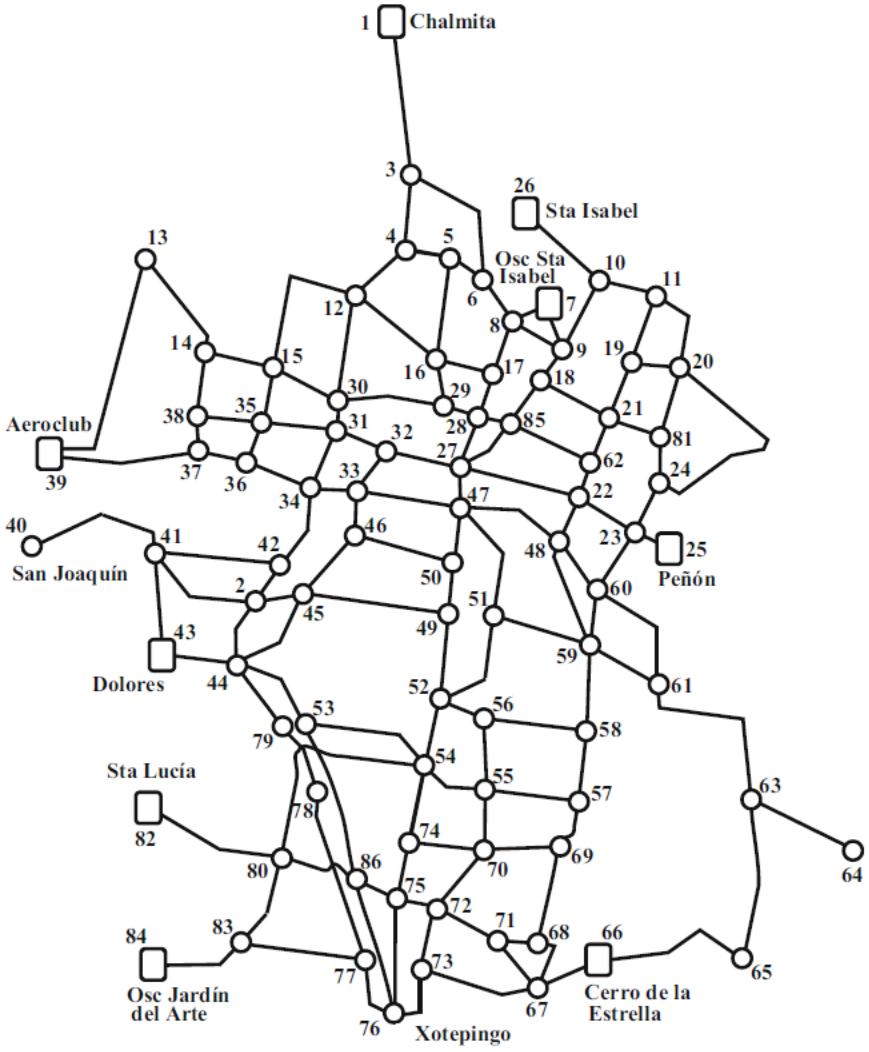
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Προσομοίωση ροής στο δίκτυο του Mexico City για διακοπτόμενη και συνεχή λειτουργία»

Σοφία Σκρουφούτα



Επιβλέπων Καθηγητής : Γεώργιος Τσακίρη

Αθήνα , Ιούλιος 2018

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία, αφορά στην διερεύνηση του υδρευτικού συστήματος για την πόλη του Μεξικού. Θα μελετήσουμε το δίκτυο ύδρευσης της πόλης, το οποίο λειτουργεί διακοπτόμενα και καλούμαστε να προσομοιώσουμε την λειτουργία του σε συνεχή ροή και να τα συγκρίνουμε.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους βοήθησαν στην ολοκλήρωσή της. Η εργασία πραγματοποιήθηκε στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στο εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Γεώργιου Τσακίρη, τον οποίο και ιδιαίτερα ευχαριστώ, για την καθοδήγησή του και την άριστη συνεργασία του, καθ΄ όλη την διάρκεια της εκπόνησης και της συγγραφής της εργασίας αυτής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Δρ. Βασίλειο Μπέλο.

Επίσης, ευχαριστώ ιδιαίτερα τους γονείς μου, για την ηθική στήριξη, την κατανόηση και την συμπαράσταση τους καθ’ όλη την διάρκεια των σπουδών μου και της ζωής μου.

Αθήνα, Ιούλιος 2018

Περιεχόμενα

Πρόλογος ... 3
Περιεχόμενα Πινάκων ... 7
Περιεχόμενα Εικόνων ... 15
Περίληψη ... 19
Abstract ... 21
1. Κεφάλαιο : Εισαγωγή ... 23
2. Κεφάλαιο : Δίκτυα Ύδρευσης ... 25
2.1. Ορισμός και δομή των δικτύων ... 25
2.2. Είδη δικτύων ύδρευσης ... 27
2.2.1. Ακτινωτά δίκτυα ύδρευσης ... 27
2.2.2. Κλειστά δίκτυα ύδρευσης ... 28
2.3. Λειτουργικές απαιτήσεις δικτύων ύδρευσης ... 29
2.4. Σχεδιασμός δικτύων ύδρευσης ... 30
2.5. Προβλήματα δικτύων ύδρευσης ... 32
2.6. Κλειστοί αγωγοί υπό πίεση βαρύτητας ... 33
3. Κεφάλαιο : Βασικά Υδραυλικά Μεγέθη ... 35
3.1. Μεταφορά της παροχής ... 35
3.2. Η ροή στους κλειστούς αγωγούς στο χρόνο και στο χώρο ... 35
3.3. Στρωτή και τυρβώδης ροή ... 36
3.4. Επιφάνεια διατομής αγωγών ... 37
3.5. Ταχύτητα ... 37
3.6. Ενέργεια ... 38
3.7. Απώλειες ενέργειας λόγω τριβών ... 40
3.8. Εξίσωση των Darcy – Weisbach ... 41
3.9. Εξίσωση των Colebrook – White ... 41
3.10. Εξίσωση των Hazen – Williams ... 42
3.11. Εξίσωση των Chezy – Manning ... 42
3.12. Τοπικές απώλειες ... 43
4. Κεφάλαιο : Μοντέλα Προσομοίωσης και Επίλυσης Δικτύων Ύδρευσης. ... 45
4.1. Το δίκτυο ύδρευσης ως μαθηματικό μοντέλο ... 45
4.2. Διαδικασία εφαρμογής των μοντέλων ... 47
4.3. Πλεονεκτήματα χρήσης μοντέλων επίλυσης δικτύων ... 47
4.4. Στάδια εκπόνησης μελέτης επίλυσης δικτύων ... 48
4.5. Προσαρμογή μοντέλου υφιστάμενου δικτύου ... 50
5. Κεφάλαιο : Υλικά Κατασκευής Αγωγών ... 51

5.1. Διαμόρφωση του πλαισίου σχεδιασμού ... 51
5.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υλικών ... 52
5.3. Εξελίξεις στους σωλήνες χάλυβα ... 54
6. Κεφάλαιο : Ποιότητα και Ζήτηση νερού ... 55
6.1. Ποιότητα και κατανάλωση του νερού ... 55
6.2. Μονάδα μέτρησης της κατανάλωσης ... 58
6.3. Διακύμανση της κατανάλωσης ... 59
6.4. Λογισμικά προγράμματα διακύμανσης κατανάλωσης. ... 60
7. Κεφάλαιο : Μέθοδοι Επίλυσης Κλειστών Δικτύων ... 63
7.1. Γενικά ... 63
7.2. Μέθοδος Q-Cross ... 64
7.3. Μέθοδος Newton – Raphson ... 71
7.4. Γραμμική μέθοδος ... 75
7.5. Μέθοδος Gradient ... 79
7.6. Άλλα προγράμματα επίλυσης δικτύων ... 85
8. Κεφάλαιο : Λογισμικό Επίλυσης Υδρευτικών Δικτύων – EPANET ... 87
8.1. Περιγραφή του λογισμικού ... 87
8.2. Δυνατότητες μοντελοποίησης του EPANET ... 88
8.2.1. Υδραυλική Μοντελοποίηση ... 88
8.2.2. Μοντελοποίηση ποιότητας νερού ... 88
8.3. Διαδικασία χρησιμοποίησης του EPANET ... 89
8.4. Εφαρμογές του EPANET ... 89
8.5. Μεθοδολογία επίλυσης δικτύων στο EPANET ... 90
8.6. Εργαλειοθήκη του EPANET ... 101
9. Κεφάλαιο : Επίλυση Δικτύου με χρήση EPANET ... 103
9.1. Περιγραφή της πόλης ... 104
9.2. Μοντελοποίηση του δικτύου ... 108
9.2.1. Περιγραφή δικτύου ύδρευσης του Mexico City ... 108
9.2.2. Επίλυση του δικτύου του Mexico City στο EPANET ... 112
9.2.3. Αποτελέσματα επίλυσης δικτύου για διακοπτόμενη λειτουργία ... 127
9.2.4. Αποτελέσματα επίλυσης δικτύου για συνεχή λειτουργία ... 132
10. Κεφάλαιο : Αποτελέσματα - Συμπεράσματα ... 137
Βιβλιογραφία ... 139
Παράρτημα Πινάκων ... 142
Παράρτημα Εικόνων ... 272

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 5-1:Πίνακας Πλεονεκτημάτων & Μειονεκτημάτων Υλικών Κατασκευής Αγωγών... 53
Πίνακας 9-1:Πίνακας Δεδομένων για την Επίλυση Δικτύου 109
Πίνακας 9-2: Πίνακας Μετατροπής του Συντελεστή Manning n σε Συντελεστή τραχύτητας k 114
Πίνακας 9-3: Πίνακας Μετατροπής Εμβαδού σε Διάμετρο 118
Πίνακας 9-4:Πίνακας Αναγωγής της Ζήτησης στο Μήκος των Αγωγών 121
Πίνακας 9-5: Πίνακας της Ζήτησης στους Κόμβους του Δικτύου 124
Πίνακας 9-6:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 37 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο. 128
Πίνακας 9-7:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 41 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 129
Πίνακας 9-8: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 80 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 130
Πίνακας 9-9: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 81 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 131
Πίνακας 9-10: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 37 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 133
Πίνακας 9-11: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 41 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 134
Πίνακας 9-12: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 80 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 135
Πίνακας 9-13: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 81 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 136
Πίνακας 1: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 1 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 142
Πίνακας 2: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 2 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 142
Πίνακας 3: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 3 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 143
Πίνακας 4: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 4 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 143
Πίνακας 5: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 5 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 144
Πίνακας 6:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 6 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 144
Πίνακας 7:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 7 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 145
Πίνακας 8:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 8 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 145
Πίνακας 9:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 9 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 146
Πίνακας 10:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 10 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 146
Πίνακας 11:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 11 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 147

Πίνακας 12: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 12 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 147
Πίνακας 13:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 13 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 148
Πίνακας 14:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 14 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 148
Πίνακας 15:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 15 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 149
Πίνακας 16:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 16 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 149
Πίνακας 17:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 17 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 150
Πίνακας 18:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 18 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 150
Πίνακας 19:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 19 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 151
Πίνακας 20:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 20 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 151
Πίνακας 21:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 21 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 152
Πίνακας 22:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 22 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 152
Πίνακας 23:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 23 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 153
Πίνακας 24:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 24 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 153
Πίνακας 25:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 25 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 154
Πίνακας 26:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 26 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 154
Πίνακας 27:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 27 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 155
Πίνακας 28:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 28 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 155
Πίνακας 29:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 29 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 156
Πίνακας 30:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 30 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 156
Πίνακας 31:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 31 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 157
Πίνακας 32:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 32 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 157
Πίνακας 33:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 33 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 158
Πίνακας 34:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 34 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 158
Πίνακας 35:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 35 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 159

Πίνακας 36:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 36 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 159
Πίνακας 37:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 37 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 160
Πίνακας 38:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 38 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 160
Πίνακας 39:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 39 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 161
Πίνακας 40:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 40 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 161
Πίνακας 41:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 41 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 162
Πίνακας 42:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 42 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 162
Πίνακας 43:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 43 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 163
Πίνακας 44:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 44 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 163
Πίνακας 45:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 45 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 164
Πίνακας 46:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 46 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 164
Πίνακας 47:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 47 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 165
Πίνακας 48:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 48 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 165
Πίνακας 49:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 49 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 166
Πίνακας 50:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 50 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 166
Πίνακας 51:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 51 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 167
Πίνακας 52:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 52 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 167
Πίνακας 53:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 53 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 168
Πίνακας 54:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 54 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 168
Πίνακας 55:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 55 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 169
Πίνακας 56:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 56 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 169
Πίνακας 57:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 57 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 170
Πίνακας 58:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 58 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 170
Πίνακας 59:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 59 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 171

Πίνακας 60:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 60 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 172
Πίνακας 61:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 61 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 172
Πίνακας 62:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 62 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 173
Πίνακας 63:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 63 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 173
Πίνακας 64:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 64 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 174
Πίνακας 65:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 65 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 174
Πίνακας 66:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 66 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 175
Πίνακας 67:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 67 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 175
Πίνακας 68:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 68 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 176
Πίνακας 69:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 69 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 176
Πίνακας 70:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 70 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 177
Πίνακας 71:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 71 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 177
Πίνακας 72:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 72 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 178
Πίνακας 73:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 73 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 178
Πίνακας 74:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 74 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 179
Πίνακας 75:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 75 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 179
Πίνακας 76:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 76 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 180
Πίνακας 77:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 77 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 180
Πίνακας 78:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 78 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 181
Πίνακας 79:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 79 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 181
Πίνακας 80:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 80 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 182
Πίνακας 81:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 81 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 182
Πίνακας 82:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 82 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 183
Πίνακας 83:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 83 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 183

Πίνακας 84:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 84 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 184
Πίνακας 85:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 85 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 184
Πίνακας 86:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 86 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 185
Πίνακας 87:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 1 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 185
Πίνακας 88:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 2 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 186
Πίνακας 89:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 3 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 187
Πίνακας 90:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 4 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 188
Πίνακας 91:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 5 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 189
Πίνακας 92:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 6 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 190
Πίνακας 93:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 7 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 191
Πίνακας 94:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 8 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 192
Πίνακας 95:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 9 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 193
Πίνακας 96:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 10 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 194
Πίνακας 97:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 11 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 195
Πίνακας 98:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 12 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 196
Πίνακας 99:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 13 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 197
Πίνακας 100:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 14 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 198
Πίνακας 101:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 15 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 199
Πίνακας 102:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 16 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 200
Πίνακας 103:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 17 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 201
Πίνακας 104:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 18 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 202
Πίνακας 105:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 19 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 203
Πίνακας 106:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 20 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 204
Πίνακας 107:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 21 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 205

Πίνακας 108:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 22 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 206
Πίνακας 109:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 23 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 207
Πίνακας 110:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 24 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 208
Πίνακας 111:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 25 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 209
Πίνακας 112:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 26 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 210
Πίνακας 113:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 27 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 211
Πίνακας 114:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 28 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 212
Πίνακας 115:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 29 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 213
Πίνακας 116:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 30 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 214
Πίνακας 117:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 31 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 215
Πίνακας 118:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 32 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 216
Πίνακας 119:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 33 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 217
Πίνακας 120:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 34 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 218
Πίνακας 121:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 35 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 219
Πίνακας 122:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 36 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 220
Πίνακας 123:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 37 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 221
Πίνακας 124:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 38 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 222
Πίνακας 125:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 39 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 223
Πίνακας 126:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 40 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 224
Πίνακας 127:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 41 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 225
Πίνακας 128:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 42 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 226
Πίνακας 129:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 43 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 227
Πίνακας 130:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 44 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 228
Πίνακας 131:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 45 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 229

Πίνακας 132:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 46 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 231
Πίνακας 133:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 47 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 231
Πίνακας 134:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 48 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 233
Πίνακας 135:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 49 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 234
Πίνακας 136:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 50 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 235
Πίνακας 137:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 51 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 236
Πίνακας 138:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 52 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 237
Πίνακας 139:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 53 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 238
Πίνακας 140:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 54 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 239
Πίνακας 141:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 55 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 240
Πίνακας 142:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 56 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 241
Πίνακας 143:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 57 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 242
Πίνακας 144:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 58 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 243
Πίνακας 145:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 59 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 244
Πίνακας 146:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 60 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 245
Πίνακας 147:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 61 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 246
Πίνακας 148:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 62 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 247
Πίνακας 149:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 63 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 248
Πίνακας 150:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 64 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 249
Πίνακας 151:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 65 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 250
Πίνακας 152:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 66 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 251
Πίνακας 153:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 67 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 252
Πίνακας 154:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 68 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 253
Πίνακας 155:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 69 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 254

Πίνακας 156:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 70 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 255
Πίνακας 157:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 71 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 256
Πίνακας 158:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 72 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 257
Πίνακας 159:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 73 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 258
Πίνακας 160:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 74 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 259
Πίνακας 161:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 75 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 260
Πίνακας 162:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 76 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 261
Πίνακας 163:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 77 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 262
Πίνακας 164:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 78 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 263
Πίνακας 165:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 79 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 264
Πίνακας 166:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 80 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 265
Πίνακας 167:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 81 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 266
Πίνακας 168:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 82 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 267
Πίνακας 169:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 83 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 268
Πίνακας 170:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 84 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 269
Πίνακας 171:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 85 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 270
Πίνακας 172:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 86 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 271

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 2-1:Δομή Δικτύου Ύδρευσης 26
Εικόνα 2-2: Ακτινωτή και Βρογχωτή Μορφή Δικτύων Ύδρευσης 27
Εικόνα 6-1:Διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης της κατανάλωσης δικτύου 61
Εικόνα 9-9-1 Δίκτυο Ύδρευσης του Mexico City..... 104
Εικόνα 9-2: Θέση του Mexico City στο Μεξικό. 105
Εικόνα 9-3:Περιοχές του Mexico City..... 106
Εικόνα 9-4:Γεωμορφολογία της πόλης του Mexico City 107
Εικόνα 9-5 Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 37 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 129
Εικόνα 9-6 Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 41 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 129
Εικόνα 9-7: Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 80 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 130
Εικόνα 9-8:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 81 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο 131
Εικόνα 9-9: Μορφή δικτύου στο EPANET για Συνεχή Λειτουργία 132
Εικόνα 1:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 1 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 272
Εικόνα 2:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 2 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 272
Εικόνα 3:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 3 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 273
Εικόνα 4:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 4 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 273
Εικόνα 5:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 5 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 274
Εικόνα 6:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 6 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 274
Εικόνα 7:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 7 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 275
Εικόνα 8:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 8 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 275
Εικόνα 9:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 9 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 276
Εικόνα 10:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 10 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 276
Εικόνα 11:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 11 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 277
Εικόνα 12:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 12 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 277
Εικόνα 13:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 13 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 278
Εικόνα 14:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 14 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 278
Εικόνα 15:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 15 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 279

Εικόνα 16:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 16 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 279
Εικόνα 17:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 17 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 280
Εικόνα 18:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 18 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 280
Εικόνα 19:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 19 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 281
Εικόνα 20:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 20 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 281
Εικόνα 21:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 21 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 282
Εικόνα 22:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 22 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 282
Εικόνα 23:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 23 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 283
Εικόνα 24:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 24 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 283
Εικόνα 25:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 25 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 284
Εικόνα 26:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 26 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 284
Εικόνα 27:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 27 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 285
Εικόνα 28:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 28 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 285
Εικόνα 29:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 29 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 286
Εικόνα 30:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 30 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 286
Εικόνα 31:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 31 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 287
Εικόνα 32:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 32 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 287
Εικόνα 33:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 33 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 288
Εικόνα 34:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 34 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 288
Εικόνα 35:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 35 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 289
Εικόνα 36:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 36 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 289
Εικόνα 37:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 37 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 290
Εικόνα 38:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 38 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 290
Εικόνα 39:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 39 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 291

Εικόνα 40:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 40 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 291
Εικόνα 41:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 41 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 292
Εικόνα 42:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 42 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 292
Εικόνα 43:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 43 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 293
Εικόνα 44:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 44 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 293
Εικόνα 45:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 45 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 294
Εικόνα 46:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 46 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 294
Εικόνα 47:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 47 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 295
Εικόνα 48:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 48 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 295
Εικόνα 49:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 49 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 296
Εικόνα 50:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 50 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 296
Εικόνα 51:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 51 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 297
Εικόνα 52:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 52 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 297
Εικόνα 53:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 53 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 298
Εικόνα 54:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 54 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 298
Εικόνα 55:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 55 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 299
Εικόνα 56:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 56 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 299
Εικόνα 57:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 57 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 300
Εικόνα 58:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 58 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 300
Εικόνα 59:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 59 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 301
Εικόνα 60:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 60 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 301
Εικόνα 61:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 61 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 302
Εικόνα 62:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 62 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 302
Εικόνα 63:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 63 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 303

Εικόνα 64:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 64 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 303
Εικόνα 65:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 65 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 304
Εικόνα 66:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 66 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 304
Εικόνα 67:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 67 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 305
Εικόνα 68:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 68 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 305
Εικόνα 69:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 69 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 306
Εικόνα 70:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 70 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 306
Εικόνα 71:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 71 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 307
Εικόνα 72:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 72 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 307
Εικόνα 73:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 73 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 308
Εικόνα 74:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 74 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 308
Εικόνα 75:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 75 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 309
Εικόνα 76:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 76 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 309
Εικόνα 77:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 77 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 310
Εικόνα 78:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 78 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 310
Εικόνα 79:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 79 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 311
Εικόνα 80:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 80 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 311
Εικόνα 81:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 81 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 312
Εικόνα 82:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 82 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 312
Εικόνα 83:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 83 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 313
Εικόνα 84:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 84 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 313
Εικόνα 85:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 85 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 314
Εικόνα 86:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 86 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο 314

Περίληψη

Το νερό αποτελεί το σημαντικότερο φυσικό αγαθό, το οποίο είναι αναγκαίο για την επιβίωση του ανθρώπου και του πλανήτη μας. Οι λιγοστές πηγές του γλυκού νερού και η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση, λόγω της αύξησης του πληθυσμού, αποτελούν δύο από τα κυριότερα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν από την επιστημονική κοινότητα. Η παροχή νερού σε κάθε γωνιά του πλανήτη γίνεται μέσω των δικτύων ύδρευσης. Η εξέλιξη της τεχνολογίας συνεισφέρει στον σωστό σχεδιασμό και την σωστή κατασκευή των δικτύων ύδρευσης, έτσι ώστε το κάθε δίκτυο να καλύπτει την συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση καλής ποιότητας νερού. Ο περιορισμός των διαθέσιμων υδατικών πόρων επιβάλλει τον σωστό σχεδιασμό, την σωστή προστασία και την σωστή διαχείριση των δικτύων ύδρευσης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά την επίλυση του πρωτεύοντος δικτύου ύδρευσης του Mexico City, για διακοπτόμενη και συνεχή λειτουργία και την σύγκριση μεταξύ τους.

Στα πρώτα κεφάλαια της εργασίας αναφέρονται τα θεμελιώδη υδραυλικά μεγέθη, καθώς και οι μέθοδοι επίλυσης που βασίζονται στα μεγέθη αυτά. Οι μέθοδοι αυτές είναι η μέθοδος Cross, η μέθοδος Newton-Raphson και η γραμμική μέθοδος, οι οποίες αποτελούν το θεμέλιο για την μέθοδο Gradient, που χρησιμοποιεί το EPANET., καθώς χρησιμοποιεί στοιχεία και από την μέθοδο Newton – Raphson αλλά και από την γραμμική μέθοδο.

Η επίλυση του δικτύου έγινε με την χρήση λογισμικού προγράμματος EPANET. Για την επίτευξη του στόχου της εργασίας, ήταν αναγκαίο να γίνει μοντελοποίηση του δικτύου δύο φορές, μία για διακοπτόμενη λειτουργία και μία για συνεχή λειτουργία. Στα αποτελέσματα της διακοπτόμενης λειτουργίας, προέκυψε ότι η πίεση ήταν πιο υψηλή από την αποδεκτή, γεγονός που οφείλεται στις παραδοχές που έγιναν λόγω έλλειψης δεδομένων.

Στην περίπτωση της συνεχούς λειτουργίας, επιλύθηκε το δίκτυο σε 24ωρη λειτουργία. Από τα αποτελέσματα προέκυψαν αρκετές αρνητικές τιμές, γεγονός

που δεν μπορεί να υφίσταται και για αυτό τον λόγο δεν μπορούν να προκύψουν διαγράμματα.

Συμπερασματικά, είναι αντιληπτό ότι το υφιστάμενο δίκτυο του Mexico City, δεν μπορεί να δώσει τα απαιτούμενα ύψη πίεσης σε συνεχή λειτουργία. Γεγονός το οποίο αντιμετωπίζεται είτε με την αλλαγή των διαμέτρων των αγωγών, είτε με την τοποθέτηση των απαραίτητων αντλιών.

Λέξεις κλειδιά: δίκτυα ύδρευσης, μέθοδοι επίλυσης δικτύου, διακοπτόμενη λειτουργία, συνεχή λειτουργία, δίκτυο ύδρευσης Mexico City, EPANET.

Abstract

Water is the most important commodity necessary for the survival of human kind and of our planet. The scarce freshwater resources and the continuous increasing demand due to population growth are two of the main problems that need to be solved by the scientific community. The water supply to every corner of the planet is accomplished through the water supply networks. The evolution of technology contributes to the proper design and construction of the water supply networks, so that each network meets the ever-increasing demand for good quality water. The reduction of available water resources requires proper planning, proper protection and proper management of water supply networks.

This diploma thesis explores the solution of Mexico City's primary water supply network for intermittent and continuous operation and comparison between them.

In the first chapters of the thesis are mentioned the fundamental hydraulic sizes, as well as the methods of solving, based on these sizes. These methods are the Cross method, the Newton-Raphson method and the linear method, which form the basis for the Gradient method using EPANET, as it uses data from both the Newton-Raphson method and the linear method .

The network was resolved using EPANET software. In order to achieve the goal of the thesis, it was necessary to model the network twice, once for intermittent operation and once for continuous operation. The results of the discontinued operation showed that the pressure was higher than the acceptable, due to the assumptions made because of data shortage.

In the case of continuous operation, the network was resolved in 24-hour operation. Several negative values have emerged from the results, which cannot be accepted in the case, and for this reason no charts can be generated.

In conclusion, it is conceivable that the existing Mexico City network cannot provide the required pressure volume in continuous operation. That can be resolved either by changing the diameters of the ducts or by installing the necessary pumps.

Keywords: water supply networks, network-resolving methods, interrupted operation, continuous operation, Mexico City water supply network, EPANET.

1. Κεφάλαιο : Εισαγωγή

Η σπουδαιότητα και η αναγκαιότητα του νερού για την ζωή και τον πλανήτη μας είναι αναγνωρισμένη από την αρχαιότητα. Από το νερό εξαρτάται η βιολογική ισορροπία των ειδών του οικοσυστήματος μας. Ο υδρολογικός κύκλος ανανεώνει τα αποθέματα γλυκού νερού στην επιφάνεια της γης και τους υπόγειους υδροφορείς. Η ποσότητα του νερού, όμως είναι περιορισμένη, σε αντίθεση με την ζήτηση, η οποία είναι συνεχώς αυξανόμενη και για αυτό το λόγο, είναι απαραίτητη η ορθή διαχείριση του νερού και η λογικευμένη χρήση του. Η κατασκευή υδρευτικών και αρδευτικών έργων κατέστη αναγκαία από την στιγμή που ο άνθρωπος δημιούργησε τα πρώτα κοινωνικά σύνολα. Τα έργα αυτά, διευκολύνουν και βελτιώνουν την ποιότητα ζωής του ανθρώπου.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η προσομοίωση του πρωτεύοντος δικτύου του Mexico City για διακοπτόμενη λειτουργία και σύγκριση αυτής με συνεχή λειτουργία. Η υδραυλική επίλυση του υδρευτικού συγκροτήματος έγινε με το πρόγραμμα EPANET, γιατί είναι ένα λογισμικό πρόγραμμα ελεύθερο για κάθε χρήστη, εύχρηστο και τα αποτελέσματα του εξάγονται σε πολλές διαφορετικές μορφές.

Όσον αφορά στην διάρθρωση της εργασίας, η παρούσα διπλωματική χωρίζεται σε δέκα κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στο αντικείμενο και τους στόχους της εργασίας.

Μεταβαίνοντας στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται λεπτομερή αναφορά στα δίκτυα ύδρευσης, στον ορισμό και στην δομή των δικτύων. Ποια είναι τα είδη δικτύων και ποιες είναι οι λειτουργικές απαιτήσεις τους. Επίσης, ποια είναι τα προβλήματα των δικτύων και τέλος, αναφέρεται στους κλειστούς αγωγούς υπό πίεση βαρύτητας.

Εν συνεχεία, το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στα βασικά υδραυλικά μεγέθη λεπτομερώς, έτσι ώστε να γίνεται κατανοητή η μελέτη του εκάστοτε δικτύου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναλύεται η επίλυση του δικτύου ύδρευσης ως μαθηματικό μοντέλο.

Αναφέρεται, επίσης η διαδικασία εφαρμογής των μοντέλων προσομοίωσης, τα πλεονεκτήματα χρήσης τους και ποια είναι τα στάδια εκπόνησης της μελέτης επίλυσης δικτύων.

Ακολούθως, στο πέμπτο κεφάλαιο, καταγράφονται τα υλικά κατασκευής των αγωγών και ποια είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του εκάστοτε υλικού.

Στο έκτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στην σπουδαιότητα του νερού, στην ποιότητά του, στην μονάδα μέτρησης της κατανάλωσης. Επίσης, αναφέρεται η διακύμανση της κατανάλωσης και ποια λογισμικά προγράμματα χρησιμοποιούνται για την μελέτη αυτής.

Στο έβδομο κεφάλαιο, αναφέρονται όλες οι μέθοδοι επίλυσης κλειστών δικτύων, όπως είναι η μέθοδος Q -Cross, η μέθοδος Newton – Raphson, η γραμμική μέθοδος, η μέθοδος Gradient.

Στο επόμενο κεφάλαιο, αναλύεται λεπτομερώς το λογισμικό πρόγραμμα επίλυσης υδρευτικών δικτύων, EPANET, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του δικτύου που μελετάται. Τι είναι το πρόγραμμα, ποιες οι δυνατότητες μοντελοποίησης, ποια είναι η διαδικασία χρησιμοποίησης και ποιες οι εφαρμογές του.

Στο ένατο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στα γεωγραφικά στοιχεία του Mexico City και στα πληθυσμιακά δεδομένα αυτής. Επίσης, παρουσιάζεται η επίλυση του δικτύου της πόλης με χρήση του EPANET.

Και στο τελευταίο κεφάλαιο, αναφέρονται και σχολιάζονται τα συμπεράσματα που βγήκαν από την σύγκριση των δύο λειτουργιών, αυτή της διακοπτόμενης και αυτή της συνεχούς λειτουργίας.

2. Κεφάλαιο : Δίκτυα Ύδρευσης

2.1. Ορισμός και δομή των δικτύων

Η ομαλή λειτουργία ενός δικτύου ύδρευσης απαιτεί σωστή οργάνωση και σχεδιασμό των υποδομών σύμφωνα με την μελέτη του έργου, η οποία πιστοποιεί την κατασκευή, την λειτουργία και την συντήρησή του. Οι εγκαταστάσεις ύδρευσης διακρίνονται σε ατομικές (σπιτιών) και συλλογικές (οικισμών, χωριών, πόλεων) (Παπαδάκης 1977).

«Κάθε δίκτυο ύδρευσης αποτελεί ένα σύστημα αγωγών υπό πίεση, που παραλαμβάνει νερό από ολιγάριθμες πηγές και το οδηγεί προς πολλαπλά σημεία προορισμού. Διανέμει, δηλαδή, το επεξεργασμένο (καθαρό) νερό από τις δεξαμενές σε πολλαπλά σημεία προορισμού μιας αστικής περιοχής» (Τσακίρης 2008).

Κάθε δίκτυο ύδρευσης, χωρίζεται σε δύο μέρη, το εξωτερικό υδραγωγείο, το οποίο περιλαμβάνει το σύνολο των υδροδοτικών έργων, από την υδροληψία έως ανάντη της δεξαμενής ρύθμισης του οικισμού και το εσωτερικό υδραγωγείο, το οποίο περιλαμβάνει το σύνολο των έργων διανομής κατάντη της δεξαμενής ρύθμισης (δίκτυο αγωγών, αντλίες, δικλείδες, ρυθμιστές πίεσης) (Τσακίρης 2008, Αραβαντινός 1977).

Α) Το εξωτερικό δίκτυο είναι ένα δίκτυο μεταφοράς, ενώ το εσωτερικό δίκτυο είναι ένα δίκτυο διανομής. Πιο συγκεκριμένα, το εξωτερικό υδραγωγείο είναι η διάταξη έργων μεταφοράς νερού από την υδροληψία στην δεξαμενή ρύθμισης του οικισμού. Αποτελείται από τριών ειδών αγωγούς:

- ανοικτούς αγωγούς βαρύτητας
- κλειστούς αγωγούς υπό πίεση
- κλειστούς αγωγούς που λειτουργούν, όμως, ως αγωγοί ελευθέρας επιφανείας

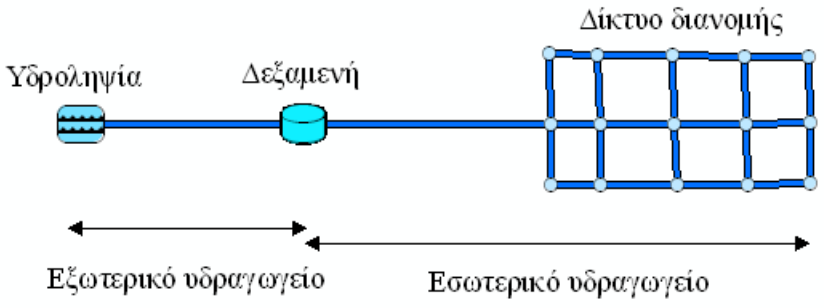
Β) Το εσωτερικό υδραγωγείο είναι το σύστημα διανομής ύδατος και περιλαμβάνει το άθροισμα των αγωγών που μεταφέρουν το νερό από την δεξαμενή αποθήκευσης

σε κάθε σημείο της υδροδοτούμενης περιοχής, το οποίο αποτελεί και την περίπτωση που εξετάζουμε. Δύο είναι οι βασικές απαιτήσεις για το εσωτερικό υδραγωγείο :

- η εξασφάλιση της απαιτούμενης παροχής σε κάθε σημείο του δικτύου με ικανοποιητική ταχύτητα
- η διατήρηση της πίεσης (ύψος πίεσης) εντός των αποδεκτών ορίων

Τα δύο μέρη διαχωρίζονται από την δεξαμενή ρύθμισης ή αποθήκευσης, η οποία, ρυθμίζει σε 24ωρη βάση, την σταθερή εισροή από τον αγωγό μεταφοράς νερού από την υδροληψία, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στην μεταβαλλόμενη από τις απαιτήσεις της κατανάλωσης, εκροή προς το δίκτυο διανομής. Η δεξαμενή αποθήκευσης πληροί δύο λειτουργίες: α) την εξίσωση παροχών και καταναλώσεως, ανακουφίζοντας την παροχή σχεδιασμού για το εξωτερικό υδραγωγείο και β) την εξασφάλιση αποθηκευμένου νερού για την περίπτωση βλάβης ή πυρκαγιάς για το εσωτερικό υδραγωγείο.

Άρα, η παροχή σχεδιασμού για το εξωτερικό είναι η μέγιστη ημερήσια, ενώ για το εσωτερικό είναι η μέγιστη ωριαία. Συνεπώς, η δεξαμενή ρύθμισης , πρέπει μέσα στο εικοσιτετράωρο (αν η δεξαμενή έχει εικοσιτετράωρη βάση λειτουργίας), να έχει τέτοιο όγκο, ώστε να μπορεί να αποδώσει τις παροχές αιχμής για τον οικισμό για σταθερή εισροή από το εξωτερικό υδραγωγείο και επίσης, τον επιπλέον απαιτούμενο όγκο νερού για την περίπτωση της πυρκαγιάς.



Εικόνα 2-1:Δομή Δικτύου Ύδρευσης

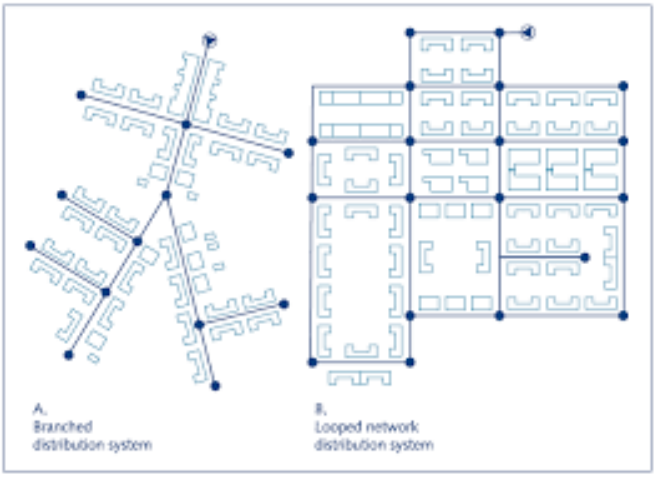
Πηγή: Καρκατσούλη 2008

Το εσωτερικό και το εξωτερικό υδραγωγείο έχουν πολλές και σημαντικές διαφορές στον σχεδιασμό τους. Καταρχήν, αν δεν υπήρχε η δεξαμενή ρύθμισης, όλο το υδραγωγείο θα σχεδιαζόταν βάση της παροχής σχεδιασμού του εσωτερικού.

Όπως, επίσης, το εξωτερικό δίκτυο, ως δίκτυο διανομής, χαρακτηρίζεται από μεγάλες διαμέτρους σε όλο το μήκος του, εν αντιθέσει με το εσωτερικό που χαρακτηρίζεται από μικρότερες διαμέτρους.

2.2. Είδη δικτύων ύδρευσης

Τα δίκτυα ύδρευσης χωρίζονται σε ακτινωτά και βροχωτά ή κλειστά δίκτυα, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο έχουν τοποθετηθεί οι αγωγοί τους (Τσακίρης 2008, Αραβαντινός 1977).



Εικόνα 2-2: Ακτινωτή και Βρογχωτή Μορφή Δικτύων Ύδρευσης

Πηγή: Smet & van Wijl, 2002

2.2.1. Ακτινωτά δίκτυα ύδρευσης

Ακτινωτά είναι τα δίκτυα, τα οποία υδροδοτούνται από ένα μοναδικό σημείο (κεφαλή) και δεν σχηματίζονται κλειστές διαδρομές αγωγών (βρόχοι). Κάθε σημείο εξόδου τροφοδοτείται μέσω μιας μοναδικής διαδρομής.

Στα δίκτυα αυτά υπάρχει ένας κεντρικός αγωγός μεταφοράς και όλοι οι δευτερεύοντες αγωγοί ή τριτεύοντες καταλήγουν πάντα στον κεντρικό αγωγό. Τα πλεονεκτήματα των δικτύων αυτών, είναι η ελαχιστοποίηση του μήκους του δικτύου, άρα και η ελαχιστοποίηση του κόστους των αγωγών. Ενώ, μειονεκτήματα είναι η αυξημένη ενεργειακή απώλεια και ότι σε περίπτωση βλάβης επιβάλλεται η απομόνωση των κατάντη κλάδων του δικτύου και απαιτούνται έργα προστασίας, έναντι υδραυλικού πλήγματος.

2.2.2. Κλειστά δίκτυα ύδρευσης

Τα βροχωτά ή κλειστά, αντίθετα από τα ακτινωτά, τροφοδοτούνται από ένα ή περισσότερα σημεία, στα οποία σχηματίζονται κλειστές διαδρομές αγωγών. Σε κάθε σημείο οδηγούν περισσότερες από μία διαδρομή, με αφετηρία από τις κεφαλές του δικτύου.

Τα πλεονεκτήματά τους είναι ιδιαίτερα σημαντικά. Με τα κλειστά δίκτυα επιτυγχάνεται καλύτερη κυκλοφορία του νερού και κατά συνέπεια καλή ποιότητα νερού, σε αντίθεση με τα ακτινωτά δίκτυα, όπου δεν υπάρχει καλή κυκλοφορία του νερού στα απόμακρα τμήματα των οικισμών. Επίσης, παρατηρούνται μειωμένες ενεργειακές απώλειες και σε περιπτώσεις βλαβών, επειδή, ακριβώς, υπάρχουν εναλλακτικές δυνατότητες για την κίνηση του νερού, δεν ακυρώνεται η λειτουργία της υδροδότησης των κατάντη κλάδων του δικτύου.

Μειονέκτημα θεωρείται η σημαντική αύξηση του μήκους του δικτύου, συνεπώς και στην αύξηση του κόστους κατασκευής. Το κόστος αυτό αντισταθμίζεται, εν μέρει, από το χαμηλότερο κόστος της χρήσης μικρότερων διαμέτρων. Όπως, επίσης, και η μεγάλη δυσκολία στην διαχείρισή τους αλλά και στην εποπτεία τους.

2.3. Λειτουργικές απαιτήσεις δικτύων ύδρευσης

Οι λειτουργικές απαιτήσεις ενός δικτύου είναι η απαιτούμενη παροχή με ικανοποιητική ταχύτητα, η διατήρηση της πίεσης, ο περιορισμός των μέγιστων πιέσεων και η προστασία από υδραυλικό πλήγμα. Πιο αναλυτικά:

α) Η εξασφάλιση της απαιτούμενης παροχής, με ικανοποιητική ταχύτητα σε κάθε σημείο του δικτύου. Στα εσωτερικά δίκτυα ύδρευσης, η ταχύτητα του νερού, θα πρέπει να είναι μεταξύ των ορίων: 0.5 – 1.5 m/s. Για τα κλειστά δίκτυα ύδρευσης, υπάρχει μεγαλύτερη ελαστικότητα στα όρια ταχύτητας, εφόσον στα δίκτυα αυτά επιτυγχάνεται καλύτερη κυκλοφορία του νερού.

β) Η διατήρηση της ελάχιστης πίεσης εντός των αποδεκτών ορίων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την πίεση, είναι το ύψος των κτιρίων, η κατανάλωση νερού στις οικιακές συσκευές και οι ενεργειακές απώλειες στις υδραυλικές εγκαταστάσεις των κτιρίων. Όταν υπάρχουν έκτακτες συνθήκες, δηλαδή πυρκαγιά, τότε η πίεση εξαρτάται και από την κατανάλωση των πυροσβεστικών κρουνών (Ευστρατιάδης & Κουτσογιάννης 2005). Έτσι, απαιτούνται για κάθε κόμβο η ύπαρξη ελαχίστων πιέσεων, οι οποίες είναι:

- Μονώροφα: 12 - 15 m
- Διώροφα: 16 – 17 m
- Τριώροφα : 20 – 23 m
- Για πολυώροφα κτίρια, χρησιμοποιείται η ακόλουθη εξίσωση: $p_o = 4*(n+1)$, όπου n ο αριθμός των οροφών, 3 το μέσο ύψος ορόφου +1 απώλειες ανά όροφο και επιπλέον ένας υποθετικός όροφος για την επάρκεια της θεώρησης των απωλειών. Δηλαδή, για πολυώροφα κτίρια θεωρείται το μέσο ύψος 4 m και είναι απαραίτητα άλλα 4 m για να επαρκεί το ύψος πίεσης (Τσακίρης 2006).

Η ανεπαρκής πίεση σε μία περιοχή του δικτύου αντιμετωπίζεται με:

- την αύξηση του υψομέτρου τοποθέτησης της δεξαμενής, το οποίο δεν είναι πάντα εφικτό
- την αντικατάσταση των κρίσιμων κλάδων ανάντη από αγωγούς μεγαλύτερης διαμέτρου ή εναλλακτικά η τοποθέτηση παραλλήλων ανακουφιστικών αγωγών
- την τοποθέτηση αντλιών, σε περίπτωση μόνο αν έχουν εξαντληθεί οι άλλες εναλλακτικές λύσεις

γ) Ο περιορισμός της μέγιστης πίεσης, είναι αναγκαίος για την προστασία των εξαρτημάτων του δικτύου, των υδραυλικών εγκαταστάσεων των κτιρίων και των οικιακών συσκευών. Η στατική διαφορά πίεσης (ακίνητο νερό) μεταξύ της δεξαμενής (ανώτατη στάθμη λειτουργίας) και του χαμηλότερου σημείου, δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 60m (Τσακίρης 2006).

δ) Η προστασία από υδραυλικό πλήγμα. Εάν σημειωθεί απότομη εκκίνηση ή διακοπή της ροής, είναι πιθανόν να εμφανιστούν πολύ μεγάλες υποπιέσεις και υπερπιέσεις, οι οποίες προκαλούν σημαντικές φθορές στο δίκτυο. Κίνδυνο πλήγματος αντιμετωπίζουν τα ακτινωτά τμήματα (που καταλήγουν σε τυφλό άκρο). Άρα, επιλέγεται η βροχωτή διάταξη των αγωγών και για λόγους ασφαλείας έναντι βλάβης αλλά και για την αποφυγή υδραυλικών πληγμάτων. Η πίεση που θα πρέπει να αντέχουν οι αγωγοί, αυξάνεται στα 100μέτρα, έτσι ώστε να μπορούν να προβλέπονται και οι υπερπιέσεις λόγω του υδραυλικού πλήγματος. Συνεπώς, επιλέγονται αγωγοί αντοχής 10atm, για την ύδρευση και επίσης, επιλέγονται διάμετροι μεγαλύτερες ή ίσες 90mm (Ευστρατιάδης & Κουτσογιάννης 2005).

2.4.Σχεδιασμός δικτύων ύδρευσης

Σχεδιασμός δικτύων ύδρευσης ονομάζεται εκείνη η διαδικασία κατά την οποία γίνεται:

- Η επιλογή της διαδρομής, δηλαδή τα υψόμετρα και η περιοχή κάλυψης, που επιθυμούμε να καλύψει το δίκτυο μας
- Η επιλογή της διατομής και του υλικού των αγωγών
- Η επιλογή των απαραίτητων συσκευών για την λειτουργία του

Η διαδικασία του σχεδιασμού περιλαμβάνει ορισμένα δεδομένα για την περιοχή μελέτης και θέτει συγκεκριμένους περιορισμούς:

- Μελλοντικός πληθυσμός

Όταν διεξάγεται μια μελέτη κατασκευής, ή επέκτασης, ή επιδιόρθωσης ενός δικτύου, αναγκαστικά θα πρέπει τα υδραυλικά της χαρακτηριστικά να εξασφαλίζουν την μελλοντική χρήση του δικτύου. Συνήθως, η διάρκεια ζωής ενός δικτύου είναι 30-40 έτη.

- Παροχή σχεδιασμού

Για να γίνουν οι ορθοί υπολογισμοί θα πρέπει να υπάρχουν τα δεδομένα της κατανάλωσης νερού των κατοίκων της περιοχής. Επειδή, όμως, δεν είναι εύκολο να υπάρχουν αυτά τα στοιχεία με ακρίβεια και για περισσότερη ευκολία, ανάλογα πάντα με το μέγεθος, την δόμηση και την χρήση γης της περιοχής, που αναφέρεται το δίκτυο, υπολογίζεται μια μέση ημερήσια κατανάλωση κάθε κατοίκου (mean QH). Απαραίτητο, όμως, για να ικανοποιείται και η μέγιστη ανάγκη νερού, είναι και η παράθεση δύο επιπλέον μεγεθών, αυτό της μέγιστης ημερήσιας κατανάλωσης (maxQH) και αυτό της μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης(maxQω). Ως παροχή σχεδιασμού θεωρείται η μέγιστη κατανάλωση, που υποδηλώνει το στιγμιαίο μέγιστο της παροχής κατά την διάρκεια της ημέρας και αποτελεί την δυσμενέστερη περίπτωση (Σπηλιώτης 2004). Η παροχή που επιλέγεται τελικά είναι η:

$$\max \{ \max Q\omega, \max QH + QΠ\} \qquad (2.1)$$

Όπου: QΠ η παροχή πυρκαγιάς, σύμφωνα με τις Οδηγίες Ελληνικών φορέων Ύδρευσης, που προσδιορίζεται από την ισαποχή στομίων παροχής 2x5 ή 2x5 ανά 500 ή 300 m ή 200 m αναλόγως της δόμησης. Σε μικρούς οικισμούς ο

συνυπολογισμός της παροχής πυρκαγιάς στην παροχή σχεδιασμού του οικισμού πρέπει να γίνεται κριτικά.

- Υπολογισμός παροχών κατανάλωσης (qi)

Σε κάθε κλάδο ενός δικτύου, συνδέονται οι αγωγοί υδροδότησης, όπου ο αριθμός τους είναι σε συνάρτηση με τις ανάγκες της υδροδοτούμενης περιοχής.

- Περιορισμοί ταχύτητας νερού

Στα δίκτυα ύδρευσης, θα πρέπει η ταχύτητα του νερού να κυμαίνεται μέσα στο όριο 0,5 – 1,5 m/s (Σπηλιώτης 2004). Το κατώτατο όριο είναι απαραίτητο για να αποφεύγονται οι αποθέσεις φερτών υλικών και κατά συνέπεια το φράξιμο των αγωγών. Ενώ, το ανώτατο όριο είναι απαραίτητο για να αποφεύγονται η διάβρωση των αγωγών και τα προβλήματα υπερπιέσεων λόγω υδραυλικού πλήγματος (Παντοκρατορας 1997).

- Απαιτήσεις και περιορισμοί πίεσης

Η σωστή λειτουργία ενός δικτύου οφείλει να εξασφαλίζει τις κατάλληλες πιέσεις στους κόμβους. Η στατική διαφορά πίεσης (ακίνητο νερό) μεταξύ της δεξαμενής, του ανώτατου σημείου, και του χαμηλότερου σημείου του δικτύου, δεν πρέπει να ξεπερνά τα 69 m (Σπηλιώτης 2004). Οι υψηλές πιέσεις αυξάνουν τις απώλειες νερού λόγω διαρροών, δημιουργούν προβλήματα θορύβων στις υδραυλικές εγκαταστάσεις των κτιρίων και προβλήματα λειτουργίας των υδραυλικών συσκευών των νοικοκυριών.

2.5. Προβλήματα δικτύων ύδρευσης

Η διαχείριση της λειτουργίας των δικτύων ύδρευσης, αρχικά είχε ως στόχο την πλήρη κάλυψη των απαιτήσεων κατανάλωσης με το μικρότερο δυνατό λειτουργικό κόστος. Η εμφάνιση, όμως, έκτακτων περιστατικών στα δίκτυα, καθώς και οι επιπτώσεις αυτών, δημιούργησαν την ανάγκη για την μελέτη και την ανάλυση αυτών των προβλημάτων. Τα κυριότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα δίκτυα διανομής νερού είναι οι απώλειες νερού, η μείωση της φυσικής τους ακεραιότητας,

η μείωση της παροχετευτικής τους ικανότητας και η υποβάθμιση της ποιότητας νερού κατά τη μεταφορά του (Κανακούδης 1998).

Ο προσδιορισμός των αιτιών των προβλημάτων στα δίκτυα ύδρευσης, είναι μία αρκετά πολύπλοκη και επίπονη διαδικασία, η οποία επιβάλλεται για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των προβλημάτων και όχι για την απλή επιδιόρθωσή τους. Ένα πρόβλημα μπορεί να έχει πολλές αιτίες, αλλά και μία αιτία να ευθύνεται για περισσότερα από ένα προβλήματα. Επίσης, η αιτία ενός προβλήματος ενδεχομένως να είναι αποτέλεσμα επίδρασης άλλων παραγόντων (π.χ. διάβρωση) (Κανακούδης 1998). Οι κατηγορίες των αιτιών που προκαλούν τα προβλήματα στα δίκτυα ύδρευσης, διακρίνονται σε εσωτερικές και εξωτερικές και ομαδοποιούνται σε έξι κατηγορίες ανάλογα με το αν προκαλούν (Kanakoudis 2004):

(α) διάβρωση

(β) μείωση παροχετευτικής ικανότητας

(γ) διαρροές

(δ) θραύσεις

(ε) υποβάθμιση της ποιότητας του νερού

(στ) και άλλα προβλήματα.

2.6. Κλειστοί αγωγοί υπό πίεση βαρύτητας

Κλειστοί αγωγοί υπό πίεση βαρύτητας, είναι οι αγωγοί, όπου η κίνηση του νερού οφείλεται στην υψομετρική διαφορά μεταξύ της υδροληψίας και της δεξαμενής ρύθμισης. Τα προβλήματα που προκύπτουν σε αυτούς τους αγωγούς είναι το πρόβλημα υποπιέσεων (πρόβλημα σπηλαίωσης) και το πρόβλημα μεγάλων πιέσεων λόγω έντονου ανάγλυφου. Βασική προϋπόθεση, λοιπόν, για την ορθή λειτουργία του δικτύου και την αποτελεσματική αντιμετώπιση των προβλημάτων του, είναι η ορθή χάραξη του δικτύου με βάση το ανάγλυφο της περιοχής, η τοποθέτηση κατάλληλων δικλείδων μείωσης της πίεσης ή πιεζοθραυστικών αλλά και η ορθή επιλογή των διαμέτρων των αγωγών (Τσακίρης 2008). Οι ειδικές συσκευές που τοποθετούνται στα δίκτυα είναι:

- Οι δικλείδες ρύθμισης της παροχής, οι οποίες τοποθετούνται πριν και μετά από δεξαμενές, για να εξασφαλίζουν, σε περίπτωση βλάβης, απομόνωση του υπόλοιπου δικτύου.
- Οι βαλβίδες αντεπιστροφής ειδικά σε καταθλιπτικούς αγωγούς (περίπτωση αντλητικού συγκροτήματος) για να αποτρέψουν τη ροή σε αντίστροφη κατεύθυνση
- Οι εκκενωτές για την εκκένωση του δικτύου τοποθετούνται στα χαμηλότερα σημεία του δικτύου και επιτρέπουν την ελεύθερη εκροή προς ένα φυσικό αποδέκτη.
- Οι Αεραξαγωγοί, απελευθερώνουν τον αέρα που βρίσκεται στους αγωγούς, ωστόσο σε περίπτωση πλήγματος, εισάγουν αέρα και τοποθετούνται στα υψηλότερα σημεία του δικτύου, για να πετύχουν γρήγορη αποσυμπίεση του δικτύου.
- Οι μειωτές πίεσης, είναι ειδικές αυτόματες βαλβίδες που προκαλούν σταθερή πίεση, με μεγάλη χρησιμότητα στα δίκτυα που λειτουργούν υπό πίεση και ελεύθερη ροή (χωρίς άντληση), ενώ υπάρχουν σημαντικές υψομετρικές διαφορές (σε περιπτώσεις εξωτερικού αλλά και εσωτερικού υδραγωγείου)
- Τα πιεζοθραυστικά φρεάτια (αξιόπιστη λύση για την μείωση της πίεσης, μπορεί να προσομοιαστεί με την λειτουργία δεξαμενής, χωρίς όμως, την πρόβλεψη όγκου βλάβης ή πυρκαγιάς)

Βασική αρχή για τους αγωγούς υπό πίεση που λειτουργούν με βαρύτητα, είναι ότι θα πρέπει το νερό να φθάνει στην δεξαμενή με επαρκές πιεζομετρικό φορτίο, ώστε να κατανικηθούν οι απώλειες ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, αν το νερό καταλήγει στην δεξαμενή με μεγάλο πεζοθραυστικό φορτίο, είναι επίσης ανεπιθύμητο. Άρα, η διάταξη των βαλβίδων και η επιλογή των διαμέτρων, θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε το νερό να καταλήγει ενεργειακά περίπου στην επιφάνεια της δεξαμενής. Όταν παρατηρούνται μεγάλες υψομετρικές διαφορές, τοποθετούνται μειωτές πίεσης ή πιεζοθραυστικά φρεάτια. Σε κάθε περίπτωση, όμως, η στατική πίεση πρέπει να είναι μικρότερη των 70m με δεδομένο εξωτερικό υδραγωγείο με αγωγούς 10atm (Τσακίρης 2008).

3. Κεφάλαιο : Βασικά Υδραυλικά Μεγέθη

Για να υπάρχει πλήρης κατανόηση των υδραυλικών αλλά και των τεχνικών θεμάτων, θα πρέπει να υπάρχει εξοικείωση με τις βασικές αλλά και τις εξειδικευμένες έννοιες και αρχές της τεχνολογίας. Ακολουθούν υδραυλικές έννοιες, οι οποίες είναι απαραίτητες για τις αναλύσεις μας (Τσακίρης 2010, Ευστρατιάδης & Κουτσογιάννης 2005).

3.1. Μεταφορά της παροχής

Η κίνηση του νερού, ώσπου να φτάσει σε ένα επίπεδο σημείο, είναι από υψηλότερα σε χαμηλότερα σημεία. Η τάση αυτή του νερού διευκολύνεται από την παρουσία των φυσικών αλλά και των τεχνικών καναλιών. Φυσικά κανάλια είναι τα ρυάκια, οι καταρράκτες και τα ποτάμια, ενώ τεχνικά κανάλια είναι οι αποχετευτικοί αγωγοί, οι οχετοί και τα κανάλια.

3.2. Η ροή στους κλειστούς αγωγούς στο χρόνο και στο χώρο

Η ροή στους κλειστούς αγωγούς μπορεί να είναι μόνιμη και μη μόνιμη. Μόνιμη ροή υπάρχει όταν η ταχύτητα παραμένει σταθερή, σε όλα τα σημεία, και αμετάβλητη με τον χρόνο, ενώ μπορεί να μεταβάλλεται με την θέση. Μη μόνιμη ροή υπάρχει, όταν η ταχύτητα μεταβάλλεται, σε όλα τα σημεία, με τον χρόνο. Στην μη μόνιμη ροή σε κλειστούς αγωγούς, μετά από χειρισμούς σε δικλείδες (άνοιγμα ή κλείσιμο, μερικό ή πλήρες, βραδύ ή απότομο), ή εξαιτίας διακυμάνσεων στην παροχή αντλιοστασίων (εκκίνηση ή στάση αντλιών), παρατηρείται το φαινόμενο της υπερπίεσης, το οποίο ονομάζεται υδραυλικό πλήγμα. Ως προς τον χώρο στους κλειστούς αγωγούς, η

μεταβαλλόμενη ροή περιορίζεται στην μελέτη των απωλειών φορτίου, οι οποίες παρατηρούνται σε αλλαγές διαμέτρου, σε στόμια και σε διακλαδώσεις ή στενώσεις.

3.3. Στρωτή και τυρβώδης ροή

Διακρίνονται δύο τύποι ροής, ανάλογα με την ταχύτητα του ρευστού. Για τις μικρές ταχύτητες η ροή θεωρείται στρωτή και τα σωματίδια του ρευστού κινούνται σε στρώσεις. Όσον αφορά στις μεγαλύτερες ταχύτητες, η ροή θεωρείται τυρβώδης και τα σωματίδια του ρευστού κινούνται ακανόνιστα με στροβιλική κίνηση. Το σύνηθες στους κλειστούς αγωγούς υπό πίεση, είναι η τυρβώδης ροή. Η τυρβώδης ροή είναι ένα φαινόμενο, που δεν είναι ακόμη κατανοητό και χρειάζονται πειραματικά στοιχεία για την κατανόησή του. Κριτήριο διαχωρισμού της ροής, σε στρωτή ή τυρβώδη, είναι ο γνωστός αριθμός Reynolds, ο οποίος προκύπτει από τον τύπο:

$$R_e = \frac{uD}{v} \tag{3.1}$$

Όπου u : η μέση ταχύτητα ροής στον αγωγό (m/s)

D: η διάμετρος του αγωγού (m)

v: ο συντελεστής κινηματικής συνεκτικότητας

Όπως ήδη είναι γνωστό, σε κλειστούς αγωγούς δεν υφίσταται άνω όριο του αριθμού Reynolds για την διατήρηση της στρωτής ροής. Σύμφωνα με τον Rouse, ακριβώς με τα ίδια πειραματικά εργαλεία με του Reynolds, έχει επιβεβαιωθεί η διατήρηση της στρωτής ροής για τιμές του Re > 40000. (Rouse 1961) Όταν υπάρχει οποιαδήποτε διατάραξη, η ροή μεταπίπτει σε απόλυτα τυρβώδη μορφή. Επίσης, σύμφωνα και με άλλα παρόμοια πειράματα, αποδεικνύεται ότι, αντίθετα υπάρχει συγκεκριμένο κατώτερο όριο διατήρησης της τύρβης, το οποίο σε κυκλικούς αγωγούς αντιστοιχεί σε Re περίπου ίσο με 2320, κάτω από το οποίο οποιαδήποτε

ανατάραξη αποσβένεται κάτω από την επίδραση δυνάμεων συνεκτικότητας. (Αφτιάς 1992) Σε κλειστούς αγωγούς εξωτερικών υδραγωγείων, λόγω των σημαντικών διαστάσεων των διατομών που χρησιμοποιούνται, και των ταχυτήτων που εφαρμόζονται, η ροή είναι αποκλειστικά τυρβώδης.

3.4. Επιφάνεια διατομής αγωγών

Στα δίκτυα ύδρευσης χρησιμοποιούνται αγωγοί υπό πίεση, κυκλικής διατομής, όπου η επιφάνεια διατομής είναι:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \tag{3.2}$$

Όπου D: η διάμετρος του αγωγού

3.5. Ταχύτητα

Στον αγωγό η ταχύτητα δεν είναι σταθερή σε όλη την επιφάνεια της διατομής και οι παράγοντες που την επηρεάζουν είναι η θέση και ο χρόνος. Σε όποια σημεία το υγρό βρίσκεται σε επαφή με το τοίχωμα του αγωγού, η ταχύτητα είναι μηδενική. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος, δυσκολεύονται οι υδραυλικοί υπολογισμοί και έτσι υπολογίζεται η μέση ταχύτητα της ροής στους αγωγούς. Η μέση ταχύτητα ροής καθορίζεται ως η συνολική παροχή διαιρούμενη με το εμβαδόν της διατομής του αγωγού και η μονάδα της είναι μήκος ανά μονάδα χρόνου:

$$u = \frac{Q}{A} \tag{3.3}$$

Όπου u = η μέση ταχύτητα ροής στον αγωγό (m/s)

Q = η παροχή (m^3/s)

A = η επιφάνεια της διατομής του αγωγού (m^2)

3.6. Ενέργεια

Βάση του πρώτου νόμου της θερμοδυναμικής, για κάθε δεδομένο σύστημα, η μεταβολή της ενέργειας του (ΔΕ) ισούται με την διαφορά μεταξύ της θερμότητας που μεταφέρθηκε στο σύστημα (Q) και του έργου που παρήχθη από το ίδιο το σύστημα (W), κατά την διάρκεια συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Η ενέργεια αντιπροσωπεύει τη συνολική ενέργεια του συστήματος, δηλαδή το άθροισμα της δυναμικής, της κινητικής και της εσωτερικής ενέργειας, όπως είναι η ηλεκτρική και η χημική ενέργεια. Παρόλο που οι μορφές αυτές της εσωτερικής ενέργειας είναι σημαντικές για τη θερμοδυναμική ανάλυση, είναι σύνηθες να απορρίπτονται κατά τις υδραυλικές αναλύσεις, εξαιτίας του σχετικά μικρού τους μεγέθους. Στις υδραυλικές εφαρμογές, οι τιμές της ενέργειας έχουν μονάδες μήκους και εκφράζουν την ενέργεια ανά μονάδα μάζας του ρευστού. Η μετατροπή αυτή συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς του συστήματος.

