



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Περιβαλλοντικών Κινδύνων»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

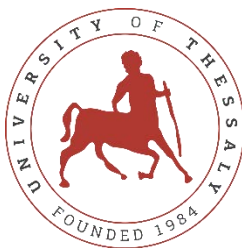
Υπολογισμός δικτύων διανομής νερού με χρήση του λογισμικού EPANET 2.0.
Εφαρμογή στο δίκτυο ύδρευσης του οικισμού Όσσης Νομού Λάρισας

ΜΠΑΙΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΑΜ: M061924005

Επιβλέπων: Δρ. Κωτσόπουλος Σπυρίδων, Καθηγητής

Βόλος, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2025



UNIVERSITY OF THESSALY
INTERDEPARTMENTAL POSTGRADUATE STUDIES PROGRAMME
“Advanced Technologies for Environmental Risk Management”

POSTGRADUATE MASTER’S THESIS

**Calculation of water distribution networks using EPANET 2.0 software. Application
to the water supply network of the settlement of Ossa, Prefecture of Larissa**

BLIOS KONSTANTINOS

PN: M061924005

Supervisor: *Kotsopoulos Spyridon, Professor*

Volos, SEPTEMBER 2025



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Περιβαλλοντικών Κινδύνων»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ (ΕΛ)

Υπολογισμός δικτύων διανομής νερού, διαστασιολόγηση και επίλυση με χρήση του λογισμικού EPANET 2.0. Εφαρμογή στο δίκτυο ύδρευσης του οικισμού Όσσας Νομού Λάρισας

POSTGRADUATE MASTER'S THESIS (EN)

Calculation of water distribution networks, dimensioning and network solving using EPANET 2.0 software. Application to the water supply network of the settlement of Ossa, Prefecture of Larissa

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 30-09-2025.

Επιβλέπων: Κωτσόπουλος Σπυρίδων, Καθηγητής

Φαρσιρώτου Ευαγγελία

Αλαμανής Νικόλαος

Καθηγήτρια

Αναπληρωτής Καθηγητής

Μέλος

Μέλος

Βόλος, Σεπτέμβριος 2025

ΜΠΑΙΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ.

Ονοματεπώνυμο Συγγραφέα

Copyright © ΜΠΑΙΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, 2025

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται στο συγγραφέα.

Το περιεχόμενο της διπλωματικής εργασίας εκφράζει τις απόψεις του συγγραφέα και ουδεμία ευθύνη για το περιεχόμενο φέρουν ο επιβλέπων, και η εξεταστική επιτροπή για αυτό.

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή.

Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης.

Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στη Διπλωματική μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Μεταπτυχιακού Τίτλου των Μεταπτυχιακών Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων.

Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η Μ.Δ.Ε. προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση

κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει
διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

Ονοματεπώνυμο Συγγραφέα: ΜΠΛΙΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Υπογραφή:

Ημερομηνία: 25/09/2025

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Κωτσόπουλο Σπυρίδωνα για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	10
ABSTRACT.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΔΙΚΤΥΑ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΟΙΚΙΣΜΩΝ	12
1.1. Γενικά.....	12
1.2. Στοιχεία του υδραγωγείου.....	13
1.2.1. Πηγές υδροληψίας	13
1.2.2. Αντλιοστάσια.....	14
1.2.3. Χαρακτηριστικά μεγέθη σχεδιασμού αντλητικού συγκροτήματος.....	15
1.2.4. Αγωγοί μεταφοράς και διανομής νερού	16
1.3. Λειτουργικές απαιτήσεις δικτύων ύδρευσης.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ	24
2.1. Βασικά υδραυλικά μεγέθη	24
2.1.1. Υπολογισμός απωλειών ενέργειας	25
2.1.2. Ενέργεια.....	26
2.2. Μέθοδοι υπολογισμού εσωτερικών δικτύων ύδρευσης.....	27
2.2.1. Μέθοδος ανηγμένης παροχής.....	28
2.2.2. Μέθοδος υπολογισμού ακτινωτών δικτύων	28
2.2.3. Μέθοδος Hardy Cross	29
2.2.4. Μέθοδος των τομών	29
2.3. Υπολογισμός αναγκαίας ποσότητας ύδατος	30
2.3.1. Κατανομή της ζήτησης του νερού και ενδεικτικές τιμές ζήτησης.....	30
2.4. Υπολογισμός της ζήτησης.....	34
2.4.1. Διακυμάνσεις της ζήτησης νερού.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕ ΤΗ	
ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ EPANET 2.0.....	38
3.1. Παρουσίαση του προγράμματος EPANET 2.0.....	38
3.1.1. Τι είναι το EPANET 2.0	38
3.1.2. Δυνατότητες του EPANET.....	38

3.1.3. Πορεία προσομοίωσης και ανάλυσης.....	39
3.2. Πορεία προσομοίωσης δικτύου.....	42
3.2.1. Δημιουργία νέας μελέτης	42
3.2.2. Δημιουργία πρότυπων στοιχείων στο EPANET 2.0	42
3.2.3. Σχεδιασμός του δικτύου – Εισαγωγή στοιχείων	44
3.2.4. Επίλυση του δικτύου στο EPANET 2.0	53
3.2.5. Εξαγωγή και οπτικοποίηση αποτελεσμάτων	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΟΙΚΙΣΜΟΥ ΏΣΣΗΣ	
ΝΟΜΟΥ ΛΑΡΙΣΑΣ.....	58
4.1. Γενικά στοιχεία του οικισμού Ώσσης Λάρισας.....	58
4.1.1. Γενικά χαρακτηριστικά του δικτύου ύδρευσης	61
4.2. Στοιχεία κατανάλωσης δικτύου ύδρευσης οικισμού Ώσσης.....	63
4.3. Επίλυση δικτύου ύδρευσης οικισμού Ώσσης με τη χρήση του λογισμικού EPANET 2.0	65
4.3.1. Διαδικασία επίλυσης.....	65
4.3.2. Αποτελέσματα	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	71
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	73

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Κωτσόπουλο Σπυρίδωνα για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί σύγχρονα υπολογιστικά εργαλεία για την ανάλυση δικτύων, τα οποία, αξιοποιώντας μαθηματικά μοντέλα, διευκολύνουν τόσο τους μελετητές όσο και τους φορείς διαχείρισης στη λήψη τεχνικά και οικονομικά ορθών αποφάσεων. Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους επίλυσης, τα προγράμματα αυτά μπορούν να υπολογίσουν πολύπλοκα δίκτυα με δεκάδες χιλιάδες αγωγούς μέσα σε ελάχιστο χρόνο. Η λειτουργία τους βασίζεται στη μαθηματική αναπαράσταση του δικτύου διανομής, όπου το πραγματικό σύστημα αποδίδεται μέσω ενός εννοιολογικού μοντέλου, με κόμβους και κλάδους να αντιστοιχούν στα επιμέρους στοιχεία του. Ωστόσο, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και η επιλογή των κατάλληλων κριτηρίων εξακολουθούν να εξαρτώνται από την εμπειρία και την κρίση του ανθρώπου.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εφαρμογή υπολογιστικών μοντέλων για την ανάλυση δικτύων ύδρευσης οικισμών. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό EPANET 2.0, το οποίο προσομοιώνει τόσο τα υδραυλικά όσο και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ροής σε δίκτυα διανομής υπό πίεση, ανεξάρτητα από το μέγεθος ή την τοπολογία τους. Η εφαρμογή της εργασίας επικεντρώθηκε στην επίλυση του δικτύου ύδρευσης του οικισμού Όσσας του Δήμου Τεμπών Ν. Λάρισας λαμβάνοντας υπόψη σχετικά στοιχεία καταναλώσεων της περιοχής.

Αναλυτικότερα, η διαμόρφωση της εργασίας περιλαμβάνει τα παρακάτω κεφάλαια: Το πρώτο όπου γίνεται μια εισαγωγή στα δίκτυα ύδρευσης, με αναφορά στη δομή τους, στις λειτουργικές απαιτήσεις τους και στα βασικά υδραυλικά μεγέθη. Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στην κατανάλωση νερού για τις διάφορες χρήσεις και στη διακύμανσή της (εποχική, ημερήσια). Επίσης, στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται ο υπολογισμός των ποσοτήτων ύδατος για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών. Το τρίτο κεφάλαιο, στο οποίο γίνεται η παρουσίαση του προγράμματος EPANET 2.0 και των επιμέρους υδραυλικών και λοιπών χαρακτηριστικών. Το τέταρτο κεφάλαιο αποτελεί την κύρια εφαρμογή της εργασίας, όπου πραγματοποιείται η επίλυση του δικτύου ύδρευσης του οικισμού Όσσας Λάρισας και παρουσιάζονται τα σχετικά αποτελέσματα. Το πέμπτο κεφάλαιο, όπου διατυπώνονται γενικά και ειδικά συμπεράσματα αναφορικά με τις δυνατότητες και την αποτελεσματικότητα του EPANET 2.0 και ακολουθεί σχετική βιβλιογραφία.

Λέξεις κλειδιά: Δίκτυα ύδρευσης, υδραυλικοί υπολογισμοί, προσομοίωση υδραυλικών δικτύων, λογισμικό EPANET 2.0

ABSTRACT

In recent years, modern computational tools have been developed for network analysis, which, by utilizing mathematical models, facilitate both designers and management bodies in making technically and economically sound decisions. Compared to traditional solution methods, these programs can calculate complex networks with tens of thousands of pipes in minimal time. Their operation is based on the mathematical representation of the distribution network, where the real system is represented through a conceptual model, with nodes and branches corresponding to its individual elements. However, the evaluation of the results and the selection of appropriate criteria still depend on human experience and judgment.

The subject of this diploma thesis is the application of computational models for the analysis of water supply networks in settlements. Specifically, the EPANET 2.0 software was used, which simulates both the hydraulic and qualitative characteristics of flow in pressure distribution networks, regardless of their size or topology. The application of the work focused on solving the water supply network of the settlement of Ossa, Municipality of Tempi, Larissa Prefecture, taking into account relevant consumption data of the area.

In more detail, the structure of the work includes the following chapters. The first provides an introduction to water supply networks, with reference to their structure, their functional requirements and the basic hydraulic quantities. The second chapter refers to water consumption for various uses and its variation (seasonal, daily). Also, the second chapter calculates the quantities of water to cover water needs. The third chapter presents the EPANET 2.0 programme and the individual hydraulic and other characteristics. The fourth chapter constitutes the main application of the work, where the solution of the water supply network of the settlement of Ossa, Larissa is carried out and the relevant results are presented. In the fifth chapter, general and specific conclusions are formulated regarding the capabilities and effectiveness of EPANET 2.0 and relevant bibliography follows.

Key-words: Water supply systems, hydraulic calculations, hydraulic simulation, software EPANET 2.0

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΔΙΚΤΥΑ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΟΙΚΙΣΜΩΝ

1.1. Γενικά

Η ανάγκη των οικισμών, βιομηχανικών περιοχών ή αγροτικών εκτάσεων σε νερό ικανοποιείται με την κατασκευή δικτύων διανομής νερού. Ο σχεδιασμός ενός δικτύου για διανομή νερού θα πρέπει να υπολογίζεται πάντα με βάση το πιο χαμηλό κόστος λειτουργίας του δικτύου, την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών, την εξασφάλιση της ποιότητας του διανεμημένου νερού, το χαμηλότερο δυνατό κόστος κατασκευής του, την κάλυψή των μελλοντικών αναγκών των καταναλωτών και την εξασφάλιση των αναγκαίων ποσοτήτων ύδατος από τις υδροληψίες. Το σύστημα των τεχνικών έργων, που κατασκευάζονται για την διανομή του νερού ονομάζεται υδραγωγείο και αποτελείται από την υδροληψία, το εξωτερικό και το εσωτερικό υδραγωγείο. Το εξωτερικό υδραγωγείο χωρίζεται από το εσωτερικό με την δεξαμενή αποθήκευσης. Η δεξαμενή αποθήκευσης καλύπτει δύο λειτουργίες:

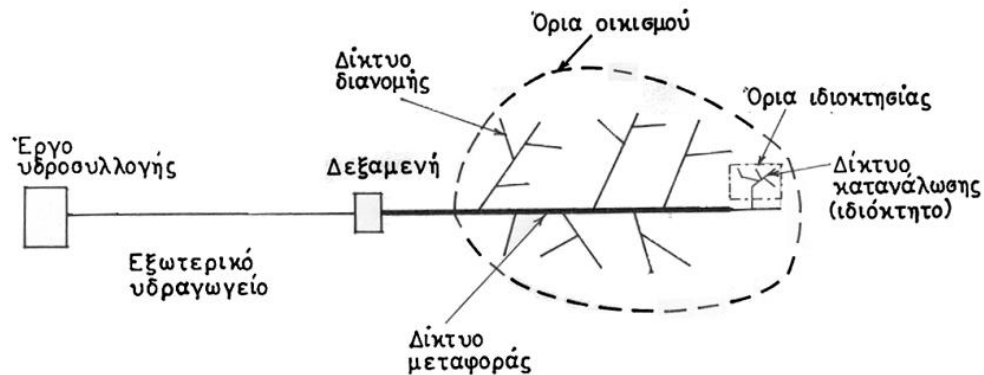
- ✓ Εξισώνει την παροχή με την κατανάλωση αποφορτίζοντας την παροχή του σχεδιασμού για το εξωτερικό υδραγωγείο.
- ✓ Εξασφαλίζει την αναγκαία αποθήκευση νερού που μπορεί να χρειαστεί σε μια βλάβη ή πυρκαγιά.

Υδροληψία: Αποτελεί την πηγή απ' όπου αντλούμε το νερό και εισάγοντας το στο δίκτυο φτάνει στους καταναλωτές. Η εύρεση συνήθως κατάλληλης ποιότητας και ποσότητας νερού αποτελεί μία πολύ δύσκολη εργασία για τους μηχανικούς. Η υδροληψία συνήθως γίνεται από ποταμούς, λίμνες τεχνητές ή φυσικές, υπόγεια ύδατα, θαλάσσια ύδατα ακόμη μερικές φορές και από βρόχινο νερό. Συνήθως η υδροληψία θεωρείται επιμέρους έργο του εξωτερικού υδραγωγείου.

Εξωτερικό υδραγωγείο: Αποτελεί το τμήμα από την υδροληψία μέχρι την δεξαμενή αποθήκευσης – ρύθμισης. Μπορεί να είναι κατασκευασμένο από σωλήνες ή από αγωγούς με ελεύθερη επιφάνεια ή ακόμα και συνδυασμός των δύο. Επίσης στο εξωτερικό υδραγωγείο η κίνηση του νερού μπορεί να γίνεται με ελεύθερη ροή (βαρύτητας) ή με την κατασκευή αντλητικού συγκροτήματος. Τέλος, στο εξωτερικό υδραγωγείο κατασκευάζονται οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας και βελτίωσης της ποιότητας του νερού που συνήθως βρίσκονται λίγο πριν την δεξαμενή.

Εσωτερικό υδραγωγείο: Αποτελεί το τμήμα του υδραγωγείου που περιλαμβάνει την δεξαμενή αποθήκευσης – ρύθμισης και το εσωτερικό δίκτυο διανομής το οποίο είναι πάντα σωληνωτό και υπό πίεση.

Η κατασκευή επιπλέον τεχνικών έργων στο υδραγωγείο είναι πολλές φορές αναγκαία. Τα έργα αυτά συνήθως είναι φράγματα, υδατογέφυρες, υδατόπυργοι, αντλιοστάσια, σιφόνια, φρεάτια κ.α.



Εικόνα 1.1. Τυπική διάταξη ενός υδραγωγείου

1.2. Στοιχεία του υδραγωγείου

Υδραγωγείο ονομάζονται όλα τα τεχνικά έργα μεταφοράς, αποθήκευσης, καθαρισμού και διανομής του νερού από την πηγή υδροληψίας μέχρι τους καταναλωτές. Τα έργα που αποτελούν ένα υδραγωγείο είναι τα εξής:

- Έργα υδροληψίας
- Αντλιοστάσια (εάν είναι απαραίτητο)
- Αγωγοί μεταφοράς
- Εγκαταστάσεις καθαρισμού
- Εγκαταστάσεις αποθήκευσης
- Δίκτυο διανομής στον εκάστοτε οικισμό

1.2.1. Πηγές υδροληψίας

Το νερό είναι ένα φυσικό αγαθό το οποίο βρίσκεται στην φύση και μπορεί να προέρχεται είτε από επιφανειακούς υδατικούς πόρους είτε από υπόγειους, είτε από την επεξεργασία του θαλασσινού νερού. Υδροληψία ονομάζονται οι τρόποι και οι μέθοδοι που εφαρμόζουμε ώστε να εντοπίσουμε και να μεταφέρουμε το νερό από τις φυσικές πηγές

στις εγκαταστάσεις υδροδότησης. Η υδροληψία εξαρτάται από τον τύπο της υδροφόρας πηγής. Οι υδροφόρες πηγές που μπορούμε να διακρίνουμε στην φύση είναι οι εξής:

Επιφανειακά ύδατα:

- ✓ Συλλογή όμβριων υδάτων από ειδικά διαμορφωμένες λεκάνες απορροής, από δεξαμενές (στέρνες) ακόμα και από στέγες οικιών.
- ✓ Από ποτάμια
- ✓ Από λίμνες (τεχνητές και φυσικές)

Υπόγεια ύδατα:

- ✓ Φρεάτια
- ✓ Πηγές

Θαλάσσια ύδατα:

Με την μέθοδο της αφαλάτωσης το θαλασσινό νερό μπορεί να γίνει κατάλληλο και να χρησιμοποιηθεί για ύδρευση αλλά λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως σαν αναγκαστική επιλογή.

1.2.2. Αντλιοστάσια

Το αντλητικό συγκρότημα ενός υδραγωγείου μπορεί να βρίσκεται είτε στο εξωτερικό υδραγωγείο είτε στο εσωτερικό. Τα αντλιοστάσια χρησιμοποιούνται για την αύξηση της πίεσης σε σημεία του δικτύου ή όταν δεν επαρκεί η ποσότητα του νερού. Γενικά, η χρήση τους αποσκοπεί στα εξής:

- ✓ Σε περίπτωση γεώτρησης και γενικά, όταν το νερό βρίσκεται σε μεγάλα βάθη, να ανυψωθεί στην επιθυμητή θέση
- ✓ Σε ανύψωση του νερού σε δεξαμενή η οποία βρίσκεται πάνω από την πιεζομετρική γραμμή του νερού
- ✓ Σε αύξηση των πιέσεων σε σημεία του δικτύου τα οποία δεν ικανοποιούν τις αρχές σχεδιασμού του δικτύου

Η χρήση αντλίας είναι η έσχατη επιλογή λόγω του μεγάλου κόστους λειτουργίας, συντήρησης καθώς επίσης και της σχετικά μικρής διάρκειας ζωής της. Συνεπώς, η χρήση αντλίας συνιστάται όταν οι άλλες λύσεις δεν επαρκούν. Λόγω των παραπάνω η επιλογή της βέλτιστης αντλίας για το δίκτυο αποτελεί επιτακτική ανάγκη. Τα είδη αντλιών που διατίθενται στην αγορά είναι ποικίλα και εξυπηρετούν διάφορους σκοπούς.

- ✓ Εμβολοφόρες αντλίες: είναι οι πρώτες υδραυλικές αντλίες απλές ως προς την κατασκευή. Ο βαθμός απόδοσης μπορεί να φτάσει το 90% και χρησιμοποιούνται για την άντληση μικρών παροχών από μεγάλα βάθη. Σήμερα χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις.
- ✓ Φυγοκεντρικές αντλίες: είναι οι πλέον διαδεδομένες αντλίες. Συγκριτικά με τις εμβολοφόρες έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης ενώ όταν το νερό περιέχει άμμο εμφανίζουν προβλήματα. Λειτουργούν με περιστρεφόμενα πτερύγια, τα οποία προσδίδουν κινητική ενέργεια στο νερό, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε δυναμική. Υπάρχουν οι εξής τύποι φυγοκεντρικών αντλιών:
 - Μονοβάθμιες φυγόκεντρες οριζόντιου άξονα: χρησιμοποιούνται για άντληση από μικρά βάθη και για κατάθλιψη σε χαμηλές και μέσες πιέσεις.
 - Πολυβάθμιες φυγόκεντρες οριζόντιου άξονα: χρησιμοποιούνται για αυξημένες απαιτήσεις πίεσης μετά την άντληση.
 - Κατακόρυφες μονοβάθμιες και πολυβάθμιες φυγόκεντρες: χρησιμοποιούνται κυρίως για αύξηση της πίεσης μέσα στο δίκτυο.
 - Αντλίες βαθέων φρεάτων: χρησιμοποιούνται για σχετικά μεγάλες παροχές σε γεωτρήσεις με μανομετρικό ύψος έως 250 m.
 - Υποβρύχιες αντλίες: χρησιμοποιούνται για άντληση μεγάλων παροχών σε γεωτρήσεις με μανομετρικό ύψος έως 400 m.
 - Αντλίες με φτερωτή αξονικής και μικτής ροής: χρησιμοποιούνται για την άντληση πολύ μεγάλων παροχών με μικρό μανομετρικό ύψος.
- ✓ Αντλίες κεκλιμένης έλικας (έλικα του Αρχιμήδη): είναι ο πιο παλιός τύπος αντλίας που χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα, και λέγεται ότι έχει εφευρεθεί από τον Αρχιμήδη.

1.2.3. Χαρακτηριστικά μεγέθη σχεδιασμού αντλητικού συγκροτήματος

Για το σχεδιασμό αντλητικού συγκροτήματος είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του μανομετρικού ύψους, της ισχύος και του βαθμού απόδοσης.

- ✓ Μανομετρικό ύψος: είναι το άθροισμα της υψομετρικής διαφοράς της στάθμης του νερού στην υψηλή και χαμηλή δεξαμενή και των απωλειών ενέργειας.

$$H = \Delta H + h \quad (1.1)$$

Όπου H : μανομετρικό ύψος

ΔH : διαφορά του γεωμετρικού ύψους αναρρόφησης και του γεωμετρικού ύψους ανύψωσης

h : ύψος απωλειών

- ✓ Ισχύς αντλίας: η απαιτούμενη ισχύς του αντλητικού συγκροτήματος υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$N = \frac{K \cdot Q \cdot H_M}{\eta} \quad (1.2)$$

Όπου N : Η ισχύς της αντλίας

Q : Η παροχή

H_M : Το μανομετρικό ύψος

η : Ο βαθμός απόδοσης ενός αντλητικού συγκροτήματος

K : Ο συντελεστής μετατροπής μονάδων

- ✓ Βαθμός απόδοσης: ο βαθμός απόδοσης κάθε αντλίας λαμβάνεται από διαγράμματα των κατασκευαστών και εξαρτάται από την παροχή και το μανομετρικό ύψος. Για αντλητικό συγκρότημα ο βαθμός απόδοσης εξαρτάται από το βαθμό απόδοσης της αντλίας η_a και το βαθμό απόδοσης του κινητήρα η_k

$$\eta = \eta_{ολ} = \eta_a \cdot \eta_k \quad (1.3)$$

1.2.4. Αγωγοί μεταφοράς και διανομής νερού

Η μεταφορά του νερού από το σημείο υδροληψίας έως τους καταναλωτές πραγματοποιείται μέσω αγωγών. Οι αγωγοί που οδηγούν το νερό από την υδροληψία μέχρι τη δεξαμενή ονομάζονται αγωγοί μεταφοράς. Αυτοί μπορεί να είναι είτε κλειστού τύπου, είτε ανοιχτού ή ακόμη και συνδυασμός των δύο συστημάτων. Από τη δεξαμενή προς τους καταναλωτές, το νερό μεταφέρεται μέσω των αγωγών διανομής, οι οποίοι λειτουργούν πάντα υπό πίεση.

