εντυπωσιακή ακρίβεια στο σημείο συνάντησης των δύο συνεργείων.

Ο Αριστοτέλης δεν παρέλειψε στην "Πολιτική" του, να προσδιορίσει κανόνες σχεδιασμού έργων ύδρευσης: " Η Πολιτεία πρέπει να διαθέτει μέσα στα τείχη της νερά και φυσικές πηγές σε ποσότητες ικανοποιητικές και σε αντίθετη περίπτωση, πολλές, μεγάλες δεξαμενές αποθήκευσης βρόχινου νερού, ώστε η πόλη να μη στερηθεί το νερό, σε περίπτωση πολιορκίας. Επειδή πρέπει να αποδίδεται απόλυτη προτεραιότητα στην προστασία της υγείας των πολιτών (πράγμα που εξαρτάται από την τοποθεσία τον προσανατολισμό και από την ποιότητα του νερού της πόλης), τα θέματα αυτά απαιτούν τη μεγαλύτερη προσοχή, διότι τα σημαντικότερα πράγματα για την υγεία είναι εκείνα, όπως ο αέρας και το νερό, που η χρήση τους είναι καθημερινή και συνεχής. Αν λοιπόν τα νερά σπανίζουν, ή είναι διαφόρων ποιοτήτων, πρέπει, όπως ακριβώς γίνεται στις καλά οργανωμένες πόλεις, να διαχωρίζεται το πόσιμο από τα άλλα νερά, που μπορούν να καλύψουν άλλες χρήσεις." Υπάρχουν άραγε πολλές πόλεις στο σύγχρονο κόσμο που καλύπτουν τις αριστοτελικές προδιαγραφές ποιότητας αέρα και νερού, με αυτάρκεια απέναντι στην ενδοχώρα και ταξινομημένη χρήση πηγών και ποιοτήτων;

Στην αρχαία Αθήνα το νερό ήταν πάντα λιγοστό και προέρχονταν από πηγές, όπως η Καλλιρρόη, στην αρχή της ομώνυμης σημερινής λεωφόρου, η

Κλεψύδρα, δίπλα στην Ακρόπολη και από πολλά ιδιωτικά πηγάδια για τα οποία μάλιστα, νόμος του Σόλωνα όριζε ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ τους για αποφυγή αλληλοεπηρεασμού. Ο στωικός φιλόσοφος Κλεάνθης, επονομάστηκε "Φρεάντλης" επειδή όταν ήλθε στην Αθήνα για να σπουδάσει, προκειμένου να αντεπεξέλθει στα έξοδα της ζωής, δούλευε τις νύχτες βγάζοντας νερό από πηγάδια. Ας σημειωθεί, ότι την κλασική εποχή (5^{ος} π.Χ. αιώνας), ο πληθυσμός της πόλης έφθανε τους 400.000 κατοίκους. Τελικά το υδρευτικό πρόβλημα της αρχαίας Αθήνας λύθηκε με Ρωμαϊκή τεχνολογία. Το 138 μ.Χ. ολοκληρώνεται το Αδριάνειο υδραγωγείο, μήκους 19 χιλιομέτρων μεταφέροντας το νερό με βαρύτητα, από πηγές κοντά στην Πάρνηθα, σε δεξαμενή στο Λυκαβηττό. Μετά την απελευθέρωση και την εγκατάσταση το 1834 της πρωτεύουσας στην Αθήνα, το υπεραιωνόβιο Αδριάνειο θα αποτελέσει την κύρια πηγή υδροδότησης. Το 1900 μετά από έργα συντήρησης αποδίδει 1400 m³/ημέρα για τους 150.000 κατοίκους της πόλης.

1.2. Η Ρωμαϊκή εποχή.

Οι Ρωμαίοι διακρίθηκαν στην κατασκευή έργων ύδρευσης και στο τέλος του 1^{ου} μ.Χ. αιώνα, η Ρώμη διέθετε 10 υδραγωγεία και 247 υδατόπυργους, που τροφοδοτούσαν με βαρύτητα, τους κήπους, τα αυτοκρατορικά ανάκτορα και τις βίλλες ορισμένων προνομιούχων (δωρεάν), τα δημόσια λουτρά, γυμνάσια, αμφιθέατρα και τις κρήνες για την εξυπηρέτηση του πληθυσμού. Η συνολική μέση ημερήσια κατανάλωση έφθανε το 1.000.000 m³. Η αιώνια πόλη διέθετε πυροσβεστική υπηρεσία από 7.000 άνδρες, κατανεμημένους σε 7 στρατώνες και εξοπλισμένους με ειδικούς σίφωνες για τη μεταφορά του νερού. Οι Ρωμαίοι κατεσκεύασαν αξιοθαύμαστα υδραγωγεία σε όλη την αυτοκρατορία, στην Ιταλία, τη νότια Γαλλία, την Ισπανία, τη Βρετανία, τη Μικρά Ασία και την Ελλάδα (Αδριάνειο Αθηνών, υδραγωγείο της Νικόπολης, υδραγωγείο στη Καβάλα κ.ά.).

1.3. Μεσαίωνας - Αναγέννηση.

Η γενικότερη μεσαιωνική πολιτιστική οπισθοδρόμηση, αναπόφευκτα επηρέασε αρνητικά το επίπεδο υγιεινής, αφού σε ανατολή και δύση, οι άνθρωποι απέφευγαν το λουτρό από το φόβο της αμαρτίας και του κρυολογήματος. Υπό τις συνθήκες αυτές η ανάπτυξη έργων ύδρευσης ήταν περιττή αν όχι επιζήμια, ενώ παραμελήθηκε και η συντήρηση των υπαρχόντων. Δυστυχώς οι συνέπειες ήταν άμεσες, οι επιδημίες της χολέρας και της πανώλης στοίχισαν εκατομμύρια ζωές και οι τυφοειδείς πυρετοί πήραν ενδημικό χαρακτήρα.

Βέβαια στην τουρκοκρατούμενη Ελλάδα, ο μεσαίωνας συνεχίζεται μέχρι το 1827 (ή το 1912 για τη Θεσσαλία, την Ηπειρο, τη Μακεδονία, και τα νησιά) και όπως συνέβη και με τους υπόλοιπους τομείς έργων υποδομής, η

στασιμότητα και αν όχι η οπισθοδρόμηση, χαρακτηρίζει την πολιτική της Οθωμανικής διοίκησης και στην περιοχή των έργων ύδρευσης. Στα χωριά και τις κωμοπόλεις (γιατί μεγάλες πόλεις δεν υπήρχαν) η ύδρευση εξασφαλιζόταν από δημόσιες κρήνες, εγκατεστημένες συνήθως δίπλα σε πηγαίες εμφανίσεις νερού, ή από πηγάδια. Οι υδραυλικές εγκαταστάσεις μέσα στα σπίτια περιορίζονταν, όπου δεν υπήρχε καλύτερη λύση από τη συλλογή και αποθήκευση νερού σε στέρνες, ενώ η παραδοσιακή συστηματική χρήση ασβέστη, προσέδιδε ένα ελάχιστο επίπεδο υγιεινής.

Με την Αναγέννηση βέβαια, ο φόβος της κόλασης περιορίστηκε, φαίνεται όμως πως η πολιτισμική αδράνεια στον τομέα της υγιεινής και κατά συνέπεια στην ανάπτυξη εγκαταστάσεων ύδρευσης και αποχέτευσης, υπήρξε μεγάλη. Είναι χαρακτηριστικό το ότι με την ανέγερση του ανακτόρου των Βερσαλλιών επί Λουδοβίκου 14^{ου} (1670), κατασκευάστηκε το πρώτο σύγχρονο δίκτυο ύδρευσης υπό πίεση, με χυτοσιδηρούς σωλήνες. Παρ'όλα αυτά το ανάκτορο δεν διέθετε λουτρά ή τουαλέτες.

1.4. Η στροφή του 19^{ου} αιώνα.

Τον 19^ο αιώνα, η βιομηχανική επανάσταση προκαλεί την απότομη συσσώρευση πληθυσμού σε πόλεις, που ακόμη δεν διαθέτουν δίκτυα ύδρευσης, ούτε αποχέτευσης. Οι συνθήκες υγιεινής ιδιαίτερα στις εργατικές συνοικίες ξεπερνούν κάθε προηγούμενο αθλιότητας. Χαρακτηριστικές είναι οι αναφορές του V. Hugo και του C. Dickens, για την αθλιότητα των εργατικών συνοικιών στο Παρίσι και το Λονδίνο.

Την ίδια περίοδο, η επιστημονική έρευνα στη βιολογία και την ιατρική, αποκαλύπτει το ρόλο των μικροβίων και εντοπίζοντας εκείνα που προκαλούν τη χολέρα και τον τυφοειδή πυρετό, διαπιστώνει ότι μεταδίδονται μέσα από την επαφή του νερού, που χρησιμοποιείται για πόση, με τις ακαθαρσίες του ανύπαρκτου συστήματος αποχέτευσης. Έτσι ξεκινά η κατασκευή έργων διήθησης (φίλτρων) του νερού, κλειστών δικτύων ύδρευσης υπό πίεση, χώρων υγιεινής με υδραυλική εγκατάσταση, κλειστών δικτύων αποχέτευσης ακαθάρτων (κατά κανόνα σε συνδυασμό με την αποχέτευση των ομβρίων) και όπως ήταν επόμενο, η υποχώρηση των ασθενειών υδατικής προέλευσης είναι εντυπωσιακή.

1.5. Η σύγχρονη εποχή.

Με την τεχνολογική πρόοδο που χαρακτηρίζει τον 20^ο αιώνα τα συστήματα ύδρευσης θα αξιοποιήσουν αποτελεσματικότερες μεθόδους, τεχνικές και υλικά για:

1. Την ορθολογικότερη διαχείριση και σύλληψη επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων μέσα από:

- φυσικά και μαθηματικά μοντέλα διαχείρισης και προσομοίωσης υδρολογικών μεγεθών και παραμέτρων ποιότητας,
- κατασκευή τεχνητών ταμιευτήρων με τη βοήθεια φραγμάτων χωμάτων, λιθόρριπτων, από σκυρόδεμα, τοξωτών, αντηριδωτών, βαρύτητας και
- υδρογεωτρήσεις σε μικροπερατούς και καρστικούς υδροφορείς με ανοξείδωτα φίλτρα και βυθισμένες αντλίες.

2. Τη μεταφορά νερού σε μεγάλες αποστάσεις και υψομετρικές διαφορές μέσα από:

- σήραγγες, ανεστραμμένους σιφώνες,
- αγωγούς υπό πίεση χυτοσιδηρούς, χαλύβδινους, από χυτοχάλυβα, συνθετικούς από PVC, GRP, πολυαιθυλένιο, αμιαντοτσιμέντο, από σκυρόδεμα, οπλισμένο ή προεντεταμένο,
- υδατογέφυρες,
- διώρυγες ορθογωνικές από οπλισμένο σκυρόδεμα,
- τραπεζοειδείς με επένδυση σκυροδέματος ή πλαστικής μεμβράνης,
- αντλίες φυγοκεντρικές, εμβολοφόρες, πολυβάθμιες, νηζελοκίνητες, ηλεκτροκίνητες, συστήματα ρύθμισης χειροκίνητα, ηλεκτροκίνητα και τηλεχειριζόμενα.

3. Την επεξεργασία επιφανειακών και υπόγειων "γλυκών νερών, μέσα από:

- καθίζηση απλή ή χημικά υποβοηθούμενη από κροκυδωτικά ανόργανα, οργανικά ή πολυηλεκτρολύτες,
- ταχυδιωλιστήρια,
- αφαίρεση ιχνοστοιχείων,
- απολύμανση με φθόριο, χλώριο, όζον, υπεριώδεις.

{Ο L. Pasteur (1822-1895) θεμελιώνει τη σύγχρονη μικροβιολογία, ερευνά τους μηχανισμούς της ανοσίας και δοκιμάζει με επιτυχία τη χρήση εμβολίων. Από το 1857 ο W. Budd ερευνά τους τυφοειδείς (παθολογία, διάγνωση, πρόληψη), ενώ το 1883, ο R. Koch εντοπίζει το δονάκιο της χολέρας.}

4. Την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού, με :

αντίστροφη όσμωση, ιοντοανταλλαγή και ρητίνες, χωριστικές μεμβράνες.

5. Την αποθήκευση σε δεξαμενές και υδατόπυργους από οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα ή χάλυβα.

5. Τη διανομή με ελεύθερη ζήτηση και ικανοποιητική πίεση με τη βοήθεια:

- μαθηματικών μοντέλων προσομοίωσης κλειστών δικτύων,
- εκτεταμένων δικτύων υπό πίεση,
- αυτόματων ή τηλεχειριζόμενων συστημάτων ασφαλείας και διαχείρισης.

1.6. Η υδρευτική υποδομή στη σύγχρονη Αθήνα.

Για να επανέλθουμε στην Ελλάδα, ας σημειωθεί, ότι η εγκατάσταση σύγχρονης υδρευτικής υποδομής σε όλη την επικράτεια δεν έχει ακόμη ολοκληρωθεί αν και η πρόοδος που πραγματοποιήθηκε, ιδιαίτερα μετά το 1945 υπήρξε μεγάλη. Το σημερινό επίπεδο ανάπτυξης υδρευτικών έργων στη χώρα παρουσιάζεται στην επόμενη παράγραφο. Για την ολοκλήρωση όμως της αναδρομής αυτής, στην εξέλιξη των συστημάτων ύδρευσης, κρίθηκε ενδιαφέρον να υπάρξει ιδιαίτερη αναφορά στην πορεία εξέλιξης της υδρευτικής υποδομής της πρωτεύουσας.

Από το 1900 μέχρι σήμερα, στην ευρύτερη περιφέρεια Αθηνών παρουσιάζεται μία σχεδόν συνεχής αύξηση:

- του πληθυσμού
- του αριθμού των συνδεδεμένων στο δίκτυο ύδρευσης καταναλωτών του μήκους του δικτύου διανομής
- των χρήσεων νερού
- των απωλειών του δικτύου
- και κατά συνέπεια της συνολικής κατανάλωσης, που το 1989 έφθασε τα $370.000.000.m^3$

Για την αντιμετώπιση της συνεχιζόμενης αυτής αύξησης των καταναλώσεων θα κατασκευασθούν σε χρονολογική σειρά:

- το φράγμα του Μαραθώνα (1925-1931) το υδραγωγείο της Υλίκης (1952 -1958)
- το φράγμα και το υδραγωγείο του Μόρνου (1961 -1981)
- και παράλληλα τα διυλιστήρια στο Γαλάτσι, το Μενίδι και τα Κιούρκα, μέγιστης ημερήσιας δυναμικότητας διύλισης αντίστοιχα 500.000, 400.000 και 200.000 m³, καθώς και μερικά μικρότερα έργα.

1.7. Οι υδρεύσεις σε συνθήκες στενότητας των υδατικών πόρων

Το υδρολογικό έτος 1989-1990 καταγράφηκε στην Ελλάδα, αλλά και στην υπόλοιπη Ευρώπη, μια εξαιρετικά ασυνήθιστη ξηρασία, που έβαλε σε δοκιμασία τα υδρευτικά συστήματα πολλών πόλεων. Κατά περίπτωση, χρειάστηκε να γίνουν απότομες τιμολογιακές αναπροσαρμογές, εφαρμογή διακεκομμένου ωραρίου παροχής νερού, περιορισμός ορισμένων χρήσεων, κ.ά.

Πάντως παράλληλα η κρίση ξηρασίας είχε και θετικές συνέπειες, όπως:

- υπενθύμισε στους πολίτες, τη σημασία, που έχει για τη ζωή μας, η συνεχής παροχή πόσιμου νερού άριστης ποιότητας και την ανάγκη περιστολής κάθε σπατάλης,
- παρότρυνε όσους έχουν αναλάβει τη διαχείριση, γενικότερα των υδατικών πόρων και ειδικότερα του υδρευτικού νερού, να επιδιώξουν το βέλτιστο συνδυασμό και αξιοποίηση των υδατικών διαθεσίμων, καθώς και τον αποτελεσματικό περιορισμό των απωλειών,
- ανέδειξε τη σημασία της συνεχούς και συστηματικής ενημέρωσης των πολιτών για συλλογική αντιμετώπιση παρόμοιων κρίσεων,
- πρόβαλε τη σκοπιμότητα της ανακύκλωσης και των δικτύων διαφόρων ποιοτήτων, όπου οι χρήσεις το επιτρέπουν,
- κίνησε το ενδιαφέρον των ερευνητών, αλλά και όσων έχουν τη δυνατότητα χρηματοδότησης της έρευνας, στον τομέα αυτό και το σημαντικότερο,
- απέδειξε έμπρακτα ότι δεν είναι επιτρεπτή η εξάντληση, αλλά η χρήση των υδατικών και των άλλων φυσικών πόρων και μάλιστα κατά συγκρατημένο τρόπο, ώστε να υφίστανται και στο μέλλον, στα πλαίσια μιας συνεχιζόμενης ανάπτυξης.

Ο αγγλοσαξωνικός όρος «sustainable development», ή ο αντίστοιχος «developpement durable» στα γαλλικά, που μπορεί να αποδοθεί στα ελληνικά σαν ανθεκτική ή συνεχιζόμενη ανάπτυξη, προέρχεται από την έκθεση "Our common world" που συντάχθηκε το 1986 από τη Διεθνή Επιτροπή για την Ανάπτυξη και το Περιβάλλον, γνωστή και σαν 'Επιτροπή Brundtland', από το όνομα της Νορβηγίδας Πρωθυπουργού και Προέδρου της επιτροπής αυτής.

1.8. Η συνολική εικόνα.

Η κατά κάποιο τρόπο "μικροθεώρηση" του προβλήματος, που παρουσιάστηκε μέχρι εδώ, με ανάλυση των επί μέρους στοιχείων του τομέα ύδρευσης στην Ελλάδα, είναι σκόπιμο να συμπληρωθεί και να συνοψισθεί με μία συνολική προσέγγιση, ώστε να προκύψουν και τα γενικότερα συμπεράσματα.

Για το σκοπό αυτό, μπορούμε να διακρίνουμε τρία υποσύνολα:

Τις δύο μεγαλύτερες πόλεις της χώρας, Αθήνα και Θεσσαλονίκη, με την ευρύτερη περιοχή τους, τις πρωτεύουσες νομών και τις υπόλοιπες πόλεις που διαθέτουν ΔΕΥΑ ή Συνδέσμους, ορισμένες ειδικές ζώνες, όπως απομακρυσμένες, μικρές, ορεινές κοινότητες, ή νησιά.

Η πρώτη ενότητα χαρακτηρίζεται από:

- σημαντικά, σχεδόν γιγαντιαία, προηγμένης τεχνολογίας εξωτερικά έργα υδροληψίας και μεταφοράς,
- πλήρεις εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού (θα ακολουθήσει και η Θεσσαλονίκη εφόσον υπάρξει προσφυγή και στα νερά του Αλιάκμονα),
- συστηματικά ελεγχόμενη ποιότητα νερού,
- εκτεταμένο δίκτυο διανομής με επάρκεια πίεσης και παροχτευτικότητας, αλλά και υψηλό ποσοστό απωλειών,
- αυξημένες, ανηγμένες κατά κεφαλή καταναλώσεις και επαπειλούμενη λειψυδρία, λόγω της διαρκώς αυξανόμενης ζήτησης.

Η δεύτερη ενότητα παρουσιάζει έναντι της πρώτης χαρακτηριστικές διαφορές κλίμακας, που γενικότερα διαμορφώνουν ευνοϊκότερες συνθήκες αντιμετώπισης των προβλημάτων, παράλληλα όμως έχουν να καλύψουν, σημαντική απόσταση τεχνολογικής καθυστέρησης, πράγμα που αντανακλάται στην ποιότητα του νερού και τις συνθήκες λειτουργίας. Εδώ διαπιστώνεται ανεπάρκεια των υφιστάμενων έργων υδροληψίας, οξύτερη μάλιστα στους τρεις μεγαλύτερους δήμους: Ηράκλειο, Πάτρα και Λάρισα.

Στην τρίτη ενότητα δεν περιλαμβάνεται μόνο αυτό που ονομάζεται ξεχασμένη Ελλάδα, αλλά και περιοχές με σημαντικά συγκριτικά πλεονεκτήματα, όπως η Μύκονος, η Ύδρα, που εξ αιτίας ιδιαίτερων κλιματολογικών, ή και γεωλογικών συνθηκών αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα εξασφάλισης επαρκών ποσοτήτων πόσιμου νερού. Αναγκαστικά εδώ απαιτείται διεύρυνση της έννοιας της οικονομικής σκοπιμότητας και της ανταποδοτικότητας και παράλληλα προσφυγή σε σύγχρονες τεχνολογίες, όπως η αφαλάτωση και οι υποθαλάσσιοι αγωγοί.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο τρόπος με τον οποίο θα αντιμετωπισθούν τα προβλήματα του τομέα δεν εξαρτάται μόνο από το επίπεδο τεχνολογικής

ανάπτυξης, αλλά από το γενικότερο βαθμό πολιτικής, κοινωνικής και παραγωγικής ωριμότητας της χώρας. Συνδυάζοντας την παρατήρηση αυτή, με την πολυπλοκότητα και την έκταση των προβλημάτων, που διαπιστώθηκαν, μπορεί εύλογα κανείς να προβλέψει, ότι τα θέματα που σχετίζονται με τη μελέτη, κατασκευή και λειτουργία έργων ύδρευσης, θα συνεχίσουν να βρίσκονται μέσα στις κρίσιμες προτεραιότητες της χώρας, τουλάχιστον στα 25 επόμενα χρόνια.

2. ΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ

2.1. Οι υδατικές χρήσεις

Η συνολική κατανάλωση σε έναν οικισμό, μπορεί να περιλαμβάνει τις εξής επί μέρους χρήσεις ή συνιστώσες:

- Οικιακές χρήσεις, για όλες τις ανάγκες ενός νοικοκυριού, συμπεριλαμβανομένης της άρδευσης ιδιωτικού κήπου και του πλυσίματος αυτοκινήτου.
- Εμπορικές και Βιομηχανικές, για περιορισμένη άρδευση και λειτουργία κτηνοτροφικών μονάδων, σφαγείων κ.λ.π.
- Δημόσιες και Δημοτικές, για δημόσια κτίρια, όπως σχολεία, νοσοκομεία, ιδρύματα, κτίρια διοίκησης, για λιμενικές εγκαταστάσεις, αεροδρόμια, σιδηροδρομικούς σταθμούς, για την κατάσβεση πυρκαϊών, για το πλύσιμο των δρόμων, για άρδευση δημοτικών κήπων κ.λ.π.
- Απώλειες. Οι απώλειες δικτύου ύδρευσης μπορεί να διακριθούν σε πραγματικές και πλασματικές. Οι πραγματικές οφείλονται σε θραύση αγωγών, μη στεγανές συνδέσεις σωληνώσεων ή ειδικών τεμαχίων και διαρροές δεξαμενών. Οι πλασματικές, σε πλημελή καταμέτρηση, σε σφάλματα μετρητών στο δίκτυο ή στα έργα κεφαλής, σε παροχές που δεν μετρώνται, όπως ενίοτε συμβαίνει με ορισμένες περιπτώσεις δημόσιων ή δημοτικών χρηστών, σε μη μετρούμενες δωρεάν παροχές λ.χ. σε ιδρύματα, σε μη εντοπισμένες παράνομες παροχές.

Οι επί μέρους καταγραφόμενες τιμές κατανάλωσης, κατά κατηγορία χρήσης, παρουσιάζουν συχνά σημαντικές διακυμάνσεις από οικισμό σε οικισμό επειδή, αφ'ενός η ζήτηση και αφ'ετέρου οι απώλειες, επηρεάζονται ανάλογα, από τοπικές συνθήκες και πολλαπλές παραμέτρους λειτουργίας, που μπορεί να διαφέρουν κατά περίπτωση, όπως:

- Η ηλικία του δικτύου
- Το επίπεδο συντήρησής του
- Η ποιότητα κατασκευής των οικιακών εγκαταστάσεων
- Η ακρίβεια των συστημάτων μέτρησης παροχών στα έργα κεφαλής και των επί μέρους υδρομετρητών στους καταναλωτές
- Η έκταση τυχόν παρανόμων παροχών ή υδροληψιών χωρίς υδρομετρητή
- Το εφαρμοζόμενο σύστημα τιμολόγησης
- Οι πολιτιστικές συνήθειες και οι οικονομικές δυνατότητες των καταναλωτών
- Το τεχνολογικό επίπεδο βιομηχανικής παραγωγής
- Η διαθεσιμότητα υδατικών πόρων

2.2. Η διακύμανση της κατανάλωσης

Η κατανάλωση αρδευτικού νερού δεν διατηρείται χρονικά σταθερή αλλά, παρουσιάζει διακυμάνσεις, τόσο κατά τη διάρκεια του έτους, όσο και κατά τη διάρκεια της ημέρας, των οποίων το εύρος εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε οικισμό.

Οι εποχιακές διακυμάνσεις συναρτώνται, κύρια, με το κλίμα και προσδιορίζουν τη μέγιστη ημερήσια και τη μέγιστη μηνιαία κατανάλωση, ενώ μέσα σε ένα 24ωρο η επαλληλία των χρήσεων συντελεί ώστε η ζήτηση να εμφανίζεται μεγαλύτερη ορισμένες ώρες της ημέρας, διαμορφώνοντας τη μέγιστη ωριαία κατανάλωση και σημαντικά μειωμένα κατά τις νυκτερινές.

2.3 Η διαδικασία της προσωμίωσης

Κάθε δίκτυο είναι ένα σύνολο από αγωγούς, κόμβους και δεξαμενές τροφοδοσίας με τόσο σύνθετη και πολύπλοκη λειτουργία, ώστε η αντιμετώπισή του στην πραγματική του μορφή να είναι αδύνατη. Για να μπορέσει να επιλυθεί πρέπει να βρεθεί κάποιο σχηματικό ομοίωμα του πραγματικού δικτύου, το οποίο θα απεικονίζει την πραγματική του συμπεριφορά με αναλυτικές μεθόδους.

Το σχηματικό ομοίωμα του δικτύου προκύπτει μετά από μία σειρά παραδοχών και εκτιμήσεων. Η λειτουργία ενός πραγματικού δικτύου παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, τοπικές και χρονικές. Το σχηματικό ομοίωμα που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να ανταποκρίνεται σε όλες τις φάσεις λειτουργίας του δικτύου. Για το λόγο αυτό, εντοπίζεται αυτή η κατάσταση λειτουργίας, που θα επιφέρει στο δίκτυο την δυσμενέστερη φόρτιση. Τα βασικά στοιχεία στα οποία πρέπει να δοθεί προσοχή κατά τον σχεδιασμό του σχηματικού ομοιώματος ενός δικτύου, καθώς και τα απαραίτητα για την επίλυση στοιχεία, καταγράφονται στις παραγράφους που ακολουθούν. Όσο περισσότερο τα στοιχεία αυτά προσεγγίζουν την πραγματικότητα τόσο πιο επιτυχής θα είναι και ο σχεδιασμός του δικτύου (Thorley A., Wood D.).

2.3.1. Αγωγοί

Στην πραγματικότητα, το δίκτυο μιας περιοχής σχηματίζεται με την τοποθέτηση αγωγών κάτω από όλους τους δρόμους στους οποίους υπάρχει ανάγκη υδροδότησης. Για να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα ένα ομοίωμα δικτύου, πρέπει να συμπεριλαμβάνει όλους ανεξαιρέτως τους αγωγούς. Κάθε αφαίρεση αγωγού μεγαλώνει την αποκλισή του από την πραγματικότητα. Εκτός από την αφαίρεση κάποιου αγωγού από το ομοίωμα, απόκλιση μπορεί να προκαλέσει και η θεώρησή του σαν ακτινωτή απόληξη, τη στιγμή που συμμετέχει σε βρόχο. Για να έχει επιτυχία η θεώρηση ενός

μέλους σαν ακτινωτή απόληξη πρέπει να έχει γίνει ακριβής πρόβλεψη της λειτουργίας του.

Οι αγωγοί ενός δικτύου ύδρευσης είναι κυκλικής διατομής. Κατά τη διαδικασία επίλυσης του δικτύου με τη βοήθεια του σχηματικού του ομοιώματος, οι διάμετροι και τα μήκη των αγωγών του θεωρούνται δεδομένα. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να έχουν εκτιμηθεί εκ των προτέρων. Λανθασμένη εκτίμηση των διαμέτρων, συνήθως, οδηγεί σε δυσλειτουργία του δικτύου. Σε περίπτωση που θεωρηθούν αγωγοί μικρότερης διαμέτρου από την κανονική, τότε το δίκτυο θα εμφανίσει δυσλειτουργίες. Τα πιεζομετρικά φορτία στους κόμβους του, δεν επαρκούν για τη τροφοδοσία όλων των περιοχών εξαιτίας των μεγάλων απωλειών, αλλά και οι ταχύτητες του νερού στους αγωγούς του παίρνουν πολύ μεγάλες τιμές, οπότε παρουσιάζεται κίνδυνος αστοχίας του δικτύου κατά το κλείσιμο των δικλείδων, λόγω υδραυλικού πλήγματος. Με εκλογή διαμέτρων μεγαλύτερων των κανονικών, το δίκτυο μπορεί να λειτουργεί κανονικά, αλλά υπάρχει άσκοπη σπατάλη χρημάτων και άνοδος του κόστους κατασκευής.

Άλλο σημαντικό στοιχείο για τη σωστή διαστασιολόγηση ενός δικτύου είναι η ανεύρεση των πρωτεύοντων αγωγών του. Οι πρωτεύοντες αυτοί αγωγοί μεταφέρουν τον κύριο όγκο νερού και τροφοδοτούν ολόκληρο το δίκτυο. Όπως είναι φυσικό, οι αγωγοί αυτοί παροχετεύουν μεγαλύτερες ποσότητες νερού και κατά συνέπεια χρειάζονται μεγαλύτερες διαμέτρους. Σύμφωνα με διεθνείς μελέτες, οι αγωγοί αυτοί βρίσκονται στο εσωτερικό των δικτύων σε τέτοιες θέσεις, ώστε να ελαχιστοποιείται η απόστασή τους από όλους τους κόμβους (Nakajima S.).

2.3.2. Κόμβοι

Στο σχηματικό ομοίωμα ενός δικτύου, κόμβος θεωρείται κάθε σημείο όπου υπάρχει μεταβολή στην παροχή, διατομή ή κατεύθυνση ενός αγωγού. Συνήθως, κόμβοι παρουσιάζονται στα σημεία που υπάρχει συμβολή δύο ή περισσοτέρων αγωγών. Αυτά τα σημεία βρίσκονται στα άκρα των οικοδομικών τετραγώνων και θεωρείται ότι απ'αυτά εξέρχεται παροχή ικανή να τροφοδοτήσει μέρος του οικοδομικού τετραγώνου ίσο με το ημίθροισμα του μήκους των αγωγών που συμβάλουν σ'αυτά. Κόμβος επίσης μπορεί να θεωρηθεί σε οποιοδήποτε ενδιάμεσο σημείο κάποιου αγωγού, με σκοπό την καλύτερη ρύθμιση της παροχής και λειτουργίας του.

Στην πραγματικότητα όμως, το δίκτυο δεν λειτουργεί έτσι. Σε όλο το μήκος των αγωγών του δικτύου υπάρχουν συνδέσεις από τις οποίες γίνεται υδροληψία. Σε κάθε κτίριο η υδροδότηση γίνεται με σύνδεση από τον αγωγό που περνάει μπροστά του. Σε ένα σχηματικό ομοίωμα όμως, δεν είναι δυνατό να συμπεριληφθούν όλα αυτά τα σημεία. Εκτός από το πλήθος τους, το οποίο

είναι απροσδιόριστο, είναι και η μεταβολή του αριθμού τους που κάνει αδύνατο τον υπολογισμό τους. Για να ανταποκρίνεται, λοιπόν, στην πραγματικότητα το σχηματικό ομοίωμα ενός δικτύου χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή των κόμβων του.

Εκτός από τη θέση των κόμβων του σχηματικού ομοιώματος, σημαντικός είναι και ο προσδιορισμός της παροχής που εξέρχεται από αυτούς. Όπως προαναφέρθηκε, κατά μήκος των αγωγών του δικτύου υπάρχουν σημεία υδροληψίας που τροφοδοτούν τα γύρω οικοδομήματα. Η παροχή όμως που εξέρχεται σε κάθε τέτοιο σημείο, δεν είναι ομοιόμορφη σε όλο το δίκτυο. Η παροχή αυτή εξυπηρετεί τις ανάγκες των ανθρώπων που χρησιμοποιούν τα κτίρια. Όπως είναι φυσικό όμως, ο αριθμός των ανθρώπων μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή. Κύριοι ρυθμιστικοί παράγοντες του παραπάνω φαινομένου είναι ο συντελεστής δόμησης της περιοχής και το μέγεθος των οικοπέδων. Δουλειά του μελετητή μηχανικού είναι να χωρίσει κατάλληλα την περιοχή σε ζώνες ανάλογα με τον πλυθησμό και να ορίσει την παροχή εξόδου του κάθε κόμβου, ανάλογα με αυτόν.

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ - ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ – ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο επιχειρείται να γίνει μία πρώτη προσέγγιση στα επιμέρους στοιχεία των δικτύων ύδρευσης από άποψη σχεδίασης και υπολογισμού. Αρχικά περιγράφεται η διαδικασία υπολογισμού των καταναλώσεων ενός νέου δικτύου ύδρευσης. Στη συνέχεια τα κυριότερα στοιχεία που αποτελούν το δίκτυο (αγωγοί, βάνες κ.τ.λ.). Τέλος αναφέρονται γενικές αρχές για την επίλυση των δικτύων και την κατασκευή μοντέλων.

3.1 Παροχή σχεδιασμού

Ένα δίκτυο ύδρευσης πρέπει να έχει επάρκεια πίεσης και παροχής για όλους τους καταναλωτές του. Ο κάθε καταναλωτής πρέπει να έχει την απαιτούμενη πίεση και παροχή για τις ανάγκες του, κάθε στιγμή που εκείνος το απαιτεί. Άρα το δίκτυο από τη μεριά του πρέπει ανά πάσα στιγμή, είτε μεγάλης, είτε μικρής κατανάλωσης να είναι σε θέση να προσφέρει πίεση και παροχή μέσα στα πλαίσια των αναγκών του καταναλωτή. Επιπλέον πρέπει να είναι σε θέση να ανταποκρίνεται τις ώρες της μεγάλης κατανάλωσης. Ακόμα, πρέπει να ανταποκριθεί την ημέρα της μέγιστης κατανάλωσης (την πιο ζεστή ημέρα του καλοκαιριού). Δηλαδή το εσωτερικό δίκτυο πρέπει να σχεδιάζεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι σε θέση να καλύψει τις ανάγκες των καταναλωτών του την ώρα αιχμής της ημέρας της μεγαλύτερης κατανάλωσης. Και αυτή η ημέρα λογίζεται ως η δυσμενέστερη του χρόνου σχεδιασμού του έργου (χρόνος σχεδιασμού = το χρονικό διάστημα για το οποίο το έργο μπορεί να καλύψει τις ανάγκες για τις οποίες σχεδιάστηκε = φυσικός χρόνος ζωής του έργου).

Με βάση τα παραπάνω η παροχή σχεδιασμού ενός εσωτερικού δικτύου ύδρευσης που κατασκευάζεται για πρώτη φορά υπολογίζεται ως εξής:

Υπολογίζεται η μέση παροχή των καταναλωτών σε $l/άτομο/ημέρα$. Η παροχή αυτή μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

1. Για νέο δίκτυο:

α) Χρησιμοποιώντας πίνακες με στοιχεία καταναλώσεων πληθυσμού σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας ή και του εξωτερικού (σπανιότερα).

β) Υπολογίζοντας μέση κατανάλωση ανά άτομο με βάση τις δραστηριότητές του στο 24ωρο (η κατανάλωση ανά δραστηριότητα προκύπτει και αυτή από σχετικούς πίνακες).

γ) Τέλος, μπορεί να υπολογιστεί με βάση την εμπειρία του μελετητή (το πιο σύνηθες).

2. Για ήδη υπάρχον δίκτυο (για περιπτώσεις επέκτασης ή ελέγχου του ήδη υφιστάμενου δικτύου):

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία από τις παραπάνω μεθόδους. Είναι όμως πιο σωστό να υπολογιστεί η μέση παροχή με επεξεργασία στοιχείων των οικιακών μετρητών, εφόσον αυτά είναι διαθέσιμα. Η λύση αυτή πλεονεκτεί έναντι της προηγούμενης διότι, τα εξαγόμενα αποτελέσματα ανταποκρίνονται στις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν στο δίκτυο.

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στα εξής σημεία:

- Οι μεγάλοι καταναλωτές (βιοτέχνες, πλυντήρια αυτοκινήτων, τυχόν δημόσιες υπηρεσίες, πάρκα κ.τ.λ.) θα πρέπει να αφαιρούνται διότι ανεβάζουν το μέσο όρο της κατανάλωσης.
- Τυχόν σφάλματα των μετρητών θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη με κατάλληλη προσαύξηση ή ελάττωση των εξαγομένων.
- Ο τελικός μέσος όρος της μέσης κατανάλωσης ανά άτομο και ημέρα, θα πρέπει να προκύψει από επεξεργασία καταναλώσεων τουλάχιστον μερικών ετών.

Όπως είναι προφανές η παραπάνω διαδικασία είναι ιδιαίτερα επίπονη αλλά με τη σωστή εφαρμογή της (που διευκολύνεται με τη χρήση H/Y), θα έχουμε τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Τελικά υπολογίζουμε τη συνολική παροχή των καταναλωτών, πολλαπλασιάζοντας με τον πληθυσμό στο πέρας της οικονομικής ζωής του έργου. Ο πληθυσμός αυτός υπολογίζεται βάσει του σημερινού, ο οποίος προσαυξάνεται βάσει στατιστικής σχέσης π.χ. σχέση ανατοκισμού.

Ο σημερινός πληθυσμός είναι δυνατό να υπολογιστεί με τη βοήθεια κάποιου από τους παρακάτω τρόπους:

- Χρησιμοποιώντας στοιχεία από πρόσφατη απογραφή. Στον ελληνικό χώρο υπάρχει η ιδιαιτερότητα, κάτοικοι από τα μεγάλα αστικά κέντρα να μετακινούνται κατά την περίοδο της απογραφής στον τόπο καταγωγής, ώστε να καταχωρηθούν εκεί. Για το λόγο αυτό, ο πληθυσμός που θα προκύψει από την απογραφή για κάποιο μεγάλο αστικό κέντρο, θα πρέπει να προσαυξηθεί με κατάλληλο συντελεστή, ο οποίος εξαρτάται από το μέγεθος του πληθυσμού και την εμπειρία του μελετητή, ώστε να ληφθεί υπόψη το παραπάνω φαινόμενο.
- Αν δεν υπάρχουν στοιχεία πρόσφατης απογραφής ή αυτά αμφισβητούνται, τότε ο πληθυσμός πρέπει να υπολογιστεί βάσει της

έκτασης του πολεοδομικού συγκροτήματος και της πυκνότητας οίκησης. Η πυκνότητα οίκησης υπολογίζεται από πίνακες, τόσο για ελληνικές πόλεις, όσο και για πόλεις του εξωτερικού. Οι τιμές δίνονται σε άτομα/εκτάρια. Υπάρχουν συγκεκριμένες μεθοδολογίες υπολογισμού πληθυσμού για πολεοδομικά συγκροτήματα, με διαφορετικές πυκνότητες οίκησης, σε επιμέρους τμήματά τους.

- Ιδιαίτερη προσοχή στον υπολογισμό του πληθυσμού, θα πρέπει να δοθεί στις περιπτώσεις τουριστικών οικισμών, διότι τους μήνες τουριστικής αιχμής μπορεί να έχουμε αύξηση πληθυσμού, που να φθάνει και το 100%. Αντίστοιχα η παροχή ανά άτομο του τουριστικού πληθυσμού είναι σαφώς πιο αυξημένη από αυτή του μόνιμου κατοίκου. Για παράδειγμα στις ελληνικές πόλεις έχουμε μία μέση κατανάλωση από 180 - 220 lt/κάτοικο/24ωρο, ενώ η κατανάλωση ενός τουρίστα μπορεί να φτάσει στα 400 - 450 lt/ τουρίστα/ 24ωρο .

Η συνολική μέση ημερήσια παροχή των καταναλωτών προσαυξάνεται κατά συγκεκριμένο ποσοστό, ώστε να ληφθούν υπόψη οι μεγάλοι καταναλωτές και η παροχή πυρκαϊάς. Η ακριβής προσαύξηση εκτιμάται υπολογίζοντας την παροχή μεγάλων καταναλωτών και πυρκαϊάς. Η παροχή των μεγάλων καταναλωτών προκύπτει από τα διατιθέμενα στοιχεία, προσαυξάνεται δε κατάλληλα (βάσει της εμπειρίας του μελετητή), ώστε να καλυφθεί ο συνολικός χρόνος σχεδιασμού του έργου. Η παροχή πυρκαϊάς εκτιμάται από το είδος των κρουνών (συνήθης παροχή 5 - 10lt/sec) και τον αριθμό των συγχρόνως λειτουργούντων κρουνών (τουλάχιστον 2), αλλά και βάσει του μεγέθους του δικτύου. Η παροχή πυρκαϊάς είναι σταθερή για όλο το χρόνο σχεδιασμού του έργου. Τελικά ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία υπολογίζουμε τη συνολική μέση ημερήσια παροχή του δικτύου.

Με βάση την ωριαία παροχή αιχμής υπολογίζεται και διαστασιολογείται το κυρίως, δευτερεύον και τριτεύον δίκτυο ύδρευσης, σύμφωνα με αυτά που θα περιγράψουμε στα παρακάτω.

3.2 Γενική μορφή του δικτύου - γενικές αρχές σχεδιασμού

Το εσωτερικό δίκτυο ύδρευσης διαχωρίζεται σε πρωτεύον, δευτερεύον και τριτεύον. Ως πρωτεύον εννοούμε το δίκτυο (μεγάλων συνήθως διαμέτρων) που μεταφέρει τις απαιτούμενες ποσότητες νερού από τις δεξαμενές ημερήσιας αναρύθμισης, οι οποίες σχεδιάζονται και διαστασιολογούνται, βάσει της ημερήσιας παροχής αιχμής, προς το εσωτερικό δευτερεύον δίκτυο. Οι διάμετροι του πρωτεύοντος δικτύου υπολογίζονται βάσει της ωριαίας παροχής αιχμής συνολικά ή με μέρος αυτής, αν έχουμε περισσότερους τροφοδοτικούς αγωγούς. Το δευτερεύον δίκτυο (δίκτυο μικρότερων

διαμέτρων) συνδέεται με το πρωτεύον και διανέμει το νερό στο πολεοδομικό συγκρότημα. Διασχίζει τους κυριότερους δρόμους του συγκροτήματος σχηματίζοντας κλειστούς βρόγχους. Οι διάμετροι υπολογίζονται βάσει των παροχών των κλάδων του δευτερεύοντος δικτύου. Αθροιστικά, οι επιμέρους παροχές θα πρέπει να ισούτε με την παροχή που τροφοδοτεί το δευτερεύον δίκτυο, μέσω του πρωτεύοντος. Τέλος το τριτεύον δίκτυο αποτελείται από αγωγούς ακόμη μικρότερης διαμέτρου και συνδέεται με το δευτερεύον, μεταφέροντας τελικά το νερό στους καταναλωτές. Και αυτό εκτείνεται (τουλάχιστον θεωρητικά) σε σχηματισμούς βρόγχων.

Η μορφή του δικτύου όπως συνεπάγεται και από τα παραπάνω θα πρέπει να είναι κλειστά τμήματα (βρόγχοι) τα οποία επικοινωνούν το ένα με το άλλο. Τα τμήματα τα οποία δεν ενώνονται με το υπόλοιπο δίκτυο, ονομάζονται ακτινικά τμήματα, και πρέπει να αποφεύγονται, κατά το δυνατόν. Η δομή σε βρόγχους εξασφαλίζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Δυνατότητες εναλλακτικής τροφοδοσίας του σημείου ενός βρόχου από άλλη διαδρομή. Αυτό είναι σημαντικό πλεονέκτημα, σε περίπτωση ζημιάς και απομόνωσης τμήματος του βρόχου ή ακόμη σε περίοδο υψηλής κατανάλωσης (τροφοδοσία από περισσότερα του ενός σημείων). Έτσι η αξιοπιστία του δικτύου (δυνατότητα απόκρισης κάτω από δυσμενείς συνθήκες), διατηρείται πάντοτε σε καλά επίπεδα.
- Διατήρηση καλών υγειονομολογικών στοιχείων στο δίκτυο. Οι άσχημες υγειονομολογικές συνθήκες, δημιουργούνται όταν αυξάνεται ο χρόνος ανανέωσης του νερού στο δίκτυο (χρόνος ανανέωσης = ο χρόνος που απαιτείται, ώστε το νερό σε κάποιο σημείο να ανανεωθεί με χλωριωμένο, μέσα από την κίνηση στο δίκτυο). Μεγάλοι χρόνοι ανανέωσης οδηγούν τελικά στο να καταναλώνεται μη χλωριωμένο νερό, λόγω διαφυγής του χλωρίου από το μίγμα. Χάριν όμως στους βρόγχους, έχουμε συνεχή κίνηση του νερού, οπότε αποφεύγονται τα παραπάνω.
- Μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά χάριν στην καλή επικοινωνία, τοπικές βυθίσεις της πιεζομετρικής γραμμής, λόγω αυξημένης κατανάλωσης, χωρίς να υποβιβαστεί η συνολική πιεζομετρία του βρόχου. Αυτό συμβαίνει, γιατί η τοπική βύθιση (εξαιτίας είτε αυξήσεως κατανάλωσης είτε έκτακτου γεγονότος π.χ. πυρκαϊά), αντιμετωπίζεται με προσαγωγή νερού από 2 διαφορετικές κατευθύνσεις.

Αντίθετα τα ακτινικά τμήματα στερούνται όλων των παραπάνω πλεονεκτημάτων. Για το λόγο αυτό πρέπει να αποφεύγονται. Όταν όμως δεν είναι δυνατό να γίνει κάτι τέτοιο θα πρέπει να εξετάζεται σοβαρά το γεγονός

συνένωσης με πρόσθετο, μη απαραίτητο για την τροφοδοσία έργου, ώστε να δημιουργείται βρόγχος (οικονομική αξιολόγηση).

Τέλος θα αναφερθούμε στο σχεδιασμό του δικτύου. ώστε να μπορεί να ικανοποιεί τις ανάγκες πιέσεων του καταναλωτή. Σαν πίεση σχεδιασμού θα πρέπει να λάβουμε υπόψη την απαιτούμενη πίεση για το υψηλότερο κτίριο, το οποίο βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο της περιοχής.

Γενικά η πίεση σχεδιασμού δε θα πρέπει να ξεπερνά τα 70m στήλης ύδατος (7,0 atm) διότι πάνω από τις πιέσεις αυτές τόσο το δίκτυο ύδρευσης (βάνες - ενώσεις - υλικό) καταπονείται, όσο και το ατομικό δίκτυο του καταναλωτή. Καταπόνηση του δικτύου από υψηλές πιέσεις οδηγεί σε αστοχίες των τμημάτων του και τελικά σε διαρροές. Υψηλές επίσης πιέσεις στον καταναλωτή, έχουν ως αποτέλεσμα την υποβολή παραπόνων στους υπεύθυνους λειτουργίας και διαχείρισης, εξαιτίας αστοχιών στο ατομικό του δίκτυο.

Συναντάται όμως συχνά το φαινόμενο (σχεδόν πάντα στην Ελλάδα) εξαιτίας της μορφολογίας του εδάφους το πολεοδομικό συγκρότημα να βρίσκεται σε περιοχές με ανάγλυφο τέτοιο, ώστε τα υψόμετρα να ποικίλουν. Στις περιπτώσεις αυτές δεν είναι δυνατό να σχεδιάσουμε ενιαίο δίκτυο βάσει της απαιτούμενης πίεσης στον υψηλότερο καταναλωτή. Θα εμφανιστεί το φαινόμενο ιδιαίτερα αυξημένων πιέσεων (υπερπιέσεων) στους καταναλωτές χαμηλότερων υψόμετρων, που όπως είδαμε πρέπει κατά το δυνατό να αποφεύγεται. Σε τέτοιες περιπτώσεις εφαρμόζεται ο σχεδιασμός κατά ζώνες (ζώνες με σταθερό πιεζομετρικό φορτίο κεφαλής ή απλά πιεζομετρικές ζώνες). Επιλέγεται δηλαδή ορισμένο τμήμα πολεοδομικού συγκροτήματος μέσα στο οποίο έχουμε μία ομαλή μεταβολή των υψόμετρων και υπολογίζεται η απαιτούμενη πίεση κατά τα παραπάνω. Υπολογίζεται επίσης και η ωριαία παροχή αιχμής. Με βάση αυτά τα δεδομένα σχεδιάζεται το δίκτυο της ζώνης.

Η εξασφάλιση της πίεσης κεφαλής στη ζώνη γίνεται με τους παρακάτω τρόπους:

- Με τροφοδοσία της ζώνης από δεξαμενή ημερήσιας αναρύθμισης σε τέτοιο υψόμετρο, ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη πίεση. Σε περίπτωση υπάρχουσας δεξαμενής και ανάγκης για μεγαλύτερες πιέσεις, τοποθέτηση στον τροφοδοτικό αγωγό (ή αγωγούς) ωθητικών αντλιών (boosters), ώστε να ανέβει το πιεζομετρικό τους φορτίο.
- Σε περίπτωση τροφοδοσίας υποκείμενης ζώνης από υπερκείμενη (μεγαλύτερου πιεζομετρικού φορτίου) μέσω υδραυλικών δικλείδων ρύθμισης πίεσης (Pressure Reduce Valve, PRV). Οι δικλείδες αυτές

έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν την κατάντι πίεσή τους σταθερή στο σημείο που επιθυμούμε ανεξάρτητα της μεταβολής της ανάντι πίεσης.

- Μέσω πιεζοθραυστικού φρεατίου για την περίπτωση τροφοδοσίας πολλών ζωνών από κοινό τροφοδοτικό αγωγό. Το πιεζοθραυστικό φρεάτιο, τοποθετείται για την τροφοδοσία των χαμηλότερων ζωνών. Το πιεζοθραυστικό φρεάτιο είναι υδραυλική κατασκευή η οποία επιβάλλει, στην πιεζομετρική γραμμή (ΠΓ), ελεύθερη επιφάνεια. Άρα, η επιβαλλόμενη από το πιεζοθραυστικό φρεάτιο πίεση, είναι αυτή που αντιστοιχεί στο τόπογραφικό υψόμετρο του, πολύ χαμηλότερη της ανάντι πίεσης.

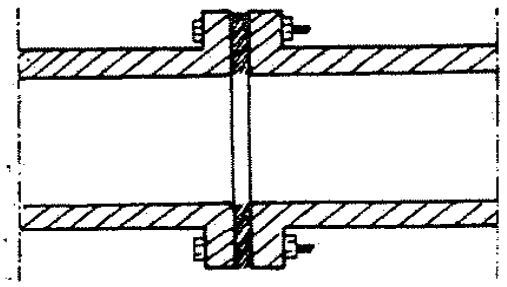
3.3 Περιγραφή των επιμέρους τμημάτων ενός δικτύου

Ένα δίκτυο ύδρευσης αποτελείται από αγωγούς, δεξαμενές, αντλιοστάσια, βαλβίδες αντεπιστροφής (clapet), εξαεριστές εκκενωτές, βαλβίδες ρύθμισης πίεσης και παροχής κ.α.

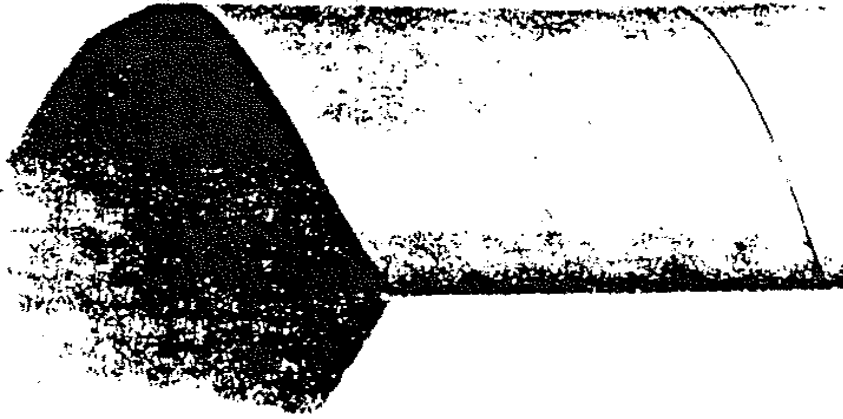
3.3.1 Αγωγοί

Αποτελούν τη μεγαλύτερη οικονομική επένδυση ενός δικτύου. Χρησιμοποιούν για τη μεταφορά του νερού από τις δεξαμενές προς τους καταναλωτές. Στο εσωτερικό του δικτύου, διασταυρώνονται μεταξύ τους σχηματίζοντας βρόγχους. Συναντώνται σε ποικιλίες υλικών και διαμέτρων, ανάλογα με την ηλικία και το μέγεθος του δικτύου. Παρακάτω γίνεται μία συνοπτική περιγραφή των αγωγών ύδρευσης κατά υλικό. Μικρές αναφορές γίνονται στους τρόπους σύνθεσης και στο κατά πόσο χρησιμοποιούνται σήμερα.

Χαλύβδινοι αγωγοί: Το υλικό κατασκευής τους είναι ο χάλυβας. Μικρότερες διαμέτροι (μέχρι Φ300) κατασκευάζονται απευθείας από χαλύβδινο έλασμα με έλαση εν θερμώ. Μεγαλύτερες διαμέτροι κατασκευάζονται με τη μέθοδο της ελικοειδούς ραφής. Υπάρχει ιδιαίτερη μέριμνα για την προστασία από διάβρωση (επένδυση της εξωτερικής επιφάνειας με υαλονήματα εμβαπτισμένα σε λιθανθρακόπισσα, επένδυση με πολυαιθυλένιο κ.α.), τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά. Χρησιμοποιούνται πολύ συχνά στα δίκτυα ύδρευσης (στα νεότερα δίκτυα σε επίπεδο πρωτεύοντων αγωγών). Αποκλειστικό υλικό κατασκευής καταθλιπτικών αγωγών. Η σύνδεση χαλύβδινων αγωγών γίνεται είτε με συγκόληση, είτε βιδωτά με φλάτζες (φλατζωτή σύνδεση).



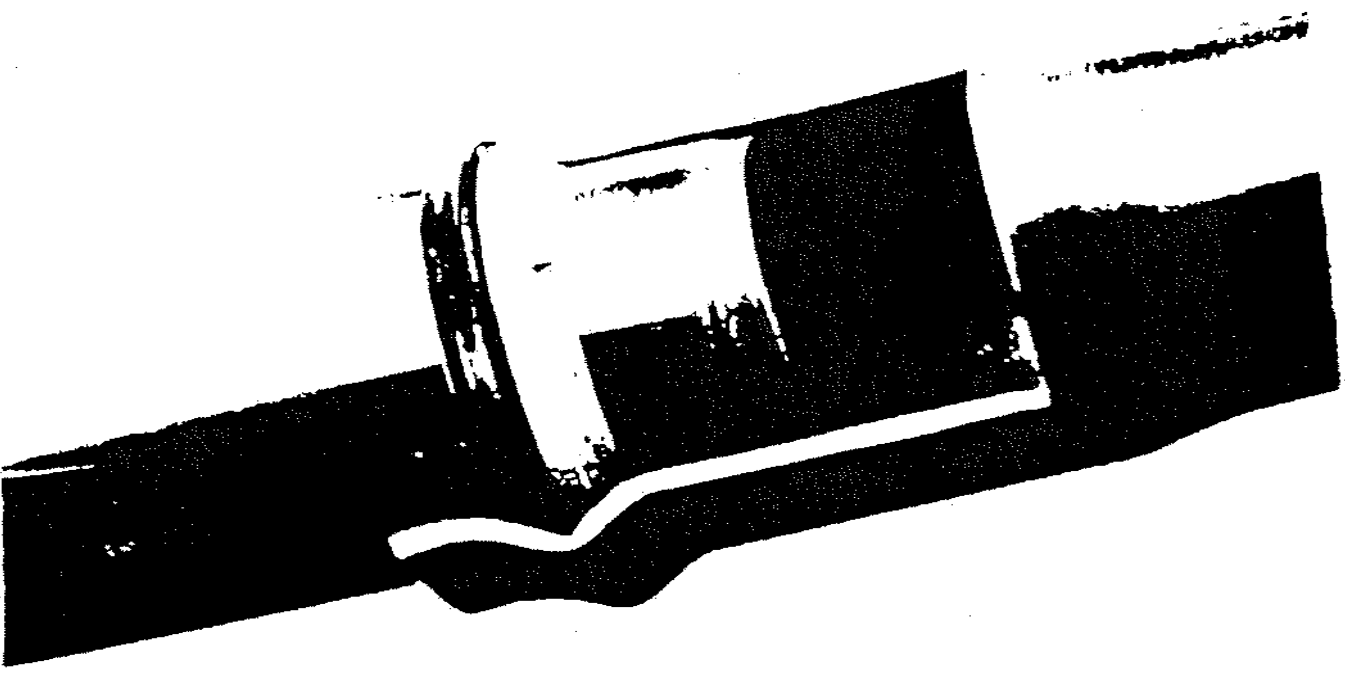
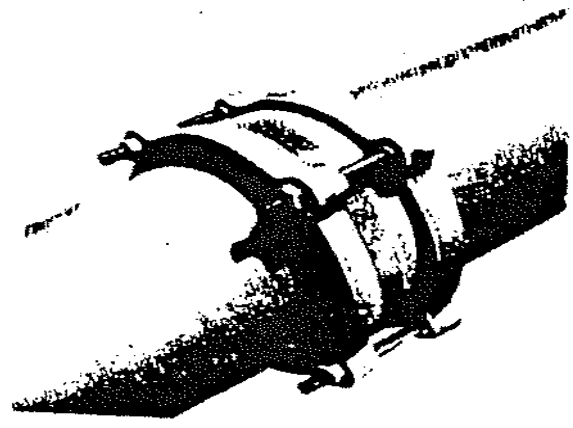
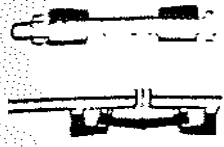
Σύνδεση σωλήνων με βίδες και φλάντζες.



Χυτοσιδηροί αγωγοί: Αποτελούνται από χυτοσίδηρο και είναι σαφώς μικρότερης αντοχής από τους χαλύβδινους. Δε χρησιμοποιούνται πλέον στα νέα δίκτυα, αλλά είναι υλικό το οποίο συναντάται συχνότατα στα παλαιά.