Η μηχανική ενέργεια, ή όπως αλλιώς ονομάζεται, το ολικό ύψος ή φορτίο ενέργειας, σε κάθε σημείο μέσα σε ένα υδραυλικό σύστημα δίνεται από τον τύπο:

$$H = \frac{u^2}{2\,g} + \frac{P}{\gamma} + z \qquad (3.4)$$

Όπου: $u^2/2g$ = ύψος ή φορτίο ταχύτητας

P/γ = ύψος ή φορτίο πίεσης

z = ύψος ή φορτίο θέσης

p = η πίεση του ρευστού

γ = το ειδικό του βάρος

$P/\gamma + z$ = το άθροισμα αυτό ονομάζεται πιεζομετρικό ύψος ή φορτίο

Σε ότι αφορά τους αγωγούς υπό πίεση, το πιεζομετρικό φορτίο αναπαριστά το ύψος στο οποίο μπορεί να ανέλθει η στήλη του νερού σε ένα πιεζόμετρο, δηλαδή σε έναν σωλήνα τοποθετημένο κάθετα στον αγωγό. Το ολικό ύψος ή φορτίο ενέργειας, είναι το άθροισμα του πιεζομετρικού φορτίου και του ύψους ταχύτητας, στο οποίο

μπορεί να ανέλθει η στήλη του νερού σε έναν Pitot, δηλαδή μια συσκευή παρόμοια με το πιεζόμετρο, αφού διαφέρουν στο γεγονός ότι αυτή υπολογίζει και την ταχύτητα του υγρού. Σε ένα σύστημα όμως, μπορεί είτε να προστεθεί ενέργεια, για παράδειγμα μέσω αντλίας, είτε να αφαιρεθεί από αυτό ενέργεια, λόγω συσκευών τριβών ή άλλων

διαταραχών. Εάν υπάρχουν λοιπόν μηχανές που παρεμβάλλονται στην κίνηση του νερού, καθώς και τοπικές και γραμμικές απώλειες, τότε η εξίσωση διατήρησης της ενέργειας γράφεται ως εξής:

$$\frac{P_1}{0} + z_1 + \frac{u_1^2}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{u_2^2}{2g} + h_f + h_L + h_M \qquad (3.5)$$

Όπου: p = η πίεση του ρευστού (N /m^2)

γ = το ειδικό βάρος του υγρού (N/m^3)

z = το υψόμετρο (m)

u = η μέση ταχύτητα του υγρού (m/s)

g = η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2)

h_f = γραμμικές απώλειες

h_L = τοπικές απώλειες

h_M = εκφράζει την ενέργεια που απομακρύνεται από το σύστημα μέσω μηχανικού άξονα ανά μονάδα βάρους ρευστού. Δίνεται από τον τύπο:

$$h_M = -h_a + h_u \qquad (3.6)$$

όπου: hα = η ποσότητα της ενέργειας που προσφέρεται στο σύστημα από αντλία

hu = η ποσότητα της ενέργεια που αποδίδεται σε υδροστρόβιλο

Οι γραμμικές απώλειες σε ένα σύστημα μπορεί να οφείλονται σε διάφορους παράγοντες. Η κυριότερη αιτία των απωλειών είναι συνήθως οι εσωτερικές τριβές μεταξύ των μορίων του υγρού, που κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες. Επίσης, οι απώλειες οφείλονται και σε τοπικές περιοχές του αγωγού όπου διαταράσσεται η ροή, όπως είναι οι βαλβίδες και άλλα εξαρτήματα των αγωγών υπό πίεση.

3.7. Απώλειες ενέργειας λόγω τριβών

Όπως είναι γνωστό, όταν ένα υλικό κινείται και βρίσκεται σε επαφή με ένα άλλο υλικό, τότε στην επιφάνεια επαφής δημιουργείται δύναμη τριβής. Έτσι, σε έναν κλειστό αγωγό ύδατος που μεταφέρει νερό μεταξύ δύο σημείων, διαμέτρου D, μήκους L, ταχύτητας u, αναπτύσσονται απώλειες ενέργειας που οφείλονται στις δυνάμεις τριβής, οι οποίες αναπτύσσονται κατά την επαφή του κινούμενου υγρού με το στερεό τοίχωμα του αγωγού. Η διατμητική τάση είναι συνάρτηση της ταχύτητας u, της πυκνότητας ρ, του ιξώδους μ του κινούμενου ρευστού, της διαμέτρου D και της τραχύτητας κ του αγωγού.

$$\tau_o = f(u, D, \mu, \rho, \kappa) \tag{3.7}$$

Με βάση την διαστατική ανάλυση προκύπτει ο συντελεστής τριβής f:

$$\frac{\tau_0}{\rho\, u^2} = f\left[\frac{u\, D\, \rho}{\mu}, \frac{\kappa}{D}\right] \tag{3.8}$$

Οπότε, ο συντελεστής f προκύπτει ουσιαστικά από τον ακόλουθο τύπο και είναι σχετικός του αριθμού Reynolds (R_e) και της σχετικής ταχύτητας (k/D).

$$f = \frac{0.25}{\left[log\left(\frac{5.74}{Re^{0.9}} + \frac{k/D}{3.7}\right)\right]^2} \tag{3.9}$$

Για τον υπολογισμό των απωλειών ενέργειας έχουν αναπτυχθεί διάφορες εξισώσεις των οποίων οι πιο γνωστές παρουσιάζονται παρακάτω: (https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TMB170/4_GRAMMH_ENERGEIAS/GRAMMH_ENERGEIAS.pdf), 06/2018

- Εξίσωση των Darcy – Weisbach
- Εξίσωση των Colebrook – White

- Εξίσωση των Hazen – Williams
- Εξίσωση των Chezy – Manning

3.8. Εξίσωση των Darcy – Weisbach

Οι Darcy-Weisbach θεωρώντας μόνιμη ροή (ως προς τις μέσες τιμές) στον αγωγό, οδηγήθηκαν στην ισορροπία των δυνάμεων πιέσεως, τριβής και των δυνάμεων βαρύτητας κατά μήκος ενός στοιχειώδους αγωγού.

Με βάση την ισορροπία δυνάμεων και την προηγούμενη ανάλυση για την διατμητική τάση, κατέληξαν στην παρακάτω σχέση που αποδίδει το γραμμικό ύψος απωλειών h_f, συναρτήσει του συντελεστή τριβής f:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{u^2}{2\,g} \tag{3.10}$$

Όπου: f = συντελεστής τριβής

L = μήκος αγωγού (m/m)

D = διάμετρος της διατομής του αγωγού (m)

u = η μέση ταχύτητα ροής στον αγωγό (m/s)

g = επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2)

h_f= γραμμικές απώλειες ενέργειας (m)

Η εξίσωση των Darcy-Weisbach ισχύει για στρωτή και τυρβώδη ροή. Στα συνήθη πρακτικά προβλήματα κλειστών αγωγών υπό πίεση η ροή είναι τυρβώδης. Η εξίσωση του Darcy-Weisbach, θεωρείται από πολλούς μηχανικούς ως η πιο ακριβής μέθοδος για την προσομοίωση των απωλειών τριβής.

3.9. Εξίσωση των Colebrook – White

Η εξίσωση του Colebrook–White, χρησιμοποιείται για να υπολογίσει, με επαναληπτική διαδικασία τον συντελεστή τριβής:

- Ελεύθερη επιφάνεια

$$1/f^{1/2} = -2\, log\, (k/14.8\, R + 2.51\, /\, Re\, f^{1/2} \qquad (3.11)$$

- Υπό πίεση (κλειστό δίκτυο)

$$1/f^{1/2} = -2\, log\, (k/12.0\, R + 2.51\, /\, Re\, f^{1/2} \qquad (3.12)$$

Όπου: R = υδραυλική ακτίνα (m)

K = σταθερή ($1m^{1/3}/s$)

Re = ο αριθμός Reynolds

F = συντελεστής τριβής του τύπου του Hazen – Williams

3.10. Εξίσωση των Hazen – Williams

Η εξίσωση τω Hazen – Williams χρησιμοποιείται συχνά στην ανάλυση δικτύων υπό πίεση, όπως, είναι τα δίκτυα διανομής νερού και κάποιοι σωλήνες αποχέτευσης. Ο τύπος είναι:

$$Q = k\, C\, A\, R^{0.63}\, S^{0.54} \qquad (3.13)$$

Όπου:

Q = παροχή στη διατομή (m^3/s)

C = συντελεστής τριβής του τύπου του Hazen – Williams

A = διατομή ρευστού (m^2)

R = υδραυλική ακτίνα (m)

S = κλίση (m/m)

K = σταθερή (0.85 για το SI, 1.32 για το U.S)

3.11. Εξίσωση των Chezy – Manning

Η εξίσωση του Manning είναι μία από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους για τον υπολογισμό ρευστών με ελεύθερη επιφάνεια και είναι βασισμένη στην εξίσωση του Chezy. Για την εξίσωση του Manning, ο συντελεστής τριβής στην εξίσωση του Chezy, υπολογίζεται ως εξής:

$$\mathrm{C} = \mathrm{k}\, R^{1/6} / \mathrm{n} \tag{3.14}$$

Όπου:

R = υδραυλική ακτίνα (m)

C = συντελεστής τριβής του Chezy ($m^{1/2}/s$)

N = τριβή του Manning

K = σταθερή ($1m^{1/3}/s$)

Η εξίσωση των Chezy – Manning είναι:

$$Q = k\, A\, R^{2/3}\ S^{1/2} / n \tag{3.15}$$

Όπου:

R= υδραυλική ακτίνα (m)

Q= παροχή στη διατομή (m^3/s)

n= τριβή του Manning

K= σταθερή ($1m^{1/3}/s$)

A= διατομή ρευστού(m^2)

S = κλίση γραμμικών απωλειών ενέργειας(m/m)

3.12. Τοπικές απώλειες

Όπως προαναφέρθηκε, στα δίκτυα διανομής δημιουργούνται τοπικές απώλειες, στις συνδέσεις των αγωγών και τις στροφές (τυπικές τοπικές απώλειες), και στις θέσεις των ειδικών συσκευών και διατάξεων (ειδικές τοπικές απώλειες). Οι τοπικές

απώλειες οφείλονται κυρίως στην ανάπτυξη στροβιλών αποκόλλησης της ροής και εκφράζονται με όρους ύψους κινητικής ενέργειας, οι οποίοι είναι:

$$h_f = K \frac{u^2}{2\,g} \tag{3.16}$$

Όπου:

K = ο συντελεστής που εξαρτάται από τη γεωμετρία της τοπικής μεταβολής διατομών και κατεύθυνσης και τα χαρακτηριστικά της ροής (αριθμός Reynolds). Για να ληφθούν υπόψη οι τυπικές τοπικές απώλειες χωρίς αναλυτικό υπολογισμό, προτείνεται η χρήση των υψηλότερων τιμών της τραχύτητας

Ks = προσαυξημένη ισοδύναμη τραχύτητα. Ειδικά για τις δικλείδες, οι τοπικές απώλειες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, ιδίως όταν αυτές περιορίζουν σημαντικά τη ροή. Στην περίπτωση αυτή, ανάλογα και με το άνοιγμα της δικλείδας, ο συντελεστής K μπορεί να αποκτήσει πολύ υψηλές τιμές (π.χ. 100-1000).

4. Κεφάλαιο : Μοντέλα Προσομοίωσης και Επίλυσης Δικτύων Ύδρευσης.

4.1. Το δίκτυο ύδρευσης ως μαθηματικό μοντέλο

Με την έννοια «μαθηματικό μοντέλο», εννοείται ένα σύνολο υποθέσεων σχετικών με την λειτουργία ενός συστήματος, εκφρασμένων υπό μορφή μαθηματικών ή λογικών σχέσεων μεταξύ των αντικειμένων του συστήματος και κωδικοποιημένων σε γλώσσα υπολογιστή. Η προσομοίωση και επίλυση ενός δικτύου ύδρευσης, υλοποιείται μέσω της κατάλληλης μαθηματικής περιγραφής, ενός συνόλου μαθηματικών σχέσεων, που αναφέρονται στην υδραυλική λειτουργία του δικτύου.

Για να γίνει μαθηματική περιγραφή, θα πρέπει πρώτα να γίνει δικτυακή απεικόνιση των συνιστωσών του δικτύου, ως συνιστώσες μαθηματικού μοντέλου. Με την έννοια συνιστώσες, εννοούνται τα έργα αποθήκευσης νερού (δεξαμενές, υδατόπυργοι), τα έργα μεταφοράς νερού (αγωγοί υπό πίεση), οι διάφορες συσκευές ρύθμισης της ροής (δικλείδες, βαλβίδες), τα έργα ρύθμισης της πίεσης (μειωτές πίεσης, αντλιοστάσια) και επίσης, κάθε συσκευή διανομής. Η μαθηματική περιγραφή επιτυγχάνεται με μετασχηματισμό του δικτύου σε ένα εννοιολογικό μοντέλο, όπου οι συνιστώσες του δικτύου αναπαρίσταται με την μορφή ιδεατών κόμβων και κλάδων.

Κόμβος ονομάζεται κάθε σημείο εισροής ή εκροής νερού ή αλλαγής της γεωμετρίας του δικτύου ή μεταβολής των χαρακτηριστικών των αγωγών, με φόρτιση c, με απόλυτο υψόμετρο z, γνωστή παροχή εξόδου c και άγνωστο ενεργειακό υψόμετρο h. Κλάδος (αγωγός) ονομάζεται κάθε στοιχείο μεταφοράς

νερού μήκους L, το οποίο αποτελείται από σύστημα σωλήνων σε σειρά, ομοιόμορφης διαμέτρου D, κλάσης και τραχύτητας Ks, κατά μήκος του οποίου θεωρείται ενιαία (άγνωστη) παροχή Q (Ευστρατιάδη και Κουτσογιάννη 2005).

Η διαμόρφωση του μοντέλου περιλαμβάνει α) τον ορισμό των συνιστωσών του δικτύου, δηλαδή των κόμβων και κλάδων και β) τον υπολογισμό των παροχών εξόδου.

Τα πεδία εφαρμογής των μοντέλων ανάλυσης δικτύων είναι στον σχεδιασμός νέου δικτύου, στην διαχείριση υφιστάμενου δικτύου αλλά και στην επέκταση υφιστάμενου δικτύου. Τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται, παρέχουν την δυνατότητα επίλυσης των δικτύων ύδρευσης και σε συνθήκες σταθερής (στιγμιαίας) κατανάλωσης αλλά και σε συνθήκες χρονικά μεταβαλλόμενης κατανάλωσης (Κουτσογιάννης 2006).

- Επίλυση σταθερής κατάστασης (steady-state)

Σε αυτή την περίπτωση, ο υπολογισμός των υδραυλικών χαρακτηριστικών της ροής (παροχές, πιέσεις), γίνεται θεωρώντας σταθερή φόρτιση στους κόμβους. Με τον όρο φόρτιση εννοείτε η κατανάλωση στους κόμβους του δικτύου. Η προσέγγιση αυτή είναι κατάλληλη για εφαρμογές διαστασιολόγησης αγωγών και αντλιών, καθώς και αποτίμησης της υδραυλικής επάρκειας υφιστάμενων δικτύων.

- Επίλυση χρονικά μεταβαλλόμενης κατάστασης (extended-period)

Σε χρονικά μεταβαλλόμενη κατάσταση, η επίλυση του δικτύου γίνεται σε διακριτά χρονικά βήματα, θεωρώντας χρονικά μεταβαλλόμενη κατανάλωση. Το ζητούμενο είναι ο έλεγχος της δυναμικής λειτουργίας του δικτύου σε κανονικές και έκτακτες συνθήκες. Συνήθως, η διάρκεια της επίλυσης είναι μεγαλύτερη των 24 ωρών (τυπική τιμή 72 ώρες), ενώ το χρονικό βήμα εξαρτάται από τη διακύμανση των καταναλώσεων στο δίκτυο (τυπική τιμή μία ώρα). Η προσέγγιση αυτή είναι κατάλληλη για εφαρμογές χωροθέτησης και ελέγχου της επάρκειας δεξαμενών, υπολογισμού της ενέργειας άντλησης και ανάλυσης της δίαιτας των ποιοτικών παραμέτρων του νερού.

4.2. Διαδικασία εφαρμογής των μοντέλων

Κάθε μοντέλο προσομοίωσης και επίλυσης δικτύων ύδρευσης, αποτελείται από δύο μέρη (Walski 1982). Το πρώτο μέρος αναφέρεται στο υπολογιστικό μέρος και το δεύτερο, στο σύνολο όλων των δεδομένων που περιγράφουν τα φυσικά στοιχεία των δικτύων, τις καταναλώσεις και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους. Ένα υπολογιστικό πρότυπο συμπεριλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Καθαρισμός του είδους των ερωτήσεων, που χρίζουν απάντησης από το μοντέλο
- Αναπαράσταση των βασικών στοιχείων, που αποτελούν το δίκτυο
- Συλλογή όλων των απαραίτητων δεδομένων, τα οποία είναι αναγκαία για την περιγραφή των στοιχείων του δικτύου
- Καθορισμός, σε κάθε χρονική στιγμή της ανάλυσης, της χρήσης του νερού στο δίκτυο που μελετάται
- Χαρακτηρισμός του τρόπου λειτουργίας του δικτύου σε κάθε χρονική στιγμή ανάλυσης
- Έλεγχος του μοντέλου σε πιθανά λάθη που προκύπτουν
- Επίλυση το μοντέλου με σκοπό την απάντηση των ερωτήσεων που τέθηκαν αρχικά και τεκμηρίωσης των αποτελεσμάτων.

4.3. Πλεονεκτήματα χρήσης μοντέλων επίλυσης δικτύων

Τα πλεονεκτήματα στην χρήση αυτοματοποιημένων επιλύσεων για την πλειοψηφία των υδραυλικών προβλημάτων είναι πολλά και στη συνέχεια παραθέτουμε ορισμένα από αυτά.

- Μειώνεται εντυπωσιακά ο χρόνος που χρειάζεται για την πραγματοποίηση της ανάλυσης.
- Περισσότερο λεπτομερείς εξισώσεις στην επίλυση με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Για την πραγματοποίηση μιας επίλυσης χωρίς υπολογιστή απαιτούνται συχνά πολλές υποθέσεις απλοποίησης.
- Υπάρχει συστηματικός έλεγχος, για πιθανά λάθη, των δεδομένων που απαιτούνται να εισαχθούν στο πρόγραμμα. Η μετατροπή των μονάδων και η επαναλαμβανόμενη αναγραφή των εξισώσεων για κάθε είδους λύση, είναι δύο παραδείγματα στα οποία οι υπολογισμοί χωρίς τη χρήση υπολογιστή παρουσιάζουν συχνά λάθη, ενώ χρησιμοποιώντας ένα αξιόπιστο λογισμικό πρόγραμμα, αποφεύγονται τέτοιου είδους αλγεβρικά και αριθμητικά λάθη.
- Βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων, γιατί χρησιμοποιούνται για αυτά πίνακες, διαγράμματα, έγχρωμοι χάρτες, ιστογράμματα κτλ.
- Είναι εφικτή η σύνδεση με άλλα λογισμικά προγράμματα, όπως είναι με σχεδιαστικά προγράμματα (CAD) ή με γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS).
- Υπάρχει η δυνατότητα πραγματοποίησης περισσότερων συγκρίσεων και δοκιμών σχεδιασμού, εξαιτίας της ταχύτητας και της αυξημένης ακρίβειας των υπολογιστικών μοντέλων. Το πλεονέκτημα αυτό, έχει ως αποτέλεσμα την διερεύνηση περισσότερων περιπτώσεων σχεδιασμού, άρα τελικά να καταλήγει σε καλύτερο και πιο αποτελεσματικό σχεδιασμό των δικτύων.

4.4. Στάδια εκπόνησης μελέτης επίλυσης δικτύων

Όπως προαναφέραμε, σκοπός των δικτύων ύδρευσης είναι η εξασφάλιση του απαιτούμενου νερού σε επαρκή ποσότητα μέσα σε αποδεκτά όρια πίεσης, έτσι ώστε να καλύπτονται όλες οι ανάγκες των κατοίκων της εκάστοτε περιοχής. Όταν χρειάζεται να εκπονηθεί μια μελέτη, πρέπει να ακολουθηθούν καθορισμένα στάδια. Τα στάδια αυτά είναι (Σπηλιώτης 2004):

- η παροχή σχεδιασμού του δικτύου
- ο σχεδιασμός έργων εξωτερικού υδραγωγείου
- ο προσδιορισμός των δεξαμενών ρύθμισης
- ο σχεδιασμός έργων εσωτερικού υδραγωγείου
- η κατάλληλη μαθηματική προσομοίωση του δικτύου, ώστε να πληρούνται οι υδραυλικές απαιτήσεις (παροχές, ελάχιστες και μέγιστες πιέσεις)

Για τον σχεδιασμό χρησιμοποιούνται κυρίως κλειστά ή κυκλοφοριακά δίκτυα, διότι παρουσιάζουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τα ακτινωτά, όπως είναι η καλύτερη κυκλοφορία του νερού και σε περιπτώσεις βλαβών, δίνουν τη δυνατότητα τέτοιων ελιγμών στην αποκατάσταση της ζημιάς, ακριβώς χάρη στις πολλές διαδρομές που ακολουθεί η ροή του νερού. Τα προβλήματα που εγκυμονούν είναι:

- ο προσδιορισμός της πιεζομετρικής γραμμής με γνωστά στοιχεία και το υλικό των αγωγών και της παροχής σχεδιασμού
- ο προσδιορισμός της παροχής με γνωστά τα γεωμετρικά στοιχεία και το υλικό των αγωγών και της των υψών της πιεζομετρικής γραμμής
- ο προσδιορισμός της διαμέτρου των αγωγών με γνωστά τα (ελάχιστα) ύψη της πιεζομετρικής γραμμής, την παροχή και το υλικό των αγωγών

Οι δύο βασικές αρχές της υδραυλικής, στις οποίες στηρίζεται η επίλυση των κλειστών δικτύων, είναι η αρχή διατήρησης της μάζας και η αρχή της διατήρησης της ενέργειας.

Διατήρηση Μάζας

- Η αρχή διατήρησης μάζας ή αρχή συνέχειας παροχής, αποδεικνύει ότι σε έναν κόμβο, το αλγεβρικό άθροισμα των παροχών ισούται με το μηδέν. Δηλαδή, το άθροισμα των παροχών που εισρέουν σε αυτόν, είναι ίσο με το άθροισμα των παροχών που εκρέουν από αυτόν και με την ποσότητα του νερού που καταναλώνεται στον κόμβο.

Διατήρηση ενέργειας

- Η αρχή διατήρησης ενέργειας ή αρχή συνέχειας παροχής, αποδεικνύει ότι σε έναν κόμβο, το ύψος της γραμμής ενέργειας είναι το ίδιο, ανεξάρτητα με το ποια διαδρομή κάνει το νερό για να φτάσει σε αυτόν. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια σε έναν βρόχο το αλγεβρικό άθροισμα των απωλειών φορτίου να ισούται με το μηδέν. Τα πρόσημα των απωλειών φορτίου καθορίζονται προεπιλέγοντας θετική φορά κίνησης του νερού μέσα στον βρόχο (συνήθως ως θετική θεωρείται η ωρολογιακή), όταν η φορά ροής είναι θετική, τότε και το ύψος απωλειών φορτίου είναι θετικός αριθμός.

4.5. Προσαρμογή μοντέλου υφιστάμενου δικτύου

Η μοντελοποίηση του υφιστάμενου δικτύου, επιβάλλεται, συνήθως για την διαχείριση, καθώς και για τον σχεδιασμό μελλοντικών επεκτάσεών του. Απαραίτητη, βέβαια είναι η απογραφή του υφιστάμενου δικτύου και η συλλογή των αρχείων όλων των καταναλωτών, μια χρονοβόρα διαδικασία λόγω έλλειψης της κατάλληλης υποδομής. Στην συνέχεια, γίνεται η σχηματοποίηση του μοντέλου, με την ιδιαιτερότητά σε αυτήν την περίπτωση, ότι οι παροχές εξόδου προκύπτουν από πραγματικές καταναλώσεις και όχι βάσει υποθέσεων. Ακολουθεί η ρύθμιση του μοντέλου, δηλαδή, το μοντέλο που θα προκύψει, πρέπει να προσαρμοστεί στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του δικτύου. Για να ολοκληρωθεί η ρύθμιση, πρέπει να γίνουν πολλαπλές επιλύσεις του μοντέλου, ώσπου η απόκλιση των αποτελεσμάτων του σε σχέση με τις πραγματικές τιμές να είναι αποδεκτή. Οι αποκλίσεις παρατηρούνται, λόγω της ασυνέπειας μεταξύ των αρχικών σχεδίων και της υλοποίησής τους (αβεβαιότητα στον καθορισμό των μηκών και των διαμέτρων), επίσης, λόγω των θραύσεων των αγωγών και των παράνομων συνδέσεων (σφάλματα στην εκτίμηση των παροχών εξόδου) και τέλος, στην δυσκολία εκτίμησης των συντελεστών τραχύτητας (γήρανση, τοπικές απώλειες).

5. Κεφάλαιο : Υλικά Κατασκευής Αγωγών

5.1. Διαμόρφωση του πλαισίου σχεδιασμού

Σύμφωνα με τον Τσακίρη & Τσακίρης, από τα κύρια μέρη ενός συστήματος διανομής αστικών υδάτων είναι οι αγωγοί. Κατά τον σχεδιασμό των δικτύων θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο είδος των σωλήνων που πρέπει να χρησιμοποιηθούν και ιδιαίτερα στα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των σωλήνων (Tsakiris and Tsakiris 2012). Με το πέρασμα των δεκαετιών, παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές στην τεχνολογία, στην οικονομία και στο πλαίσιο σχεδιασμού. Τις τελευταίες δεκαετίες στην κατασκευή σωληνώσεων περιλαμβάνονται οι:

- σωληνώσεις πολυβινυλοχλωριδίου (PVC)
- επικαλυμμένοι χαλυβδοσωλήνες
- σωλήνες ολίσθησης (DI)
- σωλήνες πολυαιθυλενίου
- σωλήνες από ενισχυμένο πολυμερές γυαλί

Από οικονομικής πλευράς, ο σχεδιασμός των δικτύων έχει επηρεαστεί από πολλαπλά γεγονότα παγκοσμίως, όπως είναι η πετρελαϊκή κρίση, οι τιμές ενέργειας και οι πολεμικές συγκρούσεις σε διάφορα μέρη της γης, καθώς και από την πρόσφατη οικονομική κρίση.

Όσον αφορά στο νομοθετικό πλαίσιο έχουν διαμορφωθεί νέες τάσεις που αφορούν:

- σε θέματα υγείας (απαγόρευση χρήσης σωλήνων αμιαντοτσιμέντου)
- στην μειωμένη ζήτηση νερού
- στις αυστηρότερες ευρωπαϊκές νομοθεσίες

- στην αξιοπιστία των υπηρεσιών κοινής ωφελείας
- στην ελαχιστοποίηση απωλειών νερού

Τέλος, στο πλαίσιο του σχεδιασμού παρατηρούνται αλλαγές:

- στο ιδιοκτησιακό καθεστώς του νερού
- στον πολεοδομικό σχεδιασμό
- στην διαθεσιμότητα πληροφοριών με χρήση νέων τεχνολογιών
- στην εξέλιξη της τεχνολογίας
- στην επιθυμητή μείωση των εισαγωγών

5.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υλικών

Η επιλογή των υλικών και των τύπων των σωληνώσεων εξαρτάται από το κόστος, την αξιοπιστία των υλικών, το επιτρεπόμενο όριο πιέσεων, το εύρος διαμέτρων, ο απαιτούμενος χρόνος κατασκευής, η διάρκεια ζωής (ανθεκτικότητα), η διαθεσιμότητα των υλικών και των εξαρτημάτων στην αγορά και η δυνατότητα εύρεσης εξειδικευμένου δυναμικού για την λειτουργία και την συντήρηση των δικτύων. Με δεδομένο ότι οι σωληνώσεις είναι κρίσιμο στοιχείο στον σχεδιασμό των δικτύων, στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διαφόρων τύπων σωλήνων (Tsakiris and Tsakiris 2012).

Πίνακας 5-1:Πίνακας Πλεονεκτημάτων & Μειονεκτημάτων Υλικών Κατασκευής Αγωγών

Όνομα υλικού	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Αμίαντο Τσιμέντο (AC)	Αντοχή και ακαμψία Διάβρωση ανθεκτική στα περισσότερα εδάφη και στο νερό Μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκαμπτες αρθρώσεις που να επιτρέπουν κάποια εκτροπή	Κίνδυνος σκόνης αμιάντου για την ανθρώπινη υγεία Ευπάθεια σε χτυπήματα Δέσμη χαμηλής ισχύος Ευαίσθητο στη διάβρωση από ορισμένα εδάφη Διαπερατό σε ορισμένες συνθήκες του εδάφους Δύσκολο να εντοπιστεί Η ανίχνευση διαρροών είναι πιο δύσκολη από ότι στους μεταλλικούς σωλήνες Πολύπλοκη επισκευή
Χυτοσίδηρος (CI)	Αντοχή και ακαμψία Υψηλή μηχανική αντοχή Καλή αντίσταση στη διάβρωση Η θέση διαρροής είναι απλή	Πολύ βαρύ βάρος Ισχυρός αλλά εύθραυστος
Άκαμπτος χυτοσίδηρος (DI)	Υψηλή μηχανική αντοχή Καλή αντοχή στη διάβρωση Ευκολία σύνδεσης Εύκολος εντοπισμός Η θέση διαρροής είναι απλή	Πολύ βαρύ βάρος Πιθανά προβλήματα pH με μαλακό νερό Ευαίσθητο στη διάβρωση αν καταστραφεί η επικάλυψη Δυσκολίες σε μη ευθυγράμμιση Ακριβές συνδέσεις Χαμηλή αντοχή σε κρούση Απαιτείται διπλή επικάλυψη Δύσκολο να επισκευαστεί
Ατσάλι	Υψηλή μηχανική αντοχή, ανθεκτικό σε κρούσεις Ικανότητα να εκτρέπεται χωρίς σπάσιμο Πιο ελαφρύ βάρος από τους σωλήνες άκαμπτου χυτοσιδήρου Ευκολία κατασκευής μεγάλων σωλήνων Δυνατότητα ειδικών διαμορφώσεων με συγκόλληση Διαθεσιμότητα ποικιλίας αντοχών Ευκολία τροποποιήσεων κατά την εφαρμογή Εύκολη επισκευή	Ευαίσθητο στη διάβρωση * Απαιτείται διπλή επικάλυψη
Υαλοπλισμένοι πλαστικοί σωλήνες (GRP)	Ελαφρύ βάρος Ανθεκτικό στη διάβρωση Ευκολία σύνδεσης	Χαμηλή μηχανική αντοχή Δύσκολο να εντοπίσετε Δύσκολα σημεία διαρροών Ισχύς χαμηλής δέσμης
Χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC)	Ανθεκτικό στη διάβρωση Ελαφρύ και εύκαμπτο Εύκολη σύνδεση	Ευπαθή σε ζημιά λόγω πρόσκρουσης Υπεριώδης υποβάθμιση για εκτεθειμένους σωλήνες Δύσκολο να εντοπιστεί Δύσκολα σημεία διαρροών Ισχύς χαμηλής δέσμης Δεν είναι κατάλληλο για μεγάλες διαμέτρους
Πολυαιθυλένιο (MDPE / HDPE)	Ανθεκτικό στη διάβρωση Ελαφρύ και εύκαμπτο Οι αρμοί μπορούν να συγκολληθούν Οι μικρές διαμέτρους είναι εύκολο να επισκευαστούν	Δύσκολο στον εντοπισμό Δύσκολα σημεία διαρροών Η σύνδεση με σύντηξη απαιτεί εξειδίκευση εγκαταστάτες και ειδικός εξοπλισμός Ισχύς χαμηλής δέσμης Δεν είναι κατάλληλο για μεγάλες διαμέτρους

** Η νέα παραγωγή χαλύβδινων σωλήνων με εξωτερική επένδυση από πολυαιθυλένιο και εσωτερική επένδυση με τσιμέντο ή εποξικό έχει παρατείνει την ωφέλιμη ζωή των σωλήνων και έχει κάνει τους χαλύβδινους σωλήνες ανθεκτικούς στη διάβρωση, θεραπεύοντας ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα των μη προστατευμένων σωλήνων χάλυβα.*

Tsakiris, G. and Tsakiris, V. *Pipe technologies for urban water conveyance distribution systems,* Water Utility Jouurnal 3Q 29-36,2012, E.W. Publications.

5.3. Εξελίξεις στους σωλήνες χάλυβα

Οι σωλήνες χάλυβα είχαν εκτεταμένη χρήση κατά το παρελθόν και για το δίκτυο ύδρευσης και τα μέρη που λειτουργούν με υψηλές πιέσεις. Σε κάποιες περιπτώσεις, οι σωλήνες χάλυβα ήταν και η μοναδική λύση λόγω των συνθηκών που επικρατούσαν. Παρόλα, αυτά βασικό πρόβλημα εξακολουθούσε να αποτελεί η διάβρωση για τους μη προστατευμένους σωλήνες. Πλέον, οι σωλήνες χάλυβα παράγονται με εσωτερικές και εξωτερικές επιστρώσεις, ώστε να εξασφαλίζεται μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Η εξωτερική επίστρωση πολυαιθυλενίου χρησιμοποιείται επίσης, για να εξασφαλιστεί καθολική προστασία (Tsakiris and Tsakiris 2012).

Οι συνδυασμοί επίστρωσης που χρησιμοποιούνται σήμερα, εξωτερικά και εσωτερικά, είναι:

- πολυαιθυλένιο – τσιμέντο
- εποξικό – εποξικό
- ασφάλτου – ασφάλτου

θα πρέπει να αναφερθεί, ότι μόνο οι δύο πρώτοι συνδυασμοί, είναι κατάλληλοι για την παροχή νερού για ανθρώπινη κατανάλωση.

6. Κεφάλαιο : Ποιότητα και Ζήτηση νερού

6.1. Ποιότητα και κατανάλωση του νερού

Το νερό αποτελούσε πάντα πηγή ζωής για τον άνθρωπο και για αυτόν τον λόγο, όλες οι οργανωμένες κοινωνίες αρχικά, εμφανίστηκαν δίπλα σε ποτάμια, λίμνες και θάλασσα. Όλες οι ζωτικές λειτουργίες εξαρτώνται από το νερό. Το νερό αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα και ζωτικής σημασίας προβλήματα της εποχής μας, καθώς δυστυχώς, βρίσκεται σε ανεπάρκεια. Η ποσότητα του νερού είναι περιορισμένη. Από το νερό που βρίσκεται στον πλανήτη μας, το 97% βρίσκεται στις θάλασσες και είναι ακατάλληλο για άμεση χρήση, λόγω της περιεκτικότητας του σε αλάτι. Από το υπόλοιπο 3%, ένα μεγάλο ποσοστό βρίσκεται σε μορφή πάγου στις πολικές περιοχές και λιγότερο από το ένα τρίτο βρίσκεται σε λίμνες και ποτάμια και σε υπόγειους υδροφορείς, όχι πάντα εκμεταλλεύσιμοι.

Άρα, οι ποσότητες του διαθέσιμου κατάλληλου νερού, που είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν για άρδευση, ύδρευση και άλλες χρήσεις, είναι πολύ περιορισμένες και γι' αυτό το λόγο, θεωρείται απαραίτητη η ορθολογική διαχείριση των δικτύων ύδρευσης. Το νερό που προορίζεται για τον ανθρώπινη κατανάλωση προέρχεται από λίμνες, ποτάμια, πηγές, πηγάδια, γεωτρήσεις και αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Με τον όρο κατανάλωση νερού, νοείται το τμήμα εκείνο της απόληψης νερού, δηλαδή της ποσότητας του νερού που αφαιρείται από ένα υδάτινο σώμα (π.χ. υπόγειος υδροφορέας, λίμνη κλπ.), το οποίο χάνεται, είτε προς την ατμόσφαιρα με την διεργασία της εξατμισοδιαπνοής, είτε με την αποθήκευση στο σώμα ζωντανών οργανισμών (Ναλμπάντης 2007).

Η διαχείριση των υδάτινων πόρων είναι συνδεδεμένη με την διαχείριση των δικτύων ύδρευσης, κυρίως σε περιοχές που εμφανίζουν πρόβλημα με την επάρκεια του νερού, γιατί η ύδρευση αφορά τις ανθρώπινες ανάγκες. Κάθε δίκτυο ύδρευσης έχει δύο κύριους χρήστες: α) τους καταναλωτές (οικιακούς, εμπορικούς, βιομηχανικούς) και β) το ίδιο το δίκτυο ύδρευσης, διότι οι απώλειες του νερού, αποτελούν ένα μεγάλο μέρος του εισερχόμενου νερού.

Σκοπός των έργων ύδρευσης είναι η εξασφάλιση του απαιτούμενου νερού, σε επαρκή ποσότητα και κατάλληλη ποιότητα, το οποίο είναι αναγκαίο για την εξυπηρέτηση των αναγκών των πολιτών μιας περιοχής ή μίας εγκατάστασης. Έργα ύδρευσης αποτελούν τα υδροδοτικά έργα, τα δίκτυα διανομής και τα έργα αποχέτευσης. Η κατασκευή δικτύων διανομής υπό πίεση, ξεκίνησε στις μεγάλες ευρωπαϊκές πόλεις, τον 17^{ο} αιώνα, διότι τότε ήταν εφικτή η μαζική κατασκευή σωλήνων από χάλυβα ή χυτοσίδηρο, υλικά που άντεχαν σε εσωτερικές υδροστατικές πιέσεις. Η κατάσταση του δικτύου ύδρευσης επηρεάζει, αλλά συγχρόνως και επηρεάζεται, από την ποιότητα του νερού και αντίστροφα. Το νερό είναι ένα πολύτιμο αγαθό και για τον λόγο αυτό, πρέπει να ελέγχεται αυστηρά, όσον αφορά την ποιότητά του. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει θεσπίσει οριακές τιμές για την προστασία της ποιότητας του νερού. διότι αφορά την δημόσια υγεία. Τα χαρακτηριστικά του νερού ταξινομούνται σε (Τσακίρης και Αλεξάκης 2010):

- οργανοληπτικές παραμέτρους: χρώμα, θολερότητα, γεύση, οσμή
- χημικές παραμέτρους: θερμοκρασία, ενεργός οξύτητα (p H), ηλεκτρική αγωγιμότητα, αλκαλικότητα, σκληρότητα, στερεά, ανόργανες παράμετροι (άζωτο ,αργίλιο, αρσενικό κλπ.) και οργανικές παράμετροι (διοξίνες, υδρογονάνθρακες, χλωροφαινόλες, φαινόλες, κλπ.)
- μικροβιολογικές παραμέτρους: ιοί, βακτήρια, μύκητες, φύκια, πρωτόζωα.

Για τον επαρκή και ασφαλή έλεγχο του νερού, η νομοθεσία καθορίζει πρωτίστως τη συχνότητα και τη μεθοδολογία της δειγματοληψίας, όπως επίσης και την παρακολούθηση των ποιοτικών παραμέτρων στην πηγή και στο δίκτυο ύδρευσης. Η ποιότητα του νερού οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, όπως είναι:

- η πηγή προέλευσής του
- η διέλευση του νερού στο δίκτυο
- η επεξεργασία του νερού λόγω προσθήκης χημικών
- η ποιότητα του νερού επιδεινώνεται και σε συνάρτηση με τον χρόνο παροχής, λόγω της ρύπανσης από την εσωτερική επιφάνεια των αγωγών

(π.χ. συσσωρευμένα ιζήματα λόγω χαμηλής παροχής, ή προϊόντα διάβρωσης και βιομεμβράνες, λόγω μικροοργανισμών και βιοδιασπώμενων οργανικών ουσιών

- όταν υπάρχουν περιπτώσεις διακοπτόμενης παροχής νερού στα δίκτυα ύδρευσης

Οι βασικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν το πόσιμο νερό είναι:

- να είναι άοσμο
- να είναι άχρωμο
- να είναι καθαρό
- να είναι δροσερό
- να μην περιέχει παθογόνα μικρόβια, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν ενδημικές ή επιδημικές ασθένειες.

Στα δίκτυα ύδρευσης, οποιοδήποτε σημείο διαφυγής του νερού, αποτελεί σημείο κατανάλωσης ή ζήτησης νερού. Στα σημεία αυτά το νερό διαφεύγει είτε για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών, είτε ως απώλεια. Η συνολική κατανάλωση νερού σε ένα δίκτυο ύδρευσης, αποτελεί ίσως το βασικότερο παράγοντα για την υδραυλική επίλυσή του.

Οι υδατικές χρήσεις ποικίλλουν σε ένα οικισμό. Η κατανάλωση περιλαμβάνει τις εξής χρήσεις:

- οικιακή χρήση (οι χρήσεις των κατοικιών)
- εμπορική και βιομηχανική χρήση (οι χρήσεις καταστημάτων και βιομηχανιών)
- γεωργοκτηνοτροφική χρήση (άρδευση και ανάγκες κτηνοτροφικών μονάδων)
- δημόσια και δημοτική χρήση (οι χρήσεις στα δημόσια κτήρια)
- απώλειες (οι απώλειες λόγω διαφόρων παραγόντων ενός δικτύου και δεν χρεώνονται σε καταναλωτές)

6.2. Μονάδα μέτρησης της κατανάλωσης

Οι τιμές κατανάλωσης παρουσιάζουν συχνά σημαντικές και διαφορετικές διακυμάνσεις από οικισμό σε οικισμό, λόγω της ζήτησης και λόγω των απωλειών, οι οποίες επηρεάζονται ανάλογα, από τις τοπικές συνθήκες και από άλλες παραμέτρους
λειτουργίας, όπως είναι:

- Την ηλικία του δικτύου
- Την συντήρηση του δικτύου
- Την ποιότητα κατασκευής των οικιακών εγκαταστάσεων
- Την ακρίβεια των συστημάτων μέτρησης των παροχών
- Την έκταση τυχόν παρανόμων παροχών ή υδροληψιών χωρίς υδρομετρητή
- Το εφαρμοζόμενο σύστημα τιμολόγησης
- Τις πολιτιστικές συνήθειες και οι οικονομικές δυνατότητες των καταναλωτών
- Το τεχνολογικό επίπεδο βιομηχανικής παραγωγής
- Την διαθεσιμότητα υδατικών πόρων

Καταλήγοντας, η εκτίμηση και η αξιολόγηση των υδρευτικών αναγκών ενός οικισμού, απαιτεί λεπτομερή ανάλυση, με παράλληλη αξιολόγηση των τοπικών συνθηκών και ειδικών λειτουργικών παραμέτρων, όπως είναι οι προαναφερθείσες. Μια μονάδα μέτρησης της κατανάλωσης νερού είναι η ανά κάτοικο μέση ημερήσια κατανάλωση (mean QH) ή ατομική κατανάλωση, η οποία εκφράζει τον όγκο του νερού που αντιστοιχεί σε κάθε κάτοικο μιας περιοχής κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου. Προκύπτει από την διαίρεση του καταναλισκόμενου νερού μιας πόλης κατά τη διάρκεια ενός χρόνου, δια του αντίστοιχου αριθμού των κατοίκων. Εκφράζεται σε λίτρα (L) ανά κάτοικο ανά ημέρα και αποτελεί βασικό μέγεθος, μιας και οι χρονικές διακυμάνσεις της κατανάλωσης εκφράζονται ως συνάρτηση αυτής. Είναι γνωστό ότι η ανά κάτοικο μέση ημερήσια κατανάλωση περιλαμβάνει ποσοστά

οικιακής, βιομηχανικής και δημόσιας κατανάλωσης, όπως επίσης και ένα ποσοστό απωλειών. Αξίζει δε να σημειωθεί ότι τα μεγέθη της κατανάλωσης προσεγγίζονται στατιστικά, αποτελούν, δηλαδή ενδεικτικές «μέσες» τιμές.

Όταν γίνεται αναφορά στην ανά κάτοικο οικιακή κατανάλωση, εννοείται η κατανάλωση του νερού που χρησιμοποιεί ένας άνθρωπος κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου. Σύμφωνα με έκθεση της UNESCO, η κατανάλωση νερού στις μεγάλες πόλεις υπολογίζεται σε 300 – 600 L ανά άτομο ανά ημέρα, ενώ στις μικρές πόλεις σε 100 – 150 L. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες, οι οποίοι συμβάλλουν στη διαφοροποίηση της ζήτησης από χώρα σε χώρα , από πόλη σε πόλη αλλά και από οικισμό σε οικισμό ποικίλουν. Ορισμένοι από αυτούς είναι:

- Η διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων της κάθε περιοχής
- Οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν
- Η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το δίκτυο ύδρευσης
- Ο βαθμός συντήρησης του δικτύου ύδρευσης
- Οι καθημερινές συνήθειες των κατοίκων της περιοχής
- Ο βαθμός ευαισθητοποίησης των κατοίκων, σε πιθανή έλλειψη νερού

6.3. Διακύμανση της κατανάλωσης

Όπως προαναφέρθηκε, η κατανάλωση νερού στα δίκτυα διανομής δεν είναι σταθερή, αλλά παρουσιάζει ετησίως και ημερησίως διάφορες διακυμάνσεις, των οποίων το εύρος εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες, που επικρατούν σε κάθε οικισμό. Οι διακυμάνσεις αυτές, σε σχέση με το χρόνο, διαχωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1) Ημερήσια διακύμανση της κατανάλωσης: Είναι η μεταβολή της κατανάλωσης κατά τη διάρκεια της μέρας, η οποία οφείλεται στις καθημερινές συνήθειες και δραστηριότητες των καταναλωτών.
2) Εβδομαδιαία διακύμανση της κατανάλωσης: Η κατανάλωση μιας υδροδοτούμενης περιοχής διαφέρει τις ημέρες της εβδομάδας. Οι

μεταβολές γίνονται εντονότερες όσο αυξάνεται το εύρος της υδροδοτούμενης περιοχής και όσο αυξάνεται το ποσοστό της βιομηχανικής και βιοτεχνικής κατανάλωσης. Συνήθως η κατανάλωση είναι μικρότερη τις μη εργάσιμες ημέρες.

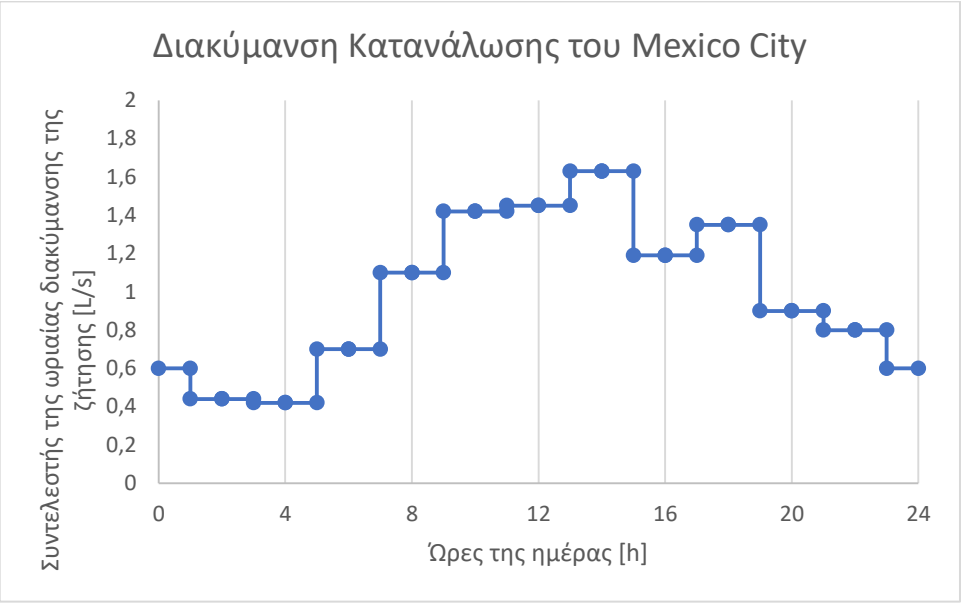
3) Μηνιαία διακύμανση της κατανάλωσης: Είναι η μεταβολή της κατανάλωσης που σημειώνεται ανά μήνα, στην διάρκεια ενός έτους.
4) Εποχιακή διακύμανση της κατανάλωσης: Είναι η μεταβολή της κατανάλωσης η οποία οφείλεται κυρίως στην αύξηση του τουριστικού κλάδου και η οποία παρατηρείται ορισμένες εποχές του χρόνου. Για παράδειγμα, η κατανάλωση νερού κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του χειμώνα, λόγω του τουρισμού.
5) Μακροπρόθεσμη διακύμανση της κατανάλωσης: Είναι η μελλοντική μεταβολή της κατανάλωσης, η οποία οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως, η πιθανή μελλοντική αύξηση του πληθυσμού, η περαιτέρω ανάπτυξη της βιομηχανίας και βιοτεχνίας, οι κλιματικές αλλαγές, η αλλαγή του βιοτικού επιπέδου των καταναλωτών, η αύξηση ή η μείωση του μη κοστολογημένου νερού κ.τ.λ.

Η μέγιστη ημερήσια και η μέγιστη ωριαία κατανάλωση, αποτελούν τις σημαντικότερες παραμέτρους για το δίκτυο και εκφράζονται με την χρήση κάποιων συντελεστών, οι οποίοι ονομάζονται πολλαπλασιαστές της ζήτησης. Πρώτα όμως, πρέπει να σημειωθεί, ότι οι εποχιακές διακυμάνσεις συναρτώνται κυρίως με το κλίμα, και προσδιορίζουν την μέγιστη ημερήσια κατανάλωση (max QH) και τη μέγιστη μηνιαία κατανάλωση, ενώ μέσα σε ένα 24ώρο, λόγω της χρήσης, η ζήτηση εμφανίζεται μεγαλύτερη ορισμένες ώρες της ημέρας, διαμορφώνοντας τη μέγιστη ωριαία κατανάλωση (max QΩ) και σημαντικά μειωμένη κατά τις νυκτερινές.

6.4. Λογισμικά προγράμματα διακύμανσης κατανάλωσης.

Κάθε δίκτυο ύδρευσης μπορεί να επιλυθεί, μέσω λογισμικών προγραμμάτων, είτε με σταθερή κατανάλωση στους κόμβους, όπου γίνεται έλεγχος για τη δυσμενέστερη

κατανάλωση (steady – state simulation), είτε σε διακριτά χρονικά βήματα, θεωρώντας χρονικά μεταβαλλόμενη κατανάλωση (extended – period simulation). Κατά την προσομοίωση χρονικά μεταβαλλόμενης κατάστασης ένα λογισμικό πρόγραμμα, εκτός από τα βασικά δεδομένα, που αφορούν την κατανάλωση σε κάθε κόμβο, απαιτεί επιπλέον πληροφορίες για τον τρόπο με τον οποίο η κατανάλωση μεταβάλλεται στο χρόνο.



Εικόνα 6-1:Διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης της κατανάλωσης δικτύου

Τα προγράμματα αυτά για να εκφράσουν τη διακύμανση της κατανάλωσης στο χρόνο, χρησιμοποιούν μια σειρά συντελεστών που ονομάζονται πολλαπλασιαστές της ζήτησης. Οι πολλαπλασιαστές αυτοί προκύπτουν από το λόγο της κατανάλωσης την χρονική στιγμή i προς κάποια κατανάλωση που ο χρήστης έχει ορίσει. Η κατανάλωση που θα ορίσει ο χρήστης μπορεί να είναι η μέση ημερήσια κατανάλωση, η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση ή η μέγιστη ωριαία κατανάλωση:

$$\lambda_i = Q_i / Q_{\beta\acute{\alpha}\sigma\eta\varsigma} \tag{6.1}$$

Όπου:

λ_i: συντελεστής διακύμανσης της κατανάλωσης

Q_i: Η κατανάλωση την χρονική στιγμή i.

$Q_{βάσης}$: Η κατανάλωση που επιλέγεται ως κατανάλωση βάσης

Δυστυχώς, όμως δεν υπάρχουν συγκεκριμένα μαθηματικά μοντέλα που να περιγράφουν τις μεταβολές της κατανάλωσης σε σχέση με το χρόνο, για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται κάποια άλλα μοντέλα, που ονομάζονται στοχαστικά μοντέλα, τα οποία, βασίζονται σε μετρήσεις και στατιστικά στοιχεία. Τα μοντέλα αυτά περιγράφουν τη διακύμανση της κατανάλωσης, βάση κάποιου χρονικού βήματος. Τα χρονικά βήματα που χρησιμοποιούνται δεν πρέπει να είναι πολύ μικρά, γιατί είναι πιθανόν να παρουσιαστούν λάθη, ως προς το ύψος στάθμης της δεξαμενής και κατ' επέκταση λάθη και στους υπολογισμούς της κατανάλωσης. Το σύνηθες χρονικό βήμα που επιλέγεται για την μελέτη της διακύμανσης της κατανάλωσης είναι αυτό της μίας ώρας (1h). Μικρότερα χρονικά βήματα χρησιμοποιούνται μόνο όταν το ύψος στάθμης της δεξαμενής αλλάζει ραγδαία.

7. Κεφάλαιο : Μέθοδοι Επίλυσης Κλειστών Δικτύων

7.1. Γενικά

Η επίλυση των δικτύων ουσιαστικά είναι ο προσδιορισμός των τιμών της παροχής, της ταχύτητας και της απώλειας φορτίου κατά μήκος κάθε κλειστού υπό πίεση αγωγού του δικτύου, βασισμένη στις αρχές της υδραυλικής. Με την επίλυση των δικτύων ύδρευσης, γίνεται γνωστή η τιμή της ποσότητας του νερού που διανέμεται μέσω κάθε αγωγού, ενώ ταυτόχρονα γίνεται γνωστό υπό ποιες συνθήκες κινείται το νερό και κατά πόσο επηρεάζεται η ανάπτυξη των πιέσεων σε όλα τα σημεία του δικτύου. Συνεπώς, είναι απαραίτητη σε όλα τα στάδια του σχεδιασμού των δικτύων ύδρευσης, είτε πρόκειται για το προκατασκευαστικό στάδιο, είτε κατά το στάδιο της επέκτασης, είτε κατά το στάδιο της επιδιόρθωσης ή βελτιστοποίησης. Βασικός στόχος είναι η επιλογή της βέλτιστης διαδρομής των αγωγών, έτσι ώστε να ικανοποιούνται, όσο το δυνατόν περισσότερο, οι ανάγκες των καταναλωτών και η βέλτιστη επιλογή διαμέτρων υλικού και αντοχής των αγωγών.

Κατά καιρούς, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι για την επίλυση κλειστών δικτύων, με τις βασικότερες πιο δημοφιλείς να είναι τρεις:

- Μέθοδος Q-Cross
- Μέθοδος Newton – Raphson
- Γραμμική μέθοδος

Οι τρεις αυτές μέθοδοι θα αναλυθούν στην παρούσα διπλωματική, καθώς αποτελούν το θεμέλιο για την μέθοδο που χρησιμοποιεί το EPANET τώρα, την Gradient, η οποία αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο.

7.2. Μέθοδος Q-Cross

Η μέθοδος αυτή πήρε το όνομά της, το 1938, από τον Αμερικανό πολιτικό μηχανικό Hardy Cross. Παρόλο που είναι η παλαιότερη και η πιο χρησιμοποιημένη επαναληπτική μέθοδος υπολογισμού παροχών, ο προγραμματισμός της σε ηλεκτρονικό περιβάλλον είναι πιο δύσκολος και λιγότερο αποτελεσματικός από άλλες μεθόδους. Η επίλυσή της στηρίζεται στις ΔQ – εξισώσεις, με στόχο τον υπολογισμό των διορθωτικών παροχών ($\Delta Q_1, \Delta Q_2, \ldots, \Delta Q_L$) των (L) βρόχων του δικτύου. Αυτό το επιχειρεί, υπολογίζοντας την διορθωτική παροχή κάθε βρόχου χωριστά και όχι με την επίλυση συστήματος εξισώσεων ενέργειας (Jeppson 1976).

Άρα, για τον πρώτο βρόχο του δικτύου είναι απαραίτητη η επιλογή αρχικών τιμών για τις παροχές των κλάδων ($Q_i^{\,a}$). Η επιλογή τους γίνεται αυθαιρέτως, με μοναδική προϋπόθεση να ικανοποιείται η αρχή συνέχειας παροχών σε κάθε κόμβο ($\Sigma Q_{in} = Q_{out}$). Προσδιορίζοντας θετική φορά κίνησης του νερού μέσα στο βρόχο και υποθέτοντας φορά κίνησης σε κάθε κλάδο, οι παραπάνω παροχές προσημαίνονται κατάλληλα όσες ακολουθούν τη θετική φορά παίρνουν το πρόσημο «+» και όσες την αρνητική το πρόσημο «-» (Τσακίρης 2010). Η διαφορά των πραγματικών παροχών των κλάδων και των αρχικών θεωρηθεισών παροχών είναι μια ποσότητα ΔQ_1 η οποία ονομάζεται διορθωτική παροχή και εκφράζεται με τη σχέση:

$$Q_i = Q_i^{\alpha} + \Delta Q_1 \qquad (7.1)$$

Η τιμή της διορθωτική παροχής υπολογίζεται σχηματίζοντας τις εξισώσεις ενέργειας βρόχου:

$$\sum_{i=1}^{N_1} hf = 0 \qquad (7.2) \qquad \text{ή} \qquad \sum_{i=1}^{N_1} R_i Q_i^n \qquad (7.3)$$

(Όπου N_1 : ο αριθμός κλάδων του πρώτου βρόχου)

Αν όπου Q_i τεθεί $Q_{i0} + \Delta Q$ η παραπάνω σχέση μετατρέπεται σε :

$$\sum_{i=1}^{N_1} R_i(Q_i^a + \Delta Q_1)^n \qquad (7.4)$$

Αναπτύσσοντας το παραπάνω διώνυμο αυτό γίνεται :

$$\sum_{i=1}^{N_1} R_i(Q_i^a)^n + \sum_{i=1}^{N_1} nR_i(Q_i^a)^{n-1}\Delta Q_1 \frac{n-1}{2}\sum_{i=1}^{N_1} n\, R_i(Q_i^a)^{n-2}\Delta Q_1^2 + \cdots = 0$$

(7.5)

Αγνοώντας τους όρους δεύτερης και μεγαλύτερης τάξης, μιας και ΔQ1<<Qi και επιλύοντας ως προς ΔQ η σχέση που δίνει τη διορθωτική παροχή είναι :

$$\Delta Q_1 = -\frac{\Sigma_{i=1}^{N_1} R_i(Q_i^a)^n}{\sum_{i=1}^{N_1}\left|nR_i(Q_i^a)^{n-1}\right|} \qquad (7.6)$$

Η ποσότητα $\sum_{i=1}^{N_1} R_i(Q_i^a)^n$ είναι το αλγεβρικό άθροισμα των υψών απωλειών ενέργειας, όπου το πρόσημό τους καθορίζεται από τη φορά της παροχής, γι' αυτό και οι τιμές των αρχικών παροχών πρέπει να εισαχθούν με το πρόσημο που υποδεικνύει η φορά τους. Χρησιμοποιώντας την τιμή 2 για τον συντελεστή «n» της εξίσωσης 6.6 για την εξίσωση απωλειών των Darcy-Weisbach, η σχέση της διορθωτικής παροχής γίνεται :

$$\Delta Q_1 = -\frac{\Sigma_{i=1}^{N_1} R_i(Q_i^a)^2}{\sum_{i=1}^{N_1}\left|2R_i(Q_i^a)^1\right|} \qquad (7.7)$$

Η διορθωτική παροχή που υπολογίζεται προστίθεται στις αρχικές θεωρηθείσες παροχές. Οι νέες παροχές που προκύπτουν (Qi'), όμως, δεν είναι και οι τελικές πραγματικές παροχές των κλάδων, γιατί από το διώνυμο της εξίσωσης ενέργειας βρόχου έχουν χρησιμοποιηθεί μόνο οι δύο πρώτοι όροι, για αυτό η διαδικασία

πρέπει να επαναληφθεί από την αρχή με αρχικές παροχές αυτή τη φορά, αυτές που προέκυψαν μετά την πρόσθεση της διορθωτικής παροχής. Όταν μετά το πέρας ενός αριθμού επαναλήψεων η ποσότητα ΔQ τείνει να μηδενιστεί (|ΔQ|≤0.000001 m3/s), τότε οι παροχές που θα υπολογιστούν θα είναι οι πραγματικές και θα ικανοποιείται η αρχή διατήρησης ενέργειας στο βρόχο. Εάν το πρόσημο των παροχών έχει διατηρηθεί όπως στην αρχική υπόθεση, τότε συμπεραίνεται, ότι αυτή είναι και η φορά κίνησης του νερού μέσα στους κλάδους. Εάν όχι, τότε το νερό θα ακολουθεί την αντίστροφη φορά.

Ακριβώς, η ίδια διαδικασία θα ακολουθηθεί για όλους τους βρόχους του δικτύου. Οι κλάδοι βέβαια που ανήκουν σε δύο βρόχους, πρέπει να δεχθούν τις διορθωτικές παροχές και από τους δύο.

Αυτό γίνεται με δύο τρόπους, είτε το αποτέλεσμα τις διορθωμένης κάθε φορά, παροχής στον έναν βρόχο θεωρείται ως αρχική παροχή του άλλου , είτε στην αρχική παροχή, προστίθενται και οι δύο διορθωτικές παροχές και το αποτέλεσμα χρησιμοποιείται από κοινού και για τους δυο βρόχους.

Συνοπτικά τα βήματα της μεθόδου :

1. Ορίζεται θετική φορά βρόχων (σύμφωνα με τους δείκτες του ρολογιού), για τον πρώτο βρόχο επιλέγονται τυχαίες κατευθύνσεις των παροχών στους κλάδους και θεωρούνται αυθαίρετες παροχές κλάδων με τρόπο που να ικανοποιούν τις εξισώσεις συνέχειας των κόμβων. Κάθε μία από αυτές παίρνει το πρόσημο που ακολουθεί η φορά της.

2. Προσδιορίζονται τα παρακάτω μεγέθη για κάθε κλάδο:

Αριθμός Reynolds: $R_e = \frac{\nu\, D}{V} = \frac{4\, Q}{\Pi\, D^2}$ (7.8)

Συντελεστής τριβής *f* κατά Swamee and Jain:

$$f = \frac{0.25}{\left[log\left(\frac{5.74}{R_e^{0.9}} + \frac{\frac{k}{D}}{3.7}\right)\right]^2} \quad (7.9)$$

Αντίσταση αγωγού κατά Darcy-Weisbach:

$$R = \frac{8fL}{g\,\pi^2\,D_5} \tag{7.10}$$

Ύψος απωλειών ενέργειας κατά Darcy-Weisbach : $h_f = RQ|Q|$ (7.11)

3. Κατασκευάζεται το άθροισμα των απωλειών ενέργειας κατά μήκος του κάθε βρόχου και υπολογίζεται η διορθωτική παροχή του από τη σχέση :

$$\Delta Q_i = -\frac{\Sigma_{i=1}^{N_1} R_i \left(Q_i^a\right)^2}{\sum_{i=1}^{N_1} \left|2R_i \left(Q_i^a\right)^1\right|} \tag{7.12}$$

4. Η διορθωτική παροχή ΔQ_i προστίθεται στις αρχικές παροχές και υπολογίζονται οι νέες τιμές των παροχών για τον πρώτο βρόχο.

$$Q_i = Q_i^a + \Delta Q \tag{7.13}$$

5. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται από την αρχή μέχρι όλες οι διορθωτικές παροχές $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \ldots, \Delta Q_L$ να τείνουν στο μηδέν ($\Delta Q_L \leq 0.000001$ m^3/s). (Τσακίρης, 2010) Όμοια με τη μέθοδο Q–Cross αναπτύχθηκε η επαναληπτική μέθοδος σειριακής επίλυσης από κόμβο σε κόμβο με βάση τις Η- εξισώσεις. Κατά τα γνωστά η παροχή ενός κλάδου έστω (k-m) με βάση την εκθετική εξίσωση των απωλειών προσδιορίζεται με βάση τη πιεζομετρική γραμμή και την αντίσταση:

$$Q_{k,m} = \left(\frac{h_k - h_m}{R_{k,m}}\right)^{1/n} = R_{k,m}^{-1/n}(h_k - h_m)^{1/n} \tag{7.14}$$

Στην εξίσωση συνέχειας για κάθε κόμβο m, θεωρείται ότι έχει θετική φορά η παροχή που συμβάλλει στον κόμβο αυτό και αρνητική αυτή που αποκλίνει. Έτσι η εξίσωση 7.14 γράφεται:

$$Q_{k,m} = R_{k,m}^{-1/n}(h_k - h_m)|h_k - h_m|^{(1/n)-1} \tag{7.15}$$

Έτσι η εξίσωση συνέχειας στον κόμβο m εκφρασμένη ως συνάρτηση εξισωμένη με το μηδέν είναι:

$$F_m = \sum_k^{K(m)} R_{k,m}\,(h_k - h_m)|h_k - h_m|^{(1/n)-1} - q_m = 0 \;\; \forall\, m \in (M\text{-}1) \qquad (7.16)$$

Όπου:

- M είναι το σύνολο των κόμβων του δικτύου
- k(m) το σύνολο των κόμβων που συμβάλουν στον τυχαίο κόμβο m
- q_m η παροχή κατανάλωσης στον κόμβο m

Στη μέθοδο H – Cross προσδιορίζεται η διορθωτική τιμή του ύψους της πιεζομετρικής γραμμής για τον κόμβο m. Σύμφωνα με τη σχέση 6.16 αγνοώντας την διαφορική επίδραση των υψών πιεζομετρικής γραμμής των άλλων κόμβων που συμβάλλουν στον κόμβο m (θεωρείται ότι η μοναδική συνάρτηση της Fm είναι το ύψος της πιεζομετρικής γραμμής στον κόμβο m, h_m) είναι δυνατόν να προσδιορισθεί η τιμή του ύψους πιεζομετρικής γραμμής στον κόμβο m, Δh_m:

$$\Delta h_m = -\frac{F_m}{\left.\frac{dFm}{dHm}\right|k} \qquad (7.17)$$

ή

$$\Delta h_m = \Sigma_i^{I(m)} R_{k,m}{}^{-\frac{1}{n}}(h_k - h_m)|h_k - h_m|^{(1n)-1} - q_m \,/\Sigma_i{}^{I(m)} \frac{1}{n}\, R_{k,m}{}^{-\frac{1}{n}}||h_k - h_m|^{(1n)-1} \qquad (7.18)$$

Επίσης, η τιμή του ύψους πιεζομετρικής γραμμής στον κόμβο m μπορεί να προσδιοριστεί ως συνάρτηση των παροχών:

$$\Delta h_m = \frac{\sum_i^{I(m)} Q_{k,m} - q_m}{\sum_i^{I(m)} \frac{1}{n}\left|\frac{Q_i}{\Delta h_{f,i}}\right|} = \frac{\sum_i^{I(m)} Q_{k,m} - q_m}{\frac{1}{n}\Sigma_i^{I(w)}\left|Qi\frac{1}{\left(Q_i^n R_i\right)}\right|} = \frac{\sum_i^{I(m)} Q_{k,m} - q_m}{\frac{1}{n}\Sigma_i^{I(m)}\left|R_i^{-1} Q_i^{1-n}\right|} \qquad (7.19)$$

Όπου:

- i είναι ο κλάδος που ορίζεται από τους κόμβους k και m

- I(m) είναι το σύνολο των αγωγών I που συμβάλλουν στον κόμβο m
- ο όρος $Q_{k,m}$ αναφέρεται στον προσδιορισμό της παροχής με το πρόσημο της όπως ήδη αναφέρθηκε.

