
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ- ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ
ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΗΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ
ΖΩΓΡΑΦΟΥ**

**ΜΠΕΣΙΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ
ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΜΠ
besiou@gmail.com**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ**

Αθήνα, Οκτώβριος 2010

*Στους γονείς μου,
Δημήτρη και Αφροδίτη*

"Δύο πράγματα πρέπει να δίνουν οι γονείς στα παιδιά τους: Ρίζες και Φτερά"

J.W.Goethe

Ευχαριστίες

Φτάνοντας στο τέλος αυτής της εργασίας, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους, για την πολύτιμη βοήθειά που μου προσέφεραν όλο αυτό το διάστημα.

Καταρχήν, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στο επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Δημήτρη Κουτσογιάννη, ο οποίος μου έδωσε την δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα και με την πολύτιμη καθοδήγησή του με βοήθησε ουσιαστικά στη διεκπεραίωση της εργασίας αυτής.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον κ. Ανδρέα Ευστρατιάδη, Διδάκτορα Μηχανικό, για όλο τον χρόνο που μου διέθεσε, παρά το βεβαρημένο πρόγραμμά του και τις συμβουλές του που με διευκόλυναν σε δύσκολες στιγμές κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Σημαντική ήταν και η βοήθεια των υπόλοιπων μελών της ερευνητικής ομάδας ΙΤΙΑ, προμηθεύοντάς μου σημαντικές πληροφορίες που αξιοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ιωάννη Κοντό, υπάλληλο της Τεχνικής Υπηρεσίας του ΕΜΠ ο οποίος μου παρείχε πληροφορίες και αρχεία που φάνηκαν ιδιαίτερος χρήσιμα για τη διεκπεραίωση της εργασίας αυτής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δικούς μου ανθρώπους. Τους φίλους μου, που όλα αυτά τα χρόνια συμπορευόμαστε και στηρίζουμε ο ένας τον άλλο. Τον Μάνο, και την αδερφή μου Ευγενία για την υπομονή, την αγάπη και τη συμπαράστασή τους όλο αυτό το διάστημα και φυσικά τους γονείς μου, οι οποίοι με αρκετό κόπο, την αγάπη και την εμπιστοσύνη τους με στήριξαν σε όλη αυτή τη διαδρομή και στους οποίους οφείλω ένα μεγάλο μέρος από όσα κατάφερα μέχρι σήμερα.

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία ασχολείται με τη διερεύνηση και την αξιολόγηση ορισμένων εναλλακτικών λύσεων με σκοπό τον ανασχεδιασμό της ύδρευσης της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου. Το υφιστάμενο δίκτυο, λόγω παλαιότητας, παρουσιάζει φαινόμενα υποβάθμισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού σε ορισμένα σημεία με αποτέλεσμα να μην ικανοποιούνται οι ανάγκες των καταναλωτών προς πόση.

Αρχικά, λοιπόν, μετά από μια αναζήτηση σχετικά με τις παγκόσμιες τάσεις που επικρατούν στο θέμα του σχεδιασμού των δικτύων ύδρευσης, διερευνήθηκε η λειτουργία ενός διπλού δικτύου ύδρευσης εντός της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου το οποίο περιελάμβανε την κατασκευή ενός νέου δικτύου πόσιμου νερού και τη χρησιμοποίηση του υφιστάμενου δικτύου ως δευτερεύον με σκοπό να καλύπτει όλες τις άλλες δραστηριότητες εκτός της πόσης και της προσωπικής υγιεινής. Ο σχεδιασμός αυτού του νέου δικτύου έγινε με το υπολογιστικό πρόγραμμα EPANET (U.S. Environmental Protection Agency), στο οποίο εισήχθησαν τα κατάλληλα δεδομένα. Με βάση την ανάλυση μέσω του προγράμματος προέκυψαν τα στοιχεία εκείνα τα οποία θα μας βοηθήσουν στη διαστασιολόγηση του νέου δικτύου.

Εναλλακτικά, εξετάστηκαν δύο ακόμα λύσεις οι οποίες αφορούσαν στη χρησιμοποίηση του νερού του υφιστάμενου δικτύου. Αυτές ήταν η τοποθέτηση ειδικών φίλτρων καθαρισμού του νερού και εγκατάσταση ψυκτών εμφιαλωμένου νερού και δικτύου. Οι υπολογισμοί για τις δύο αυτές λύσεις, έγιναν με βάση τα νέα κτίρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών.

Μετά από την παράθεση των λύσεων αυτών, πραγματοποιήθηκε μια τεχνικοοικονομική διερεύνηση η οποία είχε σκοπό σκοπός μια προσεγγιστική εκτίμηση των δαπανών κατασκευής-αγοράς και των λειτουργικών εξόδων της κάθε προτεινόμενης λύσης.

Abstract

The objective of this thesis is to examine and evaluate alternative solutions for the water supply of the NTUA's Campus (National Technical University of Athens), in the Municipality of Zografos.

According to a recent research held by the Faculty of Chemical Engineering of NTUA, the present water supply network is facing problems of low water quality due to the corrosion of the network's pipes. After the study and the analysis of worldwide examples about water supply networks, we decided to examine the operation of a dual water supply system within the area of the NTUA Campus.

Dual water supply systems feature two separate distribution systems that supply potable water through the one network and non-potable water through the other. The two networks work independently from each other within the same area. The potable water system conveys drinking water, while the non-potable system conveys water for landscape irrigation, toilet flushing, firefighting and other purposes that do not require potable water's standards. The present network in NTUA Campus will be used as the secondary system (non-potable) while the construction of a new primary network (potable) is examined.

The design of this new network was performed using the EPANET software (U.S. Environmental Protection Agency) that models water distribution pipe systems. With EPANET, having the required information, we tracked the flow and the velocity of the water in each pipe of the network and the pressure of each node, during a simulation period, running a Single Period Analysis. The hydraulic head loss of each pipe was computed using the Darcy-Weisbach formula. After this simulation we concluded to certain pipe dimensions and pressure grades.

Moreover, we examined two alternative solutions, using the present network as primary supply. The first one was the installation of granular activated carbon filters in order to remove the suspended solids and other substances from the water. The second solution

concerned the operation of water coolers in certain areas of the Campus in order to provide drinking water to the consumers. The number of the demanded filter devices and water coolers was estimated using as an example the New Buildings of the Civil Engineering faculty in NTUA.

At the end of the thesis, we attempted an evaluation, including economical features, of all the proposed solutions.

Κατάλογος Περιεχομένων

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	2
1.2	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	3
1.3	ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟΥ	8
2.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	10
2.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	10
2.2	ΔΙΠΛΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	12
2.2.1	Ορισμός των διπλών δικτύων.....	13
2.2.2	Περιγραφή της λειτουργίας των διπλών δικτύων	14
2.2.3	Παραδείγματα εφαρμογής.....	17
2.3	ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ	23
2.3.1	Ανίχνευση διαρροών δικτύων.....	24
2.3.2	Χρησιμοποίηση γκρίζου νερού σε κτιριακές εγκαταστάσεις	25
2.3.3	Ελεγχόμενη άρδευση.....	28
2.3.4	Οικιακοί τρόποι εξοικονόμησης νερού	28
3.	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΔΙΚΤΥΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ.....	30
3.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	30
3.2	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	33
4.	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΣΗ ΝΕΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ	42
4.1	ΠΕΡΙ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	42
4.1.1	ΕΙΔΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ.....	43
4.1.2	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	44
4.1.2.1	Εξασφάλιση της ελάχιστης απαιτούμενης πίεσης	44
4.1.2.2	Περιορισμός της μέγιστης πίεσης.....	45
4.1.2.3	Προστασία από υδραυλικό πλήγμα	45
4.1.3	ΕΙΔΗ ΑΓΩΓΩΝ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ	45
4.1.3.1	Είδη αγωγών δικτύων ύδρευσης.....	45
4.1.3.2	Ειδικές συσκευές δικτύων ύδρευσης.....	47
4.2	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	50
4.2.1	ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ EPANET.....	52
4.3	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΝΕΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	54
4.3.1	Υπολογισμός Καταναλώσεων	58

Περιεχόμενα

4.3.2	Στοιχεία του δικτύου.....	61
4.3.3	Προσομοίωση του δικτύου	64
5.	ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	74
5.1	ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΦΙΛΤΡΩΝ	74
5.2	ΧΡΗΣΗ ΨΥΚΤΩΝ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΨΥΚΤΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	82
6.	ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ	89
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	99
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	102

Κατάλογος Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 2-1 : ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΧΩΡΙΣ ΑΜΕΣΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΣΕ ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ (ΠΗΓΗ UN WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT, 2008).....	11
ΕΙΚΟΝΑ 2-2 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΔΙΠΛΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ (ΠΗΓΗ WWW.SYDNEYWATER.COM.AU).....	14
ΕΙΚΟΝΑ 2-3 ΧΡΩΜΑΤΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΔΙΚΤΥΩΝ (ΠΗΓΗ WWW.LIMNO.COM)	16
ΕΙΚΟΝΑ 2-4 ΑΡΔΕΥΣΗ ΠΑΡΚΩΝ ΣΤΟ NAPA VALLEY COLLEGE ΚΑΙ ΣΤΟ KENNEDY PARK ΣΤΗΝ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ (ΠΗΓΗ WWW.NAPAVALLEYREGISTER.COM).....	19
ΕΙΚΟΝΑ 2-5 ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΟΛΙΤΕΙΑ ΤΗΣ ΦΛΟΡΙΝΤΑ (ΠΗΓΗ WWW.TAMPAGOV.NET ΚΑΙ WWW.DEP.STATE.FL.US/WATER/REUSE/).....	19
ΕΙΚΟΝΑ 2-6 ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΠΥΡΟΣΒΕΣΗ, SYDNEY-AUSTRALIA (ΠΗΓΗ WWW.SYDNEYWATER.COM.AU).....	20
ΕΙΚΟΝΑ 2-7 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΝΤΑΙ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΧΟΝΓΚ ΚΟΝΓΚ (ΠΗΓΗ TANG ET AL.,2007)	21
ΕΙΚΟΝΑ 2-8 ΟΧΙΑΙ CENTER, TOKYO-JAPAN (ΠΗΓΗ WWW.GESUI.METRO.TOKYO.JP).....	22
ΕΙΚΟΝΑ 2-9 ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ BANK OF AMERICA TOWER, NY (ΠΗΓΗ WWW.ARCH.AUTH.GR/UPLOADS/MEDIA/08.PDF)	23
ΕΙΚΟΝΑ 2-10 ΑΕΣΥΡΜΑΤΗ ΚΑΙ ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ (ΠΗΓΗ WWW.LINELOCATORS.COM ΚΑΙ WWW.WATERCOPDEALER.COM)	24
ΕΙΚΟΝΑ 2-11 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΕΙΑΣ ΤΟΥ ΤΕΞΑΣ (ΠΗΓΗ WWW.AZWATER.GOV)	25
ΕΙΚΟΝΑ 2-12 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΓΚΡΙΖΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΟΙΚΙΑ (ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ WWW.TANKEDAUSTRALIA.COM.AU).....	26
ΕΙΚΟΝΑ 2-13 ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ, LANGSTON BROWN COMMUNITY CENTER AND HIGH SCHOOL ARLINGTON, VIRGINIA (ΠΗΓΗ WWW.ARCH.AUTH.GR/UPLOADS/MEDIA/08.PDF)	27
ΕΙΚΟΝΑ 2-14 ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΓΚΡΙΖΟΥ ΝΕΡΟΥ	27
ΕΙΚΟΝΑ 2-15 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΒΡΟΧΗΣ ΣΤΗΝ ΟΡΟΦΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΕΝΣΥΡΜΑΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ (ΠΗΓΗ WWW.TORO.COM.AU)	28
ΕΙΚΟΝΑ 4-1 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΑΚΤΙΝΩΤΟΥ ΚΑΙ ΒΡΟΧΩΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ (ΠΗΓΗ ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ, 2006).....	43
ΕΙΚΟΝΑ 4-2 ΔΙΚΛΕΙΔΕΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ, ΜΟΡΦΗΣ ΣΥΡΤΗ ΣΤΑ ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΚΑΙ ΜΟΡΦΗΣ ΠΕΤΑΛΟΥΔΑΣ ΣΤΑ ΔΕΞΙΑ (ΠΗΓΗ WWW.CHRYSsafidis.COM).....	48
ΕΙΚΟΝΑ 4-3 ΒΑΛΒΙΔΑ ΑΝΤΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ ΚΑΙ ΒΑΛΒΙΔΑ ΑΝΤΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΕΜΦΡΑΞΗΣ (ΠΗΓΗ WWW.GEMAK.GR)	48
ΕΙΚΟΝΑ 4-4 ΑΕΡΕΞΑΓΩΓΟΣ ΔΙΠΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ (ΠΗΓΗ WWW.GEMAK.GR).....	49
ΕΙΚΟΝΑ 4-5 ΜΕΙΩΤΕΣ ΠΙΕΣΗΣ ΔΙΠΛΟΥ ΚΑΙ ΜΟΝΟΥ ΘΑΛΑΜΟΥ (ΠΗΓΗ WWW.CHRYSsafidis.COM).....	50
ΕΙΚΟΝΑ 5-1 ΦΙΛΤΡΟ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ HOME CARBON – UV (ΠΗΓΗ WWW.TEMAK.GR)	75

Περιεχόμενα

ΕΙΚΟΝΑ 5-2 ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΟ ΦΙΛΤΡΟ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ (ΠΗΓΗ WWW.ALARCO.GR)	75
ΕΙΚΟΝΑ 5-3 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΟΣ ΤΥΠΙΚΟΥ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ ΕΝΕΡΓΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ-UV (ΠΗΓΗ WWW.ALARCO.GR)	76
ΕΙΚΟΝΑ 5-4 ΝΕΑ ΚΤΙΡΙΑ ΣΧΟΛΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ	78
ΕΙΚΟΝΑ 5-5 ΚΤΙΡΙΟ 1 ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΤΗΝ ΔΥΤΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ (ΙΣΟΓΕΙΟ), ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΝΕΩΝ ΕΞΟΔΩΝ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΦΙΛΤΡΩΝ.....	79
ΕΙΚΟΝΑ 5-6 ΨΥΚΤΗΣ ΕΜΦΙΑΛΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ (ΠΗΓΗ WWW.EBACWATERCOOLERS.COM)	83
ΕΙΚΟΝΑ 5-7 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΨΥΚΤΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ (ΠΗΓΗ WWW.EBACWATERCOOLERS.COM)	85
ΕΙΚΟΝΑ 5-8 ΤΡΟΠΟΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΤΗΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ (ΠΗΓΗ WWW.EBACWATERCOOLERS.COM)	85
ΕΙΚΟΝΑ 5-9 ΨΥΚΤΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ (ΠΗΓΗ WWW.RAINBOWGROUP.GR ΚΑΙ WWW.W-S.GR).....	86

Κατάλογος Σχημάτων

ΣΧΗΜΑ 1-1 ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	5
(ΣΧΗΜΑ 1-2 ΠΑΡΟΥΣΑ ΜΟΡΦΗ ΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ).....	6
ΣΧΗΜΑ 2-1: ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΤΗΣ ΓΗΣ ΜΕΧΡΙ ΤΟ ΕΤΟΣ 2050 (ΠΗΓΗ UN & US CENSUS BUREAU, 2009-2010).....	12
ΣΧΗΜΑ 2-2: ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΠΛΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.	13
ΣΧΗΜΑ 2-3 ΟΙΚΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ (ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ, ΜΑΜΑΝΗΣ, ΕΜΠ, 2009).....	15
ΣΧΗΜΑ 3-1 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΔΙΚΤΥΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ.....	32
ΣΧΗΜΑ 4-1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΧΗΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΡΑΝΕΤ	53
ΣΧΗΜΑ 4-2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ.....	57
ΣΧΗΜΑ 4-3 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (ΩΡΙΑΙΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ).....	61
ΣΧΗΜΑ 4-4 ΤΟΜΗ ΤΟΥ ΣΚΑΜΜΑΤΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ	62
ΣΧΗΜΑ 4-5 ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗ ΕΝΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΕΥΔΑΠ	63
ΣΧΗΜΑ 4-6 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΚΤΥΟΥ 1	65
ΣΧΗΜΑ 4-7 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΚΤΥΟΥ 2	65
ΣΧΗΜΑ 4-8 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΚΤΥΟΥ 3.....	66
ΣΧΗΜΑ 6-1 ΔΑΠΑΝΕΣ 1 ^{ΟΥ} ΕΤΟΥΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΧΑΜΗΛΟΤΕΡΕΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΤΙΜΕΣ	92
ΣΧΗΜΑ 6-2 ΔΑΠΑΝΕΣ 1 ^{ΟΥ} ΕΤΟΥΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΥΨΗΛΟΤΕΡΕΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΤΙΜΕΣ	93
ΣΧΗΜΑ 6-3 ΔΑΠΑΝΕΣ 1 ^{ΟΥ} ΕΤΟΥΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΜΕΣΕΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΤΙΜΕΣ.....	93
ΣΧΗΜΑ 6-4 ΔΑΠΑΝΕΣ ΕΩΣ ΤΟ 5 ^Ο ΕΤΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΥΨΗΛΟΤΕΡΕΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΤΙΜΕΣ.....	96
ΣΧΗΜΑ 6-5 ΔΑΠΑΝΕΣ ΕΩΣ ΤΟ 5 ^Ο ΕΤΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΧΑΜΗΛΟΤΕΡΕΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΤΙΜΕΣ	97
ΣΧΗΜΑ 6-6 ΔΑΠΑΝΕΣ ΕΩΣ ΤΟ 5 ^Ο ΕΤΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΜΕΣΕΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΤΙΜΕΣ	97

Κατάλογος Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-1 : ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ (ΠΗΓΗ ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΕΜΠ, 2008)	7
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΝΑ ΘΕΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ – ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ 9/1/2007	35
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΝΑ ΘΕΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ – ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ 9/1/2007 (ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ Ε.Υ.Δ.Α.Π.).....	37
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ 3-1 ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΠΡΟΣ ΠΟΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΧΛΩΡΙΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ (ΔΕΙΓΜΑ 02/07) ΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ – ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ 9/1/07 (ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΥΔΑΠ)	38
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΠΟΛΥΚΥΚΛΙΚΩΝ ΑΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (ΡΑΗs) ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΧΛΩΡΙΩΜΕΝΩΝ ΠΑΡΑΣΙΤΟΚΤΟΝΩΝ ΣΤΟ ΝΕΡΟ ΤΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΧΛΩΡΙΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ (ΔΕΙΓΜΑ 02/07, ΠΙΝΑΚΑΣ 1)– ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ 9/1/07 (ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΥΔΑΠ)	38
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-1 ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ ΑΓΩΓΩΝ ΑΠΟ ΠΟΛΥΒΙΝΥΛΟΧΛΩΡΙΔΙΟ (PVC) (ΠΗΓΗ HTTP://WWW.ITIA.NTUA.GR/GETFILE/717/4/DOCUMENTS/2006WATERSUPPLYLAYOUT.PDF).....	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-2 ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ ΑΓΩΓΩΝ ΑΠΟ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟ 3 ^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ (HDPE)	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-3 ΚΟΜΒΟΙ, ΕΜΒΑΔΑ ΚΑΙ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΔΙΚΤΥΟΥ 1.....	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-4 ΚΟΜΒΟΙ, ΕΜΒΑΔΑ ΚΑΙ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΔΙΚΤΥΟΥ 2.....	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-5 ΚΟΜΒΟΙ, ΕΜΒΑΔΑ ΚΑΙ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΔΙΚΤΥΟΥ 3.....	56
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-6 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-7 ΣΤΙΓΜΙΑΙΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΚΟΜΒΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 1	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-8 ΣΤΙΓΜΙΑΙΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΚΟΜΒΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 2	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-9 ΣΤΙΓΜΙΑΙΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΚΟΜΒΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 3	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-10 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΓΩΓΩΝ ΚΑΙ ΚΟΜΒΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ 1	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-11 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΓΩΓΩΝ ΚΑΙ ΚΟΜΒΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ 2	68
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-12 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΓΩΓΩΝ ΚΑΙ ΚΟΜΒΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ 3	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-13 ΠΙΕΣΕΙΣ ΔΙΚΤΥΟΥ 1 ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-14 ΠΙΕΣΕΙΣ ΔΙΚΤΥΟΥ 2 ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-15 ΠΙΕΣΕΙΣ ΔΙΚΤΥΟΥ 3 ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-1 ΕΜΒΑΔΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-2 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΨΥΚΤΩΝ ΣΤΑ ΝΕΑ ΚΤΙΡΙΑ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 6-1 ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΝΕΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ	90

Περιεχόμενα

ΠΙΝΑΚΑΣ 6-2 ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΚΟΣΤΗ ΑΓΟΡΑΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΨΥΚΤΩΝ.....	92
ΠΙΝΑΚΑΣ 6-3 ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΝΕΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΩΣ ΚΑΙ ΤΟ 5 ^ο ΕΤΟΣ.....	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 6-4 ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΦΙΛΤΡΩΝ ΕΩΣ ΚΑΙ ΤΟ 5 ^ο ΕΤΟΣ.....	95
ΠΙΝΑΚΑΣ 6-5 ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΨΥΚΤΩΝ ΕΩΣ ΚΑΙ ΤΟ 5 ^ο ΕΤΟΣ.....	96

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη διατήρηση της ζωής. Από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα οι άνθρωποι, στην προσπάθειά τους να έχουν άμεση και διαρκή πρόσβαση σε αυτό, κατασκεύασαν δίκτυα μεταφοράς και διανομής νερού τα οποία εξελίχθηκαν μέσα στο χρόνο ταυτόχρονα με την ανάπτυξη των πολιτισμών.

Παρότι σε πολλές ακόμα περιοχές της γης η πρόσβαση σε πόσιμο νερό δεν θεωρείται αυτονόητη, στις περισσότερες χώρες και με τη βοήθεια της ολοένα αναπτυσσόμενης τεχνολογίας τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής του νερού βελτιώνουν και τελειοποιούν τη λειτουργία τους.

Σκοπός γενικά των έργων ύδρευσης είναι η εξασφάλιση του απαιτούμενου νερού, σε επαρκή ποσότητα και κατάλληλη ποιότητα και η μεταφορά και διανομή του με υψηλή αξιοπιστία σε μια οικιστική περιοχή για την εξυπηρέτηση των πάσης φύσεως αναγκών της σε νερό. (Κουτσογιάννης, 2007)

Το γεγονός αυτό δε σημαίνει βέβαια, ότι όλα υφιστάμενα δίκτυα λειτουργούν αποτελεσματικά καθώς ένα μεγάλο ποσοστό αυτών σημειώνει προβλήματα λειτουργίας και μεγάλες διαρροές νερού. Δεδομένης της μεγάλης ανάγκης για εξοικονόμηση νερού, είναι απαραίτητη η επιδιόρθωση των παλιών ή η κατασκευή νέων δικτύων. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας συνεισφέρει πλέον σε μεγάλο βαθμό τόσο στο σχεδιασμό όσο και στην κατασκευή των δικτύων, μέσω των προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών και την χρήση νέων τύπων υλικών.

Ταυτόχρονα, η ανάπτυξη της τεχνολογίας προσφέρει νέους τρόπους επεξεργασίας, ανάκτησης και διάθεσης του νερού καθώς και άλλες μεθόδους και εγκαταστάσεις μικρότερης κλίμακας που μπορούν να συνεισφέρουν στην ορθότερη διαχείριση των υδατικών μας αναγκών. Πλέον, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη αναλυτικότερης διερεύνησης του συνόλου των εξεταζόμενων παραμέτρων κατά το σχεδιασμό των

δικτύων μεταφοράς και διανομής νερού έτσι ώστε να μπορούν να συμβάλλουν αποτελεσματικά στην εξοικονόμηση και διατήρηση της ποιότητας των υδατικών μας πόρων.

1.1 ANTIKEIMENO MEΛΕΤΗΣ - ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Θεωρώντας την Πολυτεχνειούπολη του Ζωγράφου ως μία μικρή “ιδιόμορφη” πόλη, διερευνήσαμε τον ανασχεδιασμό του υδρευτικού της δικτύου και μελετήσαμε ορισμένους εναλλακτικούς τρόπους παροχής κατάλληλων προδιαγραφών πόσιμου νερού στους καταναλωτές της. Βασικός λόγος που οδήγησε σε αυτή τη διερεύνηση είναι η παλαιότητα του υφιστάμενου δικτύου η οποία συνοδεύεται από προβλήματα διαρροών καθώς και υποβάθμισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού κατά τη διανομή. Έτσι, μελετήθηκαν διάφοροι εναλλακτικοί τρόποι ορθότερης διαχείρισης του υδρευτικού συστήματος της Πολυτεχνειούπολης. Μια από αυτές τις λύσεις περιλαμβάνει την κατασκευή νέου δικτύου πόσιμου νερού με ταυτόχρονη χρησιμοποίηση του υφιστάμενου δικτύου για όλες τις υπόλοιπες ανάγκες εκτός της πόσης. Επίσης, μελετήθηκαν ορισμένοι τρόποι βελτίωσης της ποιότητας του παρεχόμενου νερού μέσω του υφιστάμενου δικτύου.

Αρχικά, στο παρόν κεφάλαιο, γίνεται μια παρουσίαση της υπό μελέτης περιοχής και ορισμένων γενικών χαρακτηριστικών της, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζεται η εξέλιξη της κατασκευής των υποδομών εντός της Πολυτεχνειούπολης.

Το δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει μια βιβλιογραφική επισκόπηση σχετικά με τις τάσεις που επικρατούν τόσο στη διαχείριση του πόσιμου νερού όσο και στις τεχνολογίες συλλογής, μεταφοράς και διανομής του, με έμφαση στην τεχνολογία των διπλών δικτύων και σε άλλες μικρότερης κλίμακας τεχνολογίες.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρατίθενται στοιχεία που αφορούν το υφιστάμενο δίκτυο ύδρευσης της Πολυτεχνειούπολης. Αυτά αφορούν κυρίως στον τρόπο λειτουργίας του και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του. Τα στοιχεία αυτά θα μας βοηθήσουν σε ότι αφορά τη διερεύνηση των εναλλακτικών προτεινόμενων λύσεων του κεφαλαίου 5.

Το κεφάλαιο τέσσερα ξεκινά με μια αναφορά στα δίκτυα ύδρευσης και στη μαθηματική προσομοίωση αυτών, ενώ στη συνέχεια γίνεται εκτίμηση των καταναλώσεων του νέου δικτύου και παράθεση ορισμένων τεχνικών χαρακτηριστικών του. Τέλος, γίνεται η διαστασιολόγηση του νέου δικτύου πόσιμου νερού το οποίο θα τροφοδοτείται από την ΕΥΔΑΠ.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται δύο εναλλακτικές λύσεις παροχής πόσιμου νερού χρησιμοποιώντας το υφιστάμενο δίκτυο. Αυτές είναι η χρήση ειδικών φίλτρων καθαρισμού του υπάρχοντος νερού καθώς και η χρήση ψυκτών νερού και ψυκτών δικτύου. Ως παράδειγμα σχεδιασμού χρησιμοποιούνται τα νέα κτίρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται η προσπάθεια μιας υποτυπώδους τεχνικοοικονομικής διερεύνησης των προτεινόμενων λύσεων.

1.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του νομού Αττικής και στο Δήμο Ζωγράφου. Οριοθετείται από τις λεωφόρους Κοκκινοπούλου, Κατεχάκη και την οδό Ηρώων Πολυτεχνείου ενώ το νοτιοανατολικό της άκρο συναντά τους πρόποδες του Υμηττού. Έχει έκταση περίπου 100 εκταρίων, στην οποία βρίσκονται οι περισσότερες από τις εγκαταστάσεις του ΕΜΠ. (Βλέπε Σχήμα 1-1).

Η κατασκευή της Πολυτεχνειούπολης ξεκίνησε το 1950 και σταδιακά μέσα στις δεκαετίες που πέρασαν απέκτησε τη σημερινή της μορφή (Βλέπε Σχήμα 1-2). Στον Πίνακα 1-1 που ακολουθεί, από στοιχεία που διατίθενται στην ιστοσελίδα της Τεχνικής Υπηρεσίας του ΕΜΠ, δίνεται χρονικά η κατασκευή των κτιριακών υποδομών της Πολυτεχνειούπολης.

Σήμερα το ΕΜΠ αριθμεί περί τους 15000 φοιτητές και 1400 άτομα προσωπικό (καθηγητές όλων των βαθμίδων, ερευνητικό, τεχνικό, διοικητικό και λοιπό προσωπικό),

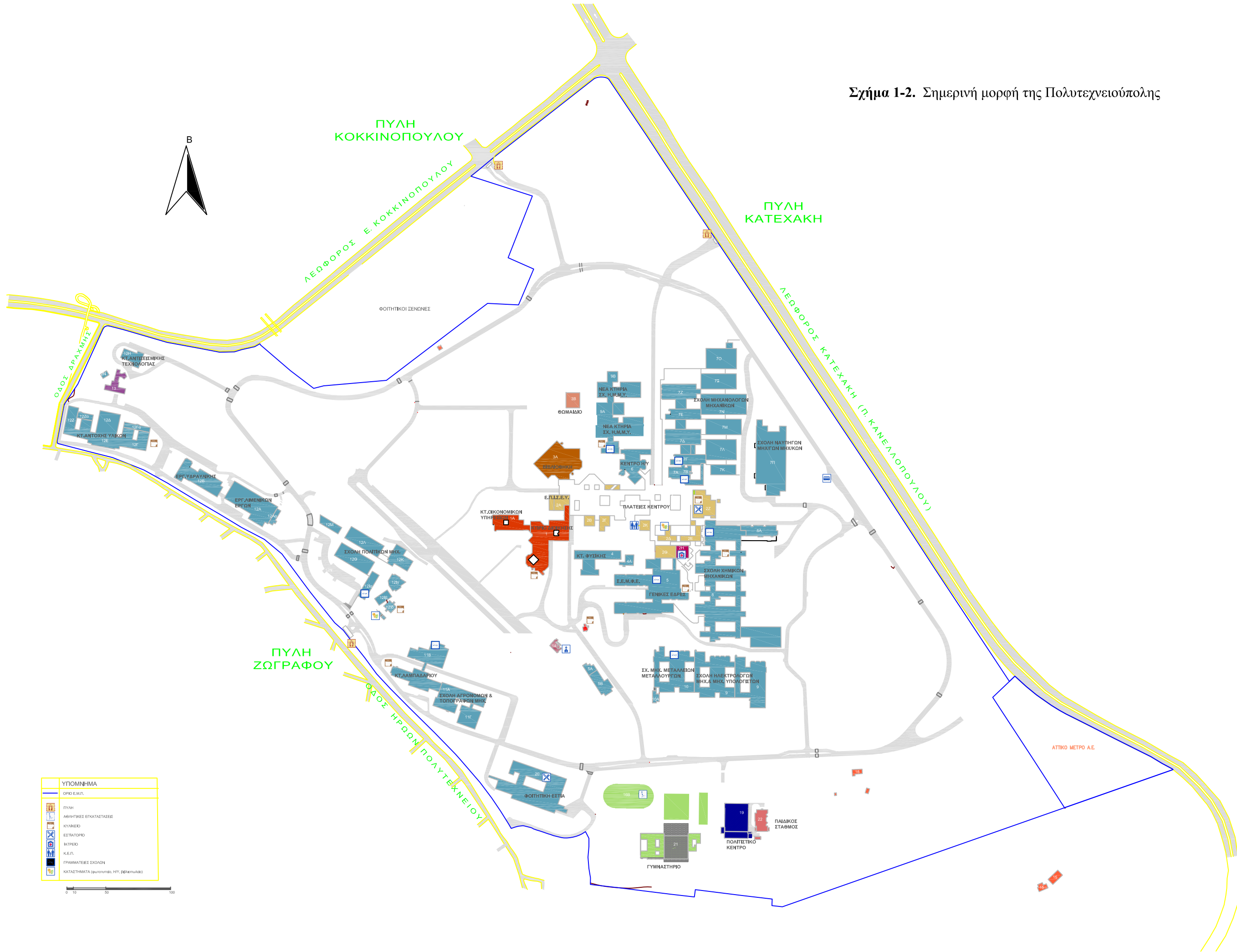
από τους οποίους οι περισσότεροι δραστηριοποιούνται στο χώρο των διάφορων κτιρίων της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου.

Δεδομένου ότι η Πολυτεχνειούπολη τοποθετείται στους πρόποδες του ορεινού όγκου του Υμηττού θεωρούμε ότι η γεωλογική σύσταση της περιοχής δεν διαφέρει σημαντικά από αυτή του Υμηττού ο οποίος δομείται κυρίως από μεταμορφωμένα πετρώματα της σχετικά αυτόχθονης Ενότητας Αττικής (Παπανικολάου, 2004). Τα πετρώματά αυτά είναι κυρίως ασβεστόλιθοι, σχιστόλιθοι και μεγάλες μάζες μαρμάρου και μαρμαρυγιακών σχιστολίθων. Όσον αφορά στα βάθη τα οποία μας απασχολούν κατά τη διαδικασία τοποθέτησης των αγωγών των δικτύων ύδρευσης, τα εδάφη της περιοχής χαρακτηρίζονται γαιώδη.



Σχήμα 1-1. Αεροφωτογραφία της περιοχής της Πολυτεχνειούπολης

Σχήμα 1-2. Σημερινή μορφή της Πολυτεχνειούπολης



ΥΠΟΜΝΗΜΑ	
	ΟΡΙΟ Ε.Μ.Π.
	ΠΥΛΗ
	ΑΘΛΗΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ
	ΚΥΡΙΑΚΕΟ
	ΕΣΤΙΑΤΟΡΙΟ
	ΙΑΤΡΕΙΟ
	Κ.Ε.Π.
	ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΕΣ ΣΧΟΛΩΝ
	ΚΑΤΑΣΤΗΜΑΤΑ (φωτοτυπια, ΗΥ, βιβλιοπωλ.)



Πίνακας 1-1 : Εξέλιξη κατασκευής των κτιριακών υποδομών της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου
(Πηγή Τεχνική Υπηρεσία ΕΜΠ, 2008)

ΕΤΟΣ	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
1958	Κτήριο Υδραυλικής
1960	Κτήριο Αντοχής Υλικών
1965	Κτήριο Ηχοτεχνίας
1970	Κτήριο Φυσικής Σχολή Τοπογράφων (Λαμπαδάριο)
1970-75	Έργα Υποδομής (οδοποιία κ.α.) Λεβητοστάσιο (Γυμναστήριο) Εργαστήριο Ναυπηγικής Εργαστήριο Υδραυλικής Πλατείες Κέντρου Κτήριο Υπολογιστών Κτηριακό Συγκρότημα Γενικών Εδρών Επέκταση Εργαστηρίου Οπλισμένου Σκυροδέματος
1975-80	Σχολή Χημικών Μηχανικών Εστιατόριο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων
1981	Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας
1988	Πύλη Ζωγράφου
1992	Κτήριο Διοίκησης
1994	Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων -Μεταλλουργών
1995	Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών ΗΜΜΥ (επέκταση της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών Β', Γ' ενότητα κτηρίου)
1996	Σχολή Μηχανολόγων: κτήρια Α, Β, Γ, Δ, Ε
1997	Νέες πτέρυγες του Κτηρίου Αντοχής Υλικών Υπαίθριος χώρος πολιτιστικών εκδηλώσεων στις Πλατείες Κέντρου
1998	Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών. Κτήρια: Μ, Ν, Ο

1999	Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών. Κτήρια: Ξ, Κ Νέα κτήρια Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών
2000	Βιβλιοθήκη
2002	Θωμαΐδειο (Εκτυπωτική Μονάδα)
2003	Νέα Κτήρια Πολιτικών Μηχανικών
2004	Ξενώνες Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου Πράσινος δακτύλιος Νέα πτέρυγα κτηρίων Σχολής Χημικών Μηχανικών Δεξαμενή νερού 600 m ³
2006	Νέες αίθουσες διδασκαλίας ΣΕΜΦΕ Νέες αίθουσες ΗΜΜΥ

1.3 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η κατασκευαστική εξέλιξη του δικτύου ύδρευσης της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου ακολούθησε πορεία παρόμοια με αυτή των κτιριακών εγκαταστάσεων με σκοπό να καλύψει τις ανάγκες των νέων κατά καιρούς υποδομών.

Μέχρι το 1974-75 είχε κατασκευαστεί δίκτυο το οποίο εξυπηρετούσε την υδροδότηση των λιγιστών εκείνη την περίοδο κτιριακών υποδομών της Πολυτεχνειούπολης, το οποίο συνδεόταν απευθείας με αγωγό της ΕΥΔΑΠ επί της οδού Ηρώων Πολυτεχνείου του Δ. Ζωγράφου.

Μέχρι το 1982, χρονιά από την οποία υπάρχει η μοναδική τοπογραφική αποτύπωση του δικτύου από την αρχή της κατασκευής του έως τότε, το δίκτυο ολοκληρώνεται ταυτόχρονα με τα έργα οδοποιίας. Κατασκευάζεται δεξαμενή 200 m³ και αντλιοστάσιο. Η παροχή νερού γίνεται από αγωγούς της ΕΥΔΑΠ επί της Ηρώων Πολυτεχνείου, κατευθύνεται στο αντλιοστάσιο και από εκεί στη δεξαμενή από όπου και διανέμεται στο δίκτυο.

Την ίδια χρονιά πραγματοποιείται και η πρώτη μελέτη για το συνολικό σχεδιασμό συστήματος ύδρευσης και άρδευσης με εκτίμηση μελλοντικών αναγκών η οποία υλοποιείται τις χρονιές 1986-87. Με βάση τη μελέτη αυτή, η υδροδότηση της Πολυτεχνειούπολης αποδεσμεύεται πλήρως από την ΕΥΔΑΠ, ενώ η παροχή νερού θα γίνεται από δύο γεωτρήσεις πλησίον της υφιστάμενης, τότε, δεξαμενής. Το νερό χλωριώνεται, στη συνέχεια αποθηκεύεται στην δεξαμενή και διανέμεται μέσω νέου, εκτεταμένου δικτύου ύδρευσης - άρδευσης, χρησιμοποιώντας και ένα μέρος του δικτύου που προϋπήρχε.

Από το 1992 και μετά, η εκτεταμένη ανοικοδόμηση της Πολυτεχνειούπολης και η επέκταση των χώρων πρασίνου, οι οποίοι μέχρι εκείνη την περίοδο ήταν αρκετά περιορισμένοι, οδηγούν σε αυξημένες υδατικές ανάγκες. Έτσι, το 2004 κατασκευάζεται νέα δεξαμενή χωρητικότητας 600 m³ δίπλα στην παλιά ενώ ανοίγεται και τρίτη γεώτρηση. Ταυτόχρονα γίνεται εφεδρική σύνδεση της δεξαμενής με αγωγό της ΕΥΔΑΠ, με σκοπό τη λειτουργία του σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Η κατάσταση του υφιστάμενου δικτύου εν έτει 2010 περιγράφεται αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

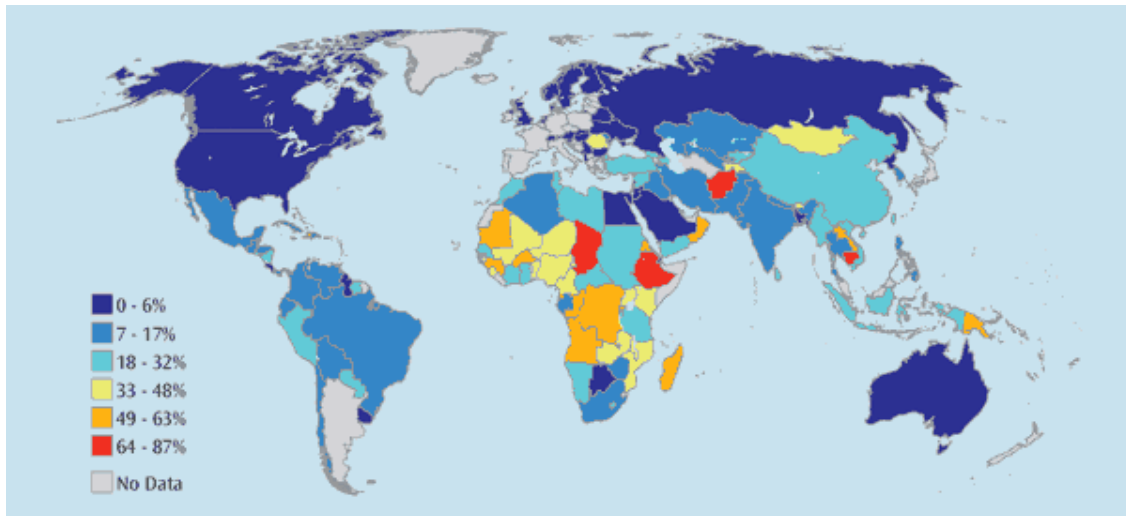
Το καθαρό, πόσιμο νερό είναι απαραίτητο στον άνθρωπο για τη διατήρηση της ζωής. Το ανθρώπινο σώμα για να λειτουργήσει χρειάζεται καθημερινά από 1 έως 7 λίτρα πόσιμου νερού προκειμένου να αποφύγει την αφυδάτωση, ποσό που εξαρτάται από τη μάζα του ανθρώπινου σώματος, το επίπεδο άσκησης, τη θερμοκρασία, την υγρασία και άλλους παράγοντες. Η αναγκαία αυτή ποσότητα λαμβάνεται κυρίως μέσω του φαγητού και σε μικρότερο ποσοστό από την άμεση πόση νερού.

Παρόλο που δεν είναι εντελώς ξεκάθαρη η ακριβής ποσότητα νερού που χρειάζεται ένας υγιής άνθρωπος την ημέρα, μια μέση εκτίμηση της τάξεως των 6-8 ποτηριών την ημέρα (περίπου 2-4 L) φαίνεται ότι είναι αρκετή σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας¹.

Πόσιμο νερό χαρακτηρίζεται το νερό που είναι καθαρό από φυσική, χημική, βιολογική και μικροβιολογική άποψη και μπορεί να καταναλώνεται χωρίς να κινδυνεύει η υγεία του ανθρώπου. Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι άχρωμο, άοσμο, δροσερό και με ευχάριστη γεύση. Δεν πρέπει να έχει μεγάλη σκληρότητα γιατί αυτή προκαλεί δυσκολίες στην καθημερινή αλλά και τη βιομηχανική του χρήση. Δεν πρέπει να περιέχει μεγάλη ποσότητα οργανικών ουσιών, βαρέων μετάλλων ούτε και παθογόνα παράσιτα ή μικρόβια.

Παρότι η πρόσβαση των ανθρώπων σε πόσιμο νερό θεωρείται αυτονόητη στις αναπτυγμένες χώρες με το πέρασμα των δεκαετιών, υπάρχουν ωστόσο πολλές χώρες παγκοσμίως, στις οποίες το ποσοστό των ατόμων με δυνατότητα πρόσβασης σε πόσιμο νερό κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά ποσοστά. (Βλέπε Εικόνα 2-1)

¹ World Health Organization, Safe water and global health



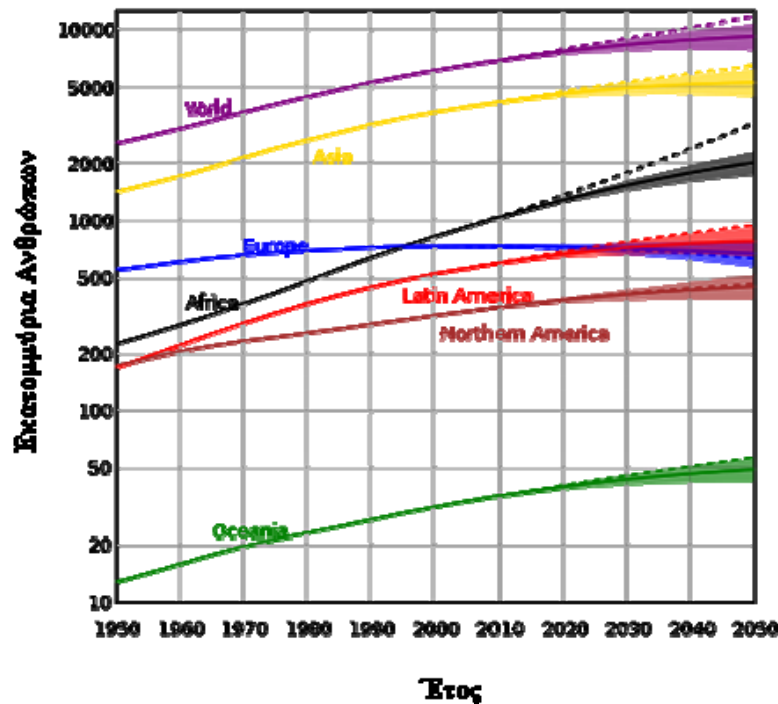
Εικόνα 2-1 : Ποσοστό πληθυσμού χωρίς άμεση² πρόσβαση σε πόσιμο νερό (Πηγή UN World Water Development Report, 2008)

Μία πρόσφατη έρευνα που διενεργήθηκε από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών το Νοέμβριο του 2009 (UN, 2009) έδειξε ότι μέχρι το 2030 σε μερικές αναπτυσσόμενες χώρες η ζήτηση θα ξεπεράσει κατά 50% τη διαθεσιμότητα σε νερό.

Δεδομένων των στοιχείων σχετικά με την αύξηση του πληθυσμού τις επόμενες δεκαετίες όπως αυτά προέκυψαν από έρευνες που διενεργήθηκαν από τον ΟΗΕ τον Νοέμβριο του 2009 (UN, 2009) και την στατιστική υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (US Census Bureau, 2010) ο πληθυσμός της Γής αναμένεται να φτάσει περί τα 10 δισεκατομμύρια κατοίκους. (Βλέπε πίνακα 2-1)

Αντιλαμβανόμενοι, λοιπόν, ότι μια τέτοια αύξηση του πληθυσμού θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ζήτησης σε νερό παγκοσμίως, η προσπάθεια για τη σωστή προστασία και διαχείρισή των υδάτινων πόρων κρίνεται ως επιτακτική ανάγκη. (Κουτσογιάννης, 2009).

² Ως άμεση πρόσβαση θεωρείται η δυνατότητα διάθεσης τουλάχιστον 20 L /d/cap πόσιμου νερού από πηγή σε απόσταση της τάξεως του ενός χιλιομέτρου (1 km) από τον τόπο διαμονής του κάθε ατόμου (UN, 2008)



Σχήμα 2-1: Εκτίμηση πληθυσμού της Γής μέχρι το έτος 2050 (Πηγή UN & US Census Bureau, 2009-2010)

2.2 ΔΙΠΛΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

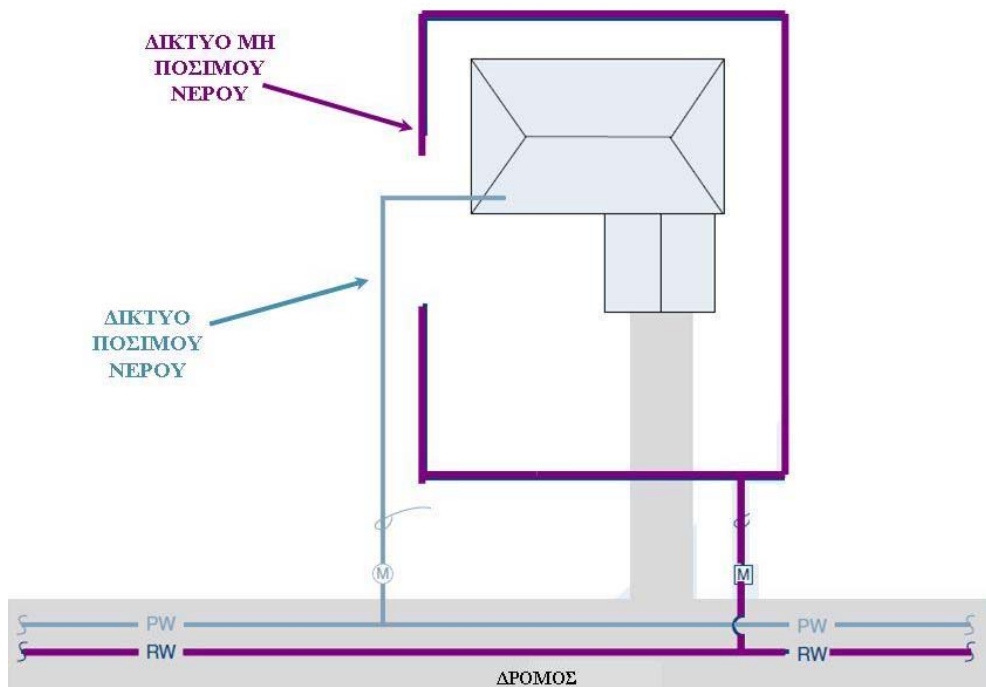
Μέχρι σήμερα, η κατασκευή δικτύων ύδρευσης αφορούσε δίκτυα μεταφοράς και διανομής πόσιμου νερού, χωρίς κανέναν διαχωρισμό όσον αφορά στις λειτουργίες εκείνες που απαιτούσαν επεξεργασμένο, υψηλών προδιαγραφών νερό και αυτές που μπορούσαν να ικανοποιηθούν και με χαμηλότερης ποιότητας νερό.

Αντιλαμβανόμαστε πλέον, ότι είναι αντιοικονομικό και αντι-περιβαλλοντικό να χρησιμοποιείται διυλισμένο νερό για λειτουργίες όπως π.χ. άρδευση και να δημιουργούνται και να συντηρούνται δίκτυα πόσιμου νερού (Κουτσογιάννης, 2008), σε μια περίοδο που η ορθή διαχείριση και οικονομία των υδατικών πόρων αλλά και των υδατικών μας αναγκών είναι επιτακτική ανάγκη. Σε αυτό το σημείο η τεχνολογία των διπλών δικτύων μπορεί να συνεισφέρει αποτελεσματικά.