Ανοιχτοί αγωγοί ή αγωγοί με ελεύθερη επιφάνεια

Οι ανοιχτοί αγωγοί έχουν διάφορες μορφές διατομής, όπως ορθογωνική, τραπεζοειδή, κυκλική, ελλειπτική, ωοειδή ή ανεστραμμένη ωοειδή. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται υλικά όπως σκυρόδεμα, πλινθοδομή, λιθοδομή, βραχώδες υπόστρωμα με λίθινη επένδυση ή απλή γεώδης διατομή.

Κλειστοί αγωγοί ή αγωγοί υπό πίεση

Στα δίκτυα ύδρευσης, το νερό μεταφέρεται κυρίως μέσω κλειστών αγωγών υπό πίεση, οι οποίοι προστατεύουν το νερό από μολύνσεις, εξάτμιση και μεταβολές της θερμοκρασίας. Οι αγωγοί αυτοί τοποθετούνται σε βάθος τουλάχιστον 1 μέτρου κάτω από την επιφάνεια, ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια του συστήματος.

Οι κλειστοί αγωγοί έχουν κυκλική διατομή και κατασκευάζονται από διάφορα υλικά όπως:

- Από Τσιμεντοσωλήνες
- Από Χυτοσιδηρούς σωλήνες
- Από Χαλύβδινους σωλήνες
- Από Σιδηροσωλήνες
- Από Πλαστικούς σωλήνες

Τα κύρια προβλήματα που μπορεί να εμφανιστούν στη μεταφορά νερού με αγωγούς βαρύτητας είναι:

- Υποπίεσεις (σπηλαίωση)
- Υπερβολικά μεγάλες πιέσεις λόγω έντονων κλίσεων

Για την αποφυγή προβλημάτων απαιτείται προσεκτική χάραξη του δικτύου, σωστή επιλογή διαμέτρων αγωγών και χρήση ειδικών δικλείδων, όπως:

- ✓ **Δικλείδες ρύθμισης παροχής** (πριν και μετά τις δεξαμενές).

Οι βαλβίδες απομόνωσης ροής είναι από τα πιο συνηθισμένα εξαρτήματα στα συστήματα ύδρευσης (Εικ. 1.2). Ο ρόλος τους είναι να διακόπτουν τη ροή του νερού μέσα σε έναν αγωγό προς μία μόνο κατεύθυνση. Πρόκειται για βαλβίδες που λειτουργούν με το χέρι και συνήθως υπάρχει ειδικό προσωπικό σε κάθε υπηρεσία ύδρευσης που είναι υπεύθυνο για την σωστή λειτουργία του δικτύου. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμες γιατί επιτρέπουν την απομόνωση τμημάτων του δικτύου σε περίπτωση θραύσης σωλήνα, περιορίζοντας έτσι σημαντικά την απώλεια νερού. Σε δίκτυα που έχουν σχεδιαστεί σωστά, τέτοιες βαλβίδες υπάρχουν σε όλα τα σημεία διακλάδωσης, ώστε σε περίπτωση βλάβης να απομονώνεται μόνο το προβληματικό τμήμα του συστήματος, προκαλώντας την ελάχιστη δυνατή όχληση στους καταναλωτές.



Εικόνα 1.2. Δικλείδα για ρύθμιση της παροχής (βάνα).

✓ **Οι δικλείδες αντεπιστροφής** (για αποφυγή ροής προς τα πίσω).

Οι βαλβίδες αντεπιστροφής τοποθετούνται σε σημεία όπου είναι απαραίτητο το νερό να ρέει μόνο προς μία καθορισμένη κατεύθυνση, αποτρέποντας την επιστροφή του προς τα πίσω (Εικ. 1.3). Όταν υπάρξει προσπάθεια ροής του νερού προς την αντίθετη φορά, η βαλβίδα ενεργοποιείται και κλείνει, παραμένοντας κλειστή έως ότου η ροή επανέλθει στη σωστή κατεύθυνση. Τέτοιες βαλβίδες χρησιμοποιούνται ευρέως σε δίκτυα ύδρευσης που περιλαμβάνουν αντλίες, καθώς η επιστροφή του νερού προς τις αντλίες μπορεί να προκαλέσει σοβαρές φθορές στον εξοπλισμό.



Εικόνα 1.3. Βαλβίδα αντεπιστροφής

✓ **Εκκενωτές** (σε χαμηλά σημεία για εκκένωση του δικτύου).

- ✓ **Βαλβίδες** για απομάκρυνση ή είσοδο αέρα σε πλήγματα.



Εικόνα 1.4. Βαλβίδα εισαγωγής και εξαγωγής αέρα

Οι βαλβίδες ελέγχου

Οι παραπάνω βαλβίδες είναι αυτοματοποιημένες διατάξεις που έχουν ως σκοπό να ρυθμίζουν ή να διατηρούν σταθερή την πίεση καθώς και την ροή του υγρού μέσα σε ένα σύστημα. Αποτελούνται από τρία βασικά μέρη: το κυρίως σώμα της βαλβίδας, τον ενεργοποιητή και τους πιλότους. Οι πιλότοι είναι αισθητήρες που παρακολουθούν την πίεση πριν και μετά τη βαλβίδα και ανάλογα με τη λειτουργία που απαιτείται, στέλνουν σήμα στον ενεργοποιητή. Έτσι ο ενεργοποιητής κινεί το έμβολο, αυξομειώνοντας το άνοιγμα της βαλβίδας και ρυθμίζοντας έτσι τη ροή και τις πιέσεις στο δίκτυο.

Μερικοί από τους πιο γνωστούς τύπους βαλβίδων ελέγχου είναι:

- ✓ **Βαλβίδες διατήρησης πίεσης**

Οι βαλβίδες αυτές έχουν ως σκοπό να κρατούν σταθερή την πίεση στο σημείο εισόδου της βαλβίδας, ανεξάρτητα από τις τυχόν μεταβολές της πίεσης που μπορεί να παρουσιαστούν στην έξοδό της (κατάντη) (Εικ. 1.5) Χρησιμοποιούνται κυρίως όταν παρατηρείται χαμηλή πίεση σε ψηλά σημεία του δικτύου, ενώ τα χαμηλότερα σημεία δεν παρουσιάζουν πρόβλημα. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει αυξημένη κατανάλωση στη ζώνη κατάντη της βαλβίδας, η λειτουργία της εμποδίζει τη μείωση της πίεσης ανάντη, κλείνοντας τη ροή και εξαναγκάζοντας τη ζήτηση της κατάντη ζώνης να καλυφθεί από άλλο τμήμα του δικτύου.



Εικόνα 1.5. Βαλβίδα διατήρησης πίεσης

✓ Οι βαλβίδες ελέγχου ροής

Οι βαλβίδες ελέγχου της ροής έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να διατηρούν σταθερή την παροχή νερού στο τμήμα του δικτύου που βρίσκεται μετά από αυτές (κατάντη) (Εικ. 1.6) Τοποθετούνται κυρίως σε σημεία όπου είναι απαραίτητο να περιοριστούν οι ταχύτητες του νερού σε αποδεκτά όρια . Όταν η ταχύτητα του νερού υπερβαίνει το επιθυμητό επίπεδο, η βαλβίδα περιορίζει τη ροή, ενώ όταν η ταχύτητα είναι χαμηλότερη από την επιθυμητή, η ροή επιτρέπεται χωρίς παρεμβολή. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα αυτών των βαλβίδων είναι ότι προσαρμόζουν την παροχή ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες του δικτύου, εξασφαλίζοντας έτσι ευελιξία και αποδοτικότητα στη λειτουργία του.



Εικόνα 1.6. Βαλβίδα ελέγχου ροής

Αντλίες

Η αντλία νερού είναι ένα μηχάνημα που χρησιμοποιείται για να αυξάνει την πιεζομετρική γραμμή, όταν τοποθετείται σε κάποιο σημείο ενός συστήματος ύδρευσης. Στο δίκτυο, το νερό κινείται φυσικά από τα ψηλά σημεία προς τα χαμηλότερα, και αυτή η υψομετρική διαφορά συχνά δημιουργεί την ανάγκη ενίσχυσης της πίεσης. Για τον λόγο αυτό, οι αντλίες τοποθετούνται σε κατάλληλες θέσεις ώστε να ενισχύουν τη ροή και να εξισορροπούν τις πιέσεις στο σύστημα.

Ο πιο διαδεδομένος τύπος αντλίας στα δίκτυα είναι η φυγόκεντρική αντλία (Εικ. 1.7). Το βασικό της στοιχείο είναι ένας δίσκος ο οποίος έχει πτερύγια και περιστρέφεται μέσα σε ένα ειδικό μεταλλικό περίβλημα. Κατά την περιστροφή, το υγρό που βρίσκεται στο διάκενο μεταξύ του δίσκου και του περιβλήματος ωθείται προς την έξοδο της αντλίας. Η κίνηση αυτή προκαλείται από τη φυγόκεντρη δύναμη που αναπτύσσεται, γι' αυτό και οι αντλίες αυτές ονομάζονται φυγόκεντρικές (Γιαννόπουλος & Βοχαΐτης, 2003).



Εικόνα 1.7. Φυγόκεντρη αντλία

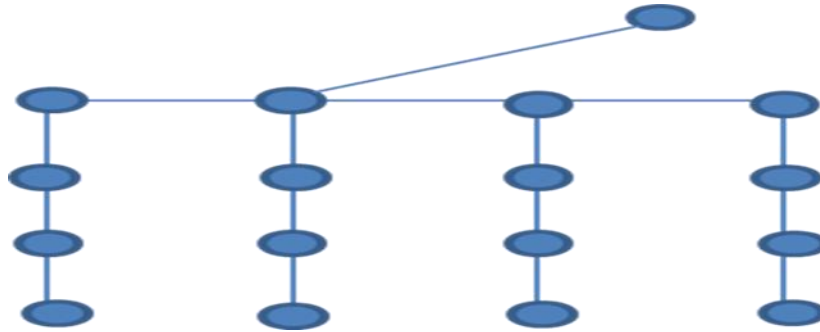
Τα είδη δικτύων ύδρευσης

Τα δίκτυα ύδρευσης, χωρίζονται σύμφωνα με τη διάταξη των αγωγών τους, διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τα ακτινωτά και τα κλειστά (βροχωτά).

Τα ακτινωτά δίκτυα ύδρευσης

Στα ακτινωτά δίκτυα η υδροδότηση προέρχεται από ένα μόνο σημείο τροφοδοσίας (κεφαλή). Σε αυτά τα δίκτυα δεν υπάρχουν κλειστοί κύκλοι (βρόχοι) και κάθε σημείο κατανάλωσης συνδέεται με μία και μοναδική διαδρομή με την πηγή. Η δομή τους

περιλαμβάνει έναν κύριο αγωγό μεταφοράς και δευτερεύοντες ή τριτεύοντες αγωγούς που συνδέονται με αυτόν.



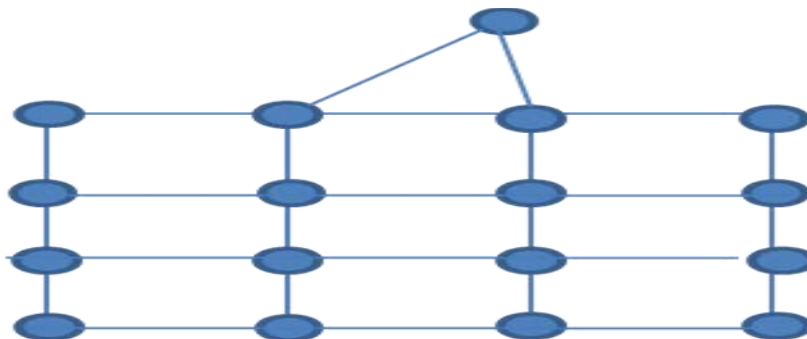
Σχήμα 1.1. Ακτινωτό δίκτυο ύδρευσης

Πλεονεκτήματα: Το μικρότερο συνολικό μήκος των αγωγών, με αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος κατασκευής.

Μειονεκτήματα: Υψηλότερες ενεργειακές απώλειες, δυσκολία λειτουργίας σε περίπτωση βλάβης (αφού απαιτείται απομόνωση των κατάντ αγωγών) και ανάγκη λήψης μέτρων προστασίας από υδραυλικό πλήγμα.

Κλειστά δίκτυα ύδρευσης

Τα κλειστά δίκτυα διαθέτουν περισσότερα από ένα σημεία τροφοδοσίας, ενώ οι αγωγοί σχηματίζουν κλειστές διαδρομές. Έτσι, κάθε σημείο κατανάλωσης μπορεί να τροφοδοτηθεί από περισσότερες από μία διαδρομές.



Σχήμα 1.2. Κλειστό (βροχωτό) δίκτυο ύδρευσης.

Πλεονεκτήματα: Καλύτερη κυκλοφορία του νερού, αποφυγή στασιμότητας και βελτίωση της ποιότητάς του, μειωμένες απώλειες ενέργειας, καθώς και δυνατότητα συνεχούς τροφοδότησης ακόμα και σε περίπτωση βλάβης ενός κλάδου (λόγω εναλλακτικών διαδρομών).

Μειονεκτήματα: Απαιτείται μεγαλύτερο συνολικό μήκος αγωγών, γεγονός που αυξάνει το κόστος. Ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρότερες διαμέτρους. Η διαχείριση και η επίβλεψη του δικτύου είναι πιο σύνθετη.

1.3. Λειτουργικές Απαιτήσεις Δικτύων Ύδρευσης

Για τη σωστή λειτουργία ενός δικτύου ύδρευσης, πρέπει να εξασφαλίζονται τα εξής:

- ✓ **Επαρκής παροχή και ταχύτητα ροής:** Η ταχύτητα του νερού στο δίκτυο πρέπει να κυμαίνεται από 0,5 έως 1,5 m/s στα εσωτερικά δίκτυα. Τα κλειστά δίκτυα επιτρέπουν μεγαλύτερη ευελιξία, λόγω καλύτερης κυκλοφορίας.
- ✓ **Επαρκής πίεση:** Η πίεση εξαρτάται από το ύψος των κτιρίων τα οποία τροφοδοτεί με νερό, τις απώλειες ενέργειας και τις οικιακές καταναλώσεις. Σε ειδικές συνθήκες (πυρκαγιά), λαμβάνεται υπόψη και η κατανάλωση των πυροσβεστικών κρουνών.

- ο Ενδεικτικές ελάχιστες πιέσεις:

- Για 1 όροφο : 12–15 m
- Για 2 ορόφους : 16–17 m
- Για 3 ορόφους : 20–23 m

Γενικά: $p_o = 4 (n + 1)$ (όπου n ο αριθμός ορόφων).

Αν η πίεση είναι χαμηλή, την αντιμετωπίζουμε με:

- Με την αύξηση του ύψους της δεξαμενής (αν είναι εφικτό)
- Με την αντικατάσταση κρίσιμων αγωγών μεγαλύτερης διαμέτρου ή προσθήκη παράλληλων αγωγών.
- Τοποθέτηση αντλιών (μόνο εφόσον δεν υπάρχει άλλη λύση).

Ο σχεδιασμός επιδιώκει η πίεση να παραμένει σταθερή σε εύρος 20–30 m.

- ✓ **Περιορισμός υψηλών πιέσεων:** Η διαφορά πίεσης μεταξύ της υψηλότερης στάθμης της δεξαμενής και του χαμηλότερου σημείου στο δίκτυο δεν πρέπει να είναι πάνω από τα 60 m.
- ✓ **Προστασία από υδραυλικό πλήγμα:** Οι απότομες διακοπές ή εκκινήσεις ροής μπορούν να προκαλέσουν απότομες υπερπίεσεις ή υποπίεσεις, ειδικά στα ακτινωτά δίκτυα. Για αυτό, προτιμάται η χρήση βροχωτής διάταξης. Οι αγωγοί επιλέγονται με αντοχή 10 atm (περίπου 100 m στήλης νερού) και διάμετρο τουλάχιστον 90 mm.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

2.1. Βασικά Υδραυλικά Μεγέθη

Υπολογισμός υδραυλικών μεγεθών στα δίκτυα

Για να κατανοήσει κανείς την υδραυλική, είναι απαραίτητο να γνωρίζει τις θεμελιώδεις αρχές και την τεχνολογία της.

Οι παρακάτω έννοιες αποτελούν τη βάση για πιο σύνθετες αναλύσεις (Καρακατσούλη, 2008. Τσαγκολλάρι, 2018).

Μεταφορά παροχής

Το νερό κινείται από περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο προς περιοχές χαμηλότερου υψομέτρου, μέχρι να καταλήξει σε κάποιο «επίπεδο» σημείο, όπως είναι η θάλασσα.

Η φυσική ροή του νερού εξυπηρετείται από ρυάκια, χειμάρρους και ποτάμια, ενώ η κίνηση του μπορεί να κατευθυνθεί μέσω τεχνικών έργων, όπως αγωγοί, οχετοί ή κανάλια.

Στον σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων, μελετώνται κυρίως οι ιδιότητες των τεχνικών εγκαταστάσεων, χωρίς όμως να αγνοούνται οι ίδιες αρχές που ισχύουν στη φύση.

Ροή σε κλειστούς αγωγούς

Η ροή μέσα σε αγωγούς διακρίνεται, ως προς τον χρόνο, σε:

- Μόνιμη ροή: Η ταχύτητα του νερού μένει σταθερή σε κάθε σημείο του αγωγού με την πάροδο του χρόνου.
- Μη μόνιμη ροή: Η ταχύτητα μεταβάλλεται με τον χρόνο.

Το υδραυλικό πλήγμα είναι ένα φαινόμενο υπερπίεσης που προκύπτει σε μη μόνιμη ροή, π.χ., από το κλείσιμο μιας βαλβίδας ή από αλλαγές στη λειτουργία αντλιοστασίων.

Σε αγωγούς, οι απώλειες ενέργειας λόγω αλλαγών στη διάμετρο, στις διακλαδώσεις ή στα στόμια αποτελούν αντικείμενο μελέτης, γιατί επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος.

Η στρωτή και τυρβώδης ροή

Ανάλογα με την ταχύτητα του νερού, έχουμε:

- Στρωτή ροή: Το νερό κινείται σε «στρώσεις», χωρίς αναταράξεις (χαμηλές ταχύτητες).
- Τυρβώδη ροή: Η κίνηση είναι ακανόνιστη με στροβιλισμούς (υψηλές ταχύτητες).

Η πλειοψηφία των πρακτικών προβλημάτων στους αγωγούς είναι τυρβώδης ροή.

Για να κρίνουμε αν μια ροή είναι στρωτή ή τυρβώδης, χρησιμοποιούμε τον αριθμό Reynolds:

$$Re = \frac{(u \cdot D)}{\nu} \quad (2.1)$$

όπου:

u : Η μέση ταχύτητα (m/s)

D : Η διάμετρος αγωγού (m)

ν : Η κινηματική συνεκτικότητα (m²/s).

Πειραματικά έχει φανεί ότι, αν το Re είναι κάτω από 2.320, η ροή παραμένει στρωτή.

Πάνω από αυτήν την τιμή, έστω και με μικρή διατάραξη, η ροή γίνεται τυρβώδης.

2.1.1. Υπολογισμός απωλειών ενέργειας

Ο κύριος στόχος της υδραυλικής επίλυσης σε έναν κλειστό αγωγό είναι ο υπολογισμός των ενεργειακών απωλειών, καθώς και των πιέσεων που αναπτύσσονται στο εσωτερικό του. Υπάρχουν αρκετοί μαθηματικοί τύποι για την εκτίμηση αυτών των απωλειών, ορισμένοι εκ των οποίων βασίζονται σε εμπειρικά δεδομένα, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε αποκλίσεις στα αποτελέσματα όταν εφαρμόζονται στην πράξη. Η πιο συνηθισμένη μορφή διατομής στους αγωγούς που λειτουργούν υπό πίεση είναι η κυκλική.

Η εξίσωση Darcy - Weisbach

Η συνηθέστερη και πιο ακριβής εξίσωση για να υπολογίσουμε τις γραμμικές απώλειες ενέργειας ομοιόμορφης ροής είναι η εξίσωση Darcy - Weisbach:

$$h_f = f \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2g} \quad (2.2)$$

Όπου h_f : Η απώλεια υδραυλικού φορτίου (m)

L : Το μήκος αγωγού (m)

D : Η διάμετρος αγωγού (m)

V : Η ταχύτητα ροής (m/s)

g : Η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s²)

f : Ο αδιάστατος συντελεστής τριβών, ο οποίος ισούται με:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.3)$$

Όπου Re είναι ο αριθμός Reynolds και υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (2.4)$$

Όπου ν = το κινηματικό ιξώδες του νερού το οποίο εξαρτάται από τη θερμοκρασία του

Έτσι η τιμή του ν για θερμοκρασία νερού ~12°C είναι περίπου ίση με $1,2 \cdot 10^{-6}$ m²/s.

Η ροή θεωρείται στρωτή όταν $Re \leq 2000$.

Η ροή θεωρείται τυρβώδης όταν $Re > 2000$.

Ο συντελεστής των τριβών f , ο οποίος είναι συνάρτηση του αριθμού Reynolds και της σχετικής τραχύτητας του αγωγού (k/D), υπολογίζεται από την εξίσωση Colebrook & White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3,71 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right) \quad (2.5)$$

Όπου k : η απόλυτη τραχύτητα (m)

D : η εσωτερική διάμετρος του αγωγού (m)

Τοπικές απώλειες

Εκτός από τις γραμμικές απώλειες στα δίκτυα των κλειστών αγωγών έχουμε και τις τοπικές απώλειες ενέργειας. Οι τοπικές απώλειες δημιουργούνται από τοπικά αίτια, όπως είναι οι συστολές, οι διαστολές, οι καμπύλες, οι διακλαδώσεις και η παρεμβολή διαφόρων εξαρτημάτων όπως π.χ. δικλείδες. Ο υπολογισμός τους εξαρτάται από τοπικό αίτιο που τις προκαλεί. Γενικά, όμως, υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$h_m = K_m \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (2.6)$$

Όπου h_m : το ύψος των τοπικών απωλειών (m)

K_m : ο συντελεστής απωλειών που οφείλεται στο τοπικό αίτιο

V : ταχύτητα ροής (m/s)

Επειδή οι τοπικές απώλειες είναι πολύ μικρότερες από ότι οι γραμμικές, και μπορούν να ληφθούν σε ποσοστό 10% των γραμμικών.

2.1.2. Ενέργεια

Η συνολική ενέργεια σε ένα υδραυλικό σύστημα δίνεται από την εξίσωση:

$$H = \frac{u^2}{2 \cdot g} + \frac{p}{\gamma} + z \quad (2.7)$$

Αυτή η εξίσωση μας δίνει την ενέργεια ανά μονάδα βάρους του ρευστού και κάθε όρος της έχει μονάδες μήκους (συνήθως μέτρα).

- Ο όρος $V^2/2g$ αντιπροσωπεύει την κινητική ενέργεια του νερού και ονομάζεται ύψος ταχύτητας ή φορτίο ταχύτητας.
- Ο όρος p/γ εκφράζει τη δυναμική ενέργεια λόγω πίεσης και λέγεται *ύψος πίεσης* ή φορτίο πίεσης.
- Ο όρος z είναι το *ύψος* και εκφράζει τη δυναμική ενέργεια λόγω θέσης — γνωστό και ως *ύψος θέσης* ή φορτίο θέσης.

Το άθροισμα των όρων $z + p/\gamma$ αποτελεί το πιεζομετρικό ύψος, δηλαδή το ύψος στο οποίο θα ανέρχεται το νερό μέσα σε έναν πιεζομετρικό σωλήνα ο οποίος έχει τοποθετηθεί στον αγωγό.