Παρόλα αυτά, όταν ακολουθείται η μέθοδος των Darcy-Weisbach για τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών, τότε ο συντελεστής τριβής και η αντίσταση R εξαρτάται από τον αριθμό Re και κατ' επέκταση από την παροχή. Αυτό δυσκολεύει την επίλυση του δικτύου, καθώς θα πρέπει πρώτα να γίνει ο υπολογισμός της παροχής των κλάδων και έπειτα της αντίστασης R.

Για την αποφυγή της επαναληπτικής διαδικασίας εύρεσης της παροχής με βάση τα ύψη πιεζομετρικής γραμμής, προσδιορίζονται οι γραμμικές απώλειες με βάση τη πιεζομετρική γραμμής (Τσακίρης 2010) και κατόπιν με τη χρήση της παρακάτω προτεινόμενης ρητής εξίσωσης που ισχύει για τυρβώδη ροή, προσδιορίζεται η ταχύτητα του κλάδου I :

$$V_i = -2\sqrt{\frac{2\,g\,|\Delta h_{f,i}|\,D_i}{L_i}}\,log\left(\frac{k}{3.7\,D_i} + \frac{2.51\,\nu}{D_i}\sqrt{\frac{L_i}{2\,g\,|\Delta h_{f,i}|\,D_i}}\right) \qquad (7.20)$$

οπότε η παροχή θα είναι :

$$Q_i = \frac{\pi D_i^2}{4} V_i \qquad (7.21)$$

Όσον αφορά στην περίπτωση, όπου η ροή δεν είναι τυρβώδης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παρακάτω εξίσωση με μέγιστο σφάλμα κατά τους (Swamee and Jain 2008) το 0.1% :

$$Q_i = D_i^2 \sqrt{\frac{g|\Delta h_{f,i}|D_i}{L_i}} \left\{ \left(\frac{128\nu}{\pi D_i \sqrt{\frac{g|\Delta h_{f,i}|D_i}{L_i}}} \right) 4 + 1.153 \left[\left(\frac{415\nu}{D_i \sqrt{\frac{g|\Delta h_{f,i}|D_i}{L_i}}} \right) 8 - ln \left(\frac{k}{3.7D_i} + \frac{1775\nu}{D_i \sqrt{\frac{g|\Delta h_{f,i}|D_i}{L_i}}} \right) \right] - 4 \right\} - 0{,}25 \quad (7.22)$$

Επομένως, ακολουθώντας τη μέθοδο των Darcy-Weisbach για τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών η διορθωτική τιμή του ύψους της πιεζομετρικής γραμμής για τον κόμβο m θα είναι:

$$\Delta h_m = 2 \frac{\sum_i^{I(m)} Q_{k-m} - q_m}{\Sigma_i^{I(m)} \frac{1}{|Q_i R_i|}} \quad (7.23)$$

όπου $\Delta h_{f,i} = h_k - h_m$ οι γραμμικές απώλειες του κλάδου i που ορίζεται από τους κόμβους k,m

Συνοπτικά τα βήματα της μεθόδου:

1. Θεωρούνται αυθαίρετα τα ύψη της πιεζομετρικής γραμμής στους κόμβους του δικτύου.
2. Προσδιορίζονται οι παροχές στους κλάδους με βάση τα ύψη της πιεζομετρική γραμμής από την εξίσωση:

   $$Q = -\frac{\pi D^2}{2} \sqrt{\frac{2g|\Delta h_{f,i}|D}{L_i}} log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51\nu}{D} \sqrt{\frac{L_i}{2g|\Delta h_{f,i}|D}} \right) \quad (7.24)$$

3. Με γνωστές τις αρχικές παροχές των κλάδων προσδιορίζεται η αντίσταση των κλάδων (7.10)

   με συντελεστή τριβής f κατά Swamee & Jain (7.9)

όπου αριθμός Reynolds (7.8)

4. Εφαρμόζοντας την εξίσωση μάζας σε κάθε κόμβο προσδιορίζω τη Δh για κάθε κόμβο (7.23)

5. Διορθώνονται τα ύψη πιεζομετρικής γραμμής με βάση τα Δh:

$$h_m = h_{\alpha\rho\chi\iota\kappa\acute{o}} + \Delta h_m \qquad (7.25)$$

6. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται σειριακά από κόμβο σε κόμβο θέτοντας όμως τα πιεζομετρικά ύψη των διορθωμένων κόμβων κατά τους υπολογισμούς

7. Η διαδικασία τερματίζεται όταν ικανοποιηθούν τα κριτήρια σύγκλισης για όλους τους κόμβους (Τσακίρης 2010).

7.3. Μέθοδος Newton – Raphson

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τους Epp and Fowler (1970) και πήρε το όνομά της από το αλγόριθμο Newton – Raphson. Και εδώ χρησιμοποιούνται οι ΔQ – εξισώσεις, αλλά διαφοροποιείται από την μέθοδο Cross, στον υπολογισμό της τιμής της διορθωτικής παροχής ΔQ. Για την επίλυση χρησιμοποιεί την επίλυση του συστήματος των μη γραμμικών εξισώσεων ενέργειας σε κάθε βρόχο. Η γραμμικοποίηση των εξισώσεων γίνεται με την αλγόριθμο Newton – Raphson. Η μέθοδος Q-Cross αποτελεί υποπερίπτωση της μεθόδου αυτής. Το πλεονέκτημά της είναι ότι συγκλίνει πολύ γρήγορα στις πραγματικές τιμές των παροχών και για αυτό χρησιμοποιείται ευρέως. (Jeppson 1976, Dillingham 1967, Martin & Peters 1963, Shamir & Howard 1968).

Έχοντας θεωρήσει αυθαίρετες αρχικές τιμές παροχών των κλάδων, που να ικανοποιούν την αρχή συνέχειας παροχής στους κόμβους και με βάση την τυχαία κατεύθυνση του νερού στους κλάδους, σχηματίζονται τα αθροίσματα των απωλειών ενέργειας κάθε βρόχου. Έτσι αν ένα δίκτυο αποτελείται από L βρόχους,

κατασκευάζονται L εξισώσεις. Τονίζεται ότι, όταν η διορθωτική παροχή είναι ομόρροπη της παροχής του κλάδου προστίθεται σε αυτήν, ειδάλλως αφαιρείται. Έτσι για έναν οποιοδήποτε κόμβο l προκύπτει (Spiliotis and Tsakiris 2011):

$$\mathrm{F_L} = \Sigma^{i\in l(l)} \pm \mathrm{R_i}\,(\mathrm{Q_i}^{\mathrm{a}} \pm \Delta\mathrm{Q_I} \pm \Delta\mathrm{Q_M})^{\mathrm{n}} = 0, \forall \mathrm{I} \in \mathrm{L} \qquad (7.26)$$

Η οποία για την ενσωμάτωση οποιασδήποτε αλλαγής πρόσημου κατά τη διαδικασία των επαναληπτικών υπολογισμών γράφεται ισοδύναμα

$$\mathrm{F_L} = \Sigma^{\mathrm{i}\in\mathrm{l}(\mathrm{l})} \pm \mathrm{R_i}\,(\mathrm{Q_i}^{\mathrm{a}} \pm \Delta\mathrm{Q_I} \pm \Delta\mathrm{Q_M}|\mathrm{Q_i}^{\mathrm{a}} \pm \Delta\mathrm{Q_I} \pm \Delta\mathrm{Q_M}\,|^{\mathrm{n}-1} = 0, \mathrm{I} \neq \mathrm{M}, \forall \mathrm{I} \in \mathrm{L} \qquad (7.27)$$

Όπου M ο άλλος κόμβος όπου συμβάλει στον κλάδο i.

Έτσι με την μέθοδο Newton-Raphson οι L μη γραμμικές εξισώσεις θα επιλυθούν

$$F(x) = \begin{bmatrix} F(x)_1 \\ \vdots \\ F(x)_1 \\ \vdots \\ F(x)_L \end{bmatrix} = 0 \qquad (7.28)$$

Με βάση μία επαναληπτική διαδικασία. Αρχικά θεωρείται μία τιμή-διάνυσμα

$$x_k = \begin{bmatrix} (x)_1 \\ \vdots \\ (x)_1 \\ \vdots \\ (x)_L \end{bmatrix}_k \qquad (7.29)$$

είναι δυνατόν να προσδιοριστεί ένα νέο διάνυσμα xk+1 από όπου ξεκινάει η καινούρια επανάληψη που υπακούει την συνάρτηση F(xk+1) = 0 και υπακούει στην εξίσωση

$$(\mathrm{J}|_{\mathrm{x=xk}})(\mathrm{X_{k+1}} - \mathrm{X_k}) = -\mathrm{F}(\mathrm{X_k}) \qquad (7.30)$$

Με J η ιακωμβιανή μήτρα που έχει την μορφή:

$$J_k = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x_1} & \frac{\partial F_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial F_1}{\partial x_\iota} & \frac{\partial F_1}{\partial x_L} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial F_1}{\partial x_1} & \frac{\partial F_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial F_1}{\partial x_\iota} & \frac{\partial F_1}{\partial x_L} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial F_L}{\partial x_1} & \frac{\partial F_L}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial F_L}{\partial x_\iota} & \frac{\partial F_L}{\partial x_L} \end{bmatrix}_{x_{k=0}} \quad (7.31)$$

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι οι τιμές να συγκλίνουν σε ένα διάνυσμα x. Έτσι με την μέθοδο Newton-Raphson προσδιορίζονται μέσω των ΔQ εξισώσεων οι διορθωτικές παροχές ως εξής:

$$\Delta(\Delta Q_k) = \Delta Q_{k+1} - \Delta Q_k = \Delta Q_{k+1} \quad (7.32)$$

Θεωρώντας ότι ισχύει η εξίσωση ενέργειας για κάθε βρόγχο, και ότι αρχικά ΔQ_k=0 σύμφωνα με την σχέση 6.30, η οποία επιλύεται ως προς τις τιμές των διορθωτικών τιμών της παροχής προκύπτει:

$$\Delta Q_{k+1} = -\left(J_k{}^{-1}\right) * (F)_k |_{\Delta Qk=0} \quad (7.33)$$

Όπου η ιακωμβιανή μήτρα αυτή τη φορά θα είναι η ίδια με την 6.31, αλλά στον παρανομαστή αντί για x θα υπάρχουν οι αντίστοιχες διορθωτικές παροχές.

Σε αυτό το στάδιο προσδιορίζεται η παράγωγος της συνάρτησης F_I η οποία αναπαριστά την εξίσωση ενέργειας βρόγχου I ως προς τη διορθωτική παροχή του βρόγχου ΔQ_I και ΔQ_M

$$\frac{\partial F_1}{\partial \Delta Q_\iota} = \frac{\partial}{\partial \Delta Q_\iota}\left(\Sigma^{i \in I(l)} \pm R_i(Q_i{}^a \pm \Delta Q_I \pm \Delta Q_M)\left|Q_i{}^a \pm \Delta Q_I \pm \Delta Q_M\right|^{n-1}\right) =$$
$$\Sigma^{\iota \in I(l)} n R_i(|Q_i{}^a \pm \Delta Q_i \pm \Delta Q_M|)^{n-1}) \quad (7.34)$$

Και αντίστοιχα

$$\frac{\partial F_\iota}{\partial \Delta Q_M} = nR_\iota(|Q_i{}^a \pm \Delta Q_i \pm \Delta Q_M|)^{n-1}) \quad (7.35)$$

Προφανώς τα αποτελέσματα αυτά ακολουθούν ένα μοτίβο και όσο αυξάνεται η διορθωτική παροχή του βρόχου ΔQ_I, θα αυξάνονται οι παροχές που είναι ομόρροπες της διορθωτικής παροχής, ενώ οι αντίρροπες θα μειώνονται. Με αυτό

τον τρόπο θα αυξάνεται το άθροισμα των γραμμικών απωλειών, δηλαδή η συνάρτηση F_I. Με το τέλος της επίλυσης, σκοπός είναι η συνάρτηση αυτή να μηδενιστεί.

Τέλος σε αυτή τη μέθοδο συνηθίζεται να διορθώνονται οι αρχικές παροχές με βάση τις διορθωτικές παροχές του βρόγχου, δηλαδή στην καινούρια επανάληψη οι διορθωτικές παροχές δεν λαμβάνονται υπόψη ξανά. Έτσι, η μέθοδος αυτή προσδιορίζει τη διορθωτική παροχή και όχι μόνο τη διόρθωση της διορθωτικής παροχής. Τότε οι παράγωγοι είναι:

$$\frac{\partial F_\iota}{\partial \Delta Q_M}|_{\Delta QI=0,\Delta QM=0} = \Sigma^{i\in I(l)}|nR_i(Q_i{}^a)^{n-1}| \qquad (7.36)$$

$$\frac{\partial F_\iota}{\partial \Delta Q_M}|_{\Delta QI=0,\Delta QM=0} = -|nR_i(Q_i{}^a)^{n-1}| \qquad (7.37)$$

τα οποία είναι τα στοιχεία της κύριας διαγώνιου της ιακωμβιανής μήτρας.

Συνοπτικά τα βήματα της μεθόδου :

1. Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εξίσωσης συνέχειας παροχών στους κόμβους θεωρούνται αυθαίρετα οι αρχικές παροχές.
2. Με βάση τις τυχαίες κατευθύνσεις των παροχών σχηματίζονται οι εξισώσεις απωλειών ενέργειας κατά μήκος κάθε βρόχου, όπου η παροχή δέχεται θετικές τιμές και ορίζονται οι αντίστοιχες συναρτήσεις σύμφωνα με την εξίσωση των Darcy-Weisbach:
   $$F_I = \Sigma^{i\in I(l)} \pm R_i(Q_i{}^a \pm \Delta Q_I \pm \Delta Q_M)^2 = 0 \qquad (7.38)$$
3. Υπολογίζονται τα παρακάτω μεγέθη για κάθε κλάδο του δικτύου σύμφωνα με την εξίσωση των Darcy-Weisbach :
   - Αριθμός Reynolds (7.8)

- Συντελεστής τριβής f κατά Swamee & Jain (7.9)
- Αντίσταση αγωγού κατά Darcy-Weisbach (7.10)

4. Προσδιορίζονται οι παρακάτω πίνακες και η ιακωμβιανή μήτρα:

$$(F)_k = \begin{bmatrix} F_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ F_L \end{bmatrix}_k \qquad (7.39)$$

$$\mathrm{J_k} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathrm{F_1}}{\partial \Delta Q_1} & \frac{\partial \mathrm{F_1}}{\partial \Delta Q_2} & \cdots & \frac{\partial \mathrm{F_1}}{\partial \Delta Q_\iota} & \frac{\partial \mathrm{F_1}}{\partial \Delta Q_\mathrm{L}} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial \mathrm{F_1}}{\partial \Delta Q_1} & \frac{\partial \mathrm{F_1}}{\partial \Delta Q_2} & \cdots & \frac{\partial \mathrm{F_1}}{\partial \Delta Q_\iota} & \frac{\partial \mathrm{F_1}}{\partial \Delta Q_\mathrm{L}} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial \mathrm{F_L}}{\partial \Delta Q_1} & \frac{\partial \mathrm{F_L}}{\partial \Delta Q_2} & \cdots & \frac{\partial \mathrm{F_L}}{\partial \Delta Q_\iota} & \frac{\partial \mathrm{F_L}}{\partial \Delta Q_\mathrm{L}} \end{bmatrix}_{\Delta Q=0} \qquad (7.40)$$

$$\frac{\partial \mathrm{F_\iota}}{\partial \Delta \mathrm{Q_M}}\Big|_{\Delta \mathrm{QI}=0,\Delta \mathrm{QM}=0} = 2\,\Sigma^{\mathrm{i}\in \mathrm{I(l)}} |R_i {Q_i}^a| \qquad (7.41)$$

5. Θέτοντας τις διορθωτικές παροχές μηδέν προσδιορίζονται οι διορθωτικές τιμές των παροχών των κλάδων σύμφωνα με την εξίσωση:

   $$\Delta \mathrm{Q_{k+1}} = -\left(\mathrm{J_k}^{-1}\right) * (\mathrm{F})_\mathrm{k}|_{\Delta \mathrm{Qk}=0} \qquad (7.42)$$

   όπου $\Delta Q_{k+1} = \begin{bmatrix} \Delta Q_1 \\ \vdots \\ \Delta Q_L \end{bmatrix}_{k+1}$

   Οπότε με βάση το κριτήριο σύγκλισης διορθώνονται οι παροχές των κλάδων αρκεί να υπάρχει τουλάχιστον μία μη μηδενική σύμφωνα με τον τύπο:

   $$\mathrm{Q_i} = {\mathrm{Q_i}}^\mathrm{a} \pm \Delta \mathrm{Q_I} \pm \Delta \mathrm{Q_M} \qquad (7.43)$$

6. Διορθώνονται οι τιμές των παροχών με βάση τις διορθωτικές παροχές και επαναλαμβάνεται η διαδικασία. Η διαδικασία τερματίζεται όταν οι διορθωτικές παροχές τείνουν να μηδενιστούν (Τσακίρης 2010).

7.4. Γραμμική μέθοδος

Η μέθοδος αυτή, είναι γνωστή ως γραμμική μέθοδος και αναπτύχθηκε από τους D.J. Wood και C.O.A. Charles (Wood and Charles 1972). Τα πλεονεκτήματα που έχει σε σχέση με τις δύο προηγούμενες μέθοδοι, είναι πρώτον, ότι

προγραμματίζεται εύκολα σε περιβάλλον ηλεκτρονικού υπολογιστή και δεύτερον ότι για την έναρξη της διαδικασίας επίλυσης δεν χρειάζεται επιλογή αρχικών τιμών των παροχών σε κλάδους, αλλά μονό μια υπόθεση της κατεύθυνσης του νερού. Στην μέθοδο αυτή, χρησιμοποιούνται τα περισσότερα υπολογιστικά προγράμματα κατασκευής και επίλυσης δικτύων και δίνει έγκυρα αποτελέσματα ακόμα και σε πιο σύνθετα δίκτυα με χιλιάδες κλάδους (Jeppson 1976).

Η θεωρία και αυτής της μεθόδου βασίζεται στις Q-εξισώσεις και επιχειρεί να υπολογίσει τις παροχές των κλάδων, επιλύοντας τις εξισώσεις που προκύπτουν και από την αρχή συνέχειας παροχής των κόμβων και από την αρχή διατήρησης ενέργειας των βρόχων, ταυτόχρονα σε ένα κοινό σύστημα εξισώσεων. Με ορισμένη θετική φορά κίνησης νερού στους βρόχους και επιλεγμένη τυχαία κατεύθυνση παροχής νερού στους κλάδους του δικτύου, όταν αυτό αποτελείται από m κόμβους και από L βρόχους, κατασκευάζονται οι ακόλουθες εξισώσεις (Βαφειάδης 2008):

- m γραμμικές εξισώσεις συνέχειας της μορφής

από τις οποίες χρησιμοποιούνται οι m – 1 ανεξάρτητες που επιλέγονται τυχαία.

- L μη γραμμικές εξισώσεις ενέργειας της μορφής:

$$\sum_{i=1}^{N1} R_i {Q_i}^n = 0 \qquad (7.44)$$

$$\sum_{i=1}^{N2} R_i {Q_i}^n = 0 \qquad (7.45)$$

$$\sum_{i=1}^{NL} R_i {Q_i}^n = 0 \qquad (7.46)$$

(Όπου N_1, N_2,....., N_L: αριθμοί κλάδων των βρόχων 1,2,…,L αντίστοιχα)

Πιο αναλυτικά:

$$\pm R_1 {Q_1}^n \pm R_2 {Q_2}^n \pm \cdots \pm R_{N_1} {Q_{N_1}}^n = 0 \qquad (7.47)$$

$$\pm R_1 {Q_1}^n \pm R_2 {Q_2}^n \pm \cdots \pm R_{N_2} {Q_{N_2}}^n = 0 \quad (7.48)$$

$$\pm R_1 {Q_1}^n \pm R_2 {Q_2}^n \pm \cdots \pm R_{N_L} {Q_{N_L}}^n = 0 \quad (7.49)$$

(τα πρόσημα των απωλειών ενέργειας «$\pm$» καθορίζονται από την φορά της παροχής). Για να μετατραπούν οι L μη γραμμικές εξισώσεις σε γραμμικές, χρησιμοποιείται ένας παράγοντας γραμμικοποίησης α_i για κάθε κλάδο:

$$a_i = R_i |Q_i|^{n-i} \quad (7.50)$$

Εκτιμάται μια αυθαίρετη αρχική τιμή παροχής Q (0) ίδια για κάθε κλάδο, συνήθως αυτή των 1.00 m^3/s. Η τιμή του συντελεστή «n» προτείνεται να είναι κατά τους Darcy-Weisbach 2. Έτσι οι εξισώσεις ενέργειας μετατρέπονται σε

$$\pm \alpha_1 Q_1 \pm \alpha_2 Q_2 \pm \cdots \pm \pm \alpha_{N_1} Q_{N_1} = 0 \quad (7.51)$$

$$\pm \alpha_1 Q_1 \pm \alpha_2 Q_2 \pm \cdots \pm \pm \alpha_{N_2} Q_{N_2} = 0 \quad (7.52)$$

$$\pm \alpha_1 Q_1 \pm \alpha_2 Q_2 \pm \cdots \pm \pm \alpha_{N_L} Q_{N_L} = 0 \quad (7.53)$$

Συνεπώς, το σύστημα εξισώσεων που πρέπει να επιλυθεί και έχει ως αγνώστους τις τιμές των παροχών των κλάδων αποτελείται από (m-1)+L γραμμικές εξισώσεις.
Η επίλυσή του έχει ως αποτέλεσμα τιμές για τις παροχές κοντά στις πραγματικές Q (1), οι οποίες θα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό νέου παράγοντα γραμμικοποίησης και η διαδικασία θα επαναλαμβάνεται υπολογίζοντας νέες τιμές παροχών Q (2). Η μέθοδος πρέπει να επαναληφθεί τόσες φορές, έτσι ώστε να υπάρξει σύγκλιση των αποτελεσμάτων των παροχών. Σε αυτό το στάδιο παρατηρείται ότι μετά την ολοκλήρωση ορισμένων επαναλήψεων, τα αποτελέσματα της μεθόδου παρουσιάζουν μια διακύμανση γύρω από την πραγματική τιμή της παροχής.

Για να μπορεί να αποφευχθεί αυτό, προτείνεται η τιμή της παροχής που τίθεται σαν αρχική πριν από κάθε επανάληψη, να είναι ο μέσος όρος των δύο προηγούμενων τιμών :

$$Q_i(n) = \frac{Q_i(n-1)+Q_i(n-2)}{2} \quad (7.54)$$

Έτσι, όταν οι τιμές των παροχών που θα προκύπτουν μετά από κάθε επανάληψη θα είναι ίδιες, τότε αυτές θα είναι οι πραγματικές παροχές του δικτύου. Εάν το πρόσημο των παροχών παραμένει και μετά το τέλος της επίλυσης θετικό, τότε η φορά κίνησης του νερού μέσα στους κλάδους είναι αυτή της αρχικής υπόθεσης, αλλιώς το νερό ακολουθεί την αντίστροφη φορά.

Συνοπτικά τα βήματα της μεθόδου:

1. Ορίζεται θετική φορά κίνησης νερού στον βράχο και επιλέγονται τυχαίες κατευθύνσεις των παροχών στους κλάδους, για αυτές επιλέγεται κοινή αρχική τιμή (συνήθως χρησιμοποιείται η τιμή Q (0) = 1.00m^3/s
2. Προσδιορίζονται τα ακόλουθα μεγέθη για κάθε κλάδο του δικτύου:

   Αριθμός Reynolds (7.8)

3. Συντελεστής τριβής f κατά Swamee & Jain (7.9)

   Αντίσταση αγωγού κατά Darcy- Weisbach (7.10)

4. Σχηματίζονται L εξισώσεις ενέργειας, μια για κάθε βρόχο και m εξισώσεις συνέχειας, μια για κάθε κόμβο.
5. Υπολογίζεται ο παράγοντας γραμμικοποίησης α_i για κάθε κλάδο:

   $$\alpha_i = R_i|Q_i| \quad (7.55)$$

6. Μορφώνεται ένα γραμμικό σύστημα εξισώσεων από τις L ενεργειακές εξισώσεις και από m-1 εξισώσεις συνέχειας που έχει ως αγνώστους τις παροχές των κλάδων.
7. Από την επίλυση του συστήματος προκύπτουν οι νέες παροχές (Q(1)) οι οποίες χρησιμοποιούνται σαν αρχικές αντικαθιστώντας τις προηγούμενες θεωρητικές (Q(0)) και η διαδικασία επαναλαμβάνεται από την αρχή. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι νέες παροχές (Q(2)).
8. Οι επόμενες παροχές που εισέρχονται στις επαναληπτικές διαδικασίες προκύπτουν από το μέσο όρο των αμέσως δύο προηγούμενων παροχών:

$$Q_i(n) = \frac{Q_i\,(n-1) + Q_i\,(n-2)}{2} \qquad (7.56)$$

και η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν υπάρξει ικανοποιητική σύγκλιση των αποτελεσμάτων.

7.5. Μέθοδος Gradient

Η ανάλυση ενός συστήματος μεταφοράς νερού περιλαμβάνει τον ορισμό της ταχύτητας ροής στον κάθε αγωγό και το πιεζομετρικό φορτίο, τα οποία ικανοποιούν τις εξισώσεις συνέχειας και διατήρησης ενέργειας. Οι δύο αυτές εξισώσεις περιγράφονται παρακάτω:

<u>Εξίσωση Συνέχειας</u>: Το αλγεβρικό άθροισμα των παροχών στους αγωγούς που συναντιούνται σε ένα κόμβο μαζί με κάθε άλλη εξωτερική ροή είναι ίση με το μηδέν:

$$\Sigma_{I=1}^{I=NP(J)}\ Q_{IJ} - F_J = 0, J = 1, NJ \qquad (7.57)$$

Όπου:

- QIJ είναι η παροχή στον αγωγό IJ στον κόμβο J

- NP(J) ο αριθμός των αγωγών που συνδέονται στον κόμβο J
- FJ οι εξωτερικές ροές στον J
- NJ ο συνολικός αριθμός κόμβων στο δίκτυο

<u>Εξίσωση Διατήρησης ενέργειας</u>: Το αλγεβρικό άθροισμα της απώλειας πιεζομετρικών φορτίων στους αγωγούς, μαζί με κάθε φορτίο παραγόμενο από τις εσωτερικές ενισχυτικές αντλίες γύρω από κάθε κλειστό βρόγχο που σχηματίζεται από αγωγούς, είναι ίσο με μηδέν.

$$\Sigma_{I=1}^{I=NP(I)} h_{LIJ} - H_{m,IJ} = 0,\ I = 1, NJ \qquad (7.58)$$

Όπου:

- $h_{L,IJ}$ είναι η πιεζομετρική απώλεια στον αγωγό J του βρόγχου I
- $H_{m,IJ}$ είναι το μανομετρικό φορτίο παραγόμενο από μία αντλία στην γραμμή IJ.

Έστω ότι Z_f είναι το αληθινό υψόμετρο πιεζομετρικού φορτίου στο J, η απώλεια φορτίου σε κάθε αγωγό μπορεί να εκφραστεί ως η διαφορά μεταξύ Z_J και του πιεζομετρικού φορτίου της άλλης πλευράς.

Για παράδειγμα: $h_{L,AJ} = Z_A - Z_J$ (7.59)

Εκφράζοντας την απώλεια φορτίου με τη μορφή h= KQ2 , N τέτοιες εξισώσεις μπορούν να γραφτούν όπως οι παρακάτω (όπου N είναι ο αριθμός των αγωγών):

$$\begin{bmatrix} Z_A - Z_J \\ Z_B - Z_J \\ \vdots \\ Z_I - Z_J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (SIGN)K_{AJ}(|Q_{AJ}|)\hat{}\,2 \\ (SIGN)K_{BJ}(|Q_{BJ}|)\hat{}\,2 \\ \vdots \\ (SIGN)K_{IJ}(|Q_{IJ}|)\hat{}\,2 \end{bmatrix} \qquad (7.60)$$

Και γενικώς (SIGN) είναι + ή – σύμφωνα με το πρόσημο του (ZI - ZJ).Έτσι η ροή προς τον κόμβο είναι θετική και όταν απομακρύνεται είναι αρνητική.

Το K_{IJ} είναι η αντίσταση του αγωγού και αποτελείται από την απώλεια τριβής και τους συντελεστές μικρής απώλειας.

Η εξίσωση συνέχειας για τις παροχές στον J είναι

$$\Sigma_{Q_{IJ}} - F = Q_{AJ} + Q_{BJ} + Q_{CJ} + Q_{DJ} - F = 0 \qquad (7.61)$$

Η εξέταση των εξισώσεων 7.40 και 7.41, δείχνει ότι η ορθή τιμή του ZJ θα οδηγήσει σε τιμές του Q_{IJ} , υπολογισμένες από την εξίσωση (7.60), η οποία ικανοποιεί την εξίσωση (7.61).

Η αναδιάταξη της εξίσωσης (7.61), μας δίνει

$$[\mathrm{Q_{ij}}] = [(\mathrm{SIGN})(|\mathrm{Z_i} - \mathrm{Z_j}/\mathrm{K_{LJ}})^{1/2}] \qquad (7.62)$$

Η τιμή του Z_J μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας μία επαναληπτική μέθοδο η οποία κάνοντας αρχική εκτίμηση της Z_J , υπολογίζει τις απορροές των αγωγών από την εξίσωση (7.45) και ελέγχει τις συνθήκες συνέχειας στην εξίσωση (7.61).

Εάν (ΣQ_{IJ} – E)≠0 (με αποδεκτά όρια), μία διόρθωση ΔZ_J γίνεται στο Z_J και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι η εξίσωση (7.43) να ικανοποιείται εύλογα. Μία συστηματική διόρθωση για το ΔZ_J μπορεί να αναπτυχθεί: εκφράζοντας την απώλεια φορτίου κατά μήκος ενός αγωγού ως $h= KQ^2$, για ένα μικρό λάθος στον υπολογισμό του Z_J η διόρθωση του ΔZ_J ορίζεται ως

$$\Delta \mathrm{Z_J} = 2(\Sigma_{\mathrm{Q_{IJ}}} - \mathrm{F}/\Sigma_{\mathrm{Q_{IJ}}}/\mathrm{h_{IJ}} \qquad (7.63)$$

Η εκτίμηση του K_{IJ} για δίκτυα με πολλαπλά άγνωστα υψομετρικά φορτία κόμβων γίνεται:

$$\mathrm{K_{IJ}} = \frac{2\lambda}{2\mathrm{gDA^2}} + \frac{\mathrm{C_m}}{2\mathrm{gDA}} = (\mathrm{K_f} + \mathrm{K_m}) \qquad (7.64)$$

όπου

- C_m είναι το άθροισμα των σταθερών ελάχιστης απώλειας

- λ μπορεί να προσδιορισθεί από το διάγραμμα Moody, χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή ταχύτητας στον αγωγό 1 m/s.

Μία πιο κοντινή προσέγγιση στην ταχύτητα, γίνεται όταν υπολογίζεται η απορροή. Για την ανάλυση σε αυτόματο υπολογιστικό περιβάλλον, η εξίσωση (7.62) αντικαθίσταται από τον συνδυασμό του Darcy-Colerbrook-White:

$$Q = -2A\sqrt{\frac{2gDh_f}{L}}\,log\left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51v}{D}\sqrt{\frac{L_i}{2gDh_f/L}}\right) \qquad (7.65)$$

Για κάθε αγωγό, $h_{f,IJ}$ (απώλεια φορτίου τριβής) αρχικοποιείται σε $Z_I - Z_j$, το Q_{IJ} υπολογίζεται από την εξίσωση (7.42) και το $h_{f,IJ}$ υπολογίζεται πάλι από:

$$h_{f,IJ} = \left(Z_I - z_J\right) - K_m Q_{IJ}^2 \qquad (7.66)$$

Για τον ορισμό της μεθόδου gradient απαιτούνται επιπλέον οι ακόλουθοι διανυσματικοί και πινακοειδείς ορισμοί:

NT = αριθμός αγωγών στο δίκτυο

NN = αριθμός αγνώστων πιεζομετρικών φορτίων στους κόμβους

[A12] = «πίνακας συνδεσιμότητας» σχετική με κάθε ένα από τους κόμβους. Οι διαστάσεις του είναι NT x NN με δύο μη μηδενικά στοιχεία σε κάθε σειρά

-1 στην στήλη που αντιστοιχεί στον αρχικό κόμβο του αγωγού i

1 στην στήλη που αντιστοιχεί στον τελικό κόμβο του αγωγού i

NS = ο αριθμός των διορθωμένων φορτίων στους κόμβους

[A10] = τοπολογικός πίνακας: αγωγός προς κόμβο για τα NS διορθωμένα φορτία στους κόμβους.

Έτσι προκύπτει η απώλεια φορτίου σε κάθε ένα αγωγό μεταξύ δύο κόμβων η οποία είναι:

$$[\mathrm{A11}][\mathrm{Q}] + [\mathrm{A12}][\mathrm{H}] = -[\mathrm{A10}][\mathrm{H_0}] \qquad (7.67)$$

Όπου: [A11] = διαγώνιος πίνακας διαστάσεων NT x NT ορισμένος ως εξής:

$$[A11] = \begin{bmatrix} \alpha_1 : Q_1{}^{(n1-1)} + \beta_1 \frac{\gamma_1}{Q_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_2 Q_2{}^{(n2-1)} + \beta_2 + \frac{\gamma_2}{Q_2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \alpha_{NT} Q_{NT}{}^{(nNT-1} + \beta_{NT} + \frac{\gamma_{NT}}{Q_{NT}} \end{bmatrix} (7.68)$$

[Q] = διάνυσμα απορροής διαστάσεων NT x 1

[H] = άγνωστο διάνυσμα πιεζομετρικού φορτίου διαστάσεων NN x 1

[H0] = διορθωμένο διάνυσμα πιεζομετρικού φορτίου διαστάσεων NS x 1

α = αντίσταση εκάστοτε αγωγού β, γ = συντελεστές που σχετίζονται με τις αντλίες του δικτύου

Η εξίσωση (7.65) είναι μία εξίσωση διατήρησης ενέργειας. Η συνέχεια εξίσωσης για όλους τους κόμβους στο δίκτυο είναι

$$[\mathrm{A21}][\mathrm{Q}] = [\mathrm{q}] \qquad (7.69)$$

Όπου: [A21] είναι ο ανάστροφος πίνακας του [A12] και [q] η κατανάλωση νερού και η διανυσματική παροχή νερού σε κάθε ένα από τους κόμβους διαστάσεων NN x 1.

Σε μορφή πινάκων οι εξισώσεις (7.67) και (7.68) είναι:

$$\begin{bmatrix} [A11] & [A12] \\ [A21] & [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [Q] \\ [H] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -[A10] & [H_o] \\ [q] & \end{bmatrix} \tag{7.70}$$

Το παραπάνω μέρος είναι μη γραμμικό, το οποίο συνεπάγεται ότι η εξίσωση 7.49, πρέπει να χρησιμοποιήσει μερικούς επαναληπτικούς αλγόριθμους για την λύση της. Η μέθοδος Gradient αποτελείται από περικομμένη επέκταση του Taylor. Λειτουργώντας ταυτόχρονα στα πεδία ([Q], [H]) και εφαρμόζοντας τους χειρισμούς της μεθόδου gradient μπορούμε να γράψουμε:

$$\begin{bmatrix} [N][A11]' & [A12] \\ [A21] & [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [dQ] \\ [dH] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [dE] \\ [dq] \end{bmatrix} \tag{7.71}$$

Όπου [N] είναι ο διαγώνιος πίνακας (n_1,n_2,…,n_{NT}) διαστάσεων NT x NT και [A11]΄πίνακα διαστάσεων NT x NT ορισμένο ως εξής:

$$[A11]' = \begin{bmatrix} a_1 Q_1^{(n1-1)} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_2 Q_2^{(n2-1)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & a_3 Q_3^{(n3-1)} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_{NT} Q_{NT}^{(nNT-1)}) \end{bmatrix} \tag{7.72}$$

Σε κάθε επανάληψη i, [dE] είναι η ενεργειακή ανισορροπία σε κάθε αγωγό και [dq] η απώλεια απορροής σε κάθε κόμβο. Αυτά δίνονται από τις εξισώσεις:

$$[dE] = [A11] + [Q_i] + [A12][H_i] + [A10][H_0] \tag{7.73}$$

$$[dq] = [A21] + [Q_i] - [q] \tag{7.74}$$

Ο σκοπός της μεθόδου gradient είναι να επιλύσει το σύστημα που περιγράφεται από την εξίσωση (7.69) λαμβάνοντας υπόψη ότι σε κάθε επανάληψη:

$$[dQ] = [Q_{i+1}] - [Q_i] \qquad (7.75)$$

$$[dH] = [H_{i+1}] - [H_i] \qquad (7.76)$$

Χρησιμοποιώντας γραμμική άλγεβρα, μπορούμε να δείξουμε τη λύση του συστήματος που παρουσιάζεται από την εξίσωση (7.69) η οποία είναι:

$$[H_{i+1}] = \left\{[A21]([N][A11]')^{-1}[A12]\right\}^{-1}\left\{[A21]\left([N][A11]'\right)^{-1}[A11][Q_i]\right) + [A10][H_0] - ([A21][Q_i] - [q]\right\} \qquad (7.77)$$

$$[Q_{i+1}] = \left\{[I] - \left([N][A11]'\right) - [A11]\right\}[Q_i] - \left\{([N][A11]')^{-1}([A12][H_{i+1}] + [A10][H_0])\right\} \qquad (7.78)$$

Η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα της γρήγορης σύγκλισης και δεν χρειάζεται εξισορρόπηση της συνέχειας σε κάθε κόμβο για να ξεκινήσει η διαδικασία. Η μέθοδος δεν είναι κατάλληλη για υπολογισμούς με το χέρι.

7.6. Άλλα προγράμματα επίλυσης δικτύων

Τα δίκτυα ύδρευσης αναλύονται συνήθως, σε λογισμικά πακέτα, βασιζόμενα κυρίως σε σταθερής ροής συνθήκες. Τα πιο ευρέως διαδεδομένα προγράμματα είναι τα ακόλουθα: KYPIPE, WaterCAD,WADISO,PIPE-FLO, AQUIS,SynerGee Water, WATER PAC, WATER NETWORKS and EPANET.

Το WaterCAD, είναι από τα πιο σύγχρονα λογισμικά, το οποίο χρησιμοποιείται στην προσομοίωση και την ανάλυση συστημάτων διανομής νερού. Είναι εφαρμόσιμο σε κάθε σύστημα ρευστών, που έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

• Σταθερή σταδιακά - μεταβαλλόμενη τυρβώδης ροή
• Ασυμπίεστα, νευτώνεια, μονοφασικά ρευστά
• Ολόκληρα, κλειστά δίκτυα (υπό πίεση)

Τα συστήματα που έχουν αυτά τα χαρακτηριστικά είναι τα συστήματα ύδρευσης, τα υδραυλικά συστήματα πυρασφάλειας, οι αντλίες πηγών και τα αντλιοστάσια ανεπεξέργαστου νερού.

Το WaterCAD χρησιμοποιεί αλγόριθμους που είναι σχεδιασμένοι να εξελίσσονται και να εκσυγχρονίζονται, ώστε να ανταποκρίνονται στην εικόνα της πράξης, όσον αφορά τη διανομή του νερού και τη προσομοίωση της ποιότητας. Οι αριθμητικές μέθοδοι και οι λύσεις που προτείνουν, συνεχώς επεκτείνονται.

Το WaterCAD σχεδιάστηκε και προγραμματίστηκε από τις Haestad Methods, μια εταιρεία που αποτελείται από πολιτικούς μηχανικούς και μηχανικούς ανάπτυξης λογισμικού. Το πρόγραμμα είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο, ώστε να παρουσιάσει

να παρουσιάσει την τελευταία τεχνολογία σε παραθυρικό περιβάλλον (windows based) όσον αφορά τα συστήματα που λύνει. Οι αριθμητικοί του υπολογισμοί, βασίζονται σε έρευνα που διενεργήθηκε από την U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Drinking Water Research Division, Risk Reduction Engineering Laboratory και τους συμβούλους τους. Ως αποτέλεσμα, το WaterCAD θα εξάγει αποτελέσματα συμβατά με το υπολογιστικό πρόγραμμα της EPA, το EPANET.

8. Κεφάλαιο : Λογισμικό Επίλυσης Υδρευτικών Δικτύων – EPANET

8.1. Περιγραφή του λογισμικού

Το πρόγραμμα αναπτύχθηκε από την Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των ΗΠΑ και είναι ελεύθερα διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση:

http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/wswrd/epanet.html, (Rossman 1993)

Το EPANET είναι ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή, το οποίο προσομοιώνει την χρονική διακύμανση των υδραυλικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών της ροής του νερού (και του υπολειμματικού χλωρίου) σε δίκτυα διανομής υπό πίεση, κάθε μεγέθους και οποιασδήποτε τοπολογίας. Ένα δίκτυο αποτελείται από αγωγούς, κόμβους, αντλίες, βαλβίδες και δεξαμενές αποθήκευσης ή ταμιευτήρες.

Το EPANET χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της ροής του νερού σε κάθε αγωγό, της πίεσης σε κάθε κόμβο, του ύψους του νερού σε κάθε δεξαμενή και της περιεκτικότητας χημικών στοιχείων στο δίκτυο κατά την περίοδο προσομοίωσης που αποτελείται από πολλαπλά χρονικά βήματα.

Επιπλέον, όσον αφορά στα χημικά στοιχεία, μπορεί ακόμη να προσομοιωθεί ο χρόνος παραμονής του νερού στο σύστημα. Το EPANET λειτουργεί σε περιβάλλον Windows, παρέχοντας έναν οπτικό επεξεργαστή, μέσω του οποίου προκύπτουν αποτελέσματα, όπως είναι οι χάρτες του δικτύου με χρωματική κωδικοποίηση, πίνακες δεδομένων, γραφήματα χρονοσειρών και περιγράμματα.

8.2. Δυνατότητες μοντελοποίησης του EPANET

8.2.1. Υδραυλική Μοντελοποίηση

Ειδικότερα, η πλήρης και ακριβής υδραυλική μοντελοποίηση του δικτύου, είναι βασική προϋπόθεση για την αποτελεσματική μοντελοποίηση της ποιότητας του νερού. Το πρόγραμμα εξετάζει τις γραμμικές αλλά και τοπικές απώλειες, προσομοιώνει δεξαμενές ποικίλων διαστάσεων, διαφόρους τύπους ειδικών συσκευών (δικλείδες, μειωτές πίεσης), καθώς και αντλίες σταθερής ή μεταβλητής παροχής, υπολογίζει την κατανάλωση ενέργειας και το κόστος λειτουργίας του δικτύου, επιτρέπει την χρήση διαφορετικών προτύπων χρονικής διακύμανσης της κατανάλωσης για πολλαπλές χρήσεις και για κάθε κόμβο και επίσης, υποστηρίζει την δυνατότητα ενσωμάτωσης κανόνων λειτουργίας του δικτύου, μέσω κώδικα που γράφει ο χρήστης. Επίσης, δεν θέτει όριο στο μέγεθος του δικτύου και εξετάζει την λειτουργία του συστήματος, τόσο σε κανονικό επίπεδο στάθμης της δεξαμενής ή ρύθμιση χρονομέτρου αλλά και σε πιο περίπλοκες ρυθμίσεις.

8.2.2. Μοντελοποίηση ποιότητας νερού

Όσον αφορά στην μοντελοποίηση ποιότητας νερού, το EPANET είναι σχεδιασμένο να είναι ένα εργαλείο έρευνας για την βελτίωση της κατανόησής μας σχετικά με την κίνηση και την πορεία των συστατικών του πόσιμου νερού εντός των συστημάτων διανομής. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλά διαφορετικά είδη εφαρμογών στην ανάλυση συστημάτων διανομής. Εντοπίζει συντηρητικά και μη συντηρητικά συστατικά στο δίκτυο, προσδιορίζει την πηγή και την ηλικία του νερού, όπως επίσης, και των υπολοίπων στοιχείων του δικτύου, παρακολουθεί το ποσοστό του νερού που φτάνει, από έναν συγκεκριμένο κόμβο σε όλους τους υπόλοιπους. Και τέλος, προσομοιώνει την αντίσταση που εμφανίζεται τόσο στην ροή, όσο και στα τοιχώματα των σωλήνων.

Το EPANET μπορεί να βοηθήσει στην αξιολόγηση εναλλακτικών στρατηγικών διαχείρισης για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού σε ένα σύστημα. Σε αυτά περιλαμβάνονται:

- η αλλαγή της χρησιμοποίησης πηγής εντός πολλαπλών συστημάτων πηγής
- η αλλαγή άντλησης και χρονοδιαγράμματα πλήρωση- εκκένωση δεξαμενών
- η χρήση νέων μεθόδων, όπως η εκ νέου χλωρίωση σε δεξαμενές αποθήκευσης
- οι στοχευμένοι καθαρισμοί σωλήνων και αντικατάστασή τους

8.3. Διαδικασία χρησιμοποίησης του EPANET

Τα στάδια δημιουργίας ενός δικτύου παροχής νερού στο EPANET είναι τα εξής:

- σχεδιασμός αναπαράστασης του δικτύου παροχής
- επεξεργασία των ιδιοτήτων όλων των στοιχείων που υπάρχουν στο σύστημα (κόμβοι, αγωγοί, δεξαμενές κ.λπ..)
- περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του συστήματός μας
- ανάλυση των υδραυλικών χαρακτηριστικών του δικτύου
- εμφάνιση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης, σε χάρτες, γραφήματα και πίνακες.

8.4. Εφαρμογές του EPANET

Το EPANET βοηθάει, ώστε τα υδραυλικά έργα να συντηρούν και να βελτιώνουν την ποιότητα του νερού, που παρέχουν στους καταναλωτές. Το πρόγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για:

- σχεδιασμό δειγματολογικών προγραμμάτων
- μελέτη απωλειών απολυμαντικών και υποπροϊόντων
- διεξαγωγή εκτιμήσεων έκθεσης των καταναλωτών

- αξιολόγηση εναλλακτικών στρατηγικών για την βελτίωση της ποιότητας του νερού
- τροποποίηση των προγραμμάτων άντλησης και πλήρωσης- εκκένωσης δεξαμενών με σκοπό την μείωση της ηλικίας του νερού
- χρησιμοποίηση ενισχυτικών σταθμών απολύμανσης σε θέσεις κλειδιά για την διατήρηση των στόχων
- σχεδιασμό και βελτίωση υδραυλικής απόδοσης συστήματος
- βοηθά στην επιλογή μεγέθους για την τοποθέτηση σωληνώσεων, βαλβίδων και αντλιών
- ελαχιστοποίηση της ενέργειας
- βοηθά στην ανάλυση δικτύου για κατάσβεση αστικών πυρκαγιών
- βοηθά στην εκπόνηση μελετών επικινδυνότητας του δικτύου

8.5. Μεθοδολογία επίλυσης δικτύων στο EPANET

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται στο λογισμικό πρόγραμμα EPANET για την επίλυση δικτύων ύδρευσης, δηλαδή να λύσει τη συνέχεια ροής και τις εξισώσεις απωλειών ύψους, που χαρακτηρίζουν την υδραυλική κατάσταση του δικτύου σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τους Todini και Pilati, το 1987 και αργότερα από τον Salgado et al. το1988, οι οποίοι επέλεξαν να την αποκαλούν "Gradient Method" και αποτελεί μία υβριδική και βαθμωτή μέθοδο. Είναι μεταγενέστερη των τριών βασικών μεθόδων και ουσιαστικά χρησιμοποιεί στοιχεία και από την μέθοδο Newton – Raphson αλλά και από την γραμμική μέθοδο.

Με την μέθοδο αυτή υπολογίζονται οι ολικές απώλειες ενέργειας, οι οποίες αναπτύσσονται κατά μήκος των αγωγών του δικτύου. Η μόνη διαφορά μεταξύ αυτών των μεθόδων είναι ο τρόπος με τον οποίο οι παροχές στους αγωγούς ενημερώνεται μετά από μια νέα δοκιμαστική λύση για τις απώλειες στους κόμβους.

Έστω ότι υπάρχει, λοιπόν, ένα δίκτυο σωληνώσεων με κόμβους N και NF κόμβους σταθερής στάθμης (δεξαμενές). Έτσι η εξίσωση παροχής-απωλειών σε ένα σωλήνα μεταξύ των κόμβων i και j δίνεται ως:

$$\mathrm{Hi} - \mathrm{Hj} = \mathrm{hij} = \mathrm{rQijn} + \mathrm{mQij2} \qquad (8.1)$$

Όπου: H = φορτίο κόμβου

h = απώλεια φορτίου

r = συντελεστής αντίστασης

Q = παροχή

n =εκθέτης ροής

m = ελάσσων συντελεστής απώλειας

Η τιμή του συντελεστή αντίστασης θα εξαρτηθεί από τον ποιόν τύπο εξίσωσης τριβής θα χρησιμοποιηθεί. Για τις αντλίες, το ύψος απωλειών μπορεί να αντιπροσωπεύεται από ένα νόμο δύναμης με την ακόλουθη μορφή:

$$hij = -\omega^2 (h_0 - r (Qij / \omega)^n) \qquad (8.2)$$

Όπου: h_0 = το φορτίο διακοπής για τον αγωγό

ω = μια σχετική ρύθμιση ταχύτητας

r και n = οι συντελεστές της καμπύλης της αντλίας

Το δεύτερο σύνολο εξισώσεων που πρέπει να ικανοποιούνται είναι οι εξισώσεις συνέχειας σε όλους τους κόμβους:

$$\Sigma_j \mathrm{Qij} - \mathrm{Dij} = 0 \quad \text{for } i = 1 \ldots N. \qquad (8.3)$$

Όπου: Di = η ζήτηση ροής στον κόμβο i και κατά συνθήκη, η ροή στον κόμβο είναι θετική.

Για ένα σύνολο γνωστών φορτίων στους κόμβους σταθερής ποιότητας, επιδιώκουμε μια λύση για όλα τα υψόμετρα H_i και τις ροές Q_{ij} που ικανοποιούν τις εξισώσεις (8.1) και (8.3).

Η επίλυση με την Gradient Method, ξεκινάει με μια αρχική εκτίμηση των ροών σε κάθε αγωγό του δικτύου, όπου δεν είναι απαραίτητη η εξασφάλιση της αρχής της συνέχειας της ροής.

Σε κάθε επανάληψη της μεθόδου, νέα φορτία στους κόμβους βρίσκονται από την επίλυση της εξίσωσης των πινάκων και υπολογίζονται τα ύψη ενέργειας σε κάθε κόμβο:

$$\mathrm{AH} = \mathrm{F} \tag{8.4}$$

Όπου: A = ένας (NxN) ιακωμβιανός πίνακας H ένα (Nx1) διάνυσμα αγνώστων Φορτίων στους κόμβους

F = ένα (Nx1) διάνυσμα των όρων της δεξιάς πλευράς.

Τα διαγώνια στοιχεία του ιακωμβιανού πίνακα είναι:

$$\mathrm{Aii} = \Sigma_j \mathrm{pij} \tag{8.5}$$

Ενώ τα μη μηδενικά στοιχεία εκτός της διαγώνιου είναι : $\mathrm{Aij} = -\mathrm{pij}$

Όπου: p_{ij} = η αντίστροφη παράγωγος της απώλειας φορτίου στη σύνδεση μεταξύ των κόμβων i και j σε σχέση με την ροή.

Για σωλήνες $\mathrm{pij} = 1/\ \mathrm{nr}|\mathrm{Qij}|\mathrm{n} - 1 + 2\mathrm{m}|\mathrm{Qij}|$ (8.6)

και

Για τις αντλίες $\mathrm{pij} = 1/\ \mathrm{n}\omega 2\mathrm{r}(\mathrm{Qij}/\omega)\mathrm{n} - 1$ (8.7)

Κάθε όρος στην δεξιά πλευρά αποτελείται από την ανισορροπία ροής σε έναν κόμβο συν ένα συντελεστή διόρθωσης της ροής:

$$F_i = (\sum_j Q_{ij} - D_i) + \sum_j y_{ij} + \sum_j p_{if} H_f \qquad (8.8)$$

όπου ο τελευταίος όρος ισχύει και για τυχόν συνδέσεις, που συνδέει τον κόμβο i με ένα σταθερό κόμβο f και ο διορθωτικός συντελεστής ροής yij είναι:

για αγωγούς: $yij = pij\,(r|Qij|n + m|Qij|2)sgn(Qij)$ (8.9)

και

για αντλίες: $yij = -pij\,\omega 2\,(h0 - r\,(Qij\ /\omega)n)$ (8.10)

όπου sgn(x) είναι 1 αν x > 0 αλλιώς -1. (Το Qij είναι πάντα θετικό για αντλίες).

Αφού υπολογισθούν τα νέα φορτία λύνοντας την εξίσωση (7.4) οι νέες ροές βρίσκονται από:

$$Qij' = Qij - (yij - pij\,(Hi - Hj)) \qquad (8.11)$$

Αν το άθροισμα των απόλυτων της παροχής αλλάζει σε σχέση με την ολική ροή σε όλους τους συνδέσμους και είναι μεγαλύτερο από κάποια ανοχή (π.χ., 0.001), τότε οι εξισώσεις (7.4) και (7.5) επιλύονται και πάλι. Ο τύπος ενημέρωσης της παροχής (7.5) οδηγεί πάντα σε συνέχεια της παροχής γύρω από κάθε κόμβο μετά την πρώτη επανάληψη.

Τα βήματα υλοποίησης της μεθόδου, μέσω του EPANET, είναι τα ακόλουθα δεκαεπτά:

1. Το γραμμικό σύστημα εξισώσεων (7.4) λύνεται χρησιμοποιώντας ένα πίνακα, μέθοδος που βασίζεται στον κόμβο αναδιάταξης (George and Liu

1981). Έπειτα, μετά την αναδιάταξη των κόμβων, ελαχιστοποιείται η ποσότητα του γεμίσματος μέσα στον πίνακα Α. Μία συμβολική παραγοντοποίηση εκτελείται, έτσι ώστε μόνο τα μη μηδενικά στοιχεία του Α χρειάζεται να αποθηκευτούν και να λειτουργούν στη μνήμη. Όταν πρόκειται για μία εκτεταμένη περίοδο προσομοίωσης, τότε η αναδιάταξη και η παραγοντοποίηση πραγματοποιούνται μόνο μία φορά κατά την έναρξη της ανάλυσης.

2. Όταν πρόκειται για την πρώτη επανάληψη, η ροή σε ένα σωλήνα επιλέγεται ίση με τη ροή που αντιστοιχεί σε ταχύτητα 1 m / sec, ενώ η ροή μέσα σε μία αντλία ισούται με τη ροή του σχεδιασμού που ορίζεται για την αντλία. (Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται με το φορτίο σε μέτρα και τη παροχή σε CFS).
3. Για την εξίσωση απώλειας φορτίου κατά Darcy-Weisbach, ο συντελεστής τριβής f υπολογίζεται από διαφορετικές εξισώσεις, ανάλογα με τον Αριθμό Reynolds (Re):

   - Κατά Hagen-Poiseuille για Re < 2000 (Bhave,1991) : f = 64/Re (8.12)
   - Κατά Swamme and Jain σύμφωνα με την εξίσωση των Colerbrook – White για Re > 4000 (Bhave,1991) (7.9)

Με κυβική παρεμβολή από το διάγραμμα του Moody για 2000 < Re < 4000 (Dunlop 1991) :

$$F = \left(X1 + R\left(X2 + R(X3 + X4)\right)\right) \quad (8.13)$$

$$R = Re/2000 \quad (8.14)$$

$$X1 = 7FA - FB \quad (8.15)$$

$$X2 = 0.128 - 17FA + 2.5FB \quad (8.16)$$

$$X3 = -0.128 + 13FA - 2FB \quad (8.17)$$

$$X4 = R\left(0.032 - 3\,FA + 0.5\,FB\right) \quad (8.18)$$

$$FA = Y_3 - 2 \quad (8.19)$$

$$FB = FA\,(2 - 0.00514215/(Y_2\,Y_3)) \quad (8.20)$$

$$Y2 = \varepsilon/3.7d + 5.74/Re^{0.9} \quad (8.21)$$

$$Y3 = -0.86859Ln(\frac{\varepsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}) \quad (8.22)$$

Όπου: ε = τραχύτητα αγωγού

d = διάμετρος αγωγού

4. Ο ελάχιστος συντελεστής απώλειας που βασίζεται στο φορτίο ταχύτητας (K) μετατρέπεται σε εκείνη που βασίζεται επί της παροχής (m) με την ακόλουθη σχέση:

$$m = 0.02517K/d^4 \quad (8.23)$$

5. Οι πομποί στους κόμβους έχουν μοντελοποιηθεί ως ένας εικονικός αγωγός, ο οποίος βρίσκεται μεταξύ του κόμβου και μιας εικονικής δεξαμενής. Οι παραμετρικές απώλειες των αγωγών είναι:

$$n = (1\,/\,\gamma) \quad (8.24)$$

$$r = (1\,/\,C)n \quad (8.25)$$

$$m = 0 \quad (8.26)$$

όπου: C είναι ο συντελεστής απορροής του πομπού

γ είναι ο εκφραστής της πίεσης του.

Το φορτίο στην πλασματική δεξαμενή είναι το ύψος του κόμβου. Η υπολογιζόμενη ροή μέσω του πλασματικού αγωγού γίνεται η ροή που σχετίζεται με τον πομπό.

6. Όσον αφορά στις ανοικτές βαλβίδες, έχει δοθεί μια τιμή R θεωρώντας ότι η ανοικτή βαλβίδα συμπεριφέρεται ως ένας ομαλός αγωγός (f = 0,02), του οποίου το μήκος είναι το διπλάσιο της διαμέτρου της βαλβίδας. Οι κλειστές συνδέσεις υποτίθεται ότι υπακούνε μια γραμμική σχέση απώλειας με ένα μεγάλο συντελεστή αντίστασης, όπως h = 10^8Q, έτσι ώστε p = 10^{-8} και γ = Q. Για τους αγωγούς, όπου (r + m) Q <10^{-7}, ρ = 10^7 και γ = Q / n.

7. Οι έλεγχοι σχετικά με την κατάσταση των αντλιών, των βαλβίδων ελέγχου (CV), των βαλβίδων ελέγχου ροής, και των σωληνώσεων που συνδέονται με τις γεμάτες / κενές δεξαμενές, γίνεται μετά από κάθε άλλη επανάληψη, μέχρι την 10η επανάληψη. Στη συνέχεια, οι έλεγχοι κατάστασης γίνονται μόνο αφού επιτευχθεί η σύγκλιση. Ενώ οι έλεγχοι σχετικά με την κατάσταση των βαλβίδων ελέγχου πίεσης (PRVs & PSVs) γίνονται μετά από κάθε επανάληψη.
8. Κατά τη διάρκεια των ελέγχων κατάστασης, οι αντλίες έχουν κλείσει εάν το κέρδος φορτίου είναι μεγαλύτερο από το φορτίο διακοπής (για την πρόληψη της αντίστροφης ροής). Παρομοίως, ελέγχεται αν οι βαλβίδες είναι κλειστές και εάν η απώλεια φορτίου μέσα απ' αυτές είναι αρνητικές. Όταν, λοιπόν, οι προϋποθέσεις αυτές δεν υπάρχουν, η σύνδεση ανοίγει εκ νέου.