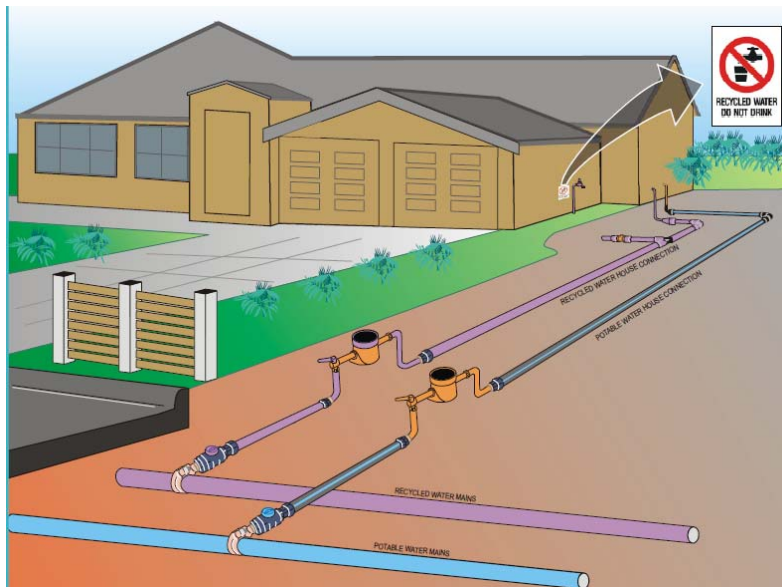
2.2.1 Ορισμός των διπλών δικτύων

Όπως υποδηλώνει και το όνομά του, το διπλό δίκτυο περιλαμβάνει την χρήση νερού από δύο πηγές προέλευσης σε δύο ξεχωριστά δίκτυα διανομής. Τα δύο αυτά δίκτυα λειτουργούν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο στα όρια της ίδιας περιοχής. Το ένα δίκτυο συνήθως είναι αυτό που μεταφέρει πόσιμο νερό, ενώ το άλλο μεταφέρει νερό το οποίο δεν είναι κατάλληλο για πόση. Τέτοια συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να έχουν ως αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση πόσιμου νερού, παρέχοντας νερό χαμηλής ή και μηδενικής σχεδόν επεξεργασίας για σκοπούς πέραν της πόσης. Οι σκοποί αυτοί μπορεί να αφορούν χρήσεις όπως πυρόσβεση, καθάρισμα δρόμων, πότισμα κήπων ή πάρκων, άρδευση, καζανάκια τουαλέτας κ.ά.

Στο σχήμα 2-2 που φαίνεται παρακάτω, το οποίο είναι μια τυπική διάταξη ενός διπλού δικτύου, μπορούμε να διακρίνουμε δύο ξεχωριστά δίκτυα σωληνώσεων με τα συνήθη χαρακτηριστικά τους χρώματα. Μπλε για το δίκτυο του πόσιμου νερού και μωβ για το δίκτυο του μη πόσιμου.



Σχήμα 2-2: Τυπική διάταξη διπλού δικτύου.



Εικόνα 2-2 Διαχωρισμός σωληνώσεων διπλών δικτύων (Πηγή www.sydneywater.com.au)

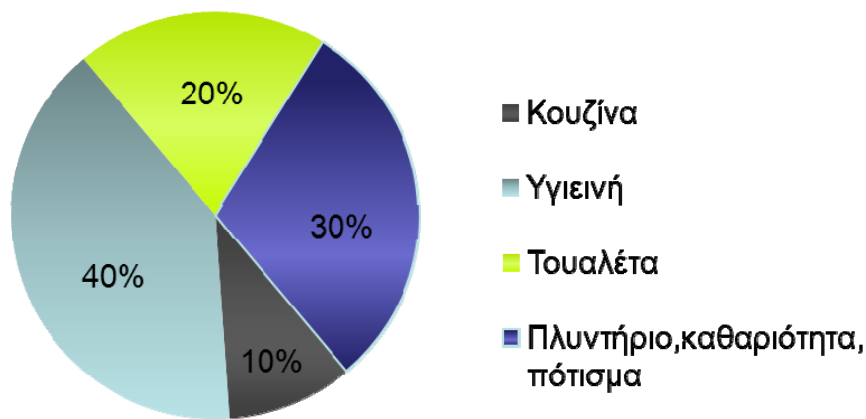
Το νερό στο μη πόσιμο δίκτυο μπορεί να είναι θαλασσινό νερό, ακατέργαστο νερό από επιφανειακές ή υπόγειες πηγές, ανακτημένο νερό μετά από κατάλληλη επεξεργασία αστικών αποβλήτων ή και ανακυκλωμένο νερό από διάφορες λειτουργίες στο εσωτερικό των κτιρίων (γκρίζο νερό).

2.2.2 Περιγραφή της λειτουργίας των διπλών δικτύων

Σε ένα διπλό δίκτυο, το κυρίως σύστημα ή σύστημα πόσιμου νερού λειτουργεί όπως κάθε υδρευτικό δίκτυο μεταφοράς και διανομής πόσιμου νερού περιλαμβάνοντας μια πηγή, μονάδα επεξεργασίας, εγκαταστάσεις αποθήκευσης και δίκτυο διανομής.

Το σύστημα μη πόσιμου νερού, το οποίο συχνά αναφέρεται και ως δευτερεύον σύστημα, είναι ένα σύστημα το οποίο πέραν του ότι χρησιμοποιεί διαφορετική πηγή νερού, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, δεν είναι απαραίτητο να περιλαμβάνει μονάδες επεξεργασίας και αποθήκευσης. Όλες οι χρήσεις, εκτός της χρήσης στην κουζίνα και την υγιεινή, μπορούν να καλύπτονται με νερό από αυτό το δίκτυο. Επίσης, σημαντικό θεωρείται το γεγονός ότι το σύστημα αυτό είναι εκείνο που παρέχει νερό για πυρόσβεση.

Σε μία τυπική κατανομή των οικιακών υδατικών καταναλώσεων διαπιστώνουμε πως οι χρήσεις που απαιτούν πόσιμο νερό καλύπτουν περίπου το 50%, και πολλές φορές λιγότερο, των συνολικών καταναλώσεων. Γίνεται αντιληπτό, λοιπόν, ότι αποδεσμεύοντας το δίκτυο του πόσιμου νερού από ένα ποσοστό της τάξεως του 50% καταλήγουμε σε ένα δίκτυο με αρκετά μικρότερες διαμέτρους αγωγών, μικρότερης δυναμικότητας αντλίες και μικρότερες απαιτήσεις χώρου αποθήκευσης.



Σχήμα 2-3 Οικιακές καταναλώσεις σύμφωνα με εκτιμήσεις του μαθήματος Υγειονομικής Τεχνολογίας (Ανδρεαδάκης, Μαμάης, ΕΜΠ, 2009)

Το δίκτυο του μη πόσιμου νερού, καθώς είναι αυτό που πλέον χρησιμοποιείται για πυρόσβεση, χρειάζεται κάποια αποθήκευση, εφόσον βέβαια δεν αντλείται άμεσα από φυσικές πηγές, όπως λίμνες, ποτάμια κλπ. Το βασικό στοιχείο είναι ότι πλέον χρησιμοποιείται σε αυτό νερό το οποίο δεν χρειάζεται να υποστεί παρόμοια υψηλών προδιαγραφών επεξεργασία με αυτή των δικτύων πόσιμου νερού.

Όσον αφορά τους τύπους επεξεργασίας που μπορεί να χρειαστούν σε τέτοια δίκτυα αυτοί μπορεί να είναι:

- Ενδεχόμενη ρύθμιση pH και φίλτραυση για κατακράτηση στερεών αν προέρχονται από επιφανειακά ή υπόγεια νερά.

- Απολύμανση αν αυτό κρίνεται αναγκαίο.

Θεωρούμε πως, για το ανακτημένο νερό μετά από επεξεργασία αστικών αποβλήτων, έχουν ήδη εφαρμοστεί οι κατάλληλες διαδικασίες ώστε να πληροί τις προδιαγραφές και να μη δημιουργεί πρόβλημα στη δημόσια υγεία. Οι τεχνολογίες επεξεργασίας των αστικών αποβλήτων είναι άμεσα συσχετισμένες με την ποιότητα του νερού που θέλουμε να περνάει από το δίκτυο, αλλά δεν θα αναλυθούν στην παρούσα εργασία, καθώς δεν αποτελούν αντικείμενό της.

Όσον αφορά στα υλικά κατασκευής των σωλήνων των δικτύων μη πόσιμου νερού, αυτά μπορεί να είναι πολυβυτιλοχλωρίδιο (PVC), πολυαιθυλένιο (PE) και χάλυβας ο οποίος δεν προτιμάται στα δίκτυα που χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό προς αποφυγή φαινομένων διάβρωσης. Ιδιαίτερη προσοχή κατά την κατασκευή ενός διπλού δικτύου πρέπει να δοθεί στις πιθανές συνδέσεις μεταξύ των δύο δικτύων διανομής (cross connections), κάτι που θα είχε ως αποτέλεσμα την ανάμιξη του νερού του πόσιμου δικτύου με νερό χαμηλότερης ποιότητας. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με σωστή χωροθέτηση των σωληνώσεων των δύο δικτύων διανομής, σωστή εγκατάσταση και άλλες τεχνικές όπως χρωματισμός των σωληνώσεων των δύο δικτύων με διαφορετικά χρώματα.



Εικόνα 2-3 Χρωματικός διαχωρισμός των δύο δικτύων (Πηγή www.limno.com)

Για ποιο λόγο λοιπόν να χρησιμοποιήσουμε διπλά δίκτυα; Γιατί απλούστατα επεξεργαζόμαστε πολύ παραπάνω νερό σε προδιαγραφές πόσιμου από αυτό που πραγματικά χρειαζόμαστε.

Το νερό που χρησιμοποιείται στις τουαλέτες, στο πότισμα πάρκων και κήπων, στην άρδευση κ.ά., δεν χρειάζεται να είναι νερό πρώτης ποιότητας. Χρησιμοποιώντας διυλισμένο νερό για τέτοιου είδους δραστηριότητες (κυρίως άρδευση) είναι μια πολυτέλεια την οποία δεν μπορούμε να συντηρήσουμε σε μια εποχή που η έλλειψη διαθέσιμων υδατικών πόρων επιτάσσει μια ορθότερη διαχείριση. Είναι εντελώς αντιοικονομικό τόσο για τους προμηθευτές όσο και για τους καταναλωτές, ενώ ταυτόχρονα και αντι-περιβαλλοντικό, ειδικά σε περιοχές με μεγάλα προβλήματα ξηρασίας.

Παρόλο το γεγονός, βέβαια, πως η κατασκευή δύο δικτύων αντί για ένα αυξάνει τα κατασκευαστικά κόστη και τα κόστη συντήρησης, τα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση διπλών δικτύων κυρίως από περιβαλλοντική σκοπιά υποσκελίζουν αυτή τη βραχυπρόθεσμη θεώρηση από οικονομικής πλευράς.

2.2.3 Παραδείγματα εφαρμογής

Η τεχνολογία των διπλών δικτύων δεν είναι μια καινούργια ιδέα. Εδώ και αρκετά χρόνια χρησιμοποιείται σε μικρή κυρίως κλίμακα σε διάφορες περιοχές της γης, με ορισμένες εξαιρέσεις ορισμένων μεγάλων πόλεων που εδώ και αρκετές δεκαετίες χρησιμοποιούσαν νερό από διαφορετικές πηγές (βλ. Χόνγκ Κόνγκ παρακάτω) σε δύο ανεξάρτητα μεταξύ τους δίκτυα.

Τα τελευταία χρόνια και μετά από την ανάγκη για ορθότερη διαχείριση των υδατικών πόρων, πολλές πόλεις ήδη έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούν μη πόσιμο νερό, σε ένα δευτερεύον ανεξάρτητο δίκτυο, για χρήσεις οι οποίες δεν απαιτούν υψηλής ποιότητας νερό. Κάποιες από αυτές τις πιο διαδεδομένες χρήσεις είναι:

- Άρδευση δημοσίων χώρων πρασίνου, πάρκων, γηπέδων και ορισμένων ειδών καλλιέργειας
- Πλύσιμο αυτοκινήτων
- Πυρόσβεση
- Καθάρισμα δρόμων
- Καθαρισμός κτιρίων
- Air-conditioning εμπορικών και βιομηχανικών χώρων
- Καζανάκια τουαλέτας
- Θέρμανση-ψύξη εμπορικών και οικιστικών κτιρίων.

Σε αρκετές χώρες του κόσμου μπορούμε να δούμε παραδείγματα εφαρμογής των διπλών δικτύων, με διαφορετική κάθε φορά την πηγή προέλευσης του νερού στο δευτερεύον δίκτυο.

Η χρησιμοποίηση ανακτημένου νερού αυξάνεται σταδιακά τα τελευταία χρόνια στις **Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής**, ως μια απάντηση στην έλλειψη υδατικών πόρων. Το ανακτημένο νερό, διανέμεται απευθείας μέσω ξεχωριστού δικτύου για χρήσεις στη βιομηχανία αλλά και στην άρδευση δημοσίων εκτάσεων πρασίνου και γηπέδων γκολφ, αυλές σχολείων και πανεπιστημίων, πυροπροστασία, πλύσιμο αυτοκινήτων και άρδευση καλλιεργειών. Σε μερικές περιπτώσεις, όπως αυτή της επαρχίας του Orange και της πόλης του Irvine, μέσω της μονάδας επεξεργασίας του IRWD (Irvine Ranch Water District, www.irwd.com), το ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται και για τα καζανάκια της τουαλέτας.

Για το έτος 2002 εκτιμήθηκε ότι 6.4 hm^3 , ποσοστό της τάξεως του 3% του συνολικού παρεχόμενου νερού, επαναχρησιμοποιήθηκε μέσα από ειδικά δίκτυα. (LeChevallier, 2009). Από αυτά, στις πολιτείες της Φλόριντα και της Καλιφόρνιας αντιστοιχούσε ποσοστό 65%. Σε πολλές πολιτείες υπάρχουν ειδικοί κανονισμοί για τη χρήση δεύτερης ποιότητας νερού και για τον τρόπο κατασκευής των δικτύων μεταφοράς και διανομής του (Παράδειγμα The city of San Diego, www.sandiego.gov/water/pdf/rulesandregs.pdf).



Εικόνα 2-4 Άρδευση πάρκων στο Napa Valley College και στο Kennedy Park στην Καλιφόρνια (Πηγή www.napavalleyregister.com)



Εικόνα 2-5 Χρήση ανακυκλωμένου νερού στην πολιτεία της Φλόριντα (Πηγή www.tampagov.net και www.dep.state.fl.us/water/reuse/)

Η **Αυστραλία**, μετά από τη μάχη με μια μακρά περίοδο ξηρασίας διάρκειας 7-10 ετών, στράφηκε και στη χρήση ανακτημένου νερού, με στόχο την εξοικονόμηση υδατικών πόρων. Το σχέδιο SEQ Water Grid που εφαρμόστηκε στην Νοτιοανατολική περιοχή Queensland της Αυστραλίας συμπεριλάμβανε μεταξύ άλλων και το Western Corridor Recycled Water Scheme, μιας μεγάλης κλίμακας εγκατάσταση ανακύκλωσης νερού.



Εικόνα 2-6 Χρήση ανακυκλωμένου νερού για πυρόσβεση, Sydney-Australia (Πηγή www.sydneywater.com.au)

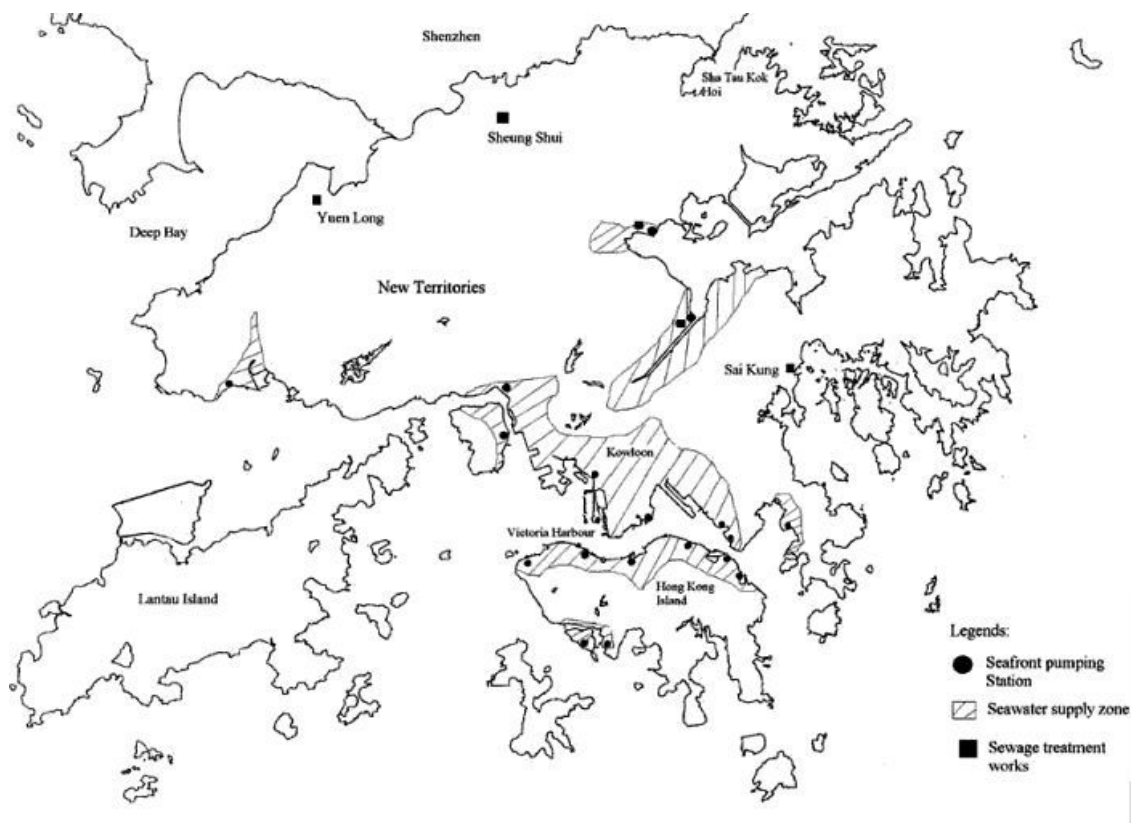
Στο **Ισραήλ**, η χρησιμοποίηση ανακυκλωμένου νερού αγγίζει ποσοστά της τάξεως κοντά του 70%, ενώ συγκεκριμένα στο Τελ Αβίβ, η επαναχρησιμοποίηση νερού (από αστικά λύματα) για αρδευτικούς σκοπούς αγγίζει το 100% (Aharoni, 2006).

Στο **Παρίσι**, εδώ και δύο σχεδόν αιώνες υφίσταται διπλό δίκτυο με άντληση νερού για το δευτερεύον δίκτυο κυρίως από το ποτάμι. Το νερό από το δευτερεύον δίκτυο χρησιμοποιείται για άρδευση δημόσιων πάρκων και κήπων, καθαρισμό των δρόμων, ξέπλυμα των υπονόμων κλπ. (Nguyen, 2003).

Η περίπτωση, βέβαια, που αξίζει να αναλυθεί περισσότερο είναι αυτή του **Χόνγκ Κόνγκ**. Εδώ και πενήντα περίπου χρόνια λειτουργεί επιτυχώς διπλό δίκτυο με παροχή νερού στο δευτερεύον δίκτυο από τη θάλασσα. (Tang et al., 2007). Τα 3/4 του πληθυσμού του Χόνγκ Κόνγκ χρησιμοποιούν στα καζανάκια της τουαλέτας θαλασσινό νερό το οποίο διανέμεται έχοντας υποστεί πολύ μικρή επεξεργασία. Υπάρχουν 38 αντλιοστάσια θαλασσινού νερού, δυναμικότητας $1.43 \text{ hm}^3/\text{day}$, τα οποία βρίσκονται στις παράκτιες περιοχές, 49 δεξαμενές αποθήκευσης, χωρητικότητας 0.2 hm^3 και ένα συνολικό μήκος

δικτύου 1100 km. Με σκοπό την αποφυγή της διάβρωσης των σωληνώσεων από το θαλασσινό νερό, τα υλικά κατασκευής τους είναι κυρίως πολυαιθυλένιο (PE) και πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC).

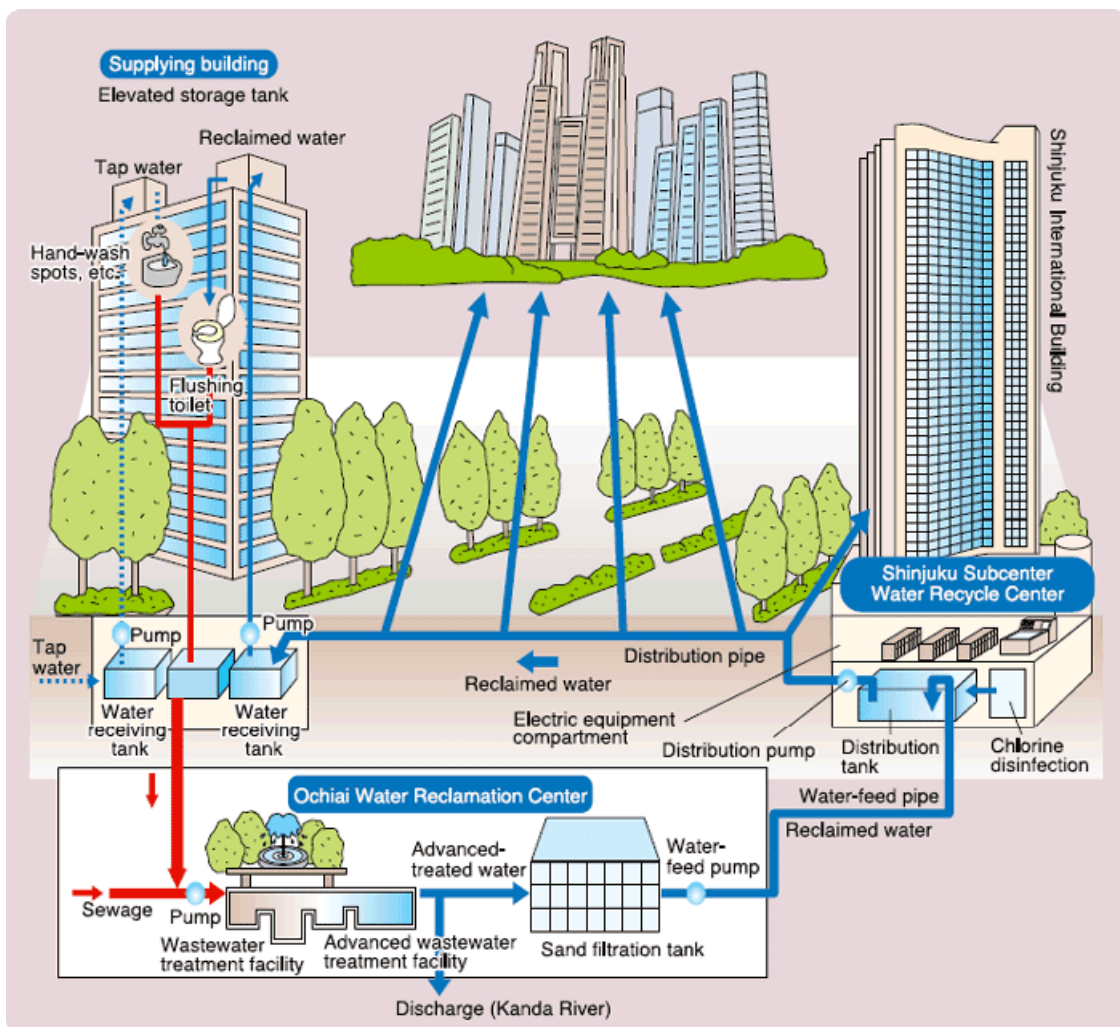
Καθώς το πόσιμο νερό και το θαλασσινό νερό καταλήγουν στο ίδιο αποχετευτικό σύστημα, μετά τη χρησιμοποίησή τους από τους καταναλωτές, οδηγούνται στην ίδια εγκατάσταση επεξεργασίας αποβλήτων. Η αναλογία φρέσκου με θαλασσινό νερό στα λύματα είναι 3:1, δηλαδή το 25% του νερού των λυμάτων είναι θαλασσινό. Σύμφωνα με έρευνα των Kessick και Machen (1976), οι φυσικοχημικές διεργασίες κατά την επεξεργασία υγρών αποβλήτων είναι εξίσου αποτελεσματικές τόσο σε φρέσκο όσο και σε θαλασσινό νερό.



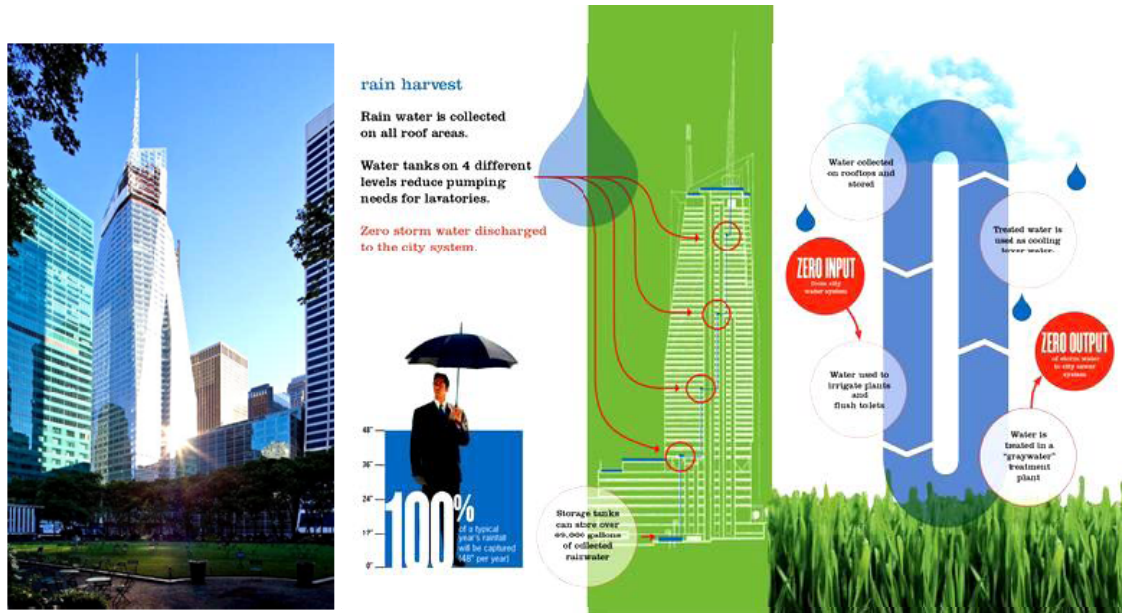
Εικόνα 2-7 Περιοχές που εξυπηρετούνται με το δίκτυο του θαλασσινού νερού στο Χόνγκ Κόνγκ (Πηγή Tang et al.,2007)

Όσον αφορά στις **Μεσογειακές χώρες**, παρατηρείται μια έντονη δυσπιστία τόσο από την κοινωνία, όσο και από τις κυβερνήσεις να προβούν σε χρησιμοποίηση δεύτερης ποιότητας νερού (McCann, 2008).

Εκτός από τη λειτουργία διπλών δικτύων σε επίπεδο πόλεων, υπάρχουν και αρκετές μικρότερης κλίμακας ιδιωτικές πρωτοβουλίες. Αυτές αφορούν στη χρήση διπλών δικτύων εντός των κτιρίων περιλαμβάνουν κυρίως εσωτερική ανακύκλωση, συλλογή του βρόχινου νερού και επαναχρησιμοποίηση του νερού των δικτύων.



Εικόνα 2-8 Ochiai Center, Tokyo-Japan (Πηγή www.gesui.metro.tokyo.jp)



Εικόνα 2-9 Χρήση ανακυκλωμένου και βρόχινου νερού στο κτίριο Bank of America Tower, NY
(Πηγή www.arch.auth.gr/uploads/media/08.pdf)

2.3 ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

Μετά από την περιγραφή και αξιολόγηση των διπλών δικτύων, στην παρούσα παράγραφο θα αναφέρουμε και ορισμένες τεχνολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν μέσα στο γενικότερο πνεύμα της εξοικονόμησης υδατικών πόρων και της βελτιστοποίησης των δικτύων διανομής νερού.

Με τη χρήση των διπλών δικτύων και τον σαφή διαχωρισμό των αναγκών που απαιτούν πόσιμο νερό από αυτές που ικανοποιούνται και με νερό δεύτερης ποιότητας, έχουμε μια σημαντική μείωση της απαιτούμενης διυλισμένης ποσότητας νερού. Αυτό όμως από μόνο του δεν μας εξασφαλίζει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Οι τεχνολογίες που θα αναφέρουμε παρακάτω είναι τεχνολογίες χωρίς μεγάλο κόστος και με εύκολο και άμεσο τρόπο εγκατάστασης και λειτουργίας. Δεν αντικαθιστούν τα μεγάλης κλίμακας έργα που περιγράψαμε παραπάνω, αλλά μπορούν να δράσουν επικουρικά και να ενισχύσουν την προσπάθεια ορθότερης διαχείρισης.

2.3.1 Ανίχνευση διαρροών δικτύων

Σε σχέση με τα υδρευτικά δίκτυα διανομής ο έλεγχος και ο περιορισμός των **διαρροών** (αλλά και του μη τιμολογούμενου νερού) είναι σήμερα επιτακτική ανάγκη. Η παλαιότητα πολλών από τα δίκτυα και η περιορισμένη επιτήρηση και συντήρησή τους έχει συχνά οδηγήσει σε μεγάλα ποσοστά διαρροών. Η τεχνολογία προσφέρει σήμερα πολλές δυνατότητες (γεωγραφικές βάσεις δεδομένων, μαθηματικά μοντέλα συνεχούς προσομοίωσης δικτύων, συσκευές εντοπισμού διαρροών, ραντάρ εδάφους και κάμερες εντοπισμού και ελέγχου αγωγών, υλικά επισκευών) για την επιτήρηση των δικτύων, την ανίχνευση των διαρροών και την αποκατάσταση των βλαβών. Πάντως παλαιά δίκτυα που βρίσκονται σε κακή κατάσταση, με πολλές συσσωρευμένες βλάβες, είναι ίσως προτιμότερο να αντικαθίστανται παρά να επισκευάζονται. (Κουτσογιάννης, 2008)

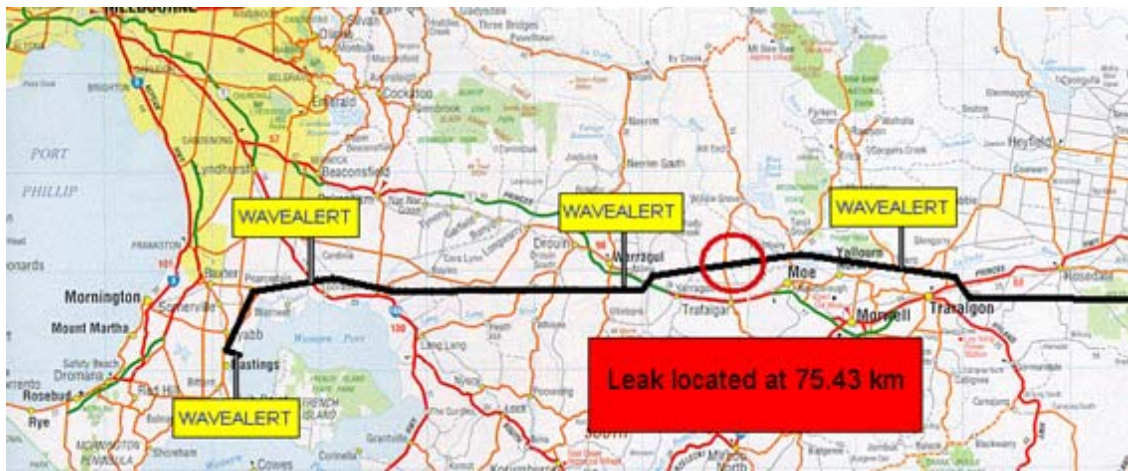


Εικόνα 2-10 Ασύρματη και χειροκίνητη ανίχνευση διαρροών σε δίκτυα (Πηγή www.linelocators.com και www.watercopdealer.com)

Μια σειρά από συσκευές, με τεχνολογία βασισμένη κυρίως στα ακουστικά κύματα, τοποθετούνται κατά μήκος των αγωγών έτσι ώστε να υπάρχει συνεχής παρακολούθηση του δικτύου. Οι πληροφορίες μεταφέρονται μέσω της τεχνολογίας GSM επιτρέποντας άμεση επέμβαση στο σημείο που διαπιστώθηκε η διαρροή.

Σε αρκετές περιοχές της Ελλάδας, μέσω του δικτύου της ΕΥΔΑΠ, έχουν εφαρμοστεί σχέδια παρακολούθησης και ανίχνευσης διαρροών σε δίκτυα ύδρευσης. Είναι γνωστό ότι

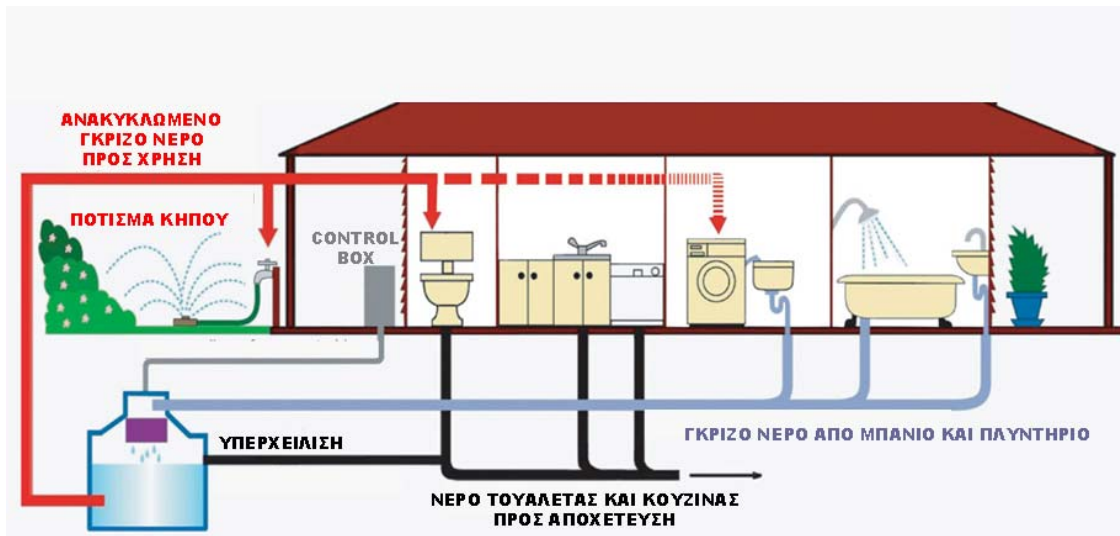
οι απώλειες νερού σε διάφορα τμήματα, πεπαλαιωμένων ιδίως δικτύων, αντιστοιχούν πολλές φορές σε ένα σημαντικό ποσοστό της μεταφερόμενης παροχής. Στη χώρα μας πολλές υπηρεσίες ύδρευσης και αποχέτευσης θεωρούν ένα ικανοποιητικό ποσοστό απωλειών νερού από διαρροές της τάξης του 30 έως 40% (Γιακουμάκης, 2000). Σε προηγμένες ευρωπαϊκές χώρες ποσοστό απωλειών σε δίκτυα ύδρευσης που υπερβαίνει το 15% θεωρείται ανεπίτρεπτο. Η μη έγκαιρη αντιμετώπιση του προβλήματος, ιδιαίτερα σε περιοχές που εμφανίζουν ανεπάρκεια υδατικών πόρων, όπως μεγάλο μέρος της ηπειρωτικής και το σύνολο σχεδόν της νησιωτικής Ελλάδας, οδηγεί σε μία σημαντική απώλεια νερού.



Εικόνα 2-11 Γραφική απεικόνιση διαρροών σε δίκτυο της Πολιτείας του Τέξας (Πηγή www.azwater.gov)

2.3.2 Χρησιμοποίηση γκρίζου νερού σε κτιριακές εγκαταστάσεις

Το γκρίζο νερό είναι αυτό που προέρχεται από διάφορες οικιακές δραστηριότητες όπως το μπάνιο και τα πλυντήρια και διαφέρει από το νερό που προέρχεται από τις τουαλέτες, το οποίο ονομάζεται μαύρο νερό. Αποτελεί περίπου το 50-80% των συνολικών οικιακών καταναλώσεων και μπορεί να ανακυκλωθεί εσωτερικά των κατοικιών για χρησιμοποίηση κυρίως στο πότισμα των κήπων αλλά και στα καζανάκια της τουαλέτας.



Εικόνα 2-12 Απεικόνιση της ανακύκλωσης γκριζου νερού σε οικία (Προέλευση www.tankedaustralia.com.au)

Στην εικόνα 2.11 φαίνεται η λειτουργία ενός συστήματος ανακύκλωσης γκριζου νερού εντός μιας κατοικίας. Για τη λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος απαιτείται μια δεξαμενή την οποία συνήθως τοποθετούμε σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους αν πρόκειται για κτίριο με εξωτερική αυλή, ενώ διαφορετικά τοποθετείται στα υπόγεια των οικιών ή των εμπορικών και δημόσιων κτιρίων που πρόκειται να χρησιμοποιήσουν το σύστημα. Στη δεξαμενή αυτή συνήθως γίνεται μια φίλτραυση του προς διάθεση ανακυκλωμένου νερού με σκοπό κυρίως τη συγκράτηση στερεών.

Η τεχνολογία αυτή έχει αναπτυχθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια και είναι αρκετά δημοφιλής καθώς η εγκατάσταση του συστήματος σε υφιστάμενες και νέες κατοικίες είναι εύκολη και η λειτουργία του δεν απαιτεί συντήρηση από εξειδικευμένο προσωπικό.

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του συστήματος αυτού είναι και το σχετικά χαμηλό κόστος του. Στην Κύπρο, συγκεκριμένα, το κόστος αγοράς και εγκατάστασης ενός συστήματος ($1 \text{ m}^3/\text{d}$) για μια κατοικία ανέρχεται από 3200 έως 3600€ + ΦΠΑ και η Κυβέρνηση της Κυπριακής Δημοκρατίας επιδοτεί το σύστημα με €3000 (Καμπανέλλας, 2009). Υπάρχουν διάφοροι τρόποι μηχανολογικών εγκαταστάσεων και τρόπων επεξεργασίας και εσωτερικής διανομής του ανακυκλωμένου νερού, ωστόσο δεν αναλύονται περαιτέρω

καθώς η διερεύνηση ενός τέτοιου συστήματος δεν αποτελεί βασικό στόχο της παρούσας εργασίας.

Σε ένα τέτοιο σύστημα θα μπορούσε να προστεθεί και ένα συλλέκτης νερών της βροχής, ο οποίος μπορεί να δρα βοηθητικά, σε περιόδους βροχοπτώσεων, καθώς δεν χρειάζεται εγκατάσταση άλλης δεξαμενής αποθήκευσης από αυτή που ήδη υπάρχει στο σύστημα.



Εικόνα 2-13 Δεξαμενές αποθήκευσης βρόχινου νερού, Langston Brown Community Center and High School Arlington, Virginia (Πηγή www.arch.auth.gr/uploads/media/08.pdf)



Εικόνα 2-14 Μικρής κλίμακας εγκατάσταση ανακύκλωσης γκρίζου νερού³

³ Sloan® AQUSTM Greywater System

2.3.3 Ελεγχόμενη άρδευση

Οι ποσότητες νερού που ξοδεύονται για άρδευση εκτάσεων πρασίνου είναι αρκετά μεγάλες και επιβαρύνουν τα δίκτυα ανεξαρτήτως της προέλευσης και της ποιότητας του. Γι' αυτόν το σκοπό έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες αισθητήρων βροχής οι οποίοι διακόπτουν αυτόματα τη διαδικασία ποτίσματος κατά τη διάρκεια και για μια περίοδο μετά από τη βροχόπτωση έτσι ώστε να εξοικονομήσουν νερό.



Εικόνα 2-15 Αισθητήρας βροχής στην οροφή κτιρίου με ενσύρματη σύνδεση (Πηγή www.toro.com.au)

2.3.4 Οικιακοί τρόποι εξοικονόμησης νερού

Σίγουρα η εξοικονόμηση και ορθή διαχείριση του νερού απαιτεί παρεμβάσεις σε μεγάλης κλίμακας επίπεδα, ωστόσο μερικοί απλοί τρόποι εξοικονόμησης νερού μπορούν να συντελέσουν ώστε να επιτευχθεί ο στόχος αυτός. Κάποιοι από τους πιο διαδεδομένους είναι οι εξής⁴:

⁴ Στοιχεία από Greenpeace Greece

- **Βρύσες με περιορισμό ροής.** Η ροή για τις βρύσες κουζίνας πρέπει να είναι λίγο μεγαλύτερη από τις βρύσες μπάνιου, 6-8 λίτρα ανά λεπτό και 5-7 λίτρα ανά λεπτό αντίστοιχα. Υπάρχουν συστήματα που αναμειγνύουν αέρα μέσα στο νερό και δίνουν την εντύπωση πιο δυνατής ροής μέσα από την βρύση ή την κεφαλή του ντους. Σε συνδυασμό με τα συστήματα περιορισμού της ροής, μπορούν να εξοικονομήσουν νερό χωρίς απώλεια άνεσης για τον χρήστη.
- **Διακόπτες της παροχής νερού με φωτοκύτταρα.** Εξασφαλίζουν μέγιστη εξοικονόμηση νερού, αφού η βρύση κλείνει αυτόματα όταν το νερό δε χρησιμοποιείται. Τα συστήματα αυτά έχουν μεγάλο κόστος και η χρήση τους δεν συνιστάται σε κατοικίες. Είναι όμως χρήσιμα και τα συναντάμε σε κοινόχρηστους χώρους όπου συνήθως γίνεται μεγάλη σπατάλη νερού (π.χ. κέντρα διασκέδασης, εστιατόρια).
- **Καζανάκια ελεγχόμενης ή διπλής ροής.** Από τα καζανάκια, προτιμότερα είναι εκείνα στα οποία η ροή εξαρτάται από τον χρόνο πίεσεως του κουμπιού. Μια άλλη λύση είναι τα καζανάκια με επιλογή μικρής ή μεγάλης ροής (συνήθως 3 και 6 λίτρα αντίστοιχα). Τα καζανάκια σταθερής ροής 6 ή 9 λίτρων δεν συνιστώνται.
- **Χρήση οικιακών συσκευών** όπως πλυντήρια ρούχων και πιάτων **με πιστοποίηση** για την κατανάλωση νερού και ενέργειας. Οι συσκευές αυτές καταναλώνουν ένα τρίτο λιγότερο νερό από τις άλλες.

Όλα όσα αναλύθηκαν στο κεφάλαιο αυτό συνιστούν τρόπους ορθής διαχείρισης και αντιμετώπισης της ύδρευσης σε οικιστικούς, εμπορικούς και δημόσιους χώρους. Άλλες τεχνολογίες αφορούν έργα και εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας (διπλά δίκτυα με χρήση νερού δεύτερης ποιότητας), ενώ άλλες αφορούν μικρής κλίμακας εγκαταστάσεις (π.χ. ανακύκλωση γκρίζου νερού) και λύσεις οι οποίες μπορούν να συμβάλλουν αρκετά στην προσπάθεια ορθότερης χρήσης και αξιολόγησης των υδατικών μας αναγκών.

3. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΔΙΚΤΥΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει η περιγραφή του υφιστάμενου δικτύου ύδρευσης και άρδευσης της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου και θα αναλυθούν ορισμένα δεδομένα που προέκυψαν έπειτα από ανάλυση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού του δικτύου από τη Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ το έτος 2007.

3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η υφιστάμενη μορφή του δικτύου ύδρευσης φαίνεται στο σχήμα 3-1 που παρατίθεται παρακάτω. Η κατασκευή του ολοκληρώθηκε τις χρονιές 1986-87 και συμπεριλάμβανε και ένα τμήμα του παλιού δικτύου του 1975.

Η υδροδότηση γίνεται από τρεις γεωτρήσεις που λειτουργούν επί 24ώρου βάσεως για περίπου 7 μήνες το χρόνο. Η παροχή άντλησης της κάθε γεώτρησης είναι περίπου 600 m³/d και το βάθος άντλησης φτάνει στα 220-250 m. Οι γεωτρήσεις αυτές διανοίχτηκαν διαδοχικά, παράλληλα με τις ανάγκες των καταναλωτών, με την τελευταία από αυτές να διανοίγεται το 2006.

Το αντλούμενο από τις γεωτρήσεις νερό αποθηκεύεται στη δεξαμενή ρύθμισης⁵ του δικτύου, συνολικής χωρητικότητας 800 m³. Πριν την είσοδο του νερού στη δεξαμενή προστίθεται υποχλωριώδες νάτριο, με κατάλληλο σύστημα χλωρίωσης. Η δοσομέτρηση και χορήγηση του διαλύματος στους σωλήνες που μεταφέρουν το νερό των γεωτρήσεων γίνεται σε σχέση με τη στιγμιαία παροχή που μετράται από ειδικά παροχόμετρα εφαρμοσμένα πάνω στους σωλήνες. Ταυτόχρονα, στη νέα δεξαμενή, υπάρχει εγκατάσταση μίξης του νερού, μέτρησης της συγκέντρωσης του ελεύθερου χλωρίου και δυνατότητα προσθήκης επιπλέον ποσότητας για τη διατήρηση της επιθυμητής τιμής.

⁵ 200 m³ η χωρητικότητα της παλιάς δεξαμενή και 600 m³ της δεξαμενής που κατασκευάστηκε το 2006

Ταυτόχρονα με την κατασκευή της νέας δεξαμενής, έγινε εφεδρική σύνδεση της με αγωγό της ΕΥΔΑΠ για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

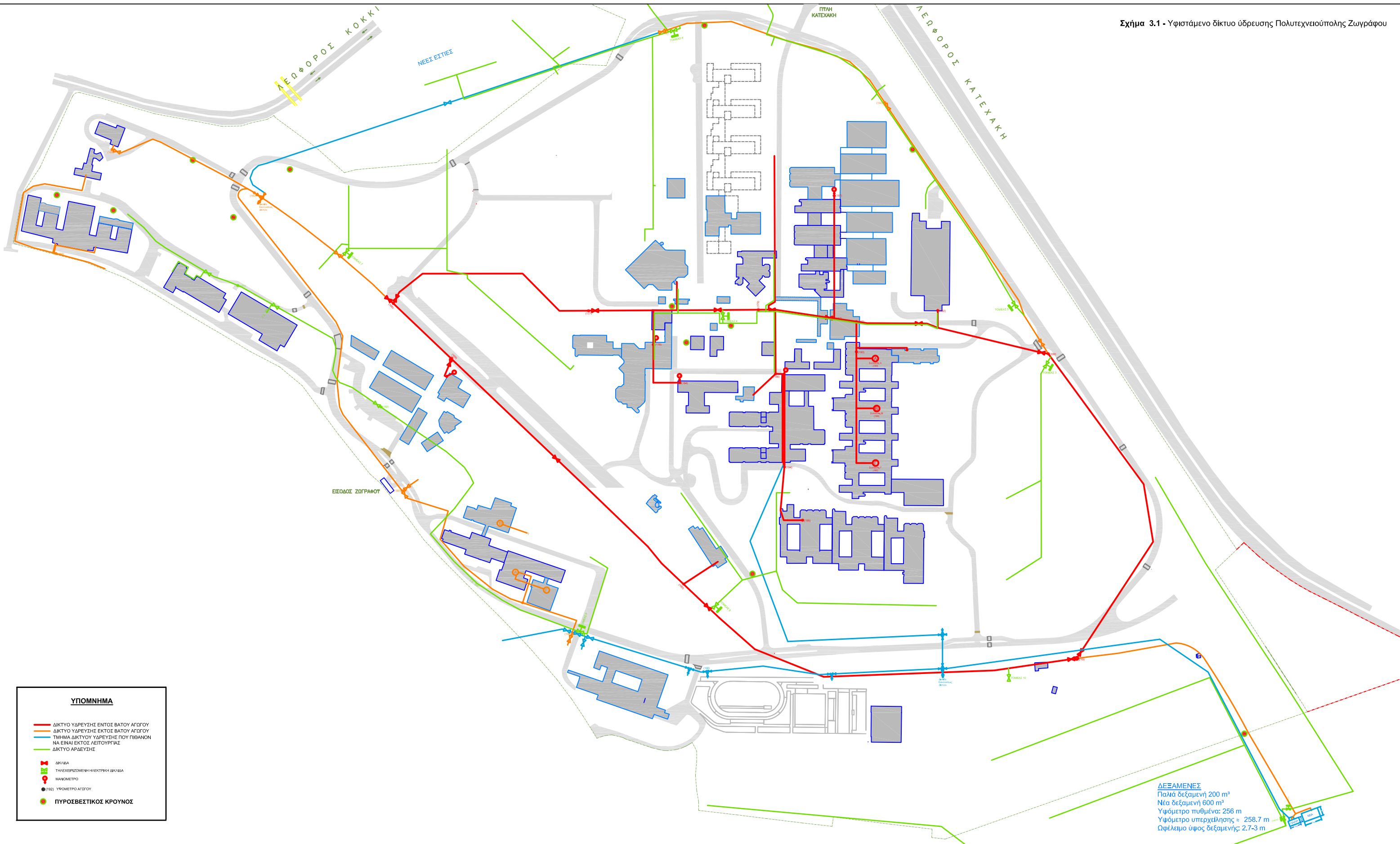
Το δίκτυο διανομής μπορεί να διακριθεί σε τρία τμήματα. Το κύριο τμήμα του, με κόκκινο χρώμα στο σχέδιο, έχει τις μεγαλύτερες διαμέτρους και εξυπηρετεί κυρίως το κέντρο της Πολυτεχνειούπολης. Το δεύτερο τμήμα, εξυπηρετεί κυρίως το νοτιοδυτικό κομμάτι της περιοχής και συμβολίζεται στο σχέδιο με πορτοκαλί χρώμα. Το τρίτο τμήμα του δικτύου, με πράσινο χρώμα, εξυπηρετεί κυρίως αρδευτικές ανάγκες, ενώ σε όλο το μήκος του δικτύου υπάρχουν πυροσβεστικοί κρουνοί. (κόκκινες βούλες στο σχέδιο). Με μπλε χρώμα στο σχέδιο συμβολίζεται το τμήμα εκείνο του παλιού δικτύου του 1975 το οποίο πιθανόν να μη λειτουργεί σήμερα. Από τη δεξαμενή ξεκινούν, όπως φαίνεται στο σχήμα, τρεις αγωγοί, δύο των 273 mm ($10\frac{3}{4}$ ") και ένας, ο παλιός αγωγός, των 102 mm (4 ").