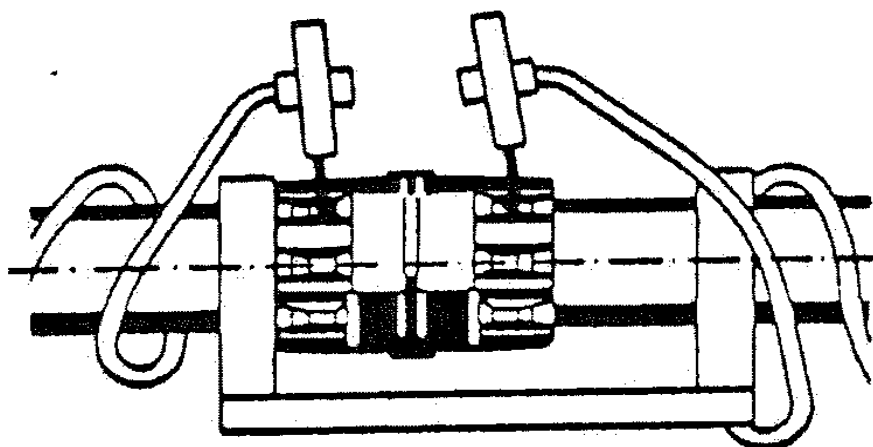
Αγωγοί από PVC: Είναι σήμερα το συχνότερα χρησιμοποιούμενο υλικό, τουλάχιστον στο πεδίο των διαμέτρων ενός εσωτερικού δικτύου. Μεγάλες διαμέτροι (άνω Φ450) συμφέρει να είναι χαλύβδινι αγωγοί ή από αμιαντοτσιμέντο. Το υλικό κατασκευής είναι το χλωριωμένο πολυβυνίλιο. Είναι υλικό το οποίο δε διαβρώνεται και γι' αυτό δεν απαιτείται προστασία κατά της διάβρωσης. Οι αγωγοί συνδέονται μεταξύ τους με ελαστικούς δακτυλίους. Άλλες μορφές σύνδεσης γίνονται με συνδέσμους τύπου Gibault. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στον τρόπο σύνδεσης, κατά την τοποθέτηση του δακτυλίου, αφού εσφαλμένη τοποθέτηση θα προκαλέσει διαρροή. Οι αγωγοί από PVC έχουν εκτοπίσει τους υπόλοιπους στα νεότερα δίκτυα, ενώ το ποσοστό τους είναι μικρότερο στα παλαιότερα. Μειονεκτούν στα φαινόμενα συγκέντρωσης τάσεων όπου λόγω ερπυσμού, ο χρόνος ζωής του υλικού μειώνεται ταχύτατα.

Σύνδεσμοι τύπου Gibault.



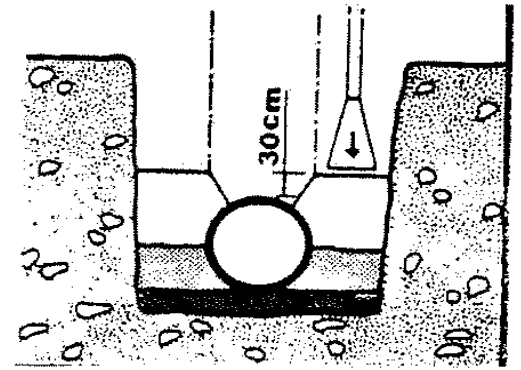
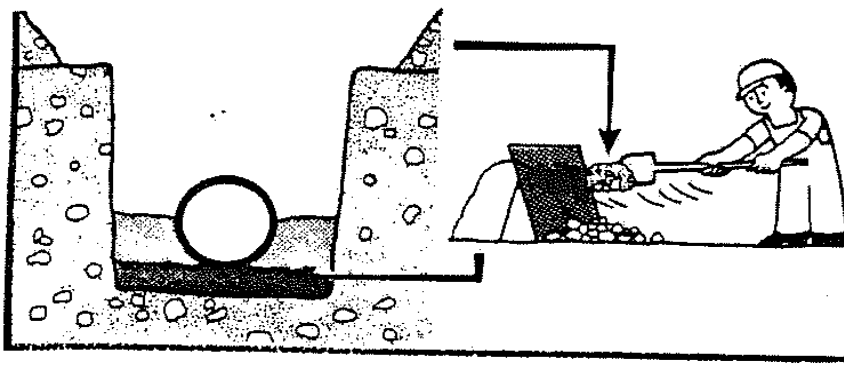
Σύστημα σύνδεσης σωλήνων από uPVC με ενσωματωμένο δακτύλιο στεγανότητας.

Αγωγοί από πολυαιθυλαίνιο: Είναι η "αιχμή" της τεχνολογίας στους αγωγούς ύδρευσης. Πλεονεκτούν έναντι των υπόλοιπων αγωγών, λόγω του μικρού αριθμού συνδέσεων (λίγες συνδέσεις, συνεπάγονται λίγες πιθανές διαρροές). Δεν απαιτείται προστασία έναντι διάβρωσης. Οι συνδέσεις γίνονται με σύντηξη των άκρων των σωλήνων μέσω ειδικών διατάξεων (ηλεκτρομούφες). Το μειονέκτημα των αγωγών από πολυαιθυλένιο είναι ότι εμφανίζεται το φαινόμενο του ερπυσμού στις συνδέσεις με ειδικά τεμάχια (βάνες, συστολές κ.τ.λ.). Υπάρχουν όμως σήμερα διαθέσιμα προϊόντα με τα οποία διορθώνεται το παραπάνω μειονέκτημα. Η χρήση τους γίνεται περιορισμένα στα σημερινά δίκτυα ύδρευσης, αλλά υπάρχουν άριστες μελλοντικές προοπτικές.



Σύνδεση σωλήνων με ηλεκτρομούφα.

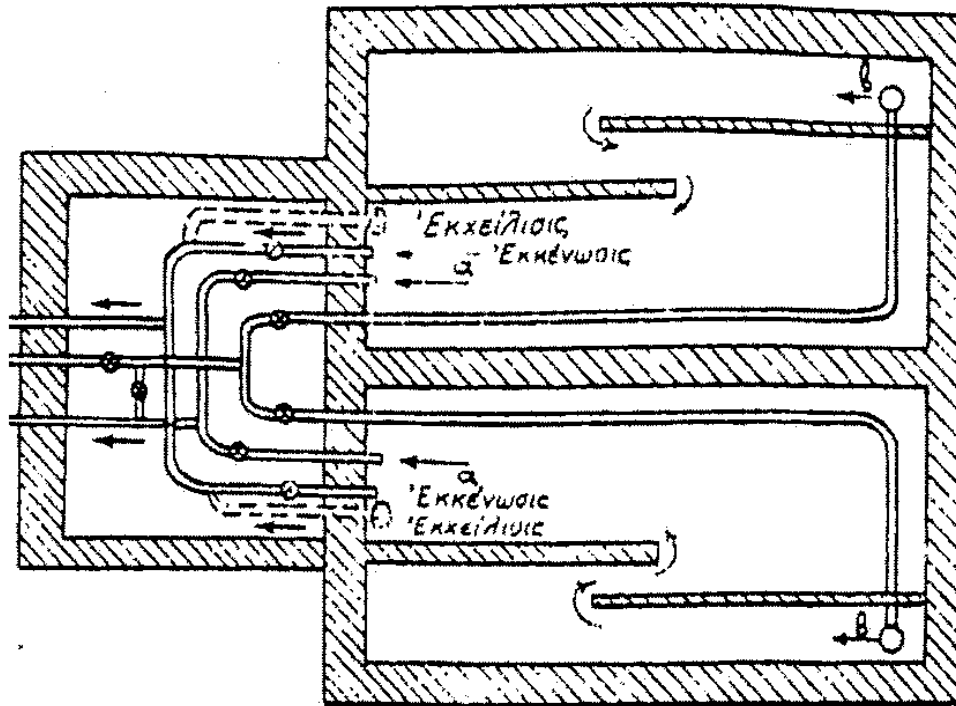
Οι αγωγοί τοποθετούνται μέσα στο έδαφος, σε ορύγματα των οποίων μέριμνα θα πρέπει να δίνεται, ώστε η επανεπίχωση του ορύγματος να γίνεται με καλά διαβαθμισμένο υλικό λατομείου, μέχρι ορισμένο βάθος και το υπόλοιπο με διαβαθμισμένα προϊόντα με εκσκαφείς, ώστε να αποφεύγονται κίνδυνοι καθιζήσεων και πολύ περισσότερο τραυματισμού του αγωγού. Οι αγωγοί ιδιαίτερα ευπαθείς σε τραυματισμούς, είναι αυτοί από PVC και πολυαιθυλαίνιο. Στην περίπτωση των αγωγών από PVC είναι πολύ συχνό το φαινόμενο θραύσης, λόγω συγκέντρωσης τάσεων (φαινόμενο ερπυσμού) σε κάποιο σημείο τους εξαιτίας κακοτεχνίας στην επίχωση.



3.3.2 Δεξαμενές

Στις δεξαμενές που βρίσκονται σε επιλεγμένες θέσεις του δικτύου αποθηκεύονται οι ποσότητες του νερού, που είναι απαραίτητες για την ημερήσια αναρρύθμιση του δικτύου. Σε περιπτώσεις μεγάλων πόλεων, π.χ. Αθήνα, η αναρρύθμιση γίνεται για μέρος της ημερήσιας κατανάλωσης, λόγω του μεγάλου απαιτούμενου όγκου σε δεξαμενές. Οι δεξαμενές κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα και έχουν συνήθως ορθογωνική μορφή. Το μέγιστο ύψος είναι 4-5m, παράγοντας που καθορίζει την έκταση που θα καταλάβει η δεξαμενή. Σε μια δεξαμενή διακρίνουμε τον αγωγό (ή αγωγούς) προσαγωγής, που τροφοδοτεί με νερό. Μπορεί να βρίσκεται στο άνω ή στο κάτω μέρος της (δυναμικός σχεδιασμός). Επίσης τον αγωγό (ή αγωγούς) εξαγωγής από το κάτω μέρος, απ' όπου γίνεται η τροφοδότηση του δικτύου. Τέλος, τον αγωγό εκκένωσης στο κατώτατο σημείο, απ' όπου γίνεται η εκκένωση για λόγους συντήρησης. Πάνω στον αγωγό αυτό συμβάλλει ο αγωγός ανώτατης στάθμης υπερχειλίσης, απ' όπου απάγονται οι περιττές ποσότητες νερού. Οι αγωγοί αυτοί και οι βαλβίδες ελέγχου τους βρίσκονται σε οικίσκο κολλητά στη δεξαμενή, που ονομάζεται οικίσκος βαλβίδων ελέγχου (βανοστάσιο).

Γ.3.3



Αντλιοστάσια

Τα αντλιοστάσια, είτε καταθλίβουν το νερό από δεξαμενές χαμηλότερου σε μεγαλύτερο υψόμετρο, είτε παρεμβάλλονται σε κάποιο τροφοδοτικό αγωγό και ανυψώνουν την πιεζομετρική γραμμή του (αντλιοστάσια - booster). Οι παραπάνω λειτουργίες επιτυγχάνονται μέσω αριθμού ωθητικών αντλιών (συνήθως φυγοκεντρικών), οι οποίες συνεργάζονται, είτε εν σειρά, είτε παράλληλα. Το αντλιοστάσιο, είτε αναρροφά από αγωγό απευθείας, είτε από δεξαμενή ημερήσιας αναρρύθμισης η οποία σχεδιάζεται, ώστε να καλύπτει τις ημερήσιες ανάγκες του αντλιοστασίου. Στον οικίσκο του αντλιοστασίου διακρίνουμε δύο επίπεδα. Στο χαμηλότερο βρίσκονται οι αντλίες κάτω από την επιφάνεια νερού, ώστε να μην έχουμε προβλήματα αναρρόφησης λόγω παγίδευσης αέρα, ενώ στον υψηλότερο οι ηλεκτρικοί πίνακες και οι ενδεχόμενοι αυτοματισμοί. Ο αριθμός και η ισχύς των αντλιών υπολογίζονται βάσει των αναγκών. Προβλέπεται δε και τουλάχιστον μία εφεδρική αντλία σε περίπτωση βλάβης.

3.3.4 Συσσκευές ελέγχου ροής

Δικλείδες: Παρεμβάλλονται στους αγωγούς και ρυθμίζουν τη ροή ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του δικτύου. Η ρύθμιση γίνεται χειροκίνητα ή αυτόματα (ηλεκτροβάνες). Οι δικλείδες προκαλούν τοπικές απώλειες ενέργειας οι οποίες εξαρτώνται από τον τύπο τους και το ποσοστό ανοίγματός τους. Διακρίνουμε κυρίως δύο τύπους δικλειδών. Τις συρταρωτές δικλείδες

ελαστικής έμφραξης και τις δικλείδες τύπου πεταλούδας (butterfly valves). Στις συρταρωτές δικλείδες ανεβοκατεβαίνει ένα διάφραγμα (συρτάρι) κάθετα στην διεύθυνση της ροής, το οποίο στην κατώτατη θέση του διακόπτει πλήρως τη ροή, ενώ στην ανώτατη αφήνει πλήρως ελεύθερη τη διατομή. Στις δικλείδες τύπου πεταλούδας υπάρχει διάφραγμα, το οποίο όταν η βαλβίδα είναι τελείως ανοικτή τοποθετείται παράλληλα στην διεύθυνση της ροής, ενώ όταν κλείνει τοποθετείται κάθετα σε αυτή. Οι δικλείδες τύπου butterfly έχουν μικρότερες τοπικές απώλειες από τις συρταρωτές.

Οι συρταρωτές δικλείδες χρησιμοποιούνται κυρίως για μικρές διαμέτρους σωλήνων (μέχρι Φ600), διότι από το μέγεθος αυτό και άνω η στατική πίεση που αναπτύσσεται ανάντι της βαλβίδας είναι υψηλή και κάνει το άνοιγμα ιδιαίτερα δύσκολο. Αντίθετα οι δικλείδες πεταλούδας δεν έχουν αυτό το πρόβλημα στις μεγάλες διαμέτρους. Στις μικρές διαμέτρους που συνήθως χρησιμοποιούνται στα εσωτερικά δίκτυα ύδρευσης (μέχρι Φ400), ιδιαίτερη εφαρμογή βρίσκουν οι συρταρωτές δικλείδες. Άλλωστε δικλείδες πεταλούδας υπάρχουν μόνο για μεγάλες διαμέτρους, όπου είναι και οικονομικότερη η χρήση τους.

Οι δικλείδες τοποθετούνται σε φρεάτια κάτω από την επιφάνεια του φυσικού εδάφους. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να υπάρχει μέριμνα αγκύρωσης του αγωγού ανάντι της δικλείδας, μιας και η στατική πίεση που αναπτύσσεται όταν αυτή είναι κλειστή, τείνει να ωθήσει το σύστημα αγωγός - δικλείδα κατά τη διεύθυνση της ροής. Συναντάται επίσης πολύ συχνά το φαινόμενο (σε αγωγούς μικρής διαμέτρου ιδιαίτερα), οι βάνες να βρίσκονται θαμμένες στο έδαφος. Ο χειρισμός γίνεται με προέκταση του στελέχους περιστροφής στην στάθμη του δρόμου (μέσα σε ειδικό βανοφρεάτιο), μέσω ειδικού κλειδιού.

Βαλβίδες αυτεπιστροφής (clapet): Είναι δικλείδες οι οποίες δεν επιτρέπουν την ανάστροφη ροή διά μέσω τους. Παραμένουν ανοικτές όταν η διεύθυνση της ροής είναι η επιθυμητή, ενώ κλείνουν στην αντίθετη περίπτωση.

Συστολές (διαστολές): Ειδικά τεμάχια από χυτοσίδηρο που παρεμβάλλονται ανάμεσα σε αγωγούς. Εξαιτίας των τοπικών δυνάμεων που αναπτύσσονται στην περιοχή του ειδικού τεμαχίου (τα αντίστοιχα συμβαίνουν και για τις βάνες) είναι υποχρεωτικές μερικές φορές να τοποθετούνται σώματα αγκύρωσης. Αυτά έχουν την ικανότητα μέσω τριβής ή παθητικών ωθήσεων να παραλαμβάνουν τις αναπτυσσόμενες δυνάμεις, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος ολίσθησης του αγωγού και διακοπής της συνέχειάς του.

Εξαεριστές - εκκενωτές: Οι εξαεριστές τοποθετούνται στα υψηλότερα σημεία της χάραξης του δικτύου. Χρησιμεύουν στο να απάγουν τις φυσαλίδες αέρα οι οποίες συγκεντρώνονται στα σημεία αυτά και μπορούν να οδηγήσουν σε διακοπή της ροής. Επίσης, επιτρέπουν να εισρέει αέρας στον αγωγό σε έκτακτη ανάγκη, ώστε να μην έχουμε υποπίεσεις που μπορούν να οδηγήσουν σε σύνθλιψη του αγωγού (εξαεριστές διπλής ενέργειας). Αντίστοιχα οι

εκκενωτές τοποθετούνται στα χαμηλότερα σημεία του δικτύου και χρησιμεύουν για την εκκένωσή του, τόσο σε περίπτωση βλάβης, όσο και για περιοδικό καθαρισμό και συντήρηση.

Βαλβίδες ρύθμισης πίεσης (PRV): Είναι βαλβίδες με υδραυλικό μηχανισμό οι οποίες έχουν την ιδιότητα να διατηρούν την κατάντι πίεση σταθερή και ανεξάρτητη, τόσο της παροχής, όσο και της ανάντι πίεσης. Η κατάντι πίεση μπορεί να ρυθμιστεί με παρέμβαση στον υδραυλικό μηχανισμό. Όταν για κάποιο λόγο η ανάντι πίεση γίνει πολύ υψηλή σε σχέση με την απαιτούμενη κατάντι, η δικλείδα αυτόματα περιορίζει την παροχή, ώστε να επιτευχθεί το απαιτούμενο. Αντίθετα, όταν η κατάντι πίεση πέσει κάτω από την απαιτούμενη, η δικλείδα ανοίγει περισσότερο αφήνοντας μεγαλύτερη παροχή να διέλθει, ώστε να αυξηθεί η πίεση.

Οι PRV επιβάλλουν τοπικό στραγγαλισμό της πίεσης, δημιουργώντας σημαντικές τοπικές απώλειες. Η συντήρησή τους θα πρέπει να γίνεται τακτικά, διότι είναι βαλβίδες συνεχούς λειτουργίας πάνω στις οποίες πολλές φορές βασίζεται η συνολική λειτουργία του συστήματος.

3.4 Μέθοδοι επίλυσης δικτύων

Κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούμε περιληπτικά στις γενικές αρχές για την επίλυση των δικτύων ύδρευσης, καθώς και σε αυτές που διέπουν τη μοντελοποίηση ενός δικτύου.

Σε ένα δίκτυο ύδρευσης ονομάζουμε κόμβο, κάθε σημείο διασταύρωσης αγωγών, κάθε σημείο όπου έχουμε μεταβολή της παροχής και κάθε σημείο όπου έχουμε αλλαγή διαμέτρων. Στους κόμβους θεωρούμε ότι βρίσκονται συγκεντρωμένες οι καταναλώσεις. Όσο περισσότεροι κόμβοι τοποθετούνται τόσο καλύτερη είναι η προσέγγιση του δικτύου, αλλά το πρόβλημα επιλύεται πιο δύσκολα.

Το τμήμα του αγωγού μεταξύ δύο κόμβων όπου έχουμε σταθερή παροχή και διάμετρο, ονομάζεται κλάδος του δικτύου.

Σε κάθε κόμβο του δικτύου θεωρούμε ότι ισχύει η αρχή της συνέχειας, δηλαδή ότι το σύνολο των εισερχόμενων παροχών είναι ίσο με αυτό των εξερχόμενων.

Το θεωρητικό μοντέλο με το ποίο θα γίνει η επίλυση του δικτύου σχεδιάζεται ως εξής:

Σχεδιάζεται η μορφή των αγωγών του δικτύου όπως έχουν στην πραγματικότητα υπό κλίμακα (αγνοούνται συνήθως οι τριτεύοντες αγωγοί). Τοποθετούνται όλα τα γνωστά στοιχεία δεξαμενές, βάνες, αντλιοστάσια κ.τ.λ.

Υπολογίζονται οι καταναλώσεις οι οποίες τοποθετούνται στους κόμβους του δικτύου. Αφαιρούνται τα ακτινικά τμήματα (αν υπάρχουν) και αντικαθίστανται από μία συγκεντρωμένη παροχή .

Έχει απομείνει ένα δίκτυο με βρόγχους. Σε κάθε κόμβο υπολογίζεται η συνισταμένη εισόδου και εξόδου, βάσει της εξίσωσης συνέχειας.

Σε κάθε μοντέλο δικτύου πρέπει να ισχύει:

$NP = NL + NJ - NM$ $NP =$ πλήθος κλάδων του δικτύου.

$NJ =$ πλήθος κόμβων.

$NL =$ πλήθος βρόχων.

$NM =$ πλήθος σημείων γνωστού ενεργειακού υψόμετρου (π.χ δεξαμενής).

Ως επίλυση ενός νέου δικτύου νοείται ο υπολογισμός για κάθε κλάδο της παροχής, της διαμέτρου και της ταχύτητας ροής.

Επίλυση μπορεί να γίνει και σε υφιστάμενο δίκτυο για να διαπιστωθούν οι συνθήκες λειτουργίας του. Η διαφορά συνίσταται στο ότι σε αυτή την περίπτωση γνωρίζουμε τη διάμετρο.

Το προβλήματα που αντιμετωπίζονται σε ένα νέο δίκτυο ύδρευσης είναι τα παρακάτω:

- Δεν είναι γνωστές οι παροχές στους κλάδους και
- Οι εξισώσεις που περιγράφουν το σύστημα δεν είναι γραμμικές.

Γι' αυτό χρησιμοποιούνται επαναληπτικές μέθοδοι επίλυσης.

Οι μέθοδοι επίλυσης δικτύων ύδρευσης αναφέρονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα:

Μέθοδοι Επίλυσης	Q - Εξισώσεις	H - Εξισώσεις
CROSS	1936	1940
NEWTON - RAMPSON	1970	1967
ΓΡΑΜΜΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	1972	1975
	1988	

Όταν επιλύσουμε με Q εξισώσεις υποθέτουμε ότι στους κλάδους του δικτύου περνάνε συγκεκριμένες παροχές και θεωρώντας ότι σε κλειστό βρόγχο το άθροισμα των απωλειών ενέργειας είναι μηδενικό, υπολογίζω τις πραγματικές παροχές.

Αντίθετα στην περίπτωση των Η εξισώσεων υποθέτουμε ενεργειακά υψόμετρα για τους κόμβους του δικτύου και θεωρώντας ότι ισχύει η αρχή της συνέχειας σε κάθε κόμβο, επιλύω το δίκτυο.



Σύγκριση Q - Η εξισώσεων: Στην περίπτωση των Q εξισώσεων έχουμε γρηγορότερη σύγκλιση. Αντίθετα οι Η εξισώσεις εφαρμόζονται όταν έχουμε πολλά σημεία γνωστού ενεργειακού υψόμετρου.

Η μέθοδος **Cross** είναι η πρώτη μέθοδος για επίλυση δικτύων, ενώ οι υπόλοιπες (Newton - Rampson, γραμμικοποίηση) εφαρμόστηκαν μετά την ευρεία χρήση των υπολογιστών. Ουσιαστικά είναι μέθοδοι που αναπτύχθηκαν για χρησιμοποίηση από υπολογιστές, εκμεταλλεζόμενοι την ταχύτητα των μαθηματικών υπολογισμών που παρέχουν.

3.5 Ανάλυση δικτύων - Κατασκευή μοντέλων

Σήμερα η τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει εξελιχθεί σε τέτοιο βαθμό, ώστε να μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί σαν εργαλείο για την προσέγγιση ενός υπάρχοντος δικτύου ύδρευσης και την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του.

Οι κυριότεροι λόγοι για τους οποίους κατασκευάζονται μαθηματικά μοντέλα δικτύων είναι οι παρακάτω:

- Κατανόηση της συμπεριφοράς του δικτύου (φορά ροής στους αγωγούς, τροφοδοσία των τμημάτων του κ.τ.λ.).
- Εντοπισμός τυχόν ανωμαλιών στα τμήματα του δικτύου και διόρθωσή τους (π.χ. κλειστές βάνες).
- Δυνατότητα για μελλοντική επέκταση του δικτύου, ώστε να ικανοποιεί αύξηση παροχής, μέσα από ελεγχόμενες διαδικασίες.
- Μείωση κόστους λειτουργίας (κυρίως από μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας αντλιοστασίων).
- Δυνατότητες πρόβλεψης της ανταπόκρισης του δικτύου, σε εναλλακτικά σενάρια υδροδότησης.
- Εντοπισμός των προβλημάτων υδροδότησης σε τμήματα του δικτύου και δυνατότητα επίλυσής τους.

Ιδιαίτερα σημαντικό τμήμα για τη σωστή ανταπόκριση του μοντέλου στην πραγματικότητα, είναι η σωστή συγκέντρωση των αρχικών στοιχείων. Τέτοια στοιχεία είναι πιθανόν να είναι τα παρακάτω:

- Σχέδια (πινακίδες) με τους αγωγούς του δικτύου πάνω σε πολεοδομικό υπόβαθρο, και πληροφορίες για το υλικό διαμερους, βάνες κ.τ.λ.
- Στοιχεία για τις δεξαμενές (υψόμετρο, χωρητικότητα, ανώτατη, κατώτατη στάθμη).
- Στοιχεία για τα αντλιοστάσια (αριθμός αντλιών, ισχύς, καμπύλες Q - H).
- Στοιχεία κατανάλωσης από οικιακούς μετρητές.
- Πληροφορίες για το σημερινό τρόπο λειτουργίας του δικτύου.
- Στοιχεία διαρροών.

Τυχόν ανωμαλίες στις παραπάνω πληροφορίες θα πρέπει να διορθωθούν πριν τα στοιχεία χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο. Η διόρθωση μπορεί να γίνει σε συνεργασία με τους ανθρώπους που διαχειρίζονται το δίκτυο, αλλά και με επιτόπου επισκέψεις όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο. Επιπλέον απαιτούνται στοιχεία τα οποία προκύπτουν μόνο από απευθείας μετρήσεις στο δίκτυο.

Κατά την κατασκευή του μοντέλου πρέπει να καθοριστούν οι αγωγοί που το αποτελούν, η τραχύτητά τους, επιμέρους στοιχεία για τις δεξαμενές και τα αντλιοστάσια, όπως παραπάνω.

Συνήθως αγνοείται το τριτεύον δίκτυο διανομής, ως μικρής σημασίας. Σε ειδικές περιπτώσεις μπορούμε να έχουμε και αγωγούς μικρής διαμέτρου αν αυτοί έχουν ιδιαίτερη σημασία, από υδραυλικής άποψης, στο σύνολο. Η τραχύτητα των αγωγών εκτιμάται από σχετικούς πίνακες ανάλογα με το υλικό. Ιδιαίτερη μέριμνα θα πρέπει να δοθεί, ώστε να γίνουν οι σχετικές προσαυξήσεις, λόγω γήρανσης των αγωγών με βάση κάποια από τις γνωστές μεθόδους.

Βασικό επίσης στοιχείο για την κατασκευή του μοντέλου, είναι ο υπολογισμός της απαιτούμενης παροχής. Οι υπολογισμοί γίνονται βάσει των στοιχείων που αναφέρονται στην αρχή του παρόντος κεφαλαίου. Στην περίπτωση ενός ήδη υπάρχοντος δικτύου στην παροχή που υπολογίσαμε στα παραπάνω, θα πρέπει να προσθέσουμε και αυτή που ονομάζεται μη καταμετρούμενη παροχή (unregistered water).

Για να αντιληφθούμε τη σημασία αυτού του μεγέθους, ας λάβουμε υπ' όψιν ότι σε παγκόσμια πλαίσια είναι το 20% - 30% της συνολικής διατιθέμενης παροχής. Όσον αφορά τα ελληνικά δεδομένα κυμαίνεται από 20% - 50% της

διατιθέμενης παροχής. Η μη καταμετρούμενη παροχή οφείλεται συνήθως στα σφάλματα των υδρομετρητών, στις διαρροές (το μεγαλύτερο μέρος) στις συνδέσεις, παροχή πυρκαϊάς κ.α. Στα παρακάτω θα αναφερθούμε ιδιαίτερα στις παραμέτρους της μη καταμετρούμενης παροχής.

Αφού συλλεκτούν τα στοιχεία και κατασκευαστεί το μοντέλο, θα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι πραγματικά παριστάνει το υπόψιν δίκτυο. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται "καλιμπράρισμα" του μοντέλου και γίνεται με μετρήσεις επί τόπου στο δίκτυο.

Αυτές είναι κυρίως οι παρακάτω:

- Μετρήσεις παροχής στις επιμέρους ζώνες του δικτύου
- Μετρήσεις πίεσης σε επιλεγμένους εκ των προτέρω κόμβους
- Παρακολούθηση και καταγραφή των μεταβολών στις στάθμες των δεξαμενών
- Ο αριθμός των μετρήσεων εξαρτάται από το μέγεθος του δικτύου.

Τα αποτελέσματα από την επίλυση του μοντέλου θα πρέπει να συμφωνούν με τα μετρηθέντα ή να έχουν αποκλίσεις μέσα σε καθορισμένα όρια. Διαφορές είναι δυνατό να προκύψουν, είτε από λάθος υποθέσεις στη φάση κατασκευής του μοντέλου, είτε από διαφορά των στοιχείων του μοντέλου και του πραγματικού δικτύου. Τα μοντέλα είναι δυνατό να καλιμπραριστούν σε περισσότερες από μία καταστάσεις του δικτύου (δυναμικό καλιμπράρισμα).

4. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΔΙΑΡΡΟΩΝ

4.1.1 Αιτίες των διαρροών

Παρατίθενται οι σημαντικότερες αιτίες των διαρροών κατά σειρά σοβαρότητας. Η σειρά αυτή είναι πιθανό να διαφοροποιείται. Είναι σημαντικό κάθε δίκτυο να εξετάζεται ξεχωριστά.

Τα μεγαλύτερα ποσοστά διαρροών παρατηρούνται στις συνδέσεις καταναλωτών, βάνες, διακλαδώσεις αγωγών, από βαλβίδες αντεπιστροφής, γενικώς από συσκευές ρυθμίσεως της ροής στο δίκτυο, ξεχασμένες βαλβίδες εκκένωσης ανοικτές κ.λ.π.

Όπως δείχνει η μέχρι τώρα πρακτική δεν έχουμε σημαντικές διαρροές από τους συνδέσμους (Joints) μεταξύ σωληνώσεων. Υπολογίζονται γύρω στο 20% - 25% του συνόλου των διαρροών. Αν ήταν σημαντικό αυτό το ποσοστό θα ήταν πολύ δύσκολος ο περιορισμός τους, αφού θα έπρεπε να ξεθαφτούν και να επισκευαστούν όλοι οι σωλήνες.

Αιτίες κατά μεγάλο ποσοστό είναι οι κακοτεχνίες κατά την κατασκευή του δικτύου, καθώς και η συνήθως άναρχη, χωρίς σχεδιασμό, επέκτασή του.

Σημαντικό αίτιο των διαρροών είναι τα υδραυλικά πλήγματα τα οποία δέχεται το δίκτυο από την άποψη ότι ταλαιπωρούν όλους τους μηχανισμούς που διαρρέουν. Επομένως η αντιπληγματική προστασία είναι σημαντική ακόμα και για τις διαρροές.

Μία από τις αιτίες είναι η γήρανση των σωλήνων. Η λύση είναι η περιοδική αντικατάσταση τμημάτων του δικτύου με βάσει προγραμματισμένο σχεδιασμό.

Σημαντικό γι' αυτό είναι το ότι μόνο αν υπάρχουν εδαφολογικοί παράγοντες (όξινα εδάφη) οι οποίοι προκαλούν εξωτερική διάβρωση στον σωλήνα, η διάβρωση γίνεται από το εσωτερικό προς το εξωτερικό μέρος του σωλήνα. Επομένως η κατάσταση του σωλήνα γίνεται αντιληπτή αφού οξειδωθεί το εξωτερικό του μέρος οπότε αρχίζει η διαρροή.

4.1.2 Συνέπειες των διαρροών

Οι συνέπειες από τις διαρροές είναι ιδιαίτερα σημαντικές όπως φαίνονται στα παρακάτω. Χωρίζονται σε 3 κυρίως κατηγορίες: Οικονομικές, και τεχνικές

στον σχεδιασμό του δικτύου και στον ποιοτικό, όσον αφορά την ποιότητα εξυπηρέτησης που προσφέρεται στους καταναλωτές.

Οικονομικές συνέπειες στο σχεδιασμό μελλοντικών επεκτάσεων του δικτύου (έργα κεφαλής υπερδιαστασιοποιημένα λόγω διαρροών).

Στα ήδη υπάρχοντα έργα κεφαλής συνέπειες οικονομοτεχνικές, αφού αυτά έχουν σχεδιαστεί για την εξυπηρέτηση του δικτύου "χωρίς" (με λιγότερες απ' όσες εμφανίζονται στην πραγματικότητα) απώλειες.

Δεν επηρεάζονται σημαντικά οι κύριοι τροφοδοτικοί αγωγοί (mains) αφού αυτοί σχεδιάζονται με παροχή αιχμής.

Επηρεάζονται οι δευτερεύοντες αγωγοί οι οποίοι δεν έχουν σχεδιαστεί με παροχή αιχμής και κρούνους.

Οι διαρροές αποκτούν ιδιαίτερη σημασία όταν έχουμε έλλειψη νερού ή το κόστος διάθεσης είναι υψηλό. Σε αυτές τις περιπτώσεις συνήθως συμφέρει να γίνει προγραμματισμός επισκευών των διαρροών, αφού το κόστος αυτό είναι τις πιο πολλές φορές χαμηλότερο από το κόστος εξεύρεσης και διάθεσης νερού.

Συνέπειες στην ποιότητα εξυπηρέτησης των καταναλωτών από το δίκτυο:

Το διαφεύγων νερό διαβρώνει το κοκκώδες υλικό γύρω από τους σωλήνες και τελικά προκαλούνται καθιζήσεις.

- Αν καταλήγει στους αγωγούς λυμάτων και υπάρχει εγκατάσταση επεξεργασίας αυξάνεται το φορτίο της (αύξηση κόστους).
- Μία μεγάλη διαρροή μπορεί να προκαλέσει θραύση του σωλήνα και επομένως ένα τμήμα του δικτύου τίθεται εκτός λειτουργίας.

4.2.1 Ανιχνεύοντας τις διαρροές

Η μεθοδολογία της ανίχνευσης των διαρροών όπως αυτή εμφανίζεται από τη διεθνή εμπειρία διαχωρίζεται σε τρία επιμέρους στάδια:

A) Χωρισμός του δικτύου σε υποπεριοχές (ανεξάρτητα συνήθως των πιεζομετρικών ζωνών).

Τα κριτήρια για το διαχωρισμό του δικτύου σε ζώνες είναι τα παρακάτω:

- Να μπορεί "υδραυλικά" να απομονώνεται η κάθε περιοχή από την άλλη.
- Η κάθε περιοχή να τροφοδοτείται από έναν κύριο αγωγό (main), ώστε να μπορούν εύκολα να γίνονται μετρήσεις παροχής - πίεσης στην "κεφαλή" της ζώνης.
- Αν κατά τις μετρήσεις υπάρχει μείωση πιέσεων στη ζώνη, πρέπει να μειωθεί η έκτασή τους, αφού μια σημαντική πτώση πίεσης προκαλεί μείωση της διαρρεόμενης παροχής.
- Τμήματα δικτύου μήκους 6 - 8 Km δεν χρειάζεται να χωριστούν σε ζώνες.
- Κριτήρια ηλικίας, υλικού κατασκευής, συχνότητας διαρροών βοηθούν επίσης στην κατάταξη σε περιοχές.

Σε κάθε υποπεριοχή γίνονται μετρήσεις παροχής (βασίζομαστε κυρίως στις νυκτερινές μετρήσεις), ώστε συγκρίνοντας την παροχή εισροής με την συνολική παροχή που καταναλώνεται, να βρούμε το ποσοστό των διαρροών και να κατατάξουμε, από άποψη παθογένειας σε διαρροές την περιοχή, ώστε να προγραμματίσουμε τα στάδια ανίχνευσης και επισκευών.

Παρατήρηση: Αν μία υποπεριοχή έχει ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά απωλειών, πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα να χωριστεί σε ακόμη μικρότερα τμήματα.

B) Ανίχνευση για διαρροές στις επιμέρους περιοχές και ακριβής προσδιορισμός τους.

Ακολουθούνται ακουστικές μέθοδοι για τον εντοπισμό των διαρροών. Σε γενικές γραμμές η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι η παρακάτω:

Καταρχήν σορώνεται όλο το δίκτυο, αγωγό προς αγωγό με γαιόφωνα (συσκευή που επιτρέπει να ακουστεί ο ήχος του διαφεύγοντος νερού από τον αγωγό προς το έδαφος). Εναλλακτικά αντί για γαιόφωνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες καταγραφής θορύβου (AZ). Οι αισθητήρες αυτοί επιτρέπουν την ακριβή καταγραφή των επιπέδων θορύβου σε κύκλο ακτίνας 300-500m (ανάλογα της μορφής του δικτύου) από το σημείο όπου

έχουν τοποθετηθεί. Μπορεί έτσι η ζώνη να χωριστεί σε περιοχές υψηλότερου και χαμηλότερου θορύβου και στη συνέχεια να γίνει σημειακός εντοπισμός στις πρώτες. Έτσι γίνεται ο αρχικός καθορισμός των αγωγών που "πάσχουν" σε μεγαλύτερο βαθμό, ενώ διαπιστώνονται ταυτόχρονα τα κομμάτια του δικτύου χωρίς πρόβλημα. Επιθεωρούνται ταυτόχρονα και οι συσκευές του δικτύου (βάνες, κρούνοι, εξαεριστές) για να διαπιστωθεί αν έχουμε τοπικές διαρροές. Σε δεύτερο στάδιο για τα τμήματα αυτά που διαπιστώθηκε έντονη παθογένεια εφαρμόζονται ακριβέστερες μέθοδοι προσδιορισμού διαρροών μέσω συσχετιστών (copelators).

Γ) Επισκευή των ήδη εντοπισμένων διαρροών.

Υπάρχουν συγκεκριμένες μεθοδολογίες για επισκευή των διαρροών ανάλογα στο σημείο που εμφανίζονται (κύριοι αγωγοί, συνθέσεις καταναλωτών κ.τ.λ.), που δεν κρίνεται σκόπιμο να παρατεθούν αναλυτικά. Σαν γενικές αρχές όμως μπορούμε να κρατήσουμε τα παρακάτω:

- Είναι προτιμότερο να αλλάζεται ένα τμήμα αγωγού, παρά να γίνονται επι τόπου επισκευές σε μικρό μήκος του.
- Διαρροές σε οικιακές παροχές διορθώνονται σωστότερα με ανακατασκευή της παροχής.

Είναι σημαντικό να κρατούνται αναλυτικά στοιχεία επισκευών.

4.2.2 Σφάλματα οικιακών μετρητών

Στον ελληνικό χώρο σήμερα χρησιμοποιούνται ταχυμετρικοί μετρητές. Σε παλαιότερα δίκτυα όμως είναι συχνή η εμφάνιση και ογκομετρικών μετρητών. Οι σχετικές προδιαγραφές περιγράφονται (ανεξάρτητα ταχυμετρικών ή ογκομετρικών μετρητών) από την οδηγία 75/33 της ΕΟΚ την οποία έχει υιοθετήσει η Ελληνική νομοθεσία.

Η λειτουργία των ταχυμετρικών υδρομέτρων γίνεται ως εξής. Το νερό κατά τη διέλευσή του από το μετρητή, θέτει σε περιστροφική κίνηση ένα στρόβιλο. Η διερχόμενη παροχή μετράται σαν συνάρτηση της ταχύτητας περιστροφής του στρόβιλου (κατ' επέκταση της ταχύτητας ροής).

Αντίστοιχα στα ογκομετρικά υδρόμετρα το νερό που διέρχεται μέσα από αυτά πιέζει ένα διάφραγμα και η παροχή μετράται σαν συνάρτηση της πίεσης στο διάφραγμα.

Τα ογκομετρικά υδρόμετρα δεν προτιμώνται για οικιακές καταναλώσεις, διότι δεν είναι ευαίσθητα στις μεγάλες παροχές (μεγαλύτερη ευαισθησία στις

μικρές παροχές). Για το λόγο αυτό έχουν εκτοπιστεί από τους ταχυμετρικούς μετρητές.

Σφάλματα παρουσιάζονται στα οικιακά υδρόμετρα για τους παρακάτω λόγους:

- Λάθος μετρήσεων, λόγω σφάλματος στην κατασκευή του μετρητή (συνήθως της μετρητικής διάταξης).
- Σφάλματα λόγω καθιζήσεων μέσα στο σώμα του μετρητή. Αυτό το φαινόμενο είναι πολύ συχνό, όταν το διακινούμενο νερό έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε άλατα ασβεστίου (σκληρό νερό).

Δεν είναι δυνατό να εντοπιστούν ακριβώς οι μετρητές οι οποίοι παρουσιάζουν σφάλματα, παρά μόνο σαν ποσοστό επί του συνολικού αριθμού μετρητών.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι η παρακάτω:

Επιλέγεται ο αριθμός των μετρητών που θα δοκιμαστούν, ώστε να εντοπιστεί το σφάλμα τους. Η επιλογή αυτή γίνεται στατιστικά από το συνολικό δείγμα των μετρητών, αφού αφαιρεθούν οι μηδενικές καταναλώσεις και οι μεγάλες καταναλώσεις πάνω από συγκεκριμένα όρια. Το μέγεθος του δείγματος εξαρτάται από το συνολικό αριθμό μετρητών, αλλά και από τις δυνατότητες του εργαστηρίου δοκιμής.

Δοκιμές των μετρητών: Οι μετρητές δοκιμάζονται με διαφορετικές παροχές για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (ακριβή στοιχεία δίνονται σύμφωνα με την οδηγία 75/33 της ΕΟΚ) και καταγράφεται το σφάλμα τους. Εφαρμόζονται στατιστικές μέθοδοι για επέκταση των συμπερασμάτων αυτών στον συνολικό αριθμό των υδρομετρητών. Στο τέλος λοιπόν, έχουμε τη λήψη αποφάσεων συνήθως για αντικατάσταση μέρους τους.

4.3 Σωστή συντήρηση των επιμέρους στοιχείων του δικτύου

Βασικό σημείο το οποίο παραμελείται τουλάχιστον για τα ελληνικά δεδομένα είναι το θέμα της σωστής συντήρησης. Ένα δίκτυο δεν μπορεί να παρέχει αξιόπιστες υπηρεσίες, αν τα επιμέρους τμήματά του δε λειτουργούν σωστά. Αντίθετα η ελλιπής συντήρηση έχει ως αποτέλεσμα συνεχείς αστοχίες σε διάφορα επίπεδα του συστήματος και ως συνέπεια η ποιότητα των προσφερόμενων υπηρεσιών να υποβαθμίζεται.

Εξασφαλίζοντας μία σωστή συντήρηση τελικά έχουμε οικονομικό όφελος από τη λειτουργία του δικτύου. Ο φυσικός χρόνος ζωής επιμηκύνεται και άρα οι ανάγκες για ανακατασκευή τμημάτων του δικτύου μειώνονται (εκτός από

την περίπτωση που οι ανακατασκευές γίνονται για να επιτύχουμε αύξηση παροχέτευσης). Είναι λοιπόν απαραίτητο να εφαρμόζεται πρόγραμμα συντήρησης, με απώτερο σκοπό τα παρακάτω:

- Να προληφθούν οι τυχόν βλάβες στο σύστημα εντοπίζοντας τα αδύνατα σημεία του εκ των προτέρω, και επιδιορθώνοντας τα, πριν η επέκταση κάποιας μικρής ζημιάς οδηγήσει σε αστοχίες μεγαλύτερου μεγέθους.
- Να γίνεται προγραμματισμός όσον αφορά τα υλικά των επισκευών. Έτσι πάντα θα υπάρχει επαρκής ποσότητα για να καλυφθούν οι ανάγκες των επισκευών και δε θα εμφανίζεται το φαινόμενο εσπευσμένων αγορών για την άμεση κάλυψη κάποιας ανάγκης.
- Ομαλή κατανομή εργασιών στο προσωπικό διαχείρισης και συντήρησης.
- Τελική μείωση του κόστους συντήρησης μέσα από τη σωστή οργάνωση ενός προγράμματος.

Πρέπει να τονιστεί ότι η αρχική εφαρμογή είναι αρκετά δύσκολη, αφού πρέπει να πειστεί και να συνεργαστεί μία αρκετά μεγάλη ομάδα ανθρώπων (υδραυλικοί και διοικητικό προσωπικό) που έχουν συνηθίσει ένα διαφορετικό τρόπο εργασίας. Αν όμως εφαρμοστεί το πρόγραμμα τα οφέλη και για τους καταναλωτές και για τους ανθρώπους που διαχειρίζονται και επισκευάζουν το δίκτυο είναι πολλαπλά.

4.3.1 Περιοδικές επιθεωρήσεις του δικτύου

α) Αγωγοί: Όπως καταλαβαίνουμε δεν είναι δυνατό να γίνονται επιθεωρήσεις στους αγωγούς, μιας και αυτοί βρίσκονται θαμμένοι στο έδαφος. Η συστηματική αποτύπωση του δικτύου σε χάρτες (είτε σε ψηφιοποιημένα υπόβαθρα μέσω προγράμματος GIS) είναι απαραίτητη για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας και της μορφής του δικτύου. Είναι πολύ σημαντικό οι χάρτες αυτοί να ενημερώνονται συνεχώς για τις τυχόν αλλαγές που προκύπτουν, εξαιτίας επισκευών βελτιώσεων και μικροεπεκτάσεων. Άλλο σημαντικό στοιχείο είναι η τήρηση ενός αρχείου επισκευών του δικτύου. Το αρχείο αυτό τηρείται μόνο με άμεση συνεργασία των συνεργείων επισκευών με το διοικητικό προσωπικό, αφού έχει φυσικά προηγηθεί ενημέρωση για την σκοπιμότητα και τις διαδικασίες του μέτρου (ίσως μέσω σεμιναρίων).

Η αξιοποίηση των δύο αυτών στοιχείων, των χαρτών και του αρχείου επισκευών επιτρέπουν, να διαγνωστεί η παθολογία των τμημάτων του δικτύου και να ληφθούν αποφάσεις για την αντικατάστασή τους.

β) Βαλβίδες - κρουνοί: Για την εξασφάλιση της ορθής λειτουργίας των βαλβίδων και των κρουνών είναι σημαντικό να υπάρχει καλά οργανωμένο πρόγραμμα επιθεώρησης. Περιοδικά θα πρέπει να γίνεται επίσκεψη σε κάθε βαλβίδα και κρουνό, δοκιμασία λειτουργίας και καταγραφή των αποτελεσμάτων. Η συγκέντρωση των στοιχείων αυτών θα αποτελέσει ένα αρχείο πληροφοριών για την κατάσταση των συσκευών ελέγχου, όπου θα κάνει τη λήψη των αποφάσεων απλούστερη και άμεση.

γ) Συνδέσεις καταναλωτών - μετρητές: Η περιοδική επιθεώρηση των τμημάτων αυτών του δικτύου εξασφαλίζεται από τους καταμετρητές. Οι καταμετρητές είναι οι άνθρωποι που περιοδικά (κάθε δίμηνο ή τρίμηνο) καταγράφουν τις ενδείξεις των μετρητών για την έκδοση του λογαριασμού. Είναι σχετικά απλό να εξασφαλίσουμε τον έλεγχο των οικιακών συνδέσεων και μετρητών με την παράλληλη καταγραφή των αποτελεσμάτων. Όμοίως τα στοιχεία αυτά θα συγκεντρώνονται σε ξεχωριστό αρχείο καταναλωτών για παραπέρα επεξεργασία.

4.3.2 Έλεγχοι πίεσης και παροχής σε επιλεγμένα σημεία του δικτύου

Είναι σημαντικό να διαπιστώνεται ότι η ροή στο δίκτυο έχει τα χαρακτηριστικά που αναμένονται (χαρακτηριστικά γνωστά από την επίλυση του δικτύου) σε καθορισμένα σημεία του.

Οι έλεγχοι πίεσης γίνονται με στιγμιαίες μετρήσεις πίεσης (με μανόμετρο), σε σημεία του δικτύου όπου είναι δυνατό να γίνει κάτι τέτοιο (π.χ. σε κρουνοί). Παρόλα αυτά είναι σημαντικό να έχουμε σε κατάλληλα εκλεγμένα σημεία, μόνιμα καταγραφικά πίεσης, ώστε να εκτιμούμε την ορθότητα του τρόπου λειτουργίας, ιδιαίτερα τις ημέρες αυξημένης κατανάλωσης.

Οι μετρήσεις παροχής είναι σημαντικές για να διαπιστωθεί η επάρκεια τροφοδοσίας του συστήματος ιδιαίτερα στις αιχμές. Για να γίνουν τέτοιοι έλεγχοι είναι συνήθως απαραίτητη η εγκατάσταση μόνιμων καταγραφικών παροχής σε σημεία κατάλληλα εκλεγμένα.

4.3.3 Ανίχνευση διαρροών

Η ανίχνευση γίνεται με τις μεθόδους που προσδιορίσαμε στα παραπάνω. Σε αυτό στο στάδιο δεν είναι επιθυμητός ο επακριβής καθορισμός διαρροών σε σωλήνες αλλά ο καθορισμός των περιοχών του δικτύου που πάσχουν περισσότερο και η κατάστρωση ενός προγράμματος για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

4.3.4 Προμήθεια υλικών επισκευών

Η προμήθεια των υλικών επισκευών θα πρέπει να γίνεται έχοντας υπόψιν τις παρακάτω αρχές:

- Οι επισκευές να γίνονται με τη μικρότερη δυνατή ενόχληση (διακοπή παροχής) στους καταναλωτές. Άρα τα υλικά θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μπορούν να γίνονται γρήγορες επισκευές, χωρίς τη διακοπή αν είναι δυνατό της παροχής.
- Προμήθεια υλικών ανάλογα με το μέγεθος του δικτύου.
- Χρησιμοποίηση των ίδιων εργαλείων τόσο για επισκευές όσο και για συντήρηση του δικτύου.

4.4 Λειτουργία βάσει προγράμματος

Θεωρητικά κάθε δίκτυο ύδρευσης πρέπει να λειτουργεί βάσει συγκεκριμένου προγράμματος, εκ των προτέρω καθορισμένου. Έτσι μόνο μπορεί να εξασφαλιστεί ο βέλτιστος βαθμός απόδοσης της συνολικής επένδυσης (δεξαμενές αντλιοστάσια αγωγοί).

Το πρόγραμμα αυτό πρέπει να διαφοροποιείται για τους χειμερινούς μήνες (μικρότερη κατανάλωση) και για τους θερινούς (μεγαλύτερη κατανάλωση). Η εφαρμογή ενός τέτοιου προγράμματος μπορεί να γίνεται, είτε χειροκίνητα, είτε αυτόματα. Επιπλέον με τη σημερινή εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών μπορούμε να επιτύχουμε δυναμικά προγράμματα διαχείρισης.

Σε αυτή την περίπτωση μιλάμε για εγκαταστάσεις αυτοματισμού. Για τη σύνταξη ενός τέτοιου προγράμματος λειτουργίας απαιτούνται τα παρακάτω στοιχεία:

- Ακριβής γνώση της μορφής του δικτύου, τόσο από άποψη αγωγών και συσκευών ελέγχου, όσο και φοράς ροής, αλλά και δυνατοτήτων παροχέυτευσης. Αν εφαρμόζεται καθεστώς συντήρησης σαν αυτό που περιγράψαμε παραπάνω είναι πολύ εύκολο να εξασφαλιστούν τα στοιχεία αυτά.
- Απαιτήσεις των καταναλωτών σε πίεση και παροχή για όλα τα τμήματα του δικτύου και σύγκρισή τους με αυτές που σήμερα επικρατούν στα ίδια σημεία. Οι απαιτούμενες πιέσεις και παροχές προκύπτουν από τη θεωρητική επίλυση, ενώ τα πραγματικά δεδομένα από επιτόπου μετρήσεις.

- Ορισμένες γενικές αρχές λειτουργίας. Για παράδειγμα αν η έναρξη του κύκλου υδροδότησης γίνεται πάντα με τις δεξαμενές αναρρύθμισης στην ανώτατη στάθμη.

Με την επεξεργασία αυτών των στοιχείων είναι δυνατό να προκύψει ένα πρόγραμμα λειτουργίας που να ανταποκρίνεται πλήρως στις απαιτήσεις του συγκεκριμένου δικτύου και για διάφορες απαιτήσεις. Η σωστή τήρηση του θα έχει τα βέλτιστα αποτελέσματα τόσο από άποψη προσφοράς υπηρεσιών στους καταναλωτές, όσο και από οικονομική άποψη για τους διαχειριστές του δικτύου.

5. ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΔΡΕΥΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

Στα παρακάτω περιγράφονται οι ιδιαίτερες συνθήκες στα ελληνικά δίκτυα ύδρευσης. Σκόπιμα αμελούνται οι περιγραφές των δικτύων των μεγάλων αστικών κέντρων (Αθήνας - Θεσσαλονίκης), αφού εξαιτίας του μεγέθους του εξυπηρετούμενου πληθυσμού, δεν είναι αντιπροσωπευτικά των περισσότερων πόλεων. Αρχικά, περιγράφεται το καθεστώς σύμφωνα με το οποίο οργανώνονται και διοικούνται τα δίκτυα. Ακολουθεί περιγραφή τυπικών εξωτερικών υδραγωγείων και εσωτερικών δικτύων. Στη συνέχεια παραθέτουμε στοιχεία σχετικά με την ποιότητα του διακινούμενου νερού, ενώ η παρουσίαση ολοκληρώνεται με στοιχεία σχετικά με τη συντήρηση, την επισκευή και τη λειτουργία των δικτύων. Τελειώνοντας, καταγράφονται τα σοβαρότερα προβλήματα που παρατηρούνται στα ελληνικά δίκτυα.

5.1 Καθεστώς λειτουργίας και διαχείρισης των δικτύων ύδρευσης

Στην Αθήνα την ευθύνη ύδρευσης έχει σήμερα η ΕΥΔΑΠ (Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας). Η ΕΥΔΑΠ προήλθε από συγχώνευση της ΕΕΥ και της ΟΑΠ μετά από συμφωνία με το νόμο 1068 του 1980. Στην Θεσσαλονίκη την ευθύνη έχει ο ΟΥΘ (Οργανισμός Ύδρευσης Θεσσαλονίκης) που ιδρύθηκε με το νόμο 787 του 1970.

Πέραν των μεγάλων αυτών αστικών κέντρων η ευθύνη για την ύδρευση και αποχέτευση για πόλεις άνω των 10.000 κατοίκων ανήκει στις κατά τόπους ΔΕΥΑ (Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης). Οι ΔΕΥΑ ιδρύθηκαν βάσει του νόμου 1069 του 1980. Έτσι η κάθε δημοτική αρχή είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση και συντήρηση (επισκευές - επεκτάσεις) του δικτύου ύδρευσης και αποχέτευσης της περιοχής αρμοδιότητάς της. Εξασφαλίζεται κατά αυτόν τον τρόπο, μια σχετική αυτονομία υπό την εποπτεία φυσικά της Νομαρχίας και των υπουργείων Εσωτερικών και ΠΕΧΩΔΕ.

Μέχρι το 1990 είχαν συσταθεί 48 ΔΕΥΑ που εξυπηρετούν 1.900.000 κατοίκους και 220 σύνδεσμοι που εξυπηρετούν 1.500.000 κατοίκους. Παράλληλα η ΕΥΔΑΠ εξυπηρετεί 3.500.000 κατοίκους της μείζονος περιοχής πρωτεύουσας, ενώ ο ΟΥΘ 900.000 της μείζονος περιοχής Θεσσαλονίκης. Οι παραπάνω φορείς συνολικά ανήκουν σε 80% περίπου του πληθυσμού της χώρας.

5.2 Τυπικά εξωτερικά υδραγωγεία

Σκόπιμα παραλείπουμε να αναφέρουμε τη μορφή του εξωτερικού υδραγωγείου για τις πόλεις της Αθήνας και Θεσσαλονίκης, αφού εξαιτίας του μεγάλου αριθμού των καταναλωτών, τα έργα είναι και ανάλογης κλίμακας και δεν αντιστοιχούν στη μέση ελληνική πόλη.

Στις περισσότερες πόλεις η τροφοδοσία εξασφαλίζεται μέσω πηγών ή γεωτρήσεων ή και συνδυασμό των δύο. Σε μεμονωμένες περιπτώσεις έχουμε υδροληψία από κάποιο ποτάμι (π.χ. Ξάνθη - Κόσσιθος, Λαμία - Γοργοπόταμος) ή από τεχνητή λίμνη φράγματος (π.χ. Καρδίτσα - λίμνη φράγματος Μέγδοβα).

Στην περίπτωση που η τροφοδοσία γίνεται από πηγές, το νερό έρχεται μέσω βαρύτητας αφού οι πηγές βρίσκονται συνήθως σε μεγαλύτερα υψόμετρα από την πόλη π.χ. Βόλος πηγές Κουκουράβας, Καλιακούδας. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου το νερό φτάνει από τις πηγές στη δεξαμενή υδροληψίας, μέσω καταθλιπτικών αγωγών, εξαιτίας της μορφολογίας του εδάφους (π.χ. Ναύπλιο - πηγές Μύλων - Λέρνης, όπου οι πηγές και η πόλη βρίσκονται στο ίδιο υψόμετρο).

Για την παροχέτευση αυτών των ποσοτήτων νερού χρησιμοποιούνται αποκλειστικά αγωγοί υπό πίεση, αφού δεν είναι τόσο μεγάλες παροχές ώστε να χρησιμοποιηθούν ανοικτοί αγωγοί. Το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο υλικό είναι ο χάλυβας. Σε νεότερα υδραγωγεία συναντώνται και αγωγοί PVC. Αντίθετα όταν έχουμε γεωτρήσεις η παροχέτευση γίνεται με καταθλιπτικούς αγωγούς. Οι πομόνες από κάθε γεώτρηση καταθλίβουν το νερό σε κοινό αγωγό που καταλήγει στη δεξαμενή αναρρύθμισης. Το υλικό που χρησιμοποιείται αποκλειστικά είναι ο χάλυβας.

Οι δεξαμενές κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα. Έχουν συνήθως μία εισαγωγή η οποία βρίσκεται στο άνω μέρος της και με περισσότερες εξαγωγές στο κάτω μέρος. Στην κατώτατη στάθμη βρίσκεται η διάταξη εκκένωσης. Στον αγωγό εκκένωσης (κατάντι της βάνας) συνδέεται η υπερχείλιση για την ανώτατη επιθυμητή στάθμη ύδατος. Ανάλογα του μεγέθους τους έχουν έναν ή περισσότερους θαλάμους, που ο καθένας φέρει την παραπάνω διάταξη αγωγών.