   Ίδια κατάσταση ελέγχου γίνεται για τις συνδέσεις που συνδέονται με άδειες / πλήρες δεξαμενές. Αυτοί οι δεσμοί είναι κλειστοί, εάν η διαφορά στα φορτία μέσω της ζεύξης θα μπορούσε να προκαλέσει μία άδεια δεξαμενή την αποστράγγιση ή ένα γεμάτο ρεζερβουάρ να γεμίσει. Αυτές ξανανοίγουν κατά τον επόμενο έλεγχο κατάστασης αν αυτές τις συνθήκες δεν ισχύουν πλέον.
9. Απλά ελέγχοντας εάν h <0, για να καθοριστεί εάν μια βαλβίδα ελέγχου θα πρέπει να είναι κλειστή ή ανοικτή, βρέθηκε να προκαλεί την ανακύκλωση μεταξύ αυτών των δύο μελών σε ορισμένα δίκτυα, λόγω ορίων στην αριθμητική ακρίβεια. Η ακόλουθη διαδικασία επινοήθηκε για να παρέχει μια πιο ισχυρή δοκιμασία των στοιχείων της βαλβίδας ελέγχου (CV):

   if |h| > Htol then

   if h < -Htol then status = CLOSED

   if Q < -Qtol then status = CLOSED

   else status = OPEN

   else

   if Q < -Qtol then status = CLOSED

   else status = unchanged

   where Htol = 0.0005 ft and Qtol = 0.001 cfs

10. Εάν ο έλεγχος κατάστασης κλείνει μια ανοικτή αντλία, σωλήνα, ή CV, τότε η ροή του ορίζεται στα 10^{-6} CFS. Αν μια αντλία ανοίξει εκ νέου, η ροή της υπολογίζεται με την εφαρμογή της τρέχουσας αύξησης του φορτίου της χαρακτηριστικής καμπύλης της. Αν ένας σωλήνας ή CV είναι εκ νέου ανοιχτά, η ροή του καθορίζεται από την επίλυση της εξίσωσης (7.1) για Q μικρότερο της τρέχουσας απώλειας φορτίου h, αγνοώντας οποιεσδήποτε μικρές απώλειες.
11. Οι συντελεστές του πίνακα για τις βαλβίδες πίεσης (PBVs), τίθενται ως εξής: $p = 10^8$ και $y = 10^8$ Hset, όπου Hset είναι η πτώση στην ρύθμιση της πίεσης για τη βαλβίδα (σε πόδια). Οι βαλβίδες ελέγχου γκαζιού (TCVs) αντιμετωπίζονται ως σωλήνες με r, όπως περιγράφεται στο σημείο 6 ανωτέρω και το m θα ληφθεί ως η τιμή μετά τη μετατροπή της ρύθμισης της βαλβίδας (βλέπε ανωτέρω σημείο 4).
12. Οι συντελεστές πινάκων για τη μείωση της πίεσης, συντηρούμενη πίεση, και ελέγχου ροής βαλβίδες (PRVs, PSVs και FCVs) υπολογίζονται μετά από όλες τις άλλες συνδέσεις που έχουν αναλυθεί. Έλεγχοι σχετικά με την κατάσταση PRVs και PSVs γίνονται όπως περιγράφεται στο σημείο 7 ανωτέρω. Οι βαλβίδες αυτές μπορεί να είναι είτε πλήρως ανοικτές, τελείως κλειστές, ή δραστηριοποιούνται στην πίεση ή ροή που έχουν ρυθμιστεί.
13. Η λογική που συνηθίζεται να ελέγχει την κατάσταση των PRV είναι η ακόλουθη:

    If current status = ACTIVE, then if Q < -Qtol
    then new status = CLOSED if Hi < Hset + Hml – Htol
    then new status = OPEN else new status = ACTIVE

    If current status = OPEN, then if Q < -Qtol
    then new status = CLOSED if Hi > Hset + Hml + Htol
    then new status = ACTIVE else new status = OPEN

    If current status = CLOSED, then if Hi > Hj + Htol
    and Hi < Hset – Htol then new status = OPEN if Hi > Hj + Htol

and Hj < Hset - Htol then new status = ACTIVE else new status = CLOSED

όπου:

Q = η ροή ρεύματος μέσα από τη βαλβίδα

Hi = το ανάντη φορτίο

Hj = το κατάντη

Hset = η ρύθμιση της πίεσης που μετατρέπεται σε φορτίο

Hml = η ελάχιστη απώλεια όταν η βαλβίδα είναι ανοικτή (=mQ2)

Htol και Qtol = οι ίδιες τιμές που χρησιμοποιούνται για βαλβίδες ελέγχου στο σημείο 9 ανωτέρω.

Ένα παρόμοιο σύνολο δοκιμών χρησιμοποιείται για PSVs, εκτός από το ότι κατά τις δοκιμές έναντι Hset, οι δείκτες i και j αλλάζουν όπως δείχνουν τα οι ανισότητες > και <.

14. Η ροή μέσω ενός ενεργού PRV διατηρείται για να αναγκάσει τη συνέχεια στο του κατάντη κόμβο ενώ η ροή μέσω PSV κάνει το ίδιο στον ανάντη κόμβο. Για μια ενεργό PRV από τον κόμβο i στον j:

$$pij = 0 \tag{8.27}$$

$$Fj = Fj + 108Hset \tag{8.28}$$

$$Ajj = Ajj + 108 \tag{8.29}$$

Αυτό αναγκάζει το φορτίο στο κατάντη κόμβο να είναι στην ρύθμιση Hset της βαλβίδας. Μία ισοδύναμη εκχώρηση των συντελεστών γίνεται για μια ενεργή PSV εκτός ο δείκτης για το F και το A είναι ο ανάντη κόμβος i. Οι συντελεστές για ανοικτές / κλειστές PRVs και PSVs αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως και για τους αγωγούς.

15. Για τις ενεργές FCV από τον κόμβο i στον j με τη ρύθμιση της ροής Qset, η Qset προστίθεται στη ροή αφήνοντας τον κόμβο i και εισέρχεται στον κόμβο j, και αφαιρούνται από το Fi και προστίθεται στο Fj. Εάν το φορτίο στον κόμβο i είναι μικρότερο από ότι στον κόμβο j, τότε η βαλβίδα δεν μπορεί να παραδώσει τη ροή και αντιμετωπίζεται ως ένας ανοικτός αγωγός.

16. Αφού επιτευχθεί η αρχική σύγκλιση (ροή σύγκλισης χωρίς καμία αλλαγή του καθεστώτος για τις PRVs και PSVs), μια άλλη κατάσταση ελέγχει τις αντλίες, τα CVs, τα FCVs, καθώς και τις συνδέσεις με τις δεξαμενές. Επίσης, η κατάσταση των συνδέσεων ελέγχονται από διακόπτες πίεσης (π.χ., μια αντλία ελέγχεται από τη πίεση σε ένα κόμβο ένωσης) ελέγχεται. Αν συμβεί κάποια αλλαγή κατάστασης, οι επαναλήψεις πρέπει να συνεχιστούν για τουλάχιστον δύο ακόμη επαναλήψεις (δηλαδή, έλεγχος της σύγκλισης παραλείπεται από την επόμενη κιόλας επανάληψη). Αλλιώς, ένα τελικό αποτέλεσμα έχει ληφθεί.
17. Για την εκτεταμένη περίοδο προσομοίωσης (EPS), η ακόλουθη διαδικασία εφαρμόζεται ως εξής:

α) Μετά την εύρεση της λύσης για την τρέχουσα χρονική περίοδο, το χρονικό βήμα για την επόμενη λύση είναι το ελάχιστο:

- του χρόνου μέχρι να αρχίσει μια νέα περίοδος ζήτησης
- του μικρότερου χρόνου για μια δεξαμενή για να γεμίσει ή να αδειάσει
- το συντομότερο χρονικό διάστημα μέχρι να φτάσει το επίπεδο της δεξαμενής σε ένα σημείο που προκαλεί μια αλλαγή του καθεστώτος για κάποιο σύνδεσμο (π.χ., ανοίγει ή κλείνει μια αντλία), όπως ορίζεται σε ένα απλό έλεγχο
- της επόμενης φοράς, μέχρι ένας απλός χρονοδιακόπτης σε ένα σύνδεσμο να ενεργοποιηθεί
- της επόμενης φοράς κατά την οποία ένα στοιχείο ελέγχου προκαλέσει μια αλλαγή κατάστασης κάπου στο δίκτυο

Κατά τον υπολογισμό των χρόνων με βάση τα επίπεδα της δεξαμενής, οι τελευταίες υποτίθεται ότι αλλάζουν με γραμμικό τρόπο με βάση την τρέχουσα λύση ροής. Ο χρόνος ενεργοποίησης των στοιχείων ελέγχου υπολογίζεται ως εξής:

- Ξεκινώντας από την τρέχουσα ώρα, οι κανόνες αξιολογούνται σε ένα κανονισμένο χρονικό βήμα. Η προκαθορισμένη τιμή του είναι 1/10 του κανονικού υδραυλικού χρονικού βήματος (π.χ., εάν τα υδραυλικά στοιχεία ενημερώνεται κάθε ώρα, έπειτα οι κανόνες αξιολογούνται κάθε 6 λεπτά)
- Πάνω από αυτό το κανονισμένο χρονικό βήμα, το ρολόι του χρόνου ενημερώνεται, όπως είναι τα επίπεδα νερού σε δεξαμενές αποθήκευσης (με βάση την τελευταία σειρά των απορροών στους αγωγούς που υπολογίζεται)
- Εάν ικανοποιούνται οι συνθήκες του κανόνα, τότε οι δράσεις του προστίθενται σε μια λίστα. Αν μια ενέργεια έρχεται σε αντίθεση με αυτή για τον ίδιο σύνδεσμο που είναι ήδη στη λίστα, τότε η ενέργεια σύμφωνα με τον κανόνα με την υψηλότερη προτεραιότητα παραμένει στη λίστα και ο άλλος διαγράφεται. Εάν οι προτεραιότητες είναι οι ίδιες, τότε η αρχική δράση παραμένει στην λίστα
- Έπειτα όλοι οι κανόνες αξιολογούνται, εάν η λίστα δεν είναι κενή τότε λαμβάνονται οι νέες δράσεις. Αν αυτό προκαλέσει την αλλαγή κατάστασης ενός ή περισσοτέρων συνδέσμων να αλλάξουν τότε μία νέα υδραυλική λύση υπολογίζεται και η διαδικασία αρχίζει εκ νέου
- Εάν δεν αλλάξει η κατάσταση για την οποία κλήθηκαν, ο κατάλογος δράσης εκκαθαρίζεται και το επόμενο χρονικό βήμα λαμβάνεται υπόψη εκτός αν το κανονικό υδραυλικό χρονικό βήμα έχει παρέλθει

β) Η ώρα προωθείται από το υπολογιστικό χρονικό βήμα, οι νέες απαιτήσεις βρέθηκαν, τα επίπεδα δεξαμενής προσαρμόστηκαν με βάση την τρέχουσα λύση ροής, και οι κανόνες ελέγχου στους συνδέσμους ελέγχονται για να καθοριστεί ποιοι σύνδεσμοι αλλάζουν κατάσταση.

γ) Μία καινούρια επαναληπτική διαδικασία με τις εξισώσεις 7.4 και 7.5 ξεκινάει στο τρέχον σύνολο ροών.

8.6. Εργαλειοθήκη του EPANET

Μέσω των επεκτάσεων EPANET- MSX και EPANET-RTX, οι χρήστες έχουν την δυνατότητα να μοντελοποιούν πολύπλοκες αντιδράσεις μεταξύ πολλαπλών χημικών και βιολογικών ειδών, καθώς και να συνδεθούν με ένα μοντέλο υποδομής δικτύου και μέσω της προσομοίωσης, να μπορούν να βαθμονομούν και να επαληθεύουν τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο.

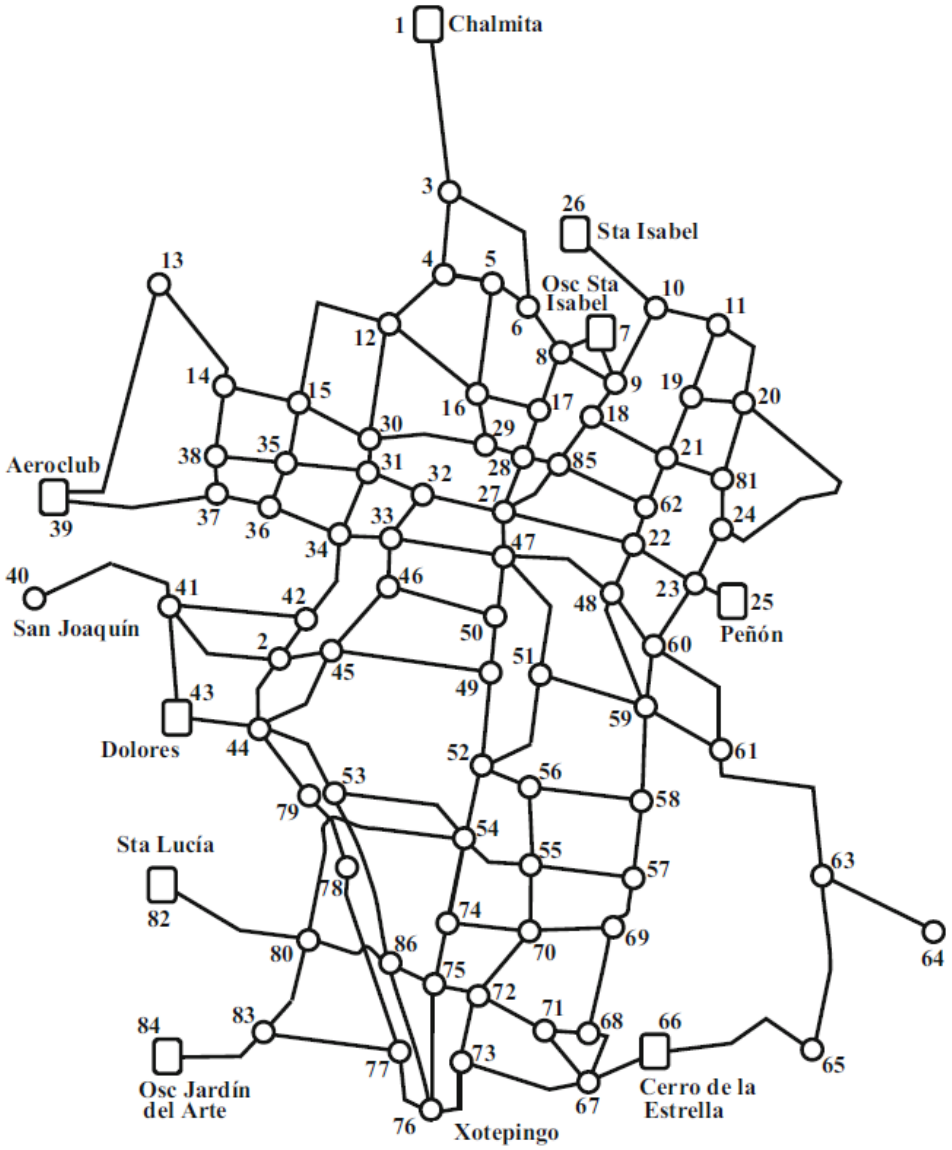
Η εργαλειοθήκη του προγραμματιστή είναι χρήσιμη για την ανάπτυξη εξειδικευμένων εφαρμογών, όπως είναι η βελτιστοποίηση ή αυτοματοποίηση μοντέλων βαθμονόμησης, οι οποίες απαιτούν πολλές δικτυακές αναλύσεις. Μπορεί να απλοποιήσει την προσθήκη δυνατοτήτων ανάλυσης σε ολοκληρωμένα περιβάλλοντα μοντελοποίησης δικτύων, βασισμένα σε CAD (Computer- aided design), στο σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) και σε βάσεις δεδομένων.

Οι συναρτήσεις μπορούν να ενσωματωθούν σε οποιαδήποτε γλώσσα και μπορεί να κάνει χρήση συναρτήσεων από μία βιβλιοθήκη (DLL) Windows. Η βιβλιοθήκη ονομάζεται EPANET2.DLL και συνοδεύεται από διάφορα αρχεία που διευκολύνουν την διασύνδεση της με τις γλώσσες προγραμματισμού C/C++, Delphi, Visual Basic.

9. Κεφάλαιο : Επίλυση Δικτύου με χρήση EPANET

Η επίλυση του δικτύου ύδρευσης της πόλης του Μεξικού πραγματοποιήθηκε μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, με την χρήση του λογισμικού προγράμματος EPANET. Βασικός στόχος της επίλυσης αυτής αποτελεί η σύγκριση των αποτελεσμάτων συνεχούς και διακοπτόμενης λειτουργίας. Για την μοντελοποίηση αυτού του δικτύου, τα απαραίτητα δεδομένα συλλέχθηκαν από το άρθρο «Pressure Management in Water Distribution Systems Using a Self-Tuning Controller to Distribute the Available Potable Water with Equality». Το άρθρο αυτό ασχολήθηκε με την μελέτη του δικτύου για διακοπτόμενη λειτουργία, καθώς αυτή είναι υφιστάμενη κατάσταση λειτουργίας του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, η κάθε δεξαμενή, που αντιστοιχεί σε μία περιοχή της πόλης, home tank όπως την ονομάζει, διαθέτει μία βαλβίδα. Όλες οι βαλβίδες ανοίγουν στις 5:00, ενώ ορισμένες κλείνουν στις 17:00 και άλλες στις 19:00. Βάσει αυτού του χρονοδιαγράμματος, έχει επιλυθεί το δίκτυο της πόλης, με σκοπό να υπολογιστούν οι πιέσεις και τα φορτία σε κάθε δεξαμενή για 48ωρη λειτουργία με βήμα πέντε (5) λεπτών. Για να γίνει κι η επίλυση του δικτύου στην παρούσα διπλωματική εργασία, βάση αποτέλεσαν τα δεδομένα

του άρθρου, τα οποία παρατίθενται στον πίνακα 2, ενώ για όσα στοιχεία δεν ήταν διαθέσιμα έγιναν αναγκαίες υποθέσεις.



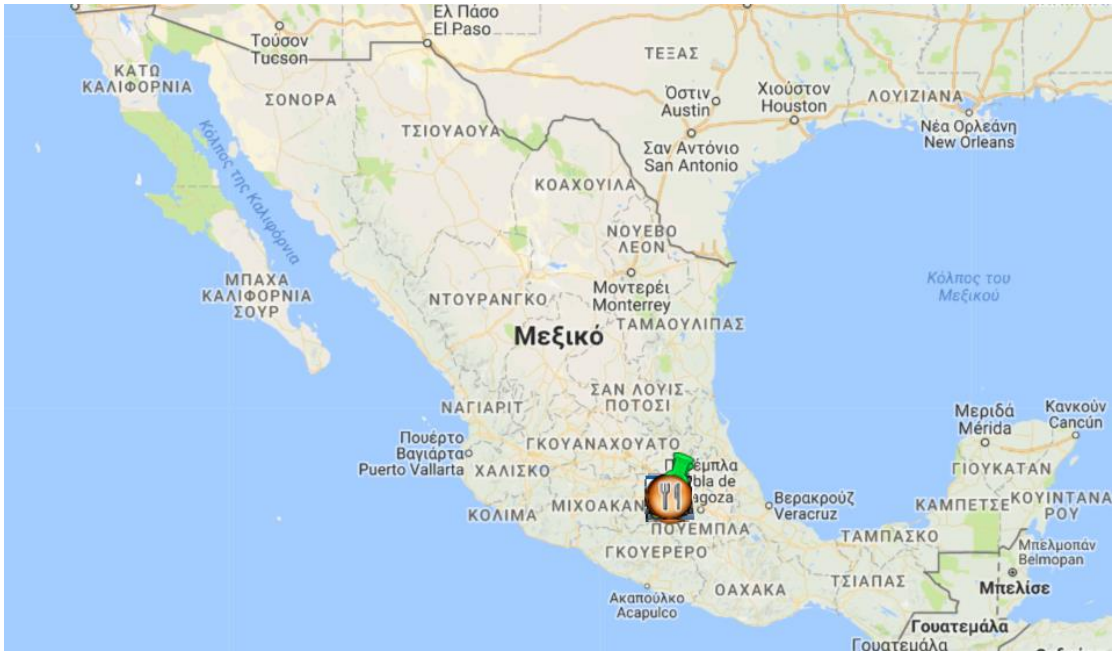
Εικόνα 9-9-1 Δίκτυο Ύδρευσης του Mexico City

9.1. Περιγραφή της πόλης

Το δίκτυο ύδρευσης που μελετάται αφορά στην πρωτεύουσα του Μεξικού, Mexico City. Το δίκτυο αυτό τροφοδοτείται από έντεκα (11) εξωτερικές δεξαμενές, που

βρίσκονται εκτός της πόλης ή στα όρια της. Η Mexico City, καταλαμβάνει μία έκταση 1485 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Βρίσκεται στο κεντρικό σημείο της χώρας.

Όπως και οι περισσότερες πόλεις του Μεξικού, έτσι και η πρωτεύουσά του, βρίσκεται σχετικά κοντά στην ακτογραμμή της χώρας, λόγω της χαρακτηριστικής ημικυκλικής μορφής της. Είναι μία μεγάλη κοιλάδα στα υψηλά οροπέδια στο κέντρο του Μεξικού, σε ύψος 2250 μέτρων. Παρακάτω παρουσιάζεται η θέση της πόλης σε σχέση με την χώρα (Εικόνα.4), μία πιο λεπτομερής απεικόνιση της πόλης και των περιοχών της (Εικόνα.5), καθώς και μία εικόνα που απεικονίζει την γεωμορφολογία της πόλης (Εικόνα.6). Η πόλη Mexico City είναι το σημαντικότερο οικονομικό, βιομηχανικό και πολιτιστικό κέντρο της χώρας, με περίπου 8,800,000 κατοίκους, καταγεγραμμένους το 2016 και είναι η πιο πυκνοκατοικημένη πόλη της χώρας. Η πόλη του Μεξικού φιλοξενεί το 20% του συνολικού πληθυσμού του Μεξικού. www. Worldpopulationreview.com/world-cities/Mexico-city-population/.

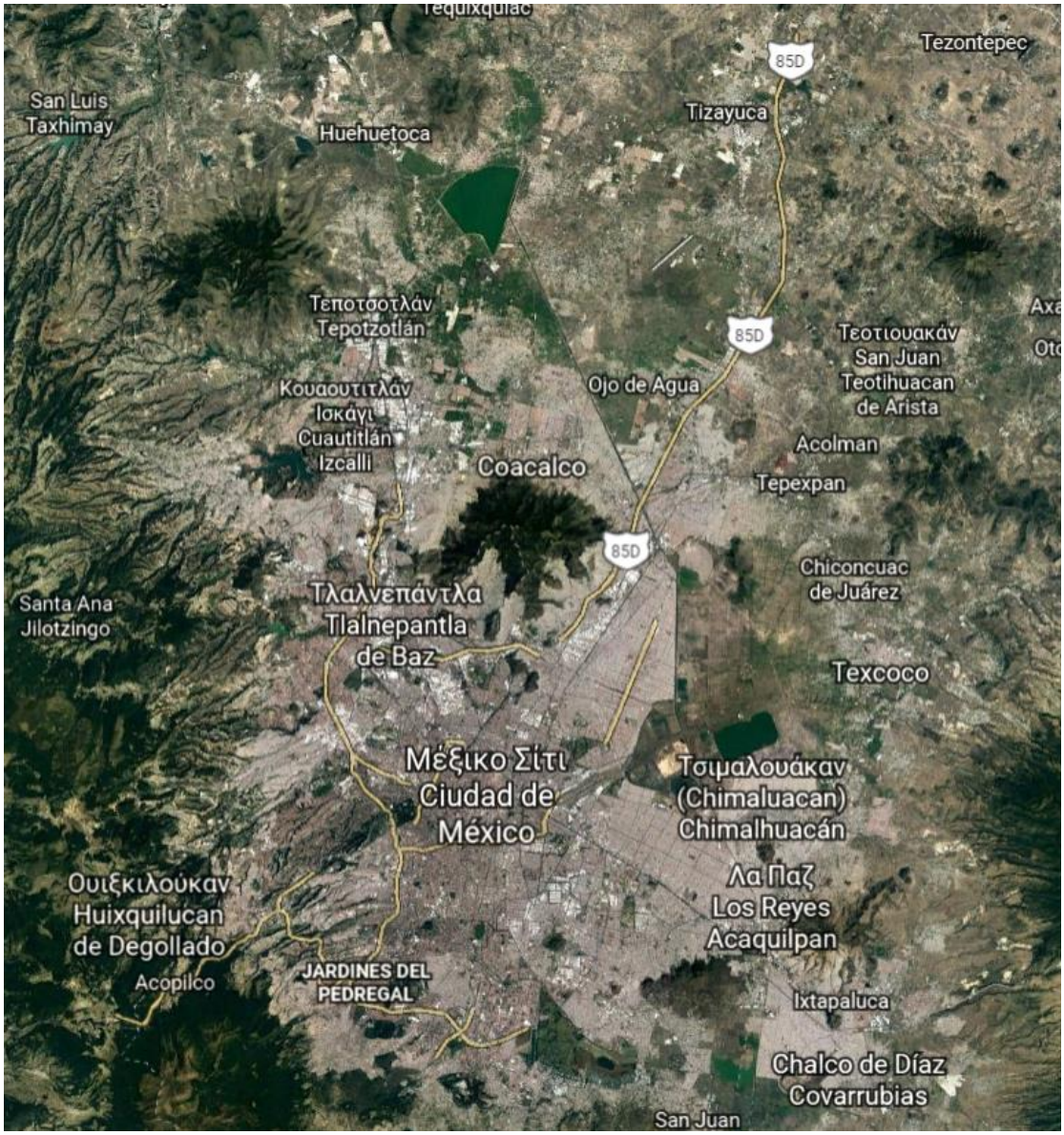


Εικόνα 9-2: Θέση του Mexico City στο Μεξικό.

https://www.google.com/maps/d/viewer?msa=0&mid=1nzuKVVMMsPDRyWwM23js3wAuWR4&ll=24.165411920073957%2C-103.2435895043945&z=5

Εικόνα 9-3:Περιοχές του Mexico City

https://www.123rf.com/photo_40824433_stock-vector-greater-mexico-city-administrative-map.html



Εικόνα 9-4:Γεωμορφολογία της πόλης του Mexico City

https://earth.google.com/web/@19.53143226,-99.14089563,2325.78844343a,137512.7726532d,35y,-0h,0t,0r

9.2. Μοντελοποίηση του δικτύου

Η διαδικασία της μοντελοποίησης του δικτύου περιλαμβάνει τον καθορισμό της σχηματικής διάταξης του δικτύου, δηλαδή την ακριβή τοπολογία των δεξαμενών, των κόμβων (Πίνακας 2) και των αγωγών, τα οποία αποτελούν δεδομένα εισόδου στο λογισμικό EPANET, ώστε να ακολουθήσει η μαθηματική επίλυση του δικτύου με τη μέθοδο GRADIENT, όπως περιγράφηκε στην παράγραφο (7.5) . Μετά την επίλυση του δικτύου, μπορεί να γίνει ανάλυση σεναρίων για την εκτίμηση των επιπτώσεων της λειτουργίας του δικτύου.

9.2.1. Περιγραφή δικτύου ύδρευσης του Mexico City

Το δίκτυο, το οποίο μελετάται έχει συνολικό μήκος αγωγών 312,975 m. Αποτελείται από 75 δεξαμενές, όπου η κάθε μία υδροδοτεί μία περιοχή στην πόλη του Mexico City, καθώς και από 11 εξωτερικές δεξαμενές μεγαλύτερου όγκου, που υδροδοτούν τις προηγούμενες 75. Για την επίλυση του δικτύου, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του πίνακα 2. Στον πίνακα αυτό παρουσιάζονται: ο αρχικός και ο τελικός κόμβος κάθε αγωγού, τον εμβαδό της κάθε δεξαμενής σε m^2, το υψόμετρο του κάθε κόμβου σε m, καθώς και το μήκος σε m και ο συντελεστής Manning του κάθε αγωγού σε s/m^3. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί, ότι για την πιο εύκολη και κατανοητή επίλυση του δικτύου, οι 75 μικρότερες δεξαμενές, έχουν αντικατασταθεί από κόμβους. Επίσης, το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του δικτύου αυτού, είναι ότι λειτουργεί διακοπτόμενα. Πιο συγκεκριμένα, όλες οι βαλβίδες των δεξαμενών ανοίγουν πέντε (5:00) η ώρα το πρωί, ενώ (εκτός από μερικές μεγάλες δεξαμενές) οι περισσότεροι κόμβοι κλείνουν είτε στις πέντε (17:00) είτε στις επτά (19:00) το απόγευμα. Ωστόσο, για τον σκοπό τις παρούσας διπλωματικής απλοποιήθηκε η λειτουργία του δικτύου κι η επίλυση έγινε μόνο για τις δώδεκα (12) κοινές ώρες λειτουργίας των δεξαμενών, δηλαδή από τι; 5:00 έως τις 17:00.Ακολουθεί ο πίνακας 2 στις επόμενες τρεις σελίδες, οι οποίες αναγράφουν τα δεδομένα του δικτύου ύδρευσης που μελετάμε.

Πίνακας 9-1:Πίνακας Δεδομένων για την Επίλυση Δικτύου

Αρχικός Κόμβος	Υψόμετρο Κόμβου	Τελικός Κόμβος	Μήκος Αγωγού	Συντελεστής Manning
Origine Node	Node Elevation [m]	Destination Node	Pipe Length [m]	Manning coefficient [mm]
1	2287.00	3	4950	0.0145
		41	3600	0.0145
		42	850	0.0145
		44	2400	0.0145
2	2235.00	45	1300	0.0145
		4	1950	0.0145
3	2241.55	6	3950	0.0145
		5	1250	0.0145
4	2240.73	12	2400	0.0145
		6	1400	0.0145
5	2238.50	16	2600	0.0145
6	2236.50	8	1300	0.0145
		8	650	0.0145
7	2290.00	9	1250	0.0145
		9	2600	0.0145
8	2236.18	17	1500	0.0145
		10	2050	0.0145
9	2236.98	18	1050	0.0145
		11	1450	0.0145
10	2234.62	26	2650	0.0145
		19	2050	0.0145
11	2233.63	20	2350	0.0145
		15	4450	0.0145
		16	2850	0.0145
12	2235.45	30	2250	0.0145
		14	2800	0.0145
13	2246.82	39	6550	0.0267
		15	1500	0.0145
14	2243.59	38	1700	0.0145
		30	1150	0.0145
15	2235.96	35	1500	0.0145
		17	1550	0.0145
16	2234.50	29	1450	0.0145
17	2234.53	28	1000	0.0145
18	2232.27	21	1950	0.0145

		85	1350	0.0145
		20	1100	0.0145
19	2234.11	21	1500	0.0145
		24	5875	0.0145
20	2235.55	81	1600	0.0145
		62	1050	0.0145
21	2233.16	81	1500	0.0145
		23	2000	0.0145
		27	3000	0.0145
		48	1200	0.0145
22	2232.60	62	1100	0.0145
		24	1950	0.0145
		25	650	0.0145
23	2238.46	60	1650	0.0145
24	2234.28	81	1600	0.0145
25	2290.00			
26	2290.00			
		28	1500	0.0145
		32	2400	0.0145
		47	1500	0.0145
27	2231.93	85	2050	0.0145
		29	1000	0.0145
28	2233.65	85	750	0.0145
29	2232.84	30	2750	0.0145
30	2235.66	31	800	0.0145
		32	1500	0.0145
		34	1850	0.0145
31	2237.73	35	2000	0.0145
32	2235.19	33	1700	0.0145
		34	1100	0.0145
		46	1100	0.0145
33	2232.20	47	2900	0.0145
		36	1900	0.0145
34	2236.00	42	2400	0.0145
		36	1150	0.0145
35	2238.38	38	1600	0.0145
36	2239.36	37	1200	0.0145
		38	700	0.0145
37	2245.74	39	3800	0.0145
38	2243.27			
39	2288.00			
40	2289.96	41	3300	0.0145
		42	3500	0.0145
41	2255.94	43	2300	0.0145
42	2239.52			
43	2288.00	44	1400	0.0145

		45	2900	0.0145
		53	2600	0.0145
44	2240.80	79	2600	0.0145
		46	2300	0.0145
45	2232.83	49	4800	0.0145
46	2231.97	50	2800	0.0145
		48	2900	0.0145
		50	1700	0.0145
47	2230.63	51	3400	0.0145
		59	2900	0.0145
48	2232.72	60	1950	0.0145
		50	1200	0.0145
49	2231.60	52	2200	0.0145
50	2232.08			
		52	3000	0.0145
51	2232.47	59	2350	0.0145
		54	3300	0.0145
52	2234.87	56	1900	0.0145
		54	3300	0.0145
53	2237.45	86	3500	0.0145
		55	1900	0.0145
		74	2000	0.0145
54	2234.10	80	5900	0.0145
		56	1700	0.0145
		57	2300	0.0145
55	2235.37	70	1600	0.0145
56	2234.79	58	2700	0.0145
		58	1900	0.0145
57	2234.25	69	1100	0.0145
58	2235.07	59	2600	0.0145
		60	1500	0.0145
59	2234.13	61	2200	0.0145
60	2232.06	61	3700	0.0145
61	2238.76	63	4800	0.0145
62	2232.89	85	2250	0.0145
		64	3000	0.0145
63	2236.02	65	4400	0.0145
64	2237.51			
65	2237.90	66	5900	0.02
66	2292.00	67	1800	0.0145
		68	1800	0.0145
		71	1750	0.0145
67	2242.18	73	2850	0.0145
		69	2450	0.0145
68	2235.69	71	1000	0.0145
69	2234.89	70	1900	0.0145

		72	3000	0.0145
70	2235.54	74	1900	0.0145
71	2236.70	72	1850	0.0145
		73	1700	0.0145
72	2238.22	75	1000	0.0145
73	2238.39	76	1600	0.0145
74	2233.90	75	1400	0.0145
		76	2150	0.017
75	2236.68	86	2200	0.0145
		77	1350	0.022
76	2240.87	86	3250	0.022
		78	6900	0.0145
77	2241.28	83	5000	0.0145
78	2239.40	79	1900	0.0145
79	2238.46			
		82	2900	0.0145
		83	2700	0.0145
80	2245.99	86	1950	0.0145
81	2234.62			
82	2301.00			
83	2259.79	84	2100	0.0145
84	2290.00			
85	2233.25			
86	2241.00			
		Συνολικό Μήκος [m]	312975	

9.2.2. Επίλυση του δικτύου του Mexico City στο EPANET

Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά σε όλη την διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επιτυχή επίλυση του δικτύου, με την χρήση του προγράμματος EPANET. Αρχικά, έγινε η εισαγωγή των γεωμετρικών στοιχείων του δικτύου στο πρόγραμμα EPANET. Σχετικά με την τραχύτητα των αγωγών, διαθέσιμα ήταν τα στοιχεία του συντελεστή Manning, που φαίνονται στην τρίτη στήλη του πίνακα 3. Η μέθοδος επίλυσης Gradient, που επιλέχτηκε, απαιτεί σαν στοιχείο εισόδου την τραχύτητα των αγωγών (k), οι υπολογισμοί της οποίας προέκυψαν συναρτήσει της ταχύτητας (V), της διαμέτρου (D), του συντελεστή Manning (n), της επιτάχυνσης της βαρύτητας (g), του αριθμού Re, του συντελεστή τριβής (f) και του ιξώδες (ν). Ο συντελεστής αυτός προκύπτει από μία σειρά από βημάτων, τα οποία αναλύονται παρακάτω. Για να

προκύψει λοιπόν, το τελικό αποτέλεσμα, επαναλαμβάνεται η διαδικασία, που περιγράφεται αμέσως μετά, μέχρι να συγκλίνει.

Πιο αναλυτικά, έλαβαν χώρα τα παρακάτω βήματα:

- Υπολογισμός του αριθμού Reynolds για κάθε αγωγό, βάσει της εξίσωσης (7.8)
- Υπολογισμός του συντελεστή τριβής *f*, σύμφωνα με την εξίσωση (7.9)
- Υπολογισμός του συντελεστή τριβής *f'*:

$$f' = \frac{8 * 4^{\frac{1}{3}} g\, n^2}{D^{1/3}} \tag{9.1}$$

Όπου g= η επιτάχυνση της βαρύτητας

n= ο συντελεστής Manning

D= η διάμετρος του αγωγού σε m

- Υπολογισμός του τετραγώνου της διαφοράς *f* και *f'*:

$$OF = (f - f')^2 \tag{9.2}$$

- Υπολογισμός του συντελεστή τραχύτητας k, που προέκυψε από την ελαχιστοποίηση της εξίσωσης (9.2)

Αυτά τα βήματα έλαβαν χώρα για όλους τους κόμβους, με την χρήση ενός υπολογιστικού φύλλου excel. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν διαφαίνονται στην τέταρτη στήλη του πίνακα 3.

Πίνακας 9-2: Πίνακας Μετατροπής του Συντελεστή Manning n σε Συντελεστή τραχύτητας k

Αρχικός Κόμβος	Τελικός Κόμβος	Συντελεστής Manning	Συντελεστής k
Origin Node	Destination nnode	Manning coefficient	k coefficient [mm]
1	3	0.0145	2.503
	41	0.0145	3.189
	42	0.0145	2.805
	44	0.0145	3.189
2	45	0.0145	2.805
	4	0.0145	2.805
3	6	0.0145	2.805
	5	0.0145	2.805
4	12	0.0145	2.805
	6	0.0145	2.805
5	16	0.0145	2.805
6	8	0.0145	2.805
	8	0.0145	2.805
7	9	0.0145	3.189
	9	0.0145	2.805
8	17	0.0145	2.805
	10	0.0145	2.805
9	18	0.0145	2.805
	11	0.0145	3.189
10	26	0.0145	3.189
	19	0.0145	2.805
11	20	0.0145	3.189
	15	0.0145	2.805
	16	0.0145	2.978
12	30	0.0145	2.805
	14	0.0145	2.805
13	39	0.0267	2.805
	15	0.0145	2.978
14	38	0.0145	2.978
	30	0.0145	2.805
15	35	0.0145	2.805
	17	0.0145	2.978
16	29	0.0145	2.805

17	28	0.0145	2.805
	21	0.0145	2.805
18	85	0.0145	2.805
	20	0.0145	2.978
19	21	0.0145	2.805
	24	0.0145	3.189
20	81	0.0145	3.189
	62	0.0145	2.805
21	81	0.0145	3.189
	23	0.0145	3.035
	27	0.0145	2.805
	48	0.0145	2.805
22	62	0.0145	2.805
	24	0.0145	3.189
	25	0.0145	3.035
23	60	0.0145	3.035
24	81	0.0145	3.189
25			
26			
	28	0.0145	2.805
	32	0.0145	2.805
	47	0.0145	2.805
27	85	0.0145	2.815
	29	0.0145	2.978
28	85	0.0145	2.978
29	30	0.0145	2.978
30	31	0.0145	2.805
	32	0.0145	2.805
	34	0.0145	2.805
31	35	0.0145	2.805
32	33	0.0145	2.805
	34	0.0145	2.978
	46	0.0145	3.189
33	47	0.0145	3.035
	36	0.0145	2.978
34	42	0.0145	2.978
	36	0.0145	2.805
35	38	0.0145	2.805
36	37	0.0145	2.978
	38	0.0145	2.978
37	39	0.035	2.805
38			
39			
40	41	0.0145	3.189
	42	0.0145	3.189
41	43	0.0145	3.189

42			
43	44	0.0145	2.805
	45	0.0145	2.978
	53	0.0145	2.805
44	79	0.0145	2.805
	46	0.0145	2.805
45	49	0.0145	2.978
46	50	0.0145	2.978
	48	0.0145	3.189
	50	0.0145	2.978
47	51	0.0145	2.805
	59	0.0145	2.805
48	60	0.0145	2.805
	50	0.0145	2.978
49	52	0.0145	2.978
50			
	52	0.0145	2.805
51	59	0.0145	2.978
	54	0.0145	3.189
52	56	0.0145	2.805
	54	0.0145	3.189
53	86	0.0145	2.805
	55	0.0145	2.978
	74	0.0145	2.805
54	80	0.0145	2.978
	56	0.0145	2.805
	57	0.0145	2.978
55	70	0.0145	2.805
56	58	0.0145	2.978
	58	0.0145	2.978
57	69	0.0145	2.978
58	59	0.0145	2.978
	60	0.0145	2.978
59	61	0.0145	2.805
60	61	0.0145	3.189
61	63	0.0145	2.805
62	85	0.0145	2.978
	64	0.0145	2.805
63	65	0.0145	2.805
64			
65	66	0.0145	2.805
66	67	0.0145	2.805
	68	0.0145	2.805
	71	0.0145	2.805
67	73	0.0145	2.805
68	69	0.0145	2.805

	71	0.0145	2.805
69	70	0.0145	3.189
	72	0.0145	3.189
70	74	0.0145	3.189
71	72	0.0145	2.805
	73	0.0145	2.978
72	75	0.0145	2.805
73	76	0.0145	2.805
74	75	0.0145	2.805
	76	0.017	8.438
75	86	0.0145	2.805
	77	0.0145	2.805
76	86	0.0145	2.805
	78	0.0145	2.805
77	83	0.0145	2.805
78	79	0.0145	2.805
79			
	82	0.0145	2.805
	83	0.0145	2.978
80	86	0.0145	2.805
81			
82			
83	84	0.0145	2.805
84			
85			
86			

Στη συνέχεια, στα δεδομένα έχει δοθεί το συνολικό εμβαδόν κάθε δεξαμενής. Ωστόσο, το πρόγραμμα EPANET, ως παράμετρο χρειάζεται την διάμετρο της κάθε δεξαμενής. Για το λόγο αυτό, έπρεπε να γίνουν οι αντίστοιχοι υπολογισμοί για να μετατραπούν τα εμβαδά αυτά σε διαμέτρους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4 κι έγιναν βάσει της εξίσωσης (9.3).

Μετατροπή εμβαδού σε διάμετρο:

$$D = \sqrt{\frac{4\,E}{\pi}} \tag{9.3}$$

Όπου E= το εμβαδόν κάθε δεξαμενής σε m^2

Πίνακας 9-3: Πίνακας Μετατροπής Εμβαδού σε Διάμετρο

Δεξαμενή	Εμβαδόν	Διάμετρος
Tank	Tank Area [m^2]	Diameter [m]
1	50000	252.3
2	1321,9	41.0
3	349920	667.5
4	328,3	20.4
5	1321,9	41.0
6	1054,1	36.6
7	24134,4	175.3
8	3767	69.3
9	2643,8	58.0
10	4026,2	71.6
11	4682,9	77.2
12	2903	60.8
13	4225	73.3
14	2246,4	53.5
15	2177,3	52.7
16	3430,1	66.1
17	1918,1	49.4
18	2773,4	59.4
19	2306,9	54.2
20	2842,6	60.2
21	1581,1	44.9
22	2108,2	51.8
23	1978,6	50.2
24	1719,4	46.8
25	5940	87.0
26	1612,8	45.3
27	6073,9	87.9
28	656,6	28.9
29	2505,6	56.5
30	1650,2	45.8
31	2108,2	51.8
32	3697,9	68.6

33	2643,8	58.0
34	3101,8	62.8
35	1054,1	36.6
36	527	25.9
37	5875,2	86.5
38	855,4	33.0
39	11115,8	119.0
40		
41	6402,2	90.3
42	2773,4	59.4
43	34560	209.8
44	3499,2	66.7
45	5806,1	86.0
46	4155,8	72.7
47	3231,4	64.1
48	2177,3	52.7
49	9832,3	111.9
50	4423,7	75.0
51	3032,6	62.1
52	5806,1	86.0
53	2474,7	56.1
54	5607,4	84.5
55	1918,1	49.4
56	2246,4	53.5
57	1192,3	39.0
58	2574,7	57.3
59	2574,7	57.3
60	2246,4	53.5
61	6799,7	93.0
62	2773,4	59.4
63	2376	55.0
64	1520,6	44.0
65	2903	60.8
66	19190,4	156.3
67	8320,3	102.9
68	1054,1	36.6
69	1978,6	50.2
70	267,8	18.5
71	129,6	12.8
72	1719,4	46.8
73	7326,7	96.6
74	2246,4	53.5
75	1382,4	42.0
76		
77	5019,8	79.9

78	5546,9	84.0
79	1252,8	39.9
80	2574,7	57.3
81	2704,3	58.7
82	5385,6	82.8
83	2505,6	56.5
84	25819,2	181.3
85	457,9	24.1
86	596,2	27.6

Η ζήτηση στους διάφορους κόμβους του δικτύου ήταν από τα δεδομένα, που δεν ήταν διαθέσιμα. Επομένως, εδώ έγιναν διάφορες παραδοχές:

- Ο πληθυσμός της Mexico City θεωρήθηκε ότι εξυπηρετεί ολόκληρη την πόλη κι συνεπώς ο πληθυσμός ελήφθη σύμφωνα με την απογραφή του 2016, δηλαδή 8,800,000 κάτοικοι.
- Η κατά κεφαλήν μέση ημερήσια παροχή ανά κάτοικο θεωρήθηκε 120 L/d.
- Η συνολική ζήτηση που προέκυψε ήταν $8800000 * 120/86400$, δηλαδή 12222.2 L/s (Τσιχριντζής 2018), η οποία θεωρήθηκε ότι κατανέμεται στους αγωγούς του δικτύου, με βάση το μήκος του κάθε αγωγού.
- Ο εκάστοτε αγωγός παρέχει κατά ήμισυ την ζήτηση που του αντιστοιχεί, στους κόμβους των άκρων του.

Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στους πίνακες 5 και 6.

Πίνακας 9-4:Πίνακας Αναγωγής της Ζήτησης στο Μήκος των Αγωγών

Αρχικός Κόμβος	Τελικός Κόμβος	Μήκος Αγωγού	Ποσοστιαίο μήκος αγωγού	Αναγόμενη στο μήκος ζήτηση
Origin Node	Destination node	Pipe length [m]	Length %	Demand [L/s]
1	3	4950	1.58	193.31
	41	3600	1.15	140.59
	42	850	0.27	33.19
	44	2400	0.77	93.72
2	45	1300	0.42	50.77
	4	1950	0.62	76.15
3	6	3950	1.26	154.25
	5	1250	0.40	48.81
4	12	2400	0.77	93.72
	6	1400	0.45	54.67
5	16	2600	0.83	101.53
6	8	1300	0.42	50.77
	8	650	0.21	25.38
7	9	1250	0.40	48.81
	9	2600	0.83	101.53
8	17	1500	0.48	58.58
	10	2050	0.66	80.06
9	18	1050	0.34	41.00
	11	1450	0.46	56.63
10	26	2650	0.85	103.49
	19	2050	0.66	80.06
11	20	2350	0.75	91.77
	15	4450	1.42	173.78
	16	2850	0.91	111.30
12	30	2250	0.72	87.87
	14	2800	0.89	109.34
13	39	6550	2.09	255.79
	15	1500	0.48	58.58
14	38	1700	0.54	66.39
	30	1150	0.37	44.91
15	35	1500	0.48	58.58
	17	1550	0.50	60.53
16	29	1450	0.46	56.63
17	28	1000	0.32	39.05

	21	1950	0.62	76.15
18	85	1350	0.43	52.72
	20	1100	0.35	42.96
19	21	1500	0.48	58.58
	24	5875	1.88	229.43
20	81	1600	0.51	62.48
	62	1050	0.34	41.00
21	81	1500	0.48	58.58
	23	2000	0.64	78.10
	27	3000	0.96	117.16
	48	1200	0.38	46.86
22	62	1100	0.35	42.96
	24	1950	0.62	76.15
	25	650	0.21	25.38
23	60	1650	0.53	64.44
24	81	1600	0.51	62.48
25				
26				
	28	1500	0.48	58.58
	32	2400	0.77	93.72
	47	1500	0.48	58.58
27	85	2050	0.66	80.06
	29	1000	0.32	39.05
28	85	750	0.24	29.29
29	30	2750	0.88	107.39
30	31	800	0.26	31.24
	32	1500	0.48	58.58
	34	1850	0.59	72.25
31	35	2000	0.64	78.10
32	33	1700	0.54	66.39
	34	1100	0.35	42.96
	46	1100	0.35	42.96
33	47	2900	0.93	113.25
	36	1900	0.61	74.20
34	42	2400	0.77	93.72
	36	1150	0.37	44.91
35	38	1600	0.51	62.48
36	37	1200	0.38	46.86
	38	700	0.22	27.34
37	39	3800	1.21	148.40
38				
39				
40	41	3300	1.05	128.87
	42	3500	1.12	136.68
41	43	2300	0.73	89.82
42				

43	44	1400	0.45	54.67
	45	2900	0.93	113.25
	53	2600	0.83	101.53
44	79	2600	0.83	101.53
	46	2300	0.73	89.82
45	49	4800	1.53	187.45
46	50	2800	0.89	109.34
	48	2900	0.93	113.25
	50	1700	0.54	66.39
47	51	3400	1.09	132.78
	59	2900	0.93	113.25
48	60	1950	0.62	76.15
	50	1200	0.38	46.86
49	52	2200	0.70	85.91
50				
	52	3000	0.96	117.16
51	59	2350	0.75	91.77
	54	3300	1.05	128.87
52	56	1900	0.61	74.20
	54	3300	1.05	128.87
53	86	3500	1.12	136.68
	55	1900	0.61	74.20
	74	2000	0.64	78.10
54	80	5900	1.89	230.41
	56	1700	0.54	66.39
	57	2300	0.73	89.82
55	70	1600	0.51	62.48
56	58	2700	0.86	105.44
	58	1900	0.61	74.20
57	69	1100	0.35	42.96
58	59	2600	0.83	101.53
	60	1500	0.48	58.58
59	61	2200	0.70	85.91
60	61	3700	1.18	144.49
61	63	4800	1.53	187.45
62	85	2250	0.72	87.87
	64	3000	0.96	117.16
63	65	4400	1.41	171.83
64				
65	66	5900	1.89	230.41
66	67	1800	0.58	70.29
	68	1800	0.58	70.29
	71	1750	0.56	68.34
67	73	2850	0.91	111.30
	69	2450	0.78	95.68
68	71	1000	0.32	39.05

69	70	1900	0.61	74.20
	72	3000	0.96	117.16
70	74	1900	0.61	74.20
71	72	1850	0.59	72.25
	73	1700	0.54	66.39
72	75	1000	0.32	39.05
73	76	1600	0.51	62.48
74	75	1400	0.45	54.67
	76	2150	0.69	83.96
75	86	2200	0.70	85.91
	77	1350	0.43	52.72
76	86	3250	1.04	126.92
	78	6900	2.20	269.46
77	83	5000	1.60	195.26
78	79	1900	0.61	74.20
79				
	82	2900	0.93	113.25
	83	2700	0.86	105.44
80	86	1950	0.62	76.15
81				
82				
83	84	2100	0.67	82.01
84				
85				
86				
	Συνολικό Μήκος [m]	312975	100	12222.22

Πίνακας 9-5: Πίνακας της Ζήτησης στους Κόμβους του Δικτύου

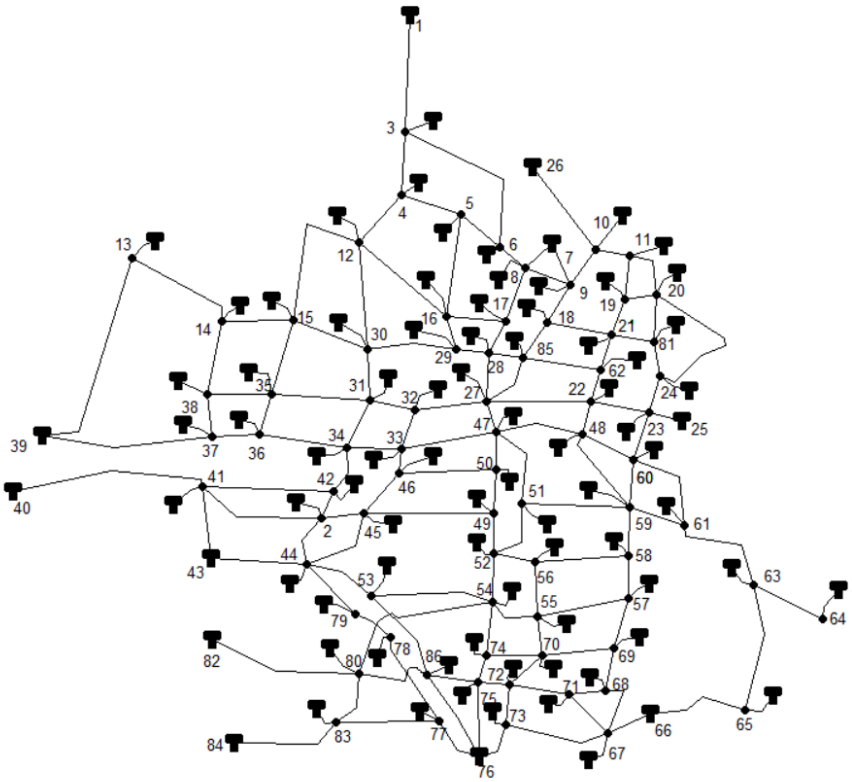
Κόμβος	Ζήτηση
Node	Demand [L/s]
1	
2	159.14
3	308.51
4	109.34
5	102.51
6	129.85
7	
8	130.82
9	160.11
10	171.83
11	114.23

12	233.33
13	310.46
14	117.16
15	167.92
16	164.99
17	79.08
18	84.94
19	90.80
20	213.32
21	117.16
22	142.54
23	134.73
24	184.03
25	
26	
27	204.05
28	82.98
29	101.53
30	135.70
31	120.08
32	109.34
33	132.78
34	141.56
35	122.04
36	82.98
37	185.50
38	78.10
39	
40	
41	357.32
42	131.80
43	
44	259.69
45	220.64
46	121.06
47	242.12
48	174.76
49	160.11
50	111.30
51	170.85
52	203.07
53	183.54
54	320.22
55	146.44
56	123.01

57	103.49
58	140.59
59	225.52
60	171.83
61	208.93
62	85.91
63	238.22
64	58.58
65	316.32
66	
67	195.26
68	124.96
69	106.42
70	164.02
71	89.82
72	147.42
73	151.33
74	103.49
75	151.33
76	
77	285.08
78	171.83
79	87.87
80	319.25
81	91.77
82	
83	232.36
84	
85	124.97
86	276.29
	12222.22

9.2.3. Αποτελέσματα επίλυσης δικτύου για διακοπτόμενη λειτουργία

Όπως προαναφέρθηκε, στην πρώτη περίπτωση, το δίκτυο επιλύθηκε για διακοπτόμενη λειτουργία, που συμπίπτει με την υφιστάμενη κατάσταση. Το δίκτυο ξεκινάει να λειτουργεί στις 05:00 και σταματάει η λειτουργία του στις 17:00. Για να μπορούν να περαστούν, όλα τα δεδομένα στο EPANET, αντικαταστάθηκαν οι 75 μικρότερες δεξαμενές, που υδροδοτούν η κάθε μία από μία περιοχή της πόλης, με κόμβους. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν δεξαμενές κοντά στους αντίστοιχους κόμβους και συνδέθηκαν με αυτούς με αγωγούς 100 μέτρων. Επιλέχθηκαν τα 100 μέτρα, διότι συγκριτικά με το μήκος των υπόλοιπων αγωγών, θεωρείται αμελητέο, ενώ αντίστοιχα, το υψόμετρο των κόμβων ταυτίστηκε με το αντίστοιχο των δεξαμενών. Το δίκτυο παρουσιάζεται στην εικόνα 7.

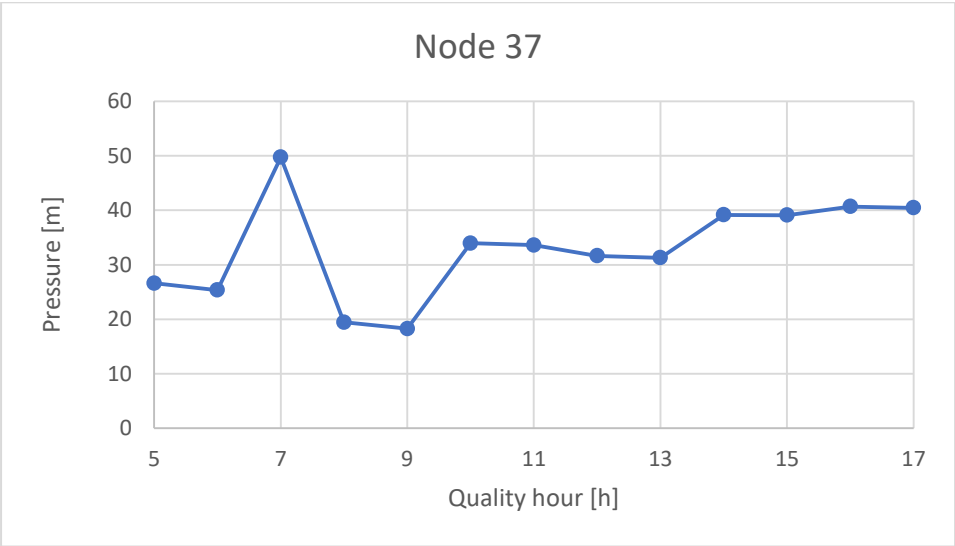


Εικόνα 9.2-3 Μορφή Δικτύου στο EPANET για Διακοπτόμενη Λειτουργία

Τα αποτελέσματα της επίλυσης του συγκεκριμένου δικτύου παρουσιάζονται στου πίνακες και στα διαγράμματα. Οι πίνακες αυτοί και οι εικόνες είναι ενδεικτικές για τους κόμβους 37, 41, 80, 81, ενώ στα παραρτήματα Α και Β παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για όλους τους κόμβους.

Πίνακας 9-6:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 37 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο.

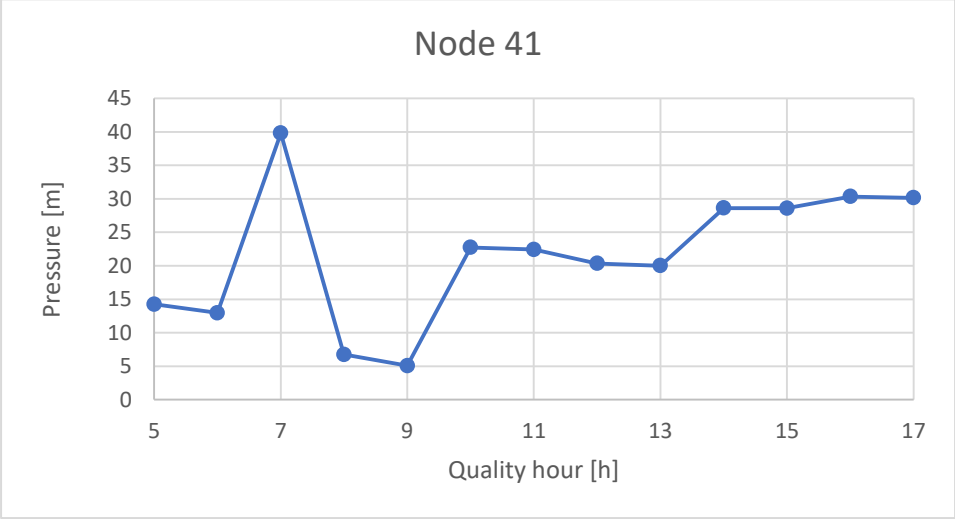
Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
37	26.61	5:00
37	25.35	6:00
37	49.73	7:00
37	19.44	8:00
37	18.25	9:00
37	33.94	10:00
37	33.59	11:00
37	31.64	12:00
37	31.27	13:00
37	39.16	14:00
37	39.1	15:00
37	40.68	16:00
37	40.45	17:00



Εικόνα 9-5 Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 37 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο

Πίνακας 9-7:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 41 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

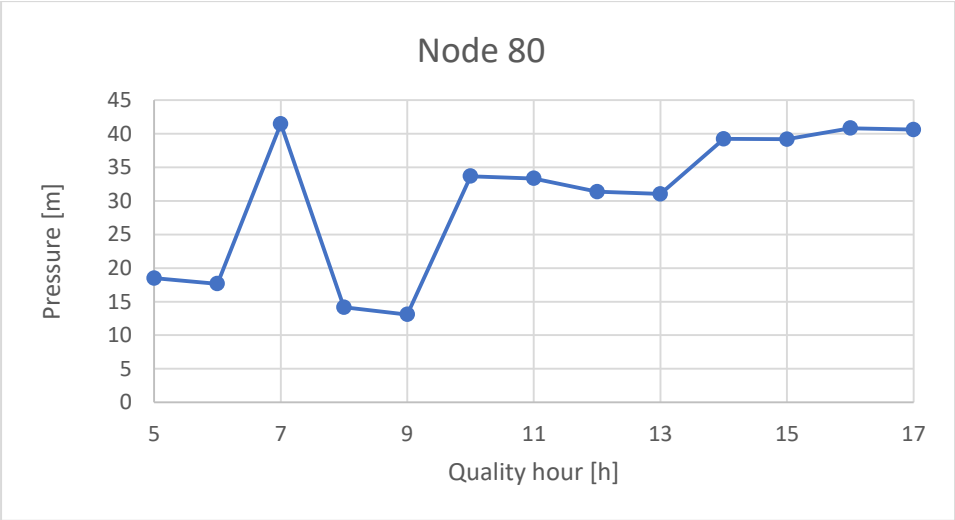
Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
41	14.25	5:00
41	12.96	6:00
41	39.8	7:00
41	6.74	8:00
41	5.07	9:00
41	22.74	10:00
41	22.42	11:00
41	20.36	12:00
41	20.02	13:00
41	28.62	14:00
41	28.59	15:00
41	30.35	16:00
41	30.14	17:00



Εικόνα 9-6 Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 41 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Πίνακας 9-8: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 80 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

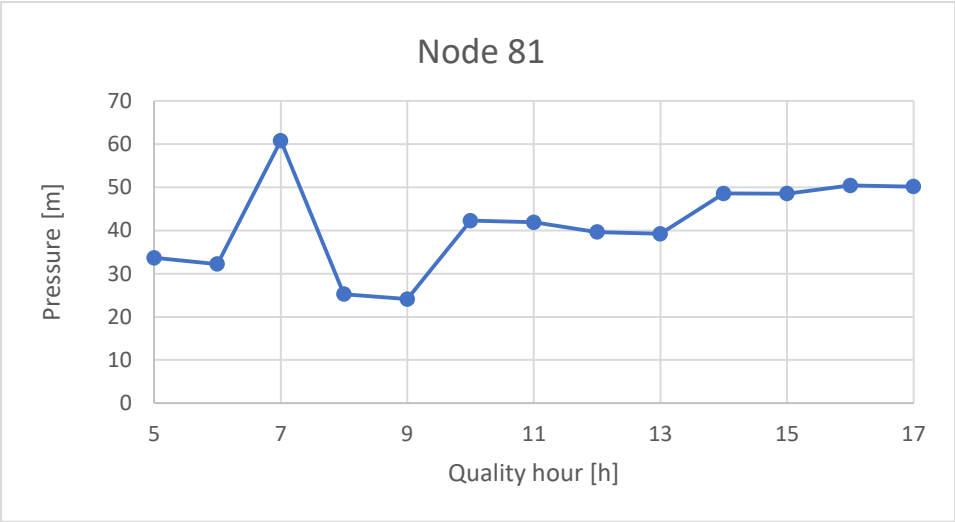
Κόμβος	Πίεση	Βήμα Ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
80	18.5	5
80	17.67	6
80	41.47	7
80	14.15	8
80	13.09	9
80	33.68	10
80	33.35	11
80	31.37	12
80	31.03	13
80	39.22	14
80	39.17	15
80	40.83	16
80	40.61	17



Εικόνα 9-7: Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 80 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Πίνακας 9-9: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 81 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα Ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
81	33.67	5
81	32.21	6
81	60.79	7
81	25.23	8
81	24.09	9
81	42.25	10
81	41.88	11
81	39.62	12
81	39.23	13
81	48.56	14
81	48.52	15
81	50.41	16
81	50.17	17



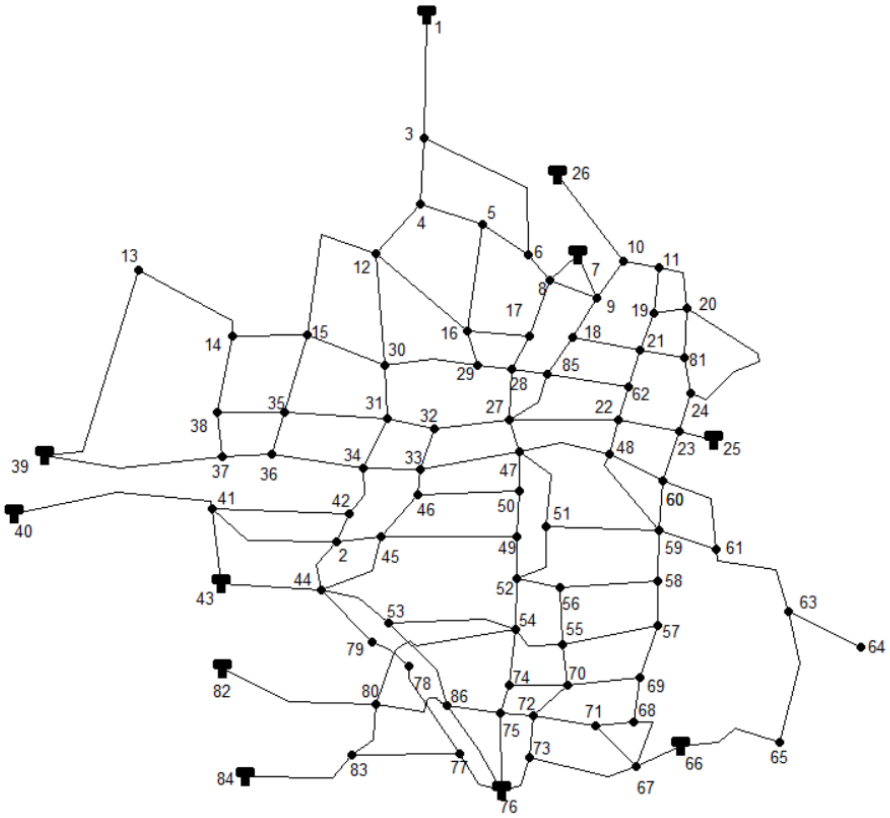
Εικόνα 9-8:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 81 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Στα αποτελέσματά που προέκυψαν, είναι εμφανές ότι η πίεση είναι αρκετά υψηλή. Πιο υψηλή από αυτή που προέκυψε στο άρθρο «Pressure Management in Water Distribution Systems Using a Self-Tuning Controller to Distribute the Available

Potable Water with Equality», που αποτέλεσε την βάση της επίλυσης. Αυτό όμως, οφείλεται στις παραδοχές που έγιναν, εφόσον δεν ήταν γνωστά τα ακριβή δεδομένα. Ωστόσο, σκοπός ήταν η σύγκριση της διακοπτόμενης και συνεχούς λειτουργίας του δικτύου κι εφόσον αυτή είναι εφικτή, οι διαφορές στα αποτελέσματα της πίεσης δεν αποτελούν εμπόδιο.