Τα υλικά των σωλήνων που χρησιμοποιούνται στο υφιστάμενο δίκτυο ύδρευσης είναι κυρίως δύο ειδών:

- Χαλυβδοσωλήνες ελικοειδούς ραφής διαμέτρων 127 mm (5") έως 273 mm ($10\frac{3}{4}$ ") και
- Γαλβανισμένοι χαλυβδοσωλήνες διαμέτρων 60 mm ($2\frac{1}{2}$ ") έως 102 mm (4").

Όσον αφορά στην άρδευση των εκτάσεων πρασίνου της Πολυτεχνειούπολης, αυτή είναι προγραμματισμένη να γίνεται από τις 8 μμ μέχρι τις 6 πμ, για να μην επιβαρύνεται η λειτουργία του δικτύου, με εξαίρεση το χώρο των πλατειών του κέντρου που ποτίζεται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Κατά το σχεδιασμό του υφιστάμενου δικτύου το 1982, υπολογίστηκε η συνολική έκταση των αρδευόμενων εκτάσεων στα 62500 m² με συνολική ημερήσια κατανάλωση στα 805 m³/d και συνολική απαιτούμενη διάρκεια ποτίσματος 26.5 ώρες.

Σχήμα 3.1 - Υφιστάμενο δίκτυο ύδρευσης Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΕΝΤΟΣ ΒΑΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ
- ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΕΚΤΟΣ ΒΑΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ
- ΤΜΗΜΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΠΟΥ ΠΙΘΑΝΩΝ ΝΑ ΕΙΝΑΙ ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
- ΔΙΚΤΥΟ ΑΡΔΕΥΣΗΣ
- ΔΡΑΧΜΑ
- ΤΗΛΕΧΕΡΩΣΙΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΡΑΧΜΑ
- ΜΑΝΟΜΕΤΡΟ
- 1192) ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΑΓΩΓΟΥ
- ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΟΣ ΚΡΟΥΝΟΣ

ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ
 Παλιά δεξαμενή 200 m³
 Νέα δεξαμενή 600 m³
 Υψόμετρο πιθμένα: 256 m
 Υψόμετρο υπερχειλήσης = 258,7 m
 Ωφέλιμο ύψος δεξαμενής: 2,7-3 m

3.2 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Τον Ιανουάριο του 2007, μετά από επιθυμία της διοίκησης του ΕΜΠ, ανατέθηκε στο εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ ο έλεγχος της ποιότητας του νερού της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου.

Η Επιστημονική Υπεύθυνη του έργου Καθηγήτρια κ. Μαρία Όξενκιουν-Πετροπούλου με την Ερευνητική της Ομάδα «Φυσικές Μέθοδοι Ανάλυσης- Περιβάλλον» που εντάσσεται στο Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. ανέλαβε μετά από συνεννόηση με την Δ/νση Ελέγχου Ποιότητας και Προστασίας Νερού της Ε.Υ.Δ.Α.Π. την από κοινού δειγματοληψία, επί τόπου ελέγχους και εργαστηριακές αναλύσεις των νερών των δυο γεωτρήσεων, της δεξαμενής αποθήκευσης χλωριωμένου νερού, του δικτύου κτιρίων διαφόρων Σχολών, του εστιατορίου και 2 κυλικείων της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου (Όξενκιουν-Πετροπούλου, 2007).

Οι επί τόπου έλεγχοι και δειγματοληψίες έγιναν στα ακόλουθα 13 σημεία:

1. Γεώτρηση 1, παλαιά
2. Δεξαμενή αποθήκευσης χλωριωμένου νερού
3. Γεώτρηση 2, νέα
4. Κτίριο Αντοχής Υλικών, ΣΕΜΦΕ
5. Εργαστήριο Λιμενικών Έργων
6. Νέο Κτίριο Πολιτικών Μηχανικών, Εργαστήριο Στατικής και Αντισεισμικών Ερευνών
7. Κτίριο Διοίκησης (Κυλικείο)
8. Εστιατόριο (Μαγειρείο)
9. Κτίριο Ναυπηγών
10. Κτίριο Μεταλλειολόγων (γραφείο καθηγητή κ. Α. Βγενόπουλου)
11. Κυλικείο Γενικών Εδρών
12. Σχολή Χημικών Μηχανικών, Παλαιό Κτίριο, Εργ. Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας
13. Σχολή Χημικών Μηχανικών, Νέο Κτίριο, Β΄ Φάση, Εργ. Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας

Ακολουθώντας την ισχύουσα Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για την ποιότητα του νερού προς πόση (Οδηγία 98/83/ΕΕ, 5-12-98) και την αντίστοιχη Ελληνική νομοθεσία (ΚΥΑ Υ2/2600/2001, ΦΕΚ 892/11-7-2001) μετρήθηκαν στα δείγματα ένα πλήθος φυσικοχημικών, τοξικών και μικροβιολογικών παραμέτρων. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρατίθενται παρακάτω σε πίνακες, όπως αυτοί δημοσιεύτηκαν στο διαδίκτυο (http://www.ntua.gr/gr_announce/pdf/20070309_water.pdf).

ΠΙΝΑΚΑΣ 3-1 Αποτελέσματα φυσικοχημικών παραμέτρων ανά θέση δειγματοληψίας για τον έλεγχο της ποιότητας του νερού του δικτύου ύδρευσης της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου – Δειγματοληψία 9/1/2007

Θέση Δειγματοληψίας		Γεώτρηση Ν° 1 Παλαιά	Δεξαμενή αποθήκευσης χλωριωμένου νερού	Γεώτρηση Ν° 2 Νέα	ΣΕΜΦΕ Αντοχή Υλικών	Εργ. Λιμεν. Εργων	Νέο Κτίριο Πολιτικών Μηχανικών	Κτίριο Διοίκησης (Κυλικείο)	ΕΥΔΑΠ Μέση Τιμή 2006 (επεξεργασμένο νερό)	Ανώτατο Επιτρεπτό Όριο (Υ2/2600 /2001)
Χαρακτηρισμός Δείγματος		01/07	02/07	03/07	04/07	05/07	06/07	07/07		
Θερμοκρασία	°C	20.4	22.1	22.8	15.8	14.2	14.1	22		25
pH		7.28	7.14	7.11	7.20	7.25	7.27	7.22	7.88	6.5<pH<9.5
Αγωγιμότητα	μS/cm	1022	868	852	839	841	831	846	283	2500
Ολική σκληρότητα	°dH	21.2	21.2	20.7	20.7	21.7	21.8	21.8	7.95	
Ολική σκληρότητα	mgCaCO ₃ /l	379	380	370	370	388	389	389	142	
Θολότητα	NTU	0.17	0.15	0.31	0.93	1.16	0.48	0.82	0.17	<1
Διαλυμένα στερεά	mg/l	614	533	511	620	545	552	507	169	1500
Υπολειμ.χλώριο	mg/l	-	0.55	-	0.40	0	0.55	0.55	0.6	≥ 0.25
Χλωριόντα	mg/l	61	62	61	61	62	61	63	4.0	250
Νιτρικά	mg/l	21	23 (30.6)	22	21	29	22	25	0.21	50
Νιτρώδη	mg/l	0.03	0.02 (<0.006)	<0.02	<0.02	0.03	<0.02	<0.02	<0.005	0.5
Αμμωνία	mg/l	<0.2	<0.2 (0.11)	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.02	0.5
Ψευδάργυρος	μg/l	44	164	51	350	2278	360	460	5.41	3000
Μόλυβδος	μg/l	2.8	3.5	3.5	5	4	2	2.9	<0.05	25
Χαλκός	μg/l	8	4	7	2	11	6	5	8.86	50
Νικέλιο	μg/l	12	13	11	11	12	11	11	0.12	50
Σίδηρος	μg/l	<5	<5 (3)	<5	<5 *	<5 *	<5	<5	<50	200
Κάδμιο	μg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	1	<0.5	<0.5	<0.03	<5

* Στα δείγματα 04/07 και 05/07 παρατηρήθηκε αδιάλυτος σίδηρος με ολική συγκέντρωση 367 και 228 μg/l αντιστοίχως (Τα εντός παρενθέσεως αναφερόμενα αποτελέσματα αφορούν σε μετρήσεις της ΕΥΔΑΠ)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3-1 (συνέχεια) Αποτελέσματα φυσικοχημικών παραμέτρων ανά θέση δειγματοληψίας για τον έλεγχο της ποιότητας του νερού του δικτύου ύδρευσης της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου – Δειγματοληψία 9/1/2007

Θέση Δειγματοληψίας		Εσπιατόριο *	Κτίριο Ναυπηγών	Κτίριο Μεταλλειολόγων (γρ.Καθ. κ. Βγενόπουλου)	Κυλικείο Γενικών Εδρών	Εργ.Ανοργ.& Αναλ. Χημείας Παλαιό Κτίριο Χημ. Μηχ.	Εργ.Ανοργ.& Αναλ. Χημείας Νέο Κτίριο Χημ. Μηχ.	ΕΥΔΑΠ Μέση Τιμή 2006 (επεξεργασμένο νερό)	Ανώτατο Επιτρεπτό Όριο (Υ2/2600 /2001)
Χαρακτηρισμός Δείγματος		08/07	09/07	10/07	11/07	12/07	13/07		
Θερμοκρασία	°C	20.7	20.0	19.7	20.1	17.7	19.7		25
pH		7.35	7.15	7.15	7.28	7.23	7.26	7.88	6.5<pH<9.5
Αγωγιμότητα	μS/cm	872	847	846	847	849	853	283	2500
Ολική σκληρότητα	°dH	5.1 *	20.7	23.7	22.7	21.2	21.2	7.95	
Ολική σκληρότητα	mgCaCO ₃ /l	91 *	370	423	405	379	379	142	
Θολότητα	NTU	0.40	0.28	5.76	0.37	5.97	0.38	0.17	<1
Διαλελυμένα στερεά	mg/l	200	517	580	508	510	512	169	1500
Υπολειμ.γλώριο	mg/l	0.55	0.55	0.55	0.55	0.50	0.30	0.6	≥ 0.25
Χλωριόντα	mg/l	58	63	64	61	63	61	4.0	250
Νιτρικά	mg/l	27	25	25	26	28	26	0.21	50
Νιτρώδη	mg/l	<0.02	0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.005	0.5
Αμμώνιο	mg/l	<0.2	0.2	<0.2	0.2	<0.2	<0.2	0.02	0.5
Ψευδάργυρος	μg/l	221	218	420	161	575	2998	5.41	3000
Μόλυβδος	μg/l	4.2	1	5.5	2.5	1	5	<0.05	25
Χαλκός	μg/l	9	6	10	14	5	16	8.86	50
Νικέλιο	μg/l	9	12	12	12	11	11	0.12	50
Σίδηρος	μg/l	9	<5	<5	<5	7	<5	<50	200
Κάδμιο	μg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.03	<5

* Στο εσπιατόριο έχει τοποθετηθεί αποσκληρυντής

ΠΙΝΑΚΑΣ 3-2 Αποτελέσματα μικροβιολογικών παραμέτρων ανά θέση δειγματοληψίας για τον έλεγχο της ποιότητας του νερού του δικτύου ύδρευσης της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου – Δειγματοληψία 9/1/2007 (Μετρήσεις από Ε.Υ.Δ.Α.Π.)

Χαρ. Δειγ.	Θέση Δειγματοληψίας	Ολικά κολοβακτηριοειδή	Στελέχη E.coli	Εντερόκοκκοι	Ετερότροφα Βακτήρια (στους 36 °C)
		cfu/100ml	cfu/100ml	cfu/100ml	cfu/ml
01/07	Γεώτρηση Ν° 1 (Παλαιά)	0	0	0	0
02/07	Δεξαμενή (Αποθήκη χλωριωμένου νερού)	0	0	0	0
03/07	Γεώτρηση Ν° 2 (Νέα)	0	0	0	0
04/07	ΣΕΜΦΕ Κτίριο Αντοχής Υλικών	0	0	0	0
05/07	Εργ.Λιμενικών Έργων	0	0	0	10
06/07	Νέο Κτίριο Πολιτικών Μηχανικών	0	0	0	0
07/07	Κτίριο Διοίκησης (Κυλικείο)	0	0	0	0
08/07	Εστιατόριο (Μαγειρείο)	0	0	0	0
09/07	Κτίριο Ναυπηγών	0	0	0	0
10/07	Κτίριο Μεταλλειολόγων (γρ.Καθ. κ.Βγενόπουλου)	0	0	0	0
11/07	Κυλικείο Γενικών Εδρών	0	0	0	0
12/07	Εργ.Ανοργ.& Αναλ.Χημείας Παλαιό Κτίριο Χημ. Μηχ.	0	0	0	10
13/07	Εργ.Ανοργ.& Αναλ.Χημείας Νέο Κτίριο Χημ. Μηχ.	0	0	0	0
	Ανώτατο Επιτρεπτό Όριο	0	0	0	20 (A5/ 288)

Πίνακας 3-3 Αποτελέσματα αναλύσεων επιπλέον του Πίνακα 3-1 των φυσικοχημικών παραμέτρων για τον έλεγχο της καταλληλότητας προς πόση του νερού της Δεξαμενής αποθήκευσης χλωριωμένου νερού (Δείγμα 02/07) της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου – Δειγματοληψία 9/1/07 (Μετρήσεις ΕΥΔΑΠ)

Παράμετρος	Μονάδα μέτρησης	Αποτελέσματα	ΕΥΔΑΠ Μέση Τιμή 2006 (επεξεργασμένο νερό)	Ανώτατο επιτρεπτό όριο (Υ2/2600/2001)
Αλκαλικότητα (Φαινολοφθαλείνης)	mgCaCO ₃ /l	0		
Αλκαλικότητα (Ηλιανθίνης)	mgCaCO ₃ /l	333	123	
Οξειδωσιμότητα	mgO ₂ /l	0.2	0.4	5.0
Φθοριόντα	mg/l	0.25		1.5
Βρωμιόντα	mg/l	0.073	<0.006	
Φωσφορικά	mg/l	<0.01	<0.012	3
Θειικά	mg/l	28.2	23.2	250
Νάτριο	mg/l	37.8	4.4	150
Κάλιο	mg/l	1.6	1.8	12
Ασβέστιο	mg/l	98	46.7	
Μαγνήσιο	mg/l	33.4	5.4	
Μαγγάνιο	μg/l	<D.L.	0.28	50
Αργίλιο	μg/l	<14	122	200

Πίνακας 3-4 Αποτελέσματα αναλύσεων πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (PAHs) και οργανοχλωριωμένων παρασιτοκτόνων στο νερό της δεξαμενής αποθήκευσης χλωριωμένου νερού της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου (Δείγμα 02/07, Πίνακας 1)– Δειγματοληψία 9/1/07 (Μετρήσεις ΕΥΔΑΠ)

α) Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs)

Προσδιοριζόμενη ουσία	Συγκέντρωση (μg/l)	Όριο ανίχνευσης (μg/l)	Νομοθετικά όρια (98/83/ΕΚ μg/l)
1. Benzo(b)fluoranthene	M.A.	0.007	
2. Benzo(k)fluoranthene	M.A.	0.004	
3. 1,12 Benzoperylene	M.A.	0.006	
4. Indeno(1,2,3-cd)pyrene	M.A.	0.015	
5. Άθροισμα συγκεντρώσεων 1-4	-	-	0.100
6. Benzo(a)pyrene	M.A.	0.005	0.01

β) Οργανοχλωριωμένα Παρασιτοκτόνα

A/A	Προσδιοριζόμενη ουσία	Συγκέντρωση (ng/l)	Όριο ανίχνευσης (ng/l)
1	TRIFLURALIN	M.A.	2
2	α-BHC	M.A.	1
3	β-BHC	M.A.	1
4	PROPYZAMIDE	M.A.	2
5	LINDANE	M.A.	2
6	δ-BHC	M.A.	1
7	ALACHLOR	M.A.	3
8	HEPTACHLOR EPOXIDE	M.A.	2
9	α-ENDOSULFAN	M.A.	1
10	op'-DDD	M.A.	3
11	DIELDRIN	M.A.	1
12	ENDRIN	M.A.	3
13	pp'-DDD	M.A.	3
14	β-ENDOSULFAN	M.A.	1
15	pp'-DDT	M.A.	2
	Άθροισμα συγκεντρώσεων 1-15	M.A.	-

γ) Προσδιορισμός Atrazine

Προσδιοριζόμενη ουσία	Συγκέντρωση (ng/l)	Όριο απόφασης (ng/l)
Atrazine	M.A. ⁶	100

Από τις παραπάνω αναλύσεις, γενικά παρατηρούμε πως το νερό του δικτύου ύδρευσης της Πολυτεχνειούπολης είναι υποδεέστερο από αυτό της ΕΥΔΑΠ, αλλά εντός των επιτρεπτών ορίων με βάση την Ελληνική και Ευρωπαϊκή νομοθεσία⁷.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά στο **νερό των γεωτρήσεων**, αυτό χαρακτηρίζεται από υψηλή σχετικά θερμοκρασία (20.4°C και 22.8°C) σε σύγκριση με την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας στην ημερομηνία δειγματοληψίας (13°C), χωρίς όμως να υπερβαίνει το ανώτατο επιτρεπτό όριο των 25°C, φαινόμενο το οποίο υποδεικνύει ενδεχόμενη γεωθερμική επίδραση.

⁶ M.A. : Μη Ανιχνεύσιμο

⁷ Οδηγία 98/83/ΕΕ, 5-12-98 και Ελληνική νομοθεσία ΚΥΑ Υ2/2600/2001, ΦΕΚ 892/11-7- 2001

Οι τιμές της σκληρότητας, της υδραυλικής αγωγιμότητας και των διαλυμένων στερεών είναι σχεδόν τριπλάσιες από αυτές του νερού της ΕΥΔΑΠ, χωρίς πάλι να υπερβαίνουν τα ανώτατα επιτρεπτά όρια. Υψηλές είναι και οι συγκεντρώσεις των νιτρικών, των χλωριόντων, του ψευδαργύρου, του μολύβδου και του νικελίου σε σχέση με αυτές της ΕΥΔΑΠ, σε χαμηλότερα όμως επίπεδα από τα επιτρεπτά όρια. Τέλος, όσον αφορά στο μικροβιολογικό φορτίο, αυτό είναι μηδενικό.

Το **νερό της δεξαμενής**, στο οποίο έγινε πλήρης ανάλυση 56 παραμέτρων (Όξενκιουν-Πετροπούλου, 2007), δεδομένου ότι από αυτό τροφοδοτείται όλο το δίκτυο της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, παρατηρούνται τα ίδια σχεδόν χαρακτηριστικά με αυτά των γεωτρήσεων. Το υπολειμματικό χλώριο, την ημέρα της δειγματοληψίας, εμφάνιζε ικανοποιητική τιμή, παρόμοια με αυτή της ΕΥΔΑΠ για το πόσιμο νερό. Η απουσία τοξικών ενώσεων καταδεικνύει πως η δεξαμενή είναι προστατευμένη από εξωγενείς ρύπους.

Όσον αφορά στο **νερό των διαφόρων κτιρίων** που έγινε η δειγματοληψία, παρατηρούνται διαφοροποιήσεις σε ορισμένες παραμέτρους σε σχέση με τις γεωτρήσεις και τη δεξαμενή. Συγκεκριμένα, παρατηρείται αυξημένη τιμή η οποία αφορά στις φυσικοχημικές παραμέτρους θολότητα και υπολειμματικό χλώριο και στις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων ψευδαργύρου και σιδήρου.

Στο **Εργαστήριο Λιμενικών Έργων** παρατηρήθηκε:

- Μηδενική συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου (ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα χλωρίου 0.25 mg/l για λόγους απολύμανσης).
- Θολότητα του νερού στα ανώτατα επιτρεπτά όρια
- Ίζημα σιδήρου σε συγκέντρωση 228 mg/L (όριο 200 mg/L),
- Υψηλή συγκέντρωση ψευδαργύρου (2278 mg Zn/L), δηλ. οκταπλάσια περίπου από αυτή των άλλων κτιρίων και οριακή της ανώτατης επιτρεπτής συγκέντρωσης για το μέταλλο αυτό (3000 mg Zn/l).

Στο **Κτίριο Αντοχής Υλικών** παρατηρήθηκε θολότητα του νερού 0.93 NTU (ανώτατα επιτρεπτά όρια της νομοθεσίας < 1 NTU) και ίζημα αδιάλυτου σιδήρου, ολικής συγκέντρωσης 367 mg/L (ανώτατο επιτρεπτό όριο 200 mg/L).

Στο **Κτίριο Μεταλλειολόγων** (γραφείο Καθηγητή κ. Ανδρέα Βγενόπουλου) παρουσιάστηκε πενταπλάσια τιμή (5.76 NTU) της ανώτατης επιτρεπτής τιμής της θολότητας (<1 NTU).

Επίσης υψηλές τιμές θολότητας και υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων παρουσιάστηκαν και σε άλλα σημεία του δικτύου χωρίς να υπερβαίνουν ωστόσο τα ανώτατα επιτρεπτά όρια.

Από την ανάλυση αυτή, και δεδομένου ότι το νερό των γεωτρήσεων αλλά και της δεξαμενής δεν παρουσιάζει τις ίδιες υψηλές τιμές, καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η επιβάρυνση αυτή οφείλεται στην κατάσταση του δικτύου ύδρευσης, καθώς και στην χρήση του⁸. Συγκεκριμένα, οι αυξημένες συγκεντρώσεις στα βαρέα μέταλλα ψευδάργυρο και σίδηρο που ανιχνεύθηκαν στο δίκτυο ορισμένων κτιρίων σε τελικά σημεία υδροδότησης κατά την δειγματοληψία, οφείλονται στη διάβρωση των γαλβανισμένων χαλυβδοσωλήνων του δικτύου από το νερό των γεωτρήσεων που έχει αρκετή ποσότητα χλωριόντων και παρέμεινε στάσιμο για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στο αντίστοιχο δίκτυο. Επιπλέον παρατηρήθηκε ότι, όταν η κατανάλωση του νερού είναι μικρή, λόγω του μικρού αριθμού ατόμων που χρησιμοποιούν την ύδρευση, πχ. Εργαστήριο Λιμενικών Έργων, το νερό εμφανίζει μεγαλύτερη θολότητα και αιωρούμενα σωματίδια λόγω της επαναδιάλυσης των σχηματισθέντων αλάτων (Οξενκιουν-Πετροπούλου,2007).

Όσον αφορά στην υψηλή σκληρότητα του νερού των γεωτρήσεων με σαφή τάση δημιουργίας αποθέσεων, θα πρέπει επίσης να σημειωθεί πως αυτή μπορεί να προκαλέσει προβλήματα λειτουργίας σε ορισμένες εργαστηριακές συσκευές. Αντίστοιχα η παρατήρηση μηδενικού υπολειμματικού χλωρίου σε ορισμένες θέσεις, εγκυμονεί κινδύνους μόλυνσης του νερού.

⁸ Δηλαδή εάν παραμένει το νερό στάσιμο στις σωληνώσεις ή κυκλοφορεί

4. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΣΗ ΝΕΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

Στο πλαίσιο των όσων αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, αποφασίστηκε η διερεύνηση και αξιολόγηση κάποιων εναλλακτικών λύσεων για την ύδρευση της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου.

Μια από αυτές τις λύσεις ήταν και η κατασκευή, εκ νέου, ενός δικτύου διανομής με πόσιμο νερό από την ΕΥΔΑΠ, το οποίο θα καλύπτει τις ανάγκες των καταναλωτών προς πόση και προσωπική υγιεινή, με ταυτόχρονη χρήση του υφιστάμενου δικτύου για όλες τις υπόλοιπες ανάγκες (άρδευση, πυρόσβεση, τουαλέτες κλπ). Θα χρησιμοποιείται, δηλαδή, ένα διπλό δίκτυο ύδρευσης, από το οποίο καλούμαστε να σχεδιάσουμε το δίκτυο παροχής πόσιμου νερού. Η διαστασιολόγηση αυτού του νέου δικτύου δεν διαφέρει σε τίποτα από τον συνήθη σχεδιασμό ενός τυπικού δικτύου διανομής, με δεδομένο βέβαια ότι εφόσον οι απαιτήσεις σε κατανάλωση θα είναι πολύ χαμηλότερες από τις συνηθισμένες, θα έχουμε και διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά στο δίκτυο. Όσον αφορά στο νέο αυτό δίκτυο, και δεδομένου ότι θα εντάσσεται στο γενικότερο υδρευτικό σύστημα της ευρύτερης περιοχής, δεν θα χρειαστούν έργα επεξεργασίας και αποθήκευσης.

Αρχικά θα παραθέσουμε ορισμένα βοηθητικά στοιχεία περί δικτύων ύδρευσης, ενώ στη συνέχεια θα προχωρήσουμε στη διαστασιολόγηση του νέου μας δικτύου με τη βοήθεια του λογισμικού EPANET.

4.1 ΠΕΡΙ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

Κάθε δίκτυο ύδρευσης αποτελεί ένα σύστημα αγωγών υπό πίεση, που παραλαμβάνει νερό από ολιγάριθμες πηγές (σημεία εισόδου) και το οδηγεί προς πολλαπλά σημεία προορισμού (σημεία εξόδου ή καταναλωτές). Ουσιαστικά διανέμει το επεξεργασμένο

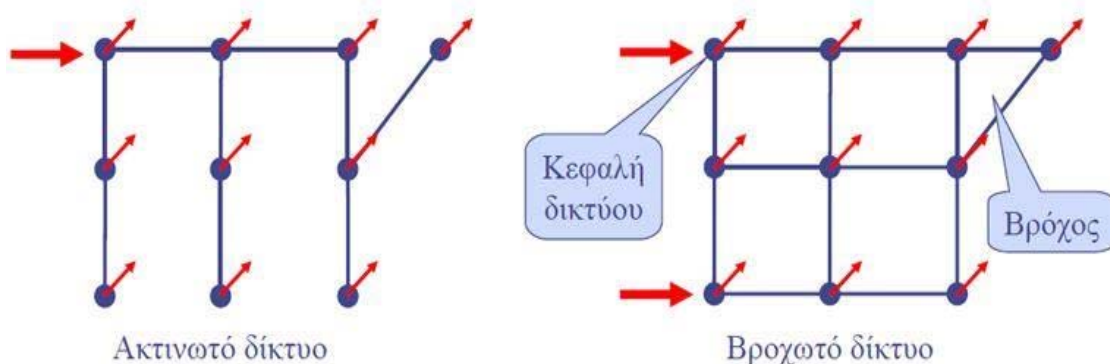
(καθαρό) νερό από τις δεξαμενές σε πολλαπλά σημεία προορισμού (καταναλωτές) μιας αστικής περιοχής (Κουτσογιάννης, 2006).

4.1.1 ΕΙΔΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

Τα δίκτυα ύδρευσης, ανάλογα με τη διάταξη των αγωγών τους, χωρίζονται σε ακτινωτά και κλειστά ή βροχωτά δίκτυα.

Ακτινωτά δίκτυα (branched networks) είναι τα δίκτυα τα οποία τροφοδοτούνται από ένα μοναδικό σημείο (κεφαλή) και κατά τη διάταξή τους δε σχηματίζονται κλειστές διαδρομές αγωγών (βρόχοι). Κάθε σημείο εξόδου υδροδοτείται μέσω μιας μοναδικής διαδρομής (Κουτσογιάννης, Ευστρατιάδης 2006).

Το βασικό πλεονέκτημα που προκύπτει από τη χρήση ακτινωτών δικτύων ύδρευσης είναι η ελαχιστοποίηση του μήκους του δικτύου, γεγονός που συνεπάγεται ελαχιστοποίηση του κόστους αγοράς και τοποθέτησης των αγωγών. Τα βασικά μειονεκτήματά τους είναι ότι παρουσιάζουν αυξημένες ενεργειακές απώλειες, σε περίπτωση βλάβης απαιτείται απομόνωση των κατάντη κλάδων του δικτύου, ενώ ταυτόχρονα απαιτούνται έργα προστασίας έναντι υδραυλικού πλήγματος.



Εικόνα 4-1 Απεικόνιση της διάταξης ακτινωτού και βροχωτού δικτύου (Πηγή Κουτσογιάννης, 2006).

Τα **βροχωτά ή κλειστά δίκτυα** (looped networks), είναι δίκτυα τα οποία τροφοδοτούνται από ένα ή περισσότερα σημεία, στα οποία σχηματίζονται κλειστές διαδρομές αγωγών. Σε κάθε σημείο οδηγούν άνω της μίας διαδρομές, με αφετηρία μια από τις κεφαλές του δικτύου (Κουτσογιάννης, Ευστρατιάδης 2006).

Ως βασικά πλεονεκτήματα των κλειστών δικτύων έναντι των ακτινωτών, είναι το γεγονός ότι παρουσιάζουν μειωμένες ενεργειακές απώλειες και εξασφαλίζουν τη λειτουργία του δικτύου σε περίπτωση βλάβης, καθώς υπάρχει τουλάχιστον μία εναλλακτική διαδρομή τροφοδότησης του κάθε κλάδου. Παρόλα αυτά στα κλειστά δίκτυα, απαιτείται μεγαλύτερο μήκος δικτύου, γεγονός που οδηγεί στην αύξηση του κόστους κατασκευής. Το μειονέκτημά τους αυτό αντισταθμίζεται εν μέρει από τη χρήση μικρότερων διαμέτρων. Τέλος, τα κλειστά δίκτυα ύδρευσης παρουσιάζουν μεγαλύτερη δυσκολία στην εποπτεία και διαχείριση.

4.1.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

4.1.2.1 Εξασφάλιση της ελάχιστης απαιτούμενης πίεσης

Η απαιτούμενη πίεση στους αγωγούς εξαρτάται από το ύψος των κτιρίων που εξυπηρετούνται από το δίκτυο (εξαιρούνται ορισμένα υψηλά κτίρια που υποστηρίζονται από αυτόνομο αντλητικό σύστημα), την κατανάλωση νερού στις οικιακές συσκευές και τις ενεργειακές απώλειες στις υδραυλικές εγκαταστάσεις των κτιρίων. Σε συνθήκες έκτακτης λειτουργίας (πυρκαγιά), η απαιτούμενη πίεση εξαρτάται και από την κατανάλωση των πυροσβεστικών κρουνών (Κουτσογιάννης, Ευστρατιάδης 2006). Για κάθε κόμβο του δικτύου, συνεπώς, απαιτείται ελάχιστο ύψος πίεσης το οποίο δίνεται από την προσεγγιστική σχέση:

$$p_{\min} = 4(n + 1) m, \text{ όπου } n \text{ ο αριθμός των ορόφων του κτιρίου}$$

Η ανεπαρκής πίεση σε έναν κόμβο του δικτύου συνήθως αντιμετωπίζεται είτε με αύξηση του υψομέτρου τοποθέτησης της δεξαμενής (αν αυτό είναι εφικτό) ή με αντικατάσταση των κρίσιμων κλάδων ανάντη, από αγωγούς μεγαλύτερης διαμέτρου (εναλλακτικά

τοποθετούνται παράλληλοι ανακουφιστικοί αγωγοί). Εάν έχουν εξαντληθεί οι παραπάνω λύσεις, τοποθετούνται αντλίες στα κρίσιμα σημεία.

Εξαιτίας της τοπογραφίας, στα πολύ υψηλά σημεία του δικτύου που βρίσκονται κοντά στις δεξαμενές, είναι ορισμένες φορές αναπόφευκτο η τιμή της πίεσης να είναι μικρότερη της επιθυμητής. Στην περίπτωση αυτή δε θεωρείται γενική αστοχία του δικτύου, αν οι πιέσεις των υπόλοιπων κόμβων κυμαίνονται στα επιτρεπτά όρια (Καρκατσούλη, 2008).

4.1.2.2 Περιορισμός της μέγιστης πίεσης

Ο περιορισμός αυτός απαιτείται για την προστασία των εξαρτημάτων του δικτύου, των υδραυλικών εγκαταστάσεων των κτιρίων και των οικιακών συσκευών. Η πιεζομετρική γραμμή της οικιακής παροχής νερού στο ψηλότερο σημείο ενός κτηρίου πρέπει να είναι τουλάχιστον 4 m (συνθήκες λειτουργίας), ενώ η πίεση σε κάθε σημείο του δικτύου δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 60 έως 70 m (συνθήκες ακινησίας) (Κουτσογιάννης, 2006).

4.1.2.3 Προστασία από υδραυλικό πλήγμα

Στην περίπτωση απότομης εκκίνησης ή διακοπής της ροής, υπάρχει ο κίνδυνος εμφάνισης εξαιρετικά μεγάλων υποπίεσεων και υπερπίεσεων, που προκαλούν σημαντικές φθορές στο δίκτυο. Κίνδυνο πλήγματος αντιμετωπίζουν κατ' εξοχήν τμήματα που καταλήγουν σε τυφλό άκρο (ακτινωτά). Συνεπώς, η βροχωτή διάταξη των αγωγών, πέρα από λόγους ασφαλείας έναντι βλάβης, επιδιώκεται και για την αποφυγή υδραυλικών πληγμάτων (Κουτσογιάννης, Ευστρατιάδης 2006).

4.1.3 ΕΙΔΗ ΑΓΩΓΩΝ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ

4.1.3.1 Είδη αγωγών δικτύων ύδρευσης

Στα δίκτυα ύδρευσης χρησιμοποιούνται σωλήνες του εμπορίου, οι οποίοι διαχωρίζονται ως προς το υλικό κατασκευής και την ονομαστική πίεση (κλάση), την μέγιστη πίεση δηλαδή μέχρι την οποία μπορούν να λειτουργούν με ασφάλεια.

Οι αγωγοί των δικτύων ύδρευσης, με βάση το υλικό κατασκευής τους χωρίζονται ως εξής:

- **Πλαστικοί σωλήνες από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)**, οι οποίοι αποτελούν την πιο οικονομική επιλογή για αγωγούς μικρής διαμέτρου (< 400 mm) και ονομαστικής πίεσης έως 16 atm. Είναι φτιαγμένοι από ελαφρύ και εύκαμπτο υλικό και διατίθενται συνήθως σε δμετρα τεμάχια.
- **Πλαστικοί σωλήνες από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE)**, οι οποίοι αντικαθιστούν σταδιακά τους αγωγούς από PVC. Είναι εξαιρετικά εύκαμπτοι, και προτιμώνται για μικρές διαμέτρους (< 125 mm). Μεταφέρονται σε ρολά των 100 m και δεν απαιτούν ειδικά τεμάχια στις στροφές. Παράγονται για κλάσεις έως 32 atm.
- **Χαλυβδοσωλήνες (X/Σ)**, οι οποίοι είναι αρκετά δαπανηροί σε σχέση με τους πλαστικούς και χρησιμοποιούνται για μεγάλες διαμέτρους (> 1000 mm).
- **Αμιαντοτσιμεντοσωλήνες (A/Σ)**, οι οποίοι έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στο παρελθόν, αλλά η χρήση τους έχει περιοριστεί λόγω πιθανών αρνητικών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία.

Ονομαστική διάμετρος (mm)	Εσωτερική διάμετρος (mm)		
	10 atm	12.5 atm	16 atm
63	57.0		53.6
75	67.8		63.8
90	81.4	79.0	76.6
110	99.4	97.0	93.6
125	113.0	110.2	106.4
140	126.6	123.6	119.2
160	144.6	141.2	136.2
200	180.8	176.4	170.2
225	203.4	198.6	191.6
250	226.2	220.6	212.8
280	253.2	247.0	238.4
315	285.0	278.0	268.2
355	321.2	313.2	
400	361.8	353.2	340.6
450	407.0	397.0	
500	452.2	441.2	

Πίνακας 4-1 Εσωτερικές διαμέτροι αγωγών από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) (Πηγή

<http://www.itia.ntua.gr/getfile/717/4/documents/2006WaterSupplyLayout.pdf>)

Ονομαστική διάμετρος (mm)	Εσωτερική διάμετρος (mm)					
	10 atm	12.5 atm	16 atm	20 atm	25 atm	32 atm
63	55.4	53.6	51.4	48.8	45.8	42.0
75	66.0	63.8	61.4	58.2	54.4	50.0
90	79.2	76.6	73.6	69.8	65.4	60.0
110	96.8	93.8	90.0	85.4	79.8	73.4
125	110.2	106.6	102.2	97.0	90.8	83.4
140	123.4	119.4	114.6	108.6	101.6	93.4
160	141.0	136.4	130.8	124.2	116.2	106.8
180	158.6	153.4	147.2	139.8	130.8	120.2
200	176.2	170.6	163.6	155.2	145.2	133.6
225	198.2	191.8	184.0	174.6	163.4	150.2
250	220.4	213.2	204.6	194.2	181.6	167.0
280	246.8	238.8	229.2	217.4	203.4	187.0
315	277.6	268.6	257.8	244.6	228.8	210.4
355	312.8	302.8	290.6	275.6	258.0	
400	352.6	341.2	327.4	310.6	290.6	
450	396.6	383.8	368.2	349.4	327.0	
500	440.6	526.4	409.2	388.4		
560	493.6	477.6	458.4			
630	555.2	537.4	515.6			

Πίνακας 4-2 Εσωτερικές διαμέτροι αγωγών από πολυαιθυλένιο 3^{ης} γενιάς (HDPE)⁹

Οι αγωγοί διατάσσονται στο χώρο με βάση το ανάγλυφο της περιοχής έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος των εκσκαφών. Τοποθετούνται συνήθως κάτω από τα ρείθρα των πεζοδρομίων και απαιτούν μια επικάλυψη τουλάχιστον 1 m, ώστε να προστατεύονται από την ηλιακή ακτινοβολία, τον παγετό και τη μηχανική καταπόνηση.

4.1.3.2 Ειδικές συσκευές δικτύων ύδρευσης

Προς αποφυγή ανεπιθύμητων πιέσεων, εκτός από τη σωστή επιλογή των διαμέτρων των αγωγών, υπάρχουν και ορισμένες ειδικές συσκευές οι οποίες βοηθούν στην ομαλή λειτουργία του δικτύου. Τέτοιες είναι:

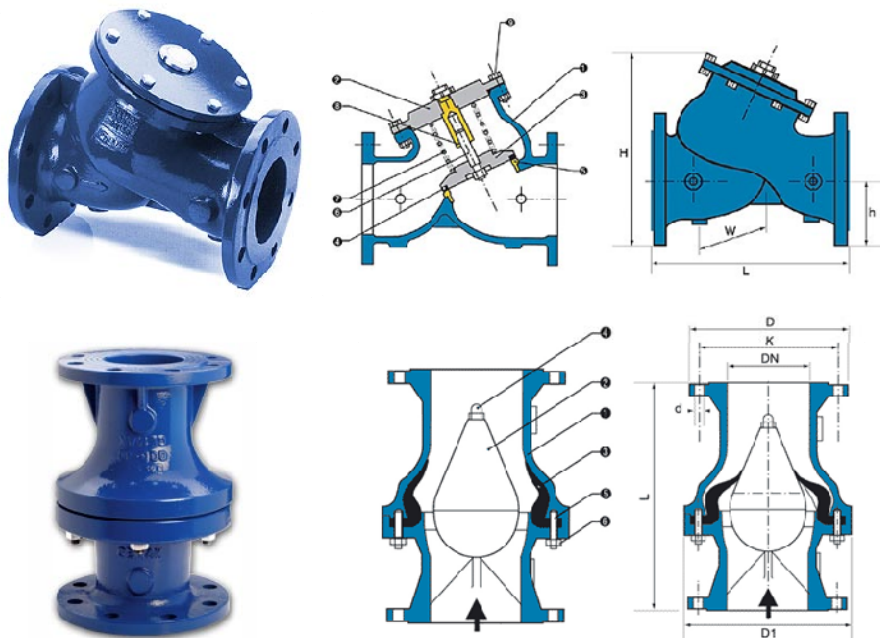
⁹ Στους υδραυλικούς υπολογισμούς, για τους πλαστικούς σωλήνες, χρησιμοποιούνται οι εσωτερικές διαμέτροι των αγωγών. Για τους χαλυβδοσωλήνες και τους αμιαντοσωλήνες η ονομαστική και η εσωτερική διάμετρος ταυτίζονται.

Δικλείδες (βάνες) ρύθμισης της παροχής, οι οποίες τοποθετούνται σε όλες τις διακλαδώσεις του δικτύου, έτσι ώστε σε περίπτωση βλάβης να μπορεί εύκολα να απομονωθεί το τμήμα εκείνο που χρειάζεται επισκευή.



Εικόνα 4-2 Δικλείδες ρύθμισης της παροχής, μορφής σύρτη στα αριστερά και μορφής πεταλούδας στα δεξιά (Πηγή www.chryssafidis.com).

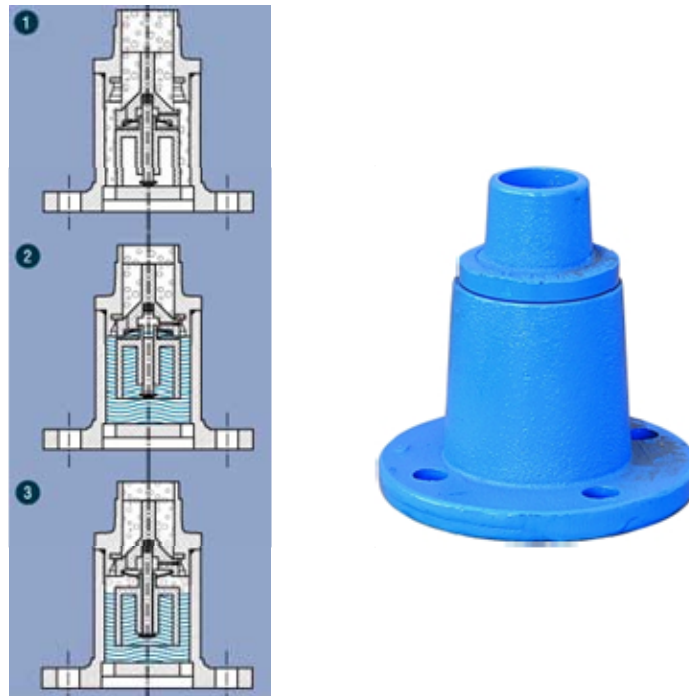
Βαλβίδες αντεπιστροφής, οι οποίες εγκαθίστανται κυρίως σε καταθλιπτικούς αγωγούς, ώστε να εξασφαλίσουν ότι η ροή γίνεται μόνο προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Στα δίκτυα ύδρευσης χρησιμοποιούνται κυρίως βαλβίδες αντεπιστροφής ελατηρίου και ελαστικής έμφραξης, έτσι ώστε να προστατεύονται οι αγωγοί από υδραυλικό πλήγμα.



Εικόνα 4-3 Βαλβίδα αντεπιστροφής ελατηρίου και βαλβίδα αντεπιστροφής ελαστικής έμφραξης (Πηγή www.gemak.gr)

Εκκενωτές, οι οποίοι είναι διακλαδώσεις τύπου «T» που τοποθετούνται σε χαμηλά σημεία του δικτύου και επιτρέπουν την ελεύθερη εκροή προς ένα φυσικό αποδέκτη, για έκπλυση και απομάκρυνση των φερτών υλικών.

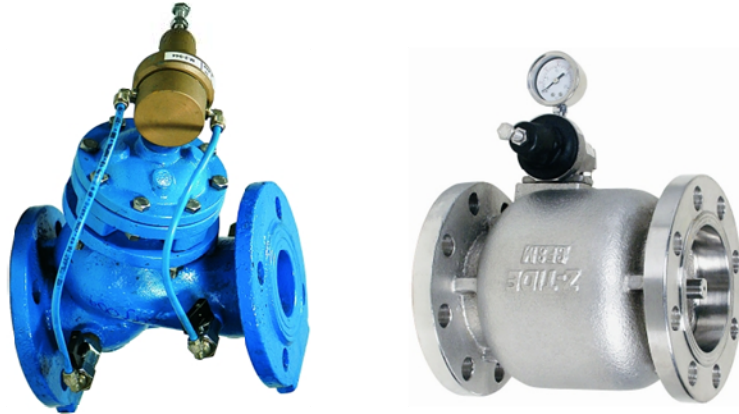
Οι **αερεξαγωγοί** τοποθετούνται σε υψηλά σημεία του δικτύου (χαμηλή πίεση) και σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας, χρησιμεύουν για απομάκρυνση του αέρα, ενώ αντίθετα, στην περίπτωση πλήγματος εισάγουν αέρα, ώστε να πετύχουν γρήγορη αποσυμπίεση του δικτύου.



Εικόνα 4-4 Αερεξαγωγός διπλής ενέργειας παλινδρομικού τύπου (Πηγή www.gemak.gr)

Στην περίπτωση που η τοπογραφία και χωροταξία δεν επιτρέπουν τη χρήση πιεζοθραυστικών φρεατίων, χρησιμοποιούνται **μειωτές πίεσης**. Τοποθετούνται στα σημεία διαχωρισμού των πιεζομετρικών ζωνών και όπου, γενικά, επιδιώκεται μείωση του ενεργειακού υψομέτρου. Οι μειωτές πίεσης είναι ειδικές αυτόματες βαλβίδες που προκαλούν σταθερή πίεση εξόδου P_0 , αν η ανάντη πίεση P_a είναι μεγαλύτερη από την

Ρο, ενώ σε περίπτωση αντιστροφής της ροής λειτουργούν ως βαλβίδες αντεπιστροφής (Ευστρατιάδης, 2006).



Εικόνα 4-5 Μειωτές πίεσης διπλού και μονού θαλάμου (Πηγή www.chryssafidis.com)

4.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

Στην προσομοίωση ενός δικτύου διανομής, αντιλαμβανόμαστε το δίκτυο ως ένα φυσικό σύστημα. Τα όρια του συστήματος είναι τα σημεία εισόδου και εξόδου του νερού, όπως για παράδειγμα οι δεξαμενές ρύθμισης και οι συνδέσεις των καταναλωτών. Συνιστώσες του συστήματος είναι τα έργα αποθήκευσης του νερού, οι αγωγοί διανομής, οι συσκευές έλεγχου της ροής και της πίεσης και τέλος οι συσκευές εξόδου του νερού προς την κατανάλωση. Οι μεταβλητές κατάστασης του συστήματος είναι η παροχή, η πίεση και οι παράμετροι ποιότητας σε όλο το μήκος του δικτύου (Μήνα, 2008). Η επίλυση του δικτύου πραγματοποιείται μέσω μιας μαθηματικής περιγραφής, δηλαδή μέσω της διατύπωσης εξισώσεων που αναφέρονται στην υδραυλική λειτουργία των συνιστωσών του δικτύου.

Με τον όρο κόμβος νοούνται όλα τα σημεία εισροής ή εκροής νερού ή αλλαγής της γεωμετρίας του δικτύου ή μεταβολής των χαρακτηριστικών των αγωγών, με γνωστό απόλυτο υψόμετρο z , γνωστή παροχή εξόδου c και άγνωστο ενεργειακό υψόμετρο h . Με τον όρο κλάδος (αγωγός), νοείται κάθε στοιχείο μεταφοράς νερού μήκους L , που αποτελείται από σύστημα σωλήνων σε σειρά, ομοιόμορφης διαμέτρου D , κλάσης και

τραχύτητας k_s , κατά μήκος του οποίου θεωρείται ενιαία (άγνωστη) παροχή Q . (Κουτσογιάννης, 2006).

Τη λειτουργία του υδραυλικού μοντέλου τη διέπουν ορισμένες μαθηματικές σχέσεις, με βάση τις οποίες γίνεται ο υπολογισμός των ζητούμενων μεγεθών. Για τους κόμβους του δικτύου που ενώνουν τους αγωγούς ισχύει η αρχή διατήρησης της μάζας:

$$\sum_i q_{ik} - \sum_j q_{kj} - Q_k = 0$$

όπου, $q_{i,k}$ είναι η παροχή στον αγωγό που ενώνει τους κόμβους i και k ενώ Q_k είναι η ζήτηση (+) ή η εισροή (-) στον αντίστοιχο κόμβο. Η εξίσωση διατήρησης της ενέργειας σε κάθε αγωγό δίνεται από τη σχέση :

$$h_i - h_j = f(q_{ij})$$

όπου, $f(q_{ij})$ είναι η συνάρτηση των απωλειών ενέργειας κατά μήκος του αγωγού. Οι γραμμικές απώλειες ενέργειας (h_f) δίνονται από τη σχέση Darcy – Weisbach¹⁰ :

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

όπου, f είναι ο αδιάστατος συντελεστής γραμμικών απωλειών ο οποίος εκφράζεται με τη σχέση Colebrook– White, L είναι το μήκος του αγωγού (m), D είναι η εσωτερική διάμετρος του αγωγού (m), V είναι η ταχύτητα της ροής στον αγωγό (m/s) και g η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2). Η σχέση Colebrook– White που εκφράζει το συντελεστή f είναι η ακόλουθη :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

¹⁰ Είναι η σχέση υπολογισμού των γραμμικών απωλειών που χρησιμοποιήθηκε κατά την επίλυση του δικτύου. Η εξίσωση των Darcy-Weisbach ισχύει για στρωτή και τυρβώδη ροή. Στα συνήθη πρακτικά προβλήματα κλειστών αγωγών υπό πίεση η ροή είναι τυρβώδης.

