



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ-ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΡΕΥΤΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗΣ
ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΓΡΙΝΙΟΥ

Αικατερίνη Σακελλάρη

Επιβλέπων: Α. Ευστρατιάδης, Δρ, ΕΔΙΠ ΕΜΠ



"Water, Al—six to eight glasses"

Ευχαριστίες

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση των δεδομένων υδρευτικής κατανάλωσης που προέρχονται από διαφορετικές πηγές, που συνδυαζόμενες επιτρέπουν την περιγραφή των σημειακών ζητήσεων που εισάγονται στα μοντέλα υδραυλικής ανάλυσης δικτύων διανομής. Ως πεδίο εφαρμογής χρησιμοποιείται το δίκτυο διανομής της πόλης του Αγρινίου, που περιλαμβάνει διάφορες πιεζομετρικές ζώνες, τροφοδοτούμενες από ανεξάρτητες δεξαμενές. Για κάθε ζώνη διατίθενται δεδομένα εκροών από την αντίστοιχη δεξαμενή, δίληπτης χρονικής διακριτότητας, στη διάρκεια δύο θερινών ημερών. Ακόμη, διατίθενται λεπτομερή χωρικά δεδομένα από τιμολόγια ύδρευσης, σε κλίμακα τετραμήνου. Συνδυάζοντας τις δύο αυτές ετερογενείς πηγές δεδομένων, επιχειρείται η περιγραφή του χρονικού προφίλ των καταναλώσεων στους κόμβους του μοντέλου του δικτύου διανομής, και επιλύεται το μοντέλο προσομοίωσης για την εκτίμηση των πιέσεων στο δίκτυο. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με άλλες μεθόδους κατανομής των καταναλώσεων, που βασίζονται σε αδρομερή χωρική πληροφορία, καθώς και με συνθετικά προφίλ υδρευτικής ζήτησης που παράγονται από καινοτόμο στοχαστικό μοντέλο. Τελικό ζητούμενο είναι η αξιολόγηση των διαφορετικών προσεγγίσεων των σημειακών ζητήσεων που μπορούν να εφαρμοστούν σε μελέτες δικτύων ύδρευσης, και η επίδραση κάθε προστιθέμενης πληροφορίας στην αβεβαιότητα της υδραυλικής προσομοίωσης.

Extended abstract

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες	i
Περίληψη	ii
Extended abstract	iii
Κατάλογος Εικόνων	vii
Κατάλογος Πινάκων	x
1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο εργασίας.....	1
1.2 Διάρθρωση εργασίας	1
2 Βασικά στοιχεία θεωρίας	3
2.1 Δίκτυα διανομής.....	3
2.2 Υδραυλική επίλυση δικτύων διανομής	4
2.2.1 Οι έννοιες του συστήματος και του μοντέλου	4
2.2.2 Σχηματοποίηση δικτύων διανομής.....	5
2.2.3 Μαθηματική προσομοίωση δικτύων διανομής.....	6
2.2.4 Τεχνικές επίλυσης δικτύων διανομής.....	7
2.2.5 Στοιχεία υδραυλικής κλειστών αγωγών υπό πίεση	8
2.3 Υδατικό ισοζύγιο υδρευτικού δικτύου	10
2.4 Εκτίμηση υδρευτικών καταναλώσεων	12
2.4.1 Γενικά	12
2.4.2 Χρονική διακύμανση των υδρευτικών καταναλώσεων	15
2.4.3 Χωρική κατανομή των υδρευτικών καταναλώσεων.....	18
3 Πηγές αβεβαιότητας στην προσομοίωση δικτύων ύδρευσης.....	20
3.1 Κατηγορίες αβεβαιότητας.....	20
3.2 Πηγές αβεβαιότητας	21
3.2.1 Τοπολογία δικτύου	21
3.2.2 Σχηματοποίηση δικτύου	21
3.2.3 Τραχύτητα και εσωτερική διάμετρος αγωγών	22
3.2.4 Ζητήσεις.....	23
4 Περιοχή μελέτης.....	25
4.1 Γενικά	25
4.1.1 Γεωγραφική θέση	25
4.1.2 Γενικά στοιχεία του συστήματος ύδρευσης της πόλης του Αγρινίου	26
4.2 Περιγραφή του εξωτερικού υδραγωγείου	27

4.3	Περιγραφή εσωτερικού υδραγωγείου	34
5	Δεδομένα	38
5.1	Δίκτυο ύδρευσης	38
5.1.1	Δεδομένα.....	38
5.1.2	Εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό.....	38
5.2	Καταναλώσεις	41
5.2.1	Καταγραφές υδρομέτρων.....	41
5.2.2	Μετρήσεις συστήματος SCADA	42
6	Μεθοδολογίες εκτίμησης καταναλώσεων	45
6.1	Εκτίμηση της 24ωρης διακύμανσης της κατανάλωσης με βάση τις μετρήσεις του συστήματος SCADA	45
6.1.1	Επιλογή δεδομένων.....	45
6.1.2	Εντοπισμός και απόρριψη μη ποιοτικών μετρήσεων των σταθμών ελέγχου	45
6.1.3	Επεξεργασία μετρήσεων	46
6.1.4	Εκτίμηση μη μετρημένων μεγεθών	46
6.1.5	Εκτίμηση κατανάλωσης και προσδιορισμός κανόνων λειτουργίας αντλιοστασίων.....	47
6.2	Εκτίμηση της ωριαίας αιχμής κατανάλωσης με βάση τις καταγραφές των υδρομέτρων	47
6.2.1	Διαίρεση κάθε πιεζομετρικής ζώνης σε υποπεριοχές	47
6.2.2	Υπολογισμός της τιμολογημένης ποσότητας νερού για κάθε υποπεριοχή	48
6.2.3	Εφαρμογή συντελεστών για την εκτίμηση της ωριαίας αιχμής κατανάλωσης σε κάθε υποπεριοχή	48
6.3	Εκτίμηση της ωριαίας αιχμής κατανάλωσης με βάση την πυκνότητα δόμησης των υποπεριοχών.....	49
6.3.1	Εκτίμηση πληθυσμού της περιοχής.....	49
6.3.2	Κατανομή πληθυσμού στις υποπεριοχές των πιεζομετρικών ζωνών	49
6.3.3	Υπολογισμός μέσης ημερήσιας κατανάλωσης για κάθε υποπεριοχή	49
6.3.4	Εφαρμογή συντελεστών για την εκτίμηση της ωριαίας αιχμής κατανάλωσης σε κάθε υποπεριοχή	50
6.4	Εκτίμηση της ωριαίας αιχμής κατανάλωσης με βάση τα εμβαδά των υποπεριοχών	50
6.4.1	Εκτίμηση πληθυσμού της περιοχής.....	50
6.4.2	Κατανομή πληθυσμού στις υποπεριοχές	50
6.4.3	Υπολογισμός μέσης ημερήσιας κατανάλωσης για κάθε υποπεριοχή	50
6.4.4	Εφαρμογή συντελεστών για την εκτίμηση της ωριαίας αιχμής κατανάλωσης σε κάθε υποπεριοχή	50
6.5	Εκτίμηση της 24ωρης διακύμανσης της κατανάλωσης με χρήση συνθετικών χρονοσειρών ζήτησης	51

7	Αποτελέσματα.....	53
7.1	Καταναλώσεις	53
7.2	Πιέσεις.....	59
7.2.1	Διακύμανση πιέσεων στην διάρκεια της ημέρας	59
7.2.2	Ελάχιστες και μέγιστες πιέσεις στο δίκτυο	61
8	Συμπεράσματα-Προτάσεις.....	66
8.1	Συμπεράσματα	66
8.2	Προτάσεις.....	67
	Βιβλιογραφία	68
	Παράρτημα Α: Αποτελέσματα βαθμονόμησης μοντέλου	70
	δικτύου	70
	Παράρτημα Β: Υποπεριοχές πιεζομετρικών ζωνών.....	75
	Παράρτημα Γ: Υπολογισμοί Μεθόδου 3	79
	Παράρτημα Δ: Υπολογισμοί Μεθόδου 2.....	80
	Παράρτημα Ε: Υπολογισμοί Μεθόδου 1	81
	Παράρτημα ΣΤ: Αποτελέσματα Μεθόδου 5.....	82
	Παράρτημα Ζ: Διαγράμματα σύγκρισης καταναλώσεων και κατανομής ελαχίστων πιέσεων	85

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Σχηματική απεικόνιση των τμημάτων ενός δικτύου ύδρευσης. (Πηγή: Ευστρατιάδης & Κουτσογιάννης, 2006)	3
Εικόνα 2.2: Σχηματική απεικόνιση των στοιχείων ενός μοντέλου (μετά από επεξεργασία από τους Liu & Gupta, 2007)	4
Εικόνα 2.3: Υδατικό ισοζύγιο δικτύων ύδρευσης (International Water Association, IWA)	11
Εικόνα 2.4: Μέση οικιακή κατανάλωση σε χώρες της Ευρώπης (l/κάτοικο/ημέρα). (EurEau, The European Federation of National Associations of Water Services, 2017)	14
Εικόνα 2.5: Πολλαπλασιαστής στιγμιαίας ζήτησης συναρτήσει του αριθμού καταναλωτών N	15
Εικόνα 2.6: Τυπική ημερήσια διακύμανση της ζήτησης σε αστική περιοχή (Πηγή: Trifunovic, 2006)	16
Εικόνα 2.7: Πιθανοί τρόποι εξέλιξης της κατανάλωσης μετά από t έτη (Πηγή: Κουτσογιάννης & Ευστρατιάδης, 2012)	17
Εικόνα 2.8: Εποχική και εβδομαδιαία διακύμανση κατανάλωσης-Υπολογισμός συντελεστή ημερήσιας αιχμής (Trifunovic, 2006)	18
Εικόνα 2.9: Προσεγγίσεις για την φόρτιση του μοντέλου (Πηγή: Walski et al., 2003)	18
Εικόνα 3.1: Πιθανοί τρόποι διασταύρωσης αγωγών σε ένα δίκτυο (Πηγή: Walski et al., 2003)	21
Εικόνα 3.2: Παραδείγματα αφαίρεσης αγωγών από το μοντέλο (Πηγή: Walski et al., 2003)	22
Εικόνα 3.3: Ημερήσια διακύμανση της ζήτησης για ένα τμήμα πόλης 5000 κατοίκων στη νότια Ισπανία (Herrera et al., 2010)	23
Εικόνα 3.4: Πιθανές διαφορές της χωρικής και χρονικής διακύμανσης της ζήτησης μεταξύ μοντέλου (αριστερά) και πραγματικότητας (δεξιά) (Diao et al., 2019)	23
Εικόνα 3.5: Αιχμή ζήτησης που δεν καταγράφηκε, εξαιτίας του χρονικού βήματος των μετρήσεων (Πηγή: Walski, 2003)	24
Εικόνα 4.1: Δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής του Αγρινίου (Πηγή: Google Earth)	25
Εικόνα 4.2: Άποψη φράγματος Καστρακίου (Πηγή:)	26
Εικόνα 4.3: Όδευση κύριου τροφοδοτικού χαλύβδινου αγωγού Φ800 συνολικού μήκους 17.9 km. Απεικονίζονται οι διακλαδώσεις για την ύδρευση παρακείμενων οικισμών, πριν την είσοδο στην πόλη του Αγρινίου (Κλίμακα 1:60.000)	29
Εικόνα 4.4: Σχηματική απεικόνιση του εξωτερικού υδραγωγείου της πόλης του Αγρινίου	32
Εικόνα 4.5: : Εξωτερικό υδραγωγείο της πόλης του Αγρινίου (Κλίμακα 1:25.000)	33
Εικόνα 4.6: : Πιεζομετρικές ζώνες του δικτύου ύδρευσης Αγρινίου (Κλίμακα 1:25.000)	36
Εικόνα 4.7: Δίκτυο ύδρευσης Αγρινίου (Κλίμακα 1:25.000)	37
Εικόνα 5.1: Περιβάλλον εργασίας του προγράμματος WaterGEMS και μοντέλο δικτύου.	40
Εικόνα 5.2: Πρωτογενή δεδομένα καταγραφών υδρομέτρων (αρχείο excel)	41
Εικόνα 5.3: Θέσεις Περιφερειακών Σταθμών Ελέγχου (ΠΣΕ) και Τοπικών Σταθμών Ελέγχου (ΤΣΕ) του συστήματος SCADA στο δίκτυο	43
Εικόνα 6.1: Σύγκριση μετρήσεων για τον έλεγχο της εγκυρότητάς τους	46
Εικόνα 6.2: Αδιαστατοποιημένη χρονοσειρά καταναλώσεων 10 min	51
Εικόνα 7.1: Ποσοστά επιτυχίας κάθε μεθόδου για ορθή εκτίμηση της μέσης κατανάλωσης στο σύνολο των πιεζομετρικών ζωνών	54
Εικόνα 7.2: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην υψηλή ζώνη Αγίου Κωνσταντίνου	56
Εικόνα 7.3: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην υψηλή ζώνη του Αγίου Κων/νου για κάθε μία από τις 4 μεθόδους	56

Εικόνα 7.4: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην χαμηλή ζώνη Αγρινίου	57
Εικόνα 7.5: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην χαμηλή ζώνη του Αγρινίου για κάθε μία από τις 4 μεθόδους	57
Εικόνα 7.6: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην ζώνη Γκένοβα.....	58
Εικόνα 7.7: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην ζώνη Γκένο για κάθε μία από τις 4 μεθόδους	58
Εικόνα 7.8: Διακύμανση των πιέσεων στην υψηλή ζώνη Αγρινίου στην διάρκεια της ημέρας (μετρήσεις SCADA)	59
Εικόνα 7.9: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην υψηλή ζώνη του Αγρινίου (μετρήσεις SCADA).....	59
Εικόνα 7.10: Κατανομή μέγιστων πιέσεων στην υψηλή ζώνη του Αγρινίου (μετρήσεις SCADA).....	60
Εικόνα 7.11: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην υψηλή ζώνη του Αγρινίου (1η χρονοσειρά καταναλώσεων)	60
Εικόνα 7.12: Κατανομή μέγιστων πιέσεων στην υψηλή ζώνη του Αγρινίου (1η χρονοσειρά στοχαστικών καταναλώσεων)	61
Εικόνα 7.13: Αριθμός κόμβων με πίεση $p < p_{\min}$ για 9 από τις 11 ζώνες του δικτύου	64
Εικόνα 7.14: Αριθμός κόμβων με πίεση $p > p_{\max}$ για τις πιεζομετρικές ζώνες του δικτύου	65
Εικόνα Π.Α 1: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη παροχή εισόδου στην δεξαμενή Καμαρούλα.....	70
Εικόνα Π.Α 2: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη παροχή εξόδου από την δεξαμενή Καμαρούλα ..	70
Εικόνα Π.Α 3: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη στάθμη στην δεξαμενή Καμαρούλα	71
Εικόνα Π.Α 4: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη στάθμη στην δεξαμενή Γκένοβα	71
Εικόνα Π.Α 5: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη παροχή εισόδου στην δεξαμενή Πλατανάκι	72
Εικόνα Π.Α 6: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη παροχή εισόδου στην δεξαμενή Δύο Ρέματα	72
Εικόνα Π.Α 7: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη παροχή εξόδου από την χαμηλή δεξαμενή Αγίου Κων/νου	73
Εικόνα Π.Α 8: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη στάθμη στην χαμηλή δεξαμενή του Αγίου Κων/νου	73
Εικόνα Π.Α 9: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη παροχή εξόδου από την υψηλή δεξαμενή Αγίου Κων/νου	74
Εικόνα Π.Α 10: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη στάθμη στην υψηλή δεξαμενή του Αγίου Κων/νου	74
Εικόνα Π.Β 2: Διαίρεση σε υποπεριοχές της χαμηλής ζώνης Αγίου Κων/νου	75
Εικόνα Π.Β 3: Διαίρεση σε υποπεριοχές της υψηλής ζώνης Αγίου Κων/νου	75
Εικόνα Π.Β 4: Διαίρεση σε υποπεριοχές της υψηλής ζώνης Αγρινίου	76
Εικόνα Π.Β 5: Διαίρεση σε υποπεριοχές της πιεζομετρικής ζώνης Ζάλογγο	76
Εικόνα Π.Β 6: Διαίρεση σε υποπεριοχές της ζώνης Τσαγκρινέικα	77
Εικόνα Π.Β 7: Διαίρεση σε υποπεριοχές της ζώνης Δύο Ρέματα.....	77
Εικόνα Π.ΣΤ 1: Διακύμανση των πιέσεων στην διάρκεια της στην χαμηλή ζώνη Αγ. Κων/νου στην διάρκεια της ημέρας	82
Εικόνα Π.ΣΤ 2: Κατανομή μέγιστων πιέσεων στην χαμηλή ζώνη του Αγ. Κων/νου	82
Εικόνα Π.ΣΤ 3: Κατανομή ελάχιστων πιέσεων στην χαμηλή ζώνη του Αγ. Κων/νου	83
Εικόνα Π.ΣΤ 4: Διακύμανση των πιέσεων στην υψηλή ζώνη Αγ. Κων/νου στην διάρκεια της ημέρας.....	83
Εικόνα Π.ΣΤ 5: Κατανομή μέγιστων πιέσεων στην υψηλή ζώνη του Αγ. Κων/νου	83

Εικόνα Π.ΣΤ 6: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην υψηλή ζώνη του Αγ. Κων/νου	84
Εικόνα Π.Ζ 1: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην χαμηλή ζώνη Αγίου Κων/νου	85
Εικόνα Π.Ζ 2: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην χαμηλή ζώνη Αγίου Κων/νου για κάθε μία από τις 4 μεθόδους	85
Εικόνα Π.Ζ 3: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην υψηλή ζώνη Αγρινίου	86
Εικόνα Π.Ζ 4: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην υψηλή ζώνη Αγρινίου για κάθε μία από τις 4 μεθόδους	86
Εικόνα Π.Ζ 5: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην ζώνη Πλατανάκι.....	87
Εικόνα Π.Ζ 6: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην ζώνη Πλατανάκι για κάθε μία από τις 4 μεθόδους	87
Εικόνα Π.Ζ 7: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην ζώνη Τσαγκρινέικα	88
Εικόνα Π.Ζ 8: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην ζώνη Τσαγκρινέικα για κάθε μία από τις 4 μεθόδους	88
Εικόνα Π.Ζ 9: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην ζώνη Καμαρούλα	89
Εικόνα Π.Ζ 10: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην ζώνη Καμαρούλα για κάθε μία από τις 4 μεθόδους	89
Εικόνα Π.Ζ 11: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην ζώνη Ζάλογγο	90
Εικόνα Π.Ζ 12: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην ζώνη Ζάλογγο για κάθε μία από τις 4 μεθόδους.....	90
Εικόνα Π.Ζ 13: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην ζώνη Δύο Ρέματα.....	91
Εικόνα Π.Ζ 14: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην ζώνη Δύο Ρέματα για κάθε μία από τις 4 μεθόδους	91
Εικόνα Π.Ζ 15: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην ζώνη Άγιος Θωμάς	92
Εικόνα Π.Ζ 16: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην ζώνη Άγιος Θωμάς για κάθε μία από τις 4 μεθόδους	92

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Εξισώσεις υπολογισμού του συντελεστή τριβών f ανάλογα με τον τύπο ροής	9
Πίνακας 4.1: Υλικά αγωγών του δικτύου ύδρευσης.....	27
Πίνακας 4.2: Εύρη διαμέτρων του δικτύου ύδρευσης.....	27
Πίνακας 4.3: Στοιχεία πιεζομετρικών ζωνών του δικτύου ύδρευσης του Αγρινίου	35
Πίνακας 5.1: Τιμές τραχύτητας (mm) αγωγών κατά Darcy-Weisbach	40
Πίνακας 5.2: : Στοιχεία Περιφερειακών Σταθμών Ελέγχου (ΠΣΕ) και Τοπικών Σταθμών Ελέγχου (ΤΣΕ) του συστήματος SCADA στο δίκτυο	44
Πίνακας 6.1: Αριθμός υποπεριοχών ανά πιεζομετρική ζώνη.....	47
Πίνακας 6.2: Εξέλιξη του πληθυσμού της περιοχής με την παραδοχή γεωμετρικής αύξησης	49
Πίνακας 7.1: Ποσοστό υπερεκτίμησης (+)/υποεκτίμησης (-) της μέσης κατανάλωσης σε κάθε πιεζομετρική ζώνη	53
Πίνακας 7.2: Ποσοστό υπερεκτίμησης (+)/υποεκτίμησης (-) της ωριαίας αιχμής κατανάλωσης σε κάθε πιεζομετρική ζώνη.....	54
Πίνακας 7.3: Αριθμός των "προβληματικών" κόμβων με πίεση μικρότερη της ελάχιστης απαιτούμενης ($p < p_{min}$)	62
Πίνακας 7.4: Αριθμός των "προβληματικών" κόμβων με πίεση μεγαλύτερη της μέγιστης επιτρεπόμενης ($p > p_{max}$).....	63

1.1 Αντικείμενο εργασίας

Τα δίκτυα ύδρευσης συνιστούν σημαντικά έργα αστικών υποδομών. Κατά τα πρώτα χρόνια μοντελοποίησης των δικτύων όλες οι προσπάθειες είχαν επικεντρωθεί στην ανάπτυξη μεθοδολογιών για την μαθηματική επίλυσή τους. Στις μέρες μας, το πρόβλημα αυτό θεωρείται πλέον ξεπερασμένο και τις τελευταίες δεκαετίες το ενδιαφέρον της ερευνητικής κοινότητας έχει στραφεί στην διερεύνηση των αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με την λειτουργία των δικτύων και στην προσπάθεια να συμπεριληφθούν αυτές κατά την προσομοίωσή τους.

Στην παρούσα εργασία, λοιπόν, γίνεται ανάλυση της αβεβαιότητας των υδρευτικών καταναλώσεων, οι οποίες συνιστούν την σημαντικότερη πηγή σφαλμάτων στην προσομοίωση των δικτύων ύδρευσης. Επιχειρείται η εκτίμηση των καταναλώσεων σε ένα υφιστάμενο δίκτυο μέσω πέντε διαφορετικών προσεγγίσεων με την χρήση χωροχρονικών δεδομένων κατανάλωσης. Στην συνέχεια γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων για την αξιολόγησή τους. Τέλος, εξετάζεται η επίπτωση που έχουν οι διαφορετικές αυτές προσεγγίσεις στις πιέσεις που αναπτύσσονται στο δίκτυο.

1.2 Διάρθρωση εργασίας

Το τεύχος περιλαμβάνει, μαζί με την παρούσα εισαγωγή (Κεφάλαιο 1), 7 κεφάλαια και 7 Παραρτήματα:

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται επισκόπηση των βασικών στοιχείων θεωρίας σχετικά με την προσομοίωση των δικτύων ύδρευσης και την εκτίμηση των ζητήσεων.

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται η έννοια της αβεβαιότητας, και παρουσιάζονται οι βασικές πηγές σφαλμάτων στην προσομοίωση των δικτύων ύδρευσης.

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται περιγραφή της περιοχής μελέτης και του δικτύου ύδρευσης της πόλης του Αγρινίου (εξωτερικό και εσωτερικό υδραγωγείο).

Στο Κεφάλαιο 5 αναφέρονται τα δεδομένα καταναλώσεων που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία και γίνεται παρουσίαση του συστήματος SCADA που είναι εγκαταστημένο στο δίκτυο ύδρευσης του Αγρινίου.

Στο Κεφάλαιο 6 γίνεται εκτενής ανάπτυξη των πέντε διαφορετικών μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των υδρευτικών καταναλώσεων.

Στο Κεφάλαιο 7 αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν ως προς την εκτίμηση των υδρευτικών καταναλώσεων από την εφαρμογή των πέντε διαφορετικών προσεγγίσεων, ενώ, επιπλέον, πραγματοποιείται σύγκριση και αξιολόγησή τους. Επίσης, σχολιάζονται τρεις χαρακτηριστικές περιπτώσεις αποτελεσμάτων. Στην συνέχεια, παρουσιάζονται ενδεικτικά διαγράμματα κατανομής πιέσεων στο δίκτυο από την εφαρμογή των πέντε μεθόδων. Τέλος, γίνεται σύγκριση και σχολιασμός του αριθμού των κόμβων με πιέσεις μικρότερες από τις ελάχιστες απαιτούμενες και του αριθμού των κόμβων με πιέσεις μεγαλύτερες από τις μέγιστες επιτρεπόμενες, όπως αυτοί προκύπτουν από την εφαρμογή των πέντε μεθόδων.

Στο Κεφάλαιο 8 παρατίθενται τα βασικά συμπεράσματα της παρούσας μελέτης, καθώς και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Στο Παράρτημα Α παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προέκυψαν από την βαθμονόμηση του μοντέλου προσομοίωσης του δικτύου ύδρευσης (σύγκριση των προσομοιωμένων και των παρατηρημένων τιμών).

Στο Παράρτημα Β παρουσιάζονται οι υποπεριοχές στις οποίες διαιρέθηκε το δίκτυο ύδρευσης, με βάση την πυκνότητα δόμησης.

Στο Παράρτημα Γ παρουσιάζεται ο πίνακας με τους αναλυτικούς υπολογισμούς της Μεθόδου 3 καθώς και το διάγραμμα κατανομής των ελάχιστων πιέσεων για την συγκεκριμένη φόρτιση για κάθε μία από τις πιεζομετρικές ζώνες του δικτύου.

Στο Παράρτημα Δ παρουσιάζεται ο πίνακας με τους αναλυτικούς υπολογισμούς της Μεθόδου 2 καθώς και το διάγραμμα κατανομής των ελάχιστων πιέσεων για την συγκεκριμένη φόρτιση για κάθε μία από τις πιεζομετρικές ζώνες του δικτύου.

Στο Παράρτημα Ε παρουσιάζεται ο πίνακας με τους αναλυτικούς υπολογισμούς της Μεθόδου 1 καθώς και το διάγραμμα κατανομής των ελάχιστων πιέσεων για την συγκεκριμένη φόρτιση για κάθε μία από τις πιεζομετρικές ζώνες του δικτύου.

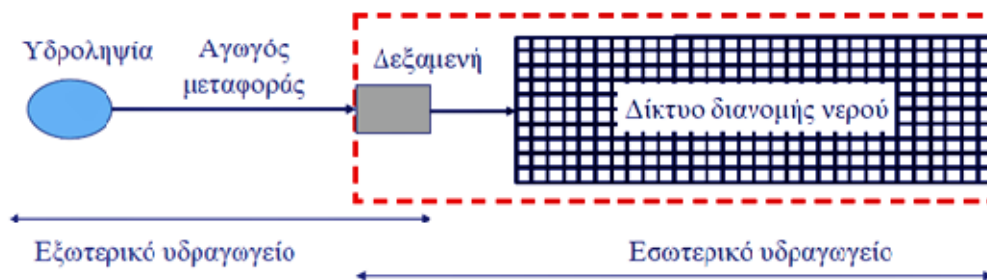
Στο Παράρτημα ΣΤ παρουσιάζεται η απόκριση του μοντέλου για κάθε μια από τις δέκα στοχαστικές προσομοιώσεις του δικτύου.

Στο Παράρτημα Ζ παρουσιάζονται τα διαγράμματα σύγκρισης των αποτελεσμάτων των μεθόδων για κάθε πιεζομετρική ζώνη του δικτύου ύδρευσης.

2.1 Δίκτυα διανομής

Ένα σύστημα ύδρευσης μπορεί να διαχωριστεί σε εξωτερικό και εσωτερικό υδραγωγείο (Εικόνα 2.1):

- Το εξωτερικό υδραγωγείο περιλαμβάνει τα έργα μεταφοράς του νερού από την υδροληψία (υδατικοί πόροι) μέχρι την μονάδα επεξεργασίας και τις δεξαμενές ρύθμισης της υδροδοτούμενης περιοχής.
- Το εσωτερικό υδραγωγείο (δίκτυο διανομής νερού) αποτελείται από ένα σύνολο αγωγών υπό πίεση που, σε συνδυασμό με την λειτουργία συσκευών (αντλίες, βάνες, ρυθμιστές πίεσης), οδηγούν το επεξεργασμένο νερό από τις δεξαμενές ρύθμισης σε πολλαπλά σημεία προορισμού (καταναλωτές) της αστικής περιοχής.



Εικόνα 2.1: Σχηματική απεικόνιση των τμημάτων ενός δικτύου ύδρευσης. (Πηγή: Ευστρατιάδης & Κουτσογιάννης, 2006)

Στόχος του δικτύου διανομής είναι η εξασφάλιση νερού στους καταναλωτές σε επαρκή ποσότητα και κατάλληλη ποιότητα με ταυτόχρονη διατήρηση των πιέσεων του δικτύου μέσα σε αποδεκτά όρια. Βάσει των παραπάνω, προκύπτουν οι λειτουργικές απαιτήσεις ενός δικτύου:

α) Η στατική πίεση, η οποία ισούται με την διαφορά της ανώτατης στάθμης ύδατος (ΑΣΥ) της δεξαμενής ρύθμισης και του χαμηλότερου σημείου της περιοχής που εξυπηρετεί το δίκτυο, δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 60-70 m (για παλιά δίκτυα). Το ανώτατο αυτό όριο αποσκοπεί στην προστασία των οικιακών συσκευών, των υδραυλικών εγκαταστάσεων των σπιτιών καθώς και των εξαρτημάτων του δικτύου, πιθανή βλάβη των οποίων μπορεί να οδηγήσει σε διαρροές και αυξημένα κόστη συντήρησης.

β) Η ελάχιστη απαιτούμενη πίεση στο έδαφος για τα κτίρια n ορόφων εκτιμάται εμπειρικά ως $4(n+1)$. Εníοτε, η ελάχιστη πίεση ορίζεται από τον κανονισμό λειτουργίας του δικτύου ύδρευσης (πχ. 2 atm για το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ).

Σε περίπτωση που η περιοχή είναι λοφώδης ή ορεινή και οι υψομετρικές διαφορές είναι μεγάλες, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η ικανοποίηση και των δύο απαιτήσεων, το

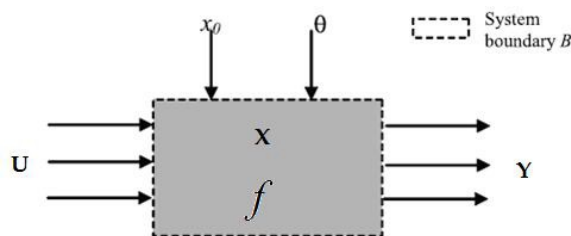
δίκτυο διανομής διαιρείται σε πιεζομετρικές ζώνες, οι οποίες τροφοδοτούνται από διαφορετικές δεξαμενές. Έτσι, αποφεύγονται οι πολύ υψηλές πιέσεις στα χαμηλά σημεία της περιοχής και αντίστοιχα οι πολύ χαμηλές πιέσεις στα μεγάλα υψόμετρα. Συνήθως, οι διάφορες πιεζομετρικές ζώνες συνδέονται μεταξύ τους και απομονώνονται με δικλείδες οι οποίες παραμένουν κλειστές κατά την κανονική λειτουργία του δικτύου (Viessman & Hammer, 1998, p.134).

Τέλος, μολονότι δεν υπάρχει συγκεκριμένη απαίτηση, είναι επιθυμητό (αλλά όχι πάντα τεχνικά εφικτό) το εύρος των ταχυτήτων ροής στο δίκτυο να κυμαίνεται μεταξύ 0.5-1.5 m/s (Τσακίρης, 2010, σ.). Με το κατώτατο όριο αποτρέπεται η απόθεση φερτών στο εσωτερικό των αγωγών, ενώ η μέγιστη τιμή στοχεύει στον περιορισμό της διαβρωτικής ικανότητας του νερού και την αποφυγή μεγάλων απωλειών ενέργειας κατά μήκος των αγωγών που οδηγούν σε αντιοικονομικό σχεδιασμό.

2.2 Υδραυλική επίλυση δικτύων διανομής

2.2.1 Οι έννοιες του συστήματος και του μοντέλου

- Ως σύστημα, ορίζουμε ένα σύνολο ανεξαρτήτων μεταξύ τους στοιχείων που αλληλεπιδρούν, το οποίο οριοθετείται από ένα σύνορο που καθορίζει αν ένα στοιχείο ανήκει στο σύστημα ή στο περιβάλλον, από αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον (είσοδοι-έξοδοι) και από σχέσεις μεταξύ των στοιχείων του και των εισόδων-εξόδων (Mays & Tung, 1992).
- Μαθηματικό μοντέλο ενός συστήματος ονομάζουμε ένα σύνολο υποθέσεων σχετικών με τη λειτουργία του συστήματος, εκφρασμένων υπό μορφή μαθηματικών ή λογικών σχέσεων μεταξύ των αντικειμένων του (Ευστρατιάδης & Κουτσογιάννης, 2006).



Εικόνα 2.2: Σχηματική απεικόνιση των στοιχείων ενός μοντέλου (μετά από επεξεργασία από τους Liu & Gupta, 2007)

Ένα μοντέλο \hat{f} ενός συστήματος δικτύου διανομής αποτελείται (Εικόνα 2.2) από το σύνορο B (δίκτυο διανομής) και περιλαμβάνει εξισώσεις που εκφράζουν τη σχέση μεταξύ ενός διανύσματος μεταβλητών κατάστασης $\hat{X} = \{\hat{x}_1, \dots, \hat{x}_p\}$ μήκους p (πχ. πιέσεις κόμβων, παροχές αγωγών) και ενός διανύσματος απόκρισης $\hat{Y} = \{\hat{y}_1, \dots, \hat{y}_n\}$ μήκους n , με δεδομένα ένα διάνυσμα αρχικών συνθηκών $\hat{x}_0 = \{\hat{x}_{01}, \dots, \hat{x}_{0p}\}$ μήκους p (πχ. στάθμες δεξαμενών ρύθμισης,

αρχικές συνθήκες αντλιών, δικλείδων κ), ένα διάνυσμα μήκους d με παραμέτρους του μοντέλου $\hat{\theta} = \{\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_d\}$ (πχ. τραχύτητα, διάμετρο και μήκος κάθε αγωγού καθώς και χαρακτηριστικά του εξοπλισμού του δικτύου) και ένα διάνυσμα μεταβλητών εισόδου $\hat{U} = \{\hat{u}_1, \dots, \hat{u}_n\}$ μήκους n (πχ. καταναλώσεις νερού στους κόμβους) (Hutton *et al.*, 2014):

$$\hat{Y}, \hat{X} = \hat{f}(\hat{\theta}, \hat{x}_0, \hat{U}) \quad (2.1)$$

Ο τόνος υποδηλώνει την αβεβαιότητα γύρω από τις μεταβλητές και τις παραμέτρους του μοντέλου, αντικείμενο που θα αναλυθεί διεξοδικά σε επόμενο κεφάλαιο.

2.2.2 Σχηματοποίηση δικτύων διανομής

Το εσωτερικό υδραγωγείο είναι συνήθως ένα πολύπλοκο φυσικό σύστημα. Για την επίλυση και την μελέτη του είναι απαραίτητη η απλοποίησή του και ο μετασχηματισμός του σε ένα εννοιολογικό μοντέλο γράφου¹ που αποτελείται από ιδεατούς κόμβους και κλάδους. Το μοντέλο χαρακτηρίζεται ως εννοιολογικό, επειδή ο ορισμός των κόμβων του είναι τέτοιος. Σε ένα πραγματικό δίκτυο πραγματοποιούνται εκροές σε πολλά σημεία κατά μήκος των αγωγών. Η μαθηματική περιγραφή όμως μιας τέτοιας κατάστασης είναι πολύ δύσκολη. Έτσι, το πρόβλημα απλουστεύεται με την θεώρηση των κόμβων, σημείων, δηλαδή, στα οποία συγκεντρώνονται οι απολήψεις.

Οι κόμβοι του μοντέλου μπορεί να είναι (Κουτσογιάννης & Ευστρατιάδης, 2007):

- Σημεία εκροής νερού, αλλαγής της γεωμετρίας του δικτύου ή των χαρακτηριστικών των αγωγών. Έχουν γνωστό απόλυτο υψόμετρο z , γνωστή παροχή εξόδου c και άγνωστο ενεργειακό υψόμετρο h .
- Θέσεις ειδικών καταναλωτών (πχ. ξενοδοχεία, νοσοκομεία, βιομηχανίες κτλ)
- Δεξαμενές αποθήκευσης νερού, ωφέλιμου όγκου V με άγνωστη εκροή νερού y και γνωστό ενεργειακό υψόμετρο z_0 , το οποίο συνήθως ταυτίζεται με την κατώτατη στάθμη ύδατος (ΚΣΥ) της δεξαμενής.
- Διατάξεις ρύθμισης της πίεσης ή της παροχής (πχ. δικλείδες, μειωτές πίεσης, βαλβίδες αντεπιστροφής κτλ) η λειτουργία των οποίων περιγράφεται από γνωστή σχέση παροχής-ενεργειακών απωλειών.
- Σημεία στα οποία, κατά την κρίση του μελετητή, πρέπει να ελεγχθεί η διακύμανση των πιέσεων (πχ. σε πολύ υψηλά ή πολύ χαμηλά σημεία του δικτύου).

Οι κλάδοι του μοντέλου προσομοιώνουν τους αγωγούς μεταφοράς νερού. Κάθε κλάδος αποτελείται από σύστημα σωλήνων σε σειρά μήκους L , ομοιόμορφης διαμέτρου D και ισοδύναμης τραχύτητας ε , κατά μήκος του οποίου θεωρείται ενιαία (άγνωστη) παροχή Q .

¹ Ένας γράφος ή αλλιώς γράφημα αποτελείται από ένα σύνολο από σημεία (κόμβοι) και ένα σύνολο από γραμμές (ακμές) που συνδέουν τους κόμβους. Η θεωρία των γράφων θεωρείται ότι ξεκίνησε από τον Euler στις αρχές του 18ου αιώνα και έχει πλήθος εφαρμογών (δίκτυα οδοποιίας, τηλεπικοινωνίας κ)

2.2.3 Μαθηματική προσομοίωση δικτύων διανομής

Προσομοίωση ενός συστήματος καλείται η μέθοδος η οποία χρησιμοποιεί ένα μαθηματικό μοντέλο για να αναπαράγει την συμπεριφορά ενός συστήματος.

Η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μελέτη ενός φυσικού συστήματος, όταν είναι πρακτικά αδύνατη η υποβολή του ίδιου του συστήματος σε πειράματα ή η κατασκευή ενός ομοιώματός του για τον σκοπό αυτό. Μέσω της προσομοίωσης, λοιπόν, προσφέρεται η δυνατότητα διερεύνησης της απόκρισης του συστήματος σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών, χωρίς να επέμβουμε στο ίδιο το σύστημα. Για παράδειγμα, σε θέματα ποιότητας του νερού στο δίκτυο, η εκτέλεση πειραμάτων στο φυσικό σύστημα θα έθετε σε σοβαρό κίνδυνο την δημόσια υγεία και θα ήταν κοστοβόρα (Walski *et al.*, 2003, p.4). Επιπλέον, εξετάζεται η ενδεχόμενη συμπεριφορά συστημάτων που βρίσκονται υπό σχεδιασμό (πχ. η επέκταση ενός υφιστάμενου δικτύου). Διευκολύνεται, με το τρόπο αυτό, η λήψη ορθών αποφάσεων, χωρίς την σπατάλη χρημάτων και χρόνου.

Για τα δίκτυα διανομής υπάρχουν τρεις τύποι μαθηματικής προσομοίωσης (Paluszczyszyn *et al.*, 2015):

α) Προσομοίωση μόνιμης κατάστασης (*steady state simulation*): Στην προσομοίωση αυτού του είδους το μοντέλο του δικτύου επιλύεται θεωρώντας ένα στιγμιότυπο της λειτουργίας του με την δυσμενέστερη συνήθως φόρτιση. Αυτό σημαίνει πως οι ζητήσεις και οι πιέσεις στους κόμβους είναι σταθερές, ενώ, επιπλέον, οι ζητήσεις λαμβάνουν την μέγιστη τιμή τους ταυτόχρονα. Η θεώρηση αυτή χρησιμοποιείται συχνά για την διαστασιολόγηση των νέων δικτύων και για τον έλεγχο υδραυλικής επάρκειας των υφιστάμενων.

β) Προσομοίωση χρονικά μεταβαλλόμενης κατάστασης (*extended-period simulation*): Αυτός ο τύπος προσομοίωσης προσεγγίζει καλύτερα την πραγματικότητα, καθώς η επίλυση του μοντέλου του δικτύου πραγματοποιείται σε διακριτά χρονικά βήματα, κατά τα οποία θεωρείται χρονική διακύμανση των ζητήσεων και των πιέσεων. Ωστόσο, σε κάθε χρονικό βήμα, γίνεται η παραδοχή πως το δίκτυο βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση. Η διάρκεια της προσομοίωσης είναι κατά κανόνα μεγαλύτερη των 24 h (συνήθως 72 h), ενώ το τυπικό χρονικό βήμα είναι 1 h. Με τον τρόπο αυτό, εξετάζεται η δυναμική λειτουργία του δικτύου σε κανονικές και έκτακτες συνθήκες. Η προσέγγιση αυτή είναι κατάλληλη για την χωροθέτηση και τον έλεγχο επάρκειας των δεξαμενών καθώς και για τον έλεγχο των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού.

γ) Προσομοίωση μη μόνιμης κατάστασης (*transient state simulation*): Πρόκειται για τον πιο ρεαλιστικό τύπο προσομοίωσης ενός δικτύου διανομής, καθώς θεωρεί μη μόνιμες συνθήκες ροής στο δίκτυο. Εντούτοις, η θεώρηση αυτή είναι πολύ πολύπλοκη και για το

λόγο αυτό δεν χρησιμοποιείται ευρέως, παρά μόνο σε ειδικές εφαρμογές, όπως σε ελέγχους αντιπληγματικής προστασίας του δικτύου (surge studies).

2.2.4 Τεχνικές επίλυσης δικτύων διανομής

Η επίλυση ενός δικτύου διανομής συνίσταται στον υπολογισμό των ενεργειακών υψομέτρων h σε όλους τους κόμβους και των διερχόμενων παροχών Q σε όλους τους κλάδους. Δεδομένα του προβλήματος είναι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αγωγών (μήκος L , διάμετρος D , ισοδύναμη τραχύτητα ϵ), τα τοπογραφικά υψόμετρα z και οι ζητήσεις c στους κόμβους και οι στάθμες των δεξαμενών.

Για την γενική περίπτωση ενός μοντέλου δικτύου με n_0 σημεία τροφοδοσίας με γνωστό ενεργειακό υψόμετρο, θεωρούνται n_0-1 ιδεατοί βρόχοι με μηδενική παροχή που συνδέουν τα σημεία αυτά ανά δύο. Έτσι, η θεμελιώδης εξίσωση του μοντέλου του δικτύου γράφεται:

$$m = n + r - n_0 \quad (2.2)$$

όπου m οι κλάδοι του μοντέλου, n οι κόμβοι, r οι βρόχοι και n_0 τα σημεία τροφοδοσίας.

Οι εξισώσεις που διατυπώνονται βασίζονται στις αρχές διατήρησης μάζας (εξισώσεις συνέχειας) και στην αρχή διατήρησης ενέργειας (εξισώσεις ενεργειακών απωλειών κατά μήκος των κλάδων). Συγκεκριμένα:

- Σε κάθε κόμβο i ισχύει η εξίσωση συνέχειας:

$$q_{i,εισόδου} - q_{i,εξόδου} = c_i - y_i \quad (2.3)$$

όπου $q_{i,εισόδου}$ το άθροισμα των εισερχόμενων παροχών, $q_{i,εξόδου}$ το άθροισμα των εξερχόμενων παροχών, c_i η παροχή εξόδου (φόρτιση) του κόμβου i και y_i η παροχή εισόδου (εφόσον πραγματοποιείται τροφοδοσία νερού).

- Σε κάθε βρόχο του δικτύου ισχύει η εξίσωση διατήρησης ενέργειας:

$$\sum \Delta h_{ij} = \sum K p_{ij} Q_{ij}^z = 0 \quad (2.4)$$

δηλαδή, η πιεζομετρική γραμμή σε ένα βρόχο αρχίζει και καταλήγει στην ίδια στάθμη. Οι συντελεστές K_p και z είναι σταθεροί και διαφοροποιούνται ανάλογα με την σχέση υπολογισμού των γραμμικών απωλειών που χρησιμοποιείται.

Κατά μήκος ενός ιδεατού βρόχου οι απώλειες ενέργειας είναι ίσες με τη διαφορά στάθμης Δh_0 μεταξύ των σημείων τροφοδοσίας με γνωστό ενεργειακό υψόμετρο.

Προκύπτει, λοιπόν, ένα μικτό σύστημα από $n-n_0$ γραμμικές εξισώσεις συνέχειας στους κόμβους και r μη γραμμικές εξισώσεις διατήρησης ενέργειας στους βρόχους ως προς τις $m=n-n_0+r$ παροχές. Το σύστημα είναι μη γραμμικό εξαιτίας τόσο των όρων Q_{ij} , όσο και των συντελεστών $K_{p_{ij}}$ που είναι συνάρτηση των Q_{ij} .

Το σύστημα των εξισώσεων μπορεί να επιλυθεί μόνο με αριθμητικές μεθόδους. Οι τεχνικές επίλυσης είναι επαναληπτικές, καθώς ορίζουν αυθαίρετες αρχικές τιμές στις μεταβλητές του προβλήματος και επιδιώκουν την σταδιακή μείωση του σφάλματος μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση.

Υπάρχουν δύο πορείες επίλυσης του προβλήματος:

α) Μέθοδος βρόχων: δίνονται αρχικές τιμές στις παροχές των κλάδων και διορθώνονται οι εξισώσεις διατήρησης ενέργειας στους βρόχους.

β) Μέθοδος κόμβων: δίνονται αρχικές τιμές στα ενεργειακά υψόμετρα των κόμβων και διορθώνονται οι εξισώσεις συνέχειας στους κόμβους.