Η τοποθέτηση του αγωγού εισαγωγής στο άνω μέρος της δεξαμενής, δεν επιτρέπει τη δυναμική χρησιμοποίηση της δεξαμενής. Αντίθετα επιβάλλει μία υποχρεωτική καταστροφή ενέργειας του νερού κατά 3-4m (όσο το ύψος πτώσης του νερού στο εσωτερικό της δεξαμενής).

5.3 Τυπικά εσωτερικά δίκτυα

Η συνήθης πρακτική που ακολουθείται για το σχεδιασμό των εσωτερικών δικτύων στον ελληνικό χώρο είναι η παρακάτω:

Αρχικά σχεδιάζεται ένα πρώτο τμήμα του σημερινού δικτύου το οποίο είναι απαραίτητο για την ύδρευση της πόλης στην πρωταρχική της μορφή. Το δίκτυο αυτό σχεδιάζεται συνήθως ακολουθώντας όλα τα κριτήρια που προαναφέραμε. Δομείται σε βρόχους με περιορισμένα ακτινικά τμήματα και με επάρκεια αγωγών κατανομής και συσκευών ελέγχου.

Εξαιτίας όμως του έντονου φαινομένου αστυφιλίας που παρατηρείται σε όλο τον ελληνικό χώρο, οι πόλεις αναπτύσσονται με έντονους ρυθμούς σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Η ανάπτυξη αυτή είναι άναρχη και σπάνια ακολουθούνται συνολικά πολεοδομικά σχέδια επεκτάσεων. Προκύπτουν κατά συνέπεια πιεστικές ανάγκες υδροδότησης των νέων τμημάτων του πολεοδομικού συγκροτήματος χωρίς όμως να γίνεται συνολικός σχεδιασμός της μορφής της επέκτασης σε σχέση με το υφιστάμενο δίκτυο. Μικρότερης κλίμακας επεκτάσεις γίνονται, χωρίς κανενός είδους μελέτη βασιζόμενη στην εμπειρία αυτών που διαχειρίζονται το δίκτυο.

Με το πέρασμα των ετών από το δίκτυο ύδρευσης της πόλης εξαρτώνται και περιφερειακοί (συνήθως παραθεριστικοί) οικισμοί. Η διασύνδεση αυτή γίνεται μετά από αίτηση των αρχών (πρόεδρος κοινότητας, κοινοτικό συμβούλιο) του οικισμού και αποσκοπούν στην καλύτερη εξυπηρέτηση αναθέτοντας την τροφοδοσία και τη διαχείριση του τοπικού δικτύου ύδρευσης στην κατά τόπους ΔΕΥΑ. Οι ανάγκες τροφοδοσίας των περιφερειακών αυτών οικισμών καλύπτονται με κατασκευή ανεξάρτητων έργων μεταφοράς νερού από το κυρίως δίκτυο της ΔΕΥΑ, χωρίς όμως μέριμνα για ένταξη των έργων αυτών στο συνολικό μηχανισμό λειτουργίας του δικτύου.

Ως γενικό συμπέρασμα μπορούμε να παραθέσουμε το γεγονός ότι οι επιμέρους ανάγκες καλύπτονται αποσπασματικά με κατασκευή νέων έργων τροφοδοσίας από το αρχικό δίκτυο χωρίς μέριμνα συνολικού σχεδιασμού. Επίσης είναι πολύ σπάνιο το φαινόμενο, όπου ο σχεδιασμός ενός δικτύου περιλαμβάνει και μελλοντικές επεκτάσεις τέτοιες, ώστε να μη χρειαστεί επανασχεδιασμός μέσα στον ωφέλιμο χρόνο ζωής του έργου.

Στα παλαιότερα δίκτυα κυρίαρχο υλικό κατασκευής είναι οι αμιαντοστιμεντοσωλήνες και χυτοσιδηροί αγωγοί σε επίπεδο πρωτεύοντος και δευτερεύοντος δικτύου. Στα νεότερα δίκτυα χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σχεδόν αγωγοί από PVC. Αγωγοί από πολυαιθυλένιο σπάνια συναντώνται σε υφιστάμενα έργα. Σε νέα δίκτυα οι οικιακές παροχές κατασκευάζονται από πολυαιθυλένιο. Οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες

διάμετροι (για πόλεις με πληθυσμό μέχρι 150.000 κατοίκους) είναι: Φ400, Φ300, Φ250, Φ200, Φ150, Φ125, Φ100, Φ80, Φ60.

Οι τριτεύοντες αγωγοί, στα υφιστάμενα δίκτυα είναι σχεδόν αποκλειστικά χαλυβδοσωλήνες 1" - 2,5". Σπανιότερα συναντώνται σαν αγωγοί διανομής, οι χυτοσιδηροί σωλήνες. Ο αγωγός διανομής είναι σε κάθε δρόμο μονός. Διέρχεται δηλαδή το ένα από τα δύο πεζοδρόμια του δρόμου, εκτός από τις περιπτώσεις σημαντικών οδών πυκνής κυκλοφορίας όπου έχουμε διπλό αγωγό.

Οι συνδέσεις των καταναλωτών κατασκευάζονται με εγκάρσιους κλάδους από τον οικιακό μετρητή προς το τριτεύον αγωγό διανομής. Η λήψη από τον αγωγό διανομής γίνεται με την παρεμβολή ζωστήρα (σέλλας). Ζωστήρα ονομάζουμε το εξάρτημα εκείνο που περιβάλλει στεγανά τον αγωγό διανομής και επιτρέπει την πραγματοποίηση υδροληψίας από αυτόν προς τους καταναλωτές. Η στεγανότητα της σύνδεσης επιτυγχάνεται με την παρεμβολή ελαστικού δακτυλίου μεταξύ του ζωστήρα και του αγωγού. Ο κλάδος υδροληψίας είναι συνήθως χάλκινος ή χυτοσίδηρος γαλβανιζέ 1/2" (σπάνια 3/4").

Οι οικιακοί μετρητές (στην πλειοψηφία τους ταχυμετρικοί) εγκαθίστανται μέσα σε φρεάτια στο πεζοδρόμιο (και στο υψόμετρο του δρόμου) μπροστά από την ιδιοκτησία. Τα φρεάτια φέρουν ελαφρά χυτοσιδηρά καπάκια.

Οι δικλείδες που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ροής στα επιμέρους τμήματα του δικτύου είναι συρταρωτού τύπου. Βρίσκονται, στα περισσότερα δίκτυα, θαμμένες στο έδαφος και χειρίζονται με τον τρόπο που έχουμε ήδη αναφέρει. Λιγότερο συχνά συναντάται το φαινόμενο οι δικλείδες να βρίσκονται μέσα σε φρεάτια, (βαννοφρεάτια) στις διασταυρώσεις των οδών, κάτω από τη φυσική στάθμη του δρόμου. Στις περιπτώσεις αυτές και ιδιαίτερα αν ο αγωγός είναι μεγάλης διαμέτρου και οι επικρατούμενες πιέσεις είναι υψηλές, προκύπτουν θέματα σωστής αγκύρωσης των βανών στα τοιχώματα του φρεατίου.

Η χρήση δικλείδων τύπου πεταλούδας (butterfly valves) είναι μάλλον σπάνια και συναντάται μεμονωμένα σε εξόδους από δεξαμενές ή σε ειδικές περιπτώσεις. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού στις μικρές διαμέτρους που χρησιμοποιούνται δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα η χρήση τέτοιων δικλείδων.

Η χρήση υδραυλικών βαλβίδων περιορισμού πίεσης (PRV) δεν είναι συχνή και όπου αυτές χρησιμοποιούνται είναι ξεπερασμένες τεχνολογικά. Οι επιμέρους ανάγκες για περιορισμό πίεσης καλύπτονται από τον στραγγαλισμό της βάνας τροφοδοσίας (τροφοδοσία με "στροφές").

5.4 Ποιότητα και ποσότητα νερού ύδρευσης

Όπως προκύπτει από το συναπτόμενο πίνακα ανάλογα με το νόμο έχουμε κατάταξη από άποψη ποιότητας του παρεχόμενου μίγματος στο πολεοδομικό συγκρότημα. Μια δεύτερη κατάταξη γίνεται σύμφωνα με τα επίπεδα εξυπηρέτησης.

Τα στοιχεία αυτά είναι παλιά (1981) αφορούσαν δε το πενταετές πρόγραμμα ανάπτυξης 1988-1992. Μέχρι το 1990 δε είχε γίνει νεότερη μελέτη επί του θέματος από κάποιον αρμόδιο φορέα. Πιθανός λόγος, η ανάγκη απογραφής. Επομένως σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν τα στοιχεία αυτά σαν απεικόνιση της σημερινής πραγματικότητας.

Ο χαρακτηρισμός του νερού σαν καλής, μέτριας ή κακής ποιότητας γίνεται βάσει του αν τα αποτελέσματα των πραγματοποιηθέντων αναλύσεων συγκλίνουν ή αποκλίνουν με αυτά των υγειονομολογικών διατάξεων που εφαρμόζονται. Ανάλογα αν συγκλίνουν χαρακτηρίζεται ως καλής ποιότητας, αν έχουν απόκλιση σε ανεκτά ποσοστά ως μέτριας, ενώ αν αποκλίνουν ως κακής ποιότητας. Ως καλή ποιότητα θεωρήθηκε αυτή που περιλαμβάνεται μέσα στα όρια που καθόριζε η υγειονομική διάταξη Γ30λ/76116-3-68 για το πόσιμο νερό.

Ο χαρακτηρισμός της ποιότητας εξυπηρέτησης σε Καλή, Ελλιπή ή Μέτρια έγινε με τα παρακάτω κριτήρια.

Ως καλή θεωρείται η ποιότητα εξυπηρέτησης όπου η διανομή γίνεται συνεχώς χωρίς διακοπές. Επίσης σε όλες τις ώρες της ημέρας υπάρχει επάρκεια πιέσεων (αγνοείται το αν εμφανίζονται υπερπίεσεις).

Ως κακή όταν έχουμε διακοπές στην τροφοδοσία μέσα στη διάρκεια του 24ωρου, η πίεση δεν είναι επαρκής και το εσωτερικό δίκτυο παρουσιάζει υψηλά ποσοστά απωλειών (άνω του 40%).

Σε κάθε άλλη περίπτωση η ποιότητα της εξυπηρέτησης θεωρείται ως ενδιάμεση.

Θεωρείται σκόπιμο να αναφέρουμε τις αιτίες ποιοτικής υποβάθμισης του νερού προερχόμενου από τις γεωτρήσεις και πηγές. Αντίθετα δε θα πρέπει να ασχοληθούμε με τα νερά ταμιευτηρίων ή ποταμών αφού οι περιπτώσεις υδροληψίας είναι περιορισμένες.

Η ποιότητα των νερών από τις γεωτρήσεις υποβαθμίζεται εξαιτίας της υπεράντλησης. Λόγω των άναρχων επεκτάσεων του δικτύου οι απαιτούμενες

ποσότητες νερού είναι δυσανάλογα περισσότερες από αυτές που μπορούν να προσφερθούν από τις γεωτρήσεις. Αυτό αντιμετωπίζεται εν μέρει με όρυξη νέων αλλά κυρίως με εντατικοποίηση της χρήσης των ήδη υπαρχόντων. Ο αριθμός των γεωτρήσεων αυξάνεται επίσης λόγω αυτών που φτιάχνονται για γεωργική χρήση. Οι νομικές διατάξεις που υπάρχουν πάνω στον αριθμό και τις αποστάσεις των γεωτρήσεων για συγκεκριμένες χρήσεις δεν εφαρμόζονται. Γενικότερα υπάρχει άναρχο καθεστώς γεωτρήσεων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την έντονη ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα. Η έντονη ταπείνωση έχει ως συνέπεια το νερό που παίρνουμε να έχει υψηλές συγκεντρώσεις χλωριούχων και καταλήγει να γίνει ακατάλληλο για ύδρευση αλλά και άρδευση.

Πρέπει να τονιστεί ότι αν συμβεί κάτι τέτοιο σε μία γεώτρηση αυτή δεν αχρηστεύεται για πάντα όπως ευρέως υποστηρίζεται. Αν δε χρησιμοποιηθεί για ορισμένο χρόνο που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα, τότε επανέρχεται η στάθμη και διορθώνονται τα προβλήματα ποιότητας. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να παρακολουθούνται οι στάθμες των γεωτρήσεων και να λαμβάνονται αποφάσεις προσωρινής διακοπής αν παρατηρηθούν έντονες βυθίσεις του υδροφόρου ορίζοντα.

Άλλες περιπτώσεις υποβάθμισης νερού των γεωτρήσεων προέρχονται από μόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα. Δύο είναι οι κύριοι παράγοντες υποβάθμισης του υδροφόρου ορίζοντα, τουλάχιστον για την Ελλάδα με την περιορισμένη βιομηχανία (μικρές ποσότητες τοξικών, βαριών μετάλλων).

Ο πρώτος είναι η είσοδος νιτρικών αλάτων εξαιτίας υπέρμετρης λίπανσης. Αυτό είναι δυστυχώς φαινόμενο το οποίο συναντάται αρκετά συχνά. Οφείλεται στην άγνοια των αγροτών περί των επαρκών ποσοτήτων φυτοφαρμάκων για κάθε φυτό. Η μόνη λύση αν εμφανιστούν τέτοια προβλήματα είναι η εγκατάλειψη της γεώτρησης αφού ο φυσικός μηχανισμός αυτοκαθαρισμού του υδροφόρου ορίζοντα λειτουργεί σε ελάχιστο χρονικό ορίζοντα 5 ετών.

Ο δεύτερος είναι η μόλυνση εξαιτίας διάθεσης λυμάτων στο υπέδαφος μέσω σηπτικών βόθρων φαινόμενο συνηθισμένο σε αρκετές ελληνικές πόλεις, ελλείψη αποχετευτικού δικτύου. Η υποβάθμιση εντοπίζεται από την παρουσία νιτροδών αλάτων στο νερό της γεώτρησης και σε αυτή την περίπτωση η μόνη λύση είναι η εγκατάλειψη της γεώτρησης.

Όσον αφορά τις πηγές συνήθως η ποιότητα του νερού που παίρνουμε είναι πολύ καλή ανεξάρτητα της παροχής τροφοδοσίας. Μειονέκτημα των πηγών είναι οι μικρότερες παροχές τους καλοκαιρινούς μήνες (η υδροληψία από πηγή σχεδιάζεται βάσει της ελάχιστης καλοκαιρινής παροχής). Παρ' όλα αυτά είναι δυνατό να παρουσιαστεί υποβάθμιση στο νερό από άποψη διαφοροποίησης χρώματος, αύξηση διαλυμένων στερεών που συνήθως δεν

ενέχει κίνδυνο για την υγεία των καταναλωτών, αλλά υποβαθμίζεται η ποιότητα από άποψη οσμής, γεύσης, χρώματος. Φαινόμενα τέτοια εμφανίζονται όταν τα νερά διέρχονται μέσα από πετρώματα που διαλύονται. Τέτοια πετρώματα είναι αργιλικής συνήθως φύσεως.

Συναντώνται επίσης σε πηγές άμεσης απόκρισης (π.χ. πηγές Μύλων - Λέρνης στο Ναύπλιο). Τέτοιες είναι οι πηγές όπου μετά από πλημμυρικό γεγονός (βροχή) συμβαίνει άμεση και έντονη αύξηση του παροχетеυόμενου νερού. Αν αυτό συνδυάζεται με πετρώματα υποκείμενα σε διάβρωση, τότε μετά από κάθε πλημμυρικό γεγονός το νερό είναι υποβαθμισμένης ποιότητας.

Το τροφοδοτούμενο προς το δίκτυο μίγμα απολυμαίνεται με χλώριο συνήθως στις δεξαμενές αναρρύθμισης. Δεν είναι όμως σπάνιες και οι περιπτώσεις (όχι σε επίπεδο ΔΕΥΑ αλλά τοπικών οικισμών), όπου δε γίνεται απολύμανση του νερού. Έλεγχοι υπολειματικού χλωρίου γίνονται σε καθημερινή βάση σε επιλεγμένα σημεία του δικτύου. Πέρα από αυτό, σπάνια γίνονται έλεγχοι σε διεσπαρμένα και απομακρυσμένα σημεία ώστε να διαπιστωθεί η επάρκεια του χλωρίου.

5.5 Συντήρηση και επισκευή των δικτύων

Τα δίκτυα ύδρευσης στον ελληνικό χώρο τουλάχιστον στην πλειοψηφία τους εμφανίζουν ελλιπή συντήρηση. Ακολουθείται η παράδοση πολιτική ένα έργο να παραμελείται επί σειρά ετών, να αστοχεί τελικά από την παντελή έλλειψη συντήρησης και να διατίθενται πολλαπλάσια κονδύλια για την ανακατασκευή του. Δεν είναι σπάνιο το φαινόμενο, να αστοχεί τμήμα υδραγωγείου πριν συμπληρωθεί καν ο χρόνος σχεδιασμού του έργου.

Η έλλειψη συντήρησης που κατά κανόνα εμφανίζεται στο εσωτερικό δίκτυο, ορισμένες φορές εμφανίζεται και στα έργα κεφαλής (δεξαμενές, αντλιοστάσια). Αυτό είναι ανησυχητικό γεγονός το οποίο αξίζει ειδικής αντιμετώπισης, αφού αστοχία στο εσωτερικό δίκτυο θα είχε ως αποτέλεσμα τμήμα του πληθυσμού να μην τροφοδοτείται με νερό για ορισμένο χρονικό διάστημα. Αντίστοιχα όμως αστοχία έργου κεφαλής (αντλιοστάσιο, εξωτερικό υδραγωγείο δεξαμενή αναρρύθμισης) θα είχε σοβαρότερες συνέπειες αφού το σύνολο του πληθυσμού θα μείνει χωρίς νερό. Επίσης, η βλάβη που τυχόν εμφανιστεί στο εσωτερικό δίκτυο θα είναι περιορισμένης κλίμακας, αντιμετώπισιμη από τα συνεργεία της ΔΕΥΑ. Όμως μία βλάβη στα έργα κεφαλής είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερης κλίμακας και η επισκευή της απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό και εξοπλισμό πέρα από τις δυνατότητες της ΔΕΥΑ.

5.5.1 Έργα κεφαλής

Αντλιοστάσια: Οι αντλίες είναι πλημμελώς συντηρημένες τόσο στον κινητήρα όσο και στο σώμα της αντλίας.

Είναι συχνό το φαινόμενο να έχουμε απώλεια νερού στο σημείο όπου γίνεται η μετάδοση κίνησης στην φτερωτή. Συνήθως δεν υπάρχει εφεδρική αντλία ή αν υπάρχει βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Πολλές φορές ούτε οι κύριες αντλίες δουλεύουν στο σύνολό τους.

Δεν είναι σπάνιο το γεγονός οι αντλίες να βρίσκονται κάτω από τις προδιαγραφές λειτουργίας (λόγω φθοράς) που έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη παροχέυτευση του αντλιοστασίου με αυξημένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι ηλεκτρικοί πίνακες δεν είναι στεγανοί ενώ έχουν καταργηθεί (λόγω βλάβης και μη αποκατάστασής της) οι προβλεπόμενοι από τη μελέτη αυτοματισμοί και συσκευές ασφαλείας, μερικώς ή στο σύνολό τους.

Ο οικίσκος του αντλιοστασίου εμφανίζει κακοτεχνίες από την κατασκευή του. Συνήθως πρόκειται για κατασκευή η οποία φτιάχνεται για να στεγάσει τις αντλίες και τους πίνακες χωρίς αισθητική. Εμφανίζεται ταλαιπωρημένος από τις καιρικές συνθήκες αλλά κυρίως από την υγρασία.

Δεν είναι σπάνιο να λείπουν τα τζάμια από τα παράθυρα ή οι πόρτες να μην ανοίγουν (ή κλείνουν). Είναι συνήθως ρυπαρός, ενώ αποτελεί και σημείο συγκέντρωσης άχρηστων υλικών από προηγούμενες επισκευές.

Είναι σπάνιο να πληρούνται οι σχετικές προδιαγραφές ασφαλείας, ενώ οι δυνατότητες πυρόσβεσης είναι συνήθως ανύπαρκτες.

Αγωγοί (εξωτερικά υδραγωγεία): Όπως προαναφέραμε το υλικό των αγωγών αυτών είναι συνήθως χάλυβας ή νεότερα PVC. Οι χαλύβδινοι αγωγοί δεν έχουν συνήθως ανοδική προστασία εναντίον της οξειδωσης. Μία τέτοια προστασία παρόλο το υψηλό κόστος της (απογορευτικό για εσωτερικό δίκτυο), είναι απαραίτητη για έναν αγωγό σημαντικό, όσο αυτός του εξωτερικού υδραγωγείου. Στην περίπτωση που υπάρχει τέτοια εγκατάσταση έχει βγει εκτός λειτουργίας λόγω έλλειψης φροντίδας, ή λειτουργεί με μειωμένη απόδοση.

Δεν αποτελεί σπάνιο φαινόμενο το γεγονός να μην είναι γνωστή η ακριβής οριζοντιογραφική χάραξη του αγωγού και να υπάρχει άγνοια ακόμα και για τις συσκευές ελέγχου (βάνες - εξαεριστήρια).

Ακριβώς λόγω της μη ακριβούς γνώσης της πορείας του αγωγού, δε λαμβάνονται μέτρα προστασίας του από επεμβάσεις (τυχαίες ή μη) τρίτων. Δεν είναι σπάνιο θραύση αγωγού εξαιτίας γειτονικής εκτελούμενης εργολαβίας.

Δεξαμενές αναρρύθμισης: Δεν εμφανίζονται αστοχίες στα τοιχώματα ή στην οροφή τέτοιες ώστε να έχουμε σημαντική διαρροή νερού. Έλλειψη συντήρησης εμφανίζεται στον θάλαμο βαλβίδων χειρισμού (βανοστάσιο) όπου ορισμένες βαλβίδες είναι εκτός λειτουργίας ή παρουσιάζουν σημαντικές διαρροές. Επίσης εμφανίζεται στις εγκαταστάσεις αερισμού που βρίσκονται στην οροφή της δεξαμενής και είναι απαραίτητες για τη διατήρηση καλών συνθηκών υγιεινής στο νερό που βρίσκεται αποθηκευμένο σε αυτήν.

Ο περιβάλλον χώρος είναι παραμελημένος και χρησιμοποιείται σαν σημείο συγκέντρωσης διαφόρων χρήσιμων και άχρηστων υλικών.

5.5.2 Εσωτερικό δίκτυο

Αγωγοί: Δε γίνεται απολύτως καμία συντήρηση, απλώς επισκευές ή αλλαγές τμημάτων τους, όταν αυτό απαιτείται. Τέτοιες διαδικασίες περιοδικής συντήρησης όπως έχουν περιγραφεί στα προηγούμενα, είναι πιθανόν να μην είναι οικονομικά συμφέρουσες για το μικρό μέγεθος του δικτύου της ΔΕΥΑ. Οι αγωγοί εμφανίζουν μεταβαλλόμενη τραχύτητα στο μήκος τους τόσο εξαιτίας γήρανσης όσο και λόγω διαφορετικών υλικών. Έχουν εμφανιστεί περιπτώσεις όπου έχουν ξεχαστεί αντικείμενα (πέτρες, ξύλα) από τη φάση κατασκευής ή από τυχόν επισκευές. Είναι δυνατόν να έχουμε και τοπικές μεταβολές στην διάμετρο λόγω επισκευής με αγωγό διαφορετικής διαμέτρου. Κάτι συνηθισμένο σε αρκετές ΔΕΥΑ είναι η ελλιπής γνώση του εσωτερικού δικτύου. Υπάρχουν περιπτώσεις (ΔΕΥΑ Λαμίας), όπου δεν υπάρχουν καν χάρτες με το υφιστάμενο δίκτυο. Αλλά ακόμα και αν υπάρχουν δεν είναι ενημερωμένοι με τις διαφοροποιήσεις, λόγω επισκευών και επεκτάσεων.

Οι διαδικασίες εντοπισμού των αγωγών, όταν χρειάζεται αναλαμβάνονται συνήθως από τον παλαιότερο υδραυλικό της ΔΕΥΑ, ο οποίος έχει αποκτήσει τη γνώση αυτή από τη συνεχή εμπειρική τριβή του με το δίκτυο.

Δικλείδες: Το βασικό πρόβλημα είναι ο ακριβής οριζοντιογραφικός προσδιορισμός της θέσης τους. Υπάρχει μικρότερη αβεβαιότητα απ' ότι στους αγωγούς, ενώ η καταγραφή στους χάρτες (αν υπάρχουν) δεν είναι πάντα αξιόπιστη.

Ένα ποσοστό τους είναι συνήθως εκτός λειτουργίας λόγω μόνιμης βλάβης. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις: η βάνα να έχει μείνει ανοικτή ή να έχει μείνει κλειστή. Στην πρώτη περίπτωση δεν έχουμε δυνατότητα απομόνωσης σε

περίπτωση βλάβης. Η δεύτερη όμως είναι σοβαρότερη, αφού παύει η τροφοδοσία ενός κλάδου του δικτύου ή διακόπτεται η συνέχεια ενός βρόχου. Σε τέτοιες περιπτώσεις αν δεν έχουμε άμεση αντικατάστασή της δικλείδας αντιμετωπίζουμε σοβαρή δυσλειτουργία στο τμήμα αυτό.

Άμεσες αντικαταστάσεις χαλασμένων δικλείδων δε γίνονται παρά σε ειδικές περιπτώσεις. Ο λόγος είναι ότι δεν υπάρχουν άμεσα διαθέσιμες στην αποθήκη της ΔΕΥΑ και πρέπει να γίνει παραγγελία, όπου πάντα έχουμε καθυστέρηση λόγω των απαραίτητων γραφειοκρατικών διαδικασιών.

Το ζήτημα της στεγανότητας της δικλείδας είναι θέμα αρκετά σοβαρό. Μεγάλο ποσοστό του συνόλου των δικλείδων του δικτύου παρουσιάζουν διαρροές, λόγω ελαττωματικής σαλαμάστρας που είναι συνήθως επισκευάσιμες. Οι διαρροές αυτές πρέπει να αντιμετωπίζονται αφενός γιατί χάνονται πολύτιμες ποσότητες νερού και αφετέρου διότι οδηγούν σταδιακά στην συνολική αστοχία της βάνας. Για να αντιληφθεί κανείς το μέγεθος του προβλήματος στην ΕΥΔΑΠ από 10.000 εγκατεστημένες στο εσωτερικό δίκτυο δικλείδες ένα ποσοστό 50% παρουσιάζει διαρροή λόγω ελαττωματικής σαλαμάστρας. Η δυνατότητα επισκευής εμφανίζεται με αντικατάσταση της σαλαμάστρας από υλικό καλύτερης ποιότητας.

5.6 Μέθοδοι και τρόποι επισκευής

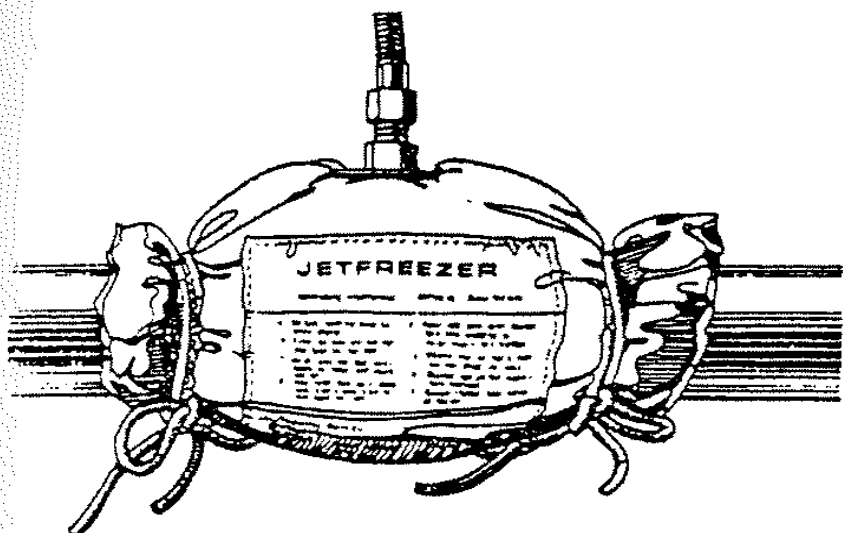
Θα αναφερθούμε στους τρόπους και τις μεθόδους επισκευής που ακολουθούνται στα εσωτερικά δίκτυα, αφού επισκευές στο εξωτερικό υδραγωγείο γίνονται με παρόμοιο τρόπο. Η διαφορά είναι ότι στην περίπτωση αυτή η κλίμακα μεγέθους διαφέρει καθώς και ο απαιτούμενος εξοπλισμός.

Επισκευές γίνονται κάθε φορά που έχουμε αστοχία του δικτύου. Οι περίοικοι ειδοποιούν το αρμόδιο τμήμα της ΔΕΥΑ για τη διαρροή και η υπηρεσία μεριμνά για την όσο το δυνατό συντομότερη επισκευή της. Όπως συνεπάγεται από τα παραπάνω επισκευάζονται μόνο οι ορατές διαρροές ή οι αφανείς οι οποίες γίνονται για κάποιο λόγο εμφανείς. Δε γίνονται έρευνες εντοπισμού αφανών διαρροών παρόλο που αποτελούν σημαντικό ποσοστό του συνόλου της μη καταμετρούμενης παροχής. Επίσης πολλές φορές παρατηρούνται σημαντικές καθυστερήσεις στην επισκευή είτε εξαιτίας ανεπάρκειας προσωπικού και εξοπλισμού, είτε λόγω αδυναμίας απομόνωσης του τμήματος αυτού του δικτύου οφειλόμενη σε χαλασμένη βάνα. Η πλειοψηφία των επισκευών γίνονται αφού προκληθεί διακοπή της ροής. Μόνο στα μεγάλα αστικά κέντρα (Αθήνα) υπάρχει ο εξοπλισμός που δίνει δυνατότητες επισκευής χωρίς εκκένωση του δικτύου. Στις κατά τόπους ΔΕΥΑ δε γίνονται προμήθειες τέτοιου είδους εξοπλισμού. Αυτό συμβαίνει όχι για λόγους οικονομικούς (το κόστος τέτοιου εξοπλισμού δεν είναι απαγορευτικό)

αλλά είτε αγνοείται η ύπαρξη τέτοιων μεθόδων είτε ο αριθμός των βλαβών είναι τέτοιος που αντιμετωπίζεται με τα συνήθη μέσα.

Επισκευή δικτύου χωρίς απομόνωση γίνεται με τη μέθοδο της τοπικής κατάψυξης του νερού στον αγωγό. Ανάντι και κατάντι του σημείου διαρροής ο αγωγός περιβάλλεται με μονωτικούς μανδύες. Οι μανδύες συνδέονται μέσω ελαστικών σωλήνων με φιάλες που περιέχουν CO₂ υπό πίεση. Το αέριο αυτό έχει την ιδιαιτερότητα όταν εξαερώνεται να παράγει δυνατό ψύχος της τάξης των 700° C.

Μέσω επαγωγής το νερό που περιέχεται στον αγωγό καταψυχεται και διακόπτεται η ροή.



Μονωτικός Μανδύας.

Ο χρόνος που απαιτείται για την ψύξη και στερεοποίηση του νερού είναι συνάρτηση της διαμέτρου του αγωγού, της θερμοκρασίας νερού και περιβάλλοντος και της ποσότητας του διατιθέμενου αερίου. Τυπικοί χρόνοι διακοπής της ροής εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Το χρονικό διάστημα που μπορεί να παραμείνει το νερό κατεψυγμένο ώστε να έχουμε διακοπή ροής είναι της τάξης των 2 ωρών. Αν απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος για την επισκευή αρκεί να διοχετεύσουμε πάλι αέριο κοντά στο χρονικό διάστημα των 2 ωρών οπότε θα επιτύχουμε επιμήκυνση του χρόνου. Αφου ολοκληρωθεί η διαδικασία της επισκευής αφαιρούνται οι μανδύες και η ροή αποκαθίσταται σε χρονικό διάστημα γυρω στα 2-3 λεπτά.

Μέσος χρόνος που απαιτείται για να ψυχθούν οι σωλήνες με Jetfreezer (σε λεπτά)

jetfreezer jacket	Διάμετρος σωλήνα								
	15mm	22mm	28mm	42mm	54mm	65mm	80mm	90mm	100mm
Mini jacket	3	7							
22mm jacket	3	6	13						
42mm jacket	3	5	11	17					
80mm jacket				20	35	50	75		
100mm jacket							75	105	125
Ελάχιστη Κατανάλωση CO2 (kgs)	0.5	0.75	1.2	2.5	4.1	6.4	9.1	12.7	16.4

Το σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής όπως προαναφέραμε είναι ότι δεν απαιτείται πλήρως απομόνωση του κλάδου. Έτσι δε διακόπτεται η υδροδότηση στους καταναλωτές ενώ αν έχουμε καλή επικοινωνία των κλάδων του δικτύου παρατηρούνται οι ελάχιστες δυνατές οχλήσεις. Παρακάμπτονται οι δυσκολίες που συνεπάγεται η διαδικασία απομόνωσης και που συνήθως είναι οι παρακάτω:

Η συγκεκριμένη βάνα διακοπής βρίσκεται εκτός λειτουργίας οπότε πρέπει να απομονώσουμε μεγαλύτερο τμήμα του δικτύου από γειτονικά σημεία.

Δε γνωρίζουμε ποιά βάνα αντιστοιχεί στον κλάδο που παρουσιάζει τη βλάβη.

Το σημείο όπου βρίσκεται η βάνα έχει καλυφθεί από έργα οδοποιίας (επανεπίστρωσης οδών) ή μπλοκάρεται από κάποιο σταθμευμένο όχημα.

Το μειονέκτημα είναι ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί για αγωγούς μεγάλης διαμέτρου. Ο λόγος είναι ότι δεν επιτυγχάνεται διακοπή της ροής με την κατάψυξη του νερού εξαιτίας της μεγάλης επιφάνειας στη διατομή του αγωγού. Οι διάμετροι όπου εφαρμόζεται με επιτυχία φτάνουν μέχρι Φ100. Δεν μπορεί να εφαρμοστεί επίσης με επιτυχία στις περιπτώσεις υψηλών πιέσεων.

Μια τυπική διαδικασία επισκευής σε εσωτερικό δίκτυο διαφοροποιείται ως προς τον τρόπο που ακολουθείται για την επανένωση των τμημάτων του αγωγού, αφού αφαιρεθεί το τμήμα που έχει αστοχήσει. Ειδικότερα όμως περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια (αφού έχει προηγηθεί η διαδικασία απομόνωσης):

Στο σημείο της διαρροής γίνεται εκσκαφή και αποκαλύπτεται ο αγωγός σε μήκος τέτοιο ώστε να περιλαμβάνεται το τμήμα που θα αντικατασταθεί και να υπάρχουν τα απαραίτητα περιθώρια για την επανένωση.

Αντλούνται τα νερά τα οποία διαφεύγοντας από τον αγωγό έχουν πλημμυρίσει το σκάμμα. Η άντληση γίνεται είτε με βυθιζόμενες ηλεκτρικές αντλίες (που παίρνουν ρεύμα από γεννήτρια) είτε με βενζινοκίνητες αυτομάτου αναρρόφησης φορητές αντλίες που εγκαθίστανται στην φυσική επιφάνεια του εδάφους. Πολλές φορές λόγω υψηλού υδροφόρου ορίζοντα ή εξαιτίας των μεγάλων ποσοτήτων νερού η άντληση συνεχίζεται σε όλη τη διάρκεια της επισκευής.

Στη συνέχεια αφαιρείται το τμήμα εκείνο του αγωγού το οποίο πρόκειται να αντικατασταθεί. Αν πρόκειται για αγωγό PVC ή αμιαντοσιμέντου η αφαίρεση γίνεται χρησιμοποιώντας ηλεκτρικό δίσκο κοπής (κόφτης) κάνοντας δύο τομές ανάντι και κατόντι.

Ακολουθεί η αντικατάσταση του τμήματος που αφαιρέθηκε. Το υλικό το οποίο χρησιμοποιείται θεωρητικά πρέπει να είναι ίδιας ποιότητας με αυτό του υπόλοιπου αγωγού. Δεν είναι σπάνια η περίπτωση να χρησιμοποιούνται διαφορετικά υλικά για την επισκευή συνήθως λόγω έλλειψης του αρχικού.

Ο τρόπος ένωσης διαφοροποιείται ανάλογα με το υλικό. Ενώσεις μεταξύ αγωγού PVC ή αμιαντοσωλήνων μεταξύ τους γίνονται αποκλειστικά με τη χρήση διαιρούμενων συνδέσμων ζιμπώ (Gibault). Οι σύνδεσμοι τέτοιου τύπου είναι αξιόπιστοι παρόλο που υποβαθμίζονται λόγω κακής χύτευσης ή με τη χρησιμοποίηση κακής ποιότητας κοχλιών. Ενώσεις μεταξύ χαλύβδινων αγωγών γίνονται με τμήμα χαλύβδινου σωλήνα. Η σύνδεση των δύο χαλύβδινων κομματιών γίνεται, είτε με ηλεκτροσυγκόλληση, είτε με φλάτζες. Ενώσεις PVC και χάλυβα πραγματοποιούνται με φλάτζες και με συνδέσμους φλατλα-ζιμπώ.

Τέλος η διαδικασία της επισκευής ολοκληρώνεται με την επανεπίχωση του σκάμματος και την αποκατάσταση του οδοστρώματος. Η επανεπίχωση γίνεται χρησιμοποιώντας τα προϊόντα εκσκαφής και όχι διαβαθμισμένα υλικά λατομείου σε συνδυασμό με διαβαθμισμένα προϊόντα εκσκαφής όπως προβλέπεται από τους κανονισμούς. Για το λόγο αυτό πολύ συχνά εμφανίζονται καθιζήσεις στο τελικό οδόστρωμα που θέτουν σε κίνδυνο την κυκλοφορία οχημάτων και πεζών.

5.7 Καθεστώς λειτουργίας

Η λειτουργία των δικτύων ύδρευσης γίνεται χειροκίνητα βασιζόμενοι κυρίως στην εμπειρία και στα παράπονα που υποβάλλονται από τους καταναλωτές για ανεπάρκεια παροχής και πίεσης ή υψηλές πιέσεις. Δεν υπάρχουν συστήματα αυτοματισμού. Μόνο στο δίκτυο της ΕΥΔΑΠ έχει εγκατασταθεί σύστημα αυτοματισμού το οποίο όμως δεν καλύπτει ακόμα το σύνολό του.

Διαφοροποιήσεις έχουμε μεταξύ χειμερινής και θερινής περιόδου εξαιτίας των αυξημένων καταναλώσεων της δεύτερης.

Αρμόδιος για τη λειτουργία του δικτύου είναι ο εκάστοτε χειριστής της βάρδιας. Αυτός είναι υπεύθυνος να διατηρεί επαρκή στάθμη στις δεξαμενές κεφαλής με κατάλληλους χειρισμούς των αντλιοστασίων ή των δικλείδων των αγωγών τροφοδοσίας. Επίσης είναι υποχρεωμένους αν προκύψει πρόβλημα τόσο στο εξωτερικό ή το εσωτερικό υδραγωγείο να κινητοποιήσει τους μηχανισμούς εκείνους για την αντιμετώπισή του. Η τήρηση όλων των παραμέτρων λειτουργίας γίνεται μέσω προγράμματος το οποίο πρέπει να ακολουθεί ο χειριστής.

Εμφανίζεται όμως το φαινόμενο είτε να μην υπάρχει τέτοιο πρόγραμμα είτε αν υπάρχει δεν είναι οργανωμένο κατά τρόπο ώστε να ανταποκρίνεται συνολικά στις απαιτήσεις. Υπάρχει και η πιθανότητα λόγω αμέλειας να μην εφαρμοστεί.

Για τους παραπάνω λόγους εμφανίζεται το δίκτυο να λειτουργεί με ανορθόδοξους τρόπους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι καταναλωτές να μένουν χωρίς νερό παρόλο που υπάρχουν επαρκείς ποσότητες στην κεφαλή εξαιτίας λάθους χειρισμού. Ένα άλλο φαινόμενο είναι να ξεκινά ο υδροδοτικός κύκλος με τις δεξαμενές κεφαλής σε χαμηλή στάθμη ενώ να εμφανίζονται με υψηλή στάθμη στις αιχμές του υδροδοτικού κύκλου.

5.8 Προβλήματα δικτύων ύδρευσης

Όπως προκύπτει από την παραπάνω περιγραφή υπάρχουν προβλήματα στα δίκτυα ύδρευσης. Οι αιτίες εντοπίζονται κυρίως στους παρακάτω παράγοντες:

- Οι άναρχες επεκτάσεις χωρίς συνολικό πρόγραμματισμό.
- Οι βιαστικές επεμβάσεις και η έλλειψη συντήρησης .
- Ο τρόπος λειτουργίας.

Τα σοβαρότερα προβλήματα που απορρέουν από τους παραπάνω λόγους συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Η μορφή των δικτύων είναι ακτινική με πολλά τυφλά τέρματα και απουσία βρόχων. Εξαιτίας των διαφορετικών φάσεων κατασκευής εμφανίζονται τα επιμέρους τμήματα του δικτύου να μη συνεργάζονται μεταξύ τους.
- Υγειολογικά προβλήματα τόσο για λόγους υποβάθμισης των νερών κεφαλής αλλά και μέσα στο εσωτερικό δίκτυο εξαιτίας τυφλών τερμάτων και ελλιπούς χλωρίωσης.
- Ανεπάρκεια πίεσης και παροχής στους καταναλωτές ορισμένες ώρες της ημέρας ή φαινόμενα υπερπιέσεων.
- Σημαντικές μεταβολές στην τραχύτητα των αγωγών, είτε λόγω γήρανσης, είτε λόγω διαφορετικών υλικών.
- Ξεχασμένες κλειστές βάνες από παλαιότερη επισκευή, είναι πολύ συχνό φαινόμενο, και οι συνέπειές του σοβαρότατες αφού διακόπτονται βρόχοι και κλάδοι γίνονται ανενεργοί.
- Εξαιτίας των βιαστικών επεμβάσεων και της έλλειψης προληπτικής συντήρησης εμφανίζονται αυξημένα ποσοστά μη καταμετρούμενων παροχών. Το μεγαλύτερο ποσοστό οφείλεται σε διαρροές. Τυπικό ποσοστό διαρροών είναι της τάξης του 35-40% ενώ υπάρχουν περιπτώσεις (ΔΕΥΑ Ιωαννίνων) όπου το ποσοστό αυτό είναι 100%.
- Δε γίνονται καταγραφές των διακινούμενων παροχών στο δίκτυο και υπάρχει σοβαρή έλλειψη στοιχείων.
- Η αποτύπωση του εσωτερικού δικτύου είναι πλημμελής και σε ορισμένες περιπτώσεις (ΔΕΥΑ Λαμίας) ανύπαρκτη.
- Ο τρόπος λειτουργίας είναι άγνωστος ακόμα και στους υπεύθυνους διαχείρισης του δικτύου και βασίζονται στην πείρα του παλαιότερου υδραυλικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β

1. ΜΕΛΕΤΗ ΝΟΡΒΗΓΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

1.1 Υπόβαθρο

Σύμφωνα με τον νορβηγικό οδηγό για την παροχή νερού (Miljoverndepartementet, 1988), ο βασικός στόχος ενός συστήματος διανομής νερού είναι ο εφοδιασμός κάθε καταναλωτή με αρκετό νερό καλής ποιότητας. Η ασφάλεια του δικτύου νερού πρέπει να εξεταστεί προσεκτικά και τα κόστη πρέπει να είναι αποδεκτά. Ο όρος "αρκετό" νερό σημαίνει εκπλήρωση των απαιτήσεων πίεσης και ύδατος. Η ποιότητα νερού πρέπει να συμβαδίζει με τους καθιερωμένους κανονισμούς και τα πρότυπα πόσιμου νερού. Η ασφάλεια θα εξεταστεί με τη βοήθεια της ανάλυσης αξιοπιστίας, της ανάλυσης κινδύνου και της ανάλυσης ευπάθειας. Σύμφωνα με τους νορβηγικούς κανονισμούς, οι καταναλωτές θα πληρώσουν όλες τις δαπάνες της παροχής νερού, συμπεριλαμβανομένης της λειτουργίας, της συντήρησης και της διοίκησης. Στη Νορβηγία όλες οι μεγάλες εγκαταστάσεις παροχής ύδατος είναι μη κερδοσκοπικές, κυριότητας δημοσίου και λειτουργούν σαν εταιρίες κοινής ωφέλειας. Προκειμένου να εκπληρωθούν αυτοί οι στόχοι, το σύστημα διανομής ύδατος πρέπει να λειτουργεί, να διατηρείται και να αποκαθίσταται ικανοποιητικά. Το σύστημα διανομής νερού χτίζεται από σωλήνες, βαλβίδες, δεξαμενές αποθήκευσης και αντλιοστάσια. Το δίκτυο νερού (δηλ. σωλήνες) διαδραματίζει τον σημαντικότερο ρόλο στο σύστημα.

Τα δίκτυα διανομής ύδατος στη Νορβηγία (δημόσια) έχουν ένα πολύπλοκο μήκος περίπου 35.000 χιλιομέτρων, (με μια κατ' εκτίμηση αξία αντικατάστασης 9 δισεκατομμυρίων US\$). Η εξυπηρέτηση 3,8 εκατομμυρίων ατόμων με υψηλής ποιότητας πόσιμο νερό, είναι ένας στόχος που είναι δύσκολο να εκτιμηθεί σε όρους χρημάτων. Εντούτοις, τα δίκτυα γερνούν και χρειάζονται συντήρηση προκειμένου να συμβαδίσουν με τις παρούσες και μελλοντικές απαιτήσεις. Χαρακτηριστικά, οι υδροσωλήνες στα πλήρως ανεπτυγμένα δίκτυα αποκαθίστανται σε ένα ετήσιο ποσοστό 0,5 ως 1% του υπάρχοντος μήκους του δικτύου διανομής ύδατος, το οποίο δείχνει ότι η μέση ζωή λειτουργίας αυτών των κεντρικών αγωγών νερού, κυμαίνεται από 100 έως 200 έτη. Διάφορες εγκαταστάσεις παροχής ύδατος έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι το ποσοστό αποκατάστασης πρέπει να αυξηθεί μέχρι 1,5-2%, μέσα σε 10-20 έτη που αντιστοιχούν σε ετήσιο κόστος 0.7-1.4 δισεκατομμύρια NOK. Μερικοί από τους σωλήνες είναι μέχρι 150 ετών αλλά μπορούν ακόμα να λειτουργήσουν ικανοποιητικά. Τα παλαιότερα μέρη των δικτύων έχουν χτιστεί κάτω από τα πρότυπα και τις πρακτικές κατασκευής, και με τεχνολογίες που δεν είναι πλέον κατάλληλες. Εντούτοις, να

αντικαταστήσει αυτό το μέρος των δικτύων είναι πέρα από τις οικονομικές ικανότητες των χρησιμοτήτων νερού. Επομένως, θα είναι απαραίτητο να αντιμετωπιστούν τα παλαιότερα δίκτυα με άλλο, πιο κατάλληλο τρόπο. Η ηλικία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μόνο κριτήριο για την αντικατάσταση ενός σωλήνα.

Ένας περιεκτικός κατάλογος κριτηρίων για να εξεταστεί η απόφαση εάν ένας σωλήνας πρέπει να αντικατασταθεί, περιγράφηκε από τον Stacha (1978). Αυτά τα κριτήρια περιλαμβάνουν: σύγκριση των δαπανών (συντήρηση και κεφάλαιο), αξιολόγηση της υδραυλικής ικανότητας μεταφοράς του σωλήνα, επίδραση του όρου σωλήνων στην ποιότητα νερού, κίνδυνοι όρου σωλήνων για την ασφάλεια των ανθρώπων και της ιδιοκτησίας, την αξιολόγηση της απόδοσης συστημάτων στις προβλεφθείσες μελλοντικές απαιτήσεις και τη συχνότητα της αποτυχίας.

Μερικά από αυτά τα κριτήρια είναι ρητά ποσοτικά προσδιορίσιμα (δηλ. κόστος συντήρησης, κόστος κεφαλαίου, επένδυση, υδραυλική ικανότητα μεταφοράς αυτή τη στιγμή και μελλοντικές απαιτήσεις). Άλλα, όπως η ασφάλεια, η αξιοπιστία και οι κοινωνικές δαπάνες που συνδέονται με την αποτυχία μπορεί να απαιτήσουν αναπληρωματικές ή αναμφίβολες τεχνικές αξιολόγησης για να ποσοτικοποιηθούν. Ένα κριτήριο που δεν έχει αναφέρει ο Stacha, αλλά που είναι γνωστό στον επαγγελματία, είναι η καιροσκοπική αποκατάσταση των σωλήνων, που παρακινείται από άλλες υπόγειες εργασίες που εκτελούνται στην περιοχή (π.χ. δρόμος, αέριο, ηλεκτρική ενέργεια).

Η πρόκληση είναι να αναπτυχθούν αξιόπιστα μοντέλα για την πρόβλεψη των μελλοντικών απαιτήσεων ανανέωσης για κάθε μεμονωμένο σωλήνα στο δίκτυο ύδατος. Η εμπειρία έχει δείξει ότι ένας σημαντικός αριθμός επισκευών δικτύων εκτελείται σε απρογραμματίστη βάση. Αυτή η αντιδραστική συντήρηση έχει το μειονέκτημα ότι η ζημία πρέπει να εμφανιστεί προτού να ληφθούν τα μέτρα. Χρησιμοποιώντας αυτή την στρατηγική συντήρησης, οι αποκατεστημένοι σωλήνες επιλέγονται σύμφωνα με τα κριτήρια έκτακτης ανάγκης, όπως ο αριθμός βλαβών στον πραγματικό σωλήνα. Μια εναλλακτική λύση της αντιδραστικής στρατηγικής είναι μια δυναμική στρατηγική (Saegrov et Al, 1999). Σε μια δυναμική στρατηγική καθορίζονται οι απαιτήσεις συντήρησης με το να λαμβάνεται υπόψη η κατάσταση των σωλήνων και η πρόβλεψη της υποβάθμισής τους. Οι αποτυχίες σωλήνων προκαλούν ιδιαίτερο κόστος και δυσχέρεια. Δεδομένου ότι δεν είναι πρακτικό ή οικονομικά δυνατό να αποκατασταθεί ολόκληρο το μήκος του δικτύου, απαιτείται μια στοχοθέτηση των πόρων αποκατάστασης. Με περιορισμένους πόρους, η δυνατότητα να αποφευχθεί η ζημία και να βελτιστοποιηθεί η χρήση των διαθέσιμων κεφαλαίων για προληπτική συντήρηση με τη χρησιμοποίηση των προβλεπτικών μοντέλων, είναι μια επιλογή που προτιμάται για τη διαχείριση δικτύων ύδατος. Η δυναμική στρατηγική απαιτεί μια καλή γνώση των χαρακτηριστικών των δικτύων συμπεριλαμβανομένων των παραγόντων επιδείνωσης και του αρχείου

αποτυχίας. Αυτό σημαίνει την εγκατάσταση μιας αυτοματοποιημένης βάσης δεδομένων, κατά προτίμηση υπό μορφή γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών. Έως σήμερα, τα οφέλη μιας δυναμικής σε σχέση με μια αντιδραστική προσέγγιση δεν έχουν αποδειχθεί. Εντούτοις, αυτό είναι αποτέλεσμα των ανεπαρκών μοντέλων αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα.

Στη Σκανδιναβία, μεγάλες πόλεις έχουν ασκήσει υποβολή έκθεσης με υπολογιστή για τις κύριες βλάβες από μεγάλη πίεση και τις διαρροές για τα τελευταία δέκα έτη. Το ίδιο πράγμα ισχύει για τη Γαλλία, τη Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο, όπου τα συστήματα πληροφοριών δικτύων έχουν καθιερωθεί, εν τούτοις δεν έχουν ολοκληρωθεί ακόμα από τις περισσότερες εταιρίες ύδατος κοινής ωφέλειας. Τα συστήματα περιλαμβάνουν τις στατιστικές όσον αφορά τις αποτυχίες σωλήνων καθώς επίσης και αποκατάστασης που έχουν γίνει. Στη Νορβηγία το σύστημα Gemini VA αυτοματοποιημένης χαρτογράφησης/ διαχείρισης εγκαταστάσεων (AM/FM) χρησιμοποιείται ευρέως για τη διαχείριση του συστήματος ύδατος και απόβλητου ύδατος στους δήμους. Τα τεχνικά στοιχεία για το σύστημα ύδατος και απόβλητου ύδατος καταχωρούνται στο Gemini VA. Το Gemini VA έχει μια διοικητική ενότητα που περιέχει τα αρχεία αποτυχίας (τι, που και πότε συνέβησαν) και τι εργασία γίνεται στον σωλήνα (επισκευή, επιθεωρήσεις, ξέπλυμα). Στη Νορβηγία 210 δήμοι στο σύνολο 435 χρησιμοποιούν το AM/FM σύστημα Gemini VA. Όλοι οι μεγαλύτεροι δήμοι στη Νορβηγία χρησιμοποιούν Gemini VA και περίπου 85 - 90% όλων των σωλήνων του νορβηγικού δημόσιου ύδατος και απόβλητου ύδατος καταχωρούνται χρησιμοποιώντας αυτό το σύστημα (Rostum, 1997). Αυτό το στοιχείο, που έχει συλλεχθεί από πολλούς δήμους που χρησιμοποιούσαν το ίδιο σύστημα, είναι μία καλή βάση για την ανάπτυξη στατιστικών μεθόδων για την περιγραφή της δομικής κατάστασης των σωλήνων.

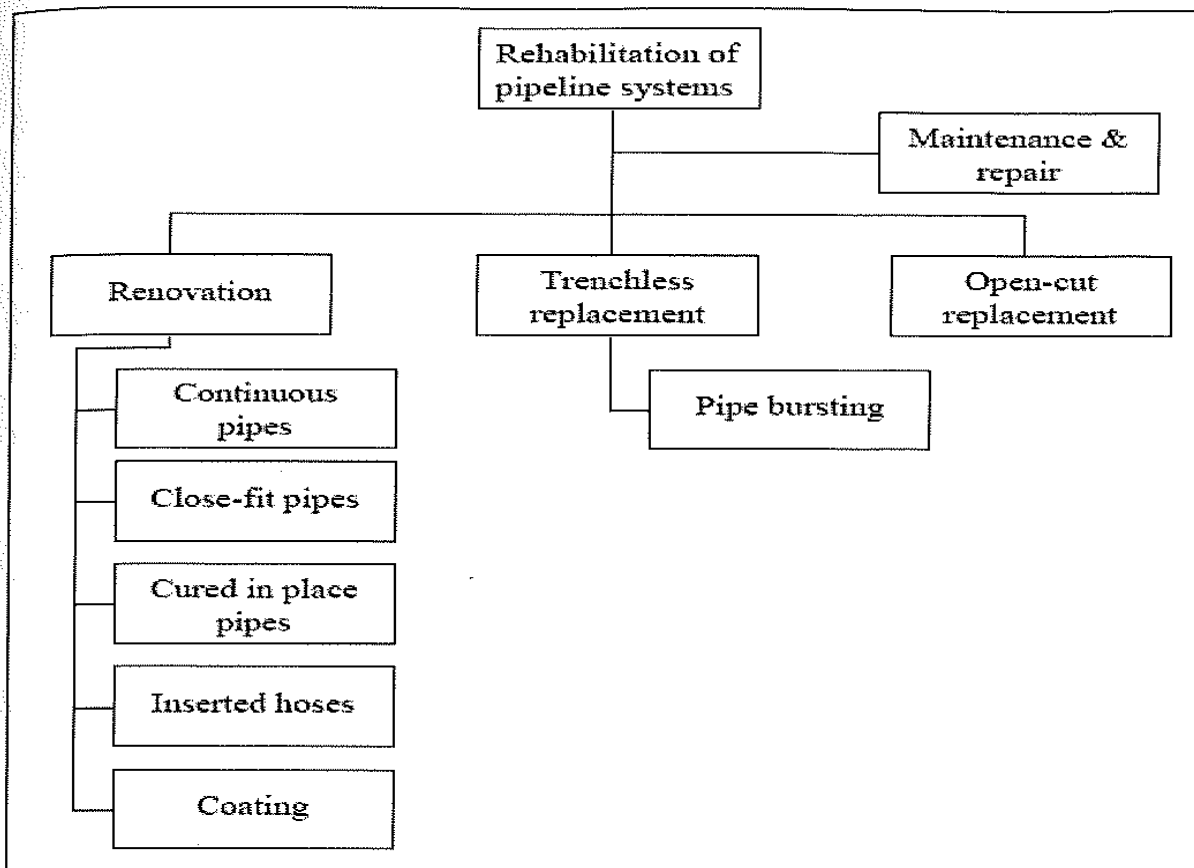
Η ερευνητική εργασία που παρουσιάζεται σε αυτήν τη διατριβή ανήκει στον συγκεκριμένο τομέα της στατιστικής διαμόρφωσης των αποτυχιών των σωλήνων στα δίκτυα διανομής ύδατος, που λαμβάνουν υπόψη τα αποτελέσματα των διαφορετικών παραγόντων που μπορούν να επηρεάσουν την τεχνική κατάσταση του δικτύου ύδατος.

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που μπορούν να έχουν μια επιρροή στη τεχνική κατάσταση ενός δικτύου διανομής ύδατος. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν τις εξωτερικές/ περιβαλλοντικές συνθήκες (π.χ. εδαφολογική διάβρωση, θερμοκρασία αέρα), τις εσωτερικές μεταβλητές (π.χ. θερμοκρασία ύδατος, ποιότητα νερού), τα δομικά χαρακτηριστικά (π.χ. διάμετρος σωλήνων, μήκος σωλήνων, υλικό σωλήνων) και τις μεταβλητές συντήρησης (π.χ. αριθμός αποτυχιών, τύπος επισκευής).

Δεδομένου ότι οι σωλήνες γερνούν, η τεχνική (υλικές ιδιότητες) και η λειτουργική κατάσταση (ικανότητα μεταφορών) των δικτύων διανομής ύδατος επιδεινώνεται. Αυτό είναι ένας γενικός κανόνας που ισχύει για τα περισσότερα συστήματα. Για την αποκατάσταση υδροσωλήνων, θέλουμε να βρούμε το βέλτιστο χρόνο για την αποκατάσταση του σωλήνα ή την απάντηση στην ερώτηση "θα συνεχίσουμε με επισκευές σημείων ή θα ανανεώσουμε ολόκληρο το σωλήνα;" Εάν ο σωλήνας αντικαθίσταται επίσης νωρίς, υπάρχει μια οικονομική απώλεια λόγω των χρημάτων που ξοδεύονται πιο σύντομα αφού ο χρόνος ζωής του σωλήνα δεν έχει λήξει. Εάν η αντικατάσταση του σωλήνα αφήνεται επίσης σε μακροχρόνιο επίπεδο, υπάρχει μια οικονομική απώλεια όταν ξοδεύονται πρόσθετα χρήματα για τις επισκευές έκτακτης ανάγκης, που πρέπει να αποφευχθούν. Ο σωλήνας δεν πρέπει να αποκατασταθεί ούτε τόσο νωρίς και ούτε τόσο αργά. Εντούτοις, δεν είναι ρεαλιστικό να ληφθούν δείγματα σωλήνων από ολόκληρο το δίκτυο. Τα μοντέλα πρόβλεψης είναι μια εναλλακτική λύση σε σχέση με την ακριβή εναλλακτική λύση της εκτενούς δειγματοληψίας σωλήνων και της δομικής αξιολόγησης. Τα μοντέλα πρόβλεψης θα μπορούσαν επίσης να είναι χρήσιμα για πιο λεπτομερή αξιολόγηση των κρίσιμων στοιχείων.

