



ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΕΥΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ

ΑΠΡΙΛΙΟΣ, 2008
ΑΘΗΝΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σπουδαστής: ΜΗΝΑ ΑΧΙΛΛΕΑΣ

Επιβλέπων: Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- 1.1 Αντικείμενο και διάρθρωση της εργασίας
- 1.2 Περιοχή μελέτης – Ιστορικό του υδρευτικού δικτύου
- 1.3 Συλλογή στοιχείων

2. ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΠΑΡΧΟΝΤΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

- 2.1 Περιγραφή του συστήματος ύδρευσης – άρδευσης
- 2.2 Εκτίμηση καταναλώσεων
- 2.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά – Προβλήματα

3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΥΠΑΡΧΟΝΤΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

- 3.1 Μαθηματική προσομοίωση δικτύων
- 3.2 Ρύθμιση υδραυλικών μοντέλων
- 3.3 Προσομοίωση με τα διαθέσιμα στοιχεία
- 3.4 Συλλογή επιπλέον δεδομένων – Ρύθμιση
- 3.5 Τελικά συμπεράσματα – Προτάσεις.

4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙΝΟΥΡΓΙΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

- 4.1 Παραδοχές – Μεγέθη σχεδιασμού
- 4.2 Λύση 1
- 4.3 Λύση 2

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ο σκοπός ενός υδρευτικού συστήματος είναι να παρέχει στους καταναλωτές επαρκή ποσότητα νερού, στην κατάλληλη πίεση και με αποδεκτά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Κατά το σχεδιασμό του μελετούνται θέματα σχετικά με την πηγή προέλευσης του νερού, τη μεταφορά, την επεξεργασία, την αποθήκευση και τη διανομή του. Σχεδόν όλο το φάσμα των θεμάτων αυτών το συναντούμε στο υδρευτικό σύστημα της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου. Η εργασία αυτή ασχολείται κυρίως με την αποθήκευση και τη διανομή του νερού για δύο εναλλακτικές πηγές προέλευσης, τις γεωτρήσεις και την ΕΥΔΑΠ.

Το νερό στην Πολυτεχνειούπολη χαρακτηρίζεται από υψηλή σκληρότητα και προβλήματα υποβάθμισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών του κατά τη διανομή. Τα προβλήματα υποβάθμισης διερευνήθηκαν παράλληλα με την υδραυλική λειτουργία του δικτύου και προτείνονται διορθωτικά μέτρα. Κυριότερη δυσκολία στην μελέτη ήταν η έλλειψη ορθού και ολοκληρωμένου σχεδίου του υφιστάμενου μικτού δικτύου ύδρευσης – άρδευσης. Χρειάστηκε έτσι να γίνει επιτόπου εξακρίβωση της χάραξης και των διαμέτρων των σωλήνων και να ανασυνταχθεί το αρχικό σχέδιο.

Τα προβλήματα που δημιουργεί η σκληρότητα του νερού καθώς και οι κίνδυνοι που εγκυμονούν στην περίπτωση επιπλοκών στο σύστημα χλωρίωσης, μπορούν να αρθούν αν για την ύδρευση χρησιμοποιηθεί νερό από την ΕΥΔΑΠ. Για το σκοπό αυτό διερευνήθηκαν και παρουσιάζονται δύο πιθανές διατάξεις για τη δημιουργία ανεξάρτητων δικτύων ύδρευσης (ΕΥΔΑΠ) και άρδευσης (γεωτρήσεις). Το ετήσιο κόστος παροχής νερού από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ είναι υψηλό ενώ το κόστος της ανακατασκευής του συστήματος ύδρευσης για τη διανομή του, σχετικά μικρό. Υπό το πλαίσιο αυτό, η απόφαση για τη σύνδεση με το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ θα πρέπει να είναι οικονομικά εμπεριστατωμένη και να συνοδεύεται από ένα καλά μελετημένο σχεδιασμό του συστήματος ύδρευσης ώστε τα οφέλη από τη σύνδεση να είναι τα μέγιστα.

Εδώ, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Δημήτρη Κουτσογιάννη για την επίβλεψη της εργασίας και τη βοήθεια του. Επίσης, τον κ. Αντρέα Ευστρατιάδη για τη διόρθωση του κειμένου.

Σημαντικές ήταν οι πληροφορίες και το υλικό που προσέφεραν αρκετά μέλη του προσωπικού της Τεχνικής Υπηρεσίας του ΕΜΠ. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον κ. Βασιλή Ζυσόπουλο, μηχανολόγο μηχανικό στην Τεχνική Υπηρεσία για τη βοήθεια του, την προθυμία του και τα πολλά τηλεφωνήματα που έκανε καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας για να με εξυπηρετήσει. Τέλος, ευχαριστώ τους υπεύθυνους από τις Πολυδύναμες Μονάδες των Σχολών και τους συντηρητές του δικτύου για την επιτόπου πρόσβαση στις εγκαταστάσεις και τις προφορικές πληροφορίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο και διάρθρωση της εργασίας

Στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου υπάρχει αυτόνομο σύστημα υδροδότησης για την κάλυψη των αναγκών σε νερό. Λειτουργούν τρεις γεωτρήσεις που τροφοδοτούν την κεντρική δεξαμενή από την οποία ξεκινά η διανομή του νερού μέσω ενός μικτού δικτύου ύδρευσης και άρδευσης. Με το σύστημα αυτό εξοικονομείται ένα μεγάλο ετήσιο χρηματικό κονδύλι που αλλιώς θα έπρεπε να καταβάλλεται στην ΕΥΔΑΠ για την παροχή νερού.

Αναλύσεις δειγμάτων νερού που έγιναν στις αρχές του 2007 σε διάφορα κτήρια της Πολυτεχνειούπολης και στην δεξαμενή του δικτύου, έδειξαν ότι αυτό είναι υποδεέστερο από το νερό που παρέχει η ΕΥΔΑΠ. Σε κάποια κτήρια υπήρξε επίσης μεγάλη απόκλιση ορισμένων ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού από την αρχική τους τιμή στην δεξαμενή, πριν τη διοχέτευση του στο δίκτυο, γεγονός που δείχνει ότι υπάρχουν προβλήματα στο δίκτυο διανομής.

Η εργασία αυτή μελετά το υπάρχον δίκτυο και τα προβλήματα του και προτείνει ένα νέο σύστημα ύδρευσης και άρδευσης. Στο παρόν πρώτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται μια σύντομη περιγραφή της περιοχής μελέτης και της εξέλιξης του δικτύου ύδρευσης. Επιπλέον, αναφέρονται τα στοιχεία που ήταν απαραίτητα για την εργασία, η προέλευση τους, οι αβεβαιότητες - ανακρίβειές τους και ο βαθμός που αυτές επηρεάζουν τη μελέτη.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται προσπάθεια καταγραφής της υφιστάμενης υποδομής. Αξιοποιήθηκαν οι μελέτες που έγιναν κατά καιρούς για την κατασκευή, επέκταση και αναβάθμιση του συστήματος υδροδότησης. Οι ελλείψεις και ανακρίβειες που διαπιστώθηκαν, συμπληρώθηκαν με νέα στοιχεία που προέκυψαν από επιτόπου καταγραφή προσβάσιμων σημείων του δικτύου (βατός αγωγός και μηχανοστάσια κτηρίων). Όπου δεν υπήρχαν πληροφορίες έγιναν εύλογες υποθέσεις.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται περιληπτικά η μαθηματική προσομοίωση δικτύων ύδρευσης και η ρύθμιση μοντέλων. Κατόπιν, προσομοιώνεται η λειτουργία του υφιστάμενου δικτύου και αξιολογείται η υδραυλική του επάρκεια. Γίνονται μεγάλης διάρκειας προσομοιώσεις για διάφορα σενάρια, με σκοπό τη μελέτη των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού και τη σύγκριση τους με τις πρόσφατες

αναλύσεις. Τέλος, προτείνονται ενέργειες που θα βελτιώσουν την ποιότητα του νερού στην Πολυτεχνειούπολη.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται δύο εναλλακτικές λύσεις για την ύδρευση με νερό από την ΕΥΔΑΠ και την άρδευση από τις γεωτρήσεις μέσω ανεξάρτητων δικτύων. Στην πρώτη λύση αξιοποιείται στο μέγιστο η υφιστάμενη υποδομή, ενώ στην δεύτερη, σχεδιάζεται ένα εξολοκλήρου καινούργιο δίκτυο αποκλειστικά για την ύδρευση.

1.2 Περιοχή μελέτης – Ιστορικό του υδρευτικού δικτύου

Το ΕΜΠ εν έτει 2008 φιλοξενεί περίπου 13000 προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές καθώς και 1400 περίπου στελέχη (καθηγητές όλων των βαθμίδων, ερευνητικό, τεχνικό και διοικητικό προσωπικό). Στεγάζεται στο ιστορικό συγκρότημα της οδού Πατησίων στο κέντρο της Αθήνας και στο συγκρότημα Ζωγράφου που βρίσκεται στο ανατολικό άκρο της Αθήνας.

Η Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου οριοθετείται από τις λεωφόρους Κοκκινοπούλου και Κατεχάκη και την οδό Ηρώων Πολυτεχνείου. Έχει έκταση 100 εκταρίων, στην οποία βρίσκονται οι περισσότερες από τις εγκαταστάσεις του ΕΜΠ. Η ανοικοδόμηση στο χώρο της Πολυτεχνειούπολης άρχισε το 1950.

Η παρούσα μορφή της (Ιανουάριος 2008) φαίνεται στο σχήμα 1, ενώ νέα έργα βρίσκονται σε εξέλιξη. Στον πίνακα που ακολουθεί (πιν.1) δίνεται το έτος περάτωσης κάθε κτηρίου. Η ιστορική εξέλιξη του δικτύου ύδρευσης, ακολούθησε παρόμοια πορεία με την κτηριακή υποδομή, για να καλύψει τις ανάγκες κάθε εγκατάστασης.

Πίνακας 1: Έτος κατασκευής των κτηρίων (Τεχνική υπηρεσία ΕΜΠ, 1998), (διαδίκτυο).

ΕΤΟΣ	ΕΓΚΑΤΑΤΑΣΤΑΣΗ
1955	Φοιτητική εστία
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-	Σχολή Χημικών Μηχανικών

80	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 HMMY(επέκταση της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών B', Γ' ενότητα κτηρίου)
1996	Σχολή Μηχανολόγων: κτήρια A, B, Γ, Δ, E
1997	Νέες πτέρυγες του Κτηρίου Αντοχής Υλικών (Σχολή Πολιτικών Μηχανικών)
	Υπαίθριος χώρος πολιτιστικών εκδηλώσεων στις Πλατείες Κέντρου
1998	Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών. Κτήρια: M, N, O
1999	Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών. Κτήρια: Ξ, K
	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 HMMY

Από την τοπογραφική αποτύπωση του δικτύου ύδρευσης και άρδευσης που έγινε το 1982 (σχ.2) και γνωρίζοντας τη χρονολογία περάτωσης κάθε κτηρίου, μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής: Μέχρι το 1974-75 η υδροδότηση των λιγοστών τότε κτηρίων γινόταν απευθείας από τον αγωγό της ΕΥΔΑΠ επί της οδού Ηρώων Πολυτεχνείου (μετρητές 1 , 2 , 3 σχ.2). Πριν το 1975 είχε ολοκληρωθεί και τεθεί σε λειτουργία το δίκτυο με την μορφή που έχει στο τοπογραφικό του 1982 (σχ.2).

Η κατασκευή του δικτύου εκείνου (σχ.2) πρέπει να έγινε παράλληλα με τα έργα οδοποιίας. Περιελάμβανε αντλιοστάσιο στην θέση A, δεξαμενή 200 m³ στην θέση B και μέρος του βατού αγωγού που υπάρχει σήμερα. Εύκολα μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι το δίκτυο εξυπηρετούσε ταυτόχρονα την ύδρευση των κτηρίων και την άρδευση ενός μικρού μέρους της συνολικής έκτασης της Πολυτεχνειούπολης. Η παροχή νερού από την ΕΥΔΑΠ γινόταν από τους μετρητές 4 και 5. Στην συνέχεια κατευθυνόταν στο αντλιοστάσιο, όπου δινόταν η αναγκαία ενέργεια για να φτάνει στην δεξαμενή. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του αντλιοστασίου τα κτήρια υδροδοτούνταν από το νερό της άντλησης που έρεε προς τη δεξαμενή. Όταν δεν λειτουργούσαν οι αντλίες ή η κατανάλωση ήταν υψηλή, το νερό έρεε από τη δεξαμενή προς το δίκτυο.

Ο πρώτος συνολικός σχεδιασμός του συστήματος ύδρευσης και άρδευσης με εκτίμηση των μελλοντικών αναγκών έγινε το 1982. Η μελέτη αυτή αποδεσμεύει την

Πολυτεχνειούπολη από την ΕΥΔΑΠ. Η υδροδότηση γίνεται από δύο γεωτρήσεις πλησίον της δεξαμενής των 200 m³ του παλιότερου δικτύου. Το νερό χλωριώνεται, αποθηκεύεται στην δεξαμενή και διανέμεται σε όλη την έκταση της Πολυτεχνειούπολης μέσω νέου, εκτεταμένου δικτύου ύδρευση-άρδευσης, που χρησιμοποιεί όμως και ένα μέρος του δικτύου που προϋπήρχε (1975). Η υλοποίηση της μελέτης αυτής έγινε το 1986-87.

Από το 1992 και μετά, η ανοικοδόμηση και η προσπάθεια για βελτίωση του πρασίνου ήταν έντονη. Για την κάλυψη των ολοένα αυξανόμενων αναγκών κατασκευάστηκε το 2004 μια δεύτερη δεξαμενή 600 m³ και έγινε και τρίτη γεώτρηση. Το σύστημα ύδρευσης, όπως έχει σήμερα, περιγράφεται εκτεταμένα στο δεύτερο από τα τέσσερα μέρη της εργασίας.

1.3 Συλλογή στοιχείων

Για τη μελέτη του υπάρχοντος δικτύου ήταν απαραίτητη η συλλογή στοιχείων που αφορούν το σχεδιασμό και τον τρόπο λειτουργίας του. Τα στοιχεία αυτά θα ήταν αρκετά και για το σχεδιασμό του νέου δικτύου. Οι πληροφορίες και τα σχέδια προήλθαν από την τεχνική υπηρεσία του ΕΜΠ και το διαδίκτυο. Η αναζήτηση διήρκεσε τέσσερις εβδομάδες και κινήθηκε προς πέντε κατευθύνσεις:

(α) Τοπογραφική αποτύπωση της Πολυτεχνειούπολης.

Η ανάγκη ενός τοπογραφικού για σκοπούς μελέτης ύδρευσης είναι προφανής. Παρέχει μία γενική εικόνα της περιοχής μελέτης και δίνει χρήσιμα στοιχεία όπως μήκη, υψόμετρα, εμβαδά χώρων πρασίνου κ.α. Επί αυτού μπορούμε να παρουσιάσουμε στοιχεία ή αποτελέσματα που προκύπτουν, να σχεδιάσουμε το υπάρχον δίκτυο, ένα καινούργιο κ.α. Στην Τεχνική Υπηρεσία του ΕΜΠ βρέθηκαν δύο τοπογραφικά που ήταν χρήσιμα και τα οποία έχουμε στην διάθεση μας. Στο πρώτο, που είναι σε ψηφιακή μορφή (AutoCAD) και έχει ισοδιάσταση 2.5 m, αποτυπώνεται η παρούσα μορφή της περιοχής χωρίς στοιχεία για το δίκτυο ύδρευσης. Στο δεύτερο, που είναι σε χαρτί, με κλίμακα 1:500 και ισοδιάσταση 1 m, αποτυπώνεται η κατάσταση της Πολυτεχνειούπολης όπως ήταν το 1980-82 καθώς και η χάραξη του δικτύου ύδρευσης και του δικτύου αποχέτευσης.

Το τοπογραφικό του 1982 βοήθησε στη γνώση της ιστορικής εξέλιξης του δικτύου και στην λήψη υψομέτρων. Το πρόσφατο τοπογραφικό σε ψηφιακή μορφή ήταν χρήσιμο στην αποτύπωση και παρουσίαση του υφιστάμενου δικτύου (κεφ.2) και στην χάραξη του νέου (κεφ.4).

(β) Προηγούμενες μελέτες για την υδροδότηση.

Οι οποιεσδήποτε μελέτες που αφορούν την ύδρευση θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμες. Αναζητήθηκαν μελέτες για τις προηγούμενες μορφές του δικτύου και περισσότερο για την τωρινή. Δεν αναζητήθηκαν στοιχεία για τις γεωτρήσεις παρόλο που αυτά θα ήταν εν τέλει χρήσιμα, για να εκτιμήσουμε τις καταναλώσεις του δικτύου

με βάση την ποσότητα που αντλείται, καθώς επίσης και για την ερμηνεία των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού από τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα. Για την παλιότερη μορφή του δικτύου ύδρευσης δεν βρέθηκε τίποτα παρά μόνο το τοπογραφικό του 1982 που αναφέρθηκε πιο πάνω. Για τη υπάρχουσα μορφή, το μοναδικό στοιχείο ήταν ένα σχέδιο στο οποίο φαίνονται οι αγωγοί με τις διαμέτρους τους και οι συσκευές του δικτύου (ΣΧΕΔΙΟ 1). Το σχέδιο αυτό, φαίνεται να είναι μέρος μιας μελέτης που έγινε για την ύδρευση και άρδευση, την οποία όμως δεν μπορέσαμε να βρούμε. Η βασικότερη του έλλειψη είναι ότι δε δίνει καμιά πληροφορία για τον τρόπο ύδρευσης των κτηρίων: Αντοχής Υλικών, Ηχοτεχνίας, Αντισεισμικής, Υδραυλικής και Λιμενικών. Ακόμη, η ακρίβεια της σχεδίασης είναι μικρή, όχι όμως σε σημείο που να επηρεάζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της υδραυλικής επίλυσης.

(γ) Μετρήσεις καταναλώσεων κτηρίων, ύψος κτηρίων.

Οι μετρήσεις κατανάλωσης νερού των κτηρίων ή κτηριακών συγκροτημάτων της Πολυτεχνειούπολης είναι χρήσιμες τόσο στην προσομοίωση του υπάρχοντος δικτύου όσο και στον σχεδιασμό ενός νέου δικτύου. Αν αυτές είναι μηνιαίες είναι ιδανικές για να εκτιμήσουμε την ετήσια διακύμανση της κατανάλωσης. Ωστόσο όποια και να ήταν η χρονική απόσταση μεταξύ των μετρήσεων θα ήταν εξαιρετικά χρήσιμες και θα έδιναν μεγαλύτερη αξιοπιστία στα εξαγόμενα αποτελέσματα. Δυστυχώς όμως δεν βρέθηκε καμία απολύτως μέτρηση. Ακόμη και ο όγκος που εισέρχεται στο δίκτυο από την δεξαμενή δεν καταγράφεται, πόσο μάλλον η κατανάλωση του κάθε κτηρίου.

Η μη ύπαρξη αρχείου καταναλώσεων οφείλεται κυρίως στη δυνατότητα κατανάλωσης μεγάλων ποσοτήτων νερού με πολύ μικρό κόστος, οπότε δεν τίθεται θέμα εξοικονόμησης νερού και ελέγχου της κατανάλωσης. Επιπλέον, σε κανένα σημείο σύνδεσης των κτηρίων στο δίκτυο δεν υπάρχει μετρητής για να καταγράφεται η κατανάλωση (συνέπεια του προηγούμενου λόγου). Τέλος, οι μετρήσεις που ίσως χρειάστηκε να γίνουν κατά καιρούς βρίσκονται στο αρχείο εκείνου που τις διεξήγαγε. Τρεις τέτοιες μετρήσεις ημερήσιας κατανάλωσης είχε ο κ. Βασίλης Ζησόπουλος που με ευχαρίστηση μας τις έδωσε και προθυμοποιήθηκε να βοηθήσει να κάνουμε και άλλες μετρήσεις αν επιθυμούσαμε.

Απαραίτητο στοιχείο για τον έλεγχο της επάρκειας του υφιστάμενου δικτύου άλλα και το σχεδιασμό κάποιου νέου, είναι το ύψος των εξυπηρετούμενων κτηρίων. Βάση αυτού υπολογίζεται η αναγκαία πίεση στην βάση του κτηρίου που είναι συνήθως και η στάθμη εισόδου του νερού από το δίκτυο. Λόγω του μικρού αριθμού κτηρίων, το ύψος τους εκτιμήθηκε εξ' όψεως. Θα μπορούσε να αναζητηθεί το ακριβές ύψος από αρχιτεκτονικά σχέδια, δεν χρειάζεται όμως σε καμία περίπτωση τόσο ακρίβεια, ούτε και έχει ουσιαστική σημασία.

Ένα επιπλέον στοιχείο που ίσως οδηγούσε σε καλύτερη χάραξη του καινούργιου δικτύου (κεφάλαιο 4) θα ήταν η γνώση του σημείου εισόδου του νερού από το δίκτυο στην υδραυλική εγκατάσταση του κτηρίου. Με αυτό το στοιχείο θα μπορούσαμε να προβλέψουμε ώστε η νέα χάραξη να φτάνει όσο πιο κοντά γίνεται στην είσοδο αυτή και να αποφευχθεί το ενδεχόμενο ο αγωγός του δικτύου να περνά μπροστά από μια σειρά κτηρίων ενώ η σύνδεση τους να είναι στην πίσω μεριά. Δε βρέθηκαν όμως στοιχεία για να συνεκτιμηθεί και το ενδεχόμενο αυτό.

(δ) Αρδευτικές ανάγκες.

Για την εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών χρειάζονται τα εξής στοιχεία: η έκταση της προς άρδευση περιοχής, ο τύπος του εδάφους, το είδος των φυτών και δέντρων, μετεωρολογικά δεδομένα. Τα στοιχεία αυτά ήταν εύκολο να βρεθούν από το τοπογραφικό της περιοχής, από δορυφορικές φωτογραφίες (Google Earth) και τις καταγραφές του μετεωρολογικού σταθμού της Πολυτεχνειούπολης που διατίθενται στο διαδίκτυο (meteo.chi.civil.ntua.gr). Επιπρόσθετα, οι φυτεύσεις και οι εκτιμώμενες καταναλώσεις νερού φαίνονται στο ΣΧΕΔΙΟ 1.

(ε) Βλάβες – Προβλήματα του δικτύου.

Οι ερμηνεία των βλαβών του συστήματος μπορεί να δώσει χρήσιμα στοιχεία για τα προβλήματα και τις ιδιαιτερότητες του δικτύου. Τα προβλήματα που αναφέρονται (π.χ. χαμηλές πιέσεις) μπορούν διασταυρωθούν με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση του δικτύου βοηθώντας καταρχήν στην αξιολόγηση του μοντέλου και κατά δεύτερον στην διερεύνηση των διορθωτικών μέτρων. Δεν βρέθηκαν όμως καταγραφές βλαβών ή προβλημάτων για να αξιολογηθούν.

Το γνωστότερο και σημαντικότερο ίσως πρόβλημα της ύδρευσης στην Πολυτεχνειούπολη είναι η ποιότητα του νερού. Πηγή πληροφοριών για το θέμα αυτό ήταν οι πρόσφατες αναλύσεις νερού που έγιναν από το Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας της σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ και διατίθενται στο διαδίκτυο (Όξενκιουν-Πετροπούλου, 2007).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΠΑΡΧΟΝΤΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

2.1 Περιγραφή του συστήματος ύδρευσης – άρδευσης

Το σχέδιο από τη μελέτη του συστήματος ύδρευσης και άρδευσης που λειτουργεί σήμερα στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου φαίνεται χονδρικά στο σχήμα 3. Η πλήρης διάταξη, με τις διαμέτρους και τις συσκευές, παρουσιάζεται στο αντίστοιχο σχέδιο που συνοδεύει την εργασία (ΣΧΕΔΙΟ 1). Μπορούμε να διακρίνουμε τέσσερις κατηγορίες αγωγών. Με κόκκινο χρώμα είναι ο βατός αγωγός, με πορτοκαλί το δίκτυο εκτός βατού και με πράσινο είναι οι κλάδοι που εξυπηρετούν αποκλειστικά την άρδευση. Με μπλε χρώμα σχεδιάστηκαν τα τμήματα του παλιού δικτύου (1975) που συνδέθηκαν στο νέο και εξακολουθούν να λειτουργούν. Η κατασκευή του δικτύου ολοκληρώθηκε περί το 1986-87.

Η κατασκευή, όπως έχει υλοποιηθεί, ανταποκρίνεται στην αρχική μελέτη σε μεγάλο βαθμό αν εξαιρέσουμε τις διαφορές που παρουσιάζονται κυρίως στην σύνδεση των κτηρίων με τους αγωγούς. Οι διαφορές και ελλείψεις διορθώθηκαν και συμπληρώθηκαν με επιτόπου οπτικό έλεγχο της χάραξης και καταγραφή προσβάσιμων σημείων (βατός αγωγός και μηχανοστάσια κτηρίων), που έγινε για το μεγαλύτερο μέρος του δικτύου. Το διορθωμένο σχέδιο που προέκυψε συνοδεύει την εργασία (ΣΧΕΔΙΟ 2).

Η υδροδότηση γίνεται από τρεις γεωτρήσεις Γ1, Γ2, Γ3 που λειτουργούν υπό 24ώρου βάσεως για ένα μεγάλο μέρος του χρόνου (περίπου 7 μήνες). Η παροχή άντλησης έκαστης γεώτρησης είναι περίπου 25 m³/h και το βάθος άντλησης 220-250 m. Κατασκευάστηκαν διαδοχικά, καθώς οι ανάγκες για νερό χρόνο με το χρόνο αυξάνονταν, με την τελευταία να έχει διανοιχτεί το 2006.

Το αντλούμενο νερό αποθηκεύεται στην δεξαμενή ρύθμισης του δικτύου. Η συνολική χωρητικότητας της είναι 800 m³ και συνίσταται από δύο διασυνδεδεμένες δεξαμενές, μία των 200 m³ (παλιά) και μία των 600 m³ (νέα). Πριν την είσοδο του νερού στην δεξαμενή προστίθεται υποχλωριώδες νάτριο με κατάλληλο σύστημα χλωρίωσης. Το σύστημα δοσομετρεί και χορηγεί το διάλυμα στον σωλήνα που φτάνει από την κάθε γεώτρηση, ανάλογα με τη στιγμιαία παροχή

που μετριέται στα παροχόμετρα που διαθέτουν οι σωλήνες. Επιπλέον, στην νέα δεξαμενή υπάρχει εγκατάσταση μίξης του νερού, μέτρησης της συγκέντρωσης του ελεύθερου χλωρίου, και προσθήκης επιπλέον ποσότητας για τη διατήρηση σταθερής τιμής.