όπου, k_s είναι η ισοδύναμη απόλυτη τραχύτητα της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα (m) και Re είναι ο αριθμός του Reynolds¹¹.

Από τις σχέσεις αυτές προκύπτει ένα μη γραμμικό σύστημα εξισώσεων η επίλυση του οποίου δίνει τα άγνωστα μεγέθη. Κατά τη συνήθη πρακτική θεωρούνται γνωστά τα χαρακτηριστικά των κλάδων (μήκος, διάμετρος, συντελεστής τραχύτητας), η στάθμη κάθε δεξαμενής, τα υψόμετρα των κόμβων και οι παροχές εισόδου και εξόδου από αυτούς. Τα άγνωστα μεγέθη που προκύπτουν από την επίλυση είναι οι παροχές των κλάδων και τα ενεργειακά υψόμετρα στους κόμβους.

4.2.1 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ EPANET

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί αρκετά λογισμικά που βοηθούν στην επίλυση δικτύων ύδρευσης. Ένα από αυτά, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, είναι το λογισμικό πρόγραμμα EPANET¹² το οποίο αναπτύχθηκε από την Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των ΗΠΑ (U.S. Environmental Protection Agency). Η πρώτη έκδοση του προγράμματος έγινε το 1993 (Rossman, 2000), ενώ το 1999 βγήκε η δεύτερη έκδοσή του.

Προσομοιώνει τη χρονική διακύμανση των **υδραυλικών** και **ποιοτικών** χαρακτηριστικών της ροής (μεταξύ άλλων και του υπολειμματικού χλωρίου) σε δίκτυα διανομής υπό πίεση κάθε μεγέθους και οποιασδήποτε τοπολογίας. Ειδικότερα, ως προς την υδραυλική λειτουργία του δικτύου:

- λαμβάνει υπόψη γραμμικές¹³ αλλά και τοπικές απώλειες·

¹¹ Για τυρβώδη ροή ο αριθμός Reynolds παίρνει πολύ μεγάλες τιμές και επομένως στην σχέση Colebrook-White συνήθως παραλείπεται ο όρος που εξαρτάται από αυτόν.

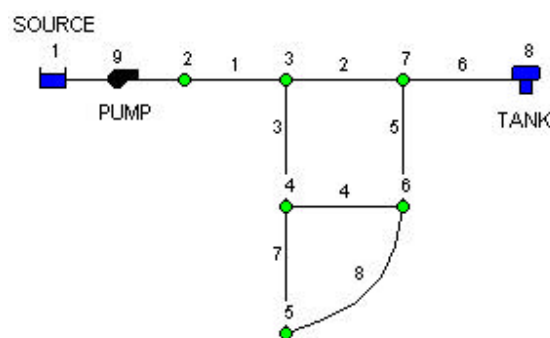
¹² Ελεύθερα διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση: www.epa.gov/ORD/NRMRL/wswrd/epanet.html

¹³ Ο υπολογισμός των γραμμικών απωλειών γίνεται μέσω των σχέσεων Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, ή Chezy-Manning.

- προσομοιώνει δεξαμενές σταθερής ή μεταβλητής γεωμετρίας, διάφορους τύπους ειδικών συσκευών (δικλείδες, μειωτές πίεσης) καθώς και αντλίες σταθερής ή μεταβλητής παροχής·
- υπολογίζει την κατανάλωση ενέργειας και το κόστος λειτουργίας του δικτύου·
- επιτρέπει τη χρήση διαφορετικών προτύπων χρονικής διακύμανσης της κατανάλωσης για πολλαπλές χρήσεις και για κάθε κόμβο·
- υποστηρίζει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης κανόνων λειτουργίας του δικτύου, μέσω κώδικα που γράφει ο χρήστης (συνήθως πρόκειται για χρονικούς περιορισμούς ή περιορισμούς παροχής της μορφής if ... then).

Όσον αφορά στην ποιοτική λειτουργία του δικτύου:

- Εντοπίζει συντηρητικά και μη συντηρητικά συστατικά στο δίκτυο.
- Προσδιορίζει την πηγή του νερού καθώς επίσης την ηλικία και του νερού αλλά και των υπόλοιπων στοιχείων του δικτύου.
- Παρακολουθεί το ποσοστό του νερού που φτάνει, από ένα συγκεκριμένο κόμβο, σε όλους τους υπόλοιπους.
- Προσομοιώνει την αντίσταση που εμφανίζεται τόσο στη ροή όσο και στα τοιχώματα των σωλήνων.



Σχήμα 4-1 Παράδειγμα σχηματικής απεικόνισης δικτύου στο υπολογιστικό πρόγραμμα EPANET

4.3 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΝΕΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Το νέο δίκτυο πόσιμου νερού θα τροφοδοτείται από τρεις αγωγούς της ΕΥΔΑΠ οι οποίοι βρίσκονται, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4-2, επί των οδών Ηρώων Πολυτεχνείου (μετρητές 1 και 3) και Κοκκινοπούλου (μετρητής 2). Ο σχεδιασμός αυτού του νέου δικτύου πραγματοποιείται με σκοπό την παροχή πόσιμου νερού, με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ΕΥΔΑΠ, όλων των κτιρίων της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου.

Το δίκτυο θα επιμερίζεται σε τρία μικρότερα αυτόνομα δίκτυα, εκ των οποίων το δίκτυο 2 και το δίκτυο 3 θα έχουν τη δυνατότητα μεταξύ τους ένωσης ώστε να υπάρχει αλληλοκάλυψη σε περίπτωση βλαβών. Η διάταξη αυτή βασίστηκε σε μελέτη που διενεργήθηκε από την Τεχνική Υπηρεσία του ΕΜΠ τον Ιούνιο του 2009¹⁴.

Στο σχεδιασμό του δικτύου έχουν ληφθεί υπόψη και ορισμένες μελλοντικές εγκαταστάσεις στην Πολυτεχνειούπολη οι οποίες είναι οι εξής:

- Νέα Αμφιθέατρα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών
- Νέα Κτίρια ΗΜΜΥ Γ΄ Φάση
- Νέα Κτίρια ΗΜΜΥ Δ΄ Φάση
- Παιδικός Σταθμός
- Λεβητοστάσιο
- Νέο Κτίριο Ναυπηγών Μηχανικών
- Μελλοντική Ανοικοδόμηση Α
- Μελλοντική Ανοικοδόμηση Β

Σημειώνεται πως τα κτίρια του Αθλητικού Κέντρου ΕΜΠ και των Νέων Φοιτητικών Εστιών δεν συμπεριλαμβάνονται στο σχεδιασμό, λόγω του ότι υδροδοτούνται αυτόνομα από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ.

¹⁴ Η μελέτη της Τεχνικής Υπηρεσίας ΕΜΠ, 2009 πρότεινε τη συνολική ύδρευση της Πολυτεχνειούπολης από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ.

ΔΙΚΤΥΟ 1

Όνομασία κτηρίου	Κόμβος	Εμβαδό (m ²)	Ε.Ε.Υ ¹⁵ (m)	Μ.Ε.Υ. ¹⁶ (m)	Ύψος κτηρίου (m)
Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας	81	1.000	160	168	8
Εργαστήριο Ηχοτεχνίας	80	1.176	165	171	6
Κτήριο Θεοχάρη Πτέρυγα Α	71	1.162	169	185	16
Κτήριο Θεοχάρη Πτέρυγα Β	70	771	169	185	16
Κτήριο Θεοχάρη Αντοχή Υλικών	67	22.831	169	185	16
Κτήριο Υδραυλικής	83	5.250	169	185	16
Εργαστήριο Λιμενικών Έργων	73	5.300	169	185	16
Κτήρια Πολιτικών Μηχανικών	76	10.450	169	191	22
Νέα Αμφιθέατρα Σχολής Πολιτικών Μηχανικών	76	2.315	176	192	16
Σύνολα		50.255			

Πίνακας 4-3 Κόμβοι, εμβαδά και υψόμετρα δικτύου 1

ΔΙΚΤΥΟ 2

Όνομασία κτηρίου	Κόμβος	Εμβαδό (m ²)	Ε.Ε.Υ (m)	Μ.Ε.Υ. (m)	Ύψος κτηρίου (m)
Κτήριο Μηχανολόγων Μηχανικών	13	27.785	187	201	14
Κτήριο Υπολογιστών	11	3.850	184	201	17
Κτήριο Ηλεκτρολόγων Α Φάση	12	4.070	184	200	16
Κτήριο Ηλεκτρολόγων Β Φάση	6	7.934	184	200	16
Θωμαϊδείο	20	1.666	178	190	12
Κτήριο Διοίκησης	23	7.776	178	190	12
Οικονομικές Υπηρεσίες	23	2.851	178	190	12
Ε.Π.Ι.Σ.Ε.Υ.	23	505	178	190	12
Νέο Κτήριο Ηλεκτρολόγων Γ Φάση	14	5.000	184	200	16
Νέο Κτήριο Ηλεκτρολόγων Δ Φάση	15	5.000	184	200	16
Μελλοντική ανοικοδόμηση Α	12	10.000	168	184	16
Μελλοντική ανοικοδόμηση Β	6	10.000	177	193	16
Σύνολα		86.437			

Πίνακας 4-4 Κόμβοι, εμβαδά και υψόμετρα δικτύου 2

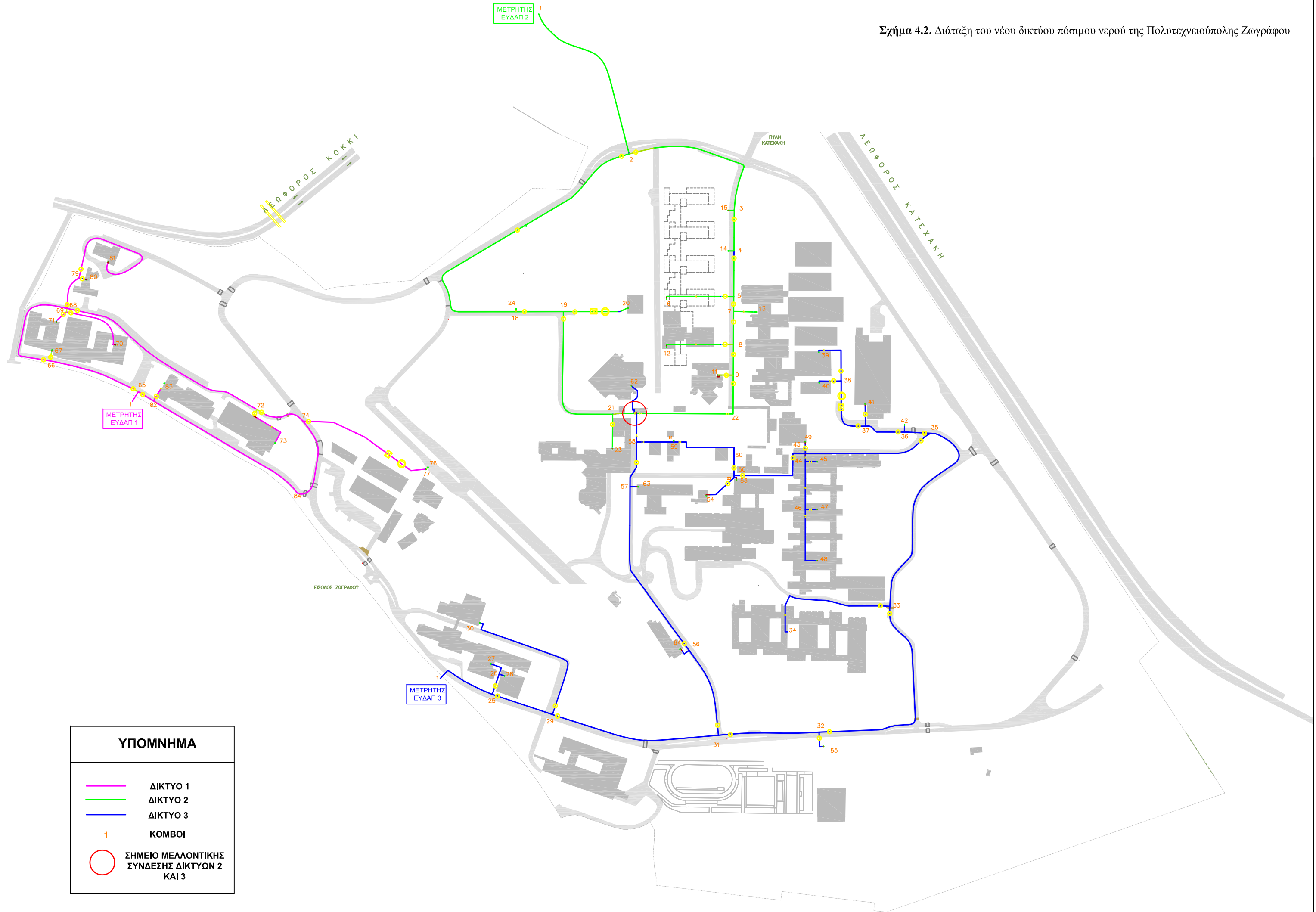
¹⁵ Ε.Ε.Υ. είναι το ελάχιστο εξυπηρετούμενο υψόμετρο του κάθε κτιρίου¹⁶ Μ.Ε.Υ. είναι το μέγιστο εξυπηρετούμενο υψόμετρο του κάθε κτιρίου, δηλαδή το υψόμετρο της οροφής.






ΔΙΚΤΥΟ 3

Όνομασία κτηρίου	Κόμβος	Εμβαδό (m ²)	Ε.Ε.Υ (m)	Μ.Ε.Υ. (m)	Ύψος κτηρίου (m)
Κτήριο Τοπογράφων - Κτήριο Α	27	8.850	186	206	20
Κτήριο Τοπογράφων - Κτήριο Β	30	4.512	186	206	20
Κτήριο Τοπογράφων - Κτήριο Γ	28	1.896	186	206	20
Νέο Κτήριο ΣΕΜΦΕ	64	3.900	183	191	8
Κτήριο Μεταλλειολόγων και ΗΜΜΥ	34	25.800	195	215	20
Κτήριο Χημικών - Συλλέκτης Α	45	12.383	190	210	20
Κτήριο Χημικών - Συλλέκτης Β	47	12.383	190	210	20
Κτήριο Χημικών - Συλλέκτης Γ	48	12.383	190	210	20
Κτήριο Εργαστηρίων Ναυπηγικής	41	7.220	192	211	19
Κτήριο Εργαστηρίων Κ Μηχανολόγων	40	1.222	187	201	14
Κτήριο Εργαστηρίων Λ Μηχανολόγων	39	3.340	187	201	14
Εστιατόριο	49	1.900	187	201	14
ΚΕΔ	61	263	178	185	7
Γραφεία συλλόγων	61	328	178	185	7
Βιβλιοπωλείο	61	378	178	185	7
Χορευτικό	61	459	178	185	7
Χορευτικό - Νέα πτέρυγα	61	230	178	185	7
Στούντιο Μουσικής	61	263	178	185	7
Βιβλιοθήκη	62	8.347	178	202	24
Κτήριο Γενικών Εδρών	52	19.591	186	208	22
Νέα Πτέρυγα Κ Κτηρίου Φυσικής	54	1.177	186	196	10
Κτήριο Φυσικής	63	4.915	184	196	12
Παιδικός Σταθμός	55	706	190	196	6
Λεβητοστάσιο	55	2.000	190	215	25
Νέο Κτήριο Ναυπηγών	42	3.750	192	211	19
Σύνολα		138.196			

Πίνακας 4-5 Κόμβοι, εμβαδά και υψόμετρα δικτύου 3

Σχήμα 4.2. Διάταξη του νέου δικτύου πόσιμου νερού της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου



ΥΠΟΜΝΗΜΑ	
	ΔΙΚΤΥΟ 1
	ΔΙΚΤΥΟ 2
	ΔΙΚΤΥΟ 3
	ΚΟΜΒΟΙ
	ΣΗΜΕΙΟ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ 2 ΚΑΙ 3

4.3.1 Υπολογισμός Καταναλώσεων

Το νερό του νέου δικτύου, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, θα χρησιμοποιείται μόνο προς πόση και προσωπική υγιεινή¹⁷ των φοιτητών και του προσωπικού της Πολυτεχνειούπολης. Γι' αυτό το λόγο, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα, οι ειδικές καταναλώσεις είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με αυτές που αντιστοιχούν στον κάτοικο μιας πόλης κατά τον σχεδιασμό ενός αστικού δικτύου ύδρευσης.¹⁸

Πιο συγκεκριμένα, και με βάση τα όσα αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2, ένας κανονικός άνθρωπος χρειάζεται να πίνει περί τα 2-4 L νερό την ημέρα. Εκτιμήσαμε πως για έναν φοιτητή ο οποίος βρίσκεται στο χώρο της Πολυτεχνειούπολης για 4 ώρες ημερησίως, επαρκούν 5 L νερό, ενώ για κάποιον που παραμένει 8 ώρες 10 L. Αντίστοιχα για το προσωπικό υπολογίστηκαν 15 L. Αυτός ο υπολογισμός περιλαμβάνει το νερό που θα πει κάποιος απευθείας από τη βρύση, το πλύσιμο των χεριών και η κατανάλωσή του στα κυλικεία των σχολών και τα γραφεία. Κάποιες καταναλώσεις εργαστηρίων διαμοιράστηκαν μέσα στη συνολική ημερήσια κατανάλωση και έτσι προέκυψαν τα παραπάνω νούμερα. Τέλος, θεωρήθηκε πως στο εστιατόριο παρασκευάζονται 3000 γεύματα ημερησίως με ειδική κατανάλωση 30 L/γεύμα.

Περιγραφή	Ειδική κατανάλωση (L/d)	Άτομα	Ημερήσια κατανάλωση (m ³)	Ώρες (h)	Μέση ωριαία κατανάλωση (m ³ /h)	Μέγιστη ωριαία κατανάλωση (L/s)
Φοιτητές με παραμονή έως 4 ώρες	5	7500	37,5	4	9,4	2,6
Φοιτητές με παραμονή έως 8 ώρες	10	7500	75	8	9,4	2,6
Προσωπικό με παραμονή 8 ώρες	15	1500	22,5	8	2,8	0,8
Γεύματα	30	3000	90	8	11,3	3,1
Σύνολο			225		32,8	9,1

Πίνακας 4-6 Απαιτούμενες καταναλώσεις δικτύου Πολυτεχνειούπολης

¹⁷ Ως προσωπική υγιεινή εννοούμε το πλύσιμο χεριών.

¹⁸ Συνήθως από την ΕΥΔΑΠ για ένα δίκτυο ύδρευσης θεωρούνται 150-200 L/d/cap

Με βάση τον πίνακα 4-6 και σε συσχετισμό με το εμβαδό του κάθε κτιρίου και τον αριθμό των ατόμων που δραστηριοποιούνται σε αυτό προέκυψε η στιγμιαία κατανάλωση κάθε κόμβου που θα χρησιμοποιηθεί στο σχεδιασμό του δικτύου. Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται αναλυτικά για κάθε κόμβο οι στιγμιαίες καταναλώσεις.

ΔΙΚΤΥΟ 1

Όνομασία κτηρίου	Κόμβος	Στιγμιαία κατανάλωση L/s
Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας	81	0,01
Εργαστήριο Ηχοτεχνίας	80	0,01
Κτήριο Θεοχάρη Πτέρυγα Α	71	0,01
Κτήριο Θεοχάρη Πτέρυγα Β	70	0,01
Κτήριο Θεοχάρη Αντοχή Υλικών	67	0,18
Κτήριο Υδραυλικής	83	0,05
Εργαστήριο Λιμενικών Έργων	73	0,03
Κτήρια Πολιτικών Μηχανικών	76	0,29
Νέα Αμφιθέατρα Σχολής Πολιτικών Μηχανικών	76	0,06
Σύνολο		0,65

Πίνακας 4-7 Στιγμιαίες καταναλώσεις κόμβων για το δίκτυο 1

ΔΙΚΤΥΟ 2

Όνομασία κτηρίου	Κόμβος	Στιγμιαία κατανάλωση L/s
Κτήριο Μηχανολόγων Μηχανικών	13	0,77
Κτήριο Υπολογιστών	11	0,11
Κτήριο Ηλεκτρολόγων Α Φάση	12	0,11
Κτήριο Ηλεκτρολόγων Β Φάση	6	0,22
Θωμαϊδείο	20	0,01
Κτήριο Διοίκησης	23	0,04
Οικονομικές Υπηρεσίες	23	0,02
ΕΠΙΣΕΥ	23	0,003
Νέο Κτήριο Ηλεκτρολόγων Γ Φάση	14	0,14
Νέο Κτήριο Ηλεκτρολόγων Δ Φάση	15	0,14
Μελλοντική ανοικοδόμηση Α	12	0,28
Μελλοντική ανοικοδόμηση Β	6	0,28
Σύνολο		2,12

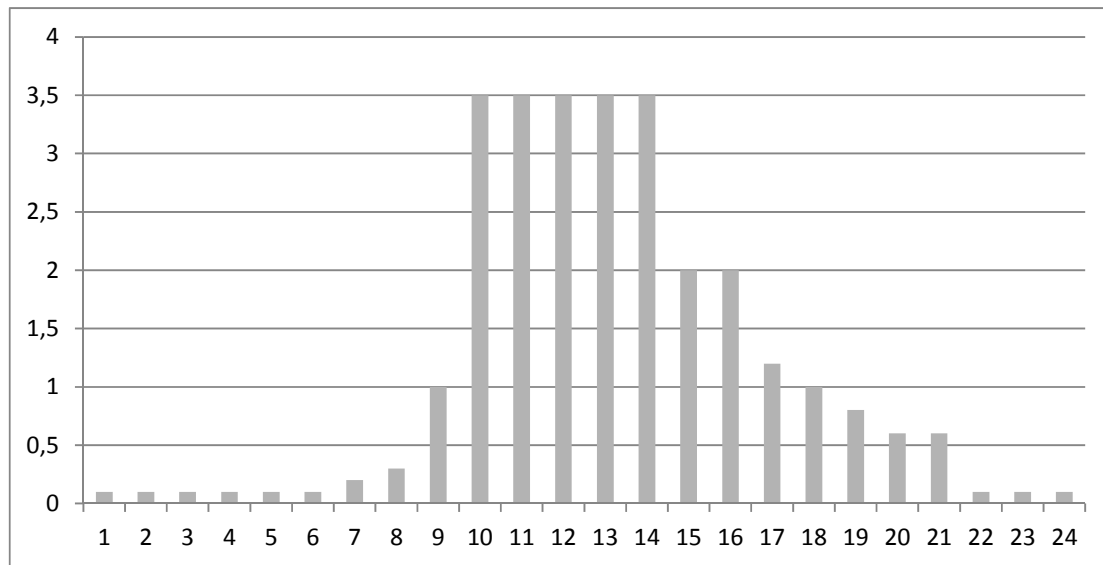
Πίνακας 4-8 Στιγμιαίες καταναλώσεις κόμβων για το δίκτυο 2

ΔΙΚΤΥΟ 3

Όνομασία κτηρίου	Κόμβος	Στιγμαία κατανάλωση L/s
Κτήριο Τοπογράφων - Κτήριο Α	27	0,246
Κτήριο Τοπογράφων - Κτήριο Β	30	0,125
Κτήριο Τοπογράφων - Κτήριο Γ	28	0,053
Νέο Κτήριο ΣΕΜΦΕ	64	0,108
Κτήριο Μεταλλειολόγων και ΗΜΜΥ	34	0,717
Κτήριο Χημικών - Συλλέκτης Α	45	0,344
Κτήριο Χημικών - Συλλέκτης Β	47	0,344
Κτήριο Χημικών - Συλλέκτης Γ	48	0,344
Κτήριο Εργαστηρίων Ναυπηγικής	41	0,057
Κτήριο Εργαστηρίων Κ Μηχανολόγων	40	0,010
Κτήριο Εργαστηρίων Λ Μηχανολόγων	39	0,026
Εστιατόριο	49	3,130
ΚΕΔ	61	0,001
Γραφεία συλλόγων	61	0,002
Βιβλιοπωλείο	61	0,002
Χορευτικό	61	0,002
Χορευτικό - Νέα πτέρυγα	61	0,001
Στούντιο Μουσικής	61	0,004
Βιβλιοθήκη	62	0,128
Κτήριο Γενικών Εδρών	52	0,545
Νέα Πτέρυγα Κ Κτηρίου Φυσικής	54	0,009
Κτήριο Φυσικής	63	0,039
Παιδικός Σταθμός	55	0,002
Λεβητοστάσιο	55	0,006
Νέο Κτήριο Ναυπηγών	42	0,104
Σύνολο		6,35

Πίνακας 4-9 Στιγμαίες καταναλώσεις κόμβων για το δίκτυο 3

Όσον αφορά στη διακύμανση της κατανάλωσης κατά τη διάρκεια της ημέρας, έγινε η υπόθεση ότι ακολουθεί τη μορφή του σχήματος 4-3 που φαίνεται στην επόμενη σελίδα. Οι ώρες με τη μεγαλύτερη κατανάλωση είναι από τις 10:00 πμ έως τις 2:00 μμ, όταν και δραστηριοποιείται στην Πολυτεχνειούπολη ο μεγαλύτερος αριθμός ατόμων.



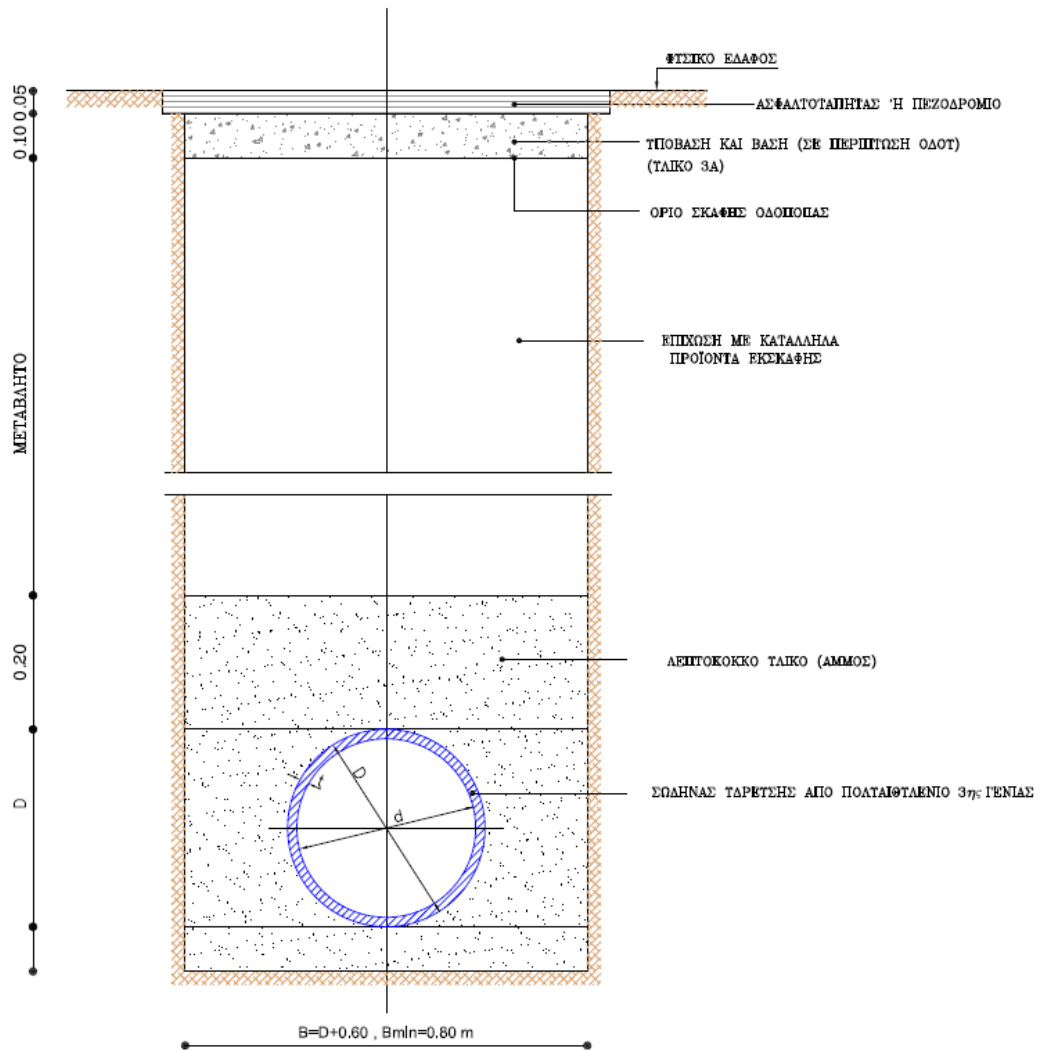
Σχήμα 4-3 Διακύμανση κατανάλωσης (ωριαίοι συντελεστές)

4.3.2 Στοιχεία του δικτύου

Το δίκτυο επιμερίστηκε, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, σε τρία μικρότερα αυτόνομα δίκτυα, κυρίως λόγω τοπογραφίας, και το καθένα από αυτά επιλύθηκε ξεχωριστά. Η διάταξη των κύριων αγωγών είναι βροχωτή με ακτινωτές απολήξεις στους κόμβους των κτιρίων και ακολουθεί τη διάταξη των δρόμων εντός της Πολυτεχνειούπολης.

Οι αγωγοί που επιλέχθηκαν για το δίκτυο είναι σωλήνες πολυαιθυλενίου 3^{ης} γενιάς (HDPE) διαμέτρου 90 mm και ονομαστικής πίεσης 12.5 atm. Επιλέχθηκαν οι σωλήνες αυτοί γιατί είναι οικονομικοί, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, είναι ανθεκτικοί στην οξείδωση και σε άλλες χημικές δράσεις, έχουν λείο τοίχωμα (μικρό ks), μικρό λόγο βάρους/αντοχής, μειωμένες διαρροές (μεγάλα τεμάχια, λιγότερες και ανθεκτικότερες συνδέσεις). Η θραύση τους δεν παρουσιάζει εκτεταμένες ρωγμές όπως στους σωλήνες από PVC, ενώ έχουν ελαστικότητα και καλή συμπεριφορά σε σεισμικές δράσεις. Θεωρήθηκε $ks = 1.0 \text{ mm}$ (Κουτσογιάννης, 2006).

Οι αγωγοί θα τοποθετηθούν σε σκάμμα κάτω από το ρείθρο των πεζοδρομίων και θα έχουν ελάχιστη επικάλυψη 1 m με κατάλληλα προϊόντα εκσκαφής. Μια χαρακτηριστική τομή του σκάμματος φαίνεται στο σχήμα 4-4.



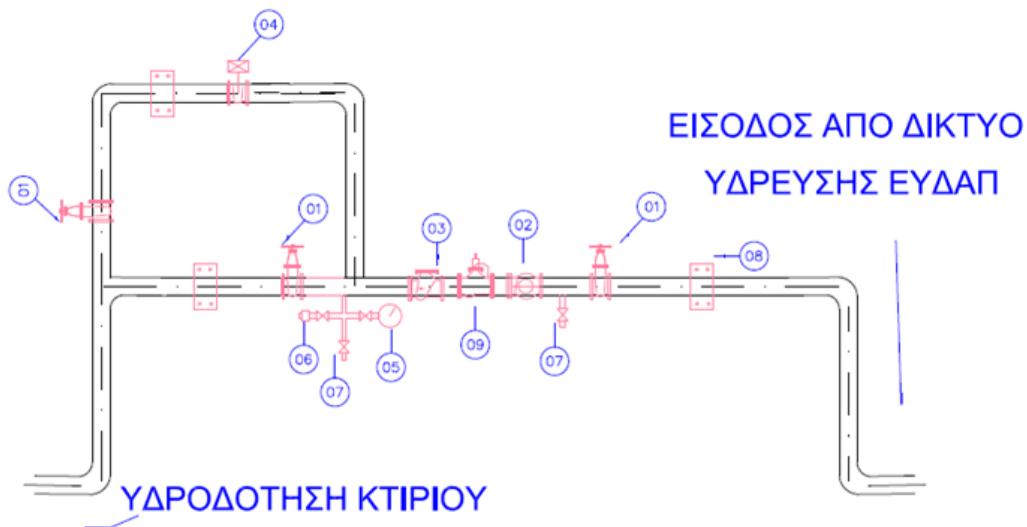
Σχήμα 4-4 Τομή του σκάμματος τοποθέτησης του αγωγού

Το συνολικό μήκος των αγωγών φτάνει τα 6520.76 m τα οποία χωρίζονται ως εξής:

- Μήκος Δικτύου 1 : 1621.48 m
- Μήκος Δικτύου 2: 1864.03 m
- Μήκος Δικτύου 3: 3035.25 m

Εφόσον το δίκτυο θα υδροδοτείται από αγωγούς της ΕΥΔΑΠ, η απαιτούμενη παροχή και πιέσεις διατίθενται από την ΕΥΔΑΠ. Υποχρέωση της ΕΥΔΑΠ είναι να παρέχει νερό με

πίεση από 1 έως 12 bar στη θέση του υδρομέτρου, σύμφωνα με τον κανονισμό ύδρευσης. Βέλτιστη επιδιωκόμενη πίεση 6 bar (www.eydap.gr). Εδώ θεωρούμε ότι η ΕΥΔΑΠ μας παρέχει πιέσεις 45-50 m. Οι απαιτούμενες παροχές των δικτύων είναι αρκετά μικρές και δεν υπάρχει πρόβλημα διάθεσής τους από την ΕΥΔΑΠ. Θεωρώντας ότι το ΕΜΠ εμπίπτει στην κατηγορία ΙΙΙ (Δημόσια- ΟΤΑ) του τιμολογίου της ΕΥΔΑΠ, η χρέωση θα είναι 0.9972 €/m³.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ		
09	ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ-ΜΕΙΩΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ 2-5 ATM	1
08	ΣΤΗΡΙΓΜΑ ΣΩΛΗΝΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΚΑΙ ΔΑΚΤΥΛΙΟ	3
07	ΒΑΝΑ BV 1/2"	4
06	ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ	1
05	ΜΑΝΟΜΕΤΡΟ 0-16 ATM	1
04	ΒΑΝΑ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΜΕ ΗΛΕΚ/ΡΑ	1
03	ΑΝΤΕΠΙΣΤΡΟΦΗ ΒΑΝΑ	1
02	ΠΑΡΟΧΟΜΕΤΡΟ	1
01	ΒΑΝΑ ΠΕΤΑΛΟΥΔΑΣ Ή ΣΦΑΙΡΙΚΗ	3
	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΕΜΑΧΙΑ

Σχήμα 4-5 Τυπική διάταξη κατά την υδροδότηση ενός κτιρίου από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ

Σημαντικό σημείο θεωρείται η τοποθέτηση ειδικών παροχόμετρων τα οποία συνδεδεμένα με το σύστημα παρακολούθησης της ΕΥΔΑΠ μπορούν να δίνουν πληροφορίες σε κάθε

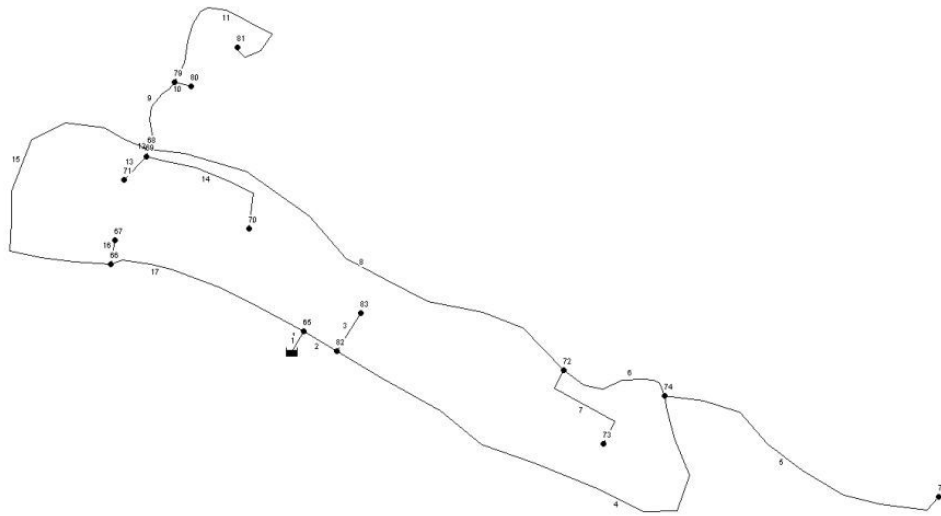
χρονική στιγμή σχετικά με την παροχή και την πίεση του δικτύου. Κάτι τέτοιο μπορεί να φανεί ιδιαίτερος χρήσιμο, αφενός στην καλύτερη παρακολούθηση του δικτύου και αφετέρου στη συλλογή δεδομένων σχετικά με τις καταναλώσεις, καθώς η ανάλυσή τους μπορεί να αποτελέσει βάση για μελλοντικές μελέτες με ρεαλιστικά στοιχεία.

Η σύνδεση των αγωγών του νέου δικτύου με τα κτίρια θα γίνεται εξωτερικά, με αγωγούς που θα διατρέχουν σε ύψος τα κτίρια και θα επενδυθούν με ειδικά τεμάχια ώστε να είναι προστατευμένοι από τη θερμοκρασία και τις καιρικές συνθήκες. Στο εσωτερικό δίκτυο των κτιρίων θα πρέπει να γίνει μια αναδιάταξη ώστε το νέο δίκτυο να μπορεί να προμηθεύει τις κατάλληλες εξόδους με το, απαιτούμενης ποιότητας, νερό. Εναλλακτικά, για περιορισμό των κατασκευαστικών αναδιατάξεων και εργασιών, μπορεί το νέο δίκτυο να συνδέεται με εξωτερικές κρήνες στις αυλές των κτιρίων. Αυτό πέραν του οφέλους της απουσίας εργασιών στην εσωτερική τοιχοποιία των κτιρίων μας δίνει τη δυνατότητα να σχεδιάσουμε το νέο δίκτυο ελαχιστοποιώντας τις απαιτούμενες πιέσεις. Η εναλλακτική αυτή λύση παρουσιάζεται συγκριτικά στο τέλος αυτού του κεφαλαίου.

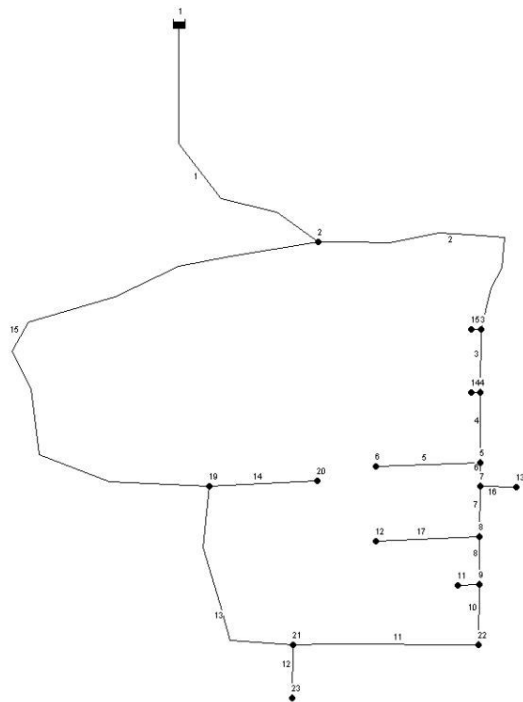
Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί πως κατά τη όδευση των αγωγών του νέου δικτύου θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή και στα υφιστάμενα δίκτυα υποδομής, όπως το υφιστάμενο δίκτυο ύδρευσης, τα ισχυρά ρεύματα, τις οπτικές ίνες και το δίκτυο φυσικού αερίου.

4.3.3 Προσομοίωση του δικτύου

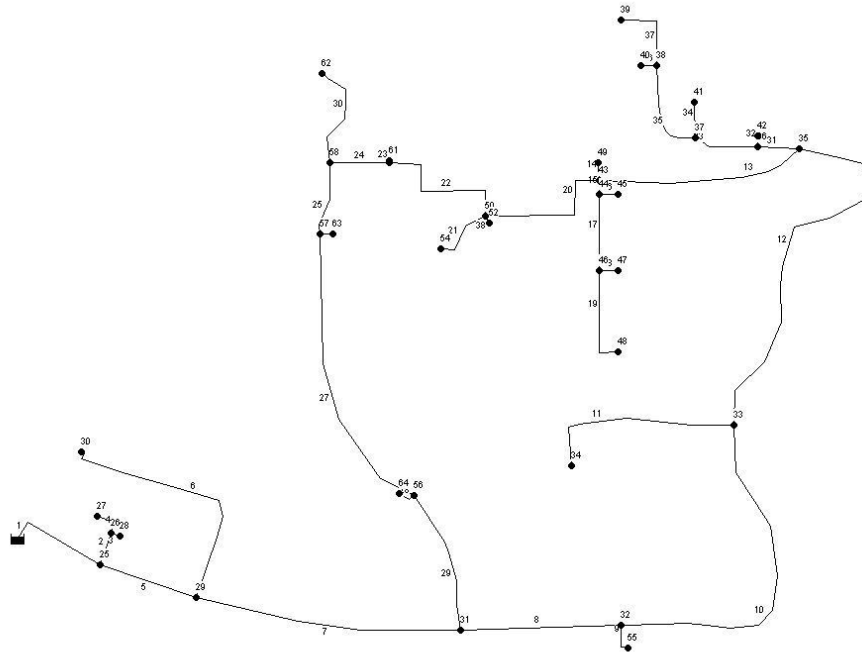
Κατά την προσομοίωση του δικτύου με το υπολογιστικό πρόγραμμα EPANET αρχικά έγινε η γραφική απεικόνιση των τριών δικτύων με βάση τοπογραφικά δεδομένα της περιοχής και στη συνέχεια, αφού εισήχθησαν τα απαραίτητα στοιχεία για τους υπολογισμούς επιλύθηκε το δίκτυο με θεώρηση σταθερής κατάστασης (steady state). Μονάδα μέτρησης των παροχών επιλέχθηκε το L/s και ο υπολογισμός των γραμμικών απωλειών έγινε μέσω της σχέσης Darcy- Weisbach. Αρχικά, στα παρακάτω σχήματα φαίνεται η διάταξη των τριών δικτύων.



Σχήμα 4-6 Διάταξη δικτύου 1



Σχήμα 4-7 Διάταξη δικτύου 2



Σχήμα 4-8 Διάταξη δικτύου 3

Στη συνέχεια, μετά από επίλυση των τριών δικτύων, με επιλογή των βέλτιστων διατομών, υψομέτρων και του κατάλληλου μήκους για κάθε αγωγό, ώστε να ικανοποιούνται όλες οι απαιτήσεις, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα τα οποία παρατίθενται αρχικά σε πίνακες. Στο τέλος της εργασίας παρατίθενται σχηματοποιημένα και σε ξεχωριστό παράρτημα, με σκοπό την καλύτερη και πιο ευδιάκριτη ανάγνωσή.

Δίκτυο 1 (Συνολικό μήκος 1621.48 m)

Κόμβος	Υψόμετρο (m)	Ζήτηση (L/s)	Απαιτούμενη πίεση (m)	Πίεση (m)
81	160	0,01	16	54,97
80	165	0,01	13	49,96
71	169	0,01	26	45,96
70	169	0,01	26	45,96
67	169	0,18	26	44,97
83	169	0,05	26	42,49
73	169	0,03	26	42,96
76	169	0,35	34	45,92

Αγωγός	Μήκος (m)	Διάμετρος (mm)	Τραχύτητα (mm)	Ταχύτητα (m/s)	Απώλειες (m/Km)
1	15	76,6	1	0,14	0,62
2	22,78	76,6	1	0,06	0,14
3	26,67	76,6	1	0,01	0,01
4	333,94	76,6	1	0,05	0,10
5	179,68	76,6	1	0,08	0,19
6	65,42	76,6	1	0,02	0,01
7	65,23	76,6	1	0,01	0,00
8	281,81	76,6	1	0,03	0,02
9	44,94	76,6	1	0,01	0,00
10	9,5	76,6	1	0,01	0,00
11	188,33	76,6	1	0,01	0,00
12	4,53	76,6	1	0,01	0,00
13	17,54	76,6	1	0,01	0,00
14	83,91	76,6	1	0,01	0,00
15	151,57	76,6	1	0,04	0,04
16	14,3	76,6	1	0,04	0,04
17	116,33	76,6	1	0,08	0,20

Πίνακας 4-10 Χαρακτηριστικά αγωγών και κόμβων δικτύου 1

Δίκτυο 2 (Συνολικό μήκος 1864.03 m)

Κόμβος	Υψόμετρο (m)	Ζήτηση (L/s)	Απαιτούμενη πίεση (m)	Πίεση (m)
13	187	0,77	24	25,83
11	184	0,11	28	28,87
6	177	0,50	26	35,83
20	178	0,01	21	35,18
23	178	0,06	21	35,02
14	184	0,14	26	28,96
15	184	0,14	26	29,06
12	168	0,39	26	44,83

Αγωγός	Μήκος (m)	Διάμετρος (mm)	Τραχύτητα (mm)	Ταχύτητα (m/s)	Απώλειες (m/Km)
1	228,92	76,6	1	0,46	6,14
2	210,66	76,6	1	0,29	2,53
3	52,05	76,6	1	0,26	2,04
4	58,54	76,6	1	0,23	1,61
5	84,48	76,6	1	0,11	0,38
6	19,26	76,6	1	0,12	0,48
7	41,99	76,6	1	0,04	0,06
8	39,99	76,6	1	0,13	0,52
9	20,09	76,6	1	0,02	0,01
10	49,82	76,6	1	0,15	0,72
11	153,61	76,6	1	0,15	0,72
12	43,01	76,6	1	0,01	0,01
13	188,94	76,6	1	0,17	0,85
14	80,04	76,6	1	0,01	0,01
15	478,13	76,6	1	0,17	0,87
16	30	76,6	1	0,17	0,86
17	84,5	76,6	1	0,08	0,24
18	8	76,6	1	0,03	0,02

Πίνακας 4-11 Χαρακτηριστικά αγωγών και κόμβων δικτύου 2

Δίκτυο 3 (Συνολικό μήκος 3035.25 m)

Κόμβος	Υψόμετρο (m)	Ζήτηση (L/s)	Απαιτούμενη πίεση (m)	Πίεση (m)
27	186	0,25	32	59,7
30	186	0,13	32	55,76
28	186	0,05	32	59,7
64	183	0,11	16	47,08
34	195	0,72	32	31,86
45	190	0,34	32	34,84
47	190	0,34	32	34,44
48	190	0,34	32	34,43
41	192	0,06	30	33,38
40	187	0,01	24	38,38
39	187	0,03	24	38,38
49	187	3,13	24	37,32
61	178	0,01	14	48,5
62	178	0,13	37	48,99

52	186	0,54	34	39,28
54	186	0,01	18	39,28
63	184	0,04	21	43,67
55	190	0,12	38	40,11
42	192	0,01	30	33,38

Αγωγός	Μήκος (m)	Διάμετρος (mm)	Τραχύτητα (mm)	Ταχύτητα (m/s)	Απώλειες (m/Km)
1	79,78	76,6	1	1,38	53,79
2	27,4	76,6	1	0,07	0,15
3	7,5	76,6	1	0,01	0
4	23	76,6	1	0,05	0,1
5	80,64	76,6	1	1,32	48,88
6	201	76,6	1	0,03	0,02
7	218,4	76,6	1	1,29	46,83
8	126	76,6	1	0,63	11,36
9	23	76,6	1	0,03	0,01
10	297,6	76,6	1	0,60	10,46
11	181,05	76,6	1	0,16	0,75
12	277,4	76,6	1	0,45	5,81
13	170,3	76,6	1	0,42	5,22
14	13	76,6	1	0,68	13,17
15	8	76,6	1	0,22	1,47
16	15,6	76,6	1	0,07	0,18
17	61,2	76,6	1	0,15	0,68
18	15,6	76,6	1	0,07	0,18
19	82,5	76,6	1	0,07	0,18
20	120	76,6	1	0,48	6,56
21	45,5	76,6	1	0,001	0
22	119,8	76,6	1	0,6	10,18
23	3,5	76,6	1	0,001	0
24	47,7	76,6	1	0,6	10,27
25	60,2	76,6	1	0,63	11,25
26	8,6	76,6	1	0,01	0
27	208,4	76,6	1	0,64	11,55
28	12,3	76,6	1	0,02	0,01
29	117,81	76,6	1	0,66	12,43
30	72,3	76,6	1	0,03	0,02
31	34,2	76,6	1	0,02	0,01
32	8,7	76,6	1	0,01	0

33	53,16	76,6	1	0,02	0,01
34	28	76,6	1	0,01	0,01
35	83,47	76,6	1	0,01	0
36	28,6	76,6	1	0,01	0
37	67,61	76,6	1	0,01	0
38	5	76,6	1	0,12	0,44

Πίνακας 4-12 Χαρακτηριστικά αγωγών και κόμβων δικτύου 3

Η παραπάνω διαστασιολόγηση έγινε με σκοπό να ικανοποιηθούν οι ελάχιστες απαιτούμενες πιέσεις των κτιρίων, έτσι ώστε να εξυπηρετούνται και τα υψηλότερα σημεία αυτών. Παρακάτω θα δούμε πώς αλλάζουν τα δεδομένα και τα αποτελέσματα του σχεδιασμού αν εφαρμόσουμε τη λύση των εξωτερικών κρηνών.