1.2 Αποκατάσταση των δικτύων ύδατος

Οι ακόλουθες παράγραφοι είναι μια εισαγωγή στην αποκατάσταση δικτύων ύδατος. Η αποκατάσταση περιλαμβάνει όλες τις μεθόδους για την απόδοση ενός υπάρχοντος συστήματος σωληνώσεων. Ο όρος αποκατάσταση περιλαμβάνει τη συντήρηση και την επισκευή καθώς επίσης και την ανακαίνιση και την αντικατάσταση. Οι ορισμοί που χρησιμοποιούνται στο σχήμα ακολουθούν τα νορβηγικά πρότυπα NS-EN752- 1:1996 (επίσης ευρωπαϊκά πρότυπα) και διεθνείς οργανισμούς τυποποίησης ISO/TR 11295. Δεδομένου ότι οι διαφορετικές πράξεις αποκατάστασης έχουν διαφορετικές ιδιότητες και με αυτόν τον τρόπο βελτιώνουν το σωλήνα με διαφορετικούς τρόπους, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πώς πραγματοποιήθηκε η αποκατάσταση του σωλήνα.



Πίνακας 1-1. Διαφωτιστικό σχήμα των όρων αποκατάσταση, επισκευή, αντικατάσταση και αναγέννηση στα δίκτυα νερού.

Όταν ένας σωλήνας σπάζει ή παρατηρείται μια διαρροή, ο σωλήνας πρέπει να επισκευαστεί. Για τους σωλήνες με ρωγμές στο μήκος τους ή για διαβρωμένους σωλήνες, πραγματοποιείται συχνά επισκευή χρησιμοποιώντας ένα κυλινδρικό κάλυμμα. Αυτά τα κυλινδρικά καλύμματα επισκευής έχουν ένα χαρακτηριστικό μήκος 0.2 έως 0.5m ανάλογα με τη διάμετρο του αρχικού σωλήνα. Το κυλινδρικό κάλυμμα σταματά την διαρροή, αλλά η γενικότερη αντοχή του σωλήνα δεν βελτιώνεται αρκετά.

Όταν υπάρχουν παράλληλες ρωγμές στο μήκος των σωλήνων που οφείλονται κυρίως σε πρακτικούς λόγους, τότε διάφορα τμήματα σωλήνων αντικαθίστανται, αντί να χρησιμοποιηθούν κυλινδρικά καλύμματα. Το μήκος αυτών των τμημάτων των σωλήνων εξαρτάται από τον τύπο του σωλήνα που αντικαθίσταται και είναι συνήθως από 1 έως 6 μέτρα. Σε μερικές περιπτώσεις διάφορα τμήματα σωλήνων μπορεί να αντικατασταθούν. Τα αντικατεστημένα τμήματα σωλήνων θα έχουν κανονικά υψηλότερη δύναμη από τον υπόλοιπο σωλήνα.

Όταν μια απλή επισκευή δεν είναι επαρκής για να επισκευάσει έναν σωλήνα, απαιτείται η αναγέννηση ή η αντικατάσταση του σωλήνα. Οι δύο βασικοί διαθέσιμοι τύποι διαδικασιών πραγματοποιούνται με άνοιγμα τάφρου ή χρησιμοποιώντας τη τεχνολογία, χωρίς άνοιγμα τάφρου.

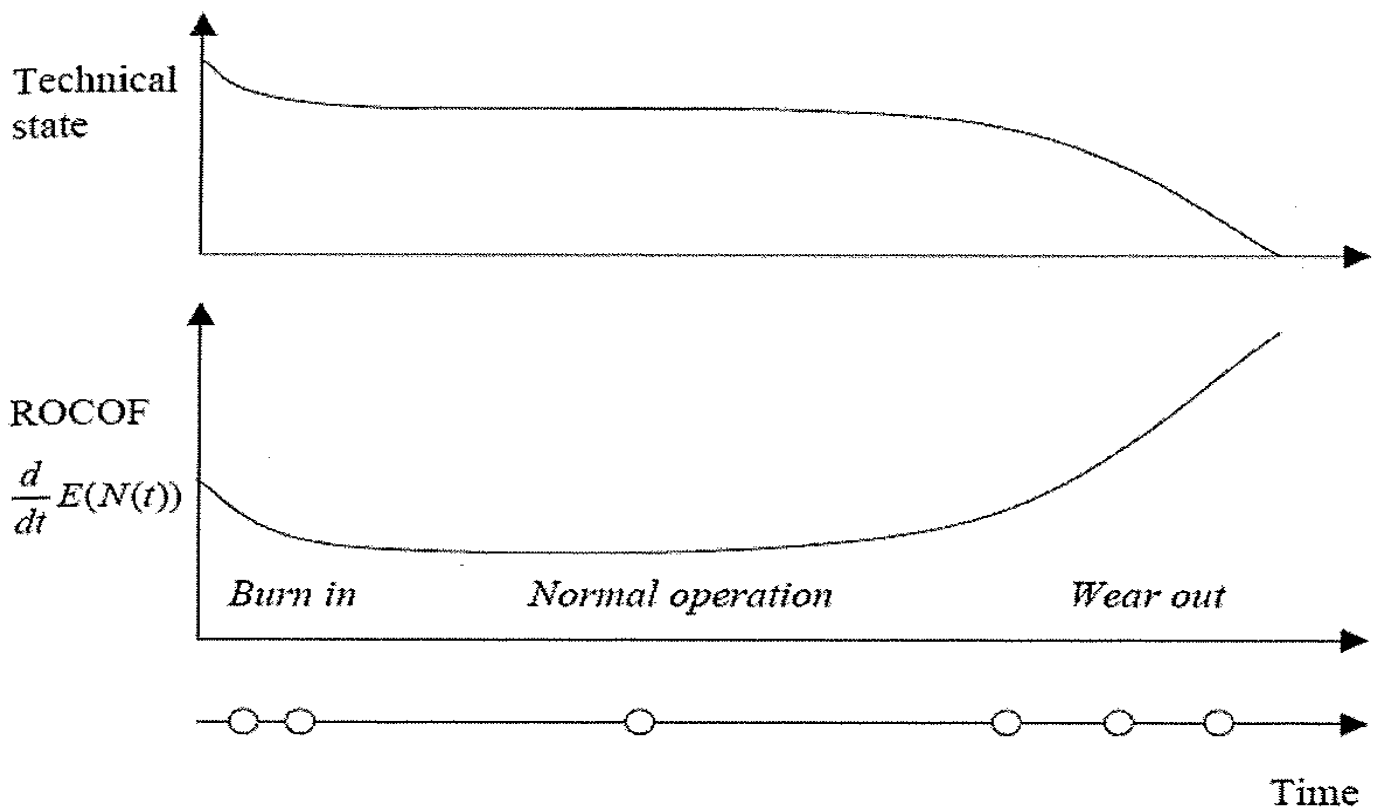
Η αντικατάσταση σημαίνει την κατασκευή ενός νέου σωλήνα στη θέση ενός υπάρχοντος σωλήνα. Οι αντικαταστάσεις πραγματοποιούνται από μία τάφρο ή χρησιμοποιώντας τη τεχνολογία χωρίς άνοιγμα τάφρου, όπως σπάσιμο των σωλήνων δίνοντας μεγάλη πίεση από μέσα. Και στις δύο περιπτώσεις ο σωλήνας μπορεί να θεωρηθεί ως νέος σωλήνας. Ο παλιός σωλήνας μπορεί, είτε να αφαιρεθεί, είτε να αφεθεί στο έδαφος.

Η ανακαίνιση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για τις μεθόδους αποκατάστασης, όπου το αρχικό υλικό μιας σωλήνωσης ενσωματώνεται και η τρέχουσα δομή της βελτιώνεται. Δύο υποομάδες τεχνικών ανακαίνισης υπάρχουν. Οι δομικές και οι μη-δομικές μέθοδοι. Οι δομικές μέθοδοι βελτιώνουν την αντοχή του σωλήνα και ο προκύπτων σωλήνας μπορεί να θεωρηθεί ως νέος σωλήνας. Οι μη-δομικές μέθοδοι δεν βελτιώνουν σημαντικά την αντοχή του σωλήνα και ο προκύπτων σωλήνας μπορεί να θεωρηθεί όπως ήταν πριν την αποκατάσταση, όσον αφορά το δομικό όρο. Η λειτουργική απόδοση βελτιώνεται φυσικά ως αποτέλεσμα της μειωμένης υδραυλικής τριβής και της βελτιωμένης ποιότητας νερού, λόγω μιας νέας και ομαλότερης εσωτερικής επιφάνειας. Υπάρχει μια ευρεία κατάταξη των μεθόδων ανακαίνισης.

1.3 Εισαγωγή στη διαμόρφωση των αποτυχιών σωλήνων στα δίκτυα ύδατος

Μεγάλη πολυπλοκότητα προκύπτει όταν κάποιος προσπαθεί να αναλύσει και να προβλέψει τη μελλοντική συμπεριφορά των μεμονωμένων σωλήνων σε ένα σύστημα. Υπάρχει μια υψηλή μεταβλητότητα στα σχέδια αποτυχίας μεταξύ των διαφορετικών δικτύων διανομής ύδατος (πόλεις) και επίσης μεταξύ των διάφορων σωλήνων ενός δεδομένου δικτύου. Εντούτοις, μια ανάλυση στο μεμονωμένο επίπεδο των σωλήνων απαιτείται σαφώς, και για τη λήψη των αποφάσεων συντήρησης κάτω από οικονομικά κριτήρια, αλλά και για την ανάλυση αξιοπιστίας δικτύων.

Οι κανονικές παρατηρήσεις της φυσικής κατάστασης των υδροσωλήνων θα μπορούσαν να αποκαλύψουν κάποιες πληροφορίες για τη δομική τους κατάσταση. Με τις νέες μη καταστρεπτικές τεχνικές, είναι δυνατό να μετρηθεί το μέσο βάθος κοιλωμάτων και επίσης το μέγιστο βάθος κοιλωμάτων προκαλούμενα από την εσωτερική διάβρωση. Εντούτοις, αυτές οι τεχνικές καταναλώνουν πολύ χρόνο, είναι ιδιαίτερα ακριβές και είναι μόνο ρεαλιστικές για τους κρισιμότερους κεντρικούς αγωγούς νερού.



Σχήμα 1-2. Η ζωή λειτουργίας των αγωγών σε ένα δίκτυο νερού.

Η χρονική ανάπτυξη του ποσοστού των περιστατικών αποτυχιών (ROCOF) σε ένα δίκτυο ύδατος κατά τη διάρκεια της ζωής λειτουργίας του, μπορεί να διευκρινιστεί ως καμπύλη μπανιέρας, ένας όρος που χρησιμοποιείται λόγω της χαρακτηριστικής μορφής της (σχήμα 1-2). Η ROCOF είναι το χρονικό παράγωγο του αναμενόμενου συσσωρευτικού αριθμού αποτυχιών και ορίζεται ως:

$$ROCOF = \frac{d}{dt} * E(N(t)) \quad (1.1)$$

όπου $E(N(t))$ δείχνει τον μέσο όρο των αποτυχιών στο διάστημα $(0, t]$.

Είναι σημαντικό να παρατηρηθεί ότι δύο διαφορετικές καμπύλες μπανιέρας υπάρχουν (Ascher και Feingold, 1984). Η καμπύλη που παρουσιάζεται στο σχήμα 1-2 αντιπροσωπεύει τα συστήματα που μπορούν να επισκευαστούν και το σύστημα μπορεί να αποτύχει αρκετές φορές. Ο άλλος τύπος καμπύλης μπανιέρας αντιπροσωπεύει τα συστήματα που δεν μπορούν να επισκευαστούν και η δύναμη της θνησιμότητας (FOM) ή η λειτουργία κινδύνου εξετάζονται.

Η ROCOF είναι συχνά υψηλή στην αρχική φάση. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι οι νέοι σωλήνες μπορεί να έχουν μη ανιχνεύσιμες ατέλειες κατασκευής ή εγκαταστάσεων (γνωστή επίσης ως "θνησιμότητα νηπίων"). Η περίοδος από την εγκατάσταση έως ένα σύντομο χρονικό διάστημα μετά, καλείται συχνά περίοδος συνεχούς λειτουργίας. Σε αυτήν την περίοδο η ROCOF μειώνεται. Οι λόγοι για τις αρχικές αποτυχίες μπορεί να είναι η κακή κατασκευή και η κακή εργασία κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης.

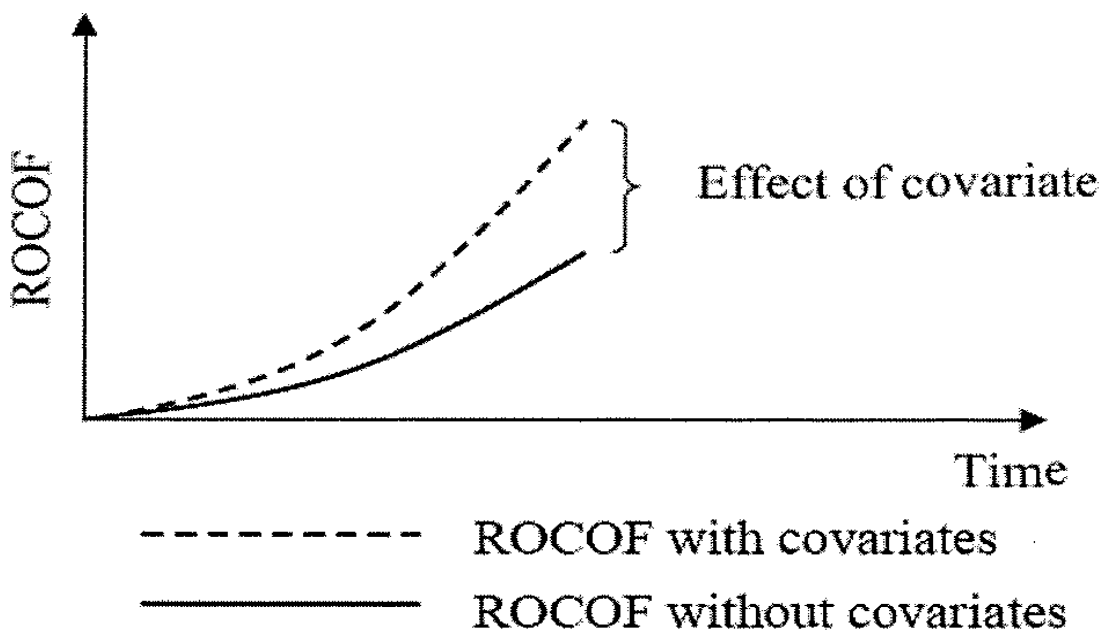
Στην περίοδο κανονικής λειτουργίας η ROCOF είναι χαμηλή και σχεδόν σταθερή. Οι αποτυχίες που συμβαίνουν σε αυτή την περίοδο είναι κανονικά τυχαία γεγονότα, όπως τα ασυνήθιστα εξωτερικά φορτία στον σωλήνα (Mosevoll 1994, Lidstrom 1996, Rausand και Reinertsen 1996). Για την πλειοψηφία των μερών η ROCOF θα παρουσιάσει μικρή αύξηση κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου (Hoyland και Rausand 1994). Στην περίοδο "φθοράς" οι σωλήνες έχουν αυξήσει τη ROCOF, λόγω της επιδείνωσης του υλικού σωλήνων (π.χ. διάβρωση), που οδηγεί τελικά στη κατάρρευση του σωλήνα. Η καμπύλη μπανιέρας στο σχήμα 1-2 μπορεί να εφαρμοστεί σε έναν μεμονωμένο σωλήνα, σε μια ομάδα σωλήνων με τα παρόμοια χαρακτηριστικά ή σε ολόκληρο τον πληθυσμό ενός δικτύου σωλήνων.

Η μορφή της καμπύλης μπανιέρας στο σχήμα 1-2 εκφράζει μια θεωρητική συμπεριφορά. Η ανάλυση των ιστορικών στοιχείων αποτυχίας δεν μας επιτρέπει κανονικά να προσδιορίσουμε τα τρία στάδια στην καμπύλη μπανιέρας, εκτός αν έχουμε ένα πλήρη ιστορικό των στοιχείων αποτυχίας που αρχίζει όταν οι σωλήνες τοποθετούνται. Για τους γκρίζους σωλήνες χυτοσιδήρου, που χρησιμοποιούνται για πάνω από 100 έτη, η πλήρης ιστορία στοιχείων αποτυχίας δεν είναι συνήθως διαθέσιμη. Για τους πιο πρόσφατα εγκατεστημένους τύπους σωλήνων όπως το PVC και το PE μόνο το πρώτο μέρος της καμπύλης μπανιέρας είναι αισθητό. Η παρατήρηση μιας πραγματικής καμπύλης μπανιέρας γίνεται ακόμα πιο σύνθετη οφειλόμενη στην αποκατάσταση σωλήνων. Οι αντικατεστημένοι σωλήνες λαμβάνονται από την υπηρεσία, και φυσικά δεν καταγράφονται άλλες αποτυχίες για αυτούς τους σωλήνες. Η αντικατάσταση σωλήνων έχει μια άμεση επιρροή στο τέλος της καμπύλης μπανιέρας. Μόνο σπάνια είμαστε ικανοί να παρατηρήσουμε μια "μη-αποκατεστημένη" έκδοση της καμπύλης μπανιέρας. Ένα παράδειγμα αυτού του τύπου καμπύλης είναι διαθέσιμο από την πρώην Ανατολική Γερμανία, η οποία είχε ένα πολύ υψηλό επίπεδο αποδοχής για το ποσοστό σφαλμάτων (Baur και Herz, 1999) (δηλ. οι κοινωνικές δαπάνες δεν εξετάστηκαν). Για τα περισσότερα δίκτυα νερού αυτό δεν ισχύει δεδομένου ότι η αντικατάσταση και η ανανέωση είναι κανονικά μέρη των σχεδίων συντήρησης και λειτουργίας.

Από μια διοικητική άποψη οι αποτυχίες προκαλούμενες στην φάση φθοράς, είναι ειδικού ενδιαφέροντος, δεδομένου ότι αυτές οι αποτυχίες είναι σημαντικές για τις στρατηγικές συντήρησης και ανανέωσης. Επομένως, η εστίαση σε αυτή την εργασία είναι στις αποτυχίες που συμβαίνουν στη φάση φθοράς, δηλ. στη δεξιά πλευρά της καμπύλης μπανιέρας. Τα προτεινόμενα μοντέλα, ισχύουν επίσης για τους σωλήνες στα πιο αρχικά τους στάδια. Εντούτοις, όταν καμία τάση στα στοιχεία δεν είναι αισθητή, τα λιγότερο περίπλοκα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Οι αποτυχίες που συμβαίνουν στα πρώτα έτη μετά από την κατασκευή θα είναι υπό την εξουσιοδότηση των παραγωγών ή/και των αναδόχων των σωλήνων. Στη

Νορβηγία η περίοδος εξουσιοδότησης για τις σωληνώσεις είναι τα τρία (3) έτη. Οι αποτυχίες που συμβαίνουν στη περίοδο συνεχούς λειτουργίας θα επηρεάσουν φυσικά την αξιοπιστία και τη διαθεσιμότητα ολόκληρου του δικτύου και μπορούν επίσης να επηρεάσουν την υπόλοιπη ζωή του σωλήνα.

Ένα συχνά εμφανιζόμενο πρόβλημα στην ανάλυση των στοιχείων αποτυχίας είναι ότι δεν έχουν συλλεχθεί όλα τα μέρη των στοιχείων υπό παρόμοιες συνθήκες. Οι σωλήνες στο ίδιο δίκτυο διαφέρουν ως προς το υλικό, τις εδαφικές συνθήκες, το ιστορικό της συντήρησης, το έτος κατασκευής, τη διεύθυνση παγετού, τον τρόπο της κατασκευής, την μέθοδο ένωσης, την ποιότητα νερού και το πόσο φορτωμένη είναι η κυκλοφορία. Ενώ πολλές από αυτές τις μεταβλητές δεν είναι αρκετά σημαντικές να προκαλέσουν την αποτυχία ενός σωλήνα, η συνδυασμένη επίδρασή τους, ειδικά στην περίπτωση των διαβρωμένων σωλήνων, μπορεί να προκαλέσει την αποτυχία.



Σχήμα Α-3. Το αποτέλεσμα των μεταβλητών στην ούρα της καμπύλης της μανιέρας.

Στο σχήμα 1-3 η ούρα (δεξιά πλευρά) της καμπύλης μανιέρας (σχήμα 1-2) παρουσιάζεται. Οι μεταβλητές που περιγράφονται στη προηγούμενη παράγραφο μπορούν να επηρεάσουν τη ROCOF, έτσι ώστε το ROCOF που παρατηρείται να είναι είτε μεγαλύτερο (π.χ. μη προστατευμένος όγκιμος σωλήνας σιδήρου που τοποθετείται στον άργιλο) είτε μικρότερο έναντι της ROCOF χωρίς τις μεταβλητές. Είναι επομένως ουσιαστικό να επιλεγεί ένα πρότυπο που να περιλαμβάνει αυτές τις μεταβλητές. Το αποτέλεσμα των μεταβλητών σε μια οριζόντια μετατόπιση στη καμπύλη μανιέρας και η περίοδος φθοράς τείνουν να αρχίσουν νωρίτερα.

Για τη λήψη των αποφάσεων συντήρησης σε ένα δίκτυο ύδατος θα είναι χρήσιμο να είναι γνωστή η εξέλιξη των ακόλουθων μέτρων αξιοπιστίας, ως συνάρτηση του χρόνου για κάθε σωλήνα:

- Ο ρυθμός εμφάνισης των αποτυχιών (ROCOF)
- Ο αριθμός αποτυχιών στο χρονικό διάστημα $(0,t)$, $N(t)$
- Η διαθεσιμότητα
- Η πιθανότητα μιας νέας αποτυχίας

Τα προαναφερθέντα μέτρα συσχετίζονται όλα, αλλά χρησιμοποιούνται με διαφορετικούς τρόπους μέσα στη διαχείριση δικτύων ύδατος.

Η ROCOF είναι το βασικό μέτρο και χρησιμεύει ως εισαγωγή για τα άλλα μέτρα. Για τον διαχειριστή η ROCOF δίνει πληροφορίες για τις επιδεινωμένες τάσεις στο δίκτυο.

Μια καλή εκτίμηση του αναμενόμενου αριθμού αποτυχιών σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια οικονομική ανάλυση, επισκευής αντί αντικατάστασης, για μεμονωμένους σωλήνες. Αυτή η ανάλυση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στη σύνταξη προϋπολογισμού για τις μελλοντικές ανάγκες αποκατάστασης και αντικατάστασης για ολόκληρο το δίκτυο.

Προκειμένου να υπολογιστεί η αξιοπιστία του δικτύου διανομής ύδατος είναι απαραίτητο να αποφασιστεί η διαθεσιμότητα για κάθε σωλήνα στο δίκτυο. Δεδομένου ότι η επιδείνωση των σωλήνων στο υπάρχον δίκτυο ποικίλλει σύμφωνα με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες είναι σημαντικό να έρθει με κατάλληλα στατιστικά πρότυπα να περιγράψει τα χαρακτηριστικά αποτυχίας για κάθε σωλήνα. Τα στατιστικά πρότυπα είναι ένα πρώτο βήμα στην ανάλυση αξιοπιστίας δικτύων και χρησιμεύουν στο να παραγάγουν τα στοιχεία διαθεσιμότητας για κάθε τμήμα (δηλ. σωλήνας) του δικτύου. Δεδομένου ότι η διαθεσιμότητα κάθε σωλήνα ποικίλλει με το χρόνο, η αξιοπιστία του δικτύου παροχής νερού πρέπει να υπολογιστεί για τα διαφορετικά μελλοντικά χρονικά διαστήματα.

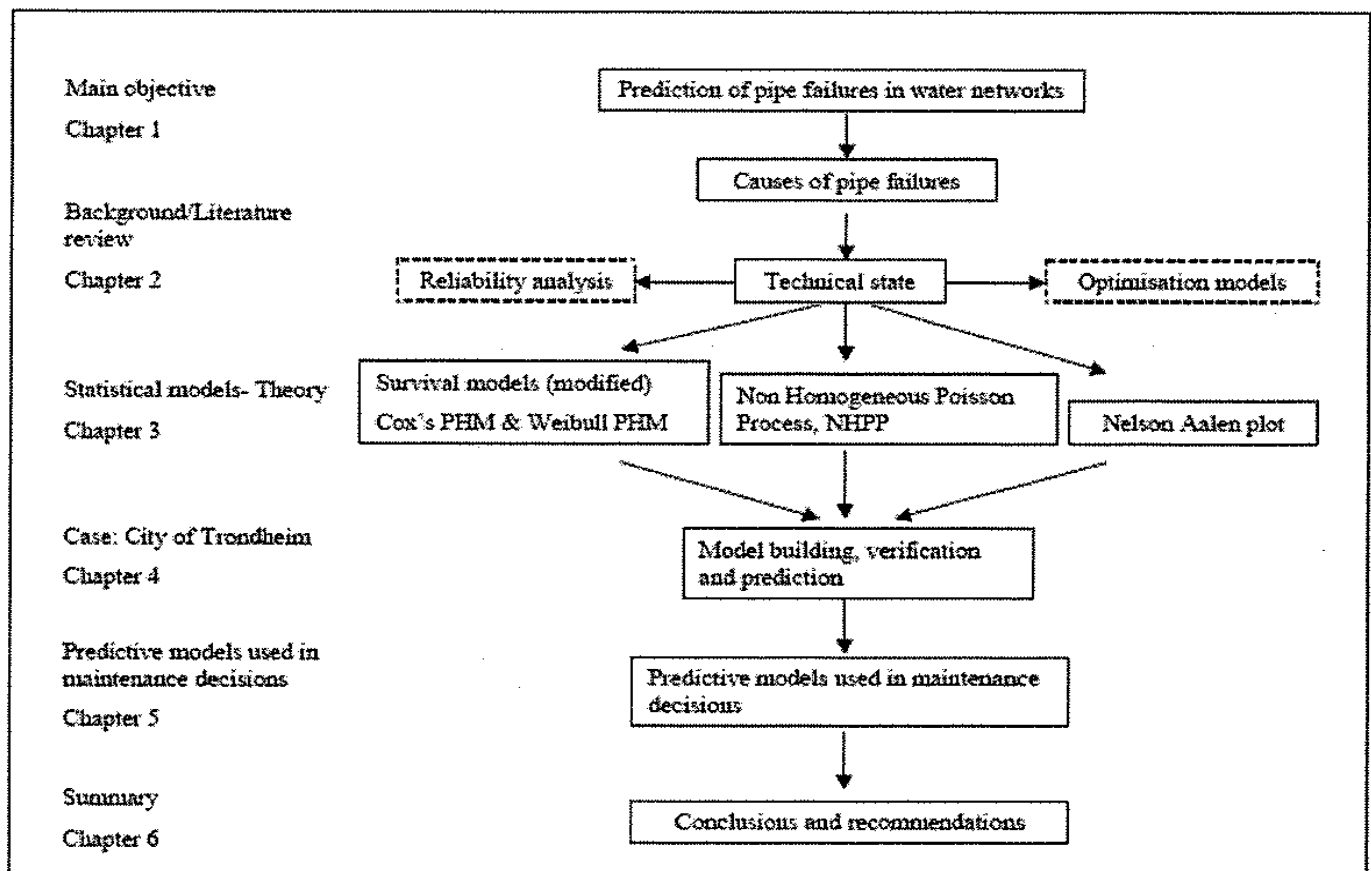
Η πιθανότητα της αποτυχίας και των συνεπειών της, καθορίζει τον κίνδυνο αποτυχίας. Σύμφωνα με τα Νορβηγικά Πρότυπα, NS5814 "ο κίνδυνος θα οριστεί ως ένας κατάλογος συνεπειών και της πιθανότητάς τους". Κατά τη πραγματοποίηση της ανάλυσης κινδύνου για τα δίκτυα παροχής νερού, τα στατιστικά πρότυπα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της πιθανότητας των αποτυχιών για διαφορετικά σενάρια.

1.4 Στόχοι, πεδίο και οργάνωση της μελέτης

Ο κύριος στόχος της μελέτης είναι να αναπτύξει/ αξιολογήσει τα στατιστικά πρότυπα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προβλέψουν τις αποτυχίες για κάθε μεμονωμένο σωλήνα σε ένα δίκτυο διανομής ύδατος. Ένας δεύτερος στόχος είναι να καθοριστεί, εάν τα στοιχεία συντήρησης που συλλέγονται κανονικά και είναι καταχωρημένα μέσα στα συστήματα AM/FM στη Νορβηγία (που χρησιμοποιεί τη Gemini VA) είναι ικανοποιητικές πληροφορίες για αυτά τα προβλεπτικά μοντέλα. Τα πρότυπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τις δημόσιες εταιρείες ύδατος για να βελτιώσουν τις αποφάσεις για συντήρηση. Αν και διάφορες στατιστικές μέθοδοι για τα συστήματα από την άποψη των συµμεταβλητών έχουν προταθεί στην ιατρική, η χρήση τους στην εφαρμοσμένη μηχανική ύδατος είναι πολύ περιορισμένη.

Τα πρότυπα για την περιγραφή της τεχνικής κατάστασης των σωληνώσεων θα είναι σημαντικά εργαλεία για τον προγραμματισμό της συντήρησης. Τα πρότυπα που περιγράφονται σε αυτήν τη διατριβή εφαρμόζονται σε ένα σύνολο στοιχείων δοκιμής από το Τρόντχαιμ, με στόχο να βοηθήσουν τους αρμόδιους στο να προβλέψουν πώς η τεχνική κατάσταση των σωλήνων θα αλλάξει και, ως συνέπεια, ποιοι είναι στην πιο επείγουσα ανάγκη για επισκευή.

Ένα σχηματικό διάγραμμα που παρουσιάζει την δομή αυτής της διατριβής παρουσιάζεται στο σχήμα 1-4.



Το απαραίτητο υπόβαθρο για τη στατιστική διαμόρφωση των αποτυχιών των σωλήνων σε ένα δίκτυο διανομής ύδατος αναθεωρείται και παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 2. Τα σχετικά στατιστικά πρότυπα που χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση των αποτυχιών σωλήνων περιγράφονται στο κεφάλαιο 3. Αυτά τα στατιστικά πρότυπα έχουν εφαρμοστεί σε μια περιπτωσιολογική μελέτη του δικτύου διανομής ύδατος στη πόλη του Τρόντχαμ, στη Νορβηγία.

2. ΑΠΟΤΥΧΙΕΣ ΣΩΛΗΝΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο αναθεωρεί μερική από την υπάρχουσα βιβλιογραφία στη διαμόρφωση των αποτυχιών σωλήνων στα δίκτυα ύδατος. Το πρώτο τμήμα περιγράφει τους όρους που προκαλούν τις αποτυχίες σωλήνων. Τα υπάρχοντα πρότυπα για την περιγραφή της τεχνικής κατάστασης των σωλήνων αναθεωρούνται στην παράγραφο 2.3. Αυτή η αναθεώρηση ακολουθείται από μια συζήτηση της ανάλυσης της αξιοπιστίας συστημάτων διανομής ύδατος. Αυτό το τμήμα επιδεικνύει επίσης πώς τα πρότυπα για την αξιολόγηση του δομικού όρου των σωλήνων συνδέονται με την ανάλυση αξιοπιστίας των δικτύων. Τα υπάρχοντα πρότυπα βελτιστοποίησης για την αποκατάσταση των δικτύων διανομής ύδατος συζητούνται στην παράγραφο 2.5. Ο σκοπός αυτός της συζήτησης είναι να επεξηγήσει το εύρος κάθε θέματος και να παρέχει στον αναγνώστη μια ιδέα για την πολυπλοκότητα του να ενσωματώσεις όλα αυτά τα ζητήματα σε ένα ενιαίο βελτιστοποιημένο πρότυπο.

2.2 Αιτίες των αποτυχιών σωλήνων

Οι αιτίες των αποτυχιών σωλήνων έχουν προσδιοριστεί από διάφορους συντάκτες (Morris 1967, Shamir και Howard 1979, Kelly και O'Day 1982, Goulter και Kazemi, 1988). Ποικίλοι παράγοντες που προκαλούν τις αποτυχίες έχουν αναφερθεί. Ο Morris (1967) πρότεινε διάφορες πιθανές αιτίες για τις κύριες αποτυχίες σωλήνων, αλλά υπογράμμισε ότι "η αιτία των κύριων αποτυχιών δε μπορεί πάντα να εξακριβωθεί".

Μια λεπτομερής συζήτηση του τι προκαλεί τις αποτυχίες στο δίκτυο διανομής ύδατος, είναι πέρα από το πεδίο αυτής της διατριβής. Εντούτοις, μια γενική εξήγηση των ποικίλων αιτιών είναι χρήσιμη. Μια λεπτομερής περιγραφή των αιτιών για τις αποτυχίες σωλήνων για τα πιο κοινά υλικά που χρησιμοποιούνται μέσα στην παροχή νερού δίνεται από τον Mosevoll (1994). Στη διεθνή λογοτεχνία η κύρια εστίαση είναι στις αποτυχίες των σωλήνων από γκρίζο χυτοσίδηρο και μαλακό σίδηρο δεδομένου ότι αυτά τα υλικά είχαν χρησιμοποιηθεί πολύ συχνά στο παρελθόν. Υπάρχει, μια αυξανόμενη τάση για χρησιμοποίηση των πλαστικών υλικών (PE και PVC) και στο μέλλον θα πρέπει να αναμείνουμε την αποτυχία αυτών των σωλήνων λόγω γήρανσης.

Οι σημαντικότερες μεταβλητές που περιγράφουν την δομική επιδείνωση των δικτύων ύδατος μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τέσσερις (4) κατηγορίες: δομικές ή φυσικές μεταβλητές, εξωτερικές ή περιβαλλοντικές μεταβλητές, εσωτερικές ή υδραυλικές μεταβλητές και μεταβλητές συντήρησης (Rostum et Al, 1997). Ένας κατάλογος πιθανών παραγόντων που προκαλούν τις αποτυχίες σωλήνων παρατίθεται στον πίνακα 2-1.

Πίνακας 2-1. Παράγοντες που επηρεάζουν τη χειροτέρευση των σωλήνων διανομής νερού.

Table 2-1. Factors affecting structural deterioration of water distribution pipes.

Structural variables	External/environmental variables	Internal variables	Maintenance variables
Location of pipe	Soil type	Water velocity	Date of failure
Diameter	Loading	Water pressure	Date of repair
Length	Groundwater	Water quality	Location of failure
Year of construction	Direct stray current	Water hammer	Type of failure
Pipe material	Bedding condition	Internal corrosion	Previous failure history
Joint method	Leakage rate		
Internal protection	Other networks		
External protection	Salt for de-icing of roads		
Pressure class	Temperature		
Wall thickness	External corrosion		
Laying depth			
Bedding condition			

Οι περισσότεροι από τους παράγοντες είναι σταθεροί με το χρόνο, αλλά κάποιοι μπορεί να είναι εξαρτώμενοι (π.χ. φόρτωση, ποιότητα νερού, ταχύτητα ύδατος).

Οι ακόλουθες παράγραφοι περιγράφουν τους παράγοντες που υποτίθεται ότι συνήθως άσκησαν μέγιστη επίδραση στην αποτυχία των σωλήνων.

Περίοδος και ηλικία εγκατάστασης.

Οι διαφορετικές περίοδοι ή περιοχές εγκαταστάσεων, παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά αποτυχίας. Αυτά τα χαρακτηριστικά εξαρτώνται περισσότερο από την πρακτική κατασκευής κάθε εποχής, παρά από την ηλικία της εγκατάστασης. Μερικές περίοδοι κατασκευής έχουν ένα υψηλότερο ποσοστό αποτυχιών από άλλες (Andreou et Al, 1987b Mosevoll, 1994). Σε μερικές περιπτώσεις, οι παλαιότεροι σωλήνες είναι ανθεκτικότεροι στην αποτυχία από τους νεώτερους σωλήνες. Για τους γκρίζους σωλήνες χυτοσιδήρου, αυτό μπορεί να εξηγηθεί από τα λεπτότερα τοιχώματα που παράγονται με τις νεώτερες μεθόδους τοποθέτησης του μέταλλου στο καλούπι. Τα λεπτότερα τοιχώματα οδηγούν σε μια μεγαλύτερη επίδραση της διάβρωσης και πιο υψηλού επιπέδου πίεσης για τα ίδια εξωτερικά φορτία. Η σημασία του «backfill» στη διάρκεια ζωής των σωλήνων, δεν είχε γίνει αντιληπτή μέχρι την δεκαετία του '30 ενώνοντας τις τεχνικές που είχαν βελτιωθεί κατά τη διάρκεια των ετών, επιτρέποντας μεγαλύτερες εκτροπές στις ενώσεις. Κατά τη διάρκεια της άνθησης της κατασκευής κατοικιών της δεκαετίας του '50 και της δεκαετίας του '60, η ποσότητα ήταν σημαντικότερη από την ποιότητα της κατασκευής. Ο Wengstrom (199α) διαπίστωσε ότι τα αρχεία (πληροφορίες) αποτυχίας σωλήνων είναι ανίκανα να παρουσιάσουν εξάρτηση ηλικίας και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι στρατηγικές επισκευής θα πρέπει να καλύψουν την εξάρτηση ηλικίας. Έτσι, λίγοι σωλήνες επιτρέπονται να μείνουν στο έδαφος μετά από περισσότερες από περίπου τέσσερις (4) επισκευές. Οι Goulter και Kazemi (1988) επίσης κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ηλικία δεν πρέπει να είναι ο ενιαίος παράγοντας που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των σωλήνων.

Διάβρωση

Η διάβρωση είναι ένας από τους κύριους λόγους για τις αντικαταστάσεις σωληνώσεων (Raestad, 1995). Παρατηρείται εξωτερική και εσωτερική υποβάθμιση, λόγω της διάβρωσης των σωλήνων που είναι κατασκευασμένοι από γκρι χυτοσίδηρο, μαλακό σίδηρο και χάλυβα (Mosevoll, 1994). Η εσωτερική διάβρωση εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του μεταφερομένου ύδατος (π.χ. pH, αλκαλικότητα, βακτηρίδια και περιεκτικότητα σε οξυγόνο) και η εξωτερική διάβρωση εξαρτάται από το περιβάλλον γύρω από τον σωλήνα (π.χ. εδαφολογικά χαρακτηριστικά, εδαφολογική υγρασία, και αερισμός). Ο Kaara (1984) υποστήριξε ότι η εξωτερική διάβρωση είναι ένας σημαντικός παράγοντας που ενσωματώνεται στα προβλεπτικά μοντέλα

δεδομένου της έντασής της, αντίθετα από αυτήν η εσωτερική διάβρωση θα ποικίλει από σωλήνα σε σωλήνα καθώς οι εδαφολογικοί όροι ποικίλλουν.

Διάμετρος

Φαίνεται να υπάρχει συμφωνία στη θεωρία ότι ο υψηλότερος αριθμός αποτυχιών βρίσκεται στους σωλήνες με τις μικρές διαμέτρους (π.χ. Andreou, 1986 Eisenbeis, 1994). Οι σωλήνες με διαμέτρους λιγότερο ή ίσο προς 200 mm έχουν ιδιαίτερα μεγάλο αριθμό αποτυχιών. Η υψηλή συχνότητα των αποτυχιών για τις μικρές διαστάσεις σωλήνων εξηγείται από τη μειωμένη δύναμη των σωλήνων, το μειωμένο πάχος των τοιχωμάτων, τα διαφορετικά πρότυπα κατασκευής και τις λιγότερο αξιόπιστες ενώσεις για τους μικρότερους σωλήνες (Wengstrom, 1993b). Ένας άλλος λόγος είναι οι χαμηλότερες ταχύτητες στους μικρότερους σωλήνες με συνέπεια την τοποθέτηση των αιωρούμενων υλικών από το νερό, που δημιουργεί κατάλληλο περιβάλλον για την αύξηση βακτηριδίων. Επιπλέον, οι μεγαλύτεροι σωλήνες είναι βαρύτεροι και η τοποθέτηση αυτή εμφανίζεται κατά τη διάρκεια ή αμέσως μετά από την εγκατάσταση.

Μήκος σωλήνων

Το μήκος σωλήνων διαφέρει από σωλήνα σε σωλήνα μέσα σε ένα δίκτυο και επίσης μεταξύ των δικτύων. Για τους μακριούς σωλήνες (π.χ. > 1000 m) οι εξωτερικοί παράγοντες όπως οι εδαφολογικοί παράγοντες και η κυκλοφορία, ποικίλουν κατά μήκος του σωλήνα. Ο Rostum (1997) σύστησε να γίνετε παραγγελία με μήκη σωλήνων 100m προκειμένου να αποφευχθούν οι διαφορετικοί παράγοντες για τον ίδιο σωλήνα. Ο Andreou (1986) βρήκε την λειτουργία κινδύνου να είναι περίπου ανάλογη προς την τετραγωνική ρίζα του μήκους. Τα παρόμοια συμπεράσματα αναφέρονται από τους Eisenbeis (1994), Lei (1997) και Eisenbeis (1999).

Υλικό σωλήνων

Οι περισσότερες εγκαταστάσεις παροχής ύδατος αποτελούνται κυρίως από σωλήνες χυτοσιδήρου και για αυτούς τους σωλήνες υπάρχουν μακροχρόνια αρχεία των αποτυχιών. Πολλοί ερευνητές έχουν εστιάσει στους γκρίζους σωλήνες χυτοσιδήρου (Andreou, 1986 Goulter και Kanzemi, 1988 Eisenbeis, 1994 UtilNets, 1997). Τα τελευταία χρόνια, τα νέα υλικά όπως το PVC και το PE έχουν εισαχθεί σε μεγάλη κλίμακα για τα δίκτυα ύδατος. Τα υλικά χαρακτηριστικά αυτών των σωλήνων διαφέρουν ευρέως και τα διαφορετικά υλικά πρέπει να αναλυθούν χωριστά (Mosevoll, 1994). Στη στατιστική ανάλυση των σωλήνων φτιαγμένων από PVC και PE εστιάζουν οι πρόσφατες μελέτες (Eisenbeis). Σε μια σουηδική έρευνα (Sundahl, 1996) τα υψηλότερα ποσοστά αποτυχιών παρατηρήθηκαν στους γκρίζους σωλήνες χυτοσιδήρου και τους σωλήνες PVC.

Οι τεχνικές κατασκευής για σωλήνες διαφορετικού υλικού έχουν αλλάξει αρκετά κατά τη διάρκεια των ετών. Η εξέλιξη των μεθόδων τοποθέτησης σε καλούπι για τους σωλήνες γκρι σιδήρου είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα. Οι πρώτοι σωλήνες τοποθετήθηκαν σε καλούπια οριζόντια, φτιαγμένα από άμμο με συνέπεια το ανώμαλο πάχος των τοιχωμάτων. Η πιο πρόσφατη, κάθετη τοποθέτηση σε καλούπι, εισήχθη με συνέπεια πιο ομοιόμορφο πάχος τοιχωμάτων, διευκολύνοντας την παραγωγή των σωλήνων με λεπτότερα τοιχώματα. Η ανάπτυξη των φυγοκεντρικών μεθόδων, τοποθέτηση σε καλούπι, οδήγησε σε βελτιωμένη αντοχή των σωλήνων και μεγαλύτερη ακόμη ομοιομορφία του πάχους των τοιχωμάτων (WRc, 1998). Οι τεχνικές παραγωγής καθώς επίσης και τα υλικά, πρέπει να εξεταστούν κατά την ανάλυση των αποτυχιών των σωλήνων γκρίζου χυτοσιδήρου. Η μέθοδος παραγωγής συσχετίζεται με το έτος παραγωγής, που με τη σειρά του συσχετίζεται με το έτος τοποθέτησης.

Εποχιακή μεταβλητότητα

Το εποχιακό σχέδιο με τον μέγιστο αριθμό αποτυχιών να εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του χειμώνα είναι κοινό για πολλά δίκτυα διανομής ύδατος (Eisenbeis, 1994 Saegron et Al, 1999). Ο Andreou (1986) διαπίστωσε ότι οι σωλήνες μικρότερων διαμέτρων (λιγότερο από 8 ίντσες) έχουν τα υψηλότερα ποσοστά αποτυχιών το χειμώνα. Ο Sundahl (1996) ανέλυσε πέντε (5) δίκτυα ύδατος στη Σουηδία. Ο αριθμός αποτυχιών συσχετίστηκε με τη θερμοκρασία του αέρα, αλλά κανένας συσχετισμός δεν βρέθηκε με την πτώση και το βάθος χιονιού. Στο Τρόντχαιμ, οι περισσότερες από τις αποτυχίες αναφέρονται κατά τη θερινή εποχή, παρά το αναμενόμενο φορτίο παγετού το χειμώνα λόγω του κρύου κλίματος (Rostum, 1997). Αυτό εξηγείται λόγω ενός εντατικού προγράμματος ελέγχου διαρροής που πραγματοποιείται κατά τη θερινή περίοδο, ανιχνεύοντας την εξωτερική διάβρωση των μη προστατευμένων σωλήνων σιδήρου.

Ο Saegron (1999) παρατήρησε μία χειμερινή και μια θερινή αιχμή στο ρυθμό αποτυχιών στην Αγγλία. Η θερινή αιχμή αποδόθηκε στην ξήρανση και την ανώμαλη συστολή των χωμάτων αργίλου, ενώ η χειμερινή αιχμή οφείλεται στη δημιουργία παγετού ή τις θερμικές επιδράσεις συστολής. Επιπλέον, το ετήσιο ποσοστό αποτυχιών για μία περίοδο δέκα ετών βρέθηκε να συσχετίζεται με τη μέση ετήσια πρωινή θερμοκρασία και αφορούσε αντιστρόφως ανάλογα τις συνολικές ετήσιες βροχοπτώσεις.

Τα κλιματολογικά αποτελέσματα πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε ένα προκαταρκτικό στάδιο προκειμένου να καθοριστούν οι αιτίες αποτυχίας σωλήνων. Εντούτοις, για την πρόβλεψη των μελλοντικών αποτυχιών δεν είναι εύκολο να περιληφθούν τα κλιματολογικά αποτελέσματα ως σταθερά δεδομένου ότι η χρονική εξέλιξη αυτών των παραγόντων είναι άγνωστη. Ο Sundahl (1996) στη διατριβή του προσπάθησε να διαμορφώσει τις εποχιακές

παραλλαγές στη διαρροή χρησιμοποιώντας μια ημιτονοειδής καμπύλη. Από την άποψη του υπεύθυνου η ύπαρξη της εποχιακής παραλλαγής στις αποτυχίες σωλήνων μπορεί να είναι χρήσιμη για τον καθημερινό προγραμματισμό/ οργάνωση της διαχείρισης του δικτύου ύδατος. Εντούτοις, όταν υπολογίζουμε τις μελλοντικές ανάγκες για την αποκατάσταση και για να δώσουμε προτεραιότητα μεταξύ των σωλήνων είναι λιγότερο χρήσιμο να είναι γνωστή η πραγματική ημέρα της αποτυχίας.

Εδαφολογικές συνθήκες

Οι εδαφολογικές συνθήκες έχουν επιπτώσεις στα εξωτερικά ποσοστά διάβρωσης, και διαδραματίζουν έναν σημαντικό ρόλο στην υποβάθμιση των σωλήνων. Ο Clark (1982) χρησιμοποίησε την παρουσία διαβρωτικών εδαφολογικών περιβαλλόντων στην ανάλυσή της αποτυχίας σωλήνων, αλλά βρήκε έναν χαμηλό συσχετισμό μεταξύ του μήκους του σωλήνα που τοποθετείται στα διαβρωτικά περιβάλλοντα και των αποτυχιών.

Ο Malandain (1998) χρησιμοποίησε το GIS για να συσχετίσει τις εδαφολογικές συνθήκες με το ποσοστό αποτυχιών για τους σωλήνες στο δίκτυο ύδατος στη Λυών, της Γαλλίας. Ο Eisenbeis (1994) χρησιμοποίησε τις επίγειες συνθήκες, (που ορίζεται ως η παρουσία ή η απουσία διαβρωτικού χώματος) ως επεξηγηματική μεταβλητή στη ανάλυση των αποτυχιών σωλήνων.

Προηγούμενες αποτυχίες

Οι προηγούμενες αποτυχίες ή το ιστορικό αποτυχίας ενός σωλήνα είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την πρόβλεψη μελλοντικών αποτυχιών (Walski και Pelliccia, 1982). Ο Andreou (1986) χρησιμοποίησε το ανάλογο πρότυπο κινδύνων COX για να αναλύσει τις αποτυχίες στο δίκτυο ύδατος. Το ποσοστό αποτυχιών αυξήθηκε με κάθε αποτυχία, μέχρι την τρίτη αποτυχία και μετά το ποσοστό αποτυχιών ήταν σταθερό, αλλά υψηλό. Ο αριθμός των προηγούμενων αποτυχιών βρέθηκε να επηρεάζει σημαντικά τη λειτουργία κινδύνου των σωλήνων. Ο Eisenbeis (1994) παρατήρησε ένα παρόμοιο σχέδιο. Ο Malaindain (1999) περιέλαβε αυτά τα συμπεράσματα από τον Andreou και τον Eisenbeis σε ένα πρότυπο ποσοστού αποτυχιών.

Οι Goulter και Kanzemi (1988) παρατήρησαν την χρονική και χωρική συγκέντρωση των κύριων αποτυχιών του νερού, δείχνοντας ότι μία προηγούμενη αποτυχία αύξησε την πιθανότητα των μελλοντικών αποτυχιών. Περίπου 60% όλων των επόμενων αποτυχιών εμφανίστηκε μέσα σε 3 μήνες από την προηγούμενη αποτυχία. Πρότειναν ότι οι επόμενες αποτυχίες προκαλούνται από τη ζημία κατά τη διάρκεια των διαδικασιών επισκευής, όπως το κύμα πίεσης ξαναγεμίζοντας τον σωλήνα μετά από τις μετακινήσεις επισκευής ή εδάφους προκαλούμενες από την ανασκαφή, την επιχωμάτωση και την μετακίνηση των βαριών οχημάτων. Ο Sundahl (1996 ..1997) επίσης

παρατηρεί μια αύξηση στα ποσοστά αποτυχιών μετά από μία αποτυχία λόγω της δραστηριότητας συντήρησης στο δίκτυο (π.χ. επισκευή, αντικατάσταση).

Διάφοροι παράγοντες ανεξάρτητοι από τις δραστηριότητες επισκευής είναι επίσης αρμόδιοι για την συγκέντρωση των αποτυχιών στο δίκτυο. Οι σωλήνες στην ίδια θέση έχουν συχνά την ίδια ηλικία και τα ίδια υλικά και τοποθετούνται με τις ίδιες μεθόδους κατασκευής και ένωσης. Οι σωλήνες στη ίδια θέση είναι επίσης πιθανό να εκτεθούν στις ίδιες εξωτερικές και εσωτερικές συνθήκες διάβρωσης.

Κοντινή ανασκαφή

Οι ανασκαφές κοντά στις σωληνώσεις ενοχλούν τους όρους κλινοστρωμνής, με συνέπεια την αποτυχία σωλήνων. Έρευνα στην Αγγλία (WRc, 1998) δείχνει ότι η εργασία για τις παρακείμενες υπηρεσίες (π.χ. αέριο, ηλεκτρική ενέργεια) μπορεί να προκαλέσει την αποτυχία σωλήνων.

Πίεση

Η στατική πίεση ύδατος και τα κύματα πίεσης σε ένα σύστημα διανομής μπορούν να ασκούν επιπτώσεις στην αποτυχία σωλήνων. Τα κύματα πίεσης μπορούν να εμφανιστούν όταν βαλβίδες ύδατος και αέρα είναι ανοικτές και κλείνουν κατά τη διάρκεια των διαδικασιών των δικτύων.

Αυτά τα κύματα μπορούν να είναι ένας από τους παράγοντες στη συγκέντρωση αποτυχίας, δεδομένου ότι οι βαλβίδες είναι κλειστές και ανοικτές κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων επισκευής. Ο Andreou (1986) βρήκε τη στατική πίεση σημαντική όταν τα μοντέλα σωληνώσεων αποτυγχάνουν, αλλά η σημασία της μεταβλητής βρέθηκε χαμηλή.

Ο Clark (1982) χρησιμοποίησε και την απόλυτη πίεση και το διαφορικό πίεσης (κύμα) όταν διαμορφώνεται ο χρόνος για την πρώτη αποτυχία.

Χρήση εδάφους

Η χρήση εδάφους (π.χ. περιοχές κυκλοφορίας, κατοικημένες περιοχές, και εμπορικές περιοχές) χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο των εξωτερικών φορτίων στους σωλήνες. Ο Eisenbeis (1994 ..1997) χρησιμοποίησε τη χρήση εδάφους πέρα από το σωλήνα (δηλ. καμία κυκλοφορία εναντίον της βαριάς κυκλοφορίας), ως μεταβλητή στα πρότυπα αποτυχίας.

2.3 Υπάρχοντα πρότυπα για την περιγραφή της τεχνικής κατάστασης των σωλήνων

Έχουν υπάρξει τρεις κύριες προσεγγίσεις στη διαμόρφωση της τεχνικής κατάστασης των δικτύων ύδατος, όσον αφορά τις αποτυχίες σωλήνων: περιγραφική ανάλυση, φυσική ανάλυση και προφητική ανάλυση. Μία περίληψη αυτών των προσεγγίσεων δίνεται στο Wengstrom (1993α). Η περιγραφική ανάλυση οργανώνει και συνοψίζει τα στοιχεία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δείξει τις διάφορες τάσεις στις αποτυχίες και τους παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στις αποτυχίες των σωλήνων. Κάθε προσπάθεια να διαμορφωθούν οι κατασκευαστικές συνθήκες ενός δικτύου σωλήνων πρέπει να αρχίζει με αυτή τη βασική ανάλυση. Η φυσική ανάλυση χρησιμοποιεί τις εκτιμήσεις της εξωτερικής φόρτωσης, το ποσό εσωτερικής και εξωτερικής διάβρωσης και της πίεσης σωλήνων για να διαμορφώσει τις κατασκευαστικές συνθήκες του υλικού των σωλήνων. Η προφητική ανάλυση χρησιμοποιεί τις στατιστικές τεχνικές για να προβλεφθούν οι μελλοντικές διακοπές του συστήματος.

Μια από τις πιο εγκατεστημένες αναφορές σχετικά με τη διαμόρφωση αποτυχίας σωλήνων είναι η αποκαλούμενη προσέγγιση των Shamir και Howard (Shamir και Howard, 1979), μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για να καθορίσει το βέλτιστο χρόνο της αντικατάστασης για τους υδροσωλήνες. Και οι υπάρχοντες και οι αντικατεστημένοι σωλήνες εξετάζονται σε αυτό το πρότυπο.

Με βάση τα στοιχεία αποτυχίας, ο αριθμός αποτυχιών ανά μήκος μονάδων ετησίως προβλέπεται από:

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

όπου $B(t)$ δείχνει το ποσοστό αποτυχιών (breaks/year/km) στο έτος t και $B(t_0)$ το αρχικό ποσοστό αποτυχιών στο έτος t_0 . Το A είναι μια σταθερά με μονάδα έτος εις την -1 . (Ο Shamir και ο Howard χρησιμοποίησαν τη σημείωση $N(t)$ αντί του $B(t)$ για το ποσοστό σπασιμάτων. Δεδομένου ότι ο όρος $N(t)$ χρησιμοποιείται ευρέως για τον υπολογισμό των διαδικασιών ως συσσωρευτικό αριθμό αποτυχιών κατά τη διάρκεια $(0, t]$, το $B(t)$ αντικαθιστά το $N(t)$ σε αυτήν την εργασία).

Μετά από την αντικατάσταση, ο σωλήνας θεωρείται "ουσιαστικά ελεύθερος αποτυχιών" μέσα στον ορίζοντα προγραμματισμού. Ο Shamir και ο Howard συνδύασαν την πρόβλεψη αποτυχιών με τα οικονομικά στοιχεία για να βρουν τον βέλτιστο χρόνο για την αντικατάσταση. Αυτή η παλινδρομική εξίσωση των μεταβλητών των αποτυχιών έχει συστηθεί και από άλλους συντάκτες (Walski, 1987).

Οι κύριοι περιορισμοί του προτεινόμενου παραπάνω προτύπου αποτυχιών είναι:

- Οι προβλέψεις των αποτυχιών που βασίζονται μόνο στην ηλικία του σωλήνα είναι πολύ περιορισμένες. Άλλοι παράγοντες όπως η διάμετρος σωλήνων, μήκος, πίεση, υλικό, χρώμα, επιθετικότητα του ύδατος, αριθμός προηγούμενων σπασμάτων είναι σημαντικοί παράγοντες στο σπάσιμο σωλήνων, και πρέπει έπειτα να περιληφθούν στο πρότυπο.
- Η μέθοδος δεν περιλαμβάνει πληροφορίες για τους σωλήνες που δεν έχουν αποτύχει ακόμα (δηλ. λογοκριμένοι χρόνοι αποτυχίας).
- Το παλινδρομικό πρότυπο αποτυχίας είναι εντούτοις, απλό να ισχύει και παρά τους περιορισμούς του, έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στα ερευνητικά προγράμματα για να προβλεφθεί ο αριθμός των μελλοντικών αποτυχιών στα δίκτυα παροχής νερού (Kaara, 1984 Smith, 1994 Kleiner, 1997 Kleiner και Rajani, 1999).

Ο Walski και ο Pelliccia (1982) πρότειναν μια προσέγγιση παρόμοια με αυτήν της Shamir και του Howard (1979), στο οποίο περιλαμβάνουν τους παράγοντες για την ιστορία αποτυχιών και τη διάμετρο των σωλήνων. Το πρότυπό τους λαμβάνει την μορφή:

$$B(t) = C_1 C_2 a e^{b(t-k)}$$

Όπου το $B(t)$ δείχνει το ποσοστό αποτυχιών (breaks/year/mile) στον χρόνο t , C_1 είναι ο παράγοντας διορθώσεων για τις προηγούμενες αποτυχίες και C_2 είναι ο παράγοντας διορθώσεων για το μέγεθος σωλήνων, το a και το b είναι παράμετροι παλινδρόμησης και το k είναι το έτος εγκατάστασης σωλήνων ($t-k$), είναι η ηλικία του σωλήνα. (Οι Walski και Pelliccia χρησιμοποίησαν την σημείωση $N(t)$ αντί του $B(t)$ για το ποσοστό αποτυχιών. Προκειμένου να αποφευχθεί η σύγχυση με την μετρούμενη ορολογία διαδικασίας, η σημείωση έχει αλλαχτεί σε αυτήν την εργασία).