Ανάλογα με την αλγοριθμική προσέγγιση οι μέθοδοι διακρίνονται σε:

- τεχνικές διόρθωσης του σφάλματος ανά εξίσωση (μέθοδος Cross).
- τεχνικές επίλυσης μη γραμμικών συστημάτων (μέθοδος Newton-Raphson)
- τεχνικές επίλυσης γραμμικοποιημένων συστημάτων, με χαλάρωση του σφάλματος.

2.2.5 Στοιχεία υδραυλικής κλειστών αγωγών υπό πίεση

Η εφαρμογή της αρχής διατήρησης της ενέργειας στους βρόχους του δικτύου προϋποθέτει τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών λόγω τριβής σε κάθε αγωγό. Για τον σκοπό αυτό έχουν διατυπωθεί διάφορες εξισώσεις, οι οποίες μπορούν να πάρουν την γενικευμένη μορφή (Walski et al., 2003, p.42):

$$h_f = K_p Q^z \quad (2.5)$$

όπου: h_f η απώλεια ενέργειας λόγω τριβών (m)

K_p = ο συντελεστής αντίστασης του αγωγού (s^2/m^{3z-1})

Q = η παροχή που διέρχεται από τον αγωγό (m^3/s)

z = εκθέτης που μεταβάλλεται ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη εξίσωση

- Εξίσωση Darcy-Weisbach

$$K_p = f \frac{L}{2gA^2D} \quad (2.6)$$

όπου: f = ο συντελεστής τριβών κατά Darcy

L = το μήκος του αγωγού (m)

D = η εσωτερική διάμετρος του αγωγού (m)

A =το εμβαδό της διατομής του αγωγού (m²)

$z=2$

Ο συντελεστής τριβών f υπολογίζεται συναρτήσει του αριθμού Reynolds Re ($Re=VD/v$) και της σχετικής τραχύτητας k_s/D , σύμφωνα με τα παρακάτω:

Πίνακας 2.1: Εξισώσεις υπολογισμού του συντελεστή τριβών f ανάλογα με τον τύπο ροής

Τύπος ροής	Εξίσωση υπολογισμού συντελεστή τριβών f	Σχόλια
Στρωτή ροή	$64/Re$	$Re < 2300$
Υδραυλικώς λεία περιοχή	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$	Εξίσωση Colebrook-White: $Re > 4000$, $f = F(Re), k_s \rightarrow 0$
Μεταβατική περιοχή	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$	Εξίσωση Colebrook-White: $Re > 4000$, $f = F(Re, k_s/D)$
Πλήρως τραχεία περιοχή	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{k_s}{3.7D} \right)$	Εξίσωση Colebrook-White: $Re > 4000$, $f = F(k_s/D), Re \rightarrow \infty$

Εναλλακτικά ο συντελεστής τριβών f μπορεί να υπολογιστεί από το διάγραμμα Moody, ή από την ρητή σχέση των Swamee and Jane (1976):

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7} \frac{k_s}{D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (2.7)$$

- Εξίσωση Hazen-Williams

$$K_p = \frac{C_f L}{C^z D^{4.87}} \quad (2.8)$$

όπου: L = το μήκος του αγωγού (m)

D = η εσωτερική διάμετρος του αγωγού (m)

C =συντελεστής τραχύτητας της μεθόδου

C_f =συντελεστής ίσος με 10.7 στο διεθνές σύστημα μονάδων SI

$z=1.852$

- Εξίσωση Manning

$$K_p = \frac{C_f L n^z}{D^{5.33}} \quad (2.9)$$

όπου: n = ο συντελεστής τραχύτητας κατά Manning

C_f = συντελεστής ίσος με 10.3 στο διεθνές σύστημα SI

$z= 2$

Τα λογισμικά για την υδραυλική επίλυση μοντέλων υδρευτικών δικτύων επιτρέπουν στο χρήστη να επιλέξει ποια από τις παραπάνω εξισώσεις θα χρησιμοποιήσει. Η εξίσωση Darcy-Weisbach θεωρείται η πιο ακριβής και χρησιμοποιείται συχνότερα. Έχει προκύψει με την μέθοδο της διαστατικής ανάλυσης και με τις κατάλληλες τιμές δυναμικής συνεκτικότητας μ και πυκνότητας ρ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των ενεργειακών απωλειών οποιουδήποτε νευτώνειου ρευστού. Οι εξισώσεις Hazen-Williams και Manning είναι εμπειρικές, έχουν προκύψει, δηλαδή, από προσαρμογή σε πειραματικά δεδομένα και εφαρμόζονται κυρίως σε τυρβώδη ροή νερού. Η εφαρμογή της εξίσωσης Darcy-Weisbach έχει επικρατήσει στην Ευρώπη, ενώ στην Αμερική είναι ευρέως διαδεδομένη αυτή των Hazen-Williams. Η εξίσωση Manning χρησιμοποιείται πολύ σπάνια στην προσομοίωση υδρευτικών δικτύων· έχει εφαρμοσθεί σε μελέτες στην Αυστραλία (Walski et al., p.38).

2.3 Υδατικό ισοζύγιο υδρευτικού δικτύου

Ο προσδιορισμός του υδατικού ισοζυγίου μεταξύ του παραγόμενου όγκου νερού, δηλαδή του νερού που παροχετεύεται από την έξοδο της μονάδας επεξεργασίας νερού, και του νερού που φτάνει στα σημεία κατανάλωσης και τιμολογείται είναι μεγάλης σημασίας για

κάθε εταιρεία ύδρευσης (Τσακίρης, 2010, σ.). Ιδανικά, θα έπρεπε αυτοί οι δύο όγκοι να είναι ίσοι, έτσι ώστε, αν αθροίζονταν οι επιμέρους καταγραφές όλων των υδρομέτρων, να έδιναν ως αποτέλεσμα τον παραγόμενο όγκο νερού. Στην πράξη, φυσικά, δεν ισχύει κάτι τέτοιο. Μολονότι οι εισροές στο δίκτυο είναι ίσες με τις εκροές, δεν μετράται το σύνολο των εκροών, που οφείλονται είτε σε φυσικές απώλειες λόγω διαρροών, είτε σε ποσότητες νερού που δεν έχουν καταγραφεί στα τιμολόγια (Walski et al., 2003, p.151). Αυτή η διαφορά όγκου ονομάζεται μη τιμολογούμενο νερό (unaccounted for water-UFW) και μπορεί να είναι πολύ σημαντική. Υπάρχουν πόλεις της Ελλάδας που το μη τιμολογούμενο νερό είναι ο σημαντικότερος "καταναλωτής" νερού στα αστικά δίκτυα ύδρευσης (Τσακίρης, 2010, σ.).

Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η ποσότητα του μη καταγεγραμμένου νερού αποτελεί σημαντική ένδειξη της κατάστασης του δικτύου ύδρευσης. Μεγάλοι όγκοι υποδηλώνουν παλαιά και κακοσυντηρημένα δίκτυα, με αποτέλεσμα την μη ορθολογική διαχείριση του νερού. Είναι απαραίτητος, λοιπόν, ο υπολογισμός του, μέσω ενός υδατικού ισοζυγίου στο οποίο οι επιμέρους συνιστώσες να καθορίζονται πλήρως και με σαφήνεια. Πολλές υδρευτικές εταιρείες έχουν υπολογίσει τα υδατικά ισοζύγια των δικτύων που διαχειρίζονται εκτιμώντας κατάλληλα τις ποσότητες που το συνθέτουν. Η τακτική όμως αυτή οδήγησε σε πλήθος διαφορετικών θεωρήσεων και ορισμών, με συνέπεια, τα αποτελέσματα μεταξύ διαφορετικών εταιρειών ύδρευσης, να μην είναι συγκρίσιμα και να μην μπορεί να γίνει εξαγωγή συμπερασμάτων, ακόμα και για δίκτυα που βρίσκονται στην ίδια χώρα (Liemberger & Farley, 2004).

Σημαντική εξέλιξη, λοιπόν, ήταν η εισαγωγή μιας διεθνώς αποδεκτής ορολογίας και μεθοδολογίας για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου από την Water Loss Task Force της International Water Association (IWA). Οι συνιστώσες αυτές, όπως καθορίστηκαν από την επιτροπή δίνονται στην Εικόνα 2.3.

System Input Volume	Authorised Consumption	Billed Authorised Consumption	Billed Metered Consumption	Revenue Water	
			Billed Unmetered Consumption		
	Authorised Consumption	Unbilled Authorised Consumption	Unbilled Metered Consumption	Non Revenue Water	
			Unbilled Unmetered Consumption		
	Water Losses	Apparent Water Losses	Unauthorised Consumption		
			Customer Meter Inaccuracies		
		Real Losses	Leakage on Transmission and Distribution Mains		
			Leakage and Overflows at Reservoirs		
Leakage on Service Connections up to Metering Point					

Εικόνα 2.3: Υδατικό ισοζύγιο δικτύων ύδρευσης (International Water Association, IWA)

- Παρεχόμενος όγκος νερού στο σύστημα: Είναι η ποσότητα νερού που εισέρχεται στο δίκτυο για το χρονικό διάστημα που υπολογίζεται το υδατικό ισοζύγιο (συνήθως ένα ημερολογιακό έτος).
- Νόμιμη κατανάλωση: Είναι η συνολική ποσότητα νερού που καταναλώνεται από όσους έχουν νόμιμα το δικαίωμα χρήσης νερού για την περίοδο υπολογισμού του υδατικού ισοζυγίου. Διακρίνεται σε τιμολογούμενη και μη τιμολογούμενη ποσότητα. Η τιμολογούμενη ποσότητα είναι ο όγκος νερού για τον οποίο εκδίδονται τιμολόγια από την εταιρεία ύδρευσης είτε με βάση τις καταγραφές υδρομέτρων, είτε με άλλους τρόπους υπολογισμού. Μη τιμολογούμενη ποσότητα είναι ο όγκος του νερού που χρησιμοποιείται δωρεάν από τους δήμους και τις κοινότητες. Περιλαμβάνει επίσης το νερό που χρησιμοποιείται για πυρόσβεση, το νερό για πότισμα δημοσίων κήπων, για καθάρισμα των αγωγών ύδρευσης και αποχέτευσης κτλ.
- Απώλειες νερού: Η διαφορά της παρεχόμενης ποσότητας με την νόμιμη κατανάλωση αποτελούν τις απώλειες νερού στο δίκτυο. Διακρίνονται σε πραγματικές και φαινομενικές. Ως πραγματικές ή φυσικές απώλειες ορίζονται οι απώλειες που λαμβάνουν χώρα μέχρι και το υδρόμετρο του καταναλωτή. Προκύπτουν από διαρροές, υπερχειλίσσεις δεξαμενών και από θραύσεις αγωγών. Οι αιτίες που τις προκαλούν μπορεί να έχουν τοπικό χαρακτήρα ή να αφορούν μια ευρύτερη περιοχή του δικτύου. Ορισμένες από αυτές είναι η πίεση λειτουργίας του δικτύου, τα χαρακτηριστικά των αγωγών (μήκος, διάμετρος, ηλικία), ο τρόπος κατασκευής του δικτύου και η τοποθέτηση των αγωγών, η πυκνότητα ενώσεων, δικλίδων και λουπών εξαρτημάτων κτλ. (Τσακίρης, 2010, σ.). Οι φαινομενικές απώλειες περιλαμβάνουν τις παράνομες συνδέσεις των καταναλωτών καθώς και κάθε είδους ανακρίβειες στην καταμέτρηση και την χρέωση της κατανάλωσης που μπορεί να οφείλονται σε κακή λειτουργία των υδρομέτρων, σε ανθρώπινα λάθη κατά την μεταφορά των δεδομένων κτλ.

2.4 Εκτίμηση υδρευτικών καταναλώσεων

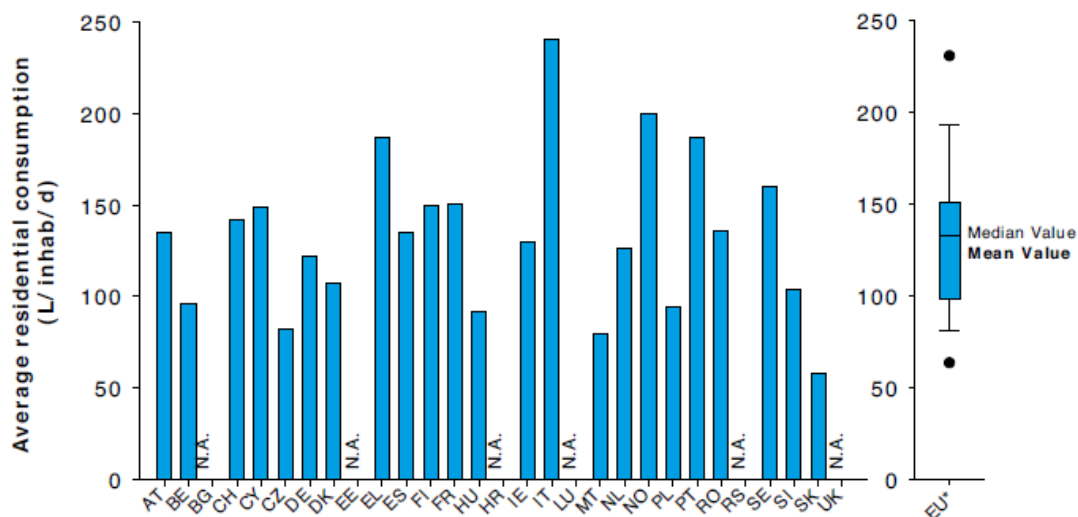
2.4.1 Γενικά

Προϋπόθεση για την επίλυση ενός μαθηματικού μοντέλου δικτύου ύδρευσης είναι ο προσδιορισμός της παροχής σχεδιασμού και η κατανομή της στους κόμβους του μοντέλου. Η παροχή σχεδιασμού περιλαμβάνει τις πραγματικές ανάγκες σε νερό της υπό μελέτη περιοχής και τις απώλειες, προσαυξημένες κατάλληλα, όπως θα αναφερθεί στη συνέχεια. Οι απώλειες, αν δεν υπάρχουν στοιχεία, λαμβάνονται ως ποσοστό της συνολικής ζήτησης, ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου.

Οι ανάγκες σε αστικό νερό καλύπτουν ένα μεγάλο σύνολο επιμέρους χρήσεων. Οι σπουδαιότερες είναι:

- Η οικιακή χρήση, η οποία αποτελεί, τις περισσότερες φορές, το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής ζήτησης. Από στατιστικές αναλύσεις των καταναλώσεων έχουν προκύψει τυπικές τιμές κατανάλωσης για διάφορες δραστηριότητες που σχετίζονται με τη συγκεκριμένη χρήση (πχ. ατομική καθαριότητα, κουζίνα, πλυντήριο, πότισμα κήπου κτλ). Η μέση οικιακή κατανάλωση για τους μόνιμους κατοίκους στη χώρα μας εκτιμάται στα 150-200 L/ημέρα/κάτοικο (Κουτσογιάννης, Ευστρατιάδης, 2007).
- Η τουριστική χρήση, η οποία αναφέρεται στον μη μόνιμο πληθυσμό μιας περιοχής. Σε αυτόν ανήκουν οι τουρίστες και οι παραθεριστές που διαθέτουν κατοικία και την χρησιμοποιούν για μια ορισμένη περίοδο τον χρόνο. Τόσο η ανηγμένη κατανάλωση, όσο και η διάρκεια παραμονής τους είναι διαφορετική (Τσακίρης, 2010, σ.). Η τυπική τιμή κατανάλωσης για τους παραθεριστές κυμαίνεται στα 200-250 L/ημέρα/κάτοικο, ενώ για τους τουρίστες στα 250-300 L/ημέρα/κλίνη (Κουτσογιάννης, Ευστρατιάδης, 2007).
- Η εμπορική/βιομηχανική χρήση. Στην εμπορική χρήση νερού περιλαμβάνονται οι καταναλώσεις σε γραφεία, εμπορικά καταστήματα, εστιατόρια κτλ. Συνήθως, οι αντίστοιχες τυπικές καταναλώσεις εκφράζονται σε L /ημέρα/απασχολούμενο ή σε L/ημέρα/πελάτη για τα εστιατόρια. Η βιομηχανική χρήση είναι αυτή που παρουσιάζει το μεγαλύτερο εύρος τιμών από όλες τις επιμέρους χρήσεις. Η κατανάλωση νερού εξαρτάται από τις ανάγκες της ίδιας της παραγωγής, της πλύσης, της ψύξης των μηχανημάτων και της καθαριότητας των χώρων της εγκατάστασης (Τσακίρης, 2010, σ.).
- Η δημοτική/δημόσια χρήση, η οποία πραγματοποιείται σε δημόσιες εγκαταστάσεις όπως σχολεία, νοσοκομεία, δημόσιες υπηρεσίες, χώρους πρασίνου κτλ. Περιλαμβάνει δραστηριότητες με εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά και γι αυτό παρουσιάζει έντονη διακύμανση.

Η ζήτηση σε νερό μπορεί να παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις από τόπο σε τόπο, αφού επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η διαθεσιμότητα και η ποιότητα του νερού, οι κλιματικές συνθήκες, η απόδοση του δικτύου ύδρευσης, το βιοτικό και μορφωτικό επίπεδο των καταναλωτών, το σύστημα τιμολόγησης, το τεχνολογικό επίπεδο βιομηχανικής παραγωγής, οι χρήσεις γης κτλ. Ενδεικτικά, παρουσιάζεται η μέση οικιακή κατανάλωση (L/κάτοικο/ημέρα) σε διάφορες χώρες της Ευρώπης (Εικόνα 2.4).



Εικόνα 2.4: Μέση οικιακή κατανάλωση σε χώρες της Ευρώπης (l/κάτοικο/ημέρα). (EurEau, The European Federation of National Associations of Water Services, 2017)

Για τον λόγο αυτό, η εκτίμηση των υδρευτικών αναγκών μιας περιοχής απαιτεί λεπτομερή ανάλυση κατά χρήση με παράλληλη διερεύνηση και αξιολόγηση των τοπικών συνθηκών. Η άκριτη και μηχανιστική υιοθέτηση των τυπικών καταναλώσεων που κυκλοφορούν στην βιβλιογραφία, ενδεχομένως να οδηγήσει σε χονδροειδή σφάλματα σε σχέση με την πραγματική ζήτηση, με αποτέλεσμα το μοντέλο του δικτύου να μην ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα (Αφτιάς, 1992, σ.ΙΙΙ-2).

Μια επιπρόσθετη δυσκολία που παρουσιάζεται στον προσδιορισμό της συνολικής ζήτησης είναι η επεξεργασία στην οποία πρέπει να υποβληθούν τα δεδομένα καταναλώσεων, αφού, τις περισσότερες φορές, η μορφή που βρίσκονται δεν επιτρέπει την άμεση εισαγωγή τους στο μοντέλο.

Πιθανά δεδομένα καταναλώσεων μπορεί να είναι τα αρχεία καταγραφής των υδρομέτρων (συνήθως ανά τρίμηνο ή τετράμηνο) που διατηρεί η εταιρεία ύδρευσης. Αυτά μπορούν να βοηθήσουν στην εκτίμηση μιας μέσης κατανάλωσης των χρηστών, αλλά δεν αρκούν για τον προσδιορισμό των διακυμάνσεων της ζήτησης σε λεπτότερες χρονικές κλίμακες. Επιπλέον στοιχεία που μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα είναι οι παροχές νερού που μετρώνται στην έξοδο των μονάδων επεξεργασίας νερού και μπορούν να δώσουν μια εικόνα της εποχικής διακύμανσης της κατανάλωσης. Επίσης, τα αρχεία καταγραφής της στάθμης των δεξαμενών του δικτύου, σε συνδυασμό με τις διαστάσεις των δεξαμενών, μπορούν να μετατραπούν σε ογκομετρικά δεδομένα κατανάλωσης και, εν συνεχεία, σε παροχές. Τέλος, οι προηγούμενες μελέτες του δικτύου συνιστούν πολύτιμη πληροφορία και μπορούν να συμβάλλουν στην αποφυγή κοπιαστικής έρευνας. Φυσικά, και σε αυτήν την περίπτωση, πρέπει τα δεδομένα να αξιολογηθούν με προσοχή, καθώς υπάρχει σοβαρό ενδεχόμενο η τρέχουσα κατάσταση του δικτύου να έχει μεταβληθεί έντονα και οι μελέτες να θεωρούνται ξεπερασμένες (Walski et al., p.134).

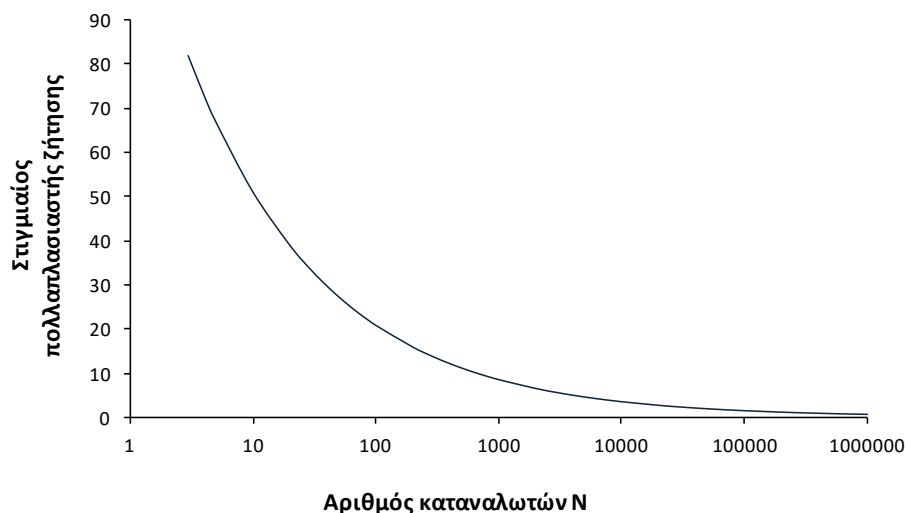
2.4.2 Χρονική διακύμανση των υδρευτικών καταναλώσεων

Το επόμενο στάδιο, μετά την επεξεργασία των δεδομένων των καταναλώσεων και την εξαγωγή μέσων τιμών κατανάλωσης (baseline demands) για κάθε χρήση, είναι η εκτίμηση των πολλαπλασιαστών ζήτησης. Οι καταναλώσεις διαφοροποιούνται όχι μόνο ανά κατηγορία χρήσης, αλλά και χρονικά. Οι πολλαπλασιαστές ζήτησης, λοιπόν, περιγράφουν την χρονική διακύμανση της κατανάλωσης και είναι ίσοι με τον λόγο της ζήτησης σε μια δεδομένη στιγμή προς την μέση ζήτηση για την εξεταζόμενη περίοδο (ώρα, ημέρα, έτος κτλ). Η ζήτηση μεταβάλλεται συνεχώς σε όλες τις χρονικές κλίμακες:

- Στιγμιαία ζήτηση (instantaneous demand): Ένα δίκτυο θα πρέπει να είναι σε θέση να ικανοποιεί αυτήν την ζήτηση. Η στιγμιαία ζήτηση προκύπτει από το ποσοστό του πληθυσμού που θα ανοίξει ταυτόχρονα τις βρύσες. Αυτό το ποσοστό μπορεί να είναι πολύ μεγάλο (μπορεί να πλησιάζει και το 100%), όσο ο πληθυσμός είναι μικρότερος. Μια καλή προσέγγιση του στιγμιαίου συντελεστή ζήτησης δίνεται από την ακόλουθη εκθετική σχέση (Trifunovic, 2006, p.34):

$$pf_{ins} = 126 * e^{-0.9 * \log(N)} \quad (2.10)$$

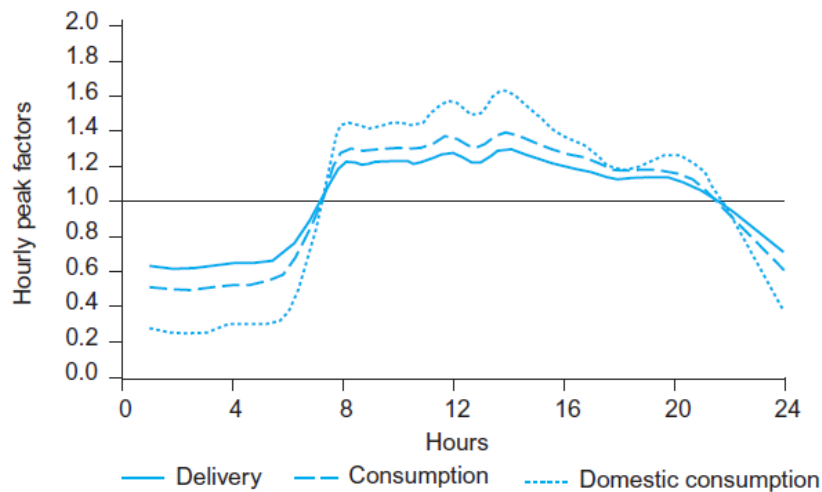
όπου N ο αριθμός των καταναλωτών.



Εικόνα 2.5: Πολλαπλασιαστική στιγμιαία ζήτηση συναρτήσει του αριθμού καταναλωτών N

- Ωριαία ζήτηση: Για μεγάλους πληθυσμούς καταναλωτών, το διάγραμμα διακύμανσης της στιγμιαίας κατανάλωσης στην διάρκεια του 24-ωρου προσεγγίζει το διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης (diurnal pattern). Η κατάρτιση τέτοιων διαγραμμάτων είναι σημαντική για τον σχεδιασμό των δικτύων διανομής, ιδιαίτερα για την διαστασιολόγηση των δεξαμενών και των αντλιοστασίων. Η

διακύμανση της ημερήσιας κατανάλωσης μπορεί να εκτιμηθεί με την τοποθέτηση μετρητών παροχής σε τροφοδοτικούς αγωγούς αλλά και σε καίρια σημεία μέσα στο δίκτυο. Μια τέτοιου είδους τακτική επιτρέπει τον προσδιορισμό των διακυμάνσεων για διαφορετικές χρήσεις νερού, αλλά και των απωλειών του δικτύου. Η οικιακή κατανάλωση παρουσιάζει την μεγαλύτερη διακύμανση μέσα στην ημέρα, επηρεάζοντας και το συνολικό διάγραμμα κατανάλωσης μιας περιοχής. Ένα "επίπεδο" διάγραμμα συνολικής κατανάλωσης είναι συχνά ένδειξη μεγάλων απωλειών στο δίκτυο είτε υψηλής βιομηχανικής ζήτησης (Trifunovic, 2006, p.38).



Εικόνα 2.6: Τυπική ημερήσια διακύμανση της ζήτησης σε αστική περιοχή (Πηγή: Trifunovic, 2006)

Τα παραπάνω απεικονίζονται στην Εικόνα 2.6. Η οικιακή κατανάλωση παρουσιάζει την εντονότερη διακύμανση. Η συνολική κατανάλωση παρουσιάζει μικρότερη διακύμανση, αφού οι λοιπές χρήσεις νερού πραγματοποιούνται κυρίως την ημέρα. Τέλος, η πρόσθεση των απωλειών, οι οποίες είναι σταθερές στην διάρκεια της ημέρας, έχει ως αποτέλεσμα την περαιτέρω ομαλοποίηση του διαγράμματος.

- Εβδομαδιαία και εποχική ζήτηση: Η εβδομαδιαία διακύμανση της κατανάλωσης επηρεάζεται από τις εργάσιμες και τις αργίες. Το σαββατοκύριακο, για παράδειγμα, η κατανάλωση είναι μικρότερη. Παράλληλα, όπως είναι αναμενόμενο, η κατανάλωση αυξάνεται κατά τους θερινούς μήνες.
- Ετήσια ζήτηση: Ο προσδιορισμός της μελλοντικής κατανάλωσης για το έτος σχεδιασμού γίνεται με εκτίμηση του μελλοντικού πληθυσμού. Στην πράξη συνήθως εφαρμόζονται τρία τυπικά μοντέλα εξέλιξης πληθυσμού που υποθέτουν:
 - α) Γραμμική αύξηση πληθυσμού:

$$\Pi_t = \Pi_o + at \quad (2.11)$$

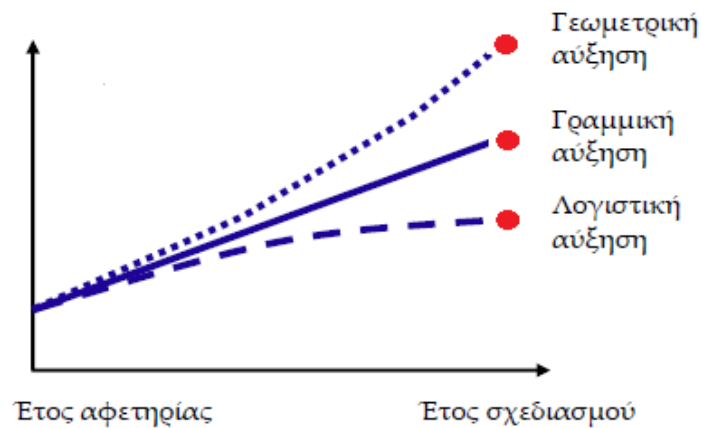
β) Γεωμετρική αύξηση πληθυσμού (σχέση ανατοκισμού):

$$Π_t = Π_o + (1 + b)^t \quad (2.12)$$

γ) Λογιστική αύξηση πληθυσμού:

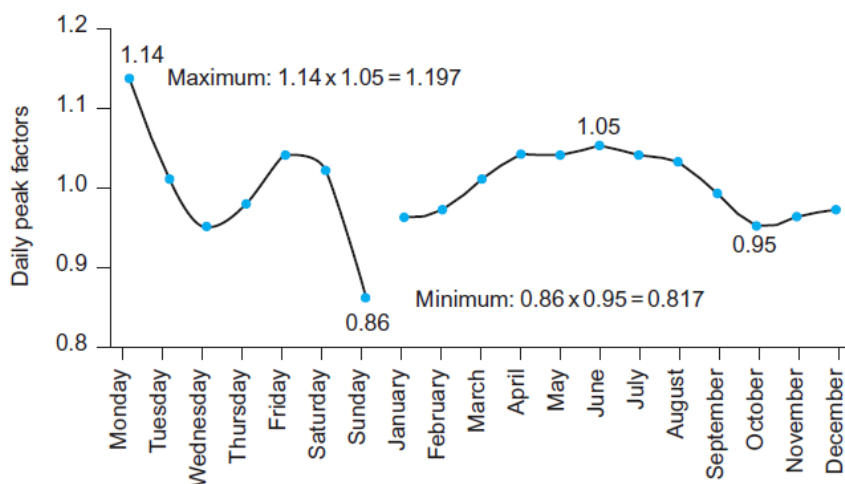
$$Π_t = \frac{Π_κ}{(1 + me^{-nt})} \quad (2.13)$$

όπου: $Π_o$ ο πληθυσμός αφετηρίας, $Π_t$ ο πληθυσμός μετά από t έτη, $Π_κ$ ο πληθυσμός κορεσμού και a, b, m, n παράμετροι που εκτιμώνται με βάση ιστορικά δεδομένα απογραφής δύο ή τριών πρόσφατων απογραφών πληθυσμού (Κουτσογιάννης & Ευστρατιάδης, 2012). Γενικά, η αξιοπιστία των συνολικών μοντέλων περιορίζεται από την υπόθεση διατήρησης και στο μέλλον των τάσεων, που επικράτησαν στο παρελθόν και διαμόρφωσαν την καταγραφείσα εξέλιξη της ζήτησης (Αφτιάς, 1992, III-15).



Εικόνα 2.7: Πιθανοί τρόποι εξέλιξης της κατανάλωσης μετά από t έτη (Πηγή: Κουτσογιάννης & Ευστρατιάδης, 2012)

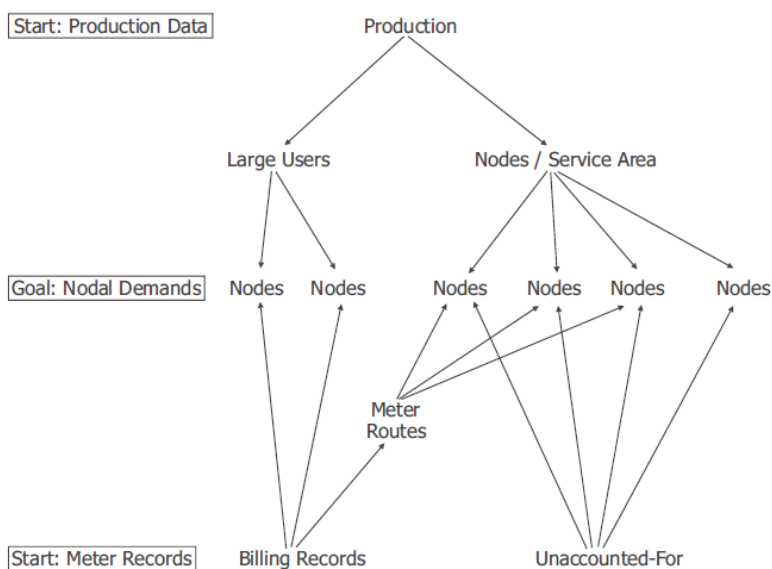
Για τον προσδιορισμό της παροχής σχεδιασμού, πρέπει να εκτιμηθεί η μέγιστη ωριαία παροχή Q_{Ω} για κάθε μια από τις κατηγορίες χρήσης. Υπολογίζεται, αρχικά, η μέση ημερήσια κατανάλωση του έτους Q_E . Στην συνέχεια εντοπίζεται ο μήνας με την μεγαλύτερη μέση κατανάλωση και υπολογίζεται ο πολλαπλασιαστής εποχικής ζήτησης. Από τον συγκεκριμένο μήνα βρίσκεται η ημέρα με την μεγαλύτερη μέση ημερήσια κατανάλωση Q_H και υπολογίζεται ο πολλαπλασιαστής ημερήσιας ζήτησης. Το γινόμενο των δύο πολλαπλασιαστών ισούται με τον πολλαπλασιαστή ημερήσιας αιχμής λ_H (Εικόνα 2.8). Τέλος, από την διακύμανση της ωριαίας ζήτησης την ημέρα εκείνη, βρίσκεται η ώρα με την μεγαλύτερη ζήτηση και υπολογίζεται ο πολλαπλασιαστής ωριαίας αιχμής λ_{Ω} .



Εικόνα 2.8: Εποχική και εβδομαδιαία διακύμανση κατανάλωσης-Υπολογισμός συντελεστή ημερήσιας αιχμής (Trifunovic, 2006)

2.4.3 Χωρική κατανομή των υδρευτικών καταναλώσεων

Για την κατανομή της κατανάλωσης στους κόμβους υπάρχουν δύο γενικές προσεγγίσεις, ανάλογα με το είδος των διαθέσιμων δεδομένων. Στην πρώτη, η συνολική ποσότητα του νερού που παράγεται κατανέμεται κατάλληλα στους κόμβους του μοντέλου, μετά από αφαίρεση της ποσότητας που αντιστοιχεί στους ειδικούς καταναλωτές (top-down approach). Στην δεύτερη, αφετηρία είναι οι επιμέρους καταγραφές των υδρομέτρων, οι οποίες αθροίζονται κατάλληλα για να μοιραστούν στους κόμβους. Στην συνέχεια, γίνεται μια εκτίμηση των απωλειών του δικτύου, οι οποίες προστίθενται και αυτές στους κόμβους. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει η συνολική ποσότητα νερού που παροχετεύεται στο δίκτυο (bottom-up approach) (Εικόνα 2.9). Συχνά, για τον προσδιορισμό των καταναλώσεων στους κόμβους, χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός των μεθόδων.



Εικόνα 2.9: Προσεγγίσεις για την φόρτιση του μοντέλου (Πηγή: Walski et al., 2003)

Ο υπολογισμός της έκτασης a_i που εξυπηρετεί κάθε κόμβος i του μοντέλου γίνεται με την μέθοδο των επιφανειών επιρροής. Έτσι, το ποσοστό συμμετοχής w_i του κόμβου i στη συνολική κατανάλωση εκτιμάται από τη σχέση:

$$w_i = \frac{a_i}{\sum a_i} \quad (2.14)$$

Η χάραξη των επιφανειών επιρροής γίνεται με τυπικές μεθόδους χωρικής ολοκλήρωσης, όπως για παράδειγμα με χρήση πολυγώνων Thiessen (πολύγωνα Voronoi).

Απαραίτητη είναι η διάκριση των καταναλωτών σε σημειακούς και μη σημειακούς. Ως σημειακοί (ειδικοί) καταναλωτές ορίζονται οι μεγάλοι καταναλωτές, όπως βιομηχανίες, μεγάλες ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις, νοσοκομεία κτλ. Η κατανάλωσή ενός σημειακού καταναλωτή είτε μεταφέρεται σε κόμβο του μοντέλου ο οποίος τοποθετείται ακριβώς στην θέση που βρίσκεται ο καταναλωτής, είτε προστίθεται ολόκληρη στον εγγύτερο κόμβο του μοντέλου. Μη σημειακοί ονομάζονται οι λοιποί καταναλωτές και η κατανάλωση τους κατανέμεται κατάλληλα στους κόμβους του μοντέλου.

Για τους μη σημειακούς καταναλωτές η κατανάλωση επιμερίζεται σύμφωνα με το ποσοστό συμμετοχής κάθε κόμβου w_i . Αυτό επαναλαμβάνεται για κάθε χρήση νερού k . Σε περίπτωση που ένας κόμβος i εξυπηρετεί περισσότερες από μία χρήσεις, η ζήτηση c_i στον κόμβο αυτό ονομάζεται μικτή και προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους:

$$c_i = \sum w_{ik} q_k \quad (2.15)$$

3 Πηγές αβεβαιότητας στην προσομοίωση δικτύων ύδρευσης

3.1 Κατηγορίες αβεβαιότητας

Η εγγενής αβεβαιότητα (aleatory uncertainty) πηγάζει από κάθε τυχαία διαδικασία και αποτελεί έμφυτο χαρακτηριστικό όλων των τυχαίων μεταβλητών. Σχετίζεται με την μεταβλητότητα που αυτές παρουσιάζουν, η οποία μπορεί να περιγραφεί με τη χρήση στατιστικών εργαλείων (πχ. πιθανοτικές κατανομές). Χαρακτηριστικά παραδείγματα εγγενούς αβεβαιότητας είναι το αποτέλεσμα της ρίψης ενός ζαριού, η χωρική και χρονική κατανομή της βροχόπτωσης, των υδρευτικών καταναλώσεων κτλ. Η αβεβαιότητα αυτού του είδους, λόγω της φύσης της, δεν μπορεί να μειωθεί.

Η επιστημική αβεβαιότητα (epistemic uncertainty) σχετίζεται με την περιορισμένη γνώση του τρόπου λειτουργίας ενός συστήματος και την αδυναμία περιγραφής του με ακρίβεια. Στην περίπτωση αυτή, η αβεβαιότητα μπορεί να μειωθεί σημαντικά (όχι όμως να εξαλειφθεί) με την απόκτηση περισσότερης πληροφορίας (πχ. περισσότερες μετρήσεις) και την καλύτερη κατανόηση της δομής του συστήματος.

Η αβεβαιότητα ενός μοντέλου, η οποία σχετίζεται με τα στοιχεία που το συνθέτουν διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες:

α) Δομικά σφάλματα μοντέλου (structural uncertainty): Αφορούν τις απλοποιητικές παραδοχές για τη δομή και την λειτουργία του συστήματος προκειμένου αυτό να μπορέσει να περιγραφεί μαθηματικά. Ένα μοντέλο δεν είναι παρά μια προσπάθεια αναπαράστασης της πραγματικότητας ($\hat{f} \neq f$ - βλ. 2.2.1) και πάντοτε θα είναι ατελές (αρχή της ελλιπούς γνώσης) (Μακρόπουλος, 2011). Αυτό που είναι σημαντικό είναι η αναγνώριση και η κατανόηση των ατελειών και των περιορισμών του, προκειμένου να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ορθό τρόπο (Filion & Karney, 2003).

β) Ελλιπής γνώση των παραμέτρων (parameter uncertainty): Σχετίζεται με την αβεβαιότητα γύρω από τις παραμέτρους του μοντέλου ($\hat{\theta} \neq \theta$). Η αβεβαιότητα αυτή είναι εγγενής, αφού οι τιμές των παραμέτρων μπορεί να μεταβάλλονται στον χώρο και στο χρόνο. Παράλληλα, όμως, η αβεβαιότητα γύρω από κάποιες παραμέτρους, όπως η τραχύτητα των αγωγών, η οποία δεν μπορεί να μετρηθεί, αλλά υπολογίζεται έμμεσα, μέσω βαθμονόμησης, είναι επιστημική (Karelan *et al.*, 2007). Η αβεβαιότητα των παραμέτρων μπορεί να επιφέρει μεγάλα σφάλματα στις εκτιμήσεις των μοντέλων και υπάρχουν εκτενείς αναφορές στην βιβλιογραφία.

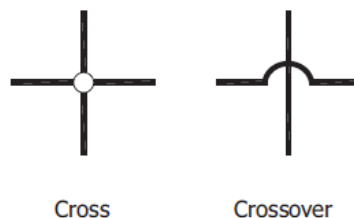
γ) Σφάλματα μετρήσεων/δεδομένων (measurement/data uncertainty): Αναφέρονται στην αβεβαιότητα των τιμών των μεταβλητών του μοντέλου η οποία μπορεί να είναι τόσο εγγενής, όσο και επιστημική. Συνήθως προκύπτει από την αποτυχία των οργάνων μέτρησης να καταγράψουν με ακρίβεια και αξιοπιστία τις τιμές των μεταβλητών (Bargiela & Hainsworth, 1989). Επιπλέον, είναι πιθανό να προκύψει ως αποτέλεσμα της διαφορετικής χωρικής κλίμακας και του διαφορετικού χρονικού βήματος των παρατηρήσεων και των αναλύσεων του μοντέλου (Huton *et al.*, 2011).

3.2 Πηγές αβεβαιότητας

Βασική προϋπόθεση για την μείωση της αβεβαιότητας ενός μοντέλου είναι ο εντοπισμός των επιμέρους στοιχείων που σχετίζονται με αυτήν. Στα δίκτυα ύδρευσης υπάρχουν διάφορες πιθανές πηγές αβεβαιότητας, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

3.2.1 Τοπολογία δικτύου

Πρωταρχική απαίτηση για την αξιοπιστία του μοντέλου είναι η όσο το δυνατόν πιο πιστή αναπαράσταση του δικτύου. Προϋπόθεση είναι η γνώση της διάταξης των αγωγών και των στοιχείων τους (μήκος, διάμετρος, υλικό) καθώς και ο προσδιορισμός της θέσης λοιπών συσκευών στο δίκτυο, όπως δικλείδων, μειωτών πίεσης κτλ. Η διασταύρωση δύο ή και περισσότερων αγωγών στο δίκτυο αποτελεί πολύ συχνή πηγή σφάλματος, αφού δεν είναι πάντοτε σαφές αν οι αγωγοί συνδέονται μεταξύ τους ή απλώς διασταυρώνονται (Walski *et al.*, 2003, p.82) (Εικόνα 3.1). Λανθασμένη θεώρηση των ανωτέρω συνεπάγεται σημαντικές διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων του μοντέλου και της πραγματικότητας, όσο ακριβή και αν είναι τα υπόλοιπα δεδομένα. Τέτοιου είδους πληροφορίες μπορούν να ληφθούν από σχέδια αποτύπωσης του δικτύου, πρέπει όμως, πάντοτε, να αξιολογούνται με προσοχή.



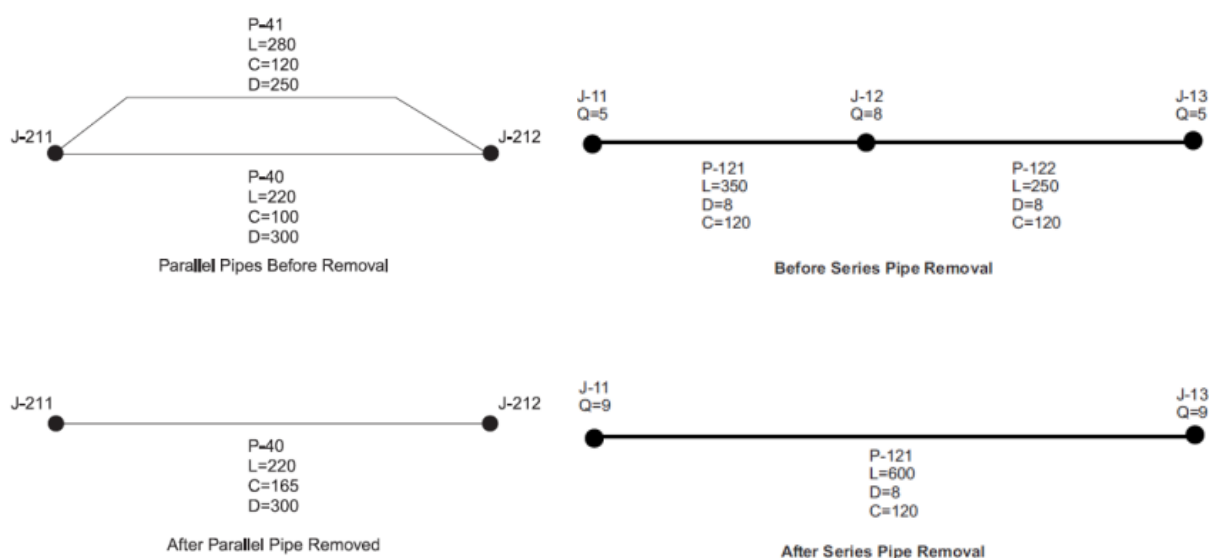
Εικόνα 3.1: Πιθανοί τρόποι διασταύρωσης αγωγών σε ένα δίκτυο (Πηγή: Walski *et al.*, 2003)

3.2.2 Σχηματοποίηση δικτύου

Κατά την σχηματοποίηση ενός πολύπλοκου δικτύου ύδρευσης, συχνά αφαιρούνται κάποιοι αγωγοί, οι οποίοι δεν αξιολογούνται ως σημαντικοί για το δίκτυο, προκειμένου το μοντέλο να απλοποιηθεί. Οι αγωγοί αυτοί μπορεί να είναι:

- αγωγοί μικρής διαμέτρου
- αγωγοί ιδίων χαρακτηριστικών σε σειρά, οι οποίοι συγχωνεύονται
- παράλληλοι αγωγοί, οι οποίοι μετασχηματίζονται, σύμφωνα με την θεωρία της υδραυλικής, σε έναν ισοδύναμο

Ιδανικά, το μοντέλο θα πρέπει να αναπαριστά απλουστευμένα μεν, αλλά με ακρίβεια το δίκτυο. Συμβαίνει όμως, συχνά, να παραλείπονται αγωγοί, οι οποίοι αποδεικνύεται πως είναι σημαντικοί για την σωστή υδραυλική λειτουργία του δικτύου. Για παράδειγμα, η αφαίρεση ομάδας αγωγών με μικρές διαμέτρους με μοναδικό αυτό το κριτήριο, μπορεί να έχει σημαντική επίπτωση στα αποτελέσματα του μοντέλου, καθώς οι αγωγοί αυτοί ενδεχομένως ως σύνολο να έχουν σημαντικό ρόλο στο δίκτυο. Για να είναι αξιόπιστο ένα μοντέλο, λοιπόν, τα κριτήρια με τα οποία θα απλουστευθεί το δίκτυο πρέπει να επιλεγούν προσεκτικά (Walski *et al.*, 2003, p.262).