Έτσι το ολικό ύψος είναι το σύνολο του πιεζομετρικού φορτίου και του φορτίου ταχύτητας και δείχνει το μέγιστο ύψος που μπορεί να φτάσει το νερό μέσα σε έναν σωλήνα τύπου Pitot.

Επειδή σε ένα υδραυλικό σύστημα μπορεί να προστεθεί ή να αφαιρεθεί ενέργεια — π.χ. μέσω αντλιών ή απωλειών λόγω τριβών — θα υπάρχουν μεταβολές στην ενέργεια. Έτσι, η εξίσωση ενέργειας διαμορφώνεται σε:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{u_1^2}{2 \cdot g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{u_2^2}{2 \cdot g} + h_f + h_L + h_M \quad (2.8)$$

Όπου p : Η πίεση του ρευστού (N/m²)

γ : Το ειδικό βάρος του υγρού (N/m³)

z : Το υψόμετρο (m)

u : Η μέση ταχύτητα του υγρού (m/s)

g : Η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s²)

h_f : Οι γραμμικές απώλειες

h_L : Οι τοπικές απώλειες

Η ποσότητα h_M μας εκφράζει την ποσότητα που μεταφέρεται από το σύστημα μέσω μηχανικού άξονα στη μονάδα βάρους του ρευστού και δίνεται από την εξίσωση $h_M = -h_a + h_u$. Όπου h_a είναι η ενέργεια που προσφέρεται στο σύστημα μέσω αντλίας και h_u εκφράζει την ενέργεια που αποδίδεται σε υδροστρόβιλο.

2.2. Μέθοδοι Υπολογισμού Εσωτερικών Δικτύων Ύδρευσης

Σύμφωνα με τις δύο θεμελιώδεις αρχές της υδραυλικής, Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας και Αρχή Διατήρησης της Μάζας, περιγράφονται οι παρακάτω μέθοδοι υπολογισμού εσωτερικών δικτύων.

- Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας: σε κάθε κόμβο η πίεση είναι σταθερή ανεξάρτητα από τη διαδρομή του νερού, έχοντας σαν συνέπεια το αλγεβρικό άθροισμα των απωλειών ενέργειας σε ένα βρόχο, να ισούται με το μηδέν.
- Αρχή Διατήρησης της Μάζας: σε κάθε κόμβο η παροχή του νερού που εισέρχεται ισούται με το άθροισμα παροχών κατανάλωσης και εκροής.

2.2.1. Μέθοδος ανοιγμένης παροχής

Σύμφωνα με τη μέθοδο της ανοιγμένης παροχής, ανάλογα με τη μορφή του οικισμού σε συγκεκριμένο αριθμό ωρών, η παροχή είναι ανάλογη του μήκους του εσωτερικού δικτύου ύδρευσης. Εάν $Q_{\mu.\eta.\kappa.}$ = μέση ημερήσια κατανάλωση, η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση λαμβάνεται $1,5 Q_{\mu.\eta.\kappa.}$. Συμπεριλαμβανομένου του αριθμού ωρών μεταφοράς της T , προκύπτει (Κόλλιας, 2010):

$$q_{\mu} = \frac{1,5 \cdot Q_{\mu.\eta.\kappa.}}{T} \quad (2.9)$$

Εάν το συνολικό μήκος των αγωγών είναι $\Sigma \ell$:

$$q_{\mu.\alpha\nu} = \frac{1,5 Q_{\mu.\eta.\kappa.}}{T \cdot \Sigma \ell} \quad (2.10)$$

2.2.2. Μέθοδος υπολογισμού ακτινωτών δικτύων

Ακτινωτά ονομάζονται τα δίκτυα όπου οι αγωγοί συνεχώς διακλαδώνονται χωρίς να κλείνουν ποτέ μεταξύ τους. Ο σχεδιασμός τους μοιάζει με κλαδιά δένδρου. Ο αριθμός των εξισώσεων που διατυπώνονται είναι ίσος με τον αριθμό των τερματικών σημείων του δικτύου. Έστω για ένα τερματικό σημείο Z έχουμε:

$$\begin{aligned} Z_0 - \left(Z_Z + \frac{P_Z}{\gamma} + a_Z \frac{U_Z^2}{2g} \right) = \\ = Q_1^2 (K_1 \ell_1 + K_1' \Sigma j_1) + Q_2^2 (K_2 \ell_2 + K_2' \Sigma j_2) + Q_6^2 (K_6 \ell_6 + K_6' \Sigma j_6) \end{aligned} \quad (2.11)$$

Επίσης, διαμορφώνονται τόσες εξισώσεις για τις παροχές $\Sigma Q=0$ όσοι και οι υπάρχοντες κόμβοι.

Εάν δίνονται οι διαφορές των φορτίων και οι διάμετροι και ζητούνται οι παροχές τότε έχουμε ένα σύστημα n εξισώσεων με n αγνώστους.

Εάν δίνονται οι διάμετροι και οι παροχές και ζητούνται οι διαφορές των φορτίων τότε έχουμε ένα σύστημα n εξισώσεων με n αγνώστους.

Εάν δίνονται οι διαφορές φορτίων και ζητούνται οι διάμετροι θα έχουμε ένα σύστημα με αριθμό εξισώσεων όσα είναι τα τερματικά σημεία και αριθμό αγνώστων όσες είναι οι διακλαδώσεις του δικτύου.

Θέτοντας 4 συμπληρωματικές συνθήκες, εκλέγοντας τις ελεύθερα, μπορούμε να απλουστεύσουμε και να προσδιορίσουμε καλύτερα το πρόβλημα. Οι συνθήκες αυτές μπορεί να είναι ίσες ταχύτητες στα τμήματα ίδιας διακλάδωσης ή ακόμα και η τιμή του πιεζομετρικού φορτίου στους κόμβους.

2.2.3. Μέθοδος Hardy Cross

Η μέθοδος αυτή, εφαρμόστηκε το 1938 από τον Αμερικανό πολιτικό μηχανικό Hardy Cross, είναι μια επαναληπτική τεχνική για τον υπολογισμό των παροχών σε κλειστούς αγωγούς που σχηματίζουν βρόχους μέσα σε υδραυλικά δίκτυα. Πρόκειται για μία από τις πιο γνωστές και ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους για τον σχεδιασμό και την ανάλυση τέτοιων δικτύων, ιδιαίτερα σε μεσαίου μεγέθους εσωτερικά δίκτυα ύδρευσης, όπως σε οικισμούς με πληθυσμό άνω των 2.000 κατοίκων.

Η εφαρμογή της βασίζεται στις παρακάτω βασικές αρχές:

- ✓ Σε κάθε κόμβο του δικτύου, το άθροισμα των εισερχόμενων και εξερχόμενων παροχών πρέπει να είναι μηδέν (αρχή διατήρησης μάζας).
- ✓ Οι συνολικές απώλειες ενέργειας (φορτίου) μεταξύ δύο σημείων δεν εξαρτώνται από τη διαδρομή που ακολουθείται μέσα στο δίκτυο.
- ✓ Κάθε σωλήνας του δικτύου έχει μια μαθηματική σχέση που συνδέει τις απώλειες ενέργειας με την παροχή που διέρχεται από αυτόν.
- ✓ Σε κάθε βρόχο, το αλγεβρικό άθροισμα των απωλειών φορτίου στους αγωγούς που τον αποτελούν είναι ίσο με μηδέν ($\sum h = 0$), σύμφωνα με την αρχή διατήρησης ενέργειας.

Η μέθοδος του Hardy Cross οδηγεί σε διαδοχικές διορθώσεις των υπολογιζόμενων παροχών σε κάθε αγωγό του δικτύου, μέχρι να επιτευχθεί η ισορροπία σε όλους τους κόμβους και βρόχους.

2.2.4. Μέθοδος των τομών

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως σε δύσκολα δίκτυα, στον έλεγχο δικτύων που επιλύθηκαν με διαφορετική μέθοδο, και γενικά, χρησιμοποιείται σε δίκτυα που απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στους υπολογισμούς. Την εφαρμογή της μεθόδου μπορούμε να την κάνουμε με τον παρακάτω τρόπο (Κόλλιας, 2010):

- ✓ Χαράσσονται διαδοχικές τομές στο δίκτυο.
- ✓ Υπολογίζεται η κατανάλωση των περιοχών ανάμεσα στις τομές, με βάση την πυκνότητα του πληθυσμού και των χρήσεων γης.
- ✓ Γίνεται εκτίμηση της ικανότητας του δικτύου σύμφωνα με:
- ✓ Δημιουργείται πίνακας στον οποίο περιλαμβάνονται οι αγωγοί που έγιναν οι τομές, οι διάμετροι τους, καθώς και τα υπόλοιπα υδραυλικά τους στοιχεία.

- ✓ Οι απώλειες υπολογίζονται σύμφωνα με τις πιέσεις και τις ταχύτητες των αγωγών.
- ✓ Υπολογίζεται η ολική παροχή των αγωγών σύμφωνα με την υπάρχουσα, ή απαιτούμενη, κλίση της πιεζομετρικής γραμμής και σύμφωνα με το άθροισμα των παροχών του κάθε αγωγού.
- ✓ Υπολογίζεται η διαφορά της υπάρχουσας με την απαιτούμενη παροχή.
- ✓ Εισάγονται οι επιπλέον αγωγοί για την κάλυψη της διαφοράς.
- ✓ Επιλέγονται οι διάμετροι και υπολογίζονται οι ταχύτητες των αγωγών.
- ✓ Γίνεται έλεγχος της επάρκειας των πιέσεων στους κόμβους του δικτύου.

2.3. Υπολογισμός Αναγκαίας Ποσότητας Ύδατος

2.3.1. Κατανομή της ζήτησης του νερού και ενδεικτικές τιμές ζήτησης

Ένας από τους πιο κρίσιμους παράγοντες στον σχεδιασμό ενός δικτύου ύδρευσης είναι ο σωστός υπολογισμός της απαιτούμενης παροχής, δηλαδή της ποσότητας νερού που πρέπει να μπορεί να μεταφέρει το δίκτυο. Η παροχή αυτή εξαρτάται άμεσα από τη ζήτηση, η οποία αντιπροσωπεύει την ποσότητα νερού που απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών των κατοίκων της περιοχής που μελετάται, καθώς και τις πιθανές απώλειες του συστήματος (όπως διαρροές, αδήλωτες καταναλώσεις κ.ά.).

Η συνολική κατανάλωση νερού σε μια πόλη ή έναν οικισμό προκύπτει από διάφορους τομείς χρήσης, όπως:

- ✓ **Οικιακή χρήση**, δηλαδή νερό που καταναλώνεται από τα νοικοκυριά για πόση, μαγείρεμα, πλύσιμο, καθαριότητα κ.λπ.
- ✓ **Δημόσια χρήση**, που περιλαμβάνει νερό για δημόσια κτήρια, σχολεία, νοσοκομεία, πάρκα, σιντριβάνια, δρόμους κ.λπ.
- ✓ **Εμπορική και βιοτεχνική χρήση**, δηλαδή χρήση νερού από μικρές επιχειρήσεις, καταστήματα και υπηρεσίες.
- ✓ **Βιομηχανική χρήση**, για βιομηχανικές μονάδες που απαιτούν νερό στη διαδικασία παραγωγής.
- ✓ **Πυρόσβεση**, για την οποία απαιτείται εφεδρική ποσότητα νερού σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

- ✓ **Απώλειες νερού**, λόγω διαρροών, παράνομων συνδέσεων ή λαθραίας κατανάλωσης, που πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σύνολο της ζήτησης.

Ο ορθός υπολογισμός όλων αυτών των παραμέτρων είναι απαραίτητος για τη σωστή διάσταση του δικτύου και την αξιοπιστία της υδροδότησης. Η κατανάλωση νερού και οι ανάγκες του πληθυσμού εξαρτώνται από το μέγεθος και τον τύπο του οικισμού ανά κάτοικο και ημέρα.

Συγκεκριμένα:

- **Μεγάλες πόλεις:** 250 – 300 λίτρα
- **Μεσαίες πόλεις:** 200 – 250 λίτρα
- **Μικρές πόλεις:** 150 – 200 λίτρα
- **Κωμοπόλεις & χωριά:** 70 – 150 λίτρα

Κατανάλωση για ιδιωτική (οικιακή) χρήση:

Αναφέρεται στις ανάγκες που προκύπτουν από τη χρήση του νερού στις κατοικίες, με σκοπό την καθαριότητα, την υγιεινή, την προετοιμασία τροφών και την κατανάλωση.

Εκτιμώμενη συνολική κατανάλωση:

- ✓ **Μικρές κατοικίες:** 200 λίτρα/κάτοικο/ημέρα
- ✓ **Πολυκατοικίες:** 215 λίτρα/κάτοικο/ημέρα

Ανάλυση κατά είδος χρήσης:

- ✓ **Προσωπική υγιεινή (ντους, μπάνιο κ.λπ.):** 70 λίτρα/κάτοικο/ημέρα
- ✓ **Καζανάκι (WC):** 40 λίτρα/κάτοικο/ημέρα
- ✓ **Πλυντήριο ρούχων:** 30 λίτρα/κάτοικο/ημέρα
- ✓ **Πλυντήριο πιάτων:** 40 λίτρα/κάτοικο/ημέρα
- ✓ **Τροφές & ποτά:** 10 λίτρα/κάτοικο/ημέρα
- ✓ **Άλλες ανάγκες (π.χ. καθαριότητα σπιτιού, πότισμα, κ.λπ.):** 25 λίτρα/κάτοικο/ημέρα

Αυτοί οι αριθμοί χρησιμοποιούνται συνήθως στον σχεδιασμό και την πρόβλεψη των υδρευτικών αναγκών μιας περιοχής, ώστε το δίκτυο να είναι κατάλληλα διαστασιολογημένο και να καλύπτει τις ανάγκες τόσο σε κανονικές όσο και σε αιχμιακές περιόδους κατανάλωσης.

Για βιομηχανική και επαγγελματική χρήση:

Στην κατηγορία αυτή προκύπτει η κατανάλωση από την ζήτηση όλων των εμπορικών καταστημάτων τυχόν κτηνοτροφικών μονάδων ακόμα και μικρών καλλιεργειών όπου η άρδυσή τους επιβαρύνει το δίκτυο. Εάν στην περιοχή που μελετάμε υπάρχουν βιομηχανίες η ζήτηση αυξάνεται σημαντικά όπως βλέπουμε στον παρακάτω πίνακα.

- ✓ 1 lt γάλακτος : 3-5 lt
- ✓ 1 lt μύρας : 20-25 lt
- ✓ 1 kg χάρτου : 200-1000 lt
- ✓ 1 kg τεχνητού μαλλιού : 150-200 lt
- ✓ 1 kg αλκοόλ : 15-20 lt
- ✓ 1 kg κρέατος : 1-3 lt
- ✓ 1 kg ζάχαρης : 60-120 lt
- ✓ 1 kg αμύλου από πατάτες : 20 lt
- ✓ 1 kg μαργαρίνης : 40-60 lt
- ✓ 1 kg κυτταρίνης : 200-600 lt
- ✓ 1 kg μαλλιού : 100 lt
- ✓ 1 kg άνθρακα : 10 lt
- ✓ 1 kg χάλυβα : 10-20 lt
- ✓ 1 δέρμα βωός σε βυρσοδεψείο : 2.500 lt

Αναγκαίες ποσότητες που απαιτούνται για δημόσια χρήση:

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνεται όλη η ποσότητα ύδατος που χρειάζονται οι δημόσιες και δημοτικές υπηρεσίες ώστε να δουλεύει σωστά ο δήμος όπως για παράδειγμα τα νοσοκομεία, τα σχολεία, τα πανεπιστήμια, τα στρατόπεδα, ο καθαρισμός των οδών κ.α.

Σχολεία : 100 lt/μαθητή

Καθάρισμα οδών : 1 lt/m² οδοστρώματος πλέον 25 lt/m μήκους ρυακιών

Καθάρισμα χώρων για έκθεση : 5 lt/m²

Δημόσια πλυντήρια : 1200 lt ανά θέση

Σφαγεία : 500 lt/κεφαλή ζώου

Ουρητήρια : 400 lt/θέση

Για νοσοκομεία

250 lt - 300 lt /κρεβάτι (νοσοκομειακή περίθαλψη και ιατρική)

350 lt - 400 lt/κρεβάτι για τις γενικές υπηρεσίες (πλυσίματα, κουζίνα, κ.λ.π.)

Πίνακας 2.1. Ενδεικτικές τιμές ζήτησης για διάφορες χρήσεις: (Παραλίκας, 2006)

<i>Χρήσεις Κατανάλωση</i>	<i>lt/άτομο/ημ ή lt/μονάδα/ημ</i>
Αεροδρόμια (ανά επιβάτη)	8-12
<i>Εμπορικά κέντρα</i>	
Ανά στάθμευση	5
Ανά υπάλληλο	40
<i>Εκδρομικά κέντρα</i>	
Κάμπινγκ στην εξοχή (ανά εκδρομέα)	100
Εγκαταστάσεις διαμονής, τουαλέτες και κεντρικά μπάνια (ανά εκδρομέα)	160-200
<i>Κινηματογράφοι και θέατρα</i>	
Δύο παραστάσεις ανά ημέρα (ανά καρέκλα)	10-15
Κινημ/γράφοι-πάρκινγκ (ανά αυτοκίνητο)	20
<i>Κατοικίες</i>	
Μονοκατοικίες (ανά άτομο)	200-300
Πολυκατοικία (ανά άτομο)	200-250
<i>Σχολεία (ανά μαθητή)</i>	
Με καφετέρια	40-60
Κτίριο γραφείων (ανά υπάλληλο)	60
Γενικό Νοσοκομείο (ανά κρεβάτι)	600
Γενικό Νοσοκομείο (ανά υπάλληλο)	40
<i>Ξενοδοχεία και Πανσιόν</i>	
Δωμάτιο Ξενοδοχείου (ανά πελάτη)	200-400
Δωμάτιο Πανσιόν (ανά πελάτη)	200
Μοτέλ με κουζίνα	400-600
Κατάστημα με πλυντήριο (ανά μηχανή πλύσης)	1000-3000
<i>Καταστήματα</i>	
Ανά πελάτη	8
Ανά υπάλληλο	40
<i>Εστιατόρια</i>	
Μεσαίο εστιατόριο (ανά καρέκλα)	150
Μεσαίο εστιατόριο ανοικτό 24 ώρες (ανά καρέκλα)	200
Μπαρ (ανά θέση)	

Οι απώλειες νερού σε ένα δίκτυο ύδρευσης προκύπτουν είτε από υπερκατανάλωση και σπατάλη, είτε από ποσότητες νερού που χάνονται χωρίς να καταγραφούν ή να χρεωθούν σε κάποιον χρήστη. Οι κυριότερες αιτίες τέτοιων απωλειών είναι:

- ✓ Διαρροές λόγω θραύσεων ή κακής κατάστασης σωληνώσεων
- ✓ Παράνομες συνδέσεις στο δίκτυο
- ✓ Υπερχείλιση δεξαμενών, όταν δεν λειτουργούν σωστά οι μηχανισμοί ελέγχου
- ✓ Εξάτμιση, κυρίως από ανοικτά δοχεία ή δεξαμενές
- ✓ Σφάλματα στους μετρητές ή ελλιπής καταγραφή της κατανάλωσης

Συνολικά, οι απώλειες αυτές εκτιμώνται περίπου στο 15% – 20% της συνολικής κατανάλωσης. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως στην Αθήνα, οι απώλειες έχουν

υπολογιστεί στο 35% – 40%, φανερώνοντας την ανάγκη για καλύτερη διαχείριση και συντήρηση του δικτύου.

Πρόβλεψη παροχής για κατάσβεση πυρκαγιών

Κάθε δίκτυο ύδρευσης πρέπει να προβλέπει επαρκή ποσότητα νερού για την αντιμετώπιση πυρκαγιών. Για τον σκοπό αυτό:

- ✓ Τοποθετούνται πυροσβεστικοί κρουνοί μέσα στον αστικό ιστό, σε κατάλληλες αποστάσεις, ώστε να εξασφαλίζεται άμεση πρόσβαση από τα οχήματα της πυροσβεστικής.
- ✓ Η απόσταση μεταξύ των κρουνών εξαρτάται από τη πυκνότητα δόμησης και τον τύπο της περιοχής (π.χ. κατοικίες, βιομηχανική ζώνη).
- ✓ Η απαιτούμενη ποσότητα νερού για πυρόσβεση καθορίζεται με βάση παράγοντες όπως:
 - ✓ Ο αριθμός των κατοίκων
 - ✓ Το μέγεθος της πόλης
 - ✓ Το πολεοδομικό σχέδιο
 - ✓ Τα δομικά υλικά των κτηρίων
 - ✓ Η αναμενόμενη διάρκεια της πυρκαγιάς

Σύμφωνα με αμερικανικό κανονισμό, χρησιμοποιείται ειδικός τύπος για υπολογισμό της απαιτούμενης παροχής διάρκειας 10 ωρών σε περίπτωση πυρκαγιάς .

$$Q = 40\sqrt{K} \quad (2.12)$$

Q : Η απαιτούμενη παροχή σε (l/sec)

K : Ο αριθμός των κατοίκων

2.4. Υπολογισμός Της Ζήτησης

Στην Ελλάδα, μέχρι σήμερα δεν έχουν πραγματοποιηθεί εκτενείς μελέτες σχετικά με τα ακριβή δεδομένα κατανάλωσης νερού, γεγονός που οδηγεί στον αυθαίρετο καθορισμό τιμών για τον υπολογισμό της ζήτησης. Για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται ενδεικτικές τιμές όπως:

- **180 λίτρα/κάτοικο/ημέρα** για μεγάλες πόλεις
- **150 λίτρα/κάτοικο/ημέρα** για μικρότερες πόλεις ή οικισμούς

Η κατανάλωση νερού σχετίζεται άμεσα με το βιοτικό επίπεδο ενός πληθυσμού. Σε χώρες με υψηλό επίπεδο διαβίωσης, η κατανάλωση είναι αισθητά αυξημένη σε σύγκριση με τις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου οι πόροι είναι πιο περιορισμένοι και η χρήση του νερού γίνεται με μεγαλύτερη φειδώ.

Η συνεχής αύξηση της ζήτησης για νερό, λόγω πληθυσμιακής αύξησης, αστικοποίησης και αλλαγών στον τρόπο ζωής, αναμένεται να αποτελέσει σοβαρό πρόβλημα στο άμεσο μέλλον. Αυτό θα θέσει σημαντικές προκλήσεις για τους φορείς ύδρευσης, οι οποίοι θα πρέπει να εξασφαλίζουν επαρκή, αξιόπιστη και βιώσιμη παροχή νερού, ενώ παράλληλα θα πρέπει να επενδύουν σε εξοικονόμηση, μείωση απωλειών και ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων.

Η μέση ημερήσια κατανάλωση ενός οικισμού υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_{\eta\mu.\mu\epsilon\sigma.} = q * K \quad (2.13)$$

Όπου:

q = η ειδική παροχή κατανάλωσης νερού λ/κατ./ημ.

K = ο αριθμός των κατοίκων

Με την ειδική κατανάλωση δεν λαμβάνονται υπόψη μόνο οι οικιακές ανάγκες των καταναλωτών αλλά συνυπολογίζονται και οι ανάγκες του δήμου, των δημόσιων κτιρίων, των εμπορικών επιχειρήσεων, των βιομηχανιών όπως και οι απώλειες του δικτύου κ.τ.λ. Άρα ο υπολογισμός της παροχής γίνεται ως εξής:

$$q = \frac{Q_{\eta\mu.\mu\epsilon\sigma.}}{K} = \frac{Q_{οικ} + Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots Q_n}{K} \quad (2.14)$$

Όπου:

$Q_{οικ}$ = Ανάγκες οικιακής χρήσης

$Q_1, Q_2, Q_3 \dots$ = Διάφορες ανάγκες

$Q_{\eta\mu.\mu\epsilon\sigma.} = Q_{οικ.} + Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$ (Μέση ημερήσια παροχή υδραγωγείου)

Κατά την επίλυση ενός δικτύου πρέπει να προσέχουμε τις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές των ταχυτήτων. Ως ελάχιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα για την αποφυγή καθίζησης αιωρούμενων υλικών σε ένα δίκτυο ύδρευσης θεωρείται η τιμή των 0,50 m/s. Ενώ ως μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή τα 1,50 m/s.