Ο Clark (1982) προτείνει ένα πρότυπο οπισθοδρόμησης βασισμένο στην παρατήρηση ότι μια περίοδος καθυστερήσεων εμφανίζεται μεταξύ της εγκατάστασης σωλήνων και της πρώτης αποτυχίας. Δύο εξισώσεις αναπτύσσονται, η μία για να προβλέψει τον χρόνο που παρήλθε έως ότου εμφανίζεται η πρώτη αποτυχία και το δεύτερο για να προβλέψει τον αριθμό των επόμενων αποτυχιών. Όπως στα προηγούμενα περιγεγραμμένα πρότυπα μια εκθετική αύξηση του ποσοστού αποτυχιών παρατηρείται (μετά από την πρώτη αποτυχία). Διάφορες δημογραφικές μεταβλητές, όπως η

βιομηχανική ανάπτυξη και η κατοικημένη ανάπτυξη χρησιμοποιούνται ως συμμεταβλητές στις εξισώσεις.

Ο Kaara (1984) στη διατριβή του και ο Andreou (1986) στη δική του εισάγουν το ημιπαραμετρικό ανάλογο πρότυπο κινδύνων του COX (PHM) (Andreou, 1987 Andreou, 1987a Andreou , 1987b) για την ανάλυση των αποτυχιών σωλήνων στα δίκτυα ύδατος. Ο Andreou ανέπτυξε ένα πρότυπο για την πρόβλεψη της πιθανότητας αποτυχίας για κάθε μεμονωμένο σωλήνα στο δίκτυο για δύο μεγάλες χρησιμότητες ύδατος στις βορειοανατολικές Η.Π.Α. Σε αυτό το πρότυπο, η διάρκεια ζωής από έναν σωλήνα χωρίζεται σε στάδιο αργής αποτυχίας- και στάδιο γρήγορης αποτυχίας. Το γρήγορο στάδιο αποτυχίας αρχίζει μετά από τρεις αποτυχίες. Ένα ανάλογο πρότυπο κινδύνων (PHM) χρησιμοποιείται για να περιγράψει το "ποσοστό αποτυχιών" $h(x)$ για κάθε σωλήνα, ως λειτουργία του χρόνου:

$$h(x,z,\beta)=h_0(x)\exp(z'\beta)$$

όπου $h_0(x)$ είναι η συνάρτηση κίνδυνου της κεντρικής γραμμής, το z "είναι ένα διάνυσμα στηλών των συμμεταβλητών ή των ανεξάρτητων μεταβλητών ($z'=[z_1, z_2, z_3..z_p]$), και β είναι ένα διάνυσμα των άγνωστων παραμέτρων παλινδρόμησης ($\beta=[\beta_1,\beta_2,\beta_3..\beta_p]$) που πρέπει να εγκατασταθούν χρησιμοποιώντας τις παρατηρήσεις των πεδίων. Μια διαμορφωμένη καμπύλη μπανιέρας δίνει την καλύτερη περιγραφή του βασικού κινδύνου λειτουργίας.

Η περιπτωσιολογική μελέτη βρίσκει τις ακόλουθες μεταβλητές, να είναι οι σημαντικότερες στην ανάλυση των αποτυχιών:

- Η πίεση στον σωλήνα,
- Ο αριθμός προηγούμενων αποτυχιών,
- Η ηλικία του σωλήνα κατά την διάρκεια της δεύτερης αποτυχίας,
- Η περίοδος εγκατάστασης,
- Η χρήση του εδάφους ,
- Το μήκος των σωλήνων.

Το "ποσοστό αποτυχιών" δεν αυξάνεται μετά από την τρίτη αποτυχία. Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται στη ανάλυση ποικίλουν πολύ στο μήκος. Μερικοί από τους σωλήνες είναι πολύ μακριοί (δηλ. > 1000 μ) για να αναλυθούν ως ένα συστατικό, δεδομένου ότι οι συνθήκες που έχουν επιπτώσεις στο ποσοστό αποτυχιών μπορεί να ποικίλουν κατά μήκος των σωλήνων.

Ο Andreou ανέπτυξε αυτό το πρότυπο για να προβλέψει την πιθανότητα αποτυχίας και για να αξιολογήσει τις επεξηγηματικές μεταβλητές στις

αποτυχίες σωλήνων. Το πρότυπο δεν είναι προοριζόμενο να προβλέψει τον αναμενόμενο αριθμό αποτυχιών σε ένα δίκτυο.

Ο Al-Humoud (1990), χρησιμοποίησε ένα PHM πρότυπο για να διαμορφώσει την αποτυχία για τις ίδιες δύο χρησιμότητες ύδατος με τον Andreou (1987). Η ευαισθησία των παραμέτρων των προτύπων στο μέγεθος των δειγμάτων και η λογοκρισία εξετάζονται μέσω της τυχαίας δειγματοληψίας από μια βάση δεδομένων. Η συνάρτηση ποικίλλει με το μέγεθος δειγμάτων και το ποσοστό της λογοκριμένης παρατήρησης.

Οι Li και Haimes (1992) ανέπτυξαν ένα ημι-Markov πρότυπο για να περιγράψουν την διαδικασία επιδείνωσης σε ένα δίκτυο παροχής νερού. Οι εκπροσωπούμενες θέσεις του Markov είναι η κατάσταση της λειτουργίας και ο αριθμός αποτυχιών που έχουν εμφανιστεί. Το PHM όπως χρησιμοποιείται από τον Andreou (1986) εφαρμόζεται για να προσδιορίσει δύο στάδια της επιδείνωσης και των συνοδευτικών κινδύνων λειτουργίας τους. Οι συντάκτες χρησιμοποίησαν τους τύπους Walski και Pelliccia (1982) για να υπολογίσουν το χρόνο επισκευής ενός σωλήνα και για να υπολογίσουν το συνοδευτικό κόστος της επισκευής και της αντικατάστασης. Οι πιθανότητες σταθερής κατάστασης αποκτηθείσες από το πρότυπο Markov χρησιμοποιούνται σε ένα γραμμικό πρότυπο βελτιστοποίησης, το οποίο μεγιστοποιεί την διαθεσιμότητα του συστήματος και περιλαμβάνει τις αναμενόμενες δαπάνες ως περιορισμό. Αυτή η ανάλυση δεν περιλαμβάνει ένα υδραυλικό πρότυπο δικτύων, και δεν μπορεί να υπολογίσει τον εναλλασσόμενο ανεφοδιασμό (διαθεσιμότητα συστημάτων), ενώ ένας σωλήνας επισκευάζεται.

Ο Wengstrom (1993) παρουσιάζει μια ανάλυση της συμπεριφοράς του συστήματος των δικτύων διανομής ύδατος χρησιμοποιώντας το Πρόσθετο Πρότυπο Κινδύνων (AHM). Σε αυτό το πρότυπο παλινδρόμησης οι συμμεταβλητές συνδέονται με το χρόνο μεταξύ των αποτυχιών με ένα πρόσθετο τρόπο. Ο στόχος της εργασίας είναι να ερευνηθεί εάν οι επισκευές σωλήνων ανανέωσαν ή όχι το σύστημα. Σε αντίθεση με το PHM, το AHM δεν εξετάζει την γήρανση των σωλήνων, αλλά αξιολογεί τον χρόνο μεταξύ των αποτυχιών και των επισκευών. Ο συντάκτης υποστηρίζει ότι το PHM πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των μεμονωμένων σωλήνων, ενώ το AHM πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να αναλύσει τη συμπεριφορά του συστήματος από την άποψη της ιστορίας αποτυχιών και την επιρροή των επισκευών. Τα αποτελέσματα από την ανάλυση δείχνουν ότι η δραστηριότητα επισκευής που πραγματοποιείται στο δίκτυο αυξάνει την πιθανότητα των αποτυχιών.

Ο Goulter (1993) ανέπτυξε μια μέθοδο για την παραλλαγή στα ποσοστά αποτυχιών των σωλήνων που συνδέονται με τη χρονική και χωρική

συγκέντρωση του νερού και των κύριων αποτυχιών. Αυτή η μέθοδος συζητείται επίσης από τους Goulter και Kanzemi (1988). Το πρώτο βήμα αυτής της μεθόδου χρησιμοποιεί ένα "διαγώνιο σχέδιο παραπομπής" για να καθοριστεί ο μέσος όρος των αποτυχιών που εμφανίζονται σε έναν σωλήνα μετά από την πρώτη αποτυχία. Στο δεύτερο βήμα, μια μη γραμμική οπισθοδρόμηση χρησιμοποιείται για να καθορίσει τις τιμές των συντελεστών για μια εξίσωση που συλλαμβάνει τις αλλαγές στο μέσο όρο των επόμενων αποτυχιών με τη διακύμανση στο χρόνο και στο χώρο. Αυτές οι παράμετροι εφαρμόζονται σε μια ανομοιογενή διανομή Poisson που προβλέπει την πιθανότητα μίας επόμενης αποτυχίας σε ένα σωλήνα, δεδομένου ότι η πρώτη αποτυχία εμφανίστηκε ήδη. Το πρότυπο είναι περιορισμένο στην πρόβλεψη των επόμενων αποτυχιών και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει την πρώτη αποτυχία. Η ανομοιογενής διανομή Poisson χρησιμοποιούμενη δεν περιλαμβάνει τις επεξηγηματικές μεταβλητές.

Μια νέα στατιστική διανομή, που ονομάζεται διανομή Herz, εισήχθη από τον Herz (1996 ..1997 ..1998) και χρησιμοποιήθηκε από τον Trujillo (1995) για την περιγραφή της γήρανσης των υδροσωλήνων. Το πρότυπο είναι βασισμένο σε ένα μαθηματικό πρότυπο επιβίωσης ομάδων που αναπτύσσεται στο πανεπιστήμιο Karlsruhe. Σε αυτό το πρότυπο, το δίκτυο διαιρείται σε ομάδες των σωλήνων, δηλ. ομάδες σωλήνων με το ίδιο έτος εγκατάστασης, υλικού σωλήνων και άλλων χαρακτηριστικών που έχουν επιπτώσεις στην απόδοσή τους κατά τη διάρκεια του χρόνου. Η διανομή Herz αναπτύχθηκε συγκεκριμένα για τη γήρανση των στοιχείων υποδομής και έχει το χαρακτηριστικό γνώρισμα ότι ο ρυθμός αποτυχίας/ρυθμός ανανέωσης, αυξάνει με την ηλικία όλο και περισσότερο προτού να αυξηθεί πιο βαθμιαία και τελικά να πλησιάσει ασυμπτωτικά μια αξία ορίου. Αυτό που ο συντάκτης κάλεσε ρυθμό αποτυχίας/ρυθμό ανανέωσης, είναι στους στατιστικούς όρους η συνάρτηση κινδύνου για την ζωή ενός σωλήνα. Το ποσοστό ανανέωσης δίνεται από:

$$h(t) = \frac{be^{b(t-c)}}{a + e^{b(t-c)}} \quad \text{for } t \geq c = 0$$

Όπου η αξία των a , b και c μπορούν να προσδιοριστούν εμπειρικά για τις προηγούμενες περιόδους και τους ιδιαίτερους τύπους σωλήνων.

Για χρησιμοποιούνται στην πρόβλεψη, πρέπει να βασίζονται στην κρίση ειδικών, δηλ. στις εκτιμήσεις επιβίωσης των σωλήνων από τους διευθυντές και τους μηχανικούς (Herz, 1996). Η συνάρτηση ηλικίας (με τα ανώτερα και χαμηλότερα όρια) πρέπει να είναι καθιερωμένη για κάθε ομάδα σωλήνων. Το πρότυπο προβλέπει την υπόλοιπη ζωή (δηλ. υπόλοιπος διάρκεια ζωής) για κάθε ομάδα σωλήνων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσει τις απαιτήσεις αποκατάστασης.

Διάφορες σημαντικές ευρωπαϊκές πόλεις έχουν χρησιμοποιήσει την διανομή Herz για τον προγραμματισμό της ανακαίνισης και της αποκατάστασης σωληνώσεων. Η διαδικασία λειτουργεί με το φιλικό προς το χρήστη λογισμικό KANEW σε ένα ερευνητικό πρόγραμμα που υποστηρίζεται από AWWARF (Deb et Al, 1998). Το πρότυπο χρησιμοποιήθηκε σε πέντε (5) περιπτώσιολογικές μελέτες στις Η.Π.Α. ως τμήμα αυτού του προγράμματος. Οι συντάκτες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το KANEW είναι χρήσιμο για τις μελλοντικές ανάγκες αποκατάστασης, αλλά θα μπορούσε να βελτιωθεί με την ανάπτυξη καλύτερων μεθόδων για τις παραμέτρους λειτουργίας επιβίωσης χρησιμοποιώντας τα αρχεία λειτουργίας και συντήρησης.

Τα κύρια μειονεκτήματα της διανομής Herz/ KANEW είναι ότι:

- Δεν ενδείκνυται για την ανάλυση μεμονωμένων σωλήνων. Οι συναρτήσεις ηλικίας διευκρινίζονται για κάθε τύπο σωλήνων, όχι για τους μεμονωμένους σωλήνες. Αυτό υπονοεί ότι το τον πρότυπο πρέπει μόνο να χρησιμοποιηθεί κατά ανάλυση των αναγκών και των στρατηγικών αποκατάστασης για ολόκληρο το δίκτυο διανομής ύδατος (δηλ. επίπεδο δικτύων).
- Δεν εξετάζει τους σημαντικούς παράγοντες όπως την υδραυλική ανάλυση ικανότητας, ποιότητας νερού και αξιοπιστίας του δικτύου στη ανάλυση των αναγκών αποκατάστασης/ανανέωσης. Το πρότυπο υποθέτει ότι αυτές οι ιδιότητες είναι μια λειτουργία της ηλικίας (για κάθε ομάδα), και αποτελούνται από την λειτουργία πυκνότητας πιθανότητας της ζωής υπηρεσιών.
- Οι παράμετροι στη διανομή Herz είναι βασισμένες στα ιστορικά ποσοστά ανανέωσης και τα μη ιστορικά ποσοστά αποτυχιών. Τα ποσοστά ανανέωσης απεικονίζουν τις πολιτικές αποκατάστασης στο παρελθόν (π.χ. τείνοντας συχνά να διατηρήσει μια σταθερή μέση ηλικία του αποθέματος) και τις οικονομικές και τεχνικές συνθήκες της περιόδου. Επιπλέον οι πολιτικές αποκατάστασης είναι πιθανό να αλλάξουν στο μέλλον. Έτσι οι παράμετροι θα έπρεπε να αλλαχτούν προκειμένου να απεικονίσουν τα μελλοντικά πρότυπα και τις πολιτικές. Αυτό είναι ένα πρόβλημα πρόβλεψης που μπορεί να αντιμετωπιστεί με την τεχνική των Δελφών.

Με βάση τις ανάγκες για τις βελτιώσεις που περιγράφονται από τον Deb (1998), οι Gustafson και Dale (1999b) προτείνουν να παραχθούν οι καμπύλες επιβίωσης με τη χρησιμοποίηση μιας προσομοίωσης Monte Carlo ως εισερχόμενου στοιχείου για την KANEW.

Ο Eisenbeis (1994 και 1997), πρότεινε μια προσέγγιση παρόμοια με την εφαρμογή του Andreou του ανάλογου προτύπου κινδύνου (Andreou, 1986), όπου υπέθεσε μια διανομή Weibull για το κίνδυνο των βασικών γραμμών,

$h_0(x)$. Αυτό το πρότυπο περιλαμβάνει επίσης τρία στάδια. Το πρώτο στάδιο περιγράφει τις συναρτήσεις κινδύνου για τους σωλήνες που δεν έχουν καμία αποτυχία. Το δεύτερο στάδιο περιγράφει τις συναρτήσεις κινδύνου για τη δεύτερη έως την τέταρτη αποτυχία, ενώ το τρίτο στάδιο περιγράφει τις λειτουργίες κινδύνου για τους σωλήνες μετά την τέταρτη αποτυχία τους. Ο σημαντικότερος παράγοντας για την πρόβλεψη των αποτυχιών είναι ο αριθμός προηγούμενων αποτυχιών. Η ηλικία είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για την πρόβλεψη της πρώτης αποτυχίας. Για τους σωλήνες με δύο έως τέσσερις αποτυχίες, η συνάρτηση κινδύνου εξαρτάται λιγότερο από την ηλικία. Για τους σωλήνες με περισσότερα από τέσσερις αποτυχίες, η συνάρτηση κινδύνου είναι σταθερή. Για την πρόβλεψη των μελλοντικών αποτυχιών για κάθε σωλήνα χρησιμοποιείται μια μέθοδος που υποθέτει τον αριθμό των αποτυχιών που θα προέλθουν από μια εκθετική διανομή.

Δεδομένου ότι η συνάρτηση κινδύνου βασικών γραμμών είναι πραγματικά ένα πρότυπο Weibull, η διαδικασία για τις νέες αποτυχίες ισχύει μόνο στη περίπτωση όπου η διανομή Weibull μειώνεται σε μια εκθετική διανομή.

Οι Andreou (1986) και Eisenbeis (1994) διακρίνουν καθαρά ένα αργό και γρήγορο στάδιο αποτυχιών, το οποίο απεικονίζει τα διαφορετικά στάδια στην καμπύλη μπανιέρας. Και οι δύο συντάκτες περιόρισαν τις αναλύσεις τους στη αποτυχία των γκρίζων σωλήνων χυτοσιδήρου.

Ο Vagnerini (1996) διαμόρφωσε την εξέλιξη του ποσοστού αποτυχιών, χρησιμοποιώντας την εκθετική διανομή με μια «a priori» κατηγοριοποίηση από το υλικό των σωλήνων. Αυτό το πρότυπο υποθέτει ένα σταθερό ποσοστό αποτυχιών και ο μέσος χρόνος της αποτυχίας (MTTF) υπολογίζεται για κάθε ομάδα σωλήνων. Η υπόθεση ενός σταθερού ποσοστού αποτυχιών δεν θα μπορούσε να ελεγχθεί. Το πρότυπο αναπτύχθηκε αρχικά ως ενίσχυση στην επιλογή των υλικών σωλήνων.

Οι Lei (1997) και Saegrov (1998) χρησιμοποίησαν το Ανάλογο Πρότυπο Κινδύνου COX χρήσης και το Weibull επιταχυνόμενο πρότυπο για να αναλύσουν το δίκτυο διανομής ύδατος στο Τρόντχαιμ. Στη έρευνα μόνο η πρώτη αποτυχία αναλύεται και όλη η δραστηριότητα συντήρησης θεωρείται ως αποτυχία. Εκτός από την ανάλυση διάρκειας ζωής, οι πλοκές Nelson-Aalen χρησιμοποιούνται για να αναλύσουν τις τάσεις στο δίκτυο. Μια γραμμική παλινδρόμηση εγκαθίσταται στη πλοκή Nelson-Aalen για να προβλεφθεί ο αριθμός αποτυχιών μέσα σε έναν χρονικό ορίζοντα, μη υποθέτοντας κάποια τάση στα στοιχεία. Η μελέτη περιορίζεται από την απόφαση να αντιμετωπιστούν όλες οι δραστηριότητες συντήρησης (συμπεριλαμβανομένων των δραστηριοτήτων μη-επισκευής όπως το ξέπλυμα) στο δίκτυο ως αποτυχίες. Για μερικά από τα προτεινόμενα πρότυπα, οι συμμεταβλητές συμπεριλαμβάνονται ακόμα κι αν δεν είναι σημαντικές.

Ένα σύστημα βασισμένο στην αξιοπιστία για την διαχείριση της συντήρησης των υπόγειων δικτύων των εταιριών κοινής ωφέλειας που χρηματοδοτούνται από την Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω του προγράμματος BRITE/EURAM ονομάζεται UtilNets. Μια δομική ενότητα αξιοπιστίας για τους κεντρικούς αγωγούς ύδατος, μια υδραυλική ενότητα αξιοπιστίας και μια ενότητα αξιοπιστίας δικτύων (Camarinopoulos 1996b) έχουν ενσωματωθεί σε ένα σύστημα υποστήριξης απόφασης για τις αποφάσεις αποκατάστασης δικτύων ύδατος αποκαλούμενες UtilNets. Το πρόγραμμα έχει σειρά εντολών για την απλή ανάλυση ποιότητας νερού, για τη βελτιστοποίηση των εργασιών αποκατάστασης, για τον υπολογισμό της αποκατάστασης/αντικατάστασης και για τις κοινωνικές δαπάνες.

Η ενότητα για την περιγραφή της δομικής αξιοπιστίας των κεντρικών αγωγών ύδατος εξηγείται στο Camarinopoulos (1996a). Η χρονικά εξαρτώμενη δομική αξιοπιστία (L), για κάθε σωλήνα ορίζεται ως η πιθανότητα ότι η γενική αντίσταση του σωλήνα (R), (αντιπροσωπεύοντας το πάχος σωλήνων, τη δύναμη, κ.λ.π.) είναι μεγαλύτερη από αυτό που το γενικό φορτίο (S) επηρεάζει (π.χ. φορτίο κυκλοφορίας, φορτία ύδατος, κ.λ.π.):

$$L(t) = P(R(t) - S(t))$$

Οι μεταβλητές, ή τα φορτία, εκθέτουν μια πιθανολογική συμπεριφορά και υποτίθεται ότι εμφανίστηκαν σύμφωνα με μια κατανομή Poisson. Οι συντάκτες εισήγαγαν τον όρο επιφάνεια αποτυχίας, για να καθορίσουν το σύνολο των μεταβλητών όπου εμφανίστηκαν αποτυχίες.

Το UtilNets περιορίστηκε αρχικά στη ανάλυση των γκρίζων σωλήνων από χυτοσίδηρο. Και η διάβρωση και η ομοιόμορφη διάβρωση σωλήνων συμπεριλαμβάνονται στο πρότυπο. Ένας σωλήνας υποτίθεται ότι έχει αποτύχει όταν το μέγιστο βάθος κοιλωμάτων γίνεται ίσο με το πάχος των τοίχων των σωλήνων. Δεκαέξι μεταβλητές χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την απόδοση του κύριου (δηλ. γήινο φορτίο, φορτίο κυκλοφορίας, φορτίο ύδατος, πίεση εργασίας, φορτίο φορτηγών, πίεση κύματος, φορτίο παγετού, θερμικό φορτίο, βάθος κοιλωμάτων, πίεση, πάχος τοίχων, δύναμη, αστήρικτο μήκος, εξωτερική ακτίνα, εσωτερική ακτίνα, και συντελεστής διάβρωσης) (σχήμα 2-1). Το πρότυπο υπολογίζει την αναμενόμενη διάρκεια ζωής κάθε σωλήνα, ως αριθμό των ετών από όταν τοποθετήθηκαν οι σωλήνες έως ότου φθάσει σε μια πιθανότητα δομικής αποτυχίας 50 %.

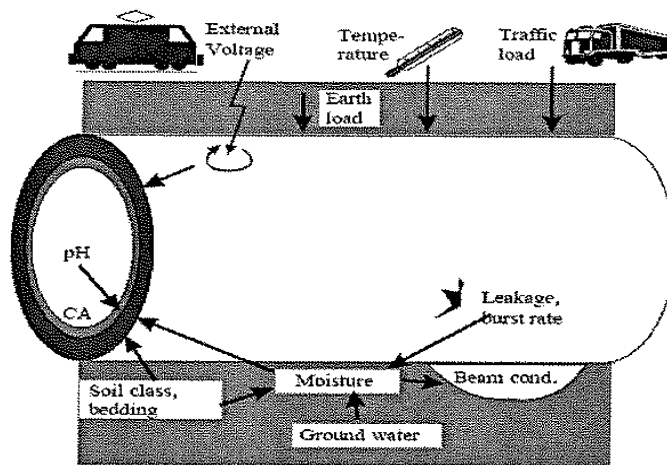


Figure 2-1. Pipe loads used in UtilNets (Preston et al., 1999).

Το UtilNets περιλαμβάνει επίσης μια απλή υδραυλική ενότητα. Η πραγματική κατάσταση της συμπεριφοράς συγκρίνεται με τη ζητούμενη μέγιστη απαίτηση, την ελάχιστη λειτουργούσα πίεση και τη μέγιστη ταχύτητα που επιτρέπεται για κάθε σωλήνα. Μια υδραυλική αποτυχία υποτίθεται ότι έχει εμφανιστεί, όταν υπερβαίνει η φόρτωση την αντίσταση.

Στο UtilNets, οι κύριοι περιορισμοί είναι:

- Καμία σωστή τοποθέτηση για το πρότυπο δεν είναι τεκμηριωμένη.
- Μόνο η πρώτη αποτυχία κάθε σωλήνα λαμβάνεται υπόψη.
- Το δομικό πρότυπο είναι αιτιοκρατικό και απαιτεί εκτενή στοιχεία για κάθε σωλήνα (16 μεταβλητές).
- Το βάθος διάβρωσης για τους συγκεκριμένους σωλήνες, πρέπει να βρεθεί με την ανάλυση των δειγμάτων σωλήνων.
- Το πρότυπο προσομοιώνει μόνο τους γκρίζους σωλήνες χυτοσιδήρου.
- Η υδραυλική ανάλυση πραγματοποιείται χωρίς υδραυλικό προσομοιωτή δικτύων.

Σε ένα πιο πρόσφατο έγγραφο, ο Preston (1999), προτείνει να είναι το πεδίο UtilNets κάπως μειωμένο. Οι συντάκτες δηλώνουν ότι, "το UtilNets με την τρέχουσα μορφή πρωτοτύπων του είναι πολύ άκαμπτο, πέρα από σύνθετο και απαιτεί ανέφικτα ποσά εισερχόμενων στοιχείων". Καταλήγει λοιπόν, στο συμπέρασμα ότι η είσπραξη των απέραντων εισερχόμενων στοιχείων που απαιτούνται για την ανάλυση είναι ένας πολύ εντατικός πόρος. Το πρότυπο θα είναι μόνο πρακτικό εάν οι χρησιμότητες αρχίζουν να συλλέγουν τα παρόμοια στοιχεία ως τμήμα της κανονικής λειτουργίας τους. Επομένως, το Utilnets θα τροποποιηθεί από την άποψη της μείωσης σε αριθμό των ενοτήτων και του μειωμένου αριθμού μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στη ανάλυση.

Ο Le Gat (1998) περιγράφει την εφαρμογή του Weibull PHM για την ανάλυση των σωλήνων άρδευσης στο νότιο μέρος της Γαλλίας.

Ο αναμενόμενος αριθμός αποτυχιών για κάθε σωλήνα προβλέπεται. Η εργασία ακολουθεί τις αρχές του Eisenbeis (1994) και του Andreou (1986). Μια προσομοίωση Monte Carlo βασισμένη στις λειτουργίες επιβίωσης εισάγεται για να προβλέψει τις αποτυχίες σωλήνων.

Ο Eisenbeis (1999) παρουσιάζει μια ανάλυση δύο γαλλικών δικτύων και ενός νορβηγικού δικτύου χρησιμοποιώντας ένα Weibull PHM. Το πρότυπο, χρησιμοποιεί μια στρωματοποίηση των στοιχείων αποτυχίας σύμφωνα με τον αριθμό προηγούμενων αποτυχιών που καταγράφονται. Αναφέρονται αρκετά μεγάλες ομοιότητες μεταξύ των παρατηρηθέντων και των προβλεφθέντων αποτυχιών.

Ο Malaindain (1998-1999) χρησιμοποιεί ένα πρότυπο οπισθοδρόμησης Poisson για να ποσοτικοποιήσει την επιρροή των μεταβλητών: διάμετρο, υλικό και θέση του σωλήνα (δηλ. τοποθετημένος σε έναν δρόμο ή όχι) στο ποσοστό αποτυχιών. Ο χρόνος από την εγκατάσταση δεν συμπεριλαμβάνεται στη οπισθοδρόμηση. Το δίκτυο ύδατος της Λυών χρησιμοποιείται ως περιπτώσιολογική μελέτη. Πριν από την ανάλυση οι σωλήνες ομαδοποιούνται σύμφωνα με τους δομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Προκειμένου να διαμορφωθεί το ποσοστό αποτυχιών (δηλ. λειτουργία κινδύνου) ως λειτουργία του χρόνου, η λειτουργία ποσοστού αποτυχιών διαιρέθηκε σε τρία διαφορετικά διαστήματα (σχήμα 2-2), και κάθε διάστημα αναλύεται χωριστά, με συνέπεια μια λειτουργία βημάτων για το ποσοστό αποτυχιών. Στο αρχικό στάδιο η λειτουργία κινδύνου αυξάνεται και ένα πρότυπο Weibull βασίζεται στα αποτελέσματα του Eisenbeis (1994). Στα ακόλουθα στάδια ένα εκθετικό πρότυπο (δηλ. σταθερή λειτουργία κινδύνου) χρησιμοποιείται. Ο συντάκτης επισημαίνει ότι η προτεινόμενη προσέγγιση πρέπει μόνο να χρησιμοποιηθεί σε επίπεδο δικτύων και όχι σε επίπεδο σωλήνων.

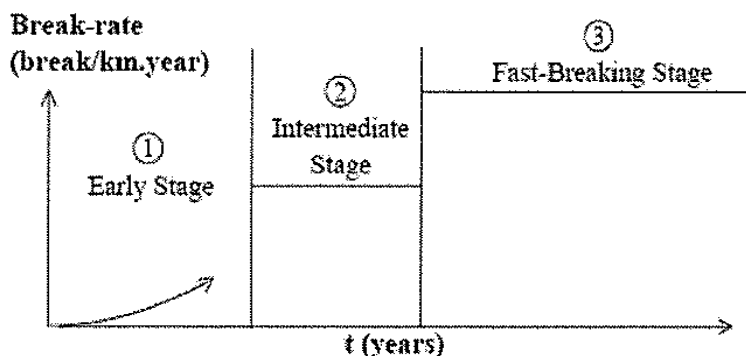


Figure 2-2. Evolution of break rate for water network of Lyon (Malaindain et al., 1999).

Οι συντάκτες χρησιμοποιούν τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS) για τον προσδιορισμό της χωρικής παραλλαγής για το ποσοστό αποτυχιών προκαλούμενο από τις περιβαλλοντικές μεταβλητές (π.χ. εδαφολογικός όρος).

Οι Gustafson και Clancy (1999a) περιγράφουν μια μέθοδο για να διαμορφώσουν το περιστατικό των αποτυχιών των σωλήνων στους γκρίζους σωλήνες χυτοσιδήρου με ένα ημι-Markov πρότυπο, όπου η "κατάσταση" των κεντρικών αγωγών ύδατος αντιπροσωπεύεται από τον αριθμό αποτυχιών και ο χρόνος μεταξύ των αποτυχιών χρησιμοποιείται ως "χρόνος εκμετάλλευσης". Οι απαραίτητες διανομές πιθανότητας υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την ανάλυση επιβίωσης. Ο χρόνος στην πρώτη αποτυχία διαμορφώνεται με μια τριών παραμέτρων κατανομή γάμα και τις επόμενες αποτυχίες με μια εκθετική κατανομή. Το σύνολο στοιχείων διαιρείται σε τρεις (3) ομάδες σωλήνων, ανάλογα με το αρχικό πάχος των τοίχων. Καμία επεξηγηματική μεταβλητή δεν συμπεριλαμβάνεται στη ανάλυση, λόγω έλλειψης των στοιχείων. Οι συντάκτες αναφέρουν ότι ο μέσος χρόνος αποτυχίας συσχετίζεται έντονα με τον αριθμό αποτυχίας και καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι αυτοί οι γκρίζοι σωλήνες χυτοσιδήρου επιδεινώνονται. Η αξιοπιστία του προτύπου μειώνεται από το φτωχό χρονικό διάστημα (δηλ. ένα έτος) διαθέσιμο για τις καταγραμμένες αποτυχίες.

2.4 Αξιοπιστία των δικτύων ύδατος

Τα δίκτυα διανομής ύδατος σχεδιάζονται παραδοσιακά για να είναι απολύτως αξιόπιστα. Εντούτοις, η αυξανόμενη έλλειψη των δημόσιων χρημάτων για την κατασκευή και τη συντήρηση και η προχωρημένη ηλικία πολλών συστημάτων παροχής νερού αναγκάζουν τους χειριστές συστημάτων να εστιάσουν στην ανάλυση αξιοπιστίας. Η αξιοπιστία ενός συστήματος, σύμφωνα με τον ISO 8402 (Hoyland και Rausand, 1994) ορίζεται ως η δυνατότητα του συστήματος να εκτελέσει μια απαραίτητη λειτουργία, υπό τις δεδομένες περιβαλλοντικές συνθήκες λειτουργίας, για μια δηλωμένη χρονική περίοδο.

Τα πρότυπα αξιοπιστίας έχουν υιοθετηθεί και σε άλλους τομείς που περιλαμβάνουν τα δίκτυα (π.χ. παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, εφαρμοσμένη μηχανική υπολογιστών). Μερικές από αυτές τις προσεγγίσεις μπορούν να αποδειχθούν χρήσιμες για τα δίκτυα διανομής ύδατος, αν και κάποιος πρέπει να λάβει υπόψη του, τους διαφορετικούς φυσικούς νόμους που κυβερνούν τη ροή στα διάφορα δίκτυα και την διαφορετική επίδραση που οι αποτυχίες έχουν σε αυτά τα δίκτυα. Η ανάλυση αξιοπιστίας των συστημάτων διανομής ύδατος πρέπει να περιλάβει τα υδραυλικά πρότυπα δικτύων. Οι αναλύσεις των δακτυλιοειδών συστημάτων που είναι κοινοί για τα δίκτυα παροχής νερού είναι πιο σύνθετες από την παραδοσιακή μηχανική ανάλυση αξιοπιστίας, όπου κάποιος θεωρεί αξιοπιστία μιας ενιαίας διαδρομής, μεταξύ της πηγής και του ανεφοδιασμού. Τα υδραυλικά πρότυπα δικτύων επιτρέπουν την ανάλυση και των εναλλασσόμενων διαδρομών ανεφοδιασμού και την υδραυλική ικανότητα αυτών των διαδρομών. Η μηχανική αξιοπιστία αντιστοιχεί σε μια ανώτερη συνδεδεμένη εκτίμηση για την αληθινή υδραυλική αξιοπιστία του δικτύου.

Η αξιοπιστία δικτύων διανομής ύδατος μετριέται σύμφωνα με την αποτυχία. Η αποτυχία μπορεί να είναι φυσικού τύπου (π.χ. σπάσιμο ή διαρροή). Η αξιοπιστία του δικτύου μπορεί έπειτα να ερμηνευθεί ως η πιθανότητα όλα τα σημεία απαίτησης να συνδέονται με την πηγή. Αυτό καλείται μερικές φορές καθορισμός συνδετικότητας (Wagner, 1988ε). Η αξιοπιστία συνδετικότητας οδηγεί σε μια ενιαία αξία της αξιοπιστίας για ολόκληρο το δίκτυο και πρέπει να χρησιμοποιηθεί κατά το σχεδιασμό των νέων συστημάτων (Quimpro, 1996). Η αξιοπιστία επίσης μπορεί να οριστεί ως η πιθανότητα ότι ένα δεδομένο σημείο που ζητάμε συνδέεται με την πηγή. Αν και μια πλήρως λειτουργική πορεία μπορεί να υπάρξει μεταξύ μιας πηγής ύδατος και ενός δεδομένου κόμβου απαίτησης, ο κόμβος απαίτησης μπορεί να μη λάβει οποιοδήποτε νερό εάν υπάρχει ανεπαρκής πίεση στο δίκτυο. Αυτός ο καθορισμός καλείται μερικές φορές καθορισμός δυνατότητας επέκτασης. Σύμφωνα με Quimpro (1996) ο καθορισμός της δυνατότητας επέκτασης είναι κατάλληλος ως μέτρο αξιοπιστίας στη βελτιστοποίηση της συντήρησης. Και η συνδετικότητα και η δυνατότητα επέκτασης πρέπει να εξεταστούν σε οποιαδήποτε ανάλυση αξιοπιστίας των δικτύων διανομής ύδατος.

Οι περισσότερο δημοσιευμένες έρευνες έχουν επικεντρωθεί στη διαδικασία ανάλυσης και απόφασης για την μηχανική αξιοπιστία ενός δικτύου διανομής ύδατος. Η έρευνα για το συνυπολογισμό της ικανότητας στη ανάλυση αξιοπιστίας, έχει διεξαχθεί μεταξύ των άλλων από τους Wagner (198ε, β), Wu (1993), Schneiter (1996) και Hansen και Vatn (1999, 2000).

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της αξιοπιστίας των δικτύων διανομής ύδατος μπορούν να διαιρεθούν σε δύο ομάδες: προσομοιώσεις (δηλ. Monte Carlo) ή αναλυτικές μέθοδοι (π.χ. κομμένα σύνολα). Η βασική αρχή πίσω από τις αναλυτικές μεθόδους είναι να μετασχηματιστεί η τοπολογία των συστημάτων σε ένα πρότυπο που αποτελείται μόνο από τις σειρές και τις παράλληλες δομές.

Ο Wagner (1988α, β) προτείνει ένα πρότυπο προσομοίωσης της αξιοπιστίας συστημάτων στα δίκτυα παροχής νερού που εστιάζει στις αποτυχίες των σωλήνων και των αντλιών. Το πρόγραμμα προσομοίωσης διαιρείται σε δύο μέρη ένα τμήμα προσομοίωσης, το οποίο παράγει τις αποτυχίες και τα γεγονότα επισκευής σύμφωνα με τις διευκρινισμένες διανομές πιθανότητας (δηλ. προσομοίωση Monte Carlo) και μια υδραυλική επίλυση δικτύων, η οποία υπολογίζει τις ροές σε όλο το δίκτυο και τις πιέσεις σε κάθε κόμβο για μια συγκεκριμένη ζήτηση στο εντελώς ή μερικώς αποτυχημένο σύστημα. Το στοιχείο αποτυχίας σωλήνων παράγεται βασισμένο σε μια εκθετική κατανομή. Οι συντάκτες καθορίζουν τρεις καταστάσεις λειτουργίας για κάθε κόμβο: "κανονική" στην οποία η ζήτηση ικανοποιείται πλήρως, "μειωμένης υπηρεσίας", στην οποία η πίεση μειώνεται κάτω από μια αξία κατώτατων ορίων αλλά είναι ακόμα επάνω από μια ελάχιστη αξία και "τρόποι αποτυχίας", στους οποίους η πίεση μειώνεται κάτω από ένα διευκρινισμένο ελάχιστο και ο ανεφοδιασμός αποκλείεται. Ομοίως, τρεις λειτουργικές

καταστάσεις καθορίζονται για ολόκληρο το σύστημα. "Κανονική" ορίζεται η κατάσταση των συστημάτων όταν λειτουργούν κανονικά όλοι οι κόμβοι. Μια κατάσταση "αποτυχίας" υπάρχει όταν ένας ή περισσότεροι κόμβοι βρίσκονται κοντά στο να αποτύχουν. Το σύστημα θεωρείται ότι βρίσκεται σε "μειωμένη κατάσταση" λειτουργίας όταν είναι ένας ή περισσότεροι κόμβοι σε μια κατάσταση μειωμένης λειτουργίας, αλλά κανένας κόμβος δεν είναι σε κατάσταση αποτυχίας. Κατά τη διάρκεια μιας προσομοίωσης, οι διάφορες εκβάσεις καταγράφονται συνεχώς. Τα γεγονότα όπως η χρονική διάρκεια στην οποία κάθε κόμβος είναι σε οποιαδήποτε λειτουργική κατάσταση και το έλλειμμα συνολικής ζήτησης υπολογίζεται, όπως υπολογίζονται και οι σχετικές στατιστικές.

Οι Quimpro και Shamsi (1991) χρησιμοποίησαν την εκθετική κατανομή κατά την περιγραφή του ποσοστού αποτυχιών για κάθε σωλήνα, προκειμένου να υπολογιστεί η αξιοπιστία του δικτύου παροχής νερού. Αυτό το πρότυπο αξιοπιστίας χρησιμοποιεί την ελάχιστη καθορισμένη προσέγγιση για να υπολογίσει την αξιοπιστία του συστήματος. Η προσέγγισή αυτή περιλαμβάνει μια υδραυλική προσομοίωση για τον καθορισμό της ροής, μέσω όλων των σωλήνων. Επιφανειακά σχέδια αξιοπιστίας χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Το πρότυπο αξιοπιστίας χρησιμοποιείται έπειτα ως εργαλείο για τις δραστηριότητες συντήρησης βασισμένες σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο αποδεκτής αξιοπιστίας. Τα χαμηλά σημεία στη επιφάνεια δίνουν έμφαση στους τομείς της μη παραδεκτής αξιοπιστίας. Οι σωλήνες που είναι τοποθετημένοι σε αυτές τις περιοχές, είναι υποψήφιοι για την προληπτική συντήρηση ή την αντικατάσταση. Μια ανεπάρκεια της μεθόδου Quimpro και Shamsi, είναι ότι η αξιοπιστία που αναπτύσσεται στη ανάλυση είναι βασισμένη απλώς στη συνδετικότητα μεταξύ ενός σημείου απαίτησης και μιας πηγής ύδατος. Η υδραυλική ικανότητα (reachability) δεν εξετάζεται.

Ο Wu (1993) απευθύνει το πρόβλημα της ποσοτικοποίησης της αξιοπιστίας των δικτύων διανομής ύδατος βάσει της συνδετικότητας του σημείου ζήτησης και της πηγής ύδατος, μόνο. Οι συντάκτες εισάγουν έναν σταθμισμένο δείκτη χωρητικότητας που λαμβάνει υπόψη τη μερική ικανοποίηση της απαίτησης, εκτός από μια ελάχιστη καθορισμένη μέθοδο πορειών για να υπολογίσει την συνδετικότητα από την πηγή σε ένα σημείο στο δίκτυο. Η χωρητικότητα υπολογίζεται για κάθε πορεία και έτσι υπολογίζεται η χωρητικότητα για κάθε πορεία να μεταφέρει την απαραίτητη ροή στον κόμβο απαίτησης. Η αξιοπιστία κάθε σωλήνα υποτίθεται ότι είναι γνωστή και σταθερή. Ο Wu (1993) καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η προσθήκη του, στο υδραυλικό πρότυπο χωρητικότητας θα καθιστούσε το μέτρο αξιοπιστίας ρεαλιστικότερο.

Σε μια ανάλυση αξιοπιστίας δικτύων που πραγματοποιείται για το δίκτυο ύδατος στην πόλη του Τρόντχαιμ (Vatn και Tveit, 1997), μόνο η κατά προσέγγιση εκτίμηση της διαθεσιμότητας του σωλήνα χρησιμοποιείται. Η

μελέτη εξετάζει τη μηχανική αξιοπιστία μόνο, και η υδραυλική αξιοπιστία δεν συμπεριλαμβάνεται στην ανάλυση.

Ο Camarinopoulos (1996b) ανέπτυξε ένα βασισμένο στην ικανότητα μέτρο αξιοπιστίας, για τα δίκτυα παροχής νερού. Και η πιθανότητα ότι το σημείο απαίτησης συνδέεται με μια πηγή (συνδετικότητα), αλλά και η πιθανότητα ότι το σύστημα θα μπορούσε να συναντήσει ένα διευκρινισμένο επίπεδο ροής σε κάθε σημείο απαίτησης (χωρητικότητα), εξετάζονται. Η μέθοδος ελάχιστων συνόλων περικοπών χρησιμοποιείται για να λύσει το πρόβλημα της συνδετικότητας. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου στα μεγάλα, πραγματικά παγκόσμια δίκτυα απαίτησε μερικές τεχνικές επιτάχυνσης. Ο όρος "σύνολο περικοπών ροής", εισήχθη, και σημαίνει το ελάχιστο σύνολο άκρων των οποίων ο ανεπαρκής ανεφοδιασμός δημιουργήσε αποτυχία στα σημεία απαίτησης.

Ο Camarinopoulos (1996b), δεν χρησιμοποιεί έναν υδραυλικό προσομοιωτή για τον υπολογισμό της ροής στους υπολογισμούς αξιοπιστίας. Η μέθοδός του για την αξιοπιστία θα περιληφθεί στο σύστημα υποστήριξης απόφασης UtilNets (1997), ως ενότητα αξιοπιστίας δικτύων.

Ο Walski (1993) επισήμανε τη σημασία της θέσης βαλβίδων κατά την αξιολόγηση της αξιοπιστίας των δικτύων διανομής ύδατος. Υποστήριξε ότι μια περιγραφή του συστήματος βαλβίδων παρέχει μια καλύτερη αντιπροσώπευση της αξιοπιστίας, από την προσέγγιση σύνδεση-κόμβων που χρησιμοποιείται κανονικά. Ο Walski εισήγαγε την έννοια του τμήματος (δηλ. συλλογή των σωλήνων) για να περιγράψει το κομμάτι ενός δικτύου διανομής ύδατος που θα μπορούσε να απομονωθεί με το κλείσιμο των βαλβίδων.

Οι Hansen και Vatn (1999, 2000) συνδυάζουν ένα υδροστατικό πρότυπο με ένα πρότυπο αξιοπιστίας δικτύων για να υπολογίσουν τη δυνατότητα ενός δικτύου να τροφοδοτήσει το σημείο ζήτησης με ικανοποιητικά ποσά ύδατος. Ο προσομοιωτής EPANET του αμερικανικού EPA (ερευνητικό τμήμα πόσιμου νερού), χρησιμοποιείται ως υδροστατική μηχανή. Ένα εργαλείο λογισμικού, που ονομάζεται AQUAREL αναπτύχθηκε για να πραγματοποιήσει τους υπολογισμούς. Η μέθοδός τους χρησιμοποιεί τη ρύθμιση για να μειώσει τους χρόνους υπολογισμού. Αυτό περιλαμβάνει τη διαμόρφωση του δικτύου διανομής ύδατος σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο ένα σφαιρικό πρότυπο καθορίζεται όπου οι κόμβοι στο δίκτυο είναι μεγαλύτερες περιοχές, όπως οι ζώνες διαρροής. Στο δεύτερο στάδιο κάθε ζώνη διαμορφώνεται λεπτομερώς. Το δίκτυο διανομής ύδατος στο Τρόντχαιμ, Νορβηγία χρησιμοποιείται ως περιπτωσιολογική μελέτη. Όπως άλλες αναλύσεις αξιοπιστίας δικτύων, το πρότυπο απαιτεί τα στοιχεία διαθεσιμότητας για κάθε μεμονωμένο στοιχείο όπως σωλήνες, αντλίες και βαλβίδες. Το στοιχείο διαθεσιμότητας για τους σωλήνες παρέχεται από τα στατιστικά πρότυπα. Στοιχεία διαθεσιμότητας για τις αντλίες και τις βαλβίδες

δεν έχουν συλλεχθεί για το δίκτυο ύδατος στο Τρόντχαϊμ. Οι συντάκτες χρησιμοποιούν τα συλλεχθέντα στοιχεία για τις παρόμοιες, παράκτιες εγκαταστάσεις (βάση δεδομένων OREDA) για να υπολογίσουν τη διαθεσιμότητα για αυτά τα στοιχεία.

2.5 Πρότυπα βελτιστοποίησης για την αποκατάσταση και την αντικατάσταση των δικτύων διανομής ύδατος.

Η πρώτη προσπάθεια για τον καθορισμό του βέλτιστου χρόνου αντικατάστασης των σωλήνων παρουσιάστηκε από τον Shamir και τον Howard (1979). Αυτό το πρότυπο περιλαμβάνει τα στοιχεία ποσοστού αποτυχιών για κάθε σωλήνα (βλ. Eq. (2.1)) και τις δαπάνες αντικατάστασης και συντήρησης (σχήμα 2-3). Αυτό είναι μια ιδιαίτερα απλουστευμένη προσέγγιση που παραλείπει πολλά σημαντικά στοιχεία στον προγραμματισμό αποκατάστασης.

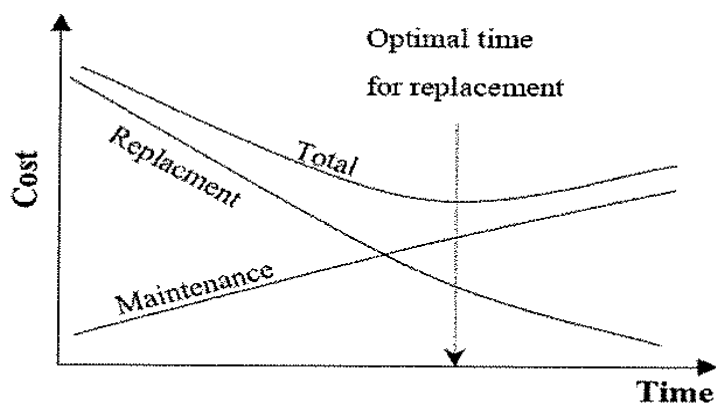


Figure 2-3. Conceptual curves for determining the optimal time for replacement (Shamir and Howard, 1979).

Μια περιεκτικότερη προσπάθεια να βελτιστοποιηθεί η αποκατάσταση/αντικατάσταση των σωλήνων σε ένα δίκτυο διανομής ύδατος πραγματοποιήθηκε από τον Woodburn (1987). Η αντικειμενική λειτουργία αυτού του προτύπου είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους, όπου η συνάρτηση κόστους περιλαμβάνει τις δαπάνες της αποκατάστασης, της αντικατάστασης, της επισκευής και της άντλησης. Το πρότυπο χρησιμοποιεί μια μη γραμμική διαδικασία προγραμματισμού σε συνδυασμό με ένα υδραυλικό πρόγραμμα προσομοίωσης (KYPIPE) για να καθοριστεί εάν ένας σωλήνας

αποκατασταθεί, αντικατασταθεί ή αφεθεί μόνος (δηλ. καμία δράση). Μόνο οι υδραυλικοί περιορισμοί συμπεριλαμβάνονται στο πρότυπο. Το προτεινόμενο πρότυπο δεν σχεδιάζεται για να βελτιστοποιήσει τα μελλοντικά σχέδια αποκατάστασης/αντικατάστασης, αλλά δείχνει εάν ένας σωλήνας πρέπει να αποκατασταθεί ή να αντικατασταθεί αυτήν την περίοδο. Το πρότυπο επιτρέπει την αποκατάσταση/ αντικατάσταση ενός μέρους του σωλήνα.

Ο Kim (1992), στη διατριβή του, περιγράφει μια μεθοδολογία για να επιλέξει τους σωλήνες που αποκαθίστανται σε ένα υπάρχον δίκτυο διανομής ύδατος που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος αποκατάστασης και ενέργειας, κατόπιν δεδομένων απαιτήσεων ζήτησης και πίεσης ύδατος. Ένας υδραυλικός προσομοιωτής (KYPIPE) ενώνεται με ένα μη γραμμικό πρότυπο προγραμματισμού, για να λύσει το μη γραμμικό πρόβλημα. Το πρότυπο έχει εξεταστεί σε ένα τεχνητό δίκτυο με 43 σωλήνες. Ο συντάκτης δηλώνει ότι το πρότυπο έχει την δυνατότητα να βρει τις βέλτιστες λύσεις, αλλά η σφαιρικά ευνοϊκότερη συνθήκη δεν είναι εγγυημένη. Το προτεινόμενο πρότυπο διαφέρει από την προηγούμενη εργασία με τη χρησιμοποίηση ολόκληρου του τμήματος σωλήνων ως μεταβλητή απόφαση αντί του μήκους σωλήνων (Woodburn et Al, 1987). Ο Kim δεν περιγράφει την μέθοδο που χρησιμοποιείται για να προβλέψει τις μελλοντικές αποτυχίες που απαιτούνται ως εισαγωγή για το πρότυπο. Το πρότυπο δεν περιλαμβάνει την ανάλυση αξιοπιστίας δικτύων.

Ο Smith (1994) ενσωματώνει τις μεθόδους ανάλυσης αποτυχίας σωλήνων, αξιοπιστίας δικτύων και βελτιστοποίησης, για να αναπτύξει το βέλτιστο σχέδιο και τις στρατηγικές αντικατάστασης που καλύπτουν τις υδραυλικές απαιτήσεις κάτω από τα διαφορετικά σενάρια απαίτησης και αποτυχίας. Ο Smith χρησιμοποιεί μια τροποποιημένη έκδοση του βασικού εκθετικού προτύπου αποτυχίας που αναπτύσσεται από τους Shamir και Howard (1979) για την πρόβλεψη των αποτυχιών σωλήνων. Ο Smith χρησιμοποιεί έναν κρίσιμο αριθμό αποτυχιών (20 αποτυχίες/km) και ένα κρίσιμο ποσοστό αποτυχιών (10 breaks/year/km) ως κριτήρια αξιοπιστίας. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι σωλήνες με περισσότερες αποτυχίες ή ποσοστό αποτυχιών είναι αυτόματα αντικατεστημένοι. Αυτή η μέθοδος δεν περιλαμβάνει ένα περιεκτικό πρότυπο αξιοπιστίας δικτύων. Οι προηγούμενες μέθοδοι για την αντικατάσταση και την αποκατάσταση σωλήνων παρέχουν τις τοπικές βέλτιστες λύσεις. Το πρότυπο Smith στοχεύει στην παραγωγή μιας σφαιρικής βέλτιστης λύσης.

Ο Kleiner (1997) στη διατριβή του (1998α, β), προτείνει μια μέθοδο βελτιστοποίησης που περιλαμβάνει την επιδείνωση της δομικής ακεραιότητας και της υδραυλικής ικανότητας για κάθε σωλήνα στο δίκτυο, κατά τη διάρκεια του χρόνου. Το κόστος της συντήρησης και της κύριας επένδυσης που συνδέεται με κάθε σωλήνα υπολογίζεται ως παρούσα αξία ενός άπειρου ρεύματος δαπανών. Ο δυναμικός προγραμματισμός χρησιμοποιείται για να καθορίσει το βέλτιστο χρόνο της αντικατάστασης για κάθε σωλήνα,

προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το κόστος (ενέργεια, αποκατάσταση, αντικατάσταση και επισκευή). Ο δυναμικός προγραμματισμός επιτρέπει την χρήση του χρόνου, ως ρητή μεταβλητή. Αυτή η προσέγγιση διαφέρει από τις προηγούμενες μεθόδους για την αποκατάσταση των σωλήνων διανομής ύδατος, οι οποίοι δεν περιλαμβάνουν το χρόνο ως μεταβλητή.

Ο συγγραφέας ισχυρίζεται ότι το προτεινόμενο μοντέλο 'MNRAP' (ανάλυση διαδικασιών πολλαπλών βαθμίδων αποκατάστασης δίκτυου) υπόσχεται να παρέχει ένα πολύτιμο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για μακροπρόθεσμο προγραμματισμό αποκατάστασης των δικτύων διανομής ύδατος.

Το MNRAP υποθέτει ότι η ηλικία των σωλήνων μπορεί μόνο να χρησιμεύσει ως το αναπληρωματικό κριτήριο για τους σωλήνες. Το πρότυπο πρόβλεψης αποτυχιών των σωλήνων που αναπτύσσεται από τους Shamir και Howard (1979) χρησιμοποιείται στη διαδικασία, αλλά οι παράμετροι για την πρόβλεψη των αποτυχιών ορίζονται σε μεμονωμένη βάση χωρίς οποιαδήποτε ομαδοποίηση των σωλήνων. Ο Kleiner υποθέτει ότι το ιστορικό αρχείο αποτυχίας για κάθε σωλήνα είναι αρκετά περιεκτικό για να επιτρέψει ένα ταίριασμα της Eq. (2.1) στα παρατηρηθέντα στοιχεία αποτυχίας. Σύμφωνα με το συγγραφέα, η διαδικασία ανάλυσης του να πραγματοποιηθεί ένα πλήρες δίκτυο παροχής νερού ήταν επίσης χρονοβόρα. Ο μέγιστος αριθμός σωλήνων που αναλύθηκαν με το πρότυπο αυτό ήταν 12. Η μέθοδος περιλαμβάνει την επιδείνωση της υδραυλικής ικανότητας κατά τη διάρκεια του χρόνου, αλλά δεν εξετάζει τα κριτήρια αξιοπιστίας δικτύων.

Το πρότυπο επικυρώθηκε με δύο τρόπους:

Για ένα μικρό δίκτυο (3 σωλήνες), όλοι οι εφικτοί συνδυασμοί αποκατάστασης συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα λαμβανόμενα από το MNRAP. Οι δύο μέθοδοι έδειξαν να συμφωνούν.

Μια εργασία διεξάχθηκε, στην οποία έξι διευθυντές χρησιμότητας ύδατος παρουσιάστηκαν με δείγματα ενός δικτύου διανομής ύδατος. Οι συμμετέχοντες έπρεπε να χρησιμοποιήσουν τα καλύτερα εργαλεία κρίσης και ανάλυσης εφαρμοσμένης μηχανικής, στον καθορισμό μιας βέλτιστης στρατηγικής αποκατάστασης. Το MNRAP έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα έναντι των υπάρχοντων πρακτικών ανάλυσης για τα στοιχεία της συγκεκριμένης δοκιμής.

Ο Halhal (1997), αντιμετωπίζει το ζήτημα της επιλογής των καλύτερων δυνατών βελτιώσεων δικτύων στα πλαίσια ενός περιορισμένου προϋπολογισμού. Ένας γενικός αλγόριθμος αναπτύχθηκε για να μεγιστοποιήσει τα οφέλη και να ελαχιστοποιήσει τις υποκείμενες δαπάνες στον περιορισμένο προϋπολογισμό. Τέσσερις τύποι οφελών εξετάστηκαν στη ανάλυση: Ένα όφελος πίεσης, που προέρχεται από την καλύτερη η

υδραυλική των δικτύων, ένα όφελος συντήρησης που προήλθε από την καλύτερη φυσική κατάσταση των σωλήνων, ένα όφελος λειτουργίας που απορρέει από τη μεγαλύτερη ευελιξία των δικτύων και ένα όφελος ποιότητας νερού που απορρέει από την αντικατάσταση σωλήνων. Ένα σύστημα στάθμισης εισήχθη για να αποτελέσει την ανάλογη σημασία των διαφορετικών οφελών. Οι συντάκτες υποθέτουν ένα σταθερό ποσοστό αποτυχιών στην ανάλυσή τους.

2.6 Συμπεράσματα

Μια αποτυχία σωλήνων σε ένα δίκτυο διανομής ύδατος είναι ένα περίπλοκο γεγονός, το οποίο προκύπτει συνήθως από έναν συνδυασμό διάφορων παραγόντων. Τα σχέδια αποτυχίας μεταξύ των διαφορετικών δικτύων διανομής ύδατος, και επίσης μεταξύ των σωλήνων ενός δεδομένου δικτύου, είναι ιδιαίτερα μεταβλητά. Το δίκτυο ύδατος πρέπει να αναλυθεί χωριστά για να καθορίσει ποιες μεταβλητές είναι αρμόδιες για τις αποτυχίες των 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 ενεργούν για να τονίσουν κάθε σωλήνα. Για να υπερνικήσει αυτή τη δυσκολία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα στατιστικό πρότυπο βασισμένο στην ανάλυση των ιστορικών αποτυχιών.