Φαίνεται από τους συγκριτικούς πίνακες παρακάτω πως μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και αγωγούς μικρότερης διαμέτρου, 63 mm, ή αγωγούς της ίδιας διαμέτρου με πριν αλλά μικρότερης κλάσης, καθώς ικανοποιούνται οι ελάχιστες απαιτούμενες πιέσεις σε όλους τους κόμβους. Αυτό είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον γιατί με την προηγούμενη θεώρηση αναγκαστήκαμε, προκειμένου να ικανοποιηθούν ορισμένοι “απαιτητικοί” κόμβοι ως προς την ελάχιστη απαιτούμενη πίεση, να διαστασιολογήσουμε το δίκτυο με μεγαλύτερους αγωγούς από ότι χρειαζόταν στο μεγαλύτερο ποσοστό του. Με τη χρήση των εξωτερικών κρηνών, οι κόμβοι αυτοί ικανοποιούνται και με πολύ χαμηλότερες πιέσεις και έτσι καταλήγουμε με ασφάλεια σε μικρότερες διαμέτρους αγωγών κάτι που συνεπάγεται μικρότερο κόστος κατασκευής και αγοράς.

Ενδεικτικά αναφέρουμε το κόστος¹⁹ του συνολικού μας δικτύου των 6520.76 m με επιλογή τεσσάρων διαφορετικών αγωγών.

- Σωλήνες πολυαιθυλενίου 3^{ης} γενιάς (HDPE) διαμέτρου 90 mm και ονομαστικής πίεσης PN 12.5 atm : 6520,76 m * 9,10 €/m = **59339 €**

¹⁹ Η κοστολόγηση γίνεται ενδεικτικά με βάση τα Ενιαία τιμολόγια του ΥΠΕΧΩΔΕ όπως αυτά δημοσιεύτηκαν στο ΦΕΚ Β' 822 04-05-2009.

- Σωλήνες πολυαιθυλενίου 3^{ης} γενιάς (HDPE) διαμέτρου 90 mm και ονομαστικής πίεσης PN 10 atm: 6520,76 m * 7,60 €/m = **49558 €**
- Σωλήνες πολυαιθυλενίου 3^{ης} γενιάς (HDPE) διαμέτρου 63 mm και ονομαστικής πίεσης PN 12.5 atm: 6520,76 m * 5.3 €/m = **34560 €**
- Σωλήνες πολυαιθυλενίου 3^{ης} γενιάς (HDPE) διαμέτρου 63 mm και ονομαστικής πίεσης PN 10 atm: 6520,76 m * 4,60 €/m = **29995 €**

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι πιέσεις που αναπτύσσονται στους κόμβους για τις διάφορες προτεινόμενες διαμέτρους:

ΔΙΚΤΥΟ 1

Κόμβος	Πίεση (m)			
	DN 90 mm, PN 12.5atm	DN 90 mm, PN 10atm	DN 63 mm, PN 12.5atm	DN 63 mm, PN 10atm
81	54,97	29,97	54,75	29,79
80	49,96	24,97	49,75	24,79
71	45,96	20,97	45,75	20,79
70	45,96	20,97	45,75	20,79
67	44,97	19,97	44,79	19,82
83	42,49	17,49	42,42	17,43
73	42,96	17,96	42,71	17,76
76	45,92	20,93	45,49	20,57

Πίνακας 4-13 Πιέσεις δικτύου 1 για διάφορους αγωγούς

ΔΙΚΤΥΟ 2

Κόμβος	Πίεση (m)			
	DN 90 mm, PN 12.5atm	DN 90 mm, PN 10atm	DN 63 mm, PN 12.5atm	DN 63 mm, PN 10atm
13	25,83	1,18	13,61	-9,07
11	28,87	4,22	16,93	-5,8
6	35,83	11,18	23,63	0,95
20	35,18	10,47	24,93	1,88
23	35,02	10,34	23,88	1
14	28,96	4,29	17,45	-5,36
15	29,06	4,37	18,15	-4,78
12	44,83	20,18	32,67	9,98

Πίνακας 4-14 Πιέσεις δικτύου 2 για διάφορους αγωγούς

ΔΙΚΤΥΟ 3

Κόμβος	Πίεση (m)			
	DN 90 mm, PN 12.5atm	DN 90 mm, PN 10atm	DN 63 mm, PN 12.5atm	DN 63 mm, PN 10atm
27	59,7	30,4	Πολύ υψηλές αρνητικές πιέσεις	Πολύ υψηλές αρνητικές πιέσεις
30	55,76	27,1		
28	59,7	30,4		
64	47,08	20,32		
34	31,86	5,62		
45	34,84	8,63		
47	34,44	8,59		
48	34,43	8,58		
41	33,38	7,38		
40	38,38	12,38		
39	38,38	12,38		
49	37,32	11,5		
61	48,5	22,32		
62	48,99	22,73		
52	39,28	13,3		
54	39,28	13,3		
63	43,67	17,3		
55	40,11	13,34		
42	33,38	7,38		

Πίνακας 4-15 Πιέσεις δικτύου 3 για διάφορους αγωγούς

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε συνολικά για τις δύο προτεινόμενες λύσεις υδροδότησης²⁰, για κάθε δίκτυο και για κάθε διάμετρο τη δυνατότητα ή μη συνδυασμού τους. Με γκρι χρώμα συμβολίζεται η δυνατή επιλογή, ενώ με κόκκινο η ανέφικτη επιλογή λόγω μη ικανοποίησης των απαιτήσεων πίεσης.

²⁰ Υδροδότηση των κτιρίων με απευθείας σύνδεσή τους με το νέο δίκτυο ή τοποθέτηση εξωτερικών κρηνών στους αύλειους χώρους των κτιρίων.

ΔΙΚΤΥΟ	ΛΥΣΕΙΣ							
	Υδροδότηση κτιρίων				Εξωτερικές Κρήνες			
	DN 90, PN 12.5	DN 90, PN 10	DN 63, PN 12.5	DN 63, PN 10	DN 90, PN 12.5	DN 90, PN 10	DN 63, PN 12.5	DN 63, PN 10
1								
2								
3								

Τελικά, μετά από αυτή τη διερεύνηση περί διαμέτρων καταλήγουμε στα εξής:

- Για το δίκτυο 1, για την περίπτωση που επιλεγεί η απευθείας υδροδότηση των κτιρίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σωλήνες HDPE διαμέτρου 90 ή 63 mm και ονομαστικής πίεσης 12.5 atm, ενώ στην περίπτωση της εγκατάστασης εξωτερικών κρηνών μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σωλήνας διαμέτρου 63 mm και PN 10 atm.
- Για τα δίκτυα 2 και 3, στην περίπτωση της απευθείας υδροδότησης των κτιρίων θα χρησιμοποιηθούν σωλήνες διαμέτρου 90 mm και PN 12.5 atm, ενώ στην περίπτωση των εξωτερικών κρηνών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σωλήνες διαμέτρου 63 mm και PN 10 atm²¹.

²¹ Στις περιπτώσεις χρησιμοποίησης σωλήνων ονομαστικής πίεσης 10 atm θεωρήσαμε ότι η παρεχόμενη από την ΕΥΔΑΠ πίεση είναι 30 m.

5. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Στο παρόν κεφάλαιο, σε αντίθεση με το προηγούμενο όπου διερευνήσαμε την περίπτωση σχεδιασμού ενός νέου δικτύου, θα διερευνήσουμε δύο εναλλακτικές λύσεις παροχής υψηλής ποιότητας πόσιμου νερού με τη χρήση του υφιστάμενου δικτύου. Όπως διαπιστώσαμε και στο 3^ο κεφάλαιο, από τις αναλύσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού, θεωρείται κατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση αν και λίγο επιβαρυνμένο σε σχέση με το νερό της ΕΥΔΑΠ. Αυτή η επιβάρυνση οδηγεί πολλές φορές στο να μην ικανοποιούνται οι καταναλωτές κατά την πόση του. Διερευνήσαμε, λοιπόν, δύο λύσεις οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

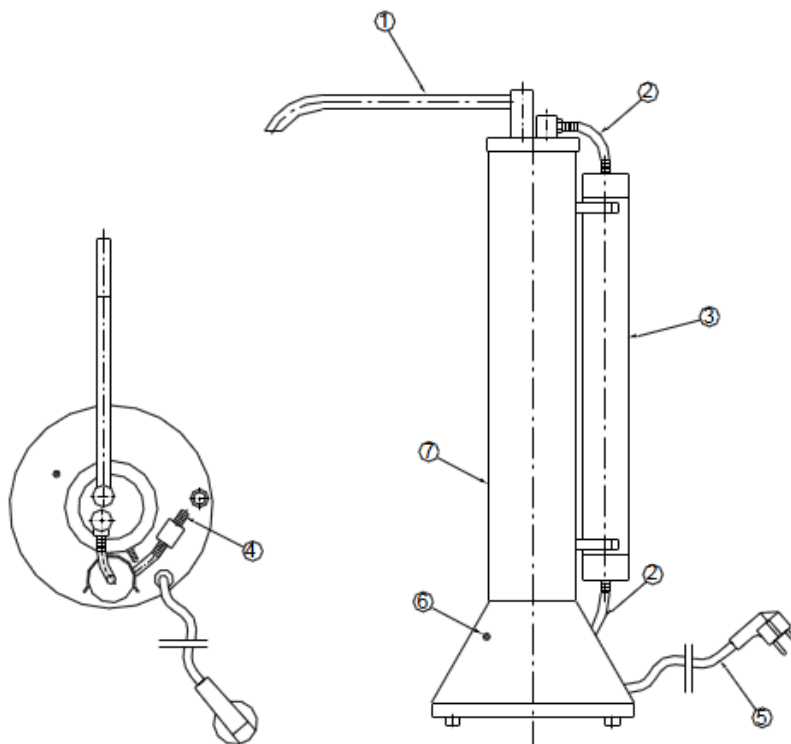
5.1 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΦΙΛΤΡΩΝ

Όπως διαπιστώθηκε από τις αναλύσεις του νερού στο υφιστάμενο δίκτυο, το πρόβλημα της υψηλής, σε ορισμένες περιπτώσεις και πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο, θολότητας σε σημεία του δικτύου, δεν οφείλεται στο νερό των γεωτρήσεων αλλά στο δίκτυο των σωληνώσεων. Καθώς το νερό των γεωτρήσεων συμπλέει με την ισχύουσα νομοθεσία, δεν θεωρήθηκε πως θα έχει κάποιο ουσιαστικό αποτέλεσμα η συνολική επεξεργασία του. Δεδομένου του ότι η ζητούμενη παροχή νερού είναι σχετικά μικρή και η θολότητα οφείλεται σε αδρομερή διασπορά αιωρούμενων, λόγω παλαιότητας του δικτύου, μπορούμε να αφαιρέσουμε τα ανεπιθύμητα στερεά με την τοποθέτηση ενός φίλτρου στις εξόδους του νερού που χρησιμοποιούνται για ανθρώπινη κατανάλωση.

Για οικιακή χρήση, συνήθως χρησιμοποιείται ένα φίλτρο αιωρούμενων και ενεργού άνθρακα για αποχλωρίωση και τελική προληπτική απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία.



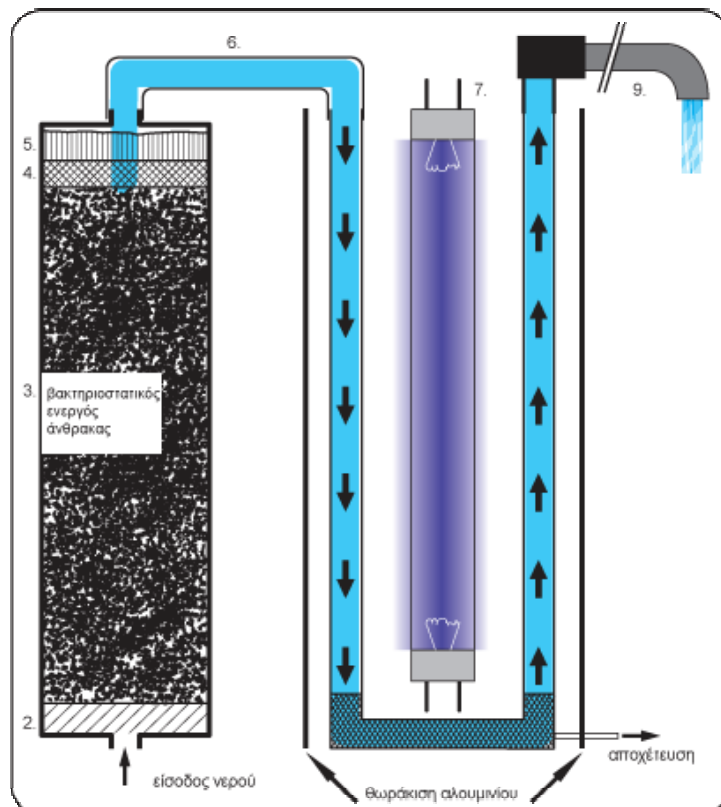
Εικόνα 5-1 Φίλτρο πόσιμου νερού Home Carbon – UV (Πηγή www.temak.gr)



Εικόνα 5-2 Επιτραπέζιο φίλτρο πόσιμου νερού (Πηγή www.alarco.gr)

Τα φίλτρα αυτά μπορούν να τοποθετηθούν κάτω από το νεροχύτη της βρύσης της οποίας το νερό θέλουμε να φιλτράρουμε ή επιτραπέζια, συνδέοντας τα απευθείας με την έξοδο της βρύσης.

Οι συσκευές αυτές αποτελούνται από ένα φίλτρο κυτταρίνης-ενεργού άνθρακα και μία λυχνία υπεριώδους ακτινοβολίας, μια τεχνολογία ευρέως χρησιμοποιούμενη παγκοσμίως για φιλτράρισμα οικιακής χρήσης. Το νερό φιλτράρεται και αφαιρούνται από αυτό σωματίδια, οσμές, χλώριο και οργανικά, ενώ ταυτόχρονα αποστειρώνεται από τυχόν μικρόβια και μικροοργανισμούς.



Εικόνα 5-3 Τρόπος λειτουργίας ενός τυπικού οικιακού φίλτρου ενεργού άνθρακα-UV (Πηγή www.alarco.gr)

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, το νερό εισέρχεται από την κεντρική είσοδο και περνά από το αρχικό φίλτρο πολυπροπυλενίου. Ο βακτηριοστατικός ενεργός άνθρακας

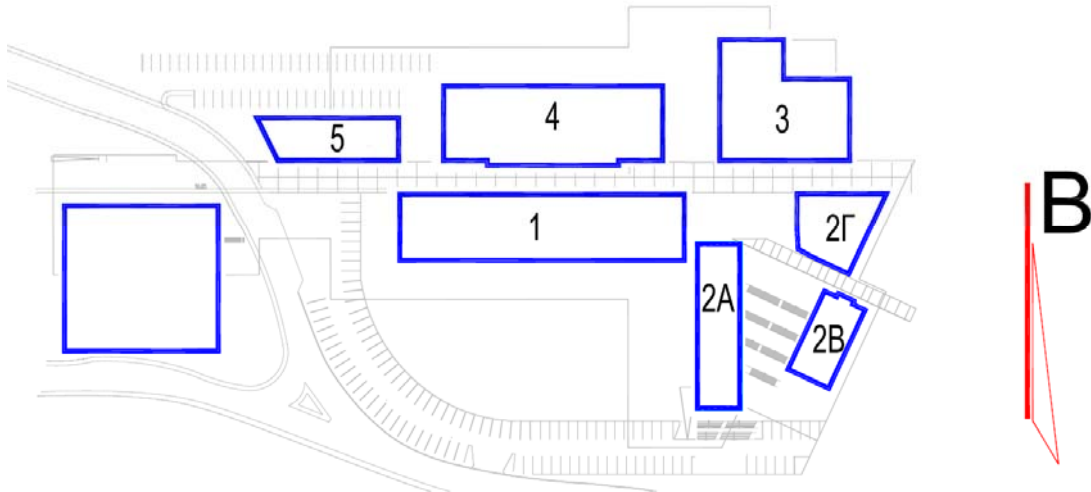
κατακρατά επικίνδυνες χημικές ενώσεις και δεν επιτρέπει την ανάπτυξη μικροοργανισμών μετά την αφαίρεση του χλωρίου. Το νερό, στη συνέχεια, περνάει από δύο ακόμα φίλτρα πολυπροπυλενίου και έπειτα εισέρχεται στον θάλαμο αποστείρωσης όπου μέσω της διαδρομής του εκτίθεται στην μικροβιοκτόνο δράση της λυχνίας αποστείρωσης και εξέρχεται από το φίλτρο εντελώς καθαρό και αποστειρωμένο.

Το κόστος αγοράς και τοποθέτησης ενός τέτοιου φίλτρου, ανάλογα με την προέλευση κατασκευής, είναι της τάξεως των 200-400 €, ενώ ετησίως προστίθεται και ένα κόστος που αφορά στη συντήρηση του.

Η ακριβής συχνότητα αντικατάστασης του φίλτρου δεν μπορεί να προσδιορισθεί, αφού εξαρτάται από το φορτίο των αιωρούμενων που θα κληθεί να συγκρατήσει. Τυπικά, η φύσιγγα του φίλτρου πρέπει να αντικαθίσταται κάθε 2-3 μήνες, για λόγους ασφαλείας ενώ η λυχνία υπεριώδους ακτινοβολίας κάθε 1 χρόνο. Το κόστος αντικατάστασης της φύσιγγας κυμαίνεται στα 10-30 € και της λάμπας υπεριώδους ακτινοβολίας στα 50-100 €, ανάλογα με τον οίκο κατασκευής. Καταλήγουμε, λοιπόν, σε ένα ετήσιο κόστος συντήρησης για κάθε φίλτρο της τάξεως των 90-220 €.

Είναι γεγονός πως αρκετές σχολές της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου έξοδοι νερού (βρύσες) υπάρχουν ως επί το πλείστον στις τουαλέτες των κτιρίων. Αυτό από μόνο του, ανεξαρτήτως της ποιότητας του παρεχόμενου νερού, αποτρέπει τους καταναλωτές από τη διαδικασία της άμεσης πόσης του νερού. Γι' αυτόν το λόγο, καλό θα ήταν, σε κατάλληλους χώρους, εκμεταλλευόμενοι τις υπάρχουσες υδραυλικές εγκαταστάσεις του κάθε κτιρίου να τοποθετηθούν νέες παροχές νερού και σε αυτά τα σημεία να γίνεται η φίλτραση του πόσιμου νερού. Σε όσα κτίρια υπάρχουν ήδη ειδικοί χώροι (κουζίνες), τα φίλτρα μπορούν να τοποθετηθούν εκεί.

Χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα τα νέα κτίρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, θα προσπαθήσουμε να κάνουμε ένα υποτυπώδη σχεδιασμό και να ανάγουμε τις απαιτήσεις σε φίλτρα στο υπόλοιπο της Πολυτεχνειούπολης.



Εικόνα 5-4 Νέα κτίρια Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ

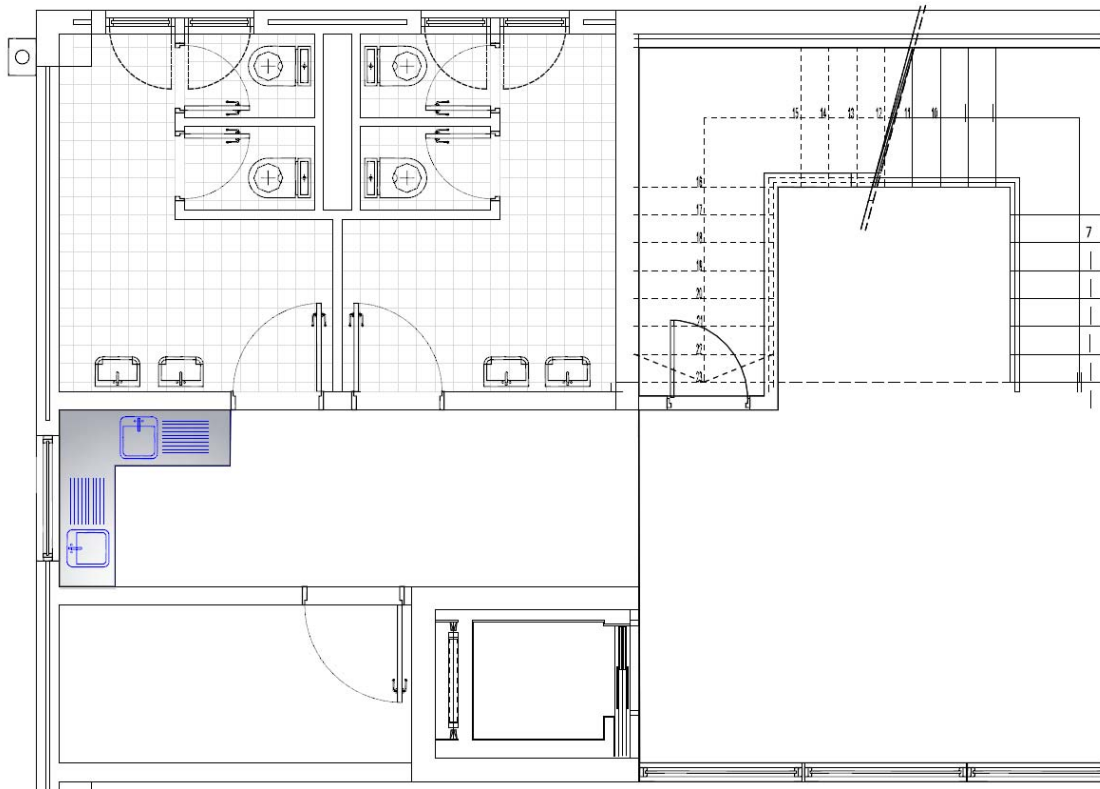
Τα νέα κτίρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών αποτελούνται από τα εξής κτίρια:

- Κτίριο 1: Αίθουσες διδασκαλίας
- Κτίριο 2Α: Γραμματεία και γραφεία
- Κτίριο 2Β: Αίθουσα εκδηλώσεων, Βιβλιοθήκη
- Κτίριο 2Γ: Αμφιθέατρα
- Κτίριο 3: Εργαστήρια Σιδηρών Κατασκευών και γραφεία
- Κτίριο 4: Τομέας Γεωτεχνικής, εργαστήρια, γραφεία
- Κτίριο 5: Τομέας Δομοστατικής, γραφεία

Κτίριο 1

Το κτίριο 1, δύο εξυπηρετούμενων ορόφων, συνολικού εμβαδού περίπου 2700 m² και δυναμικότητας 660 φοιτητών με βάση τα αρχιτεκτονικά σχέδια του κτιρίου. Μετά από μελέτη των σχεδίων του κτιρίου, διαπιστώσαμε πως υπάρχουν 9 τουαλέτες στον πρώτο και 9 στο δεύτερο όροφο, ενώ στο δεύτερο όροφο υπάρχει, στην δυτική πλευρά, και ένας μικρός χώρος κουζίνας. Στο κτίριο αυτό μπορούν να τοποθετηθούν **10 φίλτρα** από τα

οποία τα 9, εκτός αυτού που θα τοποθετηθεί στον ήδη διαμορφωμένο χώρο του 2^{ου} ορόφου, τα υπόλοιπα θα χρειαστούν διαμόρφωση ειδικών χώρων²² εκμεταλλευόμενοι τις υπάρχουσες υδραυλικές εγκαταστάσεις.



Εικόνα 5-5 Κτίριο 1 Πολιτικών Μηχανικών, απόσπασμα την δυτική πλευρά του κτιρίου (ισόγειο), τοποθέτηση νέων εξόδων νερού για τη χρήση φίλτρων.

Κτίριο 2Α

Το κτίριο 2Α, τριών εξυπηρετούμενων ορόφων και συνολικού εμβαδού περί τα 1630 m², περιλαμβάνει τη γραμματεία της σχολής και γραφεία διοικητικού προσωπικού και μελών ΔΕΠ. Μετά από μελέτη των κατόψεων θεωρήθηκε ικανοποιητική η εγκατάσταση **6 φίλτρων**.

²² Για την κατασκευή ενός πάγκου με νιπτήρα το κόστος ανέρχεται ενδεικτικά στα 150 € (νιπτήρας, μπαταρία, πάγκος).

Κτίριο 2B

Στο κτίριο 2B , αίθουσα εκδηλώσεων της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, εμβαδού 200 m² περίπου, θεωρήθηκε ικανοποιητική η τοποθέτηση **2 φίλτρων**, δεδομένου της μικρής σχετικά έκτασης και χαμηλής επισκεψιμότητας.

Κτίριο 2Γ

Στο κτίριο 2Γ, που στεγάζει τα αμφιθέατρα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, 550 m² σχεδόν, εκτιμήθηκε η ανάγκη τοποθέτησης **4 φίλτρων** δεδομένης της χωρητικότητας και της χρήσης του κτιρίου.

Κτίριο 3

Στο κτίριο 3, εμβαδού περίπου 1200 m², στο οποίο στεγάζονται τα εργαστήρια των Μεταλλικών Κατασκευών καθώς και γραφεία, κρίθηκε ικανοποιητική η τοποθέτηση **6 φίλτρων**.

Κτίριο 4

Το κτίριο 4, το οποίο στεγάζει τα γραφεία και τα εργαστήρια του τομέα Γεωτεχνικής, συνολικού εμβαδού περί τα 2460 m², δύο ορόφων, κρίθηκε ικανοποιητική η τοποθέτηση **4 φίλτρων**, δύο σε κάθε όροφο.

Κτίριο 5

Το κτίριο 5, το οποίο στεγάζει τα γραφεία και τα εργαστήρια του τομέα Δομοστατικής, συνολικού εμβαδού περί τα 1300 m² κρίθηκε ικανοποιητική η τοποθέτηση **5 φίλτρων**.

Συνολικά, λοιπόν, στα Νέα Κτίρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, συνολικού εμβαδού 9995 m², θα χρειαστεί η τοποθέτηση **37 φίλτρων**. Καθώς το συγκρότημα αυτό περιλαμβάνει κτίρια όλων σχεδόν των χρήσεων (αίθουσες διδασκαλίας, γραφεία,

εργαστήρια κλπ) με μια απλή αναγωγή βάση του εμβαδού, μπορούμε προσεγγιστικά να βρούμε τον απαιτούμενο αριθμό φίλτρων που χρειάζεται να εγκατασταθεί στο σύνολο της Πολυτεχνειούπολης.

Κτίριο	Εμβαδόν (m ²)
Κτίρια Πολιτικών Μηχανικών	9995
Εργαστήριο Λιμενικών Έργων	2400
Κτίριο Υδραυλικής	5250
Κτίρια Αντοχής Υλικών	23400
Κτίριο Ηχοτεχνίας	1176
Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας	1000
Κτίρια Τοπογράφων Μηχανικών	14932
Νέο Κτίριο ΣΕΜΦΕ	3165
Κτίρια Μεταλλειολόγων Μηχανικών και Ηλεκτρολόγων Μηχανικών	25800
Κτίρια Χημικών Μηχανικών	37158
Κτίρια Γενικών Εδρών	19591
Κτίρια Φυσικής	6092
Κτίρια Διοίκησης	11200
Εργαστήρια Ναυπηγικής	7220
Βιβλιοθήκη	8347
Νέο Κτίριο Η/Υ	3850
Θωμαΐδειο	1660
Κτίρια Ναυπηγών Μηχανικών και Μηχανολόγων Μηχανικών	35220
Σύνολο	217456

Πίνακας 5-1 Εμβαδά Κτιρίων Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου

Με βάση τα εμβαδά των κτιρίων, υπολογίστηκε προσεγγιστικά πως θα χρειαστεί να γίνει εγκατάσταση περίπου 800 φίλτρων στο σύνολο της Πολυτεχνειούπολης. Ορισμένα θα τοποθετηθούν σε ήδη υπάρχουσες εξόδους, ενώ για κάποια από αυτά θα χρειαστεί να γίνουν καινούργιες εγκαταστάσεις.

Το κόστος της αγοράς και τοποθέτησης των φίλτρων αυτών φτάνει στο πόσο των 160000-320000 € ανάλογα με τον οίκο προέλευσης και οι ετήσιες δαπάνες συντήρησης τα 72000-176000 €.

5.2 ΧΡΗΣΗ ΨΥΚΤΩΝ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΨΥΚΤΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Από τις αναλύσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού του υφιστάμενου δικτύου, παρατηρούμε ότι σε ορισμένα σημεία του η θερμοκρασία του νερού είναι αρκετά υψηλή για να καθιστά ευχάριστη την πόση του²³. Συγκεκριμένα στο εστιατόριο, στα κτίρια των Ναυπηγών και στο κτίριο των Γενικών Εδρών, η θερμοκρασία έφτανε τους 20 °C. Μια εναλλακτική λύση που διερευνάται, είναι αυτή της χρήσης ψυκτών εμφιαλωμένου νερού και ψυκτών δικτύου ως τρόπο παροχής πόσιμου νερού στους καταναλωτές της Πολυτεχνειούπολης.

Οι ψύκτες εμφιαλωμένου νερού είναι μια λύση η οποία έχει εφαρμοστεί σε αρκετούς χώρους εντός της Πολυτεχνειούπολης (κυρίως χώρους γραφείων). Το εμφιαλωμένο νερό πληροί τις προδιαγραφές των κανονισμών προς πόση, ενώ η τεχνολογία των ψυκτών εμφιαλωμένου νερού είναι αρκετά απλή καθώς μέσω ενός συστήματος ψύξης του νερού πριν την έξοδό του, παρέχεται στην κατάλληλη θερμοκρασία. Σημαντική θεωρείται ωστόσο η υγειονομική συντήρησή του, καθώς απαιτείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα απολύμανση και αντικατάσταση των εσωτερικών εξαρτημάτων των ψυκτών με σκοπό την ασφάλεια των καταναλωτών²⁴.

Οι φιάλες εμφιαλωμένου νερού που χρησιμοποιούνται στους ψύκτες είναι συνήθως των 10 ή 18.9 L και αντιστοιχούν σε 50 ή 90 ποτήρια νερού. Όσον αφορά τα ελληνικά δεδομένα, οι ψύκτες διατίθενται συνήθως δωρεάν (με τη μορφή χρησιδανείου²⁵) και η

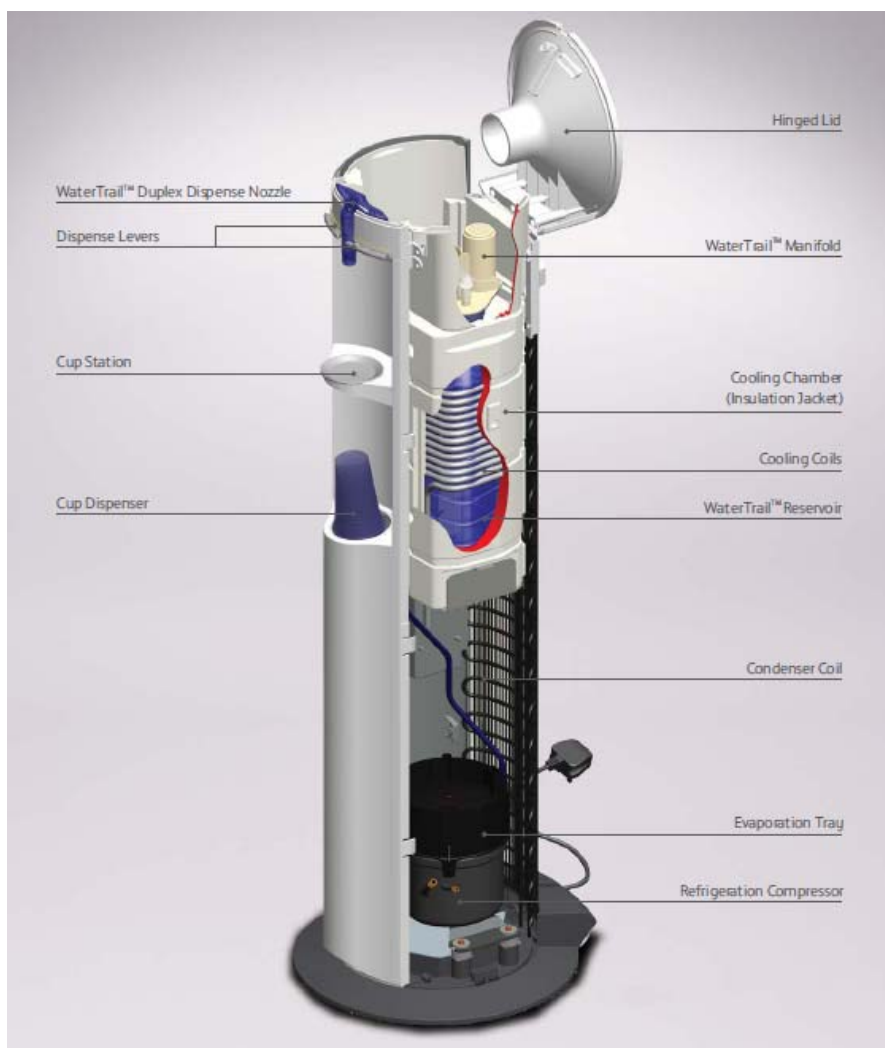
²³ Η θερμοκρασία του νερού πρέπει να είναι σταθερή στους 10-15 °C, σύμφωνα με στοιχεία της ΕΥΔΑΠ, για να είναι κατάλληλο προς πόση.

²⁴ Κατά την Ελληνική και Ευρωπαϊκή νομοθεσία, οι ψύκτες νερού πρέπει να συντηρούνται υγειονομικά κάθε τέσσερις μήνες (www.rainbowgroup.gr).

²⁵ Με βάση το Ειδικό Ενοχικό δίκαιο, χρησιδάνειο είναι μια μορφή ιδιωτικής σύμβασης κατά την οποία ο ένας συμβαλλόμενος παραχωρεί χωρίς αντάλλαγμα στον άλλον τη χρήση αντικειμένου για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το οποίο πρέπει να επιστραφεί μετά το πέρας του συμφωνημένου χρόνου. Κατά το διάστημα αυτό, οι δαπάνες που αφορούν το αντικείμενο επιβαρύνουν τον χρήστη του.

χρέωση αφορά στις φιάλες και τη συντήρησή τους. Ενδεικτικά αναφέρεται πως η τιμή αγοράς μιας φιάλης 18,9 L, με βάση τιμές από διάφορες ελληνικές εταιρίες εμφιάλωσης, κυμαίνεται από 6-12 €, ενώ για ένα σύνολο 100 εργαζομένων χρειάζονται περίπου 50 φιάλες μηνιαίως. Σημειώνεται πως σε ένα μηχάνημα αντιστοιχούν περίπου 15-20 άτομα.

Όσον αφορά στο κόστος υγειονομικής συντήρησης, αυτό κυμαίνεται από 60-100 ετησίως για κάθε μηχάνημα.



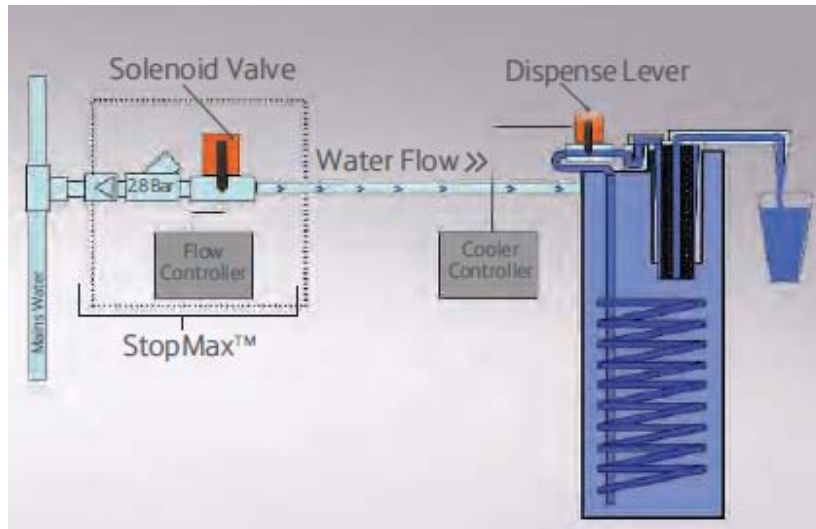
Εικόνα 5-6 Ψύκτης εμφιαλωμένου νερού (Πηγή www.ebacwatercoolers.com)

Ο καταναλωτής προμηθεύεται από την εκάστοτε εταιρία κατά τη διάρκεια του μήνα τις απαιτούμενες φιάλες και είτε επιστρέφει τις άδειες, είτε τις ανακυκλώνει αν αυτές κατασκευάζονται από ανακυκλώσιμα υλικά. Η διαδικασία αυτή προϋποθέτει, βέβαια, την ύπαρξη κατάλληλου αποθηκευτικού χώρου και σωστό προγραμματισμό της διαδικασίας.

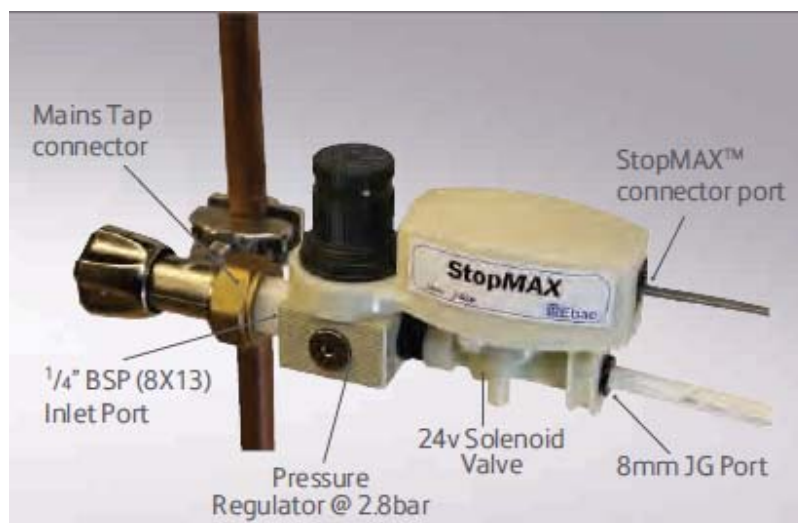
Αντιλαμβανόμαστε πως αυτή η λύση δεν μπορεί να εφαρμοστεί στο σύνολο των κτιρίων της Πολυτεχνειούπολης, ειδικά σε κτίρια με μεγάλο αριθμό ατόμων και συχνή κατανάλωση. Θα μπορούσε, βέβαια, να εφαρμοστεί σε χώρους γραφείων (σε ορισμένους χώρους χρησιμοποιείται ήδη, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως) όπως τα κτίρια διοίκησης, γραμματείες των σχολών και γραφεία, όπου μπορεί να γίνεται σωστός και εύκολα ελεγχόμενος προγραμματισμός των διαδικασιών.

Μια λύση η οποία θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε κτίρια με μεγάλη πυκνότητα φοιτητών, είναι αυτή των ψυκτών δικτύου. **Οι ψύκτες δικτύου** είναι ειδικές συσκευές που χρησιμοποιούν το νερό του δικτύου και εφαρμόζουν εύκολα στις υπάρχουσες υδραυλικές εγκαταστάσεις των κτιρίων. Εντός των ψυκτών αυτών, το παρεχόμενο από το δίκτυο νερό φιλτράρεται μέσω διάφορων σταδίων και παρέχεται ταυτόχρονα στην επιθυμητή θερμοκρασία μέσω του συστήματος ψύξης.

Κατά τη φίλτραση, συνήθως με ενεργό άνθρακα, κατακρατούνται σωματίδια που προέρχονται από τις σωληνώσεις του δικτύου (σκόνη, άμμος, σκουριά κλπ), σταθεροποιείται το pH και η γεύση του νερού ενώ ταυτόχρονα μέσω ειδικών μεμβρανών κατακρατούνται διάφορες επικίνδυνες χημικές ουσίες. Η διαδικασία της φίλτρασης μπορεί να γίνει σε διαφορετικά στάδια, κατά την είσοδο του νερού από το δίκτυο ή αμέσως πριν την έξοδό του προς πόση, ανάλογα με την εταιρία προέλευσης των ψυκτών και να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά υλικά φίλτρασης. Σε κάθε περίπτωση όμως, η αρχές λειτουργίας των συστημάτων αυτών δεν διαφέρουν, όπως και οι υγειονομικές απαιτήσεις, οι οποίες επιβάλλουν απολύμανση της συσκευής και αντικατάσταση του φίλτρου κάθε έξι περίπου μήνες.



Εικόνα 5-7 Τρόπος λειτουργίας των ψυκτών δικτύου με απευθείας σύνδεση στο δίκτυο του κτιρίου (Πηγή www.ebacwatercoolers.com)



Εικόνα 5-8 Τρόπος σύνδεσης του ψυκτικού δικτύου με τις σωληνώσεις του υφιστάμενου δικτύου (Πηγή www.ebacwatercoolers.com)

Οι χωρητικότητες των ψυκτών αυτών διαφέρουν ανάλογα με τον οίκο προέλευσης και επιλέγονται με βάση τη δυναμικότητα που θέλουμε να εξυπηρετήσουμε σε κάθε περίπτωση. Ανάλογα με το μέγεθος του ψυκτικού αλλά και τα υλικά φίλτρα, το κόστος

αγοράς μπορεί είναι μηδενικό (περίπτωση χρησιδανείου) ή να φτάνει σε τιμές της τάξης των 1000 €. Το ετήσιο κόστος συντήρησης κυμαίνεται από 150 έως 400 €. Συνήθως η εγκατάσταση ενός ψύκτη δικτύου γίνεται στους διαδρόμους των κτιρίων που θέλουμε να εξυπηρετήσουμε.



Εικόνα 5-9 Ψύκτες δικτύου (Πηγή www.rainbowgroup.gr και www.w-s.gr)

Η λύση που θα μπορούσε να εφαρμοστεί στην περίπτωσή μας είναι ένας συνδυασμός ψυκτών εμφιαλωμένου νερού και ψυκτών δικτύου, με τοποθέτηση των πρώτων σε χώρους γραφείων και των δεύτερων σε χώρους όπου δραστηριοποιούνται φοιτητές, όπως αμφιθέατρα και αίθουσες διδασκαλίας. Παίρνοντας ως παράδειγμα τα Νέα Κτίρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών θα κάνουμε μια προσπάθεια υπολογισμού του αριθμού ψυκτών που θα χρειαστεί να εγκατασταθούν στο σύνολο της Πολυτεχνειούπολης προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ανάγκες σε πόσιμο νερό. Ο υπολογισμός αυτός έγινε, όπως και στην περίπτωση των φίλτρων, με βάση τα σχέδια των κτιρίων που μας διατέθηκαν και τα αποτελέσματά του φαίνονται παρακάτω.

Για τον υπολογισμό, θεωρήσαμε πως όσον αφορά στους διαδρόμους έξω από τις αίθουσες διδασκαλίας, χρειάζεται ένα ψύκτης ανά 50-70 m² και πώς κάθε άτομο θα καταναλώνει περί τα 3 ποτήρια νερό την ημέρα.

Έτσι υπολογίστηκε πως για τα νέα κτίρια των Πολιτικών Μηχανικών θα χρειαστεί η εγκατάσταση των εξής ψυκτών:

Κτίριο	Αριθμός Ψυκτών Δικτύου	Αριθμός Ψυκτών Εμφιαλωμένου νερού
1	12	0
2A	1	5
2B	1	0
2Γ	4	0
3	1	6
4	1	6
5	1	6
Σύνολο	21	23

Πίνακας 5-2 Απαιτούμενος αριθμός ψυκτών στα Νέα Κτίρια των Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ

Στην περίπτωση των Νέων Κτιρίων των Πολιτικών Μηχανικών θα χρειαστεί η εγκατάσταση 21 ψυκτών δικτύου και 23 ψυκτών εμφιαλωμένου νερού οι οποίοι αντιστοιχούν σε 200 εργαζομένους, με βάση στοιχεία του 2010. Για το σύνολο των κτιρίων της Πολυτεχνειούπολης, θα χρειαστούν προσεγγιστικά, 450 περίπου ψύκτες δικτύου κα 160 ψύκτες εμφιαλωμένου νερού.

Για τον υπολογισμό των ψυκτών εμφιαλωμένου νερού, θεωρήσαμε πως εφόσον η εγκατάστασή τους θα γίνει αποκλειστικά σε χώρους γραφείων, ο αριθμός των απαιτούμενων φιαλών θα υπολογιστεί με βάση τον συνολικό αριθμό των εργαζομένων στους χώρους της Πολυτεχνειούπολης. Έτσι αν θεωρήσουμε πως για κάθε 100 εργαζομένους απαιτούνται 50 φιάλες των 18.9 L τον μήνα, ο συνολικός αριθμός των 1400 περίπου εργαζομένων απαιτεί περί τις 700 φιάλες το μήνα.

Με αυτά τα στοιχεία, λοιπόν, μπορούμε να υπολογίσουμε το κόστος εγκατάστασης και το ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας.

Για τους ψύκτες δικτύου το κόστος αγοράς μπορεί να είναι από μηδενικό, σε περίπτωση χρησιδανείου έως 450000 €, ενώ το ετήσιο κόστος συντήρησης από 67500-180000 €.

Για τους ψύκτες εμφιαλωμένου νερού, το κόστος αγοράς είναι μηδενικό, δεδομένου ότι πραγματοποιείται σύμβαση χρησιδανείου, το ετήσιο κόστος συντήρησης κυμαίνεται από 9600-16000€ και το κόστος αγοράς των απαιτούμενων φιαλών από 42000 έως 84000 € περίπου²⁶.

²⁶ Ο υπολογισμός έγινε για 10 μήνες το χρόνο, δεδομένων των διακοπών.

6. ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Κατά την τεχνικοοικονομική διερεύνηση των εναλλακτικών προτεινόμενων λύσεων για την ύδρευση της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου θα προσπαθήσουμε να βρούμε για την κάθε προτεινόμενη λύση το κόστος κατασκευής ή αγοράς της και τα ετήσια λειτουργικά έξοδα και έξοδα συντήρησης. Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο, πως η προσπάθεια κοστολόγησης των διαφόρων λύσεων γίνεται προσεγγιστικά με σκοπό μόνο τη μεταξύ τους σύγκριση ως προς τα επίπεδα του κόστους στα οποία κυμαίνονται. Οι τιμές που χρησιμοποιούνται για την κοστολόγηση του δικτύου είναι τιμές με βάση τα Ενιαία τιμολόγια Υδραυλικών του ΥΠΕΧΩΔΕ όπως αυτά δημοσιεύτηκαν στο ΦΕΚ Β' 822 04-05-2009, ενώ για τις υπόλοιπες λύσεις είναι ενδεικτικές τιμές του εμπορίου.

ΛΥΣΗ 1^η – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 4, η λύση αυτή περιλαμβάνει την κατασκευή ενός νέου δικτύου πόσιμου νερού, σύνδεσή του με το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ και παροχή νερού απευθείας στο εσωτερικό δίκτυο των κτιρίων. Η κοστολόγηση θα γίνει για την αγορά και τοποθέτηση των αγωγών καθώς και για τα ετήσια λειτουργικά κόστη του δικτύου με βάση τα τιμολόγια της ΕΥΔΑΠ.

Το συνολικό μήκος του δικτύου, όπως αναλύθηκε στο 4^ο κεφάλαιο, είναι 6520.76 m και θα χρησιμοποιηθούν αγωγοί πολυαιθυλενίου 3^{ης} γενιάς (HDPE) ονομαστικής διαμέτρου 90 mm και ονομαστικής πίεσης 12.5 atm. Η όδευση των αγωγών αυτών θα γίνεται σε σκάμμα βάθους 1 m και πλάτους²⁷ 0.80 m. Στον πυθμένα του σκάμματος θα γίνει επίστρωση με άμμο λατομείου, όπου και θα επικάθεται ο αγωγός, ενώ το ίδιο πάχος επικάλυψης θα υπάρχει και από το πάνω μέρος του αγωγού. Το υπόλοιπο του σκάμματος θα πληρωθεί με θραυστό υλικό λατομείου, μέχρι και 0.10 m από την τελική επιφάνεια.

²⁷ Το πλάτος B του σκάμματος δίνεται από τον τύπο $B=0.60+D$, όπου D η εξωτερική διάμετρος του αγωγού. Το ελάχιστο δυνατό πλάτος είναι τα 0.80 m, το οποίο χρησιμοποιούμε στη παρούσα περίπτωση.

Στη συνέχεια, θα διαμορφωθεί εκ νέου η τελική επιφάνεια του εδάφους έτσι ώστε να επανέλθει στην αρχική της κατάσταση (πεζοδρόμια, ασφαλτοστρώσεις κλπ). Επίσης, κατά μήκος των δικτύων, θα τοποθετηθούν στα σημεία διακλάδωσης των αγωγών, βάνες αποκοπής.

Περιγραφή εργασίας	Μονάδα μέτρησης	Τιμή μονάδας (€)	Ποσότητα	Μερικό Σύνολο
Εκσκαφή ορυγμάτων υπογείων δικτύων σε έδαφος γαιώδες ή ημιβραχώδες με μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής	m ³	7	5220	36540
Διάστρωση και εγκιβωτισμός σωλήνων με άμμο λατομείου	m ³	9,8	1050	10290
Επίχωση ορυγμάτων με θραυστό υλικό λατομείου της	m ³	9,2	2600	23920
Σωληνώσεις από σκληρό πολυαιθυλένιο (HDPE) CE 100, τρίτης γενιάς, Ονομ. διαμέτρου DN 90 mm / ονομ. πίεσης PN 12.5 atm	m	9,1	6520,76	59339
Βάνες αποκοπής (δικλείδες)	τμχ.	200	60	12000
Αποξηλώσεις πεζοδρομίων και ασφαλτοστρώσεων	m ²	15	5200	78000
Αποκατάσταση πεζοδρομίων και ασφαλτοστρώσεων	m ²	18,4	5200	95680
Σύνολο				315769

Πίνακας 6-1 Κοστολόγηση εργασιών κατασκευής νέου δικτύου πόσιμου νερού

Το πραγματικό κόστος κατασκευής του δικτύου θα είναι σίγουρα μεγαλύτερο από το ενδεικτικό κόστος που υπολογίσαμε παραπάνω, καθώς δεν έχουν υπολογιστεί ορισμένες εργασίες και ειδικές κατασκευές για τις οποίες δεν μπορούμε να έχουμε στοιχεία με την προεργασία που κάναμε. Σε κάθε περίπτωση όμως, αυτή η κοστολόγηση αφορά στις βασικές εργασίες που θα λάβουν χώρα και μας δίνει μια εικόνα για τα επίπεδα στα οποία θα κυμανθεί το πραγματικό κόστος.