Εικόνα 3.2: Παραδείγματα αφαίρεσης αγωγών από το μοντέλο (Πηγή: Walski *et al.*, 2003)

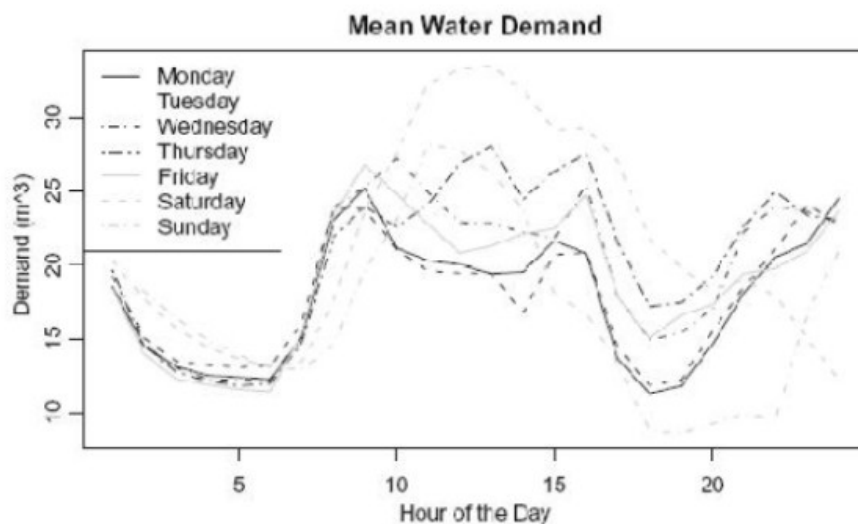
3.2.3 Τραχύτητα και εσωτερική διάμετρος αγωγών

Η τραχύτητα των αγωγών αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές πηγές αβεβαιότητας στην μοντελοποίηση των δικτύων ύδρευσης. Διαφοροποιείται ανάλογα με το υλικό, το μέγεθος, την ηλικία των αγωγών, αλλά και την ποιότητα του νερού που ρέει σε αυτούς. Έχει διαπιστωθεί, μετά από έρευνα, πως τα χαρακτηριστικά ιδίων αγωγών εξελίχθηκαν διαφορετικά στο χρόνο, επειδή το νερό τους είχε διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά (Walski *et al.*, 2003, p.256). Γενικά, όσο μεγαλώνει η ηλικία ενός δικτύου, τόσο η διάβρωση των αγωγών του αυξάνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της τραχύτητας τους και την μείωση της εσωτερικής τους διαμέτρου, που επιφέρει με τη σειρά της μείωση της παροχτετευτικότητάς τους.

3.2.4 Ζητήσεις

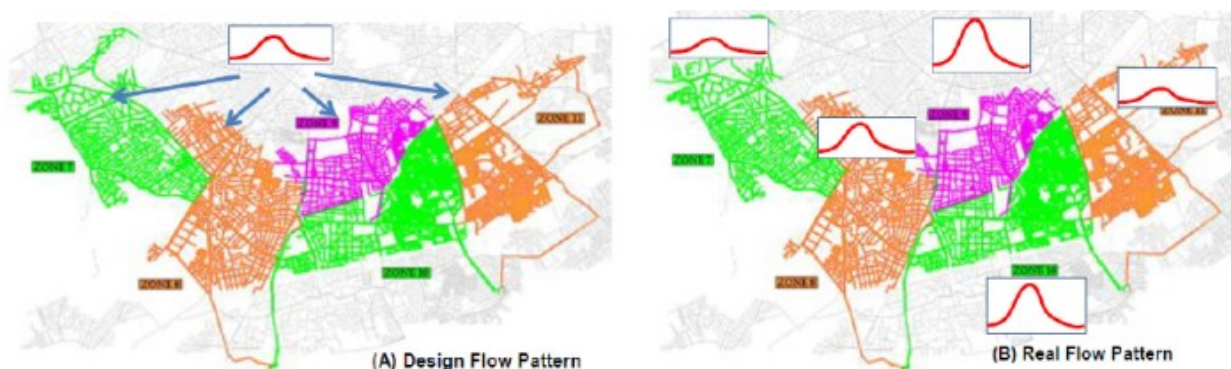
Από όλους τους παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι ζητήσεις συνιστούν αναμφισβήτητα την μεγαλύτερη πηγή αβεβαιότητας επηρεάζοντας την αξιοπιστία του μοντέλου (Magini *et al.*, 2008).

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι ζητήσεις μεταβάλλονται σε όλες τις χρονικές κλίμακες. Ακόμα και μέσα στην εβδομάδα, οι ζητήσεις μπορεί να διαφοροποιούνται σημαντικά (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3: Ημερήσια διακύμανση της ζήτησης για ένα τμήμα πόλης 5000 κατοίκων στη νότια Ισπανία (Herrera *et al.*, 2010)

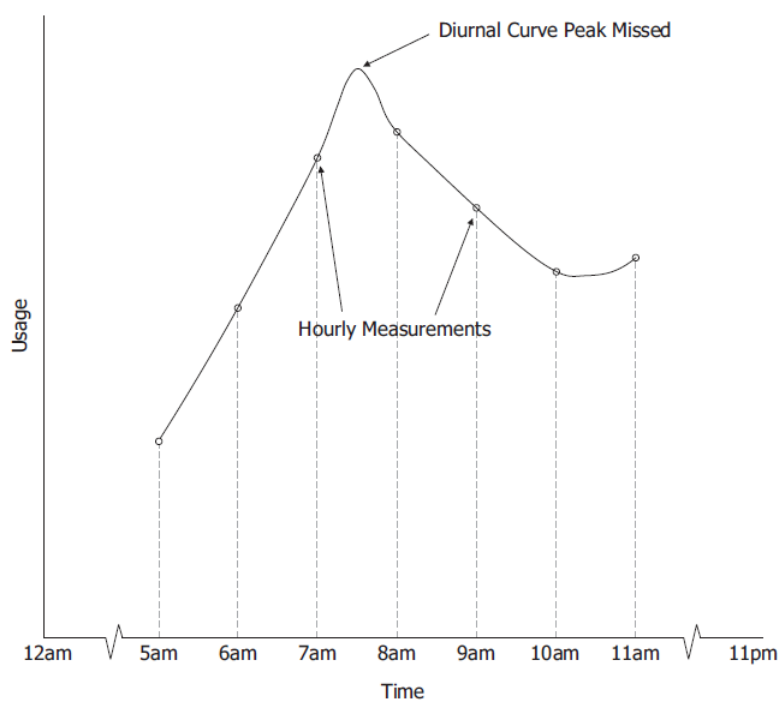
Παράλληλα, σημαντική μπορεί είναι και η χωρική μεταβλητότητα της ζήτησης. Παραδοσιακά, τα υδρευτικά δίκτυα σχεδιάζονται θεωρώντας όμοια χρονική διακύμανση της ζήτησης σε όλους τους κόμβους. Κατά κανόνα όμως, η παραδοχή αυτή απέχει πολύ από την πραγματικότητα. Τόσο η ποσότητα, όσο και η χρονική διακύμανση των αναγκών σε νερό διαφέρουν στις διάφορες υποπεριοχές ενός δικτύου ύδρευσης (Εικόνα 3.4), ανάλογα με τις χρήσεις γης, την πυκνότητα του πληθυσμού κτλ. Αν, λοιπόν, δεν γίνει σωστή κατανομή της ζήτησης χωρικά και χρονικά, αυτό επηρεάζει την απόδοση του μοντέλου με αποτέλεσμα ανεπαρκείς πιέσεις στο δίκτυο, υψηλότερα λειτουργικά κόστη κτλ., ακόμα και αν η συνολική ζήτηση έχει εκτιμηθεί σωστά (Diao *et al.*, 2019).



Εικόνα 3.4: Πιθανές διαφορές της χωρικής και χρονικής διακύμανσης της ζήτησης μεταξύ μοντέλου (αριστερά) και πραγματικότητας (δεξιά) (Diao *et al.*, 2019)

Τα παραπάνω χαρακτηρίζονται από αβεβαιότητα δυο διαστάσεων: α) εγγενή, αφού η χρονική και χωρική μεταβλητότητα της ζήτησης συνιστούν θεμελιώδη χαρακτηριστικά της και β) επιστημική, καθώς η συλλογή πυκνότερων χωρικά και χρονικά μετρήσεων μπορεί να την μειώσει, αν και, πρακτικά, το εγχείρημα αυτό μπορεί να αποβεί αρκετά κοστοβόρο (Jonkerkou *et al.*, 2008).

Επιπρόσθετη αιτία για λανθασμένη εκτίμηση της κατανάλωσης μπορεί να αποτελέσει η συχνότητα μέτρησης των οργάνων, αφού υπάρχει περίπτωση να χαθούν ακραίες τιμές. Για παράδειγμα, έστω πως πρέπει να εκτιμηθεί η μέγιστη ωριαία ζήτηση (δηλαδή η μεγαλύτερη μέση ζήτηση κατά τη διάρκεια οποιουδήποτε χρονικού διαστήματος μιας ώρας). Εάν οι μετρήσεις λαμβάνονται κάθε μία ώρα, για να καταγραφεί η πραγματική αιχμή, θα πρέπει το γεγονός να ξεκινά και να τελειώνει τις ώρες λήψης των μετρήσεων. Σε διαφορετική περίπτωση, η ωριαία αιχμή θα υποεκτιμηθεί (Εικόνα 3.5). Επίσης, πρέπει να σημειωθεί πως όσο το χρονικό βήμα καταγραφής μικραίνει, τόσο μεγαλώνει η τιμή της αιχμής (π.χ., η αιχμή των 15 min είναι μεγαλύτερη από αυτή της 1 h) (Πηγή: Walski *et al.*, p.157, 2003).



Εικόνα 3.5: Αιχμή ζήτησης που δεν καταγράφηκε, εξαιτίας του χρονικού βήματος των μετρήσεων (Πηγή: Walski, 2003)

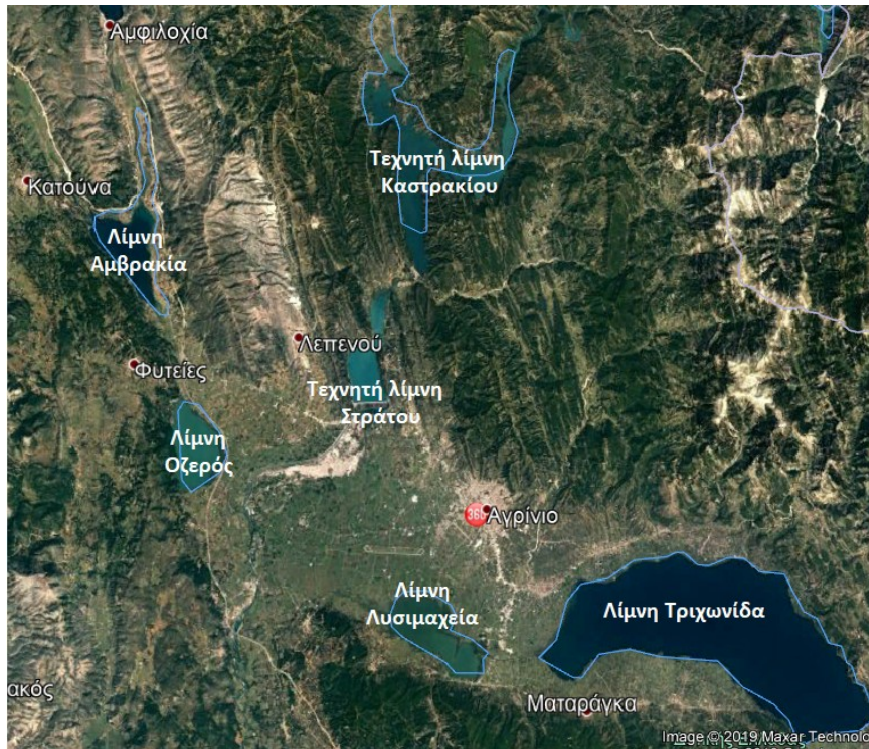
Μεγάλη αβεβαιότητα ενέχει και η εκτίμηση των μελλοντικών αναγκών σε αστικό νερό, καθώς αυτές επηρεάζονται, από πλήθος κοινωνικοοικονομικών και φυσικών παραγόντων, όπως η εξέλιξη του πληθυσμού, η αλλαγή στις χρήσεις γης, η διαφοροποίηση της πολιτικής τιμολόγησης του νερού, η επάρκεια των υδατικών πόρων, οι κλιματικές συνθήκες, κτλ.

4.1 Γενικά

4.1.1 Γεωγραφική θέση

Η πόλη του Αγρινίου είναι η μεγαλύτερη του νομού Αιτωλοακαρνανίας. Καλύπτει συνολική έκταση 6.5 km² και τα υψόμετρά της κυμαίνονται από +45.0 μέχρι +150.0 m. Ιστορικοί λόγοι έχουν κηρύξει την Ιερή Πόλη του Μεσολογγίου πρωτεύουσα του νομού, ωστόσο το οικονομικό, εκπαιδευτικό, πολιτιστικό και πνευματικό κέντρο του νομού είναι το Αγρίνιο.

Η Αιτωλοακαρνανία είναι ο μεγαλύτερος σε έκταση νομός της Ελλάδας, με έκταση 5,461 km², και διαθέτει πλούσιο υδατικό δυναμικό. Εντός της έκτασής του βρίσκονται τέσσερις φυσικές λίμνες, η Αμβρακία, η Οζερός, η Λυσιμαχεία και η Τριχωνίδα η οποία αποτελεί την μεγαλύτερη φυσική λίμνη της χώρας. Οι δύο τελευταίες, μάλιστα, έχουν χαρακτηριστεί «Τόποι Κοινοτικής Σημασίας» και είναι ενταγμένες στο δίκτυο «Natura 2000» από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Οδηγία 92/43 ΕΚ). Επιπλέον, εντός του νομού ρέει ο ποταμός Αχελώος, γνωστός και ως Ασπροπόταμος. Πρόκειται για τον δεύτερο σε μήκος ποταμό της Ελλάδας, κατά μήκος του οποίου έχουν κατασκευασθεί τέσσερα φράγματα πολλαπλού σκοπού για την αξιοποίηση των υδάτων του, που βρίσκονται εντός του νομού: το φράγμα των Κρεμαστών (1965), το οποίο είναι το μεγαλύτερο της χώρας, το φράγμα Καστρακίου (1969), το φράγμα Στράτου (1988) και το φράγμα Μεσοχώρας (2010) που ωστόσο δεν έχει τεθεί ακόμη σε λειτουργία.



Εικόνα 4.1: Δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής του Αγρινίου (Πηγή: Google Earth)

4.1.2 Γενικά στοιχεία του συστήματος ύδρευσης της πόλης του Αγρινίου

Κατά την περίοδο του μεσοπολέμου το Αγρίνιο βρισκόταν σε πλήρη ανάπτυξη. Ήταν μία από τις πρώτες ελληνικές πόλεις που ηλεκτροδοτήθηκαν, μετά την ίδρυση της Ηλεκτρικής Εταιρείας το 1928, με δωρεά της οικογένειας Παπαστράτου. Ευνοήθηκε, έτσι, η διάνοιξη γεωτρήσεων στην περιοχή και η κατασκευή δικτύου ύδρευσης για την ικανοποίηση των αναγκών σε νερό του ολοένα αυξανόμενου πληθυσμού. Το 1930 κατασκευάστηκε η δεξαμενή του Αγίου Χριστοφόρου, η οποία συγκέντρωνε το νερό από όλες τις γεωτρήσεις.

Η περιοχή του Αγρινίου υδρευόταν αποκλειστικά από γεωτρήσεις μέχρι το 1980, οπότε ξεκίνησε η υδροδότησή της από το φράγμα Καστρακίου στον ποταμό Αχελώο (Εικόνα 4.2), η οποία συνεχίζει μέχρι και σήμερα καλύπτοντας με επιτυχία την ζήτηση. Η σημερινή μορφή του δικτύου της περιοχής και ο τρόπος λειτουργίας του καθορίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1980, μέσω μελέτης που εκπονήθηκε για τον εκσυγχρονισμό του.



Εικόνα 4.2: Άποψη φράγματος Καστρακίου (Πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων)

Το υδρευτικό δίκτυο της πόλης συμπεριλαμβανομένου τόσο του εξωτερικού, όσο και του εσωτερικού υδραγωγείου αποτελείται από αγωγούς συνολικού μήκους περίπου 230 km. Το δίκτυο υδροδοτεί την πόλη του Αγρινίου και τα γύρω προάστια, καθώς και ορισμένες παρακείμενες δημοτικές ενότητες.

Οι διαμέτροι των αγωγών κυμαίνονται από Φ800, στο εξωτερικό υδραγωγείο, μέχρι Φ50 στο δίκτυο διανομής. Κυρίαρχο υλικό είναι το πλαστικό (PVC), ενώ στους αγωγούς του εξωτερικού υδραγωγείου ο χάλυβας (ST). Στους Πίνακες 4.1 και 4.2 φαίνονται συνοπτικά τα στοιχεία του δικτύου.

Πίνακας 4.1: Υλικά αγωγών του δικτύου ύδρευσης

	Αμίαντος (AC)	Πολυαιθυλένιο (HDPE)	Χυτοσίδηρος (DI)	Πλαστικό (PVC)	Χάλυβας (ST)	Σύνολο
Μήκος (km)	41.76	17.22	47.54	95.57	34.68	236.76
Ποσοστό (%)	17.64	7.27	20.08	40.36	14.65	100.00

Πίνακας 4.2: Εύρη διαμέτρων του δικτύου ύδρευσης

Μήκη αγωγών (km)				
	$D_{εσ} < 90\text{mm}$	$90\text{mm} \leq D_{εσ} \leq 140\text{mm}$	$140\text{mm} \leq D_{εσ} \leq 250\text{mm}$	$140\text{mm} \leq D_{εσ} \leq 250\text{mm}$
Αμίαντος (AC)	26.13	10.07	4.19	0.45
Πολυαιθυλένιο (HDPE)	11.18	26.00	7.34	3.03
Χυτοσίδηρος (DI)	11.67	1.71	2.48	1.24
Πλαστικό (PVC)	33.08	49.51	3.27	1.06
Χάλυβας (ST)	1.37	1.23	6.53	8.45
Συνολικό μήκος (km)	83.44	88.51	23.80	14.23

4.2 Περιγραφή του εξωτερικού υδραγωγείου

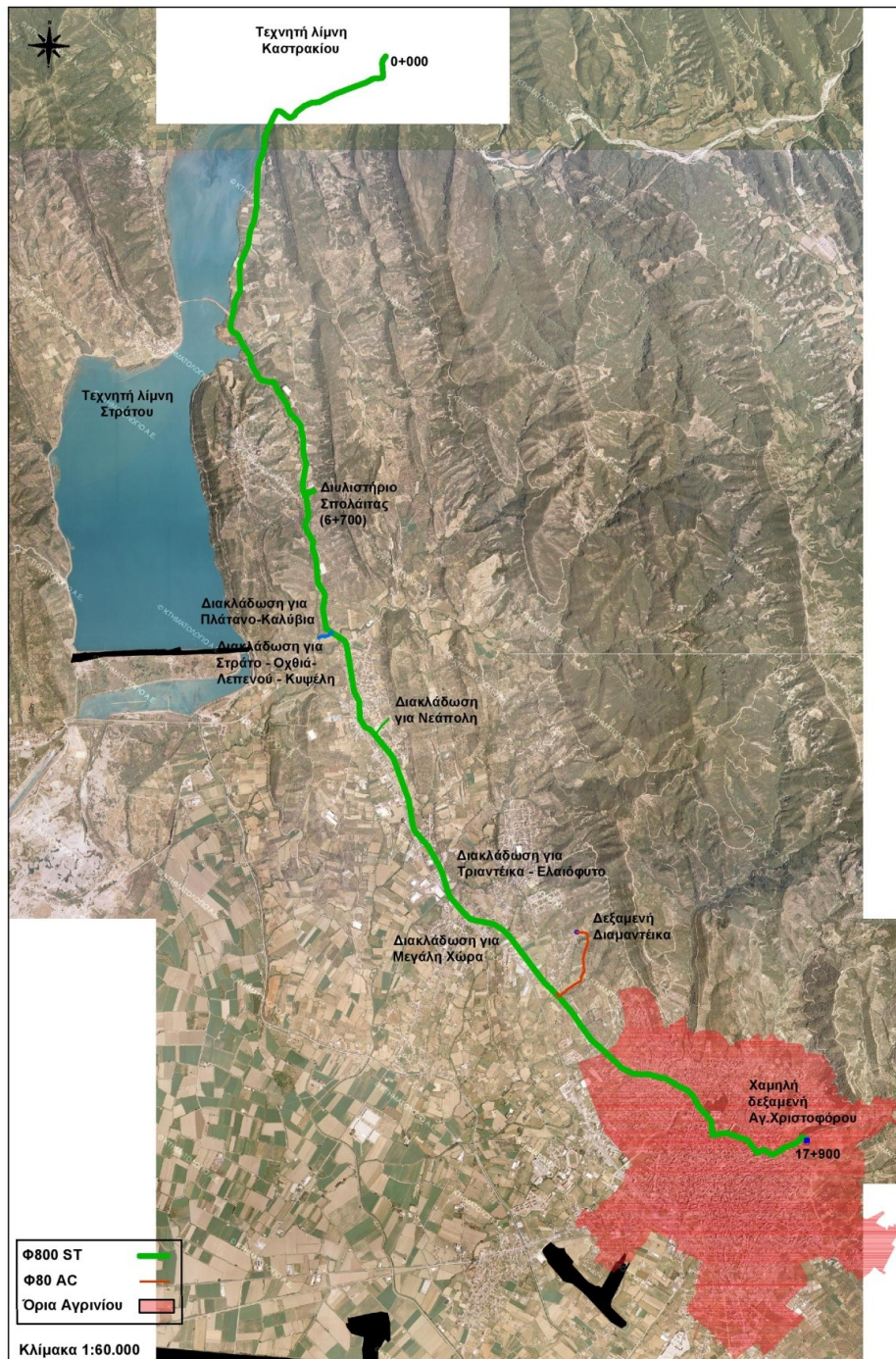
Η υδροληψία γίνεται από το φράγμα του Καστρακίου, από ειδική θυρίδα υδροληψίας στο σώμα του φράγματος σε υψόμετρο +139.50 m. Από εκεί ξεκινά χαλύβδινος αγωγός διαμέτρου Φ800, ο οποίος γενικά οδεύει επί της εθνικής οδού Άρτας-Αγρινίου, με κατεύθυνση νοτιοανατολική, προς την πόλη του Αγρινίου.

Στην χιλιομετρική θέση 6+700 από την υδροληψία βρίσκεται το διυλιστήριο της Σπολάιτας. Από εκεί ο αγωγός συνεχίζει για άλλα 11.2 km καταλήγοντας στην χαμηλή δεξαμενή (κεντρική) του Αγίου Χριστοφόρου. Συνεπώς, η συνολική όδευση του αγωγού είναι 17.9 km.

Από την έξοδο του διυλιστηρίου της Σπολάιτας και μέχρι την είσοδο του αγωγού στα βόρεια προάστια του Αγρινίου, ο αγωγός Φ800 (ST) διακλαδίζεται αρκετές φορές υδροδοτώντας παρακείμενους οικισμούς, άλλωτε με φυσική ροή και άλλοτε με άντληση. Οι διακλαδώσεις αυτές, από τα ανάντη προς τα κατόντη, είναι:

- Διακλάδωση για την υδροδότηση του οικισμού του Πλατάνου και του οικισμού των Καλυβίων.
- Διακλάδωση για την υδροδότηση των οικισμών Στράτου, Όχθιας, Λεπενού και Κυψέλης.
- Διακλάδωση για την υδροδότηση του οικισμού της Νεάπολης.
- Διακλάδωση για την υδροδότηση των οικισμών Τριαντέικα και Ελαιόφυτο.

- Διακλάδωση για την υδροδότηση του οικισμού της μεγάλης Χώρας.
- Διακλάδωση για την υδροδότηση του οικισμού Διαμαντέικα.



Εικόνα 4.3: Όδευση κύριου τροφοδοτικού χαλύβδινου αγωγού Φ800 συνολικού μήκους 17.9 km. Απεικονίζονται οι διακλαδώσεις για την ύδρευση παρακειμένων οικισμών, πριν την είσοδο στην πόλη του Αγρινίου (Κλίμακα 1:60.000)

Η συνολική όδευση του τροφοδοτικού χαλύβδινου αγωγού Φ800, καθώς και οι προαναφερθείσες διακλαδώσεις απεικονίζονται στον χάρτη της Εικόνας 4.3.

Μετά την είσοδο του στα βόρεια προάστια του Αγρινίου, ο τροφοδοτικός αγωγός Φ800 ST διακλαδίζεται και πάλι αρκετές φορές:

Αρχικά, σε μικρή απόσταση, υπάρχει διακλάδωση με πλαστικό αγωγό (PVC) διαμέτρου Φ315, ο οποίος υδροδοτεί την χαμηλή δεξαμενή της συνοικίας του Αγίου Κωνσταντίνου (NATO). Από εκεί αντλείται νερό, μέσω καταθλιπτικού αγωγού Φ160 PVC, σε ψηλότερη δεξαμενή, η οποία υδροδοτεί την υψηλή ζώνη της συνοικίας.

Κατόπιν, υπάρχει διακλάδωση με αγωγό Φ160 PVC, ο οποίος οδεύει, με νότιο προσανατολισμό, για την υδροδότηση του οικισμού Δοκίμι.

Στην συνέχεια, υπάρχει διακλάδωση με χαλύβδινο αγωγό Φ500, ο οποίος τροφοδοτεί την χαμηλή δεξαμενή του Αγίου Γρηγορίου. Η δεξαμενή αυτή είναι από τις κύριες της πόλης και υδροδοτεί την δυτική περιοχή της χαμηλής ζώνης του Αγρινίου. Από εκεί αντλείται νερό, μέσω καταθλιπτικού αγωγού, αρχικά πολυαιθυλενίου Φ200 και στη συνέχεια χαλύβδινου Φ250, σε υψηλότερη δεξαμενή, η οποία υδροδοτεί την δυτική περιοχή της υψηλής ζώνης του Αγρινίου.

Κατάντη, υφίσταται άλλη μια διακλάδωση με χαλύβδινο αγωγό Φ400, ο οποίος οδεύει νοτιοανατολικά προς υδροδότηση της δημοτικής ενότητας Θεστιέων. Ο αγωγός αυτός, διακλαδίζεται μετά από 1.75 km περίπου με αγωγό Φ160 PVC, ο οποίος, μέσω αντλιοστασίου (αντλιοστάσιο εργατικών κατοικιών Αγίας Βαρβάρας) υδροδοτεί α) την δεξαμενή «Πλατανάκι», που υδρεύει την ομώνυμη περιοχή (προάστιο Αγρινίου) και β) την δεξαμενή του οικισμού Καμαρούλα.

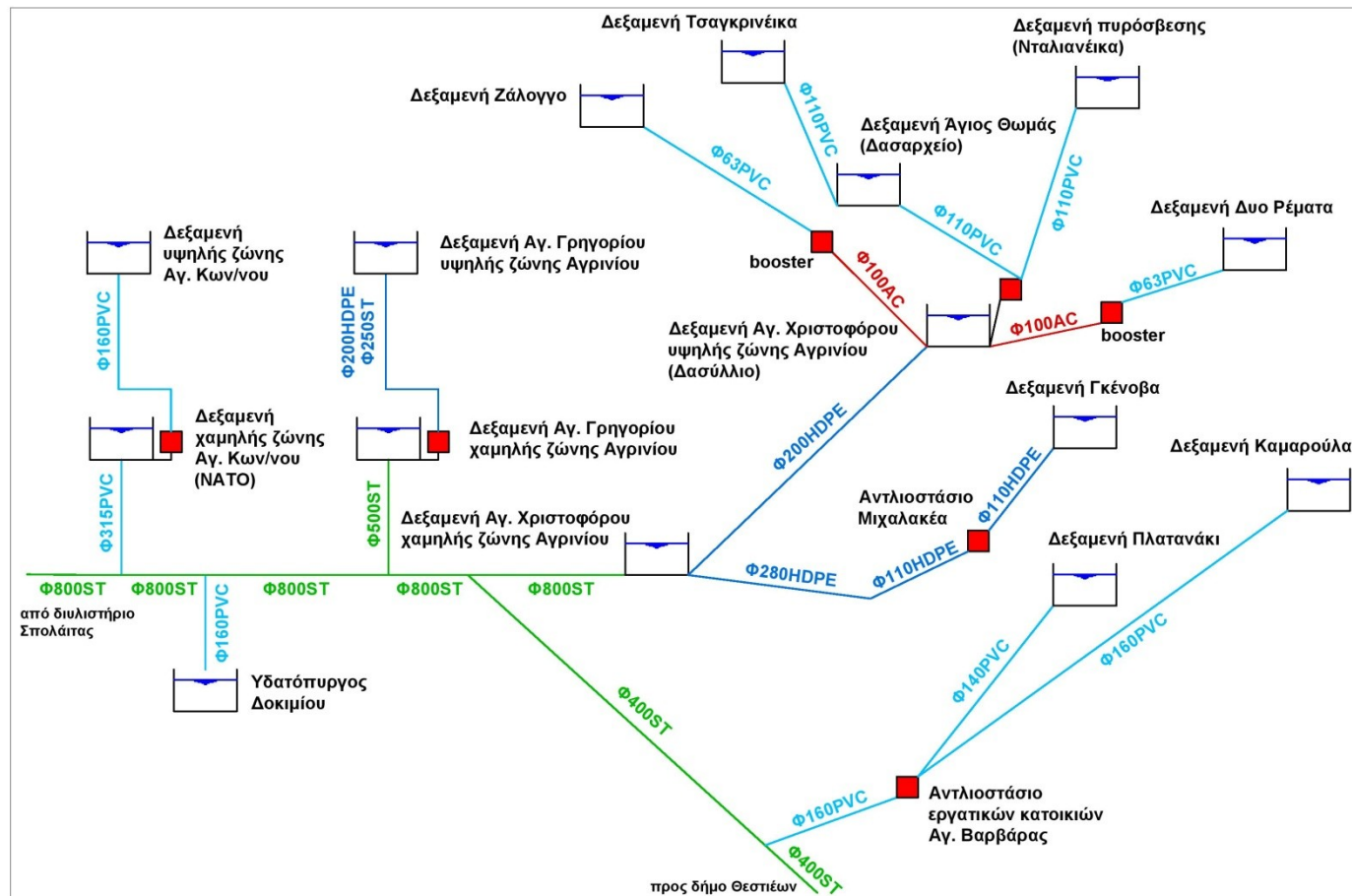
Ο χαλύβδινος τροφοδοτικός αγωγός Φ800, μετά την διακλάδωση με τον χαλύβδινο Φ400, συνεχίζει με ανατολική κατεύθυνση και καταλήγει στην κεντρική δεξαμενή του Αγίου Χριστοφόρου. Η δεξαμενή αυτή υδροδοτεί το ανατολικό-νοτιοανατολικό τμήμα της χαμηλής ζώνης του Αγρινίου.

Από την δεξαμενή του Αγίου Χριστοφόρου το νερό αντλείται σε δύο υψηλότερες δεξαμενές: α) στην δεξαμενή Γκένοβα, μέσω του αντλιοστασίου Μιχαλακέα και καταθλιπτικού αγωγού από πολυαιθυλένιο διαμέτρου Φ110, για την υδροδότηση της ομώνυμης περιοχής και β) στην υψηλή δεξαμενή του Αγίου Χριστοφόρου (δεξαμενή «Δασύλλιο»), μέσω αντλιοστασίου που βρίσκεται δίπλα στην κεντρική δεξαμενή του Αγίου Χριστοφόρου και καταθλιπτικού αγωγού διαμέτρου Φ200 από πολυαιθυλένιο. Η δεξαμενή «Δασύλλιο» υδρεύει την ανατολική περιοχή της υψηλής ζώνης του Αγρινίου.

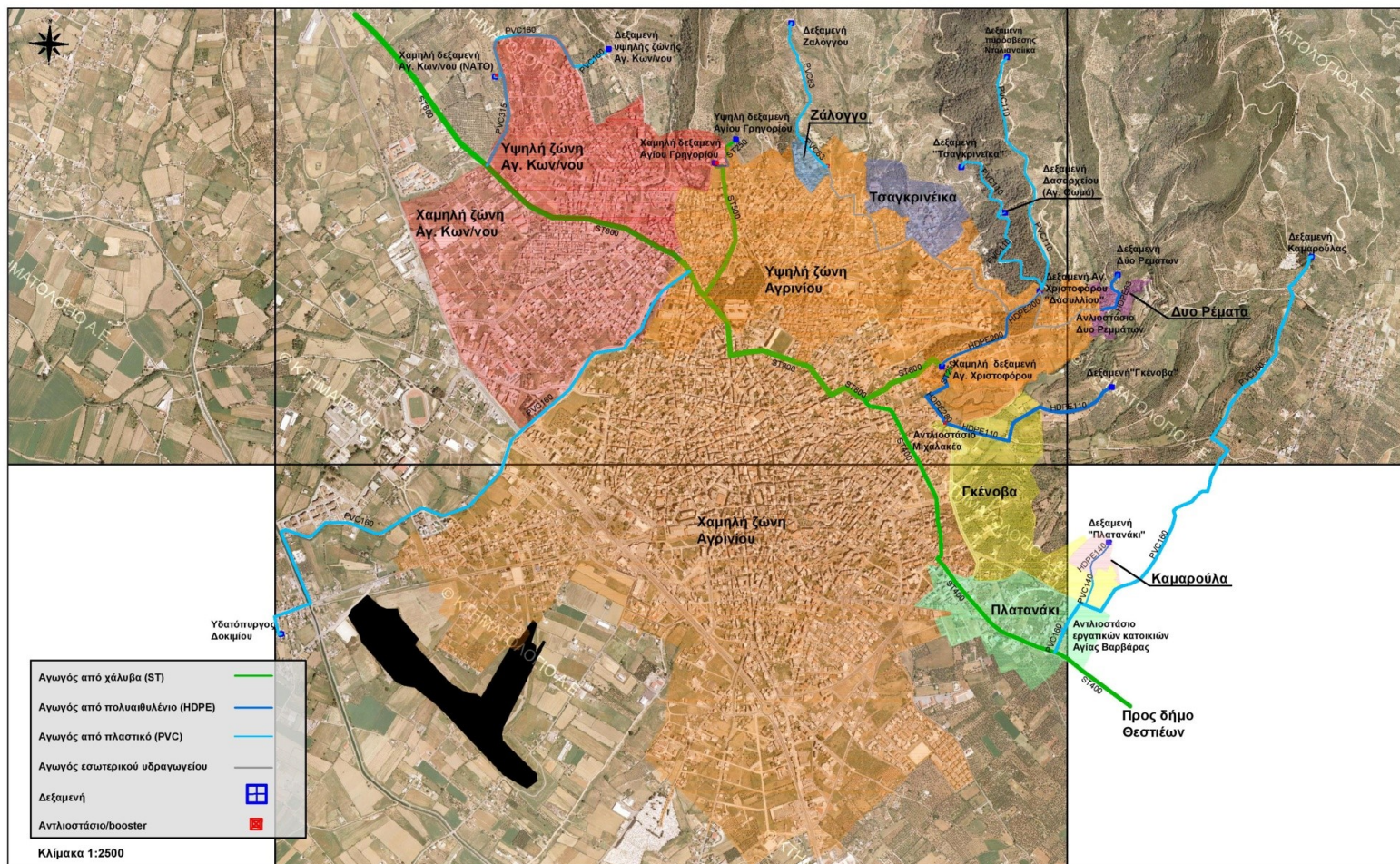
Από την υψηλή δεξαμενή του Αγίου Χριστοφόρου («Δασύλλιο»), αντλείται νερό, μέσω αντλιοστασίου πλησίον της δεξαμενής και καταθλιπτικών αγωγών πολυαιθυλενίου με διάμετρο Φ110, στις υψηλότερες δεξαμενές των Τσαγκρινέικων και του Αγίου Θωμά (Δασαρχείο), καθώς και στην δεξαμενή πυρόσβεσης (Νταλιανείκα). Και οι δυο δεξαμενές υδρεύουν τις, υδραυλικά ανεξάρτητες, ομώνυμες περιοχές.

Τέλος, από δύο αγωγούς Φ100 AC στο δίκτυο διανομής της υψηλής ζώνης του Αγρινίου, αντλείται νερό, μέσω δύο ωθητικών αντλιοστασίων (booster) και καταθλιπτικών πλαστικών αγωγών διαμέτρου Φ63, στις δεξαμενές Ζαλόγγου και Δύο Ρεμάτων. Οι δεξαμενές αυτές υδροδοτούν τις ομώνυμες, ανεξάρτητες υδραυλικά, περιοχές.

Στις Εικόνες 4.4 και 4.5 παρουσιάζεται, αντίστοιχα η σχηματική απεικόνιση του εξωτερικού υδραγωγείου της πόλης του Αγρινίου καθώς και ένας χάρτης στον οποίο απεικονίζεται το εξωτερικό υδραγωγείο.



Εικόνα 4.4: Σχηματική απεικόνιση του εξωτερικού υδραγωγείου της πόλης του Αγρινίου



Εικόνα 4.5: Εξωτερικό υδραγωγείο της πόλης του Αγρινίου (Κλίμακα 1:25.000)

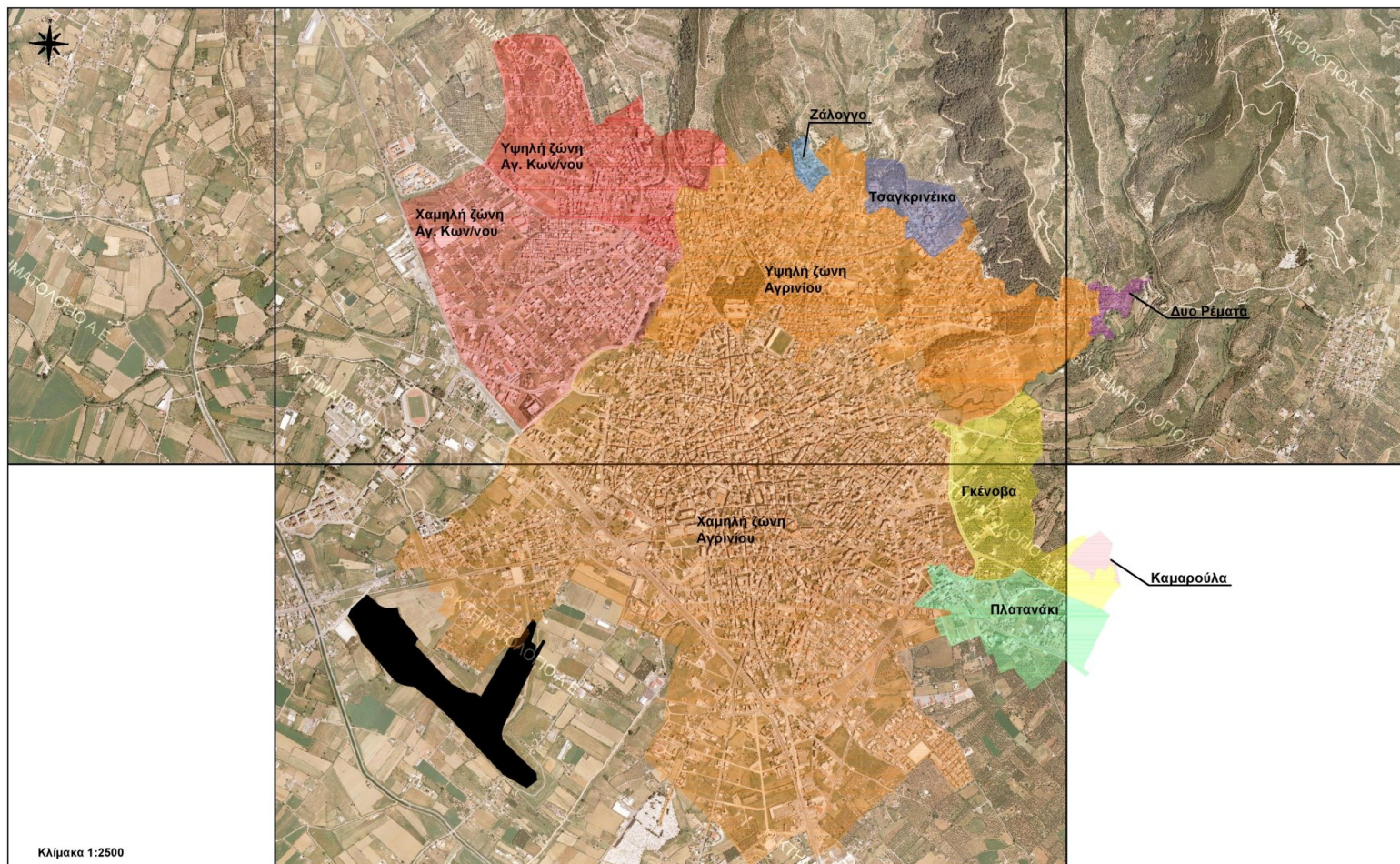
4.3 Περιγραφή εσωτερικού υδραγωγείου

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, το εσωτερικό υδραγωγείο της πόλης είναι χωρισμένο σε πιεζομετρικές ζώνες. Ο χωρισμός αυτός βασίζεται, γενικώς, στις προτάσεις της μελέτης για τον εκσυγχρονισμό του δικτύου. Η βασική αρχή είναι πως όλη η πόλη και η συνοικία του Αγίου Κωνσταντίνου είναι χωρισμένες σε υψηλή και χαμηλή ζώνη. Οι χαμηλές ζώνες υδροδοτούνται από τις αντίστοιχες χαμηλές δεξαμενές, ενώ οι υψηλές ζώνες από τις αντίστοιχες υψηλές. Επιπλέον, υπάρχουν και 7 ανεξάρτητες πιεζομετρικές ζώνες, οι οποίες υδρεύονται χωριστά από δικές τους δεξαμενές. Οι ζώνες αυτές είναι η συνοικία της Γκένοβας, το Πλατανάκι, η Καμαρούλα, τα Τσαγκρινέικα, η συνοικία του Αγίου Θωμά, τα Δύο Ρέματα και η συνοικία Ζαλόγγου. Όλες οι ζώνες διαχωρίζονται μέσω κλειστών δικλίδων, εκτός από την χαμηλή και την υψηλή ζώνη του Αγίου Κωνσταντίνου, οι οποίες συνδέονται σε ένα σημείο μέσω δικλίδας διαμέτρου Φ100. Σε περίπτωση που η δικλίδα κλείσει, οι ζώνες διαχωρίζονται, στην παρούσα φάση, ωστόσο, για λόγους εύρυθμης λειτουργίας του δικτύου στην γύρω περιοχή, η δικλίδα είναι ανοιχτή.