2.4.2. Διακυμάνσεις της ζήτησης νερού

Η παροχή που υπολογίζεται συνήθως στα δίκτυα ύδρευσης αφορά τη μέση ημερήσια κατανάλωση. Ωστόσο, αυτή η παροχή δεν παραμένει σταθερή, αλλά μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με την εποχή, τον μήνα, την ημέρα ή ακόμα και την ώρα. Οι παράγοντες που προκαλούν αυτές τις διακυμάνσεις είναι οι εξής:

✓ Εποχικές διακυμάνσεις

Οφείλονται σε μετακινήσεις πληθυσμού, όπως για παράδειγμα σε τουριστικές περιοχές όπου τους καλοκαιρινούς μήνες ο πληθυσμός αυξάνεται, με συνέπεια να αυξάνεται και η ζήτηση νερού. Επίσης, οι κλιματολογικές συνθήκες (θερμοκρασία, βροχοπτώσεις) παίζουν καθοριστικό ρόλο — το καλοκαίρι η κατανάλωση είναι γενικά αυξημένη.

✓ Μηνιαίες διακυμάνσεις

Σχετίζονται με κλιματικές μεταβολές που επηρεάζουν την κατανάλωση, όπως η αυξημένη χρήση νερού τους θερμότερους μήνες.

✓ Εβδομαδιαίες διακυμάνσεις

Προκαλούνται από εργασιακά πρότυπα, όπως οι άδειες ή τα σαββατοκύριακα, όπου παρατηρούνται αλλαγές στον ρυθμό ζωής και άρα και στη χρήση νερού.

✓ Ημερήσιες διακυμάνσεις

Εμφανίζονται κατά τη διάρκεια ειδικών ημερών, όπως γιορτές, αργίες ή θρησκευτικά έθιμα, όπου οι ανάγκες για νερό μπορεί να αυξηθούν (π.χ. προετοιμασία φαγητών, καθαριότητες κ.ά.).

✓ Ωριαίες διακυμάνσεις

Συνδέονται με την καθημερινή ρουτίνα των κατοίκων (πρωινή προετοιμασία, γεύματα, επιστροφή από εργασία), με χαρακτηριστικά αιχμιακά διαστήματα νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα.

Η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση του έτους συνήθως είναι από τις 15 Ιουλίου έως και τις αρχές Αυγούστου και κατά μέσο όρο είναι 1.50 της ημερησίας (συντελεστής ημερησίας αιχμής λ_{η} (Κουτσογιάννης & Ευστρατιάδης 2007), η ελάχιστη παρατηρείται τον Ιανουάριο με το Φεβρουάριο και είναι περίπου το 0,60 από αυτήν.

Έτσι ένα έργο ύδρευσης κατασκευαστεί με τις μέσες ανάγκες θα έχει πλεόνασμα νερού το χειμώνα και έλλειψη νερού το καλοκαίρι. Γι' αυτούς τους λόγους και για ασφάλεια μπορεί να θεωρηθεί τιμή $\lambda_{\eta}=1,50$ και η μέγιστη ημερήσια παροχή $Q_{\max-\eta\mu.}$ θα υπολογιστεί από τη μέση ημερήσια $Q_{\text{meanx-}\eta\mu.}$ ως εξής:

$$Q_{\max-\eta\mu.}=1,50 * Q_{\text{meanx-}\eta\mu.} \quad (2.15)$$

Εκτός από τη διακύμανση κατά το έτος όπως αναφέρθηκε πιο πάνω υπάρχει και κατά την διάρκεια της ημέρας αν έχουμε να κάνουμε με αγροτικό οικισμό μικρή ή μεγάλη πόλη.

Για τον παραπάνω λόγο λαμβάνουμε υπόψη τη διακύμανση της κατανάλωσης στην διάρκεια της ημέρας χρησιμοποιώντας το συντελεστή λ_{ω} (συντελεστής ωριαίας αιχμής) και έχουμε την εξίσωση:

$$Q_{\max-\omega\rho.}=\lambda_{\omega} * Q_{\max-\eta\mu} \quad (2.16)$$

$$\text{Για } \lambda_{\omega} = 1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{Q_{\max-\eta\mu.}}} \leq 3 \quad (2.17)$$

$Q_{\max-\eta\mu}$ είναι η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση σε l/s (Κωτσόπουλος, 2013)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ EPANET 2.0

3.1. Παρουσίαση Του Προγράμματος EPANET 2.0

3.1.1. Τι είναι το EPANET 2.0

Το EPANET 2.0 είναι ένα λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε από την Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των Η.Π.Α. (EPA) και χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της υδραυλικής συμπεριφοράς και των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού σε δίκτυα ύδρευσης.

Η πρώτη του έκδοση κυκλοφόρησε το 1993, ενώ η βελτιωμένη έκδοση EPANET 2.0 παρουσιάστηκε το 1999. Αν και σήμερα η χρήση του έχει περιοριστεί λόγω της ανάπτυξης πιο σύγχρονων υπολογιστικών εργαλείων, εξακολουθεί να αποτελεί ένα σημαντικό δωρεάν πρόγραμμα, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως για εκπαιδευτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Θεωρείται, επίσης, ότι έθεσε τις βάσεις για την ανάπτυξη των πιο εξελιγμένων συστημάτων προσομοίωσης υδραυλικών δικτύων.

3.1.2. Δυνατότητες του EPANET

Το πρόγραμμα μπορεί να εκτελέσει τόσο υδραυλική ανάλυση όσο και ποιοτική ανάλυση ενός δικτύου ύδρευσης. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισαγάγει στοιχεία όπως κόμβους, αγωγούς, αντλίες, δεξαμενές και διάφορες βαλβίδες.

Υδραυλική ανάλυση:

- ✓ Δεν υπάρχει περιορισμός σχετικά με το μέγεθος του δικτύου.
- ✓ Υπολογίζει τις γραμμικές και τις τοπικές απώλειες (λόγω συνδέσεων, καμπυλών κ.λπ.).
- ✓ Υπολογίζει την ενέργεια και το κόστος άντλησης.
- ✓ Οι δεξαμενές μπορούν να έχουν οποιοδήποτε σχήμα.
- ✓ Δίνει δυνατότητα εισαγωγής ελέγχων και περιορισμών λειτουργίας.
- ✓ Υποστηρίζει διαφορετικά χρονικά πρότυπα κατανάλωσης για κάθε κόμβο.
- ✓ Δέχεται διάφορους τύπους βαλβίδων.
- ✓ Παρέχει αποτελέσματα σε μορφή πινάκων, θεματικών χαρτών με χρωματική κλίμακα και χρονοσειρές.

Ποιοτική ανάλυση:

- ✓ Υπολογίζει την ηλικία του νερού στο δίκτυο.
- ✓ Εντοπίζει συντηρητικούς και μη συντηρητικούς ρύπους.
- ✓ Προσδιορίζει την ποσότητα νερού που φτάνει από έναν κόμβο στους υπόλοιπους.
- ✓ Υπολογίζει την αντίσταση στη ροή και τις ιδιότητες των τοιχωμάτων.
- ✓ Υπολογίζει την απώλεια υπολειμματικού χλωρίου.
- ✓ Παρακολουθεί τη διάδοση ρύπων μέσα στο δίκτυο.

3.1.3. Πορεία προσομοίωσης και ανάλυσης

Η διαδικασία ανάλυσης ενός δικτύου ύδρευσης με το EPANET 2.0 περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- ✓ Σχεδιασμός του δικτύου (κόμβοι, αγωγοί, δεξαμενές κ.λπ.).
- ✓ Εισαγωγή δεδομένων για κάθε στοιχείο (διαμέτρους, μήκη, υψόμετρα, απαιτήσεις).
- ✓ Περιγραφή λειτουργίας του δικτύου (χρονικά πρότυπα, έλεγχοι, αντλίες, βαλβίδες).
- ✓ Επιλογή της μεθόδου ανάλυσης.
- ✓ Εκτέλεση υπολογισμών από το πρόγραμμα.
- ✓ Εξαγωγή και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (πίνακες, χάρτες, γραφήματα).

	Επιλογή στοιχείου.
	Δημιουργία κορυφών στα γραμμικά στοιχεία ώστε να επιτυγχάνεται καμπυλότητα.
	Επιλογή περισσότερων από ένα στοιχείο.
	Μετακίνηση του χάρτη σε κάθε κατεύθυνση.
	Μεγεθύνει τα αντικείμενα στο χάρτη.
	Σμικρύνει τα αντικείμενα στο χάρτη.
	Εμφανίζει όλα τα αντικείμενα στην επιφάνεια εργασίας.
	Εισάγει κόμβο (Junction).
	Εισάγει δεξαμενή (Reservoir).
	Εισάγει δεξαμενή αποθήκευσης (Tank).
	Εισάγει αγωγό (Conduit).
	Εισάγει αντλία (Pump).
	Εισάγει βαλβίδα (Valve).
	Εισάγει κείμενο (Text).

ΕΙΚΟΝΑ 3.1. Εισαγωγή των δεδομένων κάθε στοιχείου

Για να επιλυθεί το δίκτυο κάθε στοιχείο που εισάγει ο χρήστης «απαιτεί» και την εισαγωγή κάποιων απαραίτητων δεδομένων ώστε να γίνουν οι υπολογισμοί. Τα δεδομένα που χρειάζεται κάθε στοιχείο είναι τα εξής:

Κόμβοι (Junctions)

- ✓ Το υψόμετρό τους (elevation).
- ✓ Την κατανάλωση του νερού (Base Demand).

Αγωγοί (Conduits)

- ✓ Την εσωτερική τους διάμετρο (Diameter).
- ✓ Το μήκος τους (length).
- ✓ Τον συντελεστή τραχύτητας του υλικού του αγωγού (Roughness coefficient).

Δεξαμενές (Reservoirs)

- ✓ Το υψόμετρο της επιφάνειας του νερού στη δεξαμενή όταν η πίεση στην επιφάνεια ισούται με το μηδέν (Total Head).

Δεξαμενές αποθήκευσης (Tanks)

- ✓ Το υψόμετρο που αντιστοιχεί στην βάση της δεξαμενής (Elevation).
- ✓ Τη διάμετρο της δεξαμενής.
- ✓ Το υψόμετρο της στάθμης του νερού στη δεξαμενή (Initial Level).
- ✓ Το ελάχιστο υψόμετρο από την στάθμη του νερού στη δεξαμενή κάτω από το οποίο η δεξαμενή δεν λειτουργεί (Minimum Elevation).
- ✓ Το μέγιστο ύψος του νερού μέσα στη δεξαμενή (Maximum Elevation).

Αντλίες (Pumps)

- ✓ Τις χαρακτηριστικές καμπύλες των αντλιών που αναπαριστούν τη σχέση μεταξύ ύψους ενέργειας και ροής (Pump Curves).

Βαλβίδες (Valves)

- ✓ Τη διάμετρο τους (Diameter).
- ✓ Την κατάσταση τους αν δηλαδή είναι ανοιχτές ή κλειστές (Status).
- ✓ Τον τύπο της βαλβίδας (Setting).

Περιγραφή της λειτουργίας του δικτύου

Εδώ ο χρήστης καθορίζει τον τρόπο λειτουργίας το δίκτυο στην προσομοίωση. Το EPANET 2.0 προσφέρει:

- ✓ Εισαγωγή χρονικών προτύπων (Time Patterns): καθορισμός μεταβολών στη ζήτηση, στην άντληση ή στη λειτουργία αντλιών και βαλβίδων, κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.
- ✓ Εισαγωγή ελέγχων (Controls): δυνατότητα ρύθμισης της λειτουργίας συγκεκριμένων στοιχείων (π.χ. έναρξη/παύση αντλίας ανάλογα με τη στάθμη δεξαμενής).
- ✓ Χαρακτηριστικές καμπύλες (Curves): καθορισμός σχέσεων λειτουργίας (π.χ. καμπύλες απόδοσης αντλιών, καμπύλες βαλβίδων, σχέσεις όγκου-ύψους δεξαμενών).

Εισαγωγή της επιθυμητής μεθόδου ανάλυσης

Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει:

- ✓ Τις μονάδες μέτρησης (μήκος, παροχή, πίεση, ενέργεια κ.λπ.).
- ✓ Τη μέθοδο υπολογισμού των γραμμικών απωλειών, π.χ. τύποι Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, Chezy-Manning.
- ✓ Τον μέγιστο αριθμό επαναλήψεων που θα <τρέξει> το πρόγραμμα έτσι ώστε να επίλυση το σύστημα εξισώσεων.
- ✓ Το όριο ανοχής (tolerance), δηλαδή το σημείο στο οποίο οι υπολογισμοί θεωρούνται συγκλίνοντες και η επίλυση ολοκληρώνεται.

Εκτέλεση των υπολογισμών

Μετά την εισαγωγή όλων των δεδομένων και παραμέτρων:

- ✓ Το EPANET 2.0 εκτελεί την προσομοίωση.
- ✓ Αν υπάρχουν λάθη ή ελλείψεις, εμφανίζεται παράθυρο με προειδοποιήσεις (warnings) ή σφάλματα (errors) ώστε ο χρήστης να τα διορθώσει.
- ✓ Η προσομοίωση εκτελείται εκ νέου μέχρι να ολοκληρωθεί επιτυχώς.

Εξαγωγή και ανάλυση των αποτελεσμάτων

Το πρόγραμμα προσφέρει πολλαπλές δυνατότητες παρουσίασης αποτελεσμάτων:

- ✓ **Χάρτες:** με χρωματική κλίμακα που δείχνει παραμέτρους όπως πίεση, παροχή, ταχύτητα ροής.

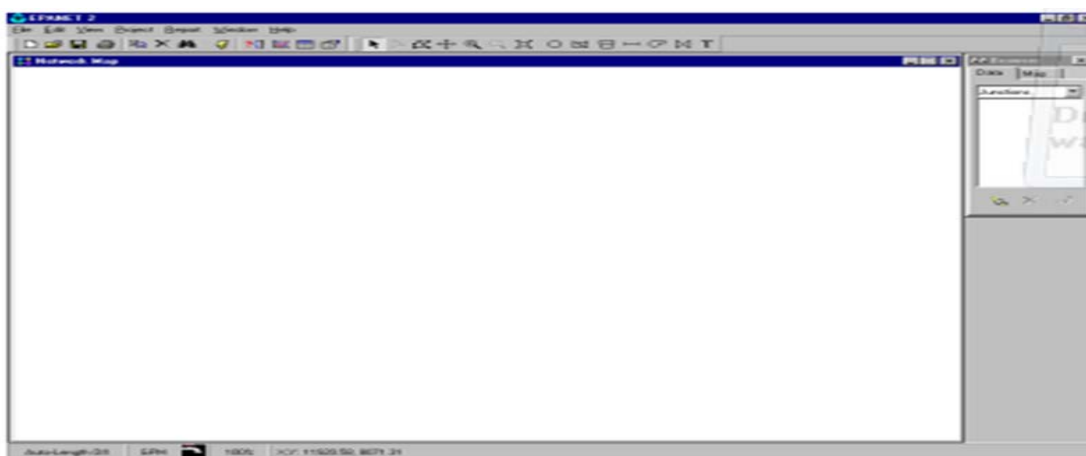
- ✓ **Πίνακες:** με αναλυτικά δεδομένα όλων των στοιχείων σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή ή για ολόκληρη τη διάρκεια της προσομοίωσης.
- ✓ **Διαγράμματα (time series plots):** για την παρακολούθηση της εξέλιξης μεγεθών (π.χ. πίεση κόμβου, στάθμη δεξαμενής, απόδοση αντλίας) με το χρόνο.

Ο χρήστης μπορεί να προσαρμόσει τις εξαγωγές ώστε να εστιάζει σε συγκεκριμένα στοιχεία ή χρονικές περιόδους, διευκολύνοντας έτσι την ανάλυση και αξιολόγηση του δικτύου.

3.2. Πορεία Προσομοίωσης Δικτύου

3.2.1. Δημιουργία νέας μελέτης

Για να δημιουργήσουμε μία νέα μελέτη μπορούμε να επιλέξουμε file<new ή μπορούμε να επιλέξουμε το new project στη γενική μπάρα εργαλείων. Στη συνέχεια ο χρήστης θα πρέπει να αποθηκεύσει το αρχείο από το μενού file<save. Κάθε φορά που ανοίγει το πρόγραμμα δημιουργείται αυτόματα νέα μελέτη.



Εικόνα 3.2. Η επιφάνεια εργασίας του EPANET 2.0

3.2.2. Δημιουργία πρότυπων στοιχείων στο EPANET 2.0

Κατά τη δημιουργία και ανάλυση ενός δικτύου, συχνά παρατηρείται ότι πολλά στοιχεία (όπως αγωγοί και κόμβοι) έχουν παρόμοιες ιδιότητες — π.χ. ίδιο μήκος ή διάμετρος για αγωγούς, ίδιο υψόμετρο για κόμβους. Για να αποφευχθεί η επαναλαμβανόμενη πληκτρολόγηση και να μειωθεί το ενδεχόμενο λαθών, το EPANET 2.0 δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας πρότυπων στοιχείων (defaults). Έτσι, οι κοινές τιμές εισάγονται μία φορά και εφαρμόζονται αυτόματα σε όσα στοιχεία χρειαστεί.

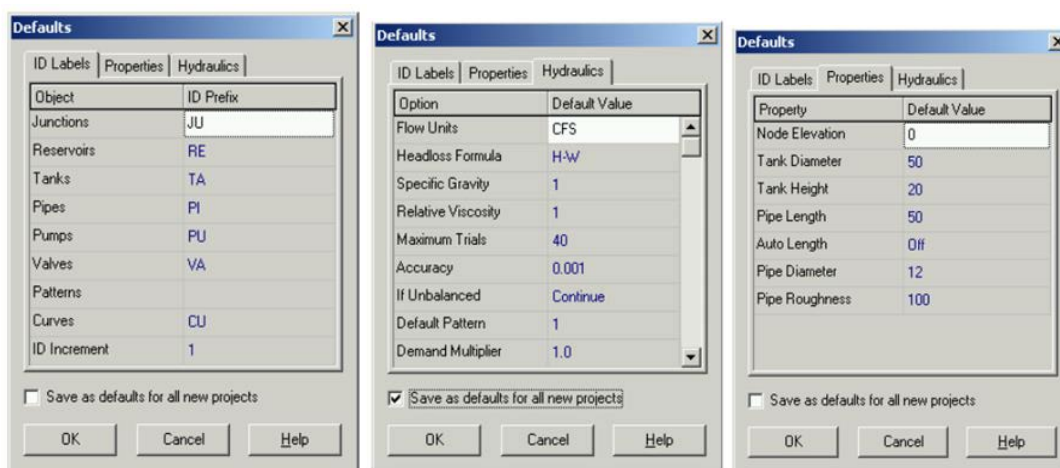
Διαδικασία δημιουργίας πρότυπων στοιχείων

1. Από το μενού, επιλέγουμε Project → Defaults.
2. Εμφανίζεται το παράθυρο των προτύπων στοιχείων, το οποίο αποτελείται από τρεις καρτέλες, καθεμία για διαφορετική κατηγορία δεδομένων.
3. Ορίζουμε τις τιμές που θέλουμε να ισχύουν ως κοινές (π.χ. διάμετρος, τραχύτητα, υψόμετρο).
4. Αν θέλουμε οι επιλογές αυτές να είναι διαθέσιμες και σε μελλοντικές μελέτες, τσεκάρουμε την επιλογή για αποθήκευση προτύπων.
5. Επιλέγουμε αποθήκευση.

Ιδιότητες και υδραυλικές επιλογές (Properties & Hydraulic Options)

Στην εικόνα 3.3 εμφανίζονται οι διαθέσιμες ρυθμίσεις:

- ✓ Μονάδες παροχής → π.χ. λίτρα ανά δευτερόλεπτο (LPS) για μεγαλύτερη ακρίβεια σε μικρά δίκτυα.
- ✓ Εξίσωση απωλειών → επιλογή της μεθόδου για τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών:
 - ✓ Darcy-Weisbach (D-W) → ακριβής, βασισμένη στη ρευστό μηχανική.
 - ✓ Hazen-Williams → απλή και ευρέως χρησιμοποιούμενη σε δίκτυα ύδρευσης.
 - ✓ Chezy-Manning → συνήθως για υδραυλικά δίκτυα αποχέτευσης.
- ✓ Αποθήκευση προτύπων . Οι επιλογές αποθηκεύονται ώστε να χρησιμοποιηθούν ξανά σε μελλοντικές εργασίες.



Εικόνα 3.3. Εισαγωγή προτύπων

Με αυτόν τον τρόπο, ο μελετητής εξοικονομεί χρόνο, μειώνει τα λάθη πληκτρολόγησης και διατηρεί ομοιομορφία στις παραμέτρους του δικτύου.

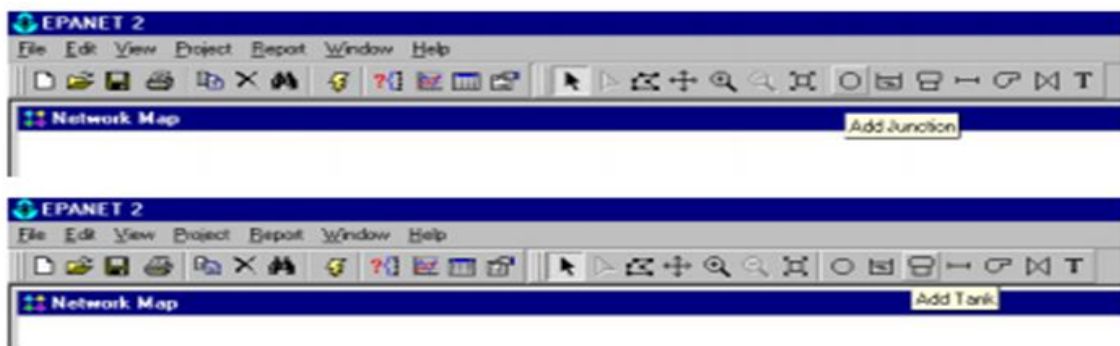
3.2.3. Σχεδιασμός του δικτύου – Εισαγωγή στοιχείων

Εισαγωγή στοιχείων στο EPANET 2.0

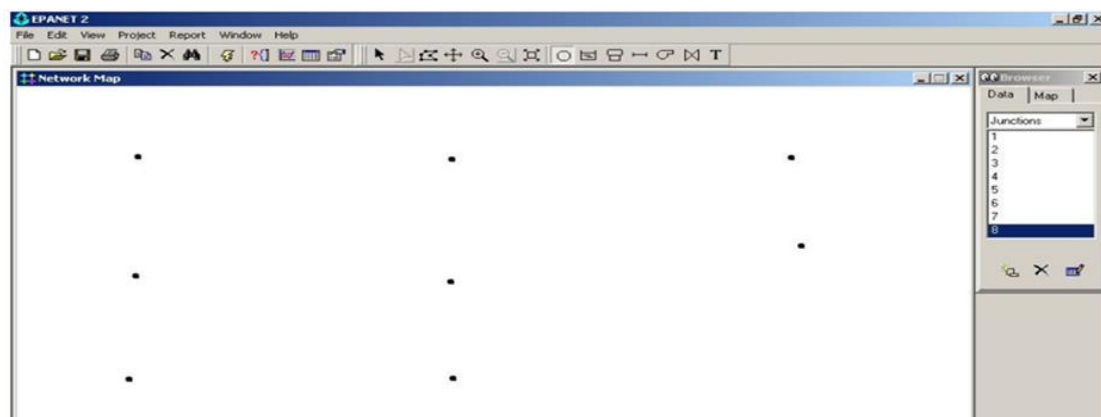
Κόμβοι

Οι κόμβοι (junctions) είναι τα βασικά σημειακά στοιχεία ενός δικτύου, καθώς εκεί συγκλίνουν ή διακλαδώνονται οι αγωγοί και ορίζονται οι καταναλώσεις νερού.