Σε περίπτωση που θα χρησιμοποιηθούν διαφορετικές διαμέτροι αγωγών, με βάση τις διαφορετικές θεωρήσεις που έγιναν στο κεφάλαιο 4 σχετικά με την τοποθέτηση

εξωτερικών κρηνών ή τοποθέτηση διαφορετικών αγωγών στο δίκτυο 1, θα αλλάζουν τα κόστη αγοράς των σωληνώσεων όπως αυτά παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4.

Όσον αφορά στο ετήσιο κόστος που αφορά την τιμολόγηση του παρεχόμενου νερού από την ΕΥΔΑΠ, με βάση τιμολόγια της ΕΥΔΑΠ και θεωρώντας ότι το ΕΜΠ εμπίπτει στην κατηγορία ΙΙΙ (Δημόσια-ΟΤΑ), η χρέωση²⁸ είναι 0.9972 €/m³. Με βάση, λοιπόν, τις υπολογισθείσες ημερήσιες καταναλώσεις που έγιναν στο 4^ο κεφάλαιο²⁹, το συνολικό ετήσιο κόστος ανέρχεται στο ποσό των 80773 €.

ΛΥΣΗ 2^η – ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΦΙΛΤΡΩΝ ΣΤΙΣ ΕΞΟΔΟΥΣ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Όσον αφορά στην περίπτωση της τοποθέτησης φίλτρων με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας του νερού του υφιστάμενου δικτύου, με βάση τα στοιχεία που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 5, υπολογίστηκε πως το κόστος της αγοράς και τοποθέτησης των φίλτρων φτάνει στο πόσο των 160000-320000 € ανάλογα με τον οίκο προέλευσης και οι ετήσιες δαπάνες συντήρησης τους τα 72000-176000 €.

ΛΥΣΗ 3^η – ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΨΥΚΤΩΝ ΕΜΦΙΑΛΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΨΥΚΤΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Όσον αφορά στην περίπτωση της τοποθέτησης ψυκτών εμφιαλωμένου νερού και ψυκτών δικτύου, καθώς η λύση αυτή είναι συνδυαστική για να βρούμε το εύρος του πιθανού κόστους θα δουλέψουμε με τον παρακάτω τρόπο.

Για τους ψύκτες εμφιαλωμένου νερού, δεδομένου ότι η απόκτησή τους γίνεται με τη μορφή χρησιδανείου, το κόστος αγοράς είναι μηδενικό. Το ετήσιο κόστος συντήρησης κυμαίνεται από 9600-16000 €, ενώ το κόστος αγοράς των απαιτούμενων φιαλών από 42000-84000 €, ανάλογα με την εταιρία διάθεσης.

²⁸ Η τιμή αυτή ισχύει με βάση τα τελευταία τιμολόγια της ΕΥΔΑΠ για την κατηγορία ΙΙΙ.

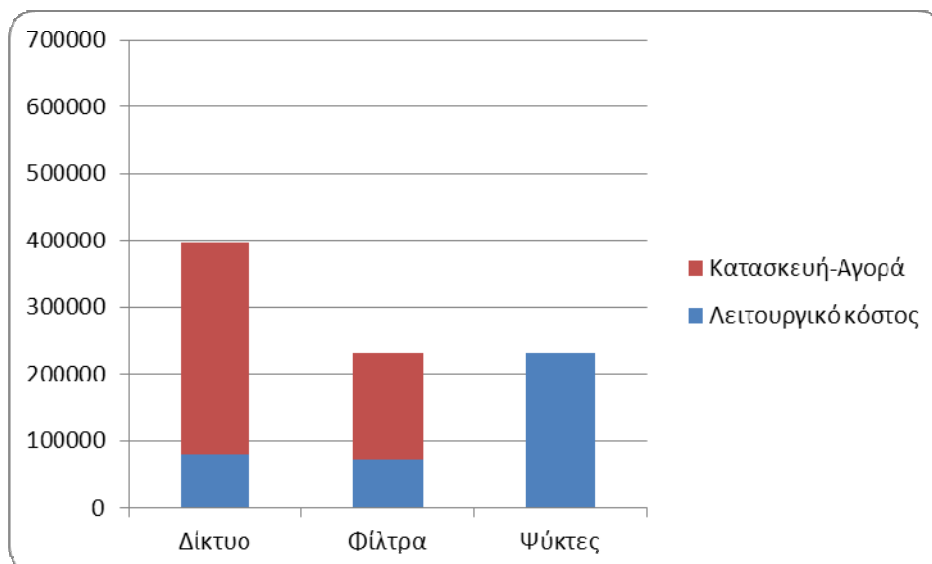
²⁹ Στο κεφάλαιο 4 έχει υπολογιστεί συνολική ημερήσια κατανάλωση 225 m³.

Η διαδικασία για τους ψύκτες δικτύου είναι διαφορετική, καθώς διαπιστώσαμε πως στην περίπτωση του μηδενικού κόστους αγοράς (σύμβαση χρησιδανείου) αντιστοιχούσε το μεγαλύτερο κόστος συντήρησης (180000 €), ενώ αντίθετα στους ψύκτες δικτύου με το μεγαλύτερο κόστος αγοράς (450000 €) αντιστοιχούσε το μικρότερο κόστος συντήρησης (67500 €).

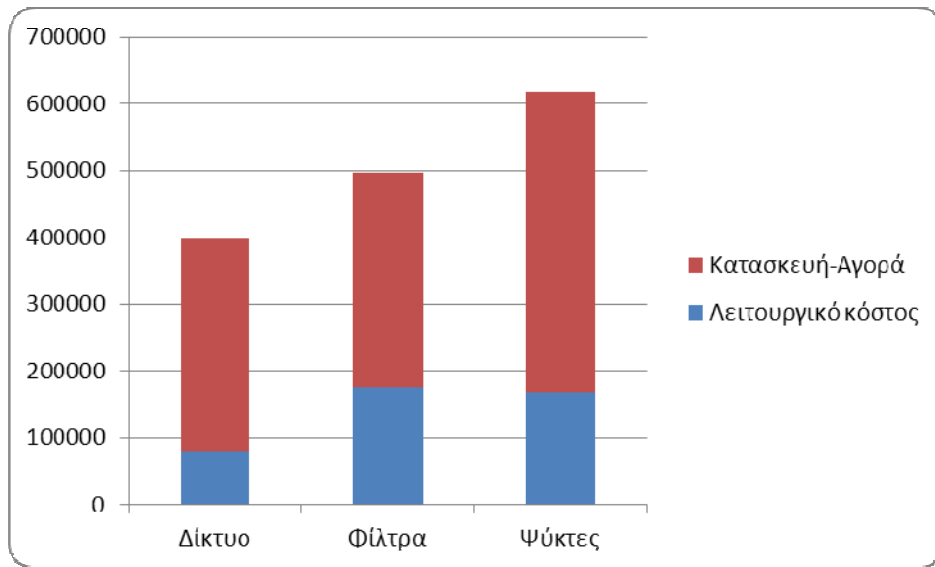
ΨΥΚΤΕΣ						
	Εμφιαλωμένου		Δικτύου			
	από	έως	από	έως		
αγορά	0 €	0 €	0 €	450.000 €	0 €	450.000 €
συντήρηση	9.600 €	16.000 €	180.000 €	67.500 €	189.600 €	83.500 €
φιάλες	42.000 €	84.000 €			42.000 €	84.000 €
					min κόστος 1ου έτους	max κόστος 1ου έτους
					231.600 €	617.500 €

Πίνακας 6-2 Συνοπτικός πίνακας σχετικά με τα κόστη αγοράς και λειτουργίας των ψυκτών

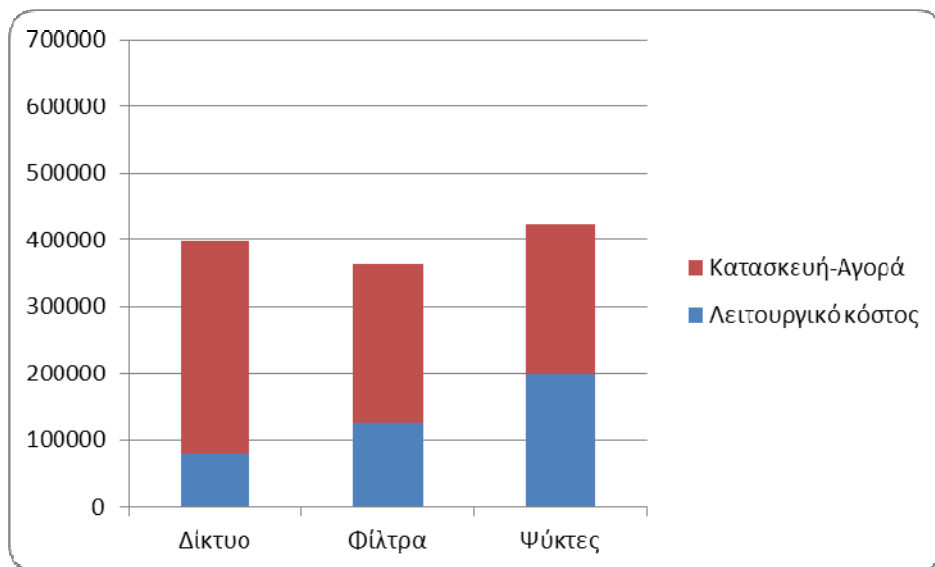
Παρακάτω θα δούμε μια σύγκριση για τα κόστη του 1^{ου} έτους για κάθε μια από τις προτεινόμενες λύσεις και για τις διάφορες διαθέσιμες τιμές.



Σχήμα 6-1 Δαπάνες 1^{ου} έτους με βάση τις χαμηλότερες διαθέσιμες τιμές



Σχήμα 6-2 Δαπάνες 1^{ου} έτους με βάση τις υψηλότερες διαθέσιμες τιμές



Σχήμα 6-3 Δαπάνες 1^{ου} έτους με βάση τις μέσες διαθέσιμες τιμές

Σημειώνεται πως στην παραπάνω σύγκριση το κόστος κατασκευής και λειτουργίας του νέου δικτύου πόσιμου νερού δεν αλλάζει.

Το σφάλμα στην παραπάνω σύγκριση ενέχει στο γεγονός ότι ουσιαστικά καλούμαστε να συγκρίνουμε λύσεις οι οποίες είναι εντελώς διαφορετικής φύσης η καθεμία. Η

κατασκευή ενός δικτύου ύδρευσης είναι ένα έργο υποδομής με διάρκεια ζωής 40-50 χρόνια, μηδενικά κρυφά κόστη καθώς και μικρό ποσοστό απρόβλεπτου κόστους με το πέρασ των χρόνων. Αντίθετα, οι λύσεις των φίλτρων και των ψυκτών είναι έργα υπηρεσίας, καθώς αφορούν τη χρήση συσκευών με μικρότερο χρόνο ζωής, οι οποίες εύκολα μπορεί να υποστούν φθορές³⁰, ή να έχουν κρυφά και απρόβλεπτα κόστη που αφορούν στην επισκευή ή ακόμα και την πιθανότητα αντικατάστασής τους. Με αφορμή αυτή τη διαπίστωση, επιχειρήσαμε μια σύγκριση του κόστους σε βάθος πενταετίας.

Όσον αφορά στο νέο δίκτυο πόσιμου νερού, το κόστος κατασκευής θεωρείται δεδομένο και αποπληρώνεται άμεσα με το πέρασ των εργασιών, ενώ το ετήσιο κόστος που αφορά στην πληρωμή του παρεχόμενου νερού από την ΕΥΔΑΠ δεν μπορεί να αλλάξει δραματικά σε τόσο μικρό χρονικό διάστημα. Σχετικά με το κόστος συντήρησης του δικτύου, η διάρκεια των πέντε ετών θεωρείται πολύ μικρή για να παρουσιαστούν ανάγκες αποκατάστασης φθορών μεγάλης κλίμακας. Έτσι για τη διάρκεια των 5 ετών, υπολογίσαμε για κάθε παρεχόμενο έτος μια αύξηση της τάξης του 3% στα τιμολόγια της ΕΥΔΑΠ και ταυτόχρονα προσθέσαμε ένα κόστος επισκευών της τάξης του 10% σε σχέση με το κόστος κατασκευής του έργου.

ΝΕΟ ΔΙΚΤΥΟ		
	Κατασκευή	316.000 €
Λειτουργικά έξοδα	1ος χρόνος	80.773 €
	2ος χρόνος	83.196 €
	3ος χρόνος	85.692 €
	4ος χρόνος	88.263 €
	5ος χρόνος	90.911 €
	Απρόβλεπτα	31.600 €
	Σύνολο δαπανών έως και το 5ο έτος	776.435 €

Πίνακας 6-3 Συνολικές δαπάνες νέου δικτύου έως και το 5^ο έτος

³⁰ Οι φθορές σε τέτοιου είδους συσκευές είναι αρκετά πιθανές δεδομένου του μεγάλου αριθμού ατόμων που θα τις χρησιμοποιούν.

Σχετικά με τη λύση της τοποθέτησης φίλτρων και για τις διάφορες διαθέσιμες τιμές, λειτουργήσαμε με παρόμοιο τρόπο, υπολογίζοντας μια αύξηση των λειτουργικών εξόδων του κάθε χρόνου της τάξης του 3%, ενώ για τα απρόβλεπτα κόστη υπολογίσαμε πως θα είναι της τάξης του 20% σε σχέση με το αρχικό κόστος αγοράς για τις υψηλότερες διαθέσιμες τιμές, ενώ για τις χαμηλότερες τιμές το ποσοστό αυτό υπολογίστηκε στο 40% του αρχικού κόστους αγοράς.

ΦΙΛΤΡΑ				
		Υψηλή τιμή	Χαμηλή τιμή	Μέση τιμή
	Αγορά	320.000 €	160.000 €	240000
Λειτουργικά εξόδα	1ος χρόνος	176.000 €	72.000 €	124.000 €
	2ος χρόνος	181.280 €	74.160 €	127.720 €
	3ος χρόνος	186.718 €	76.385 €	131.552 €
	4ος χρόνος	192.320 €	78.676 €	135.498 €
	5ος χρόνος	198.090 €	81.037 €	139.563 €
	Απρόβλεπτα	64.000 €	64.000 €	72.000 €
	Σύνολο δαπανών έως και το 5ο έτος	1.318.408 €	606.258 €	970.333 €

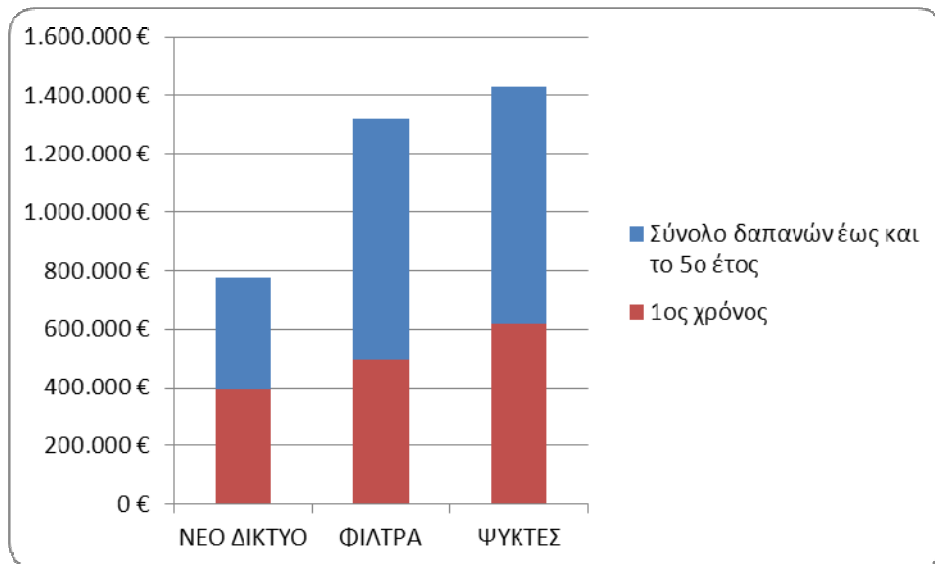
Πίνακας 6-4 Συνολικές δαπάνες τοποθέτησης φίλτρων έως και το 5^ο έτος

Όσον αφορά την τοποθέτηση ψυκτών εμφιαλωμένου νερού και ψυκτών δικτύου, υπολογίσαμε και εδώ μια ετήσια αύξηση των λειτουργικών εξόδων της τάξης του 3%, ενώ σχετικά με τα απρόβλεπτα κόστη υπολογίσαμε ένα ποσοστό της τάξης του 20% σε σχέση με το αρχικό κόστος αγοράς για την περίπτωση των υψηλότερων διαθέσιμων τιμών, ενώ για την περίπτωση όπου έχουμε μηδενικό κόστος αγοράς (χρησιδάνειο), τα απρόβλεπτα κόστη υπολογίστηκαν ως ένα ποσοστό της τάξης του 30% σε σχέση με τις μέσες διαθέσιμες τιμές αγοράς.

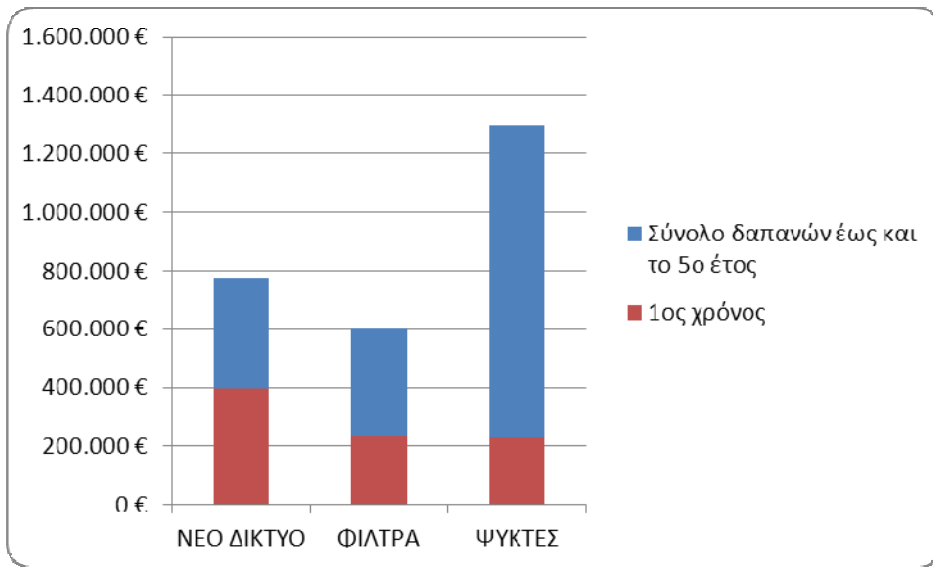
ΨΥΚΤΕΣ				
		Υψηλή τιμή	Χαμηλή τιμή	Μέση τιμή
	Αγορά	450.000 €	0 €	225.000 €
Λειτουργικά έξοδα	1ος χρόνος	167.500 €	231.600 €	199.550 €
	2ος χρόνος	172.525 €	238.548 €	205.537 €
	3ος χρόνος	177.701 €	245.704 €	211.703 €
	4ος χρόνος	183.032 €	253.076 €	218.054 €
	5ος χρόνος	188.523 €	260.668 €	224.595 €
	Απρόβλεπτα	90.000 €	67.500 €	67.500 €
	Σύνολο δαπανών έως και το 5ο έτος	1.429.280 €	1.297.096 €	1.351.938 €

Πίνακας 6-5 Συνολικές δαπάνες τοποθέτησης ψυκτών έως και το 5^ο έτος

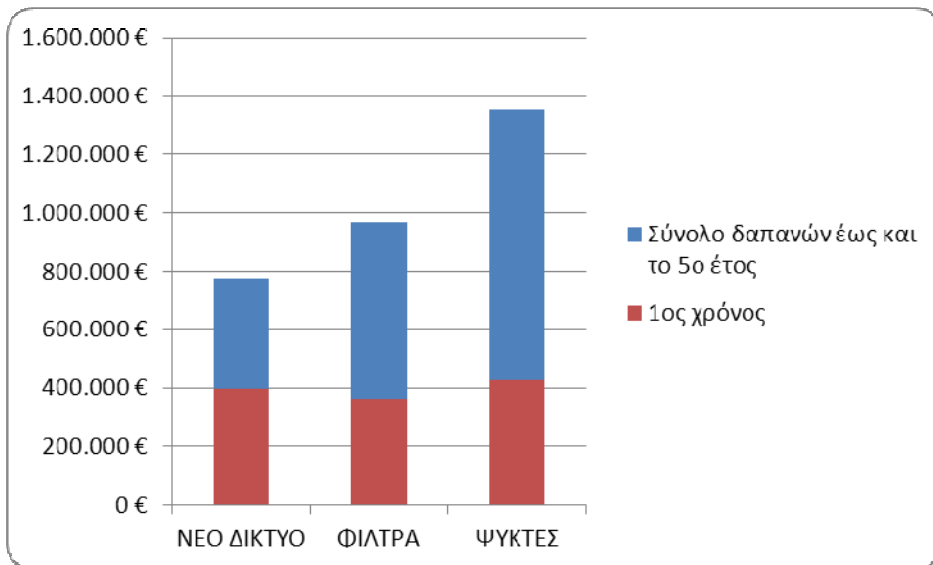
Οι παραπάνω δαπάνες για τα 5 πρώτα έτη λειτουργίας φαίνονται συγκριτικά και στα παρακάτω διαγράμματα.



Σχήμα 6-4 Δαπάνες έως το 5^ο έτος με βάση τις υψηλότερες διαθέσιμες τιμές



Σχήμα 6-5 Δαπάνες έως το 5^ο έτος με βάση τις χαμηλότερες διαθέσιμες τιμές



Σχήμα 6-6 Δαπάνες έως το 5^ο έτος με βάση τις μέσες διαθέσιμες τιμές

Σε κάθε περίπτωση, η επιλογή της λύσης 1 σχετικά με την κατασκευή ενός νέου δικτύου πόσιμου νερού, αποσκοπεί σε μια πιο μακροπρόθεσμη θεώρηση της κατάστασης, καθώς αποτελεί όπως αναφέραμε και προηγουμένως ένα έργο υποδομής για την Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Σε βάθος χρόνου, το πιθανότερο είναι οι περιπτώσεις που αφορούν στην εγκατάσταση συσκευών (φίλτρα, ψύκτες) να παρουσιάσουν φθορές πιο

γρήγορα και το ενδεχόμενο να καταλήξουμε πάλι στην ανάγκη εξεύρεσης μιας νέας λύσης για την παροχή υψηλής ποιότητας πόσιμου νερού είναι σχεδόν δεδομένο. Με βάση αυτή τη λογική, λοιπόν, η κατασκευή ενός νέου δικτύου είναι η λύση η οποία φαίνεται να ικανοποιεί περισσότερο τις παρούσες αλλά και μελλοντικές ανάγκες, και ως εκ τούτου είναι αυτή η οποία προτείνεται στο τέλος αυτής της διερεύνησης.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τη μελέτη του υφιστάμενου δικτύου, καταλήξαμε αρχικά πως η παρατηρούμενη υποβάθμιση των ποιοτικών του χαρακτηριστικών οφείλεται στην παλαιότητα των αγωγών. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι το υφιστάμενο δίκτυο είναι αρκετά παλαιό καθώς η κατασκευή του ολοκληρώθηκε σταδιακά και ταυτόχρονα με την ανοικοδόμηση της Πολυτεχνειούπολης, ενώ περιλαμβάνει κομμάτια τα οποία πιθανώς έχουν κατασκευαστεί και πριν τη δεκαετία του 1980.

Για χρήσεις πέραν της πόσης, το νερό του υφιστάμενου δικτύου φαίνεται να καλύπτει τις προδιαγραφές των κανονισμών και έτσι δεν εξετάζεται η πιθανότητα κατασκευής ενός νέου ενιαίου δικτύου ύδρευσης. Παρατηρώντας τις διεθνείς τάσεις σχετικά με τα δίκτυα ύδρευσης μέσα στο γενικό πλαίσιο μιας ορθότερης διαχείρισης των υδατικών πόρων αλλά και των υδατικών μας αναγκών, αποφασίσαμε να εξετάσουμε την περίπτωση της λειτουργίας ενός διπλού δικτύου ύδρευσης εντός της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου. Αυτό περιελάμβανε την κατασκευή ενός νέου δικτύου πόσιμου νερού με παροχή από την ΕΥΔΑΠ, με ταυτόχρονη λειτουργία του υφιστάμενου δικτύου ως δευτερεύον, το νερό του οποίου θα χρησιμοποιείται για όλες τις δραστηριότητες εκτός της πόσης και της προσωπικής υγιεινής των καταναλωτών.

Το νέο δίκτυο χωρίστηκε σε τρία αυτόνομα τμήματα, ενώ ο σχεδιασμός του δε διέφερε καθόλου από τον τυπικό σχεδιασμό ενός δικτύου ύδρευσης, με τη μόνη διαφορά ότι στην περίπτωσή μας είχαμε αρκετά μικρότερες απαιτούμενες διαμέτρους καθώς είχαμε αποδεσμεύσει το δίκτυο από ένα μεγάλο ποσοστό απαιτούμενων καταναλώσεων.

Για το δίκτυο 1, σε περίπτωση που επιλεγεί η απευθείας υδροδότηση των κτιρίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σωλήνες HDPE διαμέτρου 90 ή 63 mm και ονομαστικής πίεσης 12.5 atm, ενώ στην περίπτωση της εγκατάστασης εξωτερικών κρηνών μπορεί να χρησιμοποιηθεί, σωλήνας διαμέτρου 63 mm και PN 10 atm.

Για τα δίκτυα 2 και 3, στην περίπτωση της απευθείας υδροδότησης των κτιρίων θα χρησιμοποιηθούν σωλήνες διαμέτρου 90 mm και PN 12.5 atm, ενώ στην περίπτωση των εξωτερικών κρηνών μπορούν να χρησιμοποιηθούν σωλήνες διαμέτρου 63 mm και PN 10 atm.

Από τα τρία αυτά δίκτυα, το δίκτυο 3 ήταν το πιο απαιτητικό, δεδομένου των αρκετά μεγάλων υψομετρικών διαφορών ανάμεσα σε διάφορους κόμβους του, αλλά και του μεγάλου του μήκους.

Από την προσομοίωση του δικτύου μέσω του EPANET παρατηρήσαμε αρκετά μικρές ταχύτητες στους αγωγούς, οι οποίες οφείλονται στις πολύ μικρές στιγμιαίες καταναλώσεις που έχουμε θεωρήσει. Ενδεχομένως ένας διαφορετικός σχεδιασμός της διάταξης του δικτύου να δώσει καλύτερα αποτελέσματα, όμως σε κάθε περίπτωση οι απαιτούμενες καταναλώσεις δεν μπορούν να διαφέρουν πολύ από αυτές που υπολογίστηκαν στην παρούσα εργασία.

Αν οδηγηθούμε στην επιλογή της κατασκευής ενός νέου δικτύου πόσιμου νερού, θα πρέπει να γίνει αναλυτικότερη διερεύνηση σχετικά με ορισμένες ειδικές συσκευές, των οποίων η τοποθέτηση κατά μήκος του δικτύου μπορεί να κριθεί αναγκαία, και οι οποίες δεν διερευνήθηκαν επαρκώς στην παρούσα εργασία.

Όσον αφορά στις εναλλακτικές λύσεις παροχής πόσιμου νερού με βάση το υφιστάμενο δίκτυο, οι οποίες διερευνήθηκαν, φαίνεται πως η χρήση τους μπορεί βραχυπρόθεσμα να βελτιώσει την παρούσα κατάσταση αλλά δεν μπορούν να αποτελούν ουσιαστικές λύσεις μακροπρόθεσμης αντιμετώπισης του προβλήματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν αποτελούν ένα έργο υποδομής με μεγάλη διάρκεια ζωής και πιθανώς να εμπεριέχουν απρόβλεπτα κόστη τα οποία μπορούν να τις καταστήσουν μη συμφέρουσες σε βάθος χρόνου.

Ενδεχομένως ορισμένες από αυτές να μπορούσαν να λειτουργήσουν επικουρικά στο υφιστάμενο δίκτυο και σε μικρότερη κλίμακα με ταυτόχρονη λειτουργία του νέου δικτύου ή να εγκατασταθούν προσωρινά μέχρι το πέρας των εργασιών κατασκευής του νέου δικτύου.

Όσον αφορά στην διερεύνηση περί κόστους, των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων, πρέπει να επισημανθεί για άλλη μια φορά πως σκοπός ήταν μια προσεγγιστική εκτίμηση των δαπανών κατασκευής-αγοράς και των λειτουργικών εξόδων αυτών, με στόχο μια υποτυπώδη τεχνικοοικονομική μεταξύ τους σύγκριση. Παρότι η εκτίμηση αυτή έγινε με ιδιαίτερη προσοχή, λόγω έλλειψης πλήθους δεδομένων είναι πολύ πιθανό να εμπεριέχει ορισμένα σφάλματα.

Σε κάθε ενδεχόμενη λύση, το υφιστάμενο δίκτυο θα χρησιμοποιηθεί είτε ως δευτερεύον είτε ως κύριο, και επομένως θα πρέπει να δοθεί προσοχή στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του. Προτείνεται, λοιπόν, δεδομένης της παλαιότητας και των υλικών κατασκευής του, η διερεύνηση εγκατάστασης συστήματος παρακολούθησης των διαρροών με σκοπό να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανές απώλειες νερού. Ταυτόχρονα, στα πλαίσια της προσπάθειας για εξοικονόμηση των διαθέσιμων υδατικών πόρων, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και ορισμένες συσκευές που περιγράφηκαν στο 2^ο κεφάλαιο (π.χ. αισθητήρες βροχής για ελεγχόμενη άρδευση) έτσι ώστε να περιορίσουμε την άσκοπη κατανάλωση νερού, ανεξαρτήτως αν αυτό προέρχεται από τις γεωτρήσεις ή από την ΕΥΔΑΠ. Επίσης, θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον, να διερευνηθούν και πιθανοί τρόποι εσωτερικής ανακύκλωσης του γκρίζου νερού των κτιρίων όπως αυτοί περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 2.

Ολοκληρώνοντας, θα ήθελα να παραθέσω τη διαπίστωση πως το ζήτημα του σχεδιασμού της ύδρευσης μιας περιοχής, ήταν ένα θέμα αρκετά πιο σύνθετο από ότι αρχικά διαφαινόταν καθώς υπεισέρχονται σε αυτό τόσο πολλοί και διαφορετικοί μεταξύ τους παράγοντες που μπορεί από τη μια στιγμή στην άλλη να οδηγήσουν στη διερεύνηση ολοένα και περισσότερων πιθανών λύσεων με βάση διαφορετικές κάθε φορά παραμέτρους. Σε κάθε περίπτωση όμως, ο παράγοντας που μένει πάντα σταθερός είναι η ανάγκη για παροχή της κατάλληλης ποιότητας και ποσότητας νερού στους καταναλωτές, καθώς αυτό αποτελεί βασική προϋπόθεση μιας αξιοπρεπούς και υγιούς διαβίωσης.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βαφειάδης Γ., *Μέθοδοι επίλυσης κλειστών δικτύων ύδρευσης οικισμών-Δίκτυο μελέτης: Οικισμού Μανδρακίου Νισύρου*, ΕΜΠ, 2008

Καρκατσούλη Ε., *Χρήση μοντέλων επίλυσης κυκλοφοριακών δικτύων ύδρευσης οικισμών*, ΕΜΠ, 2008

Κοντός Ι., Ζησόπουλος Β., *Ύδρευση Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου από το Δίκτυο της ΕΥΔΑΠ*, ΕΜΠ, Αθήνα, 2009

Κουτσογιάννης Δ., *Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης*, Έκδοση 3.1, 201 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999

Κουτσογιάννης, Δ., *Σημειώσεις Διαχείρισης Υδατικών Πόρων - Μέρος 1*, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – ΕΜΠ, 2007.

Κουτσογιάννης Δ. και Ευστρατιάδης Α., *Σημειώσεις Αστικών Υδραυλικών Έργων*, (<http://www.itia.ntua.gr/courses/aye/index.html>), 2007.

Μήνα Α., *Διερεύνηση του υδρευτικού συστήματος της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου*, ΕΜΠ, 2008

Όξενκιουν Πετροπούλου Μ., *Αναλύσεις Δειγμάτων Νερού Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου*, Αθήνα, 2007.

Παπανικολάου Δ., Λόζιος Σ., Σούκης Κ. και Σκούρτσος Εμ., *Η γεωλογική δομή του αλλόχθονου συστήματος των «σχιστολίθων Αθηνών»*, Πρακτικά 10^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη, 2004

Τεχνική υπηρεσία ΕΜΠ, *Πανεπιστημιακές Εγκαταστάσεις ΕΜΠ*, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 1998.

AWWA, American Water Works Association, *Basic Science concepts and application*, p.156-160, 2003

AWWA, American Water Works Association, *Water Treatment- Principles and Practices of Water Supply Operations*, 3rd Edition, 2003

Brière François, *Drinking water distribution and Rainfall Collection*, 2nd Edition, Presses internationales Polytechnique, 1999.

Efstratiadis, A., D. Koutsoyiannis, and D. Xenos, *Minimizing water cost in the water resource management of Athens*, Urban Water Journal, 1 (1), 3–15, 2004

Efstratiadis, A. and D. Koutsoyiannis, *Lecture notes on Typical Hydraulic Works - Part I Water Distribution Networks*, 90 pages, Department of Water Resources, Hydraulic and Maritime Engineering – National Technical University of Athens, 2006

Kuo C., *Campus Water Uses and Potential Water Efficiencies*, California Institute of Technology, 2008

LeChevallier M.W., *Overview of Water Reuse Technology: Pricing Considerations Related To Reclaimed Water*, 2009

Maddaus Water Management and UC Santa Cruz, *UC Santa Cruz water efficiency survey*, 2007

Mays Larry W., AWWA, *Water Distribution Systems Handbook*, McGraw-Hill, 2000.

McCann B., *Reuse of water in the EU and the Mediterranean*, Water 21, Journal of the International Water Association, April 2008, p. 42-44

Metcalf and Eddy Inc., *Wastewater Engineering Treatment Disposal and Reuse*, NY, McGraw-Hill, 1979

Metcalf and Eddy Inc., *Water reuse – Issues, Technologies and Applications*, McGraw-Hill, 2007

Nguyen B., *Operation of dual drinking and non-potable water networks in Paris: advantages and constraints*, IWA Publishing, London, ROYAUME-UNI, 2001

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

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

Sociology water lab and the Colorado Institute for irrigation management, *The benefits and costs of pressurized dual water systems in Colorado*, Colorado State University, 2003

Tang S.L., Derek P.T Yue and Damien C.C. Ku, *Engineering and costs of Dual water Supply Systems*, IWA Publishing, London, 2007

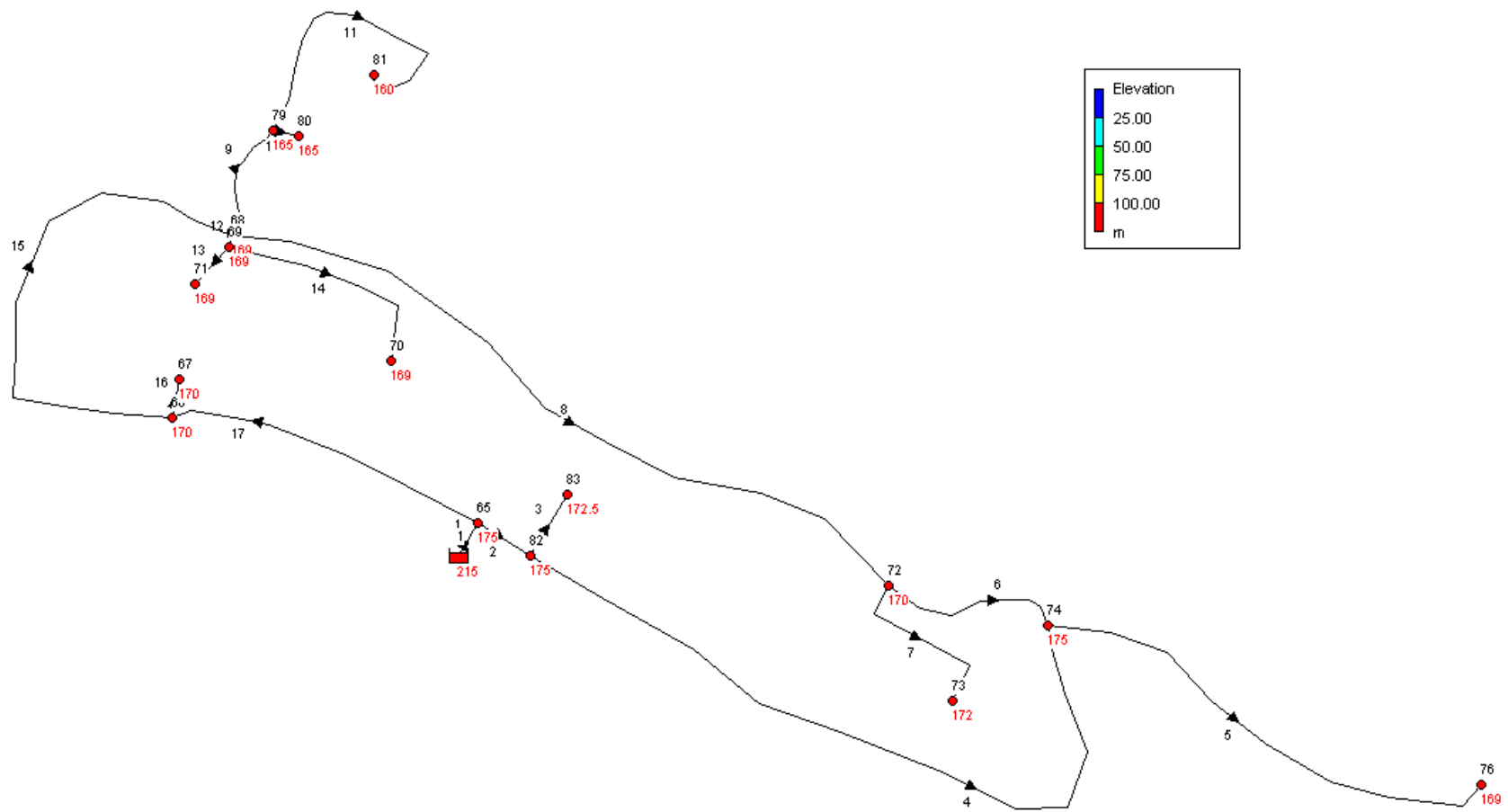
UN, 2030 Water Resources Group, *Charting Our Water Future-Economic frameworks to inform decision-making*, November 2009

UN, *World Population Prospects- The 2008 Revision Population Database*, esa.un.org, 2009

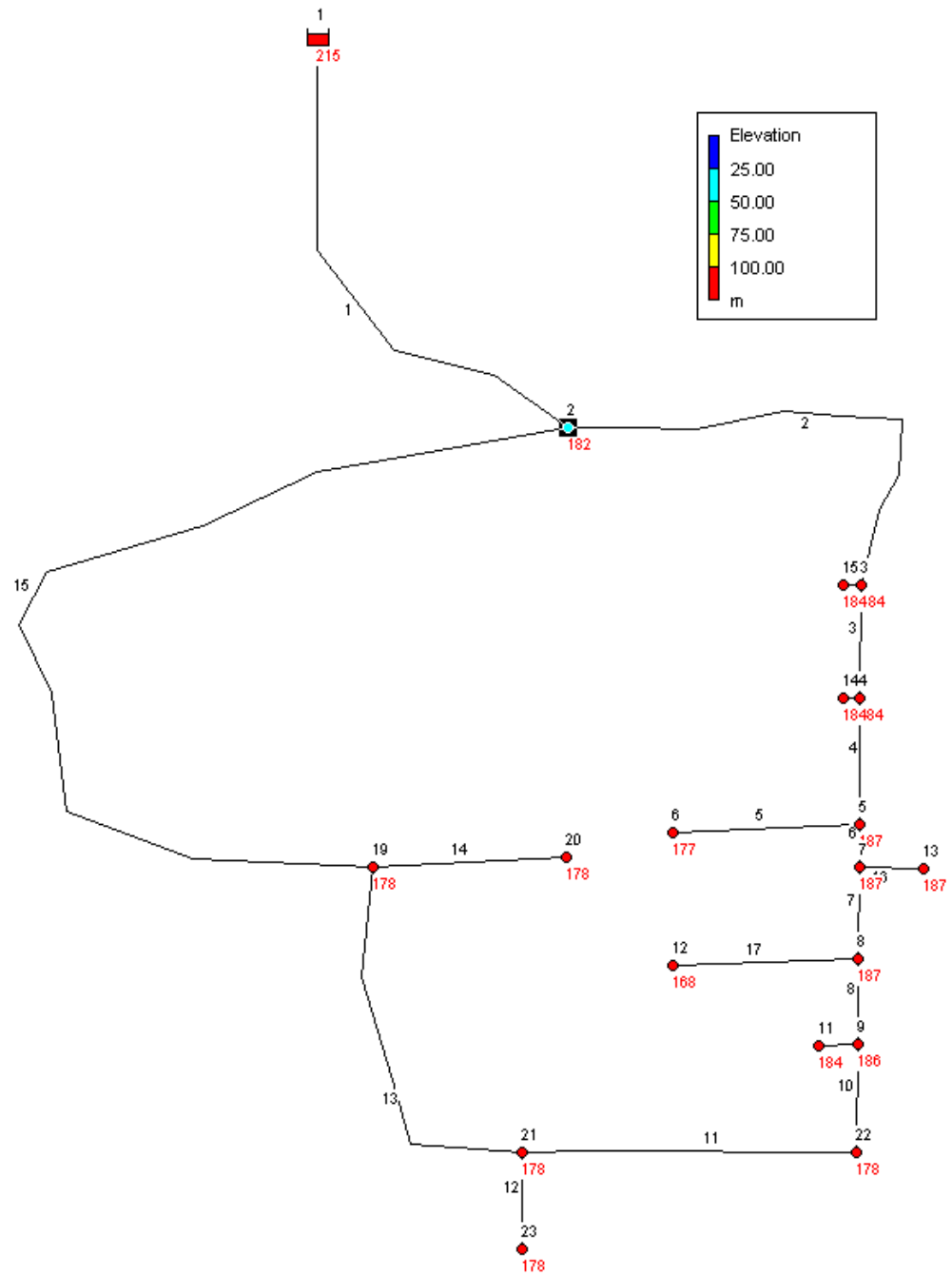
US Census Bureau, *Total Midyear Population for the World: 1950-2050*, census.gov, 2010

Water Services Association of Australia, *Dual Water Supply Systems*, 1st Edition, Melbourne, 2004

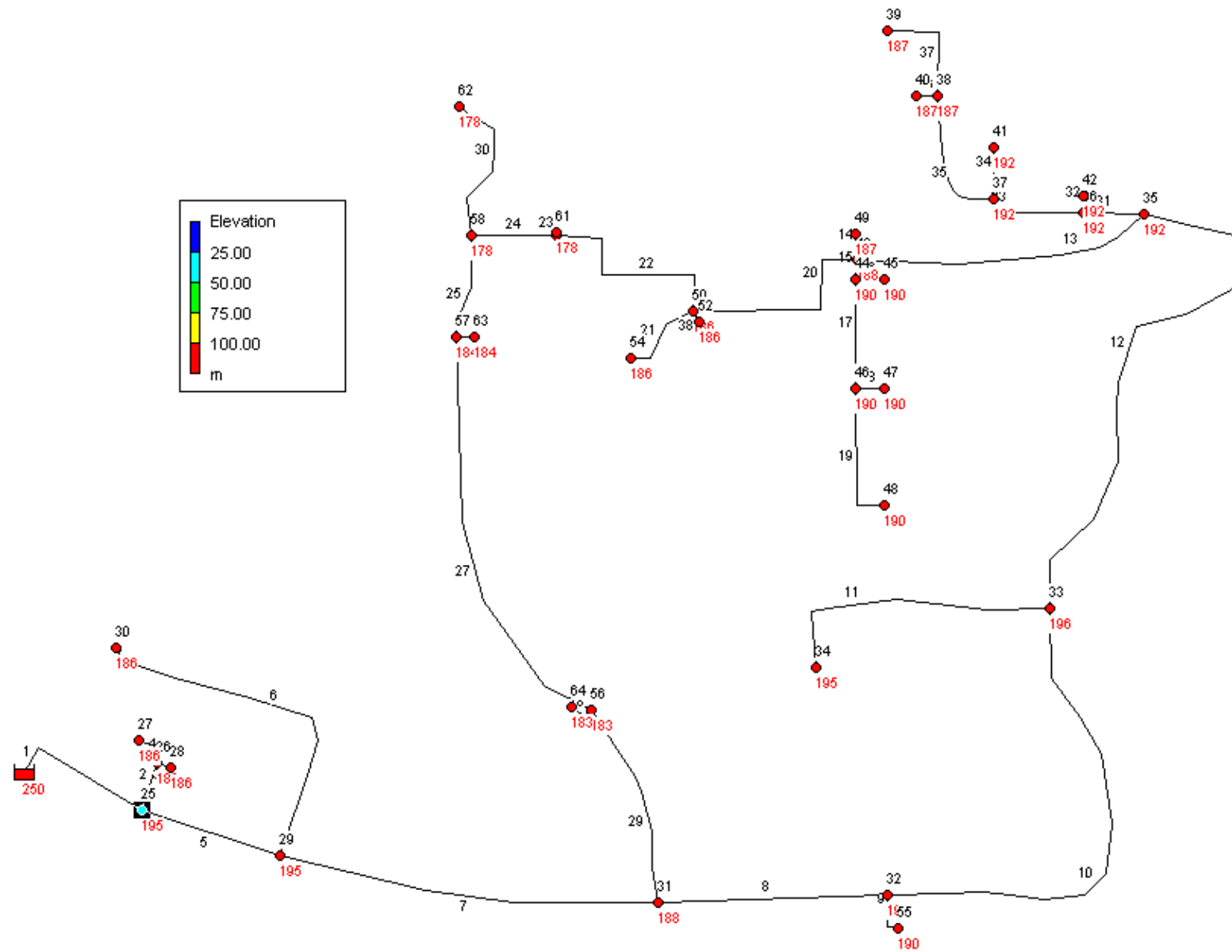
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