Στο δίκτυο διανομής διακρίνονται τρεις βρόχοι. Ο κύριος βρόχος βρίσκεται εντός του βατού αγωγού, έχει τις μεγαλύτερες διαμέτρους και εξυπηρετεί το κέντρο της Πολυτεχνειούπολης. Ο δεύτερος βρόχος βρίσκεται νοτιοδυτικά του κύριου, ενώ ο τρίτος, που εξυπηρετεί κυρίως αρδευτικές ανάγκες, βόρεια. Στο δίκτυο λειτουργούν 10 συνολικά κλάδοι άρδευσης που καλύπτουν όλη την έκταση. Οι κλάδοι αυτοί και τα σημεία σύνδεσης τους στους βρόχους αριθμούνται (κίτρινοι κύκλοι) στο τοπογραφικό (σχ.3). Από τη δεξαμενή ξεκινούν τρεις αγωγοί, δύο δίδυμοι 10³/₄" (273 mm) και ο παλιός αγωγός 4" (102 mm).

Όσον αναφορά στους σωλήνες, χρησιμοποιούνται δύο είδη: (1) Πισσωμένοι χαλυβδοσωλήνες ελικοειδούς ραφής, στον κύριο βρόχο, τους δίδυμους αγωγούς (από την δεξαμενή στον κύριο βρόχο) και σε ένα τμήμα του βορείου βρόχου. Οι διάμετροί τους κυμαίνονται από 5" (127 mm) έως 10³/₄" (273 mm). (2) Γαλβανισμένοι χαλυβδοσωλήνες στο υπόλοιπο του δικτύου με διαμέτρους από 2¹/₂" έως 4". Για τα τμήματα του παλιού δικτύου (1975) που βρίσκονται σε λειτουργία μπορούμε να υποθέσουμε ότι είναι από γαλβανισμένους χαλυβδοσωλήνες διαμέτρου 100 mm, αφού έτσι παρατηρήθηκε σε κομβικά σημεία (π.χ. δεξαμενή).

Σε όλο το μήκος του δικτύου υπάρχουν πυροσβεστικοί κρουνοί. Μερικοί από αυτούς συμβολίζονται στο σχήμα 3 (μικρές κόκκινες βούλες). Στο χώρο στάθμευσης κάτω από τις πλατείες κέντρου υπάρχει εκτεταμένο σύστημα πυρόσβεσης που τροφοδοτείται από τον κλάδο άρδευσης 4. Ο ίδιος κλάδος εξυπηρετεί και την εσωτερική πυρόσβεση αρκετών κτηρίων (ΣΧΕΔΙΟ 2).

2.2 Εκτίμηση καταναλώσεων

ΥΔΡΕΥΣΗ

Αν υπήρχαν χρονοσειρές μετρήσεων κατανάλωσης για κάθε κτήριο τότε δεν θα γινόταν λόγος για εκτίμηση καταναλώσεων του υφιστάμενου δικτύου αλλά για επεξεργασία καταγεγραμμένων στοιχείων και η αξιοπιστία της μελέτης της λειτουργίας (κεφάλαιο 3) θα ήταν πολύ μεγαλύτερη. Ελλείπει συστηματικών μετρήσεων εκτιμήθηκε η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση ύδρευσης με δύο τρόπους. Πρώτα χρησιμοποιώντας τις τρεις χονδρικές μετρήσεις για την ημερήσια κατανάλωση που είχαμε, και μετά με βάση τον πληθυσμό.

Εκτίμηση 1: Στη διάθεσή μας υπήρχαν μετρήσεις του συνολικού ημερήσιου όγκου που αντλήθηκε σε τρεις διαδοχικές εργάσιμες μέρες του Ιουνίου 2007. Η χρησιμότητα των μετρήσεων για την εκτίμηση της κατανάλωσης ήταν περιορισμένη αφού δεν είναι γνωστή η στάθμη της δεξαμενής, τη στιγμή λήψης των μετρήσεων.

Παρόλα αυτά έγινε προσπάθεια να αξιοποιηθούν. Η μέγιστη από αυτές ήταν 1700 m³ με τις άλλες δύο στα 1650 m³. Ως γνωστόν οι γεωτρήσεις παρέχουν 75 m³/h δηλαδή 1800 m³/d. Επίσης ξέρουμε ότι η στάθμη στην δεξαμενή καταγράφεται με ηλεκτρονικό σύστημα και αναμεταδίδεται σε συσκευή που βρίσκεται στο χώρο του προσωπικού συντήρησης, ώστε σε περίπτωση μικρού αποθηκευμένου όγκου να μην χρησιμοποιείται νερό για άρδευση έως ότου η στάθμη φτάσει σε ασφαλές για την ύδρευση επίπεδο. Αν θεωρήσουμε ότι ο μέγιστος όγκος που μπορεί να αντλείται (1800 m³/d) είναι ακριβής, τότε μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι τρεις μετρήσεις έγιναν σε περίοδο κανονικής κατανάλωσης και υψηλού απόθηκευμένου όγκου αφού οι γεωτρήσεις δε χρειάστηκε να λειτουργήσουν στο μέγιστο. Η στάθμη στην δεξαμενή ήταν ψηλά και η άρδευση δε χρειάστηκε να περιοριστεί. Επομένως, οι τρεις μετρήσεις περιλαμβάνουν νερό ύδρευσης και άρδευσης. Αν όμως θεωρήσουμε ότι η τιμή της παροχή άντλησης 25 m³/h δεν είναι ακριβής τότε η τιμή 1700 m³ μπορεί να αφορά μια συνηθισμένη μέρα ή και μια μέρα με μεγάλη κατανάλωση ύδρευσης οπότε δε γινόταν άρδευση ή γινόταν με φειδώ με στόχο να ψηλώσει η στάθμη στην δεξαμενή. Αυτό το ενδεχόμενο είμαι λιγότερο πιθανό οπότε μπορεί να θεωρηθεί με επιφύλαξη ότι η θερινή μέση ημερήσια κατανάλωση για ύδρευση και άρδευση είναι 1700 m³.

Εκτίμηση 2: Με βάση τον αριθμό των φοιτητών και του προσωπικού στο ΕΜΠ, έγινε εκτίμηση της μέγιστης ημερήσιας κατανάλωσης. Οι φοιτητές είναι 13000 και το μόνιμο προσωπικό 1400. Ο αριθμός αυτός μειώθηκε κατά το 1/9 για να βρεθούν τα άτομα που δραστηριοποιούνται στο χώρο της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου (οι οκτώ από τις εννέα σχολές). Επιπλέον, έγινε η συντηρητική υπόθεση ότι η μεγαλύτερη κατανάλωση παρουσιάζεται μια ζεστή μέρα του έτους κατά την οποία όλοι οι φοιτητές και το προσωπικό βρίσκονται στο Πολυτεχνείο. Οι μισοί φοιτητές μένουν για μικρό χρόνο π.χ. 3 ώρες και οι υπόλοιποι γύρω στις 6 ώρες, ενώ 3000 παίρνουν γεύμα στο εστιατόριο. Η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση προκύπτει 1075 m³ όπως φαίνεται αναλυτικά στον πίνακα (πιν.2). Δεν συμπεριελήφθησαν οι μεγάλες καταναλώσεις που έχουν κάποια εργαστήρια (π.χ. πλήρωση δεξαμενής στο εργαστήριο λιμενικών ≈150-200 m³) λόγω της μικρής πιθανότητας να συμπέσουν με το προηγούμενο σενάριο της παρουσίας όλων των φοιτητών και του προσωπικού.

Πίνακας 2: Ανάλυση της κατανάλωσης για την εκτίμηση 2

	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΑΝΑ ΑΤΟΜΟ	ΣΥΝΟΛΟ
1	7500 φοιτητές (παραμονή 3-4 ώρες)	Χρήση αποχωρητηρίου (1 φορά=15 L) Κατανάλωση κυλικείου (5 L)	20 L	150 m ³
2	7500 φοιτητές (παραμονή 6-8 ώρες)	Χρήση αποχωρητηρίου (2 φορές=30 L) Κατανάλωση κυλικείου (10 L)	40 L	300 m ³
3	1400 εργαζόμενοι	100 L (κατανάλωση γραφείου από βιβλιογραφία)	100 L	140 m ³
4	3000 γεύματα στο εστιατόριο	30 L (πλύσιμο πιάτων-καθαριότητα 20 L, μαγείρεμα 10 L)	30 L	90 m ³
5	Καθαριότητα	Γενικά (1 L / m ²) Συνολικά 247000 m ²		247 m ³
	ΣΥΝΟΛΟ			927 m ³
	ΣΥΝΟΛΟ συν 16% απώλειες			1075 m³

Με την τιμή 1075 m³ για τη μέγιστη ημερήσια κατανάλωση και συντελεστή ημερήσιας αιχμής λ₁=1.5, η μέση ημερήσια κατανάλωση προκύπτει ≈720 m³, που είναι λογική αν συγκριθεί με την κατανάλωση των 600 m³ που μετρήσαμε στις 15 Φεβρουαρίου κατά την προσπάθεια ρύθμισης του μοντέλου (κεφάλαιο 3).

ΑΡΔΕΥΣΗ

Η άρδευση σχεδιάστηκε να γίνεται κατά τη διάρκεια της νύκτας για να μην επιβαρύνεται η λειτουργία του δικτύου. Οι εκτιμήσεις για τη μέγιστη κατανάλωση άρδευσης με τις οποίες έγινε ο σχεδιασμός του υφιστάμενου δικτύου (1982) φαίνονται στον πίνακα (πιν.3).

Πίνακας 3: Μέγιστες Καταναλώσεις Άρδευσης.

ΚΛΑΔΟΣ	ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ(στρέμματα)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ(m ³)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΟΤΙΣΜΑΤΟΣ (h)	ΥΨΟΜΕΤΡΟ
1	5	70	1.5	255
2	13	140	3	255
3	8	100	4	223
4	2	15	1	190
5	9	100	4	200
6	9	120	4	200
7	5	70	2	165
8	4	60	2	190
9	7	120	4	180
10	0.5	10	1	
ΣΥΝΟΛΟ	62.5	805	26.5	

Η εφαρμογή του νερού θα γινόταν με στάγδην άρδευση από τις 8 μμ μέχρι τις 6 πμ, με εξαίρεση το χώρο των πλατειών κέντρου που θα ποτιζόταν κατά τη διάρκεια της ημέρας. Προφανώς, οι τομείς αρδεύονταν ανά δύο ή τρεις ταυτόχρονα με προγραμματιζόμενη λειτουργία των ηλεκτροβάννων, για την ομαλοποίηση της κατανάλωσης.

Με στόχο την επιβεβαίωση των πιο πάνω καταναλώσεων έγινε μια χονδρική επανεκτίμησή τους. Η δυνητική εξατμοδιαπνοή υπολογίστηκε με την μέθοδο Priestley-Taylor. Η μέθοδος αυτή έχει αποδειχτεί συγκριτικά καλύτερη από άλλες (Fisher, 1998), μετά από μετρήσεις της πραγματικής εξατμοδιαπνοής σε πειραματική έκταση αποτελούμενη κυρίως από πεύκα ηλικίας 6 ετών, σε τοποθεσία με Μεσογειακό κλίμα (Blodgett Forest Research Station, 38°53'42.9"N, 120°37'58"W, 1315 m). Η Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου βρίσκεται σε παραπλήσιο γεωγραφικό πλάτος (37°58"N). Επίσης, το μεγαλύτερο ποσοστό της φυσικής βλάστησης και των νέων φυτεύσεων είναι πεύκα, ενώ σε μικρότερο ποσοστό υπάρχουν ελιές, λεύκες, και διάφορα είδη κυπαρισσιών και θάμνων. Οι ομοιότητες αυτές δικαιολογούν την εφαρμογή της μεθόδου Priestley-Taylor, παρά την διαφορά υψομέτρου που συμβάλει σε μεγαλύτερο ύψος βροχής στην πειραματική έκταση.

Οι υπολογισμοί έγιναν για τους μήνες του καλοκαιριού, που είναι οι πιο κρίσιμοι από πλευράς αρδευτικών αναγκών, για τα έτη 1999 μέχρι 2004 με βάση τα ιστορικά δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό του ΕΜΠ που βρίσκεται πλησίον των νέων εστίων. Ακολουθούν τα αποτελέσματα:

Πίνακας 4: Μέσες Ημερήσιες Καθαρές Ανάγκες άρδευσης σε m^3 ανά στρέμμα (ή mm).

ΕΤΟΣ	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Ιούνιος	7.88	8.72	8.36	7.39	6.92	7.72
Ιούλιος	6.98	7.47	7.31	4.65	6.77	7.79
Αύγουστος	6.68	7.36	6.49	3.42	6.36	7.04

Η μεγαλύτερη εκτιμηθήσα ανάγκη (Ιούνιος 2000) $8.72 m^3$ αυξήθηκε κατά 20% και θεωρήθηκε ως η μέγιστη που μπορεί να παρουσιασθεί. Κατόπιν πολλαπλασιάστηκε με την έκταση κάθε κλάδου για να προκύψει η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση των κλάδων (για καθημερινή άρδευση). Η πίεση στην αρχή των κλάδων θεωρήθηκε ένα μέτρο μικρότερη από την στατική. Για τον υπολογισμό της παροχής κάθε σταλακτήρα, έγινε η υπόθεση ότι ισχύει η εξίσωση $q=2.5H^{0.5}$. Κατόπιν βρέθηκε η παροχή στην αρχή κάθε κλάδου για 250 σταλακτήρες ανά στρέμμα.

Πίνακας 5: Παροχή στους κλάδους άρδευσης.

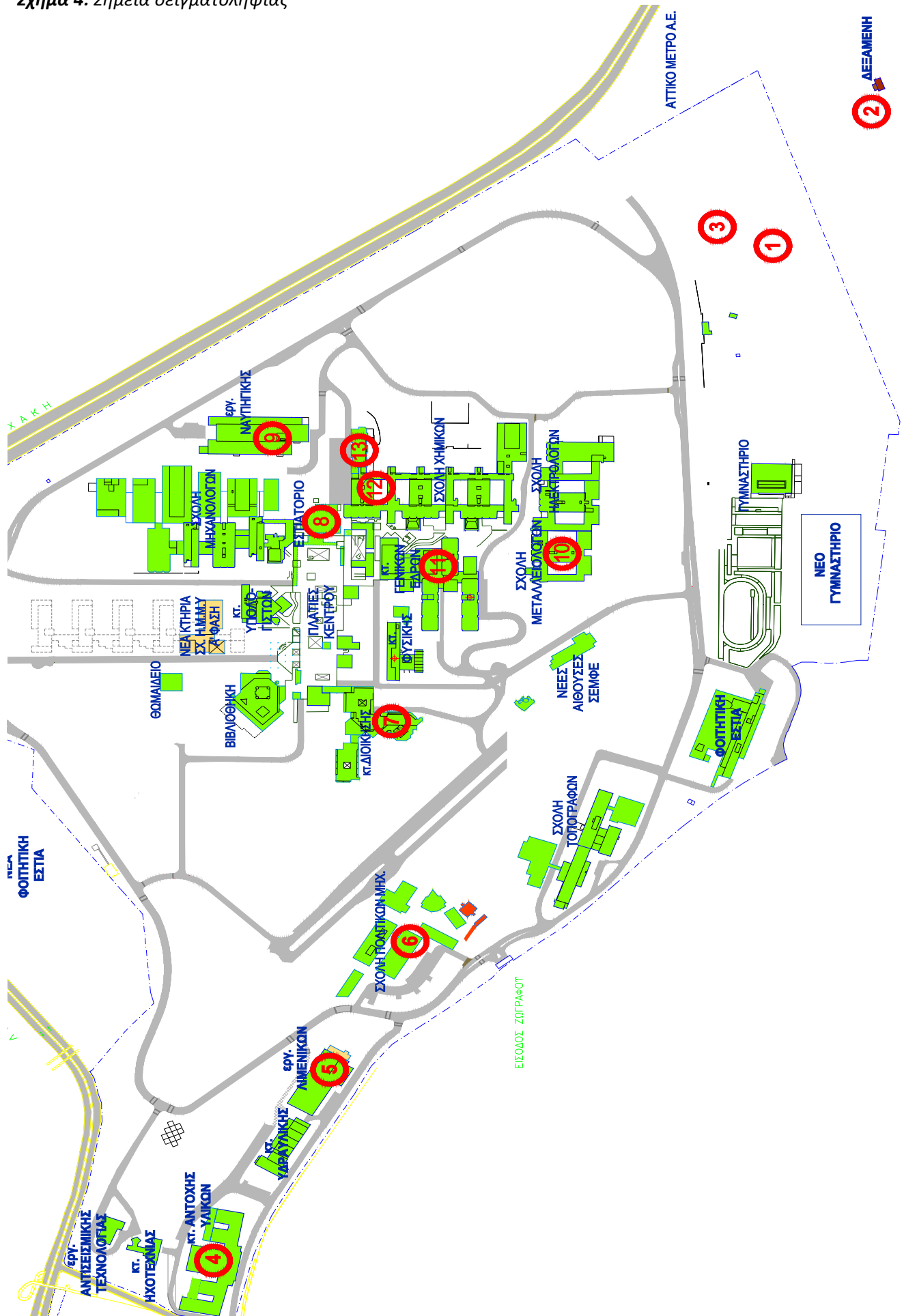
ΚΛΑΔΟΣ	ΕΚΤΑΣΗ (στρέμματα)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (m^3)	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΚΛΑΔΟΥ	ΠΙΕΣΗ ΣΤΗΝ ΑΡΧΗ ΤΟΥ ΚΛΑΔΟΥ (m)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΑΛΑΚΤΗΡΩΝ	ΠΑΡΟΧΗ ΣΤΑΛΑΚΤΗΡΑ (L/h)	ΠΑΡΟΧΗ ΣΤΗΝ ΑΡΧΗ ΤΟΥ ΚΛΑΔΟΥ (m^3/h)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΟΤΙΣΜΑΤΟΣ (h)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (στρογγυλεμένη) (h)
3	8	83.7	223	33	2000	14.36	28.7	2.91	3
4	2	20.9	190	66	500	20.31	10.1	2.06	2
5	9	94.1	200	56	2250	18.71	42.1	2.23	2
6	9	94.1	200	56	2250	18.71	42.1	2.23	2
7	5	52.3	165	91	1250	23.85	29.8	1.75	2
8	4	41.8	190	66	1000	20.31	20.3	2.06	2
9	7	73.2	180	76	1750	21.80	38.1	1.92	2
10	1	10.5	200	56	250	18.71	4.7	2.24	2

Παρατηρήσεις: Οι μέγιστες ημερήσιες καταναλώσεις των κλάδων που βρέθηκαν είναι μικρότερες από αυτές με τις οποίες έγινε η μελέτη του υφιστάμενου δικτύου. Δεν έγιναν υπολογισμοί για τους κλάδους 1 και 2 γιατί τα πεύκα στις εκτάσεις αυτές έχουν αναπτυχθεί και δεν χρειάζονται άρδευση.

2.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά - Προβλήματα

Τον Ιανουάριο του 2007, μετά από επιθυμία της διοίκησης του ΕΜΠ, έγιναν αναλύσεις για τον έλεγχο της ποιότητας του νερού στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Η εργασία ανατέθηκε στο εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας σχολής Χημικών Μηχανικών. Λήφθηκαν δείγματα από 13 σημεία (σχ.4).

Σχήμα 4: Σημεία δειγματοληψίας



1. Γεώτρηση 1.
2. Δεξαμενή αποθήκευσης χλωριωμένου νερού.
3. Γεώτρηση 2.
4. Κτίριο Αντοχής Υλικών, ΣΕΜΦΕ.
5. Εργαστήριο Λιμενικών Έργων.
6. Νέο Κτίριο Πολιτικών Μηχανικών, Εργ. 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.

Οι αναλύσεις έγιναν σε συνεργασία με την ΕΥΔΑΠ και άλλους φορείς, σύμφωνα με τις πρότυπες διαδικασίες. Εξετάσθηκαν 22 παράμετροι ποιότητας σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας και 34 επιπλέον για την θέση 2 (δεξαμενή). Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων, όπως δημοσιεύθηκαν στο διαδίκτυο (www.ntua.gr/gr_announce/pdf/20070309_water.pdf). Για κάθε παράμετρο δίνεται για σύγκριση και η μέση τιμή της στο δίκτυο της ΕΥΔΑΠ καθώς και η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή.

ΠΙΝΑΚΑΣ 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 Πάσα	Δεξαμενή αποθήκευσης χλωριωμένου νερού	Γεώτρηση Ν° 2 Νέα	ΣΕΜΦΕ Αντοχή Υλικών	Εργ. Λιμν. Εργών	Νέο Κτίριο Πολιτικών Μηχανικών	Κτίριο Διοίκησης (Κυλικείο)	ΕΥΔΑΠ Μέση Τιμή 2006 (επισξεργασμένο 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
Χλωρίοντα	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
Αμμονία	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
Μολυβδος	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
Κάδιμο	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 1α (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 *	Κρίριο Ναυπηγών	Κρίριο Μετάλλειο-λόγων (γρ.Καθ. κ. Βγενόπουλου)	Κολικόιο 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. χλώριο	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
Κάδιο	μg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.03	<5

* Στο εστιατόριο έχει τοποθετηθεί αποσκληρυντής

ΠΙΝΑΚΑΣ 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/100ml	cfu/100ml	cfu/ml	cfu/ml	cfu/ml
01/07	Γεώτρηση N° 1 (Παλαιά)	0	0	0	0	0	0	0	0
02/07	Δεξαμενή (Αποθήκη χλωρωμένου νερού)	0	0	0	0	0	0	0	0
03/07	Γεώτρηση N° 2 (Νέα)	0	0	0	0	0	0	0	0
04/07	ΣΕΜΦΕ Κτίριο Αντοχής Υλικών	0	0	0	0	0	0	0	0
05/07	Εργ.Λιμενικών Έργων	0	0	0	0	0	0	0	10
06/07	Νέο Κτίριο Πολιτικών Μηχανικών	0	0	0	0	0	0	0	0
07/07	Κτίριο Διοίκησης (Κυλικείο)	0	0	0	0	0	0	0	0
08/07	Εστιατόριο (Μαγειρείο)	0	0	0	0	0	0	0	0
09/07	Κτίριο Ναυπηγών	0	0	0	0	0	0	0	0
10/07	Κτίριο Μεταλλολόγων (γρ.Καθ. κ.Βγενόπουλου)	0	0	0	0	0	0	0	0
11/07	Κυλικείο Γενικών Εδρών	0	0	0	0	0	0	0	0
12/07	Εργ.Ανοργ.& Αναλ.Χημείας Παλαιό Κτίριο Χημ. Μηχ.	0	0	0	0	0	0	0	10
13/07	Εργ.Ανοργ.& Αναλ.Χημείας Νέο Κτίριο Χημ. Μηχ.	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ανώτατο Επιτελετό Όριο	0	0	0	0	0	0	0	20 (A5/ 288)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Αποτελέσματα αναλύσεων επιπέδων του Πίνακα 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

ΠΙΝΑΚΑΣ 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) (Μέθοδος Δοκιμής: SPE-HPLC FD/UV)

Προσδιοριζόμενη ουσία	Συγκέντρωση (µg/l)	Όριο ανίχνευσης (µg/l)	Νομοθετικά όρια (98/83/EK 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 (Μέθοδος Δοκιμής: SPE-ECD)

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.	-

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

(M.A. : Μη Ανιχνεύσιμο)

Γενικά παρατηρούμε ότι στο σύστημα ύδρευσης της Πολυτεχνειούπολης το νερό είναι υποδεέστερο από αυτό της ΕΥΔΑΠ. Εξακολουθεί όμως να είναι εντός των επιτρεπτών ορίων. Συγκεκριμένα:

- Τα νερά των γεωτρήσεων χαρακτηρίζονται από υψηλή σχετικά θερμοκρασία 20.4°C και 22.8°C, που οφείλεται στο μεγάλο βάθος των γεωτρήσεων με ενδεχόμενη γεωθερμική επίδραση. Επίσης οι τιμές της σκληρότητας, της υδραυλικής αγωγιμότητας και των διαλυμένων στερεών είναι περίπου τριπλάσιες από αυτές της ΕΥΔΑΠ. Πολύ μεγαλύτερες είναι και οι συγκεντρώσεις των νιτρικών, των χλωριόντων, του ψευδαργύρου, του μολύβδου και του νικελίου. Τέλος, το μικροβιολογικό φορτίο είναι μηδενικό.
- Στην δεξαμενή το νερό παρουσιάζει περίπου τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά όπως και στις γεωτρήσεις. Το υπολειμματικό χλώριο τη μέρα της δειγματοληψίας είχε τιμή παραπλήσια με αυτή της ΕΥΔΑΠ, που είναι ικανοποιητική. Η τιμή αυτή όμως μπορεί να διακυμαίνεται, αφού το σύστημα που την ανιχνεύει και σε περίπτωση μείωσής της προσθέτει υποχλωριώδες νάτριο δεν λειτουργεί. Οι επιπλέον αναλύσεις που έγιναν ειδικά στην δεξαμενή, έδειξαν όπως αναμενόταν, μεγάλες συγκεντρώσεις σε διαλυμένα μέταλλα και δεν ανίχνευσαν τοξικές ενώσεις.
- Σε ορισμένα κτήρια παρατηρείται απόκλιση κάποιων ποιοτικών παραμέτρων από την αρχική τους τιμή στη δεξαμενή. Στον κτήριο Αντοχής Υλικών η θολότητα ήταν στα ανώτατα επιτρεπτά όρια και η τιμή του αδιάλυτου σιδήρου (367 μg/L) ξεπερνούσε το επιτρεπτό όριο (200 μg/L). Στο εργαστήριο Λιμενικών Έργων παρατηρήθηκε υψηλή θολότητα, αδιάλυτος σίδηρος (228 μg/L), μηδενική συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου, και μεγάλη συγκέντρωση ψευδαργύρου. Στο κτήριο Μεταλλειολόγων η θολότητα ήταν σχεδόν έξι φορές μεγαλύτερη από το όριο. Στο εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας η θολότητα ήταν υψηλή στο παλιό κτήριο του εργαστηρίου, και στο νέο κτήριο η συγκέντρωση ψευδαργύρου ήταν ίση με το όριο.

Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να αναφερθεί ότι λόγω της υψηλής σκληρότητας, δημιουργούνται αποθέσεις σε καυστήρες και άλλες συσκευές. Αυξάνονται έτσι, η συχνότητα των επισκευών και αντικαταστάσεων και το συνεπαγόμενο κόστος συντήρησης. Επίσης, η μηδενική συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου σε κάποιες θέσεις εγκυμονεί κινδύνους μόλυνσης του νερού, ενώ οι υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου και ψευδαργύρου είναι βλαβερές για την ανθρώπινη υγεία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΥΠΑΡΧΟΝΤΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

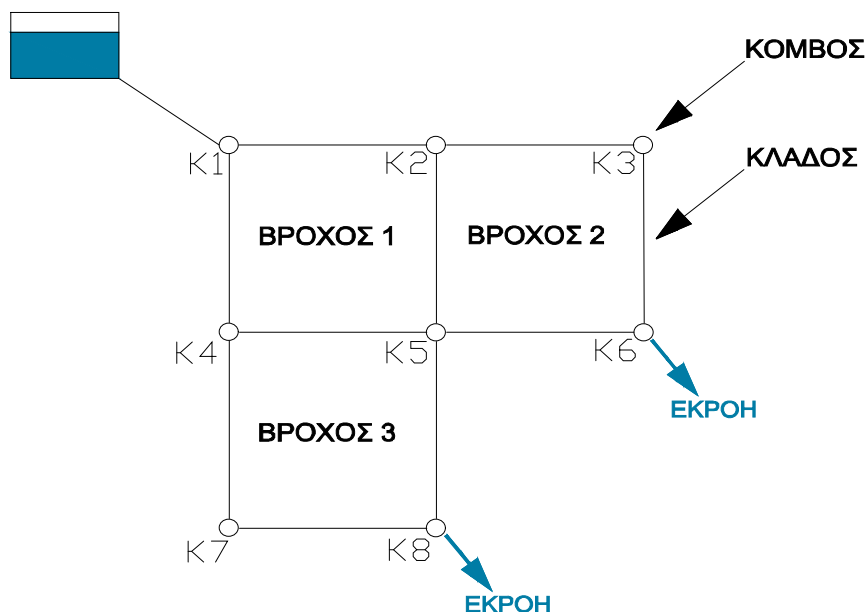
3.1 Μαθηματική προσομοίωση δικτύων

Κάθε δίκτυο διανομής είναι ένα φυσικό σύστημα. Τα όρια του είναι τα σημεία εισόδου και εξόδου 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.

Πρόσφορη μέθοδος για τη μελέτη συστημάτων είναι η κατάστρωση κάποιου μαθηματικού μοντέλου. Η τυπική μορφή τέτοιου μοντέλου για δίκτυα διανομής, αποτελείται από κόμβους και κλάδους (σχ.5).

Σχήμα 5: Σχηματική παρουσίαση απλού δικτύου.

ΔΕΞΑΜΕΝΗ



Κάθε κλάδος παριστάνει τμήμα αγωγού μήκους L , με σταθερή διάμετρο D , κλάση PN , και συντελεστή τραχύτητας k_s . Η παροχή καταμήκος των κλάδων θεωρείται σταθερή, δηλαδή δεν υπάρχουν άλλα σημεία εισόδου και εξόδου νερού από τον κλάδο παρά μόνο τα άκρα του. Τα άκρα των κλάδων είναι οι κόμβοι, που συμβολίζουν τα σημεία από τα οποία μπορεί, εκτός από το να υπάρξει έξοδος ή είσοδος νερού, να γίνει διακλάδωση ή συμβολή αγωγών και να αλλάξουν τα χαρακτηριστικά των σωλήνων (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2007).

Οι μαθηματικές σχέσεις που διέπουν τη λειτουργία του υδραυλικού μοντέλου είναι οι εξισώσεις συνέχειας στους κόμβους και οι εξισώσεις διατήρησης της ενέργειας στους βρόχους, με βάση μία σχέση υπολογισμού των απωλειών ενέργειας στους κλάδους, όπως π.χ. η εξίσωση Darcy–Weisbach. 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.

Στα μοντέλα προσομοίωσης της ποιότητας του νερού στο δίκτυο οι παράμετροι που μελετούνται, είναι συνήθως: η συγκέντρωση του υπολειμματικού χλωρίου, τα παραπροϊόντα της χλωρίωσης (π.χ. τριαλογονομεθάνια), η ηλικία του νερού, το ποσοστό του νερού από τις διάφορες εισόδους στο δίκτυο όταν υπάρχουν πολλαπλές πηγές τροφοδοσίας, και τέλος η συγκέντρωση χημικών που χρησιμοποιούνται ως ιχνηθέτες για την μελέτη της υδραυλικής λειτουργίας και τη ρύθμιση του μοντέλου του δικτύου. Οι τιμές των παραμέτρων αυτών υπολογίζονται σε κάθε θέση του δικτύου καθώς μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Για την εφαρμογή του μοντέλου ποιότητας πρέπει να προηγηθεί η επίλυση του υδραυλικού μοντέλου και να καθοριστούν οι αρχικές και οριακές συνθήκες ποιότητας του συστήματος.

Οι μαθηματικές σχέσεις που διέπουν τη λειτουργία του μοντέλου ποιότητας είναι οι εξισώσεις μεταγωγής του χημικού συστατικού στους κλάδους, μίξης του συστατικού στους κόμβους και στις δεξαμενές, και οι κινητικές της αντίδρασης του συστατικού με το νερό και τα τοιχώματα των σωλήνων (Water D.S. Handbook, 2000).

Η κατάσταση και η επίλυση του συστήματος εξισώσεων που προκύπτουν στα μοντέλα γίνεται πολύ εύκολα με την χρήση κατάλληλου λογισμικού όπως το EPANET (Rossman, 1993, 2000) που χρησιμοποιείται στο τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας. Το πρόγραμμα αυτό διαθέτει γραφικό περιβάλλον για τη σχηματοποίηση του δικτύου και την εισαγωγή των δεδομένων. Έχει τη δυνατότητα προσομοίωσης χρονικά μεταβαλλόμενης κατάστασης και παρουσίασης των επιπτώσεων που έχει στο δίκτυο η διακύμανση της ζήτησης στους κόμβους και οι αλλαγές στη στάθμη των δεξαμενών κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Η επίλυση του υδραυλικού μοντέλου γίνεται σε διακριτά χρονικά βήματα συνήθως μίας ώρας, ενώ για το μοντέλο ποιότητας σε βήματα των πέντε λεπτών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με διάφορες μορφές, ιδιαίτερα βοηθητικές στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

3.2 Ρύθμιση υδραυλικών μοντέλων

Η μοντελοποίηση ενός υφιστάμενου δικτύου είναι απαραίτητη κυρίως για τη δημιουργία συστήματος ελέγχου ή/και βελτιστοποίησης της λειτουργίας, το σχεδιασμό μιας επέκτασης ή αναβάθμισης, τη μελέτη της ποιότητας του νερού και τη διερεύνηση τρόπων βελτίωσης της. Για να μπορεί το μοντέλο να χρησιμοποιηθεί για την εργασία που προορίζεται πρέπει να προσομοιώνει τον πραγματικό τρόπο λειτουργίας του δικτύου με την απαιτούμενη για κάθε εργασία ακρίβεια. Αυτό επιτυγχάνεται με την αξιολόγηση και τη ρύθμιση του μοντέλου.

Κατά την αξιολόγηση ελέγχονται τα αποτελέσματα από την επίλυση του μοντέλου για μια συνθήκη, μέση φόρτιση, για την οποία είναι χονδρικά γνωστή η συμπεριφορά του δικτύου. Ελέγχεται αν υπάρχουν σημεία με μη αναμενόμενες χαμηλές ή ψηλές πιέσεις, δεξαμενές που δεν σταματούν να γεμίζουν, αντλίες που λειτουργούν εκτός της επιτρεπόμενης περιοχής ή ξεκινούν και σταματούν σε διαστήματα που δεν παρατηρούνται στην πραγματικότητα. Αυτές και άλλες παρατηρήσεις που δεν συμφωνούν με το λογικό τρόπο λειτουργίας του δικτύου, είναι ενδείξεις ότι κάποια μέρη του συστήματος έχουν αναπαρασταθεί λάθος στο μοντέλο.

Αφού διορθωθούν τα τυχόν λάθη και τα προκύπτοντα αποτελέσματα της αξιολόγησης είναι λογικά ακολουθεί η ρύθμιση του μοντέλου. Για τη ρύθμιση απαιτούνται δεδομένα από καταγραφές της λειτουργίας του δικτύου. Ο αριθμός των καταγραφών που θα γίνουν, η διάρκεια της κάθε καταγραφής, και οι μεταβλητές κατάστασης που θα μετριοούνται (πίεση, παροχή, συγκέντρωση ουσίας) έχουν άμεση σχέση με την εργασία για την οποία προορίζεται το μοντέλο. Γενικά, σε μια καταγραφή μετρείται η παροχή που εισέρχεται στο δίκτυο, οι στάθμες στις δεξαμενές, οι πιέσεις και οι παροχές σε επιλεγμένα σημεία. Αν το μοντέλο θα χρησιμοποιηθεί για έλεγχο και βελτιστοποίηση ή μελέτη της ποιότητας, τότε απαιτείται υδραυλικό μοντέλο μεγαλύτερης ακρίβειας, οπότε μετρείται και η συγκέντρωση κάποιου ιχνηθέτη (π.χ. φθόριο) που εισάγεται στο δίκτυο. Ως ιχνηθέτης μπορεί εναλλακτικά να χρησιμοποιηθεί και κάποιο ενυπάρχον συστατικό του νερού αν η συγκέντρωσή του μεταβάλλεται με τον χρόνο κυκλοφορίας του στο δίκτυο (π.χ. το χλώριο). Οι καταγραφές έχουν διάρκεια όχι μικρότερη από μία μέρα, ανάλογα πάντα με το χρόνο διάδοσης του συστατικού στο δίκτυο. Στις περιπτώσεις που μετριοούνται μόνο πιέσεις και παροχές είναι σύνηθες, να διαμορφώνονται αρκετά σενάρια φόρτισης με μεγάλες εκροές από κρουνοί. Η διάρκεια τους είναι μικρή, όση χρειάζεται για σταθεροποιηθεί η επίδραση της συγκεκριμένης εκροής στο δίκτυο, και οι διαφορές πίεσης που καταγράφονται είναι σχετικά μεγάλες.

Η ίδια φόρτιση (σενάριο) με την κάθε καταγεγραμμένη εισάγεται στο μοντέλο, το οποίο επιλύεται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα σε σχέση με τα καταγεγραμμένα. Όσο πιο κοντά είναι τα αποτελέσματα στις τιμές που μετρήθηκαν στο πραγματικό δίκτυο, τόσο πιο ορθό είναι το μοντέλο. Ακολουθεί η ρύθμιση, κατά την οποία γίνονται αλλαγές στις παραμέτρους του δικτύου και επανεπίλυσή του, προσπαθώντας τα προκύπτοντα αποτελέσματα να προσεγγίσουν τις πραγματικές, μετρημένες συνθήκες, σε ικανοποιητικό βαθμό. Ορισμένα προγράμματα υπολογισμού δικτύων διαθέτουν εξελιγμένους αλγόριθμους για τη ρύθμιση των μοντέ-

λων. Το EPANET δεν παρέχει αυτή η δυνατότητα, μπορεί όμως να δεχθεί τις μετρήσεις που έγιναν στο δίκτυο και να παράγει γραφήματα που να δείχνουν πόσο κοντά είναι τα αποτελέσματα της κάθε επίλυσης στις πραγματικές μετρήσεις.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του μοντέλου που ρυθμίζονται είναι η τραχύτητα των σωλήνων, οι καταναλώσεις στους κόμβους και οι αρχικές συγκεντρώσεις των ποιοτικών παραμέτρων. Οι λοιπές παράμετροι (μήκος και διάμετρος σωλήνων, υψόμετρο και συντεταγμένες των κόμβων) θεωρούνται γνωστές (ικανοποιητικά προσδιορισμένες εκ των προτέρων). Παρόλα αυτά, αν οι αποκλίσεις από τις πραγματικές συνθήκες στο δίκτυο είναι μεγάλες και υπάρχουν υποψίες για λάθος διαμέτρους, κλειστές δικλίδες ή σωλήνες εκτός λειτουργίας, μπορεί να επιλυθεί το μοντέλο με αυτές τις αλλαγές για να διαπιστωθεί αν είναι βάσιμες και να διορθωθεί.

3.3 Προσομοίωση με τα διαθέσιμα δεδομένα

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αρχικά, προτού διαπιστωθούν οι ελλείψεις και ανακρίβειές τους, και συμπληρωθούν, έγινε μια πρώτη προσομοίωση του δικτύου. Σκοπός ήταν η αξιολόγηση του μοντέλου με κριτήρια: τη σύγκριση του υπολειμματικού χλωρίου με τα αποτελέσματα των πρόσφατων χημικών αναλύσεων (κεφ.2), την εξαγωγή λογικών αποτελεσμάτων για τη λειτουργία των γεωτρήσεων και την επάρκεια της δεξαμενής.

Η ημερήσια κατανάλωση θεωρήθηκε 720 m³, ίση με την μέση ετήσια που βρέθηκε με την εκτίμηση 2 (εδάφιο 2.2). Διαμοιράστηκε στους κόμβους του δικτύου με βάση τη δόμηση (εμβαδό κτηρίων) που αντιστοιχεί στον καθένα (πιν.6). Για τη διακύμανση της κατανάλωσης στην διάρκεια της μέρας έγινε η υπόθεση ότι ακολουθεί τη μορφή του σχήματος 6. Για να επιτευχθούν οι αρχικές συνθήκες της ημέρας δειγματοληψίας, Τετάρτη 9/1/2007, η προσομοίωση είχε διάρκεια τρεις ημέρες ίσης κατανάλωσης και αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα της τελευταίας μέρας.

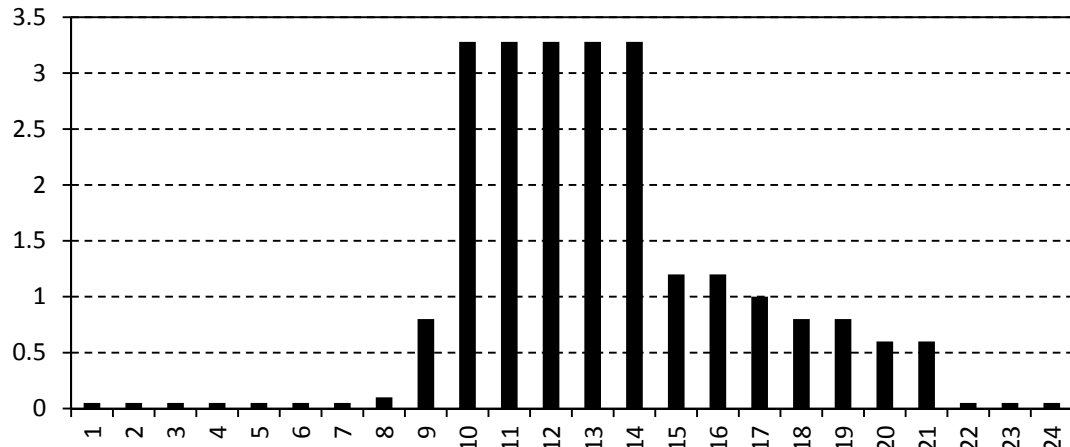
Πίνακας 6: Κατανάλωση στους κόμβους του δικτύου.

ΚΟΜΒΟΣ	Εξυπηρετούμενα κτήρια	Εμβαδό (m ²)	Κατανάλωση (m ³ /d)	Κατανάλωση (L/s)
K1	Αντοχής υλικών και Ηχοτεχνίας	24600	77.06	0.89
K2	Υδραυλικής + Λιμενικών	7650	23.96	0.28
K4	Πολιτικών Μηχανικών	9995	31.31	0.36
K5	Τοπογράφων	14932	46.78	0.54
K8	Νέα κτ. ΣΕΜΦΕ	3200	10.02	0.12
K12	Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας	1000	3.13	0.04
K17	Διοίκηση	10630	33.30	0.39
K18	Βιβλιοθήκη και Θωμαΐδειο	10013	31.37	0.36
K19	κτ. Υπολογιστή + Νέα ΗΜΜΥ	7920	24.81	0.29
K26	ΣΕΜΦΕ + φυσικής	24506	76.77	0.89
K20	Μηχανολόγων	35220	110.33	1.28
K21	Εστιατόριο	10000	31.33	0.36

K22	Ερ. Ναυπηγικής	7220	22.62	0.26
K25	Χημικών	37158	116.40	1.35
K27	Μεταλλ. Και Ηλεκτρολόγων	25800	80.82	0.94

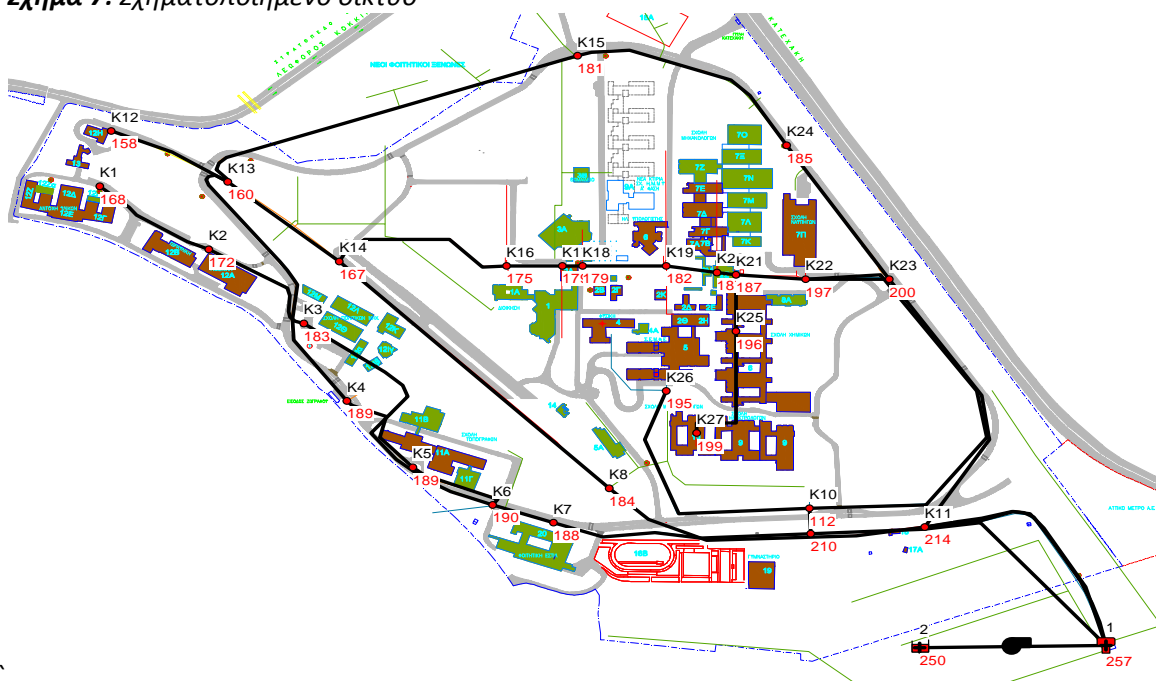
**Το εμβαδό του K26 πενταπλασιάστηκε για να προκύψει η μεγαλύτερη κατανάλωση που υπάρχει στο εστιατόριο.

Σχήμα 6: Διακύμανση κατανάλωσης (ωριαίοι συντελεστές).

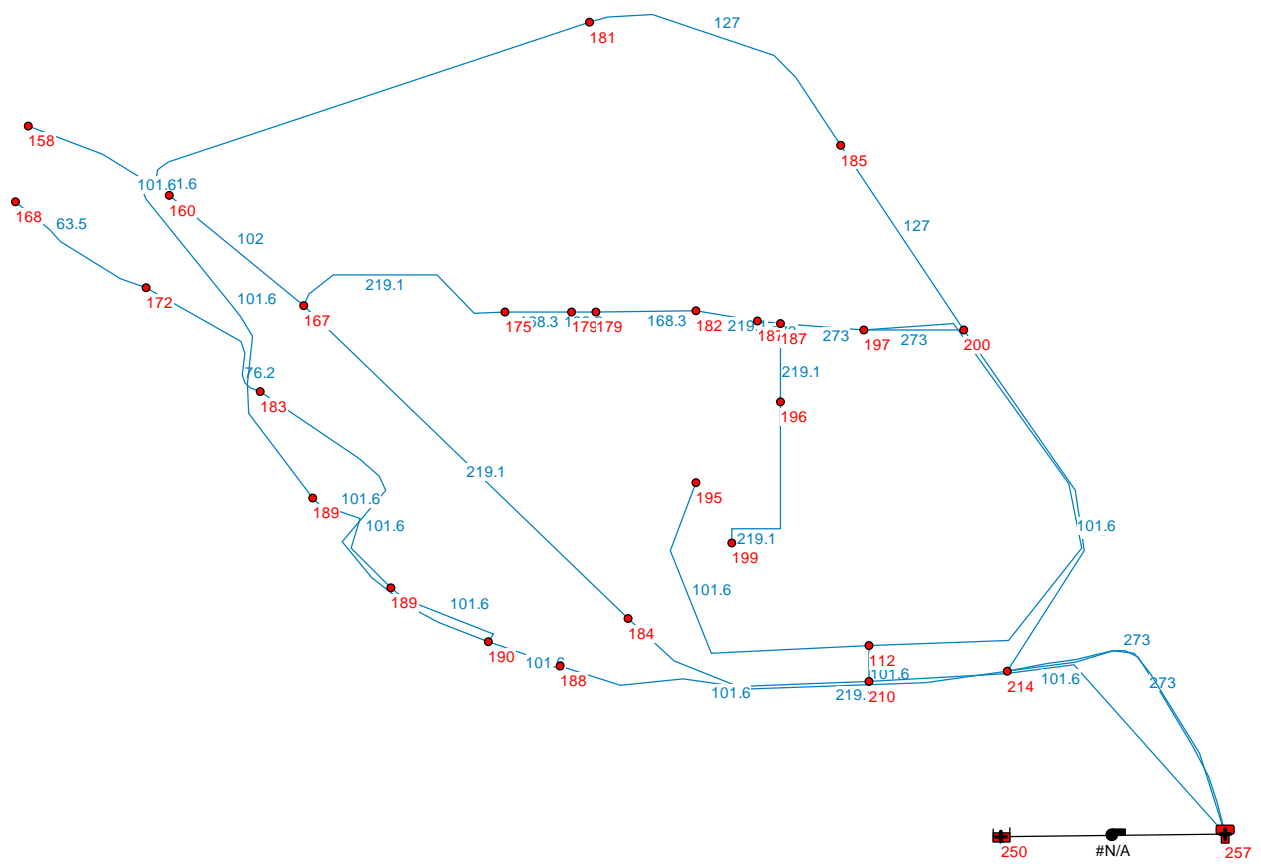


Οι από τις υποθέσεις που έγιναν οι κυριότερες ήταν: τα κτήρια Αντοχής Υλικών, Υδραυλική και Λιμενικών για τα οποία δεν υπήρχαν πληροφορίες (ΣΧΕΔΙΟ 1) είναι συνδεδεμένα στον παράπλευρο κλάδο άρδευσης, το υψόμετρο των σωλήνων είναι ένα μέτρο κάτω από το αντίστοιχο του εδάφους, ο συντελεστής τραχύτητας είναι 1 mm, οι αντλίες στις τρεις γεωτρήσεις ξεκινούν και σταματούν ταυτόχρονα, ο συντελεστής μείωσης του υπολειμματικού χλωρίου είναι 0.3 d^{-1} , στην δεξαμενή η συγκέντρωση του χλωρίου διατηρείται σταθερή (0.55 mg/L). Στην συνέχεια φαίνεται το σχηματοποιημένο μοντέλο του δικτύου, τα υψόμετρα των κόμβων και οι διάμετροι των κλάδων.

Σχήμα 7: Σχηματοποιημένο δίκτυο

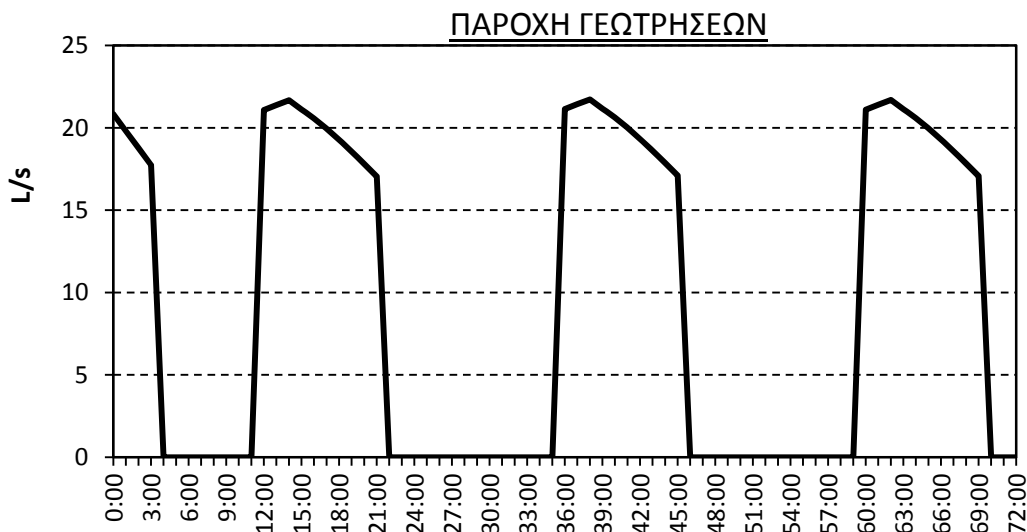


Σχήμα 8: Υψόμετρα κόμβων σε m (κόκκινο) και διάμετροι κλάδων σε mm (γαλάζιο).