Η βιβλιογραφική επισκόπηση δείχνει ότι η λειτουργία ποσοστού αποτυχιών που αναπτύσσεται από τους Shamir και Howard (1979) χρησιμοποιείται σε πολλά από τα προτεινόμενα πρότυπα για τη βελτιστοποίηση της αποκατάστασης/αντικατάστασης των υδροσωλήνων (Kaara, 1984 Smith, 1994 Kleiner, 1997). Οι περιορισμοί αυτού του προτύπου αποτυχίας έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία και η εξίσωση πρέπει να χρησιμοποιηθεί με προσοχή. Όλες οι υπάρχουσες μέθοδοι για την αποκατάσταση των υδροσωλήνων χρησιμοποιούν τα απλά πρότυπα για την περιγραφή του περιστατικού των αποτυχιών. Οι εκτιμήσεις του αριθμού μελλοντικών αποτυχιών και μελλοντικών τιμών αξιοπιστίας απαιτούνται ως δεδομένα εισόδου στα πρότυπα βελτιστοποίησης. Η αξιοπιστία όλων των προτύπων εξαρτάται ιδιαίτερα από την ποιότητα των δεδομένων εισόδου (input data). Το ίδιο πράγμα ισχύει για τις αναλύσεις αξιοπιστίας δικτύων, οι οποίες χρησιμοποιούν γενικά τα φτωχά στοιχεία διαθεσιμότητας σωλήνων. Η μελέτη αξιοπιστίας που πραγματοποιείται στο Τρόντχαιμ (Hansen και Vatn, 2000), που χρησιμοποιεί τις στατιστικές μεθόδους για τις μελλοντικές τιμές αποτυχιών και αξιοπιστίας σωλήνων, είναι μια εξαίρεση.

Μέχρι σήμερα, δεν έχει υπάρξει καμία επιτυχής προσπάθεια να ενσωματωθούν όλα τα κριτήρια για την αντικατάσταση σωλήνων που περιγράφεται από τον Stacha (1978) σε ένα ενιαίο πρότυπο που θα παρείχε μια περιεκτική ανάλυση των στρατηγικών αποκατάστασης δικτύων διανομής. Στην Ευρώπη υπάρχει μια τάση προς τη χρησιμοποίηση " συστημάτων

υποστήριξης απόφασης " (DDS) για τη βελτίωση της διαδικασίας συντήρησης (π.χ. UtilNets (1997)). Το πρόγραμμα UtilNets (1997) είναι μια προσπάθεια να εφαρμοστούν όλα τα κριτήρια του Stacha σε ένα ενιαίο σύστημα υποστήριξης απόφασης. Το πρόγραμμα είναι φιλόδοξο, αλλά οι ενότητες που ολοκληρώνονται μέχρι σήμερα δεν είναι περιεκτικές και δεν έχουν επικυρωθεί με τα παρατηρηθέντα στοιχεία. Ένα κρίσιμο σημείο DDS για την αντικατάσταση και την αποκατάσταση σωλήνων, είναι ο υπολογισμός των δομικών αποτυχιών (δηλ. αποτυχίες σωλήνων). Στερούμαστε ακόμη τη γνώση και τα υπολογιστικά εργαλεία που απαιτούνται για να χτίσουμε ένα επαρκές σύστημα υποστήριξης απόφασης.

Η πιο ελπιδοφόρος μέθοδος, διαθέσιμη για τη διαμόρφωση των αποτυχιών σωλήνων είναι το ανάλογο πρότυπο κινδύνων (PHM). Κατά τη διάρκεια των προηγούμενων δέκα ετών, το PHM έχει γίνει όλο και περισσότερο δημοφιλές ως εργαλείο για τις αποτυχίες σωλήνων. Εντούτοις, από στατιστική άποψη είναι διαισθητικά καλύτερο να διαμορφωθούν οι αποτυχίες σε ένα δίκτυο διανομής ύδατος ως ανομοιογενή διαδικασία Poisson (NHPP). Η NHPP είναι ευρέως γνωστή στους τομείς της ανάλυσης και της ιατρικής αξιοπιστίας. Η NHPP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαμορφώσει τις ελάχιστες διαδικασίες επισκευής, δηλ. λειτουργεί εκεί, που η ένταση των αποτυχιών παραμένει η ίδια μετά από μια επισκευή.

3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΔΑΤΟΣ

Αυτό το κεφάλαιο αναθεωρεί τις στατιστικές μεθόδους για τα χρονικά στοιχεία αποτυχίας στα δίκτυα διανομής ύδατος. Αυτές οι μέθοδοι παρέχουν επίσης τις πληροφορίες για την αξία και τη σημασία των συμμεταβλητών, ή τις επεξηγηματικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις μεθόδους. Οι σπασμένοι υδροσωλήνες είναι ακριβοί για να αντικατασταθούν, και είναι σπάνια οικονομικά αποδοτικό να αντικατασταθεί ένας σωλήνας μετά από την πρώτη αποτυχία. Η συνηθισμένη προσέγγιση είναι να επισκευαστούν οι σωλήνες έως ότου αντισταθμιστούν σαφώς οι δαπάνες αποτυχίας με τις δαπάνες αντικατάστασης, ή έως ότου καθιστούν άλλα υπόγεια προγράμματα την αντικατάσταση οικονομικά ελκυστική. Ένα δίκτυο διανομής ύδατος μπορεί επομένως να θεωρηθεί, ως κατασκευάσιμο σύστημα. Ένα κατασκευάσιμο σύστημα καθορίζεται για να είναι ένα σύστημα που, μετά από την αποτυχία να εκτελεσθεί τουλάχιστον μια από τις απαραίτητες λειτουργίες του, μπορεί να αποκατασταθεί στην εκτέλεση όλων των λειτουργιών του με οποιαδήποτε μέθοδο, εκτός από την αντικατάσταση του ολόκληρου συστήματος (Ascher και Feingold, το 1984).

Κατά τη διαμόρφωση ενός επισκευάσιμου συστήματος όπως ένα δίκτυο διανομής ύδατος, είναι σημαντικό να είναι γνωστό πώς η επισκευή πραγματικά γίνεται δεδομένου ότι η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την επισκευή ενός σωλήνα μπορεί να επηρεάσει την πιθανότητα των διαδοχικών αποτυχιών.

Μια κοινή υπόθεση μετά από μια επισκευή είναι ότι η υποκείμενη λειτουργία κινδύνου αναζωογονείται, δηλ. το σύστημα επιστρέφεται σε μία καλή-σαν-καινούρια κατάσταση, δείχνοντας μια τέλεια επισκευή. Χαρακτηριστικά μια διανομή Weibull με ή χωρίς μια δομή συμμεταβλητών, χρησιμοποιείται για να διαμορφώσει ένα σύστημα με τις "τέλειες επισκευές" (διαδικασία ανανέωσης).

Υπάρχουν πολλές καταστάσεις, εντούτοις, μπορεί μια κατάλληλη υπόθεση να μην είναι καλή-σαν-καινούρια. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα κατά την εξέταση ενός ιδιαίτερα σύνθετου δικτύου διανομής. Μια πιο κατάλληλη υπόθεση μπορεί να είναι να διαμορφωθεί το σύστημα ως κακό-όπως-παλαιό καθεστώς (δηλ. ελάχιστη επισκευή). Το κακό-όπως-παλαιό καθεστώς διαμορφώνεται ως ανομοιογενής διαδικασία Poisson (NHPP). Σε ένα σύστημα με την ελάχιστη επισκευή, το αποτυχημένο σύστημα αποκαθίσταται σε μία κατάσταση, η οποία είναι στατιστικά η ίδια με την κατάστασή του, ακριβώς πριν από την αποτυχία. Η λειτουργία έντασης αποτυχίας μετά από την επισκευή, είναι η ίδια, δεδομένου ότι ήταν αμέσως πριν από την αποτυχία και την επισκευή.

Μόνο μια σημαντική εξέταση εξοπλισμού, που λαμβάνει χαρακτηριστικά την μορφή ενός προγραμματισμένου προληπτικού κλεισίματος συντήρησης (π.χ. αποκατάσταση), θα αναζωογονήσει την λειτουργία έντασης. Οι περισσότεροι υδροσωλήνες επισκευάζονται με την αντικατάσταση ενός πολύ μικρού τμήματος του σωλήνα, ή με τη χρησιμοποίηση ενός κυλίνδρου επισκευής. Ολόκληρος ο σωλήνας από έναν κόμβο σε ένα άλλο δεν αναζωογονείται σε μία 'καλό-σαν-καινούριο' κατάσταση. Ένας ανακαινισμένος ή αντικατεστημένος σωλήνας μπορεί να αντιμετωπιστεί ως νέος σωλήνας και το σύστημα αναζωογονείται σε μία καλό-σαν-καινούριο κατάσταση. Η κακό-σαν-παλαιό κατάσταση είναι η πιο κατάλληλη για τις κανονικές διαδικασίες επισκευής σωλήνων.

Για κάθε σωλήνα στο δίκτυο ύδατος, η ιστορία αποτυχίας με το χρόνο αποτυχίας T_1, T_2, T_3, T_j καταγράφεται (σχήμα 3-1) και κάθε σωλήνας έχει ένα διάνυσμα των συμμεταβλητών ή των επεξηγηματικών μεταβλητών z ($z=[z_1, z_2, z_3..z_p]$). Ενδιαφερόμαστε για τη διαμόρφωση της σχέσης μεταξύ της ιστορίας και των συμμεταβλητών z αποτυχίας. Αυτή η σχέση είναι καθορισμένη με την ανάλυση μιας ομάδας σωλήνων. Τα πρότυπα για την περιγραφή της σχέσης μεταξύ της ιστορίας και των συμμεταβλητών z αποτυχίας καλούνται πρότυπα οπισθοδρόμησης. Δύο γενικές κατηγορίες προτύπων οπισθοδρόμησης θεωρούνται, προκειμένου να συνδυαστεί η λειτουργία κινδύνου ή η λειτουργία έντασης των συμμεταβλητών. Η πρώτη

προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί ως γενίκευση της ανάλυσης στοιχείων επιβίωσης, στην οποία η διαμόρφωση λειτουργίας κινδύνου συνεχίζεται πέρα από την πρώτη αποτυχία ενός θέματος (δηλ. διάρκεια ζωής) στις δεύτερες και επόμενες αποτυχίες (δηλ. PHM). Η δεύτερη προσέγγιση είναι μια διαδικασία μέτρησης (δηλ. NHPP). Και τα δύο πρότυπα μπορούν επίσης να υπολογίσουν την σημασία των συμμεταβλητών που επηρεάζουν τους χρόνους διακοπής του συστήματος.

3.1 Χρόνοι αποτυχίας και ενδιάμεσοι χρόνοι αποτυχίας.

Μια γραφική περιγραφή της ιστορίας αποτυχίας ενός επισκευάσιμου συστήματος, που αρχίζει από το χρόνο $t=0$ παρουσιάζεται στο σχήμα 3-1. Το "ο" αντιστοιχεί στους χρόνους αποτυχίας (T_i) για το σύστημα. Το T_i είναι ο χρόνος από 0 έως τον χρόνο της αποτυχίας i . Οι ενδιάμεσοι χρόνοι αποτυχίας είναι οι χρόνοι μεταξύ κάθε αποτυχίας. Οι ενδιάμεσοι χρόνοι αποτυχίας θεωρούνται X_1, X_2, \dots , και δίνονται από τον τύπο $X_i = T_i - T_{i-1}, i=1, 2, \dots$

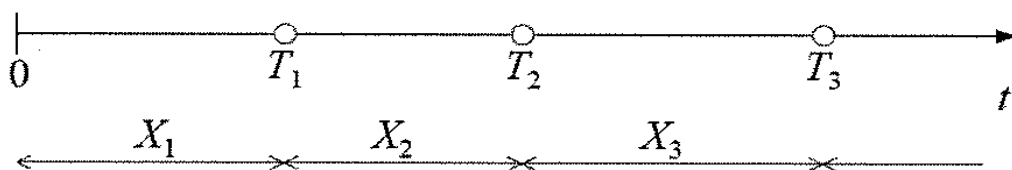


Figure 3-1. Failure times T_i and interfailure times X_i of a repairable system.

Οι διαφορετικές προσεγγίσεις χρησιμοποιούν διαφορετική ορολογία και σημειώσεις. Οι χρόνοι αποτυχίας (T_i) χρησιμοποιούνται ως εισαγωγή για τη NHPP και οι ενδιάμεσοι χρόνοι αποτυχίας (X_i) χρησιμοποιούνται όταν διαμορφώνεται η PHM.

Ανεξάρτητα από τη σημείωση που χρησιμοποιείται, η ακολουθία των χρόνων αποτυχίας και η ακολουθία των ενδιάμεσων χρόνων αποτυχίας περιέχουν τις ίδιες πληροφορίες για την ιστορία αποτυχίας.

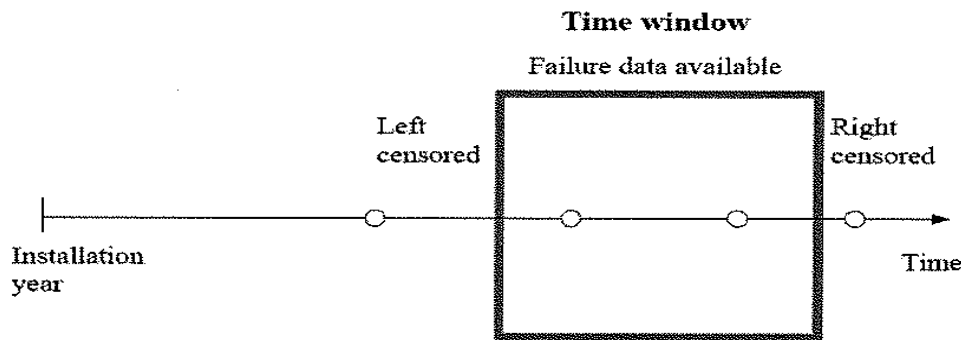
Για την στατιστική ανάλυση υποθέτουμε ότι το δίκτυο ύδατος επισκευάζεται αμέσως μετά από την εμπειρία μίας αποτυχίας. Αυτό υπονοεί ότι οι χρόνοι επισκευής είναι αμελητέοι έναντι των χρόνων αποτυχίας και των ενδιάμεσων χρόνων αποτυχίας, κάτι που είναι μια λογική υπόθεση για τα δίκτυα ύδατος.

3.2 Ελλιπής διαθεσιμότητα στοιχείων αποτυχίας

Ένα συχνά παρατηρηθέν πρόβλημα κατά την ανάλυση των χρονικών στοιχείων αποτυχίας στα δίκτυα ύδατος, είναι ότι δεν ξέρουμε την πλήρη ιστορία αποτυχίας. Τα στατιστικά πρότυπα που επιλέγουμε πρέπει να είναι σε θέση να χειριστούν τα ελλιπή στοιχεία αποτυχίας.

Το σχήμα 3-2 παρουσιάζει ένα παράδειγμα των χαρακτηριστικά διαθέσιμων στοιχείων αποτυχίας για τα δίκτυα διανομής ύδατος. Τα γεγονότα αποτυχίας είναι μαρκαρισμένα με ένα "ο" στους χρονικούς άξονες. Το χρονικό παράθυρο απεικονίζει την περίοδο όπου το στοιχείο αποτυχίας είναι διαθέσιμο.

Το στοιχείο αποτυχίας όσον αφορά την αριστερή πλευρά του χρονικού παραθύρου δεν είναι γνωστό. Οι αποτυχίες μπορεί να είχαν εμφανιστεί σε αυτήν την περίοδο, αλλά είναι μη καταγεγραμμένες. Αυτό το καλούμε το αριστερό-λογοκριμένο στοιχείο αποτυχίας. Η σωστή πλευρά του χρονικού παραθύρου αντιστοιχεί σε έναν ανώτερο, συνδεδεμένο του χρόνου, για τον οποίο το στοιχείο αποτυχίας είναι διαθέσιμο. Τα στοιχεία αποτυχίας θα καταγραφούν στο μέλλον, αλλά αυτά τα στοιχεία δεν συμπεριλαμβάνονται στις αναλύσεις. Αυτό σημαίνει ότι το στοιχείο επίσης δεξιά λογοκρίνεται.



Ένα σύνολο στοιχείων επίσης μπορεί να αποτελείται από μερικά λανθασμένα/ψεύτικα στοιχεία όπως τα αδύνατα στοιχεία καταλόγων, τα λάθη δακτυλογράφησης, κ.λ.π.... Προτού να μπορέσουν να αναλυθούν τα στοιχεία, αυτά τα ψεύτικα στοιχεία πρέπει να ανιχνευθούν και έπειτα να απορριφθούν ή να διορθωθούν. Διαφορετικά τα αποτελέσματα μπορούν να διαστρεβλωθούν με την παρουσία ψεύτικων στοιχείων.

Το να λείπει το χρονικό στοιχείο της αποτυχίας για μερικές ημέρες δεν θα προκαλέσει τέτοια μεγάλα προβλήματα, όπως κατά την απώλεια στοιχείων πτώσης και απορροών στην διαμόρφωση αποξηράνσεων. Εάν το ελλειπόν στοιχείο θεωρείται ένα πρόβλημα και η έκταση της απώλειας των στοιχείων είναι γνωστή, μπορεί να αντιμετωπιστεί με την εισαγωγή της λογοκρισίας διαστήματος (SYSTAT, 1997).

3.3 Προσέγγιση ανάλυσης επιβίωσης

Η ανάλυση των στοιχείων επιβίωσης είναι ένα παραδοσιακό στατιστικό θέμα. Εντούτοις, το 1972 ο D.R. COX εισήγαγε το ανάλογο πρότυπο κινδύνων

(PHM) προκειμένου να υπολογιστούν τα αποτελέσματα των διαφορετικών συµµεταβλητών στον χρόνο στην αποτυχία ενός συστήµατος. Το πρότυπο έχει χρησιµοποιηθεί εκτενώς στις ιατρικές στατιστικές, όπου το όφελος της ανάλυσης των στοιχείων όσον αφορά τέτοιους παράγοντες όπως την υπολογιζόµενη διάρκεια ζωής και τη διάρκεια των περιόδων ελευθερίας από τα συµπτώµατα µιας ασθένειας σε σχέση µε την επεξεργασία που εφαρµόζεται, µεµονωµένες ιστορίες και τα λοιπά, είναι προφανές. Οι Kaara (1984) και Andreou (1986) εισήγαγαν την χρήση του ανάλογου προτύπου κινδύνων για την ανάλυση των αποτυχιών στα δίκτυα διανοµής ύδατος.

Στις αναλύσεις επιβίωσης, τα κέντρα ενδιαφέροντος σε µια οµάδα ή οµάδες ατόµων για κάθε µια από τις οποίες καθορίζεται ένα γεγονός σηµείου (π.χ. αποτυχία), εμφανίζεται µετά από ένα µήκος χρόνου. Στις αναλύσεις επιβίωσης οι αποτυχίες µπορούν να εμφανιστούν το πολύ µία φορά για κάθε µεµονωµένο. Ο χρόνος επιβίωσης για έναν σωλήνα είναι ο χρόνος από το έτος εγκαταστάσεων, έως το χρόνο που συμβαίνει η αποτυχία. Οι σωλήνες στο δίκτυο έχουν διαφορετικά έτη εγκαταστάσεων, στους στατιστικούς όρους αυτό καλείται ασταθή είσοδο.

Η διάρκεια ζωής X δείχνει τον χρόνο µεταξύ της εγκατάστασης, και τον χρόνο στον οποίο ένας σωλήνας αποτυγχάνει για να λειτουργήσει κατάλληλα. Η έννοια της διάρκειας ζωής ισχύει µόνο για τα συστατικά που απορρίπτονται µετά από την πρώτη αποτυχία (COX, 1972 Kalbfleisch και Prentice, 1980).

Κατά αυτόν τον τρόπο, προκειµένου να διαµορφωθούν τα επισκευάσιµα συστήµατα µε την επιβίωση, διαµορφώνεται ο χρόνος µεταξύ των αποτυχιών και παρουσιάζεται ως διάρκεια ζωής (κεφάλαιο 3.3.7). Παρακάτω, η έννοια της ανάλυσης επιβίωσης και τα διαφορετικά µέτρα περιγράφονται λεπτοµερέστερα.

3.3.1 Λειτουργία επιβίωσης

Η βασική ποσότητα που υιοθετείται για να περιγράψει τα φαινόµενα 'χρόνος για να γίνει ένα γεγονός' είναι η λειτουργία επιβίωσης. Αυτό είναι η πιθανότητα ένα άτοµο να επιζήσει πέρα από το χρόνο X .

Ορίζεται ως:

$$S(x) = \Pr(X > x) \quad (3.1)$$

Η λειτουργία επιβίωσης είναι µια µη µειούµενη λειτουργία µε τιμές 1 στην αρχή και 0 στο άπειρο. Όταν το X είναι µια τυχαία συνεχόµενη µεταβλητή, η λειτουργία επιβίωσης είναι το συµπλήρωµα της λειτουργίας συσσωρευτικής διανοµής, δηλαδή $S(x) = 1 - F(x)$, όπου $F(x) = \Pr(X \leq x)$.

3.3.2 Λειτουργία κινδύνου

Ένα άλλο θεμελιώδες στοιχείο στην ανάλυση επιβίωσης είναι η λειτουργία κινδύνου. Αυτή η λειτουργία είναι γνωστή ως υπό όρους ποσοστό αποτυχίας στη θεωρία αξιοπιστίας, δύναμη της θνησιμότητας (FOM) στη δημογραφία, ή απλά ποσοστό κινδύνου.

Η λειτουργία κινδύνου καθορίζεται από:

$$h(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P[x \leq X < x + \Delta x \mid X \geq x]}{\Delta x} \quad (3.2)$$

Ο όρος $h(x)\Delta x$ μπορεί καλύτερα να ερμηνευθεί ως πιθανότητα ότι η πρώτη αποτυχία εμφανίζεται μέσα $(X, x+\Delta x)$.

Εάν το X είναι μια συνεχής τυχαία μεταβλητή, τότε

$$h(x) = \frac{f(x)}{S(x)} = -\delta \ln[S(x)] \quad (3.3)$$

Όπου το $f(x)$ είναι η λειτουργία πυκνότητας. Μια σχετική ποσότητα είναι η συσσωρευτική λειτουργία κινδύνου $H(x)$, που καθορίζεται από

$$H(x) = \int_0^x h(u) du = -\ln[S(x)] \quad (3.4)$$

Κατά συνέπεια, για συνεχόμενους χρόνους ζωής,

$$S(x) = \exp[-H(x)] = \exp\left[-\int_0^x h(u) du\right] \quad (3.5)$$

Η χρονική διανομή αποτυχίας των σωλήνων σε ένα δίκτυο διανομής ύδατος μπορεί να ερευνηθεί μέσω της λειτουργίας επιβίωσης $S(x)$, ή της λειτουργίας κινδύνου $h(x)$.

Η λειτουργία κινδύνου μπορεί να είναι σταθερή, αυξανόμενη, μειούμενη ή να έχει σχήμα μανιέρας. Όταν η λειτουργία κινδύνου είναι σταθερή, το $S(x)$ μειώνεται στη λειτουργία επιβίωσης για την εκθετική κατανομή. Για πολλούς τύπους συστατικών η λειτουργία κινδύνου αυξάνεται με το χρόνο ως αποτέλεσμα της συστατικής γήρανσης. Το σχήμα 3-3 επεξηγεί μια διαμορφωμένη λειτουργία κινδύνου με καμπύλη μανιέρας. Πρέπει να παρατηρηθεί ότι δύο διαφορετικές καμπύλες μανιέρας υπάρχουν. Ένας για τα επισκευάσιμα συστήματα (δηλ. ROCOF) όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 1.3 και ένας για τα μη επισκευάσιμα συστήματα (δηλ. FOM). Τα μη επισκευάσιμα συστήματα περιλαμβάνουν εκείνα όπου τα αντικείμενα έχουν

μόνο μια διάρκεια ζωής, ή για τα συστήματα που μετά από την επισκευή επιστρέφουν στην αρχική τους κατάσταση. Για την καμπύλη FOM ο χρόνος από την τελευταία επισκευή εξετάζεται. Αυτές οι δύο καμπύλες δεν πρέπει να αναμιχθούν από κοινού.

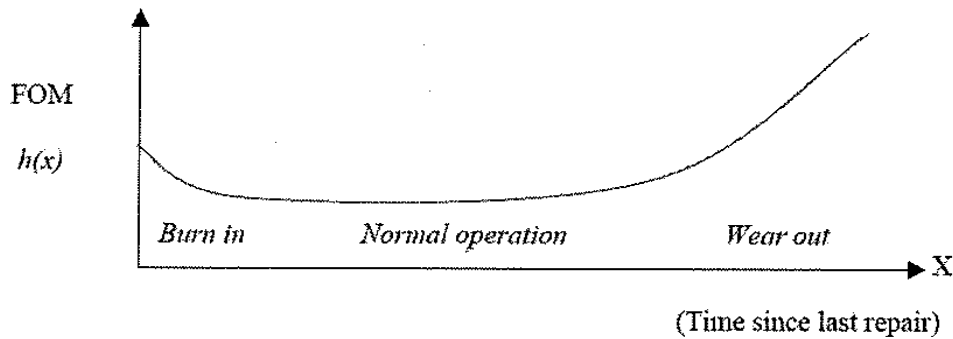


Figure 3-3. Bathtub shape of the hazard function or FOM.

3.3.3 Λογοκρίνοντας στην ανάλυση διάρκειας ζωής

Στην παραδοσιακή ανάλυση διάρκειας ζωής μόνο η πρώτη αποτυχία εξετάζεται. Ουσιαστικά τα στοιχεία θεωρούνται "λογοκριμένα" όταν υπάρχουν χαρακτηριστικά στο δείγμα, όπου μόνο ένα χαμηλότερο ή ανώτερο οριο στη διάρκεια ζωής είναι διαθέσιμο (COX, 1972 Kalbfleisch και Prentice, 1980).

Υποθέστε ότι η ίδιοι σωλήνες είναι εγκατεστημένοι στα διαφορετικά δεδομένα χρονικά σημεία και παρακολουθούνται μέχρι την πρώτη αποτυχία ή μέχρι τον χρόνο που τελειώνει η περίοδος που μελετάμε (σχήμα 3-4). X_i , $i \neq 1$ και 4 είναι η παρατηρηθείς διάρκεια ζωής. Η διάρκεια ζωής X_1^* και X_4^* είναι δεξιά λογοκριμένες διάρκειες ζωής.

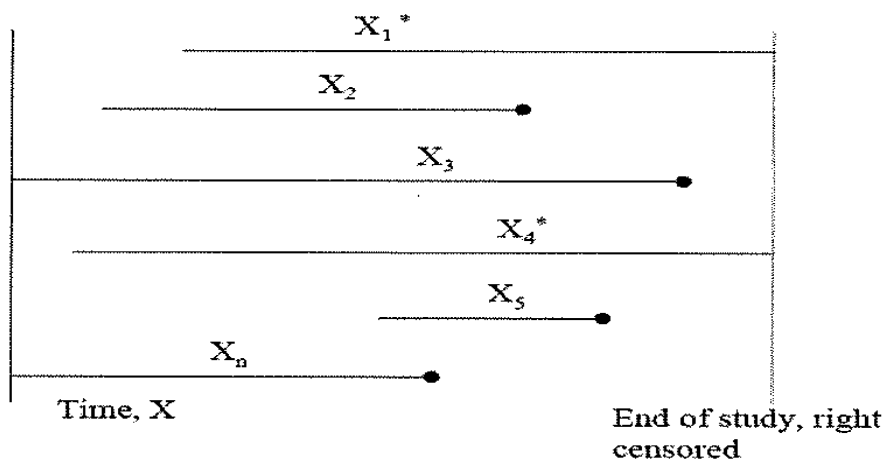


Figure 3-4. Censored (right) data with staggered entry.

Για τα δίκτυα διανομής ύδατος, οι ακόλουθοι τύποι λογοκρισιών είναι σχετικοί:

- Αριστερή λογοκριμένη
- Δεξιά λογοκριμένη

Αριστερή λογοκριμένη σημαίνει ότι υπάρχει μια χρονική περίοδος μετά από την εγκατάσταση που δεν καταγράφεται κανένα στοιχείο. Όταν μια περίπτωση λογοκρίνεται δεξιά η εξαρτώμενη μεταβλητή είναι γνωστή για να είναι μεγαλύτερη από μια συγκεκριμένη αξία, αλλά η αληθινή αξία της δεν είναι γνωστή (δηλ. ο σωλήνας δεν έχει αποτύχει μέχρι που τελειώνει το αρχείο συντήρησης). Περισσότερη ακρίβεια επιτυγχάνεται με τη συμπερίληψη περιπτώσεων στις οποίες το γεγονός δεν έχει συμβεί ακόμα (σωστά λογοκριμένα στοιχεία). Εάν το γεγονός έχει εμφανιστεί η αξία λογοκρισίας, C τίθεται ίσο με 1, αλλιώς $C=0$ (δεξια λογοκριμένη).

Αυτά τα πρότυπα επιβίωση εργασίας χρησιμοποιούνται για να διαμορφώσουν τις διαδοχικές αποτυχίες σωλήνων. Σε αυτήν την περίπτωση, η λογοκρισία μπορεί επίσης να εμφανιστεί μετά από την πρώτη αποτυχία. Το σχέδιο λογοκρισίας που εξηγείται σε αυτό το κεφάλαιο, εκτείνεται για να ισχύσει για τα επισκευάσιμα συστήματα (κεφάλαιο 3.3.7).

3.3.4 ανάλογο πρότυπο κινδύνων COX

Το ευρύτατα χρησιμοποιημένο πρότυπο για την ανάλυση επιβίωσης είναι το πρότυπο COX. Αυτό το πρότυπο είναι ημι-παραμετρικό, δεδομένου ότι η λειτουργία κινδύνου είναι το προϊόν μιας απροσδιόριστης λειτουργίας κινδύνου βασικών γραμμών και μιας παραμετρικής λειτουργία που αφορά την λειτουργία κινδύνου και τις συμμεταβλητές. Αφήστε το $h(x/z)$ να είναι η λειτουργία κινδύνου στον χρόνο x για έναν σωλήνα με συμμεταβλητή το διανυσματικό z .

Το βασικό πρότυπο σύμφωνα με τον Cox (1972) είναι ως εξής:

$$h(x | z) = h_0(x)c(z'\beta)$$

3.7

όπου $h_0(x)$ είναι η λειτουργία κινδύνου βασικών γραμμών. Το $\beta=(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p)$ είναι ένα διάνυσμα παραμέτρου, το z "είναι ένα διάνυσμα των στηλών των συμμεταβλητών ή των ανεξάρτητων μεταβλητών ($z=[z_1, z_2, z_3, \dots, z_p]$) και το $c(z'\beta)$ είναι μια γνωστή λειτουργία. Η λειτουργία κινδύνου βασικών

γραμμών αντιπροσωπεύει την λειτουργία κινδύνου που ένα σύστημα θα δοκίμαζε, εάν τα αποτελέσματα όλων των μεταβλητών στο πρότυπο είναι ίσα με μηδέν. Ανάλογα με το πώς μια μεταβλητή καθορίζεται στο πρότυπο, αυτό μπορεί να αντιστοιχίσει, είτε σε ένα φυσικό μηδέν, είτε αυθαίρετα σε μηδενική αξία. Αυτό καλείται ημι-παραμετρικό πρότυπο επειδή μια παραμετρική μορφή υποτίθεται μόνο για την επίδραση μεταβλητών.

Ένα σύνηθες πρότυπο για το $c(z'\beta)$ είναι:

$$c(z'\beta) = \exp(z'\beta) = \exp\left(\sum_{i=1}^p \beta_i z_i\right) \quad 3.8$$

Που παραγάγει

$$h(x|z) = h_0(x)\exp(z'\beta) = h_0(x)\exp\left(\sum_{i=1}^p \beta_i z_i\right) \quad 3.9$$

Το πρότυπο COX καλείται συχνά ανάλογο πρότυπο κινδύνου (PHM) επειδή εάν εξετάσουμε δύο σωλήνες με τις τιμές μεταβλητών z και z^* , η αναλογία των λειτουργιών κινδύνου είναι:

$$\frac{h(x|z)}{h(x|z^*)} = \frac{h_0(x)\exp(\beta_1 z_1)}{h_0(x)\exp(\beta_1 z_1^*)} = \frac{h_0(x)\exp\left(\sum_{i=1}^p \beta_i z_i\right)}{h_0(x)\exp\left(\sum_{i=1}^p \beta_i z_i^*\right)} = \exp\left(\sum_{i=1}^p \beta_i (z_i - z_i^*)\right) \quad 3.10$$

που είναι μια σταθερά και οι λειτουργίες κινδύνου είναι ανάλογες.

Οι συντελεστές οπισθοδρόμησης υπολογίζονται με τη μεγιστοποίηση της μερικής πιθανότητας που δεν περιλαμβάνει την λειτουργία βασικών γραμμών, $h_0(X)$. Η λειτουργία πιθανότητας μεγιστοποιείται με τη χρησιμοποίηση της μεθόδου Newton - Raphson για την αριθμητική εκτίμηση (SAS, 1994 SYSTAT, 1997).

Η επίδραση του χρόνου στη διαδικασία επιβίωσης συλλαμβάνεται από τη λειτουργία κινδύνου βασικών γραμμών, $h_0(X)$. Αυτή η λειτουργία πρέπει να υπολογιστεί προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η PHM COX για την πρόβλεψη των αποτυχιών και για να αξιολογήσει την επίδραση της γήρανσης σωλήνων. Λαμβάνοντας υπόψη τη λειτουργία βασικών γραμμών, τη λειτουργία

επιβίωσης και τη λειτουργία κινδύνου, τα συστατικά με συγκεκριμένο σύνολο μεταβλητών μπορούν να υπολογιστούν.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του PHM του COX είναι ότι το ένα δεν χρειάζεται να υποθέσει μια συγκεκριμένη μορφή της λειτουργίας κινδύνου βασικών γραμμών, $h_0(X)$ προκειμένου να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα των μεταβλητών. Όταν ο στόχος είναι να αξιολογηθεί η επίδραση των μεταβλητών στη λειτουργία κινδύνου, το ανάλογο πρότυπο κινδύνων COX πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Όταν ο στόχος είναι να προβλεφθούν οι μελλοντικές αποτυχίες μέσα σε έναν ορισμένο χρονικό ορίζοντα, μια παραμετρική υπόθεση για τη μορφή της λειτουργίας κινδύνου βασικών γραμμών είναι καταλληλότερη (Kumar και Klefsjo, 1994). Ένα παράδειγμα αυτού του τύπου PHM, είναι το ανάλογο πρότυπο κινδύνων Weibull, όπου η λειτουργία βασικών γραμμών είναι μια λειτουργία κινδύνου Weibull.

Στη SAS και SYSTAT δεν είναι δυνατό να αντιμετωπιστεί αριστερά λογοκριμένα για PHM COX. Για να λειτουργήσει γύρω από αυτό το πρόβλημα, μία μεταβλητή αποκαλούμενη `age_left` εισάγεται και σημαίνει τον χρόνο από το έτος εγκαταστάσεων ως στον χρόνο όταν αρχίζει η καταγραφή αποτυχίας. Για το Weibull PHM είναι δυνατό να περιληφθεί αριστερά λογοκριμένη ως ειδική περίπτωση της λογοκρισίας διαστήματος. Η αριστερή λογοκρισία δεν βελτιώνει την ανάλυση για τις ομάδες σωλήνων όπου όλοι οι σωλήνες αφήνονται λογοκριμένοι (π.χ. γκρίζοι σωλήνες χυτοσιδήρου, οι οποίοι εγκαταστάθηκαν πολύ πριν να αρχίσει η καταγραφή αποτυχίας).

3.3.5 Ανάλογο πρότυπο κινδύνων Weibull /επιταχυνόμενο πρότυπο

Η διανομή Weibull είναι ένα εύκαμπτο πρότυπο για την περιγραφή των στοιχείων αποτυχίας. Έχει μια λειτουργία κινδύνου, η οποία είτε αυξάνεται σταθερά, είτε μειώνεται, είτε είναι σταθερή. Είναι το μόνο παραμετρικό πρότυπο οπισθοδρόμησης που έχει και μια ανάλογη αντιπροσώπευση κινδύνων και μια επιταχυνόμενη χρονική αντιπροσώπευση αποτυχίας. Η λειτουργία κινδύνου Weibull εκφράζεται ως εξής:

$$h_0(x) = \lambda p(\lambda x)^{p-1}$$

3.10

όπου λ είναι η παρεμπόδιση και το p είναι η παράμετρος κλίμακας (Kalbfleisch και Prentice, 1980). Στο σχήμα 3-5 η λειτουργία κινδύνου για την διανομή Weibull παρουσιάζεται για την περίπτωση όπου $\lambda=1$ και για τις διαφορετικές τιμές του λ . Όταν $p=1$, η διανομή Weibull μειώνει σε μια εκθετική κατανομή, όπου η λειτουργία κινδύνου είναι σταθερή με το χρόνο.

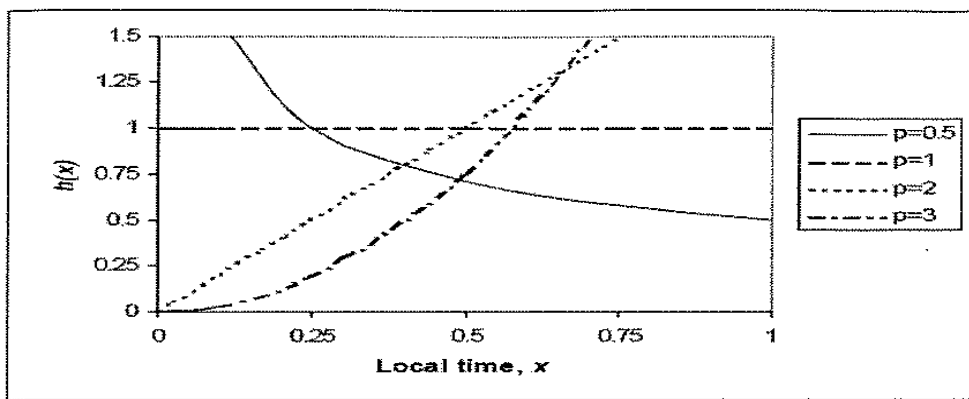


Figure 3-5. Hazard function of the Weibull distribution, $\lambda=1$.

Το πρότυπο Weibull με μια ανάλογη αντιπροσώπευση κινδύνων έχει την ακόλουθη λειτουργία κινδύνου.

$$h(x, \beta, z) = \lambda p (\lambda x)^{p-1} \exp(z' \beta) \quad 3.11$$

όπου το z' είναι ένα διάνυσμα στηλών των συμμεταβλητών ή των ανεξάρτητων μεταβλητών ($z=[z_1, z_2, z_3..z_p]$), και β είναι ένα διάνυσμα των άγνωστων παραμέτρων οπισθοδρόμησης ($\beta=[\beta_1, \beta_2, \beta_3.. \beta_p]$).

Τα επιταχυνόμενα πρότυπα διάρκειας ζωής υποθέτουν, ότι ο $\ln X$ (φυσικός λογάριθμος) συσχετίζεται με τις συμμεταβλητές z' μέσω ενός γραμμικού προτύπου,

$$\ln X = \alpha + z' \beta^* + \sigma W \quad 3.12$$

όπου $\alpha = -\ln \lambda$ (παράμετρος ανάσχεσης), $\sigma = 1/p$ (παράμετρος κλίμακας), $\beta = -\sigma \beta$ και το W έχει την ακραία αξία διανομής (Kalbfleisch και Prentice, 1980). Γράφουμε,

$$w(x) = (\ln x - \alpha - z' \beta^*) / \sigma \quad 3.13$$

Και χρησιμοποιώντας την ακραία αξία διανομής με τη λειτουργία επιβίωσης (Klein και Moeschberger, 1997).

$$S(w) = \exp[-\exp(w)] \quad 3.14$$

Βάζοντας το $w(x)$ μας δίνετε η λειτουργία επιβίωσης για το επιταχυνόμενο πρότυπο Weibull, για κάθε μεμονωμένο σωλήνα ως λειτουργία του χρόνου

$$S(x, \beta^*, z) = \exp\left[-\exp\left(\frac{\ln x - \alpha - z'\beta^*}{\sigma}\right)\right] = \exp\left[-x^{1/\sigma} \exp\left(\frac{-\alpha - z'\beta^*}{\sigma}\right)\right] \quad 3.15$$

Τα επιταχυνόμενα πρότυπα διάρκειας ζωής είναι γραμμικά πρότυπα, δηλ., οι επεξηγηματικές μεταβλητές ενεργούν πρόσθετα σε $\ln X$. Υποτίθεται ότι οι μεταβλητές επιταχύνουν τον χρόνο μέχρι την αποτυχία.

Η μέθοδος για τον υπολογισμό του διανυσματικού β^* και την παράμετρο α και σ χρησιμοποιεί την μεγιστοποίηση της λειτουργίας της πιθανότητας, η οποία είναι η μετατροπή της κοινής πυκνότητας της πιθανότητας των παρατηρήσεων. Τα σωστά λογοκριμένα στοιχεία συμβάλλουν σε αυτήν τη λειτουργία από την αξία της λειτουργίας επιβίωσής τους στον λογοκριμένο χρόνο. Η ανάλυση εκτελείται με τα στατιστικά λογισμικά SAS και SYSTAT (SAS, 1994 SYSTAT, 1997).

3.3.6 Στρωματοποιημένο ανάλογο πρότυπο κινδύνων

Οι ιδιαίτερες τιμές μιας μεταβλητής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ομαδοποίηση ενός συνόλου στοιχείων. Ο αριθμός ομάδων που μπορεί να διαμορφωθεί, ορίζεται ως ο αριθμός στρώματων ενός συνόλου στοιχείων. Εάν υποθέσουμε ένα συγκεκριμένο στρώμα PHM, το αντίστοιχο πρότυπο καλείται στρωματοποιημένο PHM. Σε αυτό το πρότυπο, υποτίθεται ότι οι λειτουργίες κινδύνου είναι ανάλογες μέσα στο ίδιο στρώμα, αλλά όχι απαραίτητα στα άλλα στρώματα. Η λειτουργία κινδύνου ενός συστήματος στο στρώμα μπορεί να εκφραστεί σαν:

$$h_j(x | z) = h_{0j}(x) \exp(z'\beta) \quad 3.16$$

Η έννοια της στρωματοποίησης είναι πολύ χρήσιμη για ένα επισκευάσιμο σύστημα με ένα PHM. Το εξής τμήμα παρουσιάζει μια πιο λεπτομερή συζήτηση της εφαρμογής PHM.

3.3.7 Πρότυπα επιβίωσης (PHM) για την ανάλυση των επισκευάσιμων συστημάτων/ διαδοχικές αποτυχίες

Στην παραδοσιακή ζωή οι αποτυχίες χρονικής ανάλυσης μπορούν να εμφανιστούν το πολύ μία φορά για οποιοδήποτε άτομο (Cox, 1972).

Προκειμένου να εφαρμοστούν τα πρότυπα επιβίωσης για να μιμηθούν ένα επισκευάσιμο σύστημα (π.χ. δίκτυο ύδατος), απαιτούνται μερικές αλλαγές στις σημειώσεις και στην ορολογία. Η ακόλουθη διαδικασία ακολουθεί την επέκταση του στρωματοποιημένου PHM προτεινόμενου από τον Prentice (1981) για τη διαμόρφωση των αποτυχιών σε ένα ενιαίο σύστημα. Αυτή η μέθοδος μπορεί να θεωρηθεί ως γενίκευση της ανάλυσης στοιχείων επιβίωσης στην οποία η λειτουργία κινδύνου συνεχίζεται πέρα από την πρώτη αποτυχία ενός αντικειμένου (δηλ. διάρκεια ζωής) και με τις μετ' έπειτα αποτυχίες. Οι όροι, λειτουργία επιβίωσης (Εξ. 3.1) και λειτουργία κινδύνου (Εξ. 3.2) χρησιμοποιούνται επίσης όσον αφορά τον χρόνο ενδιάμεσης αποτυχίας για τη διαμόρφωση ενός επισκευάσιμου συστήματος και όχι αυστηρά σύμφωνα με τους ορισμούς που χρησιμοποιούνται από τον COX (1972). Ο χρόνος ενδιάμεσης αποτυχίας που χρησιμοποιείται στη ανάλυση είναι, είτε ένας παρατηρηθείς, είτε σωστά λογοκριμένος χρόνος ενδιάμεσης αποτυχίας, δηλ. σωλήνες που είναι ακόμα άθικτοι στο τέλος της περιόδου παρατήρησης. Το σχήμα 3-6 επεξηγεί αυτήν την διαδικασία.

Σε αυτήν την εργασία ο αριθμός προηγούμενων αποτυχιών χρησιμοποιείται ως μεταβλητή στρωματοποίησης. Ένας σωλήνας κινείται προς το επόμενο στρώμα αμέσως μετά από μια αποτυχία (δηλ. σπάσιμο ή διαρροή) και παραμένει εκεί έως ότου εμφανίζεται μια νέα αποτυχία ή έως ότου λογοκρίνεται το στοιχείο. Αυτό επιτρέπει στη λειτουργία κινδύνου βασικών γραμμών για να εξαρτηθεί από τον αριθμό προηγούμενων αποτυχιών.

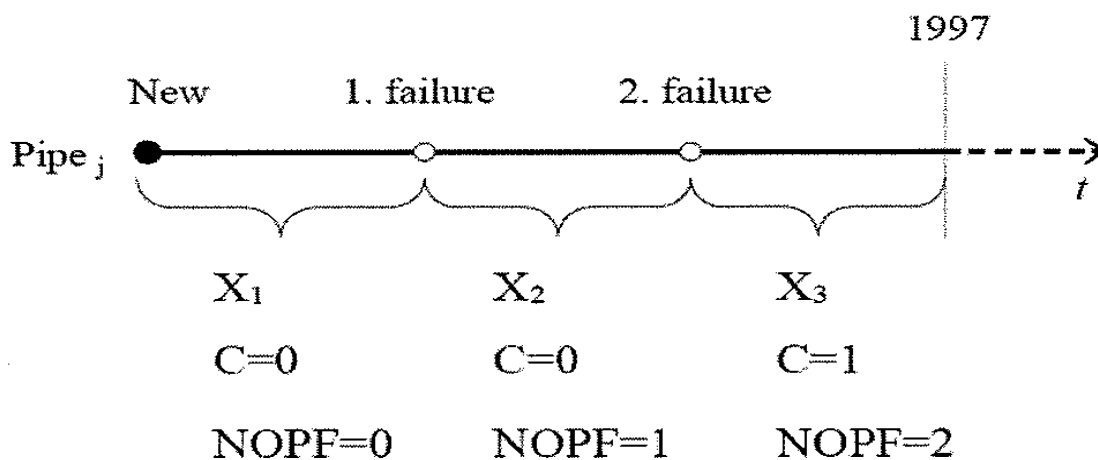


Figure 3-6. PHM used for modelling successive failures in water networks.

Ο αγωγός j εγκαθίσταται, αντιπροσωπεύοντας το "Νέο" χρόνο. Μετά από κάποιο χρόνο η αποτυχία καταγράφεται. Ο χρόνος από την τοποθέτηση του έτους στην πρώτη αποτυχία καλείται "ενδιάμεσος χρόνος αποτυχίας" - X_1 . Ο σωλήνας επισκευάζεται και τίθεται στην υπηρεσία πάλι. Μετά από κάποιο χρόνο μια νέα αποτυχία εμφανίζεται. Ο χρόνος από την πρώτη αποτυχία στη

δεύτερη αποτυχία, καλείται "ενδιάμεσος χρόνος αποτυχίας" X_2 . Ο σωλήνας θα επισκευαστεί πάλι και θα επιστραφεί στην υπηρεσία. Μετά από αυτό δεν καταγράφονται άλλες αποτυχίες και το χρονικό διάστημα από τη δεύτερη αποτυχία στο τέλος της περιόδου ανάλυσης καλείται "ενδιάμεσος χρόνος αποτυχίας" X_3 που είναι ένας σωστός λογοκριμένος χρόνος ενδιάμεσης αποτυχίας ($C=1$). Το X_3 δεν είναι ένας ακριβής χρόνος ενδιάμεσης αποτυχίας, αλλά ένας σωστός λογοκριμένος χρόνος αποτυχίας. Το γεγονός ότι ο χρόνος ενδιάμεσης αποτυχίας λογοκρίνεται, είναι ένας σημαντικός παράγοντας σε αυτήν την ανάλυση. Όλοι αυτοί οι χρόνοι ενδιάμεσης αποτυχίας αναφέρονται στα ίδια στοιχεία σωλήνων και καταλόγων.

Επιπλέον συμπεριλαμβάνεται μια νέα μεταβλητή: "αριθμός προηγούμενων αποτυχιών" (NOPF). Αυτή η συμμεταβλητή διαδραματίζει έναν ειδικό ρόλο, που χρησιμεύει και ως μια μεταβλητή στρωματοποίησης και ως μια συμμεταβλητή. Η στρωματοποίηση συνίσταται στον διαχωρισμό των στοιχείων σε δύο ή περισσότερων υποσυνόλων, που επιτρέπουν τις χωριστές αναλύσεις (οι παράμετροι ποικίλλουν σύμφωνα με το στρώμα). Από την στιγμή που η NOPF ενεργεί και ως μεταβλητή στρωματοποίησης και ως συμμεταβλητή, η λειτουργία κινδύνου θα έχει οριζόντιες μετατοπίσεις μετά από κάθε αποτυχία. Μια απεικόνιση των λειτουργιών κινδύνου για ένα δίκτυο επιδείνωσης με μια αυξανόμενη λειτουργία κινδύνου μέσα σε κάθε στρώμα, παρουσιάζεται στο σχήμα 3-7. Το "ο" στους άξονες του χρόνου δείχνει τον χρόνο της αποτυχίας. Η λειτουργία κινδύνου σε κάθε διάστημα μπορεί είτε να μειώνεται, είτε να αυξάνεται, είτε να είναι σταθερή και η πραγματική μορφή θα εξαρτηθεί από τα στοιχεία αποτυχίας που αναλύονται.

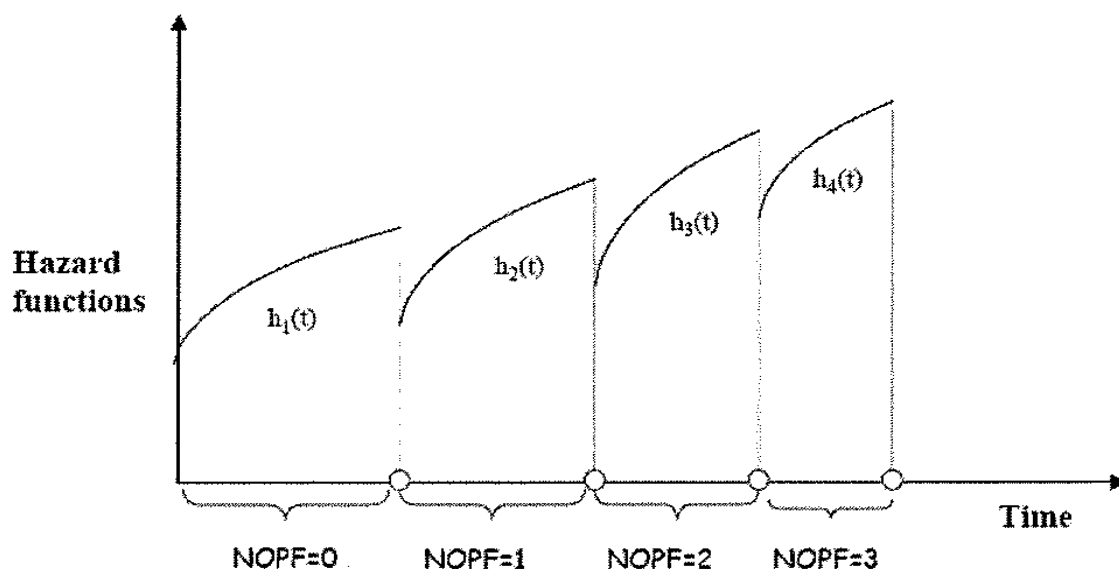


Figure 3-7. An illustration of the pattern of the hazard function for survival models of a repairable system including stratification by the number of previous failures.

Χωρίς τον συνυπολογισμό της NOPF ως συμμεταβλητής στο τροποποιημένο PHM, η προσέγγιση αυτή, θα είχε μειωθεί σε μια συνηθισμένη διαδικασία ανανέωσης, όπου υποτίθεται ότι η λειτουργία κινδύνου επαναρυθμίζεται σε αυτή, ενός νέου συστήματος μετά από την επισκευή. Το αποτέλεσμα είναι ένα πιο εύκαμπτο πρότυπο που έχει ως ειδικές περιπτώσεις: καλός-σαν-καινούργιος, κακός-σαν-παλαιός και ακόμα και χειρότερος-από-παλαιός. Εντούτοις, ως αποτέλεσμα της στρωματοποίησης, οι περισσότεροι παράμετροι και συντελεστές απαιτούνται και πρέπει να υπολογιστούν δεδομένου ότι κάθε ενδιάμεσος χρόνος αποτυχίας διαμορφώνεται χωριστά.

Η περιοχή κάτω από τις λειτουργίες κινδύνου στο σχήμα 3-7 είναι ισοδύναμη με τον αναμενόμενο αριθμό αποτυχιών στο χρονικό διάστημα. Δεδομένου ότι η καμπύλη είναι μια λειτουργία βημάτων, η ολοκλήρωση της καμπύλης δεν είναι μία απλή διαδικασία. Η πρόβλεψη αποτυχίας PHM πραγματοποιείται με τη χρησιμοποίηση μιας προσομοίωσης 'Monte Carlo' βασισμένης στις λειτουργίες επιβίωσης. Αυτή η διαδικασία περιγράφεται στο κεφάλαιο 3.3.8. Ο Le Gat (1999) αναφερόμενος σε αυτή την προσέγγιση PHM ως "εξαρτώμενη από το γεγονός διαδικασία ανανέωσης" που είναι μια επέκταση αυτού που ο COX (1980) αποκάλεσε, "εξαρτώμενη από το χρόνο διαδικασία ανανέωσης". Ο όρος "γεγονός" χρησιμοποιήθηκε αντί "του χρόνου" δεδομένου ότι οι χρόνοι ενδιάμεσης αποτυχίας έχουν διαφορετικές λειτουργίες κατανομής ανάλογα με την τάξη του γεγονότος.

3.3.8. Πρόβλεψη αποτυχιών σε ένα PHM χρησιμοποιώντας την προσομοίωση Monte Carlo.

Για το στρωματοποιημένο PHM είναι δύσκολο να παραγάγει μια αναλυτική λύση για την πρόβλεψη αποτυχίας. Επομένως μια προσομοίωση Monte Carlo βασισμένη στις λειτουργίες επιβίωσης πραγματοποιείται (LE Gat, 1998 Eisenbeis et Al, 1999).

Για να προβλέψουμε τον αριθμό αποτυχιών χρησιμοποιούμε τις παραμέτρους οπισθοδρόμησης β^* και το μεμονωμένο σύνολο συμμεταβλητών z για κάθε σωλήνα. Οι παράμετροι οπισθοδρόμησης β^* βρίσκονται με την ανάλυση μιας ομάδας σωλήνων. Με βάση το σύνολο συμμεταβλητών z κάθε μεμονωμένου σωλήνα, μια λειτουργία επιβίωσης για κάθε σωλήνα υπολογίζεται. Εάν ο αριθμός προηγούμενων αποτυχιών συμπεριληφθεί ως συμμεταβλητή, η λειτουργία επιβίωσης θα αλλάξει μετά από μια αποτυχία. Η προσομοίωση του Monte Carlo βασισμένη στη λειτουργία επιβίωσης χρησιμοποιείται έπειτα για να προβλέψει τον αναμενόμενο αριθμό αποτυχιών μέσα σε έναν δεδομένο χρονικό ορίζοντα. Μόνο οι σωλήνες που είναι ακόμα σε χρήση συμπεριλαμβάνονται στη ανάλυση. Για την πρόβλεψη του αναμενόμενου αριθμού αποτυχιών μέσα σε έναν ορισμένο χρονικό ορίζοντα είναι κατάλληλο

να χρησιμοποιηθεί ένα παραμετρικό πρότυπο όπως Weibull και όχι έναν ημι-παραμετρικό πρότυπο όπως COX PHM. Η προσφυγή στην προσομοίωση Monte Carlo δικαιολογείται με την χρήση του αριθμού προηγούμενων αποτυχιών (NOF), ως ιδιαίτερα σημαντική συμμεταβλητή, το οποίο περιπλέκει τον υπολογισμό της διανομής του αριθμού μελλοντικών αποτυχιών.

Η λειτουργία επιβίωσης για το επιταχυνόμενο Weibull πρότυπο είναι:

$$S(x, \beta^*, z) = \exp\left[-\exp\left(\frac{\ln x - \alpha - z'\beta^*}{\sigma}\right)\right] = \exp\left[-x^{1/\sigma} \exp\left(\frac{-\alpha - z'\beta^*}{\sigma}\right)\right] \quad 3.17$$

όπου

$$z'\beta^* = \beta_1^* z_1 + \beta_2^* z_2 + \dots + \beta_n^* z_n \quad 3.18$$

Οι παράμετροι της ελλοχεύουσας διανομής Weibull, είναι οι ακόλουθες λειτουργίες αυτών των παραμέτρων ακραίας αξίας, $\lambda = \exp(-\alpha)$, $p = 1/\sigma$.

Εάν λύσουμε ως προς x παίρνουμε τον αντίστοιχο χρόνο αποτυχίας σε μια δεδομένη πιθανότητα επιβίωσης.

$$x = \left(\ln\left(\frac{1}{S}\right) \exp\left(\frac{\alpha + z'\beta^*}{\sigma}\right) \right)^\sigma \quad 3.19$$

Οι προσομοιώσεις Monte Carlo πραγματοποιούνται με τον ακόλουθο τρόπο:

Ένας τυχαίος αριθμός (0,1) επιλέγεται. Ο αντίστοιχος χρόνος αποτυχίας για τη δεδομένη λειτουργία επιβίωσης είναι υπολογισμένος (σχήμα 3-8), εάν ο χρόνος αποτυχίας είναι πιο σύντομος από τον χρονικό ορίζοντα, ένας νέος χρόνος αποτυχίας υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μια ενημερωμένη έκδοση της λειτουργίας επιβίωσης (ο αριθμός προηγούμενων αποτυχιών να είναι μια συμμεταβλητή στο πρότυπο). Αυτό επαναλαμβάνεται, έως ότου φθάσουμε στον χρονικό ορίζοντα για τις αναλύσεις. Ο συσσωρευτικός αριθμός αποτυχιών μέσα στον χρονικό ορίζοντα είναι υπολογισμένος για κάθε σωλήνα, όπου αυτό το στοιχειώδες σχέδιο είναι επαναλαμβανόμενο 1000 φορές, όπου η μέση τιμή των 1000 προσομοιώσεων να είναι έπειτα ένας εκτιμητής για τον αναμενόμενο αριθμό αποτυχιών μέσα στον χρονικό ορίζοντα. Τα ανώτερα και χαμηλότερα όρια εμπιστοσύνης και το τυποποιημένο λάθος μπορούν επίσης να υπολογιστούν βασισμένα στα

αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις. Με την εφαρμογή των προσομοιώσεων Monte Carlo, είμαστε έτσι ικανοί να καθιερώσουμε ένα διάστημα πρόβλεψης.