- ✓ Για την εισαγωγή κόμβου:
 - ✓ Επιλέγουμε το εργαλείο Junction από την μπάρα εργαλείων.
 - ✓ Επιλέγουμε το σημείο στο χάρτη .
 - ✓ Ο κόμβος εισάγεται και αριθμείται αυτόματα με τη σειρά που δημιουργείται.
- ✓ Ένα δίκτυο πρέπει να περιέχει τουλάχιστον δύο κόμβους, ώστε να μπορεί να συνδεθεί με έναν αγωγό.



. Εικόνα 3.4. Εισαγωγή των στοιχείων.



Εικόνα 3.5. Εισαγωγή όλων των κόμβων

Δεξαμενές

Για να αποκτήσει πίεση το δίκτυο και να κινηθεί το νερό μέσα σε αυτό, απαιτείται τουλάχιστον μία δεξαμενή (reservoir ή tank).

- ✓ Για εισαγωγή δεξαμενής:
 1. Επιλέγουμε το εργαλείο Reservoir ή Tank από την εργαλειοθήκη.
 2. Επιλέγουμε το σημείο στο χάρτη όπου θέλουμε να τοποθετηθεί.
- ✓ Η δεξαμενή λειτουργεί ως πηγή νερού με συγκεκριμένο υδραυλικό φορτίο.

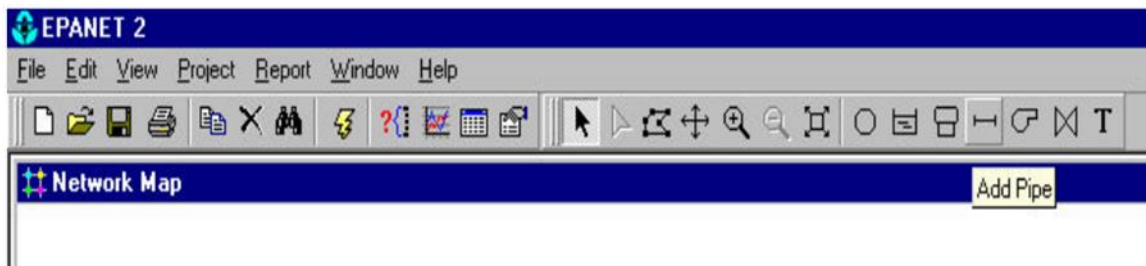
Γραμμικά στοιχεία

Τα γραμμικά στοιχεία συνδέουν τους κόμβους και εξασφαλίζουν τη ροή του νερού στο δίκτυο. Περιλαμβάνουν:

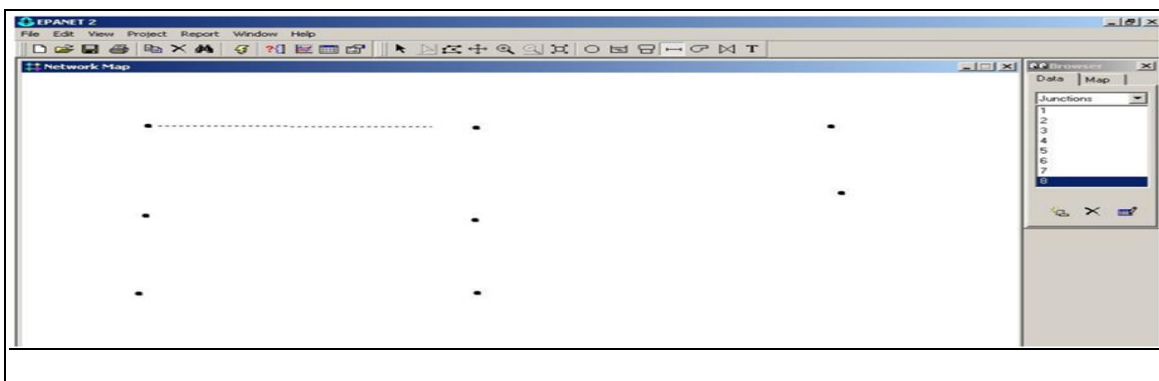
- ✓ Αγωγούς (pipes/conduits)
- ✓ Αντλίες (pumps)
- ✓ Βαλβίδες (valves)

Διαδικασία εισαγωγής γραμμικών στοιχείων:

- ✓ Επιλέγουμε από την εργαλειοθήκη το επιθυμητό γραμμικό στοιχείο.
- ✓ Επιλέγουμε έναν κόμβο ή δεξαμενή (σημείο εκκίνησης).
- ✓ Επιλέγουμε έναν άλλο κόμβο ή δεξαμενή (σημείο τερματισμού).
- ✓ Ο αγωγός/αντλία/βαλβίδα τοποθετείται αυτόματα και συνδέει τα δύο σημεία.



Εικόνα 3.6. Επιλογή γραμμικού στοιχείου



Εικόνα 3.7. Εισαγωγή αγωγού

Με αυτά τα βήματα, δημιουργείται ο **σκελετός του δικτύου**: κόμβοι → δεξαμενές → γραμμικά στοιχεία.

Εισαγωγή αντλίας στο EPANET 2.0

Η αντλία είναι απαραίτητο στοιχείο σε πολλά δίκτυα ύδρευσης, καθώς εξασφαλίζει την παροχή και την απαιτούμενη πίεση ώστε να κυκλοφορεί το νερό.

Διαδικασία εισαγωγής αντλίας

- ✓ Από την μπάρα εργαλείων, επιλέγουμε το εργαλείο Pump.
- ✓ Επιλέγουμε τη δεξαμενή (σημείο εκκίνησης της αντλίας).
- ✓ Επιλέγουμε τον κόμβο 1 (σημείο τερματισμού της αντλίας).

Έτσι τοποθετείται γραφικά η αντλία που συνδέει τη δεξαμενή με τον κόμβο.

Ορισμός χαρακτηριστικής καμπύλης αντλίας

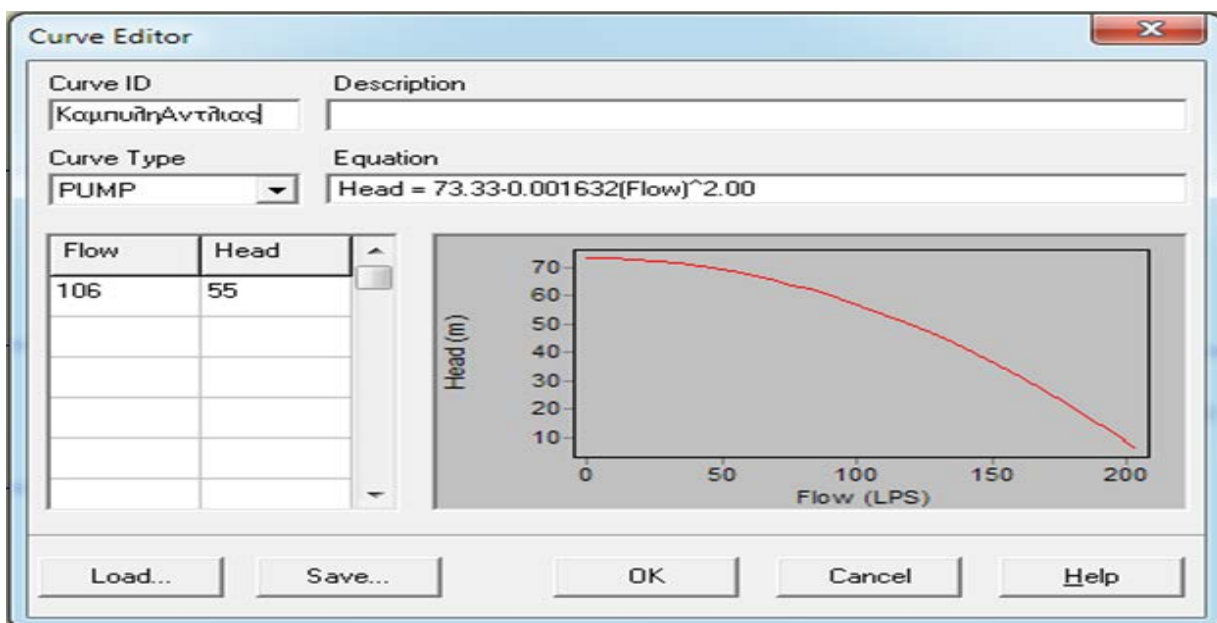
Για να λειτουργήσει σωστά η αντλία, πρέπει να της αποδοθεί η χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας της (Pump Curve).

- ✓ Στον πλοηγό (Browser), πηγαίνουμε στην καρτέλα Data → Curves.
- ✓ Από τη λίστα, επιλέγουμε Pump.
- ✓ Στο παράθυρο εισαγωγής, εισάγουμε:
 - ο Παροχή (Q)
 - ο Πιεζομετρικό φορτίο (H)

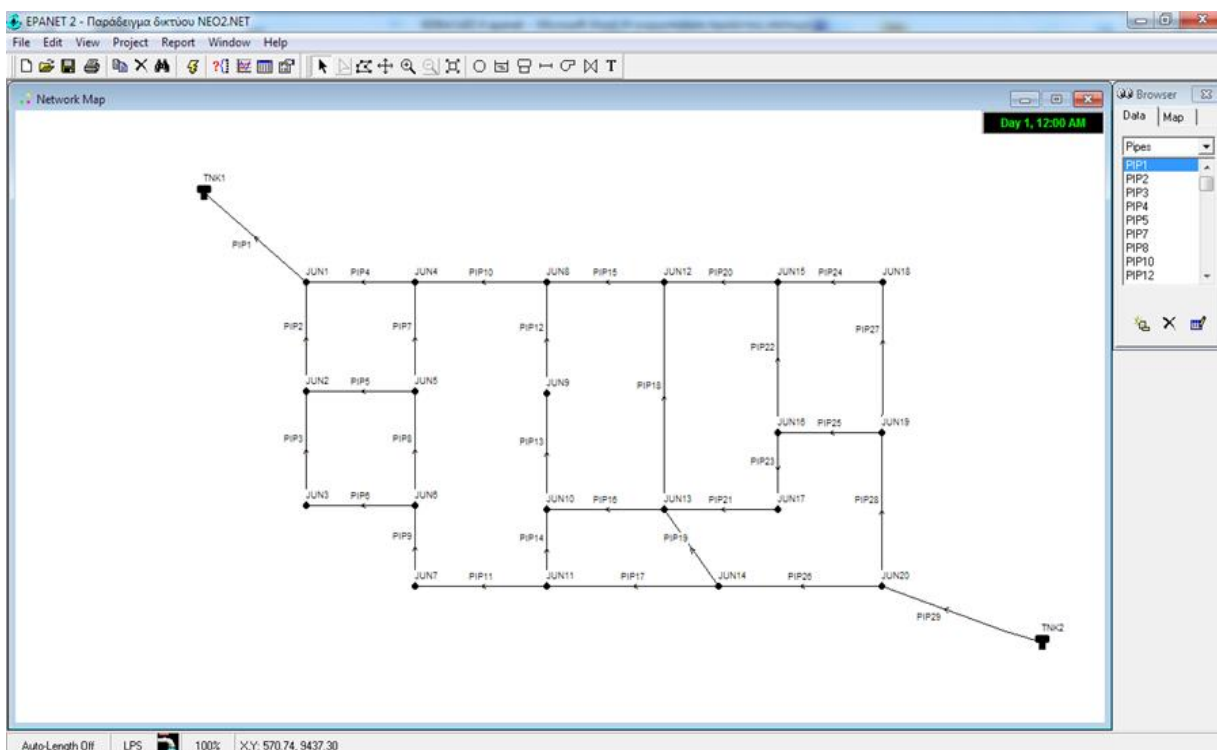
Αυτά τα δύο σημεία επαρκούν για να δημιουργηθεί μία γραμμική χαρακτηριστική καμπύλη από το πρόγραμμα.

Αν θέλουμε πιο ρεαλιστική προσέγγιση, μπορούμε να εισάγουμε περισσότερα σημεία (Q-H) ώστε να προσεγγίσουμε την πραγματική καμπύλη της αντλίας που μας ενδιαφέρει.

Έτσι η αντλία αποκτά τα λειτουργικά της χαρακτηριστικά και το EPANET 2.0 μπορεί να προσομοιώσει την παροχή ενέργειας στο δίκτυο.



Εικόνα 3.8. Δημιουργία καμπύλης αντλίας



Εικόνα 3.9. Ολοκλήρωση σχεδιασμού δικτύου

Στο EPANET 2.0 κάθε στοιχείο (κόμβος, αγωγός, δεξαμενή, αντλία κ.λπ.) διαθέτει ένα πίνακα ιδιοτήτων (property editor) όπου εισάγονται τα δεδομένα που χρειάζονται για την προσομοίωση. Στην εικόνα (δεξαμενή TA1) φαίνεται ο αντίστοιχος πίνακας ιδιοτήτων.

Tank TA1	
Property	Value
*Tank ID	TA1
X-Coordinate	-108.53
Y-Coordinate	8279.07
Description	
Tag	
*Elevation	400
*Initial Level	10
*Minimum Level	0
*Maximum Level	20
*Diameter	50
Minimum Volume	
Volume Curve	
Mixing Model	Mixed
Mixing Fraction	
Reaction Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Net Inflow	#N/A
Elevation	#N/A
Pressure	#N/A
Quality	#N/A

Εικόνα 3.10. Εισαγωγή δεδομένων δεξαμενής

Τρόποι επιλογής στοιχείου

1. Από τον χάρτη (workspace).
2. Από τον πλοηγό (Browser).
 - ✓ Επιλέγουμε την κατηγορία (π.χ. Tanks, Junctions, Pipes).
 - ✓ Επιλέγουμε το όνομα του στοιχείου και εμφανίζει τον πίνακα δεδομένων του.



Εικόνα 3.11. Επιλογή στοιχείου από τον πλοηγό (Browser)

Δεδομένα που εισάγονται ανά στοιχείο

- ✓ Κόμβοι (Junctions):
 - ✓ Υψόμετρο (Elevation)
 - ✓ Κατανάλωση/παροχή (Base demand)
 - ✓ Μοντέλο κατανάλωσης (Demand pattern, αν υπάρχει)

- ✓ Αγωγοί (Pipes):
 - ✓ Στοιχείο αρχής και τέλους (From Node – To Node)
 - ✓ Μήκος (Length)
 - ✓ Διάμετρος (Diameter)
 - ✓ Συντελεστής τραχύτητας (Roughness coefficient, ανάλογα με τη μέθοδο Hazen-Williams, D-W ή Manning)
- ✓ Δεξαμενές (Tanks/Reservoirs):
 - ✓ Υψόμετρο βάσης (Elevation)
 - ✓ Διάμετρος (Diameter)
 - ✓ Ελάχιστο ύψος στάθμης (Minimum level)
 - ✓ Μέγιστο ύψος στάθμης (Maximum level)
 - ✓ Αρχικό ύψος στάθμης (Initial level)

Junction JU1	
Property	Value
*Junction ID	JU1
X-Coordinate	1271.32
Y-Coordinate	6837.21
Description	
Tag	
*Elevation	8
Base Demand	-3.85
Demand Pattern	
Demand Categories	1
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	#N/A
Total Head	#N/A
Pressure	#N/A
Quality	#N/A

Pipe PI1	
Property	Value
*Pipe ID	PI1
*Start Node	TA1
*End Node	JU1
Description	
Tag	
*Length	50
*Diameter	12
*Roughness	100
Loss Coeff.	0
Initial Status	Open
Bulk Coeff.	
Wall Coeff.	
Flow	#N/A
Velocity	#N/A
Unit Headloss	#N/A
Friction Factor	#N/A
Reaction Rate	#N/A
Quality	#N/A
Status	#N/A

Εικόνα 3.12. Πίνακες εισαγωγής δεδομένων κόμβων και αγωγών

Μετά την εισαγωγή όλων των στοιχείων, το δίκτυο είναι έτοιμο για προσομοίωση.

Εισαγωγή μοτίβου ζήτησης στους κόμβους (Demand Pattern)

Η ζήτηση νερού στους κόμβους μπορεί να μην είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά αντίθετα μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τις ώρες αιχμής και τις καθημερινές

συνήθειες των καταναλωτών. Για τον λόγο αυτό, στο EPANET 2.0 μπορούμε να εισάγουμε μοτίβα ζήτησης (Demand Patterns).

Διαδικασία εισαγωγής μοτίβου ζήτησης

- ✓ Στον πλοηγό (Browser) επιλέγουμε την κατηγορία Patterns.
- ✓ Η λίστα που εμφανίζεται είναι αρχικά κενή. Επιλέγουμε το Add .
- ✓ Εμφανίζεται παράθυρο για την εισαγωγή νέου μοτίβου.
- ✓ Στο παράθυρο αυτό καταχωρούμε τους πολλαπλασιαστές (multipliers) για κάθε ώρα του 24ώρου.
 - ο Οι τιμές αυτές εφαρμόζονται στη βασική ζήτηση του κόμβου.
 - ο Π.χ. αν ένας κόμβος έχει βασική ζήτηση 2 l/s και ο πολλαπλασιαστής για τις 08:00 είναι 1.5, τότε η κατανάλωση σε εκείνη την ώρα είναι 3 l/s.
- ✓ Μόλις εισαχθούν οι τιμές, το πρόγραμμα εμφανίζει αυτόματα:
 - ο Διάγραμμα καμπύλης ζήτησης (24ωρο)
 - ο Μέση ημερήσια ζήτηση του κόμβου
- ✓ Έχουμε τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε διαφορετικό μοτίβο για κάθε κόμβο, ανάλογα με τις ανάγκες (π.χ. οικιστική περιοχή, βιομηχανική ζώνη, τουριστική περιοχή).
- ✓ Αποθηκεύουμε το μοτίβο πατώντας OK.

Προσαρμογή των χαρακτηριστικών του χάρτη στο EPANET 2.0

Για να είναι πιο κατανοητός και ευανάγνωστος ο χάρτης του δικτύου στο EPANET 2.0, υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής και προσαρμογής ταμπελών (labels) αλλά και άλλων οπτικών χαρακτηριστικών.

Διαδικασία εισαγωγής Label

- ✓ Από τη map toolbar, επιλέγουμε το εργαλείο Label.
- ✓ Επιλέγουμε το σημείο του χάρτη όπου θέλουμε να εμφανιστεί η ταμπέλα.
- ✓ Στο πεδίο Label Description εισάγουμε το κείμενο (π.χ. όνομα κόμβου, διάμετρος αγωγού, παροχή).
- ✓ Πατάμε Enter για να αποθηκευτεί.

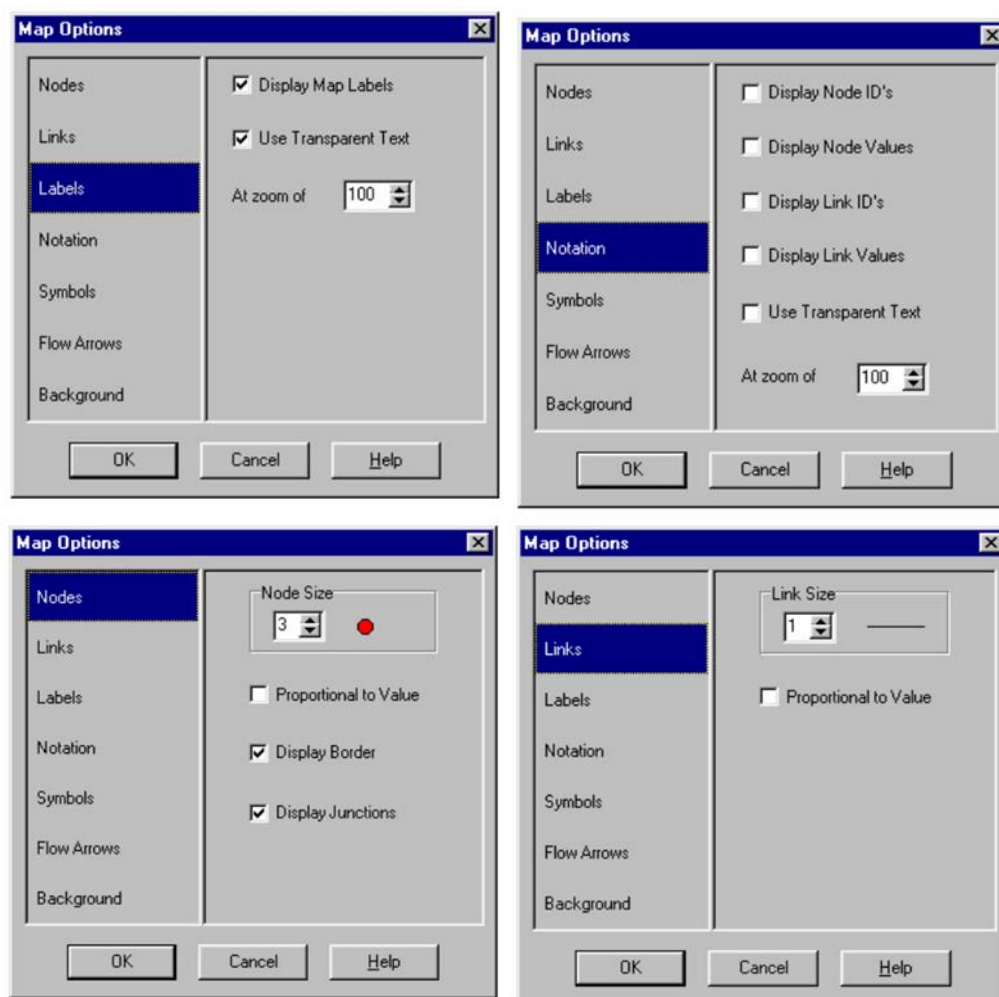
Εναλλακτικά, με επιλογή πάνω στο χάρτη εμφανίζεται το μενού, όπου επιλέγουμε Options για περαιτέρω προσαρμογή.