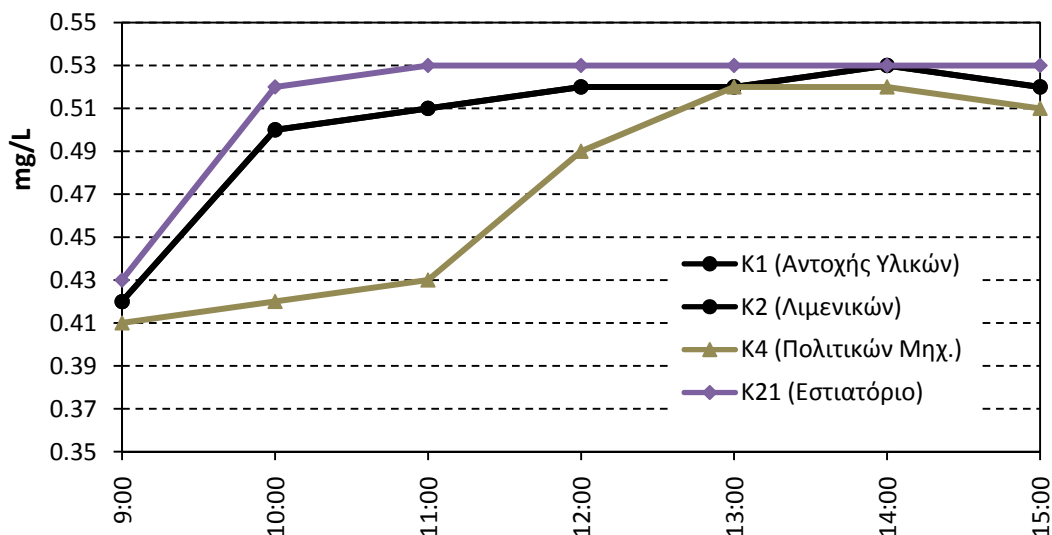


Τα αποτελέσματα της επίλυσης έδειξαν καθημερινή, συνεχόμενη άντληση, διάρκειας 11 ωρών (σχ.9) που θεωρείται λογική. Όσον αφορά στη συγκέντρωση του υπολειμματικού χλωρίου, τη τρίτη μέρα της προσομοίωσης και μεταξύ των ωρών 9 πμ. και 3 μμ (τις ώρες δηλαδή που είναι πιο πιθανών να μετρήθηκε το χλώριο για τις αναλύσεις), οι τιμές που προέκυψαν ήταν διαφορετικές από αυτές των αναλύσεων. Στα σημεία που οι αναλύσεις δείχνουν 0.55 mg/L, από την επίλυση προκύπτουν τιμές από 0.45 έως 0.53 mg/L. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι κόμβοι K1, K2, K4, K21 (σχ.10). Στον K1 οι αναλύσεις έδειξαν 0.40 mg/L που είναι χαμηλότερη από την πλειονότητα των δειγμάτων (0.55 mg/L). Ελάχιστα μικρότερη τιμή για τον K1, σε σχέση με άλλους κόμβους, δίνει και το μοντέλο (σχ.10). Για τον K2 που οι αναλύσεις έδειξαν 0 mg/L, προέκυψε τιμή ίση με τον K1 (αναμενόμενη λόγω της μικρής απόστασης των δυο κόμβων). Ο K21 είναι χαρακτηριστικός των πλείστων σημείων, με προκύπτουσα συγκέντρωση (0.53 mg/L) ελάχιστα μικρότερη από ότι στις αναλύσεις (0.55 mg/L). Τέλος, για τον κόμβο K4 προέκυψαν πολύ μικρές τιμές που δεν συνάδουν με την τιμή των αναλύσεων (0.55 mg/L).

Σχήμα 9: Προκύπτουσα παροχή άντλησης κατά την 3ημερη προσομοίωση.



Σχήμα 10: Συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου. Κόμβοι K1, K2, K4, K21 (τρίτη μέρα, ώρα 9:00-15:00).



Επιπλέον επιλύσεις του μοντέλου, για μεγαλύτερες καταναλώσεις και μικρότερους συντελεστές μείωσης του ελεύθερου χλωρίου, επιβεβαίωσαν τη μεγάλη διακύμανση που μπορεί να έχει το χλώριο. Δεν μπόρεσαν όμως να προσεγγίσουν ικανοποιητικά τις τιμές των αναλύσεων σε όλο τους το φάσμα, ούτε να εξηγήσουν τις πολύ χαμηλές τιμές που μετρήθηκαν στο εργ. Λιμενικών και στο Νέο κτήριο του εργ. Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας.

Από την πρώτη αυτή αξιολόγηση του δικτύου φάνηκε ότι ήταν απαραίτητη, σε πρώτο στάδιο, η λεπτομερής εξέταση της χάραξης του δικτύου, η ακριβέστερη εκτίμηση της κατανάλωσης, και η μέτρηση του συντελεστή μείωσης του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου. Σε δεύτερο στάδιο θα πρέπει να γίνει καταγραφή της λειτουργίας και ρύθμιση του μοντέλου. Προς αυτές τις κατευθύνσεις κινήθηκαν οι προσπάθειες όπως περιγράφεται στο επόμενο εδάφιο.

3.4 Συλλογή επιπλέον δεδομένων - Ρύθμιση.

Με σκοπό την βελτίωση του μοντέλου για να περιγράψει όσο το δυνατόν καλύτερα τη λειτουργία του δικτύου έγιναν οι εξής εργασίες:

1. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ

Για τη διόρθωση του σχεδίου αναζητήθηκαν τα σημεία εισόδου και διανομής του νερού ύδρευσης σε όλα τα κτήρια της Πολυτεχνειούπολης. Γνωρίζοντας το σημείο εισόδου μπορούμε να καταλάβουμε πως συνδέεται το κτήριο και να εξακριβώσουμε την πορεία του δικτύου. Η εργασία αυτή έγινε με την βοήθεια των Πολυδύναμων Μονάδων της κάθε σχολής, στα κτήρια της αρμοδιότητάς τους. Στα σημεία εισόδου μετριόταν η διάμετρος του σωλήνα και σημειωνόταν ενδεικτικά η τιμή της πίεσης όπου υπήρχε μανόμετρο. Άξιον προσοχής είναι ότι όλοι σχεδόν οι υπεύθυνοι στις μονάδες είχαν να αναφέρουν βλάβες που οφείλονταν σε άλατα λόγω της σκληρότητας του νερού. Περεταίρω διερεύνηση έγινε στο χώρο των πλατειών κέντρου με έλεγχο των σωληνώσεων εντός του βατού αγωγού και επιβεβαίωση των διαμέτρων. Η εργασία έγινε με τη βοήθεια του συντηρητή του δικτύου. Για το δίκτυο εκτός βατού αγωγού έγινε έλεγχος σε μικρό αριθμό φρεατίων.

Το διορθωμένο σχέδιο που προέκυψε συνοδεύει την εργασία (ΣΧΕΔΙΟ 2) . Έχει τίτλο “ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ (ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΟ)” και είναι σε κλίμακα 1:1000. Τα μήκη (L=...) που αναγράφονται στους αγωγούς αναφέρονται στο τμήμα του μεταξύ δύο δικλίδων. Οι διάμετροι των αγωγών δίνονται σε inches. Για τους κλάδους άρδευσης (πράσινο χρώμα) δεν δίνονται οι διάμετροι, παρά μόνο για τον τομέα 9 που χρησιμοποιείται και για ύδρευση. Τα τμήματα του δικτύου που πιθανών να είναι εκτός λειτουργίας έχουν μπλε χρώμα. Τέλος, για τα κτήρια Αντοχής Υλικών και Ηχοτεχνίας, δεν ήταν δυνατό να βρούμε πως συνδέονται στο υπόλοιπο δίκτυο. Οι δύο τελευταίες αβεβαιότητες μπορούν να διασαφηνιστούν με παρακολούθηση του χλωρίου κατά την καταγραφή της λειτουργίας του δικτύου, προσομοίωση για τις διάφορες εναλλακτικές διατάξεις που πιθανόν να εξυπηρετούν τις θέσεις αυτές και επιλογή εκείνης που προσεγγίζει καλύτερα την πραγματική λειτουργία.

2. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Όπως αναπτύχθηκε στο εδάφιο 3.1, για τη ρύθμιση του μοντέλου χρειάζεται να καταγράψει η λειτουργία του δικτύου για ένα χρονικό διάστημα. Η μετρηθήσα φόρτιση εισάγεται στο μοντέλο και γίνονται πολλαπλές επιλύσεις τροποποιώντας τις παραμέτρους του, έως ότου οι απόκλιση των αποτελεσμάτων του μοντέλου σε σχέση με τις μετρούμενες τιμές να είναι αποδεκτή. Για το δίκτυο ύδρευσης της Πολυτεχνειούπολης προγραμματίστηκε να μετριέται η πίεση σε τρία σημεία του δικτύου ανά δύο ώρες, η κατανάλωση ανά μισή ώρα, και η συγκέντρωση του ελεύθερου χλωρίου σε τέσσερα σημεία ανά δύο ώρες.

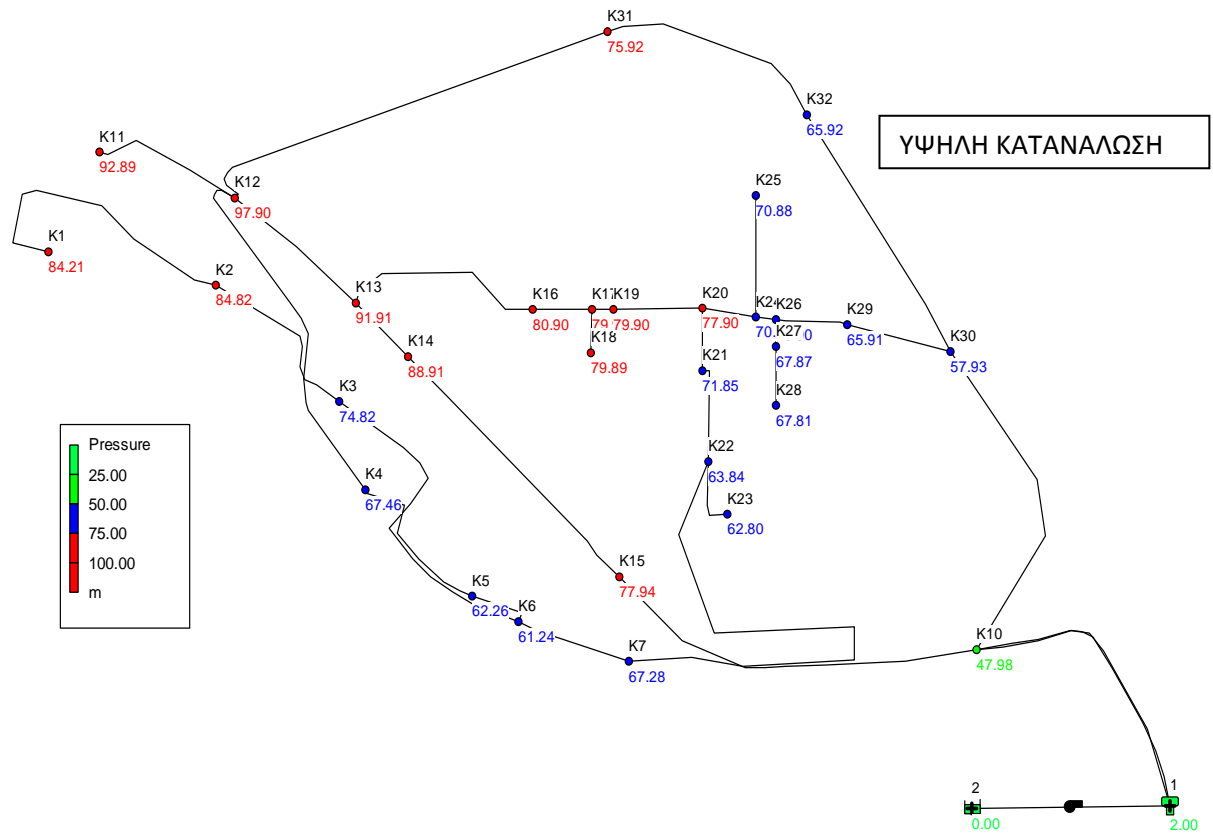
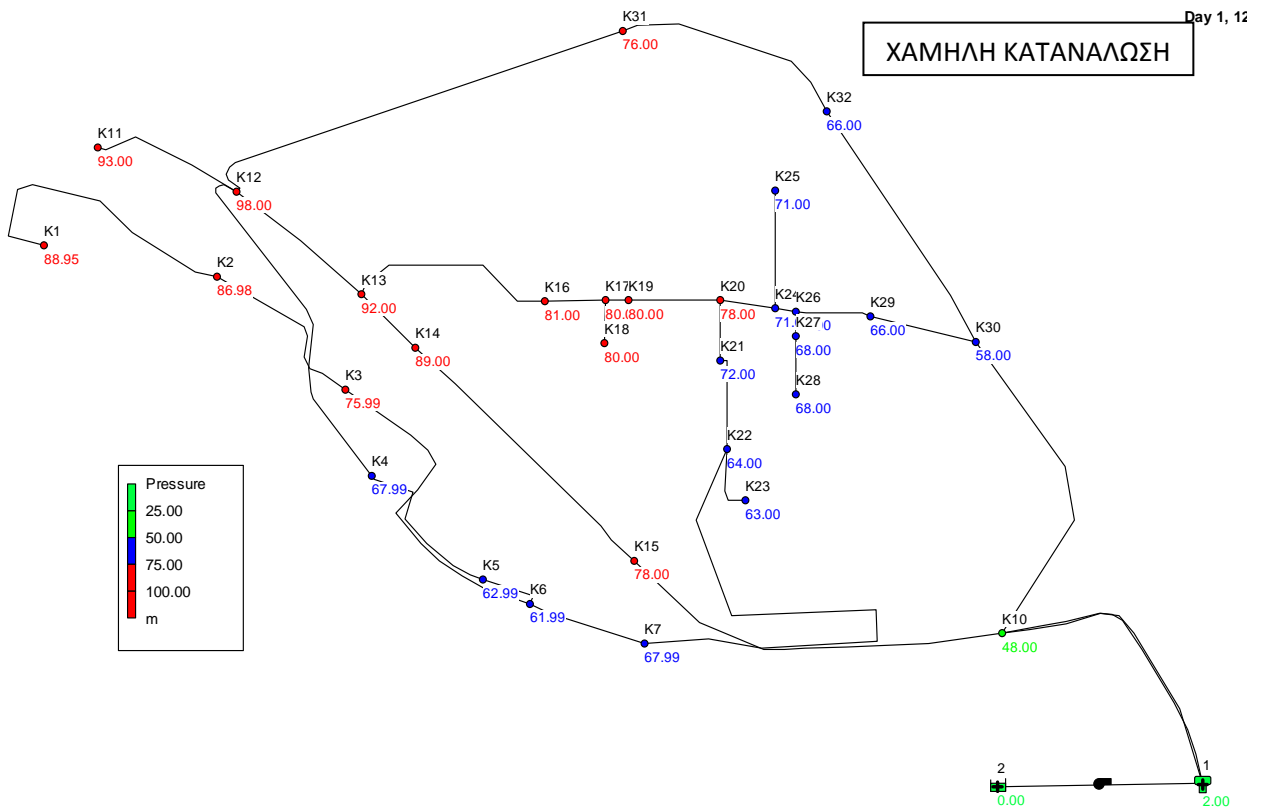
Μέτρηση πίεσης σε δύο κόμβους.

Η μέτρηση της πίεσης έπρεπε να γίνει στα σημεία του δικτύου που διαθέτουν μανόμετρα μιας και δεν ήταν δυνατή η εγκατάσταση μανομέτρων ειδικά για την εκτέλεση μετρήσεων. Η χρήση τέτοιων ειδικών μανομέτρων, που μπορούν να εγκατασταθούν σε κρουνοί ή άλλες συσκευές εξόδου νερού, θα ήταν περισσότερο από επιθυμητή, αφού τα διαθέσιμα στο δίκτυο μανόμετρα έχουν διαβάθμιση 0.2 atm ($\approx 2\text{m}$) που είναι πολύ μεγάλη για τις αλλαγές πιέσεων που αναμένονταν κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Επιπλέον της ακρίβειας, τα συγκεκριμένα μανόμετρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την εκτέλεση πρότυπων διαδικασιών μέτρησης του συντελεστή τραχύτητας. Η επιλογή των σημείων στα οποία μετρήθηκε η πίεση, έγινε μετά από επίλυση του δικτύου για δύο σενάρια μόνιμης κατάστασης, ένα χαμηλής κατανάλωσης και ένα υψηλής. Κατόπιν, έγινε σύγκριση της μεταβολής πίεσης στους κόμβους από το ένα σενάριο στο άλλο και επιλογή των σημείων με τη μεγαλύτερη (πιν.8). Από τους κόμβους που διαθέτουν μανόμετρο επιλέγηκαν οι K14, K18, K21. Επιλέγηκε ο K14 αντί του K25 που παρουσιάζει μεγαλύτερη μεταβολή για λόγους διασποράς των θέσεων. Οι μεταβολές που αναμένονται είναι πολύ μικρές(cm), ενώ η διαβάθμιση των μανομέτρων μεγάλη. Ως εκ τούτου η μέτρηση της πίεσης δεν θα συμβάλει στην ρύθμιση του μοντέλου. Παρακάτω φαίνονται: ο υπολογισμός της κατανάλωσης στους κόμβους του μοντέλου (πιν.7), οι πιέσεις στο δίκτυο (σχ.11) και η μεταβολή της πίεσης (πιν.8).

Πίνακας 7: Κατανάλωση στους κόμβους για τα δυο εξεταζόμενα σενάρια.

ΚΟΜΒΟΣ	ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΜΕΝΑ ΚΤΗΡΙΑ	ΕΜΒΑΔΟ (m ²)	Χαμηλή Κατανάλωση(L/s)	Υψηλή Κατανάλωση
K1	Αντοχής υλικών και Ηχοτεχνίας	24600	23.18	211.89
K2	Υδραυλικής και Λιμενικών	7650	7.21	65.89
K14	Πολιτικών Μηχανικών	9995	9.42	86.09
K5	Τοπογράφων	14932	14.07	128.61
K15	Νέα κτ. ΣΕΜΦΕ	3200	3.02	27.56
K11	Εργ. Αντισεισμικής Τεχνολογίας	1000	0.94	8.61
K18	Διοίκησης και Φυσικής (παλιό)	15543	14.65	133.88
K19	Βιβλιοθήκη και Θωμαΐδειο	10013	9.43	86.24
K20	κτ. Υπολογιστή και Νέα ΗΜΜΥ	7920	7.46	68.22
K21/K22	ΣΕΜΦΕ και Φυσικής (νέο)	19591	18.46	168.74
K25	Μηχανολόγων	35220	33.19	303.36
K26	Εστιατόριο	2000	1.88	17.23
K29	Εργ. Ναυπηγικής	7220	6.80	62.19
K28	Χημικών	37158	35.01	320.05
K23	Μεταλλ. Και Ηλεκτρολόγων	25800	24.31	222.22

Σχήμα 11 : Πιέσεις στους κόμβους όπως προκύπτουν από την επίλυση των εξεταζόμενων σεναρίων.



Πίνακας 8: Υπολογισμός διαφοράς πίεσης μεταξύ των δύο σεναρίων.

ΚΟΜΒΟΣ	Υψόμετρο m	ΣΕΝΑΡΙΟ ΧΑΜΗΛΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ		ΣΕΝΑΡΙΟ ΧΑΜΗΛΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ		ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΙΕΣΗΣ m
		Κατανάλωση LPS	Πίεση m	Κατανάλωση LPS	Πίεση m	
K1	169	2.9	88.95	26.48	84.21	4.74
K2	171	0.9	86.98	8.23	84.82	2.16
K3	182	0	75.99	0	74.82	1.17
K4	190	0	67.99	0	67.46	0.53
K5	195	1.76	62.99	16	62.26	0.73
K6	196	0	61.99	0	61.24	0.75
K7	190	0	67.99	0	67.28	0.71
K10	210	0	48	0	47.98	0.02
K11	165	0.12	93	1.07	92.89	0.11
K12	160	0	98	0	97.9	0.1
K13	166	0	92	0	91.91	0.09
K14	169	1.17	89	10.76	88.91	0.09
K15	180	0.37	78	3.44	77.94	0.06
K16	177	0	81	0	80.9	0.1
K17	178	0	80	0	79.9	0.1
K18	178	1.83	80	16.73	79.89	0.11
K19	178	1.18	80	10.78	79.9	0.1
K20	180	0.93	78	8.52	77.9	0.1
K21	186	1.2	72	11	71.85	0.15
K22	194	1.1	64	10	63.84	0.16
K23	195	3.1	63	27.8	62.8	0.2
K24	187	0	71	0	70.9	0.1
K25	187	4.14	71	37.9	70.88	0.12
K26	187	0.5	71	2.15	70.9	0.1
K27	190	0	68	0	67.87	0.13
K28	190	4.37	68	40	67.81	0.19
K29	192	0.85	66	7.77	65.91	0.09
K30	200	0	58	0	57.93	0.07
K31	182	0	76	0	75.92	0.08
K32	192	0	66	0	65.92	0.08
ΔΕΞΑΜΕΝΗ	256	-26.42	2	-238.63	2	

Μέτρηση της υδρευτικής κατανάλωσης ανά μισή ώρα.

Όπως προαναφέρθηκε, δεν υπάρχουν μετρητές κατανάλωσης νερού σε κανένα σημείο του δικτύου παρά μόνο στα αντλιοστάσια των τριών γεωτρήσεων. Για τον υπολογισμό της συνολικής κατανάλωσης στην Πολυτεχνειούπολη κατά την μέρα της διεξαγωγής των μετρήσεων, καταγράφονταν οι ενδείξεις των μετρητών στις γεωτρήσεις (εισοδή) ανά μία περίπου ώρα και η στάθμη της δεξαμενής (μεταβολή της αποθήκευσης) σε διάφορα χρονικά διαστήματα ανάλογα με τον ρυθμό διακύμανσής της. Η κατανάλωση προκύπτει ογκομετρικά. Οι υπολογισμοί φαίνονται στον αντίστοιχο πίνακα (σχ.22), για διαστήματα 5 και 15 λεπτών. Την ημέρα που έγιναν οι μετρήσεις, 15 Φεβρουαρίου 2008, δε χρησιμοποιήθηκε νερό για άρδευση και η γεώτρηση 2 ήταν εκτός λειτουργίας λόγω βλάβης.

Σχήμα 12: Για τη μέτρηση της στάθμης χρησιμοποιήθηκε πλαστικός διαφανής σωλήνας που συνδέθηκε στην δεξαμενή (συγκοινωνούντα δοχεία) και κατακόρυφη μετροταινία.



Μέτρηση του ελεύθερου χλωρίου σε τέσσερις κόμβους.

Η μέτρηση της συγκέντρωσης του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου είναι πολύ σημαντική για τη ρύθμιση του μοντέλου. Ως σημεία μέτρησης επιλέγονται εκείνα που αναμένεται να παρουσιάσουν τη μεγαλύτερη διακύμανση συγκέντρωσης στην διάρκεια της καταγραφής ή άλλα σημεία που εξυπηρετούν στη διασαφήνιση αβεβαιοτήτων για το δίκτυο (άγνωστες διάμετροι, ανακριβής χάραξη, κλειστές δικλίδες κ.α.). Δυστυχώς την ημέρα των μετρήσεων δεν κατέσται δυνατόν να έχουμε τη συσκευή μέτρησης του ελεύθερου χλωρίου. Για το λόγο αυτό, η καταγραφή της λειτουργίας του δικτύου κατέληξε ουσιαστικά σε μέτρηση της κατανάλωσης και της διακύμανσής της στο χρόνο, αφού όπως αναφέρθηκε η μεταβολή της πίεσης στα μανόμετρα δεν μπορεί να μας δώσει στοιχεία για τη λειτουργία του δικτύου (μικρές μεταβολές πίεσης (cm), μικρή ακρίβεια μέτρησης (m)). Τέλος, δε μετρήθηκε ούτε ο συντελεστής μείωσης του υπολειμματικού χλωρίου. Ακολουθούν οι μετρήσεις που έγιναν (πιν.9) και η επεξεργασία τους (πιν.10).

Πίνακας 9: Πίνακας Μετρήσεων (Παρασκευή, 15 Φεβρουαρίου 2008).

ΩΡΑ	ΓΕΩΤΡΗΣΗ 1	ΓΕΩΤΡΗΣΗ 2	ΓΕΩΤΡΗΣΗ 3	ΣΤΑΘΜΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΜΑΝΟΜΕΤΡΟ 1 (κτ. Διοίκησης)	ΜΑΝΟΜΕΤΡΟ 2 (Πολιτικών Μηχ.)
7:00		Εκτός λειτουργίας				
7:15						
7:30			7:43 35275		7:40 9.1	
7:45	7:45 87028			7:52 1.86		
8:00		Εκτός λειτουργίας	8:14 35292			
8:15	8:20 87043			8:28 1.71		
8:30			8:44 35308.2			8:40 8.2
8:45	8:48 87056			8:54 1.67		
9:00		Εκτός λειτουργίας				
9:15				9:27 1.63		
9:30	9:38 87078		9:42 35338.4			
9:45			9:42 stop	9:54 1.65		
10:00	10:01 stop	Εκτός λειτουργίας		10:04 1.67		
10:15				10:15 1.70		
10:30			10:32 35338.4	10:27 1.73	10:37 9.3	
10:45	10:45 87079			10:52 1.80		
11:00		Εκτός λειτουργίας		11:10 1.85		
11:15	11:22 87079		11:28 35338.4	11:22 1.89		
11:30						11:30 8.1
11:45						
12:00	12:02 87079	Εκτός λειτουργίας	12:00 35338.4	12:06 2.01		
12:15				12:15 2.04		
12:30				12:31 2.08		
12:45	12:49 87085		12:58 35338.4	12:40 2.11		
13:00		Εκτός λειτουργίας			13:02 9.5	
13:15				13:21 2.06		
13:30				13:32 2.05		
13:45						
14:00			14:11 35376			

14:15	12:15 87123			14:20 2.015			
14:30				14:40 2.07			
14:45			14:52 35393				
15:00	15:04 87145	Εκτός λειτουργίας		15:08 2.10			
15:15				15:28 2.14			
15:30	15:37 87160					15:43 9.3	
15:45							
16:00							
16:15							
16:30	16:39 87188		16:36 35393	16:43 2.20			
16:45							
17:00		Εκτός λειτουργίας					
17:15							
17:30	17:42 87215			17:34 35393			
17:45					17:48 2.24		
18:00							
19:00							
20:00							
21:00							
22:00							
6:00							
7:00	7:40 87487		7:58 35393	7:45 1.93			

**Δεν έγιναν μετρήσεις πίεσης στον κόμβο K21 (ΣΕΜΦΕ).

Πίνακας 10: Υπολογισμός της κατανάλωσης ανά 5 λεπτά, 15 λεπτά και μία ώρα.