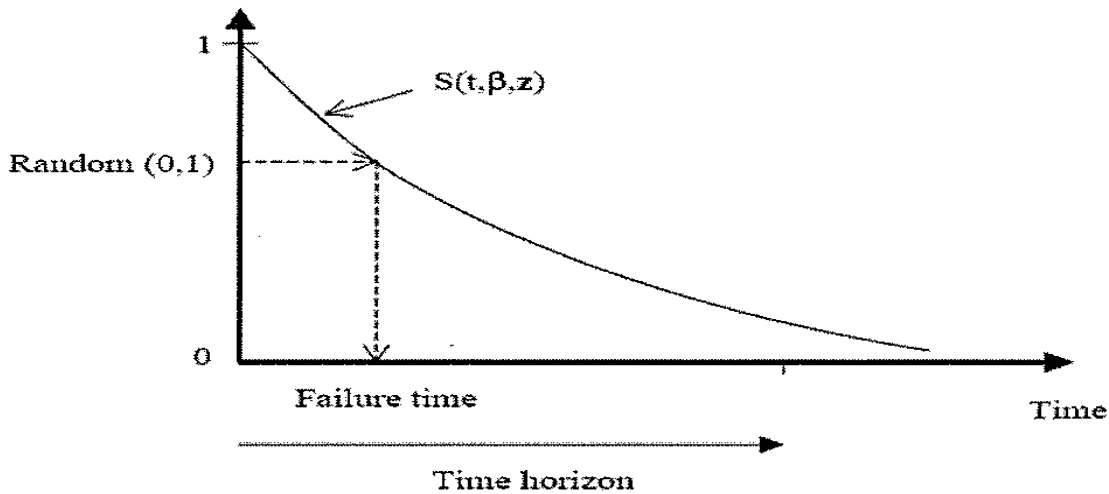


Figure 3-8. Prediction of failures based on survival functions.

Για την πρόβλεψη της πρώτης νέας αποτυχίας μετά από την περίοδο βαθμολόγησης πρέπει να λάβουμε υπόψη την υπό όρους λειτουργία επιβίωσης. Εάν ένας σωλήνας έχει διανύσει ήδη κάποιο χρόνο ζωής όταν αρχίζει η πρόβλεψη, τότε πρέπει να τροποποιηθεί η λειτουργία επιβίωσης και πρέπει να υπολογιστεί μια υπό όρους λειτουργία επιβίωσης. Ο χρόνος από την τελευταία καταγραμμένη αποτυχία στον χρόνο όταν η περίοδος βαθμολόγησης παύει να καλείται 'ΖΩΗ' στην ανάλυση επιβίωσης (ισοδύναμη με το χρόνο ενδιαμέσης αποτυχίας X_3 στο σχήμα 3-6). Αυτή η διάρκεια ζωής είναι μια σωστή λογοκριμένη διάρκεια ζωής. Η πιθανότητα επιβίωσης που αντιστοιχεί στο χρόνο 'ΖΩΗ', χρησιμοποιείται έπειτα κατά τον υπολογισμό της υπό όρους πιθανότητας επιβίωσης, $S(t)^*$. Η υπό όρους λειτουργία επιβίωσης παρουσιάζεται στο σχήμα 3-9. Η υπό όρους λειτουργία επιβίωσης έχει την αξία 1 για τον χρόνο που αντιστοιχεί στη 'ΖΩΗ', δεδομένου ότι βεβαιωνόμαστε ότι ο σωλήνας θα επιζήσει του χρόνου 'ΖΩΗ'. Η υπό όρους λειτουργία επιβίωσης δίνεται έπειτα από:

$$S(t)^* = \frac{S(t)}{S(LIFE)}$$

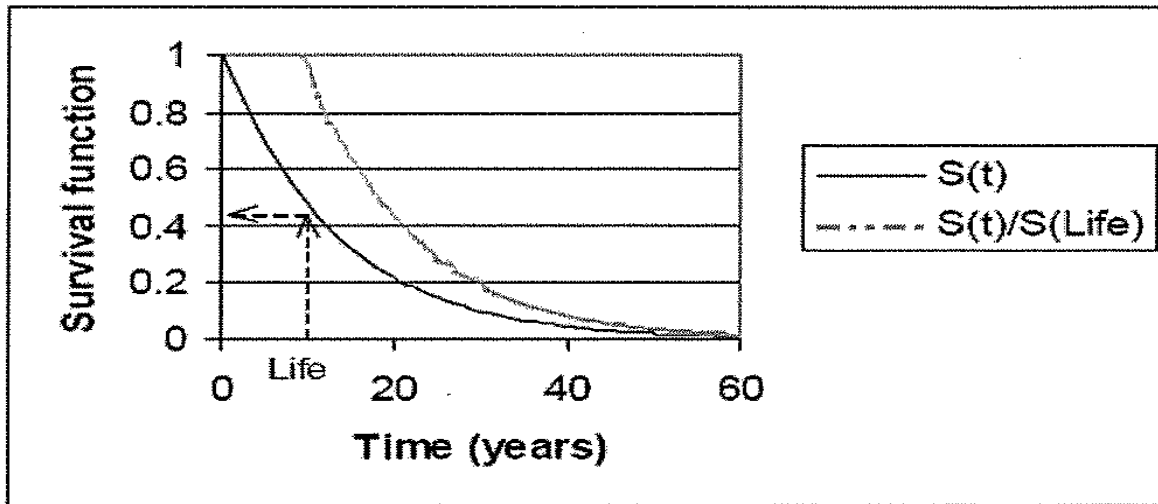


Figure 3-9. Conditional survival probability.

Μέτρηση της διαδικασίας.

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζεται πού ισχύει η στατιστική οικογένεια του υπολογισμού της διαδικασίας για τα επισκευάσιμα συστήματα. Τα παρατηρηθέντα γεγονότα αρχίζουν το χρόνο λειτουργίας, το χρόνο παρατήρησης και τους χρόνους αποτυχίας. Ο στόχος είναι να διαμορφωθεί ο αριθμός αποτυχιών μέσα σε ένα χρονικό διάστημα. Η τυχαία μεταβλητή $N(t)$, {αριθμός αποτυχιών κατά τη διάρκεια $(0, t]$ } είναι ειδικού ενδιαφέροντος. Η διαδικασία $\{N(t), t \geq 0\}$ καλείται μια πιθανολογική διαδικασία ή πιο συγκεκριμένα μια μετρούμενη διαδικασία. Μια πιθανολογική διαδικασία $\{N(t), t \geq 0\}$ λέγεται ότι είναι μια μετρούμενη διαδικασία εάν το $N(t)$ ικανοποιεί τα εξής (Hoyland και Rausand, 1994):

1. $N(t) \geq 0$
2. $N(t)$ είναι ακέραιος αριθμός που εκτιμείται
3. εάν $s < t$ έπειτα $N(s) \leq N(t)$
4. για $s < t$, $[N(t) - N(s)]$ αντιπροσωπεύει τον αριθμό γεγονότων που έχουν εμφανιστεί στο διάστημα $(s, t]$.

3.4.1 Ανομοιογενής διαδικασία Poisson

Κατά την ανάλυση ενός επισκευάσιμου συστήματος κάποιος οφείλει να ενδιαφερθεί για τα χαρακτηριστικά του σχεδίου των διαδοχικών αποτυχιών στο σύστημα. Εάν τα συστήματα εκθέτουν μια τάση (δηλ. μια τάση για εμφάνιση αποτυχιών περισσότερο ή λιγότερο πολύ) κάποιος σαφώς πρέπει να χρησιμοποιήσει τις μη γεωστατικές μεθόδους. Το πρότυπο, που χρησιμοποιείται συνήθως για να λάβει υπόψη την τάση στα επισκευάσιμα συστήματα, είναι η ανομοιογενής διαδικασία Poisson.

3.4.1.1 Εισαγωγή και ορισμοί

Μια μετρούμενη διαδικασία $\{ N(t), t \geq 0 \}$ είναι μια ανομοιογενής διαδικασία Poisson (NHPP) με τη λειτουργία έντασης $\lambda(t), t \geq 0$, εάν:

1. $N(0) = 0$, ο αριθμός πεπειραμένων αποτυχιών σε ένα αχρησιμοποίητο σύστημα είναι μηδέν
2. $\{ N(t), t \geq 0 \}$ έχει ανεξάρτητες αυξήσεις.
3. $P(N(t+\Delta t) - N(t) \geq 2) = o(\Delta t)$, δηλαδή το σύστημα δεν θα έχει περισσότερες από μια αποτυχίες συγχρόνως.
4. $P(N(t+\Delta t) - N(t) = 1) = \lambda(t)\Delta t + o(\Delta t)$.

Η βασική παράμετρος του NHPP είναι το ποσοστό περιστατικού των αποτυχιών (ROCOF). Το ROCOF είναι το χρονικό παράγωγο του αναμενόμενου συσσωρευτικού αριθμού αποτυχιών και ορίζεται ως:

$$v(t) = \frac{dV(t)}{dt} = \frac{d}{dt} E(N(t)) \stackrel{\text{def}}{=} \text{ROCOF}$$

Όπου το $V(t) = E(N(t))$ δείχνει τον μέσο όρο των αποτυχιών στο διάστημα $(0, t]$. Ακολουθεί ότι το ROCOF μπορεί να θεωρηθεί ως μέσος όρος των αποτυχιών ανά χρονική μονάδα στον χρόνο t .

Για να ερμηνεύσετε καλύτερα το ROCOF, γράψτε:

$$v(t)dt = E[N(t+dt)] - E[N(t)] = \text{αναμενόμενος αριθμός αποτυχιών σε } (t, t+dt]$$

ή από την άποψη της πιθανότητας

$$v(t)dt = P(\text{αποτυχία σε } (t, t+dt])$$

Η λειτουργία ROCOF, καλείται επίσης λειτουργία έντασης του NHPP ($v(t) = \lambda(t)$).

Η συσσωρευτική ένταση της διαδικασίας είναι:

$$\Lambda(t) = \int_0^t \lambda(u) du$$

3.21

Είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι το πρότυπο NHPP, δεν απαιτεί στάσιμες αυξήσεις. Αυτό σημαίνει ότι οι αποτυχίες είναι πιθανότερο να εμφανιστούν σε ορισμένους χρόνους, και ως εκ τούτου οι χρόνοι ενδιάμεσης αποτυχίας (δηλ. χρόνοι μεταξύ των αποτυχιών) δεν είναι γενικά, ούτε ανεξάρτητοι, ούτε διανεμημένοι όμοια.

Το NHPP διαφέρει από την ομοιογενή διαδικασία Poisson (HPP), μόνο δεδομένου ότι η ένταση ποικίλλει με το χρόνο, που είναι μάλλον μια σταθερά. Είναι έτσι δυνατό με ένα NHPP να διαμορφωθούν οι τάσεις μέσω των προδιαγραφών της λειτουργίας έντασης. Παραδείγματος χάριν, ένα επιδεινωμένο σύστημα αντιστοιχεί σε μια αυξανόμενη λειτουργία $\lambda(t)$, ενώ ένα βελτιωμένο σύστημα αντιστοιχεί σε μια μειωμένη λειτουργία $\lambda(t)$.

Ο όρος $\lambda(t)\Delta t$ μπορεί να ερμηνευθεί ως πιθανότητα ότι μια αποτυχία, όχι απαραίτητως η πρώτη, εμφανίζεται μέσα στο διάστημα $(t+\Delta t)$.

3.4.1.2 Διαμορφώνοντας με την ανομοιογενή διαδικασία Poisson

Σε μια ανομοιογενή διαδικασία Poisson κάθε σωλήνας μελετάται μέσα σε ένα χρονικό διάστημα (a_i, b_i) , δηλ. το ενδιαμέσο χρονικό διάστημα όπου οι παρατηρήσεις είναι διαθέσιμες (σχήμα 3-10). Ο χρόνος 0 αντιστοιχεί στο έτος τοποθέτησης του σωλήνα. Κάθε σωλήνας έχει το διάνυσμα συμμεταβλητής του z_i και έναν αριθμό n καταγραμμένων αποτυχιών, με τον χρόνο του περιστατικού τους: $T_1 < T_2 < \dots < T_n$. Τα συστατικά του διανύσματος συμμεταβλητής, είναι όλα ανεξάρτητες μεταβλητές που έχουν μία σημαντική επιρροή στην υπηρεσία-ζωή του σωλήνα. Η επίδραση των συμμεταβλητών στο ποσοστό περιστατικού αυτών των αποτυχιών (ROCOF) είναι αρκετά ενδιαφέρουσα.

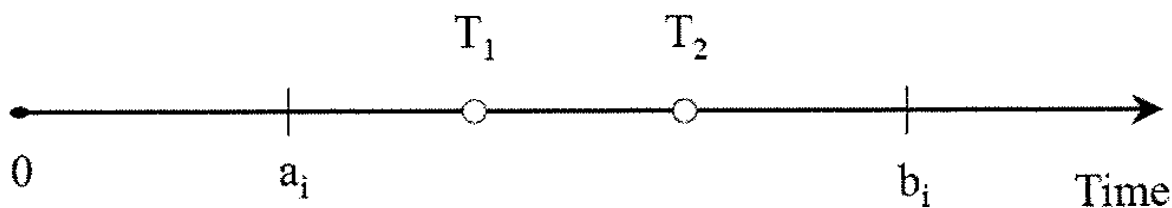


Figure 3-10. Definition of terms used in NHPP.

Η κύρια υπόθεση είναι ότι οι αποτυχίες n , εμφανίζονται σε μια χρονική περίοδο σύμφωνα με μια ανομοιογενή διαδικασία Poisson, με την ένταση των αποτυχιών που δίνονται από:

$$\lambda(t, \beta, z_i) = \lambda_0(t)c(z_i, \beta) \quad 3.22$$

Το πρότυπο αναφέρεται μερικές φορές σε ένα ανάλογο πρότυπο έντασης (Lawless, 1987). Το πρότυπο είναι μια επέκταση του ανάλογου προτύπου κινδύνων (Cox, 1972), για τη διαμόρφωση των επισκευάσιμων συστημάτων. Το λ_0 λαμβάνεται ως ένταση βασικών γραμμών. Για τη λειτουργία που

καθορίζει την ανάλογη υπόθεση έντασης, μια εκθετική μορφή χρησιμοποιείται συχνά. Αυτό επιτρέπει στην αποφυγή των περιορισμών σε β προκειμένου να γίνει $\lambda(t, z_i, \beta) > 0$.

$$c(\mathbf{z}_i, \boldsymbol{\beta}) = \exp(\mathbf{z}_i, \boldsymbol{\beta}) \tag{3.23}$$

Οι συμμεταβλητές υποτίθεται ότι ήταν σταθερές κατά τη διάρκεια ολόκληρης της περιόδου λειτουργίας.

Μπορούμε να σκεφτούμε την λειτουργία έντασης $\lambda(t)$ σαν τη λειτουργία κινδύνου του χρόνου μέχρι την πρώτη αποτυχία, το ποσοστό επόμενων αποτυχιών είναι ανεπηρέαστο από την πρώτη αποτυχία. Μετά από μια αποτυχία, το σύστημα αποκαθίσταται σε μια κατάσταση, όπου είναι ακριβώς τόσο καλό (ή κακό) όπως ήταν αμέσως πριν από την αποτυχία.

3.4.1.3 Διαδικασία κανόνα δύναμης

Διάφορα παραμετρικά πρότυπα έχουν καθιερωθεί για να περιγράψουν την ένταση του NHPP : το πρότυπο κανόνα δύναμης, το γραμμικό πρότυπο και το λογαριθμικό γραμμικό πρότυπο. Το πρότυπο κανόνα δύναμης συνηθέστερα συζητείται στη λογοτεχνία. Σε αυτήν την εργασία το πρότυπο νόμου δύναμης, έχει επιλεγεί για την χρονική εξαρτώμενη λειτουργία $\lambda_0(t)$, που ορίζεται ως:

$$\lambda_0(t) = \lambda \delta t^{\delta-1} \tag{3.24}$$

για $\lambda > 0$, $\delta > 0$ και $t \geq 0$. Μερικοί συντάκτες χρησιμοποιούν β αντί για δ ως παράμετρο για την λειτουργία έντασης (Samset, 1988). Δεδομένου ότι το β χρησιμοποιείται για τους συντελεστές των συμμεταβλητών αυτή η παραμετροποίηση δεν χρησιμοποιείται εδώ. Επιλεγμένη παραμετροποίηση ακολουθεί το παράδειγμα του Lawless (1987) και Ciampi (1992). Η λειτουργία έντασης, όταν οι συμμεταβλητές περιλαμβάνονται είναι:

$$\lambda(t, \boldsymbol{\beta}, \mathbf{z}_i) = \lambda \delta t^{\delta-1} \exp(\mathbf{z}_i, \boldsymbol{\beta}) \tag{3.25}$$

Το πρότυπο κανόνα δύναμης, αναφέρεται μερικές φορές ως διαδικασία Weibull, δεδομένου ότι η λειτουργία έντασης έχει την ίδια λειτουργική μορφή με την λειτουργία κινδύνου της κατανομής Weibull. Στο πρότυπο νόμου δύναμης ο χρόνος στην πρώτη αποτυχία ακολουθεί μια κατανομή Weibull. Εντούτοις, σύμφωνα με τους Ascher και Feingold (1984) η χρήση της διαδικασίας Weibull μπορεί να οδηγήσει σε σύγχυση, που δημιουργεί την εντύπωση ότι η διανομή Weibull μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαμορφώσει την τάση στους χρόνους ενδιάμεσης αποτυχίας ενός επισκευάσιμου συστήματος. Σημειώστε ότι για $\delta = 1$ η λειτουργία έντασης μειώνει σε ένα εκθετικό πρότυπο, που αντιστοιχεί σε μια ομοιογενή διαδικασία Poisson, HHP.

Ένα επισκευάσιμο σύστημα διαμορφωμένο από το πρότυπο κανόνα δύναμης βελτιώνεται εάν $0 < \delta < 1$ και επιδεινώνεται, εάν $\delta > 1$. Η κανονική μέθοδος παραμετροποίησης είναι να χρησιμοποιηθεί ο μετασχηματισμός $\lambda = e^{\beta_0}$ και να περιληφθεί στη λειτουργία $e^{\beta z}$ οπισθοδρόμησης ως παρεμπόδιση, αφήνοντας τη συμμεταβλητή z_0 να είναι ίση με ένα. Με το να κάνει αυτό τον όρο β_0 δεν έχει κανένα όριο, εκπληρώνοντας την υπόθεση $\lambda > 0$. Λόγω των υπολογιστικών προβλημάτων προκαλούμενων από την υπερχειλίση στοιχείων, η Εξ. 3.25 χρησιμοποιήθηκε χωρίς μετασχηματισμό. Στους υπολογισμούς μερικά πρόσθετα τεχνάσματα συμπεριλαμβάνονται προκειμένου να επιτευχθεί $\lambda > 0$. Πράγματι, αυτό λειτουργεί αρκετά καλά στην πράξη.

Η συσσωρευτική ή ενσωματωμένη λειτουργία έντασης είναι:

$$E(N(t)) = \Lambda(t, \boldsymbol{\beta}, \mathbf{z}) = \int_0^t \lambda(u, \boldsymbol{\beta}, \mathbf{z}) du \quad 3.26$$

όπου $N(t) =$ ο αριθμός αποτυχιών μέσα $(0, t]$. Η ενσωματωμένη λειτουργία έντασης για το διάστημα (a_i, b_i) , που αντιστοιχούν στον αναμενόμενο αριθμό αποτυχιών στο διάστημα (a_i, b_i) δίνεται από:

$$E(N(b_i) - N(a_i)) = \int_{a_i}^{b_i} \lambda(u, \boldsymbol{\beta}, \mathbf{z}) du = \lambda(b_i^\delta - a_i^\delta) \exp(\mathbf{z}'\boldsymbol{\beta}) \quad 3.27$$

Μια απεικόνιση της λειτουργίας έντασης για το NHPP παρουσιάζεται στο σχήμα 3-11. Η περιοχή κάτω από την καμπύλη είναι ισοδύναμη με τον αναμενόμενο αριθμό αποτυχιών για το χρονικό διάστημα. Για το πρότυπο NHPP, αυτή η καμπύλη μπορεί να ενσωματωθεί χρησιμοποιώντας Εξ. (3.27).

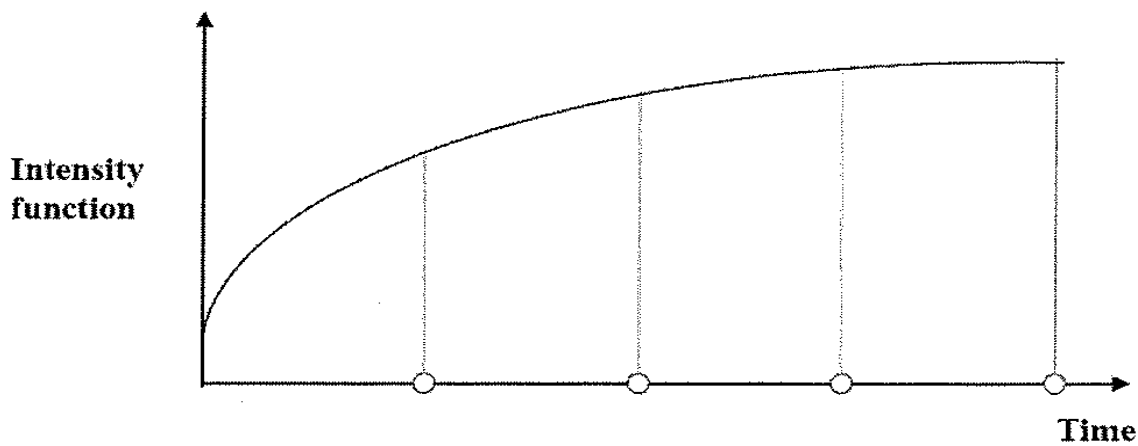


Figure 3-11. An illustration of the pattern of the intensity function for NHPP in the case of minimal repair or “bad-as-old” condition of a repairable system.

3.4.1.4 Εκτίμηση των παραμέτρων στη μέθοδο NHPP/ Μέθοδος μέγιστης πιθανότητας

Για να υπολογίσει τις άγνωστες παραμέτρους (λ , δ και β) στο επιλεγμένο NHPP, χρησιμοποιείται η αρχή της μέγιστης πιθανότητας. Η λειτουργία πιθανότητας όταν οι μεταβλητές είναι παρών, δείχνεται ως $\lambda(\theta, z, t)$. Θα μπορούσαμε να σκεφτούμε τη λειτουργία πιθανότητας ως μέτρο, για το πώς το θ πρόκειται να παραγάγει τις παρατηρηθείσες τιμές T .

Οι πληροφορίες για τις ανεξάρτητες παρατηρήσεις m με την ίδια λειτουργία έντασης $\lambda(t)$ είναι διαθέσιμες (δηλ. στοιχεία καταλόγων και αποτυχίας). Το μεμονωμένο (π.χ. σωλήνας) i παρατηρείται πέρα από το χρονικό διάστημα (a_i, b_i) και τα γεγονότα n_i καταχωρούνται στους χρόνους t_{ij} , όπου... $j=1, 2, \dots, n_i$ και $i=1, 2, \dots, m$.

Η λειτουργία πιθανότητας για το πρότυπο κανόνα δύναμης για όλες τις διαδικασίες m δίνεται από (βλ. Lawless (1987) ή Samset (1988)):

$$L(\theta; t) = \prod_{i=1}^m \left[\prod_{j=1}^{n_i} [\lambda(t_{ij})] \cdot e^{-\int_{a_i}^{b_i} [\lambda(u) du]} \right] \quad 3.28$$

Η μεγιστοποίηση της Εξ. 3.28 επιτυγχάνεται παίρνοντας τον λογάριθμο του L και μεγιστοποιώντας την νέα λειτουργία ($l = \ln L$). Η λογαριθμική λειτουργία πιθανότητας (l) για το πρότυπο κανόνα δύναμης δίνεται από:

$$l(\theta; \mathbf{z}, t) = \sum_{i=1}^m \left[n z_i \beta + n \ln \lambda + n \ln \delta + (\delta - 1) \sum_{j=1}^n \ln t_{ij} - e^{z_i \beta} \lambda (b^\delta - a^\delta) \right] \quad 3.29$$

Η μεγιστοποίηση της λογαριθμικής πιθανότητας λειτουργίας παρουσιάζεται στο πρόγραμμα από ένα βέλτιστο αλγόριθμο, που απαιτεί μόνο τους παρακάτω τύπους για το πρώτο παράγωγο του $l(\theta, \mathbf{z}, t)$:

$$\frac{\partial l}{\partial \lambda} = \sum_{i=1}^m \left[\frac{n}{\lambda} - e^{z_i \beta} (b^\delta - a^\delta) \right] \quad (3.30)$$

$$\frac{\partial l}{\partial \delta} = \sum_{i=1}^m \left[\frac{n}{\delta} + \sum_{j=1}^n \ln t_{ij} - e^{z_i \beta} \lambda (b^\delta \ln b - a^\delta \ln a) \right] \quad (3.31)$$

$$\frac{\partial l}{\partial \beta_i} = \sum_{i=1}^m \left[n z_i - e^{z_i \beta} \lambda z_i (b^\delta - a^\delta) \right] \quad (3.32)$$

3.5 Τεχνικές για την εκτίμηση των προτύπων

Όταν ιδρύεται ένα πρότυπο για τα δεδομένα που παρατηρήθηκαν και οι άγνωστοι παράμετροι εκτιμούνται έχει ενδιαφέρον να δούμε κατά πόσο ταιριάζει το πρότυπο στα δεδομένα της παρατήρησης μας. Η επιτυχία εξαρτάται από το αν οι εκτιμήσεις που κάναμε ήταν σωστές. Για να αξιολογήσουμε τα πρότυπα, διαφορετικοί έλεγχοι πραγματοποιούνται.

Οι παραδοσιακοί στατιστικοί έλεγχοι είναι:

- Σύγκριση τιμών λογαριθμικής πιθανότητας
- Σπουδαιότητα παραμέτρων

Για να διαλέξουμε ανάμεσα σε διαφορετικά πρότυπα (NHPP εναντίον Weibull PHM) συγκρίσεις μεταξύ αποτυχιών που έχουν προβλεφθεί και παρατηρηθεί μπορούν να πραγματοποιηθούν.

Οι ακόλουθες τεχνικές είναι χρήσιμες για αυτό:

- Αθροιστικά σχέδια για παρατηρηθείσες εναντίον προβλεφθείσες αποτυχίες
- Ετήσια σχέδια για παρατηρηθείσες εναντίον προβλεφθεισών αποτυχιών για κάθε χρόνο

- Σχεδιασμός των ζευγαριών (παρατηρηθείσες, προβλεφθείσες αποτυχίες) για κάθε αγωγό.

3.6 Συμπέρασμα στατιστικών μοντέλων

Και η PHM προσέγγιση αλλά και το NHPP πρότυπο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μοντελοποιήσουν τις αποτυχίες σε ένα επισκευάσιμο σύστημα, όπως είναι το δίκτυο διανομής νερού. Δεν είναι πρακτικό να χρησιμοποιηθεί το ημι-παραμετρικό πρότυπο για τη μοντελοποίηση διαδοχικών αποτυχιών, αφού η βασική συνάρτηση κινδύνου πρέπει να εκτιμηθεί χωριστά πριν πραγματοποιηθεί η πρόβλεψη. Ένα παραμετρικό πρότυπο είναι πιο πρακτικό για την πρόβλεψη αποτυχιών, και για αυτή τη δουλειά μια Weibull PHM απαιτείται. Η εφαρμογή της Weibull PHM στη πρόβλεψη αποτυχίας, περιλαμβάνει μια προσομοίωση Monte Carlo βασισμένη στη συνάρτηση επιβίωσης για κάθε στρώμα. Πρόβλεψη αποτυχίας με NHPP επιτυγχάνεται με την ανάμειξη της συνάρτησης της έντασης με προσοχή στο χρόνο.

Η PHM προσέγγιση και η NHPP περιγράφουν διαφορετικά συστήματα αποτυχίας. Για την PHM το συνεπαγόμενο σύστημα αποτυχίας βρίσκεται κάπου μεταξύ στις καταστάσεις καλό- σαν- καινούριο και χειρότερο- από - παλιό. Η διαστρωμάτωση που χρησιμοποιείται στην PHM δίνει στο πρότυπο ευκαμψία, με σεβασμό στον αριθμό των προηγούμενων αποτυχιών. Η NHPP είναι γνωστή στη μοντελοποίηση κακών- σαν- παλιών συστημάτων, που διαισθητικά ταιριάζουν πολύ καλά στις διαδικασίες αποτυχιών στα δίκτυα νερού. Μια σύγκριση των δυο μεθόδων: PHM και NHPP όπως χρειάζεται για την πρόβλεψη των βλαβών στα δίκτυα νερού, είναι και ενδιαφέρουσα από επιστημονικής άποψης, αλλά και απαραίτητη από πρακτικής άποψης.

1. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΕΣ ΣΤΟ ΚΙΝΔΥΝΟ (RISK BASED) ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΚΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΓΩΓΩΝ

Περίληψη

Αυτό το έγγραφο περιγράφει τις μεθοδολογίες και τα αναλυτικά εργαλεία για τη βασισμένη στον κίνδυνο επιθεώρηση και διαχείριση ακεραιότητας {Risk Based Inspection and Integrity Management (RBIM)} του δικτύου αγωγών. Ο στόχος μιας RBIM είναι να εξασφαλίσει και να διατηρήσει την απαραίτητη εμπιστοσύνη στη ακεραιότητα των αγωγών και ως εκ τούτου να μεγιστοποιηθεί τη λειτουργούσα διαθεσιμότητά του, ταυτόχρονα βελτιστοποιώντας τους πόρους που χρησιμοποιούνται, για να εξασφαλίσει την ακεραιότητα τους. π.χ. ο προγραμματισμός των διαστημάτων και των μεθόδων επιθεώρησης, τις επισκευές κ.λ.π.

Τα βασικά βήματα μιας RBIM δικτύου αγωγών είναι τα εξείς:

- α) Καθιερώστε και καθορίστε τα απαραίτητα επίπεδα εμπιστοσύνης στην ακεραιότητα του δικτύου.
- β) Αναπτύξτε λεπτομερέστατη γνώση των παρελθόντων, παρόντων και μελλοντικών λειτουργικών συνθηκών και περιβάλλοντος των αγωγών.
- γ) Συστηματικά αξιολογήστε και ταξινομήστε τους κινδύνους κάθε πιθανού τρόπου αποτυχίας ξεχωριστά για κάθε είδος αγωγού, μετρώντας και δίνοντας έμφαση στις αστάθειες. Αυτό σε μεγάλο βαθμό παρουσιάζει το ποιοτικό επίπεδο.
- Δ) Οι χρονικά εξαρτημένοι τρόποι αποτυχίας (π.χ. εσωτερική διάβρωση) που θεωρούνται κίνδυνος για τον αγωγό, αξιολογούνται χρησιμοποιώντας προγράμματα λογιστικού φύλλου (spreadsheet), βασισμένα σε ημι-πιθανολογικά δομικά εργαλεία αξιολόγησης της αξιοπιστίας. Αυτά είναι γρήγορα και απλά στη χρήση, προβλέποντας την περίοδο στην οποία η εμπιστοσύνη στην ακεραιότητα του αγωγού έναντι σε έναν συγκεκριμένο τρόπο αποτυχίας μειώνεται, κάτω από τα προδιαγραφόμενα επίπεδα. Μια προγραμματισμένη προσέγγιση βασισμένη στον κίνδυνο επιθεώρησης (RBI) αναπτύσσεται αναμιγνύοντας την δομική προσέγγιση αξιοπιστίας, με μία γενική προσέγγιση βάσεων δεδομένων της ανάλυσης κινδύνου από το γ) βήμα ανωτέρω.
- ε) Μια προσέγγιση ολικής παραγωγικής συντήρησης (TPM) εξετάζεται συνδεδεμένη με τη συντήρηση βασισμένη στον κίνδυνο (RBM).

στ) Οι λύσεις μελετούνται έπειτα για να μειώσουν- εξαλείψουν τους κινδύνους που θεωρούνται μη αποδεκτοί, τις αβεβαιότητες στη διαχείριση της ακεραιότητας, και για να διατηρήσουν την εμπιστοσύνη στην ακεραιότητα των αγωγών.

1.1 Εισαγωγή

Το σχέδιο του δικτύου αγωγών βελτιστοποιείται όλο και περισσότερο μέσω της χρήσης των προηγμένων μεθόδων σχεδίου, για να ελαχιστοποιήσει πρώτιστα το CAPEX (ιδιαίτερα στα υψηλά προγράμματα CAPEX όπως τα κύρια κανάλια τροφοδοσίας). Αυτό οδηγεί γενικά σε λιγότερο πλεονασμό στα ακραία φορτία, μειωμένη ανοχή στη διάβρωση, ατέλειες τρίτων και ζημία κόπωσης, με την προσδοκία ότι αυτά τα φορτία θα επιτηρηθούν και θα ελεγχθούν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, κατά συνέπεια οι απαιτήσεις παρακολούθησης και ελέγχου πρέπει να καθοριστούν καλά. Επίσης πολλά δίκτυα αγωγών παλαιώνουν πέρα από τη προδιαγραφόμενη ζωή, με έναν αυξανόμενο κίνδυνο αποτυχίας και ως εκ τούτου πρέπει να επιθεωρηθούν και να επισκευαστούν ή να ελεγχθούν ότι ανταποκρίνονται στις ανάγκες. Περαιτέρω, η λειτουργία των δικτύων αγωγών χαρακτηρίζεται από λιγότερους μη εξειδικευμένους υπαλλήλους, που υποστηρίζονται με ακριβότερα εργαλεία επιθεώρησης.

Τέτοιου είδους περιβάλλοντα βιομηχανίας απαιτούν εργαλεία για την εφαρμογή των μεθόδων κινδύνου και αξιοπιστίας, για να προσδιορίσουν και να δώσουν προτεραιότητα μεταξύ των σχεδιαστικών στόχων, όπου οι κίνδυνοι είναι οι υψηλότεροι και από πλευράς ασφάλειας και από πλευράς επιχείρησης. Για επιτυχή λειτουργία και συντήρηση των δικτύων αγωγών, είναι σημαντικό να επιλεγθούν τεχνολογίες και μέθοδοι, έτσι ώστε οι κίνδυνοι να ρυθμίζονται με τον πιο οικονομικό και αποδοτικό τρόπο. Η καλή κατανόηση και διαχείριση των κινδύνων είναι ζωτικής σημασίας και σπουδαιότητας στην εξασφάλιση της ακεραιότητας του αγωγού.

Η ανάπτυξη των εργαλείων κινδύνου και αξιοπιστίας απαιτεί την ολοκλήρωση της ανάλυσης κινδύνου, της τεχνολογίας υλικών και της δομικής ανάλυσης. Η ανάλυση κινδύνου χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για τη λήψη αποφάσεων στο λεπτομερές σχέδιο, δεδομένου ότι οι περισσότεροι κίνδυνοι μπορούν να προσδιοριστούν και να ελεγχθούν στη διαδικασία σχεδίου ή να προσδιορίσουν τις απαιτήσεις για μελλοντικούς ελέγχους. Για τον προγραμματισμό επιθεώρησης βασισμένης στον κίνδυνο των αγωγών σε λειτουργία, είναι απαραίτητο να συνδυαστεί η γνώση μας στην ανάλυση κινδύνου, η πρόβλεψη της διάβρωσης, των ατελειών τρίτων και της παραμένουσας δομικής δύναμης.

Μερικές από τις βασισμένες στον κίνδυνο μεθόδους επιθεώρησης που υπάρχουν στη βιβλιογραφία, τείνουν να είναι πολύ περίπλοκες, επίσης δεν μπορούν να εφαρμοστούν ουσιαστικά λόγω έλλειψης βάσεων δεδομένων για τον προσδιορισμό των μεταβλητών, που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση κινδύνου. Είναι επομένως σημαντικό, το ότι οι απλουστευμένες μέθοδοι εκτίμησης κινδύνου αναπτύσσονται.

Ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι να εφαρμοστούν οι βασισμένες στο κίνδυνο μεθοδολογίες προγραμματισμού επιθεώρησης στα δίκτυα αγωγών, με την ανάπτυξη ενός συνόλου μεθόδων και εργαλείων για την εκτίμηση των κινδύνων που χρησιμοποιούν τη δομική προσέγγιση αξιοπιστίας και τις τυχαίες βάσεις δεδομένων, και να διευκρινιστεί η βασισμένη στον κίνδυνο προσέγγισή επιθεώρησης και διαχείρισης μέσω μερικών παραδειγμάτων. Η εστίαση θα είναι στη ανάπτυξη απλουστευμένων μεθόδων και εργαλείων ανάλυσης για τις πρακτικές εφαρμογές.

2. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΚΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΕΣ ΣΤΟΝ ΚΙΝΔΥΝΟ (RBIM)

2.1 Κίνδυνος

Κίνδυνος είναι το προϊόν της πιθανότητας και της συνέπειας. Από την άποψη του κινδύνου αγωγών, αυτό είναι το προϊόν της πιθανότητας της αποτυχίας και της συνέπειας που είναι:

- Η αποτυχία.
- Η συνέπεια της αποτυχίας δηλ. τραυματισμοί ή μοιραία περιστατικά, υλικές (οικονομικές) απώλειες και περιβαλλοντική καταστροφή.

Οι συνέπειες της αποτυχίας σωληνώσεων είναι τις περισσότερες φορές σημαντικές από την άποψη της υλικής απώλειας, ενώ τα πιθανά μοιραία περιστατικά και η περιβαλλοντική καταστροφή μπορούν να ποικίλουν ευρέως (ανάλογα με τη θέση- περιβάλλον, τον τοπικό πληθυσμό και το περιεχόμενο). Ο κίνδυνος αφαιρείται ή μειώνεται μέσω των μέτρων πρόληψης, ελέγχου και μετριασμού. Κατά ένα μεγάλο μέρος, λόγω των σημαντικών συνεπειών της αποτυχίας (υλική απώλεια), οι οποίες λόγω της φύσης της λειτουργίας των αγωγών δεν μπορούν να μειωθούν εύκολα, η εστίαση πρώτιστα τοποθετείται στη πρόληψη και τον έλεγχο της πιθανότητας της αποτυχίας (κίνδυνος).

Κατά συνέπεια η βιομηχανία αγωγών τείνει να επικεντρώσει τους περισσότερους πόρους της στη δομική ακεραιότητα και στους τρόπους αποτυχίας αγωγών. Αυτό έχει δώσει άνοδο τα τελευταία χρόνια στη χρήση

της δομικής ανάλυσης αξιοπιστίας (SRA) στο σχεδιασμό αγωγών και την ανάπτυξη επιπέδων δομικής αξιοπιστίας.

Αυτό είναι ένας τρόπος εστίασης και βελτιστοποίησης της χρήσης των πόρων σε περιοχές "υψηλού κινδύνου" προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι δαπάνες, εξασφαλίζοντας παράλληλα αποτελεσματική και αποδοτική διαχείριση των προτερημάτων, με την διασφάλιση της απαραίτητης εμπιστοσύνης στην ακεραιότητα και τη διαθεσιμότητα τους. Υιοθετείται στα δίκτυα αγωγών λόγω των υψηλών δαπανών διαμόρφωσης αγωγών επιθεώρησης και συντήρησης, αλλά αξιόπιστου κινδύνου αποτυχίας.

Η RBIM, είναι ουσιαστικά ο προσδιορισμός της απαραίτητης δομικής ανάλυσης αξιοπιστίας (SRA), των επιθεωρήσεων (τύπος, συχνότητα/ χρόνος και βαθμός) και των στόχων συντήρησης (π.χ. επισκευή στα επιστρώματα και στον ανασταλτικό παράγοντα διάβρωσης των αγωγών κ.λ.π.) για να διατηρήσει τον κίνδυνο αποτυχίας, μέσω αξιόπιστων και ενδεχομένως υψηλού κινδύνου μεθόδων, κάτω από ένα "αποδεκτό επίπεδο".

Αυτό απαιτεί:

- Τον προσδιορισμό των τρόπων αποτυχίας των αγωγών (FMEA) καθώς και την αξιολόγηση των συνεπειών τους.
- Την καθιέρωση των τύπων και των ποσοστών αποτυχίας (FCA) που προσδιορίζει επίσης τις προειδοποιήσεις αποτυχίας.

Αυτά καθορίζουν μαζί τους κινδύνους αποτυχίας. Ανάλογα με το επίπεδο κινδύνου αποτυχίας για κάθε τρόπο και τύπο αποτυχίας, επιλέγονται οι απαιτούμενες αναλύσεις, επιθεωρήσεις και στόχοι συντήρησης και επισκευής. Παραδείγματος χάριν, μια αναθεώρηση των ιστορικών βάσεων δεδομένων αποτυχίας π.χ. PARLOC'96, δείχνει ότι οι σημαντικότεροι τρόποι αποτυχίας είναι η εσωτερική διάβρωση και ο εξωτερικός αντίκτυπος. Κατά συνέπεια οι κύριες προσπάθειες (από την άποψη του σχεδίου, της δομικής διαμόρφωσης, των επιθεωρήσεων κ.λ.π.), πρέπει να στραφούν σε αυτούς τους τρόπους αποτυχίας. Φυσικά αυτό είναι ένα γενικευμένο παράδειγμα της RBIM. Στην πράξη, περισσότερες λεπτομέρειες για το συγκεκριμένο αγωγό πρέπει να εξεταστούν π.χ. η ενδεχόμενη διαβρωτική αναλογία στη γραμμή, εάν μπορούμε να είμαστε βέβαιοι ότι αυτή είναι αμελητέα, τότε αντίθετα προς την βάση δεδομένων θα μπορούσαμε να απορρίψουμε τη διάβρωση, ως πιθανό τρόπο αποτυχίας. Επιπλέον, εάν ο αγωγός είναι σε μια πολύ απομακρυσμένη περιοχή χωρίς δραστηριότητες ναυτιλίας και ψαρέματος με δίκτυα, τότε ο κίνδυνος αποτυχίας από τον εξωτερικό αντίκτυπο, είναι πιθανό να είναι χαμηλότερος από άλλους τρόπους αποτυχίας.

3. ΑΠΟΔΟΧΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΑΓΩΓΩΝ

Προκειμένου να εφαρμοστεί η RBIM, η αποδοχή κινδύνου και τα επίπεδα αξιοπιστίας πρέπει να καθιερωθούν έτσι, ώστε να καθοριστεί η δυνατότητα αποδοχής του εκτιμημένου κινδύνου αποτυχίας.

Τα κριτήρια αποδοχής κινδύνου μπορούν να είναι και ποσοτικά και ποιοτικά. Τα κριτήρια εκφράζονται γενικά από την άποψη του κοινωνικού κινδύνου, του μεμονωμένου κινδύνου και της περιβαλλοντικής καταστροφής. Οι λειτουργικοί στόχοι διαθεσιμότητας επίσης μερικές φορές καθορίζονται. Όσον αφορά τον υλικό (οικονομικό) κίνδυνο, τα κριτήρια αποδοχής είναι συχνότερα βασισμένα σε μια κόστους-κέρδους ανάλυση που μειώνει τους κινδύνους περαιτέρω, κάτω από τα ελάχιστα κριτήρια αποδοχής, ευρέως γνωστά ως ALARP (As Low As Reasonably Practical).

Τα κριτήρια αποδοχής έχουν οριστεί από τους διάφορους ρυθμιστικούς οργανισμούς, τους κώδικες σχεδίου και τους χειριστές. Κατά συνέπεια τα κριτήρια αποδοχής που υιοθετούνται, εξαρτώνται συχνά από τη σχετική αρχή και τον ιδιοκτήτη του αγωγού. Με βάση τα κριτήρια αποδοχής κινδύνου, τα ισχύοντα επίπεδα αξιοπιστίας της εφαρμοσμένης μηχανικής και τα επίπεδα δομικής αξιοπιστίας αγωγών μπορούν να αναπτυχθούν. Τα επίπεδα αξιοπιστίας που υιοθετούνται είναι αρχικά εκείνα που αναπτύσσονται στο SUPERB project (Sotberg.et Al, το 1997).

4. ΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (TPM)

Η RBIM πρέπει να μελετηθεί, σύμφωνα με τη προσέγγιση ολικής παραγωγικής συντήρησης, μια αρχή που παρέχει μηδενικές "απώλειες".

Αρχικά η TPM εισήχθηκε και προσαρμόστηκε στο τομέα μεσοθαλάσσιων εγκαταστάσεων (offshore) π.χ. Forties field (Offshore Eng.'93). Στην ανάπτυξη μιας προσέγγισης TPM είναι απαραίτητο να προσαρμοστεί έτσι ώστε να ταιριάζει με την κάθε είδους βιομηχανία, σε αυτήν την περίπτωση τη βιομηχανία σωληνώσεων (M.Tajiri και F.Gotoh).

Μια από τις θεμελιώδεις αρχές TPM, είναι να επισκευαστούν όλες οι ατέλειες (ασήμαντες ή σημαντικές) δεδομένου ότι οι δευτερεύουσες ατέλειες μπορούν να ενεργήσουν σε συνδυασμό με άλλες για να προκαλέσουν απώλειες. Μόνο όπου αυτές οι ατέλειες είναι απολύτως καθορισμένες και δεν επηρεάζουν τις απώλειες, έτσι μπορούν να παραμεληθούν.

Η πρώτη δήλωση της TPM είναι αντίθετη προς τη προσέγγιση RBIM ή υποθέτει ότι το κόστος για την εύρεση και την επιδιόρθωση των ατελειών, παρέχει πάντα ένα πολύ μεγαλύτερο όφελος. Εντούτοις, μέσα στη βιομηχανία αγωγών το κόστος για την εύρεση και επιδιόρθωση όλων των ατελειών (οι περισσότερες των οποίων μπορεί να μην οδηγήσουν σε απώλειες) είναι απαγορευτικά ακριβό. Η δεύτερη δήλωση υπονοεί ότι μια αξιολόγηση μπορεί να εκτελεσθεί για να καθιερώσει, εάν η ατέλεια χρειάζεται να επισκευαστεί, κατά συνέπεια RBIM μπορεί να συνδεθεί με TPM.

Η TPM ταξινομεί έξι κύριες απώλειες, οι οποίες μπορούν να συσχετιστούν με αγωγούς όπως υποδεικνύονται στον πίνακα κατωτέρω:

TPM – 6 main losses	Pipeline
Breakdown	Loss of containment, damage requiring shutdown and repair, complete blockage.
Setup/adjustment losses	Undetected Installation and RFO faults Accidents during Installation / RFO Excessive inspection
Minor Stoppage losses	Internal Inspection, work over activities requiring shutdown.
Speed/Efficiency losses	Reduce allowable operating pressure and hence flow, partial blockage.
Quality defect	Offspec. Gas Pipeline fabricated and Installed out of specification
Yield losses	Reduce life of pipeline from incorrect service/excessive loading 'forced deterioration', Over design e.g. excessive corrosion allowance, excessive intervention, design pressures much higher than local operational pressure etc.

Table 1. Six Main Losses

Γενικά η TPM αποτελείται από τις ακόλουθες έξι κύριες δραστηριότητες:

1. Εξάλειψη των 6 κύριων απωλειών
2. Προγραμματισμένη (ρουτίνας) συντήρηση
3. Αυτόνομη συντήρηση
4. Προληπτική συντήρηση
5. Εύκολα στη κατασκευή προϊόντα (αγωγοί)
6. Συνεχής ενημέρωση για την υποστήριξη των ανωτέρω δραστηριοτήτων

Βασικά πέντε βήματα για να επιτευχθούν μηδενικές διακοπές είναι:

1. Εγκατάσταση και τέλεση των απαιτούμενων για την ακεραιότητα λειτουργικών συνθηκών.
2. Επιμονή και διατήρηση των λειτουργικών συνθηκών.
3. Επιδιόρθωση φθαρμένων τμημάτων (που μπορούν να προκαλέσουν τις απώλειες).
4. Διόρθωση οποιασδήποτε σχεδιαστικής αδυναμίας (όπου υπάρχει ένα όφελος δαπανών).
5. Εμπλουτισμός με δεξιότητες λειτουργίας και συντήρησης.

Μια σημαντική πτυχή της TPM εξουσιοδοτεί τους χειριστές να προσδιορίσουν και να πραγματοποιήσουν, συντήρηση και επισκευή. Ενώ αυτό είναι γενικά πέρα από το πεδίο του σχεδιαστή και κυρίως στη περιοχή του χειριστή, που του παρέχονται τα εργαλεία και οι πληροφορίες για να προσδιορίσει το που, πότε και τι στόχοι συντήρησης πρέπει να εκτελεσθούν, η σχεδιαστική ομάδα έχει αυτή την ικανότητα. Με την ανάλυση των κινδύνων όσον αφορά τους αγωγούς, η απόδοση και οι απώλειες διαθεσιμότητας δίνουν μια κατανόηση των μηχανισμών και των συνθηκών που οδηγούν στις απώλειες ή την αποτυχία.

5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Η εύρεση της πιθανότητας της αποτυχίας είναι γενικά πιο δύσκολη και αβέβαιη, από τις συνέπειες της αποτυχίας. Υπάρχουν διάφορα στοιχεία που πρέπει να εξεταστούν στην αξιολόγηση του κινδύνου αποτυχίας:

α) Πραγματική δομική αξιοπιστία του αγωγού (για την πραγματική δομική κατάσταση του) έναντι σε:

- Ονομαστικά φορτία με γνωστές και αναμενόμενες ανεκτικότητες-αβεβαιότητες
- Απροσδόκητα "τυχαία" φορτία και καταφανή λάθη

β) Αβεβαιότητες στην πραγματική δομική κατάσταση των αγωγών (π.χ. πραγματικό μήκος έκτασης, ζημία διάβρωσης, σταθερότητα λόγω των υποθέσεων σχεδίου που γίνονται για τις ιδιότητες του βυθού και συνθήκες κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού). Ισχύουν πάλι οι ονομαστικές και τυχαίες συνθήκες .

Με το χρόνο, από την πρώτη ως τη τελευταία επιθεώρηση, η αβεβαιότητα της πραγματικής δομικής ακεραιότητας των αγωγών αυξάνεται, λόγω έλλειψης συγκεκριμένων γνώσεων για τη κατάσταση των αγωγών. Είναι γενικά απαραίτητο να τα βγάζεις πέρα γνωρίζοντας λίγες πληροφορίες για την πραγματική κατάσταση μιας γραμμής, έτσι λογικές αποφάσεις πρέπει να παίρνονται για την κατάσταση της βασισμένες σε προηγούμενη εμπειρία σε άλλες γραμμές και γνωρίζοντας ή υποθέτοντας τις συνθήκες λειτουργίας. Ως εκ τούτου η καταγραφή και ο έλεγχος των συνθηκών λειτουργίας των αγωγών αποτελούν συχνά ένα σημαντικό μέρος της RBIM π.χ. στενός έλεγχος και συχνή παρακολούθηση της ποιότητας των προϊόντων στο όριο και καλύτερη εκτίμηση της εσωτερικής διάβρωσης.

Προκειμένου να κρατηθεί η RBIM και η απαιτούμενη ανάλυση όσο το δυνατόν απλούστερη, γρήγορη και λεπτομερής, μια συστηματική (που βασίζεται σε υπολογισμό με λογιστικό φύλλο (spreadsheet)) προσέγγιση χρησιμοποιείται αποτελούμενη από δύο μέρη:

Επιθεώρηση σχετικά υψηλού επιπέδου και εκτίμηση της πιθανότητας αποτυχίας, που βασίζεται κυρίως στην ποιοτική επιθεώρηση και τη βασική ποσοτική ανάλυση, προκειμένου να καθιερωθούν γρήγορα οι κύριες περιοχές κινδύνου/τρόποι αποτυχίας σε συγκεκριμένο τμήμα αγωγού.

Πιο μεθοδική δομική ανάλυση αξιοπιστίας (SRA) των κύριων τρόπων αποτυχίας. Αυτοί είναι βασισμένοι στον υπολογισμό με λογιστικό φύλλο (spreadsheet) μέθοδοι που ονομάζονται "boot strap".

6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ, ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Μια επιθεώρηση κινδύνου κυρίως στο ποιοτικό επίπεδο των τμημάτων των αγωγών, δηλαδή στους γενικούς τρόπους αποτυχίας και υποβάθμισης εκτελείται για να καθιερώσει τους τρόπους αποτυχίας που μπορούν να γίνουν απειλή στις διάφορες θέσεις κατά μήκος του αγωγού. Η επιθεώρηση κινδύνου είναι βασισμένη σε:

- Γενικά/ιστορικά ποσοστά αποτυχίας από βάσεις δεδομένων παρόμοιων αγωγών.
- Σχεδιασμός και ιστορικό λειτουργικής κατάστασης των αγωγών.
- Γνωστές συνθήκες και γεγονότα που έχουν επιπτώσεις στους αγωγούς, υψηλού επιπέδου δομικές καταστροφές και πιθανότητα πρόβλεψης.

Η επιθεώρηση αρχικά ενσωματώνεται μέσα σε ένα λογιστικό φύλλο (spreadsheet), στο οποίο εισάγονται όσο το δυνατόν περισσότερα σχεδιαστικά

και λειτουργικά στοιχεία σχετικά με τον αγωγό. Ο αγωγός διαιρείται σε κατάλληλα τμήματα π.χ. διαφορετικά κομμάτια υπάρχουν στη γραμμή όπως T, μετώπες, βάσεις μετωπών, γυριστά τμήματα κ.λ.π., περνώντας από ναυτιλιακές γραμμές, περιοχές ψαρέματος με δίχτυα και παράκτιες περιοχές. Κατ' αυτό τον τρόπο μπορούν να συνδεθούν συγκεκριμένοι τρόποι αποτυχίας με μια ιδιαίτερη περιοχή ή κομμάτι.

Ο υπολογισμός με λογιστικό φύλλο (spreadsheet) περιέχει έναν κατάλογο γενικών κινδύνων με τις αντίστοιχες συγκεκριμένες αιτίες, αυτές προέρχονται κατά ένα μεγάλο μέρος από αποτυχίες του παρελθόντος. Έπειτα αξιολογείται εάν αυτές οι συγκεκριμένες αιτίες είναι σχετικές με τον συγκεκριμένο αγωγό/τμήμα και αν ισχύει το όφελος είναι η προστασία με διάφορους τρόπους.

Ουσιαστικά, τα ιδιαίτερα μέσα με τα οποία οι γενικές αιτίες αποτυχίας θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη συγκεκριμένη γραμμή/τμήμα προσδιορίζονται και περιγράφονται. Επίσης, όλα τα σχεδιαστικά και λειτουργικά μέτρα προστασίας που μπορούν να αποτρέψουν ή να ελέγξουν την συγκεκριμένη αιτία της αποτυχίας προσδιορίζονται. Από αυτά τα στοιχεία μια ποιοτική εντύπωση της ευαισθησίας των αγωγών στο συγκεκριμένο τρόπο αποτυχίας μπορεί να γίνει και να χρησιμοποιηθεί στο σχεδιασμό ή στις λειτουργικές απαιτήσεις (π.χ. επιθεώρηση).

Μια υψηλού επιπέδου αξιολόγηση της δομικής αξιοπιστίας που εξετάζει τον συγκεκριμένο τρόπο αποτυχίας γίνεται εξετάζοντας κυρίως τις αποδεκτές αβεβαιότητες. Γίνονται επίσης προβλέψεις αποτυχίας βασισμένες στα ιστορικά στοιχεία. Αυτές αντιπροσωπεύουν τις τυχαίες περιπτώσεις όπου η σωλήνωση υπόκειται σε συνθήκες διαφορετικές από αυτές του σχεδιασμού της ή οι απαιτούμενες συνθήκες σχεδιασμού δεν επιτεύχθηκαν. Το περιστατικό των τυχαίων γεγονότων είναι γενικά τυχαίο, συχνά αποτέλεσμα άμεσης ή εντός ενός πολύ μικρού χρονικού διαστήματος αποτυχίας, έτσι ώστε η επιθεώρηση του αγωγού για τυχαία ζημιά δεν παρέχει γενικά κανένα όφελος. Τα κύρια μέσα για την αντιμετώπιση τυχαίων/μη σχεδιασμένων συνθηκών είναι να εξαλειφθούν ή να μειωθούν οι πιθανότητές τους σε αποδεκτά επίπεδα. Κατά συνέπεια ο προσδιορισμός των πιθανών τυχαίων γεγονότων και η εξάλειψη τους είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική διαχείριση κινδύνου των δικτύων αγωγών.

Γενικός κατάλογος κινδύνου/ζημίας αγωγών:

Ακραία περιβαλλοντικά φορτία

- Σεισμοί
- Κύμα Eevere και τρέχουσα φόρτωση
- Μετακίνηση & αστάθεια βυθού

Αποκλίσεις διαδικασίας

- Υπέρ-πίεση
- Υπό-πίεση
- Υψηλότερη και χαμηλότερη θερμοκρασία
- Διαδικασία που ανατρέπεται - Offspec προϊόν στη γραμμή
- Υπερβολική εσωτερική διάβρωση
- Υπερβολική εξωτερική διάβρωση
- Εξωτερική παρεμβολή

Εμπορική θαλάσσια κυκλοφορία

- Πεταγμένες άγκυρες
- Κολλημένες άγκυρες
- Βυθισμένα σκάφη
- Προσαραγμένα σκάφη

Αλιεία

- Με δίχτυα
- Με αγκίστρια

Πυρομαχικά

Πεσμένοι ογκόλιθοι

Έχει διαπιστωθεί ότι η διάβρωση εξαρτάται πολύ από την συχνότητα και την τυχαία διάρκεια για αυτό το λόγο απαιτούνται αξιόπιστα μέσα ανίχνευσης και περιορισμού της τυχαίας διάρκειας. Με τέτοια μέσα σε ισχύ η αξιολόγηση προβλέπει αμελητέα διάβρωση και έτσι κανένα επίδομα διάβρωσης ούτε ευφυείς διαδικασίες δεν συνιστάται. Εντούτοις θεωρείται ότι μια επιθεώρηση πρέπει να γίνεται σε μεσοπρόθεσμη βάση (π.χ. κάθε 3-5 έτη), ιδιαίτερα στη πρόωρη φάση λειτουργίας για να ελέγξει τα πρότυπα πρόβλεψης διάβρωσης και να εξασφαλίσει μηδενικές ζημίες. Εάν είναι 100% βέβαιο ότι καμία σημαντική διαταραχή και τυχαία λειτουργία δεν θα προέκυπτε, τότε μόνο θα παραλειπόταν μια τέτοια επιθεώρηση.