9.2.4. Αποτελέσματα επίλυσης δικτύου για συνεχή λειτουργία

Στην δεύτερη περίπτωση, επιλύθηκε το δίκτυο σε συνεχή 24ωρη λειτουργία. Για το λόγο αυτό, θεωρήθηκε ότι δεν υπήρχε ανάγκη χρήσης των 75 δεξαμενών, όπως στην προηγούμενη περίπτωση. Έτσι, επιλύθηκε το ίδιο δίκτυο με μόλις 11 δεξαμενές, 76 κόμβους και 151 αγωγούς, όπως διαφαίνεται στο ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 9-9: Μορφή δικτύου στο EPANET για Συνεχή Λειτουργία

Στην περίπτωση αυτή, υπήρχαν στα αποτελέσματα αρκετές αρνητικές τιμές, όσον αφορά στην πίεση, γεγονός που δεν μπορεί να συμβαίνει στην πραγματικότητα. Για

το λόγο αυτό, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το πρόγραμμα EPANET (reports) δεν διαθέτουν τέτοιες τιμές, ώστε να είναι δυνατόν να κατασκευαστούν αντίστοιχα διαγράμματα, με την προηγούμενη περίπτωση. Θα ακολουθήσουν μόνο οι πίνακες των αποτελεσμάτων, οι οποίοι θα έχουν την τιμή μηδέν, όπου προέκυψε τιμή ίση με το μηδέν ή μικρότερη.

Πίνακας 9-10: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 37 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
37	26,06	0:00
37	32,2	1:00
37	42,27	2:00
37	42,43	3:00
37	42,41	4:00
37	40,38	5:00
37	36,92	6:00
37	19,56	7:00
37	18,03	8:00
37	13,73	9:00
37	11,73	10:00
37	0	11:00
37	0	12:00
37	0	13:00
37	0	14:00
37	0	15:00
37	0	16:00
37	0	17:00
37	0	18:00
37	0	19:00
37	0	20:00
37	0	21:00
37	0	22:00
37	0	23:00
37	0	24:00

Πίνακας 9-11: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 41 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
41	7,24	0:00
41	15,75	1:00
41	32,04	2:00
41	32,19	3:00
41	32,17	4:00
41	30,03	5:00
41	25,67	6:00
41	5,74	7:00
41	3,61	8:00
41	0	9:00
41	0	10:00
41	0	11:00
41	0	12:00
41	0	13:00
41	0	14:00
41	0	15:00
41	0	16:00
41	0	17:00
41	0	18:00
41	0	19:00
41	0	20:00
41	0	21:00
41	0	22:00
41	0	23:00
41	0	24:00

Πίνακας 9-12: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 80 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
80	4,55	0:00
80	14,49	1:00
80	42,7	2:00
80	42,95	3:00
80	42,9	4:00
80	40,1	5:00
80	36,33	6:00
80	17,42	7:00
80	15,25	8:00
80	13,3	9:00
80	10,55	10:00
80	4,19	11:00
80	0	12:00
80	0	13:00
80	0	14:00
80	0	15:00
80	0	16:00
80	0	17:00
80	0	18:00
80	0	19:00
80	0	20:00
80	0	21:00
80	0	22:00
80	0	23:00
80	0	24:00

Πίνακας 9-13: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 81 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
81	35,88	0:00
81	42,62	1:00
81	53,45	2:00
81	53,78	3:00
81	53,7	4:00
81	50,27	5:00
81	47,27	6:00
81	28,12	7:00
81	26,67	8:00
81	21,76	9:00
81	19,68	10:00
81	5,99	11:00
81	2,43	12:00
81	0	13:00
81	0	14:00
81	0	15:00
81	0	16:00
81	0	17:00
81	0	18:00
81	0	19:00
81	0	20:00
81	0	21:00
81	0	22:00
81	0	23:00
81	0	24:00

10. Κεφάλαιο : Αποτελέσματα - Συμπεράσματα

Η επίλυση του δικτύου ύδρευσης του Mexico City, έλαβε χώρα μέσω του προγράμματος EPANET, με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η επιλογή του προγράμματος αυτού έγινε, διότι απλοποιεί την διαδικασία επίλυσης και ελαχιστοποιεί τον χρόνο που απαιτείται για να γίνει αυτό. Πιο συγκεκριμένα, το EPANET αποτελεί ένα λογισμικό πολύ καλό για την επίλυση δικτύων, κυρίως για φοιτητές, καθώς διατίθεται ελεύθερο στην αγορά, αλλά κι επειδή διαθέτει πολύ φιλικό προγραμματιστικό περιβάλλον ως προς τον χρήστη. Επιπρόσθετα, πέρα από την υδραυλική επίλυση -που πολυάριθμα λογισμικά ιδίου τύπου παρέχουν-, καθιστά δυνατή και την ποιοτική επίλυση ενός δικτύου. Ενώ δίνει, ακόμη, την δυνατότητα πολλών μορφών παρουσίασης των αποτελεσμάτων, όπως πίνακες, χάρτες είτε σχεδιαγράμματα, καθιστώντας τα έτσι πιο κατανοητά.

Κατά της εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, βάσει των αποτελεσμάτων του προηγούμενου κεφαλαίου, προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα. Το δίκτυο επιλύθηκε, βάσει δύο σεναρίων. Το πρώτο, αναφέρεται σε διακοπτόμενη λειτουργία, λειτουργία δηλαδή από τις 5:00 έως τις 17:00. Αντίθετα, το δεύτερο, αφορά μία συνεχή λειτουργία, όλο το 24ωρο. Το δίκτυο ύδρευσης του Mexico City, λειτουργώντας διακοπτόμενα, όπως συμβαίνει και στην πραγματικότητα-, έχει την δυνατότητα να δώσει τα απαραίτητα ύψη πίεσης, ώστε το δίκτυο να είναι παραγωγικό. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα αποτελέσματα στην περίπτωση του δικτύου που μελετάται, είναι πιο υψηλά από τα φυσιολογικά. Αυτό, όμως, οφείλεται στα αυθαίρετα μεγέθη που επιλέχθηκαν, λόγω έλλειψης πληθυσμιακών δεδομένων.

Από την άλλη πλευρά, όσον αφορά στην συνεχή λειτουργία, δεν προέκυψαν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Το μεγαλύτερο μέρος των υψών των πιέσεων προέκυψε αρνητικό, γεγονός που δεν μπορεί να ανταποκρίνεται στην

πραγματικότητα. Έτσι, κατ' επέκτασιν συμπεραίνεται, ότι η συνεχής λειτουργία δεν είναι εφικτή στο υφιστάμενο δίκτυο. Για να μπορέσει το δίκτυο ύδρευσης του Mexico City να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του πληθυσμού του σε σχέση με την ζήτηση, όπως και τα ύψη πιέσεων που αυτές προϋποθέτουν, θα πρέπει να γίνουν αλλαγές. Για να αυξηθούν τα ύψη των πιέσεων και να προκύψουν, όχι μόνο θετικές τιμές, αλλά και ικανοποιητικά υψηλές, μπορούμε είτε να τοποθετήσουμε αντλίες σε κομβικά σημεία του δικτύου, είτε να μειώσουμε τη διάμετρο των αγωγών. Σαφώς, η δεύτερη λύση είναι αρκετά πιο δύσκολη, χρονοβόρα και με μεγαλύτερο οικονομικό κόστος, οπότε συνιστάται η πρώτη. Στην παρούσα διπλωματική ωστόσο, δεν αναλύεται η ακριβή αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αραβαντινός, Α. (1997), *Πολεοδομικός σχεδιασμός- Για μια βιώσιμη ανάπτυξη του αστικού χώρου*, Αθηνά: Εκδόσεις Συμμετρία.
- Αφτιάς, Μ. (1992), *Υδρεύσεις,* Αθήνα: ΕΜΠ.
- Βαφειάδης, Γ. (2008), *Μέθοδοι επίλυσης κλειστών δικτύων ύδρευσης οικισμών. Δίκτυο μελέτης οικισμού Μανδρακίου Νισύρου*, ΕΜΠ
- Ευστρατιάδης, Α. & Κουτσογιάννης, Δ. (2005), *Τυπικά Υδραυλικά Έργα (Σημειώσεις στα πλαίσια του μαθήματος*), Αθήνα: ΕΜΠ.
- Κανακούδης, Β. (1998), *Ο Ρόλος των Έκτακτων Περιστατικών στη Διαμόρφωση Κριτηρίων Προληπτικής Συντήρησης και Αντικατάστασης των Αγωγών στα Δίκτυα Ύδρευσης*, Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη: ΑΠΘ.
- Καρκατσούλη, Ε. (2008), *Χρήση μοντέλων επίλυσης κυκλοφοριακών δικτύων ύδρευσης οικισμών, ΕΜΠ*
- Κουτσογιάννης, Δ. (2006), *Σημειώσεις Διαχείρισης Υδατικών Πόρων- Μέρος1*, Αθήνα: ΕΜΠ.
- Ναλμπάντης, Ι. (2007), *Προστασία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων,* Αθήνα: ΕΜΠ.
- Παπαδάκης, Ι. (1977), *Ύδρευση πόλεων*, Αθήνα: ΕΜΠ.
- Παντοκράτορας, Α. (1997), *Υδρεύσεις Πόλεων, Τόμος* Ι, Θεωρία, Ξάνθη: ΔΠΘ.
- Παντοκράτορας, Α. (1997), *Υδρεύσεις Πόλεων, Τόμος ΙΙ, Παραδείγματα,* Ξάνθη: ΔΠΘ.
- Σπηλιώτης, Μ. (2004), *Υδρεύσεις Οικισμών (Συμπληρωματικές* σημειώσεις), Αθήνα: ΕΜΠ.
- Τσακίρης, Γ. (2010), *Υδραυλικά Έργα Σχεδιασμός & Διαχείριση, Τόμος Ι,* Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.

- Τσακίρης, Γ. & Αλεξάκης, Δ. (2010). *Ποιότητα Νερού για Ανθρώπινη Κατανάλωση*, Στο Τσακίρης, Γ., *Υδραυλικά Έργα –Σχεδιασμός και Διαχείριση. Τόμος Ι: Αστικά Υδραυλικά Έργα*, Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.

- Τσακίρης, Γ. & Σπηλιώτης, Μ. (2010). *Συστήματα Κλειστών Αγωγών υπό Πίεση*, Στο Τσακίρης Γ., *Υδραυλικά Έργα –Σχεδιασμός και Διαχείριση. Τόμος Ι: Αστικά Υδραυλικά Έργα,* Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.

- Τσακίρης, Γ. (2006), *Υδραυλικά Έργα Σχεδιασμός & Διαχείριση, Τόμος ΙΙ*, Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.

- Τσακίρης, Γ. (2008), *Μάθημα Υδραυλικά Έργα Υδρεύσεις Οικισμών*, *Σημειώσεις στα πλαίσια του μαθήματος,* Αθήνα.

- Τσιχριντζής, Β. (2017), *Υγειονομική Τεχνολογία και περιβάλλον, Σημειώσεις στα πλαίσια του μαθήματος,* Αθήνα: ΕΜΠ.

Ξένη Βιβλιογραφία

- Cross, H. (1936). *Analysis of flow in networks of conduits or conductors,* Engineering Experiment Station, University of Illinois, Bulletin No. 286

- Dillingham, J. H. (1967). *Computer Analysis of Water Distribution Systems, Parts 1, 2, 4,* Water and Sewage Works, 114(1):1, 114(2):43, 114(4):141.

- Jeppson, R.W. (1976). *Analysis of Flow in Pipe Networks*, Butterworth-Heinemann

- Kanakoudis, V. (2004). *A troubleshooting manual for handling operational problems in water pipe networks*. Water Supply: Research & Technology-AQUA, 53(2), 109-124

- Martin, D.W. and Peters, G. (1963). *The application of Newton's method to network analysis by digital computer.* Journal of the Institute of Water Engineers, 17, 115-129.

- Rouse, H. (1961). *Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers.* Dover, New York.

- Rossman L.A. (1993). *The EPANET Water Quality Model, Research Studies Press Ltd, Somerset*, England.

- Rossman, L.A. (2000). *EPANET 2 User's Manual*, Cincinnati, OH, USA.

- Spiliotis, M. and Tsakiris, G. (2011). *Water Distribution System Analysis: Newton-Raphson Method Revisited*, Journal of Hydraulic Engineering, 852-855.
- Swamee, P. K. and Sharma, A. K. (2008). *Design of water supply pipe networks, WileyInterscience*, Hoboken, NJ.

- Shamir, U. and Howard, C.D.D. (1968). *Water distribution systems analysis*, Journal of the Hydraulic division, ASCE, 94, Proc. Paper 5758, 219-234.

- Tsakiris, G. and Tsakiris, V. *Pipe technologies for urban water conveyance distribution systems,* Water Utility Jouurnal 3Q 29-36,2012, E.W. Publications.

- Todini, E. and Pilati, S. (1988*). A gradient algorithm for the analysis of pipe networks,* Computer applications in water supply, Vol. 1, Wiley, London, 1–20.

- Tsakiris, G. (2014). *Rational design of urban water supply and distribution systems*, Water Utility Journal 8: 5-16.

- Walski, T.M. and Pelliccia A. (1982). *Economic analysis of water main breaks*, Jour, of A.W.W.A., pp.140-147.

Διαδικτυακή βιβλιογραφία

- www.epa.gov/NRMRL/wswrd/dw/epanet /EN2manual.PDF

- https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TMB170/4_GRAMMH_ENERGEIAS/GRAMMH_ENERGEIAS.pdf

- http://dspace.lib.ntua.gr/dspace2/bitstream/handle/123456789/2535/vafiadisg_network.pdf?sequence=3

- www. Worldpopulationreview.com/world-cities/Mexico-city-population

- Rafael Bernardo Carmona-Paredes, Rafael Bernardo Carmona-Benítez, «Pressure Management in Water Distribution Systems Using a Self-Tuning Controller to

Distribute the Available Potable Water with Equality» https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-017-1896-y.

Παράρτημα Πινάκων

Πίνακας 1: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 1 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
1	9,25	5:00
1	9,05	6:00
1	8,84	7:00
1	8,82	8:00
1	8,59	9:00
1	8,36	10:00
1	8,19	11:00
1	8,03	12:00
1	7,85	13:00
1	7,67	14:00
1	7,53	15:00
1	7,4	16:00
1	7,27	17:00

Πίνακας 2: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 2 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
2	34,31	5:00
2	33,01	6:00
2	60,21	7:00
2	26,96	8:00
2	25,05	9:00
2	43,37	10:00
2	43,03	11:00
2	40,94	12:00
2	40,58	13:00
2	49,26	14:00
2	49,21	15:00

2	50,97	16:00
2	50,74	17:00

Πίνακας 3: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 3 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
3	49,19	5:00
3	48,7	6:00
3	54,23	7:00
3	47,04	8:00
3	46,58	9:00
3	50,01	10:00
3	49,77	11:00
3	49,16	12:00
3	48,91	13:00
3	50,62	14:00
3	50,48	15:00
3	50,73	16:00
3	50,57	17:00

Πίνακας 4: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 4 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
4	40,98	5:00
4	40,03	6:00
4	54,93	7:00
4	36,12	8:00
4	35,27	9:00
4	44,72	10:00
4	44,39	11:00
4	43,05	12:00
4	42,7	13:00
4	47,47	14:00
4	47,34	15:00

4	48,22	16:00
4	48	17:00

Πίνακας 5: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 5 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
5	43,18	5:00
5	42,23	6:00
5	57,17	7:00
5	38,31	8:00
5	37,45	9:00
5	46,92	10:00
5	46,58	11:00
5	45,24	12:00
5	44,89	13:00
5	49,66	14:00
5	49,52	15:00
5	50,4	16:00
5	50,17	17:00

Πίνακας 6:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 6 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
6	47,55	5:00
6	46,65	6:00
6	59,23	7:00
6	43,2	8:00
6	42,38	9:00
6	50,31	10:00
6	49,95	11:00
6	48,73	12:00
6	48,35	13:00
6	52,32	14:00
6	52,15	15:00
6	52,84	16:00
6	52,6	17:00

Πίνακας 7:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 7 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
7	7,38	5:00
7	6,74	6:00
7	6,1	7:00
7	6	8:00
7	5,29	9:00
7	4,59	10:00
7	4,1	11:00
7	3,62	12:00
7	3,11	13:00
7	2,6	14:00
7	2,26	15:00
7	1,93	16:00
7	1,64	17:00

Πίνακας 8:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 8 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
8	48,25	5:00
8	47,34	6:00
8	59,58	7:00
8	43,94	8:00
8	43,1	9:00
8	50,8	10:00
8	50,42	11:00
8	49,21	12:00
8	48,81	13:00
8	52,67	14:00
8	52,49	15:00
8	53,16	16:00

8	52,92	17:00

Πίνακας 9:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 9 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
9	39,74	5:00
9	38,58	6:00
9	58,62	7:00
9	33,57	8:00
9	32,55	9:00
9	45,29	10:00
9	44,92	11:00
9	43,22	12:00
9	42,83	13:00
9	49,26	14:00
9	49,15	15:00
9	50,4	16:00
9	50,16	17:00

Πίνακας 10:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 10 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
10	42,07	5:00
10	40,91	6:00
10	60,98	7:00
10	35,88	8:00
10	34,86	9:00
10	47,63	10:00
10	47,26	11:00
10	45,56	12:00
10	45,16	13:00
10	51,61	14:00
10	51,5	15:00
10	52,74	16:00

10	52,51	17:00

Πίνακας 11:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 11 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
11	36,81	5:00
11	35,46	6:00
11	61,81	7:00
11	29,18	8:00
11	28,04	9:00
11	44,85	10:00
11	44,49	11:00
11	42,4	12:00
11	42,02	13:00
11	50,52	14:00
11	50,46	15:00
11	52,17	16:00
11	51,93	17:00

Πίνακας 12: Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 12 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
12	40,44	5:00
12	39,29	6:00
12	60,1	7:00
12	34,08	8:00
12	33,04	9:00
12	46,35	10:00
12	46,01	11:00
12	44,28	12:00
12	43,92	13:00
12	50,65	14:00
12	50,56	15:00
12	51,88	16:00
12	51,65	17:00

Πίνακας 13:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 13 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
13	27,38	5:00
13	26,17	6:00
13	48,7	7:00
13	20,6	8:00
13	19,51	9:00
13	33,95	10:00
13	33,61	11:00
13	31,77	12:00
13	31,42	13:00
13	38,72	14:00
13	38,65	15:00
13	40,1	16:00
13	39,88	17:00

Πίνακας 14:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 14 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
14	29,73	5:00
14	28,49	6:00
14	51,9	7:00
14	22,75	8:00
14	21,61	9:00
14	36,64	10:00
14	36,3	11:00
14	34,41	12:00
14	34,04	13:00
14	41,63	14:00
14	41,56	15:00
14	43,07	16:00

14	42,84	17:00

Πίνακας 15:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 15 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
15	37,35	5:00
15	36,11	6:00
15	59,53	7:00
15	30,37	8:00
15	29,24	9:00
15	44,27	10:00
15	43,93	11:00
15	42,03	12:00
15	41,67	13:00
15	49,26	14:00
15	49,18	15:00
15	50,7	16:00
15	50,47	17:00

Πίνακας 16:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 16 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
16	43	5:00
16	41,89	6:00
16	61,09	7:00
16	37,04	8:00
16	36,05	9:00
16	48,28	10:00
16	47,93	11:00
16	46,3	12:00
16	45,94	13:00
16	52,12	14:00
16	52,01	15:00

16	53,2	16:00
16	52,97	17:00

Πίνακας 17:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 17 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
17	43,81	5:00
17	42,72	6:00
17	61,08	7:00
17	38,06	8:00
17	37,08	9:00
17	48,77	10:00
17	48,41	11:00
17	46,82	12:00
17	46,44	13:00
17	52,33	14:00
17	52,21	15:00
17	53,34	16:00
17	53,11	17:00

Πίνακας 18:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 18 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
18	41,14	5:00
18	39,88	6:00
18	63,23	7:00
18	34,25	8:00
18	33,14	9:00
18	48,06	10:00
18	47,7	11:00
18	45,8	12:00
18	45,41	13:00
18	52,92	14:00
18	52,84	15:00
18	54,33	16:00

18	54,09	17:00

Πίνακας 19:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 19 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
19	36,34	5:00
19	34,99	6:00
19	61,33	7:00
19	28,71	8:00
19	27,56	9:00
19	44,38	10:00
19	44,02	11:00
19	41,93	12:00
19	41,54	13:00
19	50,05	14:00
19	49,98	15:00
19	51,69	16:00
19	51,46	17:00

Πίνακας 20:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 20 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
20	33,86	5:00
20	32,46	6:00
20	59,88	7:00
20	25,86	8:00
20	24,72	9:00
20	42,18	10:00
20	41,82	11:00
20	39,65	12:00
20	39,27	13:00
20	48,16	14:00
20	48,11	15:00

20	49,9	16:00
20	49,67	17:00

Πίνακας 21:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 21 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
21	37,83	5:00
21	36,5	6:00
21	62,28	7:00
21	30,42	8:00
21	29,26	9:00
21	45,74	10:00
21	45,38	11:00
21	43,33	12:00
21	42,95	13:00
21	51,24	14:00
21	51,17	15:00
21	52,83	16:00
21	52,6	17:00

Πίνακας 22:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 22 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
22	38,3	5:00
22	36,98	6:00
22	62,82	7:00
22	30,93	8:00
22	29,76	9:00
22	46,3	10:00
22	45,94	11:00
22	43,89	12:00
22	43,51	13:00

22	51,8	14:00
22	51,74	15:00
22	53,4	16:00
22	53,16	17:00

Πίνακας 23:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 23 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
23	36,25	5:00
23	35	6:00
23	57	7:00
23	29,66	8:00
23	28,58	9:00
23	42,56	10:00
23	42,16	11:00
23	40,32	12:00
23	39,9	13:00
23	46,93	14:00
23	46,81	15:00
23	48,18	16:00
23	47,93	17:00

Πίνακας 24:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 24 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
24	33,66	5:00
24	32,18	6:00
24	61,12	7:00
24	25,04	8:00
24	23,91	9:00
24	42,27	10:00
24	41,9	11:00
24	39,61	12:00

24	39,22	13:00
24	48,69	14:00
24	48,65	15:00
24	50,57	16:00
24	50,33	17:00

Πίνακας 25:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 25 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
25	7,1	5:00
25	6,39	6:00
25	5,67	7:00
25	5,6	8:00
25	4,82	9:00
25	4,03	10:00
25	3,49	11:00
25	2,95	12:00
25	2,39	13:00
25	1,83	14:00
25	1,45	15:00
25	1,07	16:00
25	0,76	17:00

Πίνακας 26:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 26 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
26	7,81	5:00
26	7,28	6:00
26	6,73	7:00
26	6,61	8:00
26	6,01	9:00
26	5,41	10:00
26	4,98	11:00
26	4,56	12:00
26	4,11	13:00
26	3,67	14:00
26	3,35	15:00

26	3,04	16:00
26	2,76	17:00

Πίνακας 27:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 27 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
27	39,59	5:00
27	38,3	6:00
27	63,5	7:00
27	32,39	8:00
27	31,18	9:00
27	47,38	10:00
27	47,02	11:00
27	45,02	12:00
27	44,65	13:00
27	52,73	14:00
27	52,67	15:00
27	54,29	16:00
27	54,06	17:00

Πίνακας 28:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 28 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
28	41,18	5:00
28	39,99	6:00
28	61,87	7:00
28	34,64	8:00
28	33,56	9:00
28	47,56	10:00
28	47,2	11:00

28	45,4	12:00
28	45,02	13:00
28	52,06	14:00
28	51,97	15:00
28	53,35	16:00
28	53,12	17:00

Πίνακας 29:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 29 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
29	43,22	5:00
29	42,06	6:00
29	62,72	7:00
29	36,92	8:00
29	35,88	9:00
29	49,07	10:00
29	48,72	11:00
29	47	12:00
29	46,62	13:00
29	53,28	14:00
29	53,18	15:00
29	54,48	16:00
29	54,25	17:00

Πίνακας 30:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 30 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
30	37,71	5:00
30	36,47	6:00
30	59,83	7:00
30	30,77	8:00
30	29,63	9:00
30	44,63	10:00
30	44,28	11:00

30	42,39	12:00
30	42,03	13:00
30	49,58	14:00
30	49,51	15:00
30	51,01	16:00
30	50,78	17:00

Πίνακας 31:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 31 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
31	34,06	5:00
31	32,78	6:00
31	57,71	7:00
31	26,84	8:00
31	25,61	9:00
31	41,68	10:00
31	41,33	11:00
31	39,35	12:00
31	38,98	13:00
31	47,02	14:00
31	46,95	15:00
31	48,56	16:00
31	48,33	17:00

Πίνακας 32:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 32 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
32	36,29	5:00
32	35	6:00
32	60,23	7:00
32	29,05	8:00
32	27,81	9:00
32	44,07	10:00
32	43,72	11:00
32	41,72	12:00

32	41,34	13:00
32	49,46	14:00
32	49,4	15:00
32	51,02	16:00
32	50,79	17:00

Πίνακας 33:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 33 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
33	39,02	5:00
33	37,72	6:00
33	63,21	7:00
33	31,73	8:00
33	30,47	9:00
33	46,92	10:00
33	46,57	11:00
33	44,55	12:00
33	44,18	13:00
33	52,38	14:00
33	52,32	15:00
33	53,96	16:00
33	53,73	17:00

Πίνακας 34:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 34 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
34	35,52	5:00
34	34,24	6:00
34	59,42	7:00
34	28,26	8:00
34	26,99	9:00
34	43,27	10:00

34	42,92	11:00
34	40,92	12:00
34	40,56	13:00
34	48,67	14:00
34	48,61	15:00
34	50,24	16:00
34	50,01	17:00

Πίνακας 35:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 35 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
35	33,88	5:00
35	32,61	6:00
35	57,08	7:00
35	26,7	8:00
35	25,5	9:00
35	41,25	10:00
35	40,9	11:00
35	38,95	12:00
35	38,58	13:00
35	46,49	14:00
35	46,43	15:00
35	48,01	16:00
35	47,79	17:00

Πίνακας 36:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 36 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
36	32,81	5:00
36	31,54	6:00
36	56,1	7:00
36	25,61	8:00
36	24,41	9:00
36	40,22	10:00
36	39,87	11:00

36	37,91	12:00
36	37,55	13:00
36	45,49	14:00
36	45,42	15:00
36	47,01	16:00
36	46,78	17:00

Πίνακας 37:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 37 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
37	26,61	5:00
37	25,35	6:00
37	49,73	7:00
37	19,44	8:00
37	18,25	9:00
37	33,94	10:00
37	33,59	11:00
37	31,64	12:00
37	31,27	13:00
37	39,16	14:00
37	39,1	15:00
37	40,68	16:00
37	40,45	17:00

Πίνακας 38:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 38 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
38	29,09	5:00
38	27,82	6:00
38	52,2	7:00
38	21,92	8:00
38	20,73	9:00
38	36,41	10:00
38	36,06	11:00

38	34,11	12:00
38	33,75	13:00
38	41,63	14:00
38	41,57	15:00
38	43,15	16:00
38	42,92	17:00

Πίνακας 39:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 39 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
39	8,68	5:00
39	8,34	6:00
39	8	7:00
39	7,95	8:00
39	7,57	9:00
39	7,19	10:00
39	6,92	11:00
39	6,65	12:00
39	6,37	13:00
39	6,09	14:00
39	5,88	15:00
39	5,68	16:00
39	5,49	17:00

Πίνακας 40:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 40 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
40	8,8	5:00
40	8,5	6:00
40	8,2	7:00
40	8,12	8:00
40	7,79	9:00

40	7,46	10:00
40	7,22	11:00
40	6,98	12:00
40	6,73	13:00
40	6,48	14:00
40	6,29	15:00
40	6,1	16:00
40	5,93	17:00

Πίνακας 41:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 41 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
41	14,25	5:00
41	12,96	6:00
41	39,8	7:00
41	6,74	8:00
41	5,07	9:00
41	22,74	10:00
41	22,42	11:00
41	20,36	12:00
41	20,02	13:00
41	28,62	14:00
41	28,59	15:00
41	30,35	16:00
41	30,14	17:00

Πίνακας 42:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 42 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
42	29,86	5:00
42	28,56	6:00
42	55,71	7:00
42	22,5	8:00
42	20,63	9:00

42	38,87	10:00
42	38,53	11:00
42	36,43	12:00
42	36,08	13:00
42	44,74	14:00
42	44,7	15:00
42	46,45	16:00
42	46,23	17:00

Πίνακας 43:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 43 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
43	8,95	5:00
43	8,71	6:00
43	8,46	7:00
43	8,4	8:00
43	8,13	9:00
43	7,85	10:00
43	7,66	11:00
43	7,47	12:00
43	7,27	13:00
43	7,07	14:00
43	6,93	15:00
43	6,78	16:00
43	6,65	17:00

Πίνακας 44:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 44 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
44	33,98	5:00
44	33,01	6:00

44	54,36	7:00
44	28,9	8:00
44	24,1	9:00
44	42,11	10:00
44	41,82	11:00
44	40,2	12:00
44	39,89	13:00
44	46,41	14:00
44	46,35	15:00
44	47,66	16:00
44	47,46	17:00

Πίνακας 45:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 45 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
45	37,64	5:00
45	36,35	6:00
45	63,58	7:00
45	30,32	8:00
45	28,4	9:00
45	46,76	10:00
45	46,43	11:00
45	44,33	12:00
45	43,97	13:00
45	52,65	14:00
45	52,61	15:00
45	54,37	16:00
45	54,14	17:00

Πίνακας 46:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 46 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
46	37,15	5:00
46	35,84	6:00
46	63,21	7:00

46	29,8	8:00
46	27,96	9:00
46	46,31	10:00
46	45,97	11:00
46	43,86	12:00
46	43,5	13:00
46	52,22	14:00
46	52,18	15:00
46	53,94	16:00
46	53,71	17:00

Πίνακας 47:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 47 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
47	39,12	5:00
47	37,8	6:00
47	64,68	7:00
47	31,82	8:00
47	30,52	9:00
47	47,88	10:00
47	47,53	11:00
47	45,44	12:00
47	45,07	13:00
47	53,61	14:00
47	53,56	15:00
47	55,28	16:00
47	55,05	17:00

Πίνακας 48:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 48 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
48	37,29	5:00
48	35,96	6:00
48	62,68	7:00

48	29,91	8:00
48	28,74	9:00
48	45,83	10:00
48	45,47	11:00
48	43,37	12:00
48	42,99	13:00
48	51,51	14:00
48	51,45	15:00
48	53,16	16:00
48	52,92	17:00

Πίνακας 49:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 49 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
49	36,38	5:00
49	35,07	6:00
49	63,5	7:00
49	29,18	8:00
49	27,65	9:00
49	46,3	10:00
49	45,95	11:00
49	43,8	12:00
49	43,43	13:00
49	52,35	14:00
49	52,31	15:00
49	54,12	16:00
49	53,89	17:00

Πίνακας 50:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 50 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
50	36,62	5:00
50	35,3	6:00
50	63,1	7:00

50	29,3	8:00
50	27,7	9:00
50	46,02	10:00
50	45,67	11:00
50	43,54	12:00
50	43,18	13:00
50	51,98	14:00
50	51,93	15:00
50	53,71	16:00
50	53,48	17:00

Πίνακας 51:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 51 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
51	35,8	5:00
51	34,49	6:00
51	62,69	7:00
51	28,68	8:00
51	27,43	9:00
51	45,57	10:00
51	45,22	11:00
51	43,08	12:00
51	42,71	13:00
51	51,53	14:00
51	51,49	15:00
51	53,27	16:00
51	53,04	17:00

Πίνακας 52:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 52 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]

52	31,98	5:00
52	30,71	6:00
52	59,99	7:00
52	25,28	8:00
52	24,02	9:00
52	42,9	10:00
52	42,55	11:00
52	40,38	12:00
52	40,01	13:00
52	49,02	14:00
52	48,98	15:00
52	50,8	16:00
52	50,57	17:00

Πίνακας 53:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 53 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
53	31,94	5:00
53	30,91	6:00
53	56,47	7:00
53	26,77	8:00
53	24,01	9:00
53	43,17	10:00
53	42,85	11:00
53	40,98	12:00
53	40,66	13:00
53	48,35	14:00
53	48,3	15:00
53	49,85	16:00
53	49,64	17:00

Πίνακας 54:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 54 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]

54	31,13	5:00
54	30,03	6:00
54	59,35	7:00
54	25,63	8:00
54	24,5	9:00
54	43,87	10:00
54	43,52	11:00
54	41,36	12:00
54	41	13:00
54	49,98	14:00
54	49,94	15:00
54	51,76	16:00
54	51,53	17:00

Πίνακας 55:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 55 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
55	30,3	5:00
55	29,11	6:00
55	58,96	7:00
55	24,35	8:00
55	23,2	9:00
55	42,35	10:00
55	42	11:00
55	39,82	12:00
55	39,46	13:00
55	48,51	14:00
55	48,46	15:00
55	50,3	16:00
55	50,07	17:00

Πίνακας 56:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 56 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure	Quality hour

	[m]	[h]
56	31,33	5:00
56	30,1	6:00
56	59,81	7:00
56	25,05	8:00
56	23,87	9:00
56	42,94	10:00
56	42,59	11:00
56	40,41	12:00
56	40,04	13:00
56	49,09	14:00
56	49,04	15:00
56	50,88	16:00
56	50,65	17:00

Πίνακας 57:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 57 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
57	31,7	5:00
57	30,51	6:00
57	60,12	7:00
57	25,67	8:00
57	24,54	9:00
57	43,54	10:00
57	43,19	11:00
57	41,02	12:00
57	40,65	13:00
57	49,67	14:00
57	49,63	15:00
57	51,45	16:00
57	51,22	17:00

Πίνακας 58:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 58 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος

Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
58	31,17	5:00
58	29,94	6:00
58	59,57	7:00
58	24,88	8:00
58	23,73	9:00
58	42,71	10:00
58	42,36	11:00
58	40,18	12:00
58	39,81	13:00
58	48,83	14:00
58	48,78	15:00
58	50,61	16:00
58	50,38	17:00

Πίνακας 59:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 59 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
59	35,22	5:00
59	33,89	6:00
59	61,25	7:00
59	27,91	8:00
59	26,74	9:00
59	44,22	10:00
59	43,86	11:00
59	41,74	12:00
59	41,36	13:00
59	50,01	14:00
59	49,96	15:00
59	51,7	16:00
59	51,46	17:00

Πίνακας 60:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 60 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
60	37,93	5:00
60	36,6	6:00
60	63,34	7:00
60	30,55	8:00
60	29,39	9:00
60	46,49	10:00
60	46,12	11:00
60	44,03	12:00
60	43,65	13:00
60	52,17	14:00
60	52,11	15:00
60	53,82	16:00
60	53,58	17:00

Πίνακας 61:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 61 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
61	31,06	5:00
61	29,73	6:00
61	56,82	7:00
61	23,71	8:00
61	22,56	9:00
61	39,78	10:00
61	39,42	11:00
61	37,32	12:00
61	36,93	13:00
61	45,5	14:00
61	45,43	15:00
61	47,16	16:00
61	46,92	17:00

Πίνακας 62:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 62 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
62	38,09	5:00
62	36,77	6:00
62	62,55	7:00
62	30,69	8:00
62	29,53	9:00
62	46,02	10:00
62	45,66	11:00
62	43,61	12:00
62	43,23	13:00
62	51,52	14:00
62	51,45	15:00
62	53,11	16:00
62	52,88	17:00

Πίνακας 63:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 63 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
63	36,5	5:00
63	35,2	6:00
63	60,11	7:00
63	29,41	8:00
63	28,34	9:00
63	44,01	10:00
63	43,64	11:00
63	41,65	12:00
63	41,26	13:00
63	49,14	14:00
63	49,05	15:00
63	50,62	16:00
63	50,37	17:00

Πίνακας 64:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 64 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
64	34,98	5:00
64	33,68	6:00
64	58,62	7:00
64	27,88	8:00
64	26,81	9:00
64	42,5	10:00
64	42,12	11:00
64	40,14	12:00
64	39,75	13:00
64	47,63	14:00
64	47,55	15:00
64	49,12	16:00
64	48,87	17:00

Πίνακας 65:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 65 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
65	41,61	5:00
65	40,47	6:00
65	58,94	7:00
65	35,83	8:00
65	34,9	9:00
65	46,4	10:00
65	46	11:00
65	44,4	12:00
65	43,98	13:00
65	49,79	14:00
65	49,63	15:00
65	50,72	16:00
65	50,46	17:00

Πίνακας 66:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 66 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
66	7,49	5:00
66	6,91	6:00
66	6,33	7:00
66	6,15	8:00
66	5,52	9:00
66	4,9	10:00
66	4,46	11:00
66	4,02	12:00
66	3,56	13:00
66	3,1	14:00
66	2,76	15:00
66	2,43	16:00
66	2,13	17:00

Πίνακας 67:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 67 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
67	24,86	5:00
67	23,74	6:00
67	52,2	7:00
67	19,51	8:00
67	18,55	9:00
67	36,79	10:00
67	36,44	11:00
67	34,37	12:00
67	34,01	13:00
67	42,5	14:00
67	42,45	15:00
67	44,16	16:00
67	43,93	17:00

Πίνακας 68:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 68 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
68	30,7	5:00
68	29,57	6:00
68	58,62	7:00
68	25,26	8:00
68	24,28	9:00
68	42,91	10:00
68	42,57	11:00
68	40,46	12:00
68	40,1	13:00
68	48,78	14:00
68	48,73	15:00
68	50,49	16:00
68	50,26	17:00

Πίνακας 69:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 69 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
69	30,39	5:00
69	29,22	6:00
69	58,63	7:00
69	24,63	8:00
69	23,57	9:00
69	42,46	10:00
69	42,11	11:00
69	39,96	12:00
69	39,6	13:00
69	48,48	14:00
69	48,43	15:00
69	50,23	16:00
69	50	17:00

Πίνακας 70:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 70 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
70	30,05	5:00
70	28,87	6:00
70	58,77	7:00
70	24,14	8:00
70	23	9:00
70	42,17	10:00
70	41,82	11:00
70	39,64	12:00
70	39,28	13:00
70	48,33	14:00
70	48,29	15:00
70	50,13	16:00
70	49,89	17:00

Πίνακας 71:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 71 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
71	29,69	5:00
71	28,56	6:00
71	57,6	7:00
71	24,25	8:00
71	23,27	9:00
71	41,91	10:00
71	41,56	11:00
71	39,46	12:00
71	39,09	13:00
71	47,77	14:00
71	47,72	15:00
71	49,48	16:00
71	49,25	17:00

Πίνακας 72:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 72 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
72	27,67	5:00
72	26,56	6:00
72	55,69	7:00
72	22,45	8:00
72	21,47	9:00
72	40,32	10:00
72	39,97	11:00
72	37,87	12:00
72	37,51	13:00
72	46,22	14:00
72	46,17	15:00
72	47,94	16:00
72	47,71	17:00

Πίνακας 73:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 73 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
73	28,05	5:00
73	26,94	6:00
73	55,85	7:00
73	22,7	8:00
73	21,8	9:00
73	40,31	10:00
73	39,96	11:00
73	37,87	12:00
73	37,51	13:00
73	46,14	14:00
73	46,09	15:00
73	47,84	16:00
73	47,61	17:00

Πίνακας 74:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 74 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
74	31,48	5:00
74	30,39	6:00
74	59,56	7:00
74	26,14	8:00
74	25,07	9:00
74	44,27	10:00
74	43,93	11:00
74	41,79	12:00
74	41,43	13:00
74	50,31	14:00
74	50,27	15:00
74	52,07	16:00
74	51,84	17:00

Πίνακας 75:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 75 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
75	28,94	5:00
75	27,87	6:00
75	56,78	7:00
75	23,91	8:00
75	22,91	9:00
75	41,85	10:00
75	41,51	11:00
75	39,4	12:00
75	39,04	13:00
75	47,76	14:00
75	47,71	15:00
75	49,48	16:00
75	49,25	17:00

Πίνακας 76:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 76 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
76	20	5:00
76	20	6:00
76	20	7:00
76	20	8:00
76	19,32	9:00
76	20	10:00
76	20	11:00
76	20	12:00
76	20	13:00
76	20	14:00
76	20	15:00
76	20	16:00
76	20	17:00

Πίνακας 77:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 77 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
77	36,72	5:00
77	35,85	6:00
77	54,06	7:00
77	32,13	8:00
77	22,73	9:00
77	43,59	10:00
77	43,31	11:00
77	41,87	12:00
77	41,57	13:00
77	47,23	14:00
77	47,15	15:00
77	48,27	16:00
77	48,08	17:00

Πίνακας 78:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 78 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
78	35,76	5:00
78	34,8	6:00
78	55,81	7:00
78	30,67	8:00
78	24,61	9:00
78	43,71	10:00
78	43,42	11:00
78	41,81	12:00
78	41,51	13:00
78	47,96	14:00
78	47,9	15:00
78	49,19	16:00
78	49	17:00

Πίνακας 79:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 79 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
79	36,45	5:00
79	35,48	6:00
79	56,72	7:00
79	31,35	8:00
79	25,77	9:00
79	44,51	10:00
79	44,22	11:00
79	42,6	12:00
79	42,3	13:00
79	48,8	14:00
79	48,74	15:00
79	50,04	16:00
79	49,85	17:00

Πίνακας 80:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 80 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
80	18,5	5:00
80	17,67	6:00
80	41,47	7:00
80	14,15	8:00
80	13,09	9:00
80	33,68	10:00
80	33,35	11:00
80	31,37	12:00
80	31,03	13:00
80	39,22	14:00
80	39,17	15:00
80	40,83	16:00
80	40,61	17:00

Πίνακας 81:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 81 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
81	33,67	5:00
81	32,21	6:00
81	60,79	7:00
81	25,23	8:00
81	24,09	9:00
81	42,25	10:00
81	41,88	11:00
81	39,62	12:00
81	39,23	13:00
81	48,56	14:00
81	48,52	15:00
81	50,41	16:00
81	50,17	17:00

Πίνακας 82:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 82 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
82	15,61	5:00
82	16,55	6:00
82	17,43	7:00
82	18,85	8:00
82	19,53	9:00
82	20	10:00
82	20	11:00
82	20	12:00
82	20	13:00
82	20	14:00
82	20	15:00
82	20	16:00
82	20	17:00

Πίνακας 83:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 83 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
83	23,83	5:00
83	23,16	6:00
83	35,72	7:00
83	20,61	8:00
83	16,59	9:00
83	28,78	10:00
83	28,5	11:00
83	27,42	12:00
83	27,13	13:00
83	31	14:00
83	30,89	15:00
83	31,61	16:00
83	31,42	17:00

Πίνακας 84:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 84 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
84	8,5	5:00
84	8,17	6:00
84	7,84	7:00
84	7,71	8:00
84	7,36	9:00
84	6,98	10:00
84	6,74	11:00
84	6,49	12:00
84	6,23	13:00
84	5,98	14:00
84	5,78	15:00
84	5,59	16:00
84	5,42	17:00

Πίνακας 85:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 85 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
85	39,51	5:00
85	38,24	6:00
85	62,23	7:00
85	32,5	8:00
85	31,36	9:00
85	46,72	10:00
85	46,36	11:00
85	44,42	12:00
85	44,04	13:00
85	51,75	14:00
85	51,68	15:00
85	53,21	16:00
85	52,98	17:00

Πίνακας 86:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 86 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Χρόνος
Node ID	Pressure [m]	Quality hour [h]
86	24,65	5:00
86	23,61	6:00
86	51,57	7:00
86	19,77	8:00
86	18,66	9:00
86	38,35	10:00
86	38,02	11:00
86	36,01	12:00
86	35,66	13:00
86	43,99	14:00
86	43,95	15:00
86	45,64	16:00
86	45,42	17:00

Πίνακας 87:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 1 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
NODE ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
1	1	0:00
1	0,84	1:00
1	0,76	2:00
1	0,82	3:00
1	0,89	4:00
1	0,95	5:00
1	0,91	6:00
1	0,83	7:00
1	0,61	8:00
1	0,38	9:00
1	0,12	10:00
1	0	11:00

1	0	12:00
1	0	13:00
1	0	14:00
1	0	15:00
1	0	16:00
1	0	17:00
1	0	18:00
1	0	19:00
1	0	20:00
1	0	21:00
1	0	22:00
1	0	23:00
1	0	24:00

Πίνακας 88:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 2 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
2	26,84	0:00
2	35,32	1:00
2	52,87	2:00
2	53,12	3:00
2	53,09	4:00
2	50,54	5:00
2	46,61	6:00
2	26,98	7:00
2	24,77	8:00
2	21,44	9:00
2	19	10:00
2	7,09	11:00
2	3,24	12:00
2	0	13:00
2	0	14:00
2	0	15:00
2	0	16:00

2	0	17:00
2	0	18:00
2	0	19:00
2	0	20:00
2	0	21:00
2	0	22:00
2	0	23:00
2	0	24:00

Πίνακας 89:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 3 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
3	44,52	0:00
3	45,42	1:00
3	46,51	2:00
3	46,59	3:00
3	46,62	4:00
3	46,36	5:00
3	45,88	6:00
3	42,4	7:00
3	41,89	8:00
3	40,65	9:00
3	40,02	10:00
3	6,96	11:00
3	3,74	12:00
3	0	13:00
3	0	14:00

3	0	15:00
3	0	16:00
3	0	17:00
3	0	18:00
3	0	19:00
3	0	20:00
3	0	21:00
3	0	22:00
3	0	23:00
3	0	24:00

Πίνακας 90:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 4 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
4	41	0:00
4	43,84	1:00
4	47,63	2:00
4	47,78	3:00
4	47,74	4:00
4	46,79	5:00
4	45,37	6:00
4	36	7:00
4	35,01	8:00
4	32,15	9:00
4	30,86	10:00
4	7,23	11:00
4	3,97	12:00
4	0	13:00
4	0	14:00
4	0	15:00

4	0	16:00
4	0	17:00
4	0	18:00
4	0	19:00
4	0	20:00
4	0	21:00
4	0	22:00
4	0	23:00
4	0	24:00

Πίνακας 91:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 5 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
5	43,29	0:00
5	46,16	1:00
5	50,33	2:00
5	50,48	3:00
5	50,4	4:00
5	49,11	5:00
5	47,66	6:00
5	38,24	7:00
5	37,24	8:00
5	34,38	9:00
5	33,09	10:00
5	10,24	11:00
5	7,01	12:00
5	0	13:00

5	0	14:00
5	0	15:00
5	0	16:00
5	0	17:00
5	0	18:00
5	0	19:00
5	0	20:00
5	0	21:00
5	0	22:00
5	0	23:00
5	0	24:00

Πίνακας 92:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 6 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
6	47,96	0:00
6	50,11	1:00
6	53,1	2:00
6	53,18	3:00
6	53,07	4:00
6	51,88	5:00
6	50,87	6:00
6	43,11	7:00
6	42,15	8:00
6	39,6	9:00
6	38,37	10:00
6	15,78	11:00
6	12,73	12:00
6	0	13:00
6	0	14:00

6	0	15:00
6	0	16:00
6	0	17:00
6	0	18:00
6	0	19:00
6	0	20:00
6	0	21:00
6	0	22:00
6	0	23:00
6	0	24:00

Πίνακας 93:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 7 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
NODE ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
7	10	0:00
7	9,12	1:00
7	8,37	2:00
7	7,77	3:00
7	7,2	4:00
7	6,64	5:00
7	6,03	6:00
7	5,39	7:00
7	4,49	8:00
7	3,58	9:00
7	2,63	10:00
7	1,5	11:00
7	0,21	12:00

7	0	13:00
7	0	14:00
7	0	15:00
7	0	16:00
7	0	17:00
7	0	18:00
7	0	19:00
7	0	20:00
7	0	21:00
7	0	22:00
7	0	23:00
7	0	24:00

Πίνακας 94:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 8 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
8	49,51	0:00
8	51,75	1:00
8	55,47	2:00
8	55,42	3:00
8	55,19	4:00
8	53,7	5:00
8	52,3	6:00
8	44,24	7:00
8	43,21	8:00
8	40,66	9:00
8	39,37	10:00

8	24,08	11:00
8	21,38	12:00
8	0	13:00
8	0	14:00
8	0	15:00
8	0	16:00
8	0	17:00
8	0	18:00
8	0	19:00
8	0	20:00
8	0	21:00
8	0	22:00
8	0	23:00
8	0	24:00

Πίνακας 95:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 9 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
9	41,74	0:00
9	46,08	1:00
9	53,09	2:00
9	53,2	3:00
9	53,05	4:00
9	50,75	5:00
9	48,54	6:00
9	35,27	7:00
9	34,02	8:00
9	30,37	9:00
9	28,7	10:00
9	14,62	11:00
9	11,53	12:00
9	0	13:00

9	0	14:00
9	0	15:00
9	0	16:00
9	0	17:00
9	0	18:00
9	0	19:00
9	0	20:00
9	0	21:00
9	0	22:00
9	0	23:00
9	0	24:00

Πίνακας 96:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 10 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
10	44,1	0:00
10	48,44	1:00
10	55,45	2:00
10	55,57	3:00
10	55,41	4:00
10	53,11	5:00
10	50,9	6:00
10	37,62	7:00
10	36,37	8:00
10	32,72	9:00
10	31,05	10:00
10	16,98	11:00

10	13,89	12:00
10	0	13:00
10	0	14:00
10	0	15:00
10	0	16:00
10	0	17:00
10	0	18:00
10	0	19:00
10	0	20:00
10	0	21:00
10	0	22:00
10	0	23:00
10	0	24:00

Πίνακας 97:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 11 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
11	38,2	0:00
11	44,5	1:00
11	54,76	2:00
11	55,04	3:00
11	54,95	4:00
11	51,86	5:00
11	48,96	6:00
11	31,02	7:00
11	29,59	8:00
11	25,06	9:00

11	23,04	10:00
11	9,18	11:00
11	5,67	12:00
11	0	13:00
11	0	14:00
11	0	15:00
11	0	16:00
11	0	17:00
11	0	18:00
11	0	19:00
11	0	20:00
11	0	21:00
11	0	22:00
11	0	23:00
11	0	24:00

Πίνακας 98:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 12 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
12	41,18	0:00
12	45,78	1:00
12	52,79	2:00
12	52,96	3:00
12	52,92	4:00
12	51,23	5:00
12	48,79	6:00
12	34,95	7:00
12	33,68	8:00
12	29,89	9:00
12	28,22	10:00
12	9,53	11:00
12	6,09	12:00

12	0	13:00
12	0	14:00
12	0	15:00
12	0	16:00
12	0	17:00
12	0	18:00
12	0	19:00
12	0	20:00
12	0	21:00
12	0	22:00
12	0	23:00
12	0	24:00

Πίνακας 99:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 13 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
13	25,36	0:00
13	31,41	1:00
13	41,18	2:00
13	41,28	3:00
13	41,28	4:00
13	39,44	5:00
13	35,83	6:00
13	18,48	7:00
13	16,98	8:00
13	12,58	9:00
13	10,6	10:00

13	0	11:00
13	0	12:00
13	0	13:00
13	0	14:00
13	0	15:00
13	0	16:00
13	0	17:00
13	0	18:00
13	0	19:00
13	0	20:00
13	0	21:00
13	0	22:00
13	0	23:00
13	0	24:00

Πίνακας 100:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 14 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
14	28,61	0:00
14	34,65	1:00
14	44,42	2:00
14	44,56	3:00
14	44,54	4:00
14	42,62	5:00
14	39,1	6:00
14	21,81	7:00
14	20,31	8:00
14	15,95	9:00
14	13,97	10:00
14	0	11:00

14	0	12:00
14	0	13:00
14	0	14:00
14	0	15:00
14	0	16:00
14	0	17:00
14	0	18:00
14	0	19:00
14	0	20:00
14	0	21:00
14	0	22:00
14	0	23:00
14	0	24:00

Πίνακας 101:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 15 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
15	37,16	0:00
15	42,89	1:00
15	52,11	2:00
15	52,28	3:00
15	52,25	4:00
15	50,26	5:00
15	47,07	6:00
15	30,54	7:00
15	29,09	8:00
15	24,85	9:00

15	22,94	10:00
15	6,98	11:00
15	3,4	12:00
15	0	13:00
15	0	14:00
15	0	15:00
15	0	16:00
15	0	17:00
15	0	18:00
15	0	19:00
15	0	20:00
15	0	21:00
15	0	22:00
15	0	23:00
15	0	24:00

Πίνακας 102:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 16 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
16	44,1	0:00
16	48,15	1:00
16	54,31	2:00
16	54,47	3:00
16	54,39	4:00
16	52,66	5:00
16	50,6	6:00
16	38,13	7:00
16	36,93	8:00
16	33,43	9:00
16	31,86	10:00

16	13,05	11:00
16	9,75	12:00
16	0	13:00
16	0	14:00
16	0	15:00
16	0	16:00
16	0	17:00
16	0	18:00
16	0	19:00
16	0	20:00
16	0	21:00
16	0	22:00
16	0	23:00
16	0	24:00

Πίνακας 103:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 17 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
17	45	0:00
17	48,9	1:00
17	55,15	2:00
17	55,26	3:00
17	55,13	4:00
17	53,26	5:00
17	51,2	6:00
17	39,11	7:00
17	37,92	8:00

17	34,54	9:00
17	32,98	10:00
17	16,43	11:00
17	13,28	12:00
17	0	13:00
17	0	14:00
17	0	15:00
17	0	16:00
17	0	17:00
17	0	18:00
17	0	19:00
17	0	20:00
17	0	21:00
17	0	22:00
17	0	23:00
17	0	24:00

Πίνακας 104:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 18 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
18	42,38	0:00
18	47,83	1:00
18	56,75	2:00
18	56,95	3:00
18	56,84	4:00
18	54,23	5:00
18	51,59	6:00
18	35,79	7:00
18	34,42	8:00
18	30,36	9:00

18	28,49	10:00
18	14,24	11:00
18	10,88	12:00
18	0	13:00
18	0	14:00
18	0	15:00
18	0	16:00
18	0	17:00
18	0	18:00
18	0	19:00
18	0	20:00
18	0	21:00
18	0	22:00
18	0	23:00
18	0	24:00

Πίνακας 105:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 19 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
19	37,69	0:00
19	43,99	1:00
19	54,28	2:00
19	54,56	3:00
19	54,47	4:00
19	51,37	5:00
19	48,47	6:00
19	30,53	7:00

19	29,1	8:00
19	24,57	9:00
19	22,55	10:00
19	8,69	11:00
19	5,18	12:00
19	0	13:00
19	0	14:00
19	0	15:00
19	0	16:00
19	0	17:00
19	0	18:00
19	0	19:00
19	0	20:00
19	0	21:00
19	0	22:00
19	0	23:00
19	0	24:00

Πίνακας 106:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 20 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
20	35,97	0:00
20	42,38	1:00
20	52,74	2:00
20	53,04	3:00
20	52,95	4:00
20	49,73	5:00
20	46,81	6:00
20	28,47	7:00
20	27,04	8:00

20	22,33	9:00
20	20,3	10:00
20	6,45	11:00
20	2,93	12:00
20	0	13:00
20	0	14:00
20	0	15:00
20	0	16:00
20	0	17:00
20	0	18:00
20	0	19:00
20	0	20:00
20	0	21:00
20	0	22:00
20	0	23:00
20	0	24:00

Πίνακας 107:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 21 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
21	38,67	0:00
21	44,96	1:00
21	55,25	2:00
21	55,52	3:00
21	55,44	4:00
21	52,39	5:00
21	49,48	6:00

21	31,67	7:00
21	30,24	8:00
21	25,8	9:00
21	23,77	10:00
21	9,92	11:00
21	6,4	12:00
21	0	13:00
21	0	14:00
21	0	15:00
21	0	16:00
21	0	17:00
21	0	18:00
21	0	19:00
21	0	20:00
21	0	21:00
21	0	22:00
21	0	23:00
21	0	24:00

Πίνακας 108:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 22 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
22	36,76	0:00
22	43,64	1:00
22	55,49	2:00
22	55,78	3:00
22	55,71	4:00
22	52,6	5:00
22	49,48	6:00
22	30,84	7:00

22	29,36	8:00
22	25,08	9:00
22	22,94	10:00
22	9,45	11:00
22	5,82	12:00
22	0	13:00
22	0	14:00
22	0	15:00
22	0	16:00
22	0	17:00
22	0	18:00
22	0	19:00
22	0	20:00
22	0	21:00
22	0	22:00
22	0	23:00
22	0	24:00

Πίνακας 109:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 23 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
23	29,31	0:00
23	36,67	1:00
23	49,38	2:00
23	49,72	3:00
23	49,65	4:00
23	46,22	5:00
23	42,99	6:00
23	23,25	7:00

23	21,75	8:00
23	17,41	9:00
23	15,16	10:00
23	2,27	11:00
23	0	12:00
23	0	13:00
23	0	14:00
23	0	15:00
23	0	16:00
23	0	17:00
23	0	18:00
23	0	19:00
23	0	20:00
23	0	21:00
23	0	22:00
23	0	23:00
23	0	24:00

Πίνακας 110:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 24 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
24	34,42	0:00
24	41,68	1:00
24	53,55	2:00
24	53,9	3:00
24	53,83	4:00
24	50,24	5:00

24	47,11	6:00
24	27,18	7:00
24	25,7	8:00
24	20,79	9:00
24	18,63	10:00
24	5,23	11:00
24	1,61	12:00
24	0	13:00
24	0	14:00
24	0	15:00
24	0	16:00
24	0	17:00
24	0	18:00
24	0	19:00
24	0	20:00
24	0	21:00
24	0	22:00
24	0	23:00
24	0	24:00

Πίνακας 111:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 25 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
NODE ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
25	0	0:00
25	0	1:00
25	0	2:00
25	0	3:00
25	0	4:00
25	0	5:00
25	0	6:00

25	0	7:00
25	0	8:00
25	0	9:00
25	0	10:00
25	0	11:00
25	0	12:00
25	0	13:00
25	0	14:00
25	0	15:00
25	0	16:00
25	0	17:00
25	0	18:00
25	0	19:00
25	0	20:00
25	0	21:00
25	0	22:00
25	0	23:00
25	0	24:00

Πίνακας 112:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 26 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
NODE ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
26	10	0:00
26	9,29	1:00
26	8,69	2:00
26	8,23	3:00
26	7,79	4:00

26	7,36	5:00
26	6,87	6:00
26	6,35	7:00
26	5,59	8:00
26	4,82	9:00
26	4,01	10:00
26	3,1	11:00
26	2,1	12:00
26	0,1	13:00
26	0	14:00
26	0	15:00
26	0	16:00
26	0	17:00
26	0	18:00
26	0	19:00
26	0	20:00
26	0	21:00
26	0	22:00
26	0	23:00
26	0	24:00

Πίνακας 113:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 27 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
27	39,16	0:00
27	45,49	1:00
27	56,31	2:00
27	56,55	3:00
27	56,49	4:00

27	53,91	5:00
27	50,79	6:00
27	33,38	7:00
27	31,87	8:00
27	27,75	9:00
27	25,71	10:00
27	11,43	11:00
27	7,83	12:00
27	0	13:00
27	0	14:00
27	0	15:00
27	0	16:00
27	0	17:00
27	0	18:00
27	0	19:00
27	0	20:00
27	0	21:00
27	0	22:00
27	0	23:00
27	0	24:00

Πίνακας 114:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 28 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
28	41,98	0:00
28	47,01	1:00
28	55,16	2:00
28	55,34	3:00
28	55,25	4:00
28	53,1	5:00

28	50,57	6:00
28	35,9	7:00
28	34,57	8:00
28	30,76	9:00
28	28,98	10:00
28	13,02	11:00
28	9,65	12:00
28	0	13:00
28	0	14:00
28	0	15:00
28	0	16:00
28	0	17:00
28	0	18:00
28	0	19:00
28	0	20:00
28	0	21:00
28	0	22:00
28	0	23:00
28	0	24:00

Πίνακας 115:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 29 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
29	44,33	0:00
29	48,84	1:00
29	55,94	2:00
29	56,1	3:00

29	56,02	4:00
29	54,07	5:00
29	51,76	6:00
29	38,18	7:00
29	36,92	8:00
29	33,22	9:00
29	31,56	10:00
29	13,97	11:00
29	10,62	12:00
29	0	13:00
29	0	14:00
29	0	15:00
29	0	16:00
29	0	17:00
29	0	18:00
29	0	19:00
29	0	20:00
29	0	21:00
29	0	22:00
29	0	23:00
29	0	24:00

Πίνακας 116:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 30 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
30	37,97	0:00
30	43,54	1:00
30	52,48	2:00
30	52,67	3:00
30	52,63	4:00

30	50,59	5:00
30	47,62	6:00
30	31,59	7:00
30	30,17	8:00
30	26,04	9:00
30	24,17	10:00
30	7,85	11:00
30	4,3	12:00
30	0	13:00
30	0	14:00
30	0	15:00
30	0	16:00
30	0	17:00
30	0	18:00
30	0	19:00
30	0	20:00
30	0	21:00
30	0	22:00
30	0	23:00
30	0	24:00

Πίνακας 117:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 31 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
31	33,72	0:00
31	39,94	1:00
31	50,32	2:00

31	50,52	3:00
31	50,48	4:00
31	48,22	5:00
31	44,96	6:00
31	27,63	7:00
31	26,1	8:00
31	21,86	9:00
31	19,85	10:00
31	4,9	11:00
31	1,26	12:00
31	0	13:00
31	0	14:00
31	0	15:00
31	0	16:00
31	0	17:00
31	0	18:00
31	0	19:00
31	0	20:00
31	0	21:00
31	0	22:00
31	0	23:00
31	0	24:00

Πίνακας 118:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 32 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
32	35,88	0:00
32	42,21	1:00
32	52,86	2:00
32	53,07	3:00

32	53,03	4:00
32	50,66	5:00
32	47,46	6:00
32	30	7:00
32	28,47	8:00
32	24,27	9:00
32	22,24	10:00
32	7,44	11:00
32	3,81	12:00
32	0	13:00
32	0	14:00
32	0	15:00
32	0	16:00
32	0	17:00
32	0	18:00
32	0	19:00
32	0	20:00
32	0	21:00
32	0	22:00
32	0	23:00
32	0	24:00

Πίνακας 119:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 33 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
33	38,44	0:00
33	44,88	1:00
33	55,82	2:00
33	56,04	3:00

33	56	4:00
33	53,6	5:00
33	50,35	6:00
33	32,71	7:00
33	31,14	8:00
33	26,95	9:00
33	24,9	10:00
33	10,29	11:00
33	6,63	12:00
33	0	13:00
33	0	14:00
33	0	15:00
33	0	16:00
33	0	17:00
33	0	18:00
33	0	19:00
33	0	20:00
33	0	21:00
33	0	22:00
33	0	23:00
33	0	24:00

Πίνακας 120:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 34 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
34	34,93	0:00
34	41,28	1:00

34	52,02	2:00
34	52,22	3:00
34	52,19	4:00
34	49,91	5:00
34	46,59	6:00
34	29,05	7:00
34	27,48	8:00
34	23,27	9:00
34	21,23	10:00
34	6,49	11:00
34	2,83	12:00
34	0	13:00
34	0	14:00
34	0	15:00
34	0	16:00
34	0	17:00
34	0	18:00
34	0	19:00
34	0	20:00
34	0	21:00
34	0	22:00
34	0	23:00
34	0	24:00

Πίνακας 121:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 35 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
35	33,49	0:00
35	39,61	1:00
35	49,65	2:00