ΩΡΑ	ΓΕΩΤΡΗΣΗ 1	ΓΕΩΤΡΗΣΗ 3	ΣΤΑΘΜΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ	ΑΝΑ 5 ΛΕΠΤΑ			ΑΝΑ 15 ΛΕΠΤΑ	ΑΝΑ ΩΡΑ
				ΕΙΣΡΟΗ	ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	ΕΚΡΟΗ	ΕΚΡΟΗ	ΕΚΡΟΗ
	m ³	m ³	M	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
7:45	87028.00	276.10	1.88					
7:50	87030.14	278.83	1.86	4.88	4.31	0.57		
7:55	87032.29	281.57	1.84	4.88	5.38	0.00		
8:00	87034.43	284.30	1.82	4.88	5.38	0.00	0.57	0.57
8:05	87036.57	287.03	1.80	4.88	5.38	0.00		
8:10	87038.71	289.77	1.79	4.88	5.38	0.00		
8:15	87040.86	292.50	1.77	4.88	5.38	0.00	0.00	

8:20	87043.00	295.20	1.75	4.84	5.38	0.00		
8:25	87045.33	297.90	1.73	5.03	5.38	0.00		
8:30	87047.67	300.60	1.71	5.03	5.38	0.00	0.00	
8:35	87050.00	303.30	1.70	5.03	2.30	2.74		
8:40	87052.33	306.00	1.69	5.03	2.30	2.74		
8:45	87054.67	308.70	1.69	5.03	2.30	2.74	8.21	
8:50	87057.00	311.30	1.68	4.93	2.30	2.64		
8:55	87059.20	313.90	1.67	4.80	2.30	2.50		
9:00	87061.40	316.50	1.66	4.80	1.91	2.89	8.02	16.23
9:05	87063.60	319.10	1.66	4.80	1.91	2.89		
9:10	87065.80	321.70	1.65	4.80	1.91	2.89		
9:15	87068.00	324.30	1.64	4.80	1.91	2.89	8.66	
9:20	87070.20	326.90	1.64	4.80	1.91	2.89		
9:25	87072.40	329.50	1.63	4.80	1.91	2.89		
9:30	87074.60	332.10	1.63	4.80	-0.96	5.76	11.53	
9:35	87076.80	334.70	1.64	4.80	-0.96	5.76		
9:40	87079.00	337.30	1.64	4.80	-0.96	5.76		
9:45	87079.00	338.40	1.64	1.10	-0.96	2.06	13.57	
9:50	87079.00	338.40	1.65	0.00	-0.96	0.96		
9:55	87079.00	338.40	1.65	0.00	-0.96	0.96		
10:00	87079.00	338.40	1.66	0.00	-2.87	2.87	4.79	38.54
10:05	87079.00	338.40	1.67	0.00	-2.87	2.87		
10:10	87079.00	338.40	1.69	0.00	-4.31	4.31		
10:15	87079.00	338.40	1.70	0.00	-4.31	4.31	11.49	
10:20	87079.00	338.40	1.71	0.00	-3.35	3.35		
10:25	87079.00	338.40	1.72	0.00	-3.35	3.35		
10:30	87079.00	338.40	1.74	0.00	-3.35	3.35	10.05	
10:35	87079.00	338.40	1.75	0.00	-3.59	3.59		
10:40	87079.00	338.40	1.77	0.00	-5.03	5.03		
10:45	87079.00	338.40	1.78	0.00	-5.03	5.03	13.64	
10:50	87079.00	338.40	1.80	0.00	-5.03	5.03		
10:55	87079.00	338.40	1.81	0.00	-3.59	3.59		
11:00	87079.00	338.40	1.83	0.00	-3.59	3.59	12.20	47.38
11:05	87079.00	338.40	1.84	0.00	-3.59	3.59		
11:10	87079.00	338.40	1.85	0.00	-3.59	3.59		
11:15	87079.00	338.40	1.87	0.00	-5.74	5.74	12.92	
11:20	87079.00	338.40	1.89	0.00	-5.74	5.74		
11:25	87079.00	338.40	1.90	0.00	-3.83	3.83		
11:30	87079.00	338.40	1.92	0.00	-3.83	3.83	13.40	
11:35	87079.00	338.40	1.93	0.00	-3.83	3.83		
11:40	87079.00	338.40	1.94	0.00	-3.83	3.83		
11:45	87079.00	338.40	1.96	0.00	-3.83	3.83	11.49	
11:50	87079.00	338.40	1.97	0.00	-3.83	3.83		
11:55	87079.00	338.40	1.98	0.00	-3.83	3.83		
12:00	87079.00	338.40	2.00	0.00	-3.83	3.83	11.49	49.30
12:05	87079.00	338.40	2.01	0.00	-3.83	3.83		

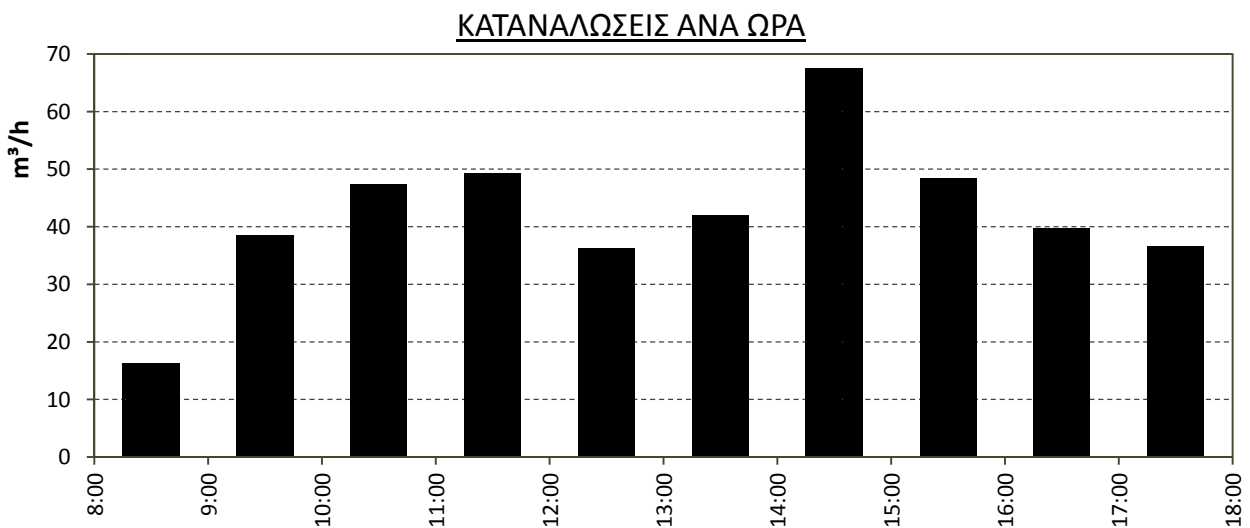
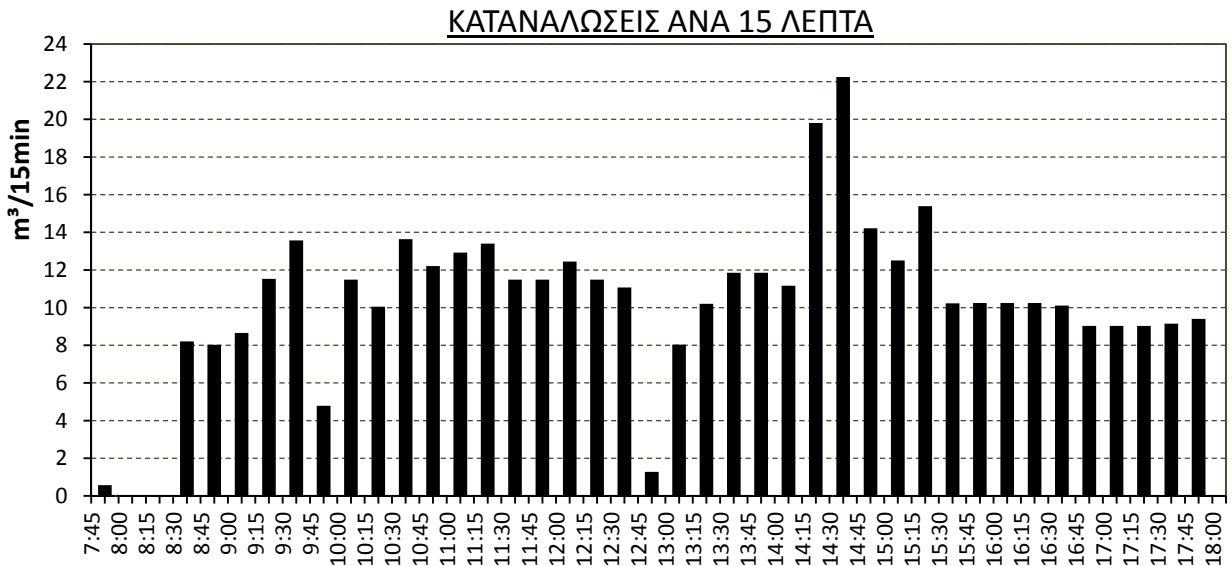
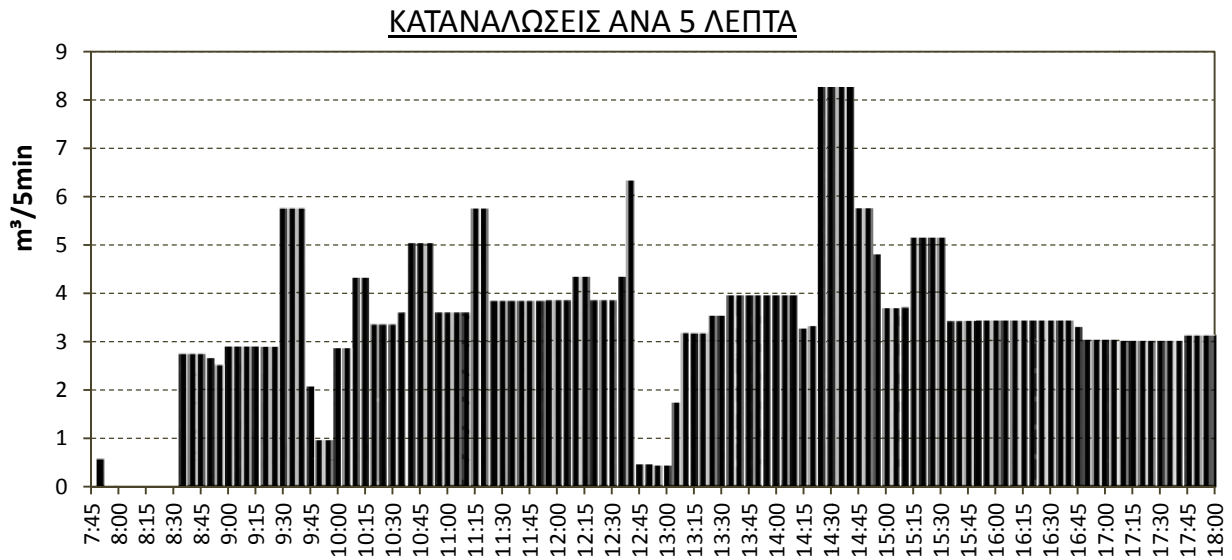
12:10	87079.00	338.40	2.03	0.00	-4.31	4.31		
12:15	87079.00	338.40	2.04	0.00	-4.31	4.31	12.44	
12:20	87079.00	338.40	2.05	0.00	-3.83	3.83		
12:25	87079.00	338.40	2.07	0.00	-3.83	3.83		
12:30	87079.00	338.40	2.08	0.00	-3.83	3.83	11.49	
12:35	87079.00	338.40	2.10	0.00	-4.31	4.31		
12:40	87081.00	338.40	2.11	2.00	-4.31	6.31		
12:45	87083.25	338.40	2.10	2.25	1.79	0.46	11.07	
12:50	87085.50	338.40	2.10	2.25	1.79	0.46		
12:55	87087.71	338.40	2.09	2.21	1.79	0.41		
13:00	87089.91	338.40	2.09	2.21	1.79	0.41	1.28	36.28
13:05	87092.12	339.70	2.08	3.51	1.79	1.71		
13:10	87094.32	342.45	2.07	4.96	1.79	3.16		
13:15	87096.53	345.20	2.07	4.96	1.79	3.16	8.03	
13:20	87098.74	347.95	2.06	4.96	1.79	3.16		
13:25	87100.94	350.70	2.06	4.96	1.44	3.52		
13:30	87103.15	353.45	2.05	4.96	1.44	3.52	10.20	
13:35	87105.35	356.20	2.05	4.96	1.01	3.95		
13:40	87107.56	358.95	2.04	4.96	1.01	3.95		
13:45	87109.76	361.70	2.04	4.96	1.01	3.95	11.85	
13:50	87111.97	364.45	2.04	4.96	1.01	3.95		
13:55	87114.18	367.20	2.03	4.96	1.01	3.95		
14:00	87116.38	369.95	2.03	4.96	1.01	3.95	11.85	41.94
14:05	87118.59	372.70	2.03	4.96	1.01	3.95		
14:10	87120.79	375.45	2.02	4.96	1.01	3.95		
14:15	87123.00	377.51	2.02	4.26	1.01	3.26	11.16	
14:20	87125.25	379.56	2.02	4.31	1.01	3.30		
14:25	87127.50	381.62	2.03	4.31	-3.95	8.25		
14:30	87129.75	383.68	2.04	4.31	-3.95	8.25	19.81	
14:35	87132.00	385.73	2.06	4.31	-3.95	8.25		
14:40	87134.25	387.79	2.07	4.31	-3.95	8.25		
14:45	87136.50	389.84	2.08	4.31	-1.44	5.74	22.25	
14:50	87138.75	391.90	2.08	4.31	-1.44	5.74		
14:55	87141.00	393.00	2.09	3.35	-1.44	4.79		
15:00	87143.25	393.00	2.09	2.25	-1.44	3.69	14.21	67.43
15:05	87145.50	393.00	2.10	2.25	-1.44	3.69		
15:10	87147.76	393.00	2.10	2.26	-1.44	3.69		
15:15	87150.01	393.00	2.11	2.26	-2.87	5.13	12.51	
15:20	87152.27	393.00	2.12	2.26	-2.87	5.13		
15:25	87154.53	393.00	2.13	2.26	-2.87	5.13		
15:30	87156.79	393.00	2.14	2.26	-2.87	5.13	15.39	
15:35	87159.04	393.00	2.14	2.26	-1.15	3.41		
15:40	87161.30	393.00	2.15	2.26	-1.15	3.41		
15:45	87163.57	393.00	2.15	2.27	-1.15	3.42	10.23	
15:50	87165.83	393.00	2.16	2.27	-1.15	3.42		
15:55	87168.10	393.00	2.16	2.27	-1.15	3.42		

16:00	87170.37	393.00	2.16	2.27	-1.15	3.42	10.25	48.37
16:05	87172.63	393.00	2.17	2.27	-1.15	3.42		
16:10	87174.90	393.00	2.17	2.27	-1.15	3.42		
16:15	87177.17	393.00	2.18	2.27	-1.15	3.42	10.25	
16:20	87179.43	393.00	2.18	2.27	-1.15	3.42		
16:25	87181.70	393.00	2.18	2.27	-1.15	3.42		
16:30	87183.97	393.00	2.19	2.27	-1.15	3.42	10.25	
16:35	87186.23	393.00	2.19	2.27	-1.15	3.42		
16:40	87188.50	393.00	2.20	2.27	-1.15	3.42		
16:45	87190.63	393.00	2.20	2.13	-1.15	3.27	10.10	
16:50	87192.75	393.00	2.20	2.13	-0.88	3.01		
16:55	87194.88	393.00	2.21	2.13	-0.88	3.01		
17:00	87197.00	393.00	2.21	2.13	-0.88	3.01	9.03	39.62
17:05	87199.13	393.00	2.21	2.13	-0.88	3.01		
17:10	87201.25	393.00	2.22	2.13	-0.88	3.01		
17:15	87203.38	393.00	2.22	2.13	-0.88	3.01	9.03	
17:20	87205.50	393.00	2.22	2.13	-0.88	3.01		
17:25	87207.63	393.00	2.22	2.13	-0.88	3.01		
17:30	87209.75	393.00	2.23	2.13	-0.88	3.01	9.03	
17:35	87211.88	393.00	2.23	2.13	-0.88	3.01		
17:40	87214.00	393.00	2.23	2.13	-0.88	3.01		
17:45	87216.25	393.00	2.24	2.25	-0.88	3.13	9.15	
17:50	87218.50	393.00	2.24	2.25	-0.88	3.13		
17:55	87220.75	393.00	2.24	2.25	-0.88	3.13		
18:00	87223.00	393.00	2.25	2.25	-0.88	3.13	9.40	36.60
					ANA ΩΡΑ		Συνολο7:40 έως 18:00	≈ 420
19:00	87241.86	393.00	2.22	18.86	6.48			12.37
20:00	87260.71	393.00	2.20	18.86	6.48			12.37
21:00	87279.57	393.00	2.18	18.86	6.48			12.37
22:00	87298.43	393.00	2.16	18.86	6.48			12.37
23:00	87317.29	393.00	2.13	18.86	6.48			12.37
0:00	87336.14	393.00	2.11	18.86	6.48			12.37
1:00	87355.00	393.00	2.09	18.86	6.48			12.37
2:00	87373.86	393.00	2.07	18.86	6.48			12.37
3:00	87392.71	393.00	2.04	18.86	6.48			12.37
4:00	87411.57	393.00	2.02	18.86	6.48			12.37
5:00	87430.43	393.00	2.00	18.86	6.48			12.37
6:00	87449.29	393.00	1.98	18.86	6.48			12.37
7:00	87468.14	393.00	1.95	18.86	6.48			12.37
7:40	87487.00	393.00	1.93	18.86	6.48			12.37

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ 24ώρου : 595.48

Μέση κατανάλωση: 6.89 L/s (24.81 m³/h)
Κατανάλωση αιχμής (5λεπτών): 30 L/s
Συντελεστής 5λεπτης αιχμής: 4
Κατανάλωση αιχμής (1 ώρας): 67.43 m³/h
Συντελεστής ωριαίας αιχμής: 2.7

Σχήμα 13: Διακύμανση της κατανάλωσης.



Οι μετρήσεις που έγιναν δεν επαρκούν για τη ρύθμιση παραμέτρων του μοντέλου όπως ο συντελεστής τραχύτητας ή οι καταναλώσεις στους κόμβους, ούτε και για τη διασαφήνιση των αβεβαιοτήτων. Βοήθησαν όμως στην εξαγωγή μιας πιο ρεαλιστικής μορφής για τη διακύμανση της κατανάλωσης (σχ.13), στην επιβεβαίωση της εκτίμησης της ημερήσιας κατανάλωσης και στην εξαγωγή ορθότερων κανόνων έναρξης/παύσης της άντλησης.

3.5 Τελικά συμπεράσματα – Προτάσεις.

Χρησιμοποιώντας τα νέα στοιχεία από τις εργασίες που περιγράφηκαν στο προηγούμενο εδάφιο προέκυψε ένα βελτιωμένο μοντέλο του δικτύου. Με αυτό μελετήθηκε η λειτουργία του δικτύου και διερευνήθηκαν ορισμένα διορθωτικά μέτρα. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε η υδραυλική επάρκεια του δικτύου, η επάρκεια της δεξαμενής, το υπολειμματικό χλώριο, και μελετήθηκαν μικρές αλλαγές στην χάραξη και τον προγραμματισμό των αντλήσεων που θα βελτιώσουν την ποιότητα. Για τα τμήματα του δικτύου που πιθανόν να είναι εκτός λειτουργίας (με γαλάζιο χρώμα στο ΣΧΕΔΙΟ 2), έγινε η παραδοχή ότι λειτουργούν κανονικά. Για το κτήριο Αντοχής Υλικών δοκιμάστηκαν δύο εναλλακτικοί τρόποι σύνδεσης του, με τον κόμβο K2 και με τον K4 (σωλήνας $\varnothing 110$ mm). Ο τελευταίος δίνει πιο λογικά αποτελέσματα για αυτό και χρησιμοποιείται στην συνέχεια (σχ.14).

(α) Υδραυλική επάρκεια

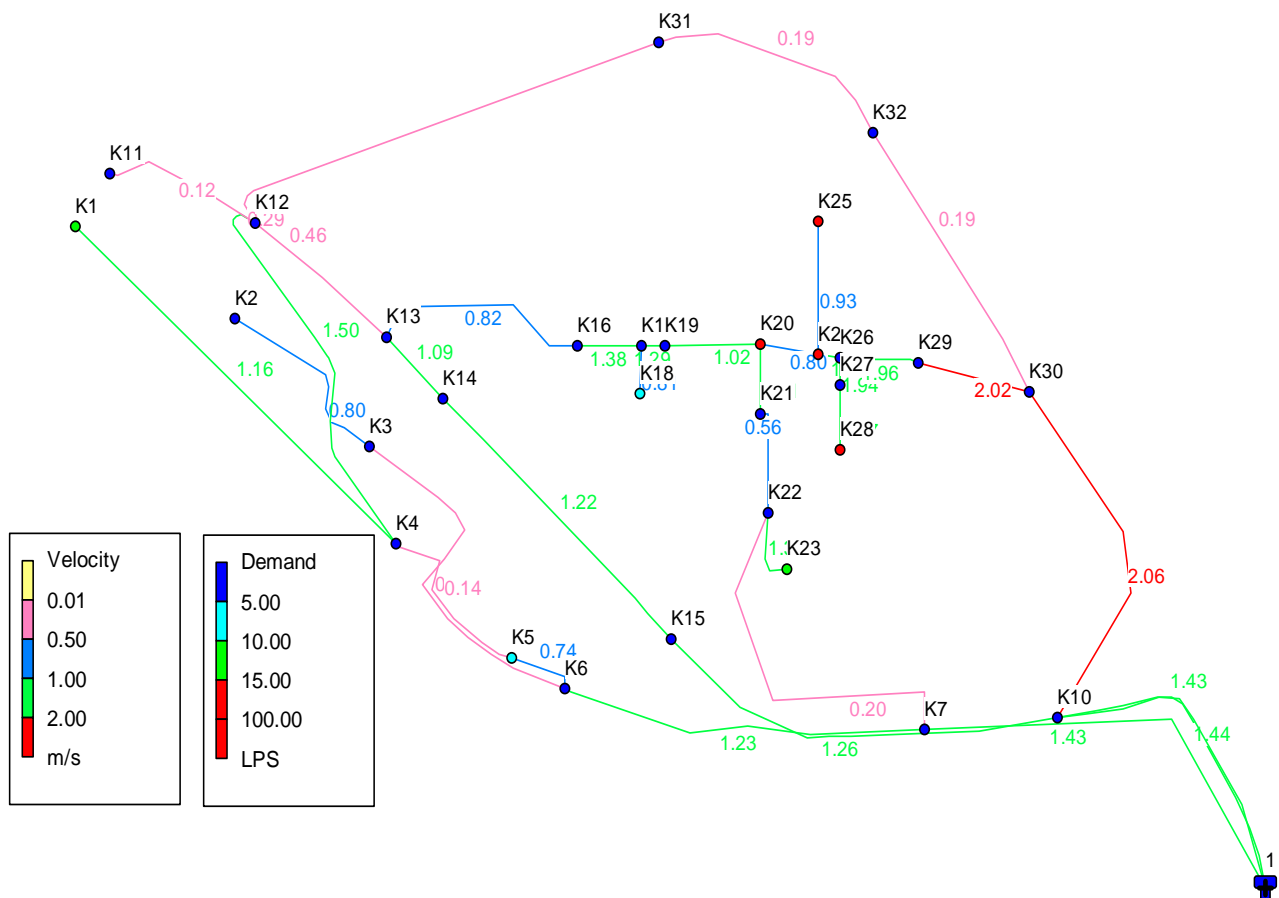
Η επάρκεια των σωληνώσεων του δικτύου ελέγχτηκε με προσομοίωση μόνιμης κατάστασης για διάφορα σενάρια. Θεωρήθηκε μια αρχική μέγιστη ημερήσια κατανάλωση που πολλαπλασιάστηκε με συντελεστή στιγμιαίας αιχμής $\lambda=5$ (λίγο πιο μεγάλος από το συντελεστή πεντάλεπτης αιχμής $\lambda=4$ που προέκυψε από τις μετρήσεις) και μοιράστηκε στους κόμβους (πιν.11). Με τη φόρτιση αυτή και ταυτόχρονη ενεργοποίηση 2 παραπλήσιων πυροσβεστικών κρουνών ($2 \cdot 5$ L/s) σε διάφορες θέσεις του δικτύου, γινόταν η επίλυση και εξεταζόταν αν η τιμή της πίεσης σε κάθε κόμβο είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη απαιτούμενη πίεση (πιν.11), όπως αυτή προκύπτει από το ύψος των εξυπηρετούμενων κτηρίων και την ελάχιστη πίεση για πυρόσβεση. Η διαδικασία επαναλαμβανόταν με συνεχώς αυξανόμενη κατανάλωση έως ότου βρεθεί η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση που να ικανοποιεί οριακά τις απαιτήσεις πίεσης. Η οριακή τιμή προέκυψε $1900 \text{ m}^3/\text{d}$ (22 L/s). Η παροχή αιχμής για την κατανάλωση αυτή είναι 110 L/s και οριακή πίεση προέκυψε στον κόμβο K1 μετά από ενεργοποίηση 2 κρουνών στον ίδιο κόμβο (σχ.15). Στο κέντρο της Πολυτεχνειούπολης για την ίδια παροχή αιχμής χρειάστηκε να ενεργοποιηθούν 15 έως 25 κρουνοί (ανάλογα με τη θέση τους) για να παρατηρηθούν οριακές συνθήκες στους κόμβους K23 και K28 (σχ.16). Η μέγιστη ταχύτητα δεν υπερέβη τα 2 m/s (σχ.14).

Η παροχή αιχμής που μπορεί εξυπηρετήσει το δίκτυο (110 L/s για μέγιστη ημερήσια κατανάλωση $1900 \text{ m}^3/\text{d}$), ακόμη και κατά την ακραία περίπτωση που αυτή συμπέσει με πυρκαγιά, είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη που μπορεί να

παρουσιαστεί στο δίκτυο 62 L/s (για μέγιστη ημερήσια κατανάλωση 1075 m³/d, εκτίμηση 2, κεφάλαιο 2). Επομένως, το δίκτυο είναι υδραυλικά επαρκές. Η παροχή άρδευσης (60 L/s για λειτουργία όλων των κλάδων) δεν προστέθηκε στην τιμή 62 L/s γιατί γίνεται το βράδυ. Ακόμη και στην περίπτωση που γίνει ταυτόχρονα με την αιχμή ύδρευσης δεν θα υπάρξει πρόβλημα (δεν γίνεται ταυτόχρονη ενεργοποίηση των κλάδων, βρίσκονται εκτός της περιοχής που διαμορφώνει το όριο των 110 L/s).

Η τιμή 1900 m³/d αντιστοιχεί σε μέση ημερήσια κατανάλωση 950 m³/d, λίγο μικρότερη από την εκτίμηση για το έτος 2048 (κεφάλαιο 4). Το όριο των 950 m³/d μπορεί να επεκταθεί κατά 25% με δύο μικρές αλλαγές: τη σύνδεση του K1 με τον K11 (Ø110), την κατάργηση του κλάδου K6-K3-K2 και τη σύνδεση του K2 στον κλάδο K1-K4. Με μεγαλύτερες αλλαγές, όπως την αντικατάσταση των σωληνώσεων του παλιότερου δικτύου (K6-K7-K12, K7-K1) με νέες διαμέτρου 200 mm η αύξηση μπορεί να φτάσει το 60%. Επίσης, παρατηρούμε ότι τα τμήμα που δεν είναι μέρος της μελέτης του υφιστάμενου δικτύου (κτ. Αντοχής Υλικών, Λιμενικών, Υδραυλικής και οι αγωγοί του παλιότερου δίκτυο) θέτουν το φράγμα της παροχής αιχμής πολύ πιο χαμηλά από αυτό που θα ήταν. Τελικό συμπέρασμα όμως, είναι ότι το υφιστάμενο δίκτυο θα είναι υδραυλικά επαρκές για πολλά ακόμη χρόνια.