7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΔΟΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

Όπου ο τρόπος αποτυχίας προσδιορίζεται ως σημαντικός ή/και πιο συγκεκριμένες λεπτομέρειες της δομικής ζημίας του αγωγού είναι γνωστές (δηλ. αγωγούς που ήταν σε λειτουργία για πολλά έτη) τότε ένα πιο λεπτομερές SRA είναι προτεινόμενο και δικαιολογημένο. Τέτοιες αναλύσεις εκτελούνται χρησιμοποιώντας τα απλά βασισμένα στον υπολογισμό με λογιστικό φύλλο (spreadsheet) εργαλεία SRA, βασισμένα στις απλοϊκές "boot strap" μεθόδους πιθανότητας, οι οποίες δεν απαιτούν ιδιαίτερο λογισμικό. Για τέτοια ανάλυση απαιτείται τα ακόλουθα βασικά στοιχεία:

(1) Μετρούμενα στοιχεία ατελειών από την επιθεώρηση

Εάν τέτοια στοιχεία είναι διαθέσιμα, τότε πρέπει να συσχετιστούν ως χρήσιμα δεδομένα εισόδου π.χ. η φύση των ατελειών (τύπος διάβρωσης, συγκολλήσεις περιμέτρου κ.α.), το μέσο βάθος ατέλειας, το μήκος και η περιοχή, μαζί με τη σταθερή απόκλιση τέτοιων παραμέτρων. Άλλες ονομαστικές ατέλειες υποτίθεται ότι βασίζονται (όπου είναι δυνατόν) στην εμπειρία από παρόμοιες γραμμές.

(2) Ιδιότητες υλικού των αγωγών

Απαιτούνται το SMYS, το SMTS και η πίεση ροής των αγωγών. Η διαφορά σε αυτές τις μέσες τιμές πρέπει να καθιερωθεί και γενικά να μπορεί να αποκτηθεί από δημοσιεύσεις και στοιχεία κατασκευαστών.

(3) Γεωμετρικές ιδιότητες αγωγών

Οι ακόλουθες γεωμετρικές ιδιότητες από την άποψη της μέσης αξίας και διαφοράς πρέπει να αναπτυχθούν για κάθε σχετικό τμήμα του αγωγού:

- Ονομαστική διάμετρος, αυτό δεν αναμένεται να ποικίλει κατά μήκος του πάχους των αγωγών.
- Πάχος τοιχώματος, το μέσο πάχος τοιχώματος μπορεί να ποικίλει κατά μήκος του αγωγού.
- Η καμπυλότητα των αγωγών, πάλι και αυτός ο παράγοντας μπορεί να ποικίλει κατά μήκος του αγωγού - αν και ένα όριο σχεδίου θα διευκρινιστεί.

(4) Χαρακτηριστικά φορτίων των αγωγών

Τα φορτία πίεσης στα σχετικά τμήματα κατά μήκος του αγωγού πρόκειται να καθοριστούν από την άποψη της μέσης λειτουργούσας πίεσης, της σταθερής απόκλισης και της διακύμανσης. Οι ακραίες υψηλές πιέσεις πρέπει να ερμηνευθούν, βασισμένες στην αξιοπιστία των συστημάτων ρύθμισης και προστασίας της πίεσης.

Διάγραμμα θερμοκρασίας, αυτό δεν είναι φορτίο ακριβώς, αλλά έχει επιπτώσεις στα ποσοστά διάβρωσης και στην αξονική δύναμη των αγωγών. Κατά τη διάρκεια της ζωής λειτουργίας το σχεδιάγραμμα θερμοκρασίας μπορεί να ποικίλει και μπορεί να πρέπει να ερμηνευτεί.

Φορτία κάμψης

Αξονικά φορτία

Οι απλουστευμένοι υπολογισμοί του δείκτη αξιοπιστίας και της πιθανότητας αποτυχίας

Η πιθανότητα της αποτυχίας εξαρτάται από την πιθανότητα της φόρτωσης που υπερβαίνει την δύναμη/αντίσταση των αγωγών όπως διευκρινίζονται στο σχήμα 1.

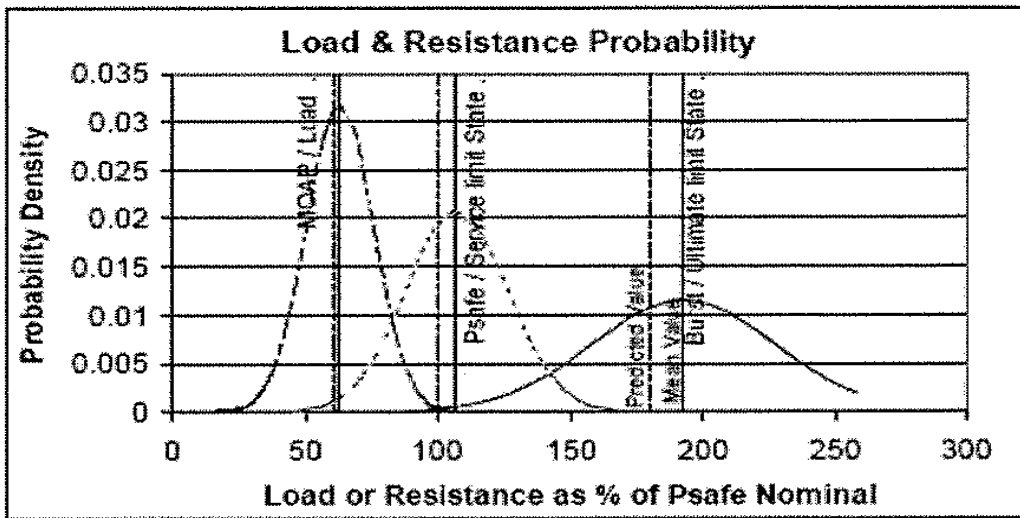


Figure 1. Load and Resistance Probability Densities

Σχήμα 1. Πυκνότητες πιθανότητας φορτίου και αντίστασης

The Safety Index (β) is defined as (API 2A-LRFD):

$$\beta = \frac{\text{Mean Safety Margin}}{\text{Uncertainty}} \equiv \frac{R_m - S_m}{OR_5} = \frac{P_{safe.mean} - P_{op.mean}}{O_{P_{safe.mean}P_{op.mean}}} \quad \text{Eq.1}$$

and the probability of failure P_f is calculated from:

$$P_f = 1 - \Phi(\beta) \quad \text{Eq.2}$$

Καθιερώνοντας και επεξηγώντας τις κύριες αβεβαιότητες:

- Της ονομαστική δύναμης των αγωγών (αντίσταση φορτίων ενάντια στη κάθε φόρτωση) που εξαρτάται από τον τύπο ζημίας/υποβάθμισης των αγωγών.
- Των φορτίων ονομαστικής λειτουργίας των αγωγών.

Ο δείκτης αξιοπιστίας (ασφάλειας) (β) και η πιθανότητα της αποτυχίας υπολογίζονται για μια μοναδική ατέλεια όπως παρουσιάζεται στο ακόλουθες κείμενο και απεικόνιση. Αυτές οι πιθανότητες για όλες τις ατέλειες

συνδυάζονται έπειτα για να δώσουν το δείκτη ασφάλειας και την πιθανότητα αποτυχίας ενός τμήματος αγωγού και ενός ολόκληρου αγωγού.

8. ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΥΝΑΜΗΣ/ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Ένα παράδειγμα μοντέλου για τη μέση αντίσταση (δύναμη) του αγωγού ενάντια στη δομική ζημία παρουσιάζεται εδώ για τη ζημία από εσωτερική διάβρωση. Το πρότυπο αναπτύχθηκε από τον Bai το 1997, αν και πολλά άλλα πρότυπα είναι διαθέσιμα όπως π.χ. του Shell '92 (D.Ritchie).

Το μοντέλο καθιερώνει τις λειτουργικές πιέσεις ασφαλείας παρουσία των διαφόρων εσωτερικών τύπων ατέλειας διάβρωσης (π.χ. διάβρωση συγκόλλησης, διάβρωση αυλάκωσης και περιμέτρου).

Για το ομαλοποιημένο μήκος ατέλειας, $X_L = \frac{L^2}{D \cdot t} \leq 50$, η ασφαλής λειτουργική πίεση για μοναδική ατέλεια δίνεται από τον τύπο:

$$P_{safe} \equiv \frac{I}{\gamma} \cdot 2 \cdot \sigma_f \cdot \frac{t}{D} \cdot \frac{1 - X_A}{1 - (1 + 0.6275 \cdot X_A + 0.003275 \cdot X_A^2)^{-0.5}}$$

όπου:

D: Ονομαστική διάμετρο

XA: Κανονικοποιημένη περιοχή ατέλειας

t: Πάχος τοιχώματος

L: Μήκος ατέλειας

σf : Δύναμη πίεσης

και η προβλεπόμενη πίεση έκρηξης ($P_{burst, predicted}$) είναι: $P_{burst, predicted} = P_{safe} \cdot \gamma$
οπου γ: ο εφαρμοσμένος συντελεστής ασφάλειας.

Η αντίσταση φορτίων (δύναμης) του αγωγού εξαρτάται από την δομική ζημία που καθιερώνεται από τα μοντέλα επιθεώρησης και ζημίας/υποβάθμισης.

Αξιολόγηση των αβεβαιοτήτων δύναμης

Η αβεβαιότητα της δύναμης των αγωγών εξαρτάται από:

- Αβεβαιότητα δύναμης υλικού
- Αβεβαιότητα μέτρησης, ανίχνευσης και πρόβλεψης ατέλειας
- Αβεβαιότητα γεωμετρίας αγωγών
- Αβεβαιότητα μοντέλων δύναμης

Οι αβεβαιότητες μετριούνται από την άποψη της σταθερής απόκλισης και της διακύμανσης από τις μέσες τιμές και δίνουν μια αβεβαιότητα στη προβλεφθείσα ασφαλή λειτουργία πίεσης των αγωγών. Η μέση απόκλιση (B) και COV του μοντέλου πρόβλεψης έκρηξης είναι (Bai 1997):

Μοντέλο απόκλισης:
$$B_{bf} = \frac{P_{burst, actual}}{P_{burst, predicted}} \cong 1.07 \text{ with COV of } 0.18.$$

Η μέσες αποκλίσεις και διακυμάνσεις των παραμέτρων της εξίσωσης είναι:

$$B_{X_A} = \frac{X_A, actual}{X_A, predicted} \cong 0.8 \text{ with a COV of } 0.08.$$

$$B_{\sigma_f} = \frac{\sigma_f, actual}{\sigma_f, predicted} = 1.14 \text{ with a COV of } 0.06$$

$$B_{X_L} = \frac{X_L, actual}{X_L, predicted} \cong 0.9 \text{ with a COV of } 0.05$$

Ο πολλαπλασιασμός της μέσης απόκλισης με την "προβλεφθείσα αξία" δίνει την μέση "πραγματική αξία":

$$B_{mean} * X_{predicted} = X_{mean, actual}$$

Κατά συνέπεια η ονομαστική αξία $P_{safe, design}$ υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις προβλεφθείσες τιμές. Η μέση αξία P_{safe} υπολογίζεται με την αντικατάσταση των μετρημένων ή υποτιθέμενων τιμών $X_{mean, actual}$ στη ανωτέρω εξίσωση και τον πολλαπλασιασμό με το μοντέλο απόκλισης BM δίνοντας $P_{safe, mean}$.

$$P_{mean, burst\ value} = P_{mean, safe\ value} * \gamma$$

Στο Bai '97 το κριτήριο P_{safe} καθορίζεται εφαρμόζοντας ένα παράγοντα ασφάλειας στη προβλεφθείσα πίεση έκρηξης, αυτό είναι περίπου 1,8 για να δώσει την επιθυμητή αξιοπιστία. Το P_{safe} είναι το οριακό σημείο επισκευής.

Το P_{safe} είναι έτσι μια παραγοντική αξία της P_{burst} για τον υπολογισμό των P_{burst} απόκλιση και διακύμανση. Η μέση αξία και η διακύμανση της P_{safe} εξαρτώνται έτσι μόνο από τις παραμετρικές προβλέψεις διάβρωσης (μήκος και βάθος) και όχι από τα μοντέλα απόκλισης και διακύμανσης, αφού τα τελευταία υπολογίζονται από τον παράγοντα ασφάλειας.

Εκτίμηση Συνέπειας Αποτυχίας

Οι πιθανές συνέπειες εξαρτώνται πολύ από την λειτουργούσα πίεση, το μήκος σωληνώσεων, τη διάμετρο και το περιεχόμενο και το μέγεθος της αποτυχίας/απελευθέρωσης. Το τελευταίο έχει βασιστεί στα ιστορικά ποσοστά αποτυχίας, για τις υποθαλάσσιες σωληνώσεις της Βόρειας Θάλασσας. Τα πιθανά μοιραία περιστατικά, η ζημία στις παρακείμενες εγκαταστάσεις και το περιβάλλον αξιολογούνται χρησιμοποιώντας τις τυποποιημένες μεθόδους αξιολόγησης της συνέπειας, που ενσωματώνονται μέσα σε μια ακολουθία υπολογισμών με λογιστικό φύλλο (spreadsheet), των εργαλείων βασισμένων στις πολυάριθμες δημοσιευμένες μεθόδους.

9. Η ΧΡΗΣΗ RBIM ΩΣΤΕ ΝΑ ΜΕΙΩΘΕΙ Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Η προσέγγιση κατά RBIM μπορεί να χρησιμοποιηθεί, ώστε:

- Να βελτιστοποιήσουν τα διαστήματα μεταξύ των προγραμματισμένων κλεισιμάτων και του ποσού επιθεώρησης: η βελτιστοποίηση μπορεί να διευθυνθεί μέσω μιας κόστους-κέρδους ανάλυσης ή/και δομικών επιπέδων αξιοπιστίας στόχων, ιδιαίτερα όπου όλες οι δαπάνες δεν μπορούν να αποτελεσθούν.
- Να επιλέξουν τις μεθόδους επιθεώρησης. Μια μέθοδος επιθεώρησης που παράγει την μεγαλύτερη μέρος της επιστροφής για τα δολάρια που ξοδεύονται για την ασφάλεια και την επιχείρηση πρόκειται να επιλεγεί.
- Να δώσουν προτεραιότητα στις περιοχές όπου οι κίνδυνοι είναι οι υψηλότεροι. Για τα κρίσιμα στοιχεία ασφάλειας/επιχειρήσεων, είναι απαραίτητο να γίνουν αποδεκτές οι συμπληρωματικές δαπάνες επιθεώρησης.
- Να αποτρέψουν τα μη σχεδιασμένα κλεισίματα. Το κόστος που συνδέεται με την απώλεια παραγωγής και μεταφοράς ως αποτέλεσμα του μη σχεδιασμένου κλεισίματος, μπορεί να μειωθεί με τη συγκέντρωση της προσπάθειας επιθεώρησης στα στοιχεία επιχειρήσεων.
- Να διατηρήσει την ικανότητα της μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου. Το μεγαλύτερο μέρος του επιχειρησιακού κινδύνου οφείλεται στη μειωμένη αξία της μέγιστης επιτρεπόμενης λειτουργούσας πίεσης.

Αυτοί οι στόχοι επιτυγχάνονται μέσω της καθιέρωσης των προγραμμάτων επιθεώρησης, στην οποία οι βασικές ερωτήσεις όπως αυτά που επιθεωρούν, πότε να επιθεωρήσουν και πώς να επιθεωρήσουν, απαντιούνται.

1. ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΑΠΟ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗΣ ΠΛΕΥΡΑΣ

Περίληψη

Η αξιοπιστία για τις επιχειρήσεις αρχίζει με τη διοίκηση. Η διοίκηση πρέπει να επικοινωνήσει με μια σαφή πολιτική δήλωση αξιοπιστίας. Η πολιτική μπορεί να κινητοποιήσει τις ενέργειες για την εξέταση του κόστους των εναλλακτικών λύσεων, ώστε να αποτρέψει ή να μετριάσει τις αποτυχίες, οι οποίες απαιτούν τη γνώση των χρόνων για την αποτυχία και τους τρόπους αποτυχίας, που βρίσκονται από την τεχνολογία αξιοπιστίας.

Η αιτιολόγηση για βελτιώσεις στην αξιοπιστία απαιτεί να γνωρίζουμε: 1) πότε τα πράγματα αποτυγχάνουν, 2) πώς τα πράγματα αποτυγχάνουν, και 3) παραλληλισμό των αποτυχιών σε χρόνο και χρήμα. Οι αρχές της αξιοπιστίας στη μηχανική, βοήθα να καθοριστεί πότε και πώς τα πράγματα αποτυγχάνουν να παρέχουν γεγονότα για συγκρίσεις κόστους κύκλου ζωής. Αυτό βοηθά να αποφασιστεί το χαμηλότερο μακροπρόθεσμο κόστος της ιδιοκτησίας που οδηγείται από έναν ενιαίο εκτιμητή, αποκαλούμενο καθαρή παρούσα αξία για τη μετατροπή των ζητημάτων και των εναλλακτικών λύσεων υλικού σε μονάδες χρήματος. Διάφορα σύντομα παραδείγματα παρουσιάζουν και επεξηγούν την μεθοδολογία.

1.1 Αξιοπιστία

Τα τμήματα, ο εξοπλισμός, τα συστήματα, και οι άνθρωποι δεν είναι τέλειοι και απαλλαγμένοι από τις αποτυχίες. Κατά μια απλοϊκή και αιτιοκρατική άποψη, μπορούμε να αγγίξουμε την τελειότητα. Εντούτοις, στον πραγματικό κόσμο υπολείπομαστε της τελειότητας, δεδομένου του ότι η τελειότητα υπάρχει μόνο σε έναν κόσμο φαντασίας. Όλα αποτυγχάνουν, 'τα κτήρια πέφτουν πάντα κάτω, δεν πέφτουν ποτέ επάνω'. Κατά συνέπεια ξοδεύουμε το χρόνο και χρήμα στο να μετριάσουμε τα αποτελέσματα των αποτυχιών. Τίποτα δεν διαρκεί για πάντα χωρίς αποτυχία. Εξετάστε την κατάσταση των επτά αρχαίων θαυμάτων του κόσμου, που μαθαίνεται από κάθε μαθητή, και μόνο το ένα υπάρχει άθικτο σήμερα (πυραμίδες).

Η αξιοπιστία είναι η πιθανότητα ότι ένα συστατικό, ένα σύστημα, ή μια διαδικασία θα λειτουργήσουν χωρίς αποτυχία για ένα διευκρινισμένο χρονικό διάστημα, όταν χρησιμοποιείται σωστά υπό τους διευκρινισμένους όρους. Η εφαρμοσμένη μηχανική αξιοπιστίας ενδιαφέρεται για την πρόβλεψη και την αποφυγή αποτυχιών-αυτός είναι ένας στρατηγικός στόχος-.

Για να ποσολογήσουμε ζητήματα αξιοπιστίας είναι σημαντικό να γνωρίζουμε γιατί, πώς, πόσο συχνά, αλλά και τις δαπάνες των αποτυχιών. Τα ζητήματα αξιοπιστίας είναι συνδεδεμένα στη φυσική των μηχανισμών αποτυχίας και έτσι οι μηχανισμοί αποτυχίας μπορούν να μετριάστουν. Στον πραγματικό κόσμο όλες οι πιθανές αποτυχίες είναι σπάνια ευρέως γνωστές ή κατανοητές καλά, και η πρόβλεψη των αποτυχιών είναι εγγενώς ένα πιθανολογικό πρόβλημα, όπου η ανάλυση αξιοπιστίας είναι μια πιθανολογική διαδικασία.

Η αξιοπιστία δεν είναι το ίδιο με τη διαθεσιμότητα, ακόμα κι αν και οι δύο περιγράφονται ως αξία μεταξύ 0 και 1. Η διαθεσιμότητα κατοπτρίζει το ποσοστό του χρόνου που το σύστημα είναι ζωντανό και έτοιμο για τη χρήση εάν ζητείται, και οι παράγοντες καθορίζουν τους πραγματικούς σε απευθείας σύνδεση χρόνους, ως ποσοστό του παραπάνω χρόνου. Η αξιοπιστία εξετάζει την πιθανότητα για ένα διάστημα χωρίς αποτυχία υπό συγκεκριμένους όρους. Το συμπλήρωμα στη γλυκιά μερίδα της αξιοπιστίας (απουσία αποτυχιών) είναι η πιθανότητα της αποτυχίας - το 'ξινό' μέρος της αξιοπιστίας.

Τα πρότυπα αξιολόγησης του κινδύνου συνδέουν τα χρήματα με τις αποτυχίες σε μια απλή εξίσωση: \$Κίνδυνος = (πιθανότητα αποτυχίας κατά τη διάρκεια ενός διευκρινισμένου χρονικού διαστήματος και κάτω από συγκεκριμένους παράγοντες)*(\$Συνέπεια του γεγονότος αποτυχίας). \$Ρίσκο πάντα υπάρχει, και δεν είναι ποτέ μηδενικό. Το πόσο ρίσκο είναι οικονομικά ανεκτό, γίνεται ένα επιχειρηματικό ζήτημα. Η κοινωνία αναμένει τον προγραμματισμό για την επιτυχία και απορρίπτει το υπερβολικό ρίσκο.

2. Πολιτική αξιοπιστίας

Η διοίκηση παρουσιάζει τα σημαντικά ζητήματα στη οργάνωση με πολιτικές δηλώσεις. Οι πολιτικές καθορίζουν τους συγκεκριμένους τομείς ανησυχίας και δείχνουν την επιθυμητή έκβαση. Οι πολιτικές αυξάνουν την αποφασιστικότητα, με την αφαίρεση της αβεβαιότητας για τη δράση που απαιτείται, ώστε να επιτύχουν το στόχο. Οι πολιτικές δηλώσεις διαβιβάζουν τις πληροφορίες στο προσωπικό, γενικά για τη λεπτομερή εφαρμογή από τις διαδικασίες, σε μια συνεπή μόδα μέσω της μεμονωμένης αποδοχής και της μεμονωμένης υποχρέωσης. Οι καλές πολιτικές μειώνουν τη δυνατότητα για τα κακά γεγονότα, όπως η ανεπάρκεια, η αντίθετη παραγωγικότητα, ο ακατάλληλος κίνδυνος που παίρνουν, και οι συγκρούσεις πέραν από τις απαιτήσεις, έτσι ώστε τίποτα να μην εφαρμόζεται λόγω του κενού.

Οι σύγχρονες οργανώσεις έχουν πολιτικές ασφάλειας και ποιοτικές πολιτικές. Πριν από τις πολιτικές ασφάλειας και ποιότητας, και οι δύο περιοχές που χρησιμοποιούνταν αρχικά, ήταν αντιλήψεις του τύπου: "όλοι ξέρουν τι να κάνουν, δεν χρειαζόμαστε πολιτική." Πριν από την εφαρμογή πολιτικών τα ποσοστά τραυματισμών ήταν υψηλά και η ποιότητα ήταν φτωχή. Μετά από τις πολιτικές, ήταν σαφές ότι ο στόχος ασφάλειας, ήταν μηδέν τραυματισμοί

και ο ποιοτικός στόχος ήταν η πλήρης προσαρμογή στις απαιτήσεις. Τα ζητήματα αξιοπιστίας χρειάζονται μια σαφή και συνοπτική πολιτική δήλωση για να αποφύγουν τις συγκεχυμένες ερμηνείες.

Η διοίκηση έχει την ευθύνη να εγκρίνει, να διανείμει, να μορφώσει και να εκπαιδεύσει την οργάνωση στις απαιτήσεις για αξιοπιστία, ως επίδειξη της ηγεσίας. Εάν η διαχείριση σκεφτεί, "ο καθένας ξέρει τις απαιτήσεις για την αξιοπιστία", αναμένει τη "νοοτροπία της δεκαετίας του '50 που θα οδηγήσει στα ίδια ασυμβίβαστα αποτελέσματα παρατηρηθέντα, προτού να αντιμετωπιστούν σοβαρά οι πολιτικές ασφάλειας και ποιότητας. Όταν "όλοι ξέρουν" (αλλά λίγοι ξέρουν πραγματικά), αναμένεται να βρεθεί ότι διατρέχονται κίνδυνοι χωρίς ένα συνεπές σχέδιο και η έλλειψη συνέπειας θα υπάρξει μέσα στη οργάνωση, όπου πάρα πολλές αποφάσεις λαμβάνονται επί των πρώτων δαπανών.

Τα μεμονωμένα κατώτατα επίπεδα είναι παρόμοια με τη μεμονωμένη επιχειρησιακή τακτική. Πρώτα πρέπει να έχετε μια προγραμματισμένη στρατηγική και έπειτα να αναπτύξετε την τακτική. Θυμηθείτε, τα ανωτέρω πρότυπα/οδηγίες είναι ελάχιστες προδιαγραφές καθορισμένες από το εξωτερικό ενδιαφέρον. Τα κατώτατα επίπεδα δεν εξετάζουν τις πρόσθετες απαιτήσεις για τα επιχειρησιακά ζητήματα και τη δυνατότητα για τα κοινοτικά προβλήματα προσβολής από τις αποτυχίες σωληνώσεων. Οι ελάχιστες προδιαγραφές μπορούν να μην είναι προσιτές για την προστασία των επιχειρησιακών συμφερόντων σας. Είναι παράλογο να υπάρξουν πολύ λίγες απαιτήσεις αξιοπιστίας, και είναι ανόητο να απαιτηθούν πάρα πολλές φορτικές απαιτήσεις.

Η διοίκηση πρέπει να θέσει την πολιτική αξιοπιστίας. Η πολιτική οδηγεί τις διαδικασίες (βαθμιαίες οδηγίες για την εφαρμογή των πολιτικών). Οι διαδικασίες οδηγούν τους κανόνες (δηλώσεις που λαμβάνουν ή που δεν παίρνουν μέτρα).

Οι πολιτικές αξιοπιστίας πρέπει να ενσωματώσουν την ασφάλεια, την ποιότητα, τον κίνδυνο, και τις οικονομικές απαιτήσεις για την επιχείρηση, ώστε να επιτευχθούν οι επιχειρησιακοί στόχοι. Οι πολιτικές αξιοπιστίας πρέπει να είναι κατανοητές στο κοινό και να προέλθουν από τα κορυφαία επίπεδα διαχείρισης αξιοπιστίας, νομιμότητας, σταθερότητας του σκοπού για βελτιώσεις, και του καθορισμού της οργάνωσης στην εργασία για έναν κοινό στόχο.

Η διοίκηση έχει ένα μεγάλο ρόλο στα ζητήματα αξιοπιστίας, τα οποία ξεκινούν από το σχέδιο οδηγιών του εξοπλισμού και συνεχίζουν μέσω της συντήρησης του εξοπλισμού και των συστημάτων. Η διαχείριση πρέπει να

αντιμετωπίσει τα ζητήματα και να εκφράζει τις γενικές ανάγκες, έτσι ώστε ο καθένας να είναι σε θέση να καταλάβει. Η διαχείριση πρέπει να σκεφτεί με όρους σκακιού -ενέχυρα θα χαθούν (αντλίες, βαλβίδες, κτλ), αλλά δεν πρέπει να χαθεί ο βασιλιάς, το οποίο είναι η διαδικασία (ακεραιότητα πίεσης και σύστημα παράδοσης προϊόντων που προστατεύει την ανθρώπινη ασφάλεια και τις περιβαλλοντικές καταστάσεις).

3. Ζητήματα για τις διαδικασίες

Οι διαδικασίες ακολουθούν μια πολιτική και πρέπει να αντιμετωπίσουν το χρόνο/δαπάνες, τα ζητήματα κ.λπ.. Οι διαδικασίες μπορούν να απαιτήσουν την καθιέρωση των υποτιθέμενων τιμών ή των υπολογισμένων τιμών για τη διαβίβαση στην οργάνωση του υψηλού κόστους ορισμένων αποτυχιών. Το γεγονός ότι μία ανθρώπινη ζωή είναι ανεκτίμητη δεν υπολογίζεται, αλλά η κοινωνία επιτρέπει ορισμένους κινδύνους, οι οποίοι επιτρέπουν έπειτα υπολογισμένες τιμές για λόγους επικοινωνίας, δεδομένου ότι ο χρόνος/δαπάνες είναι η γλώσσα του εμπορίου, των αποφάσεων, και της δράσης.

4. Πρότυπα αξιοπιστίας

Οι μηχανικοί αξιοπιστίας επιλύουν τα ζητήματα με τα πρότυπα αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας με μια πρόκληση, η οποία είναι ισορροπημένη ενάντια σε μια ικανότητα για το χειρισμό της πρόκλησης των δυσμενών όρων (Modarres 1999). Τα τμήματα, τα συστήματα, και οι διαδικασίες σωληνώσεων, έχουν μια συγκεκριμένη έμφυτη ικανότητα να χειριστούν τις προκλήσεις. Γενικά, όταν η πρόκληση είναι λιγότερη από την ικανότητα έχουμε την επιτυχία και όταν όχι, έχουμε την αποτυχία. Οι μηχανισμοί αποτυχίας είναι φυσικές διαδικασίες επιτιθέμενες στα πρότυπα.

Τα χαρακτηριστικά πρότυπα αξιοπιστίας είναι:

Η **πίεση-δύναμη**, όπου η πίεση αντιπροσωπεύει τη συνάθροιση των προκλήσεων και των εξωτερικών όρων, και η δύναμη αντιπροσωπεύει τη μεταβλητότητα των όρων που έχουν οι επιπτώσεις, στην ικανότητα του συστήματος να αποκρούσει τις αμφισβητήσεις που προκαλεί η αποτυχία.

Η **ζημία-αντοχή** που είναι παρόμοια με το πρότυπο πίεση-δύναμης, αλλά η πίεση προκαλεί τις ζημίες που είναι αμετάκλητες και συσσωρευτικές όπως η διάβρωση, η ένδυση και η κούραση. Η αποτυχία εμφανίζεται όταν υπερβαίνει η συσσωρευτική ζημία την ικανότητα των συστατικών ή των συστημάτων να αντιμετωπιστούν τις προσβολές.

Η πρόκληση-απάντηση που είναι όροι όπου τα συστατικά ή τα συστήματα αποτυγχάνουν, αλλά η αποτυχία δεν προσδιορίζεται έως ότου εμφανίζεται μια πρόκληση λόγω ενός κρίσιμου γεγονότος, σε σύγκριση με τις χαρακτηριστικές καταστάσεις όπως εκείνες που εμφανίζονται από την μετάβαση του χρόνου/των κύκλων, κ.λ.π.

Η ανοχή-απαιτήσεις όπου έχουν αποτυχίες μόνο όταν εμφανίζεται η πτώση χαρακτηριστικών απόδοσης έξω από κάποια προκαθορισμένα σταθερά όρια και κάποια βαθμιαία υποβάθμιση βασισμένη στη χρήση ή το χρόνο.

Οι μηχανισμοί αποτυχίας είναι φυσικές διαδικασίες, οι οποίες οδηγούν ή είναι αποτέλεσμα κάποιου είδους πίεσης (σκεφτείτε την πίεση σε γενικούς όρους). Οι τρεις ευρείες κατηγορίες είναι:

- Οι επηρεασμένοι από την πίεση μηχανισμοί αποτυχίας είναι η αιτία ή το αποτέλεσμα μόνιμης ή προσωρινής πίεσης και ταξινομούνται από το εύθραυστο σπάσιμο, το κούμπωμα, την παραγωγή, το όλκιμο σπάσιμο, ή την ελαστική παραμόρφωση.
- Οι μειωμένης δύναμης μηχανισμοί αποτυχίας οδηγούν άμεσα ή έμμεσα στην αποτυχία και ταξινομούνται με την ένδυση, τη διάβρωση, το ράγισμα, τη διάχυση, τον ερπυσμό, τη ζημία ακτινοβολίας, ή τη διάβρωση.
- Οι αυξανόμενης πίεσης μηχανισμοί αποτυχίας έχουν μια άμεση επίδραση στην αύξηση της εφαρμοσμένης πίεσης και ταξινομούνται με την κούραση, την ακτινοβολία, τον θερμικό κλονισμό και τη διάβρωση.

Οι μηχανισμοί ηλεκτρικής αποτυχίας είναι συχνά πιο περίπλοκοι από το χαρακτηριστικό μηχανικό σύστημα λόγω της συσκευής και των συσκευασιών στις οποίες κατοικούν. Κατά συνέπεια οι ηλεκτρικοί/ηλεκτρονικοί μηχανισμοί αποτυχίας διαιρούνται συχνά σε τρεις ευρείες κατηγορίες:

- Οι ηλεκτρικοί μηχανισμοί πίεσης προκύπτουν από τα επίπεδα τάσης που βλάπτουν τις συσκευές ή υποβιβάζουν τα ηλεκτρικά/ηλεκτρονικά χαρακτηριστικά και ταξινομούνται από το ανθρώπινο λάθος, τα ανεξέλεγκτα ρεύματα, ανεξέλεγκτες τάσεις, εντοπισμένη θέρμανση/τήξη, και τη λανθάνουσα ζημία, με συνέπεια τις μετέπειτα αποτυχίες.
- Οι εγγενείς μηχανισμοί αποτυχίας συσχετίζονται με το ηλεκτρικό/ηλεκτρονικό στοιχείο και ταξινομούνται από τα ηλεκτρικά

ενεργά στρώματα στα τσιπ ημιαγωγών, τα προβλήματα θνησιμότητας νηπίων που υπάρχουν στις συσκευές από την κατασκευή, τη διακοπή οξειδίων πυλών, την ιοντική μόλυνση, και τα καυτά ηλεκτρόνια.

- Οι εξωγενείς μηχανισμοί αποτυχίας είναι εξωτερικοί μηχανισμοί αποτυχίας που προέρχονται από τα προβλήματα συσκευασίας συσκευών και τα προβλήματα με τις διασυνδέσεις και τις ανεπιθύμητες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Κάθε μηχανισμός αποτυχίας μπορεί να επιταχυνθεί στον τομέα από απροσδόκητους συνδυασμούς γεγονότων. Τα γεγονότα προκαλούνται συχνά από μια κατάσταση, που ενεργεί ως καταλύτης για την αποτυχία.

Η αρχαία τεχνική για αυτά τα γεγονότα πρόκλησης ήταν να γίνονται τα συστατικά, τα συστήματα, και οι διαδικασίες πολύ ισχυρές και να κρατηθούν τα φορτία πολύ χαμηλά. Παραδείγματος χάριν, οι ρωμαϊκές γέφυρες που χτίζονταν για τα άλογα και τα άρματα, τώρα φέρουν τα βαριά φορτηγά με μεγάλη επιτυχία.

Μια άλλη μέθοδος για να μειώσουμε αποτυχίες γίνεται με τις τεχνικές εφαρμοσμένης μηχανικής συντήρησης, εντούτοις, η συντήρηση δεν μπορεί ποτέ να αποκαταστήσει τις δυνάμεις που υπάρχουν στα αρχικά σχέδια. Κατά συνέπεια οι άμεσες προσπάθειες συντήρησης δεν μπορούν να βελτιώσουν την έμφυτη αξιοπιστία, αλλά μόνο αποκαθιστούν τις αρχικές τιμές αξιοπιστίας μετά από επιδείνωση.

5. Εφαρμοσμένη μηχανική αξιοπιστίας εναντίον της εφαρμοσμένης μηχανικής συντήρησης

Η εφαρμοσμένη μηχανική αξιοπιστίας ενδιαφέρεται για το στρατηγικό στόχο, του να προβλέπει και να αποφεύγει τις αποτυχίες. Η εφαρμοσμένη μηχανική συντήρησης ενδιαφέρεται να αποκαταστήσει γρήγορα τις αποτυχίες.

Μια τρέχουσα διοικητική μανία είναι το να παίρνουν μία οργάνωση με νοοτροπία συντήρησης και να αλλάζουν τους τίτλους εργασίας για να περιληφθεί η λέξη αξιοπιστία. Αυτό παρέχει ύφος, αλλά καμία ουσία και τα εργαλεία και οι προσεγγίσεις για την αξιοπιστία και τη συντήρηση είναι διαφορετικές σαν τη νύχτα και την ημέρα.

Κατόπιν η διαχείριση αναρωτιέται γιατί η νέα οργάνωση "αξιοπιστίας" συνεχίζει να λειτουργεί όπως πριν όταν η προσέγγιση της συντήρησης ήταν γρήγορες επισκευές, οι οποίες θεωρήθηκαν κλειδί για την επιτυχία, όπως υπαγορεύονταν από μια οργάνωση συντήρησης.

Η εφαρμοσμένη μηχανική αξιοπιστίας και η εφαρμοσμένη μηχανική συντήρησης έχουν κοινές ρίζες και πρέπει έτσι να γνωρίζουν η μία για την άλλη, τους ρόλους, τις ευθύνες, και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται. Η τεχνολογία αξιοπιστίας προβλέπει τις αποτυχίες και με την χρήση ενός μακρού εύρους εργαλείων μειώνει το κόστος των αποτυχιών.

Η παρεμπόδιση των αποτυχιών σημαίνει χρηματικές δαπάνες για τον εξοπλισμό, τις διαδικασίες, και την παγιοποίηση του συστήματος. Κατά συνέπεια και η αξιοπιστία και οι δραστηριότητες συντήρησης κυβερνούνται από τα χρήματα, ακριβώς όπως οι αποφάσεις βελτίωσης είναι πάντα για τα χρήματα και τις εναλλακτικές λύσεις. Τα προγράμματα βελτίωσης απαιτούν λεπτομέρειες εφαρμοσμένης μηχανικής που μετατρέπονται σε δαπάνες σε ετήσια βάση, ώστε να καθοριστούν σωστά οι εκροές μετρητών. Πολλές επιχειρήσεις χρησιμοποιούν διαστήματα είκοσι ετών για περιόδους έρευνας.

Η εφαρμοσμένη μηχανική είναι αρμόδια για τον καθορισμό του πότε θα εμφανιστούν οι αποτυχίες, ώστε να μπορούν να διατιμηθούν σε καθαρή παρούσα αξία (NPV), και αυτό στηρίζεται σε προβλέψεις από τους μηχανικούς αξιοπιστίας. Φυσικά ο τρόπος αποτυχίας παρέχει επίσης τις πληροφορίες για τη δριμύτητα της αποτυχίας. Το κόστος των αποτυχιών πρέπει επίσης να περιλάβει τις απώλειες ακαθάριστου περιθωρίου από τις διακοπές λειτουργίας και τις μειώσεις παραγωγής (όταν είναι απαραίτητο)- αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τις συνεχείς διαδικασίες, όπως στις σωληνώσεις.

6. Εργαλεία εφαρμοσμένης μηχανικής αξιοπιστίας

Για τα ζητήματα αξιοπιστίας μιλάμε για το 'γλυκό' μέρος- την απουσία αποτυχιών. Ποσολογούμε τα ζητήματα αξιοπιστίας με τη μέτρηση των αποτυχιών, που είναι το ξινό μέρος. Η αποτυχία του εξοπλισμού και οι διαδικασίες εμφανίζονται πάντα ως φυσική κατάληξη από τους νόμους της φυσικής και των αλλαγών στην εντροπία του συστήματος. Είναι εύκολο να αποτύχει ο εξοπλισμός. Είναι πολύ δύσκολο όμως να επιζήσει ο εξοπλισμός.

Τα τρία καθεστώτα για την αποτυχία εξοπλισμού είναι: 1) **θνησιμότητα νηπίων**, 2) **αποτυχίες πιθανότητας**, και 3) **αποτυχίες στην αντοχή**, οι οποίες συνδέονται με τα ποσοστά αποτυχίας. Τα ανθρώπινα λάθη είναι συνήθως αποτυχίες πιθανότητας. Οι αποτυχίες θνησιμότητας νηπίων και γηρατειών κατατάσσονται στις αποτυχίες πιθανότητας και πρέπει να ληφθεί υπόψη η χαρακτηριστική καμπύλη αποτυχίας μπανιέρας όπου σκεφτόμαστε χαρακτηριστικά τις αποτυχίες πιθανότητας που έχουν ένα χαμηλότερο ποσοστό αποτυχίας από, είτε των αποτυχιών λόγω φθοράς, είτε των αποτυχιών θνησιμότητας νηπίων. Η εξιδανικευμένη καμπύλη μπανιέρας παρατηρείται σπάνια για τον εξοπλισμό- έχουμε λιγότερα κομμάτια του εξοπλισμού από τις ανθρώπινες αποτυχίες (θάνατοι) και όλοι οι άνθρωποι

θάνατοι στις εκπολιτισμένες κοινωνίες πρέπει να αναφέρονται στις κυβερνητικές αντιπροσωπείες (η υποχρεωτική υποβολή έκθεσης για τις αποτυχίες εξοπλισμού δεν απαιτείται).

Οι αποτυχίες των περισσότερων εξοπλισμών πρέπει να αναλυθούν με δείγματα ανάλυσης Weibull. Σε πολλές περιπτώσεις μια απλή αριθμητική τεχνική του MTBF ή MTTF χρησιμοποιείται συχνά ως μίγμα αξιοπιστίας προδρόμων τρόπων αποτυχίας που εμφανίζονται.

Περίληψη

Τα περισσότερα εργαλεία αξιοπιστίας είναι πρακτικά εργαλεία εφαρμοσμένης μηχανικής που μελετώνται σπάνια σε βάθος στα περισσότερα πανεπιστήμια. Συνήθως τα εργαλεία πρέπει να μαθευτούν σαν συμπλήρωμα της εκπαίδευσης, είτε στη μελέτη στο σπίτι, είτε στο πανεπιστήμιο.

Ένας απλός πρόδρομος της αξιοπιστίας είναι ένα κριτήριο αποκαλούμενο μέσος χρόνος για την αποτυχία για τα μη-επισκευάσιμα στοιχεία και μέσος χρόνος μεταξύ των αποτυχιών για τα επισκευάσιμα στοιχεία.

Σε έναν μηχανικό, τα περισσότερα ζητήματα σχετικά με την αξιοπιστία συσχετίζονται με τα πράγματα (όχι με ανθρώπους)-πράγματα που συμβαίνουν και πράγματα που μετριάζουν τις αποτυχίες. Στους διευθυντές, τα περισσότερα ζητήματα σχετικά με την αξιοπιστία συσχετίζονται με τις δαπάνες και τα κόστη γενικότερα. Αυτό απαιτεί την μετατροπή των πραγμάτων σε χρήματα, τα οποία καθοδηγούν την ανάγκη για εναλλακτικές λύσεις. Σπάνια είναι η "καλύτερη" ιδέα εφαρμοσμένης μηχανικής που εφαρμόζεται επειδή στον πραγματικό κόσμο τα χρήματα είναι λιγοστά και το πρώτο κόστος είναι σπάνια το τελευταίο κόστος, δεδομένου ότι τα πράγματα χρειάζονται τη σταθερή προσοχή και τη συντήρηση που δένει όλα τα ζητήματα στις δαπάνες κύκλων ζωής και τους καθαρούς παρόντες υπολογισμού της αξίας για την χρονική αξία των χρημάτων.

Μια πολιτική αξιοπιστίας στρέφει την οργάνωση προς ένα ελεύθερο περιβάλλον αποτυχίας για να επιτύχει τους διοικητικούς στόχους για την επιχείρηση. Τα εργαλεία εφαρμοσμένης μηχανικής αξιοπιστίας προβλέπουν τις αποτυχίες και τους κινδύνους που συνδέονται με ορισμένες ενέργειες. Οι λεπτομέρειες από την ανάλυση αξιοπιστίας πηγαίνουν στα πρότυπα δαπανών κύκλων ζωής για τις λεπτομέρειες εφαρμοσμένης μηχανικής σε ένα σχήμα, εξετάζοντας την χρονική αξία των χρημάτων. Οι έννοιες κύκλων ζωής στηρίζονται σε μεγάλο ποσοστό στα ζητήματα τεχνολογίας αξιοπιστίας και συντηρησιμότητας για να μετατρέψουν τις ιδέες στις σκληρές, πραγματικές εφαρμοσμένης μηχανικής που μετατρέπουν τα ζητήματα σε νομισματικές τιμές για να ληφθούν αποφάσεις.

Το πρώτο κόστος για την προμήθεια δεν είναι το τελευταίο κόστος. Το κόστος προμήθειας μπορεί να αντιπροσωπεύσει μόνο ένα μικρό μέρος του

συνολικού κόστους κατά τη διάρκεια της ζωής ενός στοιχείου, και σε άλλες περιπτώσεις, μπορεί να είναι μια μεγάλη μερίδα του συνολικού κύκλου ζωής που οι γενικές εμπειροτεχνικές μέθοδοι έχουν πολύ μεγάλη διαφορά.

Εάν οι πελάτες σας ή το ευρύ κοινό είναι δυστυχισμένοι με την αξιοπιστία των συστημάτων σας, πρέπει να γίνουν βελτιώσεις. Η αναξιοπιστία πρέπει να ποσολογηθεί και να επιλυθεί γρήγορα για επιχειρησιακούς λόγους. Περιστασιακά, η αξιοπιστία αρχίζει σε χαμηλά επίπεδα στην οργάνωση με τους μακροχρόνιους χρόνους επώασης πρώτου να καταγραφεί η αναγνωρίσιμη πρόοδος, εντούτοις στην ιδιωτική επιχείρηση, η υψηλή αξιοπιστία συστημάτων πραγματοποιείται καλύτερα από την κορυφή προς τα κάτω με πολιτικές δηλώσεις, ώστε να εισέλθει γρήγορα η οργάνωση στην εργασία με σκοπό την επίτευξη ενός στόχου σε λογικά χρονικά πλαίσια.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Abernethy, Robert B., The New Weibull Handbook, fourth edition, Dr. Robert B. Abernethy author and publisher, 536 Oyster Road, North Palm Beach, FL 33408-4328, Phone/FAX: 561-842-4082, e-mail: Weibull@worldnet.att.net, ISBN 0-9653062-1-6, 2000.

AICHE, Guidelines For Chemical Process Quantitative Risk Analysis, 2nd edition, American Institute of chemical Engineers, New York, ISBN 0-8169-0720-X, 2000

Barringer, H. Paul, Reliability Engineering Principles, author and publisher, Barringer & Associates, Inc., P.O. Box 3985, Humble, TX, 2001 –the reading list is also available on the Internet at <http://www.barringer1.com/read.htm>

Barringer, H. Paul, <http://www.barringer1.com/raptor.htm>, RAPTOR software for no cost downloads, 2001.

Barringer, H. Paul, Weibull Database, <http://www.barringer1.com/wdbase.htm>, 2001

Barringer, H. Paul, Life Cycle Cost, author and publisher, Barringer & Associates, Inc., P.O. Box 3985, Humble, TX, 2001

Barringer, H. Paul, Download Papers, <http://www.barringer1.com/Papers.htm>, 2001

CCPS Staff, Guidelines for Improving Plant Reliability through Data Collection and Analysis, Center For Chemical Process Safety of the American Institute Of Chemical Engineers, AIChE, New York, ISBN 0-8169-0751-X, 1998

Fabrycky, Wolter J. and Benjamin S. Blanchard, Life-Cycle Cost and Economic Analysis, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, ISBN 0-13-538323-4, 1991

Fulton, Wes, WinSMITH Weibull probability plotting software, <http://www.weibullnews.com>, 2001

Gruhn, Paul and Harry Cheddie, *Safety Shutdown Systems: Design, Analysis, and Justification*, Instrument Society of America, ISBN 1-55617-665-1, 1998

Modarres, Mohammad, Mark Kaminskiy, Vasiliy Krivtsov, *Reliability Engineering and Risk Analysis*, Marcel Decker, New York, ISBN 0-8247-2000-8, 1999

Page 11 of 12 Reliability Issues From A Management Perspective

Muhlbauer, W. Kent, *Pipeline Risk Management Manual*, 2nd edition, Gulf Publishing Company, ISBN 0-88415-668-0, 1996

Nessim, Maher A. and Mark J. Stephens, *Managing The Operating Risk Posed By Metal Loss Corrosion And Mechanical Interference*, International Pipeline Conference, Calgary, Alberta, (PDF files available from Mark Stephens at mstephens@cfertech.com), June 7-11, 1998.

SAE M-110.2, *Reliability and Maintainability Guideline for Manufacturing Machinery and Equipment—Second Edition*, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, ISBN 0-7680-0473-X, 1999

Stephens, M. J., and M. A. Nessim, *Pipeline Maintenance Planning Based On Quantitative Risk Analysis*, International Pipeline Conference, Calgary, Alberta, (PDF files available from Mark Stephens at mstephens@cfertech.com), June 9-13, 1996.

Taylor, J.R., *Risk Analysis for Process Plant, Pipelines and Transport*, E & FN Spon, New York, ISBN 0-419-19090-2, 1994

Røstum, J. (1997). The concept of business risk used for rehabilitation of water networks. In: *Proceedings of the 10th EJSW at Tautra. "Deterioration of Built Environment: Buildings, Roads and Water Systems"*, J.Røstum, L.

Dören and W. Schilling (ed.), *Norwegian University of Science and Technology, IVB-report B2-1997-2*, ISBN 82-7598-040-2, pp.67-75.

Schilling, W., Røstum, J. and Sægrov, S. (1998). *Fornyelsesstrategier for VA-nett*. Scandinavian Society of Trenchless Technology, Årsmøte og Konferanse, Oslo, 18-19 Mars.

Røstum, J. (1998). *Fornyelsesstrategi for vannledningsnett-tilstandsutvikling*. VAR forskningsdagene 1998, NTNU. Tapir forlag, Trondheim, ISBN: 82-519-1347-0, pp. 39-44.

Eisenbeis, P., Røstum, J. and Le Gat, Y. (1999). Statistical Models for Assessing the Technical State of Water Networks - Some European

Experiences. In: Proceedings of annual conference of AWWA, Chicago, Illinois, 20 – 24 June 1999.

Røstum, J., Baur, R., Sægrov, S., Hörold, S. and Schilling, W. (1999), Predictive service-life models for urban water infrastructure management. In: Proceedings of 8th International Conference on Urban Storm Drainage, Sydney, Australia, 30 August - 3 September, ISBN 0 85825 718 1, pp. 594-601.

Røstum, J. Schilling, W. (1999). Predictive service life models for water network management. In: Proceedings of the 13th EJSW, 8 September – 12 September, Dresden University of Technology, ISBN: 3-86005-238-1.

Røstum, J. and Schilling, W. (1999). Predictive service life models for water network management", in: Proceedings of 17th International Congress NO-DIG '99, 11- 13 October, Budapest, Hungary, published by Hamburg Messe- und Congress GmbH, St.Petersberger Strasse 1, 20355 Hamburg, Germany, pp. 249 - 258.

Røstum, J., Vatn, J. and Schilling, W. (2000). Modelling pipe breaks in water distribution networks as a Non Homogeneous Poisson Process (NHPP). International Water Association IWA World Congress PARIS 2000 (accepted as Poster presentation).

A.IChemE, Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapour Cloud Explosions, flash fires and BLEVE's.

API 2A-LRFD: Planning, Designing and Construction of Fixed Offshore Platforms – Load and Resistance Factor Design

Bai, Y. et al.(1999); LCC Modelling as a Decision Making Tool in Pipeline Design, OMAE99

Bai, Y. (1999); Limit State Design of Pipelines & Risers, IBC Training Course '99

Fanneløp, T.E. and Lryhming, I. (1981) 'Massive Release of Gas from Long Pipelines' Jan. '81 J.Energy

Fanneløp, T.K. & Sjøon (1980), 'Hydrodynamics of Underwater Blowouts', published by The Ship Research Institute of Norway R-97.80, Jan 1980.

Goldsmith, R. et al; Lifetime Risk-Adjusted Cost Comparison for

Offshore Engineer, November 1993, Total Maintenance takes hold on Forties field.

PARLOC 96: The Update of the Loss of Containment Data for Offshore Pipelines, OTH 551

Rew, P.J., Gallagher, P. & Deaves, D.M. (1995), 'Dispersion of Subsea Release, Review of Prediction Methodologies', prepared for the Health and Safety Executive, OTH 95 465, 1995

Ritchie, D., Voermans, C., Larsen, M.H., Vrankx, W.R.; Planning Repair and Inspection of Ageing Corroded Lines Using Probabilistic Methods, Risk Based and Limit State Design and operations of pipelines –Aberdeen '98 IBC UK Conferences Ltd.

Sotberg, T. et al. (1997) 'The SUPERB Project: Recommended Target Safety Levels for Limit Based Design of Offshore Pipelines' Proc. of OMAE'97.

Tajiri, M. and Gotoh; F.: TPM Implementation, A Japanese Approach; McGraw-Hill, Inc

De Waard, C. and Lotz, U. (1993), 'Prediction of CO₂ Corrosion of Carbon Steel ' CORROSION/93, paper no. 69.

Andreou, S.A., D.H. Marks and R.M. Clark, (1987), "A new methodology for modelling break failure patterns in deteriorating water distribution systems: Theory", Advances in Water Resources, Vol. 10, pp. 2-10.

Cabrera, E., A.F. Vela, (1995), "Improving efficiency and reliability in water distribution systems", Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Clark, R.M., Stafford, C.L. and J.A. Goodrich, (1982), "Water distribution systems: A spatial and cost evaluation", Journal of Water Resources Planning and Management Division ASCE, Vol.108, No.WR3, pp.243-256.

Clark, R.M., R.G. Stevie and G.D. Trygg, (1978), "An analysis of municipal water supply costs", Journal of American Water Works Association, Vol. 70, no.10, pp.543-547.

Dupow, H., Blount, G., (1997), "A review of reliability prediction", Aircraft Engineering and Aerospace Technology, Vol.69, No.4, pp.356-362.

- Engelhardt, M.O., P.J. Skipworth, D.A. Savic, A.J. Saul, G.A. Walters, (2000), "Rehabilitation strategies for water distribution networks: a literature review with a UK perspective", *Urban Water*, Vol.2, pp.153-170.
- Engelhardt, M., P. Skipworth, D.A. Savic, A. Cashman, G.A. Walters, A.J. Saul, (2002), "Determining maintenance requirements of a water distribution network using whole life costing", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 8, no. 2, pp. 152-164.
- Goulter, I., (1995), "Analytical and simulation models for reliability analysis in water distribution systems", *Improving efficiency and reliability in water distribution systems*, E. Cabrera and A.F. Vela eds. Kluwer Academic Publishers, London, U.K., 235-266.
- Goulter, I., Davidson, J., and P. Jacobs, (1993), "Predicting water – main breakage rates", *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 119, no.4, pp.419-436.
- Halhal, D., Walters, G.A., Ouazar, D. and Savic, D.A., (1997), "Water network rehabilitation with structured messy genetic algorithm approach", *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol.123, No.3, pp.137-46.
- Kansal, M.L., A. Kumar, P.B. Sharma, (1995), "Reliability analysis of water distribution systems under uncertainty", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol.50, pp.51-59.
- Karaa, A. Fadi and D.H. Marks, (1990), "Performance of water distribution networks: Integrated approach", *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol:4, No.1, pp.51-67.
- Kettler, A.J., and I.C. Goulter, (1985), "An analysis of pipe breakage in urban water distribution networks", *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol.12, no.2, pp.286-293.
- Mays, L.W. ed., (1989), "Reliability analysis of water distribution systems", American Society of Civil Engineers, New York, N.Y.
- O'Day, K., (1982), "Organizing and analysing leak and break data for making main replacement decisions", *Journal of American Water Works Association*, Vol.74(11), pp. 588-594.
- Quimpo, R.G., Shamsi, U.M., (1991), "Reliability-Based distribution system maintenance", *Journal of Water Resources Planning and Management Division ASCE*, Vol.117(3), pp.321-339.

Savic, D., Walters, G., Ashcroft, P.G., and Arscott, A., (1997), "Hydroinformatics technology and maintenance of UK water networks", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol.3, No.4, pp.289-301.

Shamir, U. and Howard, C.D., (1979), "An analytic approach to scheduling pipe replacement", *Journal of American Water Works Association*, Vol.71, pp.248-58.

Stacha, J.H., (1978), "Criteria for pipeline replacement", *Journal of the American Water Works Association*, pp.256-258.

Wagner, J.M., Shamir, U., & Marks, D.H., (1988a), "Water distribution reliability: analytical methods", *Journal of Water Resources Planning and Management Division ASCE*, Vol.114(3), pp.253-275.

Wagner, J.M., Shamir, U., & Marks, D.H., (1988b), "Water distribution reliability: simulation methods", *Journal of Water Resources Planning and Management Division ASCE*, Vol.114(3), pp.276-293.

Walski, T.M., (1993), "Practical Aspects of providing reliability in water distribution systems", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol.42, pp.13-19.

Walski, T.M., and A. Pelliccia, (1982), "Economic analysis of water main breaks", *Journal of the AWWA*, Vol.74, No:3, pp.140-147.

Xu, C., & Goulter, I.C., (1998), "Probabilistic model for water distribution reliability", *Journal of Water Resources Planning and Management Division ASCE*, Vol.124(4), pp.218-228.

Xu, C., & Goulter, I.C., (1999), "Reliability-Based optimal design of water distribution networks", *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.125, No.6, pp.352-362.

Yang, S.L., Hsu, N.S., Louie, P.W.F., & Yeh, W.W.G., (1996a), "Water distribution network reliability: Connectivity analysis", *Journal of Infrastructure Systems Division ASCE*, Vol.2(2), pp.54-64.

Yang, S.L., Hsu, N.S., Louie, P.W.F., & Yeh, W.W.G., (1996b), "Water distribution network reliability: Stochastic simulation", *Journal of Infrastructure Systems Division ASCE*, Vol.2(2), pp.65-72.

ΚΑΝΑΚΟΥΔΗΣ, Β.Κ., (1998), “Ο ρόλος των έκτακτων περιστατικών στη διαμόρφωση κριτηρίων προληπτικής συντήρησης και αντικατάστασης των αγωγών στα δίκτυα ύδρευσης”, Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ. Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Θεσσαλονίκη.

Μ. ΑΦΤΙΑΣ, ΥΔΡΕΥΣΕΙΣ-ΕΜΠ 1992

Λ. ΒΑΜΒΑΚΕΡΙΔΟΥ, ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ-ΕΜΠ

Χ. ΤΣΟΓΚΑ, ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ

Το έργο του Μηχανικού

Το έργο του μηχανικού εσους πάντας
είναι ερατό.

Όταν κάνει κάποιο λάθος δεν μπορεί να
το δάψει σαν τον γιατρό.

Δεν μπορεί να το κάμουςπλάσει σαν τον
αρχιτέκτονα με δέντρα ή κίβλους.

Δεν μπορεί σαν τον δικηγόρο να το
αποδώσει στους δικαστές και στους
επόρκους.

Δεν μπορεί να προφαισώσει σαν τον πολι-
τικό ότι το απαικούσαν οι ψηφοφόροι σου.

Δεν μπορεί να σου αλλάξει όνομα σαν τον
Διευτάχο που ελπίζει ότι οι ψηφοφόροι
θα το ξεχάσουν.

Δεν μπορεί σαν τον παπά να το απο-
δώσει στον διάβολο.

Σαν το έργο του Μηχανικού δεν πεύχει
υφίσταται την γενική κατακραυγή.

Σαν πεύχει ο παλις κύβλος ξανά το
όνομα του μηχανικού.

Ο έταιμος πάει σε κάποιο άλλο που
πληρώνει δι' αυτό με ξένα υφύματα.

Herbert Hoover