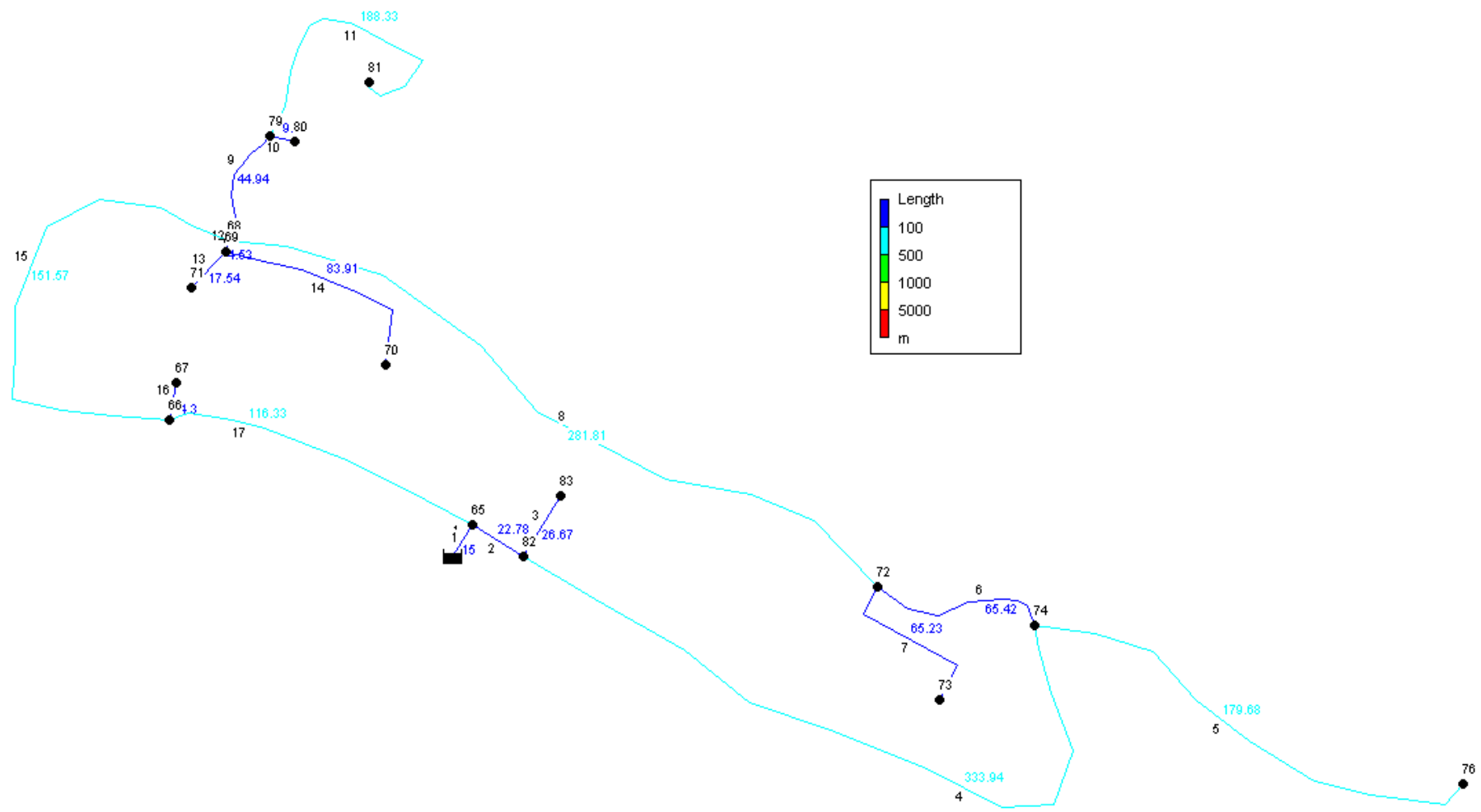
Υψόμετρα κόμβων δικτύου 1



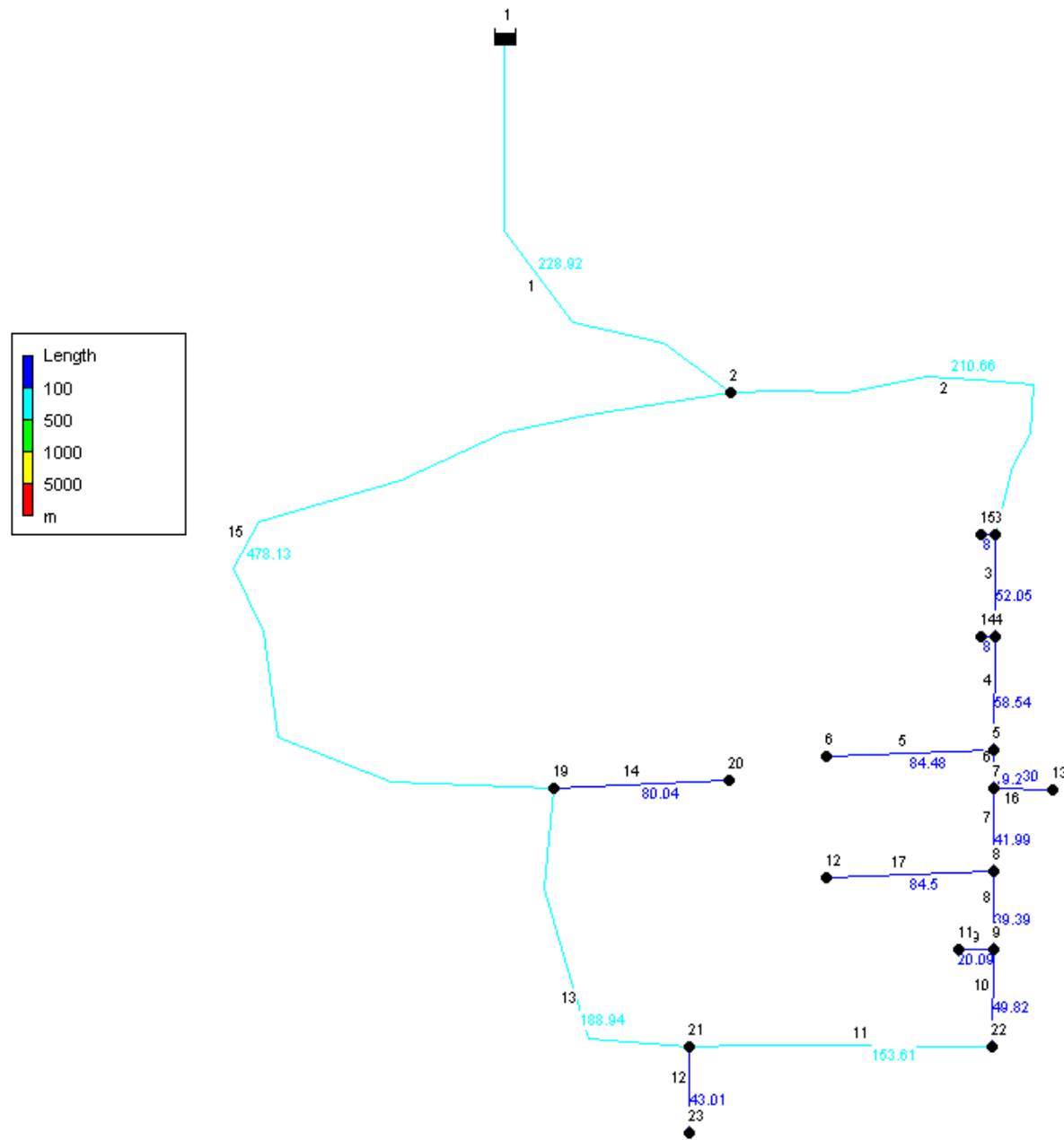
Υψόμετρα κόμβων δικτύου 2



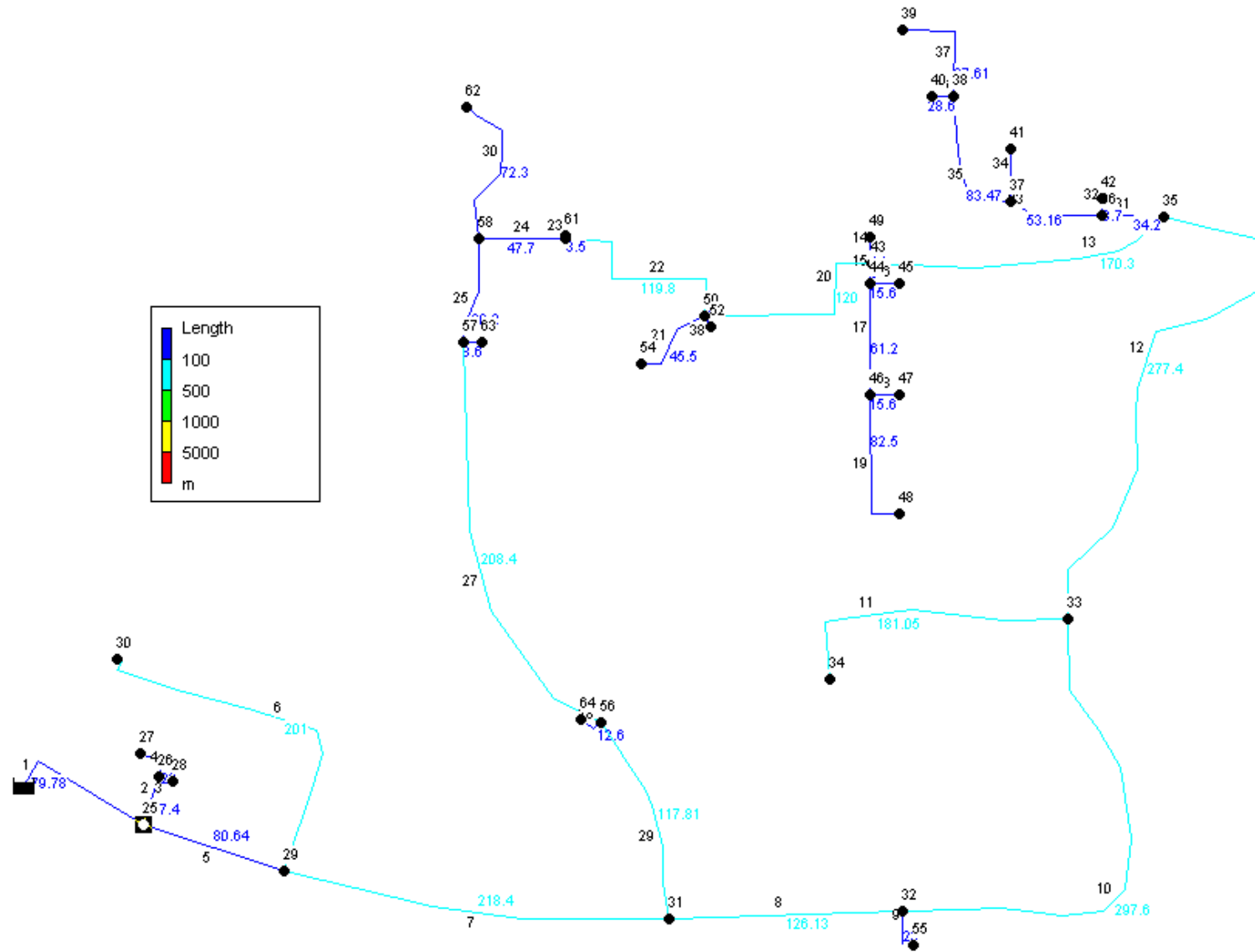
Υψόμετρα κόμβων δικτύου 3



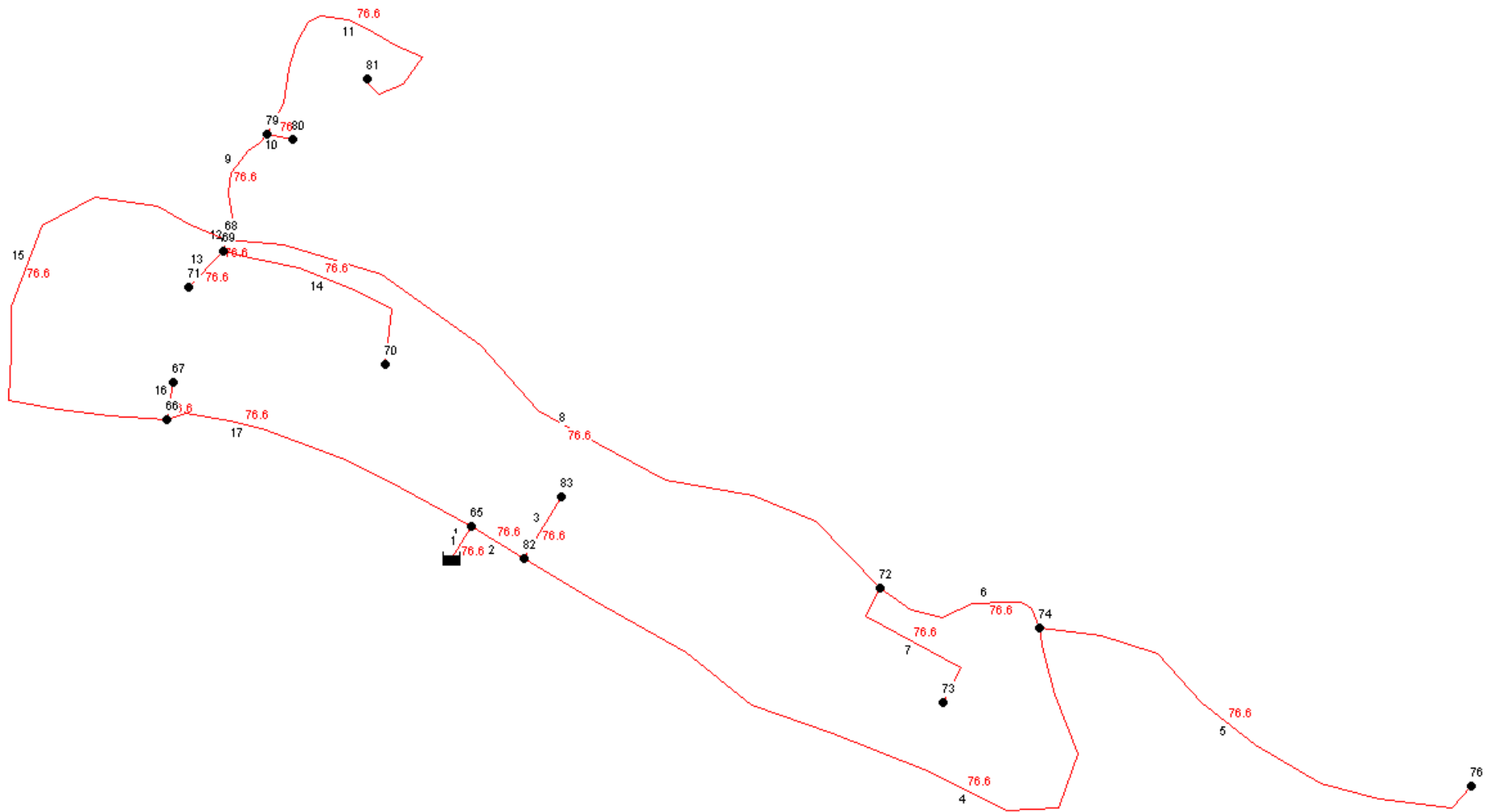
Μήκη αγωγών δικτύου 1



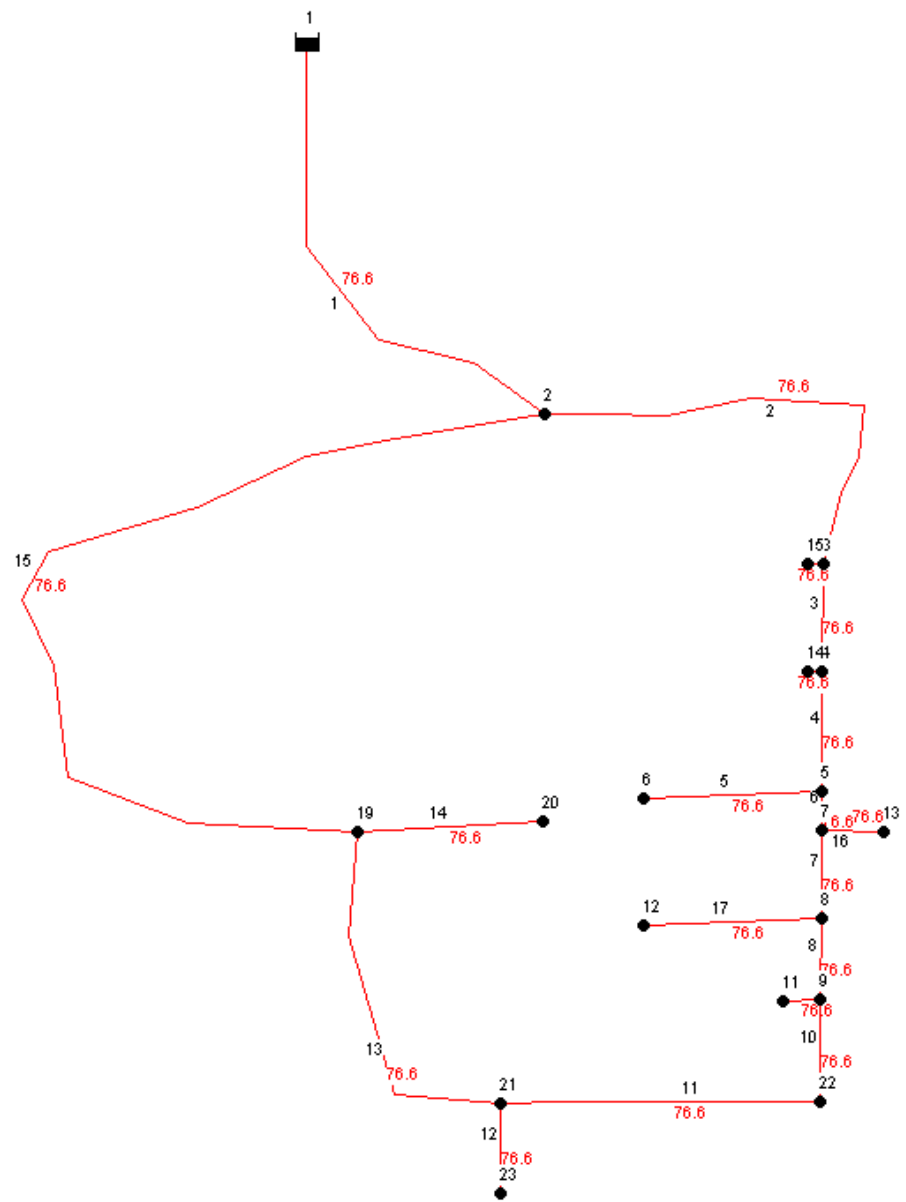
Μήκη αγωγών δικτύου 2



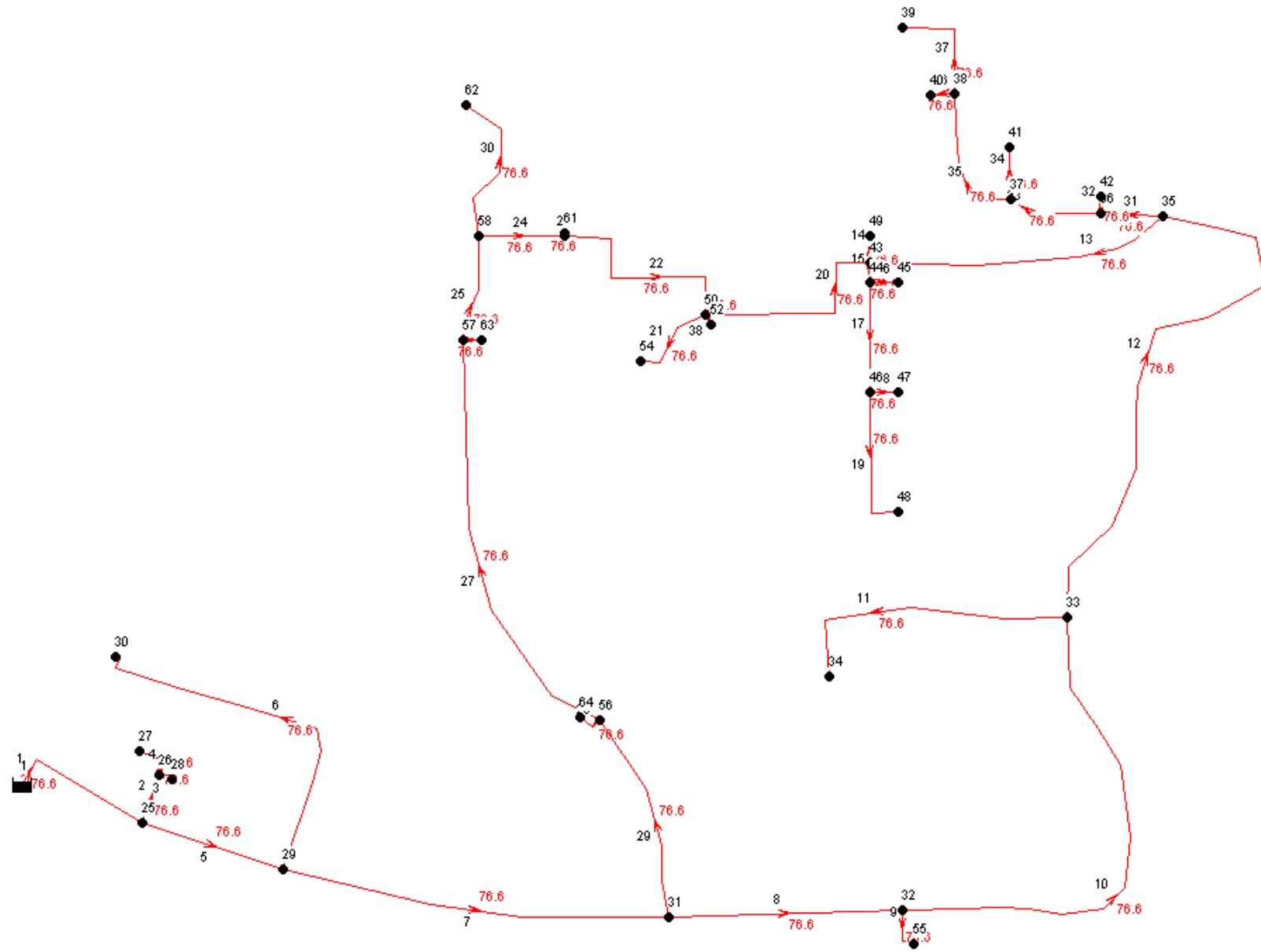
Μήκη αγωγών δικτύου 3



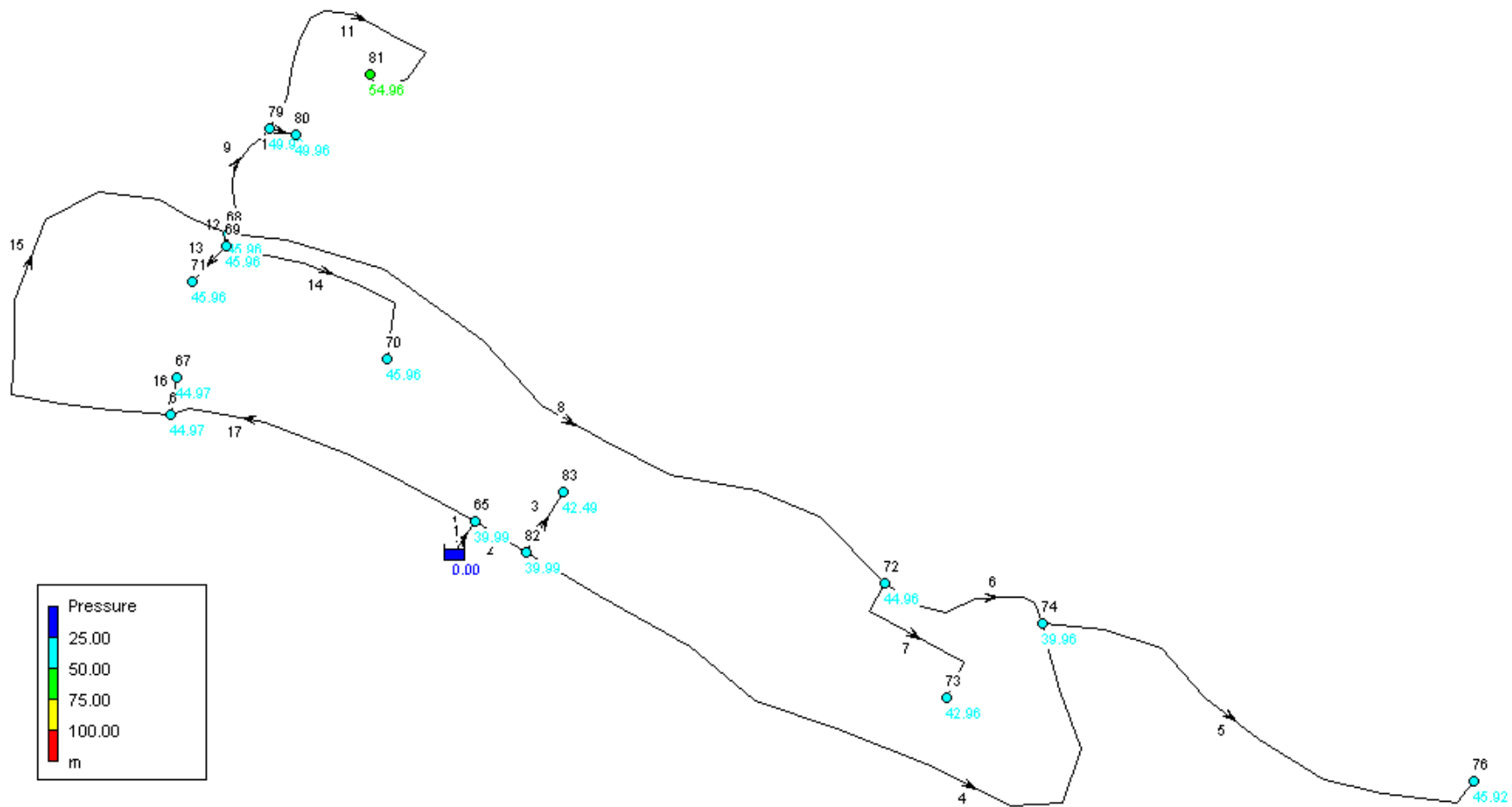
Διάμετροι αγωγών δικτύου 1



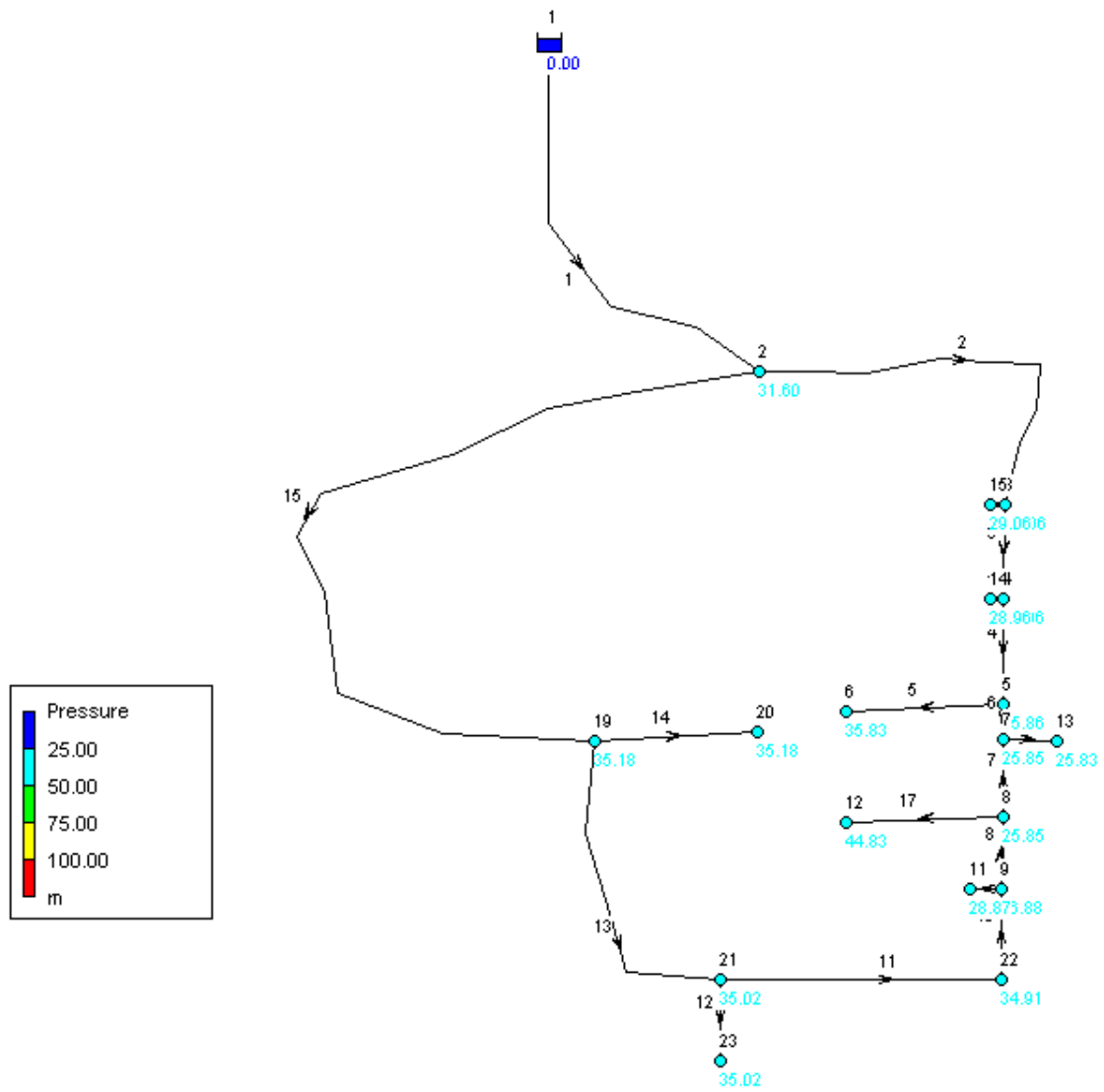
Διάμετροι αγωγών δικτύου 2



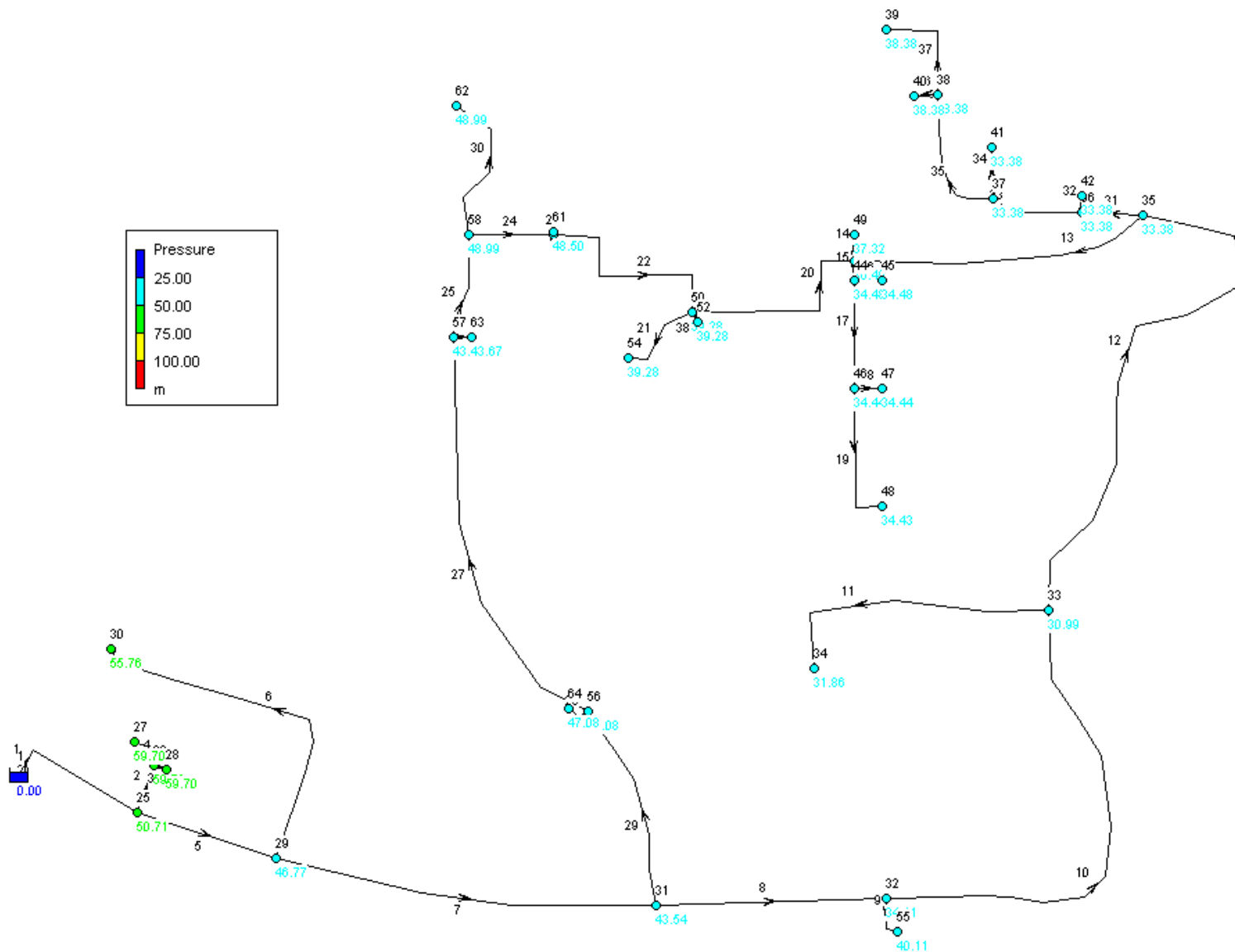
Διάμετροι αγωγών δικτύου 3



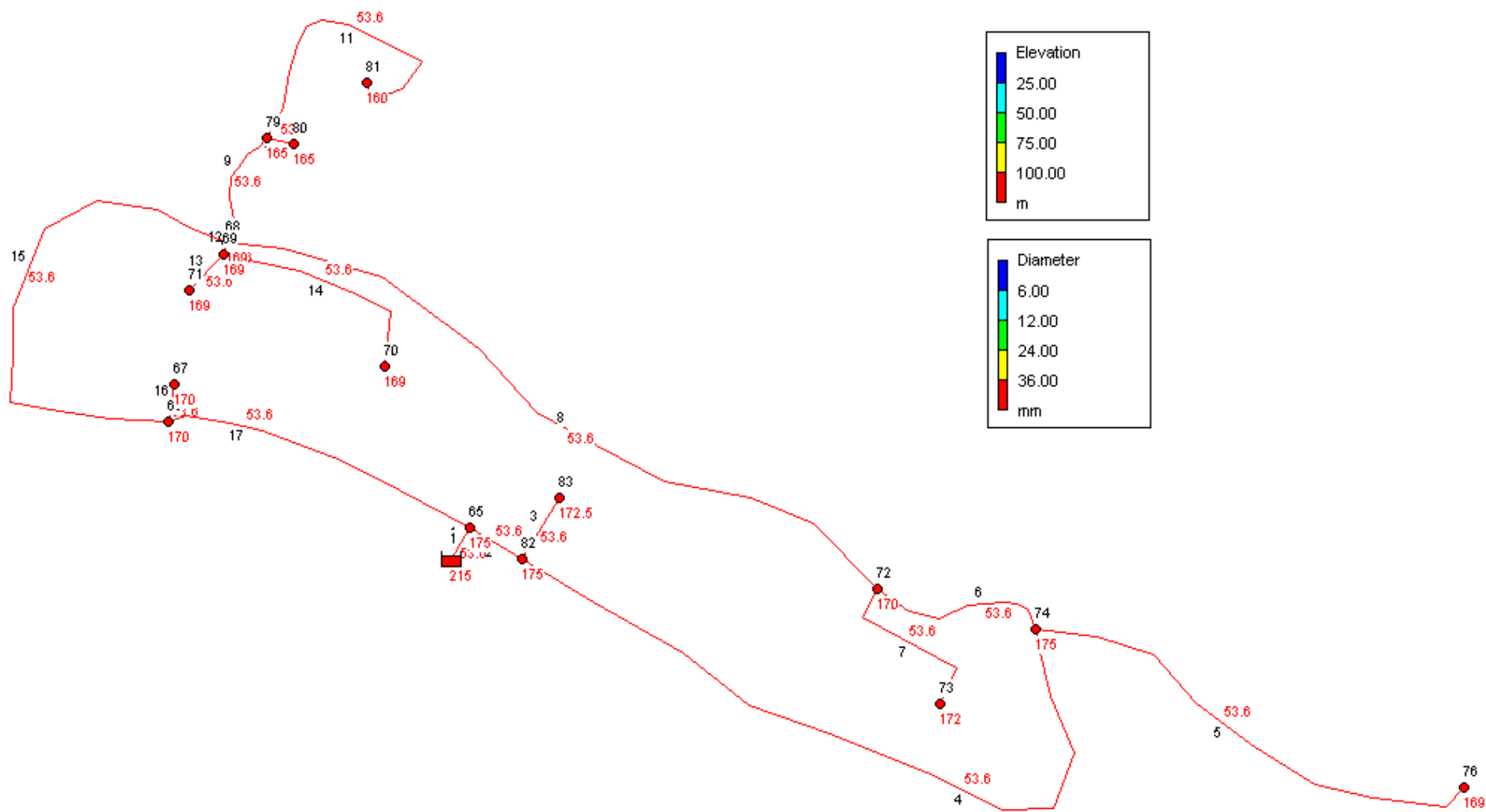
Πίεσεις στους κόμβους του δικτύου 1



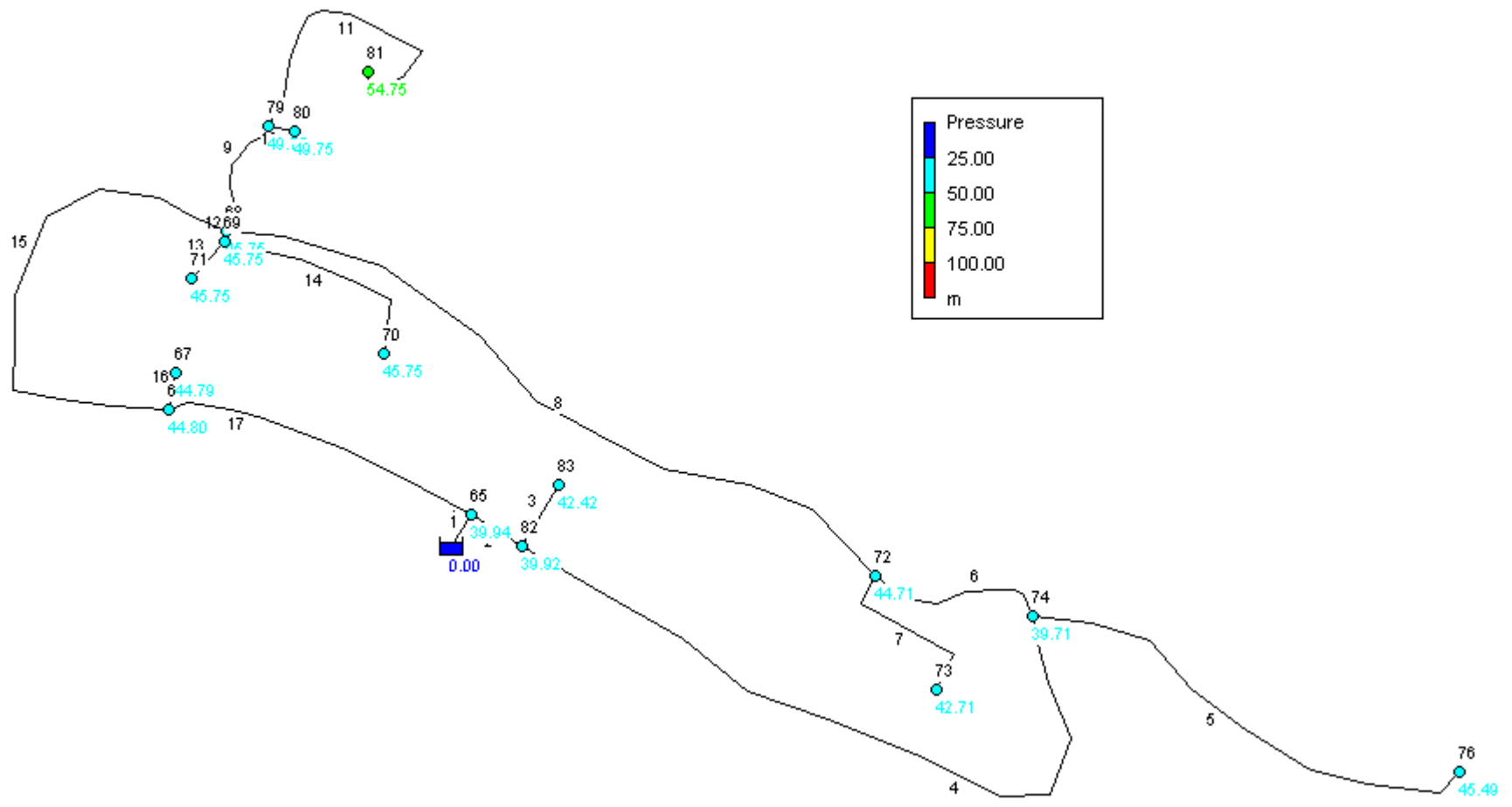
Πιέσεις στους κόμβους του δικτύου 2



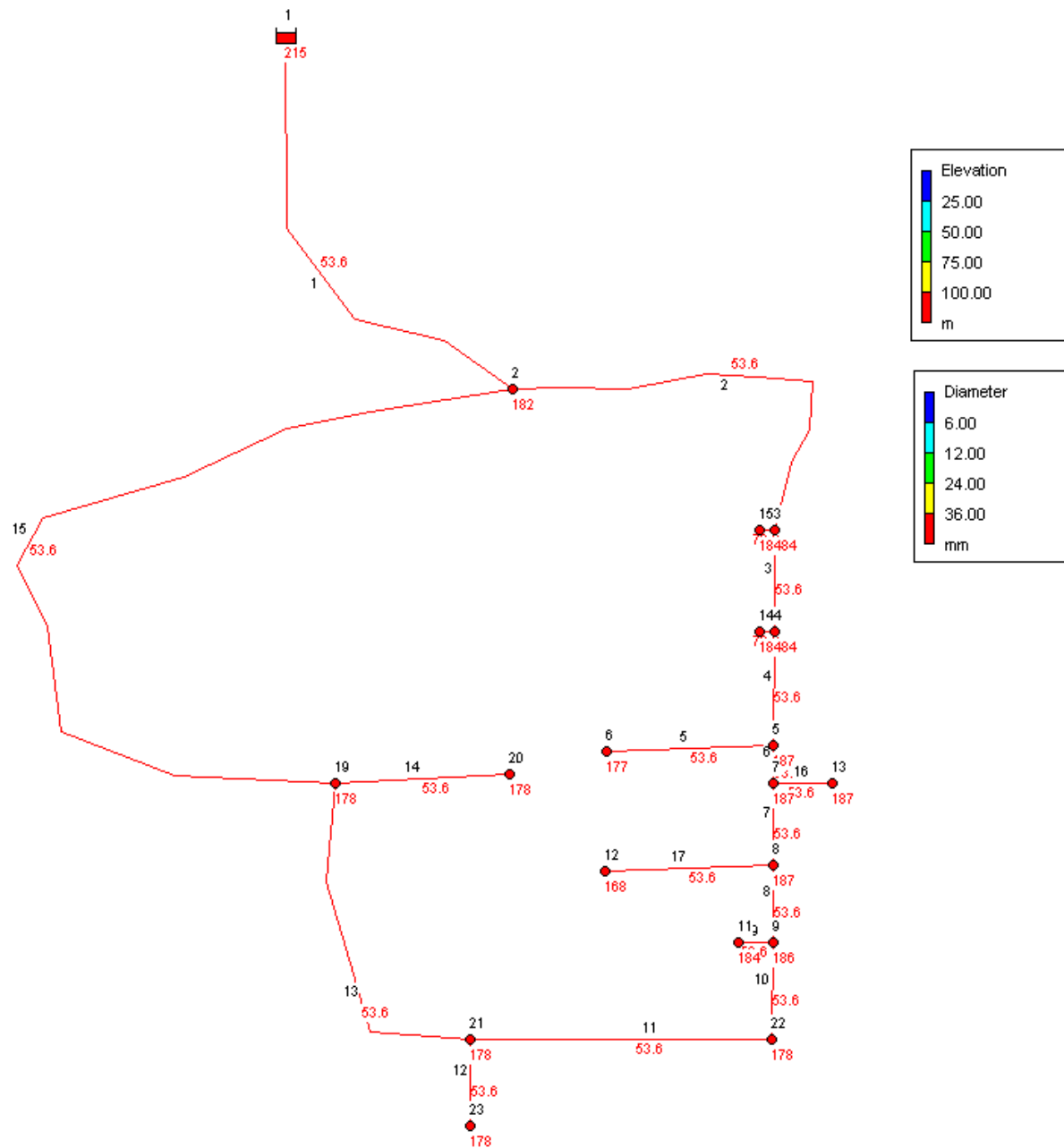
Πιέσεις στους κόμβους του δικτύου 3



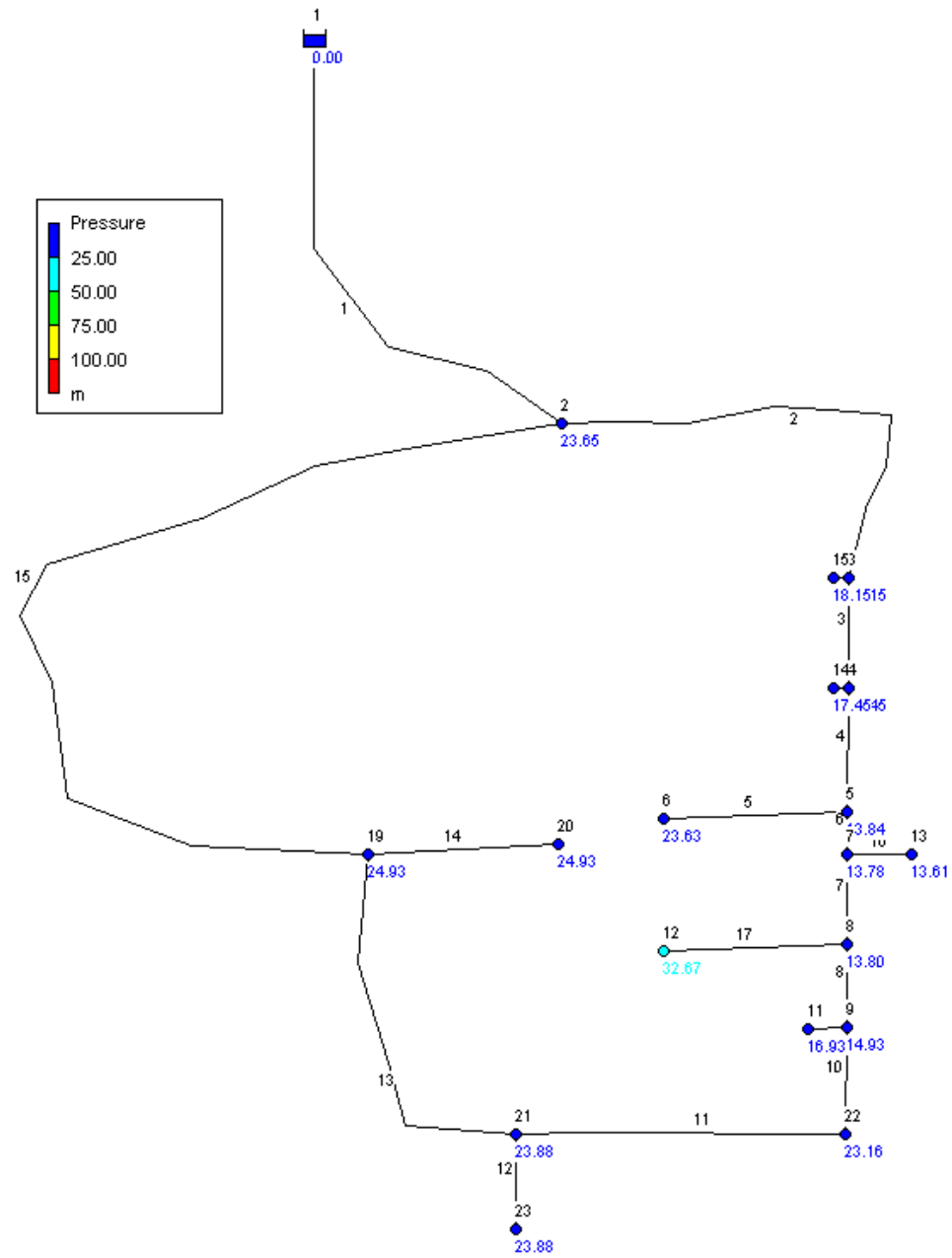
Υψόμετρα κόμβων και διαμέτροι αγωγών δικτύου 1 (διάμετρος αγωγών 63 mm, PN 12.5 atm)



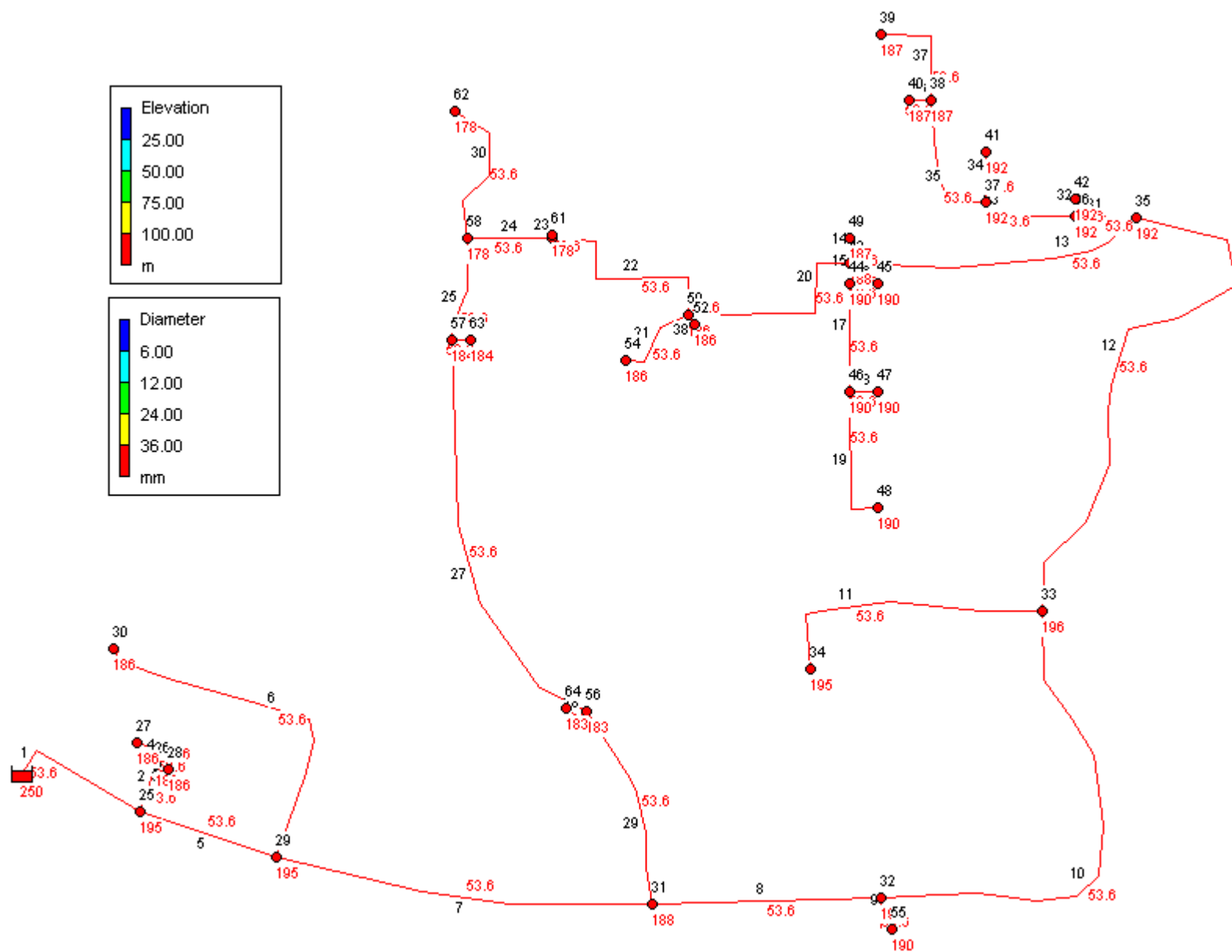
Πιέσεις δικτύου 1 (διάμετρος αγωγών 63 mm, PN 12.5 atm)