Σχήμα 14: Σχηματική απεικόνιση του δικτύου. Κόμβοι και μέγιστες ταχύτητες για ενεργοποίηση 15 κρουσμών, στον ευρύτερο χώρο των πλατειών κέντρου (Q=110+15*5 L/s).



Πίνακας 11: Στοιχεία κόμβων μοντέλου.

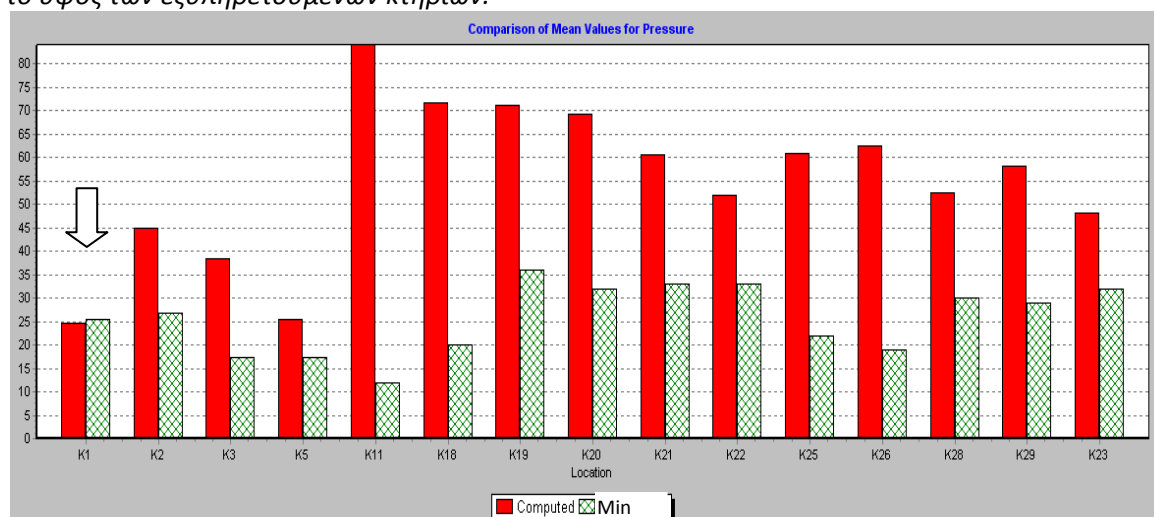
ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ: **1900 m³/d = 22 L/s** ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ: **109.9 L/s**

ΚΟΜΒΟΣ	Εξυπηρετούμενα κτήρια	Εμβαδό(m ²)	Κατανάλωση (L/s)	Απαιτούμενη πίεση στον κόμβο(m)
K1	Αντοχής υλικών και ηχοτεχνειας	24600	11.77	25.3
K2	Υδραυλικής + Λιμενικων	7650	3.66	26.7
K14	Πολιτικων Μηχανικών	9995	4.78	37.3
K5	Τοπογράφων	14932	7.14	17.3
K15	Νέα κτ. ΣΕΜΦΕ	3200	1.53	17
K11	Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχν.	1000	0.48	12
K18	Διοικηση+ Φυσικης (παλιό)	15543	7.44	20
K19	Βιβλιοθήκη +Θωμαιδιο	10013	4.79	36
K20	κτ. Υπολογιστή + Νεα ΗΜΜΥ	7920	3.79	32
K21/K22	ΣΕΜΦΕ+φυσικης νέο	19591	9.37	33
K25	Μηχανολόγων	35220	16.85	22
K26	Εστιατοριο	10000	4.78	19
K29	Ερ. Ναυπηγικής	7220	3.45	29
K28	Χημικών	37158	17.78	30
K23	Μεταλλ. Και Ηλεκτρολόγων	25800	12.34	32

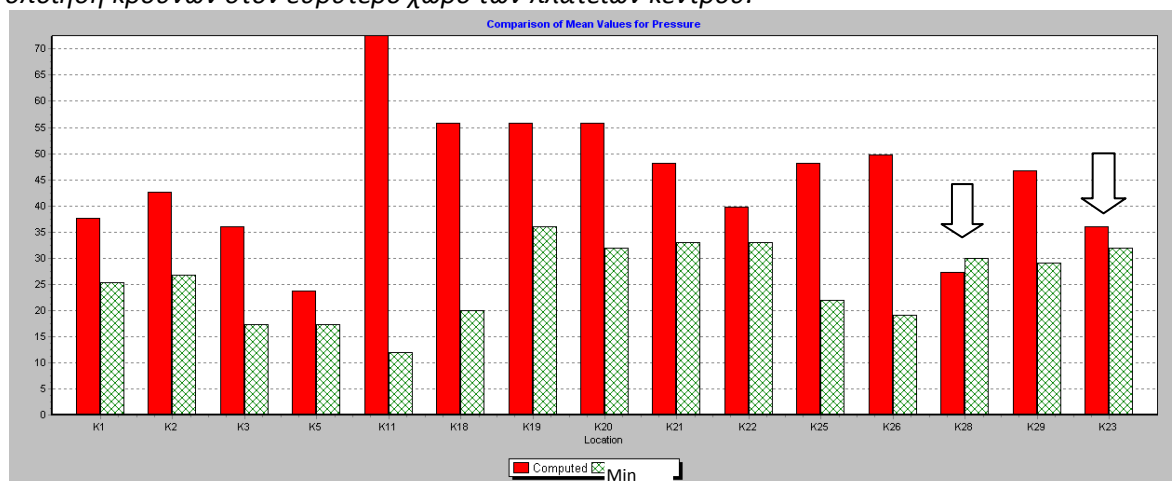
ΣΥΝΟΛΑ **229842** **109.95**

**Το ύψος των κτηρίων είναι ίσο με την διαφορά ΜΕΥ – (υψόμετρο του κόμβου που εξυπηρετεί το κτήριο ή το ΕΕΥ) που δίνεται στο ΣΧΕΔΙΟ 2 για κάθε κτήριο. Η ελάχιστη απαιτούμενη πίεση προκύπτει $P=H \cdot (1+1/3)+4$ (1 m απώλειες ανά 3 m ύψους), όπου H το ύψος του υψηλότερου κτηρίου που εξυπηρετεί ο κόμβος.

Σχήμα 15: Σύγκριση πίεσης στους κόμβους του μοντέλου ($Q=110+2 \cdot 5$ L/s). Με κόκκινο είναι η προκύπτουσα από την επίλυση και με διαγράμμιση η ελάχιστη απαιτούμενη με βάση το ύψος των εξυπηρετούμενων κτηρίων.



Σχήμα 16: Σύγκριση πίεσης στους κόμβους του μοντέλου ($Q=110+20 \cdot 5$ L/s). Ενεργοποίηση κρουών στον ευρύτερο χώρο των πλατειών κέντρου.



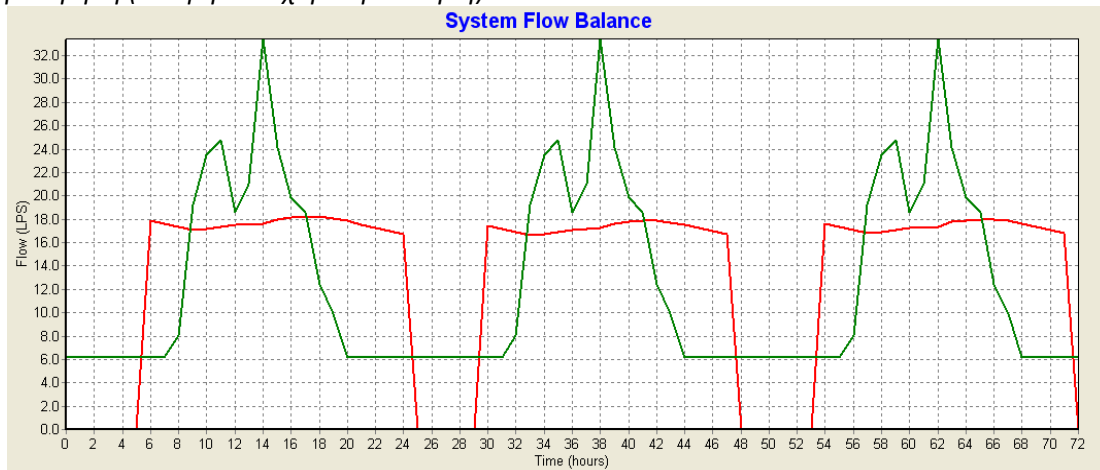
(β) Δεξαμενή δικτύου

Η επάρκεια της δεξαμενής ελέγχθηκε με προσομοίωση χρονικά μεταβαλλόμενης κατάστασης (extended-period) διάρκειας 72 ωρών. Η κατανάλωση ήταν και τις τρεις μέρες ίση με τη μέγιστη ημερήσια ($1070 \text{ m}^3/\text{d}$). Επιπλέον εκδηλώθηκε πυρκαγιά διάρκειας 3ωρών τη δεύτερη ημέρα με ενεργοποίηση 4 κρουών (20 L/s). Η διακύμανση της κατανάλωσης θεωρήθηκε όμοια με την μετρηθήσα (εδάφιο 3.3) για τις ώρες 8π.μ έως 6μ.μ και συμπληρώθηκε αναλόγως (σχ.17), ώστε ο συνολικός όγκος κατανάλωσης να ισούται με τον μέγιστο ημερήσιο (1070 m^3). Η δεξαμενή βρέθηκε επαρκής για αρκετούς από τους κανόνες έναρξης/παύσης της λειτουργίας των γεωτρήσεων. Αυτό οφείλεται στην σχετικά μεγάλη παροχή άντληση (21 L/s) και τον ικανοποιητικό όγκο της δεξαμενής. Η διακύμανση της στάθμης εξαρτάται από τον εφαρμοζόμενο κανόνα. Στην περίπτωση άντλησης μόνο από τις δύο γεωτρήσεις (14 L/s) λόγω βλάβης στην τρίτη, η δεξαμενή βρέθηκε και πάλι επαρκής (σχ.18). Τέλος η δεξαμενή, είναι σε μεγάλο υψόμετρο με αποτέλεσμα τα περισσότερα κτήρια να έχουν μειωτές πίεσης για να αποφευχθούν ζημιές στο εσωτερικό τους δίκτυο. Θα μπορούσε να είναι μέχρι και 25 m χαμηλότερά εξαλείφοντας την ανάγκη για μειωτές και κυρίως μειώνοντας το κόστος άντλησης.

Σχήμα 17: Διακύμανση κατανάλωσης (ωριαίοι συντελεστές).



Σχήμα 18: Εισροές/εκροές από την δεξαμενή για την περίπτωση βλάβης στην μία γεώτρηση (18ώρη συνεχόμενη άντληση).



(γ) Ποιότητα νερού

Όσον αναφορά στην ποιότητα του νερού, μελετήθηκε το ελεύθερο (υπολειμματικό) χλώριο και έγινε προσπάθεια να εξηγηθεί γιατί στις αναλύσεις (Ιανουάριος 2007) ορισμένες παράμετροι, σε κάποια σημεία του δικτύου, παρουσίασαν εντελώς διαφορετική τιμή από εκείνη που είχαν στο υπόλοιπο δίκτυο.

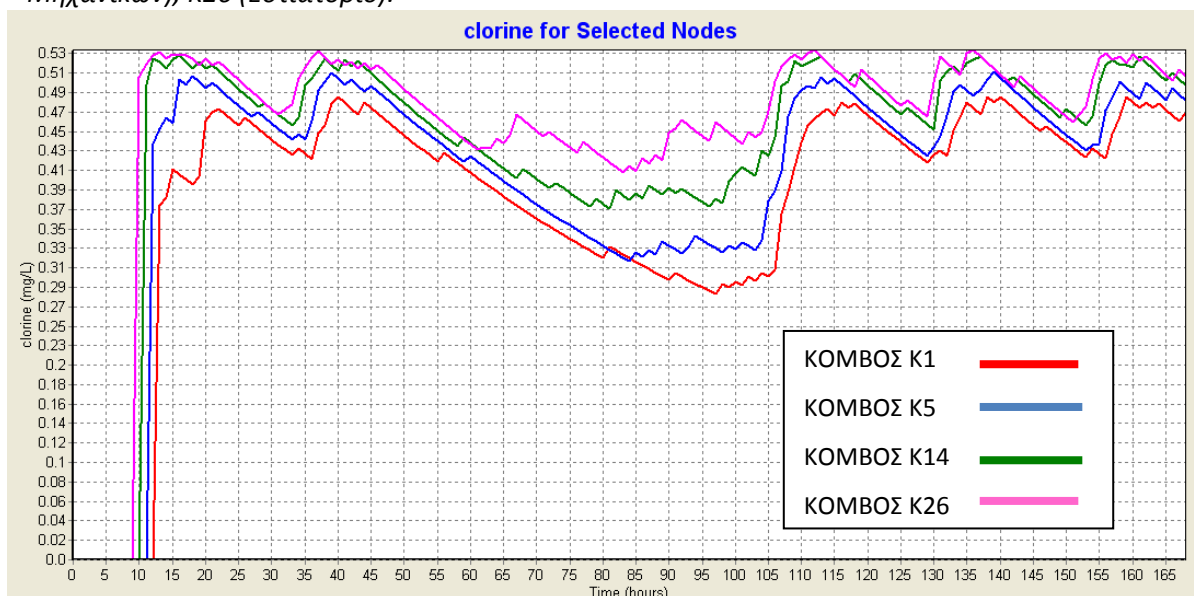
Για την προσομοίωση του υπολειμματικού χλωρίου το σενάριο είχε διάρκεια 1 εβδομάδα. Η κατανάλωση 24ώρου ήταν ίση με την μέση ημερήσια ($720 \text{ m}^3/\text{d}$) και θεωρήθηκε μειωμένη στο $\frac{1}{3}$ για τις μέρες του Σαββατοκύριακου (3^η και 4^η μέρα της προσομοίωσης). Η ημερήσια διακύμανση θεωρήθηκε ίδια με προηγουμένως (σχ.17) για τις εργάσιμες μέρες και πιο ομαλοποιημένη για τις μη εργάσιμες. Θεωρήθηκε επίσης μηδενική αρχική συγκέντρωση ελεύθερου χλωρίου στους κόμβους και σταθερή συγκέντρωση στην δεξαμενή (0.55 mg/L).

Από την επίλυση προκύπτει συγκέντρωση 0.43 έως 0.54 mg/L τις καθημερινές, ενώ τις μη εργάσιμες ημέρες πολύ μικρότερη (σχ.19). Αισθητή βελτίωση από την πρώτη προσομοίωση (εδάφιο 3.3) είχαμε για τους κόμβους Πολιτικών Μηχανικών και Μεταλλειολόγων. Οι μετρημένες συγκεντρώσεις κατά την ημέρα των αναλύσεων ήταν στην πλειοψηφία τους 0.55 mg/L . Αυτό έχει να κάνει εκτός των άλλων (συντελεστής μείωσης, αρχικές συγκεντρώσεις) με τις συνθήκες κατανάλωσης εκείνης της μέρας. Επιδρούν τόσο το μέγεθος της, όσο και η θέση της. Έτσι ακόμα και αν ήταν ψηλή η κατανάλωση σε μια περιοχή του δικτύου αυτό μπορεί να μην έχει επίδραση στο να κυκλοφορήσει νέο νερό από την δεξαμενή σε κάποια κοντινή ακτινωτή απόληξη (π.χ. εργ. Λιμενικών).

Για τη διατήρηση ανιχνεύσιμης ποσότητας υπολειμματικού χλωρίου σε όλα τα σημεία του δικτύου θα πρέπει οι κόμβοι χαμηλής κατανάλωσης να συνδεθούν με κόμβους μεγαλύτερης κατανάλωσης και να ελαχιστοποιηθούν οι ακτινωτές απολήξεις ώστε να μειωθεί ο χρόνος παραμονής του νερού στο δίκτυο. Οι αλλαγές που προτάθηκαν προηγουμένως για την αύξηση της υδραυλικής επάρκειας (σύνδεση του K1 με τον K11 ($\text{Ø}110$), την κατάργηση του κλάδου K6-K3-K2 και τη σύνδεση του K2 στον κλάδο K1-K4, αντικατάσταση των σωληνώσεων του

παλιότερου δικτύου (Κ6-Κ7-Κ12, Κ7-Κ1)) θα έχουν θετικά αποτελέσματα και στην ποιότητα (διατήρηση της συγκέντρωσης του χλωρίου, μείωση της θολότητας, όχι αύξηση του ψευδάργυρου και του αδιάλυτου σιδήρου).

Σχήμα 19: Διακύμανση της συγκέντρωσης του ελεύθερου χλωρίου κατά την προσο-
μοίωση για τους κόμβους: Κ1(Αντοχής Υλικών), Κ5(Τοπογράφων), Κ14 (Πολιτικών
Μηχανικών), Κ26 (Εστιατόριο).



Η πολύ υψηλή συγκέντρωση ψευδαργύρου που παρατηρήθηκε κατά τις αναλύσεις στο εργ. Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας (νέο κτήριο) μπορεί να αποδοθεί σε κακής ποιότητας σωλήνα που σε συνδυασμό με την υψηλή θερμοκρασία (ο σωλήνας είναι αναρτημένος εξωτερικά σε όλο το μήκος του και καλυμμένος με μαύρο θερμομονωτικό υλικό) επιτάχυναν την οξείδωση του γαλβανισμένου σωλήνα. Χωρίς όμως να αποκλείονται και άλλες πιο τοπικές αιτίες.

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του νερού στην Πολυτεχνειούπολη είναι η σχετικά μεγάλη σκληρότητα (21°dH), που σε συνδυασμό με την υψηλή θερμοκρασία του (στα όρια της επιτρεπόμενης), δημιουργεί ευκολότερα αποθέσεις με τα επακόλουθα προβλήματα για τις συσκευές που το χρησιμοποιούν. Εκεί που τα προβλήματα είναι έντονα μπορεί να χρησιμοποιηθούν αποσκληρωτές. Οριστική λύση μπορεί να δώσει η σύνδεση με το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙΝΟΥΡΓΙΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

4.1 Παραδοχές – Μεγέθη σχεδιασμού.

Το γεγονός ότι το νερό της Πολυτεχνειούπολης είναι υποδεέστερο από το νερό της ΕΥΔΑΠ οφείλεται κυρίως στην προέλευση του. Θα ήταν λοιπόν σκόπιμο, να διερευνηθούν πιθανές διατάξεις για την ύδρευση από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ. Μελετήθηκαν δύο εναλλακτικές λύσεις. Στην πρώτη λύση διαχωρίζεται η υποδομή του υφιστάμενου συστήματος και γίνονται οι απαραίτητες προσθήκες, ώστε να ανεξαρτητοποιηθεί η ύδρευση από την άρδευση, η οποία θα εξακολουθήσει να γίνεται από τις γεωτρήσεις. Στην δεύτερη λύση σχεδιάζεται καινούργιο δίκτυο για την ύδρευση της Πολυτεχνειούπολης με νερό από την ΕΥΔΑΠ, ενώ η άρδευση γίνεται με το υπάρχον δίκτυο. Η ωφέλιμη διάρκεια ζωής των δύο διατάξεων ορίστηκε στα 40 χρόνια.

Για τη σύνδεση με το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ έγιναν οι εξής υποθέσεις: η διαθέσιμη παροχή είναι 25 L/s με πίεση 30 m, μετά τη θέση σύνδεσης θα υπάρχει αντλιοστάσιο για την αύξηση της πίεσης, η θέση σύνδεσης για τη πρώτη λύση είναι μεταξύ του νέου Γυμναστηρίου και παλιών Εστιών και για τη δεύτερη λύση πλησίον του κτ. Τοπογράφων. Θεωρώντας ότι το ΕΜΠ εμπίπτει στην κατηγορία III (Δημόσια-ΟΤΑ) του τιμολογίου της ΕΥΔΑΠ η χρέωση είναι 0.9682 €/m³.

Οι νέοι αγωγοί που σχεδιάστηκαν, για την ανεξαρτητοποίηση των δικτύων στην Λύση 1, και για το καινούργιο δικτύου της Λύσης 2, αποτελούνται από σωλήνες HDPE. Οι σωλήνες αυτοί είναι οικονομικοί, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, είναι ανθεκτικοί στην οξείδωση και σε άλλες χημικές δράσεις, έχουν λείο τοίχωμα (μικρό k_s), μικρό λόγο βάρους/αντοχής, μειωμένες διαρροές (μεγάλα τεμάχια, λιγότερες και ανθεκτικότερες συνδέσεις), η θραύση τους δεν παρουσιάζει εκτεταμένες ρωγμές όπως στους σωλήνες από PVC, έχουν ελαστικότητα και καλή συμπεριφορά σε σεισμικές δράσεις. Θεωρήθηκε $k_s=0.1$ mm. Η μέγιστη στατική πίεση στο δίκτυο είναι 95 m, για αυτό επιλέγησαν σωλήνες PN12.5 που παρέχουν ένα περιθώριο ασφαλείας 30 m για την περίπτωση ανάπτυξης υπερπίεσεων λόγω υδραυλικού πλήγματος. Επιπλέον, για λόγους αξιολόγησης διαφόρων εναλλακτικών διατάξεων, χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες τιμές (πιν.12) για την προμήθεια σωλήνων, ενώ η

εγκατάσταση τους θεωρήθηκε ανεξάρτητη της διαμέτρου. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίστηκε με βάση το Τιμολόγιο Γ23 της ΔΕΗ.

Πίνακας 12: Κόστος σωλήνων (κλάση PN 12.5) και τιμολόγιο ΔΕΗ.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ		ΤΙΜΗ
Εξωτερική	Εσωτερική	€/m
90	76.6	7.57
110	93.8	11.35
125	106.6	14.68
140	119.4	17.71
160	136.4	23.16
180	153.4	29.37
200	170.6	36.01
225	191.8	45.71
250	213.2	56.33
280	238.8	76.19
315	268.6	96.71
355	302.8	122.38
400	341.2	165.93

(Πηγή: Fittings A.E)

ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ	ΤΙΜΗ
κανονική χρέωση (08:00-22:00)	0.177 €/kWh
μειωμένη χρέωση (22:00-08:00)	0.055 €/kWh

(Πηγή: www.dei.gr)

Η εκτίμηση της παροχής σχεδιασμού για τις δύο προτεινόμενες λύσεις έγινε με τους ακόλουθους συλλογισμούς. Η παρούσα (2008) μέση ημερήσια κατανάλωση στην Πολυτεχνειούπολη είναι 720 m³ και αντιστοιχεί σε αριθμό 9200 προπτυχιακών φοιτητών. Η μελλοντική μέση ημερήσια παροχή θα είναι ανάλογη του πληθυσμού των φοιτητών. Στην διάθεση μας υπήρχε ο αριθμός των προπτυχιακών, ενεργών (που κάνουν εγγραφή στην αρχή του έτους) φοιτητών, για τα έτη 1985, 1997, 2002-07. Με τα στοιχεία αυτά έγινε προβολή του πληθυσμού σε ορίζοντα 40 ετών. Πρώτα, υποθέτοντας ότι η αύξησή του περιγράφεται από τη λογιστική καμπύλη (Κουτσογιάννης, 1999), και ύστερα, υποθέτοντας γραμμική αύξηση του πληθυσμού και αμελώντας τις τιμές για τα έτη 1985, 1997. Τα αποτελέσματα από τις δύο παρεμβολές είναι:

Λογιστικό μοντέλο αύξησης

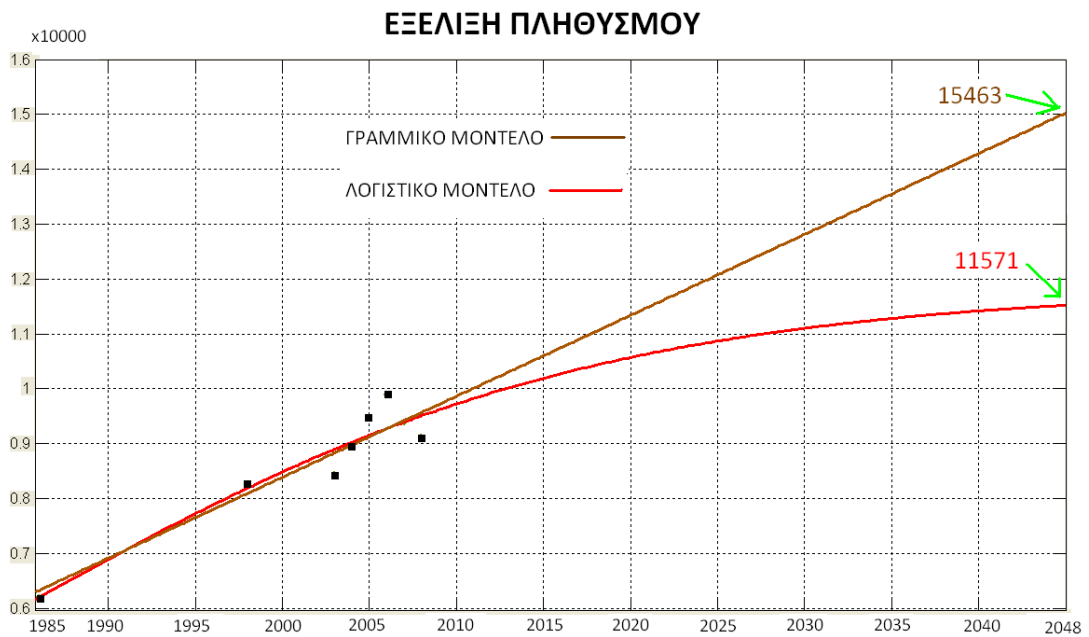
$$P_t = \frac{P_k}{(1+me^{-nt})} \quad P_k=11830 \quad m=0.966 \quad n=0.05974$$

Γραμμικό μοντέλο αύξησης

$$P_t = at + b \quad a=147.4 \quad b=8683$$

Ο αριθμός των φοιτητών για το έτος 2048 προέκυψε 11571 με την πρώτη προσέγγιση και 15463 με τη δεύτερη (σχ.20). Χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή τους, που είναι 13517. Με αναλογία, η μέση ημερήσια κατανάλωση για το 2048 υπολογίστηκε στα 1060 m³. Η μέγιστη ημερήσια παροχή για συντελεστή ημερήσιας αιχμής λ₁=2 είναι 2120 m³/d. Η μέγιστη στιγμιαία παροχή, που είναι και η παροχή σχεδιασμού του νέου δικτύου, για συντελεστή στιγμιαίας αιχμής λ=5 είναι 122 L/s.