Δυνατότητες προσαρμογής

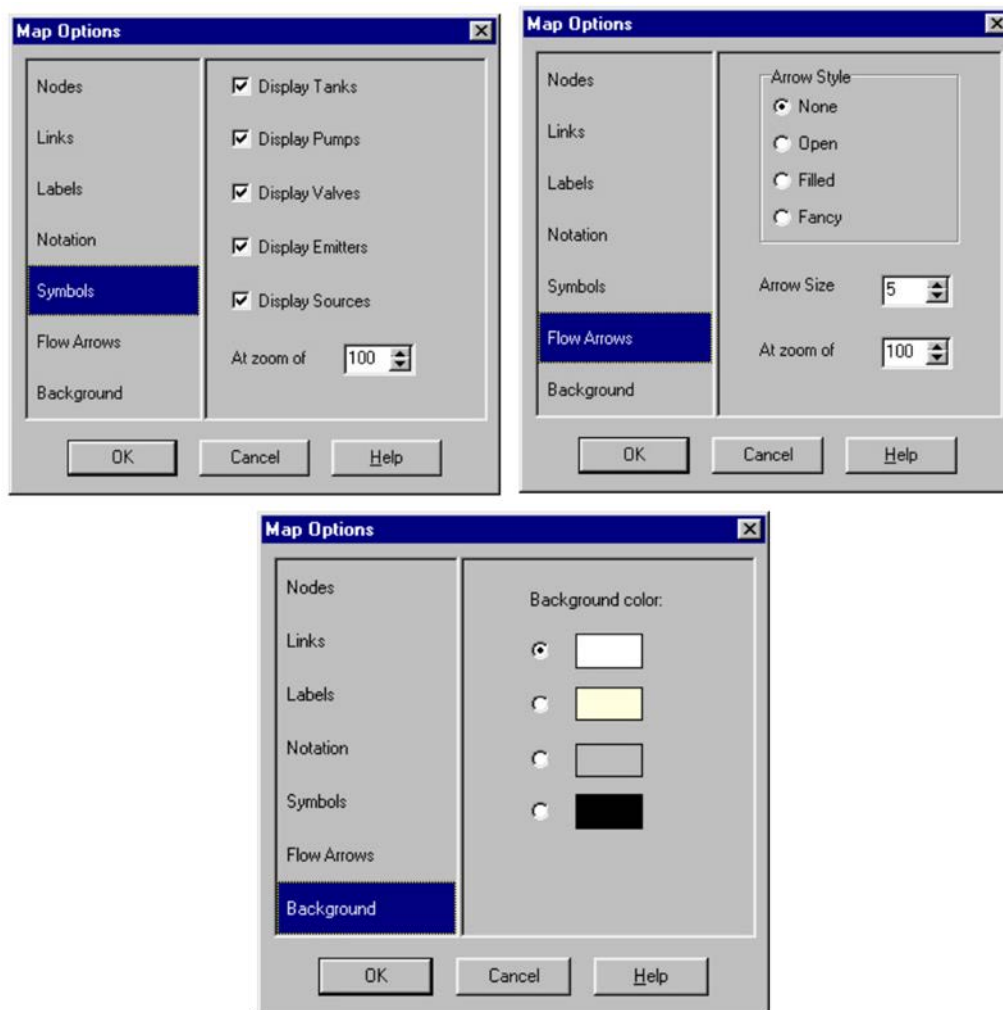
Από το μενού Options, μπορούμε να προσαρμόσουμε χαρακτηριστικά όπως:

- ✓ Γραμματοσειρά (Font) → μέγεθος και στυλ γραμμάτων της ταμπέλας.
- ✓ Χρώμα κειμένου → για καλύτερη οπτική διαφοροποίηση (π.χ. κόμβοι μπλε, αγωγοί μαύροι).
- ✓ Μέγεθος και θέση της ταμπέλας στον χάρτη.
- ✓ Συμβολισμοί (Symbols) → αλλαγή του μεγέθους ή του χρώματος για κόμβους, δεξαμενές, αντλίες.
- ✓ Υπόβαθρο (Background color) → αλλαγή χρώματος του χάρτη για καλύτερη αντίθεση.
- ✓ Εμφάνιση/Απόκρυψη labels για επιλεγμένα στοιχεία.

Με την προσαρμογή των χαρακτηριστικών, ο χάρτης γίνεται πιο σαφής, ειδικά όταν το δίκτυο είναι μεγάλο και περιέχει πολλά στοιχεία.



Εικόνες 3.13. Προσαρμογή των χαρακτηριστικών εμφάνισης του χάρτη



Εικόνες 3.14. Προσαρμογή των χαρακτηριστικών εμφάνισης του χάρτη

Αντιγραφή και επικόλληση ιδιοτήτων στοιχείου στο EPANET 2.0

Στο EPANET 2.0, μπορούμε να αντιγράψουμε τις ιδιότητες ενός στοιχείου (π.χ. κόμβου, αγωγού, δεξαμενής) και στην συνέχεια να τις επικολλήσουμε σε άλλο στοιχείο της ίδιας κατηγορίας. Αυτή η λειτουργία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν πολλά στοιχεία έχουν κοινά χαρακτηριστικά, καθώς μειώνει τον χρόνο εισαγωγής δεδομένων και περιορίζει τα σφάλματα.

Βήματα:

- ✓ Αντιγραφή ιδιοτήτων:
 1. Επιλέγουμε το στοιχείο που μας ενδιαφέρει.
 2. Επιλέγουμε Copy από το μενού.
- ✓ Επικόλληση ιδιοτήτων:
 1. Επιλέγουμε το στοιχείο-στόχο.

2. Επιλέγουμε Paste από το μενού.

Μετακίνηση στοιχείου

Η μετακίνηση αφορά σημειακά στοιχεία (junctions, tanks, reservoirs) αλλά και labels.

Βήματα:

- ✓ Επιλέγεται και τοποθετείται το στοιχείο στον χάρτη.

Εναλλακτικά: μπορούμε να εισάγουμε νέες συντεταγμένες στο παράθυρο ιδιοτήτων.

Όταν μετακινείται ένα σημειακό στοιχείο, μετακινούνται και τα γραμμικά στοιχεία που συνδέονται σε αυτό (αγωγοί).

Επιλογή ομάδας στοιχείων

Για την ταυτόχρονη επιλογή πολλών στοιχείων:

- ✓ Από το μενού Edit → Select Region ή από το εργαλείο Select Region στη γραμμή εργαλείων.
- ✓ Σχεδιάζουμε με το ποντίκι ένα πολύγωνο γύρω από τα στοιχεία που θέλουμε να επιλέξουμε. Το πολύγωνο κλείνει με το Enter.
- ✓ Για να επιλέξουμε όλα τα στοιχεία, πάμε στο Edit → Select All.

Με αυτά τα εργαλεία ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί γρήγορα και αποτελεσματικά μεγάλα δίκτυα, οργανώνοντας τα στοιχεία με ακρίβεια.

3.2.4. Επίλυση του δικτύου στο EPANET 2.0

Η επίλυση του δικτύου είναι το τελικό στάδιο της διαδικασίας προσομοίωσης. Αφού έχει ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός, έχουν εισαχθεί όλα τα δεδομένα (κόμβοι, αγωγοί, δεξαμενές, αντλίες, μοτίβα ζήτησης) και έχουν οριστεί οι λειτουργικές παράμετροι, τότε εκτελείται η υδραυλική και ποιοτική ανάλυση του δικτύου.

Εισαγωγή παραμέτρων ανάλυσης

Για να οριστούν οι παράμετροι:

- ✓ Από το μενού Project → Analysis Options, ή
- ✓ Από τον πλοηγό (Browser) → καρτέλα Data → Options.
- ✓ Επιλέγοντας σε μια παράμετρο ανοίγει το παράθυρο όπου μπορούμε να τροποποιήσουμε τις τιμές της.

Συνήθεις παράμετροι ανάλυσης στο EPANET 2.0

- ✓ Hydraulics

- ✓ Μέθοδος υπολογισμού απωλειών: *Darcy-Weisbach*, *Hazen-Williams* ή *Chezy-Manning*.
- ✓ Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων για επίλυση.
- ✓ Όριο ανοχής (tolerance) για σύγκλιση των αποτελεσμάτων.
- ✓ Quality
 - ✓ Επιλογή αν θα γίνει προσομοίωση χλωρίου, ηλικίας νερού ή ρύπων.
 - ✓ Μονάδες συγκέντρωσης (mg/l, hours για age κ.λπ.).
- ✓ Time
 - ✓ Συνολική διάρκεια προσομοίωσης (π.χ. 24 ώρες).
 - ✓ Βήμα χρόνου για υπολογισμούς (π.χ. 1 ώρα, 15 λεπτά).
 - ✓ Βήμα εξόδου αποτελεσμάτων (π.χ. 1 ώρα).
- ✓ Energy
 - ✓ Υπολογισμός ενέργειας άντλησης.
 - ✓ Τιμές κόστους για την κατανάλωση ενέργειας.

Εκτέλεση επίλυσης

Μετά την εισαγωγή όλων των παραμέτρων:

- ✓ Επιλέγουμε RUN (ή το αντίστοιχο εικονίδιο εκτέλεσης).
- ✓ Αν υπάρχουν λάθη ή ελλείψεις, το EPANET 2.0 εμφανίζει παράθυρο με προειδοποιήσεις και σφάλματα ώστε να διορθωθούν.
- ✓ Όταν η επίλυση ολοκληρωθεί, μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα σε μορφή:
 - ✓ Χαρτών με χρωματική κλίμακα (πίεση, παροχή, ταχύτητα).
 - ✓ Πινάκων με αριθμητικά δεδομένα.
 - ✓ Διαγραμμάτων χρόνο σειράς (time series plots).

Έτσι ολοκληρώνεται η διαδικασία ανάλυσης και ο χρήστης έχει πλήρη εικόνα της υδραυλικής συμπεριφοράς και της ποιότητας του νερού στο δίκτυο.

Εκτέλεση των υπολογισμών στο EPANET 2.0

Μετά την ολοκλήρωση όλων των βημάτων εισαγωγής δεδομένων και ρυθμίσεων, γίνεται η εκτέλεση της επίλυσης:

- ✓ Από το μενού Project → Run Analysis, ή
- ✓ Από το εικονίδιο Run στη μπάρα εργαλείων.

Αν τα δεδομένα είναι σωστά, το πρόγραμμα εκτελεί επιτυχώς τους υπολογισμούς.

Αν υπάρχουν λάθη (π.χ. λανθασμένα υψόμετρα, αγωγοί χωρίς συνδέσεις, μηδενικές

διαμέτρους), το EPANET 2.0 εμφανίζει παράθυρο με προειδοποιήσεις και σφάλματα που πρέπει να διορθωθούν πριν συνεχιστεί η προσομοίωση.

3.2.5. Εξαγωγή και εμφάνιση αποτελεσμάτων

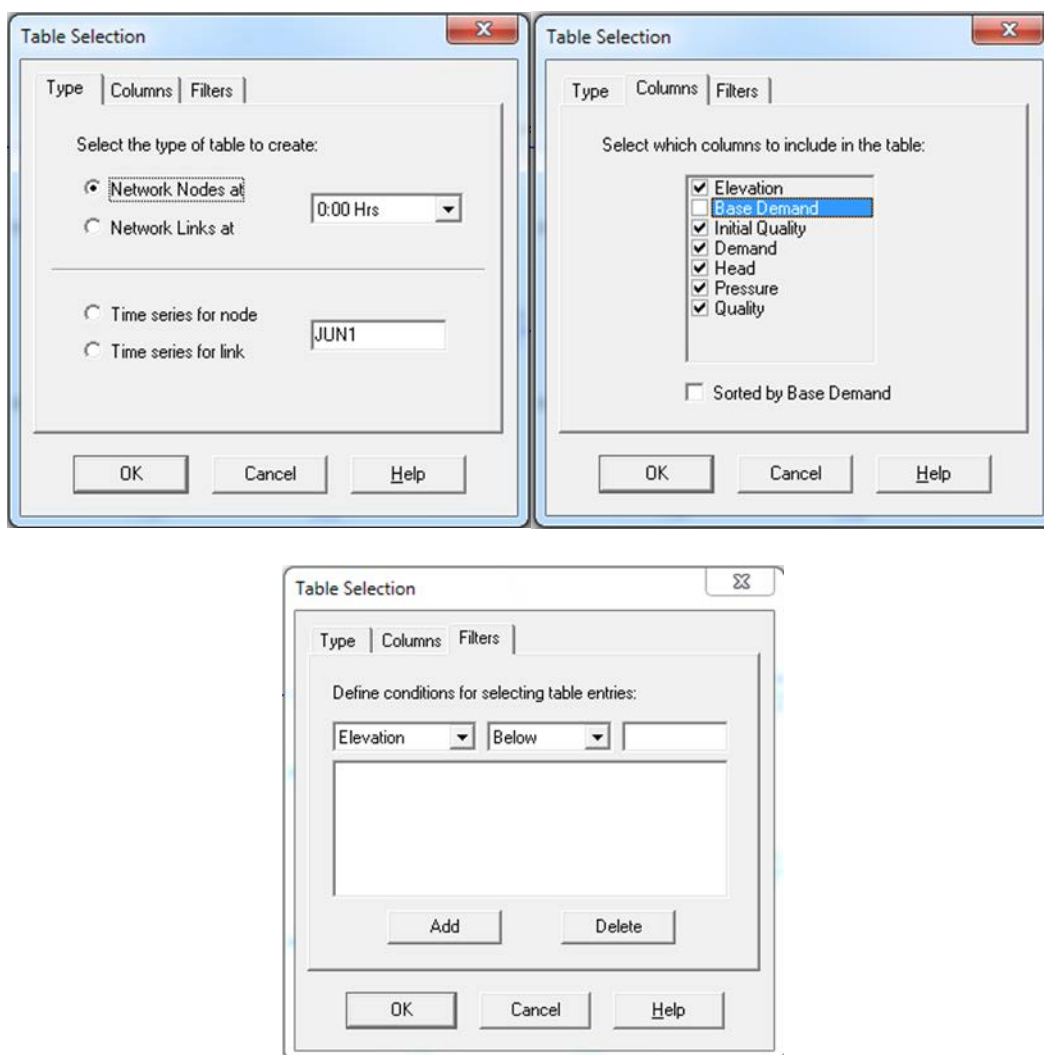
Μετά την επιτυχημένη ανάλυση το EPANET 2.0 παρέχει όλα τα υδραυλικά αποτελέσματα:

- ✓ Πιέσεις στους κόμβους
- ✓ Παροχές στους αγωγούς
- ✓ Ταχύτητες ροής στους αγωγούς
- ✓ Στάθμες και όγκους στις δεξαμενές
- ✓ Απόδοση αντλιών και κατανάλωση ενέργειας

Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να προβληθούν με δύο τρόπους:

Εμφάνιση αποτελεσμάτων σε πίνακες

- ✓ Από το μενού Report → Table.
- ✓ Ανοίγει παράθυρο όπου ο χρήστης καθορίζει ποια μεγέθη θέλει να εμφανιστούν (π.χ. πίεση, παροχή, ταχύτητα).
- ✓ Οι πίνακες μπορούν να δείχνουν:
 - ο Αναλυτικά δεδομένα ανά στοιχείο για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.
 - ο Χρονική εξέλιξη ενός μεγέθους για ένα συγκεκριμένο στοιχείο.



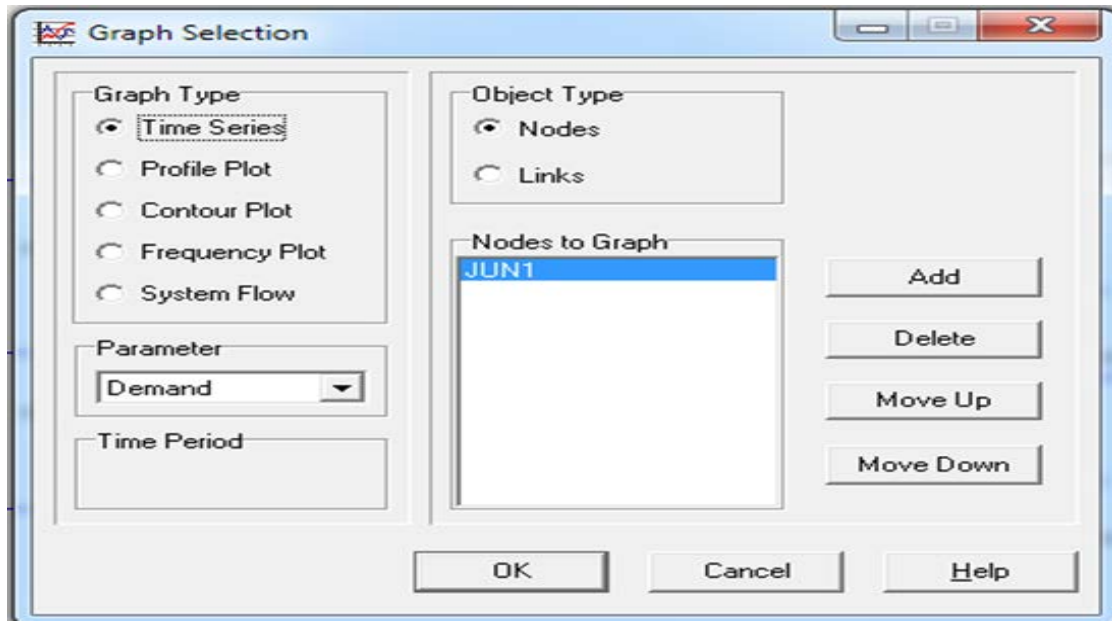
Εικόνες 3.15. Παράθυρο δημιουργίας πίνακα αποτελεσμάτων

Στην πρώτη καρτέλα του παραθύρου επιλέγουμε το είδος του στοιχείου για το οποίο θα δημιουργηθεί ο πίνακας για το αν δηλαδή θα είναι γραμμικά ή σημειακά στοιχεία καθώς επίσης και για ποια ώρα του εικοσιτετράωρου θα εμφανιστούν τα αποτελέσματα. Ακριβώς από κάτω μπορούμε να επιλέξουμε για ένα συγκεκριμένο στοιχείο να εμφανιστούν όλες οι τιμές που υπολογίστηκαν κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου.

Στην δεύτερη καρτέλα αφού επιλέξαμε προηγούμενα το είδος του στοιχείου στη συνέχεια επιλέγουμε ποια από τα υπολογισθέντα μεγέθη θα εμφανιστούν και τέλος στην τρίτη καρτέλα μπορούμε να φιλτράρουμε τα αποτελέσματα ώστε να εμφανίζονται τιμές: π.χ. πάνω ή κάτω από ένα συγκεκριμένο μέγεθος.

Εμφάνιση αποτελεσμάτων σε χάρτες

Από το μενού report > graph μας δίνεται η δυνατότητα να δημιουργήσουμε μεγάλης ποικιλίας γραφήματα εμφανίζοντας τα αποτελέσματά μας και συνοδεύοντας τους πίνακες.



Εικόνα 3.16. Καρτέλα δημιουργίας γραφημάτων

Έτσι, το EPANET 2.0 δίνει τη δυνατότητα να γίνει τόσο αριθμητική αξιολόγηση μέσω πινάκων, όσο και οπτική αξιολόγηση μέσω χαρτών, ώστε να εντοπίζονται εύκολα περιοχές με προβλήματα πίεσης ή υψηλές ταχύτητες ροής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΟΙΚΙΣΜΟΥ ΟΣΣΗΣ ΝΟΜΟΥ ΛΑΡΙΣΑΣ

4.1. Γενικά Στοιχεία Του Οικισμού Όσσης Λάρισας

Η Ιστορία της Όσσης στο Διάβα των Αιώνων

Ο οικισμός της Όσσης αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ιστορίας της ευρύτερης περιοχής του Συκουρίου. Το παλιό χωριό Ασαρλίκ κατοικήθηκε κυρίως από Χριστιανούς που είχαν έρθει από τη Σπηλιά, με καταγωγή από τη Χίο και τα Ψαρά, καθώς και από τον θεσσαλικό κάμπο. Με την πάροδο του χρόνου, το χωριό γνώρισε σημαντική ανάπτυξη και υλοποιήθηκαν έργα που βελτίωσαν αισθητά τη ζωή των κατοίκων.

Μέχρι το 1951, η υδροδότηση γινόταν από πηγάδια και μικρές λίμνες (μπάρες). Συνολικά υπήρχαν περίπου 35 πηγάδια και 5 μπάρες. Το 1950 ξεκίνησε η αξιοποίηση της πηγής Γερακλή, όνομα που προέρχεται από τουρκική λέξη με πιθανές σημασίες "γη με κορομηλιές" ή "αναζήτηση της υγείας", αποδίδοντας θεραπευτικές ιδιότητες στο νερό και στο μικροκλίμα της περιοχής. Το έργο ολοκληρώθηκε το 1953, με το νερό να φτάνει στο χωριό μετά από πορεία 6.300 μέτρων σε μόλις 17 λεπτά. Το 1954-1955 τοποθετήθηκαν οι πρώτες βρύσες στα σπίτια.

Σήμερα, η Όσσα είναι ένα μικρό και γραφικό χωριό, γνωστό για τη φιλοξενία των κατοίκων του. Βρίσκεται 18 χιλιόμετρα βορειοανατολικά της Λάρισας, αμφιθεατρικά χτισμένο στους πρόποδες του Κισσάβου, σε υψόμετρο 130 μέτρων. Το χωριό είναι χτισμένο μέσα σε μια ημιορεινή λεκάνη που περιβάλλεται από βουνά, με μοναδική φυσική έξοδο προς τα βόρεια, από όπου ρέει το ρέμα Ξηριάς — παλαιότερα γνωστό ως "Μπαρτσιάς". Τα νερά αυτά προέρχονται από τον Κίσσαβο και καταλήγουν στην πρώην λίμνη Νεσσωνίς, κοντά στο χωριό Νέσσων, που αποτελεί επίσης το φυσικό όριο με το Συκούριο.

Οι 683 κάτοικοι της Όσσης είναι γνωστοί για την καλοσύνη, την κοινωνικότητα και τη διάθεση προσφοράς, όχι μόνο προς τους συγχωριανούς τους αλλά και προς κάθε επισκέπτη. Δείχνουν πάντα προθυμία για εθελοντισμό και ανιδιοτελή βοήθεια. Η κύρια ενασχόληση των κατοίκων είναι η γεωργία και η κτηνοτροφία, με βασικά προϊόντα της περιοχής το αμύγδαλο, την ελιά, τα φρούτα, τα σιτηρά, τον καπνό και το βαμβάκι.



Εικόνα 4.1. Οικισμός Όσσης (Προσωπικό αρχείο)

Η Όσσα είναι χτισμένη στους νοτιοδυτικούς πρόποδες του όρους Όσσα (γνωστό και ως Κίσσαβος), σε υψόμετρο 135 μέτρων. Το χωριό βρίσκεται περίπου 20 χιλιόμετρα βορειοανατολικά της Λάρισας, απέχει 11 χιλιόμετρα νοτιοανατολικά από το Μακρυχώρι —την έδρα του Δήμου— ενώ σε απόσταση μόλις 1 χιλιομέτρου προς βορρά βρίσκεται ο οικισμός του Συκουρίου.

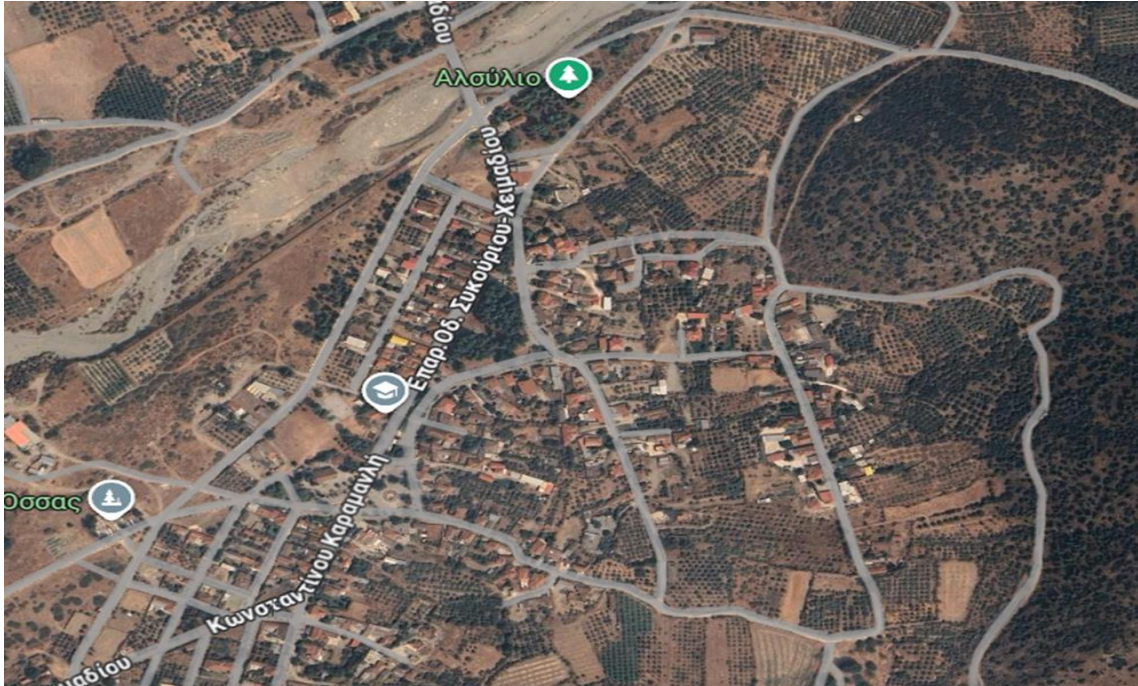
Στην Όσσα αυτό το χρονικό διάστημα κατοικούν 683 κάτοικοι.