35	49,82	3:00
35	49,8	4:00
35	47,7	5:00
35	44,31	6:00
35	27,02	7:00
35	25,5	8:00
35	21,21	9:00
35	19,22	10:00
35	4,13	11:00
35	0,5	12:00
35	0	13:00
35	0	14:00
35	0	15:00
35	0	16:00
35	0	17:00
35	0	18:00
35	0	19:00
35	0	20:00
35	0	21:00
35	0	22:00
35	0	23:00
35	0	24:00

Πίνακας 122:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 36 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
36	32,4	0:00

36	38,55	1:00
36	48,66	2:00
36	48,84	3:00
36	48,81	4:00
36	46,7	5:00
36	43,3	6:00
36	25,94	7:00
36	24,41	8:00
36	20,11	9:00
36	18,11	10:00
36	3,1	11:00
36	0	12:00
36	0	13:00
36	0	14:00
36	0	15:00
36	0	16:00
36	0	17:00
36	0	18:00
36	0	19:00
36	0	20:00
36	0	21:00
36	0	22:00
36	0	23:00
36	0	24:00

Πίνακας 123:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 37 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
37	26,06	0:00
37	32,2	1:00

37	42,27	2:00
37	42,43	3:00
37	42,41	4:00
37	40,38	5:00
37	36,92	6:00
37	19,56	7:00
37	18,03	8:00
37	13,73	9:00
37	11,73	10:00
37	0	11:00
37	0	12:00
37	0	13:00
37	0	14:00
37	0	15:00
37	0	16:00
37	0	17:00
37	0	18:00
37	0	19:00
37	0	20:00
37	0	21:00
37	0	22:00
37	0	23:00
37	0	24:00

Πίνακας 124:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 38 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]

38	28,6	0:00
38	34,72	1:00
38	44,74	2:00
38	44,9	3:00
38	44,88	4:00
38	42,84	5:00
38	39,41	6:00
38	22,08	7:00
38	20,56	8:00
38	16,25	9:00
38	14,26	10:00
38	0	11:00
38	0	12:00
38	0	13:00
38	0	14:00
38	0	15:00
38	0	16:00
38	0	17:00
38	0	18:00
38	0	19:00
38	0	20:00
38	0	21:00
38	0	22:00
38	0	23:00
38	0	24:00

Πίνακας 125:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 39 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
NODE ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
39	0	0:00

39	0	1:00
39	0	2:00
39	0	3:00
39	0,05	4:00
39	0,08	5:00
39	0	6:00
39	0	7:00
39	0	8:00
39	0	9:00
39	0	10:00
39	0	11:00
39	0	12:00
39	0	13:00
39	0	14:00
39	0	15:00
39	0	16:00
39	0	17:00
39	0	18:00
39	0	19:00
39	0	20:00
39	0	21:00
39	0	22:00
39	0	23:00
39	0	24:00

Πίνακας 126:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 40 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour

		[h]
40	10	0:00
40	9,56	1:00
40	9,2	2:00
40	8,95	3:00
40	8,71	4:00
40	8,48	5:00
40	8,21	6:00
40	7,92	7:00
40	7,48	8:00
40	7,03	9:00
40	6,56	10:00
40	6,06	11:00
40	5,52	12:00
40	4,61	13:00
40	2,34	14:00
40	0	15:00
40	0	16:00
40	0	17:00
40	0	18:00
40	0	19:00
40	0	20:00
40	0	21:00
40	0	22:00
40	0	23:00
40	0	24:00

Πίνακας 127:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 41 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]

41	7,24	0:00
41	15,75	1:00
41	32,04	2:00
41	32,19	3:00
41	32,17	4:00
41	30,03	5:00
41	25,67	6:00
41	5,74	7:00
41	3,61	8:00
41	0	9:00
41	0	10:00
41	0	11:00
41	0	12:00
41	0	13:00
41	0	14:00
41	0	15:00
41	0	16:00
41	0	17:00
41	0	18:00
41	0	19:00
41	0	20:00
41	0	21:00
41	0	22:00
41	0	23:00
41	0	24:00

Πίνακας 128:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 42 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας

Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
42	23,11	0:00
42	31,44	1:00
42	48,36	2:00
42	48,6	3:00
42	48,57	4:00
42	46,04	5:00
42	42,14	6:00
42	22,6	7:00
42	20,43	8:00
42	17,02	9:00
42	14,61	10:00
42	2,57	11:00
42	0	12:00
42	0	13:00
42	0	14:00
42	0	15:00
42	0	16:00
42	0	17:00
42	0	18:00
42	0	19:00
42	0	20:00
42	0	21:00
42	0	22:00
42	0	23:00
42	0	24:00

Πίνακας 129:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 43 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
NODE ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]

43	0	0:00
43	0	1:00
43	0	2:00
43	0,02	3:00
43	0,05	4:00
43	0,08	5:00
43	0	6:00
43	0	7:00
43	0	8:00
43	0	9:00
43	0	10:00
43	0	11:00
43	0	12:00
43	0	13:00
43	0	14:00
43	0	15:00
43	0	16:00
43	0	17:00
43	0	18:00
43	0	19:00
43	0	20:00
43	0	21:00
43	0	22:00
43	0	23:00
43	0	24:00

Πίνακας 130:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 44 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]

44	10,49	0:00
44	20,33	1:00
44	47,28	2:00
44	47,47	3:00
44	47,45	4:00
44	45,88	5:00
44	40,95	6:00
44	21,35	7:00
44	18,88	8:00
44	16,33	9:00
44	13,62	10:00
44	5,62	11:00
44	1,08	12:00
44	0	13:00
44	0	14:00
44	0	15:00
44	0	16:00
44	0	17:00
44	0	18:00
44	0	19:00
44	0	20:00
44	0	21:00
44	0	22:00
44	0	23:00
44	0	24:00

Πίνακας 131:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 45 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας

Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
45	28,44	0:00
45	37,03	1:00
45	55,04	2:00
45	55,29	3:00
45	55,25	4:00
45	52,68	5:00
45	48,75	6:00
45	29,09	7:00
45	26,87	8:00
45	23,59	9:00
45	21,14	10:00
45	9,28	11:00
45	5,42	12:00
45	0	13:00
45	0	14:00
45	0	15:00
45	0	16:00
45	0	17:00
45	0	18:00
45	0	19:00
45	0	20:00
45	0	21:00
45	0	22:00
45	0	23:00
45	0	24:00

Πίνακας 132:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 46 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
46	29,8	0:00
46	38,29	1:00
46	55,89	2:00
46	56,15	3:00
46	56,11	4:00
46	53,5	5:00
46	49,61	6:00
46	29,96	7:00
46	27,79	8:00
46	24,46	9:00
46	22,02	10:00
46	10,11	11:00
46	6,26	12:00
46	0	13:00
46	0	14:00
46	0	15:00
46	0	16:00
46	0	17:00
46	0	18:00
46	0	19:00
46	0	20:00
46	0	21:00
46	0	22:00
46	0	23:00
46	0	24:00

Πίνακας 133:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 47 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour

		[h]
47	36,71	0:00
47	43,98	1:00
47	57,34	2:00
47	57,61	3:00
47	57,56	4:00
47	54,73	5:00
47	51,36	6:00
47	32,64	7:00
47	31	8:00
47	27,09	9:00
47	24,86	10:00
47	11,76	11:00
47	8,02	12:00
47	0	13:00
47	0	14:00
47	0	15:00
47	0	16:00
47	0	17:00
47	0	18:00
47	0	19:00
47	0	20:00
47	0	21:00
47	0	22:00
47	0	23:00
47	0	24:00

Πίνακας 134:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 48 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
48	34,06	0:00
48	41,6	1:00
48	55,13	2:00
48	55,46	3:00
48	55,4	4:00
48	52,03	5:00
48	48,77	6:00
48	29,15	7:00
48	27,65	8:00
48	23,5	9:00
48	21,24	10:00
48	8,34	11:00
48	4,63	12:00
48	0	13:00
48	0	14:00
48	0	15:00
48	0	16:00
48	0	17:00
48	0	18:00
48	0	19:00
48	0	20:00
48	0	21:00
48	0	22:00
48	0	23:00
48	0	24:00

Πίνακας 135:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 49 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
49	29,57	0:00
49	38,19	1:00
49	56,19	2:00
49	56,48	3:00
49	56,44	4:00
49	53,49	5:00
49	49,78	6:00
49	29,9	7:00
49	27,94	8:00
49	24,56	9:00
49	22,1	10:00
49	10,42	11:00
49	6,54	12:00
49	0	13:00
49	0	14:00
49	0	15:00
49	0	16:00
49	0	17:00
49	0	18:00
49	0	19:00
49	0	20:00
49	0	21:00
49	0	22:00
49	0	23:00
49	0	24:00

Πίνακας 136:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 50 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
50	30,42	0:00
50	38,77	1:00
50	55,77	2:00
50	56,04	3:00
50	56	4:00
50	53,17	5:00
50	49,49	6:00
50	29,85	7:00
50	27,82	8:00
50	24,37	9:00
50	21,94	10:00
50	9,98	11:00
50	6,14	12:00
50	0	13:00
50	0	14:00
50	0	15:00
50	0	16:00
50	0	17:00
50	0	18:00
50	0	19:00
50	0	20:00
50	0	21:00
50	0	22:00
50	0	23:00
50	0	24:00

Πίνακας 137:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 51 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
51	30,87	0:00
51	39,09	1:00
51	55,27	2:00
51	55,59	3:00
51	55,55	4:00
51	52,26	5:00
51	48,75	6:00
51	28,82	7:00
51	27,23	8:00
51	23,66	9:00
51	21,22	10:00
51	9,47	11:00
51	5,61	12:00
51	0	13:00
51	0	14:00
51	0	15:00
51	0	16:00
51	0	17:00
51	0	18:00
51	0	19:00
51	0	20:00
51	0	21:00
51	0	22:00
51	0	23:00
51	0	24:00

Πίνακας 138:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 52 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
52	24,04	0:00
52	33,07	1:00
52	52,83	2:00
52	53,15	3:00
52	53,11	4:00
52	49,77	5:00
52	46,16	6:00
52	26	7:00
52	24,39	8:00
52	21,1	9:00
52	18,59	10:00
52	7,18	11:00
52	3,27	12:00
52	0	13:00
52	0	14:00
52	0	15:00
52	0	16:00
52	0	17:00
52	0	18:00
52	0	19:00
52	0	20:00
52	0	21:00
52	0	22:00
52	0	23:00
52	0	24:00

Πίνακας 139:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 53 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
53	11,63	0:00
53	21,87	1:00
53	50,59	2:00
53	50,82	3:00
53	50,79	4:00
53	48,52	5:00
53	44,08	6:00
53	24,3	7:00
53	22,21	8:00
53	19,79	9:00
53	17,04	10:00
53	9,44	11:00
53	4,82	12:00
53	0	13:00
53	0	14:00
53	0	15:00
53	0	16:00
53	0	17:00
53	0	18:00
53	0	19:00
53	0	20:00
53	0	21:00
53	0	22:00
53	0	23:00
53	0	24:00

Πίνακας 140:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 54 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
54	14,39	0:00
54	24,86	1:00
54	53,62	2:00
54	53,94	3:00
54	53,9	4:00
54	50,54	5:00
54	46,79	6:00
54	26,59	7:00
54	25,07	8:00
54	22,66	9:00
54	19,89	10:00
54	11,97	11:00
54	7,38	12:00
54	0	13:00
54	0	14:00
54	0	15:00
54	0	16:00
54	0	17:00
54	0	18:00
54	0	19:00
54	0	20:00
54	0	21:00
54	0	22:00
54	0	23:00
54	0	24:00

Πίνακας 141:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 55 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
55	16,4	0:00
55	26,53	1:00
55	52,28	2:00
55	52,62	3:00
55	52,58	4:00
55	49,12	5:00
55	45,45	6:00
55	25,15	7:00
55	23,65	8:00
55	20,59	9:00
55	18	10:00
55	7,77	11:00
55	3,57	12:00
55	0	13:00
55	0	14:00
55	0	15:00
55	0	16:00
55	0	17:00
55	0	18:00
55	0	19:00
55	0	20:00
55	0	21:00
55	0	22:00
55	0	23:00
55	0	24:00

Πίνακας 142:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 56 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
56	20,41	0:00
56	30,04	1:00
56	52,87	2:00
56	53,2	3:00
56	53,16	4:00
56	49,72	5:00
56	46,08	6:00
56	25,79	7:00
56	24,27	8:00
56	21,14	9:00
56	18,57	10:00
56	7,55	11:00
56	3,53	12:00
56	0	13:00
56	0	14:00
56	0	15:00
56	0	16:00
56	0	17:00
56	0	18:00
56	0	19:00
56	0	20:00
56	0	21:00
56	0	22:00
56	0	23:00
56	0	24:00

Πίνακας 143:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 57 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
57	16,93	0:00
57	27,14	1:00
57	53,39	2:00
57	53,73	3:00
57	53,68	4:00
57	50,19	5:00
57	46,52	6:00
57	26,24	7:00
57	24,77	8:00
57	21,72	9:00
57	19,12	10:00
57	9,1	11:00
57	4,85	12:00
57	0	13:00
57	0	14:00
57	0	15:00
57	0	16:00
57	0	17:00
57	0	18:00
57	0	19:00
57	0	20:00
57	0	21:00
57	0	22:00
57	0	23:00
57	0	24:00

Πίνακας 144:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 58 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
58	20,23	0:00
58	29,85	1:00
58	52,58	2:00
58	52,92	3:00
58	52,87	4:00
58	49,37	5:00
58	45,77	6:00
58	25,46	7:00
58	23,96	8:00
58	20,61	9:00
58	18,1	10:00
58	7,01	11:00
58	2,98	12:00
58	0	13:00
58	0	14:00
58	0	15:00
58	0	16:00
58	0	17:00
58	0	18:00
58	0	19:00
58	0	20:00
58	0	21:00
58	0	22:00
58	0	23:00
58	0	24:00

Πίνακας 145:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 59 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
59	29,75	0:00
59	37,98	1:00
59	53,56	2:00
59	53,9	3:00
59	53,85	4:00
59	50,34	5:00
59	46,92	6:00
59	26,66	7:00
59	25,14	8:00
59	21,29	9:00
59	18,91	10:00
59	6,52	11:00
59	2,76	12:00
59	0	13:00
59	0	14:00
59	0	15:00
59	0	16:00
59	0	17:00
59	0	18:00
59	0	19:00
59	0	20:00
59	0	21:00
59	0	22:00
59	0	23:00
59	0	24:00

Πίνακας 146:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 60 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
60	34,22	0:00
60	41,9	1:00
60	55,73	2:00
60	56,07	3:00
60	56,01	4:00
60	52,56	5:00
60	49,27	6:00
60	29,39	7:00
60	27,88	8:00
60	23,72	9:00
60	21,43	10:00
60	8,67	11:00
60	4,94	12:00
60	0	13:00
60	0	14:00
60	0	15:00
60	0	16:00
60	0	17:00
60	0	18:00
60	0	19:00
60	0	20:00
60	0	21:00
60	0	22:00
60	0	23:00
60	0	24:00

Πίνακας 147:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 61 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
61	24,94	0:00
61	33,25	1:00
61	48,79	2:00
61	49,16	3:00
61	49,11	4:00
61	45,36	5:00
61	41,95	6:00
61	21,04	7:00
61	19,52	8:00
61	15,24	9:00
61	12,87	10:00
61	0,39	11:00
61	0	12:00
61	0	13:00
61	0	14:00
61	0	15:00
61	0	16:00
61	0	17:00
61	0	18:00
61	0	19:00
61	0	20:00
61	0	21:00
61	0	22:00
61	0	23:00
61	0	24:00

Πίνακας 148:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 62 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
62	38,13	0:00
62	44,6	1:00
62	55,41	2:00
62	55,69	3:00
62	55,61	4:00
62	52,56	5:00
62	49,59	6:00
62	31,54	7:00
62	30,1	8:00
62	25,72	9:00
62	23,66	10:00
62	9,9	11:00
62	6,35	12:00
62	0	13:00
62	0	14:00
62	0	15:00
62	0	16:00
62	0	17:00
62	0	18:00
62	0	19:00
62	0	20:00
62	0	21:00
62	0	22:00
62	0	23:00
62	0	24:00

Πίνακας 149:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 63 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
63	27,37	0:00
63	35,82	1:00
63	51,36	2:00
63	51,76	3:00
63	51,71	4:00
63	47,69	5:00
63	44,28	6:00
63	22,58	7:00
63	21,06	8:00
63	16,31	9:00
63	13,94	10:00
63	1,39	11:00
63	0	12:00
63	0	13:00
63	0	14:00
63	0	15:00
63	0	16:00
63	0	17:00
63	0	18:00
63	0	19:00
63	0	20:00
63	0	21:00
63	0	22:00
63	0	23:00
63	0	24:00

Πίνακας 150:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 64 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
64	25,88	0:00
64	34,33	1:00
64	49,86	2:00
64	50,27	3:00
64	50,22	4:00
64	46,2	5:00
64	42,79	6:00
64	21,08	7:00
64	19,56	8:00
64	14,8	9:00
64	12,43	10:00
64	0	11:00
64	0	12:00
64	0	13:00
64	0	14:00
64	0	15:00
64	0	16:00
64	0	17:00
64	0	18:00
64	0	19:00
64	0	20:00
64	0	21:00
64	0	22:00
64	0	23:00
64	0	24:00

Πίνακας 151:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 65 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
65	25,44	0:00
65	33,91	1:00
65	49,45	2:00
65	49,86	3:00
65	49,81	4:00
65	45,74	5:00
65	42,33	6:00
65	20,5	7:00
65	18,98	8:00
65	14,15	9:00
65	11,79	10:00
65	-0,78	11:00
65	-4,54	12:00
65	0	13:00
65	0	14:00
65	0	15:00
65	0	16:00
65	0	17:00
65	0	18:00
65	0	19:00
65	0	20:00
65	0	21:00
65	0	22:00
65	0	23:00
65	0	24:00

Πίνακας 152:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 66 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
NODE ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
66	0	0:00
66	0	1:00
66	0	2:00
66	0	3:00
66	0	4:00
66	0	5:00
66	0	6:00
66	0	7:00
66	0	8:00
66	0	9:00
66	0	10:00
66	0	11:00
66	0	12:00
66	0	13:00
66	0	14:00
66	0	15:00
66	0	16:00
66	0	17:00
66	0	18:00
66	0	19:00
66	0	20:00
66	0	21:00
66	0	22:00
66	0	23:00
66	0	24:00

Πίνακας 153:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 67 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
67	2,84	0:00
67	13,68	1:00
67	45,45	2:00
67	45,79	3:00
67	45,75	4:00
67	42,25	5:00
67	38,55	6:00
67	18,34	7:00
67	16,95	8:00
67	15,08	9:00
67	12,18	10:00
67	5,41	11:00
67	0,55	12:00
67	0	13:00
67	0	14:00
67	0	15:00
67	0	16:00
67	0	17:00
67	0	18:00
67	0	19:00
67	0	20:00
67	0	21:00
67	0	22:00
67	0	23:00
67	0	24:00

Πίνακας 154:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 68 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
68	9,75	0:00
68	20,56	1:00
68	51,94	2:00
68	52,28	3:00
68	52,24	4:00
68	48,74	5:00
68	45,04	6:00
68	24,82	7:00
68	23,41	8:00
68	21,43	9:00
68	18,55	10:00
68	11,54	11:00
68	6,72	12:00
68	0	13:00
68	0	14:00
68	0	15:00
68	0	16:00
68	0	17:00
68	0	18:00
68	0	19:00
68	0	20:00
68	0	21:00
68	0	22:00
68	0	23:00
68	0	24:00

Πίνακας 155:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 69 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
69	12,51	0:00
69	23,14	1:00
69	52,74	2:00
69	53,08	3:00
69	53,04	4:00
69	49,54	5:00
69	45,85	6:00
69	25,6	7:00
69	24,14	8:00
69	21,64	9:00
69	18,89	10:00
69	10,6	11:00
69	6,02	12:00
69	0	13:00
69	0	14:00
69	0	15:00
69	0	16:00
69	0	17:00
69	0	18:00
69	0	19:00
69	0	20:00
69	0	21:00
69	0	22:00
69	0	23:00
69	0	24:00

Πίνακας 156:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 70 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
70	15,8	0:00
70	26,01	1:00
70	52,11	2:00
70	52,44	3:00
70	52,4	4:00
70	48,94	5:00
70	45,26	6:00
70	24,95	7:00
70	23,47	8:00
70	20,42	9:00
70	17,83	10:00
70	7,64	11:00
70	3,43	12:00
70	0	13:00
70	0	14:00
70	0	15:00
70	0	16:00
70	0	17:00
70	0	18:00
70	0	19:00
70	0	20:00
70	0	21:00
70	0	22:00
70	0	23:00
70	0	24:00

Πίνακας 157:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 71 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
71	8,58	0:00
71	19,39	1:00
71	50,93	2:00
71	51,27	3:00
71	51,23	4:00
71	47,74	5:00
71	44,04	6:00
71	23,82	7:00
71	22,43	8:00
71	20,55	9:00
71	17,65	10:00
71	10,85	11:00
71	6	12:00
71	0	13:00
71	0	14:00
71	0	15:00
71	0	16:00
71	0	17:00
71	0	18:00
71	0	19:00
71	0	20:00
71	0	21:00
71	0	22:00
71	0	23:00
71	0	24:00

Πίνακας 158:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 72 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
72	7,06	0:00
72	17,87	1:00
72	49,44	2:00
72	49,78	3:00
72	49,74	4:00
72	46,29	5:00
72	42,57	6:00
72	22,42	7:00
72	21,03	8:00
72	19,32	9:00
72	16,4	10:00
72	9,85	11:00
72	4,98	12:00
72	0	13:00
72	0	14:00
72	0	15:00
72	0	16:00
72	0	17:00
72	0	18:00
72	0	19:00
72	0	20:00
72	0	21:00
72	0	22:00
72	0	23:00
72	0	24:00

Πίνακας 159:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 73 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
73	4,87	0:00
73	15,81	1:00
73	49,24	2:00
73	49,58	3:00
73	49,54	4:00
73	46,04	5:00
73	42,34	6:00
73	22,26	7:00
73	20,96	8:00
73	19,74	9:00
73	16,7	10:00
73	10,98	11:00
73	5,92	12:00
73	0	13:00
73	0	14:00
73	0	15:00
73	0	16:00
73	0	17:00
73	0	18:00
73	0	19:00
73	0	20:00
73	0	21:00
73	0	22:00
73	0	23:00
73	0	24:00

Πίνακας 160:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 74 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
74	12,98	0:00
74	23,63	1:00
74	53,82	2:00
74	54,14	3:00
74	54,1	4:00
74	50,74	5:00
74	46,99	6:00
74	26,81	7:00
74	25,33	8:00
74	23,23	9:00
74	20,39	10:00
74	13,1	11:00
74	8,39	12:00
74	0	13:00
74	0	14:00
74	0	15:00
74	0	16:00
74	0	17:00
74	0	18:00
74	0	19:00
74	0	20:00
74	0	21:00
74	0	22:00
74	0	23:00
74	0	24:00

Πίνακας 161:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 75 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
75	8,83	0:00
75	19,58	1:00
75	51,05	2:00
75	51,36	3:00
75	51,33	4:00
75	47,99	5:00
75	44,22	6:00
75	24,12	7:00
75	22,68	8:00
75	21,01	9:00
75	18,09	10:00
75	11,59	11:00
75	6,73	12:00
75	0	13:00
75	0	14:00
75	0	15:00
75	0	16:00
75	0	17:00
75	0	18:00
75	0	19:00
75	0	20:00
75	0	21:00
75	0	22:00
75	0	23:00
75	0	24:00

Πίνακας 162:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 76 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
76	0	0:00
76	11,05	1:00
76	20	2:00
76	20	3:00
76	20	4:00
76	20	5:00
76	20	6:00
76	20	7:00
76	18,9	8:00
76	18,76	9:00
76	15,51	10:00
76	11,38	11:00
76	5,98	12:00
76	0	13:00
76	0	14:00
76	0	15:00
76	0	16:00
76	0	17:00
76	0	18:00
76	0	19:00
76	0	20:00
76	0	21:00
76	0	22:00
76	0	23:00
76	0	24:00

Πίνακας 163:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 77 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
77	10,1	0:00
77	19,85	1:00
77	50,55	2:00
77	50,7	3:00
77	50,59	4:00
77	48,7	5:00
77	45,63	6:00
77	31,53	7:00
77	21,01	8:00
77	19,92	9:00
77	17,02	10:00
77	12,27	11:00
77	7,42	12:00
77	0	13:00
77	0	14:00
77	0	15:00
77	0	16:00
77	0	17:00
77	0	18:00
77	0	19:00
77	0	20:00
77	0	21:00
77	0	22:00
77	0	23:00
77	0	24:00

Πίνακας 164:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 78 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
78	12,83	0:00
78	22,66	1:00
78	50,84	2:00
78	51,04	3:00
78	50,99	4:00
78	49,14	5:00
78	44,85	6:00
78	26,73	7:00
78	21,71	8:00
78	19,46	9:00
78	16,7	10:00
78	9,65	11:00
78	5,01	12:00
78	0	13:00
78	0	14:00
78	0	15:00
78	0	16:00
78	0	17:00
78	0	18:00
78	0	19:00
78	0	20:00
78	0	21:00
78	0	22:00
78	0	23:00
78	0	24:00

Πίνακας 165:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 79 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
79	12,83	0:00
79	22,66	1:00
79	50,28	2:00
79	50,49	3:00
79	50,45	4:00
79	48,7	5:00
79	44,12	6:00
79	25,28	7:00
79	21,44	8:00
79	19,03	9:00
79	16,29	10:00
79	8,78	11:00
79	4,2	12:00
79	0	13:00
79	0	14:00
79	0	15:00
79	0	16:00
79	0	17:00
79	0	18:00
79	0	19:00
79	0	20:00
79	0	21:00
79	0	22:00
79	0	23:00
79	0	24:00

Πίνακας 166:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 80 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
80	4,55	0:00
80	14,49	1:00
80	42,7	2:00
80	42,95	3:00
80	42,9	4:00
80	40,1	5:00
80	36,33	6:00
80	17,42	7:00
80	15,25	8:00
80	13,3	9:00
80	10,55	10:00
80	4,19	11:00
80	0	12:00
80	0	13:00
80	0	14:00
80	0	15:00
80	0	16:00
80	0	17:00
80	0	18:00
80	0	19:00
80	0	20:00
80	0	21:00
80	0	22:00
80	0	23:00
80	0	24:00

Πίνακας 167:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 81 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
81	35,88	0:00
81	42,62	1:00
81	53,45	2:00
81	53,78	3:00
81	53,7	4:00
81	50,27	5:00
81	47,27	6:00
81	28,12	7:00
81	26,67	8:00
81	21,76	9:00
81	19,68	10:00
81	5,99	11:00
81	2,43	12:00
81	0	13:00
81	0	14:00
81	0	15:00
81	0	16:00
81	0	17:00
81	0	18:00
81	0	19:00
81	0	20:00
81	0	21:00
81	0	22:00
81	0	23:00
81	0	24:00

Πίνακας 168:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 82 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
NODE ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
82	0	0:00
82	0	1:00
82	0	2:00
82	0	3:00
82	0	4:00
82	0	5:00
82	0	6:00
82	0	7:00
82	0	8:00
82	0	9:00
82	0	10:00
82	0	11:00
82	0	12:00
82	0	13:00
82	0	14:00
82	0	15:00
82	0	16:00
82	0	17:00
82	0	18:00
82	0	19:00
82	0	20:00
82	0	21:00
82	0	22:00
82	0	23:00
82	0	24:00

Πίνακας 169:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 83 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
83	13,25	0:00
83	18,48	1:00
83	34,54	2:00
83	34,56	3:00
83	34,41	4:00
83	32,95	5:00
83	30,98	6:00
83	21,72	7:00
83	17,31	8:00
83	16,08	9:00
83	14,28	10:00
83	11,03	11:00
83	8,15	12:00
83	0	13:00
83	0	14:00
83	0	15:00
83	0	16:00
83	0	17:00
83	0	18:00
83	0	19:00
83	0	20:00
83	0	21:00
83	0	22:00
83	0	23:00
83	0	24:00

Πίνακας 170:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 84 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
NODE ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
84	10	0:00
84	9,42	1:00
84	8,95	2:00
84	8,71	3:00
84	8,48	4:00
84	8,25	5:00
84	7,98	6:00
84	7,68	7:00
84	7,23	8:00
84	6,73	9:00
84	6,23	10:00
84	5,69	11:00
84	5,14	12:00
84	4,49	13:00
84	2,38	14:00
84	0	15:00
84	0	16:00
84	0	17:00
84	0	18:00
84	0	19:00
84	0	20:00
84	0	21:00
84	0	22:00
84	0	23:00
84	0	24:00

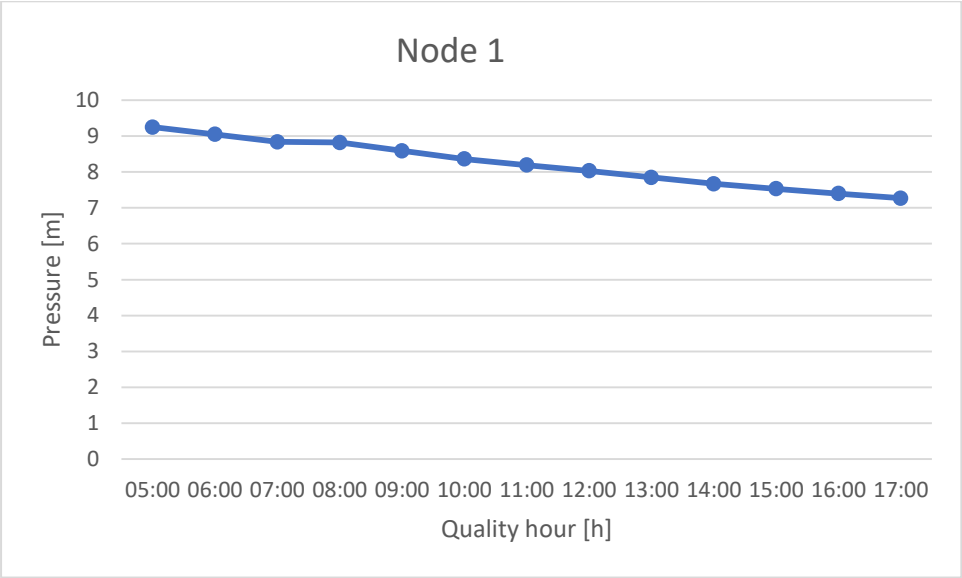
Πίνακας 171:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 85 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
85	40,28	0:00
85	46	1:00
85	55,43	2:00
85	55,65	3:00
85	55,56	4:00
85	53	5:00
85	50,21	6:00
85	33,9	7:00
85	32,5	8:00
85	28,4	9:00
85	26,48	10:00
85	11,99	11:00
85	8,55	12:00
85	0	13:00
85	0	14:00
85	0	15:00
85	0	16:00
85	0	17:00
85	0	18:00
85	0	19:00
85	0	20:00
85	0	21:00
85	0	22:00
85	0	23:00
85	0	24:00

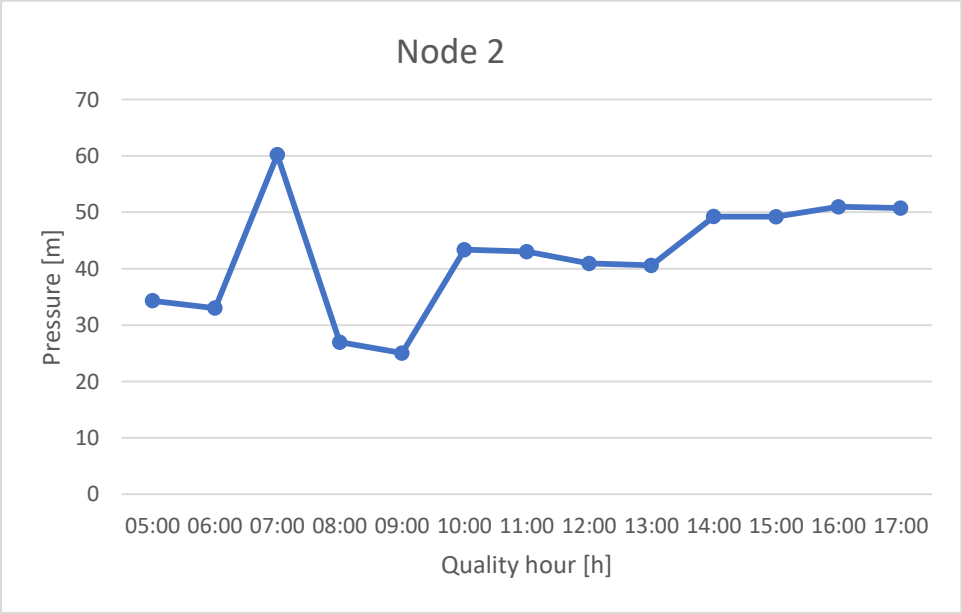
Πίνακας 172:Πίνακας Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 86 για Συνεχή Λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο

Κόμβος	Πίεση	Βήμα ώρας
Node ID	Pressure [m]	Quality Hour [h]
86	5,92	0:00
86	16,44	1:00
86	47,04	2:00
86	47,27	3:00
86	47,25	4:00
86	44,53	5:00
86	40,47	6:00
86	20,68	7:00
86	18,72	8:00
86	16,98	9:00
86	14,1	10:00
86	7,62	11:00
86	2,82	12:00
86	0	13:00
86	0	14:00
86	0	15:00
86	0	16:00
86	0	17:00
86	0	18:00
86	0	19:00
86	0	20:00
86	0	21:00
86	0	22:00
86	0	23:00
86	0	24:00

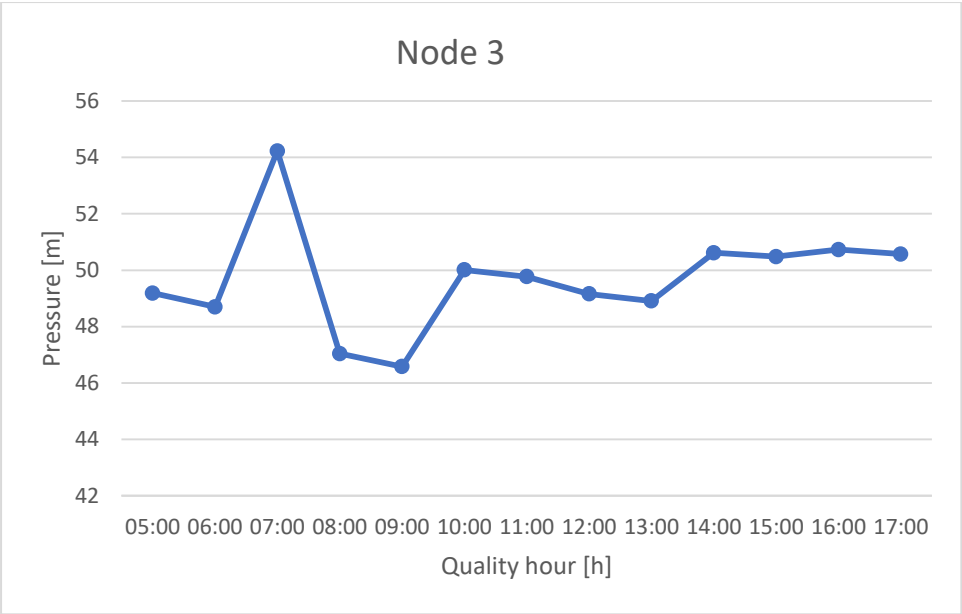
Παράρτημα Εικόνων



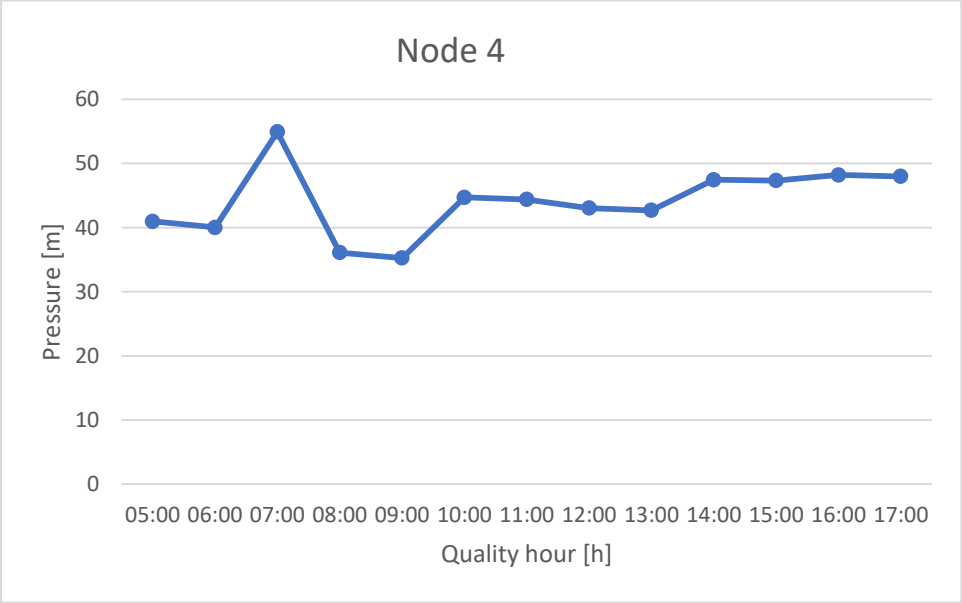
Εικόνα 1:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 1 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



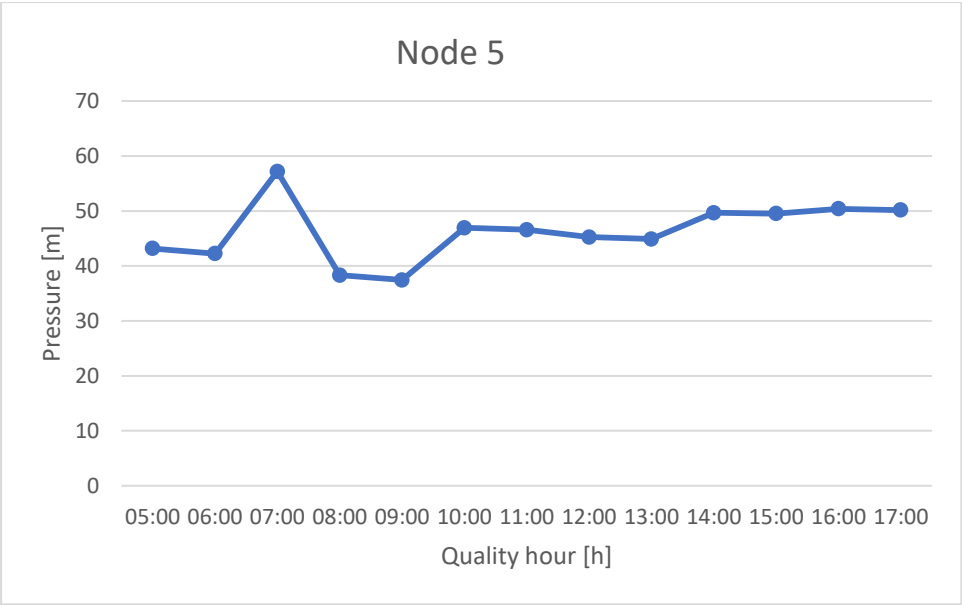
Εικόνα 2:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 2 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



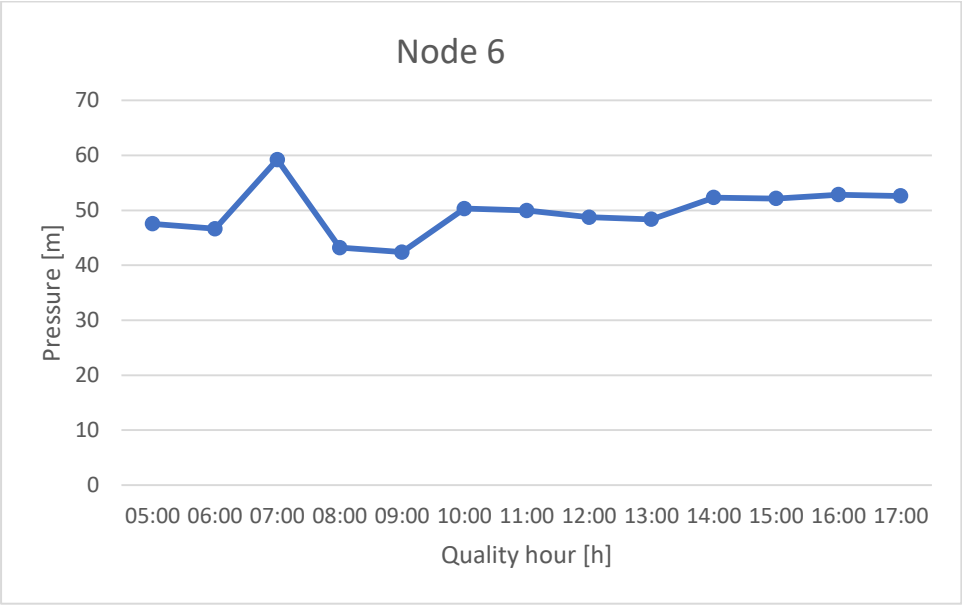
Εικόνα 3:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 3 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



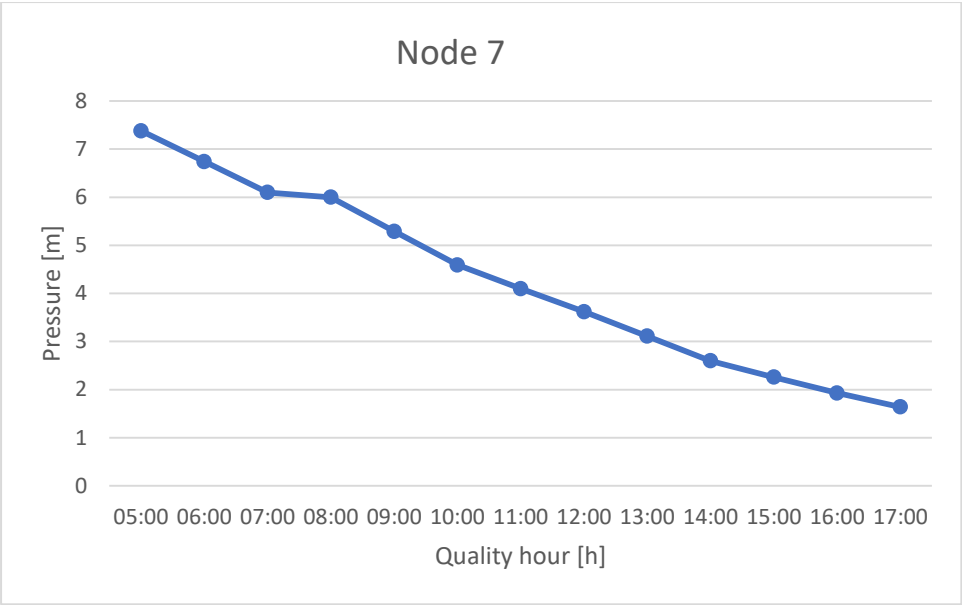
Εικόνα 4:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 4 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



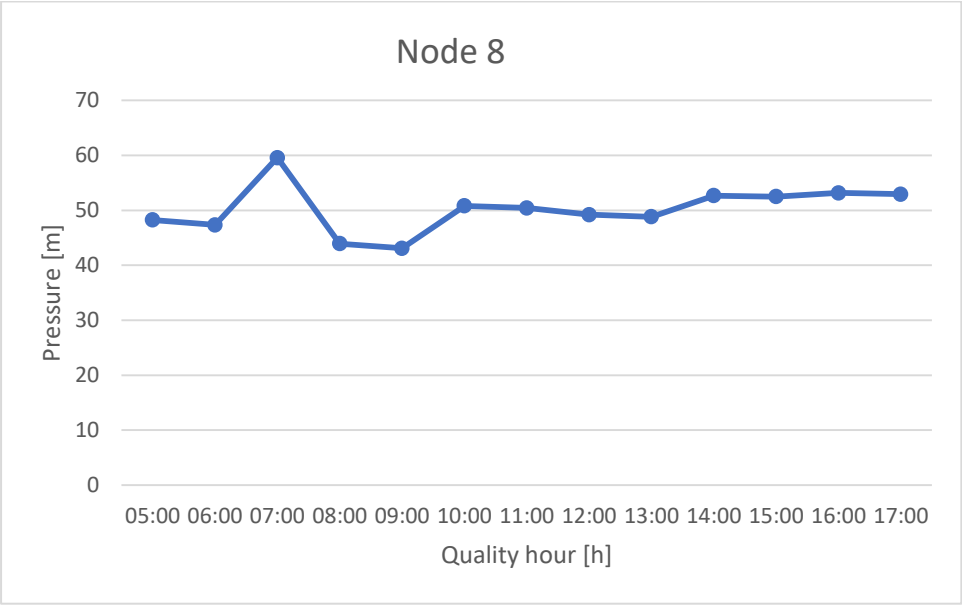
Εικόνα 5:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 5 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



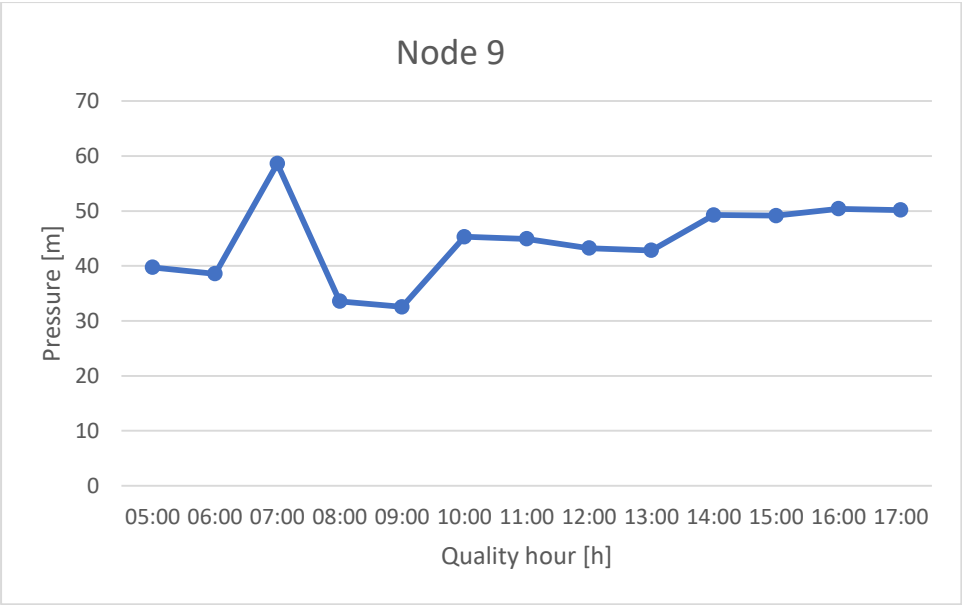
Εικόνα 6:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 6 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



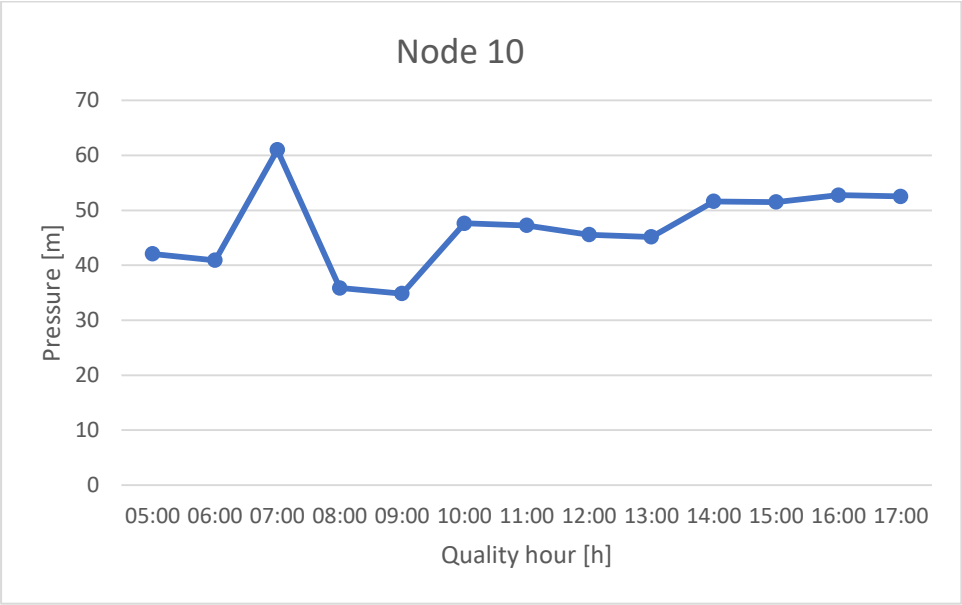
Εικόνα 7:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 7 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



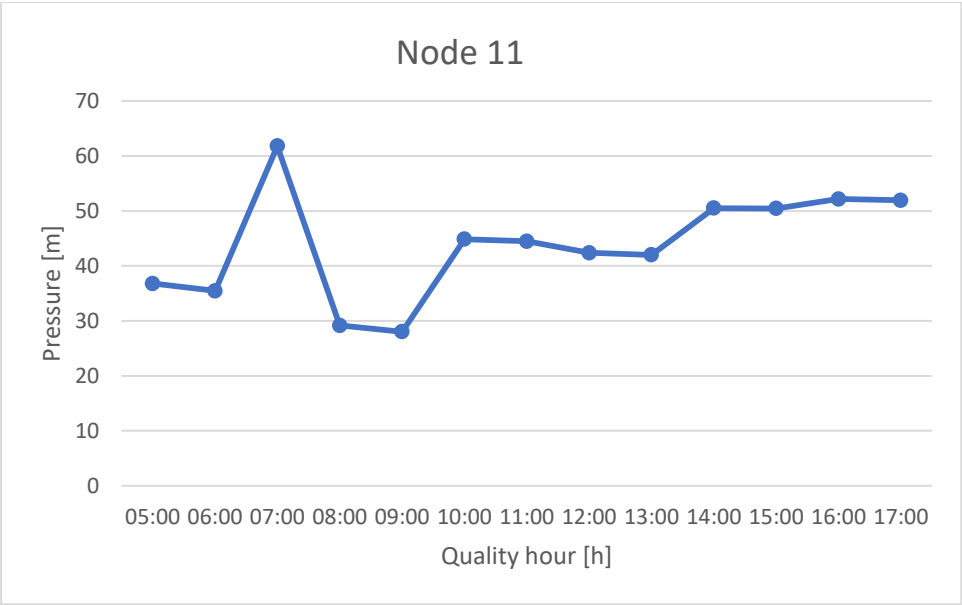
Εικόνα 8:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 8 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



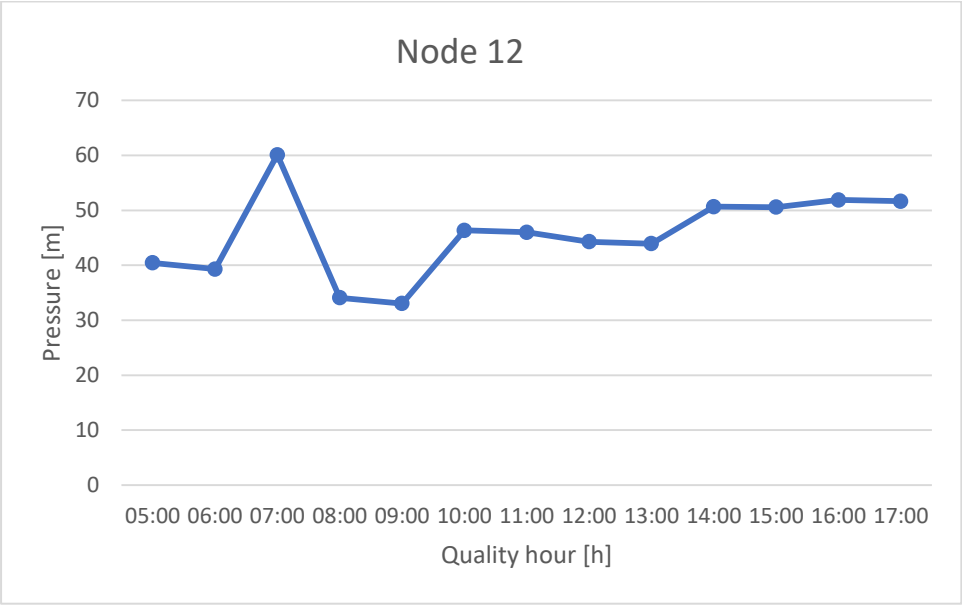
Εικόνα 9:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 9 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



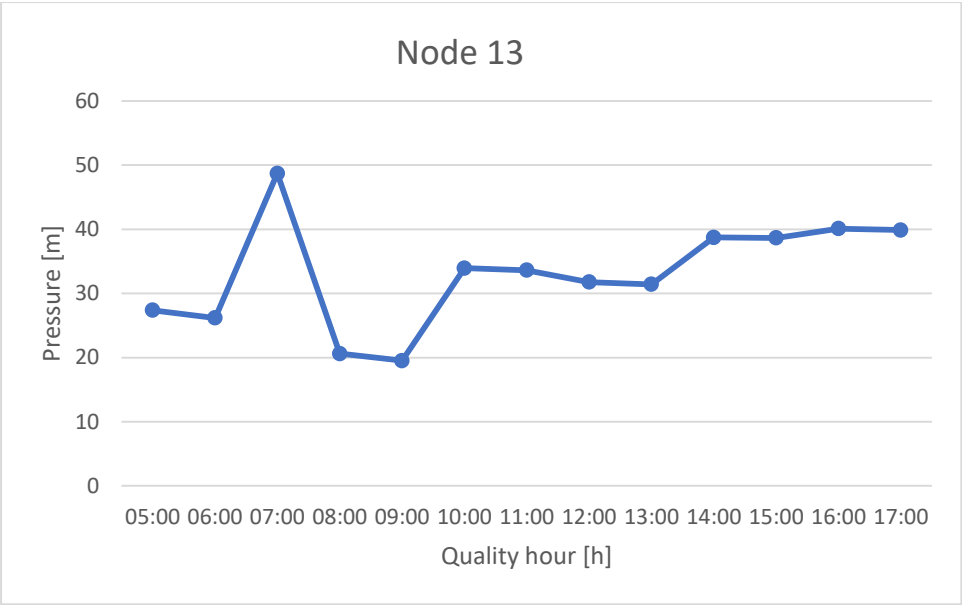
Εικόνα 10:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 10 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



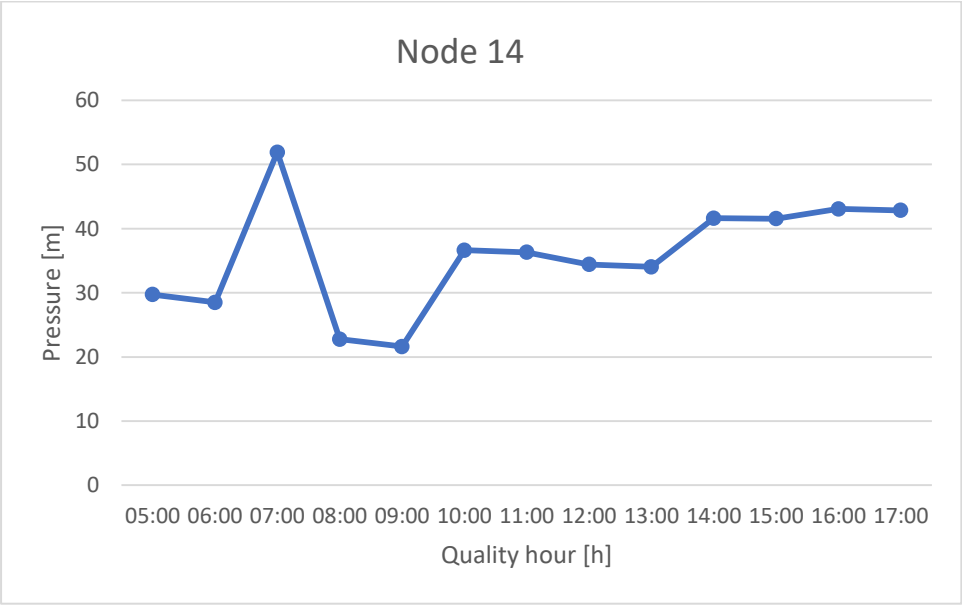
Εικόνα 11:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 11 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



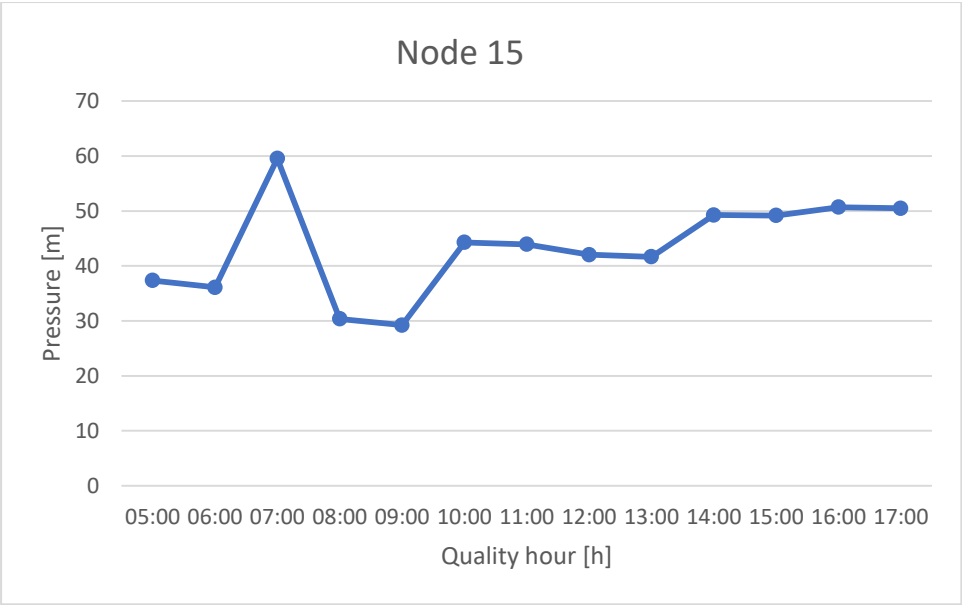
Εικόνα 12:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 12 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



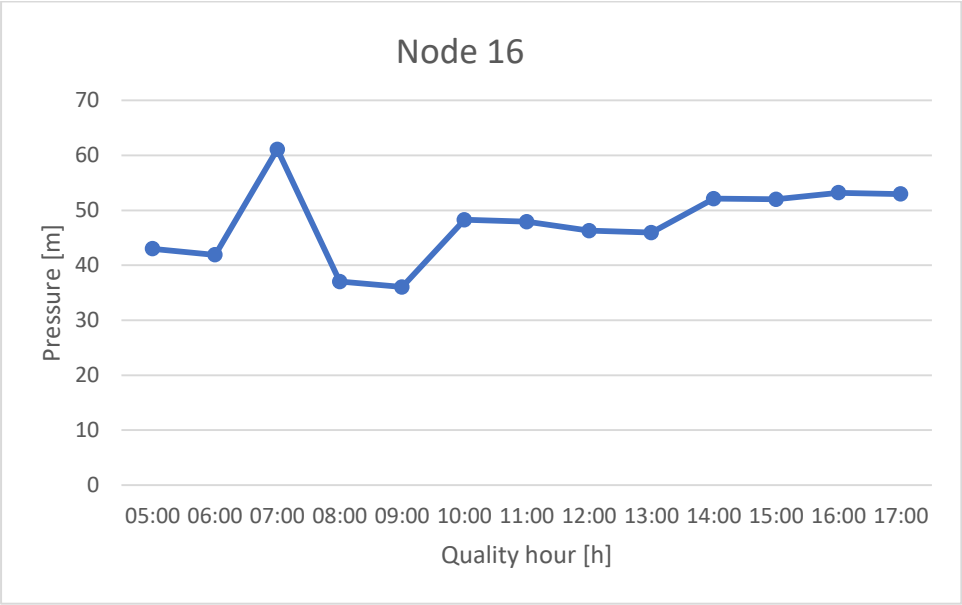
Εικόνα 13:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 13 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



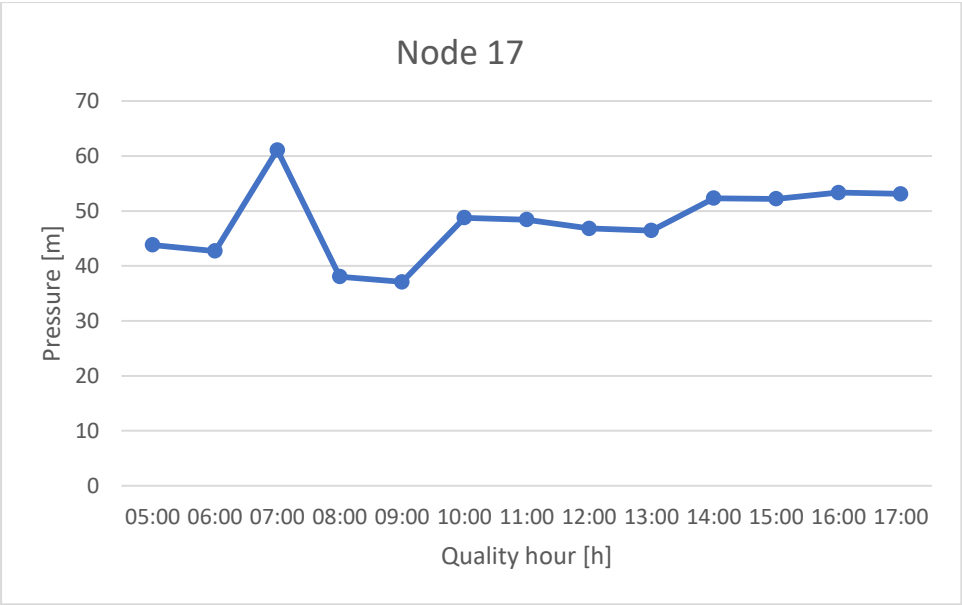
Εικόνα 14:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 14 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



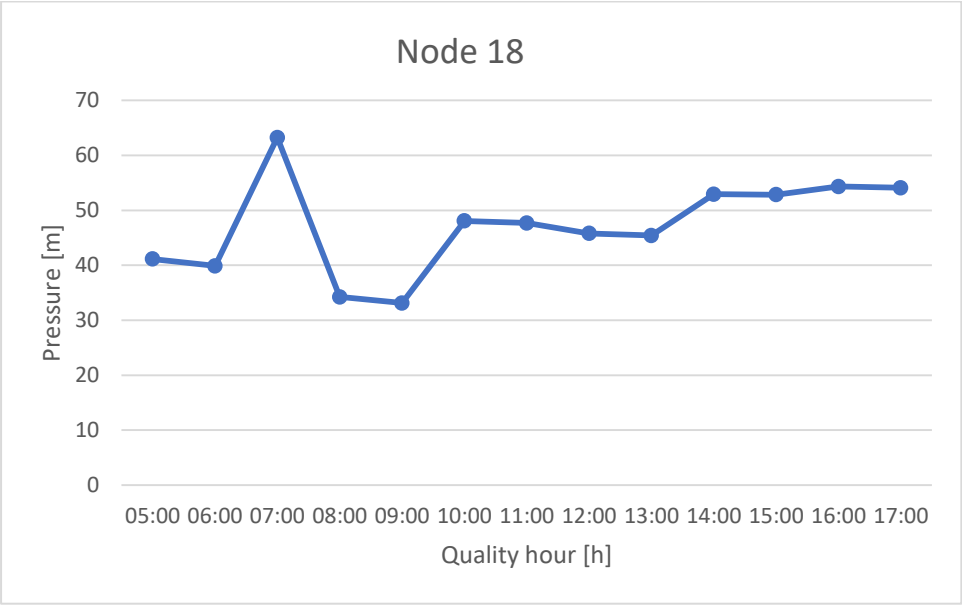
Εικόνα 15:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 15 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