Σχήμα 20: Γράφημα παρεμβολής: Φοιτητές(δεκάδες χιλιάδες) – Έτος

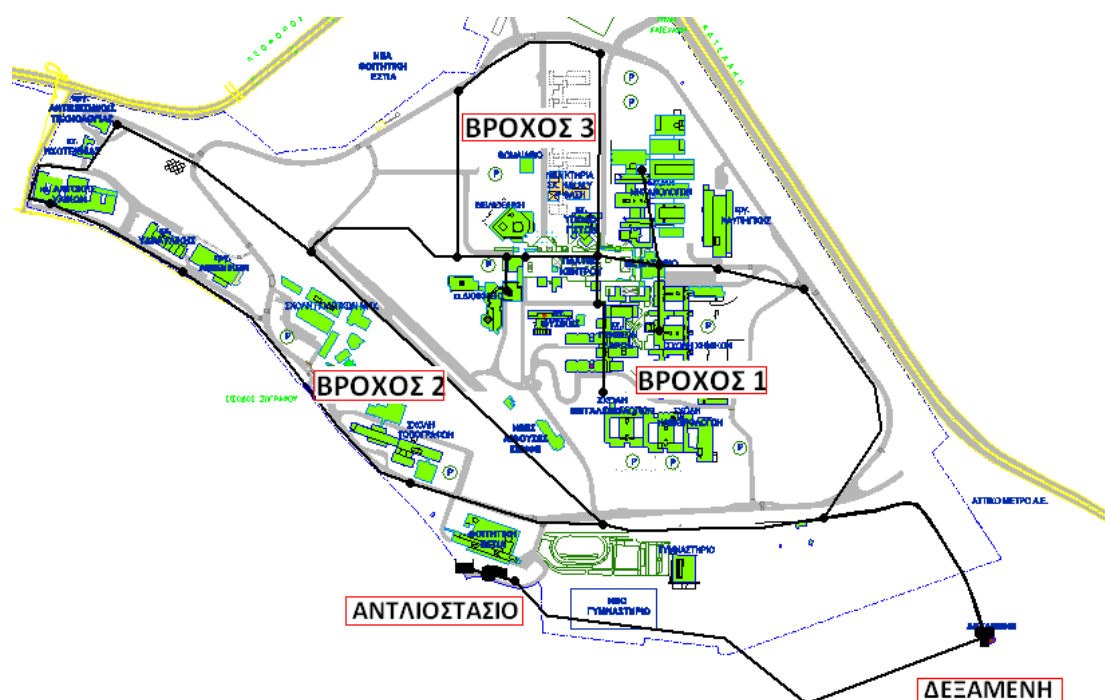


4.2 Λύση 1

Η πρώτη λύση είναι κατασκευαστικά πιο οικονομική και προσφέρεται για άμεση εφαρμογή. Έγινε διαχωρισμός του υφιστάμενου συστήματος, ώστε η ύδρευση να γίνεται με νερό από την ΕΥΔΑΠ και ανεξάρτητα από την άρδευση που θα γίνεται από τις γεωτρήσεις. Έτσι, αξιοποιείται κατά το μέγιστο η υπάρχουσα υποδομή ενώ παράλληλα απαλείφονται τα μειονεκτήματα που περιόριζαν την υδραυλική λειτουργία του δικτύου και αλλοίωναν την ποιότητα του νερού.

Στο σχήμα 21 φαίνεται η προτεινόμενη λύση. Ο βρόχος 1 εξυπηρετεί το μεγαλύτερο μέρος της Πολυτεχνειούπολης. Αποτελείται από το τμήμα του υφιστάμενου δικτύου που βρίσκεται εντός του βατού αγωγού. Επιλέγηκε να κρατηθεί για την ύδρευση για τους εξής λόγους: (1) ήδη εξυπηρετεί τα περισσότερα κτήρια της Πολυτεχνειούπολης, οπότε μειώνεται το συνολικό μήκος καινούργιων αγωγών και το κόστος για τις εργασίες σύνδεσης των κτηρίων με το δίκτυο (2) δεν παρουσιάζει προβλήματα υδραυλικής επαρκείας και υποβιβασμού της ποιότητας του νερού, τα οποία εντοπίζονται κυρίως στον νοτιοδυτικό βρόχο του υφιστάμενου δικτύου (3) οι κλάδοι άρδευσης που ξεκινούν από το βρόχο αυτό είναι μόνο δύο και είναι μικροί. Ο βρόχος 2 εξυπηρετεί τα υπόλοιπα κτήρια (Πολιτικών Μηχανικών, Τοπογράφων) και αποτελείται από καινούργιους σωλήνες. Ο βρόχος 3 σχεδιάστηκε για να καλύψει μελλοντικές ανάγκες και μπορεί να κατασκευαστεί σε μετέπειτα στάδιο. Οι κλάδοι του, K8-K20 και K12-K21 (σχ.22), βρίσκονται κατά το μισό περίπου μήκος τους εντός του βατού αγωγού. Η είσοδος του νερό στο νέο σύστημα ύδρευσης θα γίνεται από αντλιοστάσιο πλησίον των παλιών Εστιών (σχ.21), από το οποίο θα τροφοδοτείται η δεξαμενή (600 m³).

Σχήμα21: Σχηματοποιημένο μοντέλο του προτεινόμενου δικτύου ύδρευσης.



Η διαστασιολόγηση των νέων αγωγών (Βρόχοι 2 και 3) έγινε για την παροχή σχεδιασμού ($Q=122 \text{ L/s}$), που καταμερίστηκε στους κόμβους του δικτύου ανάλογα με το εμβαδό των εξυπηρετούμενων κτηρίων (πιν.13). Οι διάμετροι που προέκυψαν (σχ.22) μπορούν να μεταφέρουν την παροχή σχεδιασμού και επιπλέον παροχή 15 L/s για την εσωτερική πυρόσβεση των κτηρίων.

Πίνακας 13: Στοιχεία των κόμβων.

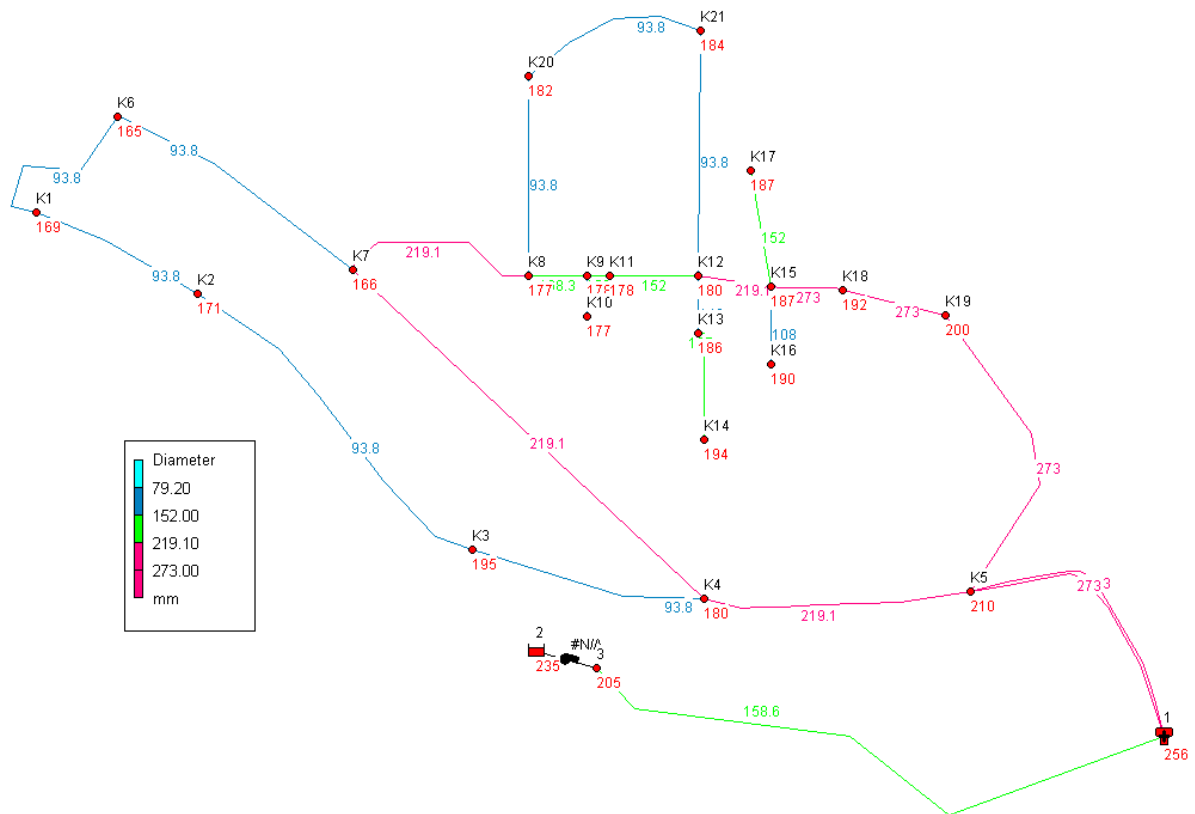
Μέγιστη Ημερήσια Κατανάλωση: $2120 \text{ m}^3/\text{d}$ (24.5 L/s)

Μέγιστη Στιγμαία Παροχή: 122.69 L/s

ΚΟΜΒΟΣ	ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΜΕΝΑ ΚΤΗΡΙΑ	ΕΜΒΑΔΟ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (L/s)	Υψόμετρο κόμβου (m)	Απαιτούμενη πίεση στον κόμβο (m)
K1	Αντοχής υλικών και ερ. Ηχοτεχνίας	24600	10.05	169	25.33
K2	Υδραυλικής και Λιμενικών	7700	3.14	171	26.67
K3	Τοπογράφων	14932	6.10	195	17.33
K4	Νέο κτ. ΣΕΜΦΕ και Γυμναστήριο	7165	2.93	185	29.00
K5	Κόμβος	0	0.00	210	0.00
K6	Ερ. Αντισεισμικής Τεχνολογίας	1000	0.41	165	12.00
K7	Πολιτικών Μηχανικών	9995	4.08	166	37.33
K8	Μελλοντική Ανοικοδόμηση	15000	6.13	177	20.00
K9	Κόμβος	0	0.00	178	0
K10	κτ. Διοίκησης, Φυσικής(παλιό)	15543	6.35	177	20.00
K11	Βιβλιοθήκη, Θωμαΐδειο	10013	4.09	178	36.00
K12	κτ. Υπολογιστή και Νέα ΗΜΜΥ	7920	3.23	180	30.67
K13	ΣΕΜΦΕ και Φυσικής (νέο)	19591	8.00	186	33.33

K14	Μεταλλειολογων και ΗΜΜΥ	34391	14.04	194	32.00
K15	Εστιατόριο	10000	4.08	187	18.67
K16	Χημικών	37158	15.17	190	25.33
K17	Μηχανολόγοι	35220	14.38	187	22.67
K18	Ερ. Ναυπηγικής	7220	2.95	192	17.33
K19	Κόμβος	0	0.00	200	0.00
K20	Μελλοντική Ανοικοδόμηση	28000	11.43	182	25.33
K21	Μελλοντικά ΗΜΜΥ	15000	6.13	184	25.33
ΣΥΝΟΛΑ		300448		122.69	

Σχήμα 22: Υψόμετρα στους κόμβους του δικτύου και διάμετροι των κλάδων.



Όσον αναφορά τις δεξαμενές του υφιστάμενου συστήματος, η νέα (600 m³) χρησιμοποιήθηκε στην ύδρευση και η παλιά (200 m³) στην άρδευση. Παρόλο που είναι δυνατό η άρδευση να γίνεται χωρίς τη χρήση της δεξαμενής, αυτή είναι απαραίτητη για την πυρόσβεση των χώρων πρασίνου μέσω των κρουνών που ήδη υπάρχουν και καλύπτουν ολόκληρη την έκταση της Πολυτεχνειούπολης.

Στον έλεγχο επάρκειας της δεξαμενής των 600 m³, με προσομοίωση διάρκειας 72 ωρών, παρουσιάστηκε πρόβλημα στην ρύθμιση της μέγιστης ημερήσια κατανάλωσης της 40ετίας (2120 m³/d). Ο όγκος της όμως είναι αρκετός για τη ρύθμιση της μέγιστης ημερήσια κατανάλωσης 20ετίας (1750 m³/d) με διατήρηση όγκου ασφαλείας 140 m³ που είναι επαρκής για την εσωτερική πυρόσβεση (20 L/s για 2 ώρες) ή

τη διακοπή της τροφοδοσίας για 1.5 ώρες. Με το πέρας της εικοσαετίας θα πρέπει να κατασκευαστεί επιπλέον δεξαμενή ή να εξασφαλιστεί μεγαλύτερη παροχή από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ. Για τον ορθότερο σχεδιασμό μιας πρόσθετης δεξαμενής στο μέλλον, κρίνεται απαραίτητη η εγκατάσταση μετρητών στην έξοδο της δεξαμενής προς το δίκτυο και καταγραφή του καταναλισκόμενου όγκου σε μηνιαία τουλάχιστο βάση.

Φυσικά, ο απαιτούμενος όγκος για τη ρύθμιση της κατανάλωσης εξαρτάται και από τους κανόνες που θα εφαρμοστούν για την έναρξη/παύση της άντλησης. Τα προαναφερθέντα συμπεράσματα προέκυψαν για τους πιο κάτω κανόνες, στους οποίους καταλήξαμε μετά από δοκιμές: (H=στάθμη δεξαμενής)

(1) Από 4μμ έως 3μμ (έναρξη για $H < 2$ m και παύση για $H > 2.6$ m)

(2) Από 3μμ έως 5μμ (έναρξη για $H < 2$ m και παύση για $H > 2.4$ m)

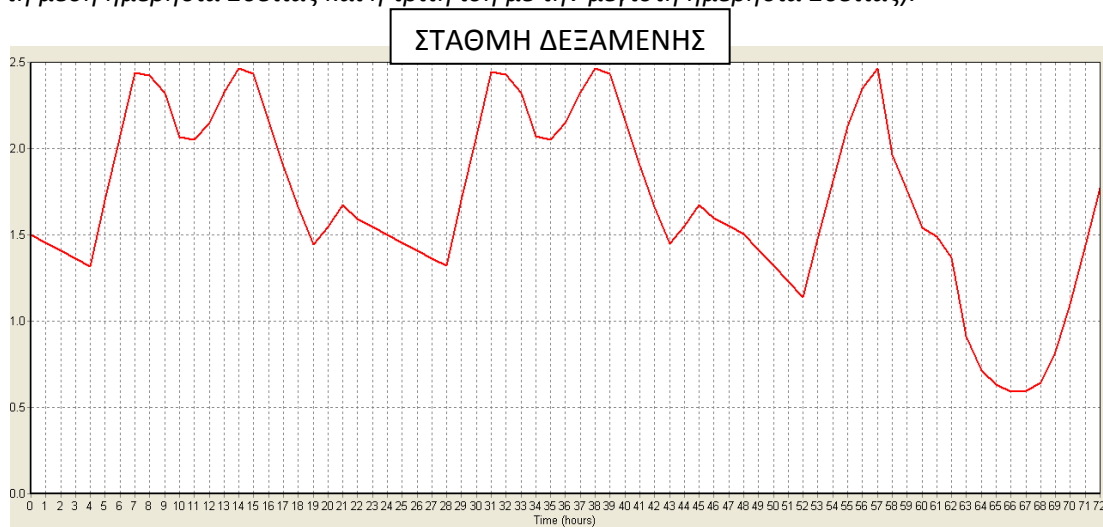
(3) Από 5μμ έως 11μμ (έναρξη για $H < 1.3$ m και παύση για $H > 1.7$ m)

(4) Από 11μμ έως 4μμ (έναρξη για $H < 1$ m και παύση για $H > 1.4$ m)

Με τους κανόνες αυτούς επιτυγχάνεται ικανοποιητική διακύμανση της στάθμης στην δεξαμενή (βελτίωση της ποιότητας) για τις μέρες με κατανάλωση κοντά στην μέση ημερήσια και αποθηκεύεται επαρκής όγκος ασφαλείας για τις μέρες με μεγάλη κατανάλωση (σχ.23). Επισημαίνεται ότι οι κανόνες πρέπει να αλλάζουν χρόνο με το χρόνο, εφόσον υπάρχει αισθητή αύξηση της ζήτησης, για να εξισορροπούνται κατά το βέλτιστο οι ανταγωνιστικές απαιτήσεις της διακύμανσης της στάθμης και του όγκου ασφαλείας. Πέρα από αυτά, με τους κατάλληλους κανόνες άντλησης μπορεί να επιτευχθεί μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας και εκμετάλλευση των νυκτερινών χρεώσεων της ΔΕΗ. Στην περίπτωση μας αυτό δεν ήταν δυνατό λόγω του μικρού όγκου της δεξαμενής.

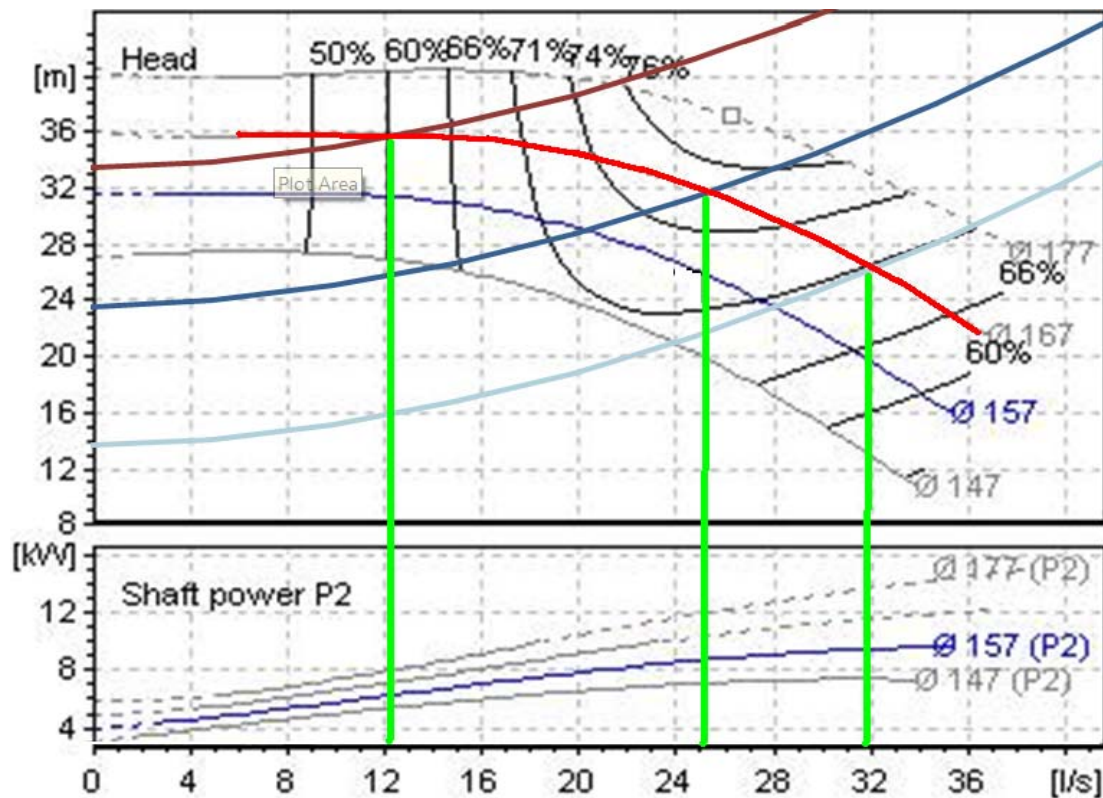
Θα ήταν επίσης χρήσιμο να λειτουργεί σύστημα για τη διατήρηση σταθερής συγκέντρωσης υπολειμματικού χλωρίου στην δεξαμενή και εφεδρική διάταξη για την τροφοδοσία της δεξαμενής από τις γεωτρήσεις σε περίπτωση σοβαρής βλάβης στο αντλιοστάσιο ή διακοπής της παροχής.

Σχήμα 23: Διακύμανση της στάθμης στην δεξαμενή (δύο πρώτες μέρες με κατανάλωση ίση με τη μέση ημερήσια 20ετίας και η τρίτη ίση με την μέγιστη ημερήσια 20ετίας).



Το σημείο τροφοδοσίας από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ βρίσκεται σε υψόμετρο 205 m (κόμβος 3) και η πίεση του νερού είναι 30 m. Για την επαύξηση της ενέργειάς του, ώστε να φτάνει στην δεξαμενή, χρησιμοποιήθηκε αντλία ITUR IL 65/160 (D=167mm) ισχύος 8.7 kW με συντελεστή απόδοσης 75% για Q=25 L και H=31.5 m (όσο το ύψος ενέργειας που πρέπει να δοθεί $h_{static}=23.6$ m, $h_L=7.9$ m). Στο σχήμα 24 φαίνεται η καμπύλη της αντλίας (κόκκινη, από <http://impeller.net/>), η καμπύλη του καταθλιπτικού αγωγού για πίεση από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ ίση με 30 m (μπλε) και οι καμπύλες του καταθλιπτικού αγωγού για μεταβολή ± 10 m της πίεσης από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ. Η μεταβολή αυτή αλλάζει το στατικό ύψος που πρέπει να υπερβληθεί από 23.6 m, σε 13.6 και 33.6 m, ενώ μειώνεται ο βαθμός απόδοσης από 75% σε 60% και 71% αντίστοιχα, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

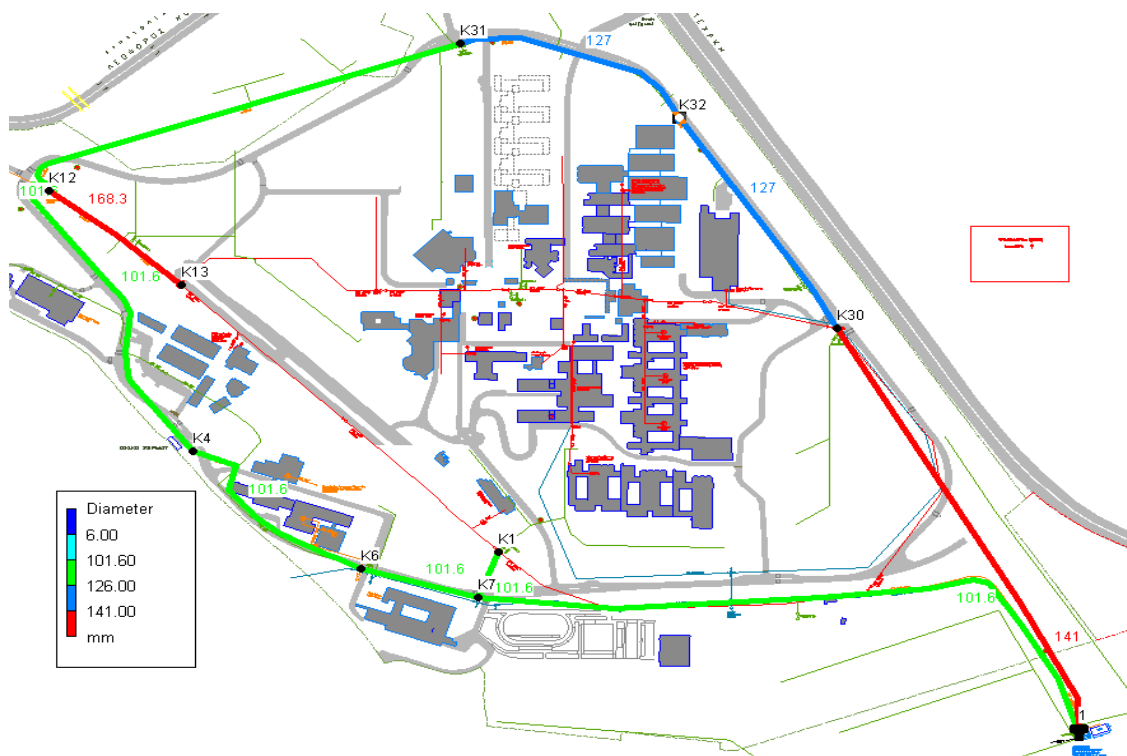
Σχήμα 24: Καμπύλες λειτουργίας της αντλίας ITUR IL 65/160 (D=167mm) και του κατάθλιπτικού αγωγού.



Για το δίκτυο άρδευσης προτείνεται η διάταξη του σχήματος 25. Αποτελείται από τμήματα του υπάρχοντος δικτύου με εξαίρεση τον αγωγό από τη δεξαμενή στον κόμβο K30, μήκους 640 m και διαμέτρου 141 mm. Διαστασιολογήθηκε ώστε να μπορούν να λειτουργούν μαζί οποιοδήποτε τρεις κλάδοι άρδευσης με ταυτόχρονη ενεργοποίηση δύο πυροσβεστικών κρουνών. Χωρίς τον νέο αυτό αγωγό, η παροχή (με ικανοποιητική πίεση) περιοριζόταν στον ένα κλάδο άρδευσης συν ένα κρουνό, και δεν υπήρχε εναλλακτική διαδρομή υδροδότησης σε περίπτωση βλάβης. Οι κλάδοι άρδευσης 3 και 8 που ξεκινούσαν από θέσεις του βρόχου 1 (εντός του βατού αγωγού), ο οποίος εντάχτηκε στην ύδρευση, συνδέθηκαν με το δίκτυο άρδευσης στους κόμβους K30 και K7 (με τον κλάδο K1-K7) αντίστοιχα. Τέλος, για την άρτια λειτουργία της άρδευσης θα πρέπει να αντικατασταθούν τα φθαρμένα στοιχεία της

εγκατάστασης τηλεχειρισμού των ηλεκτροβάννων και να γίνουν οι απαραίτητες προσθήκες για την επαναλειτουργία της.

Σχήμα 25:Προτεινόμενη διάταξη δικτύου άρδευσης και διάμετροι.