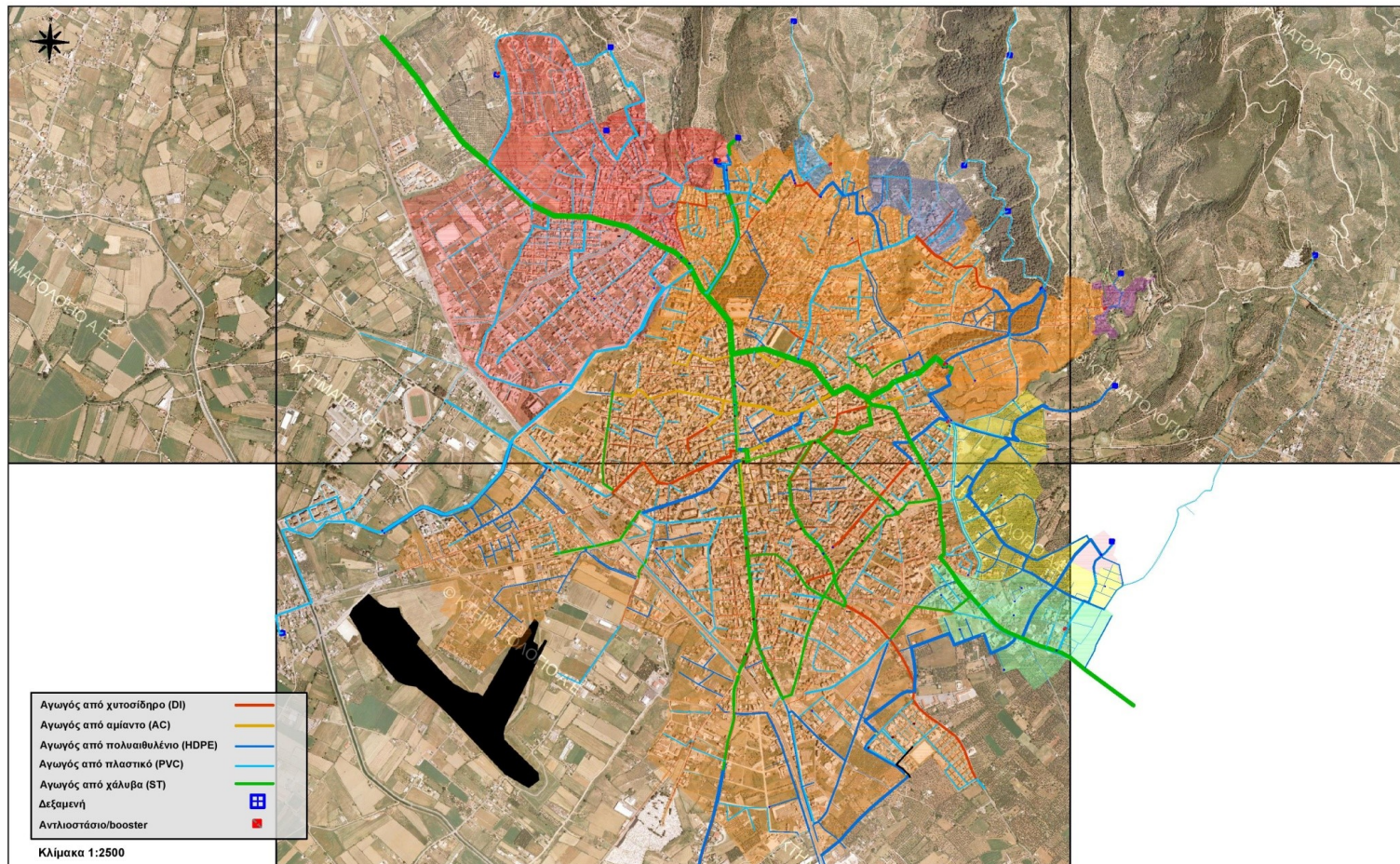
Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των πιεζομετρικών ζωνών, ενώ στις Εικόνες 4.6 και 4.7 απεικονίζονται οι υπόψη ζώνες και το γενικότερο δίκτυο ύδρευσης του Αγρινίου αντίστοιχα.

Πίνακας 4.3: Στοιχεία πιεζομετρικών ζωνών του δικτύου ύδρευσης του Αγρινίου

Πιεζομετρική ζώνη	Έκταση (km ²)	Μέγιστο υψόμετρο (m)	Ελάχιστο υψόμετρο (m)	Δεξαμενή υδροδότησης	Υψόμετρο εδάφους δεξαμενής (m)	Χωρητικότητα (m ³)
Χαμηλή Αγίου Κωνσταντίνου	0.90	105.00	62.00	Χαμηλή Αγίου Κωνσταντίνου (NATO)	116.90	725
Υψηλή Αγίου Κωνσταντίνου	0.54	149.00	88.00	Υψηλή Αγίου Κωνσταντίνου	200.17	400
Χαμηλή Αγρινίου	4.30	95.00	45.00	Χαμηλή δεξαμενή Αγίου Γρηγορίου	119.00	
				Χαμηλή δεξαμενή Αγίου Χριστοφόρου (κεντρική)	118.00	
Υψηλή Αγρινίου	1.26	145.00	95.00	Υψηλή δεξαμενή Αγίου Γρηγορίου	164.50	400
				Υψηλή δεξαμενή Αγίου Χριστοφόρου (Δασυλλιο)	164.00	600
Καμαρούλα	0.02	145.00	128.00	Δεξαμενή Καμαρούλα	203.00	100
Πλατανάκι	0.29	115.00	90.00	Δεξαμενή Πλατανάκι	143.00	200
Γκένοβα	0.39	130.00	95.00	Δεξαμενή Γκένοβα	164.00	200
Τσαγκρινέικα	0.11	130.00	150.00	Δεξαμενή Τσαγκρινέικα	223.00	80
Άγιος Θωμάς	0.02	150.00	165.00	Δεξαμενή Αγίου Θωμά (Δασαρχείο)	203.00	80
Δύο Ρέματα	0.03	130.00	155.00	Δεξαμενή Δύο Ρέματα	191.00	15
Ζάλογγο	0.03	130.00	150.00	Δεξαμενή Ζάλογγο	238.00	60



Εικόνα 4.6: : Πιεζομετρικές ζώνες του δικτύου ύδρευσης Αγρινίου (κλίμακα 1:25.000)



Εικόνα 4.7: Δίκτυο ύδρευσης Αγρινίου (Κλίμακα 1:25.000)

5.1 Δίκτυο ύδρευσης

5.1.1 Δεδομένα

Τα διαθέσιμα δεδομένα ήταν:

- Ψηφιακό αρχείο-σχέδιο, τύπου CAD, στο οποίο απεικονίζεται η γεωμετρία του δικτύου. Συγκεκριμένα, στο αρχείο αυτό, αποτυπώνονται οι οδεύσεις των αγωγών και επισημαίνονται οι διάμετροι, το υλικό τους και η κλάση τους. Επίσης, προσδιορίζονται οι θέσεις των δεξαμενών, των αντλιοστασίων καθώς και των ειδικών τεμαχίων-εξαρτημάτων του δικτύου (δικλίδων, μειωτών πίεσης, κτλ.).
- Τοπογραφικά διαγράμματα της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ), σε κλίμακα 1:5000, τα οποία καλύπτουν το σύνολο της περιοχής μελέτης.
- Ρυμοτομικό σχέδιο της πόλης του Αγρινίου σε αρχείο τύπου CAD.

Αρχικά, έγινε επεξεργασία του αρχείου CAD με την απεικόνιση του δικτύου, με τρόπο τέτοιο, ώστε να γίνει αντιστοίχιση των αγωγών σε διαφορετικά "επίπεδα" (layers), ανάλογα με το υλικό, την διάμετρο και την κλάση πίεσης λειτουργίας. Όμοια, οι συσκευές του δικτύου τοποθετήθηκαν σε διαφορετικά "επίπεδα", ανάλογα με το είδος τους, αλλά και την συνθήκη λειτουργίας τους (πχ. ανοιχτή/κλειστή βάννα). Με την ομαδοποίηση αυτή των στοιχείων του δικτύου γίνεται πολύ πιο εύκολη η αυτόματη εισαγωγή τους στο λογισμικό προσομοίωσης.

Στην συνέχεια, δημιουργήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Digital Terrain Model-DEM) της περιοχής, με χρήση των ισοϋψών γραμμών από το διαθέσιμο τοπογραφικό διάγραμμα και του ρυμοτομικού σχεδίου της πόλης σε συνδυασμό με γεωαναφερμένες δορυφορικές εικόνες της περιοχής από το Google Earth. Βάσει του ψηφιακού μοντέλου εδάφους προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες κάθε στοιχείου του δικτύου ύδρευσης.

5.1.2 Εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό

Για την υδραυλική προσομοίωση του δικτύου ύδρευσης χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα WaterGEMS, το οποίο έχει αναπτυχθεί και υποστηρίζεται από την εταιρία Bentley Systems Inc.

Τα μοντέλα δικτύων που επιλύει αποτελούνται από κόμβους (όπως αυτοί ορίστηκαν στην παράγραφο 2.2.2) και αγωγούς. Το πρόγραμμα υπολογίζει την παροχή του νερού σε κάθε αγωγό, την πίεση σε κάθε κόμβο, την στάθμη νερού σε κάθε δεξαμενή, την συγκέντρωση χημικών ουσιών στο νερό του δικτύου, καθώς και τον χρόνο παραμονής του νερού σε κάθε θέση του δικτύου, κατά την διάρκεια μιας περιόδου προσομοίωσης, στην οποία οι

παραπάνω τιμές μεταβάλλονται. Για την υδραυλική επίλυση του μοντέλου υπάρχει η δυνατότητα επιλογής ανάμεσα στις τρεις γνωστές σχέσεις υπολογισμού των απωλειών ενέργειας, ήτοι: Darcy-Weisbach, Hazen-Williams και Manning.

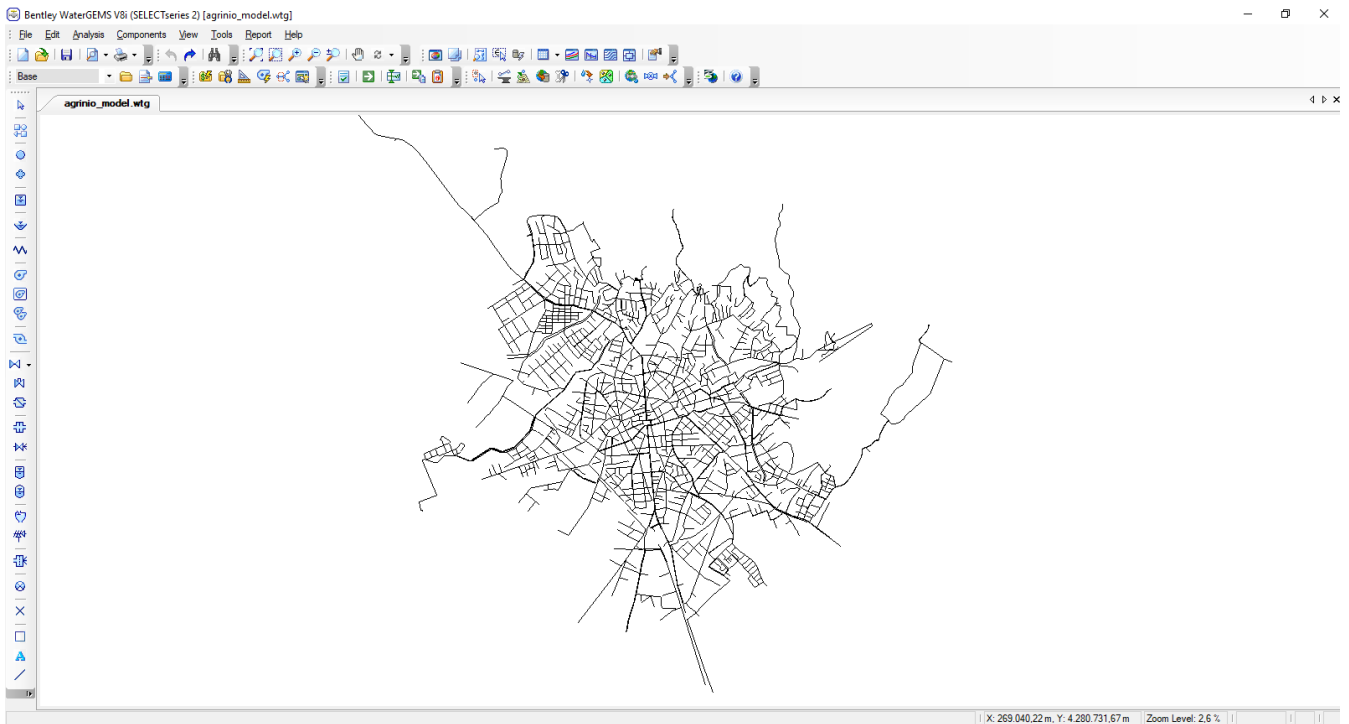
Η εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό πραγματοποιήθηκε με αυτόματο τρόπο ως εξής:

- Με χρήση κατάλληλου εργαλείου, έγινε εισαγωγή των αγωγών του μοντέλου βάσει των αντίστοιχων "επιπέδων" (layers) των αγωγών, που είχαν ορισθεί στο αρχείο CAD.
- Τοποθετήθηκαν οι κόμβοι του μοντέλου, ως σημεία που συμβάλλουν αγωγοί, σημεία αλλαγής διατομής ή διεύθυνσης αγωγού καθώς και τερματικά σημεία αγωγών. Με τον τρόπο αυτό ορίστηκαν οι κλάδοι του μοντέλου.
- Βάσει του ψηφιακού μοντέλου εδάφους και με χρήση κατάλληλου εργαλείου του προγράμματος προσδιορίστηκαν τα υψόμετρα των κόμβων του μοντέλου.
- Επιλέχθηκαν οι αγωγοί, ανά ομάδα επιπέδου, και προσδιορίστηκε η εσωτερική τους διάμετρος, το μήκος τους, το υλικό τους και η τραχύτητά τους.
- Έγινε εισαγωγή, βάσει των "επιπέδων" (layers), των εξαρτημάτων του δικτύου στο μοντέλο και, στην συνέχεια, επιλέχθηκαν ανά επίπεδο, προκειμένου να επισημανθεί η κατάσταση λειτουργίας τους.
- Έγινε προσθήκη, με γραφικό τρόπο, των δεξαμενών και των αντλιών και εισήχθησαν τα στοιχεία τους στο αντίστοιχο παράθυρο ιδιοτήτων.

Με την συμπλήρωση των ανωτέρω βημάτων, ολοκληρώθηκε η περιγραφή των φυσικών στοιχείων του μοντέλου. Το μοντέλο στη φάση αυτή καθώς και το περιβάλλον εργασίας του προγράμματος WaterGEMS παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.1.

Το μοντέλο που δημιουργήθηκε αποτελείται από:

- 2592 κόμβους (junctions), εκ των οποίων 2163 είναι κόμβοι κατανάλωσης και 2 κόμβοι προσομοιώνουν πιθανές σημαντικές διαρροές κατά μήκος του κύριου τροφοδοτικού αγωγού και πλησίον της χαμηλής δεξαμενής του Αγίου Χριστοφόρου. Οι υπόλοιποι κόμβοι είναι κόμβοι εξωτερικού υδραγωγείου και κόμβοι κατά μήκος τροφοδοτικών αγωγών του δικτύου διανομής, στους οποίους δεν θα εφαρμοσθεί κατανάλωση.
- 3639 αγωγούς (pipes)
- 12 αντλίες (pumps)
- 1 πηγή νερού (reservoir) που αναπαριστά το διυλιστήριο της Σπολάιτας
- 17 δεξαμενές/φρεάτια αναρρόφησης Α/Σ (tanks)
- 784 βάνες, εκ των οποίων οι 777 είναι γενικού σκοπού (General Purpose Valves-GPV) και προσομοιώνουν τις βάνες απομόνωσης και τις βάνες εκκένωσης του δικτύου, οι 4 είναι μειωτές πίεσης (Pressure Reducing Valves-PRV) και οι 3 ελέγχου ροής (Flow Control Valves-FCV).



Εικόνα 5.1: Περιβάλλον εργασίας του προγράμματος WaterGEMS και μοντέλο δικτύου.

Για τον υπολογισμό των ενεργειακών απωλειών κατά την υδραυλική επίλυση του μοντέλου επιλέχθηκε η εξίσωση Darcy-Weisbach. Οι τιμές τραχύτητας που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Τιμές τραχύτητας (mm) αγωγών κατά Darcy-Weisbach

Τιμές τραχύτητας (mm)	
Χάλυβας (ST)	1.30
Αμίαντος (AC)	0.65
Πλαστικό (PVC)	0.13
Πολυαιθυλένιο (HDPE)	1.30
Χυτοσίδηρος (DI)	0.13

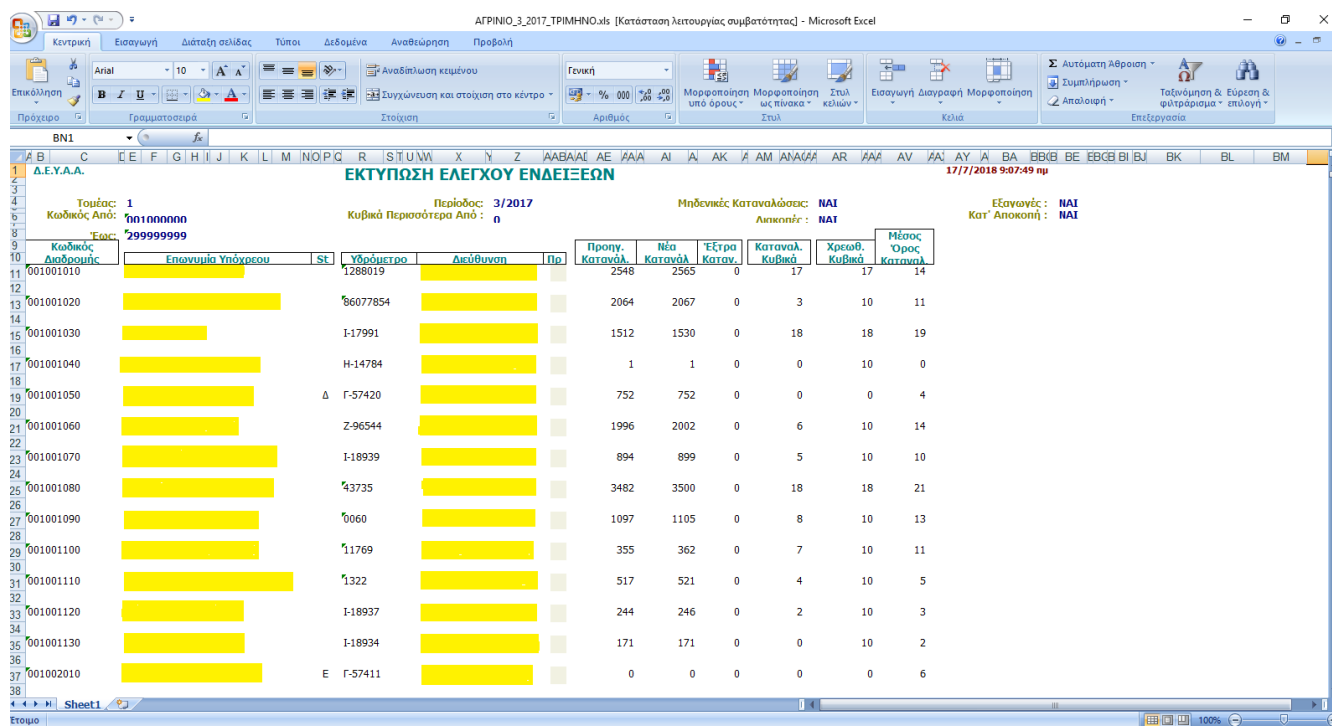
5.2 Καταναλώσεις

5.2.1 Καταγραφές υδρομέτρων

Για τον προσδιορισμό της τιμολογημένης ποσότητας νερού στο δίκτυο και την χωρική κατανομή της κατανάλωσης, χρησιμοποιήθηκαν οι καταγραφές του συνόλου των υδρομέτρων του δικτύου για το έτος 2017. Συγκεκριμένα:

- για την πόλη του Αγρινίου υπήρχαν δεδομένα καταγραφών των υδρομέτρων ανά τρίμηνο (4 αρχεία excel).
- για την συνοικία του Αγίου Κωνσταντίνου υπήρχαν δεδομένα καταγραφών των υδρομέτρων ανά τετράμηνο (3 αρχεία excel).

Στην Εικόνα 5.2 παρουσιάζεται, ενδεικτικά, η αρχική μορφή ενός από τα αρχεία excel με τις καταγραφές των υδρομέτρων.



Κωδικός Διαδρόμης	Επωνυμία Υπόγειου	ST	Υδρόμετρο	Διεύθυνση	Πρ.	Προηγ. Κατανάλ.	Νέα Κατανάλ.	Έξτρα Καταν.	Κατανάλ. Κυβικά	Χρεωθ. Κυβικά	Μέσος Όρος Κατανάλ.
001001010			1288019			2548	2565	0	17	17	14
001001020			96077854			2064	2067	0	3	10	11
001001030			I-17991			1512	1530	0	18	18	19
001001040			H-14784			1	1	0	0	10	0
001001050		Δ	Γ-57420			752	752	0	0	0	4
001001060			Z-96544			1996	2002	0	6	10	14
001001070			I-18939			894	899	0	5	10	10
001001080			43735			3482	3500	0	18	18	21
001001090			0060			1097	1105	0	8	10	13
001001100			11769			355	362	0	7	10	11
001001110			1322			517	521	0	4	10	5
001001120			I-18937			244	246	0	2	10	3
001001130			I-18934			171	171	0	0	10	2
001002010		E	Γ-57411			0	0	0	0	0	6

Εικόνα 5.2: Πρωτογενή δεδομένα καταγραφών υδρομέτρων (αρχείο excel)

5.2.2 Μετρήσεις συστήματος SCADA

Ο όρος SCADA προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Supervisory Control and Data Acquisition και αποδίδεται, στα ελληνικά, ως Εποπτικός Έλεγχος και Συλλογή Δεδομένων.

Στο δίκτυο ύδρευσης του Αγρινίου έχει εγκατασταθεί και τεθεί σε λειτουργία, από το 2014, σύστημα τηλεελέγχου-τηλεχειρισμού (SCADA). Το σύστημα αυτό αποτελείται από:

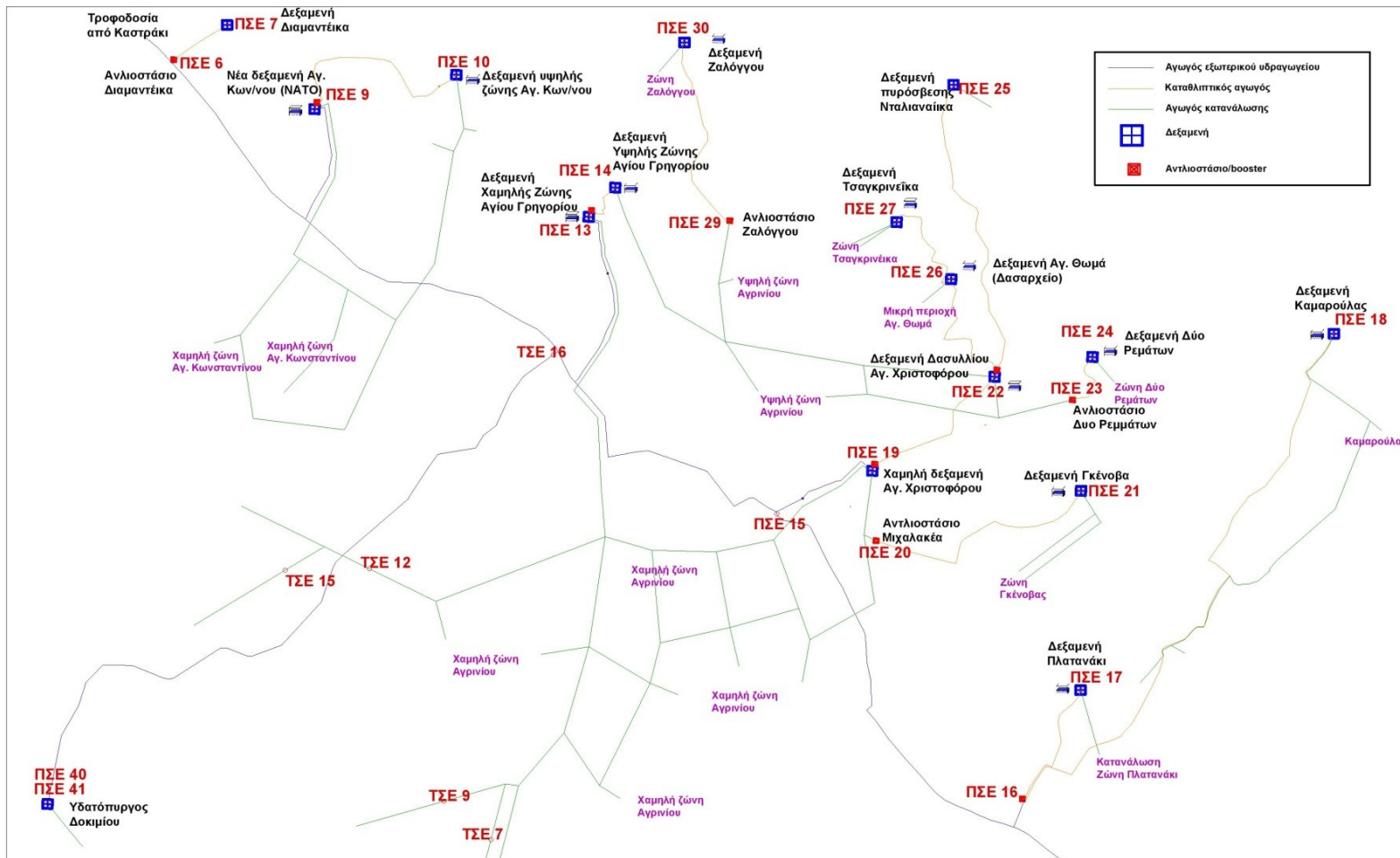
- 44 μόνιμους Περιφερειακούς Σταθμούς Ελέγχου (ΠΣΕ), οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε αγωγούς του εξωτερικού υδραγωγείου, στις δεξαμενές και στα αντλιοστάσια.
- 17 κινητούς Τοπικούς Σταθμούς Ελέγχου (ΤΣΕ), οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε κύριους αγωγούς του δικτύου διανομής.

Ο τηλεέλεγχος σχετίζεται με την καταγραφή της παροχής, της πίεσης, της στάθμης των δεξαμενών, τις εκκινήσεις και τις ώρες λειτουργίας των αντλιών από τους σταθμούς ελέγχου, ανάλογα με την θέση στην οποία είναι εγκατεστημένοι. Ο τηλεχειρισμός περιλαμβάνει την εκκίνηση-στάση των αντλιών και τον χειρισμό των ηλεκτροβανών του δικτύου είτε με χρονοπρόγραμμα, είτε αυτόματα με την παρακολούθηση της στάθμης των δεξαμενών.

Οι καταγραφές των σταθμών μετατρέπονται σε ηλεκτρικά σήματα και μεταφέρονται με ασύρματη επικοινωνία στον Κεντρικό Σταθμό Ελέγχου. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα στον χειριστή του συστήματος να παρακολουθεί σε 24ωρη βάση ολόκληρο το δίκτυο ύδρευσης. Προκύπτει, λοιπόν, μια σειρά από σημαντικά πλεονεκτήματα:

- Συνεχής εποπτεία του δικτύου, με δυνατότητα άμεσης επέμβασης και λήψη στατιστικών στοιχείων, με στόχο τον βραχυχρόνιο και μακροχρόνιο σχεδιασμό και προγραμματισμό.
- Αναβάθμιση της παροχής υπηρεσιών της εταιρείας ύδρευσης με την δυνατότητα πρόβλεψης αστοχιών του συστήματος, πριν αυτές γίνουν αντιληπτές από τον καταναλωτή.
- Ορθολογική διαχείριση του δικτύου, αλλά και της απαιτούμενης ενέργειας για την λειτουργία του, με έλεγχο της στάθμης των δεξαμενών και μείωση του αντλούμενου νερού, καθώς και με τον εντοπισμό και τον περιορισμό των διαρροών στο δίκτυο.

Δυστυχώς, στο δίκτυο του Αγρινίου, δεν λειτουργεί το σύνολο των υφιστάμενων σταθμών ελέγχου, ενώ, επιπλέον, για ορισμένους δεν είναι γνωστή η ακριβής θέση τοποθέτησής τους. Οι σταθμοί των οποίων οι συντεταγμένες είναι γνωστές και δεν έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας απεικονίζονται στην Εικόνα 5.3. Στοιχεία σχετικά με τα μετρούμενα μεγέθη κάθε σταθμού, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2.



Εικόνα 5.3: Θέσεις Περιφερειακών Σταθμών Ελέγχου (ΠΣΕ) και Τοπικών Σταθμών Ελέγχου (ΤΣΕ) του συστήματος SCADA στο δίκτυο

Πίνακας 5.2: : Στοιχεία Περιφερειακών Σταθμών Ελέγχου (ΠΣΕ) και Τοπικών Σταθμών Ελέγχου (ΤΣΕ) του συστήματος SCADA στο δικτύου

A/A	ID	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΠΑΡΟΧΗ	ΠΑΡΟΧΟΜΕΤΡΟ 1	ΠΑΡΟΧΟΜΕΤΡΟ 2	ΠΑΡΟΧΟΜΕΤΡΟ 3	ΠΑΡΟΧΟΜΕΤΡΟ 4	ΠΑΡΟΧΟΜΕΤΡΟ 5	ΠΙΕΣΗ	ΣΤΑΘΜΗ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΛΙΑΣ	ΕΚΚΙΝΗΣΕΙΣ ΑΝΤΛΙΑΣ	Γεωγρ. Πλάτος	Γεωγρ. Μήκος
1	ΠΣΕ1	ΥΔΡΟΛΗΨΙΑ ΚΑΣΤΡΑΚΙΟΥ	✓	DN800					✓					
2	ΠΣΕ 2	ΠΛΑΤΑΝΟΣ-ΚΑΛΥΒΙΑ-ΣΤΡΑΤΟΥ-ΛΕΠΕΝΟΥ-ΟΧΘΙΑΣ-ΚΥΨΕΛΗΣ	✓	DN300	DN200	DN250			✓				38°40'46.45"B	21°21'26.64"A
3	ΠΣΕ 3	ΤΡΙΑΝΤΕΙΚΑ-ΕΛΑΙΟΦΥΤΟ	✓	DN150	DN100				✓	✓	✓	✓	38°40'46.45"B	21°21'26.64"A
4	ΠΣΕ 6	Α/Σ ΔΙΑΜΑΝΤΕΪΚΑ	✓	DN80					✓		✓	✓	38°38'36.47"B	21°23'17.78"A
5	ΠΣΕ 7	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΔΙΑΜΑΝΤΕΪΚΑ	✓	DN100	DN100				✓	✓			38°38'59.03"B	21°23'25.87"A
6	ΠΣΕ 8	Α/Σ ΑΓΙΟΥ ΚΩΝ/ΝΟΥ (Α/Σ ΜΕΓΑΛΗΣ ΧΩΡΑΣ)	✓	DN125					✓		✓	✓	38°39'01.1"B	21°22'44.4"A
7	ΠΣΕ 9	Α/Σ & ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΝΑΤΟ	✓	DN300	DN150	DN250			✓	✓	✓	✓	38°38'30.74"B	21°23'41.05"A
8	ΠΣΕ 10	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΨΗΛΗΣ ΖΩΝΗΣ ΑΓ. ΚΩΝ/ΝΟΥ	✓	DN150	DN150	DN200			✓	✓			38°38'35.49"B	21°24'4.67"A
9	ΠΣΕ 11	ΒΟΟΣΤΕΡ (Α/Σ & ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΝΕΑΠΟΛΗΣ)	✓	DN150	DN150	DN150			✓	✓	✓	✓	38°40'13.8"B	21°21'58.6"A
10	ΠΣΕ 13	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΧΑΜΗΛΗΣ ΖΩΝΗΣ ΑΓ. ΓΡΗΓΟΡΙΟΥ	✓	DN500	DN500	DN200			✓	✓	✓	✓	38°38'17.30"B	21°24'27.98"A
11	ΠΣΕ 14	Α/Σ & ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΨΗΛΗΣ ΖΩΝΗΣ ΑΓ. ΓΡΗΓΟΡΙΟΥ	✓	DN200	DN200				✓	✓			38°38'20.83"B	21°24'31.26"A
12	ΠΣΕ 15	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΠΡΟΣ ΑΓΡΙΝΙΟ ΚΑΙ ΑΒΟΡΑΝΗ	✓	DN400					✓				38°37'38.93"B	21°25'1.91"A
13	ΠΣΕ 16	Α/Σ & ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΕΡΓΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ	✓	DN150	DN150	DN200			✓	✓	✓	✓	38°37'2.21"B	21°25'42.41"A
14	ΠΣΕ 17	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΠΛΑΤΑΝΑΚΙ	✓	DN150	DN200				✓	✓			38°37'17.20"B	21°25'52.60"A
15	ΠΣΕ 18	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΚΑΜΑΡΟΥΛΑΣ	✓	DN150	DN250				✓	✓			38°38'3.45"B	21°26'32.83"A
16	ΠΣΕ 19	Α/Σ & ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΧΑΜΗΛΗΣ ΖΩΝΗΣ ΑΓ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΥ	✓	DN500	DN500	DN200			✓	✓	✓	✓	38°37'44.93"B	21°25'15.78"A
17	ΠΣΕ 20	Α/Σ ΓΚΕΝΟΒΑ	✓	DN100					✓		✓	✓	38°37'36.02"B	21°25'16.55"A
18	ΠΣΕ 21	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΓΚΕΝΟΒΑ	✓	DN100	DN150				✓	✓			38°37'42.72"B	21°25'50.98"A
19	ΠΣΕ 22	Α/Σ & ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΔΑΣΥΛΙΟ	✓	DN100	DN100	DN200	DN200	DN300	✓	✓	✓	✓	38°37'57.27"B	21°25'35.79"A
20	ΠΣΕ 23	Α/Σ ΔΥΟ ΡΕΜΑΤΩΝ	✓	DN500					✓		✓	✓	38°37'55.23"B	21°25'45.07"A
21	ΠΣΕ 24	ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΔΥΟ ΡΕΜΑΤΩΝ	✓	DN500	DN500				✓	✓			38°38'8.71"B	21°25'52.64"A
22	ΠΣΕ 25	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΠΥΡΟΣΒΕΣΗΣ	✓	DN100	DN100				✓	✓			38°38'36.01"B	21°25'27.94"A
23	ΠΣΕ 26	Α/Σ & ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΓ. ΘΩΜΑ (ΔΑΣΑΡΧΕΙΟ)	✓	DN100	DN100				✓	✓			38°38'10.31"B	21°25'27.35"A
24	ΠΣΕ 27	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΤΣΑΓΚΡΙΝΕΪΚΑ	✓	DN50	DN50	DN80			✓	✓			38°38'17.64"B	21°25'19.41"A
25	ΠΣΕ 28	Α/Σ ΤΣΑΓΚΡΙΝΕΪΚΑ	✓	DN100	DN100	DN100			✓	✓	✓	✓	38°40'12.5"B	21°23'12.8"A
26	ΠΣΕ 29	Α/Σ ΟΔΟΣ ΖΑΛΟΓΓΟΥ	✓	DN80					✓		✓	✓	38°38'17.25"B	21°24'50.94"A
27	ΠΣΕ 30	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΟΔΟΣ ΖΑΛΟΓΓΟΥ	✓	DN80	DN50				✓	✓			38°38'40.67"B	21°24'42.64"A
28	ΠΣΕ 41	ΥΔΑΤΟΠΥΡΓΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	✓	DN150	DN150	DN150	DN150		✓	✓			38°36'58.48"B	21°23'0.25"A
29	ΤΣΕ 4	Ο.Τ. 1107	✓	DN300					✓				38°37'21.08"B	21°25'25.51"A
30	ΤΣΕ 5	ΡΗΓΑΝΑΣ	✓	DN150					✓				38°36'35.67"B	21°25'27.20"A
31	ΤΣΕ 6	ΑΓΓΕΛΟΚΑΣΤΡΟΥ	✓	DN100					✓				38°37'19.35"B	21°24'0.45"A
32	ΤΣΕ 7	ΗΡΑΚΛΕΙΤΟΥ	✓	DN200					✓				38°36'38.42"B	21°24'32.54"A
33	ΤΣΕ 8	ΤΡΟΧΟΣ	✓	DN100					✓				38°36'59.13"B	21°25'35.97"A
34	ΤΣΕ 9	ΜΠΟΥΖΙ	✓	DN100					✓				38°36'37.07"B	21°24'21.89"A
35	ΤΣΕ 10	ΤΣΕΛΕΪΚΑ	✓	DN50					✓				38°38'14.68"B	21°24'17.21"A
36	ΤΣΕ 11	ΕΘΝΙΚΗ ΟΔΟΣ	✓	DN150					✓				38°36'47.05"B	21°24'36.41"A
37	ΤΣΕ 12	ΔΡΟΣΙΝΗ (ΕΚΙΝΑΔΩΝ)	✓	DN150					✓				38°37'27.70"B	21°23'52.0"A
38	ΤΣΕ 13	ΑΛΩΝΙ	✓	DN200					✓				38°38'9.52"B	21°24'57.2"A
39	ΤΣΕ 15	ΦΟΥΣΚΑΡΗ (ΡΕΜΠΕΛΙΑ)	✓	DN150					✓				38°37'25.84"B	21°23'44.82"A
40	ΤΣΕ 16	ΕΛΕΥΘ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ	✓	DN200					✓				38°37'59.31"B	21°24'23.35"A
41	ΤΣΕ 17	ΒΡΥΣΗ	✓	DN100					✓				38°37'50.16"B	21°25'29.67"A

6 Μεθοδολογίες εκτίμησης καταναλώσεων

6.1 Εκτίμηση της 24ωρης διακύμανσης της κατανάλωσης με βάση τις μετρήσεις του συστήματος SCADA

6.1.1 Επιλογή δεδομένων

Τα δεδομένα του συστήματος SCADA αφορούσαν μόνο την θερινή περίοδο του 2018. Συγκεκριμένα:

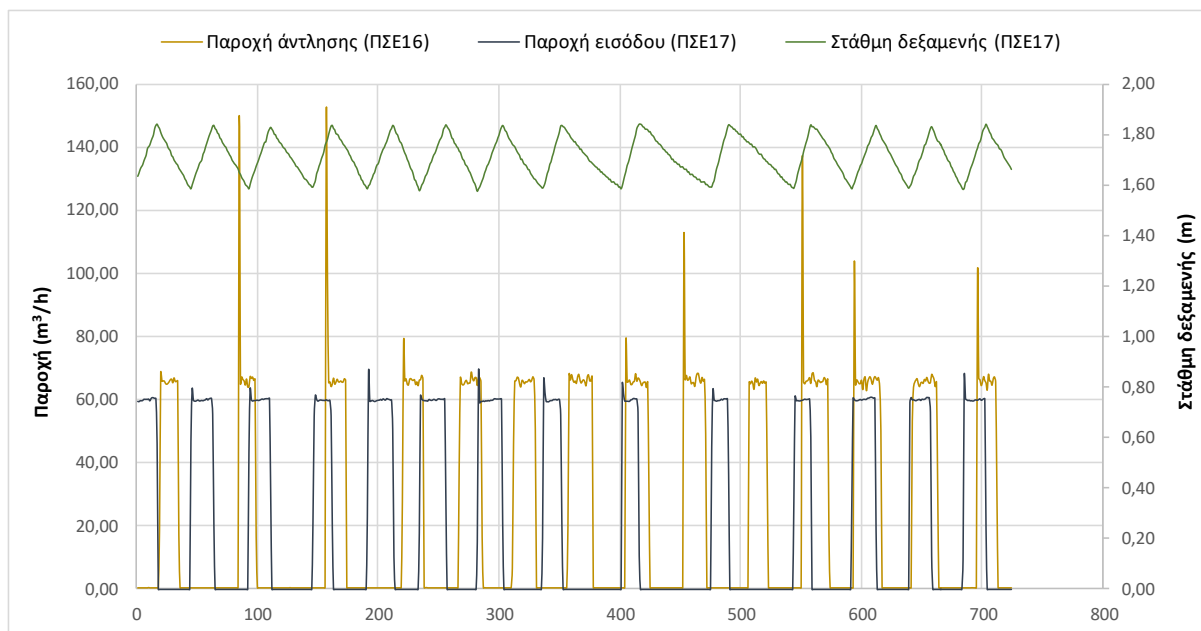
- Για το σύνολο των Περιφερειακών Σταθμών Ελέγχου (ΠΣΕ) υπήρχαν μετρήσεις για το διήμερο 7-8/7/2018 (ημέρες Σάββατο και Κυριακή), με χρονικό βήμα 2 min.
- Για τους Τοπικούς Σταθμούς Ελέγχου (ΤΣΕ) υπήρχαν μετρήσεις από διάφορες χρονικές περιόδους, με βήμα 15 min. Δεν συνέπιπταν, όμως, ούτε με αυτή των Περιφερειακών Σταθμών Ελέγχου, αλλά ούτε και μεταξύ τους. Επιπλέον, σε αρκετές περιπτώσεις, οι καταγραφές ήταν μηδενικές (αστοχία οργάνων).

Για την βαθμονόμηση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι καταγραφές των Περιφερειακών Σταθμών Ελέγχου (ΠΣΕ). Η ημέρα που επιλέχθηκε ήταν η 7/7/2018 (Σάββατο), καθώς, την ημέρα εκείνη, η πλειονότητα των σταθμών βρισκόταν σε λειτουργία, αλλά και διότι οι καταναλώσεις που σημειώνονται την Κυριακή αξιολογούνται ως επισφαλείς και λιγότερο αντιπροσωπευτικές για ένα δίκτυο.

6.1.2 Εντοπισμός και απόρριψη μη ποιοτικών μετρήσεων των σταθμών ελέγχου

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 5, οι Περιφερειακοί Σταθμοί Ελέγχου (ΠΣΕ) είναι τοποθετημένοι στις δεξαμενές και τα αντλιοστάσια του δικτύου. Οι καταγραφές τους αφορούν την παροχή εισόδου και την διακύμανση της στάθμης σε κάθε δεξαμενή, τις παροχές κατανάλωσης και τις παροχές άντλησης. Πραγματοποιήθηκε, λοιπόν, ομαδοποίηση των μετρήσεων των σταθμών ελέγχου για κάθε δεξαμενή και έλεγχός τους, προκειμένου να διαπιστωθεί η εγκυρότητά τους.

Ενδεικτικά, αναφέρεται η περίπτωση της δεξαμενής στην περιοχή Πλατανάκι (ΠΣΕ17) στην οποία αντλείται νερό από το αντλιοστάσιο Εργατικών Κατοικιών (ΠΣΕ16). Συγκρίνοντας, στην Εικόνα 6.1, την διακύμανση της στάθμης με την παροχή εισόδου στην δεξαμενή και την παροχή άντλησης σε αυτή, είναι σαφές πως οι μετρήσεις που συμβαδίζουν με την μεταβολή της στάθμης και πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι αυτές του σταθμού ΠΣΕ17. Συνεπώς, η χρονοσειρά παροχής του σταθμού ΠΣΕ17 θεωρείται έγκυρη, ενώ του σταθμού ΠΣΕ16 αγνοείται.



Εικόνα 6.1: Σύγκριση μετρήσεων για τον έλεγχο της εγκυρότητάς τους

Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε για όλες τις δεξαμενές και, με τον τρόπο αυτό, διατηρήθηκαν μόνο οι ποιοτικές μετρήσεις των σταθμών.

6.1.3 Επεξεργασία μετρήσεων

Επόμενο βήμα ήταν η συνάθροιση (aggregation) των χρονοσειρών των 2 min σε χρονοσειρές με χρονικό βήμα 15 min, προκειμένου να γίνει εισαγωγή τους στο μοντέλο και να αποτελέσουν τις παρατηρημένες τιμές (observed data) βάσει των οποίων θα γίνει η βαθμονόμηση του μοντέλου.

Επιπλέον, για τις χρονοσειρές κατανάλωσης κάθε δεξαμενής, έγινε συνάθροισή τους και σε χρονοσειρές με χρονικό βήμα 1 h, ώστε να εξαχθεί στην συνέχεια το μοντέλο διακύμανσης της ζήτησης (pattern) για κάθε ζώνη.

6.1.4 Εκτίμηση μη μετρημένων μεγεθών

Υπήρξαν περιπτώσεις κατά τις οποίες οι μετρήσεις των μεγεθών δεν ήταν διαθέσιμες ή ήταν εμφανώς λανθασμένες. Όπου ήταν, λοιπόν, δυνατό οι τιμές αυτές εκτιμήθηκαν βάσει των υπολοίπων μετρήσεων:

- Με εφαρμογή του υδατικού ισοζυγίου στην δεξαμενή.
- Με την παραδοχή πως, κατά τα διαστήματα ανόδου της στάθμης στην δεξαμενή, πραγματοποιείται είσοδος και έξοδος νερού, ενώ, κατά τα διαστήματα καθόδου της στάθμης, πραγματοποιείται μόνο έξοδος και με δεδομένο το εμβαδό της δεξαμενής.

Υπολογίστηκαν, έτσι, οι όγκοι εισόδου και εξόδου και εκτιμήθηκε η μέση ημερήσια παροχή άντλησης και η μέση ημερήσια παροχή κατανάλωσης.

6.1.5 Εκτίμηση κατανάλωσης και προσδιορισμός κανόνων λειτουργίας αντλιοστασίων

Από τις χρονοσειρές κατανάλωσης εκτιμήθηκε η μέση ημερήσια παροχή κάθε πιεζομετρικής ζώνης κι έγινε κατανομή της στους κόμβους του μοντέλου. Η κατανομή της κατανάλωσης στους κόμβους πραγματοποιήθηκε με την χάραξη των πολυγώνων Thiessen, ενώ έγινε η παραδοχή πως διατηρούνται οι χωρικές αναλογίες που προέκυψαν από τις καταγραφές των υδρομέτρων (βλ. 6.2). Στη συνέχεια, για κάθε πιεζομετρική ζώνη, εφαρμόσθηκε στους κόμβους της το αντίστοιχο πρότυπο (pattern) διακύμανσης της ζήτησης. Τέλος, ο κανόνας λειτουργίας για κάθε αντλιοστάσιο προσδιορίσθηκε βάσει της διακύμανσης της στάθμης κάθε δεξαμενής: όταν η στάθμη βρίσκεται στο κατώτατο επίπεδο, η αντλία ξεκινά και όταν η στάθμη βρίσκεται στο ανώτατο επίπεδο, η αντλία σταματά.

Πραγματοποιήθηκε σειρά από διαδοχικές προσομοιώσεις με στόχο οι προσομοιωμένες τιμές (simulated data) να ταυτίζονται με τις παρατηρημένες (observed). Τα αποτελέσματα της διαδικασίας παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α.

6.2 Εκτίμηση της ωριαίας αιχμής κατανάλωσης με βάση τις καταγραφές των υδρομέτρων

6.2.1 Διάρθρωση κάθε πιεζομετρικής ζώνης σε υποπεριοχές

Οι πιεζομετρικές ζώνες διαιρέθηκαν σε υποπεριοχές με κριτήριο την πυκνότητα δόμησης, όπως αυτή εκτιμήθηκε βάσει δορυφορικών εικόνων του Google Earth. Ο αριθμός των υποπεριοχών που προέκυψε για κάθε ζώνη παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.1, ενώ οι υποπεριοχές παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β.

Πίνακας 6.1: Αριθμός υποπεριοχών ανά πιεζομετρική ζώνη

Πιεζομετρική ζώνη	Αριθμός υποπεριοχών
Χαμηλή ζώνη Αγίου Κωνσταντίνου	4
Υψηλή ζώνη Αγίου Κωνσταντίνου	7
Χαμηλή ζώνη Αγρινίου	12
Υψηλή ζώνη Αγρινίου	4
Καμαρούλα	1
Πλατανάκι	3
Γκένοβα	2
Τσαγκρινέικα	3
Ζάλογγο	1
Δυο Ρέματα	1
Άγιος Θωμάς	1

6.2.2 Υπολογισμός της τιμολογημένης ποσότητας νερού για κάθε υποπεριοχή

Ο υπολογισμός της τιμολογημένης ποσότητας νερού σε κάθε υποπεριοχή πραγματοποιήθηκε ως εξής:

α) Έγινε άθροιση των καταγραφών των υδρομέτρων ανά διεύθυνση και αριθμό.

β) Διερευνήθηκε η ύπαρξη ειδικών καταναλωτών. Ως ειδικοί καταναλωτές ορίστηκαν αυτοί που η ζήτησή τους ξεπερνά το 0.1% της συνολικής. Δεν εντοπίστηκαν ειδικοί καταναλωτές στο δίκτυο, εκτός από το νοσοκομείο της πόλης, του οποίου η κατανάλωση μεταφέρθηκε στον πλησιέστερο κόμβο του μοντέλου.

γ) Έγινε ομαδοποίηση των διευθύνσεων ανά υποπεριοχή και υπολογίστηκαν τα αθροίσματα των καταγραφών για κάθε υποπεριοχή.

δ) Τα ανωτέρω αθροίσματα αφορούσαν καταναλώσεις τριμήνου/τετραμήνου. Επιλέχθηκαν, το τρίτο τρίμηνο (Ιούλιος-Σεπτέμβριος) και το δεύτερο τετράμηνο (Μάιος-Αύγουστος) και από αυτά εκτιμήθηκε η μέση ημερήσια (τιμολογημένη) κατανάλωση.

6.2.3 Εφαρμογή συντελεστών για την εκτίμηση της ωριαίας αιχμής κατανάλωσης σε κάθε υποπεριοχή

Για την εκτίμηση της ωριαίας αιχμής της κατανάλωσης από την μέση ημερήσια τιμολογημένη κατανάλωση εφαρμόστηκε μια σειρά από τυπικούς συντελεστές:

α) Συντελεστής προσαύξησης (ίσος με 2) ώστε να συμπεριληφθούν οι απώλειες και να υπολογιστεί η μέση ημερήσια παραγόμενη ποσότητα νερού στο δίκτυο.

β) Συντελεστής εποχικής διακύμανσης (ίσος με 1.1) για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης για τον μήνα Ιούλιο, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα της προηγούμενης μεθοδολογίας.

γ) Συντελεστής ωριαίας αιχμής (ίσος με 1.5).

Τέλος, η κατανάλωση που εκτιμήθηκε σε κάθε υποπεριοχή μοιράσθηκε στους κόμβους της με την μέθοδο των πολυγώνων Thiessen.

Οι υπολογισμοί και τα αποτελέσματα της μεθόδου παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα Γ.

6.3 Εκτίμηση της ωριαίας αιχμής κατανάλωσης με βάση την πυκνότητα δόμησης των υποπεριοχών

6.3.1 Εκτίμηση πληθυσμού της περιοχής

Η εκτίμηση του πληθυσμού της περιοχής μελέτης για το έτος 2018 έγινε με την παραδοχή σταθερής σχετικής μεταβολής του ανά έτος (γεωμετρική αύξηση), μέσω της σχέσης 2.12. Για τον προσδιορισμό του συντελεστή b χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ) από την απογραφή του πληθυσμού της Δημοτικής Ενότητας Αγρινίου τα έτη 2001 και 2011.

Πίνακας 6.2: Εξέλιξη του πληθυσμού της περιοχής με την παραδοχή γεωμετρικής αύξησης

Έτος	Πληθυσμός Δημοτικής Ενότητας Αγρινίου
2001 (ΕΛΣΤΑΤ)	54,253
2011 (ΕΛΣΤΑΤ, αναθεώρηση 2014)	64,642
2018 (εκτίμηση)	69,275

b	0.01448
-----	---------

6.3.2 Κατανομή πληθυσμού στις υποπεριοχές των πιεζομετρικών ζωνών

Η κατανομή του πληθυσμού στις υποπεριοχές των πιεζομετρικών ζωνών πραγματοποιήθηκε ως εξής:

α) Προσδιορίσθηκε το εμβαδό A_i κάθε υποπεριοχής των πιεζομετρικών ζωνών, όπως αυτές ορίσθηκαν στην προηγούμενη μέθοδο (βλ. 6.2.1).

β) Έγινε εκτίμηση ενός συντελεστή πυκνότητας δόμησης ϑ_i ($\vartheta_i \leq 1$) για κάθε υποπεριοχή, με βάση δορυφορικές εικόνες του Google Earth.

γ) Βρέθηκε το νέο "υπολογιστικό" εμβαδό A'_i κάθε υποπεριοχής από το γινόμενο $A_i * \vartheta_i$.

δ) Πραγματοποιήθηκε κατανομή του πληθυσμού στις υποπεριοχές βάσει του λόγου $A'_i / \Sigma A'_i$.

6.3.3 Υπολογισμός μέσης ημερήσιας κατανάλωσης για κάθε υποπεριοχή

Στην περιοχή μελέτης η οικιακή χρήση αποτελεί την κύρια συνιστώσα των αστικών χρήσεων νερού. Εκτιμήθηκε, λοιπόν, μια τυπική τιμή οικιακής κατανάλωσης (βλ. 2.4.1) ίση με 165 L/κάτοικο/ημέρα και πολλαπλασιάσθηκε με τον πληθυσμό κάθε υποπεριοχής, προκειμένου να υπολογιστεί η συνολική μέση ημερήσια κατανάλωση.

6.3.4 Εφαρμογή συντελεστών για την εκτίμηση της ωριαίας αιχμής κατανάλωσης σε κάθε υποπεριοχή

Για τον προσδιορισμό της ωριαίας αιχμής κατανάλωσης εφαρμόστηκαν οι ίδιοι συντελεστές, όπως και στην προηγούμενη μεθοδολογία (βλ. 6.2.4).

Οι υπολογισμοί και τα αποτελέσματα της μεθόδου παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα Δ.

6.4 Εκτίμηση της ωριαίας αιχμής κατανάλωσης με βάση τα εμβαδά των υποπεριοχών

6.4.1 Εκτίμηση πληθυσμού της περιοχής

Ο πληθυσμός της περιοχής μελέτης προσδιορίστηκε με τον ίδιο τρόπο όπως στην παράγραφο 6.3.1 και βρέθηκε ίσος με 69,275 κατοίκους.

6.4.2 Κατανομή πληθυσμού στις υποπεριοχές

Στην περίπτωση αυτή πραγματοποιήθηκε μια πιο αδρομερής κατανομή του πληθυσμού με κριτήριο, αποκλειστικά, το εμβαδό κάθε υποπεριοχής, χωρίς να ληφθεί υπόψη η πυκνότητα δόμησης. Με την ίδια λογική, λοιπόν, όπως και στην προηγούμενη μέθοδο:

α) Προσδιορίστηκε το εμβαδό A_i κάθε υποπεριοχής.

β) Η κατανομή του πληθυσμού στις υποπεριοχές πραγματοποιήθηκε βάσει του λόγου $A_i/\Sigma A_i$.

6.4.3 Υπολογισμός μέσης ημερήσιας κατανάλωσης για κάθε υποπεριοχή

Ο προσδιορισμός της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης έγινε με τον ίδιο τρόπο, όπως και στην προηγούμενη μεθοδολογία (βλ.6.3.4).

6.4.4 Εφαρμογή συντελεστών για την εκτίμηση της ωριαίας αιχμής κατανάλωσης σε κάθε υποπεριοχή

Για τον προσδιορισμό της ωριαίας αιχμής κατανάλωσης εφαρμόστηκαν οι ίδιοι συντελεστές, όπως και στις δύο προηγούμενες μεθοδολογίες (βλ. 6.2.4).

Οι υπολογισμοί και τα αποτελέσματα της μεθόδου παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα Ε.

6.5 Εκτίμηση της 24ωρης διακύμανσης της κατανάλωσης με χρήση συνθετικών χρονοσειρών ζήτησης

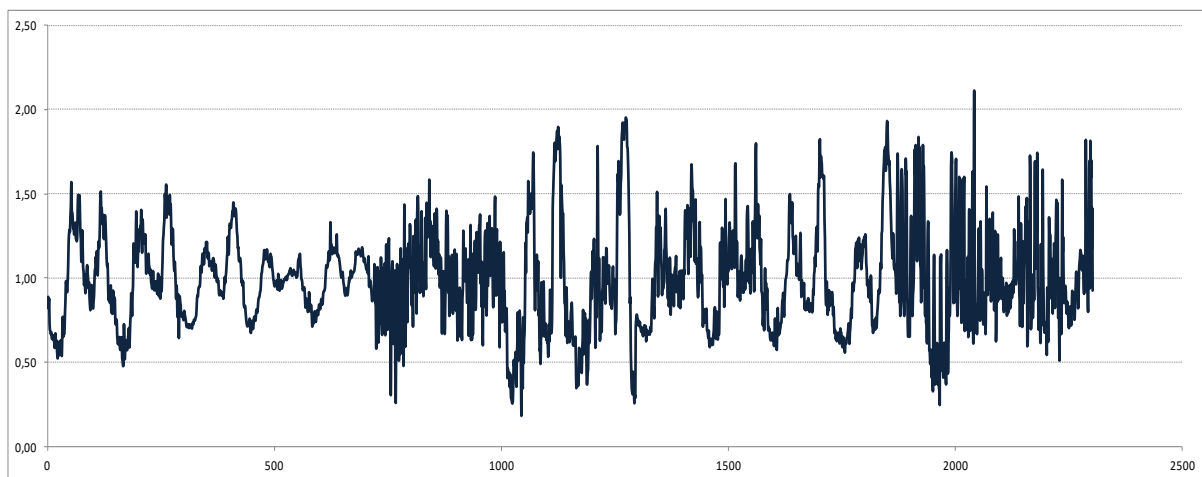
Στο στάδιο αυτό έγινε μία πρωτόλεια προσπάθεια διερεύνησης της αβεβαιότητας που σχετίζεται με την εκτίμηση των καταναλώσεων παράγοντας στοχαστικές χρονοσειρές ζήτησης, προκειμένου να εξετασθεί η απόκριση του δικτύου σε διαφορετικές φορτίσεις. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι χρονοσειρές καταναλώσεων των πιεζομετρικών ζωνών από τις μετρήσεις του συστήματος SCADA. Πραγματοποιήθηκαν τα εξής βήματα:

α) Συνάθροιση των χρονοσειρών κατανάλωσης των 2 min (αρχικές) σε χρονοσειρές των 10 min.

β) Δημιουργία αδιαστατοποιημένων χρονοσειρών διαιρώντας την κατανάλωση κάθε χρονικού βήματος με την μέση ημερήσια κατανάλωση: Q_i/Q_{mean} .

γ) Ενοποίηση όλων των αδιαστατοποιημένων χρονοσειρών κατανάλωσης σε μία (Εικόνα 6.2), καθώς το μήκος των χρονοσειρών (δυο ημέρες) ήταν πολύ μικρό.

δ) Παραγωγή 10 συνθετικών αδιαστατοποιημένων χρονοσειρών κατανάλωσης με την βοήθεια καινοτόμου στοχαστικού εργαλείου.



Εικόνα 6.2: Αδιαστατοποιημένη χρονοσειρά καταναλώσεων 10 min

Η παραπάνω μέθοδος της αδιαστατοποίησης και ενοποίησης διαφορετικών χρονοσειρών συνιστά μια πολύ έξυπνη τακτική για την επιμήκυνση της ιστορικής χρονοσειράς, σε περίπτωση που το μήκος των μεμονωμένων χρονοσειρών δεν επαρκεί. Με τον τρόπο αυτό γίνεται αξιοποίηση όλης της υπάρχουσας πληροφορίας, ενώ, στη συνέχεια, μέσω της παραγωγής συνθετικών χρονοσειρών, η πληροφορία αυτή αναπαράγεται σε διάφορες εκδοχές.

Οι συνθετικές αδιαστατοποιημένες χρονοσειρές ζήτησης, με τον τρόπο που δημιουργήθηκαν (Q_i/Q_{mean}), αποτελούν πρότυπα (patterns) διακύμανσης της κατανάλωσης. Πραγματοποιήθηκαν, λοιπόν, 10 προσομοιώσεις του δικτύου, διατηρώντας τις μέσες τιμές κατανάλωσης (baseline demands) στους κόμβους, όπως αυτές προέκυψαν από τις μετρήσεις SCADA, και εφαρμόζοντας στο σύνολο των κόμβων του δικτύου κάθε ένα από τα πρότυπα διακύμανσης της ζήτησης.

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων παρουσιάζονται στο Παράρτημα ΣΤ.

7.1 Καταναλώσεις

Για την εξαγωγή αποτελεσμάτων, έγινε η παραδοχή πως ο προσδιορισμός της κατανάλωσης μέσω των μετρήσεων του συστήματος SCADA είναι ο πιο έγκυρος και ενέχει το μικρότερο σφάλμα. Πραγματοποιήθηκε, λοιπόν, σύγκριση της κατανάλωσης (μέσης και μέγιστης), που εκτιμούν οι 3 μέθοδοι με την μέση κατανάλωση και την κατανάλωση αιχμής, όπως αυτές υπολογίσθηκαν από τις μετρήσεις SCADA.

Η αρίθμηση των μεθόδων στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων έχει γίνει με κριτήριο την αβεβαιότητα, ξεκινώντας από την πιο αβέβαιη.

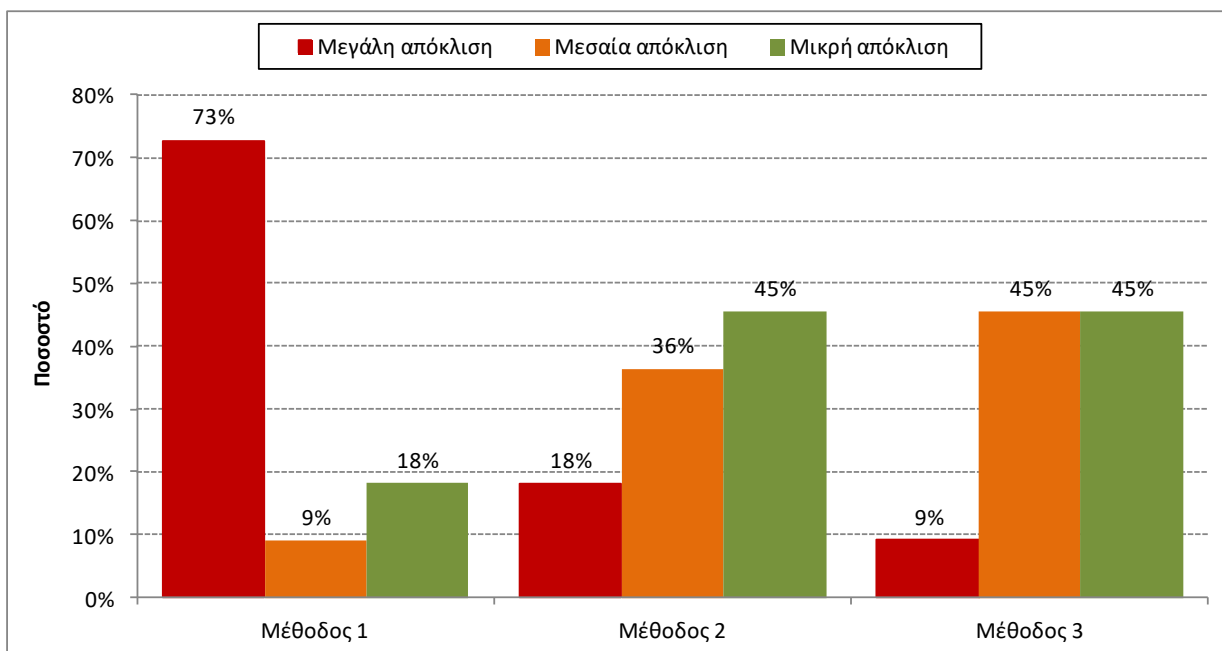
- Μέθοδος 1: Εκτίμηση κατανάλωσης με βάση τα εμβαδά των υποπεριοχών.
- Μέθοδος 2: Εκτίμηση κατανάλωσης με βάση την πυκνότητα δόμησης.
- Μέθοδος 3: Εκτίμηση κατανάλωσης με βάση τις καταγραφές υδρομέτρων.
- Μέθοδος 4: Εκτίμηση κατανάλωσης με βάση τις μετρήσεις του συστήματος SCADA.
- Μέθοδος 5: Εκτίμηση κατανάλωσης με χρήση συνθετικών χρονοσειρών ζήτησης.

Στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτής της σύγκρισης. Τα ποσοστά που αναγράφονται αφορούν την υπερεκτίμηση (+) ή την υποεκτίμηση (-) της μέσης κατανάλωσης των μετρήσεων SCADA σε κάθε πιεζομετρική ζώνη από την εκάστοτε μέθοδο. Με κόκκινο χρώμα εμφανίζεται η μέθοδος με το μεγαλύτερο ποσοστό απόκλισης, με πορτοκαλί η μέθοδος με το μεσαίο ποσοστό απόκλισης, ενώ με πράσινο παρουσιάζεται η μέθοδος με το μικρότερο ποσοστό απόκλισης για κάθε πιεζομετρική ζώνη.

Πίνακας 7.1: Ποσοστό υπερεκτίμησης (+)/υποεκτίμησης (-) της μέσης κατανάλωσης σε κάθε πιεζομετρική ζώνη

A/A		Μέθοδος 1	Μέθοδος 2	Μέθοδος 3
1	Αγ.Κων/νος (χαμηλή ζώνη)	93%	13%	57%
2	Αγ.Κων/νος (υψηλή ζώνη)	-10%	-38%	-25%
3	Αγρίνιο (χαμηλή ζώνη)	-27%	-12%	-21%
4	Αγρίνιο (υψηλή ζώνη)	47%	50%	77%
5	Γκένοβα	338%	22%	5%
6	Πλατανάκι	45%	-24%	-16%
7	Τσαγκρινέικα	-13%	-31%	-11%
8	Ζάλογγο	25%	17%	10%
9	Δύο Ρέματα	100%	-4%	-26%
10	Καμαρούλα	86%	-51%	-57%
11	Άγιος Θωμάς	14%	6%	-5%
	Μέσος όρος απόκλισης	72%	24%	28%

Είναι εμφανές πως η χειρότερη μέθοδος για την εκτίμηση της μέσης κατανάλωσης είναι η αδρομερής Μέθοδος 1, αφού, 8/11 περιπτώσεις (ποσοστό 73%), δίνει μεγάλη απόκλιση. Αντίθετα, οι άλλες δύο μέθοδοι έχουν πολύ όμοια ποσοστά επιτυχίας (Εικόνα 7.1).



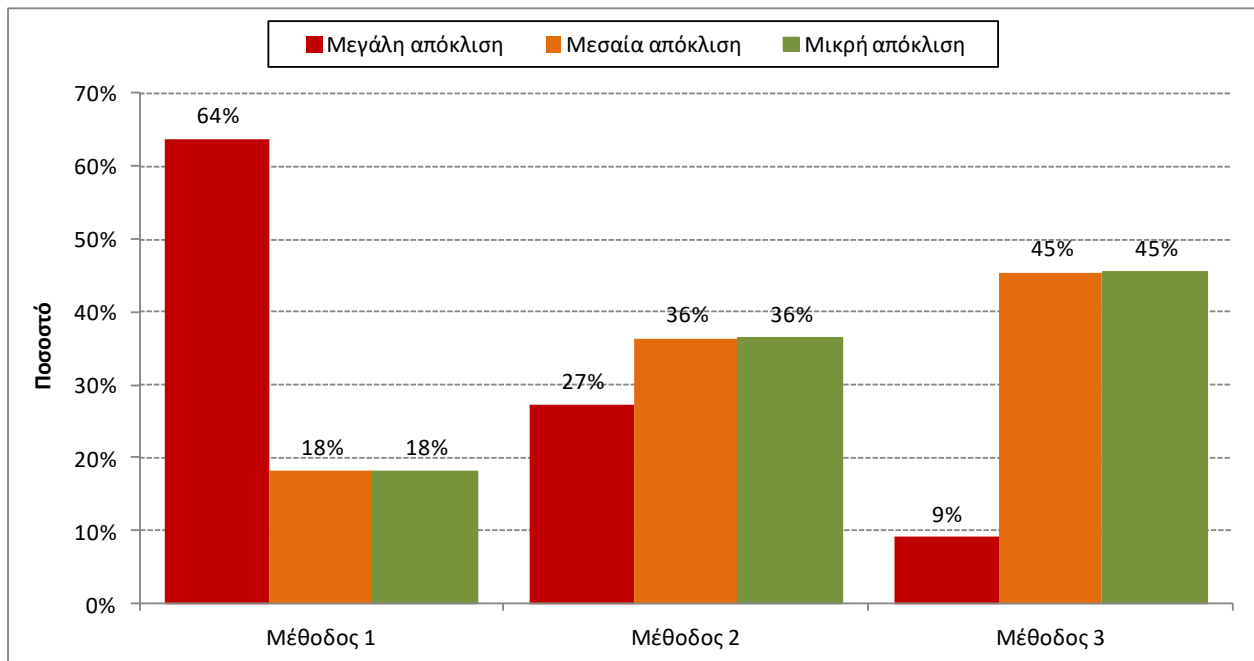
Εικόνα 7.1: Ποσοστά επιτυχίας κάθε μεθόδου για ορθή εκτίμηση της μέσης κατανάλωσης στο σύνολο των πιεζομετρικών ζωνών

Στον Πίνακα 7.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης μεταξύ της κατανάλωσης αιχμής που εκτιμά κάθε μέθοδος. Ο τρόπος ανάγνωσης του πίνακα είναι ίδιος με προηγουμένως.

Πίνακας 7.2: Ποσοστό υπερεκτίμησης (+)/υποεκτίμησης (-) της ωριαίας αιχμής κατανάλωσης σε κάθε πιεζομετρική ζώνη

A/A		Μέθοδος 1	Μέθοδος 2	Μέθοδος 3
1	Αγ.Κων/νος (χαμηλή ζώνη)	117%	27%	76%
2	Αγ.Κων/νος (υψηλή ζώνη)	-3%	-33%	-19%
3	Αγρίνιο (χαμηλή ζώνη)	-19%	-3%	-12%
4	Αγρίνιο (υψηλή ζώνη)	66%	70%	108%
5	Γκένοβα	406%	41%	21%
6	Πλατανάκι	40%	-26%	-19%
7	Τσαγκρινέικα	-8%	-27%	-5%
8	Ζάλογγο	47%	57%	39%
9	Δύο Ρέματα	118%	6%	-19%
10	Καμαρούλα	65%	-56%	-62%
11	Άγιος Θωμάς	19%	11%	-1%
	Μέσος όρος απόκλισης	82%	33%	35%

Η Μέθοδος 1 εξακολουθεί να είναι η χειρότερη, αφού 7/11 περιπτώσεις - ποσοστό 64% παρουσιάζει την μεγαλύτερη απόκλιση από τις 3 μεθόδους (Εικόνα 7.2).

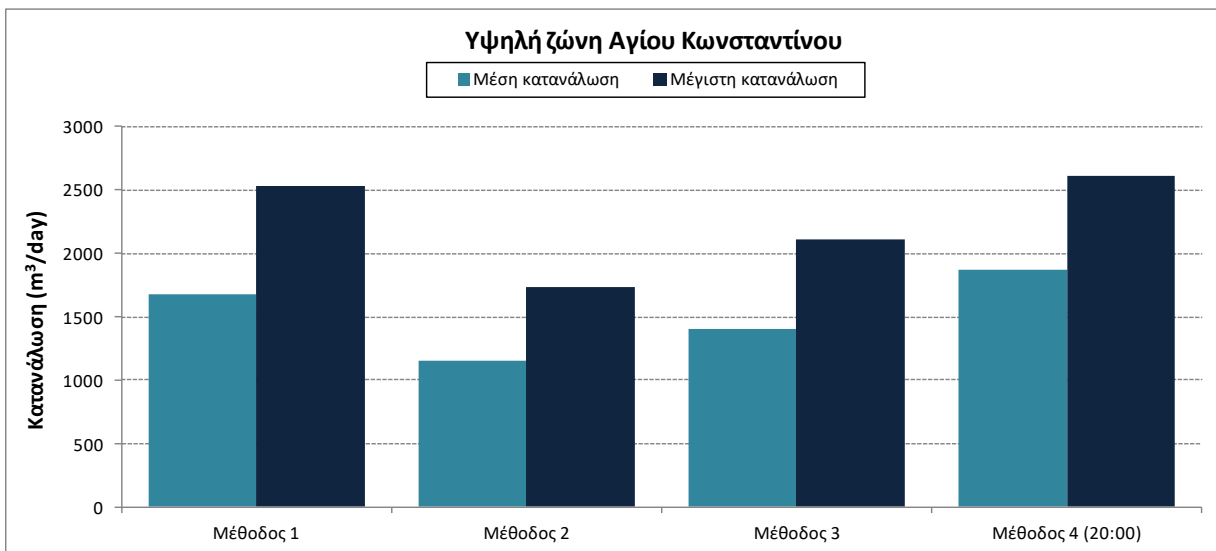


Εικόνα 7.2: Ποσοστά επιτυχίας κάθε μεθόδου για ορθή εκτίμηση της ωριαίας αιχμής κατανάλωσης στο σύνολο των πιεζομετρικών ζωνών

Οι διαφορές στην πρώτη σύγκριση μεταξύ των μεθόδων οφείλονται στην λανθασμένη ή μη εκτίμηση των απωλειών του δικτύου, ενώ, στην δεύτερη σύγκριση, οι διαφορές οφείλονται στην εκτίμηση του συντελεστή ωριαίας αιχμής. Σε περίπτωση που έχει γίνει εξαρχής υπερεκτίμηση των απωλειών, η απόκλιση, μετά την εφαρμογή του συντελεστή ωριαίας αιχμής, αυξάνει, ενώ το αντίθετο συμβαίνει, αν οι απώλειες του δικτύου έχουν, αρχικά, υποεκτιμηθεί.

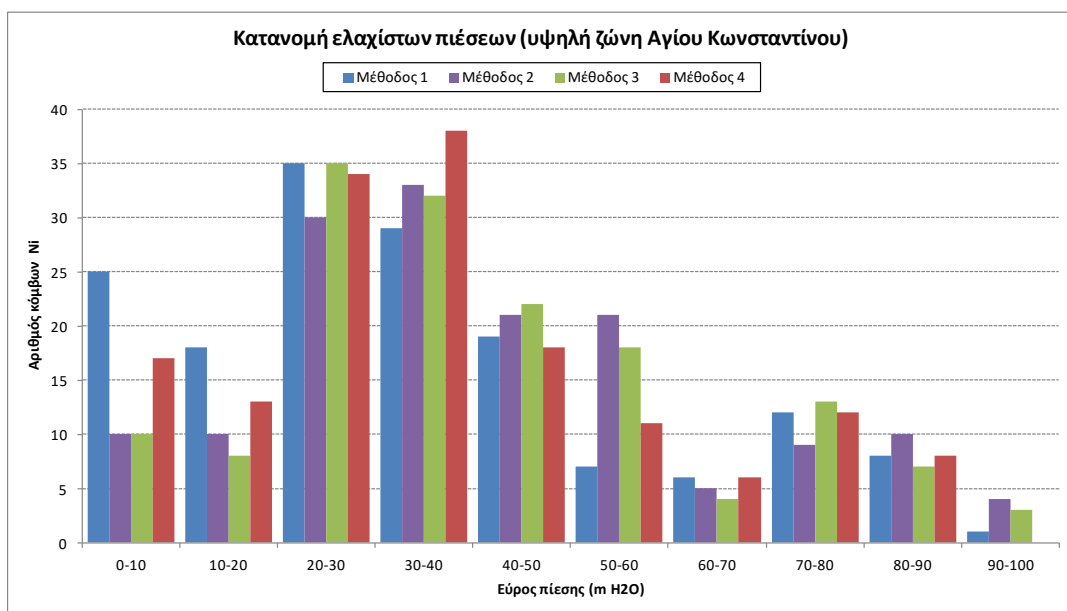
Στην συνέχεια γίνεται σχολιασμός των αποτελεσμάτων σε τρεις πιεζομετρικές ζώνες του δικτύου, που συνιστούν χαρακτηριστικές περιπτώσεις. Τα υπόλοιπα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Παράρτημα Ζ.

α) Υψηλή ζώνη Αγίου Κωνσταντίνου



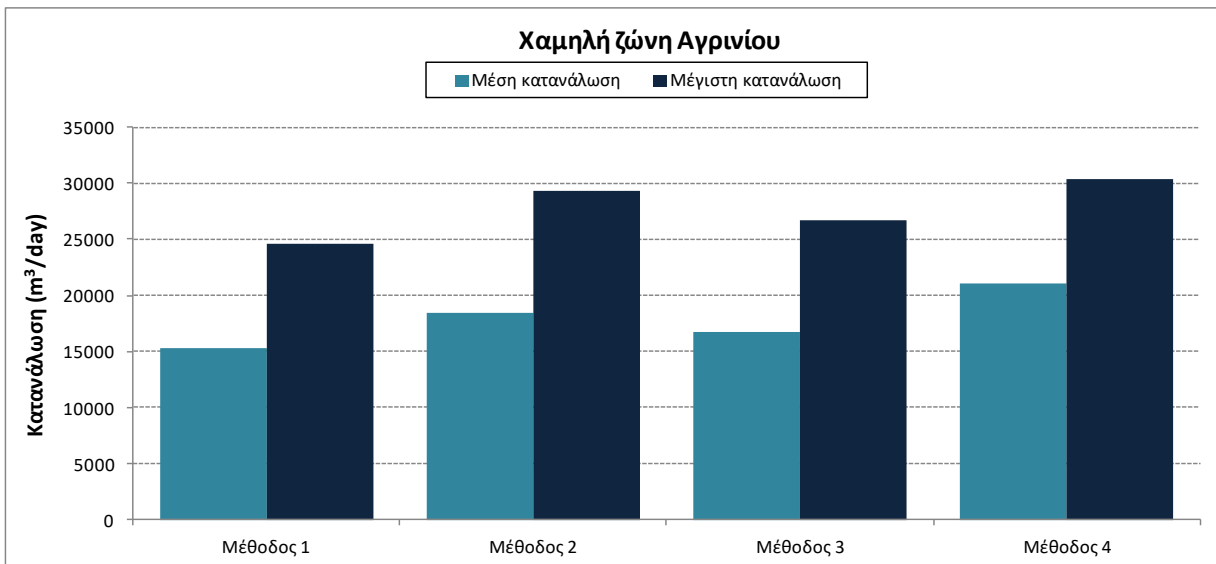
Εικόνα 7.2: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην υψηλή ζώνη Αγίου Κωνσταντίνου

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.2, η μέση κατανάλωση έχει υποεκτιμηθεί και από τις τρεις μεθόδους. Αυτό, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, υποδηλώνει την ύπαρξη απωλειών στο δίκτυο. Η διαφορά εξακολουθεί να υπάρχει και στις καταναλώσεις ωριαίας αιχμής. Αυτό που έχει ενδιαφέρον είναι πως η περίπτωση αυτή αποτελεί μια από τις ελάχιστες που η Μέθοδος 1 προσεγγίζει καλύτερα την πραγματικότητα (βλ. Πίνακες 7.1., 7.2). Είναι φανερό όμως πως αυτό συμβαίνει τυχαία, αφού η υπερεκτίμηση της κατανάλωσης που γίνεται συνήθως μέσω αυτής της μεθόδου, στην προκειμένη περίπτωση, είχε θετικό αποτέλεσμα, λόγω της ύπαρξης απωλειών. Καταδεικνύεται, έτσι, η αβεβαιότητα που προκαλεί η ύπαρξη απωλειών στο δίκτυο. Στην Εικόνα 7.3 παρουσιάζεται η κατανομή των ελαχίστων πιέσεων, για κάθε μία από τις τέσσερις μεθόδους.



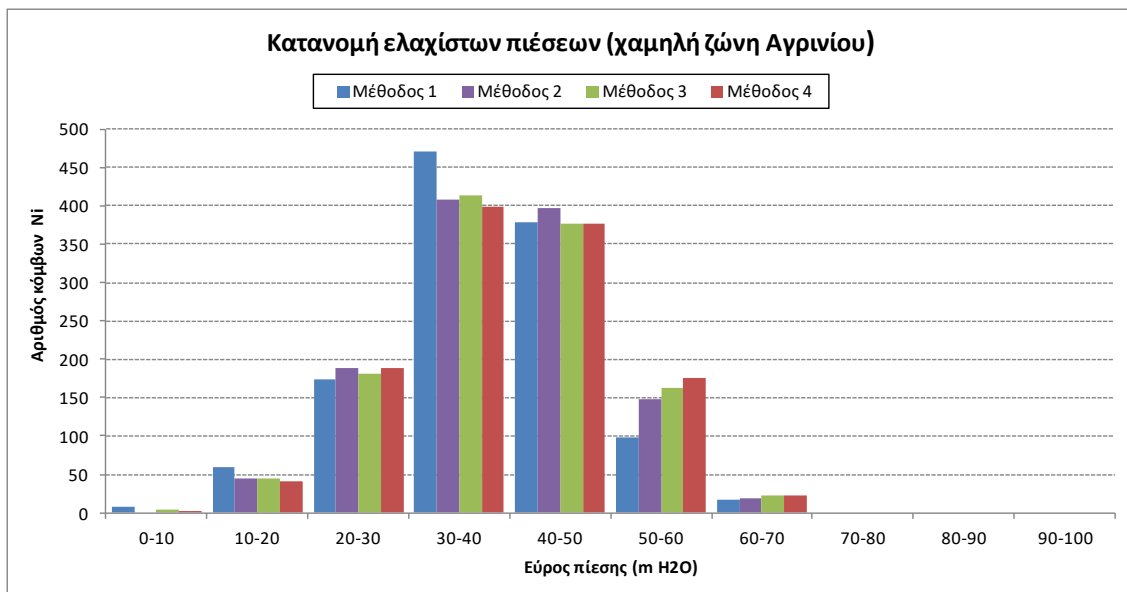
Εικόνα 7.3: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην υψηλή ζώνη του Αγίου Κων/νου για κάθε μία από τις 4 μεθόδους

β) Χαμηλή ζώνη Αγρινίου



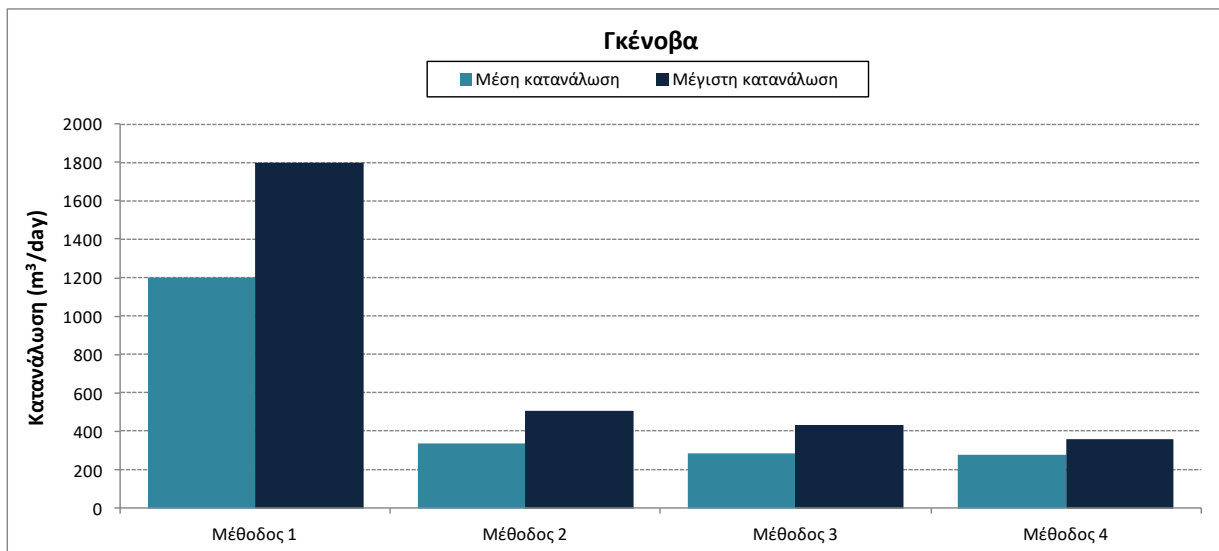
Εικόνα 7.4: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην χαμηλή ζώνη Αγρινίου

Πρόκειται για την μεγαλύτερη και πιο πυκνοκατοικημένη πιεζομετρική ζώνη του δικτύου. Λαμβάνοντας, λοιπόν, υπόψη την πυκνότητα δόμησης, τα αποτελέσματα στην εκτίμηση των καταναλώσεων είναι βελτιωμένα σε σχέση με την απλοϊκή παραδοχή που κάνει η Μέθοδος 1, αλλά και με την προσέγγιση της Μεθόδου 3, όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα της Εικόνας 7.4. Παράλληλα, φαίνεται πως όλες οι μέθοδοι υποεκτιμούν την μέση και την μέγιστη κατανάλωση. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη σημείου διαρροής στην ζώνη, κοντά στην δεξαμενή του Αγίου Χριστοφόρου. Συνεπώς, τα αποτελέσματα αυτά ήταν αναμενόμενα. Στην Εικόνα 7.5 παρουσιάζεται η κατανομή των ελαχίστων πιέσεων, που προκαλεί κάθε μία από τις παραπάνω φορτίσεις του δικτύου.



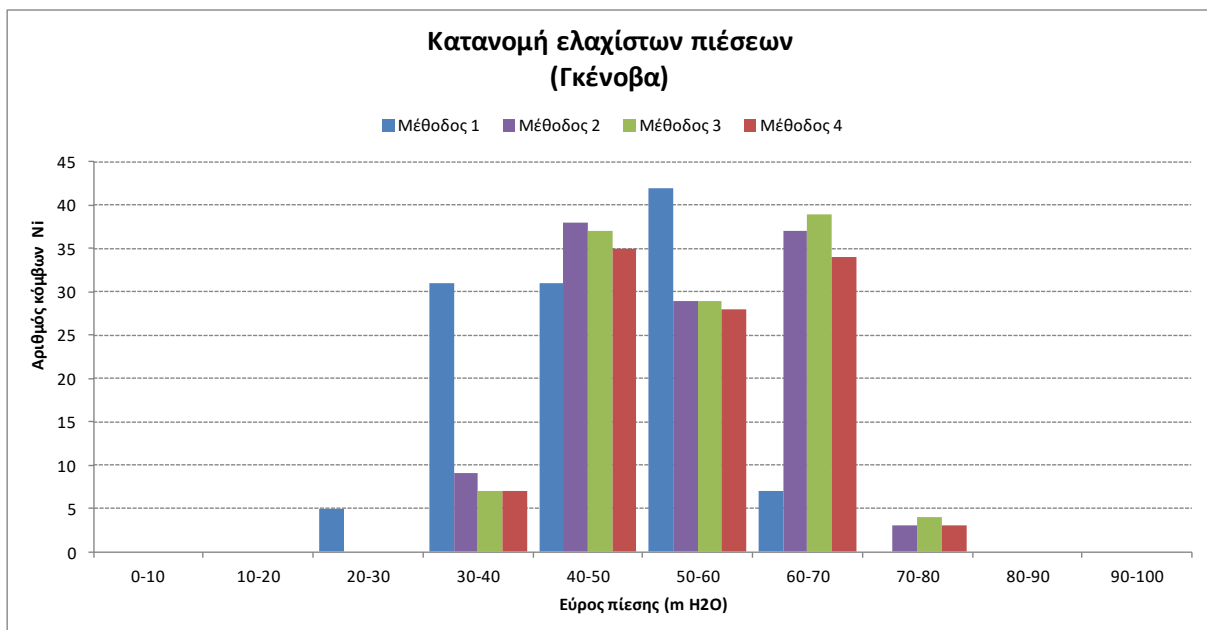
Εικόνα 7.5: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην χαμηλή ζώνη του Αγρινίου για κάθε μία από τις 4 μεθόδους

γ) Γκένοβα



Εικόνα 7.6: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην ζώνη Γκένοβα

Η περίπτωση αυτή συνιστά το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα της υπερεκτίμησης της κατανάλωσης που σχετίζεται με την Μέθοδο 1, αφού πρόκειται για μια αραιοκατοικημένη ζώνη. Το γεγονός πως, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.6, τα αποτελέσματα των υπολοίπων μεθόδων συγκλίνουν, συνεπάγεται πως έχει γίνει σωστή εκτίμηση της πυκνότητας δόμησης της περιοχής, αλλά και σωστή εκτίμηση των απωλειών και του συντελεστή ωριαίας αιχμής. Τέλος, στην Εικόνα 7.7, φαίνεται η κατανομή των ελαχίστων πιέσεων για κάθε μία από τις τέσσερις μεθόδους.



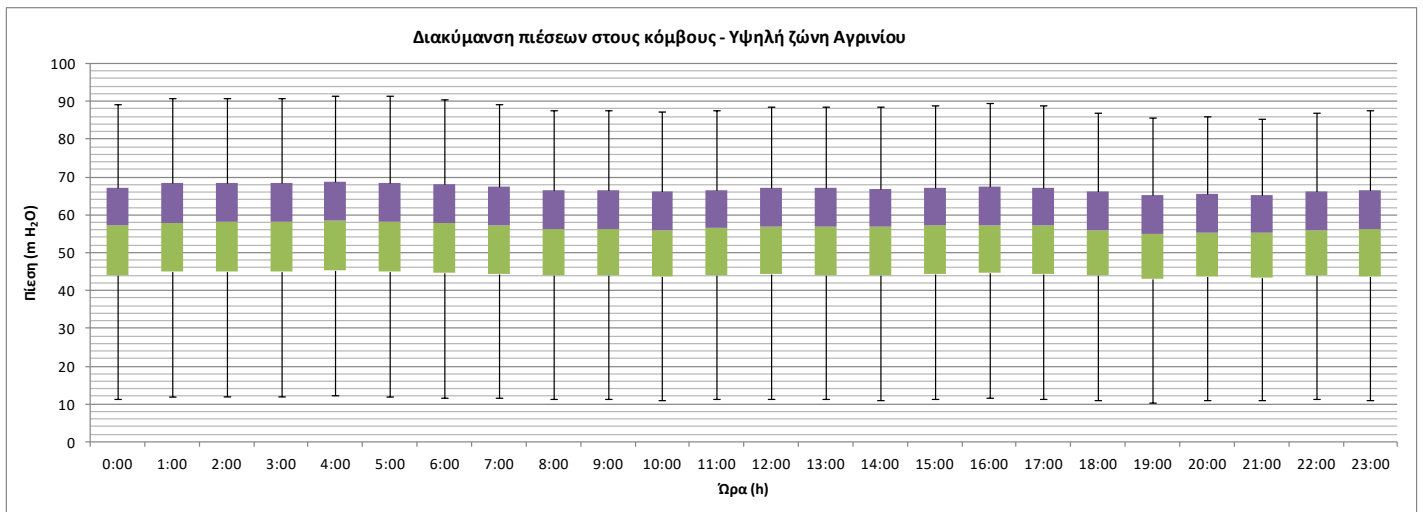
Εικόνα 7.7: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην ζώνη Γκένο για κάθε μία από τις 4 μεθόδους

7.2 Πιέσεις

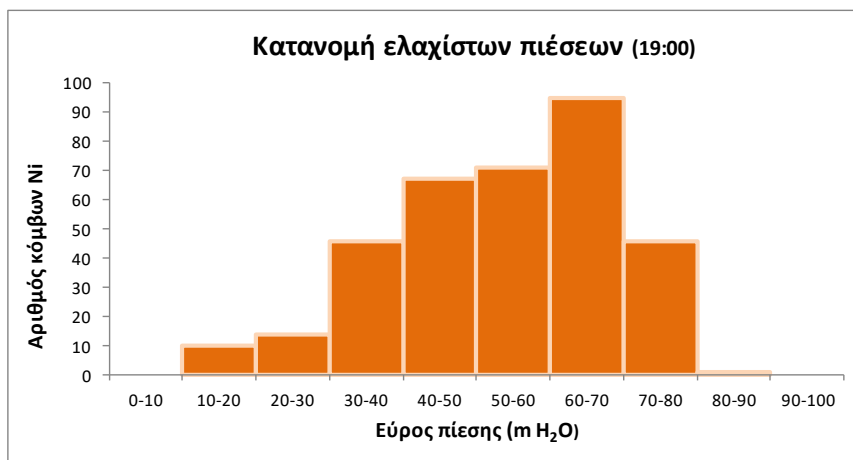
7.2.1 Διακύμανση πιέσεων στην διάρκεια της ημέρας

Παρουσιάζεται, ενδεικτικά, η διακύμανση των πιέσεων στην διάρκεια της ημέρας για την υψηλή ζώνη του Αγρινίου καθώς και η κατανομή των ελαχίστων και μέγιστων πιέσεων σε αυτή, όπως καταγράφηκαν από τις μετρήσεις του συστήματος SCADA (Εικόνες 7.8, 7.9, 7.10 αντίστοιχα), και όπως προσομοιώθηκαν με βάση τις στοχαστικές ζητήσεις της Μεθόδου 5 (Εικόνες 7.11, 7.12 και 7.13).

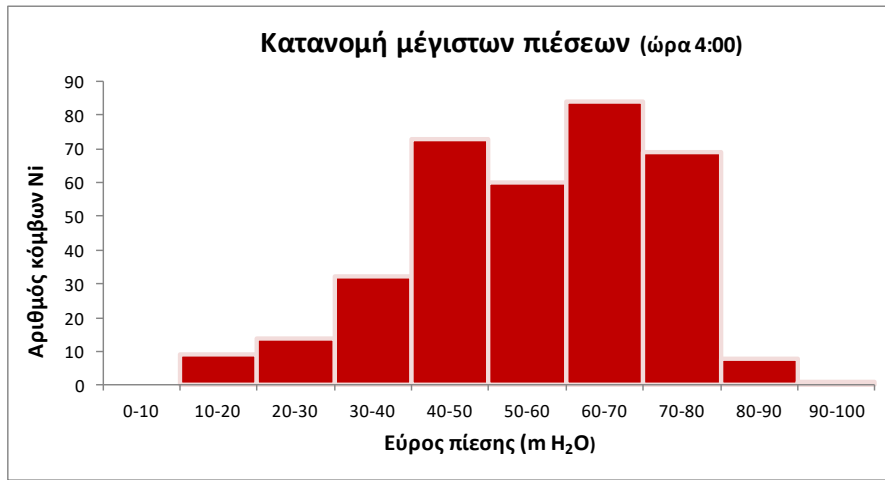
α) Μετρήσεις συστήματος SCADA



Εικόνα 7.8: Διακύμανση των πιέσεων στην υψηλή ζώνη Αγρινίου στην διάρκεια της ημέρας (μετρήσεις SCADA)

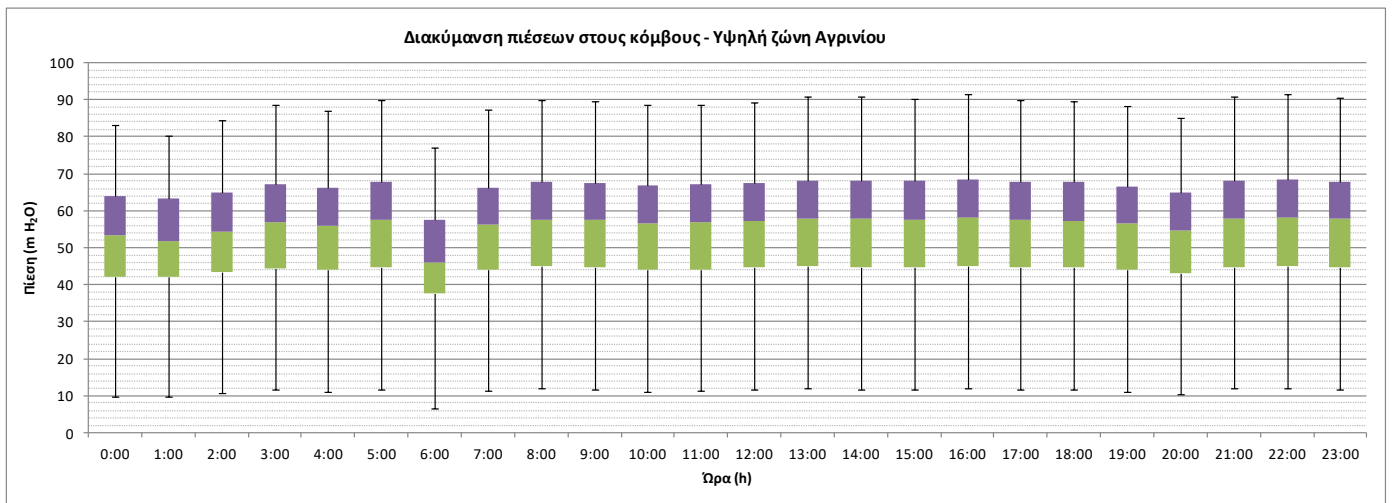


Εικόνα 7.9: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην υψηλή ζώνη του Αγρινίου (μετρήσεις SCADA)

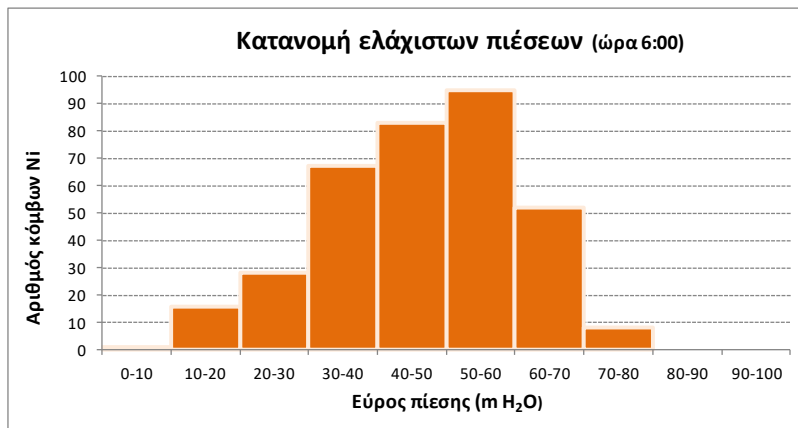


Εικόνα 7.10: Κατανομή μέγιστων πιέσεων στην υψηλή ζώνη του Αγρινίου (μετρήσεις SCADA)

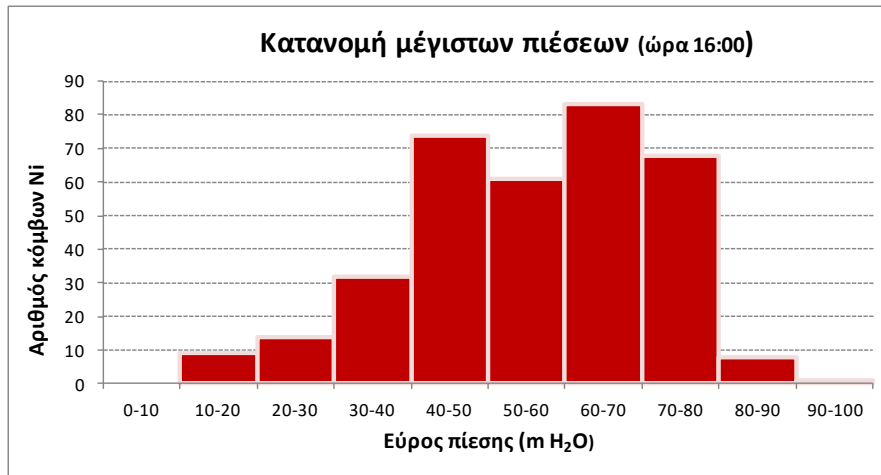
β) Στοχαστικές καταναλώσεις Μεθόδου 5-1η χρονοσειρά



Εικόνα 7.11: Διακύμανση των πιέσεων στην υψηλή ζώνη Αγρινίου στην διάρκεια της ημέρας (1η χρονοσειρά στοχαστικών καταναλώσεων)



Εικόνα 7.11: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην υψηλή ζώνη του Αγρινίου (1η χρονοσειρά καταναλώσεων)



Εικόνα 7.12: Κατανομή μέγιστων πιέσεων στην υψηλή ζώνη του Αγρινίου (1η χρονοσειρά στοχαστικών καταναλώσεων)

7.2.2 Ελάχιστες και μέγιστες πιέσεις στο δίκτυο

Σε επόμενο στάδιο, έγινε διερεύνηση της επίπτωσης που έχουν οι διαφορετικές προσεγγίσεις για την εκτίμηση της κατανάλωσης στην απόδοση του δικτύου και συγκεκριμένα στις πιέσεις που αναπτύσσονται σε αυτό. Προσδιορίστηκε, λοιπόν, ο αριθμός των "προβληματικών" κόμβων που εκτιμά κάθε μέθοδος και συνεπάγεται κάποιου είδους επέμβαση στο δίκτυο (αλλαγή διαμέτρου αγωγών, αγορά εξαρτημάτων, όπως μειωτές πίεσης κτλ.) με χρηματικό κόστος για την εταιρεία ύδρευσης.

Για τον προσδιορισμό της ελάχιστης απαιτούμενης πίεσης στο δίκτυο έγινε παραδοχή της ύπαρξης 4-όροφων κτιρίων στην περιοχή μελέτης. Η ελάχιστη πίεση λοιπόν εκτιμήθηκε ίση με $4(4+1)=20$ m H₂O. Η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση του δικτύου, με βάση τις λειτουργικές απαιτήσεις ορίστηκε στα 70 m H₂O.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 7.3 και 7.4.

Πίνακας 7.3: Αριθμός των "προβληματικών" κόμβων με πίεση μικρότερη της ελάχιστης απαιτούμενης ($p < p_{min}$)

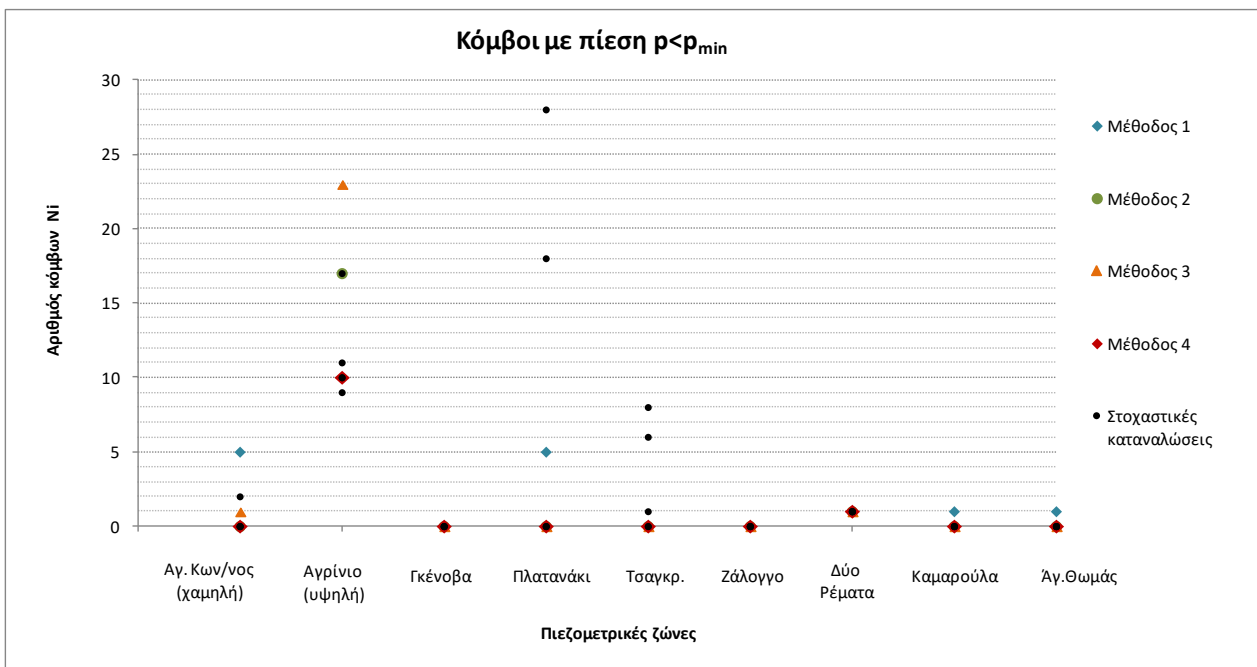
	Μέθοδος 1	Μέθοδος 2	Μέθοδος 3	Μέθοδος 4	Στοχ. 1	Στοχ. 2	Στοχ. 3	Στοχ. 4	Στοχ. 5	Στοχ. 6	Στοχ. 7	Στοχ. 8	Στοχ. 9	Στοχ. 10
Αγ.Κων/νος (χαμηλή ζώνη)	5	0	1	0	2	0	0	0	1	0	2	1	0	0
Αγ.Κων/νος (υψηλή ζώνη)	25	10	10	17	64	50	20	26	23	40	29	18	24	25
Αγρίνιο (χαμηλή ζώνη)	67	45	47	42	229	440	77	131	250	68	92	84	48	56
Αγρίνιο (υψηλή ζώνη)	10	17	23	10	17	11	10	9	13	12	15	19	14	9
Γκένοβα	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Πλατανάκι	5	0	0	0	28	18	0	0	0	9	5	0	0	0
Τσαγκρινέικα	0	0	0	0	8	6	0	1	3	2	0	1	0	5
Ζάλογγο	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Δύο Ρέματα	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Καμαρούλα	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Άγιος Θωμάς	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σύνολο "προβληματικών" κόμβων	115	73	82	70	349	526	108	168	291	132	144	124	87	96

Πίνακας 7.4: Αριθμός των "προβληματικών" κόμβων με πίεση μεγαλύτερη της μέγιστης επιτρεπόμενης ($p > p_{max}$)

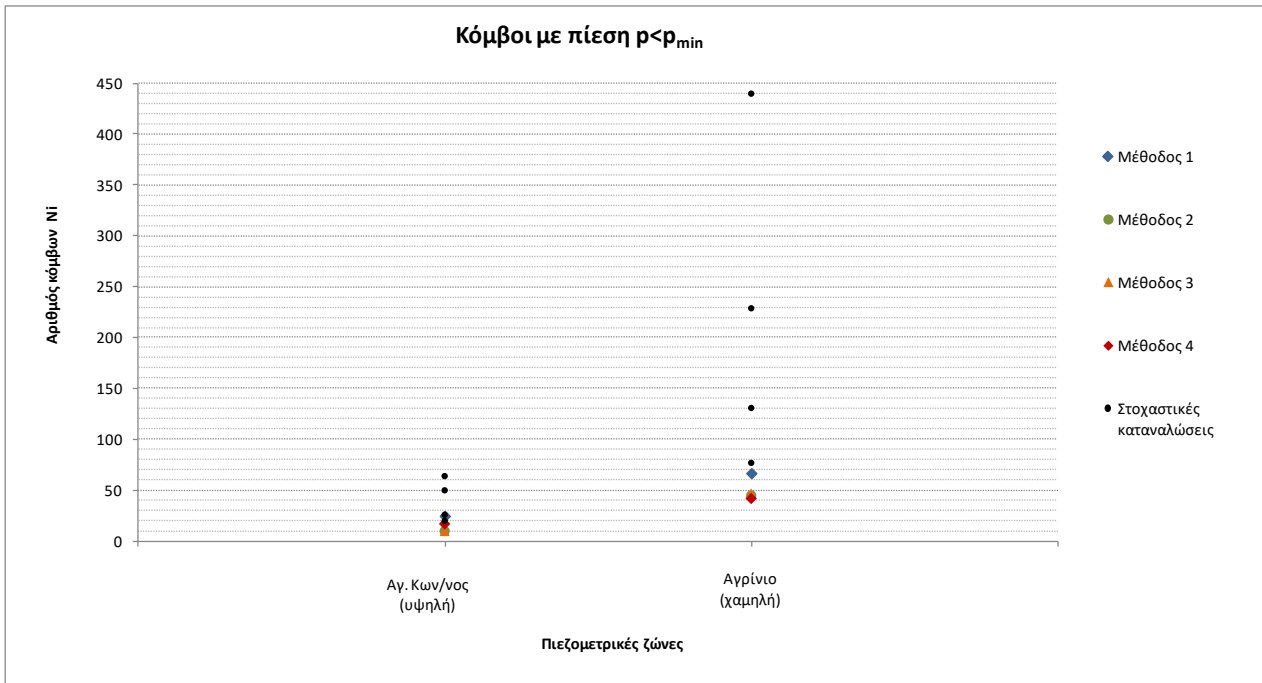
	Μέθοδος 4	Στοχ. 1	Στοχ. 2	Στοχ. 3	Στοχ. 4	Στοχ. 5	Στοχ. 6	Στοχ. 7	Στοχ. 8	Στοχ. 9	Στοχ. 10
Αγ.Κων/νος (χαμηλή ζώνη)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Αγ.Κων/νος (υψηλή ζώνη)	26	24	24	27	26	23	25	27	22	24	25
Αγρίνιο (χαμηλή ζώνη)	15	5	9	17	17	6	12	13	7	13	8
Αγρίνιο (υψηλή ζώνη)	78	77	61	82	82	65	71	63	79	67	80
Γκένοβα	4	5	5	5	2	5	6	5	4	5	3
Πλατανάκι	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Τσαγκρινέικα	11	1	10	13	9	2	10	8	5	14	12
Ζάλογγο	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Δύο Ρέματα	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Καμαρούλα	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Άγιος Θωμάς	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σύνολο "προβληματικών" κόμβων	138	116	113	148	140	105	128	120	121	127	132

Παρατηρούμε πως στην περίπτωση της χαμηλής ζώνης Αγρινίου υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις στον αριθμό κόμβων με πίεση μικρότερη της ελάχιστης απαιτούμενης που δίνει η κάθε μέθοδος. Το ίδιο συμβαίνει, σε μικρότερη κλίμακα, και στην περίπτωση της υψηλής ζώνης του Αγρινίου. Πιθανότατα αυτό να οφείλεται στην ύπαρξη σοβαρών απωλειών στις ζώνες αυτές.

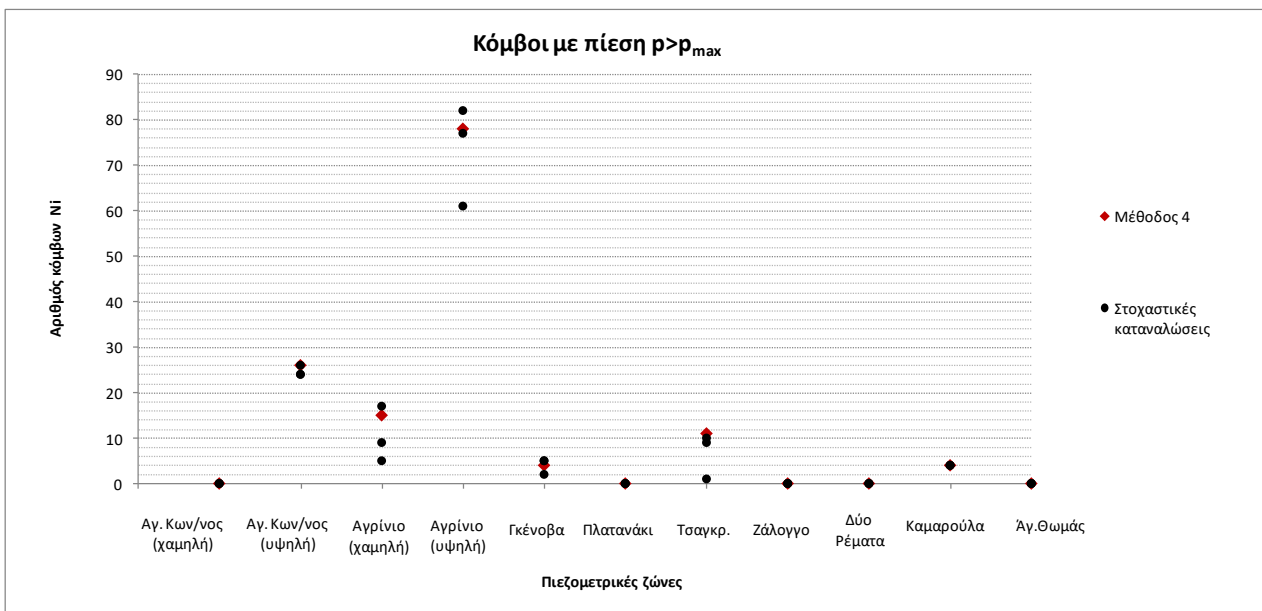
Τα αποτελέσματα απεικονίζονται και γραφικά στα διαγράμματα των Εικόνων 7.5, 7.6 και 7.7.



Εικόνα 7.13: Αριθμός κόμβων με πίεση $p < p_{min}$ για 9 από τις 11 ζώνες του δικτύου



Εικόνα 7.6: Αριθμός κόμβων με πίεση $p < p_{min}$ για την υψηλή ζώνη Αγίου Κων/νου και την χαμηλή ζώνη Αγρινίου



Εικόνα 7.14: Αριθμός κόμβων με πίεση $p > p_{max}$ για τις πιεζομετρικές ζώνες του δικτύου

8.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία έγινε ανάλυση της αβεβαιότητας που σχετίζεται με τις υδρευτικές καταναλώσεις μέσω διαφορετικών προσεγγίσεων για την εκτίμησή τους. Εξετάστηκαν πέντε μέθοδοι:

- Μέθοδος 1: Εκτίμηση κατανάλωσης με βάση τα εμβαδά των υποπεριοχών.
- Μέθοδος 2: Εκτίμηση κατανάλωσης με βάση την πυκνότητα δόμησης.
- Μέθοδος 3: Εκτίμηση κατανάλωσης με βάση τις καταγραφές υδρομέτρων.
- Μέθοδος 4: Εκτίμηση κατανάλωσης με βάση τις μετρήσεις του συστήματος SCADA.
- Μέθοδος 5: Εκτίμηση κατανάλωσης με χρήση συνθετικών χρονοσειρών ζήτησης.

Τα αποτελέσματα που θεωρήθηκαν περισσότερο ακριβή και χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για να γίνει η σύγκριση των υπολοίπων είναι αυτά της Μεθόδου 4.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι:

- Η Μέθοδος 1 είναι μια πολύ αδρομερής προσέγγιση που, όπως αποδείχθηκε, υπερεκτιμά σημαντικά τις ζητήσεις, με συνέπεια τα αποτελέσματα που δίνει να μην ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.
- Οι εκτιμήσεις της Μεθόδου 2 και της Μεθόδου 3 είχαν μικρή απόκλιση μεταξύ τους. Αυτό αποτελεί πολύ σημαντικό εύρημα, καθώς, είναι προφανές πως ο όγκος δουλειάς και η επεξεργασία των δεδομένων που απαιτούν οι δύο μεθοδολογίες διαφέρει σημαντικά. Υπάρχει, λοιπόν, δυνατότητα αποφυγής της κοπιαστικής και ίσως άχαρης δουλειάς που συνεπάγεται η Μέθοδος 3, μέσω της πολύ πιο απλής προσέγγισης της Μεθόδου 2, χωρίς να μεταβληθεί έντονα η ποιότητα και ακρίβεια των εκτιμήσεων.
- Η μεγάλη διασπορά που παρουσιάζουν οι "προβληματικοί" κόμβοι σε ορισμένες ζώνες, πιθανότατα να αποδίδεται, κατά κύριο λόγο, στην ύπαρξη απωλειών στις ζώνες αυτές.
- Οι απώλειες σε ένα δίκτυο συνιστούν επιπρόσθετη πηγή αβεβαιότητας και σημαντικών σφαλμάτων στην εκτίμηση των υδρευτικών καταναλώσεων, αλλά και στις πιέσεις που αναπτύσσονται στο δίκτυο.

8.2 Προτάσεις

Η ανάλυση της αβεβαιότητας των υδρευτικών καταναλώσεων αποτελεί πρόσφορο πεδίο για περαιτέρω έρευνα. Ορισμένες προτάσεις είναι:

- Διερεύνηση της αξιοπιστίας και αποτελεσματικότητας της Μεθόδου 2 και σε άλλα δίκτυα ύδρευσης.
- Εφαρμογή στοχαστικών προσομοιώσεων σε δίκτυα στα οποία υπάρχει μεγαλύτερος όγκος δεδομένων με ποιοτικότερες μετρήσεις, για την ανάλυση της αβεβαιότητας των καταναλώσεων.
- Εισαγωγή στο μοντέλο ακόμα πιο ρεαλιστικών δεδομένων με την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών οι οποίες θα λαμβάνουν υπόψη και την χωρική συσχέτιση των καταναλώσεων στο δίκτυο.
- Αντιμετώπιση των απωλειών στο δίκτυο με στοχαστικά εργαλεία, προκειμένου να γίνει διεξοδική ανάλυση της αβεβαιότητας που συνεπάγεται η ύπαρξή τους.

Bargiela, A., and Hainsworth, G. D., Pressure and Flow Uncertainty in Water Systems Journal of Water Resources Planning and Management, 1989

Diao K. ,and Sitzenfrei R., The impacts of spatially variable demand patterns on water distribution system design and operation, Water, March 2019

EurEau, The European Federation of National Associations of Water Services, Europe's water in figures, An overview of the European drinking water and waste water sectors, 2017

Filion Y.R., Karney B.W., Sources of error in network modelling: a question of perspective, Journal AWWA, February 2003

Herrera, M.,T., L., Izquierdo, J., and Perez-Garcia, R., Predictive models for forecasting hourly urban water demand, Journal of Hydrology, 2010

Hutton, C.J., Vamvakeridou-Lyroudia, L.S., Kapelan, Z., and Savic, D.A. (UNEXE), Uncertainty Quantification and Reduction in Urban Water Systems (UWS) Modeling: Evaluation report, 2011

Hutton C.J, Vamvakeridou-Lyroudia L., Kapelan Z., Savic D., Dealing with Uncertainty in Water Distribution System Models: A Framework for Real-Time Modeling and Data Assimilation, Journal of Water Resources Planning and Management, February 2014

Jonkergouw, P., Keedwell, E., and Khu, S. T., Modelling chlorine decay in water networks with genetic programming, Adaptive and Natural Computing Algorithms, 206-209., 2005

Kapelan, Z. S., Savic, D. A., and Walters, G. A, Calibration of water distribution hydraulic models using a bayesian-type procedure, Journal of Hydraulic Engineering, 2007

Liemberger R., Farley M., Developing a Non-Revenue Water Reduction Strategy, Part 1: Investigating and Assessing Water Losses, January 2004

Liu, Y. Q., and Gupta, H. V., Uncertainty in hydrologic modeling: Toward an integrated data assimilation framework, Water Resources Research, 43(7), 2007

Mays, W.L. and Tung, Y.K., Hydro Systems Engineering and Management., 530 pages, McGraw-Hill, New York, 1992

Magini R., Pallavicini I., Guercio R., Spatial and temporal properties of water demand, Journal of Water Resources Planning and Management, May 2008

Paluszczyszyna D., Skworcowa P., Ulanickia B., Modeling and simulation of water distribution systems with quantised state system methods, 13th Computer Control for Water Industry Conference, CCWI 2015, Procedia Engineering 119 (2015) 554 – 563

Trifunovic N., Introduction to Urban Water Distribution: Unesco-IHE Delft Lecture Note Series, 1st edition, 528 pages, CRC Press, 2006

Viessman W., Jr., Hammer M.J., Water Supply and Pollution Control, 6th Edition, 827 pages, Addison-Wesley Longman Inc., New York, 1998

Walski T. M., Chase Donald V., Savic D. A., Walter G., Beckwith S., Koelle E., Advanced Water Distribution Modeling and Management, 1st edition, 751 pages, Haestad Press, Waterbury, CT, c2003

Αφτιάς Μ., Υδρεύσεις, 253 σελίδες, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1992

Ευστρατιάδης Α., και Κουτσογιάννης Δ., Σημειώσεις Τυπικών Υδραυλικών Έργων - Μέρος 2: Δίκτυα Διανομής, 90 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2006

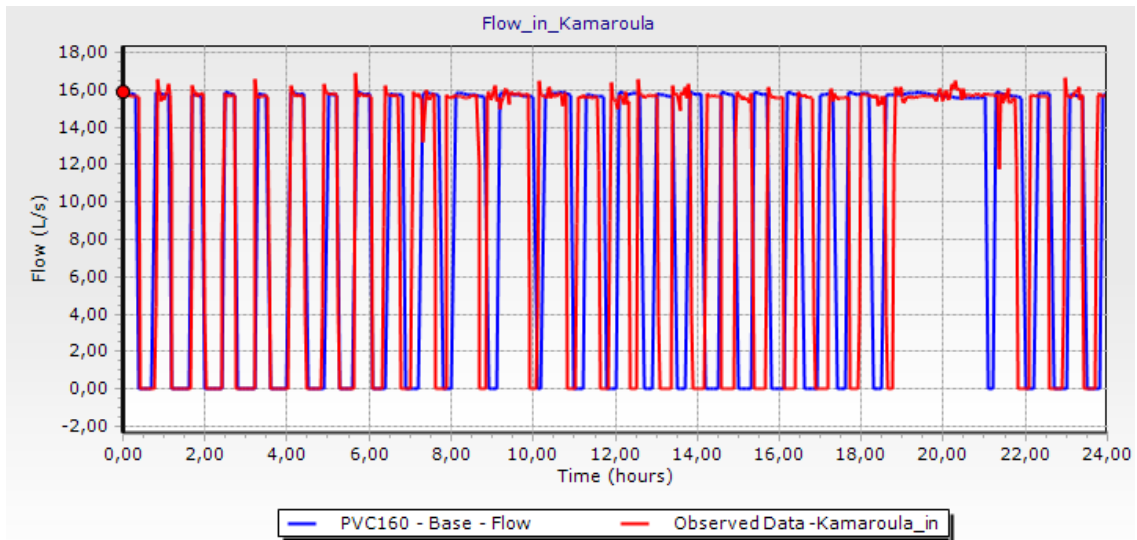
Κουτσογιάννης Δ., και Ευστρατιάδης Α., Σημειώσεις Αστικών Υδραυλικών Έργων - Μέρος 1: Υδρευτικά Έργα, 146 pages, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2007

Μακρόπουλος Χ., Σημειώσεις μαθήματος: Τεχνολογία Συστημάτων Υδατικών Πόρων , 9ου εξ., Αθήνα: Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2011.

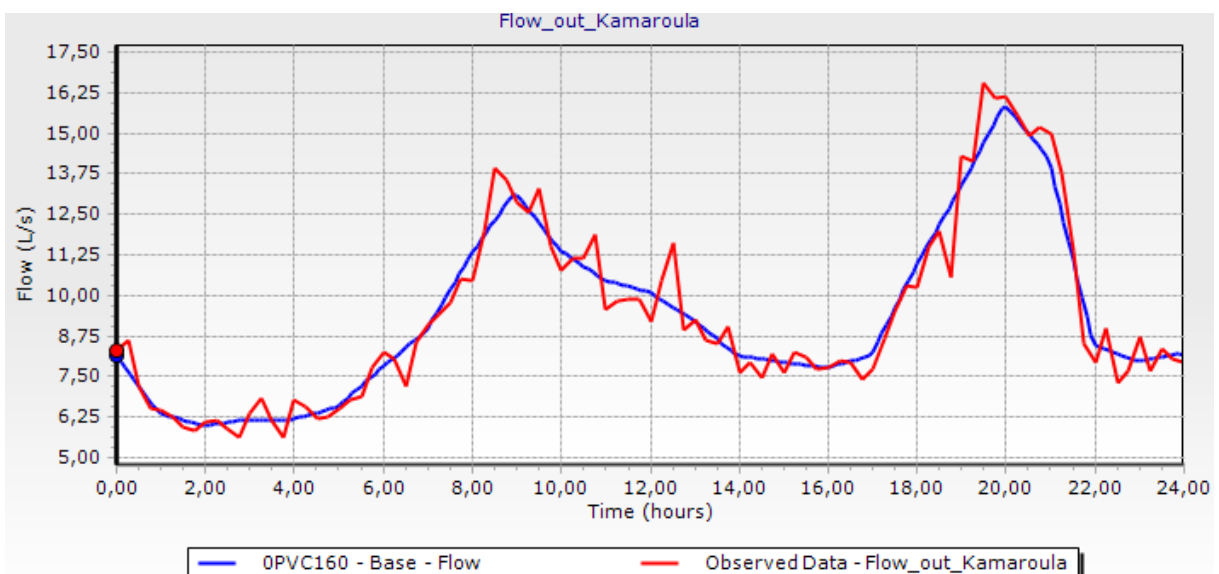
Τσακίρης Γ., Υδραυλικά έργα : σχεδιασμός και διαχείριση, Τόμος Ι, 714 σελίδες, Συμμετρία, Αθήνα, 2010

Παράρτημα Α: Αποτελέσματα βαθμονόμησης μοντέλου δικτύου

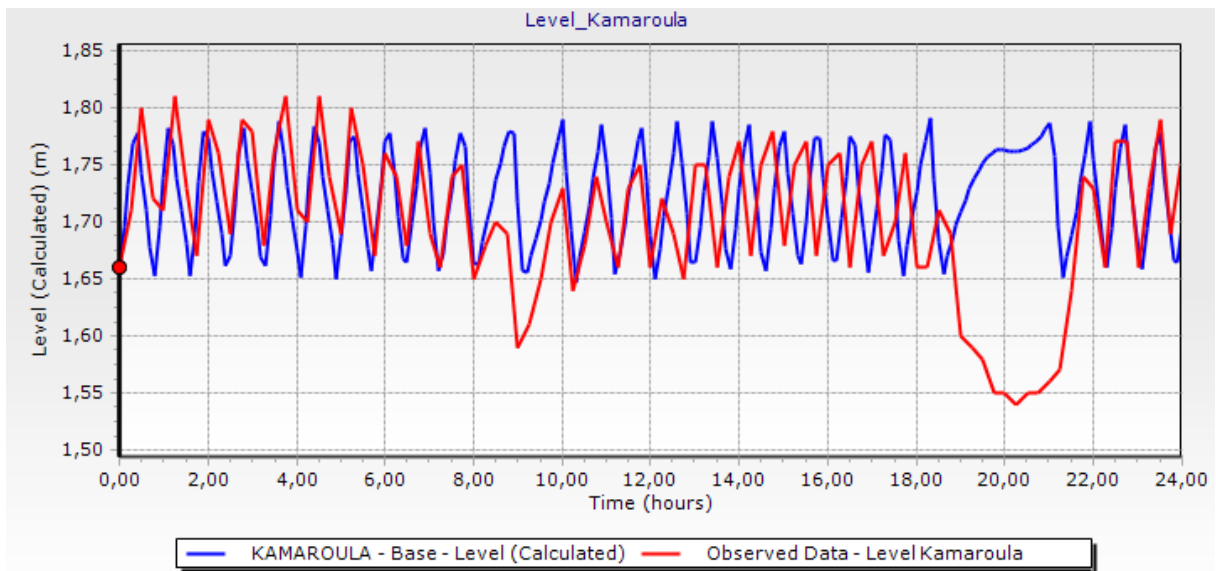
Στο Παράρτημα Α παρουσιάζονται διαγράμματα των παρατηρημένων και προσομοιωμένων τιμών του μοντέλου του δικτύου.



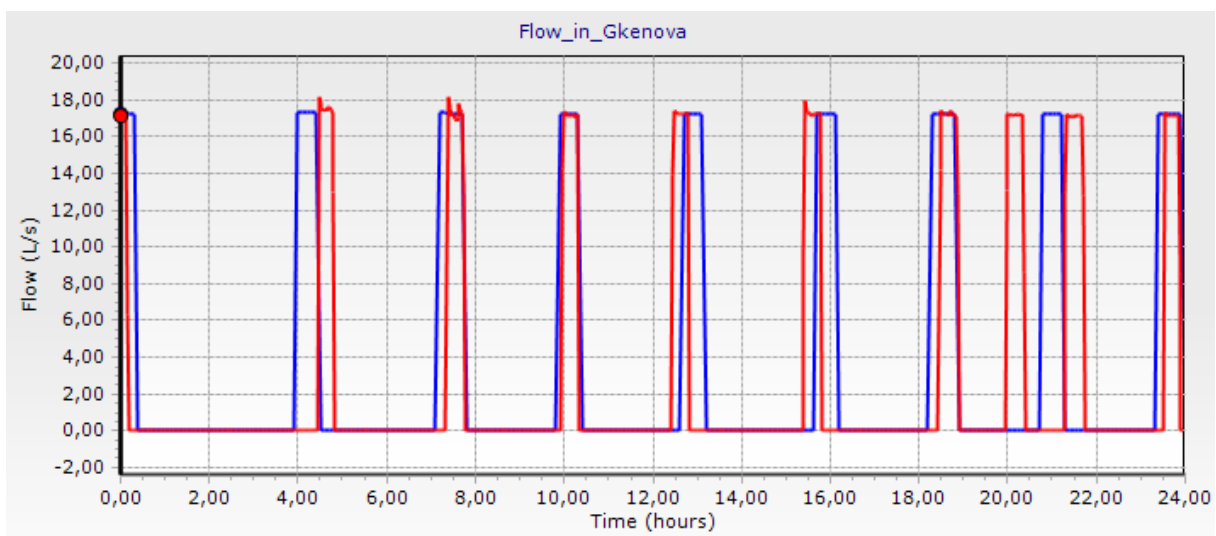
Εικόνα Π.Α 1: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη παροχή εισόδου στην δεξαμενή Καμαρούλα



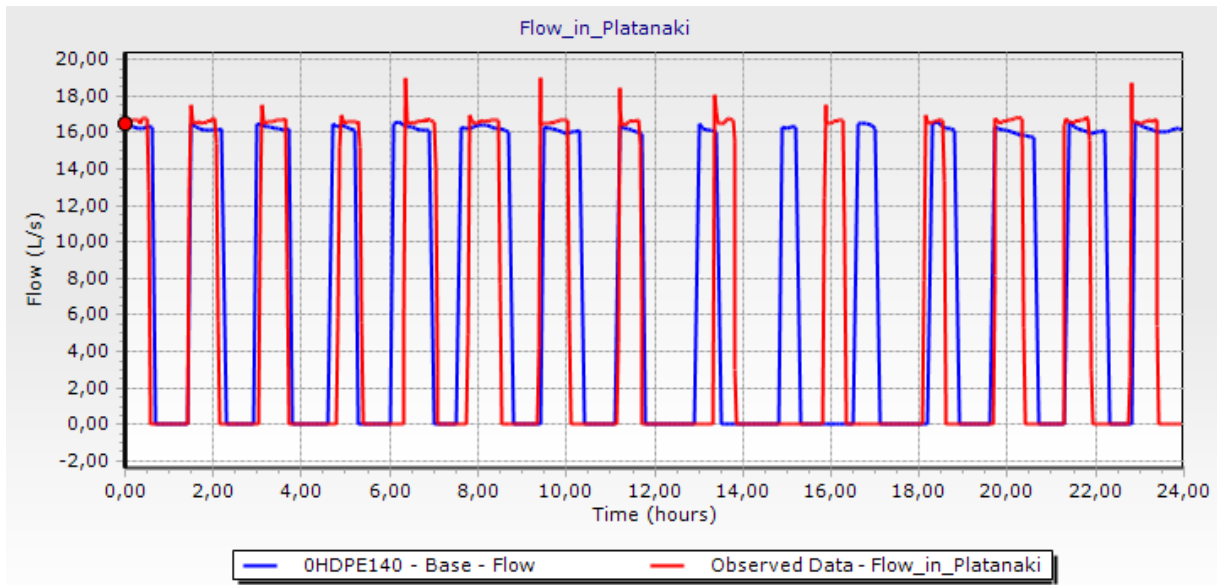
Εικόνα Π.Α 2: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη παροχή εξόδου από την δεξαμενή Καμαρούλα



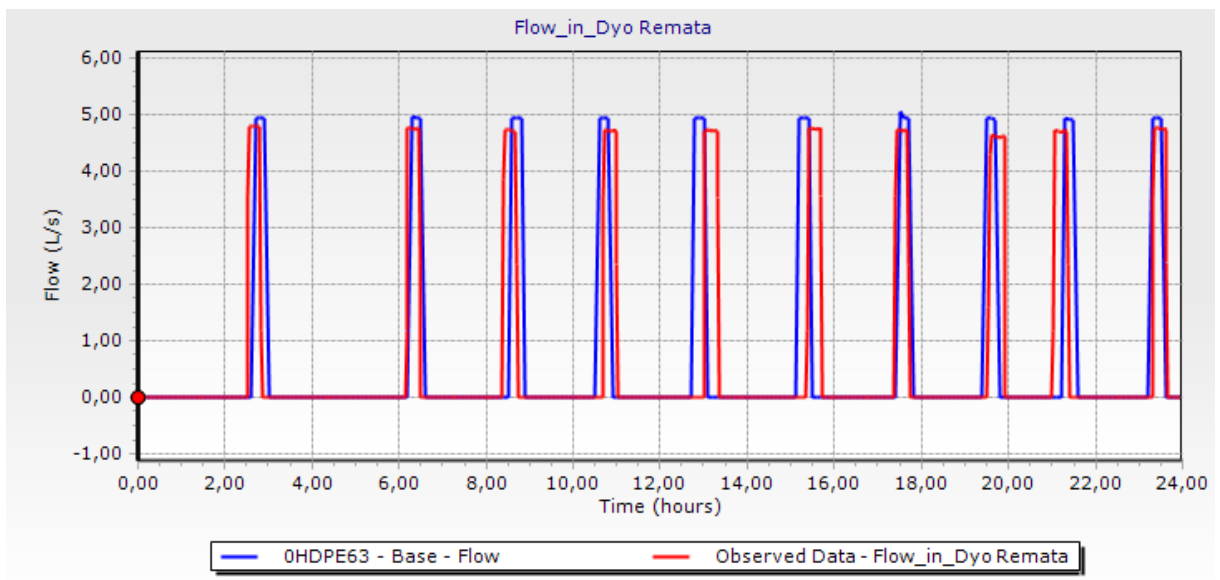
Εικόνα Π.Α 3: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη στάθμη στην δεξαμενή Καμαρούλα



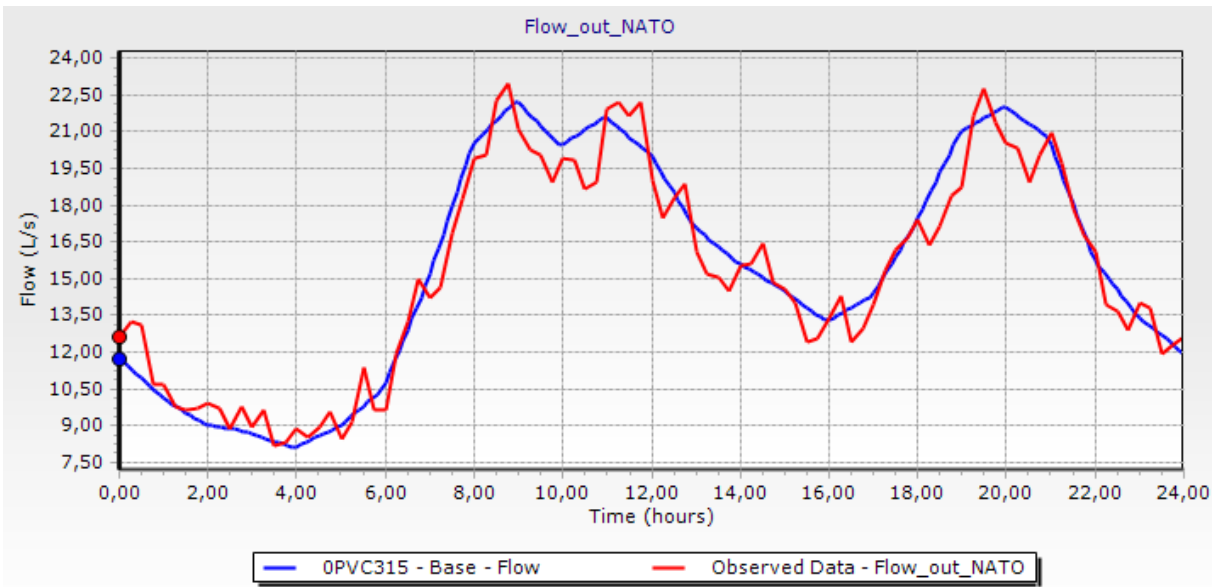
Εικόνα Π.Α 4: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη στάθμη στην δεξαμενή Γκένοβα



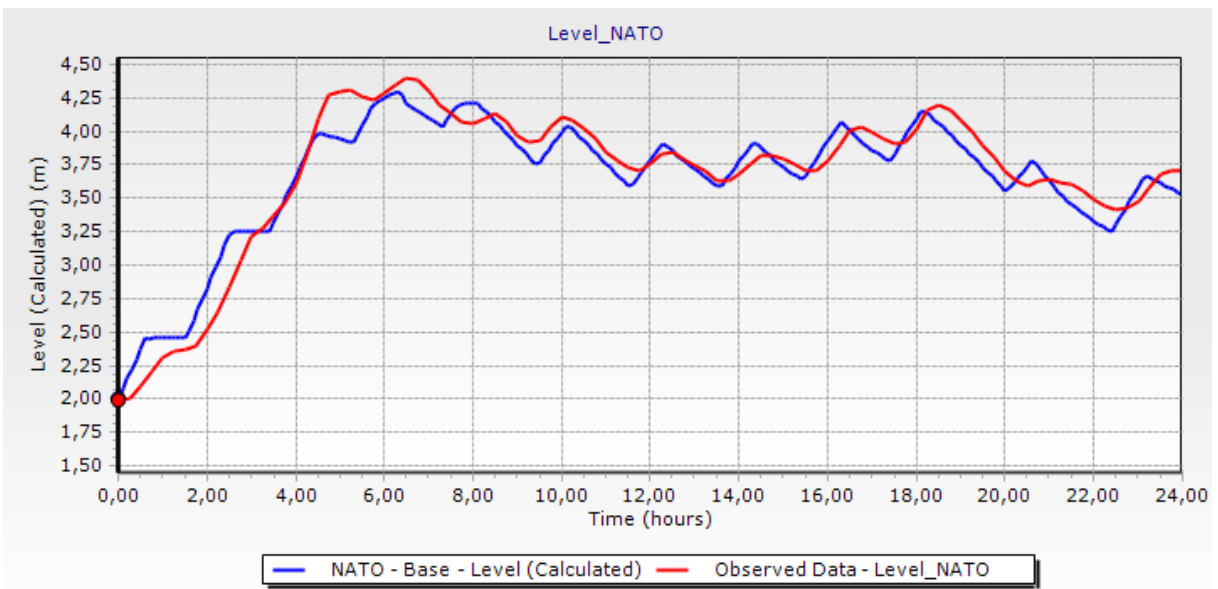
Εικόνα Π.Α 5: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη παροχή εισόδου στην δεξαμενή Πλατανάκι



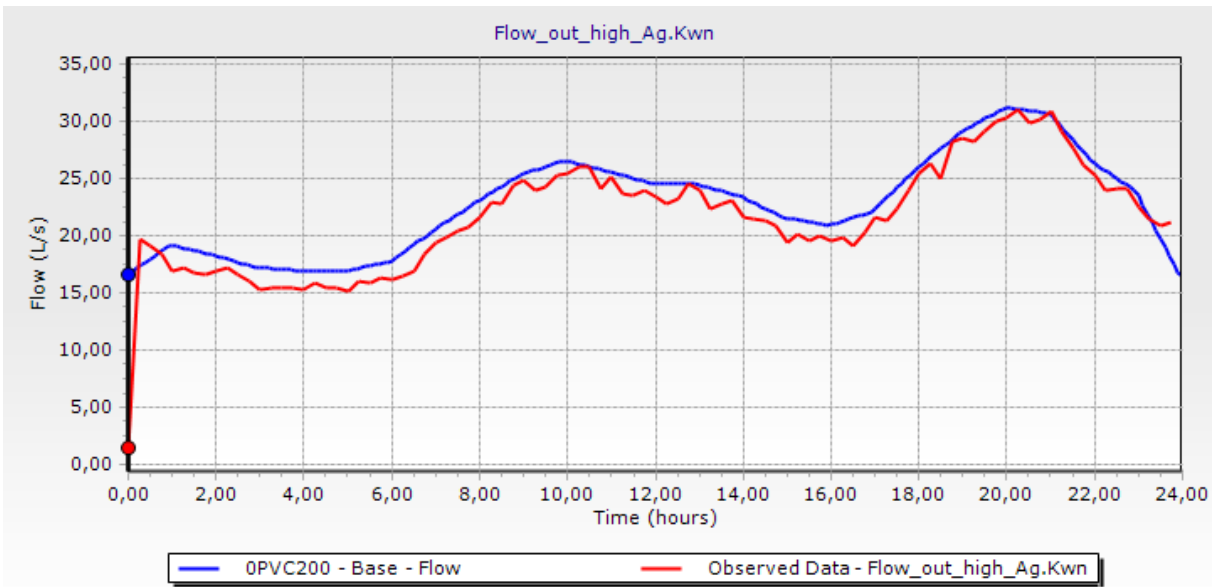
Εικόνα Π.Α 6: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη παροχή εισόδου στην δεξαμενή Δύο Ρέματα



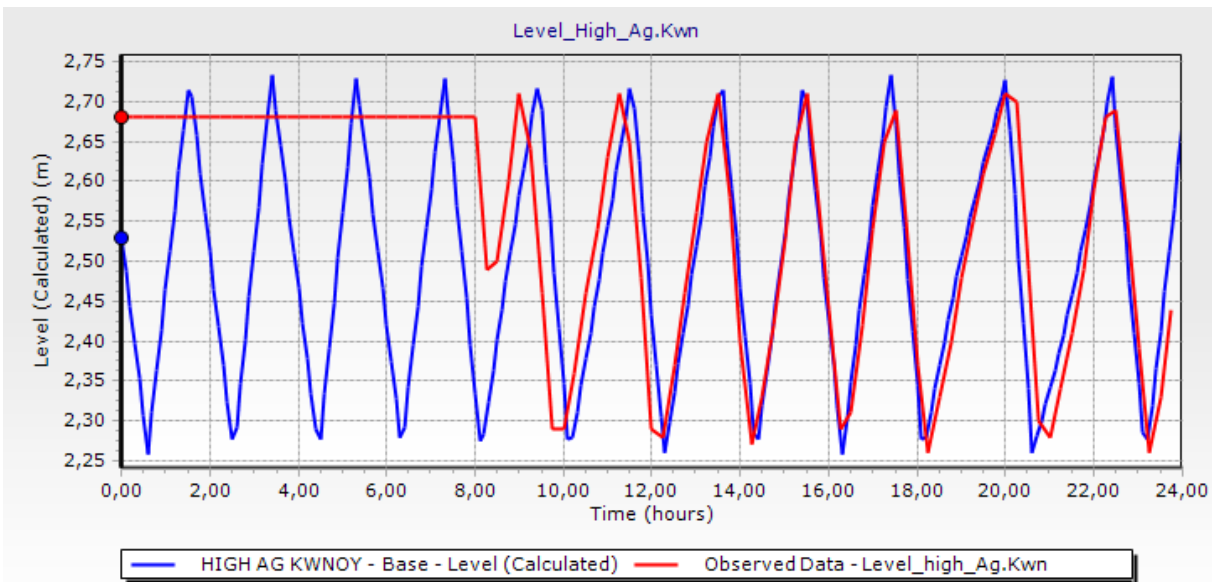
Εικόνα Π.Α 7: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη παροχή εξόδου από την χαμηλή δεξαμενή Αγίου Κων/νου



Εικόνα Π.Α 8: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη στάθμη στην χαμηλή δεξαμενή του Αγίου Κων/νου



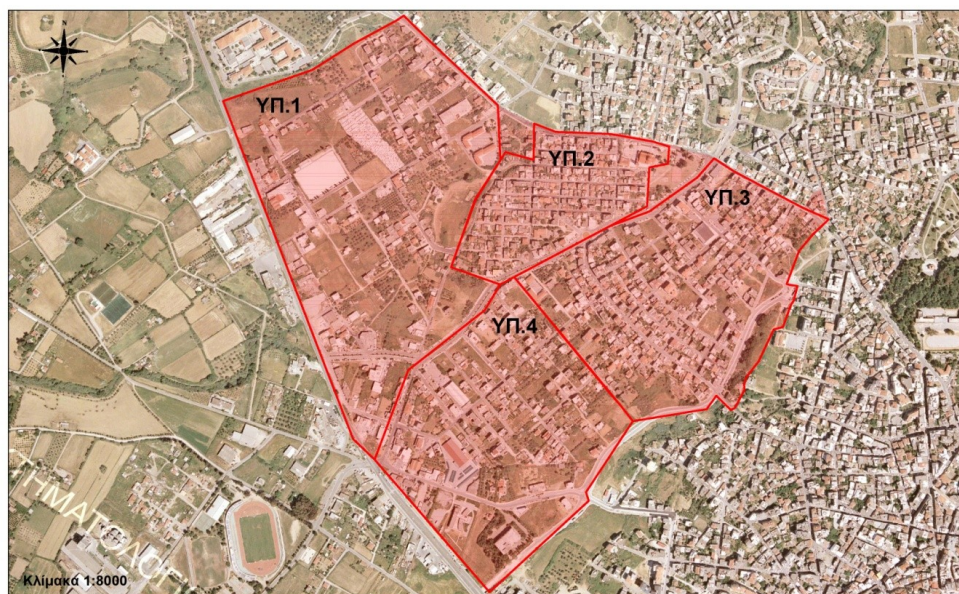
Εικόνα Π.Α 9: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη παροχή εξόδου από την υψηλή δεξαμενή Αγίου Κων/νου



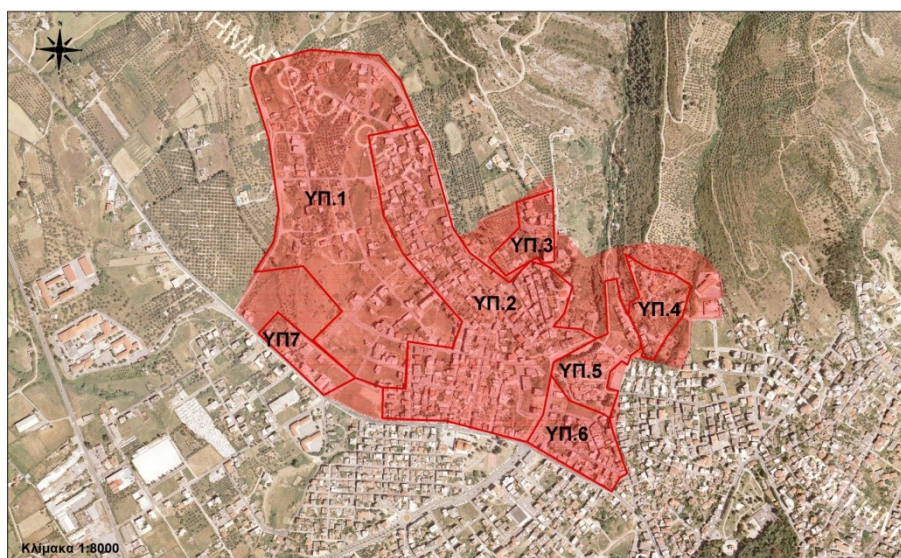
Εικόνα Π.Α 10: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη στάθμη στην υψηλή δεξαμενή του Αγίου Κων/νου

Παράρτημα Β: Υποπεριοχές πιεζομετρικών ζωνών

Στο Παράρτημα Β παρατίθενται εικόνες με την διαίρεση των πιεζομετρικών ζωνών σε υποπεριοχές, ανάλογα με την πυκνότητα δόμησης.



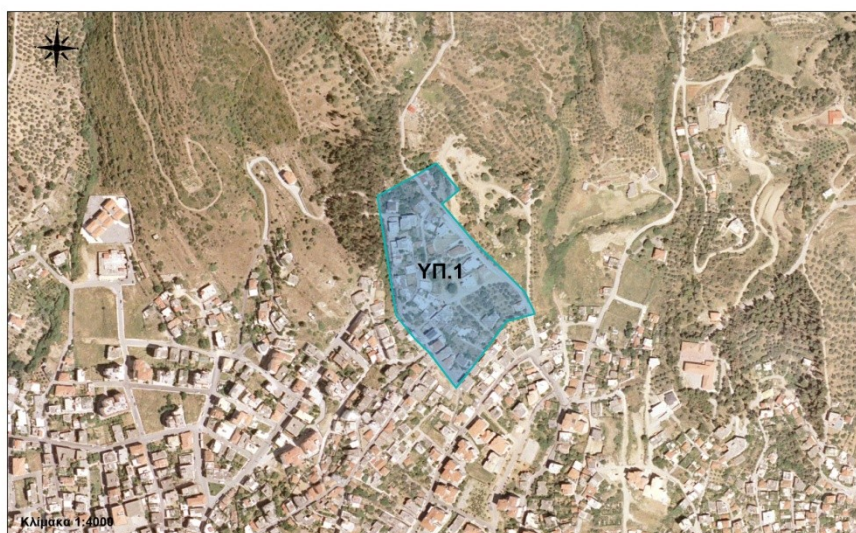
Εικόνα Π.Β 1: Διαίρεση σε υποπεριοχές της χαμηλής ζώνης Αγίου Κων/νου



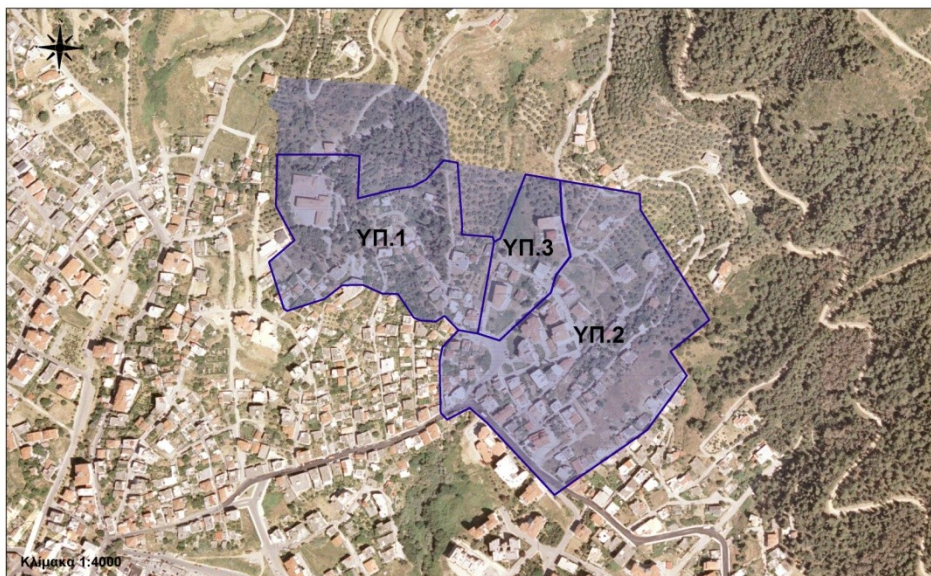
Εικόνα Π.Β 2: Διαίρεση σε υποπεριοχές της υψηλής ζώνης Αγίου Κων/νου



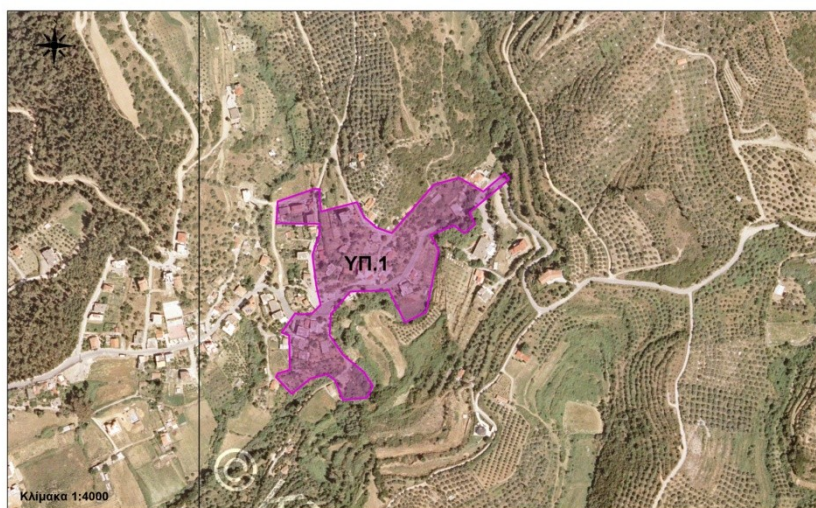
Εικόνα Π.Β 3: Διαίρεση σε υποπεριοχές της υψηλής ζώνης Αग्रίου



Εικόνα Π.Β 4: Διαίρεση σε υποπεριοχές της πιεζομετρικής ζώνης Ζάλογο



Εικόνα Π.Β 5: Διαίρεση σε υποπεριοχές της ζώνης Τσαγκρινέικα



Εικόνα Π.Β 6: Διαίρεση σε υποπεριοχές της ζώνης Δύο Ρέματα

Παράρτημα Γ: Υπολογισμοί Μεθόδου 3

Περιοχητική ζώνη/κόμβος αγωγών	Υποπεριοχές (πυκνότητα δόμησης από google earth)	Εμβαδό (m ²)	Εμβαδό (km ²)	Μέση θερινή ημερήσια κατανάλωση (m ³ /d) (υδρομετρα-τιμολογούμενη ποσότητα)	Μέση θερινή ημερήσια κατανάλωση (m ³ /d) (παραγόμενη ποσότητα)	Μέση ημερήσια κατανάλωση (m ³ /d) (ημέρα Ιουλίου)	Μέγιστη υφιστάμενη κατανάλωση (m ³ /d) (ημέρα Ιουλίου)	Μέγιστη υφιστάμενη κατανάλωση (l/s) (ημέρα Ιουλίου)
Άγιος Κωνσταντίνος (χαμηλή)	ΑΓ.ΚΩΝ.Χ.Ζ.1	380.481,60	0,38	224	448	537,60	806,40	9,33
	ΑΓ.ΚΩΝ.Χ.Ζ.2	109.135,16	0,11	149	298	357,60	536,40	6,21
	ΑΓ.ΚΩΝ.Χ.Ζ.3	254.116,00	0,25	375	750	900,00	1.350,00	15,63
	ΑΓ.ΚΩΝ.Χ.Ζ.4	249.032,25	0,25	191	382	458,40	687,60	7,96
	Σύνολο	992.765,01	0,99	939,00	1.878,00	2.253,60	3.380,40	39,13
Άγιος Κωνσταντίνος (υψηλή)	ΑΓ.ΚΩΝ.Υ.Ζ.1	241.674,66	0,24	101	202	242,40	363,60	4,21
	ΑΓ.ΚΩΝ.Υ.Ζ.2	194.793,62	0,19	305	610	732,00	1.098,00	12,71
	ΑΓ.ΚΩΝ.Υ.Ζ.3	19.560,03	0,02	32	64	76,80	115,20	1,33
	ΑΓ.ΚΩΝ.Υ.Ζ.4	32.341,73	0,03	27	54	64,80	97,20	1,13
	ΑΓ.ΚΩΝ.Υ.Ζ.5	23.574,58	0,02	32	64	76,80	115,20	1,33
	ΑΓ.ΚΩΝ.Υ.Ζ.6	34.694,74	0,03	55	110	132,00	198,00	2,29
	ΑΓ.ΚΩΝ.Υ.Ζ.7	18.852,18	0,02	32	64	76,80	115,20	1,33
Σύνολο	565.489,53	0,57	584,00	1.168,00	1.401,60	2.102,40	24,33	
Αγρίνιο (χαμηλή)	ΑΓΡ.Χ.Ζ.1	355.976,41	0,36	421	842	926,20	1.389,30	16,08
	ΑΓΡ.Χ.Ζ.2	388.775,29	0,39	458	916	1.007,60	1.511,40	17,49
	ΑΓΡ.Χ.Ζ.3	517.424,16	0,52	1277	2554	2.809,40	4.214,10	48,77
	ΑΓΡ.Χ.Ζ.4	514.211,26	0,51	1164	2328	2.560,80	3.841,20	44,46
	ΑΓΡ.Χ.Ζ.5	503.387,83	0,50	1454	2908	3.198,80	4.798,20	55,53
	ΑΓΡ.Χ.Ζ.6	300.484,27	0,30	436	872	959,20	1.438,80	16,65
	ΑΓΡ.Χ.Ζ.7	537.745,32	0,54	999	1998	2.197,80	3.296,70	38,16
	ΑΓΡ.Χ.Ζ.8	347.797,54	0,35	266	532	585,20	877,80	10,16
	ΑΓΡ.Χ.Ζ.9	248.229,72	0,25	65	130	143,00	214,50	2,48
	ΑΓΡ.Χ.Ζ.10	254.027,35	0,25	110	220	242,00	363,00	4,20
	ΑΓΡ.Χ.Ζ.11	77.825,53	0,08	34	68	74,80	112,20	1,30
	ΑΓΡ.Χ.Ζ.12	257.400,51	0,26	71	142	156,20	234,30	2,71
	Σύνολο	4.393.285,19	4,30	6.755,00	13.510,00	14.861,00	22.291,50	258,00
Αγρίνιο (υψηλή)	ΑΓΡ.Υ.Ζ.1	479.873,26	0,48	952	1904	2.094,40	3.141,60	36,36
	ΑΓΡ.Υ.Ζ.2	307.587,70	0,31	497	994	1.093,40	1.640,10	18,98
	ΑΓΡ.Υ.Ζ.3	246.062,01	0,25	511	1022	1.124,20	1.686,30	19,52
	ΑΓΡ.Υ.Ζ.4	216.309,20	0,22	188	376	413,60	620,40	7,18
Σύνολο	1.250.232,17	1,25	2.148,00	4.296,00	4.725,60	7.088,40	82,04	
Γκένοβα	ΓΚΕΝ.1	304.898,61	0,30	26	52	57,20	85,80	0,99
	ΓΚΕΝ.2	67.918,51	0,07	105	210	231,00	346,50	4,01
Σύνολο	372.817,12	0,37	131,00	262,00	288,20	432,30	5,00	
Πλατανάκι	ΠΛΑΤ.1	103.253,13	0,10	76	152	167,20	250,80	2,90
	ΠΛΑΤ.2	97.696,19	0,10	108	216	237,60	356,40	4,13
	ΠΛΑΤ.3	82.069,57	0,08	45	90	99,00	148,50	1,72
Σύνολο	283.018,90	0,28	229,00	458,00	503,80	755,70	8,75	
Καμαρούλα	ΚΑΜ	24.259,61	0,02	2,95	5,9	6,49	9,74	0,11
	Κόμβος για υδροδ.Καμαρούλας	-	-	50,15	100,3	110,33	165,50	1,92
Δύο Ρέματα	Δ.ΡΕΜ	35.471,38	0,04	18	36	39,60	59,40	0,69
	Κοκκινόσπυλα	-	-	5,9	11,8	12,98	19,47	0,23
Σύνολο	35.471,38	0,04	18,00	36,00	39,60	59,40	0,69	
Τσακρινέικα	ΤΣΑΓΚΡ.1	64.840,71	0,06	114	228	250,80	376,20	4,35
	ΤΣΑΓΚΡ.2	39.379,42	0,04	25	50	55,00	82,50	0,95
	ΤΣΑΓΚΡ.3	13.225,46	0,01	10,00	20	22,00	33,00	0,38
Σύνολο	117.445,59	0,12	149,00	298,00	327,80	491,70	5,69	
Ζάλογγο	ΖΑΛ	30.855,11	0,03	39	78	85,80	128,70	1,49
Σύνολο	30.855,11	0,03	39,00	78,00	85,80	128,70	1,49	
Άγιος Θωμάς	ΑΓ.ΘΩΜΑΣ	15.054,94	0,02	12,00	24	26,40	39,60	0,46
Σύνολο	15.054,94	0,02	12,00	24,00	26,40	39,60	0,46	
ΕΟ Αγρινίου-Θέρμου (S1400)	-	-	-	256	512	563,20	844,80	9,78
Αγ. Ιωάννης Ριγανάς	ΑΓ.Ι.ΡΗΓΑΝ	107808,2376	0,11	121	242	266,20	399,30	4,62
ΤΣΕ 5 (PVC140)	-	-	-	119	238	261,80	392,70	4,55
HDPE110 νότια	-	-	-	88	176	193,60	290,40	3,36
Νοσοκομείο	-	-	-	55	110	121,00	181,50	2,10
Γυμναστήριο (HDPE280)	-	-	-	151	302	332,20	498,30	5,77
ΑCS0	-	-	-	120	240	264,00	396,00	4,58
Βελούνη (PVC125)	-	-	-	33	66	72,60	108,90	1,26
Δοκίμ	-	-	-	200	400	440,00	660,00	7,64
Εθν.Στάδιο	ΕΘΝ_ΣΤΑΔΙΟ	432713,7237	0,43	99	198	217,80	326,70	3,78
Εργ.Κατοικίες	ΕΡΓ_ΚΑΤ	58303,5217	0,06	15	30	33,00	49,50	0,57
Υψηλόγυφο (PVC110)	-	-	-	18	36	39,60	59,40	0,69
Διαμαντέικα	-	-	-	97	194	213,40	320,10	3,70
Νταλιανέικα	-	-	-	3	6	6,60	9,90	0,11
Πλάτανος Καλήβια (HDPE280)	-	-	-	707	1414	1555,2	2332,8	27,00
Στράτο-Οχθιά-Λεπτοπού-Κυψέλη (HDPE355)	-	-	-	1178	2356	2593,00	3888	45,00
Νεάπολη	-	-	-	342	685	753,41	1130,112	13,08
Τριαντέικα-Ελαίφιτο	-	-	-	707	1414	1.555,20	2332,8	27,00
Μεγάλη Χώρα	-	-	-	648	1296	1.425,60	2138,4	24,75
ΣΥΝΟΛΟ				16.000	31.999	35.504	53.255	616,38

Παράρτημα Δ: Υπολογισμοί Μεθόδου 2

ΣΥΝΟΛΟ		8.126.525,81	8,13		3,05	1,00	69.271,00	12.569,72	25.139,43	34.153,37	51.230,06	599,53	
A/A	Περιοχτική ζώνη/κόμβοι αγωγών	Υποπεριοχές (πυκνότητα δόμησης από google earth)	Εμβαδό (m ²)	Εμβαδό (km ²)	Συντελεστής πυκνότητας θ	"Υπολογιστικό" εμβαδό (km ²)	Ποσοστό	Πληθυσμός υποπεριοχής	Μέση ημερήσια κατανάλωση υποπεριοχής (m ³ /d) (επιλογισμένη ποσότητα)	Μέση ημερήσια κατανάλωση υποπεριοχής (m ³ /d) (παραγόμενη ποσότητα)	Μέση ημερήσια κατανάλωση ακμής υποπεριοχής (m ³ /d)	Μέγιστη ωριαία κατανάλωση ακμής υποπεριοχής (m ³ /d)	Μέγιστη ωριαία κατανάλωση ακμής υποπεριοχής (l/s)
1	Άγιος Κωνσταντίνος (χαμηλή)	ΑΓ.ΚΩΝ.Χ.Ζ.1	352.423,54	0,35	0,1	0,04	0,0116	801	132,165	294,33	290,763	436,1445	5,05
2		ΑΓ.ΚΩΝ.Χ.Ζ.2	104.720,49	0,10	0,4	0,04	0,0137	952	157,08	314,16	345,576	518,364	6,00
3		ΑΓ.ΚΩΝ.Χ.Ζ.3	215.431,22	0,22	0,35	0,08	0,0247	1714	282,81	565,62	622,182	933,273	10,80
4		ΑΓ.ΚΩΝ.Χ.Ζ.4	224.970,38	0,22	0,2	0,04	0,0148	1023	168,795	337,59	371,349	557,0235	6,45
	Σύνολο							4.490,00	740,85	1.481,70	1.629,87	2.444,81	28,30
5	Άγιος Κωνσταντίνος (υψηλή)	ΑΓ.ΚΩΝ.Υ.Ζ.1	234.906,44	0,23	0,1	0,02	0,0077	534	86,11	172,22	193,842	290,763	3,37
6		ΑΓ.ΚΩΝ.Υ.Ζ.2	190.623,06	0,19	0,4	0,08	0,0250	1734	286,11	572,22	629,442	944,163	10,93
7		ΑΓ.ΚΩΝ.Υ.Ζ.3	20.496,30	0,02	0,35	0,01	0,0024	163	26,895	53,79	59,169	88,7535	1,03
8		ΑΓ.ΚΩΝ.Υ.Ζ.4	25.724,94	0,03	0,4	0,01	0,0034	234	38,61	77,22	84,942	127,413	1,47
9		ΑΓ.ΚΩΝ.Υ.Ζ.5	22.842,54	0,02	0,2	0,00	0,0015	104	17,16	34,32	37,752	56,628	0,66
10		ΑΓ.ΚΩΝ.Υ.Ζ.6	29.077,66	0,03	0,4	0,01	0,0038	264	43,56	87,12	95,832	143,748	1,66
11		ΑΓ.ΚΩΝ.Υ.Ζ.7	19.507,04	0,02	0,35	0,01	0,0022	155	25,575	51,15	56,265	84,3975	0,98
	Σύνολο						3.188,00	526,02	1.052,04	1.157,24	1.735,87	26,09	
12	Αγρίνιο (χαμηλή)	ΑΓΡ.Χ.Ζ.1	349.400,02	0,35	0,3	0,10	0,0344	2383	393,195	786,39	865,029	1.297,54	15,02
13		ΑΓΡ.Χ.Ζ.2	387.894,66	0,39	0,3	0,12	0,0382	2646	436,59	873,18	960,498	1.440,75	16,68
14		ΑΓΡ.Χ.Ζ.3	517.301,21	0,52	0,85	0,44	0,1443	9998	1649,67	3299,34	3629,274	5.443,91	63,01
15		ΑΓΡ.Χ.Ζ.4	505.737,27	0,51	0,85	0,43	0,1411	9774	1612,71	3225,42	3547,962	5.321,94	61,60
16		ΑΓΡ.Χ.Ζ.5	502.957,48	0,50	0,85	0,43	0,1403	9720	1603,8	3207,6	3528,36	5.292,54	61,26
17		ΑΓΡ.Χ.Ζ.6	285.928,04	0,29	0,4	0,11	0,0375	2600	429	858	943,8	1.415,70	16,39
18		ΑΓΡ.Χ.Ζ.7	525.290,43	0,53	0,45	0,24	0,0776	5375	886,875	1773,75	1951,125	2.926,69	33,87
19		ΑΓΡ.Χ.Ζ.8	355.952,19	0,36	0,1	0,04	0,0117	809	133,485	266,97	293,667	440,50	5,10
20		ΑΓΡ.Χ.Ζ.9	289.382,24	0,29	0,1	0,03	0,0095	658	108,57	217,14	238,854	358,28	4,15
21		ΑΓΡ.Χ.Ζ.10	255.129,31	0,26	0,1	0,03	0,0084	580	95,7	191,4	210,54	315,81	3,66
22		ΑΓΡ.Χ.Ζ.11	66.326,43	0,07	0,2	0,01	0,0044	302	49,83	99,66	109,626	164,44	1,90
23	ΑΓΡ.Χ.Ζ.12	259.380,50	0,26	0,1	0,03	0,0085	590	97,35	194,7	214,17	321,26	3,72	
	Σύνολο						45.435,00	7.496,78	14.993,55	16.492,91	24.739,36	286,34	
24	Αγρίνιο (υψηλή)	ΑΓΡ.Υ.Ζ.1	482.401,66	0,48	0,5	0,24	0,0792	5404	904,86	1809,72	1990,892	2.886,04	34,56
25		ΑΓΡ.Υ.Ζ.2	304.492,60	0,30	0,4	0,12	0,0400	2769	456,885	913,77	1005,147	1.507,72	17,45
26		ΑΓΡ.Υ.Ζ.3	255.836,40	0,26	0,35	0,09	0,0294	2036	335,94	671,88	739,068	1.108,60	12,83
27		ΑΓΡ.Υ.Ζ.4	220.364,86	0,22	0,15	0,03	0,0108	752	124,08	248,16	272,976	409,46	4,74
	Σύνολο						11.045,00	1.821,77	3.643,53	4.007,88	6.011,82	69,58	
28	Γεύνωβα	ΓΚΕΝ_1	315.957,50	0,32	0,05	0,02	0,0052	359	59,235	118,47	130,317	195,4755	2,28
29		ΓΚΕΝ_2	71.449,74	0,07	0,25	0,02	0,0059	406	66,99	133,98	147,378	221,067	2,56
	Σύνολο						765,00	126,23	252,45	277,70	416,54	4,82	
30	Πλάται	ΠΛΑΤ_1	107.407,97	0,11	0,15	0,02	0,0053	366	60,39	120,78	132,858	199,287	2,31
31		ΠΛΑΤ_2	101.305,29	0,10	0,3	0,03	0,0100	691	114,015	228,03	250,833	376,2495	4,35
32		ΠΛΑΤ_3	82.996,59	0,08	0,1	0,01	0,0027	189	31,185	62,37	68,807	103,2105	1,19
	Σύνολο						1.246,00	205,59	411,18	452,30	678,45	7,85	
33	Καμαρούλα	ΚΑΜ	24.259,61	0,02	0,1	0,00	0,0008	55	9,075	18,15	19,965	29,9475	0,35
		Κόμβος για υδροδ.Καμαρούλας	-	-	-	-	-	-	154,275	308,55	339,405	509,1075	5,89
		Κοκκινόπιπλο	-	-	-	-	-	-	18,15	36,3	39,93	59,895	0,69
	Σύνολο												6,93
34	Αίο Ρέματα	Δ.ΡΕΜ	34.778,48	0,03	0,18	0,01	0,0021	142	23,43	46,86	51,546	77,32	0,89
	Σύνολο												0,89
35	Τσαγκρινέικα	ΤΣΑΓΚΡ_1	60.237,51	0,06	0,35	0,02	0,0069	479	79,035	158,07	173,877	260,8155	3,02
36		ΤΣΑΓΚΡ_2	39.339,05	0,04	0,25	0,01	0,0032	224	36,96	73,92	81,312	121,968	1,41
37		ΤΣΑΓΚΡ_3	13.225,46	0,01	0,25	0,00	0,0011	75	12,375	24,75	27,225	40,8375	0,47
	Σύνολο												4,90
38	Ζάλογα	ΖΑΛ	29.337,20	0,03	0,4	0,01	0,0039	267	44,055	88,11	96,921	145,3815	1,68
	Σύνολο												1,68
39	Άγιος Θωμάς	ΑΓ.ΘΩΜΑΣ	15.054,94	0,02	0,2	0,00	0,0010	68	11,22	22,44	24,684	37,026	0,43
	Σύνολο												0,43
40	Αγ. Ιωάννης Πηγανός	ΑΓ.Ι.ΠΗΓΑΝ	110070,3147	0,11	0,4	0,04	0,0145	1001	165,165	330,33	363,363	545,0445	6,31
41	Εθν.Στάδιο	ΕΘΝ.ΣΤΑΔΙΟ	58303,5217	0,06	0,35	0,02	0,0067	464	76,36	153,12	168,432	252,648	2,92
42	Εργ.Κατοικίες	ΕΡΓ.ΚΑΤ	58303,5217	0,06	0,25	0,01	0,0048	331	54,615	109,23	120,153	180,2295	2,09
	ΕΟ Αγρινίου-Θέρμο (S1400)	-	-	-	-	-	-	-	256	512	563,2	844,8	9,78
	ΤΣΕ 5 (PVC140)	-	-	-	-	-	-	-	119	238	261,8	392,7	4,55
	HDPE110 νάτα	-	-	-	-	-	-	-	88	176	193,6	290,4	3,36
	Νοσοκομείο	-	-	-	-	-	-	-	55	110	121	181,5	2,10
	Γιαννούζι (HDPE280)	-	-	-	-	-	-	-	151	302	332,2	498,3	5,77
	ΑΣΘ	-	-	-	-	-	-	-	120	240	264	396	4,58
	Βελούχι (PVC125)	-	-	-	-	-	-	-	33	66	72,6	108,9	1,26
	Ποσειδ	-	-	-	-	-	-	-	200	400	460	660	7,64
	Ψηλαγέφυρο (PVC110)	-	-	-	-	-	-	-	18	36	39,6	59,4	0,69
	Διαμαντέικα	-	-	-	-	-	-	-	97	194	213,4	320,1	3,70
	Νταλιανέικα	-	-	-	-	-	-	-	3	6	6,6	9,9	0,11
	Πλάταινα Καλόβια (HDPE280)	-	-	-	-	-	-	-	1000	1000	1500	17,36	0,21
	Στράτο-Οχθιά-Αλεξανό-Κοψήλη (HDPE355)	-	-	-	-	-	-	-	2.300,00	2.300,00	3450	39,93	0,47
	Νεάπολη	-	-	-	-	-	-	-	700,00	700,00	1050	12,15	0,15
	Τριαντέικα-Ελατόφυτο	-	-	-	-	-	-	-	1.200,00	1.200,00	1800	20,83	0,25
	Μεγάλη Χώρα	-	-	-	-	-	-	-	1.300,00	1.300,00	1950	22,57	0,28

Παράρτημα Ε: Υπολογισμοί Μεθόδου 1

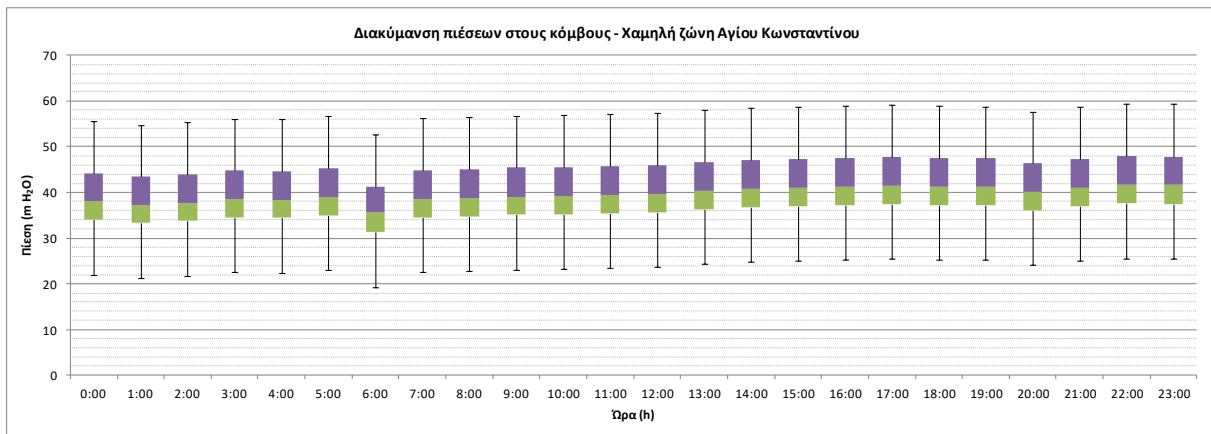
ΣΥΝΟΛΟ		8.126.525,81	8,13	1,00	69.273,00	12.570,05	25.140,09	34.134,04	51.201,05	617,39	
A/A	Πειραμετρική ζώνη/κόμβος αγωγών	Υποπεριοχές (πυκνότητα δόμησης από google earth)	Εμβαδό (m ²)	Εμβαδό (km ²)	Ποσοστό	Πληθυσμός υποπεριοχής	Μέση ημερήσια κατανάλωση υποπεριοχής (m ³ /d)	Μέση ημερήσια κατανάλωση υποπεριοχής (m ³ /d) (παραγόμενη ποσότητα)	Μέση ημερήσια κατανάλωση υποπεριοχής (m ³ /d)	Μέγιστη ωριαία κατανάλωση ακμής υποπεριοχής (m ³ /d)	Μέγιστη ωριαία κατανάλωση ακμής υποπεριοχής (l/s)
1	Άγιος Κωνσταντίνος (χαμηλή)	ΑΓ.ΚΩΝ_Χ.Ζ_1	852.423,54	0,35	0,0434	3004	455,56	991,32	1090,452	1.635,68	18,33
2		ΑΓ.ΚΩΝ_Χ.Ζ_2	104.720,49	0,10	0,0129	893	147,345	294,69	324,159	486,24	5,63
3		ΑΓ.ΚΩΝ_Χ.Ζ_3	215.431,22	0,22	0,0265	1836	302,94	605,88	666,468	999,70	11,57
4		ΑΓ.ΚΩΝ_Χ.Ζ_4	224.970,38	0,22	0,0277	1918	316,47	632,94	696,234	1.044,35	12,09
	Σύνολο		0,90	0,110446	7.651,00	1.262,42	2.524,83	2.777,31	4.165,97	48,22	
5	Άγιος Κωνσταντίνος (υψηλή)	ΑΓ.ΚΩΝ_Υ.Ζ_1	234.906,44	0,23	0,0289	2002	330,33	660,66	726,726	1.090,09	12,62
6		ΑΓ.ΚΩΝ_Υ.Ζ_2	190.623,06	0,19	0,0235	1625	268,125	536,25	589,875	884,81	10,24
7		ΑΓ.ΚΩΝ_Υ.Ζ_3	20.496,30	0,02	0,0025	175	28,875	57,75	63,525	95,29	1,10
8		ΑΓ.ΚΩΝ_Υ.Ζ_4	25.724,94	0,03	0,0032	219	36,135	72,27	79,497	119,25	1,38
9		ΑΓ.ΚΩΝ_Υ.Ζ_5	22.842,54	0,02	0,0028	195	32,175	64,35	70,785	106,18	1,23
10		ΑΓ.ΚΩΝ_Υ.Ζ_6	29.077,66	0,03	0,0036	248	40,92	81,84	90,024	135,04	1,56
11		ΑΓ.ΚΩΝ_Υ.Ζ_7	19.507,04	0,02	0,0024	166	27,39	54,78	60,258	90,39	1,05
	Σύνολο		0,94	0,06684	4.630,00	761,95	1.527,90	1.680,69	2.521,04	29,18	
12	Αγρίνιο (χαμηλή)	ΑΓΡ_Χ.Ζ_1	349.400,02	0,35	0,0430	2978	491,17	982,34	1.081,014	1.621,52	18,77
13		ΑΓΡ_Χ.Ζ_2	387.894,66	0,39	0,0477	3307	545,655	1091,31	1.200,441	1.800,66	20,84
14		ΑΓΡ_Χ.Ζ_3	517.301,21	0,52	0,0637	4410	727,65	1.455,3	1.600,83	2.401,25	27,79
15		ΑΓΡ_Χ.Ζ_4	505.737,27	0,51	0,0622	4311	711,335	1.422,63	1.564,893	2.347,34	27,17
16		ΑΓΡ_Χ.Ζ_5	502.957,48	0,50	0,0619	4287	707,355	1.414,71	1.556,181	2.334,27	27,02
17		ΑΓΡ_Χ.Ζ_6	285.928,04	0,29	0,0352	2437	402,105	804,21	884,631	1.326,95	15,36
18		ΑΓΡ_Χ.Ζ_7	525.290,43	0,53	0,0646	4478	728,67	1.477,74	1.625,514	2.438,27	28,22
19		ΑΓΡ_Χ.Ζ_8	355.952,19	0,36	0,0438	3034	509,61	1.001,22	1.101,342	1.652,01	19,12
20		ΑΓΡ_Χ.Ζ_9	289.382,24	0,29	0,0356	2467	407,055	814,11	895,521	1.343,28	15,55
21		ΑΓΡ_Χ.Ζ_10	255.129,31	0,26	0,0314	2175	358,875	717,75	789,525	1.184,29	13,71
22		ΑΓΡ_Χ.Ζ_11	66.326,43	0,07	0,0082	565	93,225	186,45	205,095	307,64	3,56
23		ΑΓΡ_Χ.Ζ_12	259.380,50	0,26	0,0319	2211	364,815	729,63	802,993	1.203,89	13,93
	Σύνολο		4,30	0,529215	36.660,00	6.048,90	12.097,80	13.307,58	19.961,37	231,03	
24	Αγρίνιο (υψηλή)	ΑΓΡ_Υ.Ζ_1	482.401,66	0,48	0,0594	4112	678,48	1.356,96	1.492,656	2.238,984	25,91
25		ΑΓΡ_Υ.Ζ_2	304.492,60	0,30	0,0375	2596	428,34	856,68	942,348	1.413,522	16,36
26		ΑΓΡ_Υ.Ζ_3	255.836,40	0,26	0,0315	2181	359,865	719,73	791,703	1.187,5545	13,74
27		ΑΓΡ_Υ.Ζ_4	220.364,86	0,22	0,0271	1879	310,035	620,07	682,077	1.023,1155	11,84
	Σύνολο		1,26	0,155429	10.768,00	1.776,72	3.553,44	3.908,78	5.863,18	67,86	
28	Γκένοβα	ΓΚΕΝ_1	315.957,50	0,32	0,0389	2693	444,345	888,69	977,559	1.466,34	16,97
29		ΓΚΕΝ_2	71.449,74	0,07	0,0088	609	100,485	200,97	221,067	331,60	3,84
	Σύνολο		0,39	0,0477	3.302,00	544,83	1.089,66	1.198,63	1.797,94	20,81	
30	Πλατανάκι	ΠΛΑΤ_1	107.407,97	0,11	0,0132	916	151,14	302,28	332,508	498,76	5,77
31		ΠΛΑΤ_2	101.305,29	0,10	0,0125	864	142,56	285,12	313,632	470,45	5,45
32		ΠΛΑΤ_3	82.996,59	0,08	0,0102	708	116,82	233,64	257,004	385,51	4,46
	Σύνολο		0,29	0,035986	2.488,00	410,52	821,04	903,14	1.354,72	15,68	
33	Καμπερούλα	ΚΑΜ	24.259,61	0,02	0,0030	207	34,155	68,31	75,141	112,71	1,30
		Κόμβος για υδροδ. Καμαρούλας Κοκκινόπουλια		-	-	-	-	-	-	1.916,10	22,18
	Σύνολο		-	-	-	-	-	-	225,42	2,61	
34	Δίο Ρέματα	Δ.ΡΕΜ	34.778,48	0,03	0,0043	296	48,84	97,68	107,448	161,17	1,87
	Σύνολο								107,45	1,87	
35	Τσαγκρινίτικα	ΤΣΑΓΚΡ_1	60.237,51	0,06	0,0074	513	84,645	169,29	186,219	279,33	3,23
36		ΤΣΑΓΚΡ_2	39.339,05	0,04	0,0048	335	55,275	110,55	121,605	182,41	2,11
37		ΤΣΑΓΚΡ_3	13.225,46	0,01	0,0016	113	18,645	37,29	41,019	61,53	0,71
	Σύνολο		0,11	0,01	962,00	158,73	317,46	348,84	523,26	6,06	
38	Ζάλογγο	ΖΑΛ	29.337,20	0,03	0,0036	250	41,25	82,5	90,75	136,13	1,58
	Σύνολο								90,75	1,58	
39	Άγιος Θεομάς	ΑΓ_ΘΩΜΑΣ	15.054,94	0,02	0,0019	128	21,12	42,24	46,4	68,6	0,8
	Σύνολο								46,4	0,8	
40	Αγ. Ιωάννης Ρηγανάς	ΑΓ_Ι_ΡΗΓΑΝ	110070,5147	0,11	0,0135	938	154,77	309,54	340,494	510,741	5,91
41	Εθν.Σταθιο	ΕΘΝ_ΣΤΑΘΙΟ	58303,5217	0,06	0,0072	497	82,005	164,01	180,411	270,6165	3,13
42	Εργ.Κατοικίες	ΕΡΓ_ΚΑΤ	58303,5217	0,06	0,0072	497	82,005	164,01	180,411	270,6165	3,13
	ΕΟ Αγρινίου-Οέριμου (ST400)	-	-	-	356	512	512	562,2	844,8	9,78	
	ΤΣΕ 5 (PVC140)	-	-	-	119	238	238	261,8	392,7	4,55	
	HDPE110 νότια	-	-	-	88	176	176	193,6	290,4	3,36	
	Νοσοκομείο	-	-	-	55	110	110	121	181,5	2,10	
	Γαλανοός (HDPE280)	-	-	-	151	302	302	332,2	498,3	5,77	
	ΑΣΘ	-	-	-	120	240	240	264	396	4,58	
	Βελούχι (PVC125)	-	-	-	33	66	66	72,6	108,9	1,26	
	Δοκίμ	-	-	-	200	400	400	440	660	7,64	
	Ψηλογέφυρο (PVC110)	-	-	-	18	36	36	39,6	59,4	0,69	
	Διαμαντέικα	-	-	-	97	194	194	213,4	320,1	3,70	
	Νταλιανέικα	-	-	-	3	6	6	6,6	9,9	0,11	
	Πλάτανος Καλύβια (HDPE280)	-	-	-	1000	1000	1000	1500	17,36		
	Στάρο-Οχθιά-Λεπενού Κοιμήλη (HDPE355)	-	-	-	2.300,00	2.300,00	2.300,00	3450	39,93		
	Νεάπολη	-	-	-	700,00	700,00	700,00	1050	12,15		
	Τριαντέικα-Ελεπόφυτο	-	-	-	1.800,00	1.800,00	1.800,00	2610	30,83		
	Μεγάλη Κύρα	-	-	-	1.300,00	1.300,00	1.300,00	1950	22,57		

Παράρτημα ΣΤ: Αποτελέσματα Μεθόδου 5

Στο Παράρτημα αυτό παρουσιάζονται τα διαγράμματα διακύμανσης των πιέσεων στην διάρκεια της ημέρας και τα διαγράμματα κατανομής των ελάχιστων και μέγιστων πιέσεων στις έντεκα πιεζομετρικές ζώνες του δικτύου, όπως προέκυψαν από την προσομοίωση του δικτύου για κάθε μία από τις δέκα στοχαστικές χρονοσειρές καταναλώσεων.

▪ 1η χρονοσειρά στοχαστικών καταναλώσεων

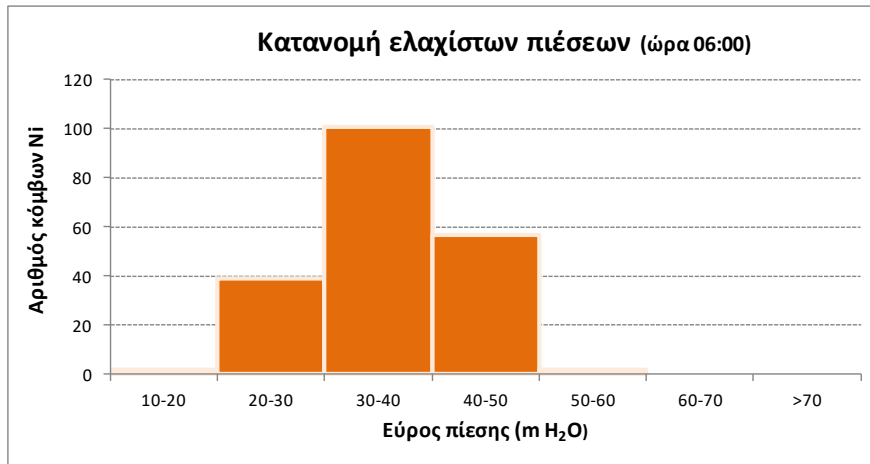
1. Χαμηλή ζώνη Αγίου Κων/νου



Εικόνα Π.ΣΤ 1: Διακύμανση των πιέσεων στην διάρκεια της στην χαμηλή ζώνη Αγ. Κων/νου στην διάρκεια της ημέρας

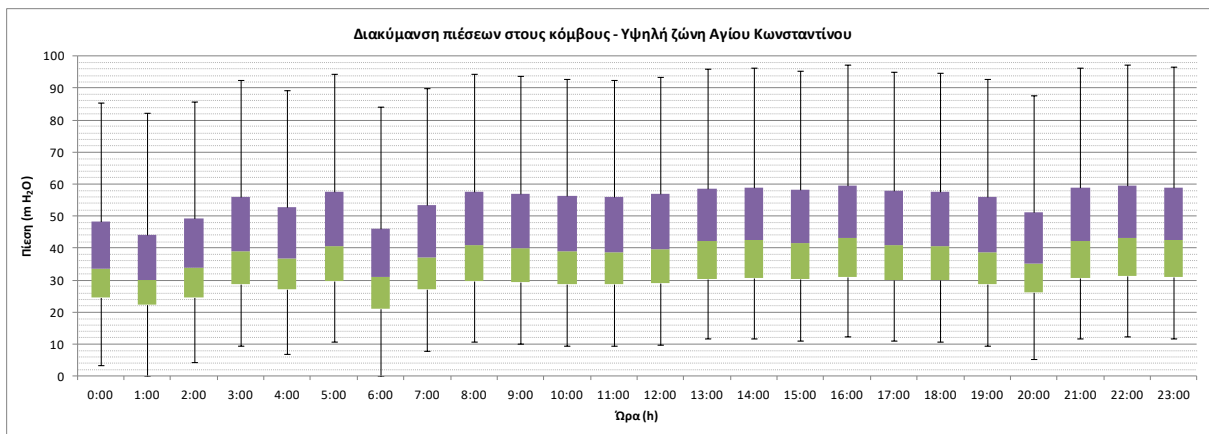


Εικόνα Π.ΣΤ 2: Κατανομή μέγιστων πιέσεων στην χαμηλή ζώνη του Αγ. Κων/νου

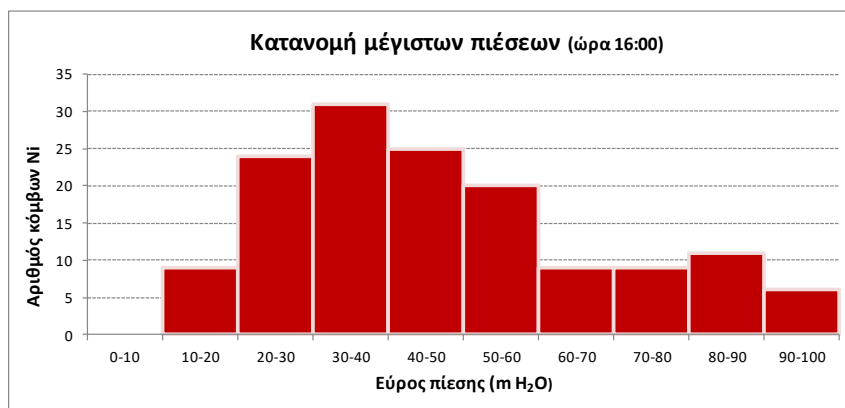


Εικόνα Π.ΣΤ 3: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην χαμηλή ζώνη του Αγ. Κων/νου

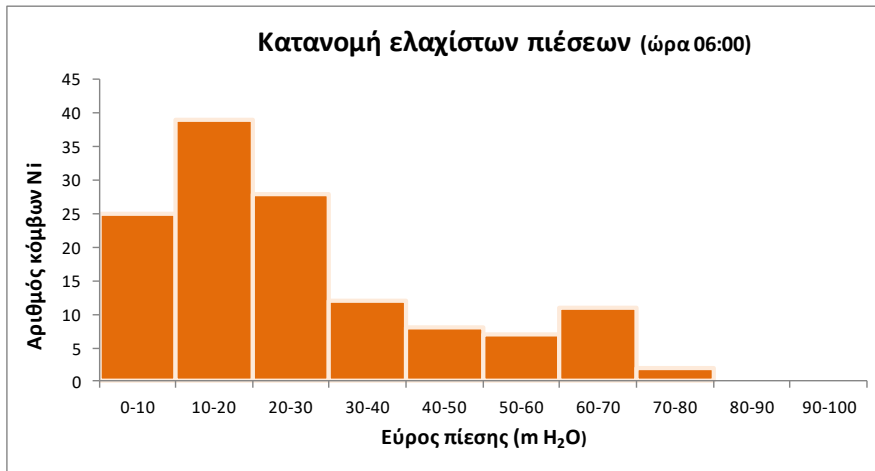
2. Υψηλή ζώνη Αγίου Κων/νου



Εικόνα Π.ΣΤ 4: Διακύμανση των πιέσεων στην υψηλή ζώνη Αγ. Κων/νου στην διάρκεια της ημέρας



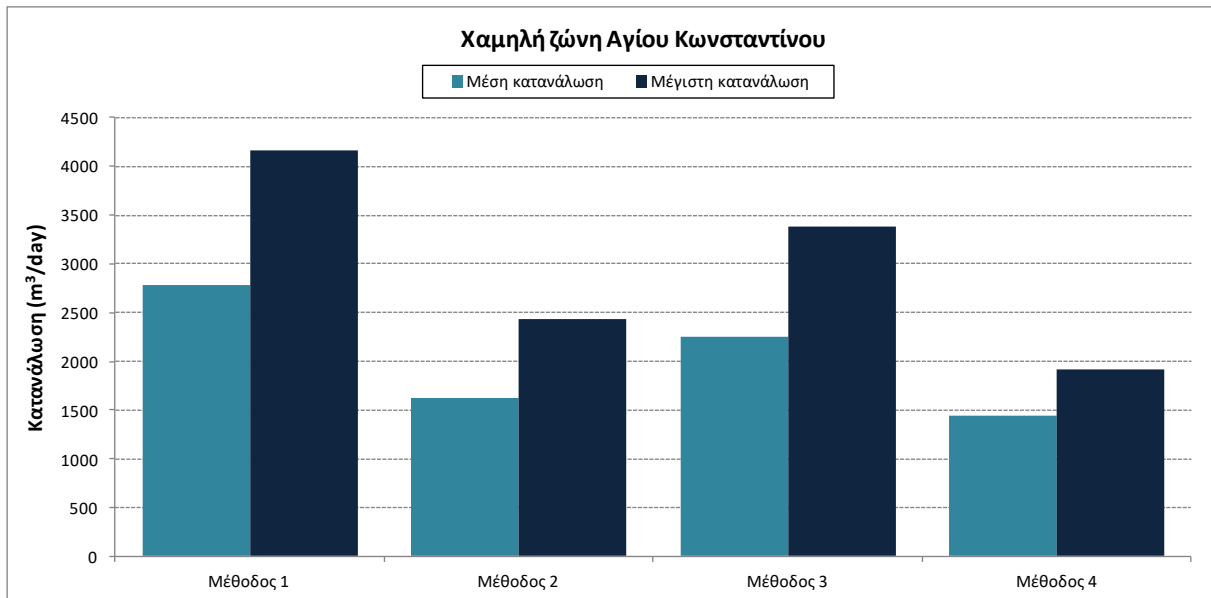
Εικόνα Π.ΣΤ 5: Κατανομή μέγιστων πιέσεων στην υψηλή ζώνη του Αγ. Κων/νου



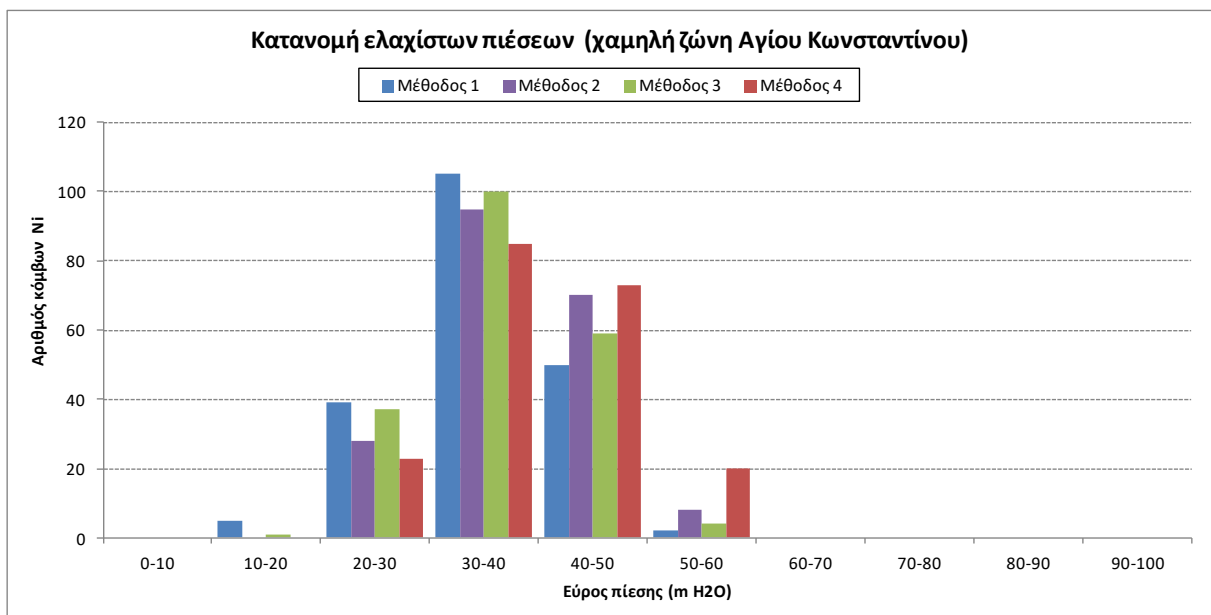
Εικόνα Π.ΣΤ 6: Κατανομή ελάχιστων πιέσεων στην υψηλή ζώνη του Αγ. Κων/νου

Παράρτημα Z: Διαγράμματα σύγκρισης καταναλώσεων και κατανομής ελαχίστων πιέσεων

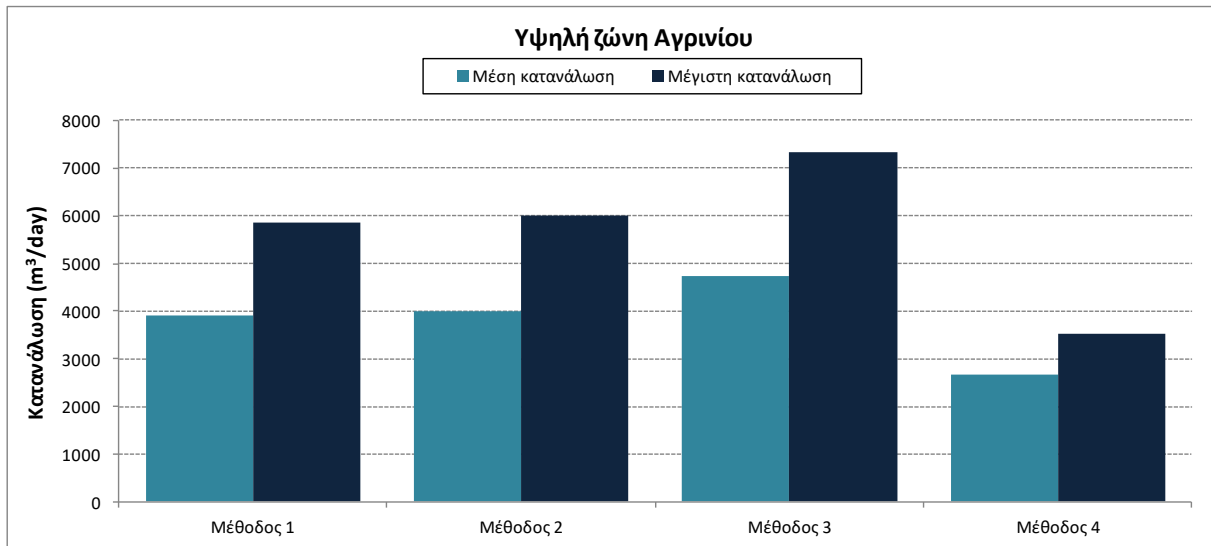
Στο Παράρτημα Z παρουσιάζονται τα διαγράμματα σύγκρισης της εκτίμησης των υδρευτικών καταναλώσεων από τις 4 μεθόδους, για κάθε μία από τις πιεζομετρικές ζώνες, καθώς και διαγράμματα σύγκρισης των ελαχίστων πιέσεων, όπως προκύπτουν από κάθε μέθοδο.



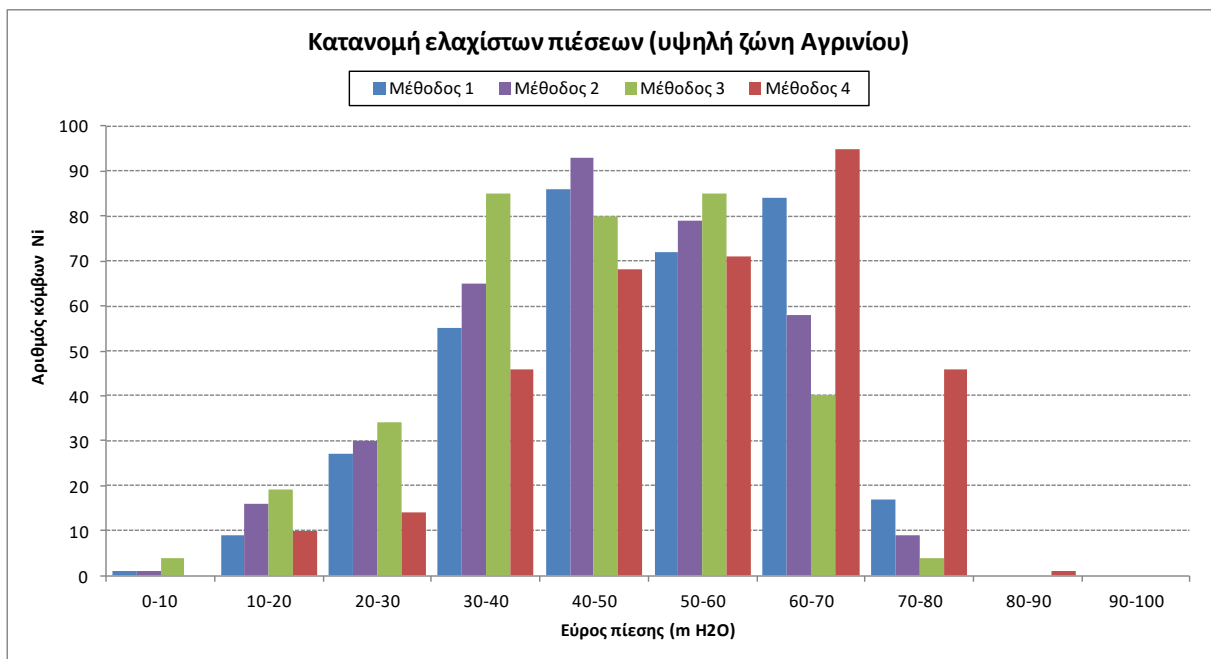
Εικόνα Π.Ζ 1: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην χαμηλή ζώνη Αγίου Κων/νου



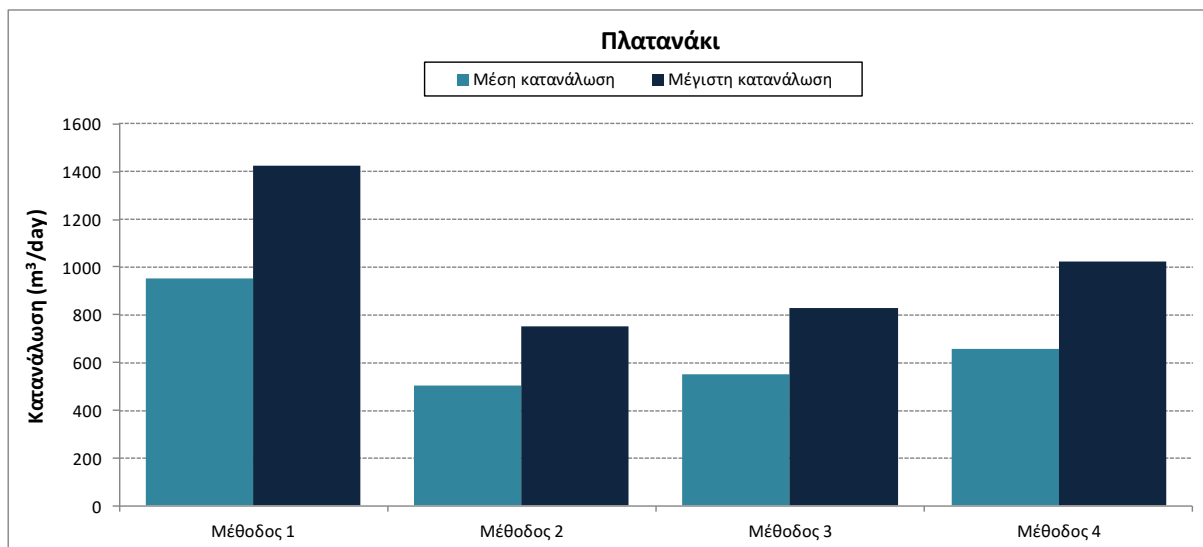
Εικόνα Π.Ζ 2: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην χαμηλή ζώνη Αγίου Κων/νου για κάθε μία από τις 4 μεθόδους



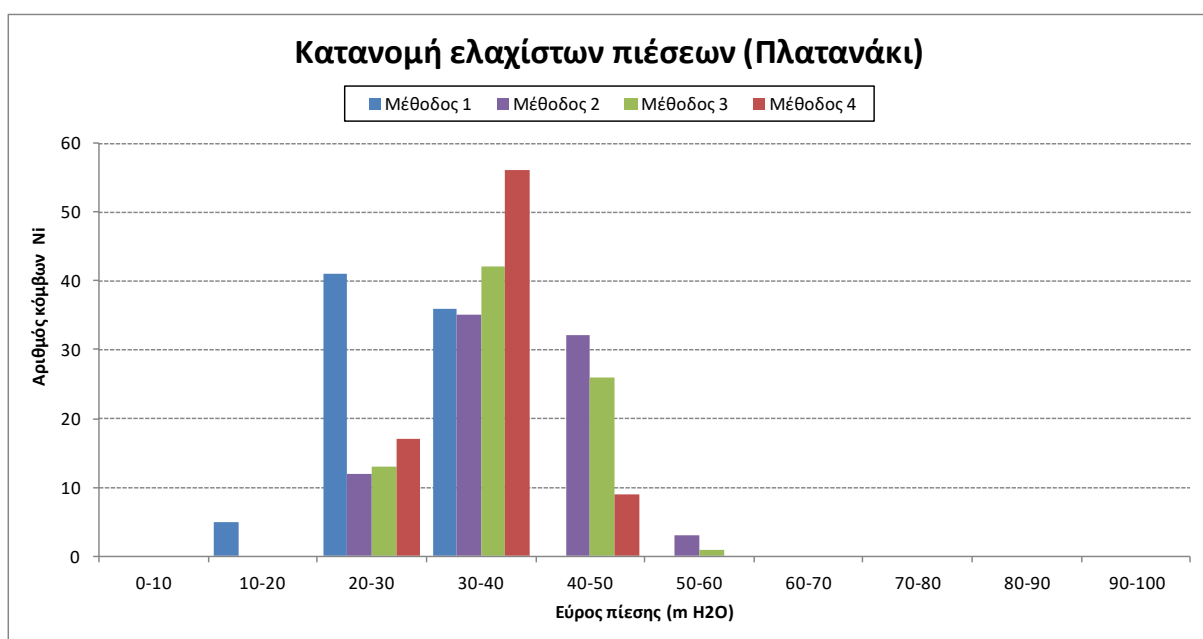
Εικόνα Π.Ζ 3: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην υψηλή ζώνη Αग्रινίου



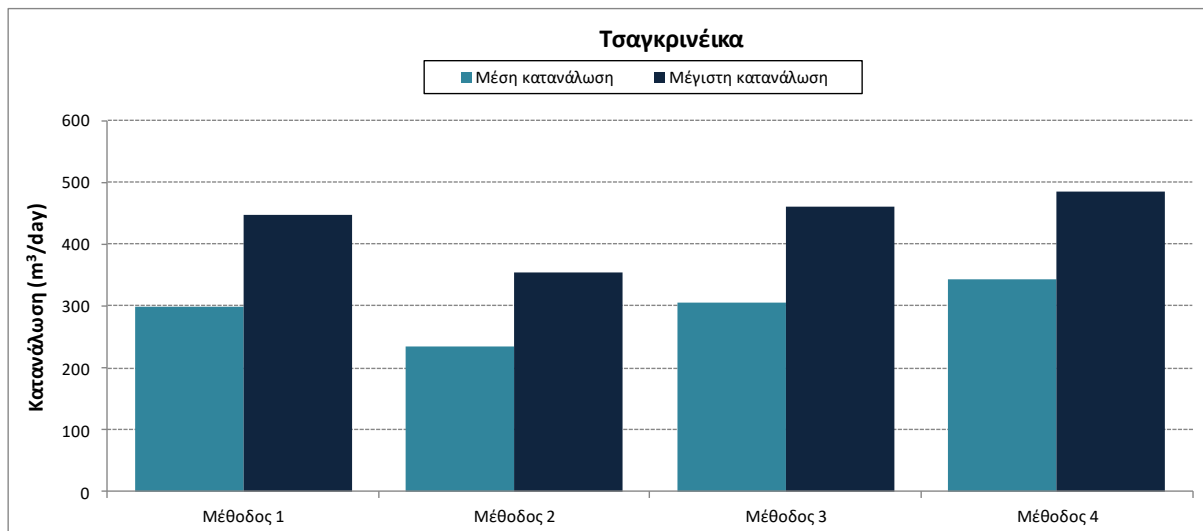
Εικόνα Π.Ζ 4: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην υψηλή ζώνη Αग्रινίου για κάθε μία από τις 4 μεθόδους



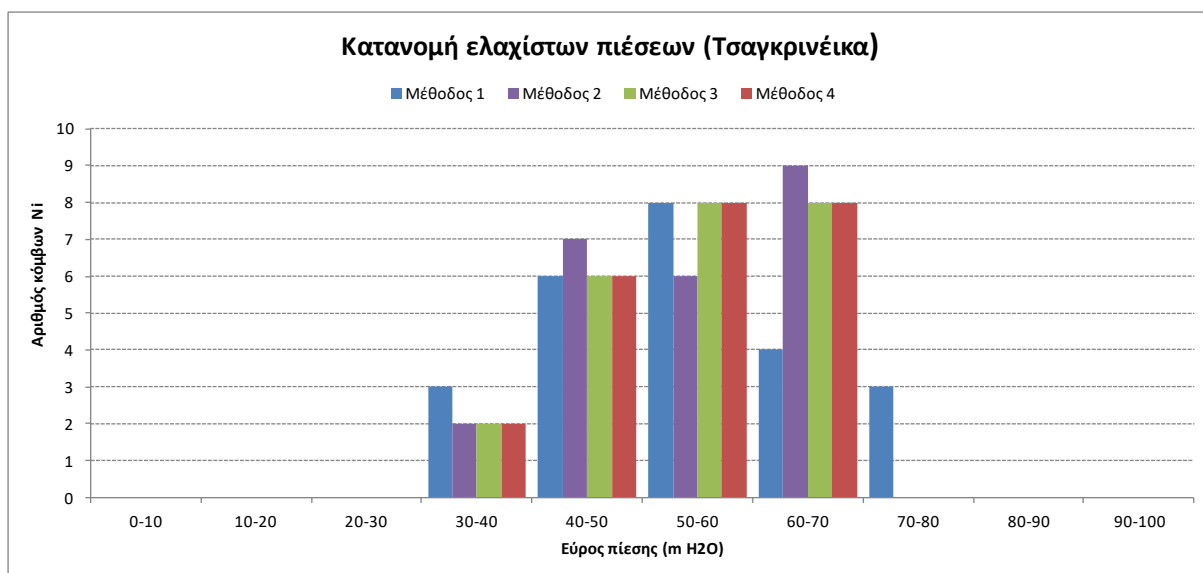
Εικόνα Π.Ζ 5: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην ζώνη Πλατανάκι



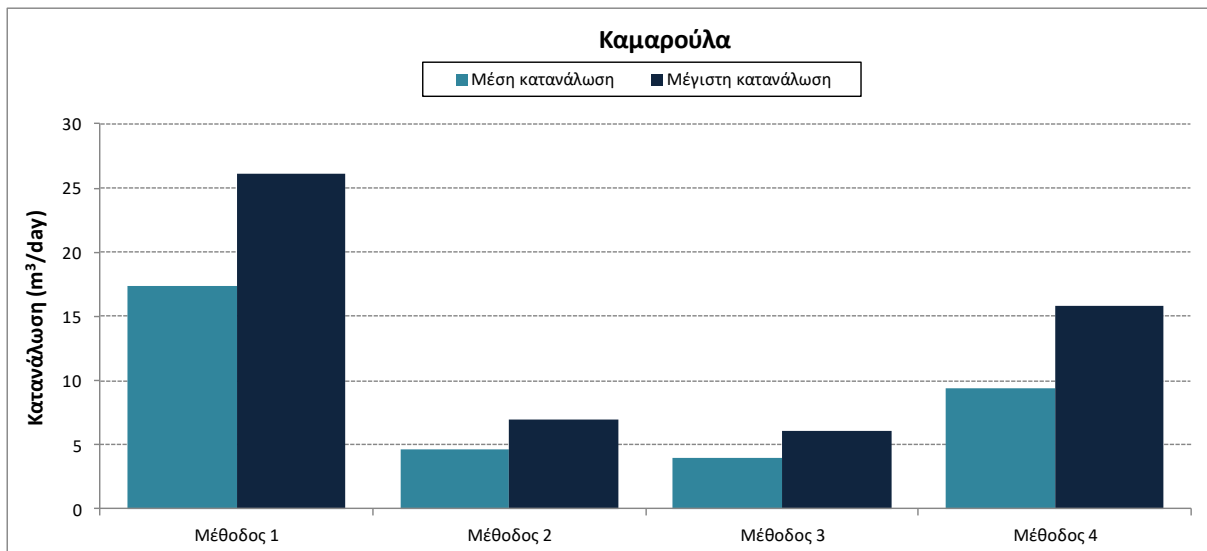
Εικόνα Π.Ζ 6: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην ζώνη Πλατανάκι για κάθε μία από τις 4 μεθόδους



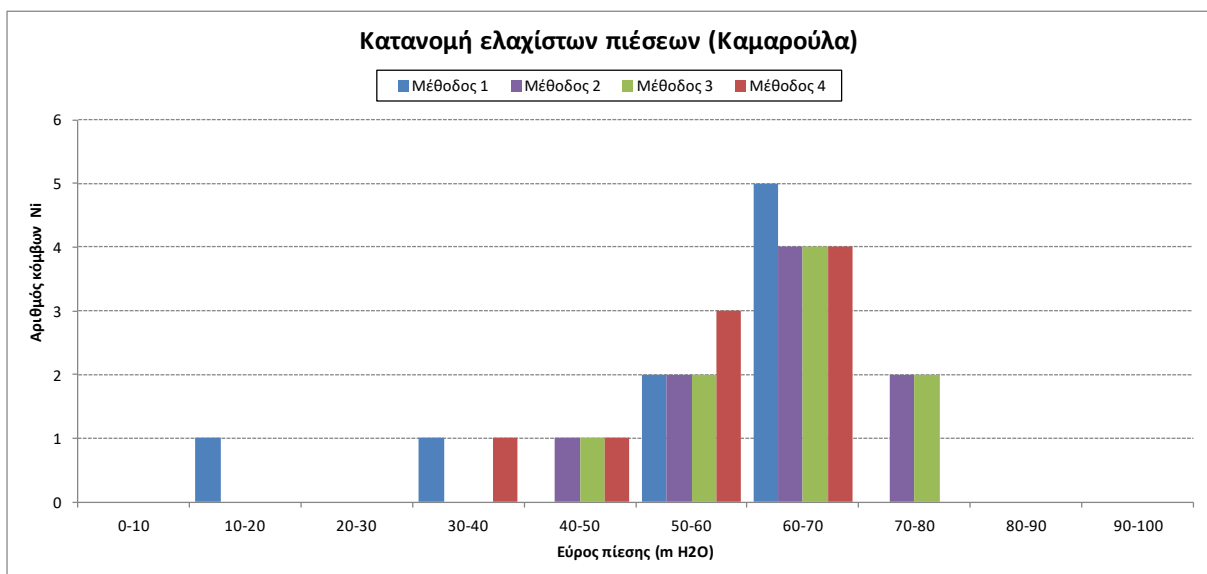
Εικόνα Π.Ζ 7: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην ζώνη Τσαγκρινέικα



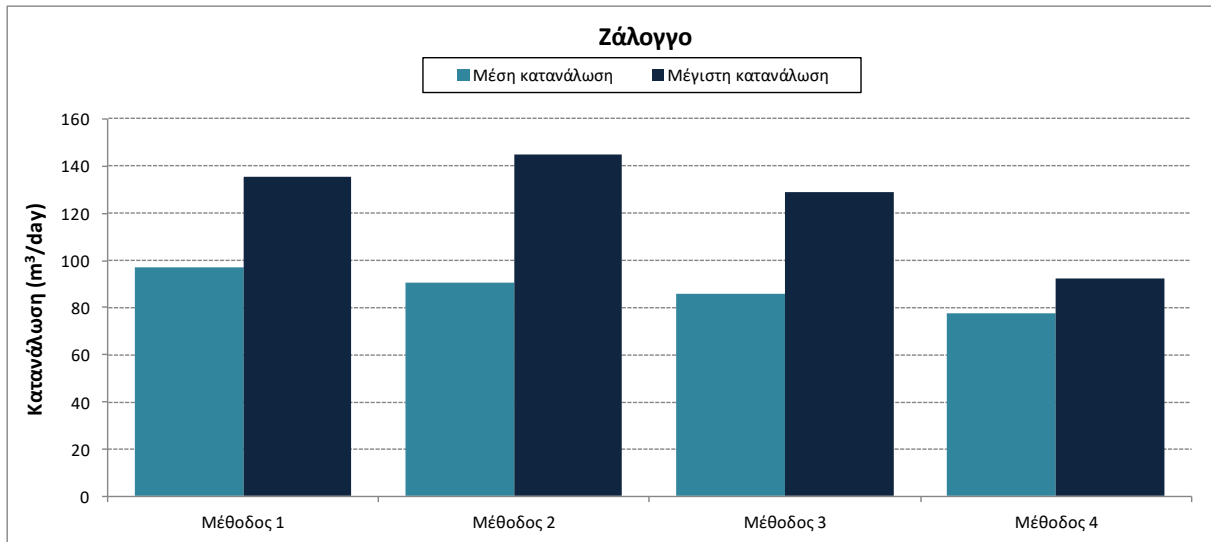
Εικόνα Π.Ζ 8: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην ζώνη Τσαγκρινέικα για κάθε μία από τις 4 μεθόδους



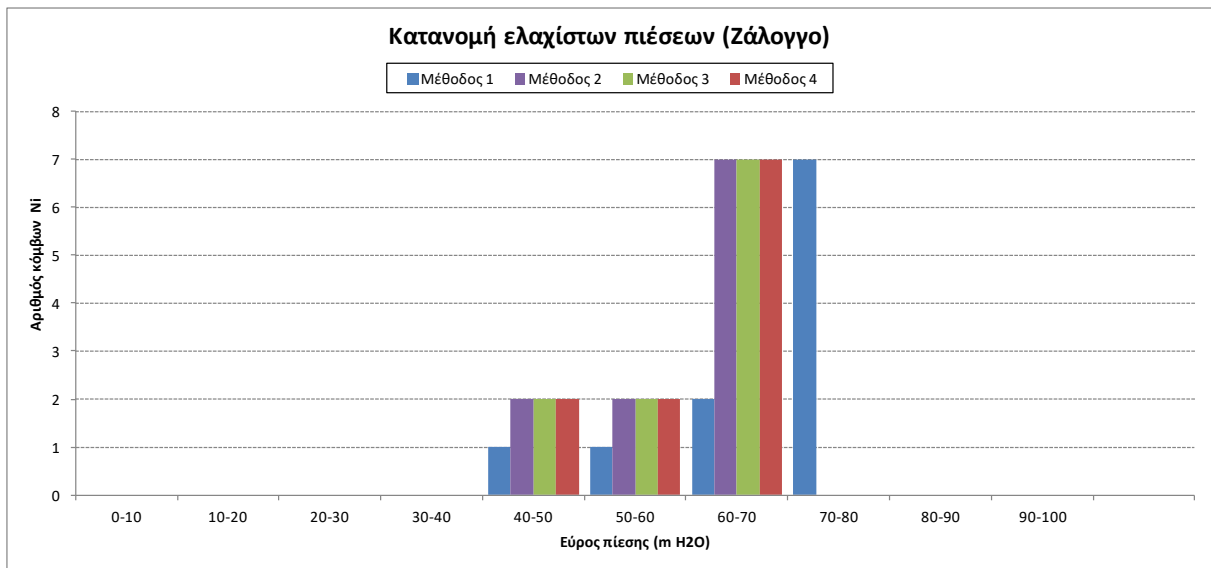
Εικόνα Π.Ζ 9: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην ζώνη Καμαρούλα



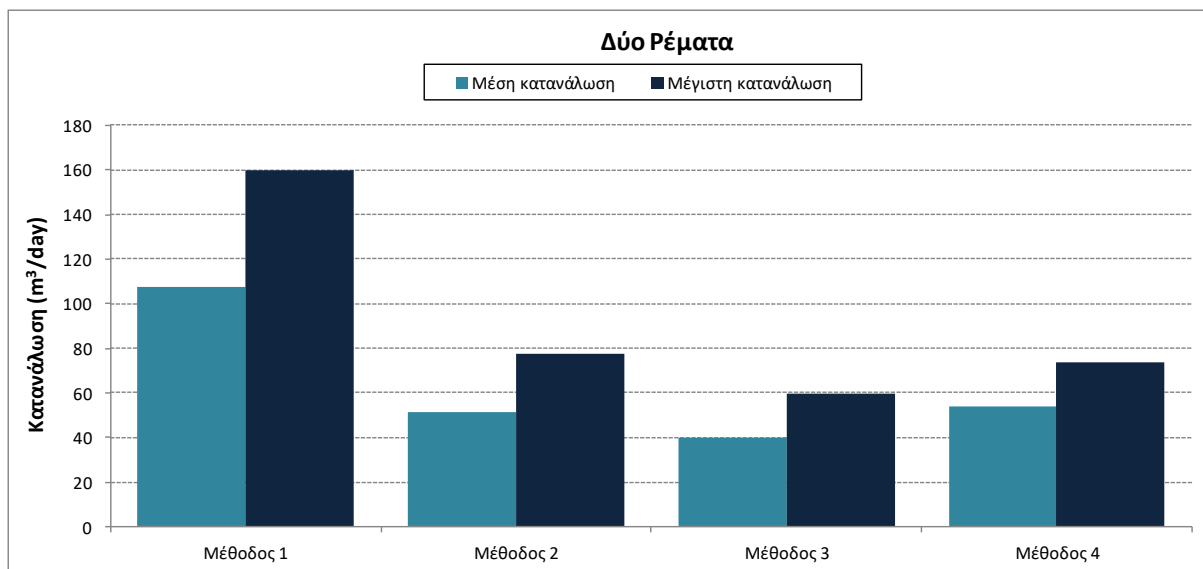
Εικόνα Π.Ζ 10: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην ζώνη Καμαρούλα για κάθε μία από τις 4 μεθόδους



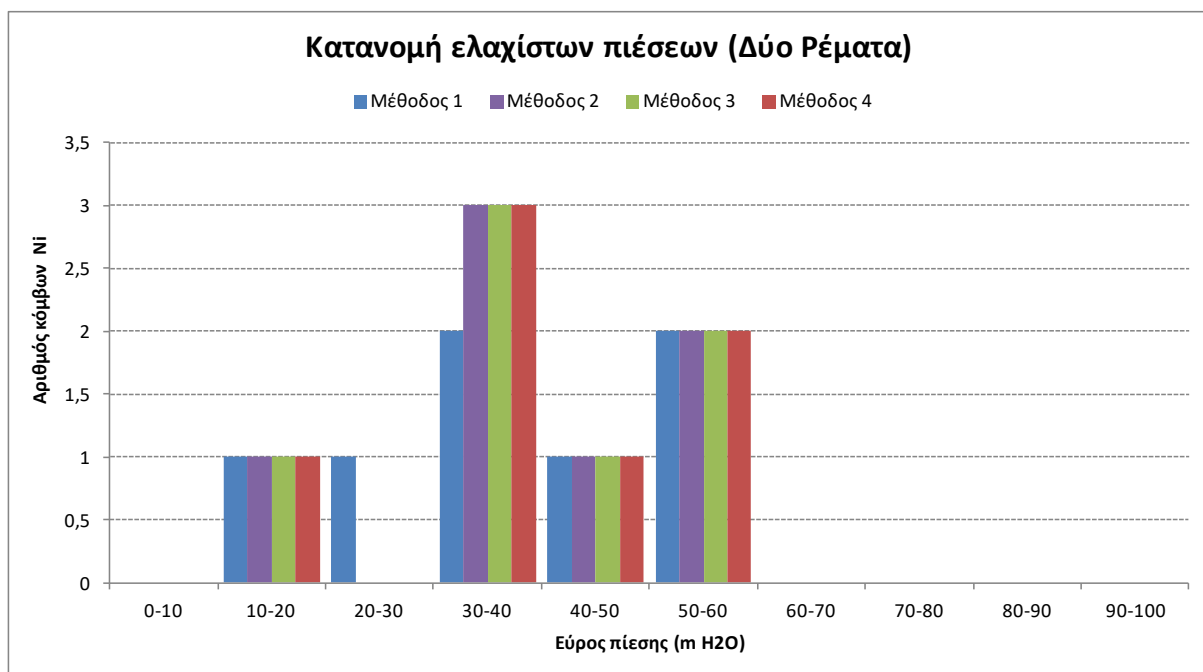
Εικόνα Π.Ζ 11: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην ζώνη Ζάλλογο



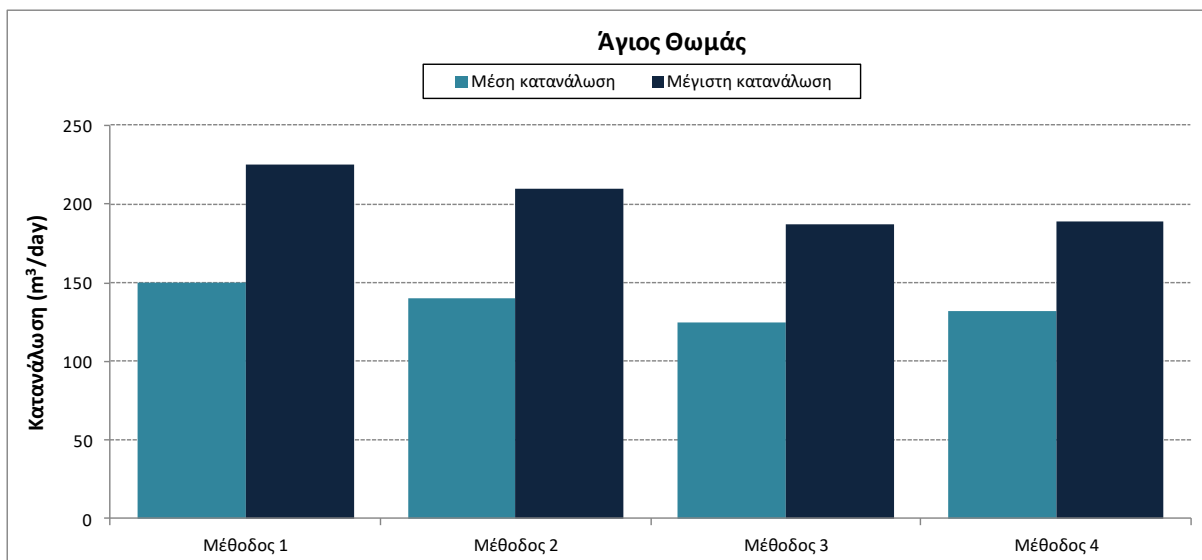
Εικόνα Π.Ζ 12: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην ζώνη Ζάλλογο για κάθε μία από τις 4 μεθόδους



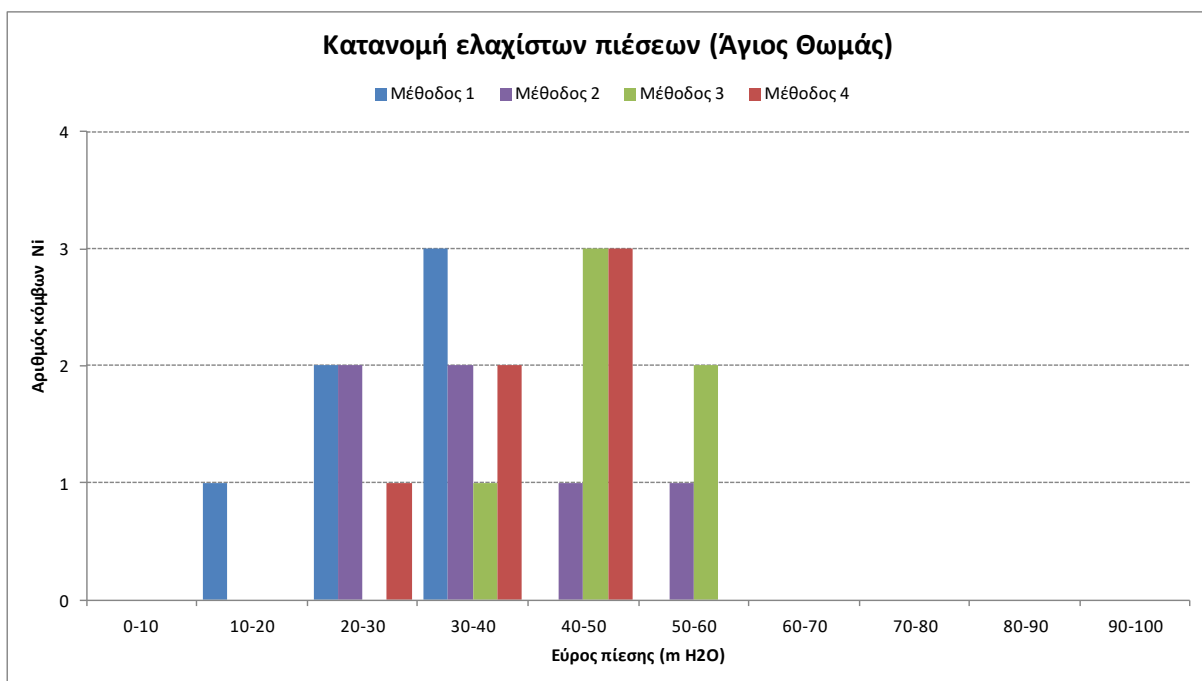
Εικόνα Π.Ζ 13: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην ζώνη Δύο Ρέματα



Εικόνα Π.Ζ 14: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην ζώνη Δύο Ρέματα για κάθε μία από τις 4 μεθόδους



Εικόνα Π.Ζ 15: Σύγκριση της εκτίμησης των καταναλώσεων στην ζώνη Άγιος Θωμάς



Εικόνα Π.Ζ 16: Κατανομή ελαχίστων πιέσεων στην ζώνη Άγιος Θωμάς για κάθε μία από τις 4 μεθόδους