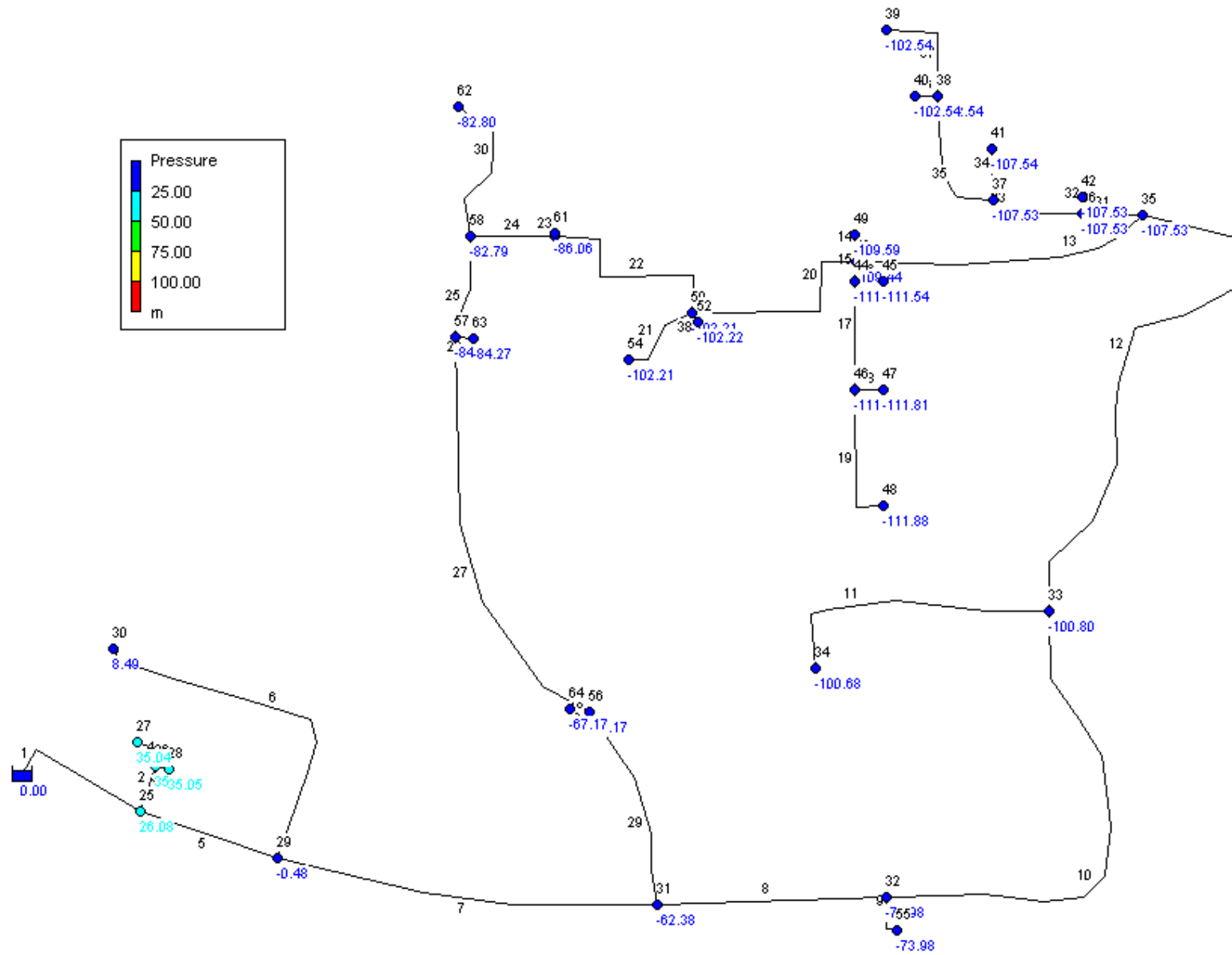
Υψόμετρα κόμβων και διάμετροι αγωγών δικτύου 2 (διάμετρος αγωγών 63 mm, PN 12.5 atm)



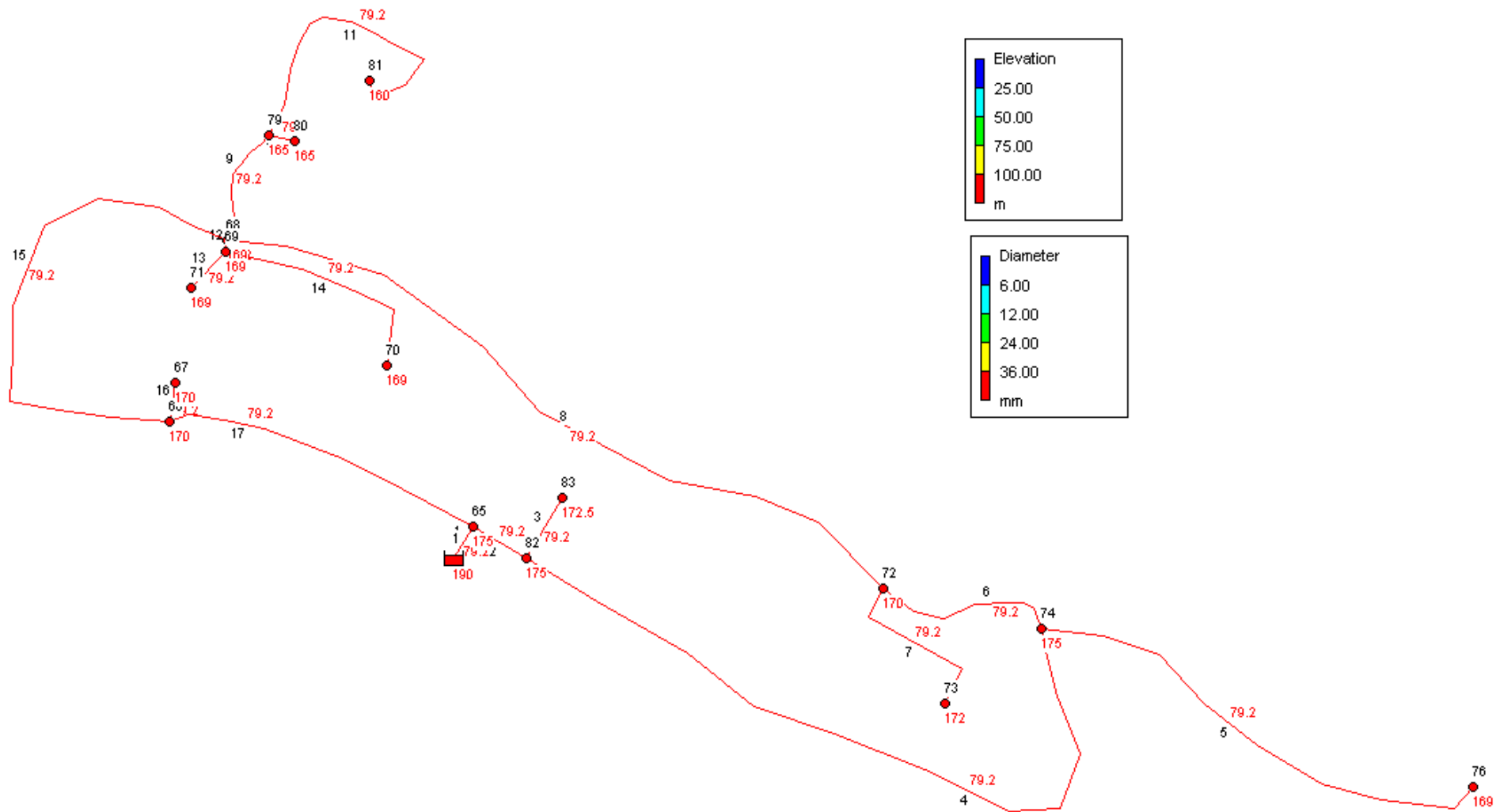
Πιέσεις δικτύου 2 (διάμετρος αγωγών 63 mm, PN 12.5 atm)



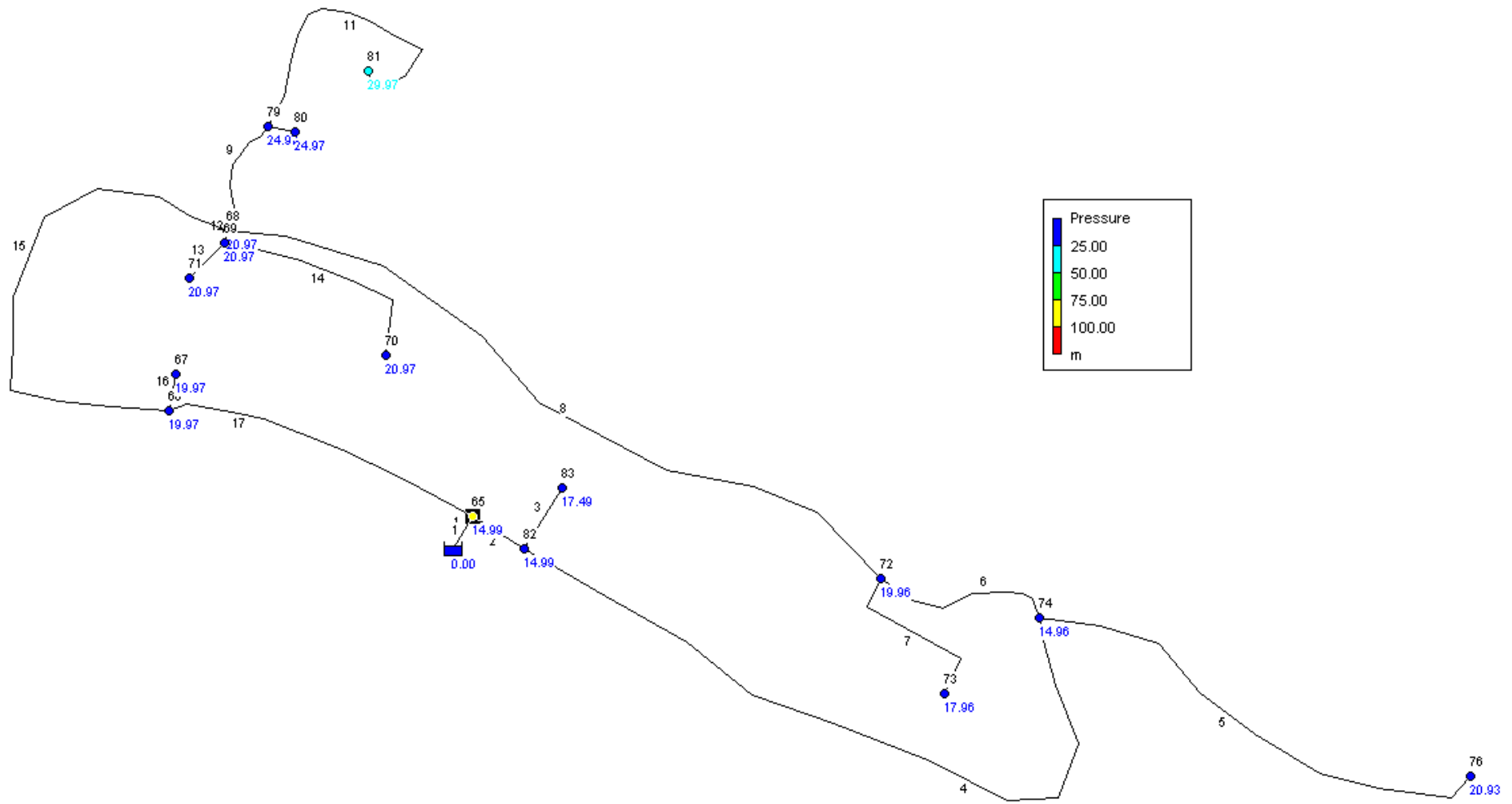
Υψόμετρα κόμβων και διαμέτροι αγωγών δικτύου 3 (διάμετρος αγωγών 63 mm, PN 12.5 atm)



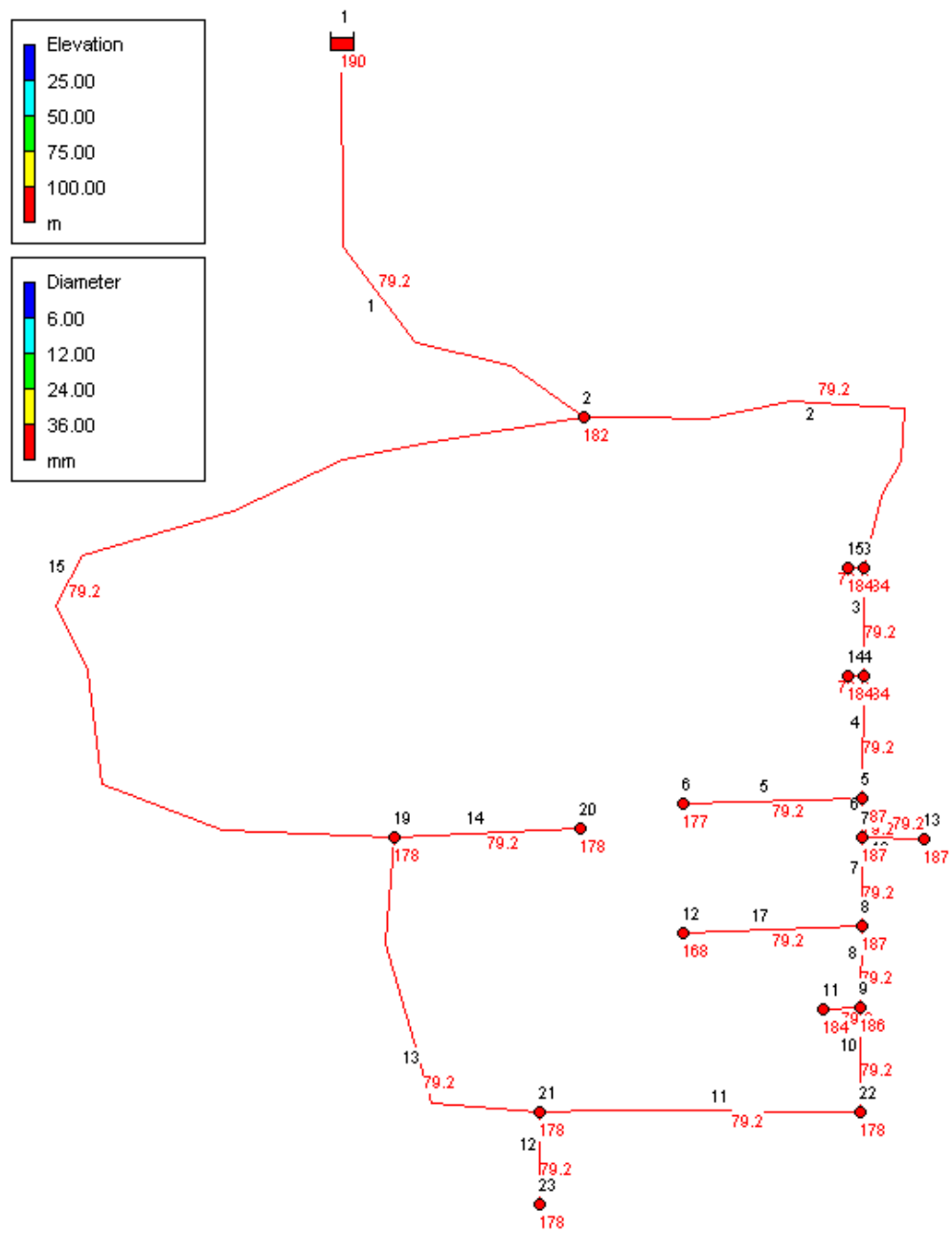
Πιέσεις δικτύου 3 (διάμετρος αγωγών 63 mm, PN 12.5 atm)



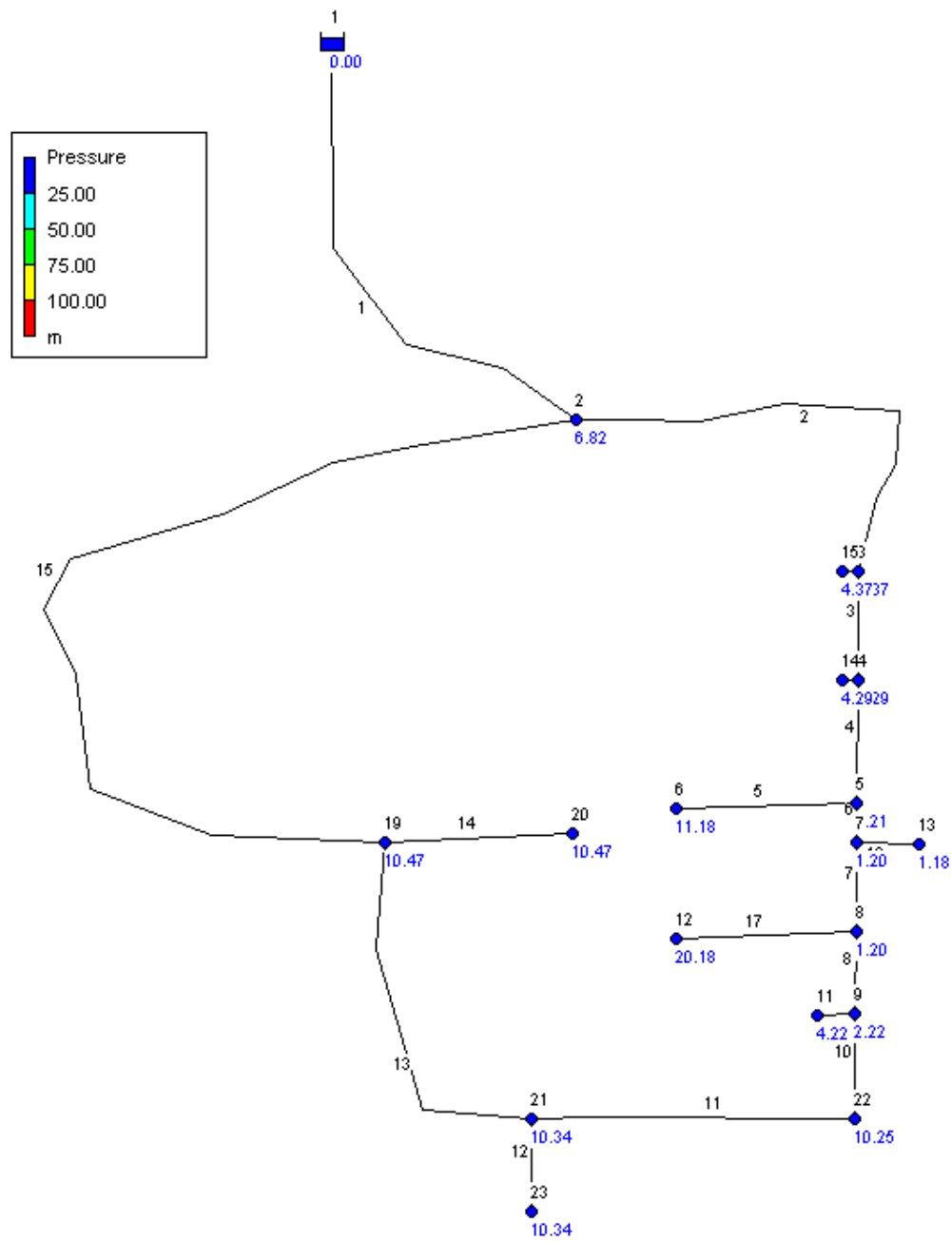
Υψόμετρα κόμβων και διαμέτροι αγωγών δικτύου 1 (διάμετρος αγωγών 90 mm, PN 10 atm)



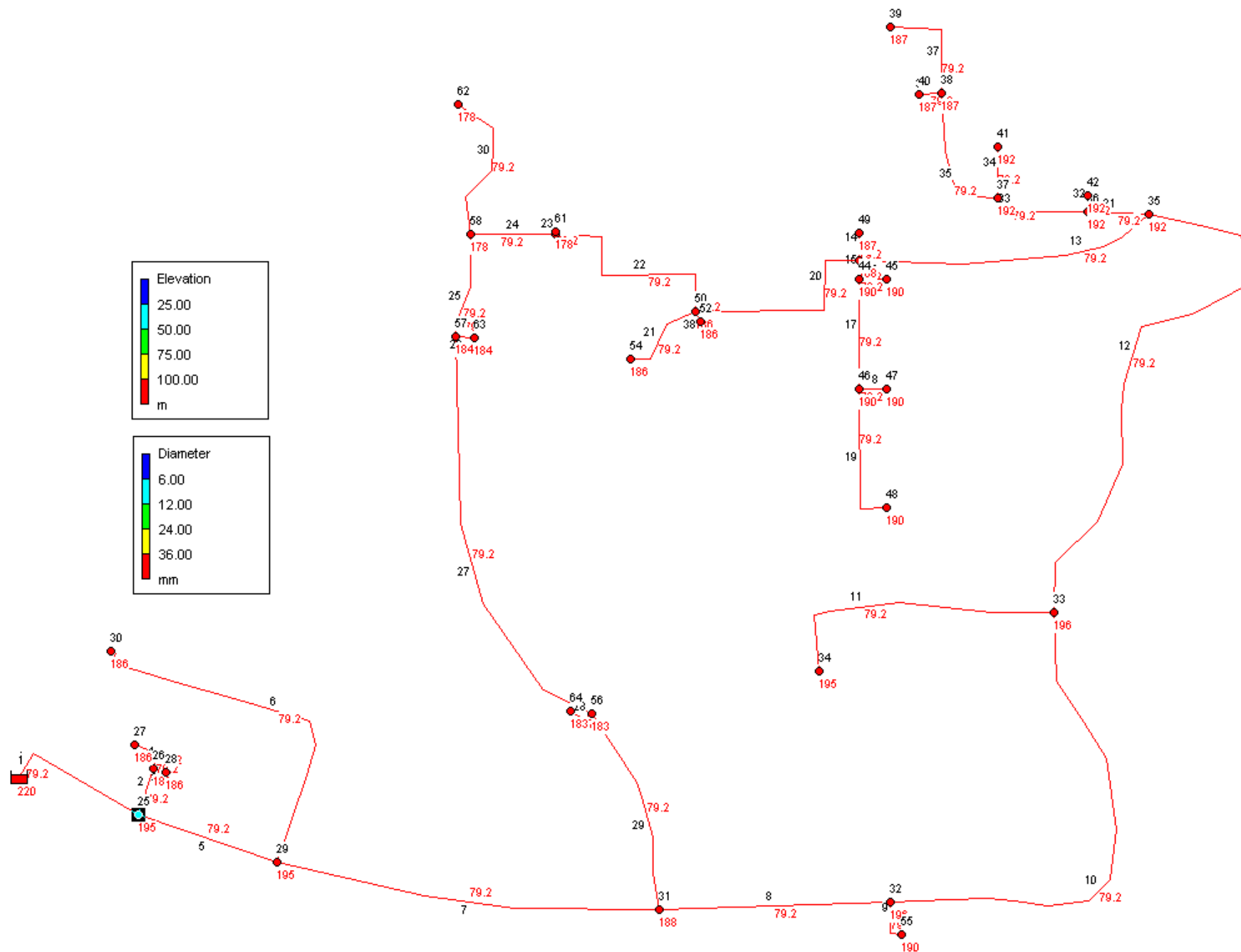
Πιέσεις δικτύου 1 (διάμετρος αγωγών 90 mm, PN 10 atm)



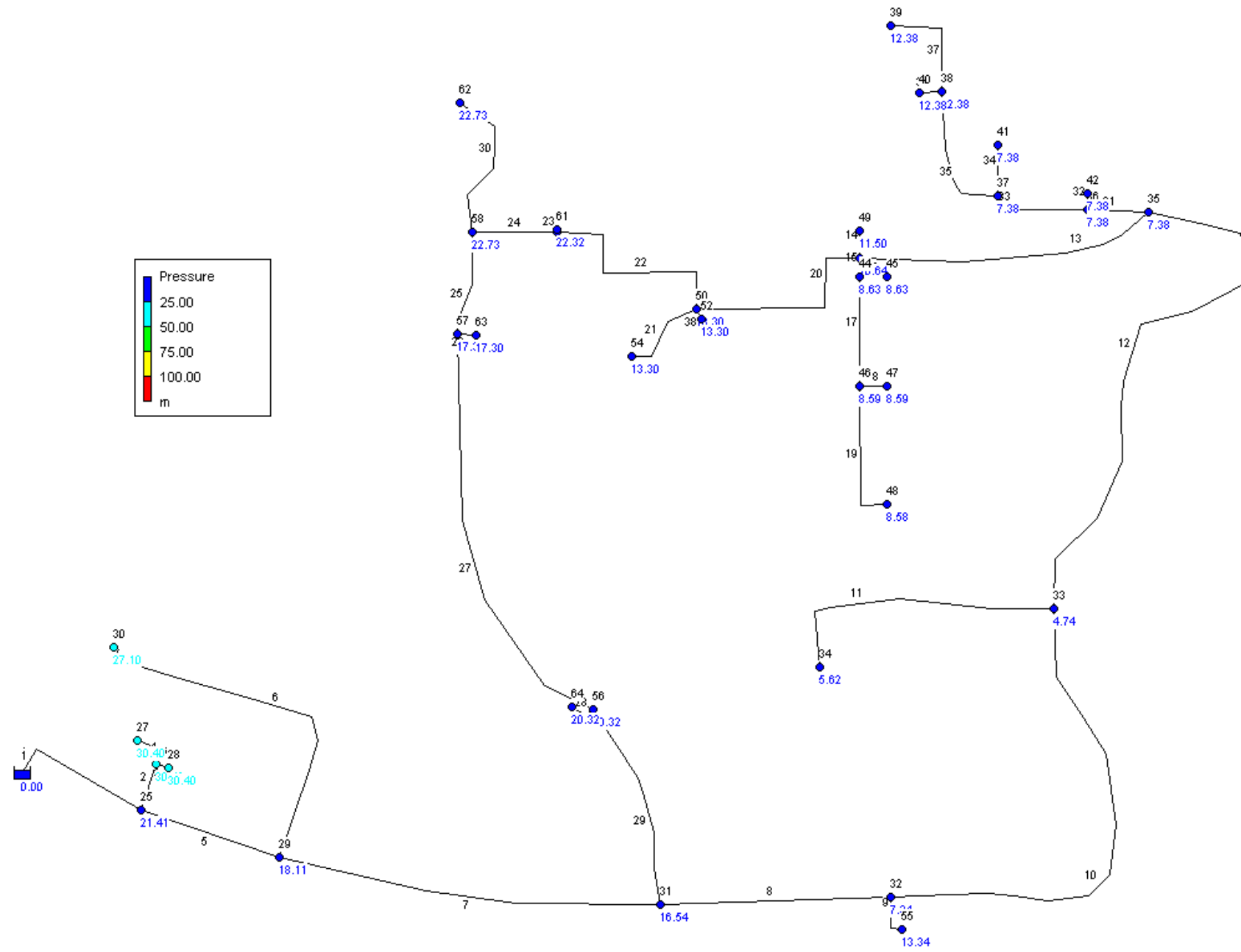
Υψόμετρα κόμβων και διαμέτροι αγωγών δικτύου 2 (διάμετρος αγωγών 90 mm, PN 10 atm)



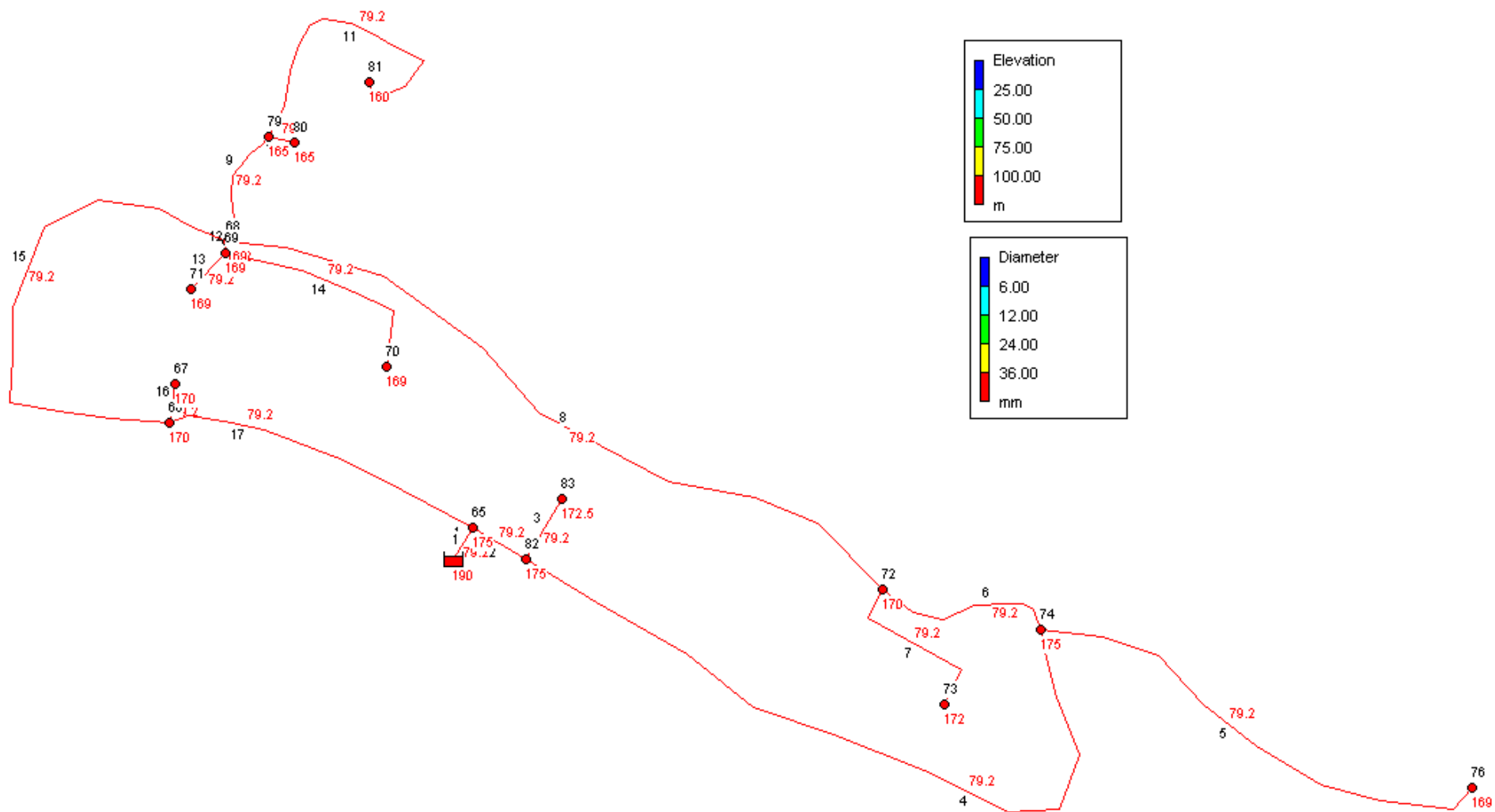
Πιέσεις δικτύου 2 (διάμετρος αγωγών 90 mm, PN 10 atm)



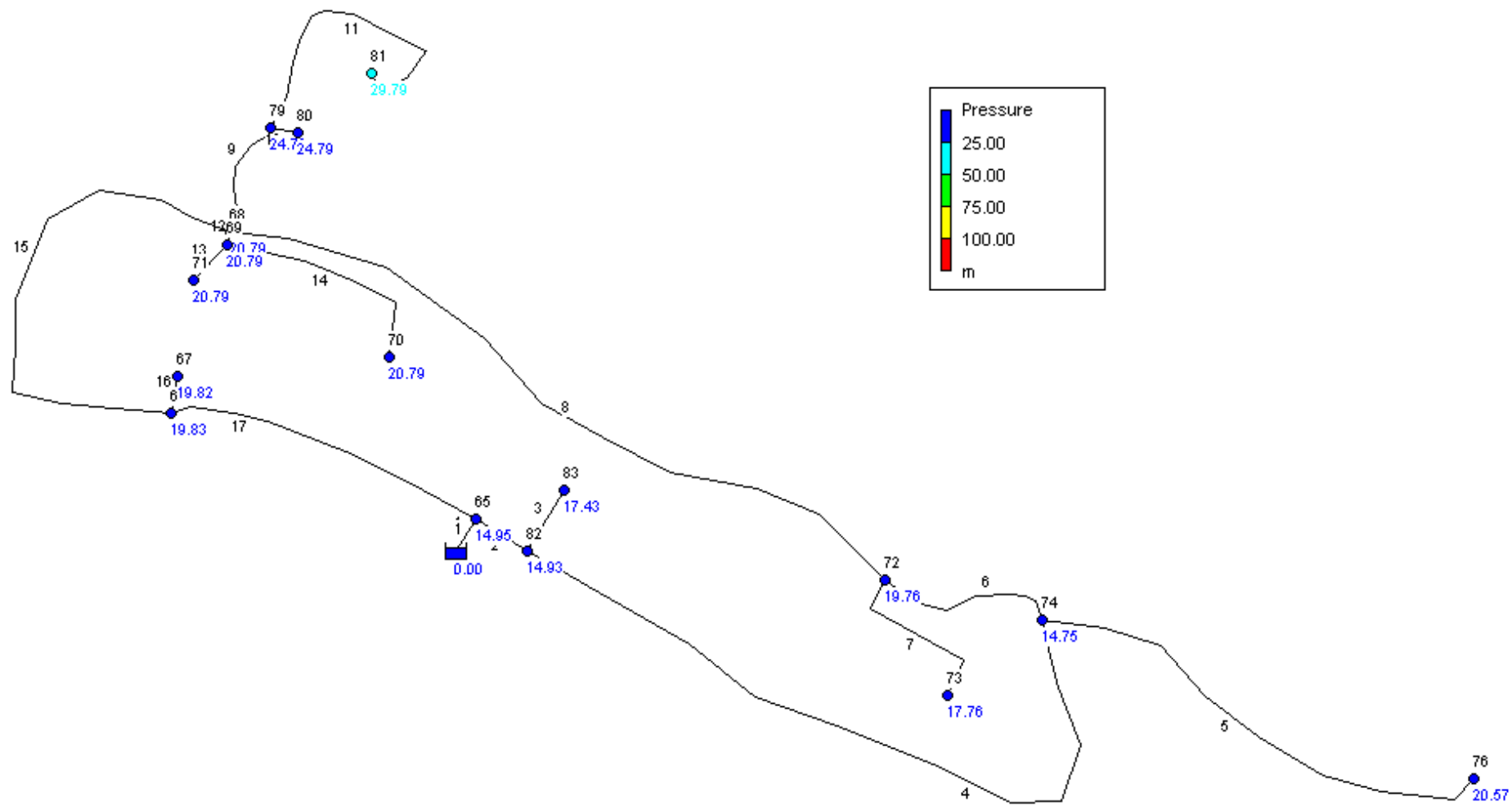
Υψόμετρα κόμβων και διαμέτροι αγωγών δικτύου 3 (διάμετρος αγωγών 90 mm, PN 10 atm)



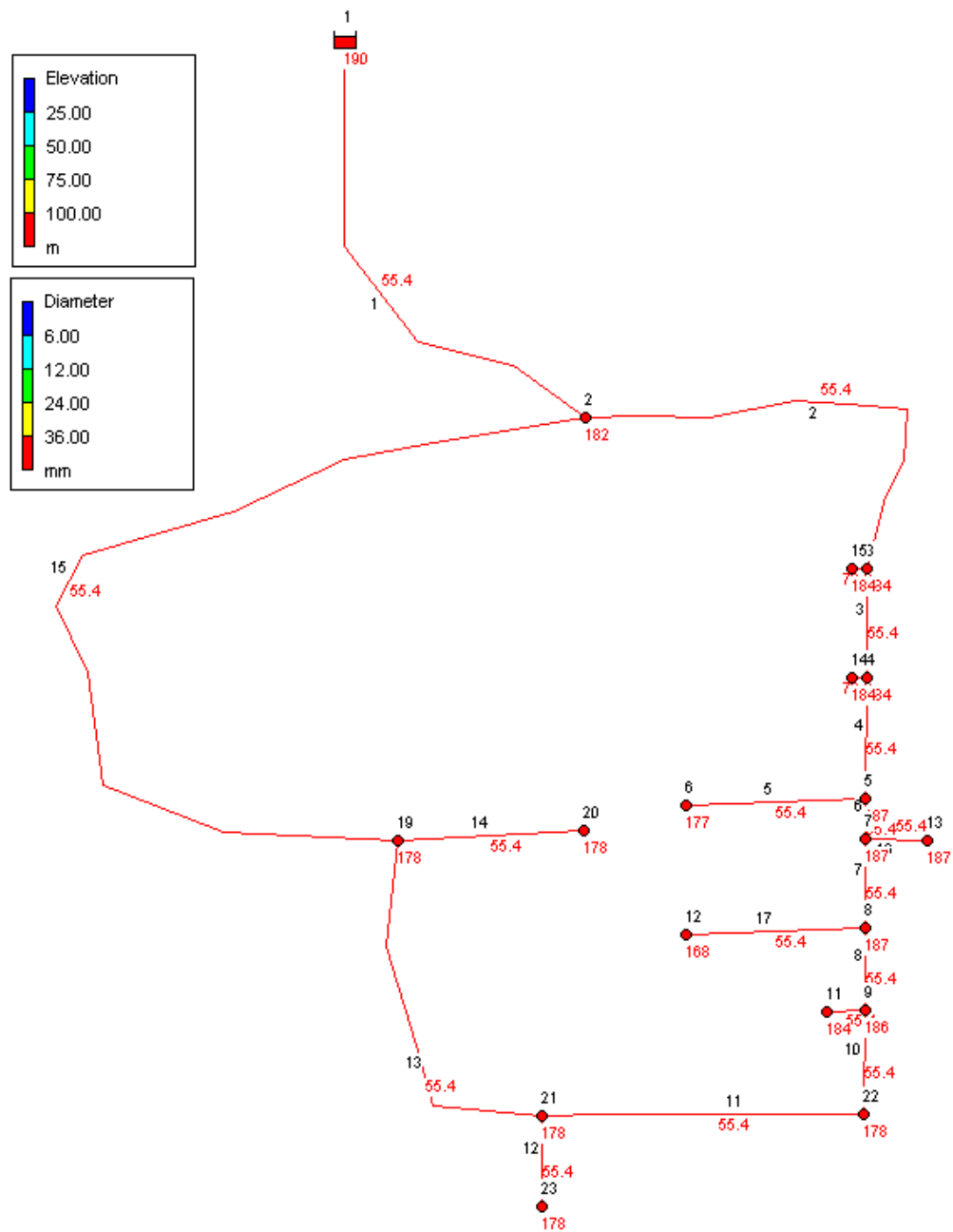
Πιέσεις δικτύου 3 (διάμετρος αγωγών 90 mm, PN 10 atm)



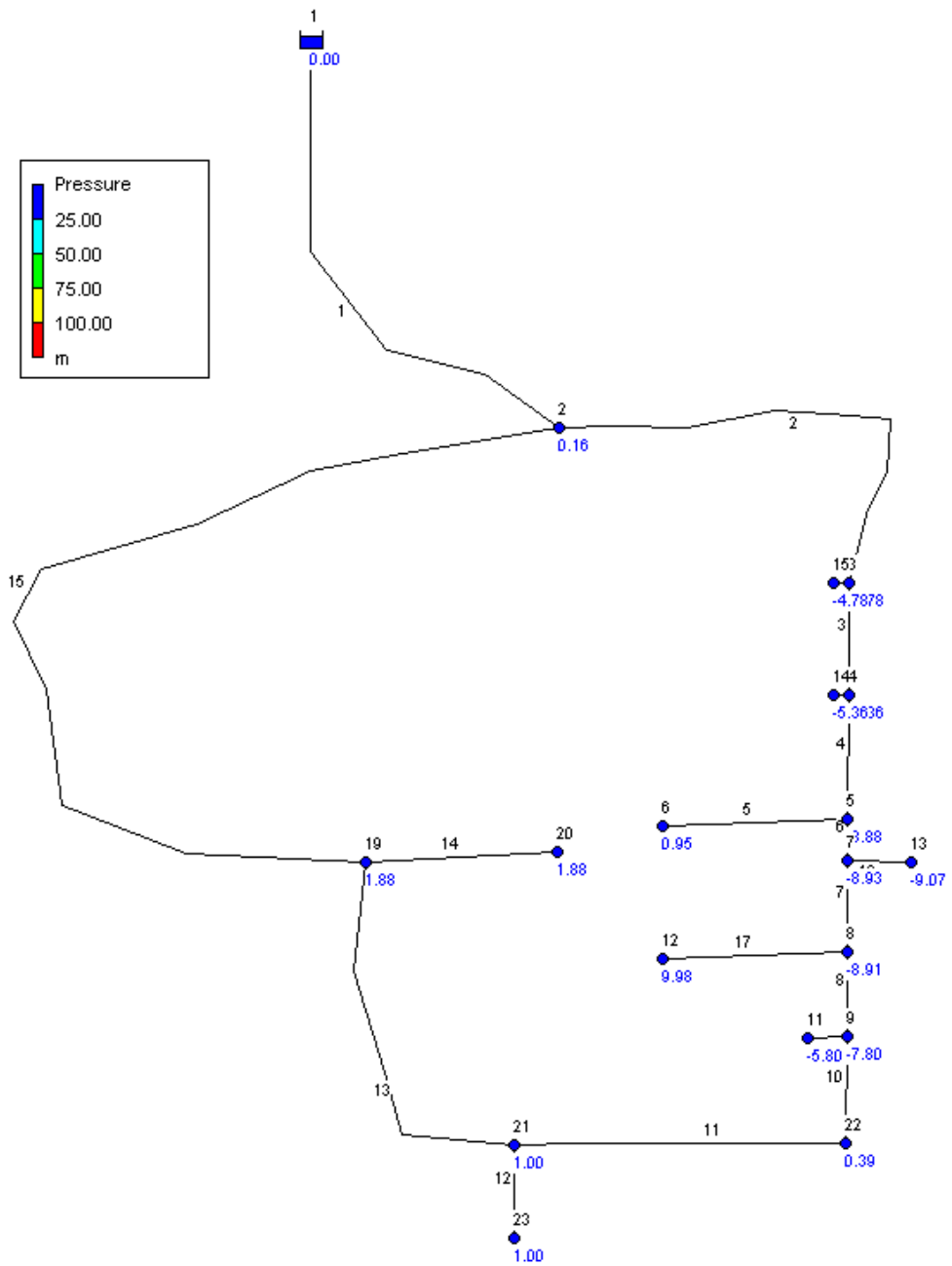
Υψόμετρα κόμβων και διαμέτρους αγωγών δικτύου 1 (διάμετρος αγωγών 63 mm, PN 10 atm)



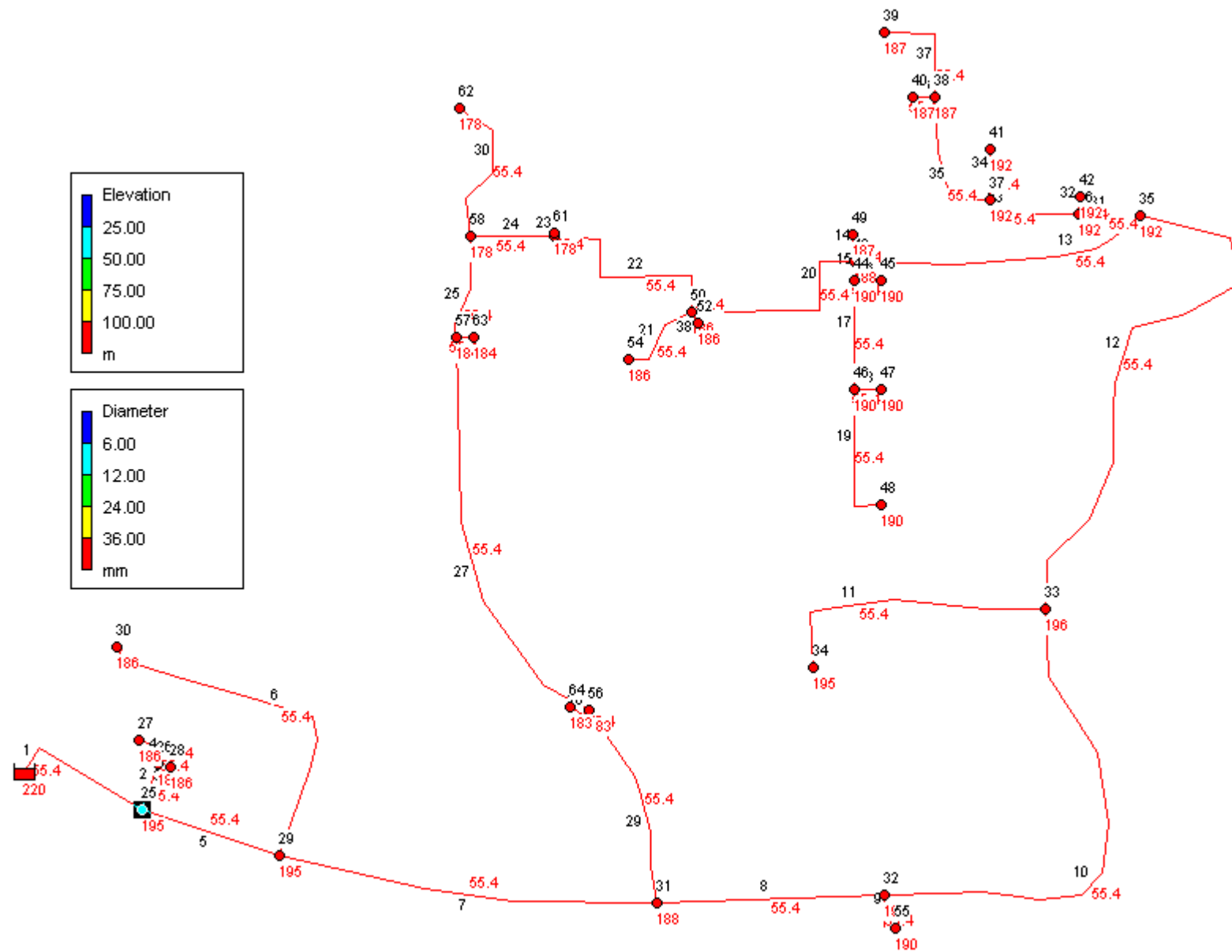
Πίεσεις δικτύου 1 (διάμετρος αγωγών 63 mm, PN 10 atm)



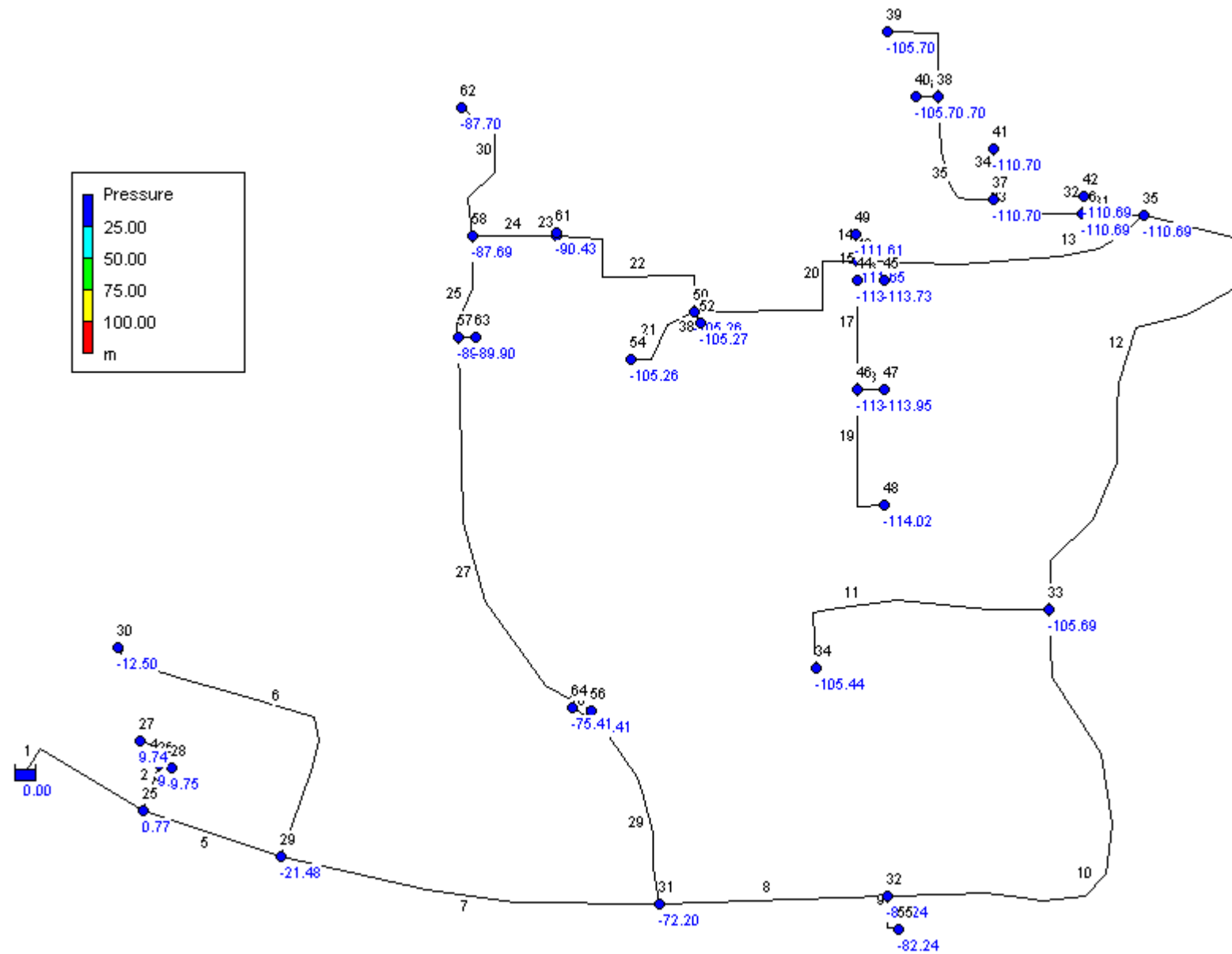
Υψόμετρα κόμβων και διάμετροι αγωγών δικτύου 2 (διάμετρος αγωγών 63 mm, PN 10 atm)



Πιέσεις δικτύου 2 (διάμετρος αγωγών 63 mm, PN 10 atm)



Υψόμετρα κόμβων και διαμέτρους αγωγών δικτύου 3 (διάμετρος αγωγών 63 mm, PN 10 atm)



Πιέσεις δικτύου 3 (διάμετρος αγωγών 63 mm, PN 10 atm)