4.3 Λύση 2

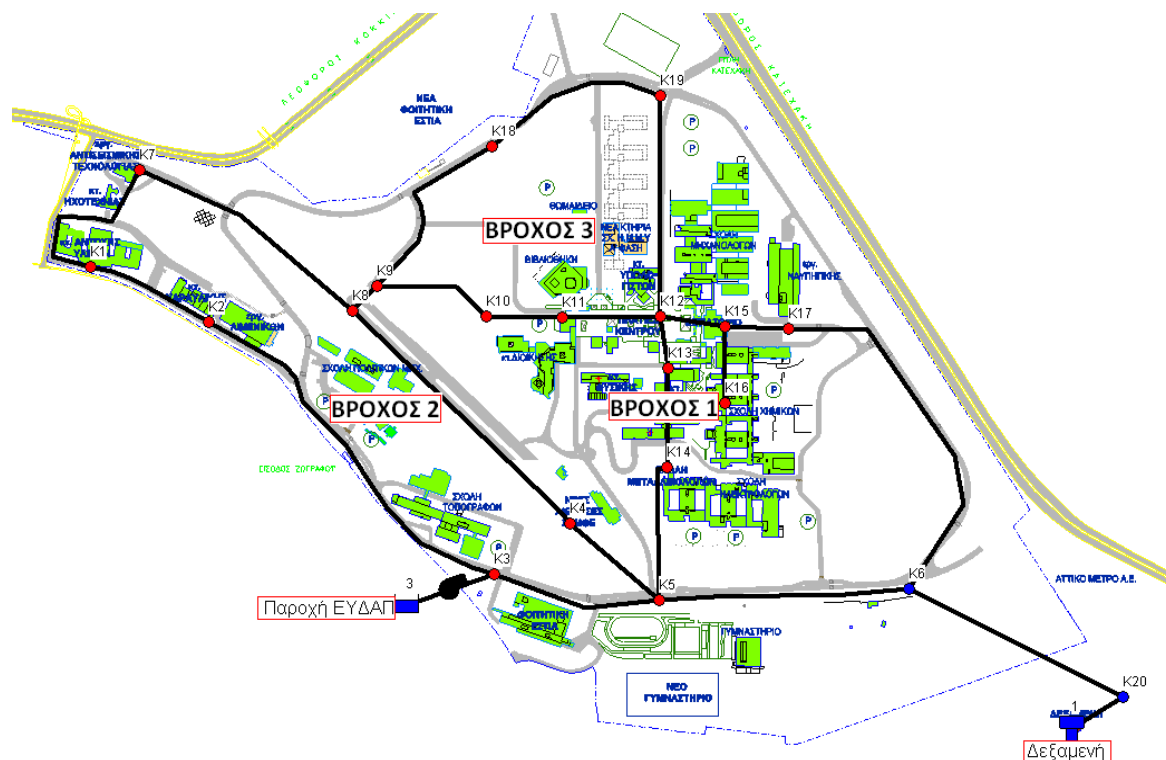
Προτείνεται η κατασκευή εξολοκλήρου καινούργιου δικτύου για την ύδρευση με νερό από την ΕΥΔΑΠ. Η άρδευση και η πυρόσβεση (στους περισσότερους χώρους) θα γίνονται με το υφιστάμενο δίκτυο και νερό από τις γεωτρήσεις. Όπως και στην Λύση 1 η δεξαμενή των 600 m³ εντάσσεται στην ύδρευση, ενώ η παλιά δεξαμενή των 200 m³ στη άρδευση και πυρόσβεση.

Χάραξη – διαστασιολόγηση αγωγών.

Στην νέα χάραξη δεν υπάρχουν ακτινωτές απολήξεις. Παρέχονται έτσι εναλλακτικές διαδρομές τροφοδοσίας των κόμβων σε περίπτωση βλάβης ενός αγωγού, προστασία έναντι υδραυλικού πλήγματος και καλύτερη ποιότητα νερού. Επίσης, έγινε προσπάθεια οι αγωγοί να διέρχονται όσο το δυνατό πλησιέστερα από το παρόν σημείο εισόδου του νερού στο κάθε κτήριο, για την ευκολότερη σύνδεσή του.

Στο σχήμα 26 φαίνεται το σχηματοποιημένο μοντέλο του καινούργιου δικτύου. Διακρίνονται: οι κόμβοι, οι βρόχοι, το σημείο παροχής από την ΕΥΔΑΠ και η δεξαμενή.

Σχήμα 26: Σχηματοποιημένο μοντέλο του καινούργιου δικτύου.



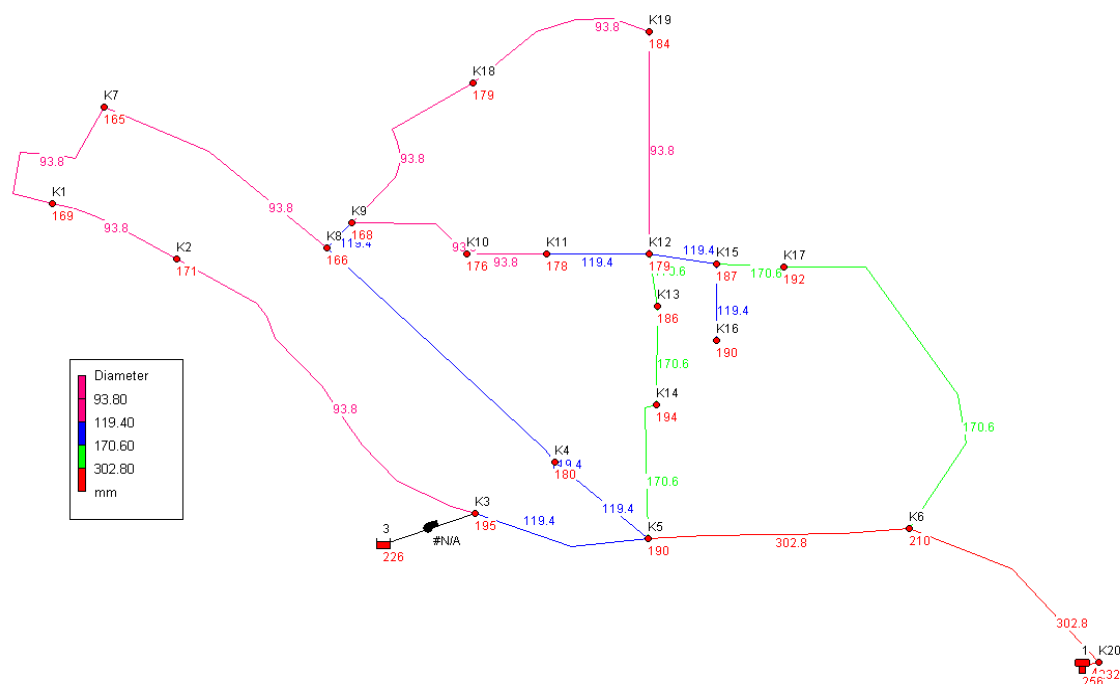
Ο Βρόχος 1 είναι ο κύριος βρόχος του δικτύου και εξυπηρετεί το μεγαλύτερο μέρος της Πολυτεχνειούπολης. Βρίσκεται εντός του βατού αγωγού εξου και η ταύτιση στη χάραξη. Ο Βρόχος 1 τελικώς διαχωρίστηκε σε δύο μικρότερους 1α και 1β (σύνδεση κόμβου K14 και K15), με αποτέλεσμα τη μείωση των διαμέτρων του και τη βελτίωση της ποιότητας του νερού. Ο Βρόχος 2 βρίσκεται δυτικά του Βρόχου 1 εξυπηρετώντας τα κτήρια των σχολών Πολιτικών Μηχανικών και Τοπογράφων. Ο Βρόχος 3 είναι στα βόρεια του Βρόχου 1 και σχεδιάστηκε για να καλύψει τη μελλοντική ανοικοδόμηση.

Η διαστασιολόγηση του δικτύου έγινε με πολλαπλές επιλύσεις για μόνιμη κατάσταση και παροχή $Q=122$ L/s, ίση με την παροχή αιχμής 40ετίας, που μοιράστηκε στους κόμβους ανάλογα με το εμβαδό των κτηρίων που εξυπηρετούν. Ελέγχθηκαν οι περιπτώσεις τροφοδοσίας μόνο από την δεξαμενή και ταυτόχρονης τροφοδοσίας από το αντλιοστάσιο και τη δεξαμενή. Για κάθε περίπτωση θεωρήθηκε ενεργοποίηση δύο πυροσβεστικών κρουστών ($2 \cdot 5$ L/s) σε διάφορες θέσεις του δικτύου. Οι διάμετροι (σχ.27) επιλέχθηκαν ώστε να ικανοποιούνται οι ελάχιστες απαιτούμενες πιέσεις στους κόμβους (πιν.13) για τα αναφερθέντα σενάρια, και οι μέγιστες ταχύτητες να είναι περί τα 2 m/s. Επιπλέον, αυτές οι διάμετροι δίνουν ικανοποιητικές πιέσεις στους κόμβους σε περίπτωση βλάβης κάποιου από τους κλάδους K8-K4, K13-K14, K6-K17 με τις ταχύτητες όμως να φτάνουν μέχρι και 3.5 m/s.

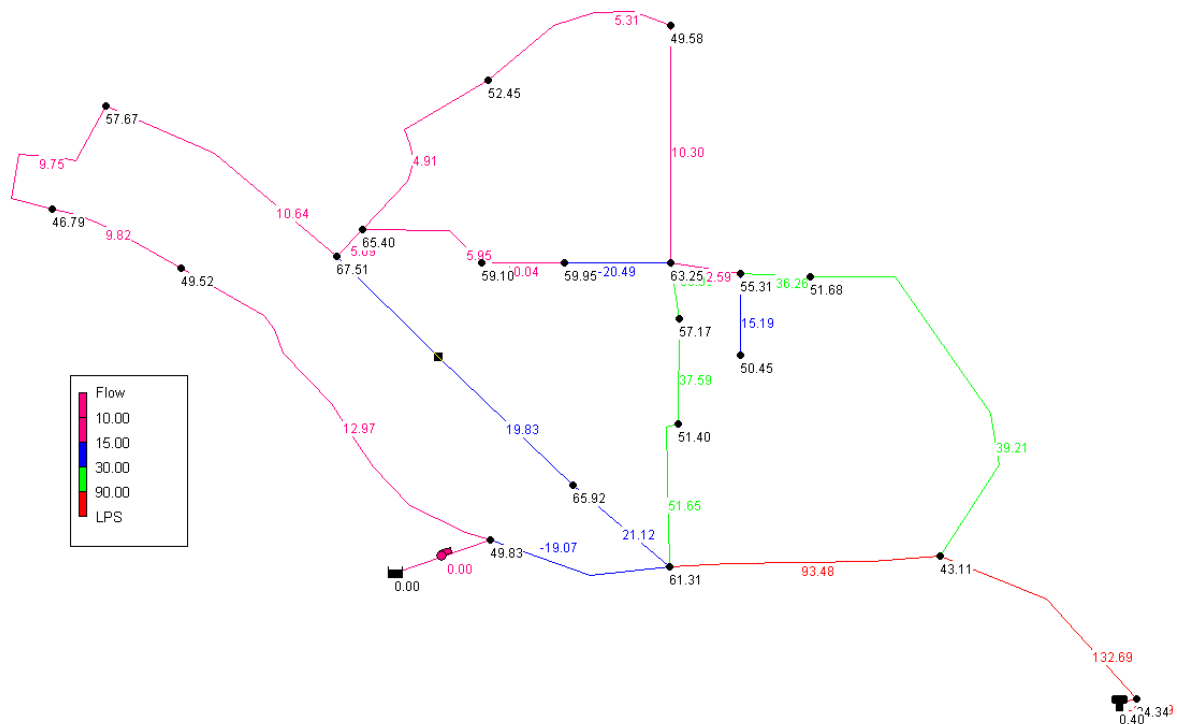
Πίνακας 13: Κόμβοι του δικτύου (Καταναλώσεις, Υψόμετρα, Απαιτούμενη πίεση).

ΚΟΜΒΟΣ	ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΜΕΝΑ ΚΤΗΡΙΑ	ΕΜΒΑΔΟ	ΚΑΤΑΝΑ-ΛΩΣΗ (L/s)	Υψόμετρο κόμβου (m)	Απαιτούμενη πίεση στον κόμβο (m)
K1	Αντοχής υλικών	23424	9.57	169	25.33
K2	Υδραυλικής και Λιμενικών	7700	3.15	171	26.67
K3	Τοπογράφων	14932	6.10	195	17.33
K4	Νέο κτ. ΣΕΜΦΕ	3165	1.29	180	17.00
K5	Γυμναστήριο	4000	1.64	190	24.00
K6	Κόμβος	0	0.00	210	0.00
K7	Ερ. Αντισεισμ. Τεχνολογ. + ερ. Ηχοτεχνίας	2176	0.89	165	12.00
K8	Πολιτικών Μηχανικών	9995	4.09	166	37.33
K9	Μελλοντική Ανοικοδόμηση	15000	6.13	168	20.00
K10	Μελλοντική Ανοικοδόμηση	10000	4.09	176	22.67
K11	κτ. Διοίκησης, Φυσικής(παλιό), Βιβλιοθήκη, Θωμαϊδείο	25556	10.45	178	36.00
K12	κτ. Υπολογιστή και Νέα ΗΜΜΥ	11990	4.90	179	32.00
K13	ΣΕΜΦΕ+φυσικής νέο	11000	4.50	186	33.33
K14	ΣΕΜΦΕ, Μεταλλειολογών, ΗΜΜΥ	34391	14.06	194	32.00
K15	Εστιατόριο + Μηχανολόγοι	45220	18.48	187	22.67
K16	Χημικών	37158	15.19	190	30.67
K17	Ερ. Ναυπηγικής	7220	2.95	192	29.33
K18	Μελλοντική Ανοικοδόμηση	25000	10.22	179	20.00
K19	Μελλοντικά ΗΜΜΥ	12210	4.99	184	20.00
ΣΥΝΟΛΑ		300137	122.69		

Σχήμα 27: Διάμετροι και υψόμετρα κόμβων του δικτύου. Στους κόμβους με υψόμετρο μικρότερο από 190 m απαιτείται μειωτής πίεσης πριν την εισόδου του νερού στο κτήριο.



Σχήμα 28: Παροχές και πιέσεις για $Q=132$ L/s (με παροχή πυρόσβεσης 10L/s στον κόμβο K1)



Δεξαμενή

Χρησιμοποιήθηκε η νέα δεξαμενή (600 m³) του υφιστάμενου δικτύου. Δεν κατασκευάστηκε καινούργια δεξαμενή σε χαμηλότερο υψόμετρο, αφού η μείωση του κόστους άντλησης που μπορεί να επιτευχθεί (≈ 2000 € το έτος), δεν υπερβαίνει καν το κόστος το κατασκευής (≈ 100000 €), πόσο μάλλον το κόστος για την εγκατάσταση μεγαλύτερων διαμέτρων που πιθανών να χρειαστούν για την ικανοποίηση της απαιτούμενης πίεσης στους κόμβους για την κατανάλωση αιχμής με τη δεξαμενή σε χαμηλότερο υψόμετρο.

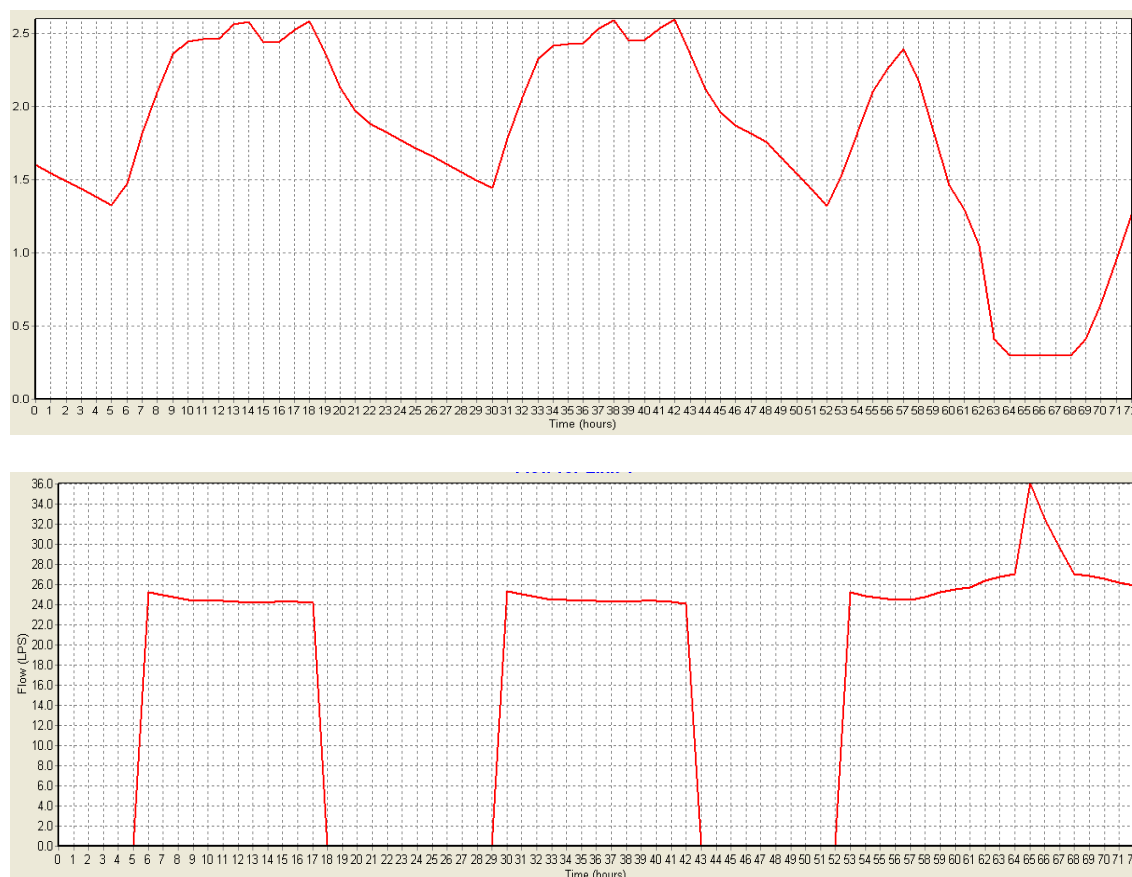
Η επάρκεια της δεξαμενής ελέγχθηκε με προσομοίωση χρονικά μεταβαλλόμενης κατάστασης διάρκειας 72 ωρών. Η κατανάλωση ήταν για τις δύο πρώτες μέρες ίση με τη μέση ημερήσια του 40^{ου} έτους (1060 m³/d) και την τρίτη μέρα ίση με τη μέγιστη ημερήσια (2120 m³/d). Αναζητήθηκαν κατάλληλοι κανόνες για την άντληση ώστε: να επιτυγχάνεται ασφαλής ρύθμιση για τις μέρες με μεγάλη κατανάλωση, να υπάρχει ικανοποιητική διακύμανση της στάθμης στην δεξαμενή (ανανέωση του νερού), και να περιοριστεί η ενέργεια άντλησης. Μετά από δοκιμές επιλέγηκαν οι παρακάτω κανόνες, που δεν αποτελούν όμως τη βέλτιστη λύση:

- (1) Από 6πμ έως 6μμ (έναρξη για $H < 2.45$ m και παύση για $H > 2.6$ m)
- (2) Από 6μμ έως 11μμ (έναρξη για $H < 1.5$ m και παύση για $H > 2.5$ m)
- (3) Από 11μμ έως 3πμ (έναρξη για $H < 1$ m και παύση για $H > 1.4$ m)
- (4) Από 3πμ έως 6μμ (έναρξη για $H < 1.3$ m και παύση για $H > 2$ m)

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα (σχ.29), δεν είναι δυνατή η ρύθμιση του μέγιστου ημερήσιου όγκου της 40ετίας με ταυτόχρονη διατήρηση ικανοποιητικού όγκου ασφαλείας. Αυτό όμως δεν αποτελεί ιδιαίτερο πρόβλημα αφού οι πυρό-

σβεση της πλειονότητας των κτηρίων (κτήρια γύρω από τις πλατείες κέντρου) γίνεται από τον κλάδο 4 του δικτύου άρδευσης. Μελλοντικά, ίσως χρειαστεί να κατασκευαστεί επιπλέον δεξαμενή ή να εξασφαλιστεί μεγαλύτερη παροχή από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ.

Σχήμα 29: Διακύμανση της στάθμης (m) στην δεξαμενή και παροχή άντλησης (L/s) κατά την προσομοίωση διάρκειας 72 ωρών (3 μέρες).



Ποιότητα νερού

Ελέγχτηκε η συγκέντρωση του υπολειμματικού χλωρίου για το ίδιο σενάριο που εφαρμόστηκε προηγουμένως για τη δεξαμενή. Έγινε η υπόθεση ότι η αρχική συγκέντρωση στο νερό που εισέρχεται στο δίκτυο είναι 0.6 mg/L και ότι στην δεξαμενή λειτουργεί σύστημα διατήρησής της στην τιμή αυτή. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης δεν παρατηρήθηκαν τιμές συγκέντρωσης μικρότερες από 0.4 mg/L ακόμη και για συντελεστές μείωσης μέχρι και -0.8 d^{-1} . Στην περίπτωση που δεν λειτουργεί σύστημα διατήρησης της συγκέντρωσης στην δεξαμενή, για τον ίδιο συντελεστή μείωσης, η συγκέντρωση σε ορισμένα σημεία φτάνει μέχρι και 0.1 mg/L κατά τις ώρες μικρής κατανάλωσης, που είναι ωστόσο μια ανιχνεύσιμη ασφαλής ποσότητα.

Συνοψίζοντας, οι δύο λύσεις που προτείνονται είναι εξίσου καλές. Από τη σκοπιά της υδραυλικής λειτουργίας και της διατήρησης της ποιότητας του νερού είναι αμφότερες ικανοποιητικές. Για τη Λύση 1 θα πρέπει να προηγηθεί μία αξιολόγηση της κατάστασης των σωλήνων παρόλο που η ηλικία τους δε θεωρείται μεγάλη για χαλυβδοσωλήνες (21 ετών). Από πλευράς οικονομικότητας η Λύση 1 αξιοποιεί καλύτερα το υφιστάμενο δίκτυο (πιν.14) και έχει μικρότερο αρχικό κόστος. Με τη Λύση 2 όμως είναι πιθανόν να μην απαιτηθεί η κατασκευή επιπλέον δεξαμενής πριν την πάροδο 40ετίας ή αν αυτό χρειαστεί θα γίνει πολύ πιο μετά από ότι για τη Λύση 1. Ίσως μια παραλλαγή της Λύσης 1 στην οποία ο τομέας 4 (που εξυπηρετεί την πυρόσβεση) θα είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο άρδευσης να δώσει τη μέση λύση.

Πίνακας 14: Μήκη νέων αγωγών σε m για τις δύο Λύσεις.

Διάμετρος (mm)	Λύση 1	Λύση 2
93.8	2502	2661
119.4		1290
141 (άρδευση)	640	
170.6		1095
302.8		717
ΣΥΝΟΛΑ	3142	5763

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η βασική πηγή αβεβαιοτήτων και πιθανή αιτία σφαλμάτων στην διερεύνηση του υπάρχοντος δικτύου είναι οι παραδοχές που έγιναν στην αρχή του εδαφίου 3.5. Αυτές αφορούν τα τμήματα του δικτύου για τα οποία δεν μπορέσαμε να σχηματίσουμε σαφή εικόνα (μπλε αγωγοί ΣΧΕΔΙΟ 2, κτ. Αντοχής Υλικών). Επί αυτών πρέπει να γίνει περαιτέρω διερεύνηση για να σχηματιστεί μια ακριβής εικόνα του δικτύου. Στην μελέτη των προτεινόμενων λύσεων (κεφ.4), κυριότερη αιτία πιθανών λαθών είναι η έλλειψη γνώσης για την πραγματική κατανάλωση στην Πολυτεχνειούπολη. Πριν από τη μελέτη εφαρμογής οποιασδήποτε πιθανής λύσης για την ύδρευση με νερό από την ΕΥΔΑΠ ή την τροποποίηση του υφιστάμενου δικτύου, θα πρέπει να προηγηθεί μέτρηση της πραγματικής κατανάλωσης για επαρκές χρονικό διάστημα, ώστε οι εκτιμήσεις που θα γίνουν βάση αυτής να είναι αξιόπιστες.

Παρά τις παραδοχές που χρειάστηκε να γίνουν, τα εξαγόμενα αποτελέσματα εξακολουθούν να είναι χρήσιμα και κατατοπιστικά και μπορούν να οδηγήσουν σε ορθολογιστικές προτάσεις και λύσεις.

Όπως προέκυψε από τη μελέτη του υφιστάμενου υδρευτικού συστήματος (εδάφιο 3.5) τα προβλήματα υποβάθμισης της ποιότητας του νερού από τη δεξαμενή μέχρι το σημείο κατανάλωσης εντοπίζονται τοπικά και οφείλονται σε ελλιπή σχεδιασμό του δικτύου. Με τις αλλαγές που προτείνονται (εδάφιο 3.5) μειώνεται ο χρόνος παραμονής του νερού στο δίκτυο και τα προβλήματα θα εκλείψουν. Παράλληλα, θα πρέπει να εφαρμοστεί πρόγραμμα έκπλυσης του δικτύου (τουλάχιστο μία φορά το χρόνο) και συντήρησης του συστήματος χλωρίωσης και των δεξαμενών. Η εφαρμογή των μέτρων αυτών είναι επιτακτική στην περίπτωση που δεν θα προτιμηθεί η υδροδότηση από την ΕΥΔΑΠ.

Αν επιλεγεί η σύνδεση με το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ, τότε θα πρέπει να εφαρμοστεί μια πιο ολοκληρωμένη λύση, όπως αυτές που προτείνονται στο κεφάλαιο 4. Το ετήσιο κόστος ύδρευσης από την ΕΥΔΑΠ, με μέση κατανάλωση 720 m³/d και ζήτηση 11 μήνες το χρόνο, ανέρχεται στα 200000 έως 250000 € το χρόνο (0.9682 €/m³). Τα κυριότερα πλεονεκτήματα από τη σύνδεση στο δίκτυο της ΕΥΔΑΠ είναι: η μείωση της συχνότητας βλαβών σε καυστήρες και άλλες συσκευές αφού θα χρησιμοποιείται νερό χαμηλότερης σκληρότητας, η μείωση του κινδύνου σοβαρής μόλυνσης ως αποτέλεσμα της αυστηρότερα ελεγχόμενης ποιότητας του νερού της ΕΥΔΑΠ. Τα

πλεονεκτήματα θα πρέπει να αντιπαραβληθούν με το ετήσιο κόστος ύδρευσης και να παρθεί μια τεκμηριωμένη απόφαση. Αν αποφασιστεί η παροχή νερού να γίνεται από την ΕΥΔΑΠ τότε θα πρέπει να κατασκευαστεί ένα ικανοποιητικό υδρευτικό σύστημα. Στόχος της όποιας διάταξης μελετηθεί και εφαρμοστεί θα πρέπει να είναι η διανομή του νερού χωρίς υποβάθμιση της ποιότητάς του, μίας και το κόστος του νερού είναι πολύ μεγαλύτερο από το κόστος μιας καλής λύσης για τη διανομή του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Τεχνική υπηρεσία ΕΜΠ, "Πανεπιστημιακές Εγκαταστάσεις ΕΜΠ", Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 1998.
2. Ώξενκιουν-Πετροπούλου Μ. , " Αναλύσεις Δειγμάτων Νερού Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου", (www.ntua.gr/gr_announce/pdf/20070309_water.pdf), Αθήνα, 2007.
3. Fisher J., "Evapotranspiration Methods compared on a Sierra Nevada Forest Eco-system", (socrates.berkeley.edu/~es196/projects/2001final/Fisher.pdf), California, USA, 1998.
4. Rossman L.A., "The EPANET Water Quality Model", Research Studies Press Ltd, Somerset, England, 1993.
5. Rossman L.A., "EPANET 2 Users Manual", (www.epa.gov/NRMRL/wswrd/dw/epanet/EN2manual.PDF), Cincinnati, OH, USA, 2000.
6. Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, "Σημειώσεις Αστικών Υδραυλικών Έργων", (<http://www.itia.ntua.gr/courses/aye/index.html>), 2007.
7. Water Distribution Systems Handbook, McGraw-Hill, 2000.
8. Κουτσογιάννης Δ., "Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης", Αθήνα, 1999.