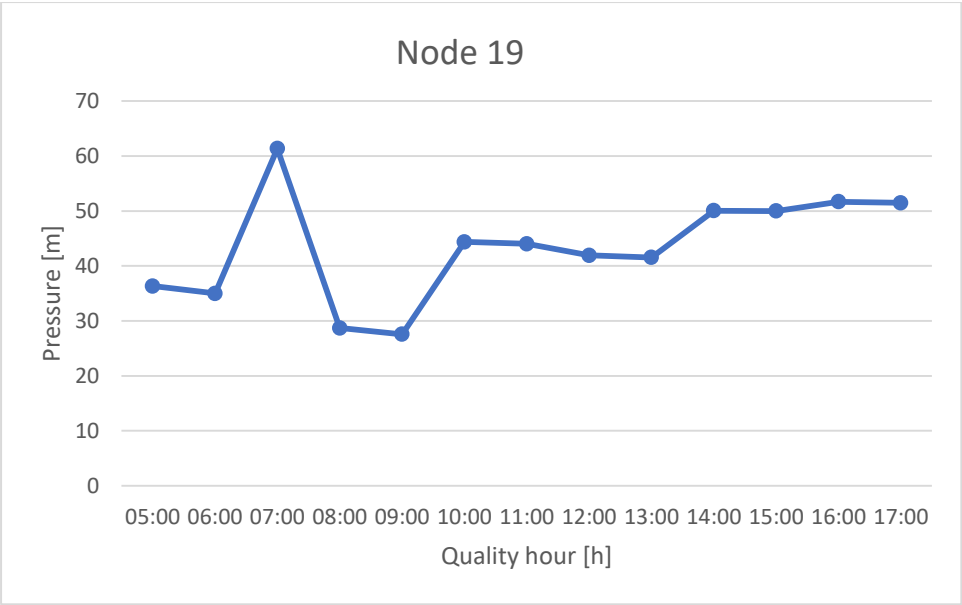
Εικόνα 16:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 16 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



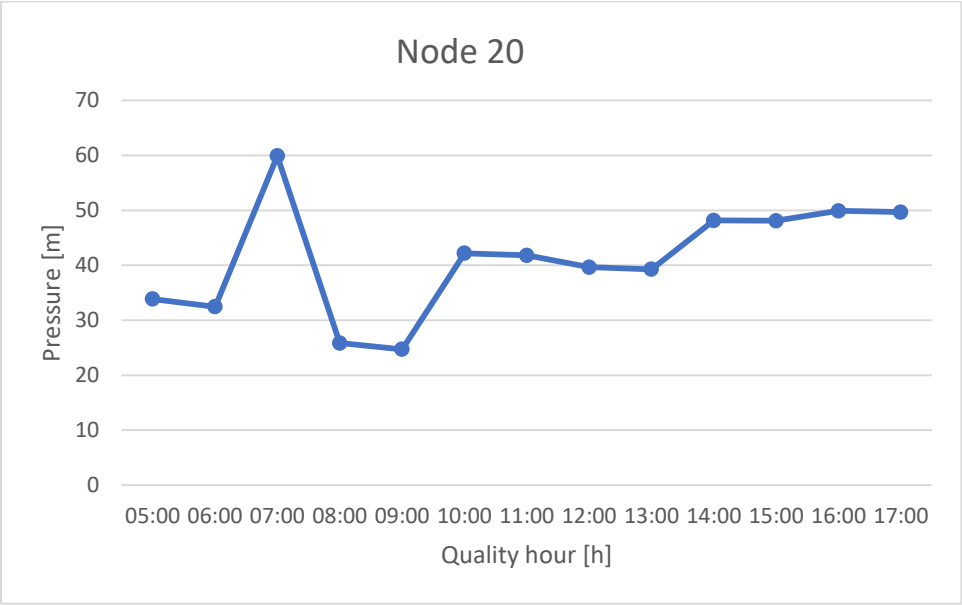
Εικόνα 17:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 17 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



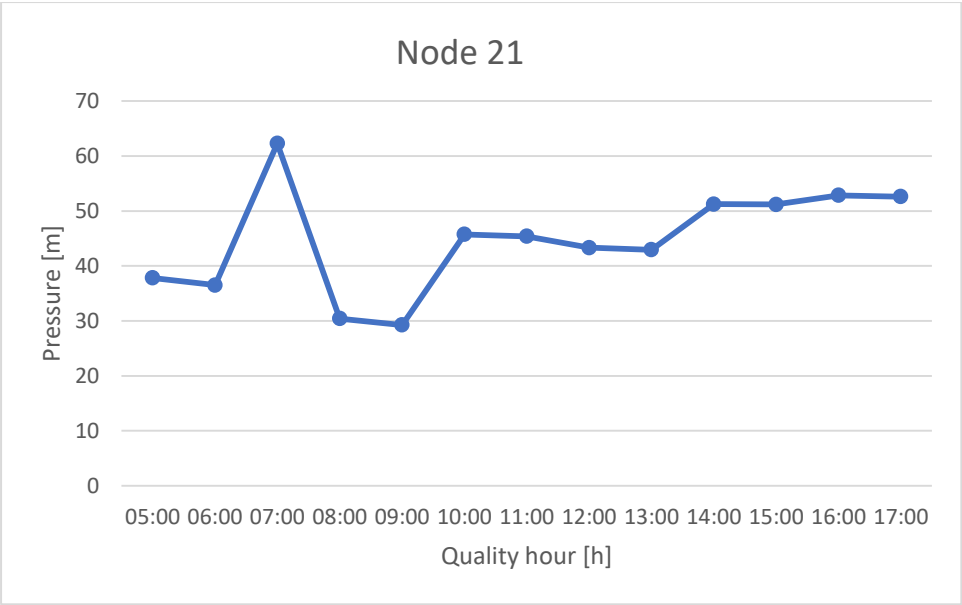
Εικόνα 18:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 18 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



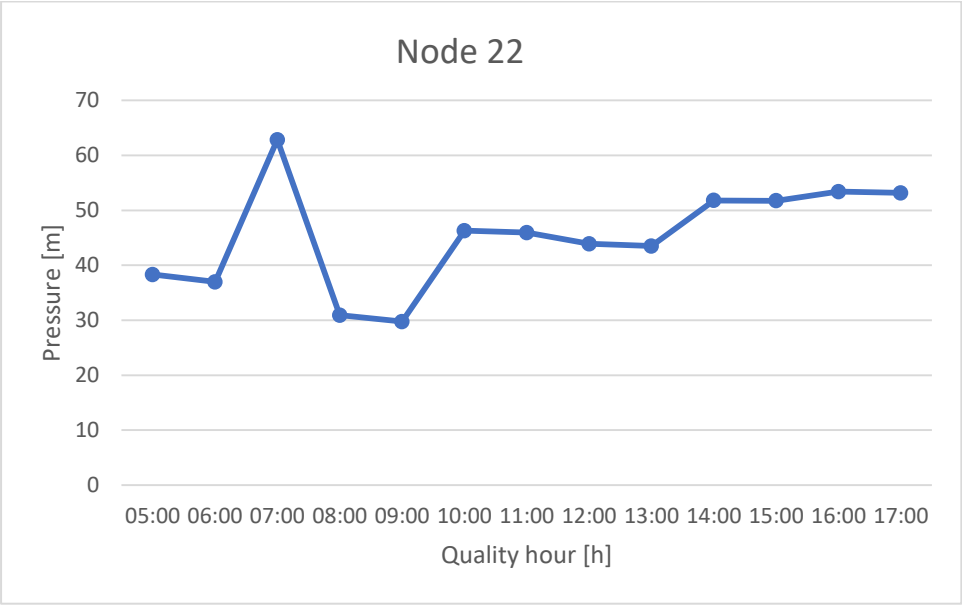
Εικόνα 19:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 19 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



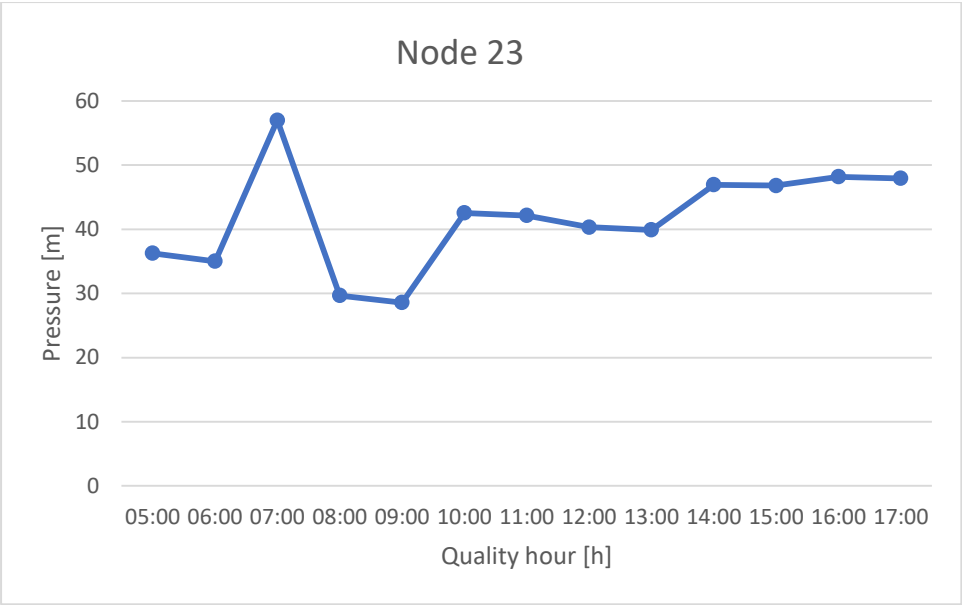
Εικόνα 20:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 20 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



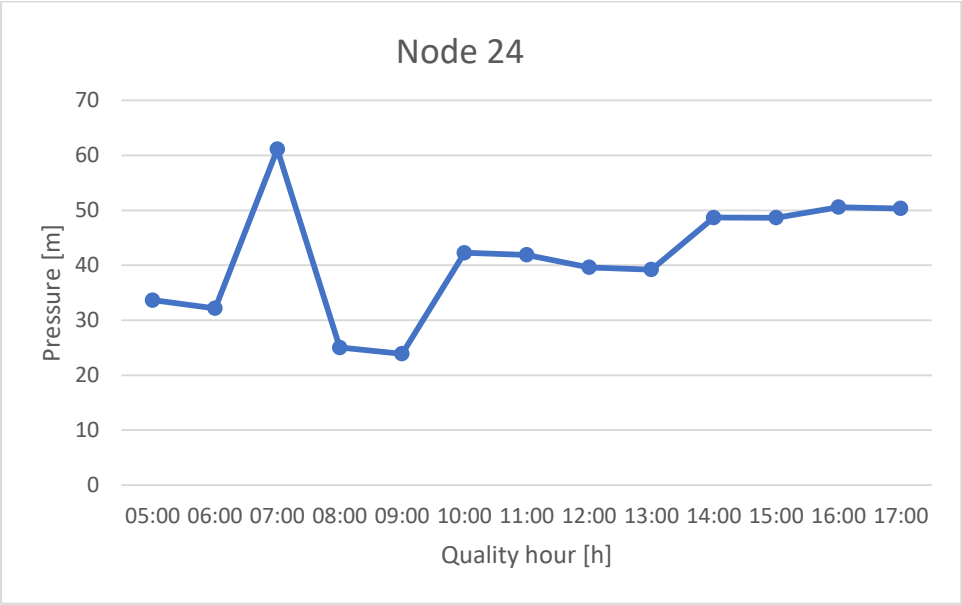
Εικόνα 21:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 21 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



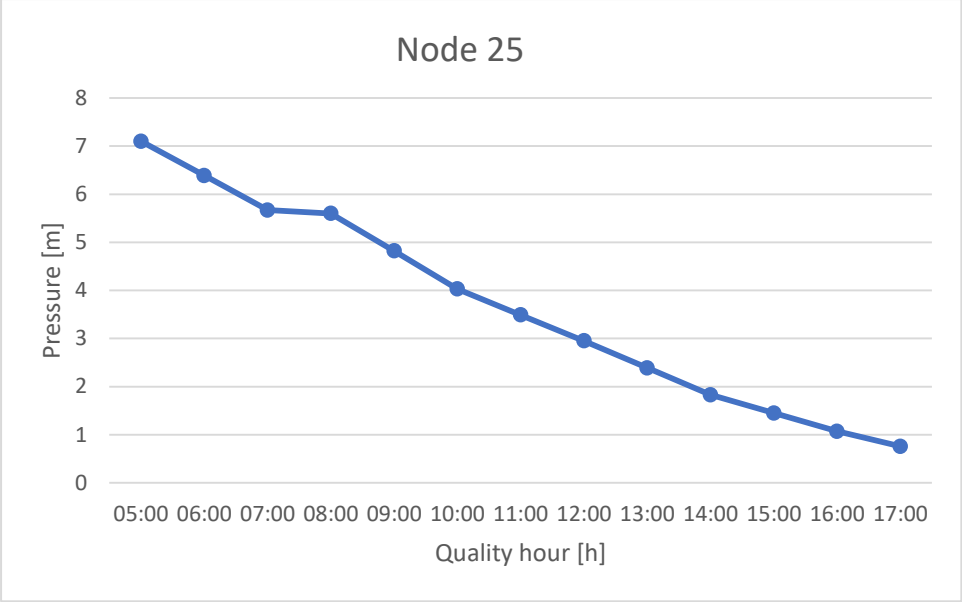
Εικόνα 22:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 22 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



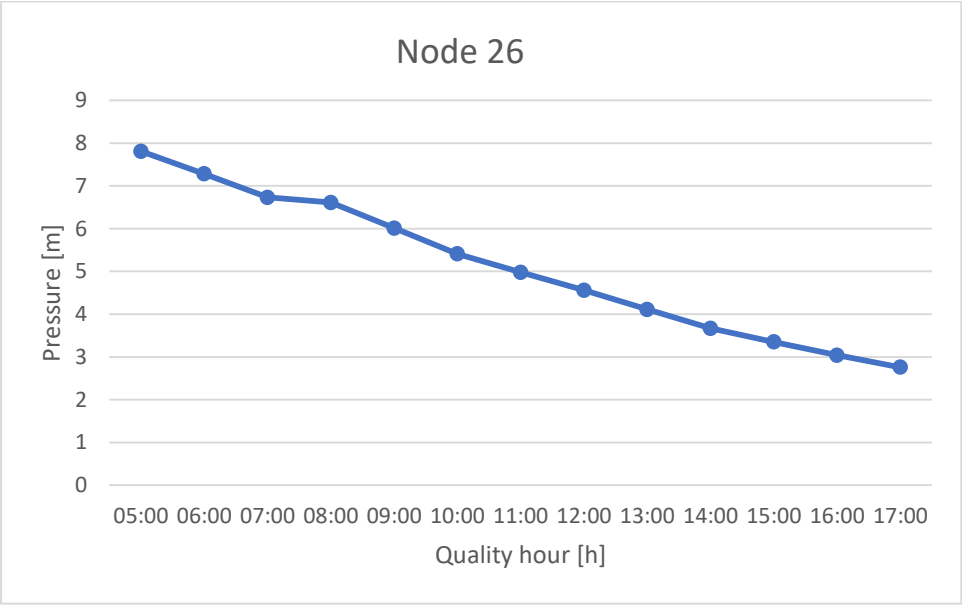
Εικόνα 23:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 23 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



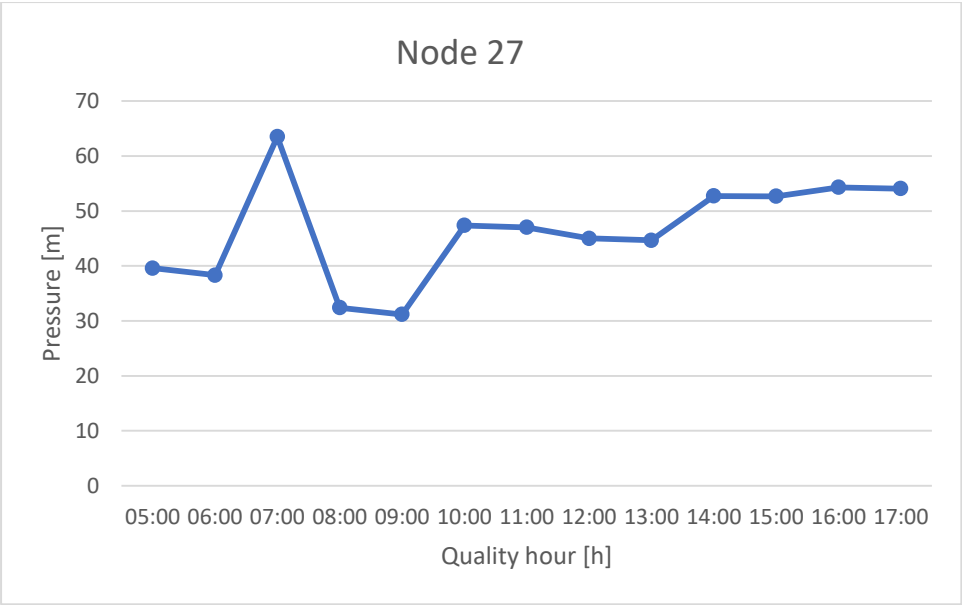
Εικόνα 24:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 24 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



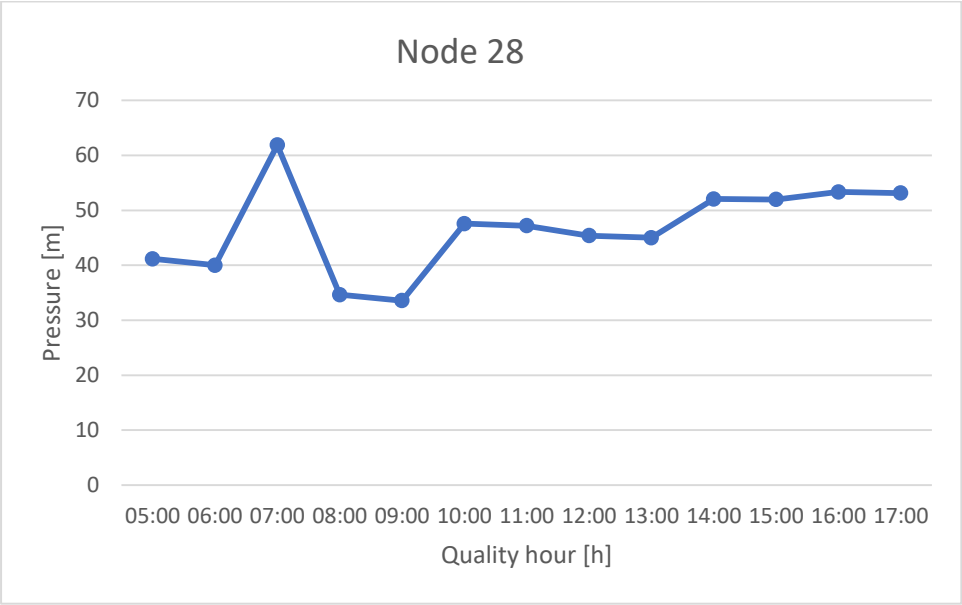
Εικόνα 25:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 25 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



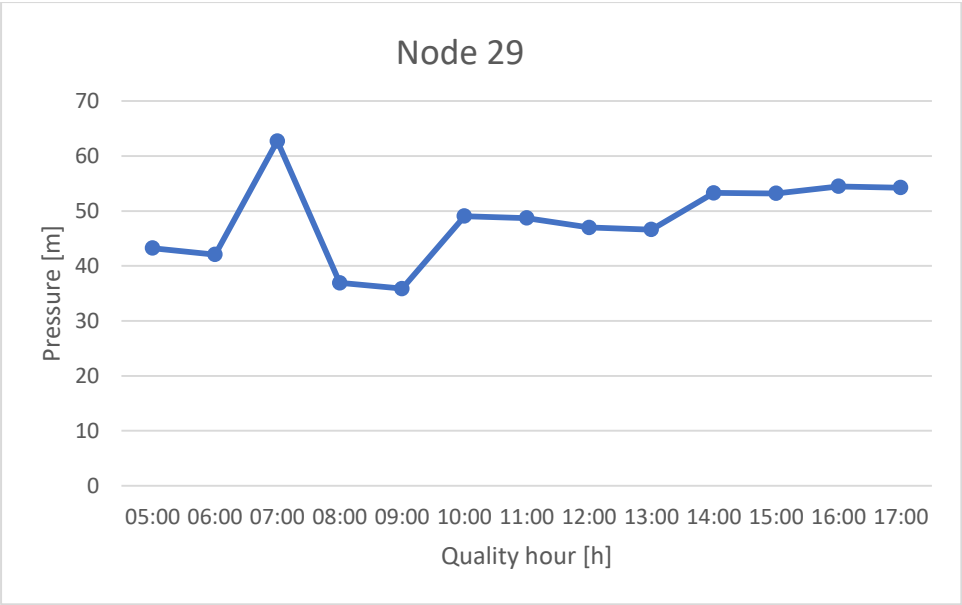
Εικόνα 26:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 26 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



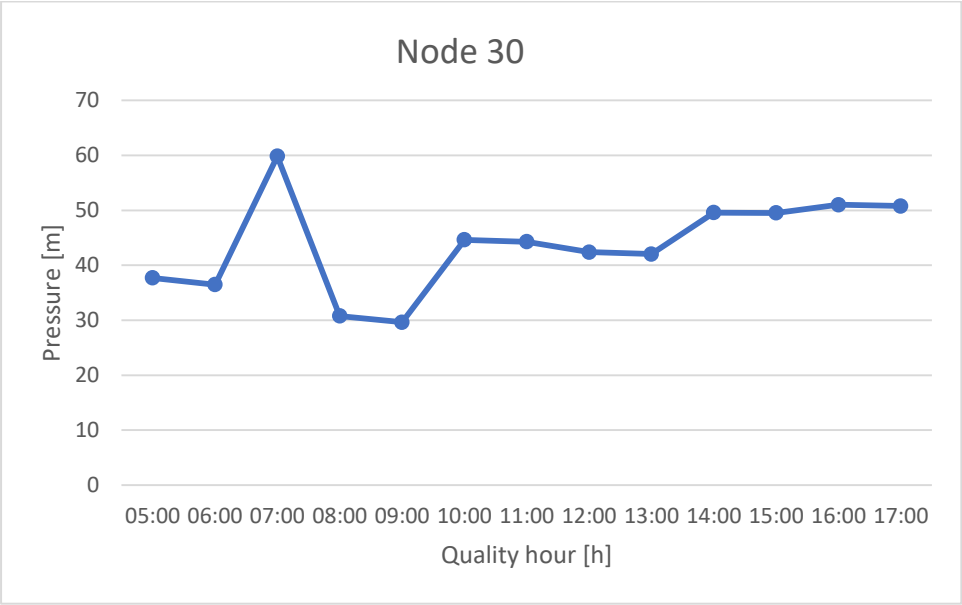
Εικόνα 27:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 27 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



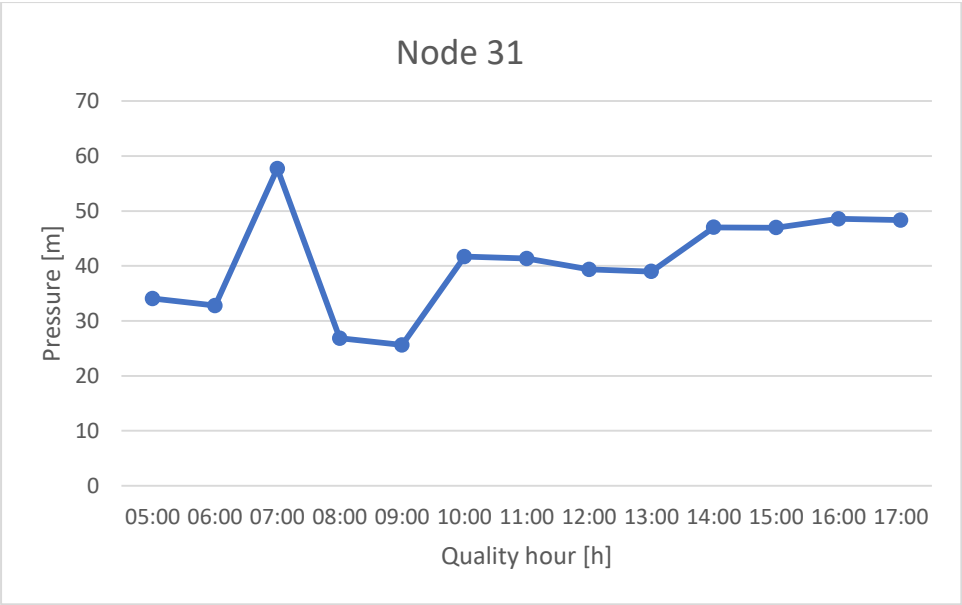
Εικόνα 28:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 28 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



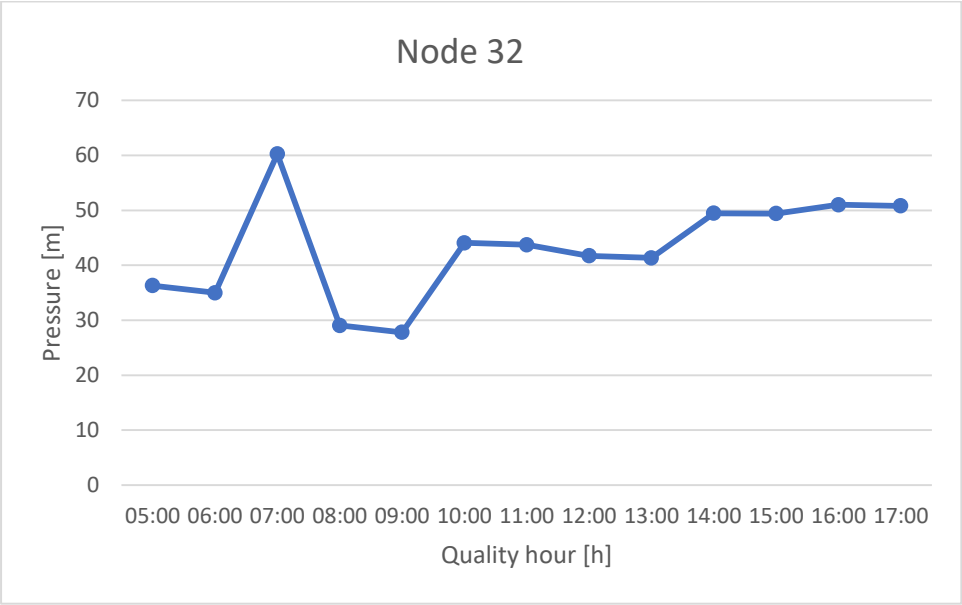
Εικόνα 29:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 29 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



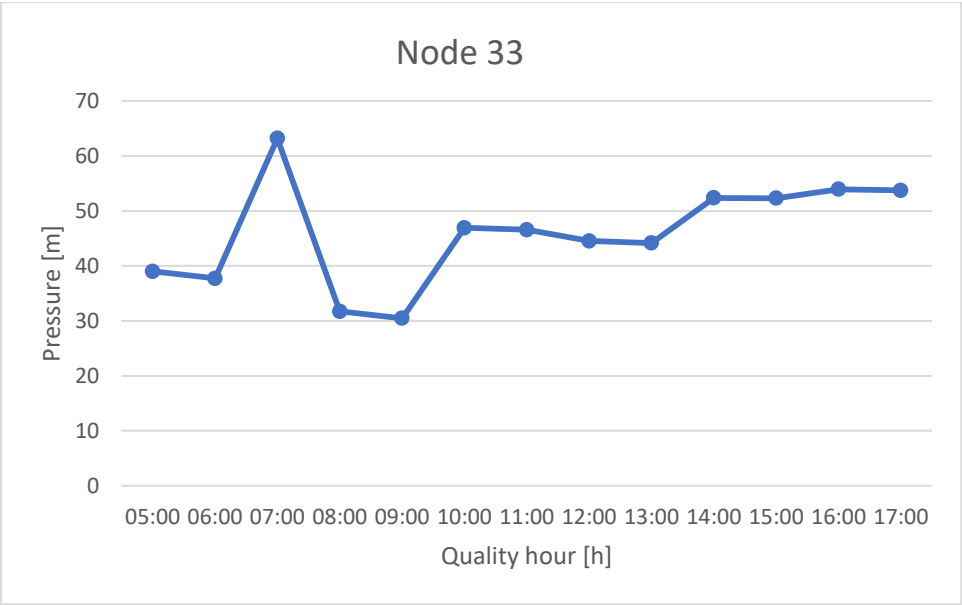
Εικόνα 30:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 30 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



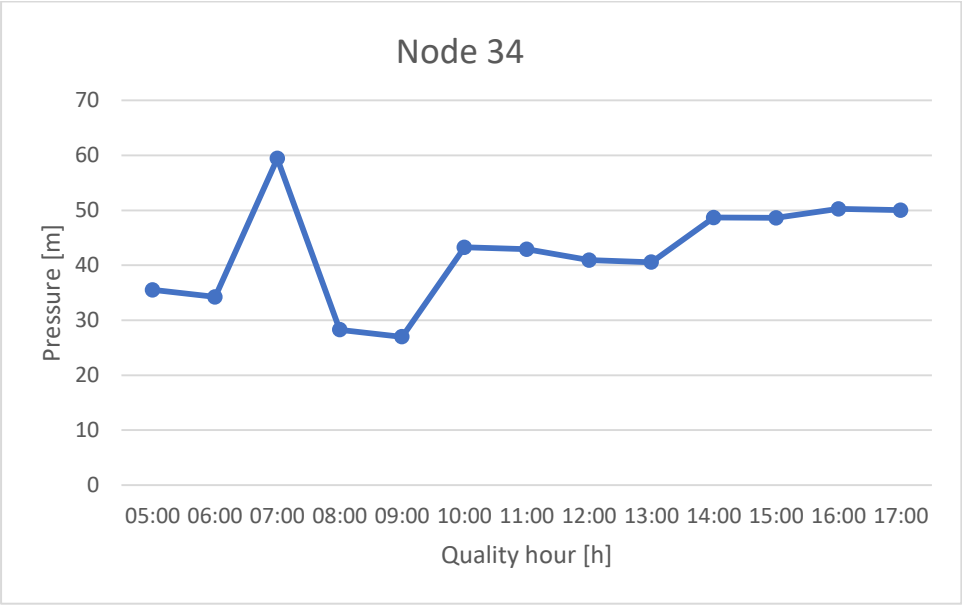
Εικόνα 31:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 31 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



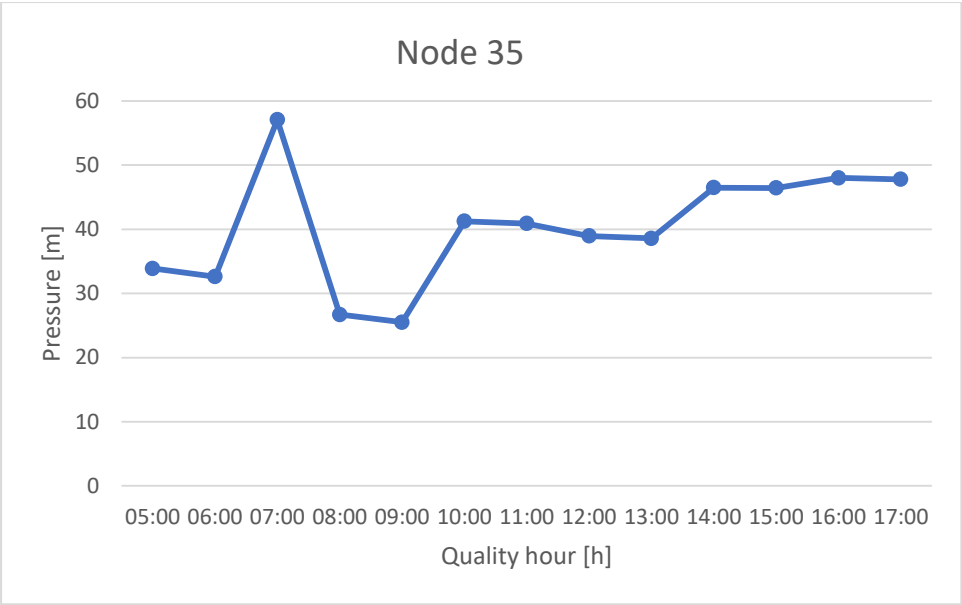
Εικόνα 32:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 32 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



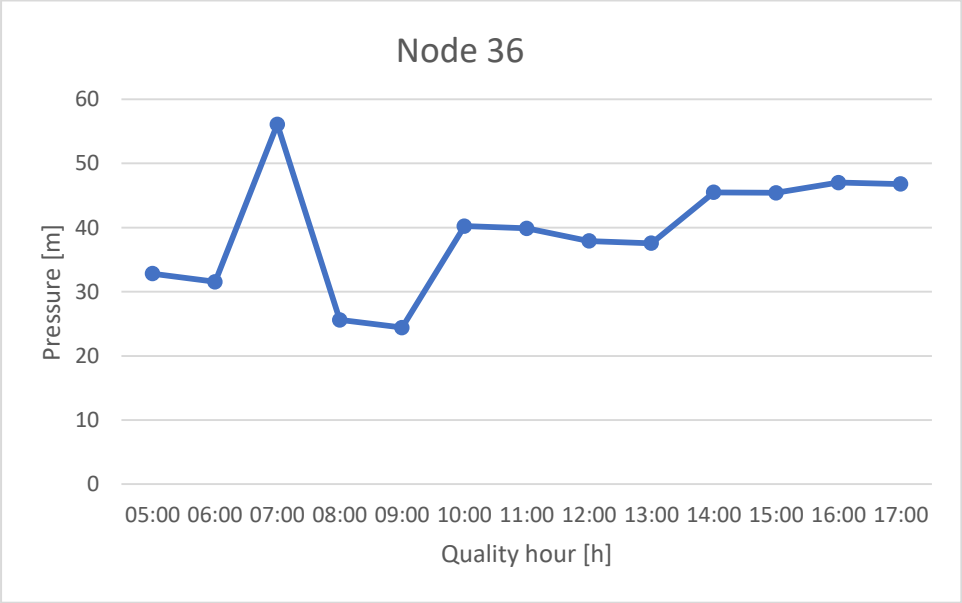
Εικόνα 33:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 33 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



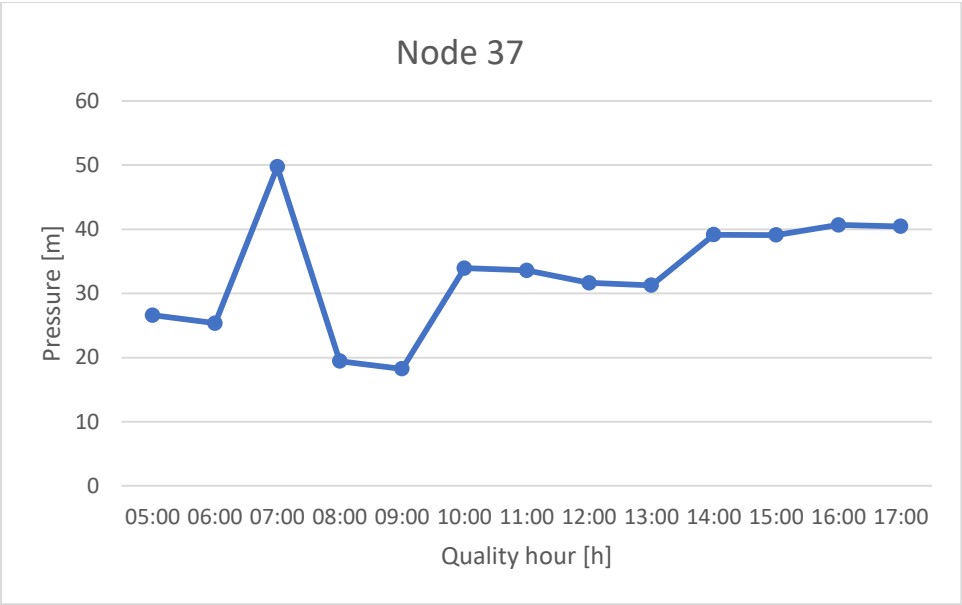
Εικόνα 34:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 34 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



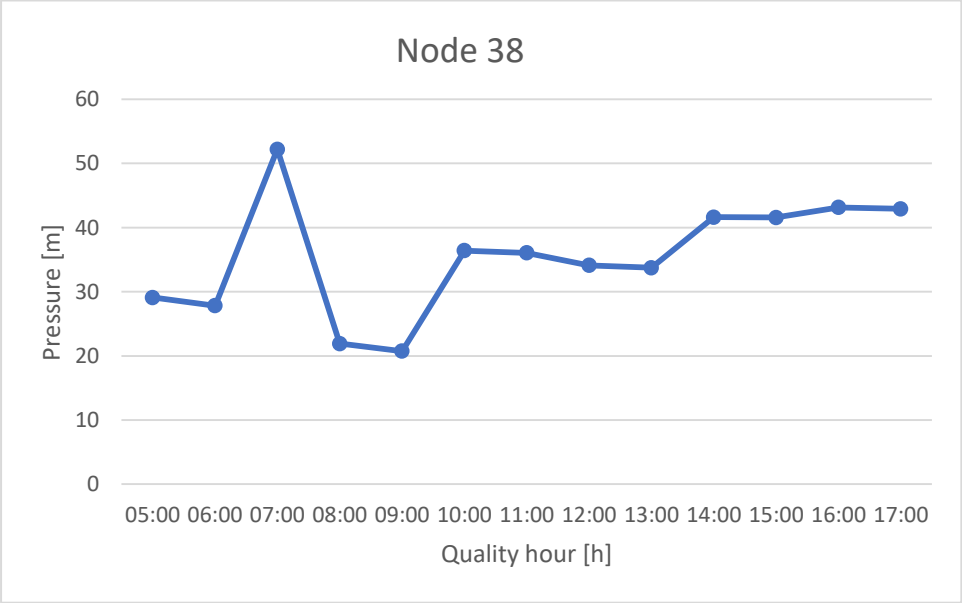
Εικόνα 35:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 35 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



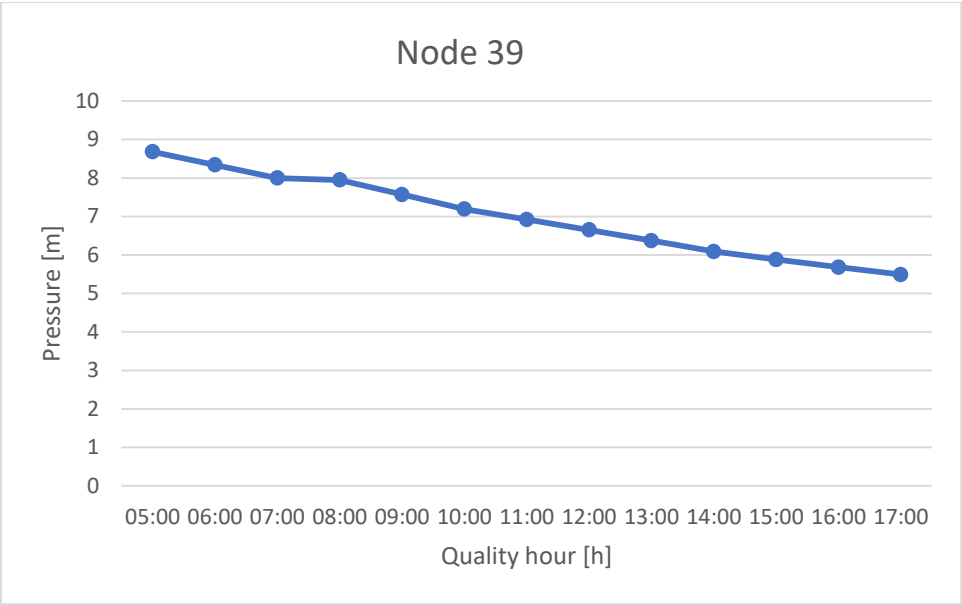
Εικόνα 36:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 36 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



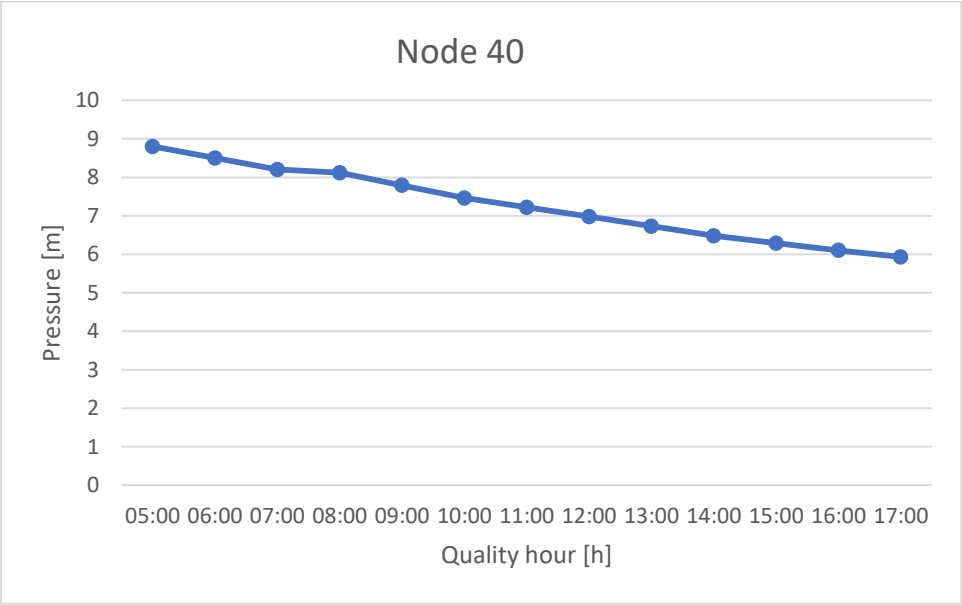
Εικόνα 37:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 37 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



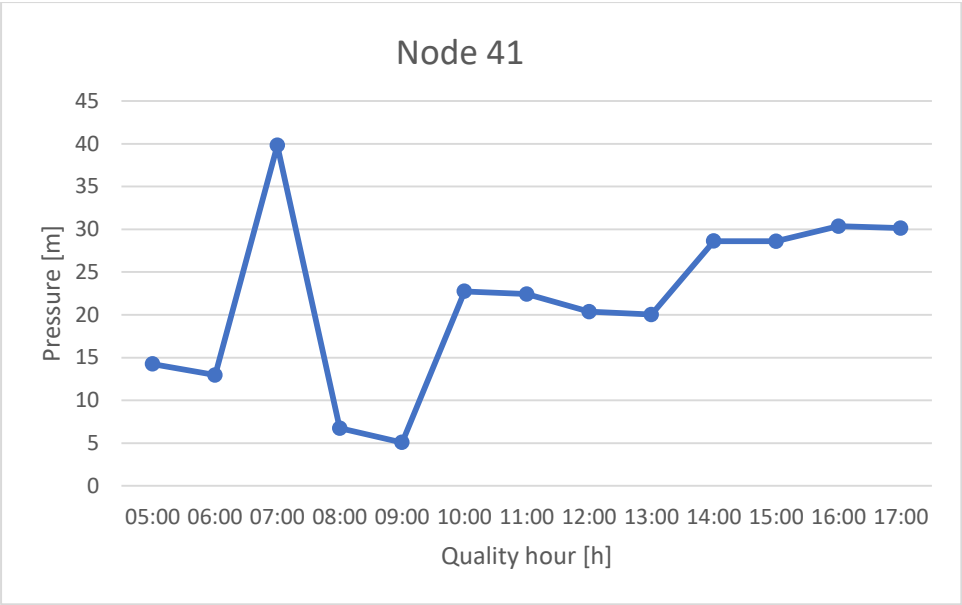
Εικόνα 38:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 38 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



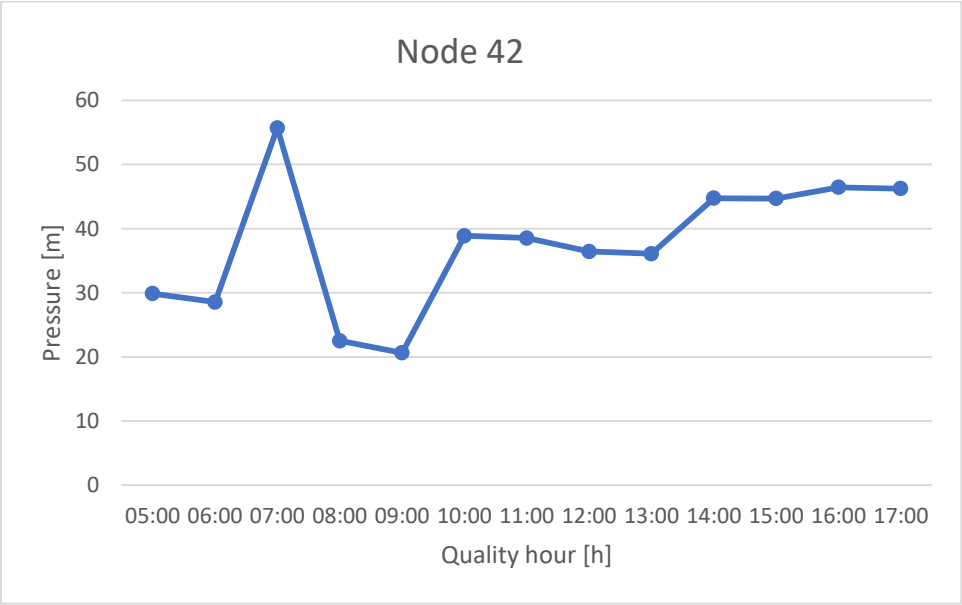
Εικόνα 39:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 39 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



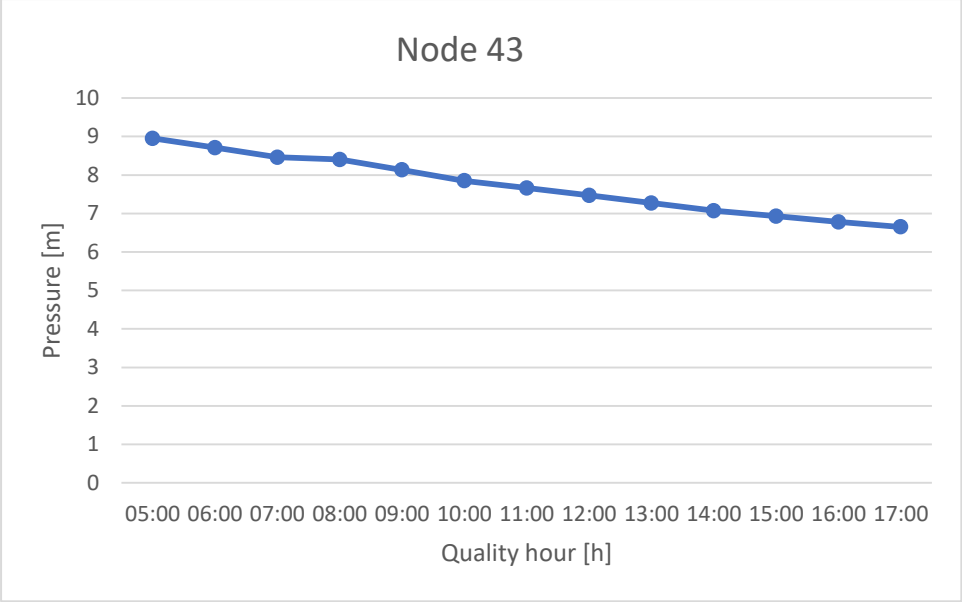
Εικόνα 40:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 40 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



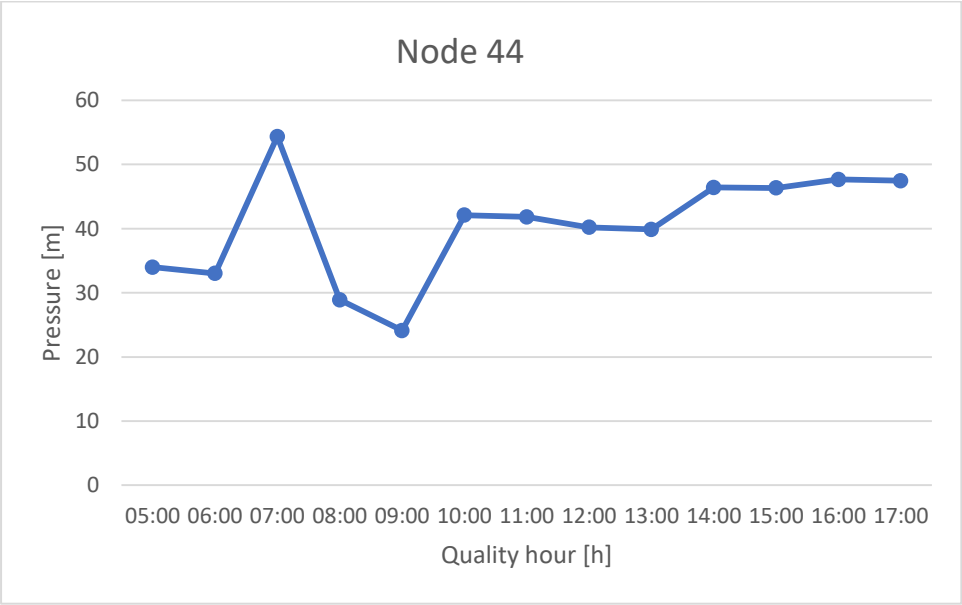
Εικόνα 41:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 41 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



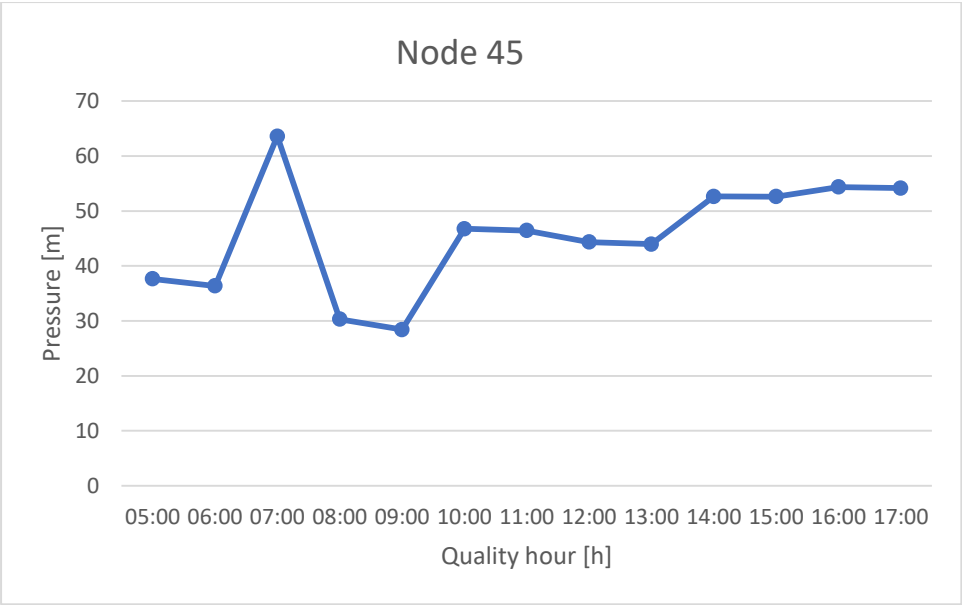
Εικόνα 42:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 42 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



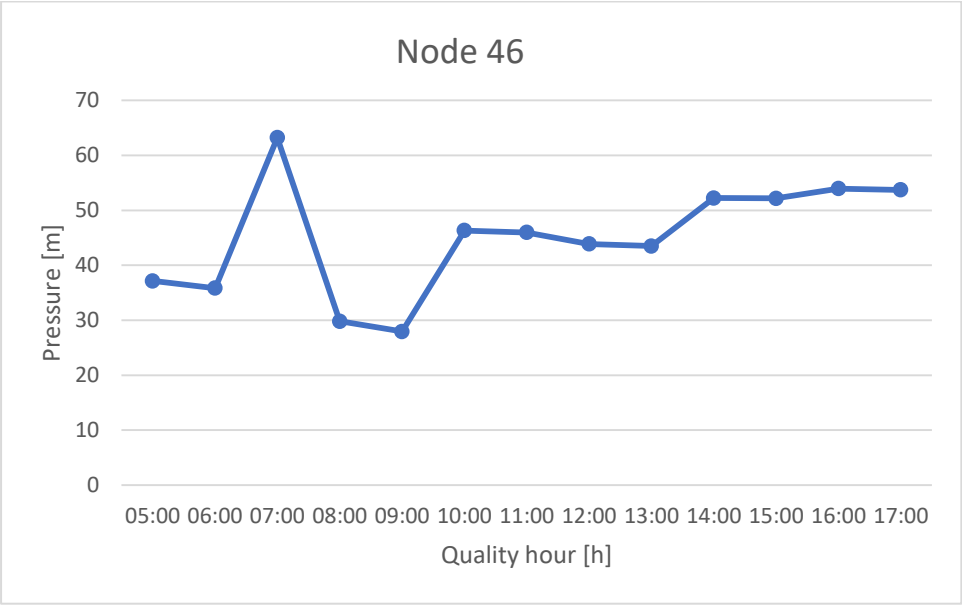
Εικόνα 43:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 43 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



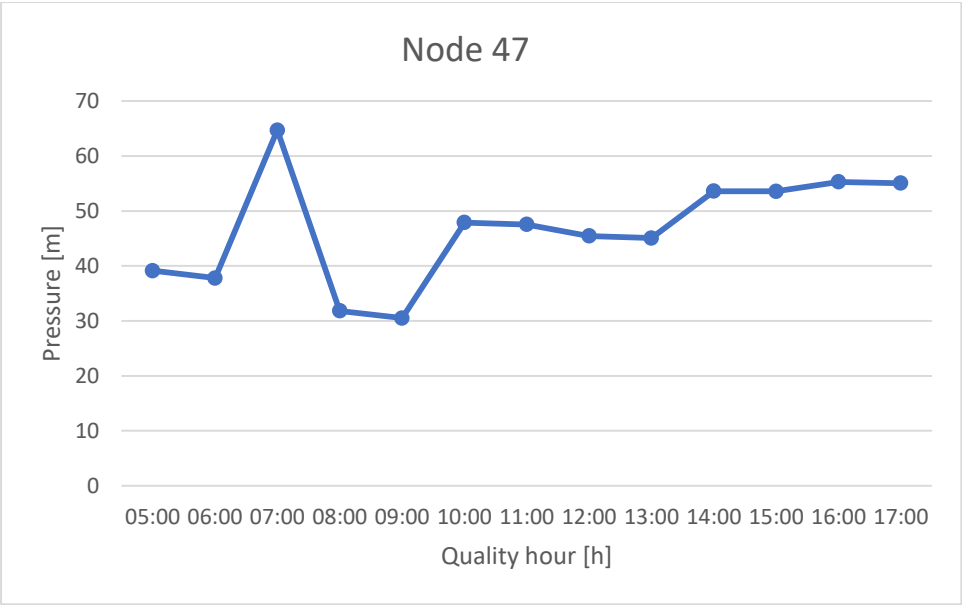
Εικόνα 44:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 44 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



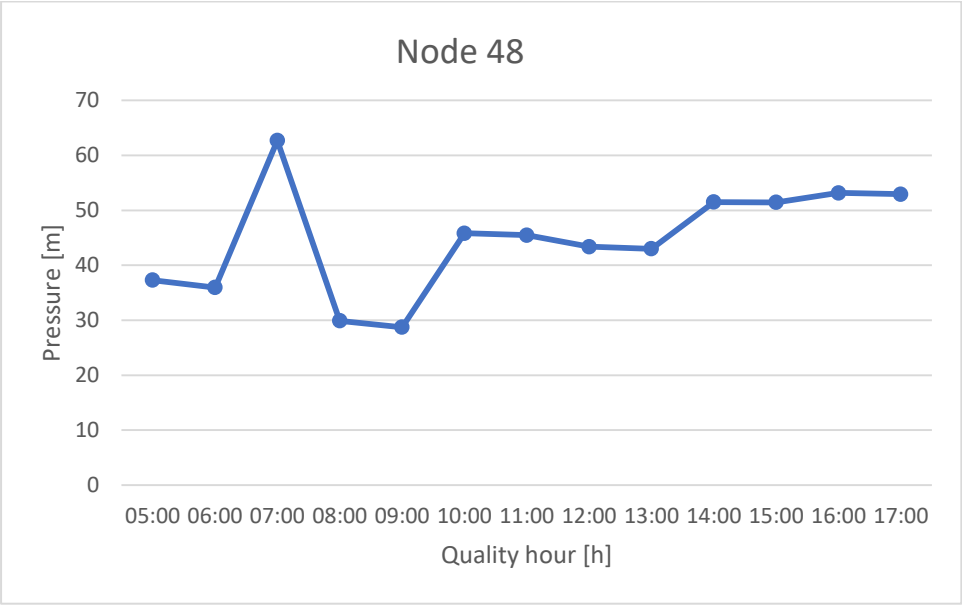
Εικόνα 45:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 45 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



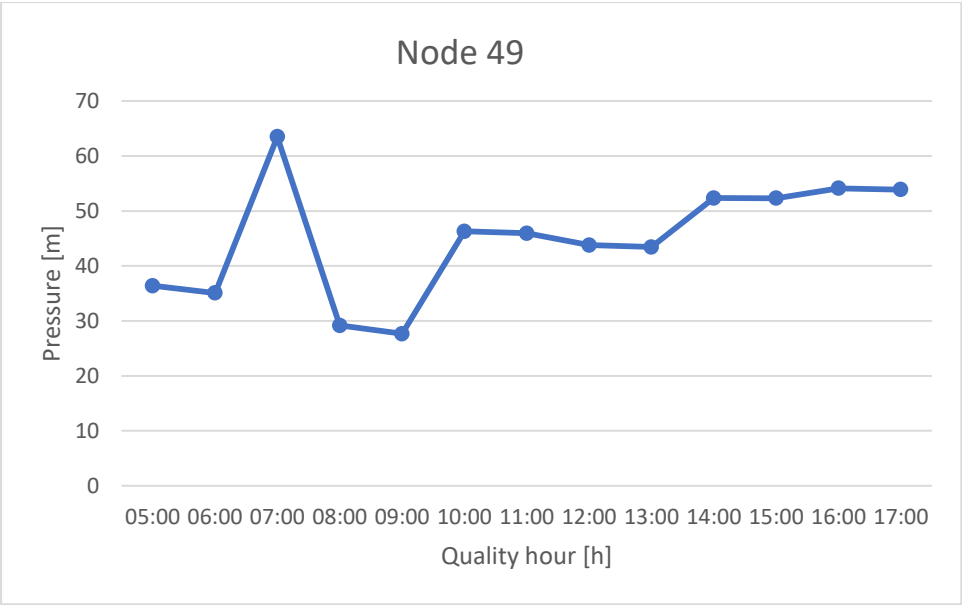
Εικόνα 46:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 46 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



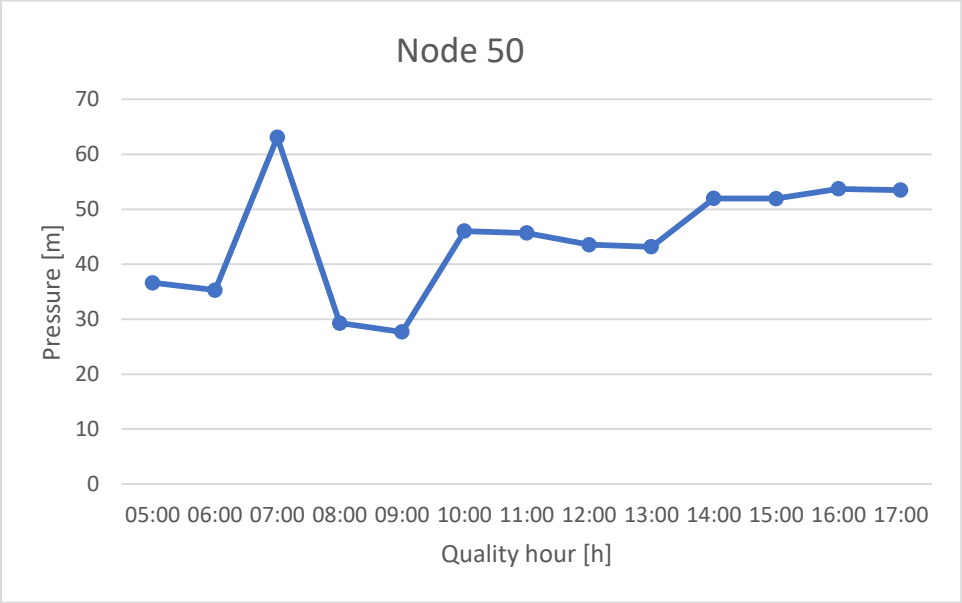
Εικόνα 47:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 47 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



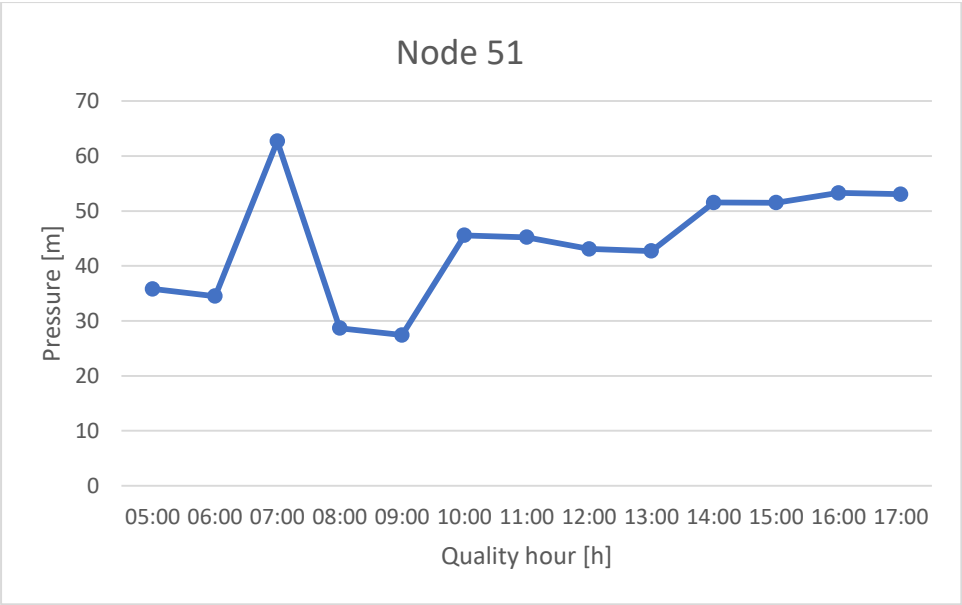
Εικόνα 48:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 48 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



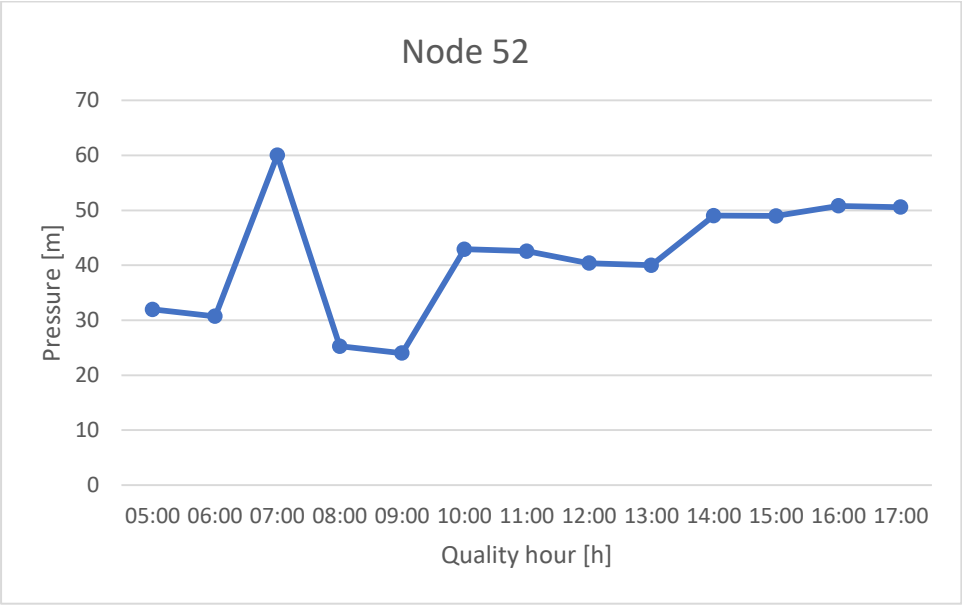
Εικόνα 49:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 49 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