Από επιτόπια επίσκεψη στον οικισμό Όσσης έγινε καταμέτρηση των κτιρίων σε κάθε τμήμα του δικτύου και υπολογίστηκαν σε σύνολο 299 κτίρια. Τα κτίρια του οικισμού είναι ισόγεια και υδροδοτούνται από υδατοδεξαμενή (σε υπό κατασκευή και δεύτερη δεξαμενή) που βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο του οικισμού στους πρόποδες ενός λοφίσκου και σε υψόμετρο 200 m (Εικ. 4.2).



Εικόνα 4.2. Υδατοδεξαμενή ύδρευσης οικισμού Όσσης (Προσωπικό αρχείο)

Το δίκτυο ύδρευσης του οικισμού αναπτύσσεται εντός του πολεοδομικού ιστού (οδικό δίκτυο) που παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 4.3).



Εικόνα 4.3. Οικισμός Όσσης (Google Earth)

4.1.1. Γενικά χαρακτηριστικά του δικτύου ύδρευσης

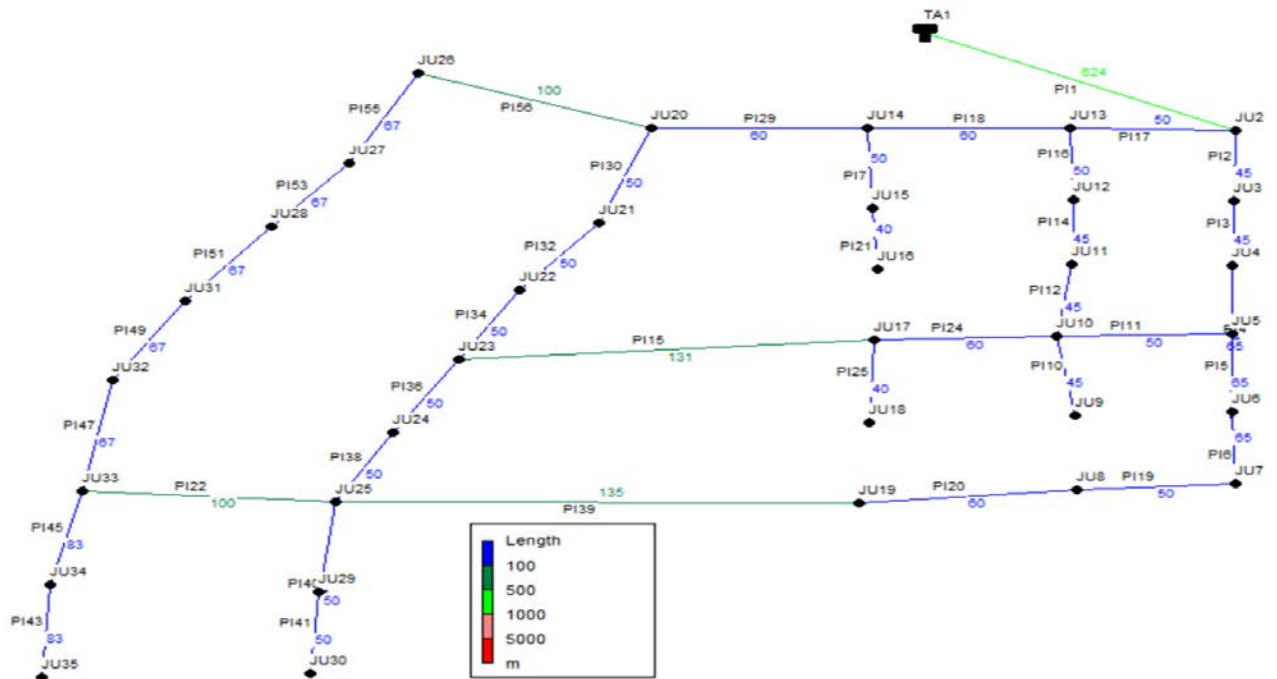
Το δίκτυο ύδρευσης του οικισμού Όσσης καλύπτει εξ ολοκλήρου τον οικισμό. Το δίκτυο έχει κατασκευαστεί από PVC (πολυβινυλοχλωρίδιο). Πιο συγκεκριμένα οι διάμετροι των αγωγών είναι οι ακόλουθοι: Φ160 ,Φ90 ,Φ75 και Φ50 όλοι ονομαστικής πίεσης λειτουργίας σε 16 atm.

Για την επίλυση του δικτύου λήφθηκε τραχύτητα για αγωγούς PVC ίση με $k=0,001\text{mm}$ (Κόλιας 2010, Κωτσόπουλος 2013).

Πίνακας 4.1. Ενδεικτικές διαστάσεις αγωγών από PVC

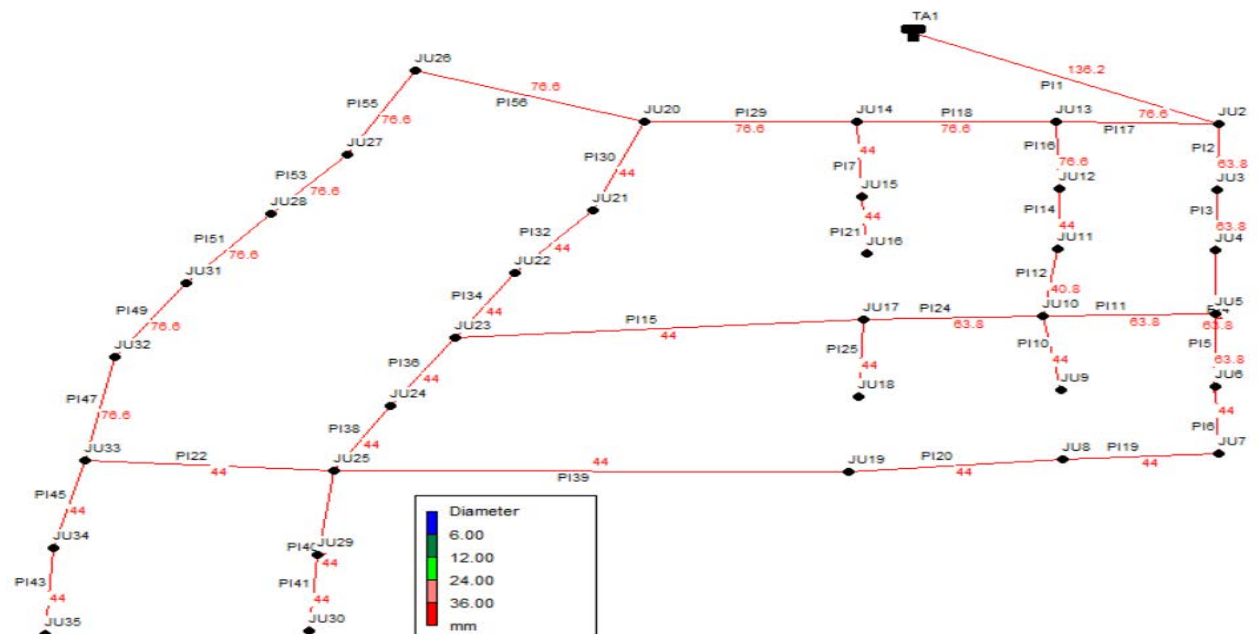
ΣΩΛΗΝΕΣ ΠΙΕΣΕΩΣ 16 ATM					
ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΕ 20°C: 16 atm					
ΕΞΩΤ. ΔΙΑΜ D	Πάχος τοιχωμ. S	Εσωτερική Διάμετρος d	Μήκος μούφας t		
mm	mm	mm	mm		
25*	1,9	21,2	32,0		
32*	2,4	27,2	32,0		
40*	3,0	34,0	47,0		
50*	3,7	42,6	92,0		
63	4,7	53,6	113,0		
75	5,6	63,8	120,7		
90	6,7	76,6	128,5		
110	8,2	93,6	138,2		
125	9,3	106,4	145,4		
140	10,4	119,2	152,5		
160	11,9	136,2	162,5		
200	14,9	170,2	179,1		
225	16,7	191,6	199,2		
250	18,6	212,8	203,1		
280	20,8	238,4	220,2		
315	23,4	268,2	235,9		

Παρακάτω παρουσιάζεται το δίκτυο ύδρευσης της Όσσης σε χάρτες με χρωματική διαβάθμιση και συγκεκριμένα στο Χάρτη 4.1 τα μήκη των αγωγών.



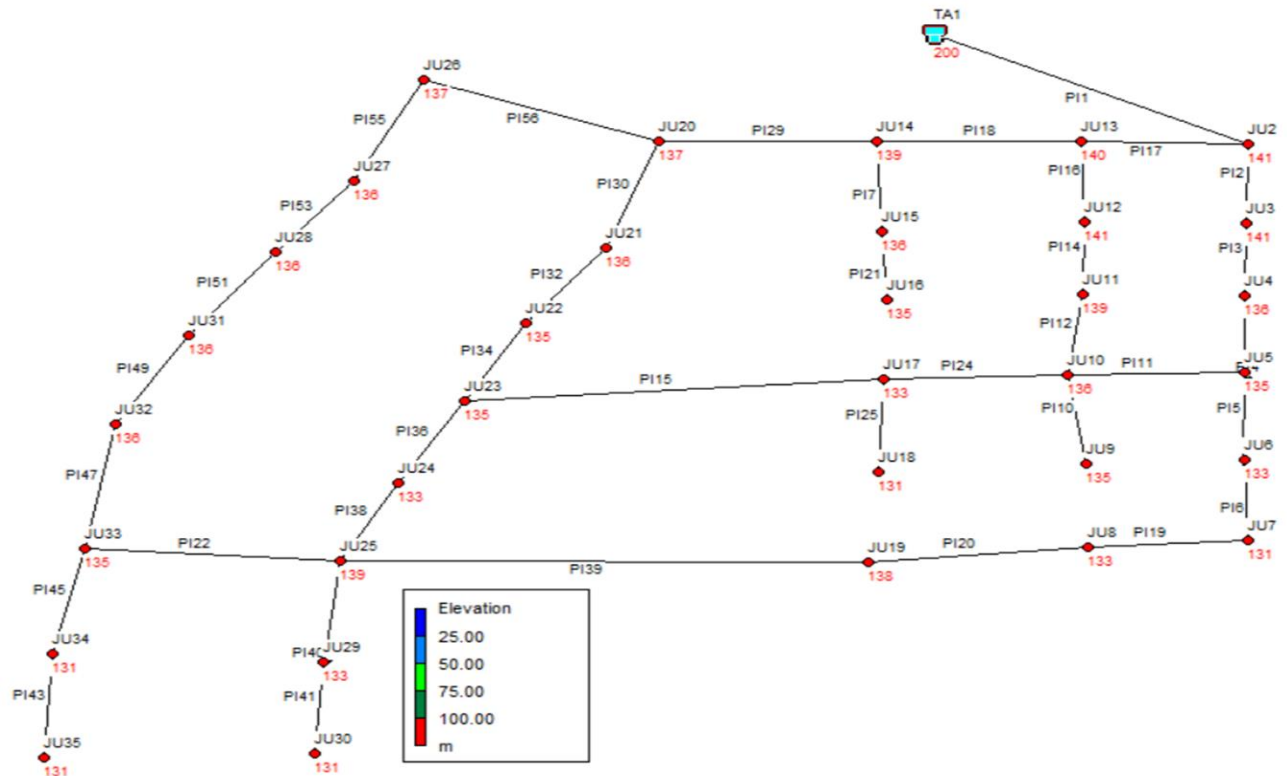
Σχήμα 4.1. Μήκη των αγωγών του δικτύου ύδρευσης του οικισμού Όσσης του Νομού Λάρισας με τη χρήση EPANET 2.0.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το δίκτυο ύδρευσης της Όσσης σε χάρτη με χρωματική διαβάθμιση και συγκεκριμένα οι διάμετροι των αγωγών.



Σχήμα 4.2. Οι διάμετροι των αγωγών του δικτύου ύδρευσης του οικισμού Όσσης του Νομού Λάρισας με τη χρήση EPANET 2.0.

Στο ακόλουθο Σχήμα 4.3 παρουσιάζονται οι 34 κόμβοι του δικτύου ύδρευσης με τα αντίστοιχα υψόμετρά τους.



Σχήμα 4.3. Υψόμετρα των κόμβων του δικτύου ύδρευσης του οικισμού Όσσης του Νομού Λάρισας με τη χρήση EPANET 2.0

Το δίκτυο αποτελείται από μια δεξαμενή (και μία υπό κατασκευή) με:

- Αρχική στάθμη του νερού μέσα στην δεξαμενή: 15 m
- Μέγιστο ύψος του νερού μέσα στην δεξαμενή: 20m
- Ελάχιστο ύψος του νερού μέσα στην δεξαμενή: 1 m
- Η δεξαμενή είναι κυκλική με διάμετρο 10m και είναι τοποθετημένη σε υψόμετρο 200 m.

Για τον υπολογισμό των απωλειών ενέργειας στο δίκτυο χρησιμοποιείται η μέθοδος Darcy-Weisbach.

4.2. Στοιχεία Κατανάλωσης Δικτύου Ύδρευσης Οικισμού Όσσης

Η επίλυση του δικτύου ύδρευσης του οικισμού Όσσης υλοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος EPANET 2.0.

Βασική επιδίωξη της επίλυσης αυτής είναι ο έλεγχος για την υδραυλική επάρκεια του δικτύου, όταν αυτό λειτουργεί σε συνθήκες μέγιστης κατανάλωσης. Στην επίλυση πάρθηκε σαν δεδομένο η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση ανά κάτοικο να είναι τα 300 l/κατ./ημ. για τη χρονική περίοδο του Ιουλίου που έχουμε τις μέγιστες καταναλώσεις έτσι ώστε να καλύψουμε και τις υπόλοιπες χρονικές περιόδους που είναι μικρότερες .

Η επίλυση του υδρευτικού δικτύου προϋποθέτει τον καθορισμό των παροχών στους καταναλωτικούς κόμβους, δηλαδή των απαιτούμενων ποσοτήτων νερού που καταναλώνονται σε κάθε σημείο του δικτύου. Οι παροχές αυτές υπολογίζονται με βάση τη μέγιστη ημερήσια κατανάλωση (σε λίτρα ανά δευτερόλεπτο - l/s), σύμφωνα με τη χρονική περίοδο που έχει επιλεγεί για τη μελέτη.

Η μέγιστη κατανάλωση νερού του οικισμού σε λίτρα ανά sec για 683 κατοίκους και για 300 l/κατ./ημ προκύπτει:

$$Q_{\max} = 2,37 \text{ l/s}$$

Ο συντελεστής ωριαίας αιχμής λ_{ω} μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση (Κωτσόπουλος, 2013):

$$\lambda_{\omega} = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_{\max} - \eta \mu.}} \leq 3 \rightarrow \lambda_{\omega} = 3$$

Τελικά, η διαστασιολόγηση του δικτύου θα γίνει για **μέγιστη ωριαία συνολική παροχή αιχμής $Q_{\max-\omega p} = 7 \text{ l/s}$** .

Αυτήν είναι η συνολική μέγιστη ωριαία παροχή αιχμής που πρέπει να κατανεμηθεί στο δίκτυο (υπολογισμένη με τον συντελεστή αιχμής).

Τέλος θα υπολογίσουμε την κατανάλωση σε κάθε κόμβο του δικτύου εφαρμόζοντας ομοιόμορφη κατανομή σε καθένα από αυτούς.

Έχουμε 35 κόμβους στην μελέτη μας και ύστερα από ομοιόμορφη κατανομή προκύπτει ότι **0.2 l/s** πρέπει να κατανεμηθούν σε κάθε κόμβο.

4.3. Επίλυση Δικτύου Ύδρευσης Οικισμού Όσσης με τη Χρήση του

Λογισμικού EPANET 2.0

4.3.1. Διαδικασία επίλυσης

Επίλυση δικτύου ύδρευσης Όσσης με EPANET 2.0

Η προσομοίωση και ανάλυση του δικτύου ύδρευσης του οικισμού Όσσης (Ν. Λάρισας) θα πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια του λογισμικού EPANET 2.0.

Βήματα σχεδίασης στο EPANET

1. Χρησιμοποιείται η οριζοντιογραφία του οικισμού, όπου φαίνονται οι αγωγοί και οι συνδέσεις τους.
2. Στον σχεδιαστικό χώρο του EPANET 2.0, με τα διαθέσιμα εργαλεία:
 - ο Τοποθετούνται οι κόμβοι (junctions) του δικτύου.
 - ο Σχεδιάζονται οι αγωγοί (pipes) που συνδέουν τους κόμβους.
3. Στη συνέχεια προστίθενται τα απαραίτητα δεδομένα σε κάθε στοιχείο.

Απαραίτητα δεδομένα ανά στοιχείο

- Κόμβοι (Junctions)
 - ο Υψόμετρο (Elevation, σε m)
 - ο Παροχή κατανάλωσης (Base Demand, σε l/s)
- Αγωγοί (Pipes)
 - ο Μήκος (Length, σε m)
 - ο Διάμετρος (Diameter, σε mm)
 - ο Συντελεστής τραχύτητας (Roughness Coefficient, σε mm ή ανάλογα με τη μέθοδο επιλογής)
- Δεξαμενή (Tank/Reservoir)
 - ο Αρχική στάθμη (Initial Level, σε m)
 - ο Μέγιστο ύψος (Maximum Level, σε m)
 - ο Ελάχιστο ύψος (Minimum Level, σε m)
 - ο Υψόμετρο (Elevation, σε m)

Εκτέλεση επίλυσης

Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού και την εισαγωγή των δεδομένων:

- Ορίζονται οι παράμετροι ανάλυσης (μονάδες, εξίσωση απωλειών, χρόνος προσομοίωσης).
- Εκτελείται η επίλυση μέσω του EPANET 2.0.

- Το πρόγραμμα υπολογίζει και εμφανίζει τα βασικά υδραυλικά μεγέθη: πιέσεις στους κόμβους, παροχές και ταχύτητες στους αγωγούς, καθώς και στάθμες/όγκους στη δεξαμενή.

Έτσι, δημιουργείται ένα πλήρες μοντέλο προσομοίωσης που επιτρέπει την ανάλυση του δικτύου και τη λήψη αποφάσεων για τη σωστή λειτουργία του και την αξιοπιστία υδροδότησης του οικισμού της Όσσης.

Κατόπιν καθορίζονται οι βασικές υδραυλικές μονάδες για τον υπολογισμό των απωλειών ενέργειας. Επιλέγονται για μονάδα μέτρησης της παροχής τα l/s.

Ύστερα από την επίλυση του δικτύου έχουμε την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα τα οποία μας ενδιαφέρουν είναι:

Για τους κόμβους:

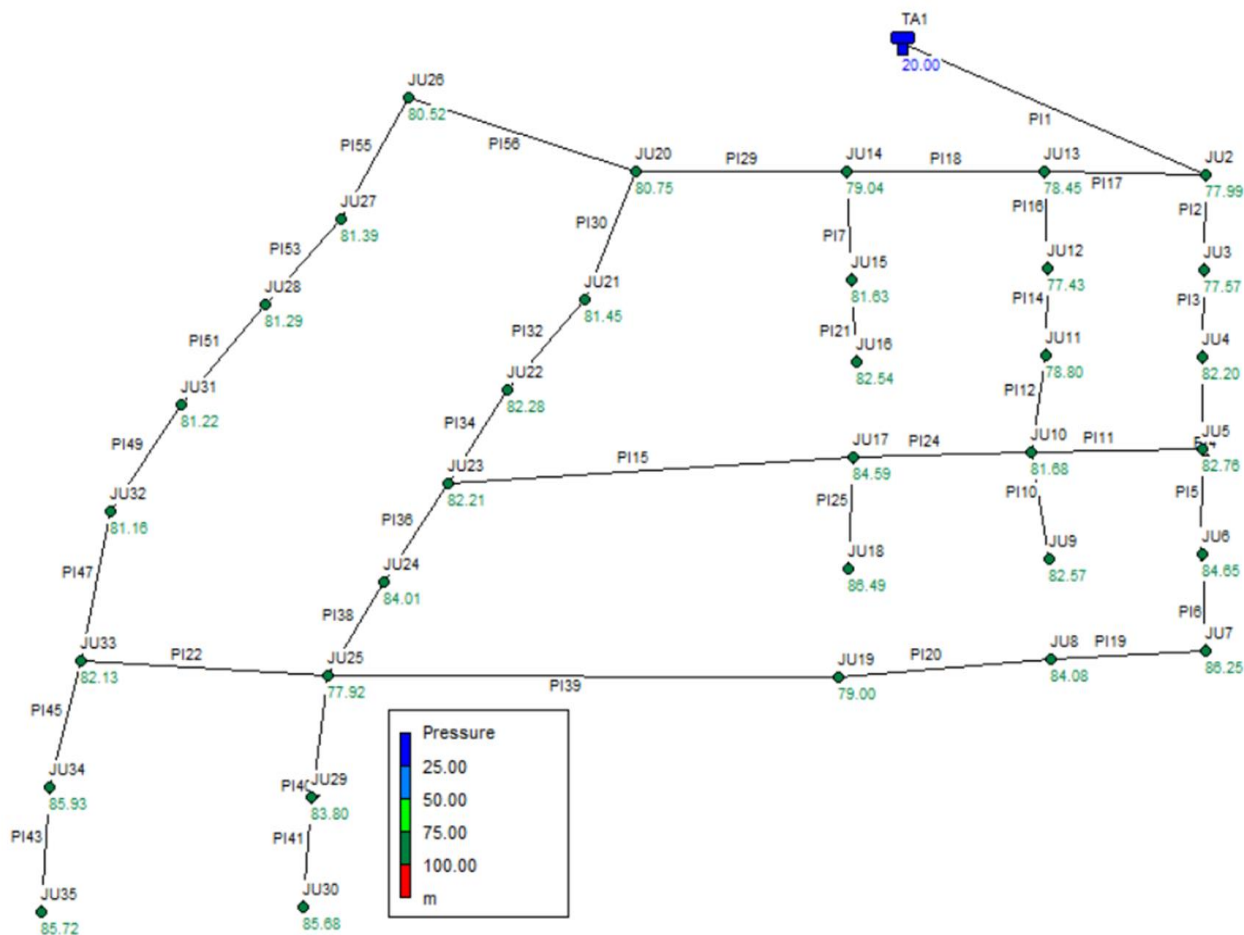
- Το πιεζομετρικό φορτίο (m)
- Το ύψος πίεσης (m)

Για τους αγωγούς:

- Η παροχή (l/s)
- Η ταχύτητα (m/s)
- Η πτώση πίεσης (m/km)
- Οι απώλειες (m)

4.3.2. Αποτελέσματα

Ύστερα από την επίλυση του δικτύου ύδρευσης του οικισμού της Όσσης μέσω του προγράμματος EPANET 2.0 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ύψους πίεσης σε κάθε κόμβο κατά την ώρα μέγιστης ζήτησης (Σχήμα 4.4).



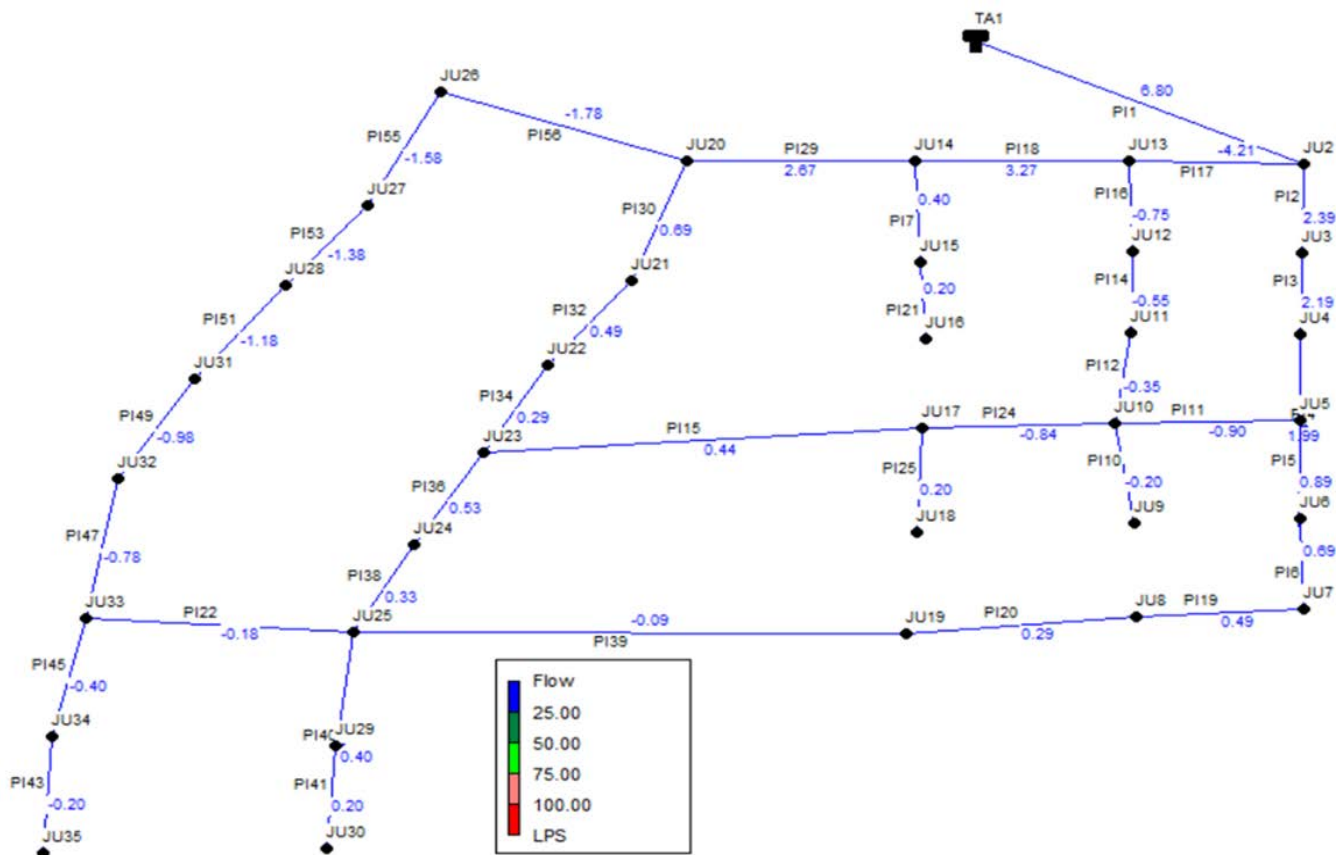
Σχήμα 4.4. Ύψος πίεσης κάθε κόμβου κατά την ώρα μέγιστης ζήτησης του δικτύου ύδρευσης του οικισμού Όσσης του Νομού Λάρισας με τη χρήση EPANET 2.0

Παρατηρήσεις επί των πιέσεων

Όλες οι πιέσεις που εμφανίζονται είναι εντός φυσιολογικού εύρους (77.4 m έως 84.9m), δηλαδή μεταξύ 75 και 100 μέτρων, το οποίο είναι αποδεκτό για συστήματα ύδρευσης, και δείχνει ότι:

- Δεν υπάρχουν επικίνδυνα χαμηλές ή υψηλές πιέσεις.
- Η λειτουργία του δικτύου είναι επαρκής από την άποψη της υδραυλικής πίεσης.

Στο παρακάτω Σχήμα 4.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παροχής κάθε αγωγού κατά την ώρα μέγιστης ζήτησης.



Σχήμα 4.5. Παροχή κάθε αγωγού κατά την ώρα μέγιστης ζήτησης του δικτύου ύδρευσης του οικισμού Όσσης του Νομού Λάρισας με τη χρήση EPANET 2.0.

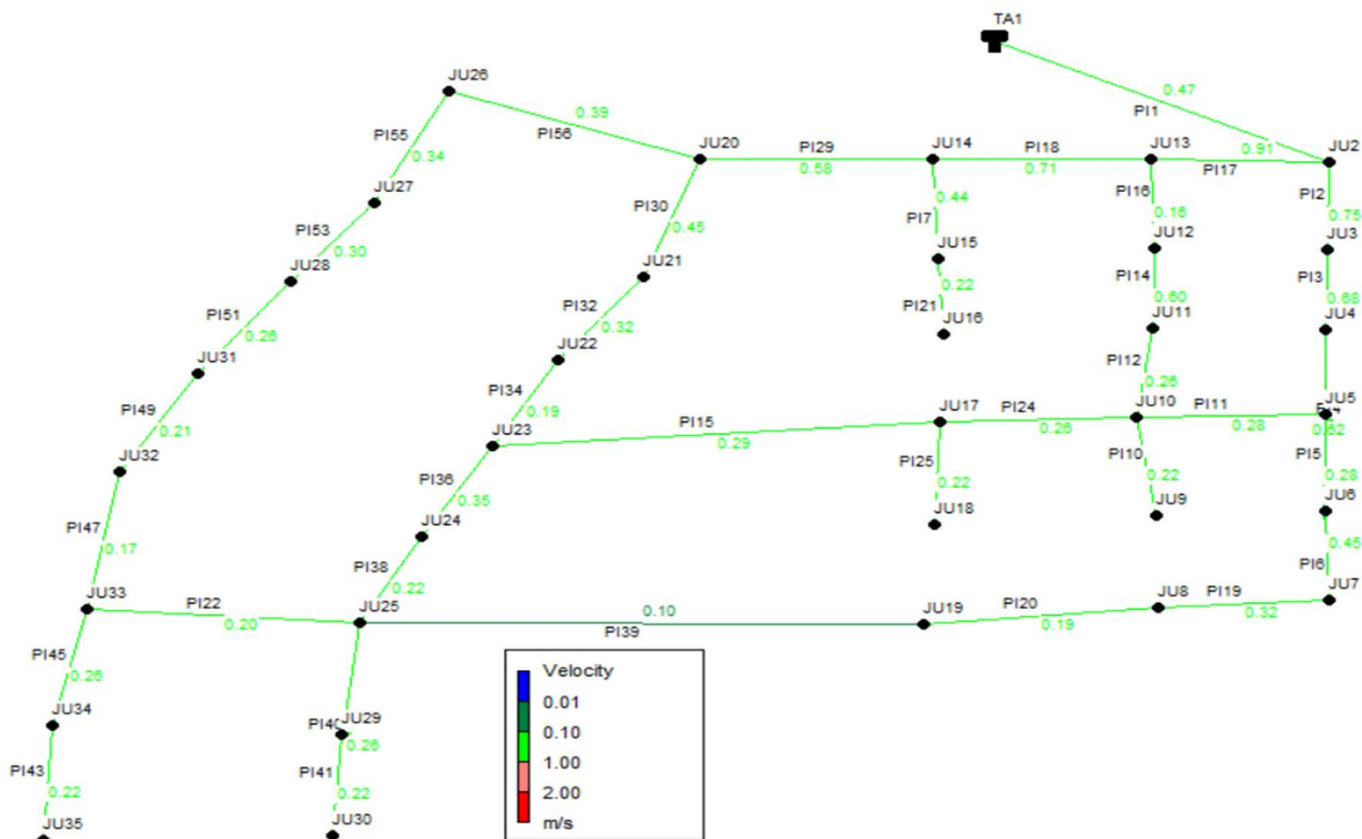
Παρατηρήσεις επί των παροχών

- Η παροχή από την πηγή είναι 6.80 l/s (PI1).
- Προς κεντρικούς αγωγούς έχουμε τιμές 3–4 l/s.
- Υπάρχουν αρκετές αρνητικές ροές. Αυτό δεν είναι πρόβλημα απλώς σημαίνει ότι η ροή έχει κατεύθυνση αντίθετη από αυτή που έχουμε ορίσει στο σχέδιο. Το πρόγραμμα το υπολογίζει σωστά, απλώς δείχνει την αλλαγή φοράς.

Συμπέρασμα:

- Το δίκτυο είναι εντάξει από πλευράς παροχών.
- Η τροφοδοσία προς κεντρικούς είναι επαρκής, και η κατανομή γίνεται κανονικά προς τα άκρα.

Στο παρακάτω Σχήμα 4.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ταχυτήτων κάθε αγωγού κατά την ώρα μέγιστης ζήτησης.



Σχήμα 4.6. Ταχύτητα κάθε αγωγού κατά την ώρα μέγιστης ζήτησης του δικτύου ύδρευσης του οικισμού Όσσης του Νομού Λάρισας με τη χρήση EPANET 2.0

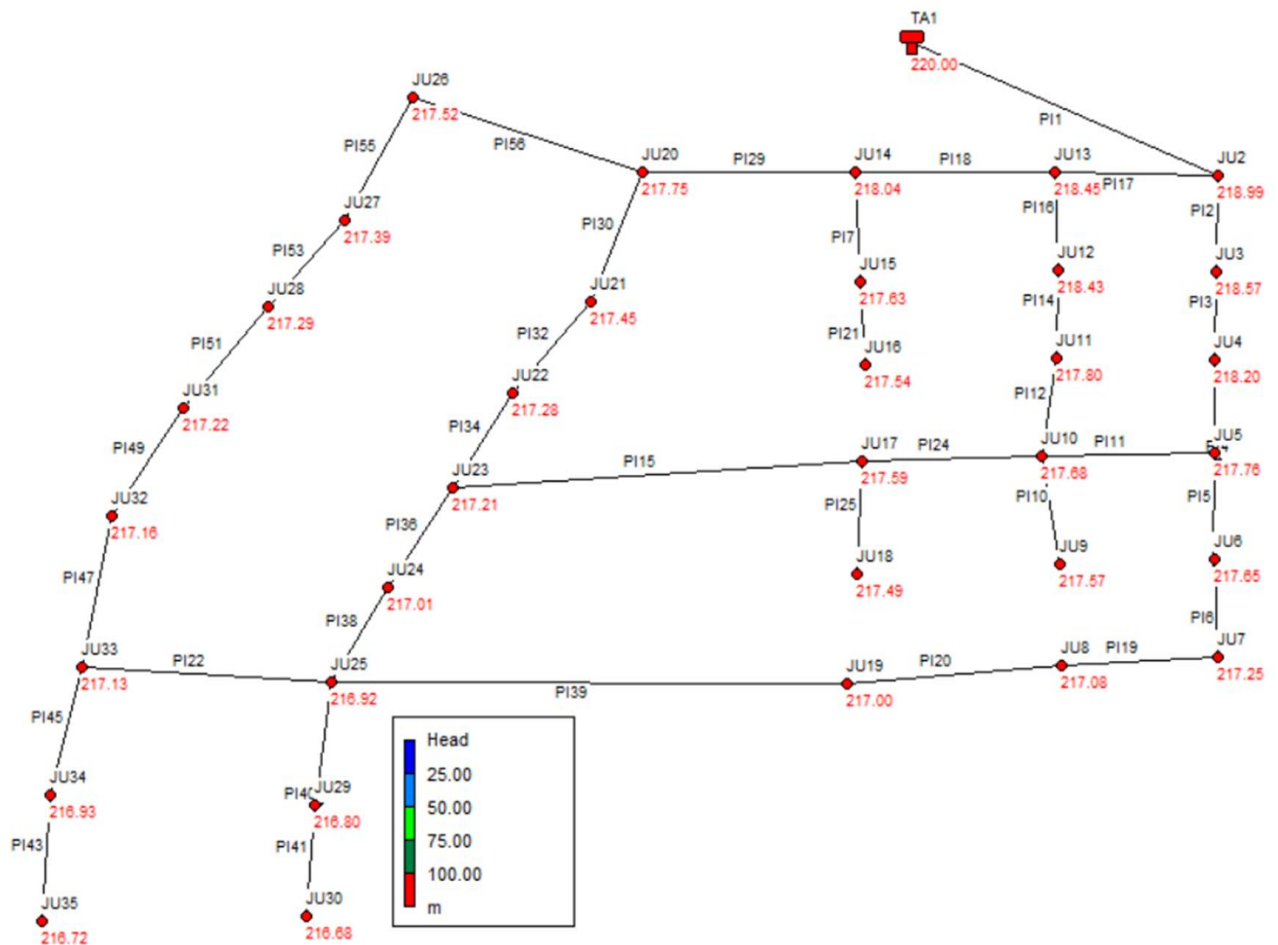
Παρατηρήσεις επί των ταχυτήτων

- Οι περισσότερες τιμές είναι πολύ καλές και κάτω από το όριο των 2.0 m/s.
- Οι παραπάνω αγωγοί υποδηλώνουν ότι υπό τις παρούσες συνθήκες το δίκτυο υπολειτουργεί (έχει ουσιαστικά υπερδιαστασιοποιηθεί). Επομένως, αναμένεται ότι θα λειτουργεί με ασφάλεια και σε περίπτωση μελλοντικής αύξησης του οικισμού (αύξηση κατανάλωσης νερού).

Συμπέρασμα:

- Το δίκτυο είναι εντάξει από άποψη ταχυτήτων.
- Οι κεντρικοί αγωγοί λειτουργούν σε ιδανικά επίπεδα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πιεζομετρικού φορτίου κάθε αγωγού (Σχήμα 4.7).



Σχήμα 4.7. Πιεζομετρικό φορτίο (Head) κάθε αγωγού

Παρατηρήσεις επί του πιεζομετρικού φορτίου κάθε αγωγού.

- Το πιεζομετρικό φορτίο μειώνεται ομαλά από τη δεξαμενή (TA1) προς τα άκρα του δικτύου.
- Δεν υπάρχουν απότομες πτώσεις, ούτε παράξενες ασυνέχειες άρα η ροή είναι ομαλή και υδραυλικά σωστή.
- Οι τιμές είναι πολύ κοντά μεταξύ τους (216–220 m), κάτι που δείχνει ότι το δίκτυο έχει μικρές απώλειες ενέργειας, δηλαδή είναι αποτελεσματικό.

Συμπέρασμα:

- Το δίκτυο είναι εντάξει από πλευράς υδραυλικού φορτίου.
- Οι απώλειες είναι λογικές και ισορροπημένες.
- Οι διαφορές μεταξύ κεντρικών και άκρων είναι φυσιολογικές και μικρές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στη χρήση του λογισμικού EPANET 2.0 ως ένα πρόγραμμα για την επίλυση δικτύων ύδρευσης. Μελετήθηκε και επιλύθηκε το δίκτυο ύδρευσης του οικισμού Όσσης του Νομού Λάρισας για τις περιπτώσεις μέγιστης κατανάλωσης νερού. Το υπάρχον δίκτυο ύδρευσης του οικισμού περιλαμβάνει υδατόπυργο και αποτελείται από αγωγούς πολυβινυλοχλωριδίου (PVC), διαμέτρων Φ40, Φ50, Φ75, Φ90 και Φ160.

Για τον μήνα αιχμής, που είναι ο Ιούλιος, η ημερήσια κατανάλωση ανά κάτοικο ανέρχεται σε 300 l/κάτοικο/ημέρα. Επίσης, για τον μήνα αιχμής η μέγιστη κατανάλωση είναι $Q_{\max-\eta\mu} = 104 \text{ l/s}$ για όλο τον οικισμό, ενώ η ωριαία κατανάλωση αιχμής για κάθε κόμβο είναι 2,97 l/s

Τα πιο σημαντικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την εξέταση των αποτελεσμάτων του δικτύου ύδρευσης είναι τα εξής:

- Αρχικά, η κατανομή του πιεζομετρικού φορτίου στο σύνολο του δικτύου παρέμεινε σε ομοιόμορφα επίπεδα γεγονός που υποδηλώνει ικανοποιητική μεταφορά υδραυλικής ενέργειας από τη δεξαμενή προς τους καταναλωτές.
- Οι περισσότερες τιμές είναι γύρω στο 80–84 m, και οι οποίες θεωρούνται κατάλληλες
- Όσον αφορά τις παροχές, το δίκτυο παρουσίασε ορθολογική κατανομή.
- Το δίκτυο είναι εντάξει από πλευράς παροχών.
- Η τροφοδοσία στους κεντρικούς αγωγούς είναι επαρκής, και η κατανομή γίνεται κανονικά προς τα άκρα.
- Οι ταχύτητες ροής βρίσκονται κατά κανόνα στο αποδεκτό εύρος. Επίσης, το ανώτατο όριο της ταχύτητας (μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή) δεν είναι μεγαλύτερη από 1,5m/s σε όλους τους αγωγούς του δικτύου. Υπό τις παρούσες συνθήκες το δίκτυο υπολειτουργεί (έχει ουσιαστικά υπερδιαστασιολογηθεί). Επομένως, αναμένεται ότι θα λειτουργεί με ασφάλεια και σε περίπτωση μελλοντικής αύξησης του οικισμού (αύξηση κατανάλωσης νερού).

Συνολικά, το υπό μελέτη δίκτυο μπορεί να θεωρηθεί λειτουργικό, με ικανοποιητική ικανότητα εξυπηρέτησης των καταναλωτικών αναγκών. Το πρόγραμμα EPANET 2.0 είναι ένα σημαντικό εργαλείο για προσομοιώσεις των δικτύων ύδρευσης. Όλο το περιβάλλον εργασίας του είναι αρκετά φιλικό στον χρήστη και μειώνει σημαντικά τον χρόνο επίλυσης των δικτύων. Οι δυνατότητες που παρέχει το πρόγραμμα είναι ότι πραγματοποιεί τόσο υδραυλική όσο και ποιοτική επίλυση του δικτύου ύδρευσης που εξετάζουμε. Μπορεί ακόμη να παρουσιάσει τα αποτελέσματα σε μορφή χαρτών, πινάκων ή διαγραμμάτων. Σημαντικό επίσης πλεονέκτημα του προγράμματος EPANET 2.0 είναι ότι αυτό διατίθεται χωρίς οικονομικό κόστος γιατί είναι ελεύθερο προς χρήση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Mays L., 1999. *Water Distribution Systems Handbook*, Department of Civil and Environmental Engineering Arizona State University, Temple, Arizona.
- McGhee T. J., 1991. *Water Supply and Sewerage*, McGraw-Hill, Inc., N.Y., USA.
- Pitt R., Clark S. and Maestre A., 2004. A Step by Step Guide to EPANET 2.0 Simulations.
- Rossman L.A., 2000. EPANET 2.0 Users Manual, ([www.epa.gov/NRMRL/wswrd/dw/epanet/ EN2manual.PDF](http://www.epa.gov/NRMRL/wswrd/dw/epanet/EN2manual.PDF)), Cincinnati, OH, USA.
- US Environmental Protection Agency, 2018. Epa.gov. EPANET: Water Research. <https://www.epa.gov/waterresearch/epanet>.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αναγνωστόπουλος Χ., 2014. Βελτιστοποίηση Δικτύου Ύδρευσης Ανθηρού Καστοριάς με Χρήση Λογισμικού Προγράμματος, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Τεχνολογίας Πετρελαίου & Φυσικού Αερίου Τ.Ε και Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., Σ.Τ.Ε.Φ., Τ.Ε.Ι. Καβάλας.
- Αφτιάς Μ., 1992. *Υδρεύσεις*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Βαφειάδης Γ., 2008. Μέθοδοι Επίλυσης Κλειστών Δικτύων Ύδρευσης Οικισμών. Δίκτυο μελέτης: Οικισμού Μανδρακίου Νισύρου, Διπλωματική Εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων, Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδάτων, ΣΑΤΜ, Ε.Μ.Π, Αθήνα.
- Γιαννόπουλος Σ., Βοχαΐτης Δ., 2003. Βελτίωση της Αξιοπιστίας των Δικτύων Ύδρευσης, Από τα άστρα στη γη και τον πολιτισμό, Αφιέρωμα στη μνήμη του Καθηγητή Αλέξανδρου Τσιούμη, Τομέας Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών Έργων, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Α.Π.Θ. 50-57.
- Ζώτος Π., 2013. Υπολογισμός δικτύων ύδρευσης. Διαστασιολόγηση και επίλυση κυκλοφοριακών δικτύων με τη χρήση των λογισμικών WatDis και EPANET 2.0, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Σ.Τ.Ε.Φ., Τ.Ε.Ι. Λάρισας.
- Καρακατσούλη Ε., 2008. Χρήση Μοντέλων Επίλυσης Κυκλοφοριακών Δικτύων Ύδρευσης Οικισμών, Διπλωματική Εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων, Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδάτων, ΣΑΤΜ, Ε.Μ.Π, Αθήνα.
- Κόλλιας Π. Σ., 2010. *Υδρεύσεις: Επιφανειακά – Υπόγεια Ύδατα - Δίκτυα Διανομής - Εγκαταστάσεις*, Εκδόσεις Λύχνος, Αθήνα.
- Κορρές Ε., 2003. Μελέτη Δικτύου Ύδρευσης Κοινότητας Κορωνίδας Νάξου, Διπλωματική Εργασία, Σ.Τ.Ε.Α.ΜΧ., Αθήνα.
- Κωτσόπουλος Σ. Ι., 2006. *Υδρολογία*, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.
- Κωτσόπουλος Σ. Ι., 2013. *Υδρεύσεις*, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.
- Λιακόπουλος Α., 2016. *Υδραυλική*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

- Ρούσσης Α.Α., 2010. Πρόταση Αναβάθμισης του Δικτύου Ύδρευσης της Νισύρου με Χρήση Μοντέλων Επίλυσης Δικτύων Ύδρευσης, Διπλωματική Εργασία, Τομέας Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδάτων, ΣΑΤΜ, Ε.Μ.Π, Αθήνα.
- Τριανταφυλλίδης Σ. Α., 1978. *Γενικά Υδραυλικά Έργα-Υδρεύσεις*, Αθήνα.
- Τσαγκολλάρι Φ., 2018. Σχεδιασμός Δικτύου Παροχής Νερού με το Λογισμικό EPANET, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., Πτυχιακή Εργασία, Σ.Τ.ΕΦ., Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδος, Πάτρα.
- Τσακίρης Γ., 1995. *Υδατικοί Πόροι. Ι. Τεχνική Υδρολογία*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Τσακίρης Γ., 2006. *Υδραυλικά Έργα Σχεδιασμός & Διαχείριση, Τόμος II*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Τσακίρης Γ., 2008. *Υδρεύσεις Οικισμών*, Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Τσόγκας Χ., 1993. *Υδρεύσεις*, Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα.
- Χατζηαγγέλου Η., 1996. *Υδρεύσεις, Σημειώσεις*, Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Χολέβας Γ., 2019. Αριθμητική Προσομοίωση του Υφιστάμενου Δικτύου Ύδρευσης του Οικισμού Ανατολής του Δήμου Ιωαννίνων με Χρήση του Ανοικτού Λογισμικού EPANET 2.0: Μοντελοποίηση, μελέτη σεναρίων και προτάσεις βελτίωσης, Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας, Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Έργων Υποδομής, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.