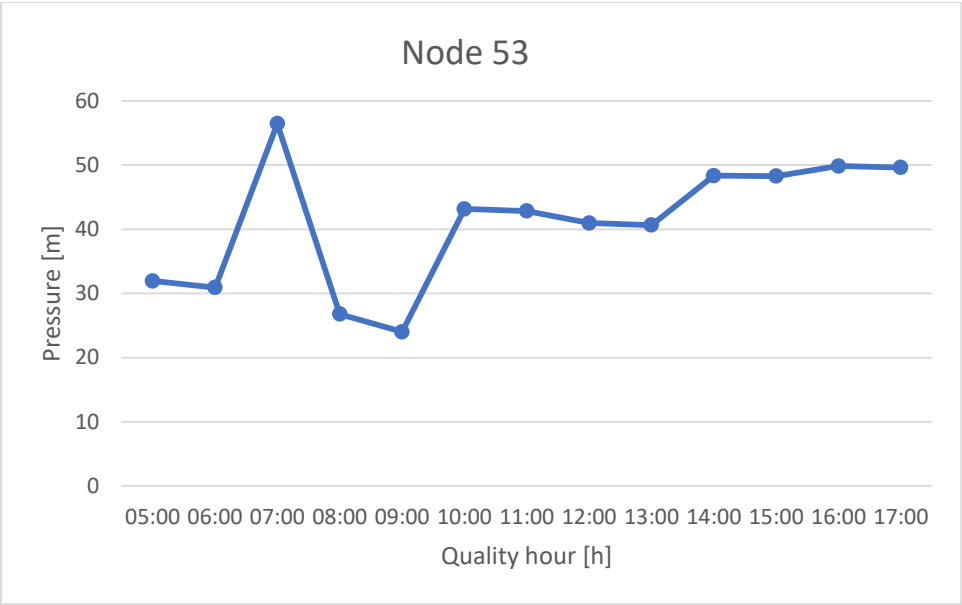
Εικόνα 50:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 50 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



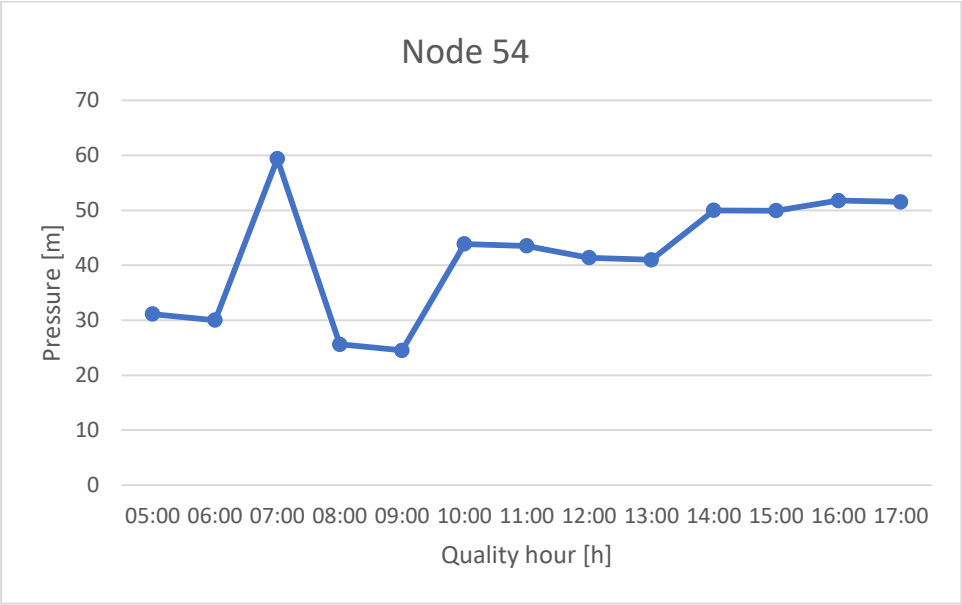
Εικόνα 51:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 51 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



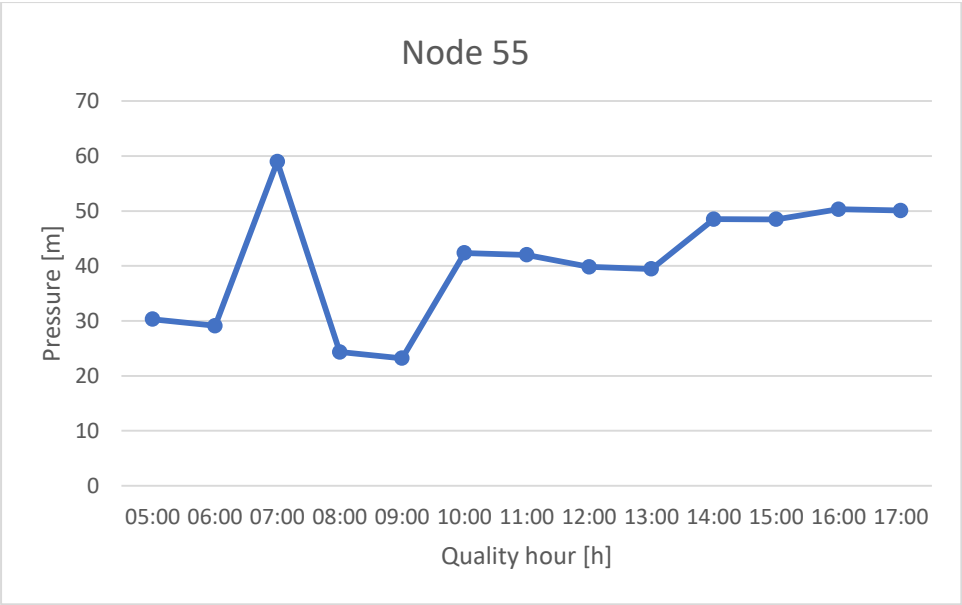
Εικόνα 52:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 52 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



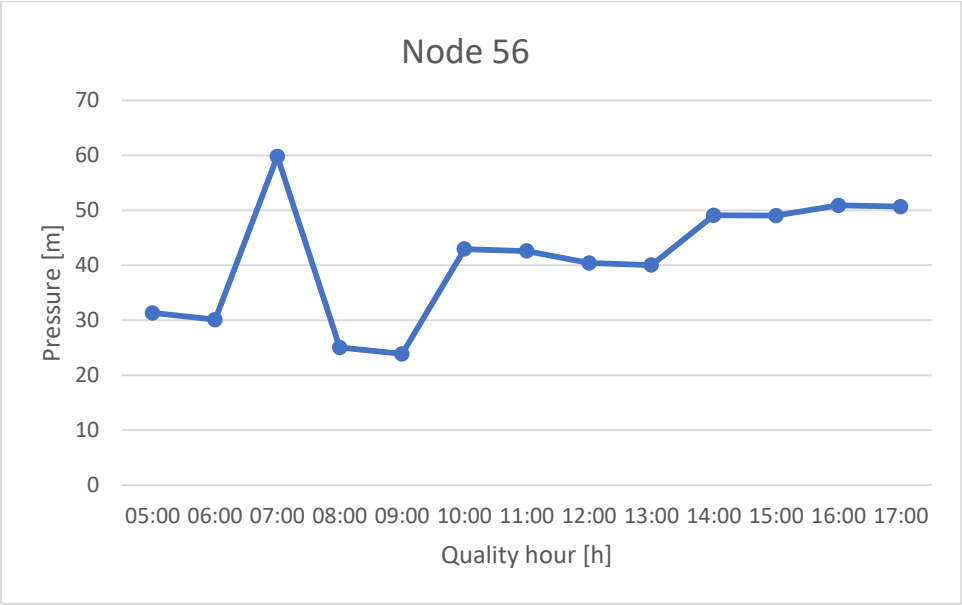
Εικόνα 53:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 53 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



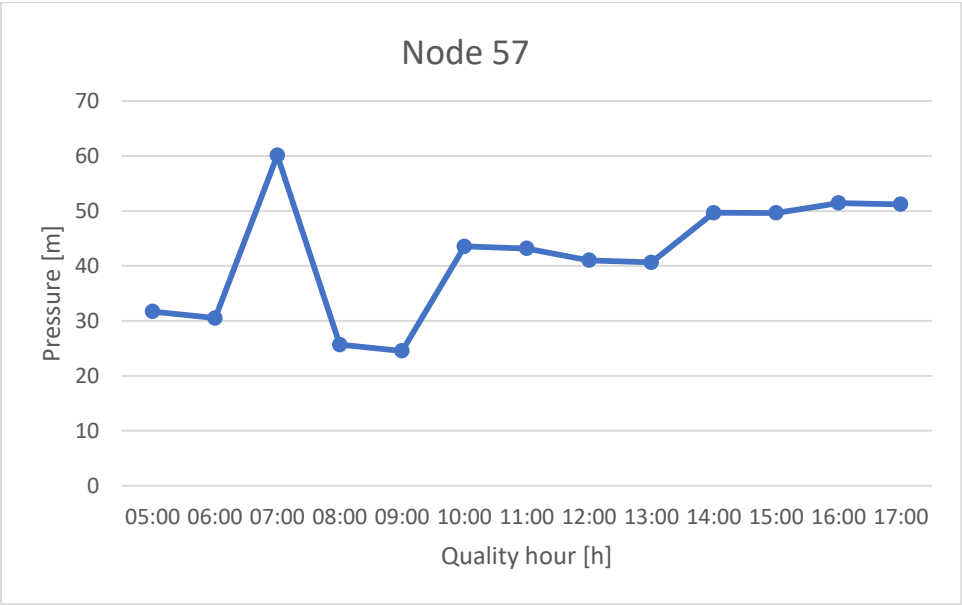
Εικόνα 54:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 54 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



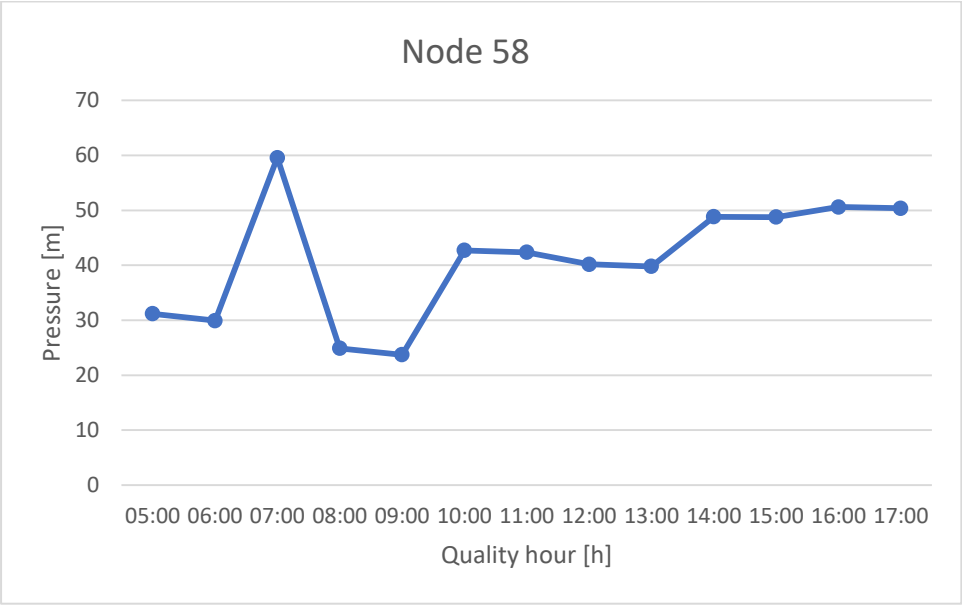
Εικόνα 55:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 55 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



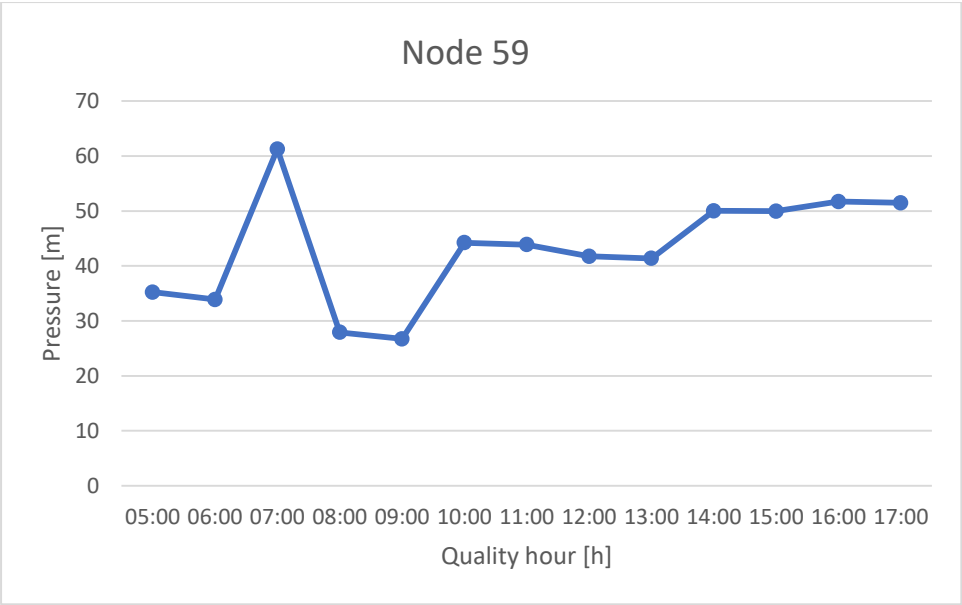
Εικόνα 56:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 56 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



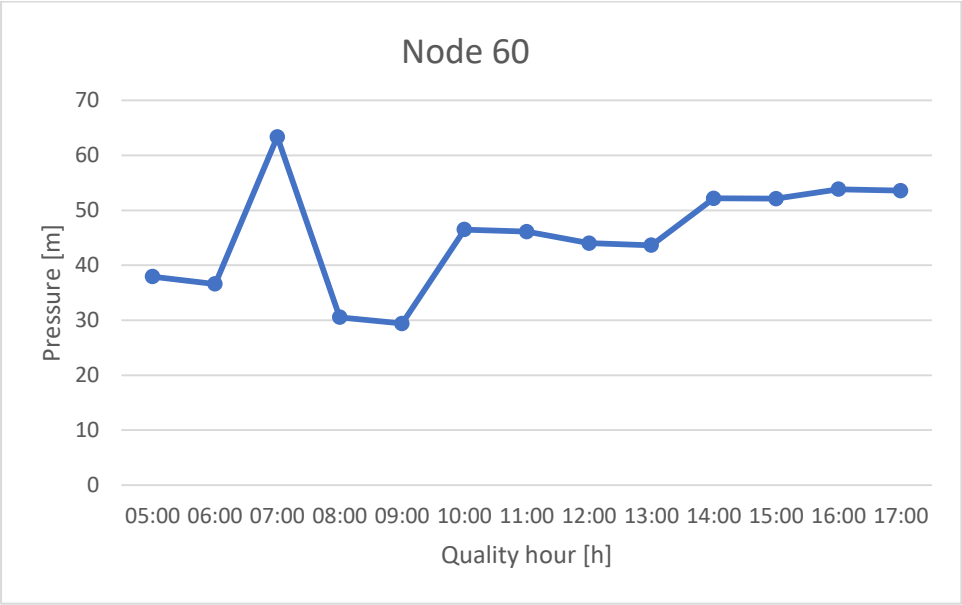
Εικόνα 57:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 57 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



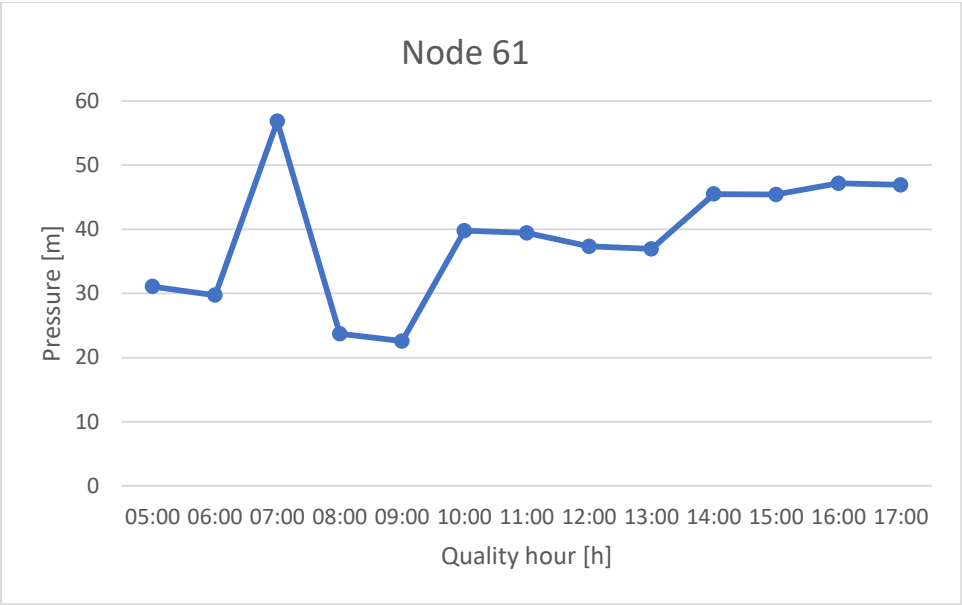
Εικόνα 58:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 58 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



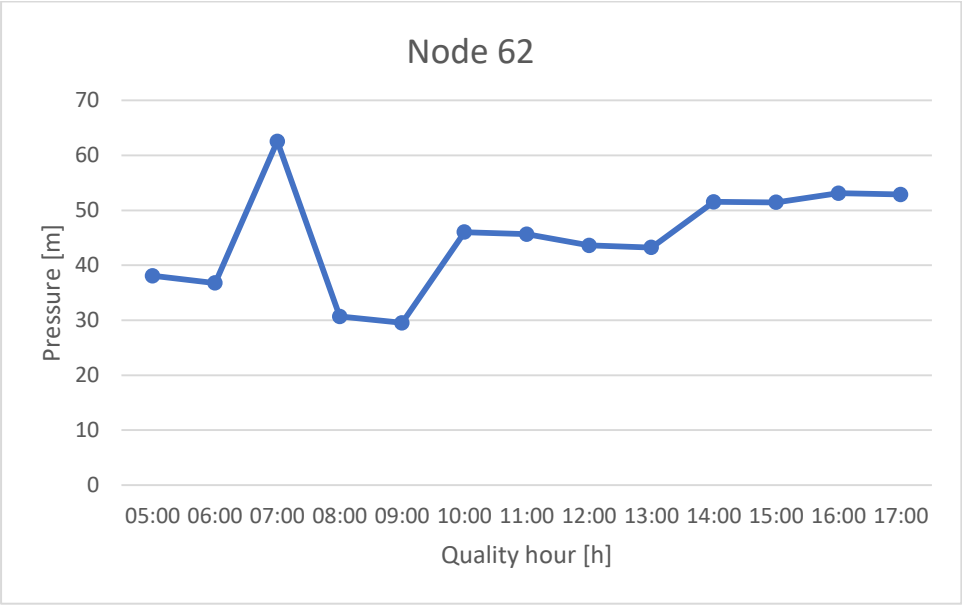
Εικόνα 59:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 59 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



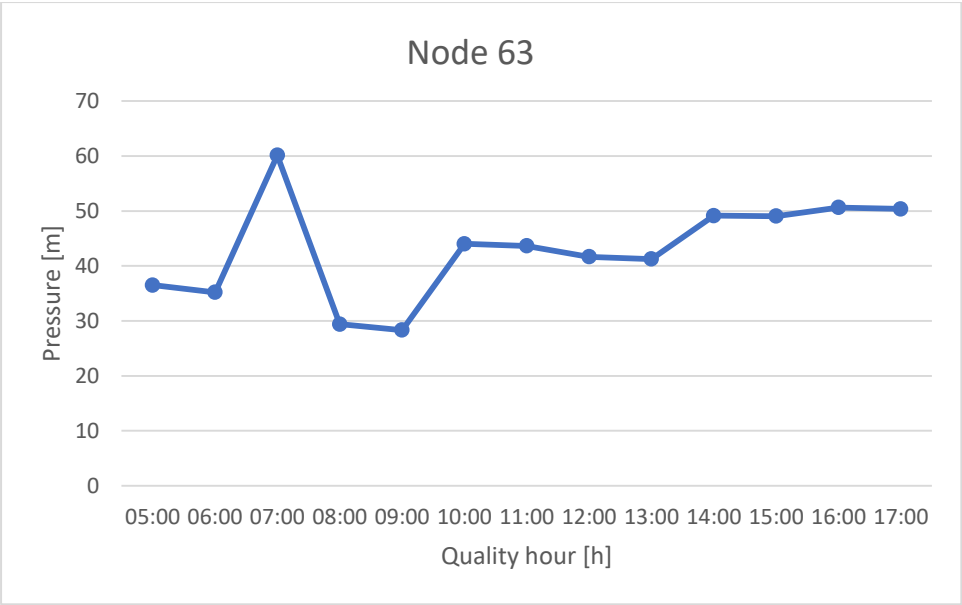
Εικόνα 60:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 60 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



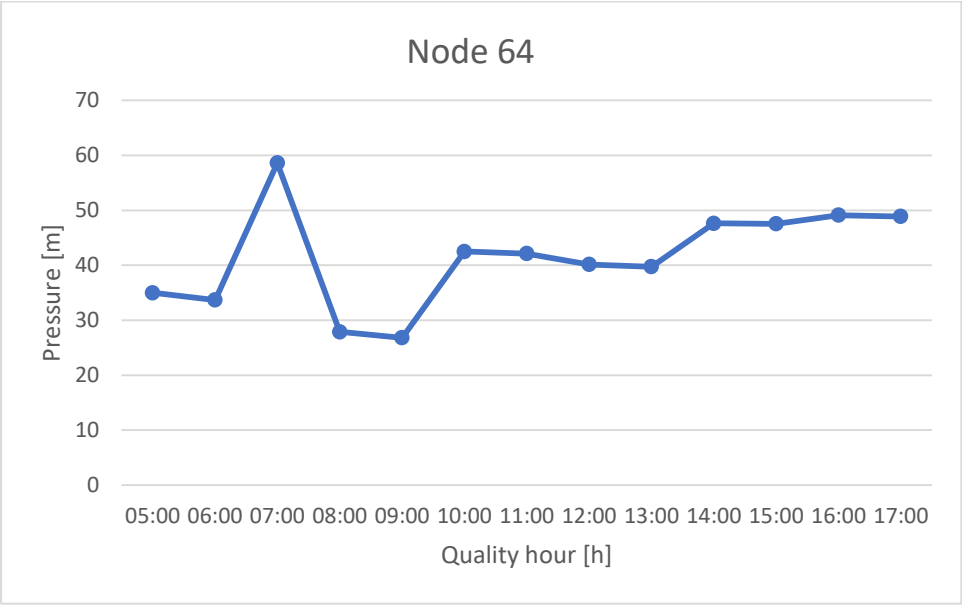
Εικόνα 61:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 61 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



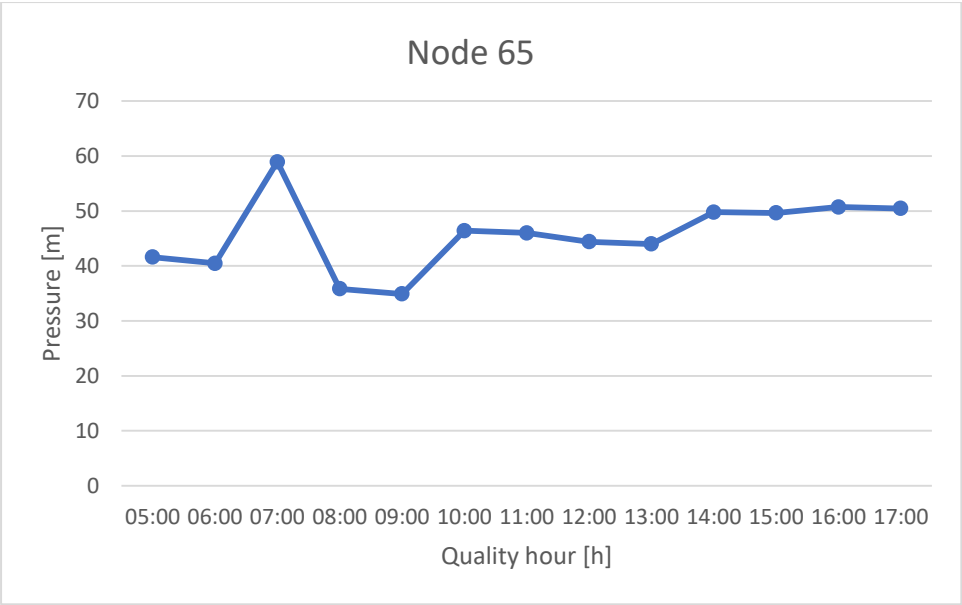
Εικόνα 62:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 62 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



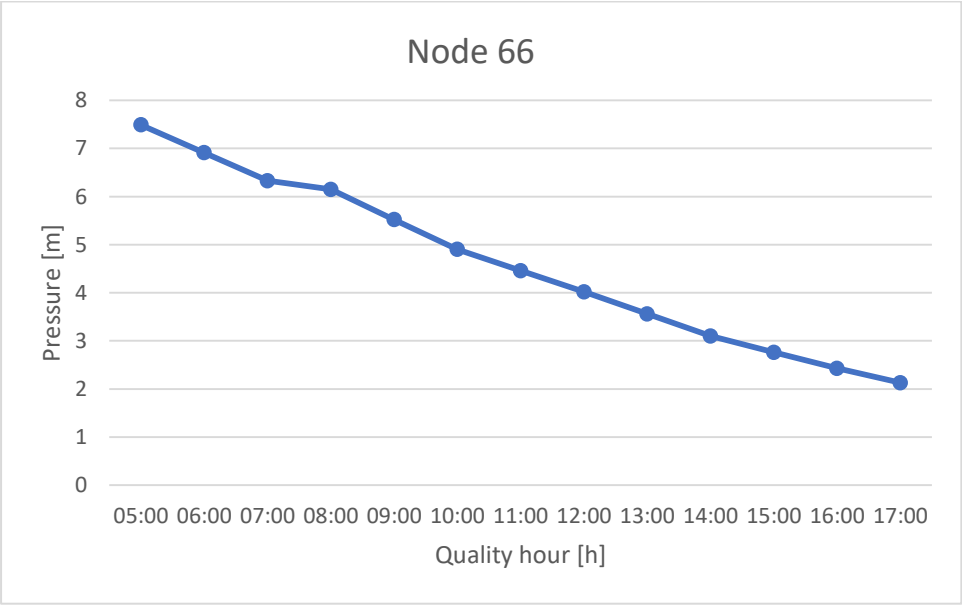
Εικόνα 63:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 63 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



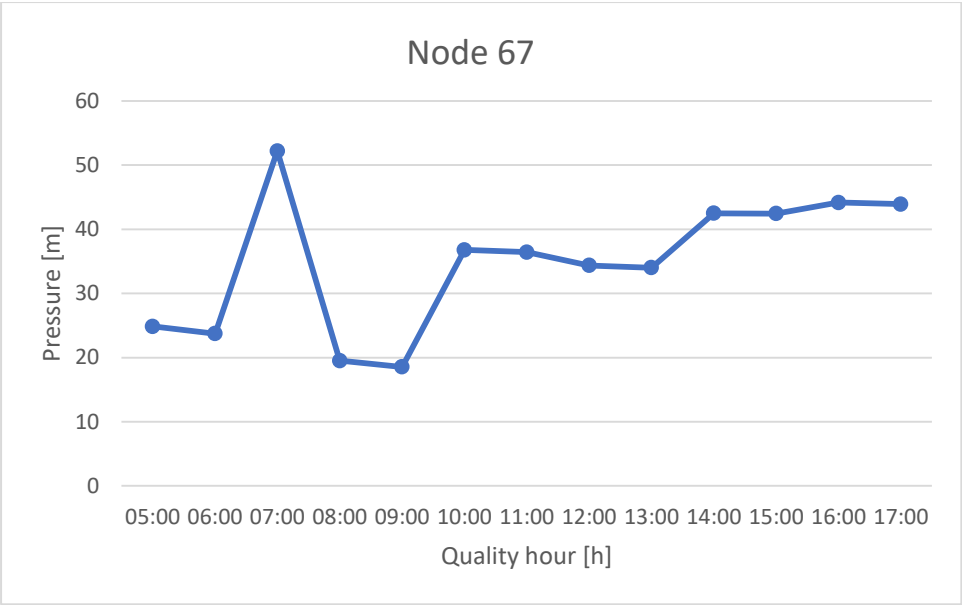
Εικόνα 64:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 64 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



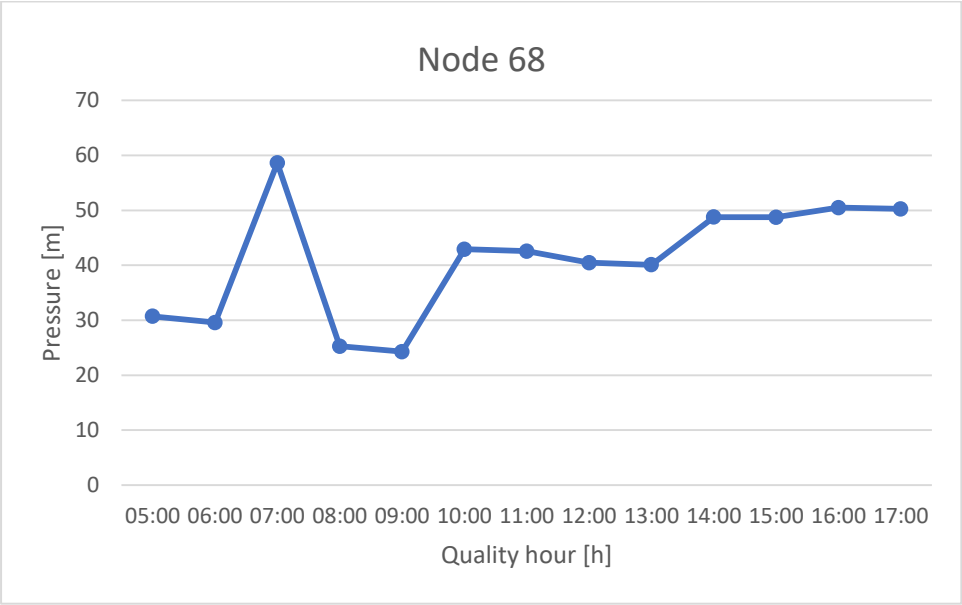
Εικόνα 65:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 65 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



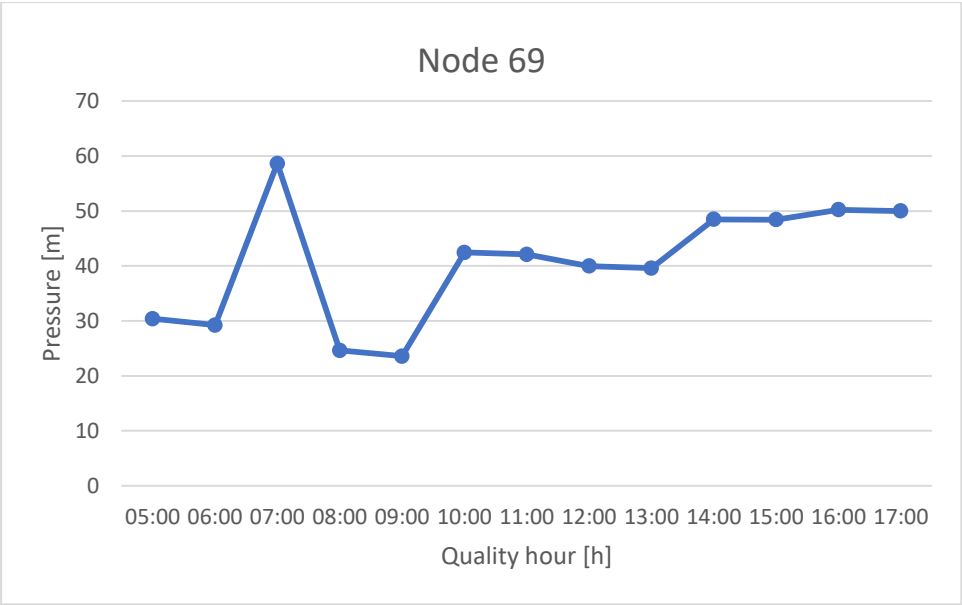
Εικόνα 66:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 66 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



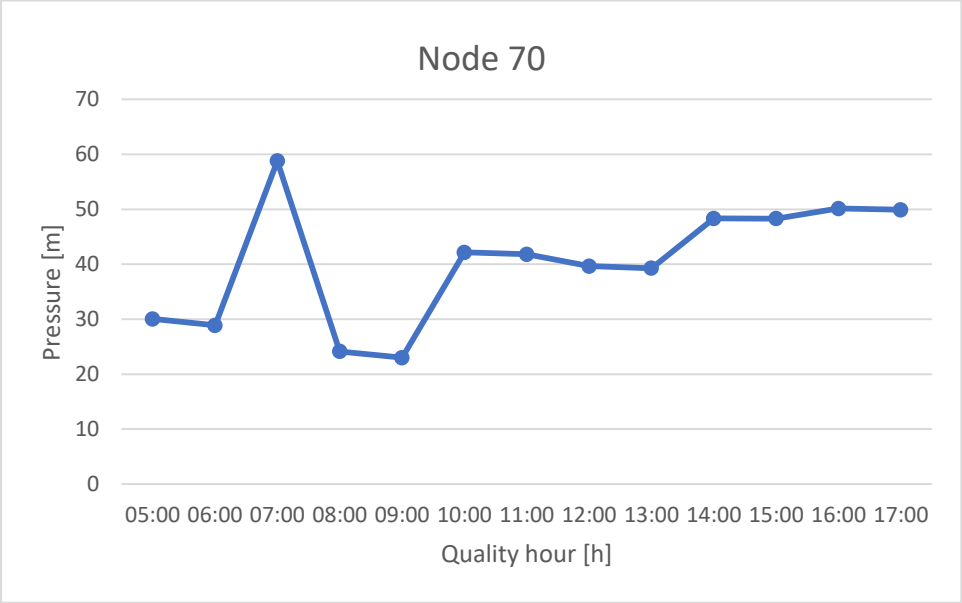
Εικόνα 67:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 67 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



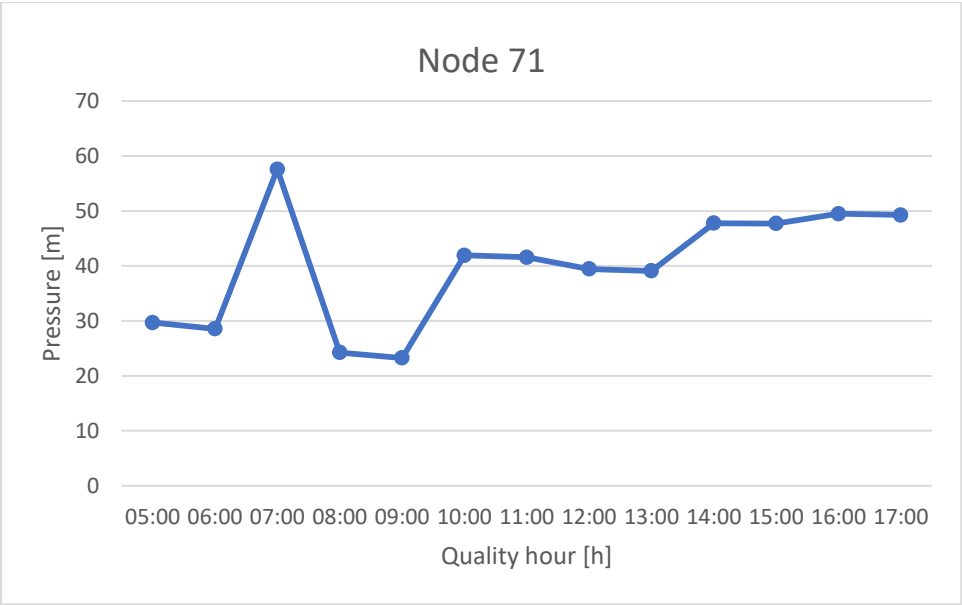
Εικόνα 68:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 68 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



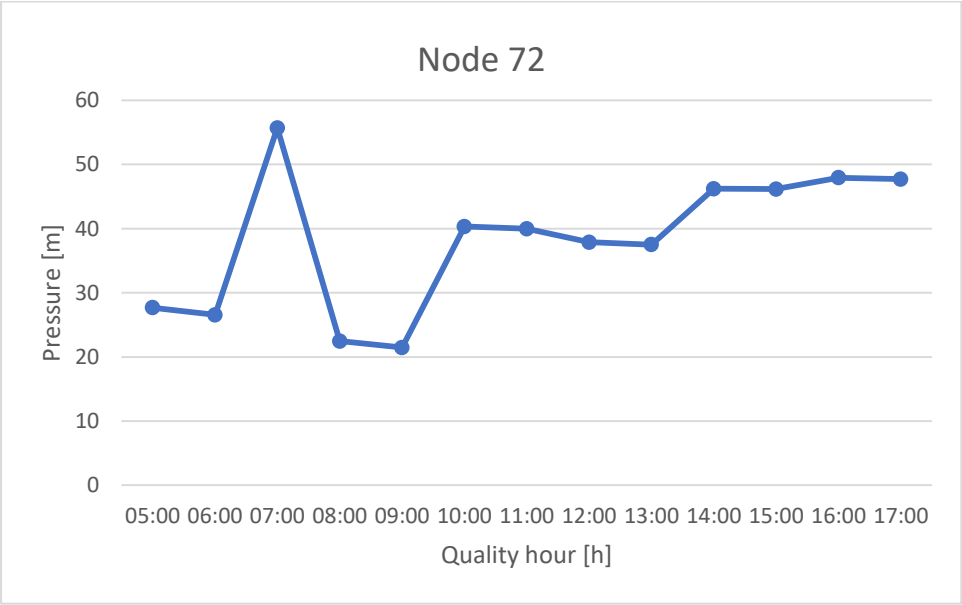
Εικόνα 69:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 69 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



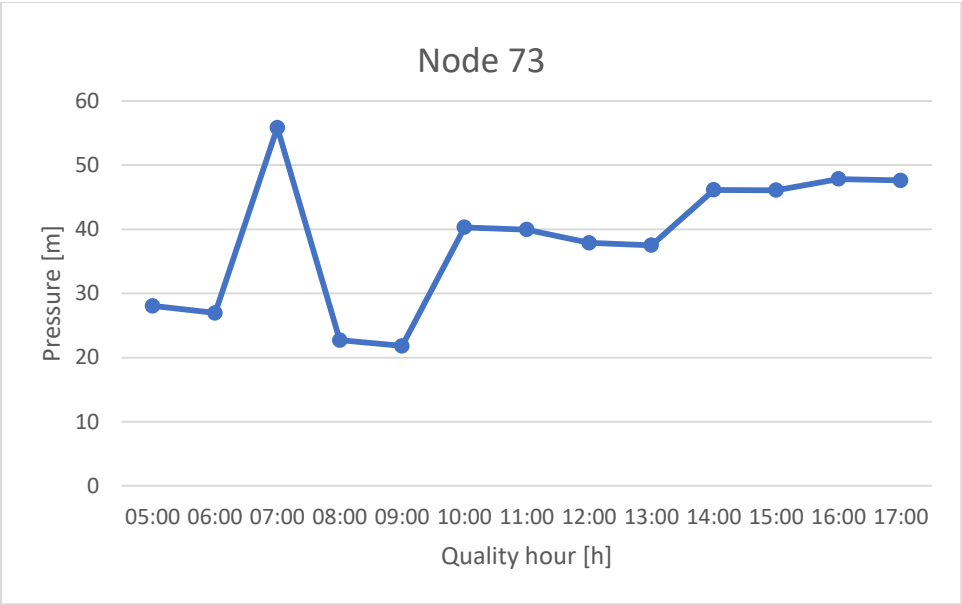
Εικόνα 70:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 70 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



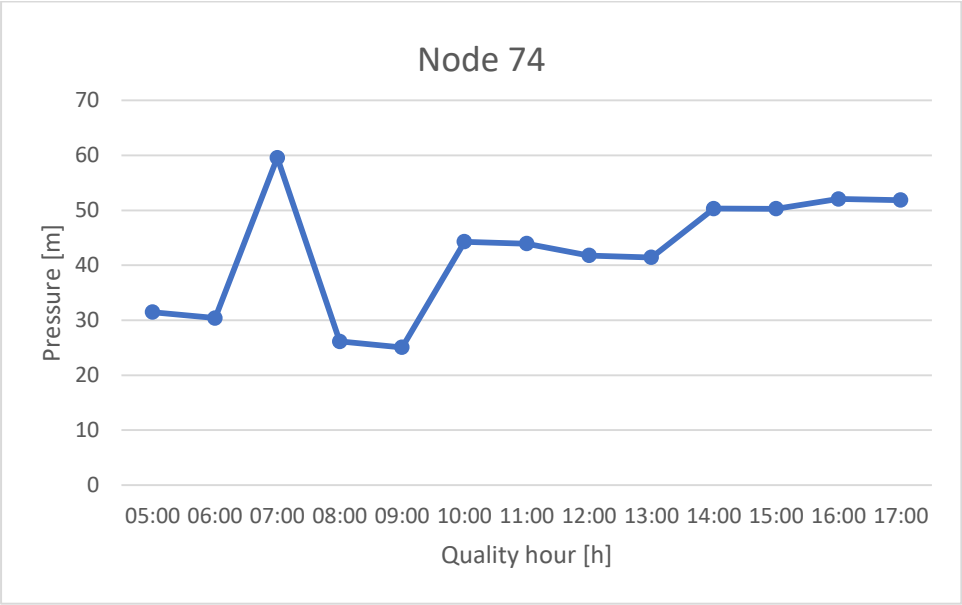
Εικόνα 71:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 71 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



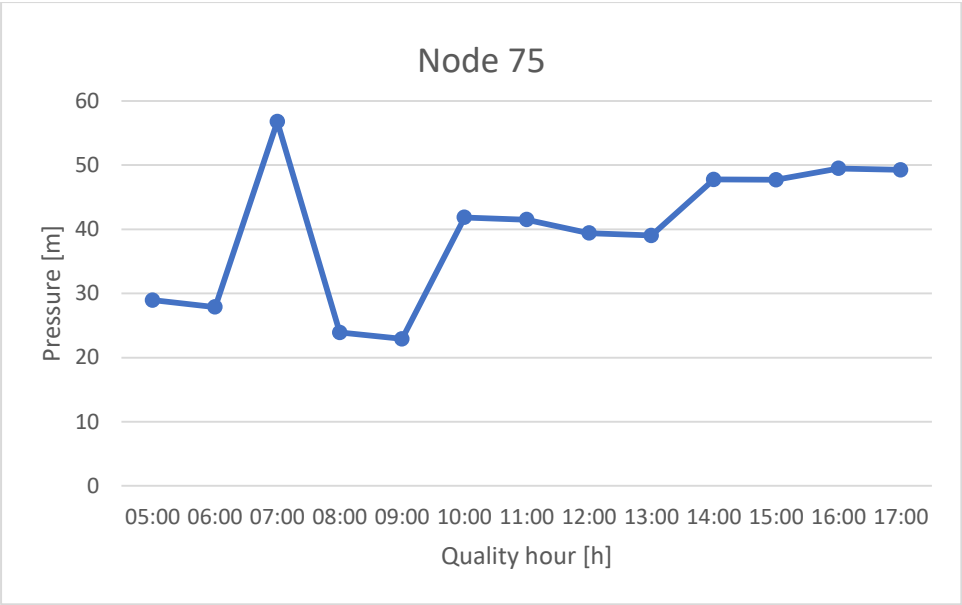
Εικόνα 72:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 72 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



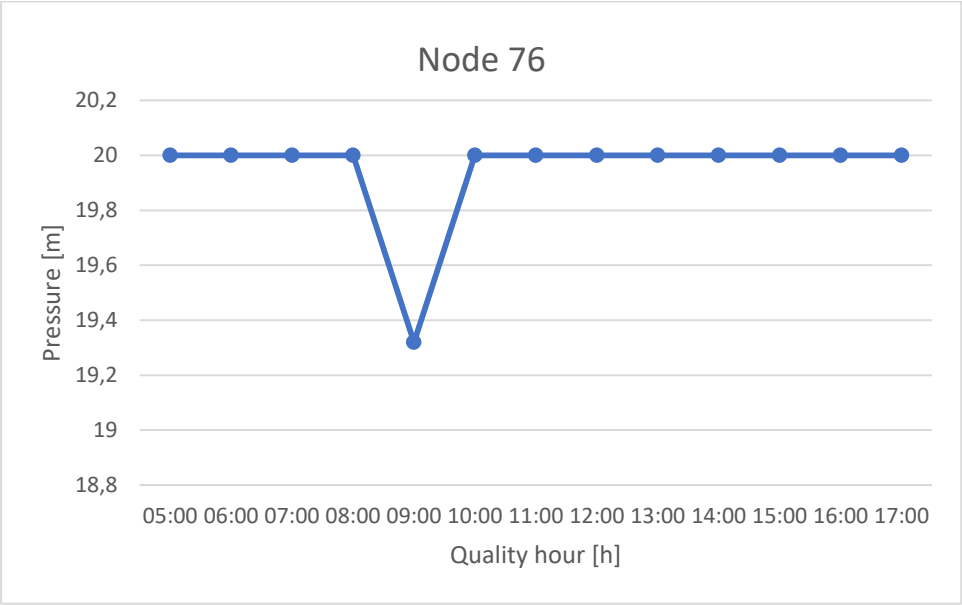
Εικόνα 73:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 73 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



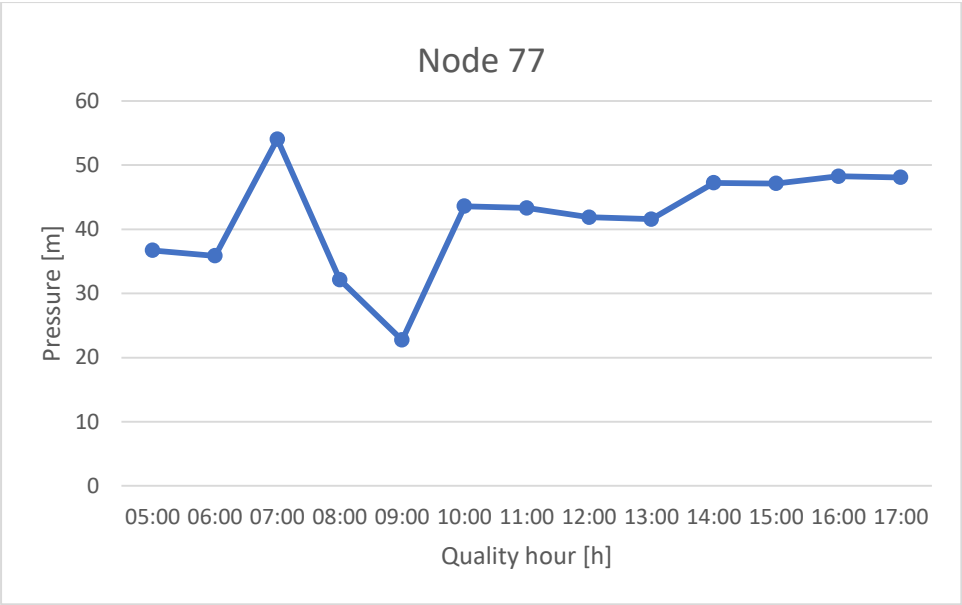
Εικόνα 74:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 74 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



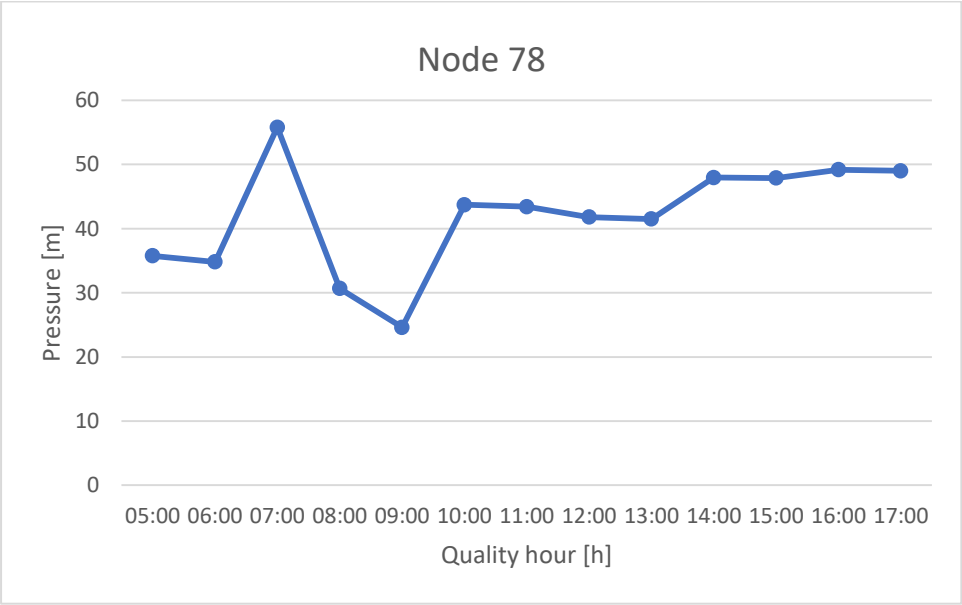
Εικόνα 75:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 75 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



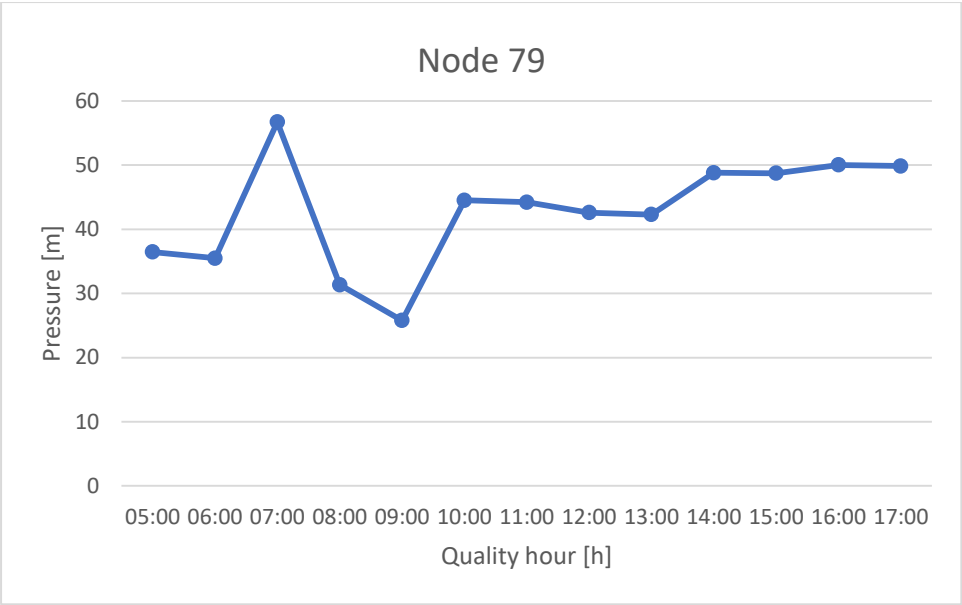
Εικόνα 76:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 76 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



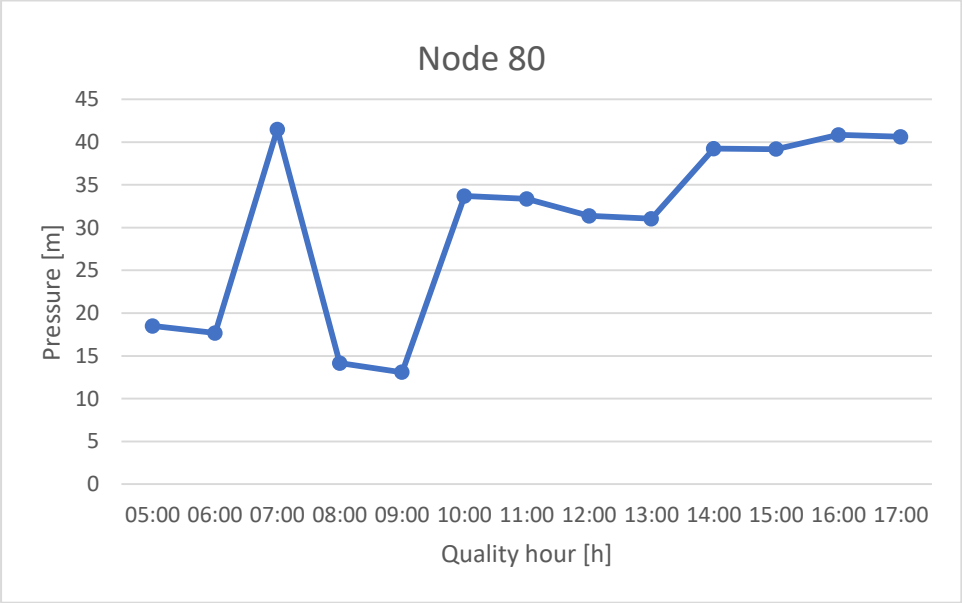
Εικόνα 77:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 77 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



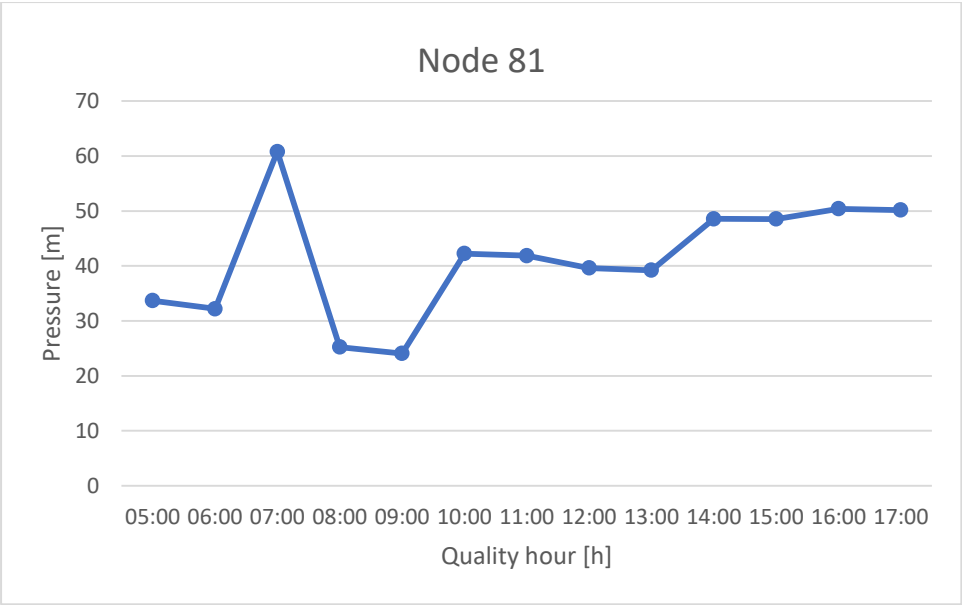
Εικόνα 78:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 78 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



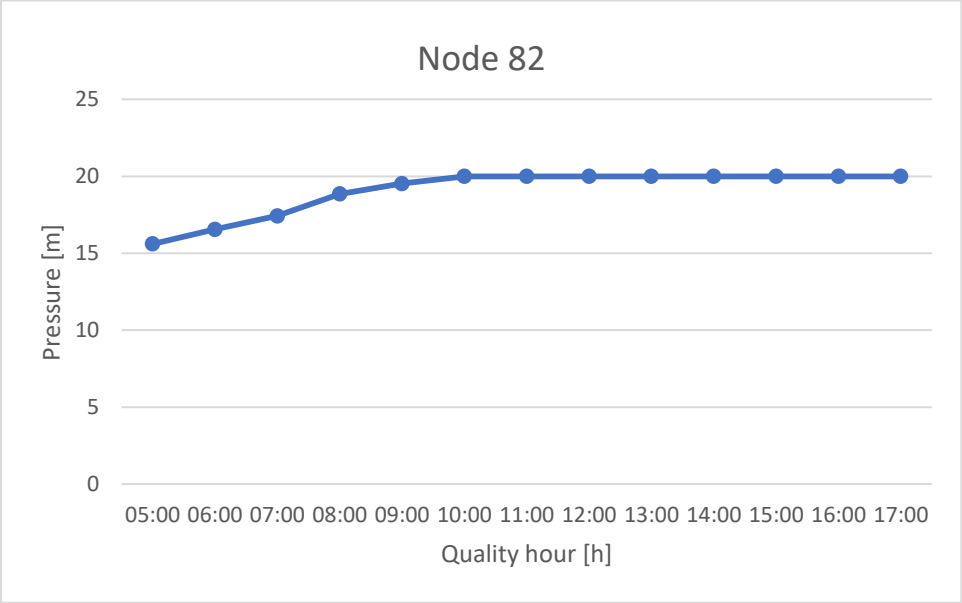
Εικόνα 79:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 79 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



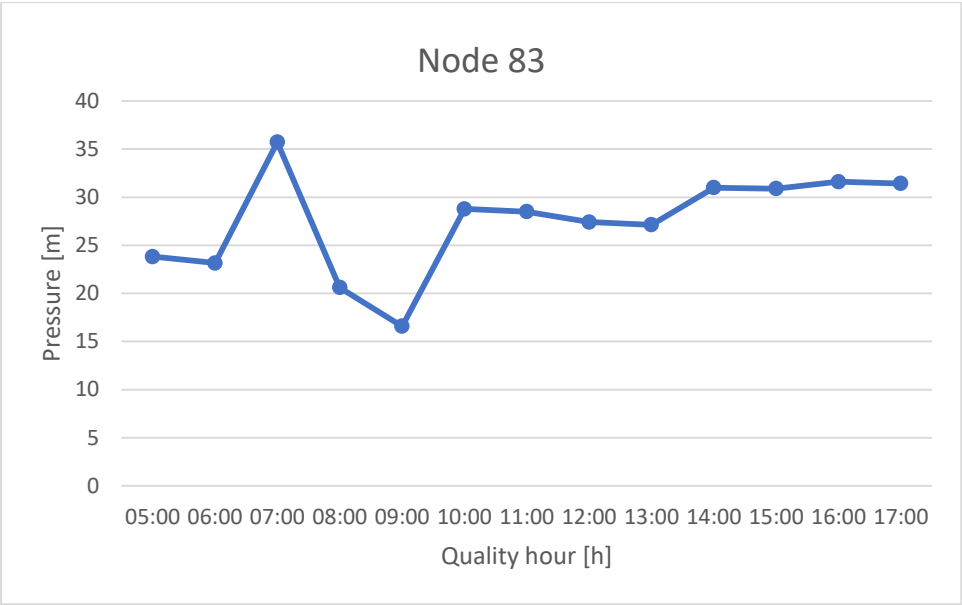
Εικόνα 80:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 80 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



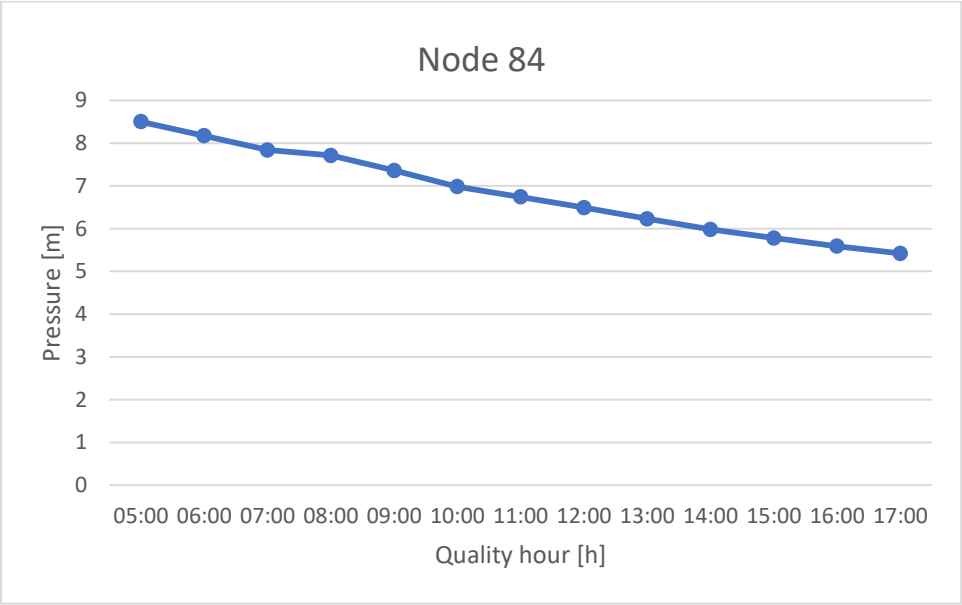
Εικόνα 81:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 81 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



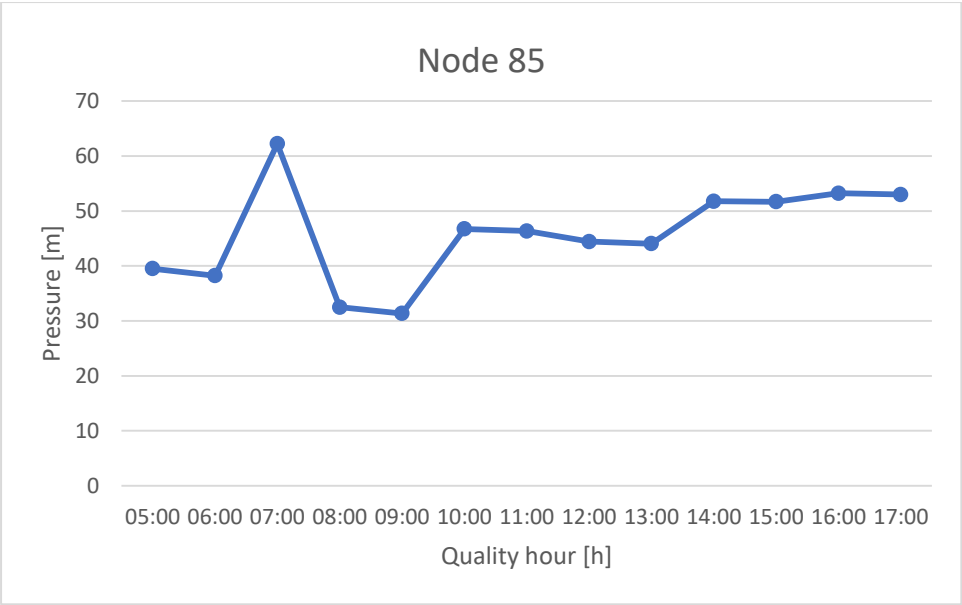
Εικόνα 82:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 82 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



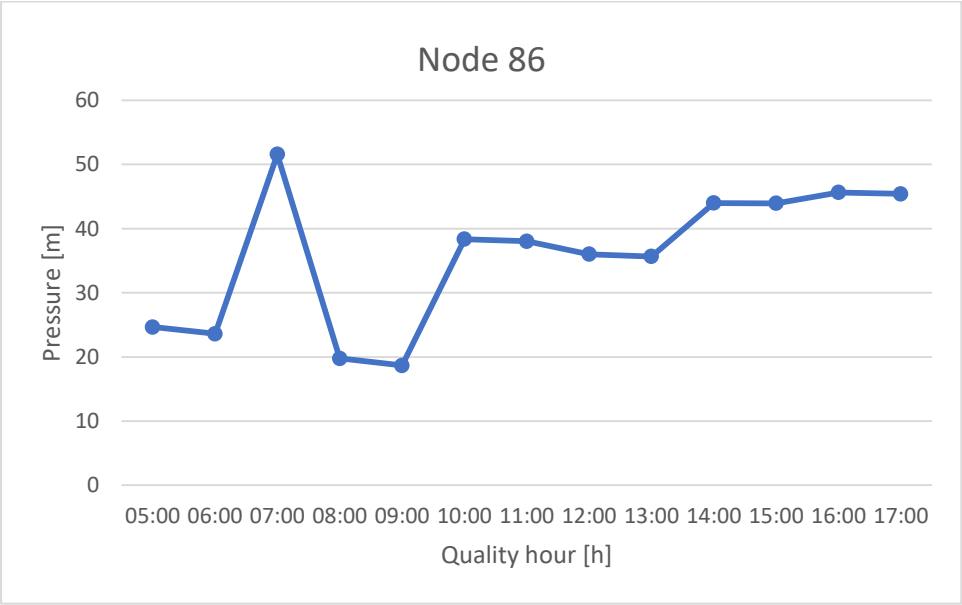
Εικόνα 83:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 83 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



Εικόνα 84:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 84 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



Εικόνα 85:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 85 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο



Εικόνα 86:Διάγραμμα Αποτελεσμάτων Πίεσης Κόμβου 86 για Διακοπτόμενη Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο