



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ &
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

Ελαχιστοποίηση Σφαλμάτων Μέτρησης Υδρομετρητών μέσω Επεξεργασίας Δεδομένων Τηλεμετρίας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Νικόλαος Γ. Καστορίνης

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Γ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2014

(σκόπιμα κενή σελίδα)



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ &
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Ελαχιστοποίηση Σφαλμάτων Μέτρησης Υδρομετρητών μέσω Επεξεργασίας Δεδομένων Τηλεμετρίας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Νικόλαος Γ. Καστορίνης

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Γ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Κ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Ν. Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Π. Τσαραμπάρης
Λέκτορας Ε.Μ.Π

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2014

.....
Νικόλαος Γ. Καστορίνης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Νικόλαος Καστορίνης, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Πρόλογος – Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε υπό του Τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων, της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κατά το ακαδημαϊκό έτος 2013 – 2014.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Καραγιαννόπουλο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση διπλωματικής εργασίας σε ένα πολύ ενδιαφέρον αντικείμενο, για την πολύτιμη καθοδήγησή του, καθώς και για την καλλιέργεια ενός κλίματος άψογης συνεργασίας καθ'όλη τη διάρκεια της μελέτης.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω, επίσης, στην οικογένειά μου, και ιδιαίτερα στη μητέρα μου για τον αγώνα της να μου προσφέρει ένα καλύτερο παρόν και μέλλον. Το κουράγιο της με εμπνέει να προσπαθώ πάντοτε να βελτιώνομαι.

Ακόμη, ευχαριστώ τα συγγενικά μου πρόσωπα, και όλους τους φίλους μου για τη συνεχή συμπαράστασή τους και τις αξέχαστες στιγμές που ζήσαμε. Ασφαλώς, τίποτα δε θα ήταν δυνατόν δίχως την "άγρυπνη" επιτήρηση της Amélie, η οποία και έδινε την τελική έγκριση για κάθε μου ενέργεια.

(σκόπιμα κενή σελίδα)

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζουμε την τηλεμέτρηση υδρομετρητών και τρόπους να εξάγουμε ορθότερα αποτελέσματα μέσω αυτής.

Αρχικά γίνεται μια ανασκόπηση στους βασικότερους τύπους υδρομέτρων που απαντώνται στις εγκαταστάσεις οικιακών καταναλωτών. Περιγράφονται οι τρόποι λειτουργίας τους και τα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα που αυτοί συνεπάγονται.

Στη συνέχεια, εξετάζεται η τεχνολογία της τηλεμέτρησης των υδρομετρητών και τα πλεονεκτήματα που προσφέρει έναντι της παραδοσιακής καταγραφής των μετρήσεων από το τεχνικό προσωπικό των εταιρειών ύδρευσης.

Τέλος, αναζητούμε περιγραφικές σχέσεις για να εκτιμήσουμε την επίδραση διαφόρων παραγόντων στη μετρητική ικανότητα των οργάνων. Εφαρμόζοντας τις σχέσεις αυτές αποκτούμε ορθότερες τιμές για την πραγματική κατανάλωση νερού των οικιακών χρηστών.

Λέξεις κλειδιά: μετρητής νερού, τηλεμετρία, καμπύλη σχετικού σφάλματος

(σκόπιμα κενή σελίδα)

Abstract

In the current diploma thesis water meter telemetry is studied, along with ways to extract more reliable measurement data through it.

At first, the most basic and common types of water meters are examined. Description of the working principles, the advantages and disadvantages that stem from each, are provided. Emphasis is given to urban consumers throughout the thesis.

Following, the technology of water meter telemetry is presented, and its advantages compared to the traditional data collecting method by a technical staff.

Finally, quantitative relationships are developed for estimating the effect a variety of factors is having on the measurement characteristics of water meters. Application of these findings provides with more realistic water consumption information of a household's actual water consumption.

Keywords: water meter, telemetry, error curve

(σκόπιμα κενή σελίδα)

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή

1.1 Ανάγκη διαχείρισης και μέτρησης της κατανάλωσης νερού	13
1.2 Σημασία ορθών μετρήσεων	14
1.3 Αντικείμενο διπλωματικής	15
1.4 Οργάνωση κειμένου	18

2. Υδρομετρητές

2.1 Γενικά στοιχεία	19
2.2 Μετρητική ακρίβεια	23
2.3 Καμπύλη σφάλματος	25
2.4 Μετρολογικές κλάσεις	33
2.5 Τύποι υδρομετρητών.....	38
2.5.1 Περιστρεφόμενου εμβόλου	39
2.5.2 Μονής ριπής	44
2.5.3 Πολλαπλής ριπής	48
2.5.4 Υδρόμετρα Woltmann.....	51
2.5.5 Σύνθετα	53
2.5.6 Ηλεκτρομαγνητικά	55
2.5.7 Υπερηχητικά	57

3. Τηλεμετρία υδρομετρητών

3.1 Γενικά στοιχεία για τη λήψη των μετρήσεων	62
3.2 Δομικά στοιχεία του συστήματος τηλεμετρίας	64
3.3 Πλεονεκτήματα τηλεμετρίας	73
3.4 Εγχώριο ενδιαφέρον	79

4. Παράγοντες που επηρεάζουν τις καμπύλες σφάλματος, και μοντελοποίηση αυτών	
4.1 Εισαγωγή	84
4.2 Επίδραση γήρατος	85
4.2.1 Ποσοτικά χαρακτηριστικά	87
4.3 Επίδραση συσσωρευμένου όγκου	92
4.4 Επίδραση αντίστροφης ροής	112
4.5 Επίδραση κλίσης τοποθέτησης	115
4.5.1 Ποσοτικά χαρακτηριστικά	121
5. Αριθμητική εφαρμογή πραγματικού υδρομετρητή	
5.1 Πληροφορίες που παρέχει ο κατασκευαστής	129
5.1.1 Περίπτωση όπου δίνεται η καμπύλη σφάλματος	130
5.1.2 Περίπτωση όπου δίνονται σημεία της καμπύλης σφάλματος	136
5.2 Συνδυασμός καμπύλης σφάλματος με παράγοντες που την επηρεάζουν ...	138
5.3 Επεξεργασία δεδομένων τηλεμετρίας	141
6. Σχόλια & Περαιτέρω ανάπτυξη	
6.1 Πλεονεκτήματα της μεθόδου	146
6.2 Εγγενείς αδυναμίες	151
6.3 Επέκταση της βάσης δεδομένων των εταιρειών ύδρευσης	152
Παράρτημα Α	158
Βιβλιογραφία	172

1

Εισαγωγή

1.1 Ανάγκη διαχείρισης και μέτρησης της κατανάλωσης νερού

Το νερό είναι ένα από τα σημαντικότερα αγαθά για τη διατήρηση της ζωής. Κάθε πολιτισμένη κοινωνία οφείλει να σέβεται το πολύτιμο αυτό αγαθό και να μην το σπαταλά ασκόπως. Οι ανάγκες των εθνών για νερό παραμένουν αμείωτες, και σε συνδυασμό με τα φαινόμενα που συνοδεύουν την κλιματική αλλαγή μάς υποχρεώνουν να γινόμαστε όλο και πιο αποδοτικοί στη διαχείριση της κατανάλωσης του νερού.

Η φράση "*if you can't measure it, you can't manage it*", δηλαδή "εάν δε μπορείς να το μετρήσεις, δε μπορείς να το διαχειριστείς", είναι πλέον κοινότυπη, ωστόσο παραμένει αληθινή. Οι Εταιρείες Ύδρευσης & Αποχέτευσης δεν αποτελούν εξαίρεση. Ο σκοπός τους είναι η παροχή

πόσιμου νερού στους καταναλωτές, και η συλλογή και επεξεργασία των λυμμάτων. Η σωστή μέτρηση του καταναλισκόμενου νερού είναι ίσως η σημαντικότερη διαδικασία για μια εταιρεία ύδρευσης, αφού βάσει αυτής αποκτά την πραγματική εικόνα για τη ζήτηση του "προϊόντος" που διαχειρίζεται, και επίσης επειδή είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την οικονομική επιβίωσή της.

1.2 Σημασία ορθών μετρήσεων

Είναι πρωταρχικής σημασίας, ασφαλώς, οι όσο το δυνατόν ακριβέστερες μετρήσεις. Μέσω αυτών αποκομίζονται πολύπλευρα οφέλη:

- *Δίκαιη χρέωση:*

Η χρέωση των καταναλωτών πρέπει βεβαίως να εξαρτάται από το ποσό νερού που καταναλώσανε. Δίκαια χρέωση, επομένως, προϋποθέτει ότι ο χρήστης θα τιμολογηθεί για τον πραγματικό όγκο ύδατος που χρησιμοποίησε. Συνεπώς, ακριβέστερες καταγραφές προσεγγίζουν δικαιότερες χρεώσεις.

- *Ευθύνη καταναλωτή:*

Η γνώση του ποσού κατανάλωσης συνεπάγεται ότι ο χρήστης είναι υπεύθυνος για το νερό που καταναλώνει. Αποτρέπεται, έτσι, το φαινόμενο της κατασπατάλησης του αγαθού αυτού, αφού αυτή συνοδεύεται με το ανάλογο αντίτιμο. Ο χρήστης διαθέτει την επιλογή να επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό την καταναλωτική του συμπεριφορά όσον αφορά το νερό.

- *Προστασία περιβάλλοντος:*

Το νερό για οικιακή και γεωργική χρήση δε διατίθεται σε αφθονία. Αντιθέτως, πρέπει να συλλεχθεί από το περιβάλλον και να υποστεί

επεξεργασία ώστε να αποκτήσει την απαιτούμενη ποιότητα που επιθυμούμε για τη χρήση του. Μέσω της μέτρησης του νερού, επομένως, αποκτάται άμεσα το μέγεθος της εκμετάλλευσης του πολύτιμου αυτού αγαθού. Ο καταναλωτής αποκτώντας αυτήν την ποσοτική εικόνα για τη χρήση του νερού αναπτύσει το αίσθημα περιβαλλοντικής ευθύνης και το σεβασμό προς αυτό το ζωτικής σημασίας αγαθό.

- *Βιωσιμότητα εταιριών ύδρευσης*

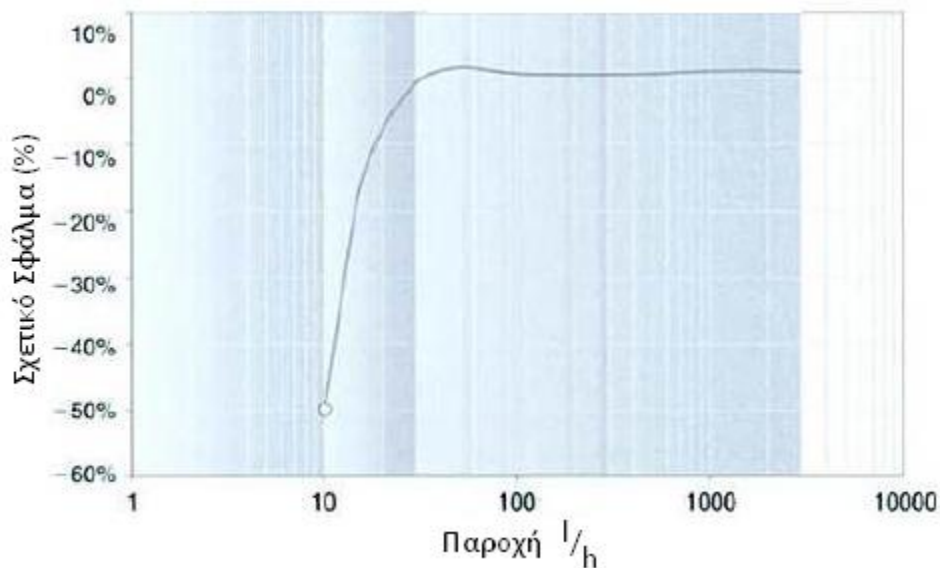
Οι υδρομετρητές είναι το όργανο στο οποίο στηρίζεται η οικονομική βιωσιμότητα μιας εταιρείας ύδρευσης. Τα έσοδά τους βασίζονται στο αντίτιμο που καταβάλει ο καταναλωτής βάσει του όγκου νερού που χρησιμοποίησε. Εσφαλμένες μετρήσεις προς τη μεριά της υπο-εκτίμησης του όγκου νερού σημαίνει απώλεια εσόδων της εταιρείας, διότι μέρος νερού που εκείνη επεξεργάστηκε και παρείχε καταναλώθηκε χωρίς να καταβληθεί το αντίστοιχο αντίτιμο. Αντιθέτως, εσφαλμένες μετρήσεις στη μεριά της υπερ-εκτίμησης του ζητηθέντος νερού σημαίνει υπερχρέωση του καταναλωτή, διότι υποχρεώνεται σε καταβολή αντιτίμου για μέρος νερού που δεν καταναλώθηκε στην πραγματικότητα.

1.3 Αντικείμενο διπλωματικής

Βασικός στόχος είναι να επιτύχουμε όσο το δυνατόν ορθότερες μετρήσεις – ή, ισοδύναμα, μετρήσεις με το μικρότερο δυνατό σφάλμα. Οι μετρητές νερού, όπως θα δούμε αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο, χαρακτηρίζονται από την καμπύλη σφάλματός τους, πάνω στις οποίες και θα στηριχτούμε προκειμένου να επιτύχουμε ακόμη πιο σωστές μετρήσεις. Πρόκειται για διαγράμματα που καταδεικνύουν την ακρίβεια με την οποία το

εκάστοτε όργανο καταγράφει το διερχόμενο όγκο νερού σύμφωνα με τη στιγμιαία παροχή, δηλαδή σύμφωνα με το ρυθμό διέλευσης του υδατικού όγκου.

Για παράδειγμα, στο *διάγραμμα 1.3-1* [15] φαίνεται η καμπύλη σφάλματος ενός πραγματικού υδρομετρητή. Παρατηρούμε ότι για πολύ χαμηλές παροχές, περί τα 10 l/h , το σφάλμα είναι περίπου 50 % αρνητικό. Αυτό σημαίνει ότι, στην περίπτωση που έχουμε εκδήλωση συνεχόμενης παροχής μεγέθους 10 l/h – η οποία μπορεί να οφείλεται σε διαρροή –, τότε θα καταγράφεται, και κατ'επέκταση θα τιμολογείται, ο μισός μονάχα όγκος νερού από τον πραγματικά καταναλισκόμενο.



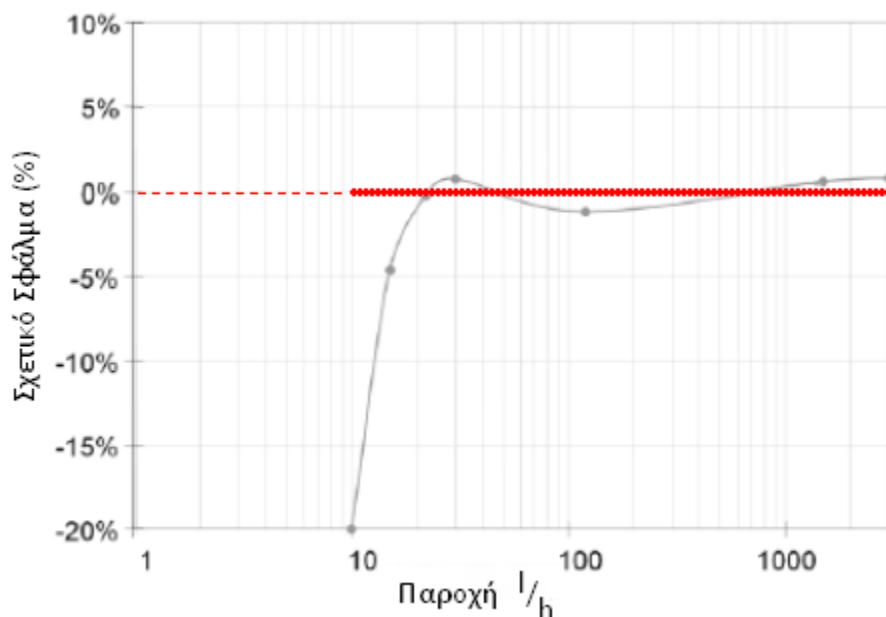
διάγραμμα 1.3-1

Παράδειγμα καμπύλης σχετικού σφάλματος υδρομέτρου

Πραγματικός υδρομετρητής που να παρουσιάζει μηδενικό σφάλμα σε όλο το εύρος παροχών λειτουργίας του δεν υπάρχει. Στην παρούσα

διπλωματική, θα βασιζόμαστε στην καμπύλη σφάλματος ενός υδρομετρητή ώστε να μπορούμε να ανάγουμε κάθε μέτρηση στην πραγματική της τιμή. Θα δημιουργούμε, δηλαδή, ένα θεωρητικό ιδανικό υδρόμετρο.

Εάν, για παράδειγμα, ένας υδρομετρητής παρουσιάζει καμπύλη σχετικού σφάλματος όπως στο *διάγραμμα 1.3-2*, τότε σκοπός μας είναι να επεξεργαζόμαστε τις μετρήσεις του οργάνου σαν να επρόκειτο για μια εικονική "ιδανική" καμπύλη σφάλματος – δηλαδή σαν να παρουσίαζε μηδενικό σχετικό σφάλμα σε όλο το εύρος παροχών του υδρομετρητή (η οριζόντια γραμμή του διαγράμματος 1.3-2, με "σφάλμα" 0%). Ασφαλώς, για παροχές μικρότερες της παροχής εκκίνησης του υδρομέτρου δε μπορούμε να κάνουμε καμία διόρθωση μετρήσεων, διότι το όργανο δεν παρέχει καμία μέτρηση στις παροχές εκείνες (δεν τις ανιχνεύει). Ωστόσο, θα μπορούσαμε, εφόσον ανιχνεύσουμε μια μόνιμη διαρροή στο δίκτυο του χρήστη, εν συνεχεία να θεωρήσουμε ότι η αντίστοιχη παροχή έχει μόνιμη εμφάνιση – δηλαδή, ακόμα κι όταν το υδρόμετρο δε δίνει καμία ένδειξη κατανάλωσης.



διάγραμμα 1.3-2

1.4 Οργάνωση κειμένου

Στο κεφάλαιο 2 εξετάζουμε τα κύρια χαρακτηριστικά για τους βασικούς τύπους υδρομετρητών που εγκαθιστώνται στους αστικούς καταναλωτές. Περιγράφονται οι βασικές αρχές λειτουργίας για κάθε ένα από τα είδη αυτά των μετρητών, όπως επίσης πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανάλογα με τον κάθε τύπο.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται η διαδικασία της αυτόματης τηλεμετρίας των υδρομετρητών, τα δομικά στοιχεία που την απαρτίζουν, καθώς και τα πλεονεκτήματά της έναντι της παραδοσιακής μεθόδου καταμέτρησης.

Στο κεφάλαιο 4 αναλύονται οι παράγοντες που επιδρούν στη μετρητική συμπεριφορά των υδρομέτρων, και εξάγονται αναλυτικές περιγραφικές σχέσεις. Μέσω των μοντέλων αυτών μπορούμε να επεξεργαστούμε τα δεδομένα των καταγεγραμμένων μετρήσεων των οργάνων, ώστε να αποκομίσουμε ορθότερα αποτελέσματα.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζουμε ένα αριθμητικό παράδειγμα για την ορθότερη εκτίμηση της πραγματικής κατανάλωσης νερού ενός χρήστη, χρησιμοποιώντας τα ευρήματα του προηγούμενου κεφαλαίου.

Τέλος, στο κεφάλαιο 6 σχολιάζεται η μέθοδος που ακολουθήθηκε, και προτείνονται τρόποι εξέλιξής της.

2

Υδρομετρητές

2.1 Γενικά στοιχεία υδρομετρητών

Με τον όρο υδρόμετρο ή υδρομετρητής ή μετρητής νερού εννοούμε το όργανο εκείνο που μετράει και καταγράφει την ποσότητα νερού που περνάει μέσα από αυτό. Για την παρούσα εργασία δε θα διαφοροποιηθούμε στις έννοιες *μετρητής νερού* και *μετρητής ροής*. Αντί αυτού, με την έννοια *υδρόμετρο* ή *υδρομετρητής* θα αναφερόμαστε σε κάθε συσκευή που δύναται να καταμετρήσει το διερχόμενο όγκο νερού.

Ένας υδρομετρητής τυπικά απαρτίζεται από τα εξής επιμέρους τμήματα [*εικόνα 2.1-1*]:

Τον *αισθητήρα*, ο οποίος ανιχνεύει τη ροή νερού και ενεργοποιείται από αυτήν. Τέτοιος μπορεί να είναι, για παράδειγμα, μια φτερωτή ή ένα ταλαντευόμενο έμβολο.

Το *μετατροπέα* ή *μορφοτροπέα* μέτρησης ο οποίος αναλαμβάνει να μεταδώσει την πληροφορία ή σήμα του αισθητήρα σε άλλα μέρη του οργάνου. Συνήθως πρόκειται για μια μηχανική διάταξη – όπως, για παράδειγμα, με τη χρήση γραναζώματων.

Τον *αθροιστή* ο οποίος καταγράφει και διατηρεί τις μετρούμενες τιμές. Συνήθως πρόκειται για μετρητικούς τροχούς, οι οποίοι μπορούν να συνοδεύονται από ένα ψηφιακό ολοκληρωμένο κύκλωμα που επίσης θα αποθηκεύει τις μετρήσεις σε ηλεκτρονική μορφή.

Τέλος η διάταξη *ενδείξεων* που αποτελεί τη διεπαφή των εσωτερικά καταγραφόμενων μετρήσεων με το εξωτερικό περιβάλλον της συσκευής, και δη τον άνθρωπο που θα αναγνώσει την ένδειξη. Οι ενδείξεις μπορούν να παρουσιάζονται αναλογικά, μέσω αριθμών πάνω στους μετρητικούς τροχούς [εικόνα 2.1-2], είτε ψηφιακά, μέσω ψηφιακής οθόνης [εικόνα 2.1-3], ή με συνδυασμό και των δύο.



εικόνα 2.1-1

Βασικά δομικά στοιχεία υδρομετρητή



εικόνα 2.1-2
Υδρόμετρο με
αναλογικές ενδείξεις

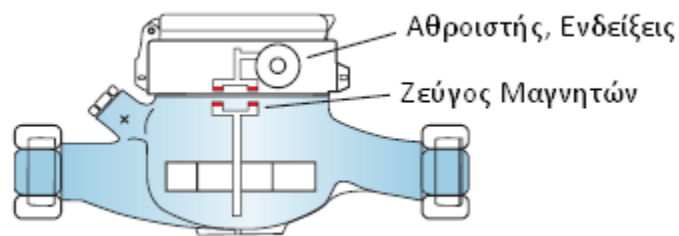


εικόνα 2.1-3
Υδρόμετρο με
ψηφιακές ενδείξεις

Ο αισθητήρας για τη ροή νερού διαμέσω του υδρομετρητή είναι καθοριστικής σημασίας για το χαρακτηρισμό του τύπου του οργάνου. Εάν ο αισθητήρας ανιχνεύει τον όγκο του διερχόμενου νερού μετρώντας το πόσες φορές γέμισε μια εσωτερική κοιλότητα του υδρομέτρου, τότε αυτό κατατάσσεται στα *ογκομετρικά (volumetric)* υδρόμετρα ή υδρόμετρα *θετικής μετατόπισης (positive displacement)*. Εάν ο αισθητήρας ανιχνεύει την ταχύτητα με την οποία ρέει το νερό, τότε σε συνδυασμό με τη γνωστή διάμετρο των σωληνώσεων βρίσκεται έμμεσα η ποσότητα νερού που ρέει διαμέσω του υδρομετρητή, και ο μετρητής κατατάσσεται στα *ταχυμετρικά υδρόμετρα (velocity meters)*.

Όταν ο μηχανισμός ενδείξεων των μετρήσεων του υδρομέτρου περιβρέχεται από νερό, τότε ο υδρομετρητής πρόκειται για *υγρού* τύπου (*wet dial*). Διαφορετικά, πρόκειται για *ξηρού* τύπου (*dry dial*) – μάλιστα οι

υδρομετρητές *απολύτως ξηρού* τύπου έχουν τις ενδείξεις τους αλλά και το σύστημα άθροισης/καταγραφής προστατευμένα από το νερό. Οι τελευταίοι δε διαθέτουν άμεση μηχανική μετάδοση των περιστροφών του αισθητήρα καθότι, λόγω της αναγκαστικής ύπαρξης τριβών, θα διακινδύνευε η εισχώρηση νερού στο μετρητικό μηχανισμό. Αντιθέτως, διαθέτουν για μετατροπέα ένα μαγνητικό ζεύγος το οποίο περιστρέφεται μαζί με τον αισθητήρα [εικόνα 2.1 – 4]. Ασφαλώς, τα υδρόμετρα αυτά απαιτείται να διαθέτουν μαγνητική προστασία έναντι εξωτερικών μαγνητικών πεδίων ώστε να μην επηρεάζεται η λειτουργία τους.



εικόνα 2.1 – 4

Σύνδεση αισθητήρα με καταγραφικό μηχανισμό μέσω ζεύγους μαγνητών

Σαφές πλεονέκτημα των υδρομέτρων *απολύτως ξηρού* τύπου είναι το γεγονός ότι οι μηχανισμοί άθροισης και απεικόνισης προστατεύονται από το διερχόμενο νερό, και άρα από τα διάφορα σωματίδια που μπορεί να μεταφέρονται και δύνανται να προκαλέσουν βλάβη στον υδρομετρητή. Οι μηχανισμοί πρέπει να είναι ερμητικά σφραγισμένοι ώστε να αποφεύγεται κάθε επαφή με το νερό ή τον ατμοσφαιρικό αέρα για να μην υπάρξει περίπτωση θολώματος λόγω υγρασίας και καταστεί δυσχερής η ανάγνωση των μετρήσεων.

2.2 Μετρητική ακρίβεια υδρομετρητών

Ο όγκος νερού που περνά διαμέσου ενός υδρομέτρου λέγεται *πραγματικός όγκος* και θα συμβολίζουμε με V_a (*actual volume*). Καθότι οι υδρομετρητές, όπως και κάθε φυσική μετρητική διάταξη, έχουν πάντοτε κάποιο σφάλμα μέτρησης, ο όγκος νερού που το όργανο μετρά λέγεται *καταγραφόμενος όγκος*, και θα συμβολίζουμε με V_i (*indicated volume*).

Η τιμή του καταγραφόμενου όγκου αποκλίνει από τον πραγματικά διερχόμενο όγκο, και είναι είτε μεγαλύτερη είτε μικρότερη του πραγματικού όγκου. Η διαφορά αυτή των τιμών, πραγματικού από μετρούμενου όγκου, $V_i - V_a$, είναι το *σφάλμα* μέτρησης του οργάνου. Εάν εκφράσουμε το σφάλμα αυτό ως κλάσμα του πραγματικού όγκου τότε αναφερόμαστε σε *σχετικό σφάλμα* του οργάνου.

Παραδείγματος χάριν:

Έστω, σε κάποια κατάσταση λειτουργίας, ένα υδρομέτρο έχει την ένδειξη των $85,618 \text{ m}^3$. Έστω, επίσης, ότι στα επόμενα 3 λεπτά ρέουν διαμέσω του οργάνου 150 l νερού. (Υπενθυμίζουμε ότι ένα κυβικό μέτρο νερού ισοδυναμεί με χίλια λίτρα νερού, ή $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ l}$) Έστω, τέλος, ότι η ένδειξη που έχει έπειτα το όργανο είναι $85,765 \text{ m}^3$.

Για το συγκεκριμένο αυτό υδρομετρητή γνωρίζουμε πλέον τα εξής:

Πραγματικός όγκος νερού : $V_a = 150 \text{ l}$

Πραγματική παροχή νερού : $\frac{\text{Διερχόμενος όγκος νερού}}{\text{Χρόνος που απαιτήθηκε}} = \frac{150 \text{ l}}{3 \text{ min}} = \frac{150 \text{ l}}{0,05 \text{ h}} = 3000 \text{ l/h}$

Καταγραφόμενος όγκος : $V_i = 85,765 \text{ m}^3 - 85,618 \text{ m}^3 = 0,147 \text{ m}^3 = 147 \text{ l}$

Σφάλμα : $V_i - V_a = 147 \text{ l} - 150 \text{ l} = -3 \text{ l}$

Σχετικό Σφάλμα : $\frac{\text{Σφάλμα}}{\text{Πραγματικός όγκος}} = \frac{V_i - V_a}{V_a} = \frac{-3 \text{ l}}{150 \text{ l}} = -0,02 \text{ ή } -2\%$

Δηλαδή, το συγκεκριμένο υδρόμετρο καταγράφει συστηματικά 2% λιγότερο όγκο του πραγματικά διερχόμενου σε παροχή $q = 3000 \text{ l/h}$.

Στην τελευταία φράση του ανωτέρω παραδείγματος βρίσκεται, όπως θα δούμε, ένα από σημαντικότερα και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των υδρομετρητών. Το γεγονός, δηλαδή, ότι δεν παρουσιάζουν σταθερό σφάλμα σε όλο το εύρος λειτουργίας τους – κάτι το οποίο θα διευκόλυνε κατά πολύ τους υπολογισμούς όσο και τις εκτιμήσεις που κάνουν οι εταιρίες ύδρευσης – αλλά ότι το σφάλμα μέτρησης εξαρτάται από την εκάστοτε παροχή στην οποία γίνεται η μέτρηση αυτή. Με άλλα λόγια, το σχετικό σφάλμα του οργάνου μεταβάλλεται με την παροχή στην οποία λειτουργεί.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, πέρα από την πληροφόρηση για θέματα υδρομετρητών και τηλεμετρίας αυτών, επικεντρωνόμαστε στην κατανόηση αυτής ακριβώς της μεταβολής του σχετικού σφάλματος βάσει της στιγμιαίας παροχής, και στους συνεπακόλουθους τρόπους να εκμεταλλευτούμε τη γνώση αυτή υπέρ ορθότερων μετρήσεων.

2.3 Καμπύλη σφάλματος υδρομετρητών

Οι υδρομετρητές βαθμονομούνται για μια συγκεκριμένη ονομαστική παροχή λειτουργίας – έννοια αντίστοιχης σημασίας με την ονομαστική ισχύ για την οποία βαθμονομούνται οι ηλεκτρικές συσκευές. Τα υδρόμετρα κατασκευάζονται, και απαιτούνται να λειτουργούν συνεχόμενα για όλη την αναμενόμενη διάρκεια ζωής τους, χωρίς αστοχίες, και εντός προκαθορισμένων τεχνικών ορίων στη *μόνιμη παροχή* τους Q_p (*permanent flow rate*) ή *ονομαστική παροχή* Q_n (*nominal flow rate*) ή Q_3 όπως αναφέρεται σε διεθνή πρότυπα [10].

Στην πράξη, τα υδρόμετρα σπανίως λειτουργούν στην ονομαστική παροχή τους. Η χρήση τους εκτείνεται σε μια πληθώρα διαφορετικών παροχών στις οποίες οι υδρομετρητές πάλι οφείλουν να συμμορφώνονται με συγκεκριμένες προδιαγραφές.

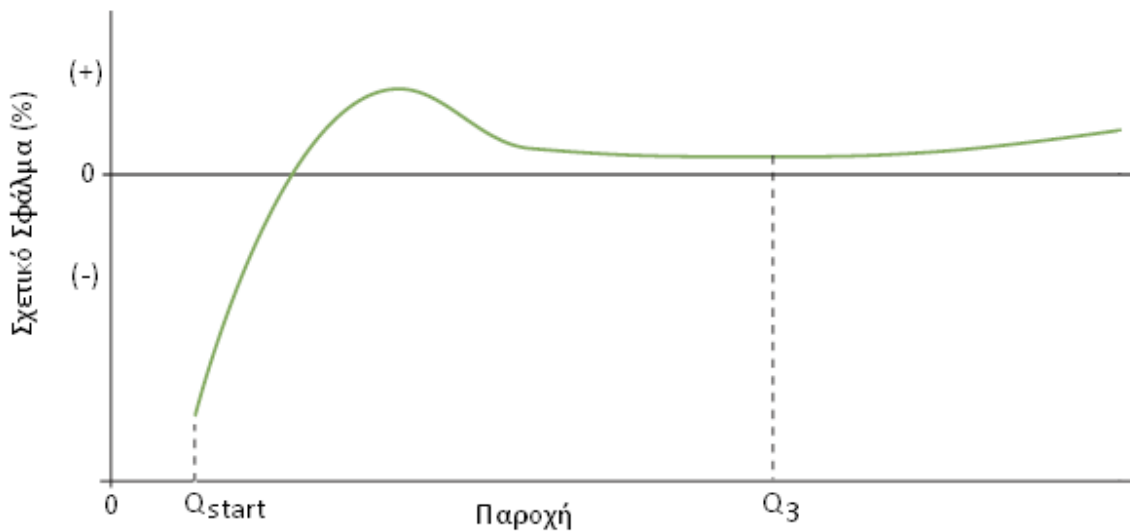
Βάσει του προτύπου ISO 4064 – 1 : 2005 οι υδρομετρητές οφείλουν να έχουν τυποποιημένη διαστασιολόγηση. Στον *πίνακα 2.3-1* φαίνονται οι επιτρεπτές τιμές για την *μόνιμη* ή *ονομαστική παροχή*.

Ονομαστική παροχή Q_3 [m ³ /h]				
1	1,6	2,5	4	6,3
10	16	25	40	63
100	160	250	400	630
1000	1600	2500	4000	6300

πίνακας 2.3-1

Επιτρεπτές ονομαστικές παροχές βάσει προτύπου ISO 4064-1:2005

Για άμεση εποπτεία της μεταβολής του σχετικού σφάλματος του υδρομετρητή χαράσσονται οι λεγόμενες *καμπύλες σφάλματος* του οργάνου. Απεικονίζουν την εξάρτηση του σχετικού σφάλματος συναρτήσει της παροχής διαμέσου του υδρομέτρου [διάγραμμα 2.3-1].



διάγραμμα 2.3-1

Παράδειγμα τυπικής καμπύλης σφάλματος υδρομετρητή

Παρατηρούμε ότι η καμπύλη δεν υφίσταται για αυθαίρετα μικρές παροχές. Αντιθέτως υπάρχει μια κατώτατη παροχή Q_{start} από την οποία και έπειτα ο υδρομετρητής μπορεί να λειτουργεί. Αυτό συμβαίνει λόγω της αδράνειας που παρουσιάζουν τα μηχανικά μέρη του οργάνου, και δη ο αισθητήρας του νερού. Για πολύ μικρές παροχές, μικρότερες της Q_{start} του συγκεκριμένου οργάνου, το διερχόμενο νερό δε μπορεί να ασκήσει αρκετά υψηλές δυνάμεις ώστε να υπερνικήσει τις δυνάμεις τριβής, κι έτσι ο αισθητήρας δεν ενεργοποιείται και η παροχή αυτή δε μπορεί να καταγραφεί.

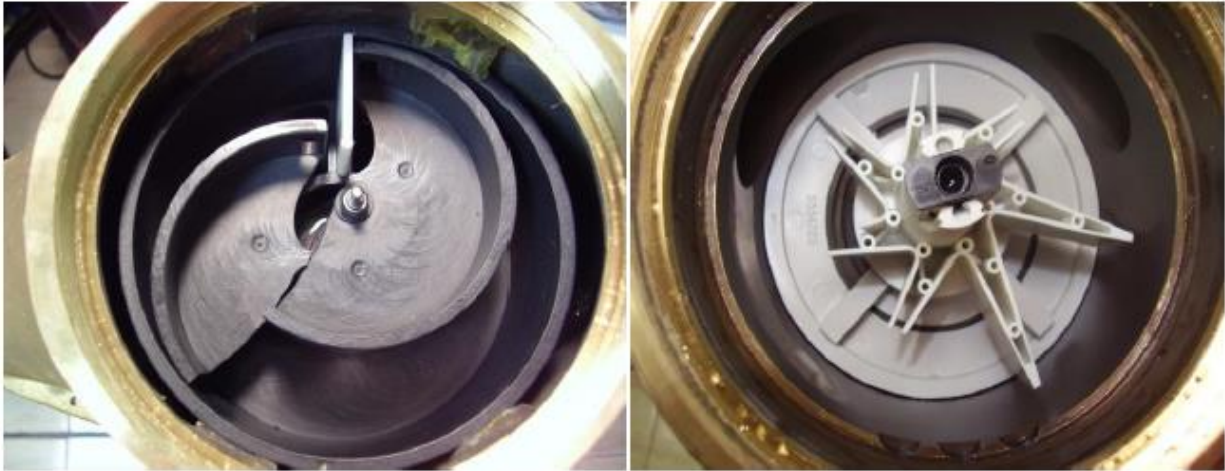
Είναι επιθυμητό η παροχή εκκίνησης του υδρομετρητή να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Καθ'αυτόν τον τρόπο, παροχές που είναι πολύ μικρές –

μάλιστα μικρότερες από οποιαδήποτε παροχή αντιστοιχεί σε συνήθη ανθρώπινη δραστηριότητα – θα μπορούν επίσης να καταγράφονται, κι έτσι αφενός να γίνεται η ορθή καταμέτρηση και χρέωση για τη χρήση νερού, αφετέρου, και σημαντικότερα, να γίνονται αντιληπτές τυχόν διαρροές στο δίκτυο του καταναλωτή. Μάλιστα, θα δούμε στη συνέχεια, ότι ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα της τηλεμέτρησης των υδρομετρητών έγκειται στην έγκαιρη ανίχνευση διαρροών, οι οποίες παρουσιάζονται συνήθως ως παροχές πολύ μικρής τιμής και μεγάλης διάρκειας.

Τα τμήματα της καμπύλης που αντιστοιχούν σε αρνητικό σχετικό σφάλμα αντιστοιχούν σε παροχές κατά τις οποίες το υδρόμετρο καταγράφει όγκο μικρότερο του πραγματικού, ενώ στα τμήματα που αντιστοιχούν σε θετικό σχετικό σφάλμα πρόκειται για καταγραφή διερχόμενου όγκου νερού μεγαλύτερο από τον πραγματικό. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε απώλεια εσόδων για την εταιρεία ύδρευσης, ενώ στη δεύτερη έχουμε υπερχρέωση στον καταναλωτή. Αντιλαμβανόμαστε, λοιπόν, ότι το επιθυμητό είναι εκείνο το υδρόμετρο που θα παρουσιάζει σχετικό σφάλμα όσο το δυνατόν πιο κοντά στο μηδενικό.

Όπως μπορούμε να δούμε στην καμπύλη σφάλματος, ο υδρομετρητής μπορεί να λειτουργήσει και σε παροχές μεγαλύτερες από την ονομαστική (Q_3). Ωστόσο, όπως και κάθε τίμη μηχανικό, η παροχή δε μπορεί να αυξάνεται επ'αόριστον διότι θα προκληθεί βλάβη στο μετρητή με αποτέλεσμα να αλλοιωθούν οι επιδόσεις του οργάνου, ή ακόμα και να καταστραφεί.

Ως εκ τούτου, υπάρχει μια ανώτερη παροχή, η λεγόμενη *παροχή υπερφόρτισης* Q_4 (*overload flow rate*), ή Q_4 στους κανονισμούς, πάνω από την οποία εάν λειτουργήσει ο υδρομετρητής, ακόμη και για ελάχιστο χρονικό διάστημα, θα προκληθεί μόνιμη βλάβη σε αυτόν [*εικόνα 2.3-1*].



εικόνα 2.3-1

*Κατεστραμμένο ογκομετρικό (αριστερά) και
ταχυμετρικό (δεξιά) υδρόμετρο [13]*

Στην περιοχή υπερφόρτισης, δηλαδή για παροχές μεγαλύτερες της ονομαστικής Q_3 αλλά μικρότερες της Q_4 , ο υδρομετρητής απαιτείται να μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά για μικρό χρονικό διάστημα δίχως να υπόκειται σε μόνιμη βλάβη ή οποιαδήποτε αλλοίωση στα χαρακτηριστικά του γενικότερα.

Βάση της ευρωπαϊκής οδηγίας, η παροχή υπερφόρτισης ορίζεται συναρτήσει της ονομαστικής παροχής – και όχι μέσω του πειραματικού προσδιορισμού της. Συνεπώς, δεν είναι απόλυτα σίγουρο ότι θα προκληθεί βλάβη εάν ο υδρομετρητής υπερβεί την υπολογισμένη παροχή υπερφόρτισης, ωστόσο είναι υπ'ευθύνη του διαχειριστή υδροδότησης να αποτρέψει τους υδρομετρητές να υπερβούν την παροχή Q_4 .

Συγκεκριμένα, ορίζεται: $Q_4 = 1,25 * Q_3$

Δηλαδή, θεωρείται ότι το υδρόμετρο οφείλει να λειτουργήσει εντός προδιαγραφών για παροχές έως και 25% πάνω από την ονομαστική τους δίχως να δημιουργηθούν προβλήματα.

Η προτυποποίηση στην κατασκευή και λειτουργία των υδρομετρητών απαιτεί κάποια καθ'ελάχιστον τεχνικά χαρακτηριστικά για την εξασφάλιση ποιοτικών οργάνων. Για το λόγο αυτό, ορίζονται οι ζώνες του *μέγιστου επιτρεπόμενου σφάλματος (ΜΕΣ) (maximum permissible error – MPE)* εντός των οποίων πρέπει να βρίσκεται η καμπύλη σφάλματος του οργάνου.

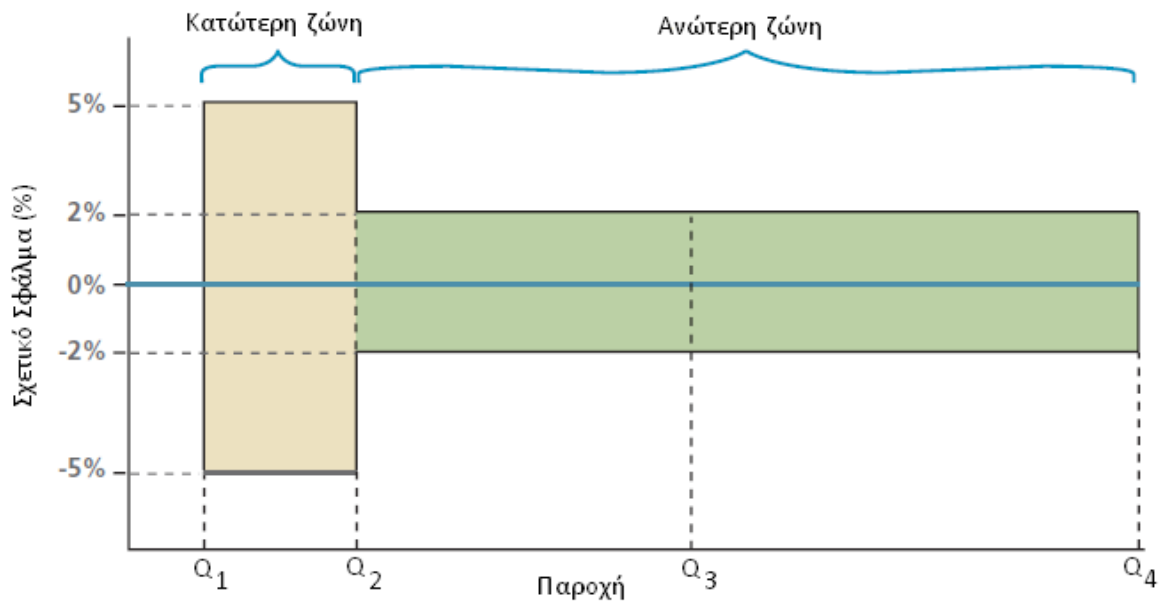
Ειδικότερα, στην πλευρά των χαμηλών παροχών, ορίζεται μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα, θετικό ή αρνητικό, εκείνο του 5%. Με αυτόν τον τρόπο, ορίζεται, πλέον, η *ελάχιστη παροχή Q_{min} (minimum flow rate)* ή Q_1 , ως η κατώτερη παροχή από την οποία και έπειτα το υδρόμετρο λειτουργεί εντός του μέγιστου επιτρεπόμενου σφάλματος του 5%.

Να τονίσουμε ότι η ελάχιστη παροχή Q_1 δεν ταυτίζεται με την παροχή έναρξης καταγραφής Q_{start} .

Η ευρωπαϊκή οδηγία διαχωρίζει το εύρος λειτουργίας του οργάνου σε δύο ζώνες λειτουργίας, την ανώτερη και την κατώτερη. Κάθε ζώνη έχει το δικό της μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα. Είδαμε ότι για την κατώτερη ζώνη αυτό είναι 5%. Για την ανώτερη ζώνη ορίζεται μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα το 2% (για νερό θερμοκρασίας μικρότερη ή ίση των 30 °C, και το 3% για μεγαλύτερες θερμοκρασίες). Η παροχή εκείνη στην οποία διαχωρίζονται οι δύο ζώνες λέγεται *μεταβατική παροχή Q_t (transitional flow rate)* ή Q_2 . Η μεταβατική παροχή Q_2 ορίζεται έμμεσα, βάση της ελάχιστης παροχής Q_1 .

Συγκεκριμένα: $Q_2 = 1,6 * Q_1$

Σχηματικά, επομένως, μπορούμε να δούμε τις δύο ζώνες λειτουργίας και τη σχέση τους με τις τυπικές παροχές που αναφέραμε προηγουμένως επάνω στην καμπύλη σφάλματος του υδρομέτρου [διάγραμμα 2.3-2].



διάγραμμα 2.3-2

Τα όρια των μέγιστων επιτρεπόμενων σχετικών σφαλμάτων των υδρομέτρων στις δύο ζώνες παροχών λειτουργίας.

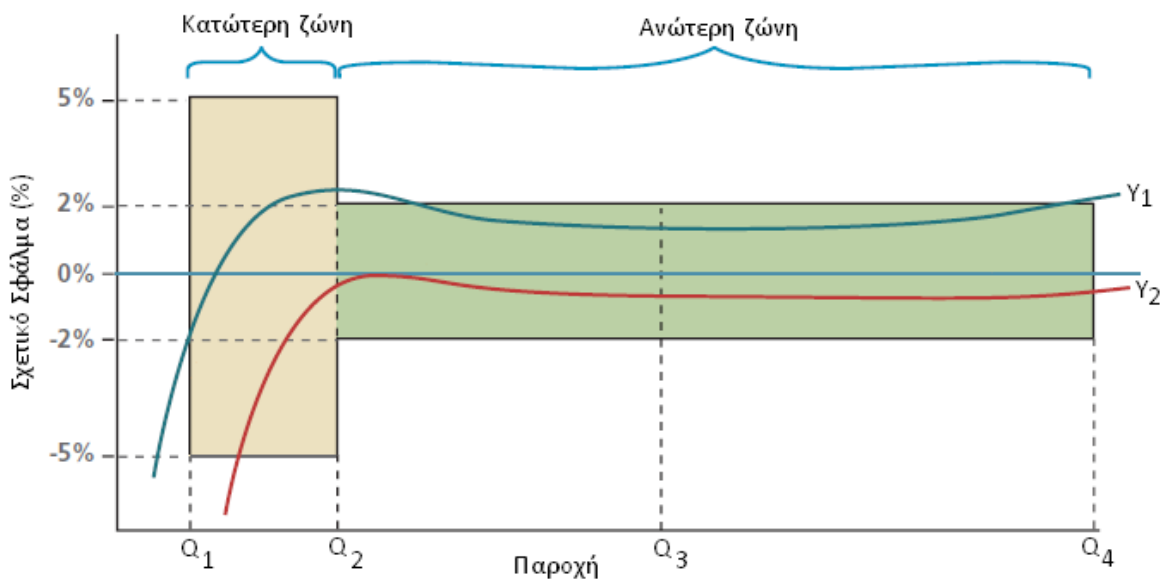
Στο διάγραμμα 2.3-3 δείχνονται οι καμπύλες σφάλματος δύο υδρομετρητών ίδιας ονομαστικής παροχής Q_3 οι οποίοι δεν ανταποκρίνονται στους κανονισμούς, και ως εκ τούτου δεν επιτρέπεται να εγκατασταθούν στο δίκτυο των καταναλωτών.

Συγκεκριμένα, το υδρόμετρο γ_1 απορρίπτεται διότι για παροχές λίγο μεγαλύτερες της μεταβατικής τού, Q_2 , παρουσιάζει σφάλμα μεγαλύτερο του μέγιστου επιτρεπόμενου για την ανώτερη ζώνη (2%), και επίσης διότι το

σφάλμα του υπερβαίνει το μέγιστο επιτρεπτό προτού υπερβεί την παροχή υπερφόρτισης Q_4 .

Το υδρόμετρο γ_2 απορρίπτεται διότι η πραγματική ελάχιστη παροχή που παρουσιάζει είναι μεγαλύτερη της προβλεπόμενης ελάχιστης παροχής Q_1 που θα αντιστοιχούσε σε ένα υδρομετρητή της συγκεκριμένης ονομαστικής παροχής Q_3 . Υπενθυμίζεται ότι η ελάχιστη αποδεκτή Q_1 οφείλει να είναι τουλάχιστον υποδεκαπλάσια της ονομαστικής παροχής Q_3 .

Με άλλα λόγια, η καμπύλη σφάλματος του υδρόμετρου οφείλει να υπακούει (σχηματικά να περικλείεται) στα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια σχετικού σφάλματος για το όλο το εύρος λειτουργίας του.

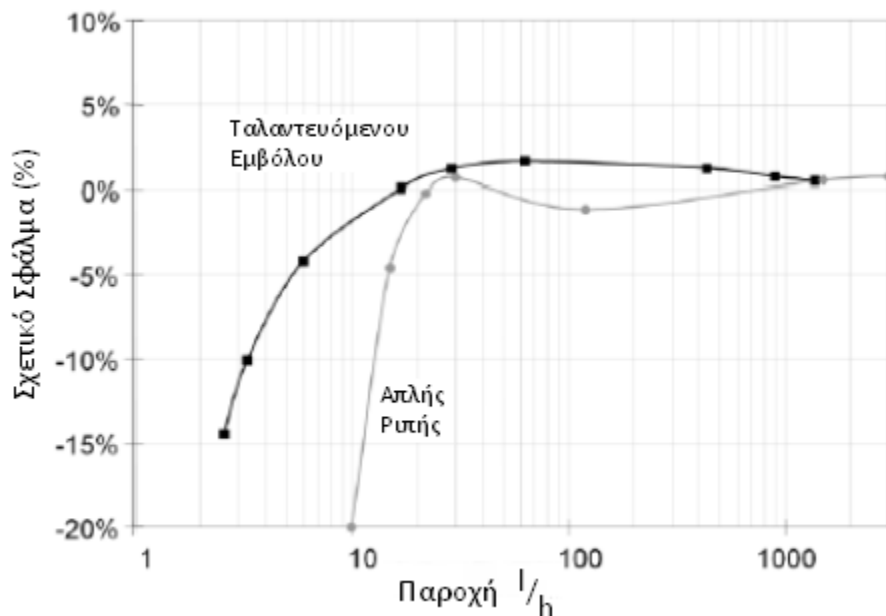


διάγραμμα 2.3-3

Δύο παραδείγματα μη αποδεκτών καμπυλών σφάλματος

Όταν, λοιπόν, σε επόμενη ενότητα θα αναφέρουμε ότι τα ογκομετρικά υδρόμετρα είναι πιο ευαίσθητα στις χαμηλές παροχές σε σχέση με τα ταχυμετρικά, μέσω των καμπυλών σφάλματος είναι εύκολο να επικοινωνήσουμε το δεδομένο αυτό. Η αμεσότητα με την οποία γίνεται η πληροφορία αυτή άμεσα αντιληπτή φαίνεται στο *διάγραμμα 2.3-4* όπου παρουσιάζονται οι καμπύλες σφάλματος δύο τυπικών υδρομετρητών στους ίδιους άξονες (το υδρόμετρο ταλαντευόμενου εμβόλου ανήκει στην οικογένεια των ογκομετρικών, ενώ το απλής ριπής ανήκει στην οικογένεια των ταχυμετρικών υδρομέτρων).

Με απλή εποπτεία του διαγράμματος, πληροφορούμαστε ότι το συγκεκριμένο ογκομετρικό υδρόμετρο έχει χαμηλότερη παροχή εκκίνησης από το αντίστοιχο ταχυμετρικό. Ειδικότερα, δύναται να καταγράψει από την παροχή των 3 l/h , ενώ το ταχυμετρικό από παροχές των 10 l/h και έπειτα.



διάγραμμα 2.3-4

Σύγκριση καμπυλών σφάλματος ενός ογκομετρικού και ενός ταχυμετρικού υδρομέτρου ίδιας ονομαστικής παροχής [14]

2.4 Μετρολογικές κλάσεις υδρομετρητών

Βάσει του παλαιότερου προτύπου ISO 4064:1993, οι υδρομετρητές κατηγοριοποιούνται σε μετρολογικές κλάσεις ανάλογα με την μετρητική τους απόδοση. Οι μετρητές που εγκαθιστώνται από το έτος 2006 και μετά συμμορφώνονται με τη μεταγενέστερη ευρωπαϊκή οδηγία 2004/22/ΕΚ. Ωστόσο, οι οδηγίες έχουν ισχύ έως και δέκα έτη μετά τη λήξη τους. Έτσι, για τουλάχιστον έως το έτος 2016 θα υπάρχουν στο δίκτυο ύδρευσης μετρητές που υπακούν σε παλαιότερους κανονισμούς. Θεωρητικά, μετά το πέρας της δεκαετίας από τη λήξη των προγενέστερων προτύπων και οδηγιών, τα υδρόμετρα εκείνα που δεν ικανοποιούν τις ισχύουσες προδιαγραφές θα πρέπει να αντικατασταθούν, ή να έχουν ήδη αντικατασταθεί. Αυτό, όμως, δε σημαίνει ότι εφαρμόζεται κατ'ανάγκη στην πράξη, αφού η αλλαγή παλαιών με νέους υδρομετρητές συνεπάγεται μεγάλα έξοδα για τις εταιρείες. Μάλιστα, η εύρεση της οικονομικά συμφερότερης συχνότητας αντικατάστασης υδρομέτρων αποτελεί ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει μια εταιρεία ύδρευσης [14].

Από τη μετρολογική κλάση του οργάνου, επομένως, αποκτούμε άμεσα μια εικόνα για την ποιότητα που το χαρακτηρίζει.

Τυπικά ορίζονται τέσσερις μετρολογικές κλάσεις, A,B,C,D, με την κλάση A να έχει τη χειρότερη απόδοση και την κλάση D να έχει την καλύτερη. Για όλες τις κλάσεις ισχύουν οι ίδιες απαιτήσεις σχετικά με το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα για τις δύο ζώνες λειτουργίας των υδρομετρητών. Αυτό, λοιπόν, που διαχωρίζει τις κλάσεις μεταξύ τους είναι η σχέση της ελάχιστης παροχής Q_1 , άρα και της μεταβατικής παροχής Q_2 , σε σχέση με την ονομαστική παροχή Q_3 του μετρητή.

Οι απαιτήσεις για τις μέγιστες επιτρεπτές ελάχιστες και μεταβατικές παροχές όσον αφορά υδρομετρητές με ονομαστική παροχή έως $15 \text{ m}^3/\text{h}$ ή 15000 l/h φαίνονται στον πίνακα 2.4-1, ενώ για μεγαλύτερες ονομαστικές παροχές φαίνονται στον πίνακα 2.4-2.

Μετρολογική Κλάση	Ελάχιστη Παροχή (Q1)	Μεταβατική Παροχή (Q2)
A	0,04 Q ₃	0,10 Q ₃
B	0,02 Q ₃	0,08 Q ₃
C	0,01 Q ₃	0,015 Q ₃
D	0,0075 Q ₃	0,0115 Q ₃

πίνακας 2.4-1

*Μετρολογικές κλάσεις που ορίζει το πρότυπο
ISO 4064:1993, για ονομαστικές παροχές έως $15 \text{ m}^3/\text{h}$*

Μετρολογική Κλάση	Ελάχιστη Παροχή (Q1)	Μεταβατική Παροχή (Q2)
A	0,08 Q ₃	0,30 Q ₃
B	0,03 Q ₃	0,20 Q ₃
C	0,006 Q ₃	0,015 Q ₃

πίνακας 2.4-2

*Μετρολογικές κλάσεις που ορίζει το πρότυπο
ISO 4064:1993, για ονομαστικές παροχές άνω των $15 \text{ m}^3/\text{h}$*

Τα νέα διεθνή πρότυπα, όπως και η ισχύουσα ευρωπαϊκή οδηγία 2004/22/ΕΚ, ακολουθούν διαφορετική μέθοδο για τον προσδιορισμό των μετρολογικών κλάσεων. Συγκεκριμένα, η μόνιμη (ή ονομαστική) παροχή Q_3 προσδιορίζεται πρώτη (όπως αναγράφεται στον πίνακα 2.3-1 της ενότητας 2.3), και κατόπιν, η ελάχιστη παροχή Q_1 καθορίζεται έτσι ώστε να ισχύει κάποιος από τους προκαθορισμένους αποδεκτούς λόγους Q_3/Q_1 (πίνακας 2.4-3) καθώς και υποπολλαπλάσια και πολλαπλάσια του 10 (για παράδειγμα οι λόγοι 16 και 160, νομιμοποιούν επίσης τη χρήση λόγων 1,6 , 1600, κ.ο.κ)

Λόγος Q_3/Q_1				
10	12,5	16	20	25
31,5	40	50	63	80
100	125	160	200	250
315	400	500	630	800

πίνακας 2.4-3
Αποδεκτές τιμές του λόγου παροχών Q_3/Q_1

Ο λόγος αυτός καθορίζει και το εύρος ακρίβειας του υδρομέτρου, και συνήθως συμβολίζεται με το γράμμα R . Έτσι, ένας μετρητής με λόγο $R \equiv Q_3/Q_1 = 125$ χαρακτηρίζεται ως υδρόμετρο $R 125$.

Αρκούν, επομένως, οι παράμετροι Q_3 και R , για να αποδώσουμε εν συντομία τη διαστασιολόγηση του εκάστοτε υδρομετρητή, αφού μέσω αυτών, και μέσω των σχέσεων των Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 μπορούν να βρεθούν όλες οι κύριες παροχές ενδιαφέροντος.

Συνοψίζοντας, δοθέντων των Q_3 και R εξάγουμε τα εξής:

- Q_3 (δίνεται)
- $Q_1 = Q_3/R$ (όπου το R δίνεται)
- $Q_2 = 1,6 * Q_1$
- $Q_4 = 1,25 * Q_3$

Πλέον, καθορίζονται δύο μετρολογικές κλάσεις, η κλάση 1 και 2, βάσει του μέγιστου επιτρεπόμενου σφάλματος μόνον. Η κλάση 1 έχει τις υψηλότερες απαιτήσεις ακριβείας, με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα αυτό του 3% για τη χαμηλή ζώνη παροχών, και 1% για την υψηλή ζώνη. Η κλάση 2 έχει χαμηλότερες απαιτήσεις ακριβείας, με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα χαμηλής ζώνης το 5% ενώ για υψηλή ζώνη το 2% (πίνακας 2.4-4). Να σημειώσουμε ότι ένα υδρόμετρο μόνιμης παροχής άνω των 100 m³/h μπορεί να ανήκει στη δεύτερη κλάση. Όμως τα υδρόμετρα μόνιμης παροχής κάτω των 100 m³/h ανήκουν υποχρεωτικά μόνο στη δεύτερη μετρολογική κλάση.

Μετρολογική Κλάση	Ισχύει για	Μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα	
		χαμηλής ζώνης	υψηλής ζώνης
1	$Q_3 \geq 100 \text{ m}^3/\text{h}$	3%	1%
2	$Q_3 < 100 \text{ m}^3/\text{h}$	5%	2%

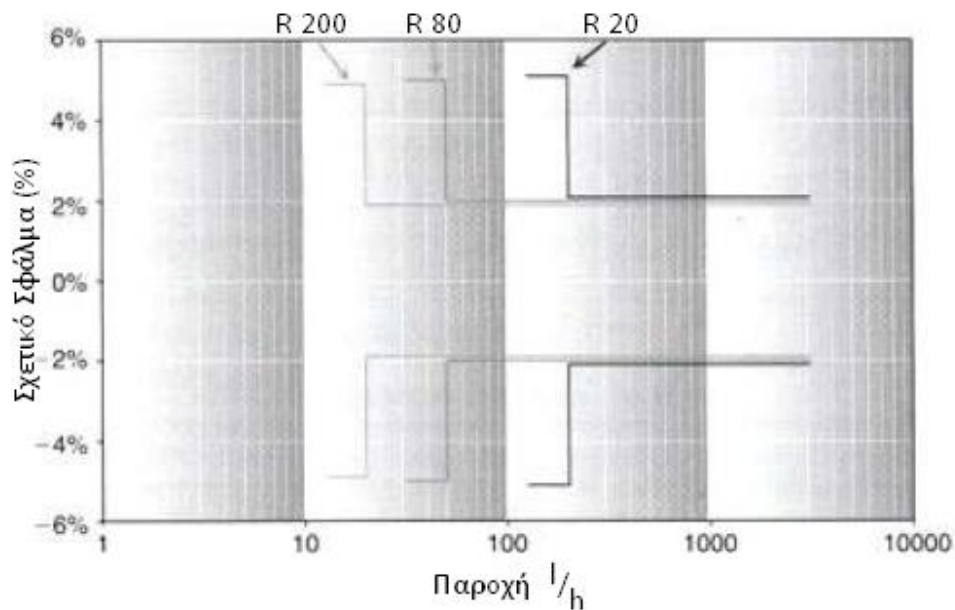
πίνακας 2.4-4

Καθορισμός μετρολογικών κλάσεων (έτος 2006 και μετά)

Μάλιστα, ο λόγος R , μαζί με τον αυστηρά προκαθορισμένο τρόπο που συνδέονται τα Q_i μεταξύ τους, είναι ένα άμεσο μέτρο της ευαισθησίας ή ακρίβειας ή ποιότητας ενός υδρομέτρου.

Παρότι είναι διαφορετικός ο τρόπος περιγραφής της μετρητικής ποιότητας ενός υδρομετρητή βάσει της παλαιότερης κατηγοριοποίησης σε μετρολογικές κλάσεις, για να αποκτήσουμε μια αίσθηση της αντιστοιχίας σημειώνουμε ότι *Παλαιά Κλάση B* $\sim R 80$, και *Παλαιά Κλάση C* $\sim R 200$.

Στο *διάγραμμα 2.4-1* φαίνεται ότι όσο μεγαλώνει το R τόσο οι περιοχές ανώτερης και κατώτερης ζώνης μετακινούνται προς χαμηλότερες παροχές – για τον ίδιο μετρητή παροχής $Q_3 = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Του προσδίδει, επομένως, καλύτερη μετρητική συμπεριφορά, αφού μπορεί αφενός να ανιχνεύει όλο και μικρότερες παροχές, αφετέρου να εισέρχεται στην περιοχή χαμηλού επιτρεπόμενου σφάλματος από μικρότερες παροχές.



διάγραμμα 2.4-1

Μεταβολή των περιοχών μέγιστων επιτρεπόμενων σφαλμάτων λόγω μεταβολής του παράγοντα R [15]

2.5 Τύποι υδρομετρητών

Ο μηχανισμός που χαρακτηρίζει τον τύπο του υδρομετρητή είναι ο αισθητήρας του. Ο τρόπος, δηλαδή, με τον οποίο αλληλεπιδρά με το διερχόμενο όγκο νερού. Τα *μηχανικά* (*mechanical*) υδρόμετρα έχουν κινητά μέρη για να ανιχνεύουν τη ροή του νερού, όπως έμβολα ή φτερωτές, και αποτελούν την πλειοψηφία των εγκατεστημένων υδρομετρητών. Αντιθέτως, τα *ηλεκτρομαγνητικά* (*electromagnetic*) και τα *υπερηχητικά* (*ultrasonic*) υδρόμετρα δε χρησιμοποιούν κινούμενα μέρη αλλά ανιχνεύουν τη ροή βασιζόμενα σε ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα και υπερηχητικά κύματα αντίστοιχα.

Τα μηχανικά υδρόμετρα κατηγοριοποιούνται σε *ογκομετρικά* (*volumetric*), *ταχυμετρικά* (*velocity*), και *συνδυαστικά/σύνθετα* (*combination/compound*). Τα ογκομετρικά υδρόμετρα βασίζονται στην άμεση μέτρηση του διερχόμενου όγκου νερού διαμέσου τους. Τα ταχυμετρικά μετράνε έμμεσα το διερχόμενο όγκο νερού βασιζόμενα στην ταχύτητα με την οποία ρέει το νερό. Τα σύνθετα υδρόμετρα χρησιμοποιούν περισσότερους μηχανισμούς του ενός για τη μέτρηση, και απαρτίζονται από δυο υδρομετρητές διαφορετικής διαμέτρου οι οποίοι συνδυάζονται για να δώσουν ακριβέστερες μετρήσεις σε ένα πολύ μεγάλο εύρος παροχών.

Εν συνεχεία, θα εξετάσουμε αναλυτικότερα τους κύριους τύπους υδρομετρητών που συναντώνται:

2.5.1 Υδρόμετρα περιστρεφόμενου εμβόλου (rotary piston)

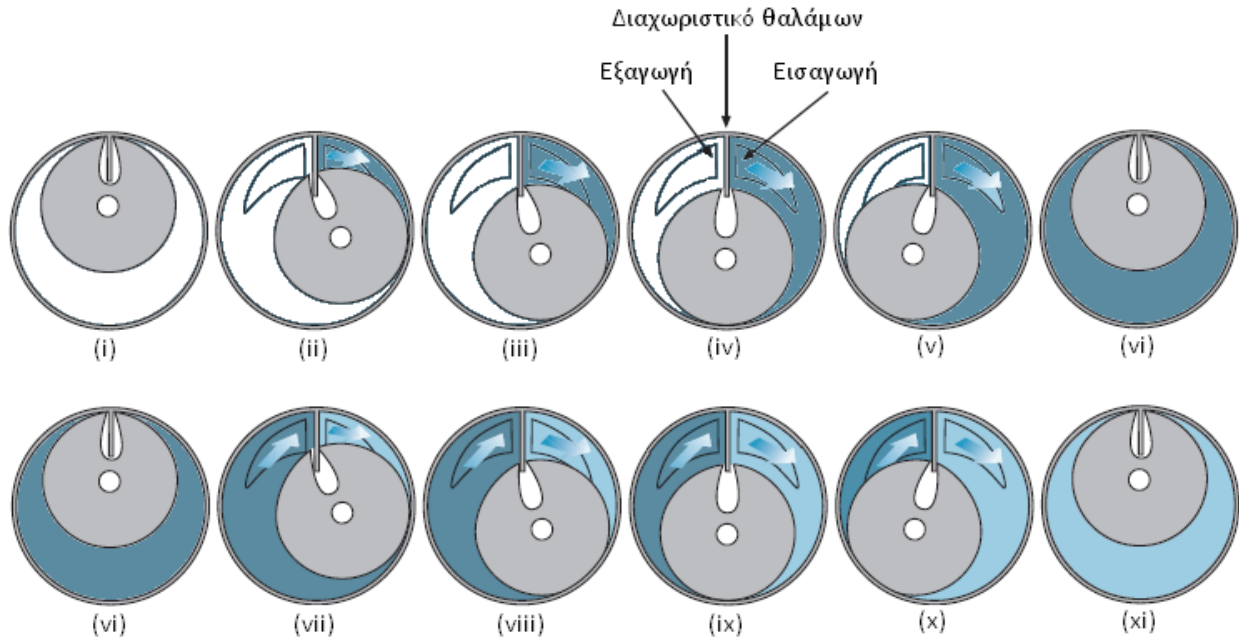
Ανήκουν στην οικογένεια των μηχανικών υδρομέτρων, και δη στα ογκομετρικά. Πρόκειται για υδρόμετρα *θετικής μετατοπίσεως* (*positive displacement*) που χρησιμοποιούν ένα περιστρεφόμενο κυλινδρικό έμβολο [εικόνα 2.5.1-1] για να καταμετρούν διακριτές ποσότητες νερού καθώς αυτό ρέει διαμέσω του μετρητή.

Στην *εικόνα 2.5.1-2* φαίνεται η διαδικασία περιστροφής του εμβόλου. Συγκεκριμένα, το νερό για να περάσει μέσα από το μετρητή υποχρεώνεται να γεμίσει πρώτα ένα θάλαμο γνωστού όγκου και στη συνέχεια να εξέλθει από τον υδρομετρητή, έχοντας κατά τη διάρκεια προκαλέσει την μετακίνηση του εμβόλου η οποία και καταγράφεται.



εικόνα 2.5.1-1

Περιστρεφόμενο έμβολο υδρομέτρου



εικόνα 2.5.1-2

Στιγμιότυπα από τη διέλευση του νερού μέσω υδρομετρητή περιστρεφόμενου εμβόλου

Το έμβολο περιστρέφεται έκκεντρα και, όπως βλέπουμε και στην εικόνα, κάθε στιγμή ο θάλαμος του υδρομετρητή χωρίζεται σε δύο διαμερίσματα που μεταβάλλουν τον όγκο τους (όσο μεγαλώνει το ένα μικραίνει το άλλο) καθώς πραγματοποιείται η περιστροφή. Στα στιγμιότυπα (i) έως (vi) βλέπουμε με το πιο σκούρο χρώμα τη διακριτή ποσότητα νερού που εισέρχεται στο θάλαμο του υδρομετρητή, και στις φάσεις (vi) έως (xi) η ίδια αυτή ποσότητα εξέρχεται από το θάλαμο. Καθ'αυτή την έννοια, κάθε περιστροφή του εμβόλου αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο όγκο νερού που διασχίζει το υδρόμετρο. Συνεπώς, αρκεί η απαρίθμηση των περιστροφών του εμβόλου για να γνωρίζουμε τον καταναλισκόμενο όγκο νερού.

Τα υδρόμετρα περιστρεφόμενου εμβόλου είναι ευπαθή από αιωρούμενα σωματίδια στο νερό διότι μπορούν να σφηνώσουν μεταξύ του εμβόλου και

του διαχωριστικού των θαλάμων μπλοκάροντας το μετρητή. Για το λόγο αυτό συνοδεύονται υποχρεωτικά από φίλτρο ανάντι και κατάντι του οργάνου, για την παρακράτηση των σωματιδίων.

Προσοχή χρειάζεται, ακόμη, στην αφαίρεση του αέρα που μπορεί να διακινηθεί στο δίκτυο ύδρευσης. Εάν περάσει αέρας μέσα από το όργανο, τότε λόγω αυξημένων τριβών υπάρχει έντονη καταπόνηση των μηχανικών μερών, και η διάρκεια αποτελεσματικής λειτουργίας του μετρητή μειώνεται. Συνίσταται, επομένως, η τοποθέτηση βαλβίδων ανάντι του μετρητή, και μάλιστα σε θέση ανυψωμένη, για την απομάκρυνση τυχόν ποσοτήτων αέρα που διακινούνται εντός των σωληνώσεων.

Έχουν πολύ καλή ακρίβεια μετρήσεων, και είναι τα μόνα υδρόμετρα οικιακής χρήσης που μπορούν να ενταχθούν στη μετρολογική κλάση D. Είναι πολύ ικανά στην ανίχνευση χαμηλών παροχών, άρα και διαρροών. Επίσης, έχουν το μεγάλο πλεονέκτημα να μένουν ανεπηρέαστα από την κλίση τοποθέτησής τους, διότι λόγω του τρόπου λειτουργίας τους δεν επηρεάζονται από το προφίλ της ταχύτητας του νερού.

Με το γήρας του οργάνου σταδιακά χάνεται η μόνωση μεταξύ των διαμερισμάτων του θαλάμου. Δηλαδή, κάποια ποσότητα νερού τελικώς παρακάμπτει την προβλεπόμενη διαδρομή εντός της διάταξης εμβόλου-θαλάμου-διαχωριστικού και έτσι περνά από το υδρόμετρο χωρίς να μετρηθεί. Συνεπώς, αναλόγως της παλαιότητας του οργάνου, οι υδρομετρητές αυτοί τείνουν να καταγράφουν διερχόμενους όγκους νερού μικρότερους των πραγματικών. Με τη γήρανση, επομένως, παρουσιάζουν αυξημένο αρνητικό σφάλμα μετρήσεων.

Αξίζει να αναφέρουμε, τέλος, το γεγονός ότι τα ογκομετρικά υδρόμετρα δεν έχουν κανένα πρόβλημα στην καταγραφή ροής νερού αντίστροφης φοράς της κανονικής. Το γεγονός ότι καταμετρούν διακριτές ποσότητες νερού σημαίνει ότι η ακρίβειά τους παραμένει ίδια τόσο στην κανονική όσο και στην αντίστροφη ροή.

Στον πίνακα 2.5.1-1 φαίνονται παραδείγματα τυπικών ογκομετρικών υδρομετρητών περιστρεφόμενου εμβόλου.

Μετρολογική Κλάση	Διάμετρος (mm)	Q _{start} (l/h)	Q ₁ (l/h)	Q ₂ (l/h)	Q ₃ (m ³ /h)	Q ₄ (m ³ /h)
C	15	1	10	15	1	2
C	15	3	15	22,5	1,5	3
C	20	4	25	37,5	2,5	5
C	25	6	35	52,5	3,5	7
C	30	11	50	75	5	10
C	40	18	100	150	10	20
D	15	3	7,5	11,5	1	2
D	20	6	18,75	28,75	2,5	5

πίνακας 2.5.1-1

Χαρακτηριστικές παροχές τυπικών υδρομέτρων περιστρεφόμενου εμβόλου [12]

Όπως παρατηρούμε και από τον πίνακα, τα ογκομετρικά υδρόμετρα παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στην ανίχνευση και καταγραφή χαμηλών παροχών (παροχή εκκίνησης μόλις από 1 l/h).

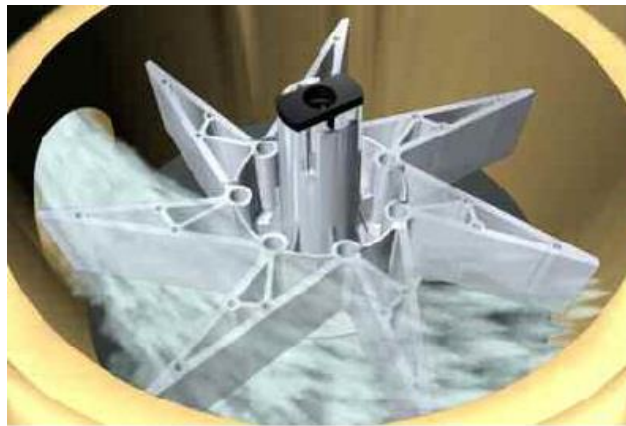
Συγκεντρωτικές πληροφορίες για υδρόμετρα περιστρεφόμενου εμβόλου:

- Αξιόπιστα.
- Πολυετής χρησιμοποίησή τους.
- Χαμηλή ευαισθησία στο προφίλ ταχύτητας νερού.
- Πρακτικά ανεπηρέαστα από την κλίση τοποθέτησης.

- Υψηλή ευαισθησία στις χαμηλές παροχές.
- Παρουσιάζουν αρνητικό σχετικό σφάλμα (καταγραφή μικρότερου όγκου από τον πραγματικό). Ως συνέπεια, αποφεύγονται προστριβές με τους καταναλωτές για περιπτώσεις υπερχρεώσεων, αλλά η εταιρεία ύδρευσης εισπράττει λιγότερα έσοδα από αυτά που της αναλογούν.
- Δεν απαιτούν μεγάλο χώρο για την εγκατάστασή τους.
- Επηρεάζονται από αιωρούμενα στερεά στο νερό.
- Θορυβώδη κατά τη λειτουργία σε υψηλές παροχές (συχνά αδιάφορος παράγοντας αφού οι υδρομετρητές κατά κύριο λόγο δεν τοποθετούνται σε σημεία όπου παρευρίσκονται άνθρωποι).
- Βαρύτερα και μεγαλύτερων διαστάσεων από άλλους τύπου υδρομέτρων (όπως μονής ριπής), που συνεπάγεται αυξημένο κόστος έναντι των εναλλακτικών επιλογών.

2.5.2 Υδρόμετρα μονής ριπής (*single jet*)

Ανήκουν στην οικογένεια των μηχανικών υδρομέτρων, και δη στα ταχυμετρικά ακτινωτής φτερωτής (*radial vane*). Ο αισθητήρας τους είναι μια φτερωτή η οποία περιστρέφεται με την πρόσκρουση σε αυτήν ροής ή ριπής νερού [εικόνες 2.5.2-1, 2.5.2-2, 2.5.2-3].



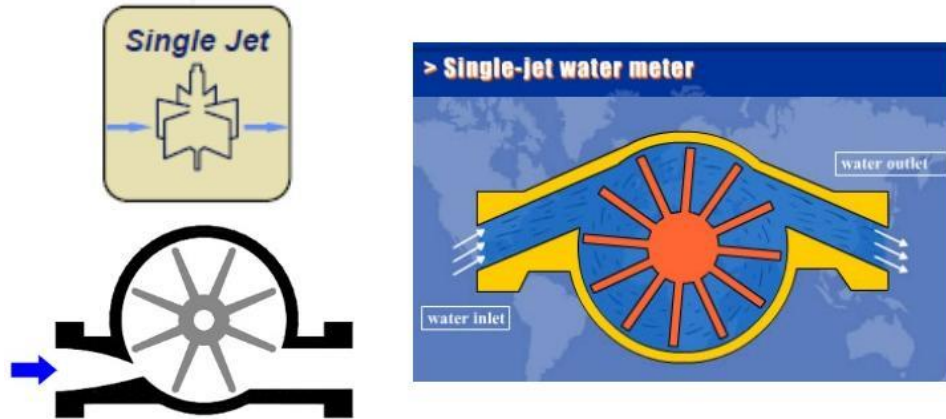
εικόνα 2.5.2-1

Απεικόνιση φτερωτής που στρέφεται λόγω πρόσκρουσης του νερού



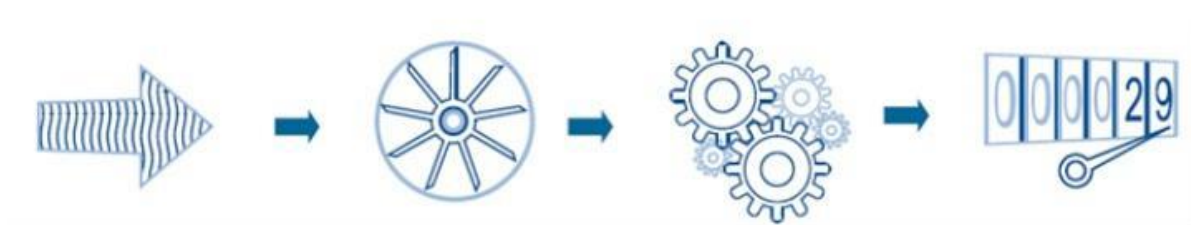
εικόνα 2.5.2-2

Τομή υδρομετρητή απλής ριπής



εικόνα 2.5.2-3

Η περιστροφική ταχύτητα του αισθητήρα εξαρτάται από την ταχύτητα ροής του νερού. Έτσι, διαθέτοντας την πληροφορία της ταχύτητας, σε συνδυασμό με το γνωστό μέγεθος των σωληνώσεων, γνωρίζουμε την παροχή νερού διαμέσου του οργάνου, και κατ' επέκταση τον καταναλισκόμενο όγκο [εικόνα 2.5.2-4].



εικόνα 2.5.2-4

Κρίσιμης σημασίας για την ακρίβεια του οργάνου είναι η πλήρως προκαθορισμένη διαδρομή που πρέπει να ακολουθήσει το νερό, και μάλιστα με το σωστό προφίλ ταχύτητας για την πρόσκρουση στη φτερωτή, ώστε να έχουμε ορθές μετρήσεις.

Στον πίνακα 2.5.2-1 φαίνονται παραδείγματα τυπικών ταχυμετρικών υδρομετρητών μονής ριπής.

Μετρολογική Κλάση	Διάμετρος (mm)	Q _{start} (1/h)	Q ₁ (1/h)	Q ₂ (1/h)	Q ₃ (m ³ /h)	Q ₄ (m ³ /h)
B	15	8	30	120	1,5	3
B	20	13	50	200	2,5	5
C	15	5	15	22,5	1,5	3
C	20	6	25	37,5	2,5	5
C	40	22	100	150	10	20

πίνακας 2.5.2-1
Χαρακτηριστικές παροχές τυπικών
υδρομέτρων μονής ριπής [12]

Εαν εισαχθεί αέρας στο θάλαμο του μετρητή δε θα προκληθεί επιπλέον φθορά των μερών (εν αντιθέσει με τους ογκομετρικούς), και η φτερωτή θα περιστραφεί με όμοιο τρόπο σαν να προσέκρουε νερό σε αυτήν. Ωστόσο, επειδή ο αέρας είναι ρευστό σαφώς μικρότερου ιξώδους από το νερό – με άλλα λόγια, η κίνηση στον αέρα παρουσιάζει μικρότερες τριβές σε σχέση με την κίνηση σε νερό – η φτερωτή περιστρέφεται ταχύτερα απ'ότι εάν επρόκειτο για αντίστοιχη παροχή νερού. Ως αποτέλεσμα, παρουσία αέρα στο δίκτυο θα προκαλέσει την καταγραφή μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού από τις πραγματικές.

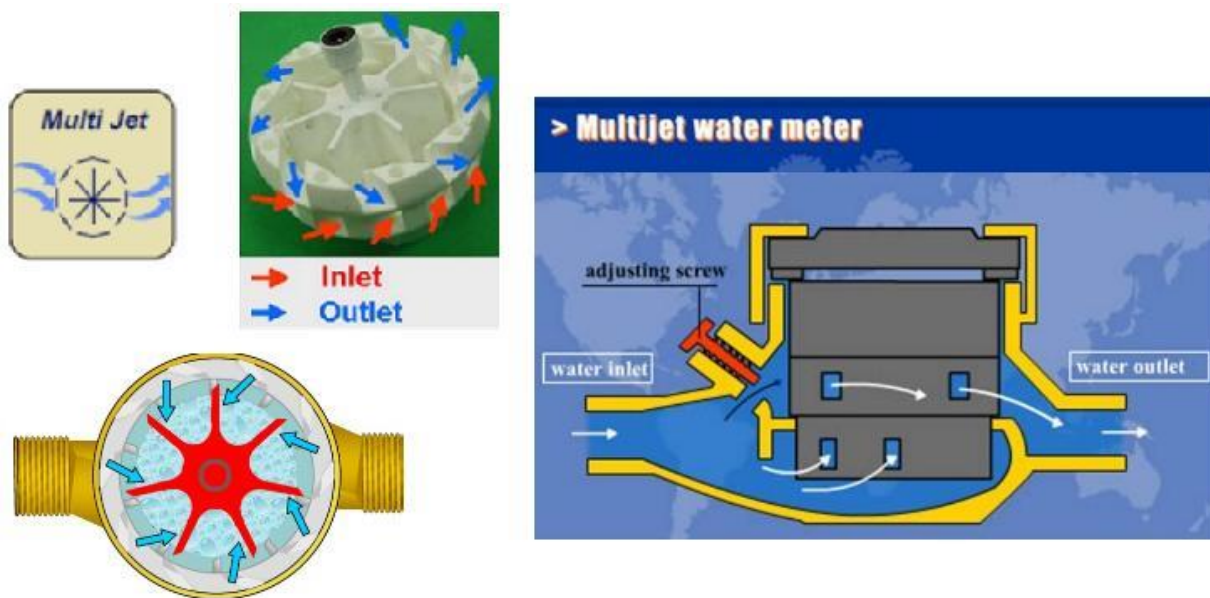
Σε αντίθεση με τους ογκομετρικούς, οι ταχυμετρικοί υδρομετρητές παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές στη μετρητική τους απόδοση ανάλογα με την κλίση τοποθέτησης, όπως επίσης και κατά την καταγραφή αντίστροφων ροών. Επίσης δεν είναι τόσο αποτελεσματικοί στην ανίχνευση πολύ χαμηλών παροχών, άρα και διαρροών. Παραμένουν, όμως, ιδιαιτέρως διαδεδομένοι λόγω του μικρού τους κόστους [15]

Συγκεντρωτικές πληροφορίες για υδρόμετρα μονής ριπής:

- Αξιόπιστα.
- Πολυετής χρησιμοποίησή τους.
- Αντοχή σε αιωρούμενα στερεά στο νερό.
- Κατάλληλα για χρήση σε σκληρό νερό.
- Χρειάζονται μικρό χώρο για την εγκατάστασή τους.
- Χαμηλό κόστος
- Μέτρια ευαισθησία στο προφίλ της ταχύτητας νερού.
- Επηρεάζονται από την κλίση τοποθέτησης.
- Χαμηλότερη ακρίβεια από τα ογκομετρικά.
- Δεν έχουν υψηλή ευαισθησία στις χαμηλές παροχές. Συνεπώς δεν είναι αποτελεσματικά στην ανίχνευση διαρροών.

2.5.3 Υδρόμετρα πολλαπλής ριπής (multi jet)

Ομοίως με τα υδρόμετρα μονής ριπής, ανήκουν κι αυτά στην κατηγορία των μηχανικών, ταχυμετρικών ακτινωτής φτερωτής υδρομέτρων. Η διαφορά με τα μονής ριπής είναι ότι πλέον υπάρχει πληθώρα ροών ή ριπών που προσκρούουν στη φτερωτή του μετρητή [εικόνα 2.5.3-1].



εικόνα 2.5.3-1

Οι πολλαπλές ριπές έχουν ως αποτέλεσμα να εξασκούνται πιο ομαλές και πιο όμοια διαμοιρασμένες ροπές στη φτερωτή. Έτσι, τα κινητά μέρη καταπονούνται λιγότερο και η διάρκεια ζωής του υδρομετρητή επιμηκύνεται.

Στον πίνακα 2.5.3-1 φαίνονται παραδείγματα τυπικών ταχυμετρικών υδρομετρητών μονής ριπής.

Μετρολογική Κλάση	Διάμετρος (mm)	Q _{start} (1/h)	Q ₁ (1/h)	Q ₂ (1/h)	Q ₃ (m ³ /h)	Q ₄ (m ³ /h)
B	15	10	30	120	1,5	3
B	20	15	50	200	2,5	5
B	25	25	70	280	3,5	7
B	30	25	100	400	5	10
B	40	53	200	800	10	20
B	50	68	450	3000	15	30
C	20	12	25	37,5	2,5	5
C	25	15	35	52,5	3,5	7
C	32	15	40	90	6	12
C	40	20	100	150	10	20
C	50	30	75	150	15	30

*πίνακας 2.5.3-1
Χαρακτηριστικές παροχές τυπικών
υδρομέτρων πολλαπλής ριπής [12]*

Όπως και οι υδρομετρητές μονής ριπής, έτσι και οι πολλαπλής παρουσιάζουν μεταβολές στη μετρητική τους ικανότητα ανάλογα με την κλίση τοποθέτησης, και παρουσιάζουν διαφορετική ακρίβεια κατά τις ανάστροφες ροές.

Οι υδρομετρητές πολλαπλής ριπής έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια από τους μονής ριπής στη μέτρηση των χαμηλών παροχών. Επίσης, λόγω της καλύτερα ισορροπημένης πρόσκρουσης του νερού στο στροφείο τους έχουν συγκριτικά

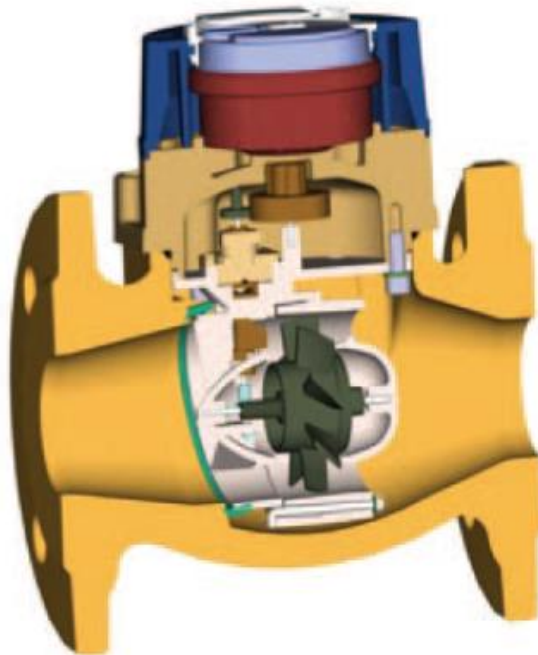
χαμηλότερες παροχές εκκίνησης, άρα και αποτελεσματικότερη ανίχνευση των χαμηλών παροχών από τους μονής ριπής [15].

Συγκεντρωτικές πληροφορίες για υδρόμετρα πολλαπλής ριπής:

- Αξιόπιστα.
- Πολυετής χρησιμοποίησή τους.
- Υψηλότερη διάρκεια ζωής από τα απλής ριπής, λόγω της πιο ισορροπημένης κατανομής δυνάμεων στη φτερωτή.
- Αντοχή σε αιωρούμενα στερεά στο νερό.
- Κατάλληλα για χρήση σε σκληρό νερό.
- Μεγαλύτερων διαστάσεων από τα απλής ριπής.
- Επηρεάζονται από την κλίση τοποθέτησης.
- Δεν έχουν υψηλή ευαισθησία στις χαμηλές παροχές. Δεν είναι όσο αποτελεσματικά όσο τα ογκομετρικά στην ανίχνευση διαρροών.

2.5.4 Υδρόμετρα Woltmann

Ανήκουν επίσης στην κατηγορία των μηχανικών και ταχυμετρικών υδρομέτρων, αλλά διαθέτουν *ελικοειδή φτερωτή (helical vane)*. Σε αντίθεση με την ακτινική φτερωτή όπου το νερό προσκρούει και την περιστρέφει, η ελικοειδής φτερωτή τοποθετείται με άξονα περιστροφής παράλληλο στη ροή του νερού. Καθώς το νερό κινείται ασκεί ροπές που περιστρέφουν τη φτερωτή [εικόνα 2.5.4-1]. Πρόκειται για τις ίδιες ροπές που ασκεί η προπέλα των πλεουμένων σκαφών για να διώξει μάζες νερού και να προωθήσει το πλεύμενο – η οποία επίσης τοποθετείται με άξονα περιστροφής παράλληλο στην κίνηση του νερού.



εικόνα 2.5.4-1

Τομή υδρομέτρου Woltmann

Τα υδρόμετρα τύπου Woltmann χρησιμοποιούνται από μεγάλους καταναλωτές ή από τις εταιρίες ύδρευσης που διαχειρίζονται το δίκτυο

διανομής νερού. Δεν αφορούν τους μικρούς (οικιακούς) καταναλωτές και δε θα εστιάσουμε σε αυτούς.

Συγκεντρωτικές πληροφορίες για τα υδρόμετρα Woltmann:

- Αντοχή σε αιωρούμενα στερεά στο νερό.
- Κατάλληλα για χρήση σε σκληρό νερό.
- Μετρητική ικανότητα για μεγάλο εύρος παροχών.
- Πρακτικά ανεπηρέαστα από την κλίση τοποθέτησης.
- Ευαίσθησία στο προφίλ ταχύτητας νερού. Ως αποτέλεσμα απαιτούνται ικανά μήκη ανάντι και κατάντη του μετρητή.
- Απαιτούν μεγάλο χώρο εγκατάστασης, εξαιτίας των σωληνώσεων εκατέρωθεν του οργάνου.
- Δεν έχουν υψηλή ευαίσθησία στις χαμηλές παροχές.
- Υψηλό κόστος.

2.5.5 *Σύνθετα (combination/compound) υδρόμετρα*

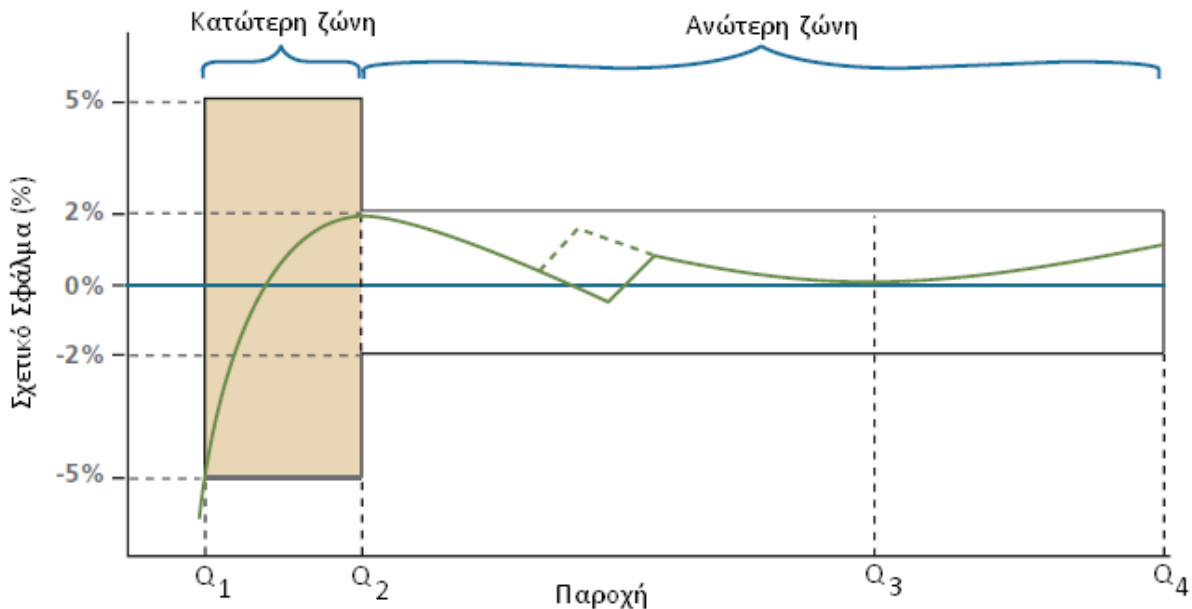
Αποτελούν, ουσιαστικά, το συνδυασμό δύο υδρομέτρων, ένα για μεγάλες παροχές κι ένα για μικρές [εικόνα 2.5.5-1]. Συνήθως το υδρόμετρο που αναλαμβάνει τη μέτρηση της μεγάλης παροχής είναι ταχυμετρικό πολλαπλής ριπής ή τύπου Woltmann, και το υδρόμετρο που μετρά τις μικρές παροχές είναι ταλαντευόμενου εμβόλου, απλής ριπής, ή πολλαπλής ριπής. Υπάρχει μια ειδική βαλβίδα ελέγχου η οποία καθορίζει το εάν η ροή του νερού θα περάσει μέσα από το μεγάλο υδρόμετρο ή όχι. Για χαμηλές παροχές η βαλβίδα κλείνει και η ροή πραγματοποιείται εξ'ολοκλήρου μέσα από το μικρό υδρόμετρο ώστε η μέτρηση να γίνει με μεγαλύτερη ακρίβεια. Όταν η παροχή αυξηθεί πέραν ενός ορίου, η βαλβίδα ανοίγει με αποτέλεσμα η ροή να διασχίζει το μεγάλο υδρόμετρο, ή ακόμη και τα δύο μαζί.



εικόνα 2.5.5-1

Συνδυαστικό υδρόμετρο (οίκος Elster)

Η καμπύλη σφάλματος των σύνθετων υδρομέτρων απαρτίζεται από τις καμπύλες σφάλματος των επιμέρους υδρομέτρων, με εξαίρεση το σημείο εκείνο της παροχής όπου, λόγω της βαλβίδας ελέγχου, επιλέγεται η πορεία της ροής του νερού [διάγραμμα 2.5.5-1].



διάγραμμα 2.5.5-1

Συνολική καμπύλη σφάλματος σύνθετου υδρομέτρου

Σύνθετα υδρόμετρα χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται η ακριβής μέτρηση για καταναλώσεις με πολύ μεγάλη διακύμανση παροχών, όπως σχολεία και νοσοκομεία.

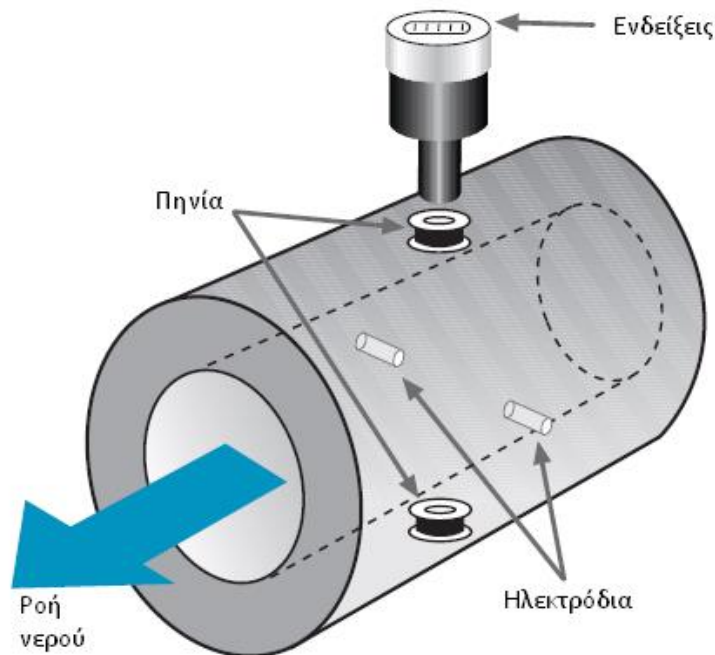
Συγκεντρωτικές πληροφορίες για τα σύνθετα υδρόμετρα:

- Υψηλή ακρίβεια μέτρησης σε μεγάλο εύρος παροχών.
- Αυξημένες απαιτήσεις συντήρησης, λόγω των συχνών αλλαγών στην πορεία ροής του νερού.
- Ευαίσθητα στην παρουσία σωματιδίων στο νερό.
- Στα μοντέλα με δύο ενδείξεις, απαιτείται η ξεχωριστή καταγραφή και των δύο.
- Αυξημένο κόστος.

2.5.6 Ηλεκτρομαγνητικά (electromagnetic) υδρόμετρα

Βασίζουν τη λειτουργία τους σε αρχές του ηλεκτρομαγνητισμού, και ειδικότερα στο Νόμο Επαγωγής του Faraday, για να υπολογίσουν την ταχύτητα του νερού, οπότε έμμεσα και το διερχόμενο όγκο. Σύμφωνα με το νόμο Faraday, η κίνηση ενός αγώγιμου σώματος μέσα σε μαγνητικό πεδίο θα προκαλέσει την εμφάνιση διαφοράς δυναμικού στα άκρα του.

Στους ηλεκτρομαγνητικούς υδρομετρητές, δημιουργείται τεχνητά μέσω πηνίων ένα μαγνητικό πεδίο εντός του μετρητή. Ανάλογα με την τροφοδοσία των πηνίων, δηλαδή με συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα, παράγεται μόνιμο ή εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο αντίστοιχα. Το νερό, το οποίο είναι ηλεκτρικά αγώγιμο, καθώς διασχίζει το πεδίο αναπτύσσει στα άκρα του διαφορά δυναμικού (τάση) η οποία, εν συνεχεία, ανιχνεύεται από ηλεκτρόδια του υδρομετρητή [εικόνα 2.5.6-1]. Η τάση αυτή είναι ανάλογη της ταχύτητας του νερού. Οπότε, μετρώντας την τάση υπολογίζεται και η ταχύτητα.



εικόνα 2.5.6-1

Βασική δομή των ηλεκτρομαγνητικών υδρομετρητών [12]

Συγκεντρωτικές πληροφορίες για ηλεκτρομαγνητικά υδρόμετρα:

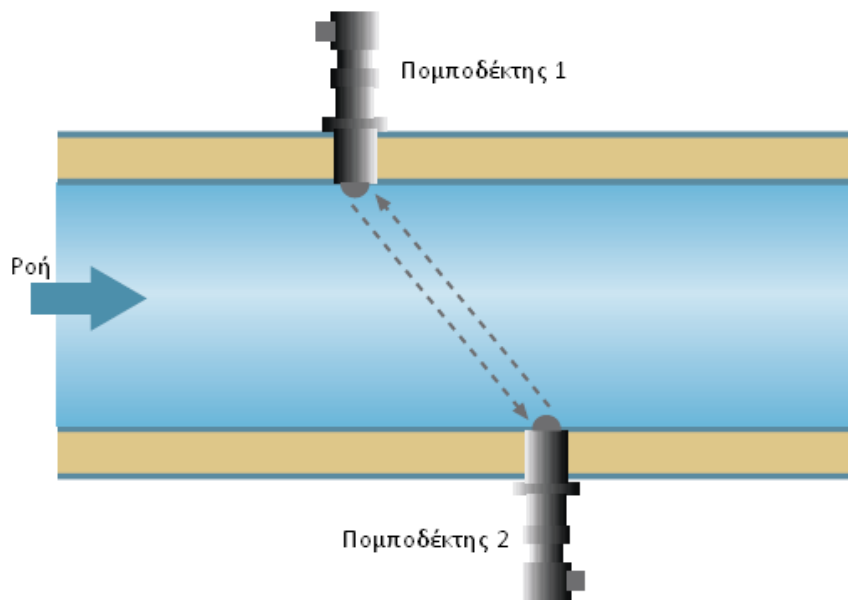
- Υψηλή μετρητική ακρίβεια.
- Ελάχιστες φθορές λόγω χρήσης, καθότι δε διαθέτουν κινητά μέρη.
- Χαμηλή ευαισθησία στο προφίλ ταχύτητας νερού.
- Υψηλότερο κόστος από τα ταχυμετρικά και ογκομετρικά.
- Απαιτούν την ύπαρξη ηλεκτρικής τροφοδοσίας.
- Απαιτούν την ύπαρξη ηλεκτρικής γείωσης.
- Απαιτούν την ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικής προστασίας (για παράδειγμα έναντι κεραυνοπληξίας σωληνώσεων).

2.5.7 Υπερηχητικά (ultrasonic) υδρόμετρα

Βασίζουν τη λειτουργία τους στη συμπεριφορά των ηχητικών κυμάτων καθώς αυτά διαπερνούν το τρεχούμενο νερό. Διαχωρίζουμε δύο είδη:

- *Υπερηχητικά υδρόμετρα χρόνου διέλευσης (transit time):*

Η λειτουργία τους στηρίζεται στο φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο τα ηχητικά κύματα επιβραδύνονται όταν κινούνται αντίθετα από τη ροή του νερού, ενώ επιταχύνονται όταν κινούνται κατά την ίδια φορά με τη ροή. Το υδρόμετρο διαθέτει δύο ηχητικούς πομποδέκτες που βρίσκονται σε αντίθετες πλευρές της ροής [εικόνα 2.5.7-1].



εικόνα 2.5.7-1

Βασική δομή υπερηχητικού υδρομέτρου χρόνου διέλευσης [12]

Κάθε πομποδέκτης στέλνει ένα υπερηχητικό σήμα στον άλλο πομποδέκτη. Από τη διαφορά στο χρόνο διέλευσης των σημάτων

υπολογίζεται η ταχύτητα της ροής του νερού, και κατ'επέκταση η ζητούμενη παροχή νερού.

Μεγαλύτερες διάμετροι σωλήνων συνεπάγονται μεγαλύτερους χρόνους διέλευσης, οπότε η μέτρηση του σήματος, άρα και της παροχής, μετρώνται με μεγαλύτερη ακρίβεια. Τα υδρόμετρα αυτά είναι ευαίσθητα στο προφίλ της ταχύτητας του νερού. Για το λόγο αυτό συχνά χρησιμοποιούνται περισσότεροι πομποδέκτες για μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία των μετρήσεων.

Λόγω του αυξημένου κόστους, η εγκατάσταση τέτοιων υδρομέτρων δικαιολογείται οικονομικά για μεγάλες καταναλώσεις και όχι για απλές καταναλώσεις νοικοκυριών.

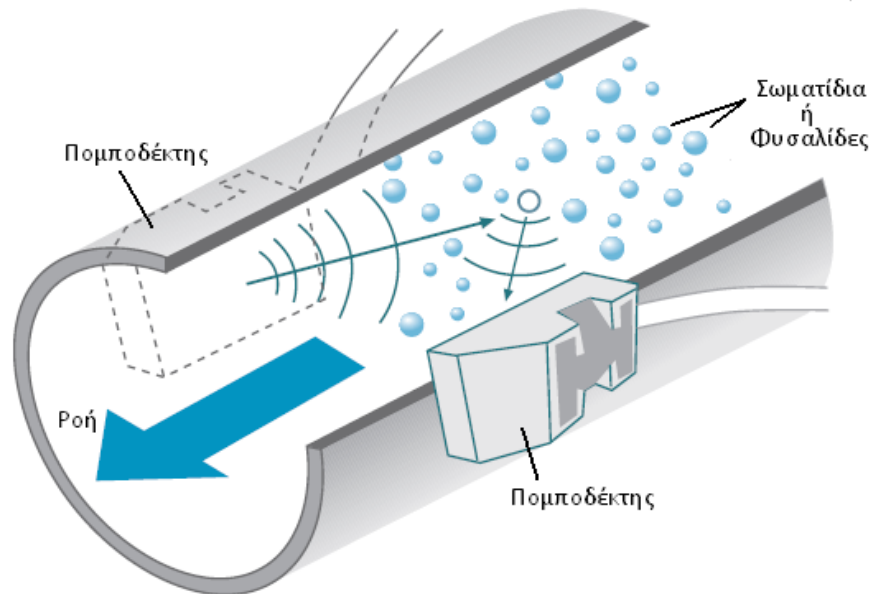
Συγκεντρωτικές πληροφορίες για υδρόμετρα χρόνου διέλευσης:

- Υψηλή μετρητική ακρίβεια.
- Ελάχιστες φθορές λόγω χρήσης, καθότι δε διαθέτουν κινητά μέρη.
- Υψηλό κόστος για μέτρηση σε σωλήνες μεγάλης διαμέτρου.
- Ευαίσθητα στο προφίλ ταχύτητας του νερού.
- Απαιτούν την ύπαρξη ηλεκτρικής τροφοδοσίας.
- Ευαίσθητα στην παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων.

▪ ***Υπερηχητικά υδρόμετρα Doppler:***

Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στο φαινόμενο Doppler, δηλαδή στη μεταβολή της συχνότητας του ηχητικού κύματος λόγω της ανάκλασής του από ένα κινούμενο αντικείμενο. Το ηχητικό κύμα θα προσκρούσει σε σωματίδια ή φυσαλίδες που κινούνται μαζί με το νερό, και θα ανακλαστεί προς τον πομποδέκτη με διαφορετική πλέον συχνότητα [εικόνα 2.5.7-2]. Από

τη διαφορά αυτή στη συχνότητα του προσπίπτοντος με το ανακλώμενο ηχητικό κύμα βρίσκεται η ταχύτητα του νερού, άρα και η παροχή, αφού η διάμετρος του υδρομέτρου είναι γνωστή.



εικόνα 2.5.7-2

Βασική δομή υπερηχητικού υδρομέτρου Doppler [12]

Η αποτελεσματικότητα των οργάνων αυτών στηρίζεται στην ύπαρξη σωματιδίων ή/και φυσαλίδων στο νερό. Συνεπώς δεν ενδείκνυνται για καθαρό πόσιμο νερό.

Ένα μειονέκτημα των υδρομέτρων Doppler είναι ότι τα σωματίδια και οι φυσαλίδες ενδέχεται να μην κινούνται ακριβώς με την ταχύτητα ροής του νερού, αλλά με κάπως μικρότερη ταχύτητα. Το σφάλμα που παρουσιάζουν, επομένως, μπορεί να κυμαίνεται κοντά στο 10%. Η χρήση τους, συνεπώς, δικαιολογείται οικονομικά σε περιπτώσεις που η μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις δεν είναι πρωτίστης σημασίας.

Λόγω του αυξημένου κόστους, τα υπερηχητικά υδρόμετρα προτιμώνται για τη μέτρηση μεγάλων καταναλώσεων.

Συγκεντρωτικές πληροφορίες για τα υδρόμετρα Doppler:

- Ελάχιστες φθορές λόγω χρήσης, καθότι δε διαθέτουν κινητά μέρη.
- Δεν εμποδίζεται η λειτουργία τους από την παρουσία σωματιδίων στο νερό (μάλιστα εκεί βασίζονται). Για τον ίδιο λόγο, είναι ακατάλληλα για καθαρό πόσιμο νερό.
- Ευαίσθησία στο προφίλ ταχύτητας του νερού.
- Απαιτούν την ύπαρξη ηλεκτρικής τροφοδοσίας.
- Δεν έχουν υψηλή μετρητική ακρίβεια.
- Αυξημένο κόστος.

Σχόλιο:

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζουμε στους μικρούς αστικούς καταναλωτές. Οι σωληνώσεις παροχής νερού τέτοιων καταναλωτών κυμαίνονται σε εύρος διαμέτρων 15 – 25 mm.

Στον πίνακα 2.5.7-1 συνοψίζουμε βασικές πληροφορίες για τα υδρόμετρα που εξετάσαμε.

Ιδιότητα	Τύπος Υδρομέτρου						
	Ταλαντευόμενου Εμβόλου	Μονής Ριπής	Πολλαπλής Ριπής	Woltmann	Σύνθετα	Ηλεκτρομαγνητικά	Υπερηχητικά
Κατηγορία	Μηχανικά Ογκομετρικά	Μηχανικά Ταχυμετρικά	Μηχανικά Ταχυμετρικά	Μηχανικά Ταχυμετρικά	Μηχανικά	Ηλεκτρομαγνητικά "ταχυμετρικά"	Υπερηχητικά "ταχυμετρικά"
Συνήθεις Διαστάσεις (mm)	15 - 40	15 - 40	15 - 40	40 - 500	50/20 - 150/40	300 - 2000	400 - 4000
Ευαισθησία στο Προφίλ Ταχύτητας	Καθόλου	Αρκετή	Χαμηλή	Υψηλή	Αρκετή	Αρκετή	Υψηλή
Ευαισθησία στην Ποιότητα Νερού	Υψηλή	Αρκετή	Αρκετή	Χαμηλή	Αρκετή	Ελάχιστη	Χαμηλή
Συνήθη Μετρολογική Κλάση	B,C,D	B,C	B,C	B	B	n/a	n/a
Απώλεια Πίεσης	Υψηλή	Χαμηλή	Αρκετή	Αρκετή	Υψηλή	Ελάχιστη	Ελάχιστη
Προσανατολισμός	Αδιάφορο	Οριζοντίως	Οριζοντίως	Αδιάφορο	Οριζοντίως	Αδιάφορο	Αδιάφορο
Ελάχιστο Μήκος Σωληνώσεων Ανάντι	Αδιάφορο	0 - 5 Δ*	Αδιάφορο	5 Δ	5 Δ	5 - 10 Δ	10 Δ
Ελάχιστο Μήκος Σωληνώσεων Κατάντι	Αδιάφορο	0 - 3 Δ	Αδιάφορο	3 Δ	3 Δ	3 Δ	3 Δ
Απαιτείται Ηλεκτρική Τροφοδοσία	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι

* Δ : Διάμετρος του σωλήνα. Για παράδειγμα, 3Δ σημαίνει μήκος τριπλάσιο της διαμέτρου.

πίνακας 2.5.7-1

3

Τηλεμετρία υδρομετρητών

3.1 Γενικά στοιχεία για τη λήψη των μετρήσεων

Οι εταιρίες ύδρευσης είναι επιφορτισμένες με την παροχή πόσιμου νερού στους χρήστες, και τη χρέωσή τους αναλόγως του όγκου νερού που καταναλώθηκε. Η συμβατική μέθοδος καταγραφής των μετρήσεων έγκειται στην επίσκεψη εξουσιοδοτημένου προσωπικού από τις εταιρίες στο χώρο των μετρητών, και στην ανάγνωση των ενδείξεων των υδρομετρητών. Λόγω του αυξημένου αριθμού των υδρομέτρων (τουλάχιστον ένα για κάθε νοικοκυριό) και του κόστους που συνεπάγεται η μεταφορά και η αμοιβή των εργαζομένων, αυτή η διαδικασία λήψης των μετρήσεων πραγματοποιείται τρεις, τέσσερις, ή έξι φορές το χρόνο, δηλαδή κάθε τετράμηνο, τρίμηνο, ή δίμηνο, ανάλογα με τις δυνατότητες και την πολιτική της κάθε εταιρείας.

Οι ενδείξεις των υδρομέτρων αναγράφουν αθροιστικά τον όγκο νερού που ζητήθηκε. Συνεπώς, προκειμένου να καθορισθεί ο καταναλισκόμενος όγκος από τον εκάστοτε χρήστη, και να τιμολογηθεί βάσει αυτού, θα πρέπει από την κάθε λήψη των μετρήσεων να αφαιρείται η προηγούμενη καταγεγραμμένη ένδειξη, ώστε η χρέωση να γίνει μονάχα για την επιπλέον κατανάλωση νερού – που μεσολάβησε, δηλαδή, από την προηγούμενη καταμέτρηση έως την τωρινή.

Όταν πρόκειται για μικρή συχνότητα καταγραφής, για παράδειγμα κάθε τετράμηνο ή τρίμηνο, είναι προφανές ότι η τιμολόγηση του χρήστη δε θα στηρίζεται στην πραγματική κατανάλωσή του, αλλά σε ιστορικά στοιχεία για την καταναλωτική συμπεριφορά του. Το απλούστερο είναι να υποθεθεί ότι για το μήνα κατά τον οποίο δεν πραγματοποιήθηκε ανάγνωση των ενδείξεων, ο χρήστης κατανάλωσε ποσότητα νερού ίση με αυτήν του προηγούμενου μήνα.

Η απόφαση πίσω από αυτή την εκτίμηση έγκειται στην εύλογη υπόθεση ότι ένας οικιακός καταναλωτής δε μεταβάλλει δραματικά το καταναλωτικό του προφίλ από μήνα σε μήνα. Ωστόσο, ορθότερες εκτιμήσεις επιτυγχάνονται όταν η χρέωση λαμβάνει υπόψιν την εποχικότητα που παρουσιάζει η συμπεριφορά ενός καταναλωτή. Για παράδειγμα, εάν ένα νοικοκυριό παρουσιάζει αυξημένη κατανάλωση το μήνα Ιούλιο, και κατόπιν ελάχιστη για το μήνα Αύγουστο (λόγω διακοπών συνηθέστερα), η εταιρεία μπορεί να αξιοποιήσει τις πληροφορίες αυτές για να προβλέψει με μεγαλύτερη ακρίβεια τη ζήτηση για το συγκεκριμένο χρήστη.

Ασφαλώς, ανεξάρτητα από την ορθότητα των εκτιμήσεων αυτών, εάν κατά την επόμενη καταμέτρηση αποδειχθεί ότι ο καταναλωτής χρεώθηκε για περισσότερο όγκο του πραγματικού τότε το επιπλέον ποσό αφαιρείται από το λογαριασμό που πρόκειται να εκδοθεί. Αντίστοιχα, εάν χρεώθηκε για λιγότερο όγκο νερού από τον πραγματικό, το ποσό αυτό θα προσ αυξήσει τον επόμενο λογαριασμό, ώστε σε κάθε περίπτωση να υπάρχει δίκαιη χρέωση.

Η τόσο αραιή περιοδική καταμέτρηση του καταναλισκόμενου όγκου νερού των νοικοκυριών παρέχει ικανές πληροφορίες για τον καθορισμό του μέσου ζητούμενου όγκου, αλλά δεν επαρκεί για την παρακολούθηση και τον καθορισμό των συνεχόμενων μεταβολών της ζήτησης νερού [22].

Να τονίσουμε ότι τα ίδια τα υδρόμετρα μετράνε αδιάλειπτα τον όγκο νερού που τα διαρέει, ωστόσο τα δεδομένα αυτά λαμβάνονται μονάχα ως στιγμιότυπα όταν έρθει η ώρα να καταγραφεί η ένδειξή τους από το προσωπικό της εταιρείας.

Αντιλαμβανόμαστε ότι η συμβατική μέθοδος λήψης των μετρήσεων περιορίζει τη χρήση των υδρομετρητών σε αυτήν της τιμολόγησης των καταναλωτών. Δεν επιτρέπει, όμως, την υιοθέτηση ολοκληρωμένων πολιτικών διαχείρισης των υδάτων. Η τεχνολογική πρόοδος επιτρέπει, πλέον, τη συστηματική και ασφαλώς συχνότερη, ακόμη και συνεχόμενη, συλλογή των δεδομένων μέσω δικτύων αυτόματης καταγραφής μετρήσεων (*AMR – Automatic Meter Reading*) με ταυτόχρονη τηλεμετάδοση αυτών.

Ο βασικός στόχος της τηλεμετρίας, είναι η λήψη των μετρητικών δεδομένων από τα υδρόμετρα εξ'αποστάσεως, με τρόπο αυτοματοποιημένο, δίχως την παρουσία ανθρώπινου παράγοντα.

3.2 Δομικά στοιχεία του συστήματος τηλεμετρίας

Για την επίτευξη της τηλεμέτρησης απαιτείται αφενός η χρήση υδρομετρητών που να δύνανται να παρέχουν τις καταγραφικές ενδείξεις τους μέσω ψηφιακής πληροφορίας, και αφετέρου η ύπαρξη τηλεπικοινωνιακών διαύλων ώστε να μεταφερθούν οι πληροφορίες στο μέρος όπου θα

αξιοποιηθούν. Μάλιστα, καθότι πρόκειται για αυτοματοποιημένη μέθοδο, η λήψη των δεδομένων μπορεί να γίνεται πλέον σε τακτά χρονικά διαστήματα – σαφώς μεγαλύτερης χρονικής συχνότητας από τους τρεις, τέσσερις, ή έξι μήνες που χαρακτηρίζουν την παραδοσιακή μέθοδο καταγραφής των μετρήσεων.

Όσον αφορά το κομμάτι της μετρητικής διαδικασίας, δηλαδή εξετάζοντας την πλευρά του υδρομέτρου, είναι επιφορτισμένο με τη διαδικασία της καταγραφής, αποθήκευσης, μετατροπής της πληροφορίας σε ηλεκτρονική μορφή, και μετάδοση αυτής. Η πληροφορία καθεαυτή είναι πλέον ηλεκτρικό σήμα, οπότε και δύναται η επεξεργασία της μέσω ηλεκτρονικών, και δη ψηφιακών, συστημάτων. Το σήμα μεταδίδεται τηλεπικοινωνιακά προς τον υπολογιστή όπου και θα υποβληθεί σε περαιτέρω επεξεργασία.

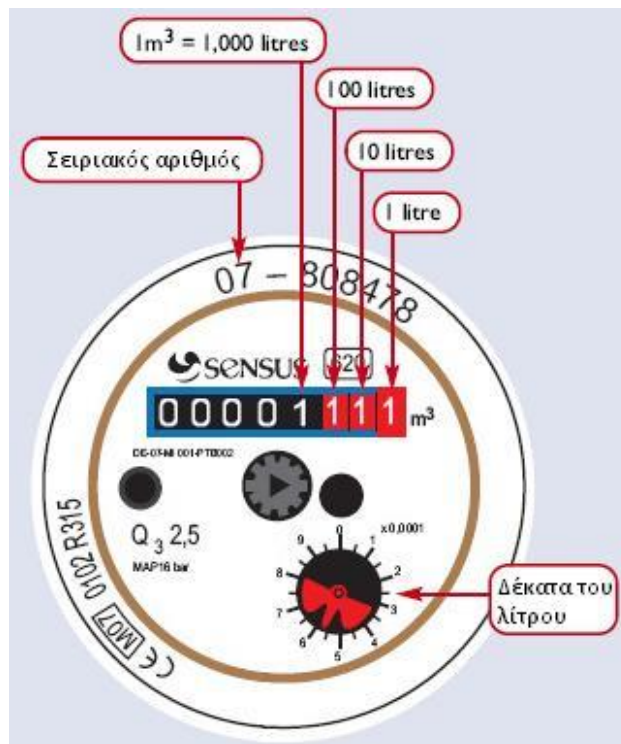
Για την επίτευξη της τηλεμέτρησης, ένας υδρομετρητής απαιτείται να μπορεί όχι απλώς να καταγράφει το συνολικό όγκο νερού που ρέει διαμέσου του, αλλά επιπλέον να μπορεί να αποθηκεύει σε τακτά χρονικά διαστήματα τις μετρήσεις που λαμβάνει, και να διαθέτει αμφίδρομη επικοινωνία με απομακρυσμένη περιοχή [23]. Οι δυνατότητες αυτές μπορούν να επιτευχθούν είτε άμεσα με την εγκατάσταση υδρομέτρων που διαθέτουν ολοκληρωμένο σύστημα ψηφιακής καταγραφής και τηλεμετάδοσης των δεδομένων, είτε με την αναβάθμιση υπάρχοντων υδρομετρητών που δεν έχουν τις δυνατότητες αυτές.

Τα βασικά στοιχεία που δομούν το σύστημα τηλεμέτρησης είναι:

- Παλμοδοτική διάταξη

Η διάταξη αυτή αναλαμβάνει τη μετατροπή της αναλογικής ένδειξης του υδρομέτρου σε ηλεκτρική μορφή. Υπάρχουν μετρητές που είναι εξ'αρχής κατασκευασμένοι να παρέχουν ηλεκτρονική έξοδο των δεδομένων τους. Για όσους, όμως, δε διαθέτουν τέτοια τεχνολογία η παλμοδοτική διάταξη θα πρέπει να προστεθεί επιπλέον. Οι μοντέρνοι υδρομετρητές έχουν προβλέψει στην κατασκευή τους τη δυνατότητα προσθήκης της διάταξης, εάν αυτό είναι επιθυμητό.

Η βασική αρχή λειτουργίας τους είναι η ανίχνευση, μέσω οπτικού ή ηλεκτρομαγνητικού τρόπου, της κίνησης ενός από τα περιστρεφόμενα μηχανικά μέρη του υδρομετρητή. Ανάλογα με την ανάλυση παλμών ανά λίτρο, ή λίτρα ανά παλμό, αντιστοιχίζεται ο κάθε παλμός με μια καθορισμένη ποσότητα νερού που καταγράφει το όργανο. Συνήθως ανιχνεύεται το περιστρεφόμενο τμήμα με τη μέγιστη καταγραφική ανάλυση του υδρομέτρου, δηλαδή το δείκτη των κλασμάτων λίτρων [εικόνα 3.2-1]



εικόνα 3.2-1 [όψη ενδείξεων οίκος Sensus]

Ο παλμοδότης ανιχνεύει περιστροφές του δείκτη που μετρά δέκατα του λίτρου (δηλαδή μία περιστροφή αντιστοιχεί σε 0,1 λίτρο διερχόμενου νερού).

- Πομποδέκτες

Ο πομποδέκτης εγκαθίσταται στο υδρόμετρο και του παρέχει τη δυνατότητα αμφίδρομης (πομπός και δέκτης) ασύρματης επικοινωνίας. Είναι συσκευές που αναλαμβάνουν τη μετάδοση των μετρήσεων σε μορφή ραδιοκυμάτων. Να σημειώσουμε ότι υπάρχουν διατάξεις που προσφέρουν παλμοδοτική έξοδο αλλά είναι ταυτόχρονα και πομποδέκτες. Οπότε αρκεί η εγκατάσταση ενός προϊόντος που συνδυάζει και τις δύο παροχές [εικόνα 3.2-2].



εικόνα 3.2-2 [οίκος Elster]

- Καταγραφικό δεδομένων (*data loggers*)

Ρόλος των καταγραφικών είναι η αποθήκευση και η αποστολή των δεδομένων μέτρησης. Το καταγραφικό επικοινωνεί με τον πομποδέκτη του υδρομέτρου [εικόνα 3.2-3] [23] και αποθηκεύει τα δεδομένα.



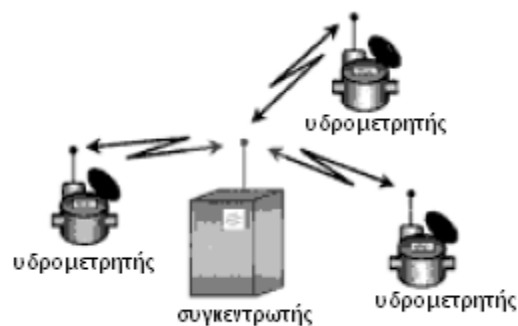
εικόνα 3.2-3

Η χρονική συχνότητα με την οποία καταγράφονται οι μετρήσεις είναι ρυθμιζόμενη, ανάλογα με τις δυνατότητες της συσκευής, και δη την ενεργειακή αυτονομία της και την εσωτερική μνήμη της. Μπορούμε να έχουμε μέτρηση και καταγραφή ανά δευτερόλεπτο, λεπτό, ώρα, μέρα, ή οποιοδήποτε χρονικό διάστημα κρίνουμε επιθυμητό (για παράδειγμα κάθε 15 λεπτά). Ασφαλώς, όσο μεγαλύτερη συχνότητα μετρήσεων έχουμε, τόσο ακριβέστερη εικόνα έχουμε για το προφίλ της κατανάλωσης, με το κόστος όμως της αυξημένου όγκου πληροφοριών και την απομείωση της διάρκειας ενεργειακής αυτονομίας της συσκευής.

- Συγκεντρωτής δεδομένων

Όπως περιγράφει και η ονομασία του, ο σκοπός του συγκεντρωτή είναι να συγκεντρώνει δεδομένα από διάφορους πομποδέκτες και καταγραφικά [εικόνα 3.2-4] [15], και κατόπιν να τα αποστέλει μέσω δικτύων κινητής τηλεφωνίας GSM (Global System for Mobile), GPRS (General Packet Radio Service), ή WiFi, προς αποθήκευση ή περαιτέρω επεξεργασία στα κεντρικά υπολογιστικά συστήματα της εκάστοτε εταιρείας ύδρευσης.

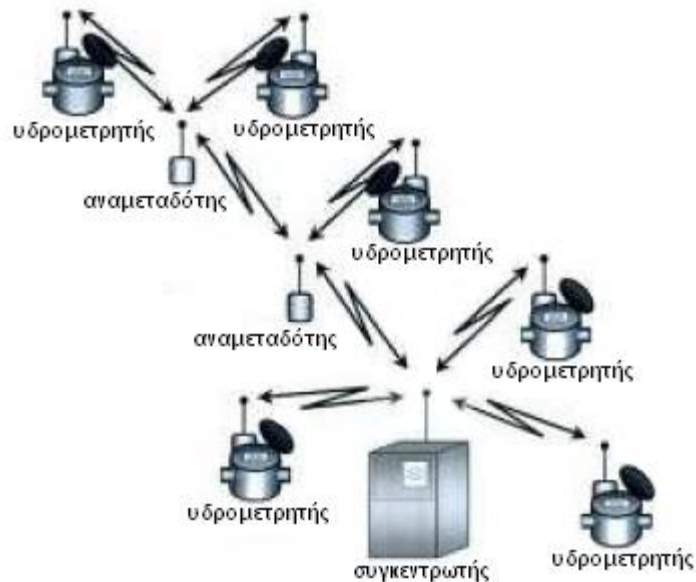
Η αποστολή δεδομένων μέσω της Υπηρεσίας Σύντομου Μηνύματος (Short Message Service – SMS) αποτελεί αξιόπιστη και οικονομική επιλογή. Το γεγονός ότι οι μετρήσεις συνοδεύονται από χρονοσφραγίδα συνεπάγεται ότι τα δεδομένα μπορούν να αποστέλλονται ετεροχρονισμένα, και να μην χρήζουν υψηλής προτεραιότητας μετάδοσης από το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι ότι η ένταση σήματος που απαιτείται για την αποστολή SMS είναι μικρότερη από την ένταση που απαιτεί μια τηλεφωνική κλήση, οπότε διευκολύνεται περαιτέρω η μετάδοση.



εικόνα 3.2-4

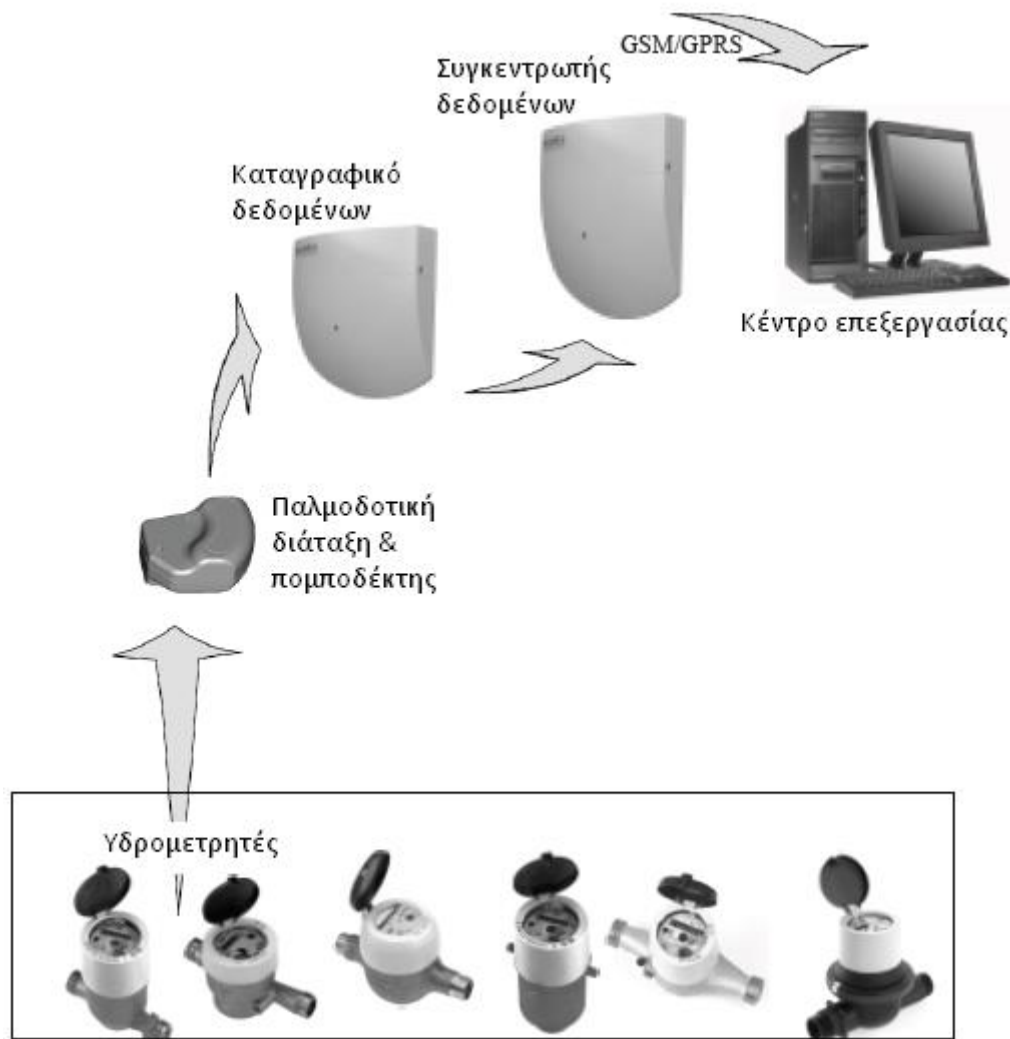
- Αναμεταδότης

Ο ρόλος τους είναι να αναμεταδίδουν, εφόσον απαιτείται, τα δεδομένα που λαμβάνουν από τους υδρομετρητές. Σε περιπτώσεις όπου οι πομποδέκτες των υδρομετρητών δεν έχουν την απαιτούμενη εμβέλεια για να επικοινωνήσουν με κάποιον συγκεντρωτή, τότε εγκαθίστανται οι αναμεταδότες ως ενδιάμεσο στάδιο. Μάλιστα, οι μετρήσεις των υδρομετρητών μπορεί να περάσουν από πολλαπλούς αναμεταδότες πριν να φτάσουν σε έναν συγκεντρωτή [εικόνα 3.2-5] [15]. Εάν υπάρχουν πολλαπλές διαθέσιμες διαδρομές για τα δεδομένα τότε αυξάνεται η αξιοπιστία της μετάδοσης, διότι δίνεται η επιλογή να μη διακοπεί η λειτουργία του συστήματος ακόμα κι αν αστοχήσουν κάποιες διαδρομές.



εικόνα 3.2-5

Η ιεραρχία μετάδοσης συνοψίζεται στην *εικόνα 3.2-6*:



εικόνα 3.2-6

Με επίκεντρο τη μέθοδο συλλογής των δεδομένων, πέραν της τεχνολογίας AMR τη βασιζόμενη σε σταθερά δίκτυα μετρητών, πομποδεκτών, συλλεκτών και κεραιών, διακρίνουμε επίσης την τεχνολογία της κινητής καταγραφής μετρήσεων *'Walk-by'* ή *'Drive-by' Meter Reading*. Η κινητή μέθοδος καταγραφής είναι ένας συνδυασμός της σταθερής και κινητής τηλεμετρίας. Απαιτεί την περιοδική επίσκεψη εξουσιοδοτημένου προσωπικού

για τη λήψη των μετρήσεων, δίχως όμως να γίνεται η οπτική ανάγνωση και χειροκίνητη καταγραφή των ενδείξεων όπως είναι η παραδοσιακή μέθοδος, αλλά μέσω ασύρματης τεχνολογίας.

Ο υπάλληλος που λαμβάνει τις μετρήσεις, μετακινείται είτε επί ποδός (Walk-by) είτε με ένα όχημα (Drive-by) σε μια προκαθορισμένη διαδρομή, ώστε να βρεθεί εντός της εμβέλειας των πομποδεκτών και να λάβει τα δεδομένα είτε στο τερματικό χειρός, είτε σε υπολογιστή συνδεδεμένο στον τηλεπικοινωνιακό δίαυλο. Υπάρχει πάλι το πλεονέκτημα ότι αποφεύγονται τα ανθρώπινα λάθη καταγραφής των μετρήσεων. Επίσης δεν είναι ανάγκη να βρεθεί με φυσική παρουσία ο άνθρωπος δίπλα στους υδρομετρητές – γεγονός που παρουσιάζει δυσκολίες διότι οι μετρητές συχνά βρίσκονται εντός ιδιωτικών οικισμών και άρα απαιτείται η παρουσία του κατοίκου για να επιτρέψει την πρόσβαση – αλλά αρκεί να βρεθεί εντός εμβέλειας των πομποδεκτών τους.

Ένα μειονέκτημα, ωστόσο, είναι ότι η εταιρεία ύδρευσης θα πρέπει να διαθέτει ανθρώπινο προσωπικό που θα είναι επιφορτισμένο με την περιοδική επίσκεψη στην περιοχή των υδρομέτρων ώστε να συλλέγουν τα δεδομένα. Μαζί με το κόστος εγκατάστασης του συστήματος αυτοματοποιημένης καταγραφής, δηλαδή, εξακολουθεί να υπάρχει το κόστος υπέρ αμοιβών του προσωπικού συλλογής των μετρήσεων. Σίγουρα, πάντως, αυξάνεται η αποδοτικότητα της διαδικασίας συλλογής δεδομένων έναντι της παραδοσιακής μεθόδου, διότι απαιτεί λιγότερο χρόνο για περισσότερους μετρητές. Συγκεκριμένα, με τη χειροκίνητη συμβατική μέθοδο ένας εργαζόμενος δύναται να καταγράψει περίπου 300 ενδείξεις υδρομετρητών ανά ημέρα. Με τη μέθοδο Drive-by ο αριθμός αυξάνει σε περίπου 15000 υδρομετρητές την ημέρα [22].

3.3 Πλεονεκτήματα τηλεμετρίας

Η εφαρμογή αυτοματοποιημένου συστήματος τηλεμετρίας παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα συγκριτικά με την παραδοσιακή μέθοδο καταγραφής των μετρήσεων:

- **Δικαιότερη χρέωση και ελαχιστοποίηση εκτιμήσεων χρέωσης**

Η χρέωση αφορά πραγματικά στοιχεία/μετρήσεις και δεν αποτελεί κάποια εκτίμηση βάσει παλαιότερων καταναλώσεων.

- **Εύκολος έλεγχος της κατάστασης των μετρητών**

Ξαφνική απουσία μετρητικών δεδομένων, ή αιφνίδια υπερβολική αύξηση ή μείωση της κατανάλωσης, σηματοδοτεί άμεσα την ύπαρξη προβλήματος και χρήζει έγκαιρης διάγνωσης.

- **Αποδέσμευση προσωπικού**

Αποδέσμευση τεχνικού προσωπικού από μια δουλειά μονότονης φύσης, και απασχόλησής τους σε πιο δημιουργικές εργασίες.

- **Αυξημένη αξιοπιστία μετρητικών δεδομένων**

Αποτελεί άμεσο επακόλουθο του ότι δεν εμπλέκεται ανθρώπινος παράγοντας για την καταγραφή των μετρήσεων. Με τη χειροκίνητη καταγραφή των ενδείξεων των υδρομετρητών πάντοτε ελοχεύουν οι κίνδυνοι του ανθρώπινου σφάλματος, το οποίο δε γίνεται να εξαλειφθεί εντελώς, παρά μόνο να περιοριστεί μέσα από άρτια εκπαίδευση του προσωπικού. Με την τηλεμετρία αποφεύγονται λάθη ανάγνωσης και καταγραφής ενδείξεων, όπως επίσης και λάθη κατά την μετέπειτα μηχανογράφηση των τιμών για την έκδοση λογαριασμών.

- **Αυξημένη ασφάλεια τεχνικού προσωπικού:**

Δεν είναι συχνά φαινόμενα, ωστόσο είναι υπαρκτά, το προσωπικό που είναι επιφορτισμένο με την οπτική ανάγνωση και χειροκίνητη καταγραφή των ενδείξεων να έρχεται αντιμέτωπο με παρουσία εντόμων, τρωκτικών, αφύλακτων άγριων σκύλων, ή άλλων επικίνδυνων ζώων όπως φίδια και σκορπιοί. Μάλιστα οι υπάλληλοι μπορεί να έρθουν αντιμέτωποι με καταναλωτές που δυσανασχετούν ή εκνευρίζονται με την παρουσία τους.

- **Δυσπρόσιτοι ή απρόσιτοι μετρητές**

Μετρητές για τους οποίους, προσωρινά για έκτακτη αιτία, είναι δύσκολη ή αδύνατη η ανάγνωση των ενδείξεών τους. Επίσης, υδρόμετρα που απαιτούν την παρουσία κάποιου κατοίκου για να επιτραπεί η είσοδος στο χώρο των μετρητών.

- **Διαχείριση δικτύου**

Αποτελεσματικότερη διαχείριση δικτύου από τις εταιρίες ύδρευσης και αποχέτευσης. Ειδικότερα, δίνεται η δυνατότητα για ακριβέστερες μελέτες επέκτασης, συντήρησης, και λειτουργίας του δικτύου.

Το ταυτόχρονο των μετρήσεων, καθώς και η αναγνώριση των αντιστροφών ροών, επιτρέπει την αποτύπωση μιας ρεαλιστικής εικόνας για τη ροή του νερού στο δίκτυο.

- **Επίγνωση καταναλωτικής συμπεριφοράς και αύξηση καταναλωτικής ευαισθησίας**

Ο καταναλωτής αποκτά άμεση εικόνα της ζήτησής του για νερό. Μπορεί, επομένως, να ρυθμίζει τη συμπεριφορά του σύμφωνα με τις ανάγκες και το αντίστοιχο κόστος τους.

- **Μειωμένο λειτουργικό κόστος**

Μέσω τηλεμετρίας μειώνεται το κόστος υπέρ αμοιβής προσωπικού που καταγράφει τις μετρήσεις από τους μετρητές και τη μετέπειτα εισαγωγή των δεδομένων στους υπολογιστές της εταιρείας. Το κόστος τηλεμετρίας έχει κυρίως την έννοια της επένδυσης. Το κύριο κόστος της, δηλαδή, έγκειται στην εγκατάσταση του συστήματος παρά στη μετέπειτα συντήρησή του.

- **Δυνατότητα μεταβολής του ρυθμοί λήψης δεδομένων**

Από τη στιγμή που το δίκτυο τηλεμετρίας έχει εγκατασταθεί, είναι εύκολο να γίνουν ρυθμίσεις που διευκολύνουν τις εκάστοτε ανάγκες των εταιρειών. Όταν, για παράδειγμα, μια εταιρεία κρίνει ότι δεν επιθυμεί για ορισμένες ομάδες καταναλωτών να λαμβάνει τόσο αναλυτικές πληροφορίες κατανάλωσης – οι οποίες άλλωστε συνεπάγονται και μετέπειτα αυξημένη επεξεργαστική ισχύ για την εξαγωγή επιπλέον χρήσιμων δεδομένων – μπορεί να αυξήσει τη χρονική περίοδο μεταξύ των μετρήσεων, λαμβάνοντας έτσι πιο αραιές μετρήσεις.

Υπάρχει, επομένως, ένας συμβιβασμός: όσο αυξάνεται η χρονική συχνότητα λήψης των μετρήσεων, τόσο αυξάνεται η ακρίβεια των μετρήσεων, όμως ταυτόχρονα αυξάνεται το υπολογιστικό κόστος για την επεξεργασία και αποθήκευση αυτών, και μειώνεται η προβλεπόμενη διάρκεια ζωής των συσκευών που λειτουργούν με μπαταρίες (όσο συχνότερα αποστέλλονται δεδομένα τόσο περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνεται).

Παραδείγματος χάριν, όταν η εταιρεία χρειάζεται να μελετήσει την αναλυτική ωριαία καταναλωτική συμπεριφορά απαιτεί λεπτομερείς μετρήσεις, δηλαδή συχνότερες. Εν συνεχεία, αφού δομήσει το καταναλωτικό προφίλ μπορεί να αραιώσει τη συχνότητα στα επίπεδα που επιθυμεί.

- **Αποτροπή ή προτροπή κατανάλωσης**

Καθότι οι μετρήσεις είναι γνωστό, πλέον, τόσο σε ποιά χρονική στιγμή ελήφθησαν όσο και ποιά μέρα συγκεκριμένα, οι εταιρίες ύδρευσης μπορούν να δώσουν οικονομικά κίνητρα ή ποινές προκειμένου να επιβραβεύσουν ή αποτρέψουν, αντίστοιχα, τη ζήτηση νερού.

Για παράδειγμα, σε περιόδους αυξημένης λειψυδρίας, όπου η διατήρηση και προστασία των αποθεμάτων νερού γίνονται σημαντικότερες, μπορούν να αποτρέψουν τη σπατάλη νερού για συγκεκριμένες περιόδους με την υιοθέτηση υψηλότερης χρέωσης – εάν η κατανάλωση υπερβεί ένα καθορισμένο όριο για κάθε ημέρα. Άλλο παράδειγμα, προς την πλευρά της επιβράβευσης, είναι η υιοθέτηση χαμηλότερης χρέωσης για χρονικές περιόδους όπου η ζήτηση είναι χαμηλότερη. Οι εταιρίες αφενός αξιοποιούν αποδοτικότερα τις εγκαταστάσεις τους μέσω της διατήρησης σταθερότερων επιπέδων κατανάλωσης, αφετέρου οι καταναλωτές θα έχουν οικονομικό κίνητρο να καλύψουν ανάγκες τους – όπως χρήση πλυντηρίων ή πότισμα – σε εκείνες τις χρονικές στιγμές.

- **Αύξηση αξιοπιστίας στο πρόσωπο της εταιρείας, παροχή υπηρεσιών υψηλότερης ποιότητας προς τους καταναλωτές:**

Η άμεση αναγνώριση διαρροών γλιτώνει τους καταναλωτές από περιττά και άδικα προς αυτούς έξοδα και παράπονα. Η ειδοποίηση για υπερβολική αύξηση της κατανάλωσης, που μπορεί να είναι ηθελημένη, όμως ίσως να οφείλεται σε εκδήλωση διαρροής ή παράνομη σύνδεση, προστατεύει το χρήστη και έτσι αυξάνεται η εμπιστοσύνη του κοινού προς την εταιρεία.

- **Ανίχνευση απάτης**

Συχνό φαινόμενο απάτης είναι η ηθελημένη καταστροφή μέρους ή όλου του αισθητήριου μηχανισμού του υδρομετρητή. Για παράδειγμα, το πριόνισμα πτερυγίων της περιστρεφόμενης φτερωτής ταχυμετρικών υδρομέτρων με αποτέλεσμα νερό να ρέει διαμέσω του οργάνου δίχως να γίνεται αντιληπτό από τον μέτρητή (ή να γίνεται αντιληπτή πολύ μικρότερη ποσότητα της

κανονικής). Άλλο σύνηθες φαινόμενο απάτης είναι η αφαίρεση του υδρομέτρου, και κατόπιν η επανασύνδεσή του ανάποδα, ώστε η κανονική ροή κατανάλωσης να θεωρείται τώρα από το όργανο ως αντίστροφη ροή – με αποτέλεσμα είτε να μην καταγράφει καθόλου είτε να μετρά "ανάποδα", μειώνοντας δηλαδή την ένδειξη του για την καταναλισκόμενη ποσότητα νερού.

Μέσω τηλεμετρίας τέτοια φαινόμενα εξαλείφονται (ή δυσχεραίνονται σημαντικά). Ο λόγος είναι ότι όλοι οι σύγχρονοι υδρομετρητές που επιδέχονται τηλεμέτρηση ανιχνεύουν εάν πρόκειται για κανονική ή αντίστροφη ροή (αποστέλλουν διαφορετικά σήματα), και επιπλέον αποστέλλουν στην εταιρεία ύδρευσης μηνήματα εάν για οποιονδήποτε λόγο κάποιος επιχειρήσει την αποσύνδεσή τους – έστω κι αν πρόκειται για ταχύτατη παραβίαση. Είναι προφανές ότι καταστροφή του πομποδέκτη, ή διακοπή της τροφοδοσίας του, θα γίνει γρήγορα αντιληπτό στην εταιρεία από το γεγονός ότι θα σταματήσουν να καταφθάνουν μετρήσεις που αφορούν τον εν λόγω υδρομετρητή.

Επίσης, καθότι η εταιρεία θα μπορεί να διαθέτει αναλυτικότερο ιστορικό για την κατανάλωση ενός υδρομέτρου, ασυνήθιστη αλλαγή του καταναλωτικού προφίλ θα αποτελεί αιτία αυξημένης προσοχής. Να αναφέρουμε, βεβαίως, ότι μια τέτοια ασυνήθιστη συμπεριφορά μπορεί παράλληλα να προστατέψει τον νομοταγή καταναλωτή καθότι η εταιρεία, σε αυτοψία της, μπορεί να διαπιστώσει παράνομη σύνδεση και κλοπή νερού από επιτήδιο – που διαφορετικά ίσως να μη γινόταν εύκολα αντιληπτή – ή να διαπιστώσει φαινόμενο διαρροής, οπότε και να προβεί σε ενέργειες αντιμετώπισής της.

- **Ανίχνευση διαρροών:**

Ένα κύριο αίτιο των πολύ χαμηλών παροχών είναι οι διαρροές στο δίκτυο του χρήστη. Τυπική διαρροή αποτελούν βρύσες οι οποίες στάζουν. Τέτοια διαρροή εκδηλώνεται ως παροχή εύρους $0,13 \text{ l/h}$ έως $1,25 \text{ l/h}$ [25]. Άλλη συνήθης διαρροή είναι από το καζανάκι της τουαλέτας, η οποία εκδηλώνεται ως παροχή εύρους $0,4 \text{ l/h}$ έως 14 l/h [26]. Να σημειώσουμε ότι μια τέτοια συνεχόμενη διαρροή, για παράδειγμα 12 l/h , αναλογούν σε σπατάλη 288 λίτρων νερού ημερησίως, που αντιστοιχούν περίπου στο μισό του συνολικού όγκου νερού που απαιτεί ένα τυπικό νοικοκυριό για την κάλυψη των αναγκών του. Κατ'επέκταση, το συγκεκριμένο νοικοκυριό μπορεί να δει το λογαριασμό για το νερό αυξημένο κατά 50%.

Αντιλαμβανόμαστε ότι, πέρα από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχει η κατασπατάληση νερού, υπάρχει άμεσος οικονομικός αντίκτυπος. Συνεπώς, η έγκαιρη ανίχνευση και επιδιόρθωση διαρροών είναι σοβαρό ζήτημα που δε μπορεί να παραβλέπεται.

Μάλιστα, τέτοιου είδους οικιακές διαρροές – δηλαδή πόσιμο νερό να καταλήγει απευθείας στο δίκτυο αποχέτευσης – χρήζει διαφορετικής αντιμετώπισης από τις εταιρίες ύδρευσης & αποχέτευσης έναντι των διαρροών όπου έχουμε καθαρή απώλεια νερού από το δίκτυο. Στη μεν απώλεια νερού, λόγω ρήξης των σωληνώσεων για παράδειγμα, το νερό χάνεται στο περιβάλλον (έδαφος). Όταν, όμως, το νερό διαρρέει προς το αποχετευτικό δίκτυο, τότε αποτελεί πλέον λύμα, και θα πρέπει να υποστεί επεξεργασία ως τέτοιο.

Μέσω της αυτόματης τηλεμέτρησης υδρομετρητών επιτυγχάνεται ταχύτερη αναγνώριση διαρροών. Επίσης πραγματοποιούνται ορθότερες καλύτερες εκτιμήσεις για τα επίπεδα διαρροών καθώς και τα σημεία εκδήλωσής τους.

Η άμεση αναγνώριση διαρροών ή σοβαρών σφαλμάτων της καταμέτρησης εξοικονομεί χρόνο και χρήμα τόσο από πλευράς της εταιρείας ύδρευσης όσο και από πλευράς του καταναλωτή. Επίσης, μειώνονται οι προστριβές των δύο εμπλεκόμενων μερών αφού συχνά εκδηλώνονται παράπονα ή καθυστερήσεις πληρωμών όταν ο χρήστης κρίνει υπερβολική τη χρέωσή του ως αποτέλεσμα υποκείμενης διαρροής. Μέσω τηλεμετρίας η αναγνώριση της διαρροής, άρα και η επιδιόρθωσή της, είναι ταχύτερη. Με τη συμβατική μέθοδο λήψης μετρήσεων, την ανάγνωση, δηλαδή, της ένδειξης του οργάνου από προσωπικό των εταιριών ύδρευσης, η διαρροή θα γίνει αντιληπτή το λιγότερο τρεις μήνες μετά την εκδήλωσή της – όσο είναι το μέσο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ διαδοχικών επισκέψεων στον υδρομετρητή.

3.4 Εγχώριο ενδιαφέρον

Αναγνωρίζοντας τα οφέλη που παρέχει η αυτοματοποιημένη μέθοδος τηλεμέτρησης, οι εταιρείες ύδρευσης βαδίζουν προς την εγκατάσταση σύγχρονων συστημάτων παρακολούθησης της κατανάλωσης νερού.

Τα παλαιά δίκτυα μέτρησης κατανάλωσης δε μπορούν πλέον να καλύψουν αποτελεσματικά τις σημερινές αυξανόμενες απαιτήσεις για αποτελεσματική διαχείριση των υδατικών πόρων, για αυτό και η αντικατάστασή τους από δίκτυα νέας γενιάς ψηφιακής τεχνολογίας είναι επιβεβλημένη. Σκοπός των εταιριών ύδρευσης είναι η δημιουργία Ολοκληρωμένων Πληροφοριακών Συστημάτων Τηλεμέτρησης - Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων και Μετρήσεων των Δικτύων, με χρήση νέων τεχνολογιών και ηλεκτρονικών υπηρεσιών, με απώτερο στόχο την αυτοματοποίηση των

διαδικασιών μέτρησης, την εξοικονόμηση υδάτινων πόρων και την εξυπηρέτηση του πολίτη.

Τα έργα αφορούν την εγκατάσταση συστήματος ασύρματης μετάδοσης των ενδείξεων των υδρομετρητών σε τακτά χρονικά διαστήματα, και την επεξεργασία των δεδομένων αυτών.

Αναφέρουμε τη βασική αρχή λειτουργίας του δικτύου μέτρησης και τον απαιτούμενο εξοπλισμό, για τις ΔΕΥΑ (Δημοτικές Επιχειρήσεις Ύδρευσης – Αποχέτευσης): δήμου Αθηναίων [1] (για μεγάλους καταναλωτές μόνο), δήμου Αμφιλοχίας [2], δήμου Διονύσου [3], δήμου Θεσσαλονίκης [4], δήμου Ιωαννιτών[5], δήμου Κομοτηνής [6], δήμου Νεμέας [7], δήμου Παξών [8], και δήμου Σερρών [9]. Τα μεγέθη διαφέρουν ανάλογα με τις απαιτήσεις των δήμων, αλλά οι αρχές λειτουργίας ακολουθούν την αυτοματοποιημένη τηλεμέτρηση και τηλεπαρακολούθηση.

Ειδικότερα:

Για την λειτουργία του συστήματος απαιτείται ο υδρομετρητής να διαθέτει παλμοδοτική έξοδο. Μέσω της περιστροφής του μηχανισμού του υδρομετρητή παράγεται ένας παλμός εντός της παλμοδοτικής διάταξης ο οποίος μεταφέρεται στην έξοδό της. Στην έξοδο αυτή εγκαθίσταται ο πομπός μετάδοσης των ενδείξεων. Το όλο σύστημα δημιουργίας και αποστολής των ενδείξεων είναι αυτόνομο ενέργειας. Η μετάδοση των δεδομένων πραγματοποιείται από τα υδρόμετρα προς τους συγκεντρωτές χρησιμοποιώντας ασύρματη τεχνολογία επικοινωνίας. Οι συγκεντρωτές με τη σειρά τους τηλεμεταδίδουν τις καταγεγραμμένες ενδείξεις στον κεντρικό υπολογιστή (με την παρέμβαση αναμεταδοτών όπου χρειάζεται) και τα στοιχεία είναι διαθέσιμα προς επεξεργασία. Η μετάδοση των στοιχείων προς τον κεντρικό υπολογιστή μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας το

δίκτυο της κινητής τηλεφωνίας SMS /GPRS ή μέσω WiFi ή και ενσύρματα μέσω Ethernet.

Για τους απομακρυσμένους μετρητές οι οποίοι δεν βρίσκονται εντός εμβέλειας μετάδοσης μέσω του σταθερού δικτύου, η μετάδοση των δεδομένων πραγματοποιείται απευθείας μέσω SMS στον κεντρικό υπολογιστή.

Η συνολική προτεινόμενη λύση των Ολοκληρωμένων Πληροφοριακών Συστημάτων Εξοικονόμησης Υδάτινων Πόρων και Εξυπηρέτησης των Πολιτών αποτελείται από:

1. Σύστημα Water Υδρομετρητών (Ογκομετρικός Υδρομετρητής, Υδρομετρητής Τύπου Woltmann).
2. Σύστημα τηλεπικοινωνιακού καναλιού ασύρματης μετάδοσης δεδομένων για τη μεταφορά μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο από τον Μετρητή σε έναν κεντρικό κατανεμητή ανά συγκεκριμένη Γεωγραφική Περιοχή (AMR Σύστημα).
3. Σύστημα αποθήκευσης, επεξεργασίας, διαχείρισης, ανάλυσης και προβολής των μετρήσεων – Διαδικτυακή Πύλη.

Τα Πληροφοριακά Συστήματα υποστηρίζουν τον εξοπλισμό και παρέχουν υπηρεσίες προς τους πολίτες και τις επιχειρήσεις οφείλουν να περιλαμβάνουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Υποσύστημα Διαχείρισης Χρηστών: Web-based, δικαιώματα πρόσβασης.
- Υποσύστημα - Κέντρο παρακολούθησης δεδομένων ύδατος: απεικόνιση χαρτών με τα επιχειρησιακά δεδομένα υδάτων, πλήρης προβολή δικτύου, καθορισμός επιτρεπτών ορίων τιμών για μετρούμενα μεγέθη, προβολή αναφορών, διασύνδεση με υφιστάμενες υποδομές.
- Υποσύστημα αυτόματων ειδοποιήσεων και συναγερμών.

- Υποσύστημα παρακολούθησης καταναλώσεων για φορητές συσκευές.
- Υποσύστημα Ηλεκτρονικών συναλλαγών: έκδοση ψηφιακών λογαριασμών και συναλλαγή μέσω πιστωτικών καρτών, διατραπεζικών λογαριασμών ή και προπληρωμένων καρτών.
- Υποσύστημα συγκριτικής αξιολόγησης καταναλώσεων ύδατος.
- Εφαρμογή - οδηγού εξοικονόμησης νερού.
- Διαδικτυακή Πύλη: θα φιλοξενεί το σύνολο των υποσυστημάτων – εφαρμογών.

Τα κυριότερα προβλήματα που επιλύονται είναι:

- των πεπαλαιωμένων δικτύων ύδρευσης.
- της ανεπαρκούς αξιοποίησης Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) για εξοικονόμηση πόρων.
- των λαθών χρεώσεων.
- της αποφυγή φυσικής μετάβασης στα σημεία εξόφλησης λογαριασμών.
- της αδυναμίας προσωποποιημένης πληροφόρησης πολιτών και των επιχειρήσεων/οργανισμών.
- της Κακής διαχείριση του νερού συνολικά/ ανά γεωγραφικό διαμέρισμα.

Οφέλη για τον πολίτη, τον οργανισμό και την επιχείρηση:

- Εξοικονόμηση Υδάτινων Πόρων.
- Αυτοματοποίηση διαδικασιών μέτρησης και πληρωμών.
- Καλύτερη Διαχείριση του νερού.
- Εξασφάλιση διαφάνειας και αξιοπιστίας στις συναλλαγές.
- Ενίσχυση της εικόνας των Δήμων στον καταναλωτή.

Στα οικονομικά οφέλη συνυπολογίζονται και τα πολύ σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη που συνεπάγεται η υλοποίηση της πράξης όπως :

- Εξοικονόμηση φυσικών πόρων (ύδατος και ενεργειακών πόρων).
- Μείωση των ρύπων και της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος (μέσω της εξοικονόμησης των ενεργειακών πόρων).
- Αξιοποίηση των ΤΠΕ και υπηρεσιών προσωποποιημένης πρόσβασης/ εξυπηρέτησης πολιτών, οργανισμών και επιχειρήσεων.
- Δυνατότητα ηλεκτρονικής έκδοσης και πληρωμής λογαριασμών παροχής νερού, συρρίκνωση των πιθανοτήτων ανεπιθύμητων χρεώσεων και κατάργηση της απαίτησης φυσικής μετάβασης στα σημεία διεκπεραίωσης διαδικασιών εξόφλησης λογαριασμών.
- Δυνατότητα αποστολής αυτόματων ειδοποιήσεων και συναγερμών σε περιπτώσεις υπερβολικής κατανάλωσης ή διαρροών ύδατος στους πολίτες/επιχειρήσεις.
- Δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης και ενημέρωσης των ενδιαφερόμενων (πολιτών / επιχειρήσεων) για θέματα καταναλώσεων, μέσα από την αξιοποίηση σύγχρονων και καινοτόμων τεχνολογικών μέσων, όπως φορητές συσκευές και σύγχρονα κινητά.
- Δυνατότητα πρόσβασης σε βάση δεδομένων που θα περιέχει πληροφορίες και πρακτικές συμβουλές αναφορικά με ζητήματα καταναλώσεως ύδατος και εξοικονόμησης υδάτινων πόρων.
- Τεχνολογική αναβάθμιση και ενίσχυση του βαθμού αξιοποίησης και ενσωμάτωσης των δυνατοτήτων των ΤΠΕ στην καθημερινή λειτουργία των Δήμων, με απώτερο στόχο την παροχή υπηρεσιών υψηλής προστιθέμενης αξίας προς τους δημότες / πολίτες.
- Ενίσχυση της προστασίας του περιβάλλοντος, μέσα από την καλύτερη διαχείριση και παρακολούθηση της κατανάλωσης ύδατος.
- Αναβάθμιση της σχέσης δημότη και Δημοτικής Αρχής –πρωτίστως- και δευτερευόντως, Δημοτικής Αρχής και επιχειρήσεων.

4

Παράγοντες που επηρεάζουν τις καμπύλες σφαλμάτων, και μοντελοποίηση αυτών

4.1 Εισαγωγή

Έχουμε ήδη αναφέρει ότι οι υδρομετρητές, όπως και κάθε πραγματική συσκευή μέτρησης άλλωστε, δεν παρέχουν απολύτως ορθές πληροφορίες για το διερχόμενο όγκο νερού. Σκοπός μας είναι να μπορέσουμε να "διορθώσουμε" τις μετρήσεις των υδρομέτρων – δηλαδή να αξιοποιήσουμε τις παρεχόμενες μετρήσεις προκειμένου να εξάγουμε αποτελέσματα πιο κοντά στα πραγματικά.

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε ορισμένες από τις πιο βασικές παραμέτρους που επιδρούν στη μετρητική συμπεριφορά των υδρομετρητών.

Το σκεπτικό που ακολουθούμε είναι ότι: γνωρίζοντας τον τρόπο που ο κάθε παράγοντας επηρεάζει την ακρίβεια των οργάνων, πληροφορούμαστε ταυτόχρονα και για τον τρόπο με τον οποίο θα εξαλείψουμε την επίδραση αυτή από τις λαμβανόμενες μετρήσεις.

Θα εστιάσουμε την προσοχή μας μονάχα στα ταχυμετρικά και ογκομετρικά υδρομέτρα, τα οποία αποτελούν και τη συντριπτική πλειοψηφία των εγκατεστημένων υδρομέτρων αστικής χρήσης.

4.2 Επίδραση γήρατος

Κάθε οικογένεια υδρομετρητών έχει διαφορετική καμπύλη σφάλματος. Επιπλέον, η καμπύλη σφάλματος μεταβάλλεται με διαφορετικό τρόπο όσο παλαιώνει το όργανο. Επομένως, για να μπορέσουμε να προσομοιώσουμε τις επιπτώσεις της γήρανσης του μετρητή θα βασιζόμαστε είτε στα δεδομένα από τις δοκιμές που πραγματοποιεί ο εκάστοτε κατασκευαστής, είτε θα χρησιμοποιούμε ένα γενικότερο και θεωρητικό τρόπο που μεταβάλλεται η καμπύλη σφάλματος για τη συγκεκριμένη κατηγορία υδρομετρητών που θα εξετάζουμε.

Να σημειώσουμε ότι όταν αναφερόμαστε σε γήρανση του υδρομετρητή εννοούμε κατά κύριο λόγο την επιδείνωση του οργάνου λόγω φθοράς από τη χρήση του. Ως μέτρο γήρανσης θα μπορούσαμε να επιλέξουμε τα έτη τα οποία είναι εγκατεστημένος ο μετρητής, όμως δε θα είχαμε αξιόπιστη εικόνα της φθοράς [16]. Αντιθέτως, για ένα αποτελεσματικότερο μέτρο του γήρατος, χρησιμοποιούμε το συνολικά καταγεγραμμένο όγκο, ή συσσωρευμένο όγκο (*accumulated volume*) του υδρομέτρου.

Στην πραγματικότητα, βεβαίως, τα χρόνια που είναι εγκατεστημένος ένας υδρομετρητής επηρεάζουν ούτως ή άλλως τη λειτουργία του, αφού,

φαινόμενα όπως η σκουριά, εμφανίζονται με την πάροδο του χρόνου ακόμα κι αν αυτός δε χρησιμοποιείται. Ωστόσο, εάν ο μετρητής δουλεύει ακατάπαυστα στην ονομαστική παροχή του τότε θα φθαρεί ταχύτερα από την αναμενόμενη "διάρκεια" ζωής του – σε σχέση, για παράδειγμα, με έναν πανομοιότυπο υδρομετρητή που όμως λειτουργεί διακοπτόμενα σε ποικιλία διαφορετικών παροχών (όπως είναι η συνήθης χρήση του).

- *Υδρόμετρα απλής ριπής*

Με το γήρας του οργάνου αυξάνεται η παροχή εκκίνησης. Επίσης, λόγω τριβών και καταπόνησης των μηχανικών μερών η φτερωτή περιστρέφεται με μικρότερη ταχύτητα για δεδομένη παροχή.

Επομένως, με το γήρας του οργάνου, αυξάνεται το αρνητικό σφάλμα του οργάνου – δηλαδή, καταγράφεται μικρότερος όγκος του πραγματικού. Το φαινόμενο είναι εντονότερο στις χαμηλές παροχές.

- *Υδρόμετρα πολλαπλής ριπής*

Όμοιως με τα απλής ριπής, με το γήρας του οργάνου αυξάνεται η παροχή εκκίνησης. Επίσης, λόγω τριβών και καταπόνησης των μηχανικών μερών, αυξάνεται με το γήρας το αρνητικό σφάλμα του οργάνου (καταγραφόμενος όγκος μικρότερος του πραγματικού) στις χαμηλές παροχές. Αντίθετη μεταβολή εμφανίζεται σε υψηλότερες παροχές, δηλαδή αυξάνει το θετικό σφάλμα του οργάνου (καταγραφόμενος όγκος μεγαλύτερος του πραγματικού) [15].

- *Υδρόμετρα ογκομετρικά*

Οι μηχανικές φθορές που συσσωρεύονται με το γήρας του οργάνου έχουν ως αποτέλεσμα να αυξάνονται οι διαρροές μεταξύ των τμημάτων του θαλάμου μέτρησης εντός των υδρομετρητών. Περισσότερο νερό, δηλαδή, διαφεύγει κατευθείαν από το ένα τμήμα του θαλάμου στο άλλο χωρίς να καταμετρηθεί σωστά.

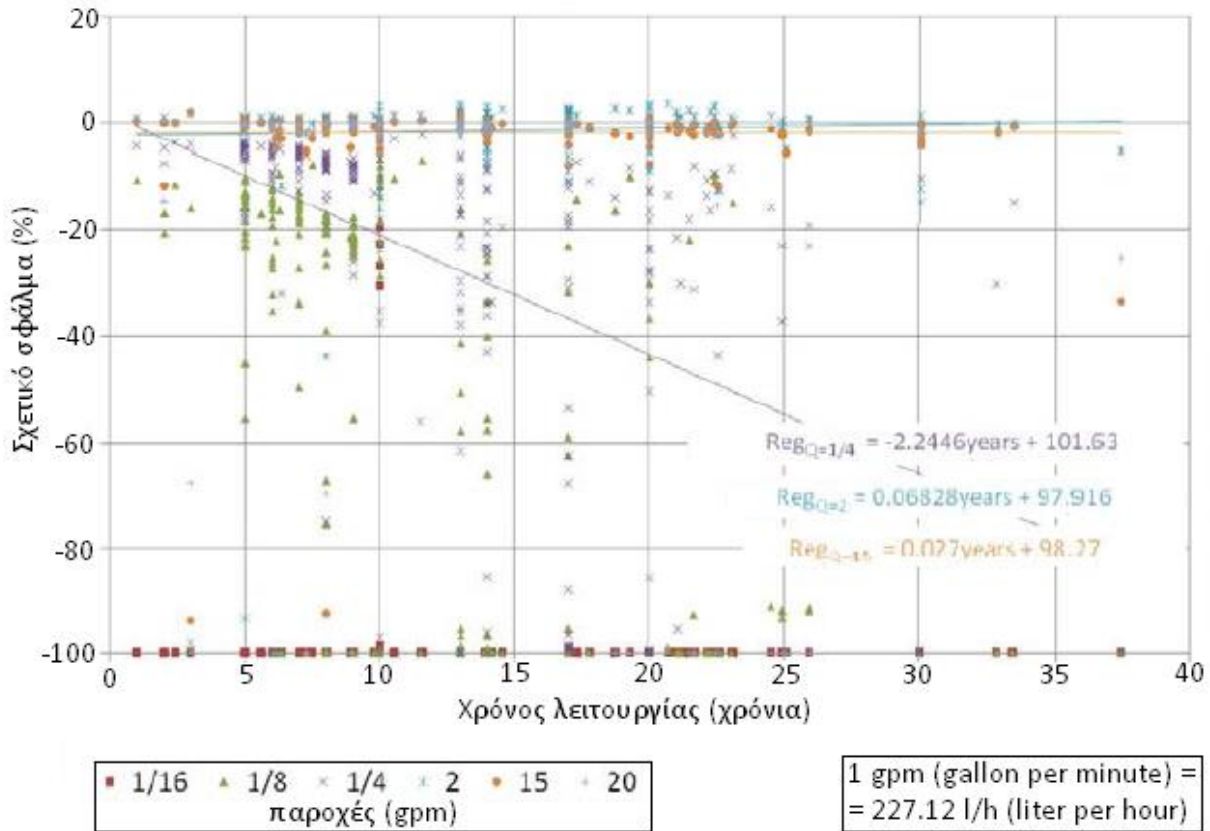
Το γεγονός, επομένως, ότι για δεδομένο όγκο νερού που ρέει διαμέσω του μετρητή κάποια ποσότητα δεν καταμετράται, σημαίνει ότι το όργανο παρουσιάζει αρνητικό σφάλμα. Μεγαλύτερες φθορές με την πάροδο του χρόνου μεταφράζονται σε περαιτέρω αύξηση του αρνητικού σφάλματος.

4.2.1 Επίδραση γήρατος – ποσοτικά χαρακτηριστικά

Παρότι, όπως έχουμε αναφέρει, το χρονολογικό γήρας δεν έχει, ως δείκτης, την αξιοπιστία και τη χρησιμότητα που έχει η γήρανση λόγω φθοράς – την οποία συμπεραίνουμε μέσω του συνολικά καταγεγραμμένου όγκου (accumulated volume) – εν τούτοις οφείλουμε να το λάβουμε υπόψιν, λόγω του ότι ορισμένα φαινόμενα, όπως η σκουριά και οι καθιζήσεις σε τμήματα του οργάνου, απαιτούν πράγματι την πάροδο χρόνου για να εμφανιστούν. Επομένως, είναι εύλογο να εισάγουμε και έναν παράγοντα επίδρασης στη μετρητική ικανότητα του υδρομέτρου καθαρά χρονολογικής φύσεως, ανεξάρτητου, δηλαδή της καταγεγραμμένης ποσότητας.

- Υδρόμετρα ογκομετρικά

Στο διάγραμμα 4.2.1-1 [16] παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα για την επιδείνωση της ακριβείας 271 υδρομετρητών ταλαντευόμενου εμβόλου διαμέτρου 15mm συναρτήσει των ετών λειτουργίας τους.



διάγραμμα 4.2.1-1

Επίδεινωση ακριβείας συναρτήσει ετών εγκατάστασης

Οι ευθείες, που παρέχονται, ευρεθείσες μέσω της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων επικεντρώνονται σε τρεις παροχές: $Q = 1/4 \text{ gpm}$ (57.2 l/h), 2 gpm (454 l/h), 15 gpm (3407 l/h), και είναι:

$$ert_{1/4}(y) = -2.2446 y + 101.63$$

$$ert_2(y) = 0.06828 y + 97.916$$

$$ert_{15}(y) = 0.027 y + 98.27$$

,όπου $ert_i(y)$ το σχετικό σφάλμα (%) της συγκεκριμένης παροχής, και y τα έτη που είναι εγκατεστημένος ο υδρομετρητής.

Για τις ανάγκες της μελέτης μας, επομένως, θα χρησιμοποιήσουμε τις ανωτέρω σχέσεις ως εξής:

- Διορθωτική καμπύλη παροχών $Q \geq 1000 \text{ l/h}$:

$$ert_h(y) = 0.027 y + 98.27$$

- Διορθωτική καμπύλη παροχών $60 \leq Q < 1000 \text{ l/h}$:

$$ert_m(y) = 0.06828 y + 97.916$$

- Διορθωτική καμπύλη παροχών $Q < 60 \text{ l/h}$:

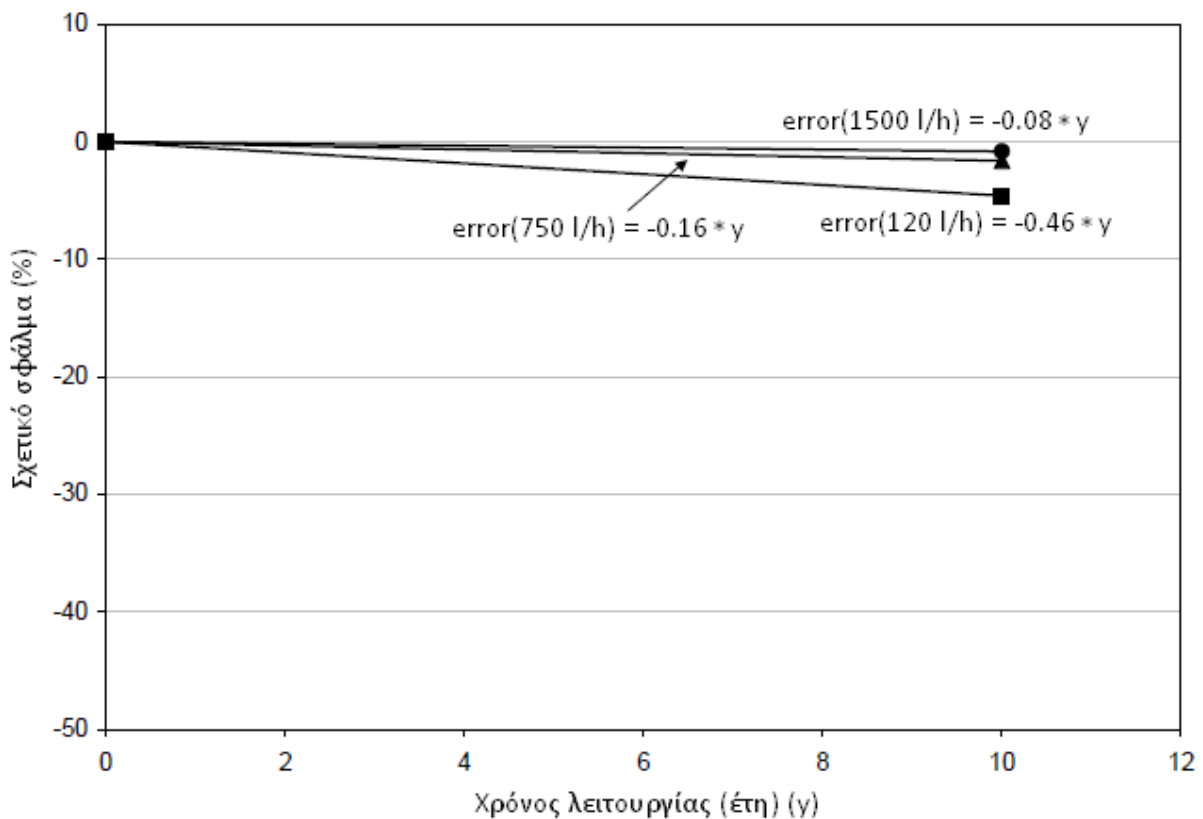
$$ert_l(y) = -2.2446 y + 101.63$$

,όπου $ert_i(y)$ το σχετικό σφάλμα (%) της συγκεκριμένης περιοχής παροχών, και y τα έτη που είναι εγκατεστημένος ο υδρομετρητής.

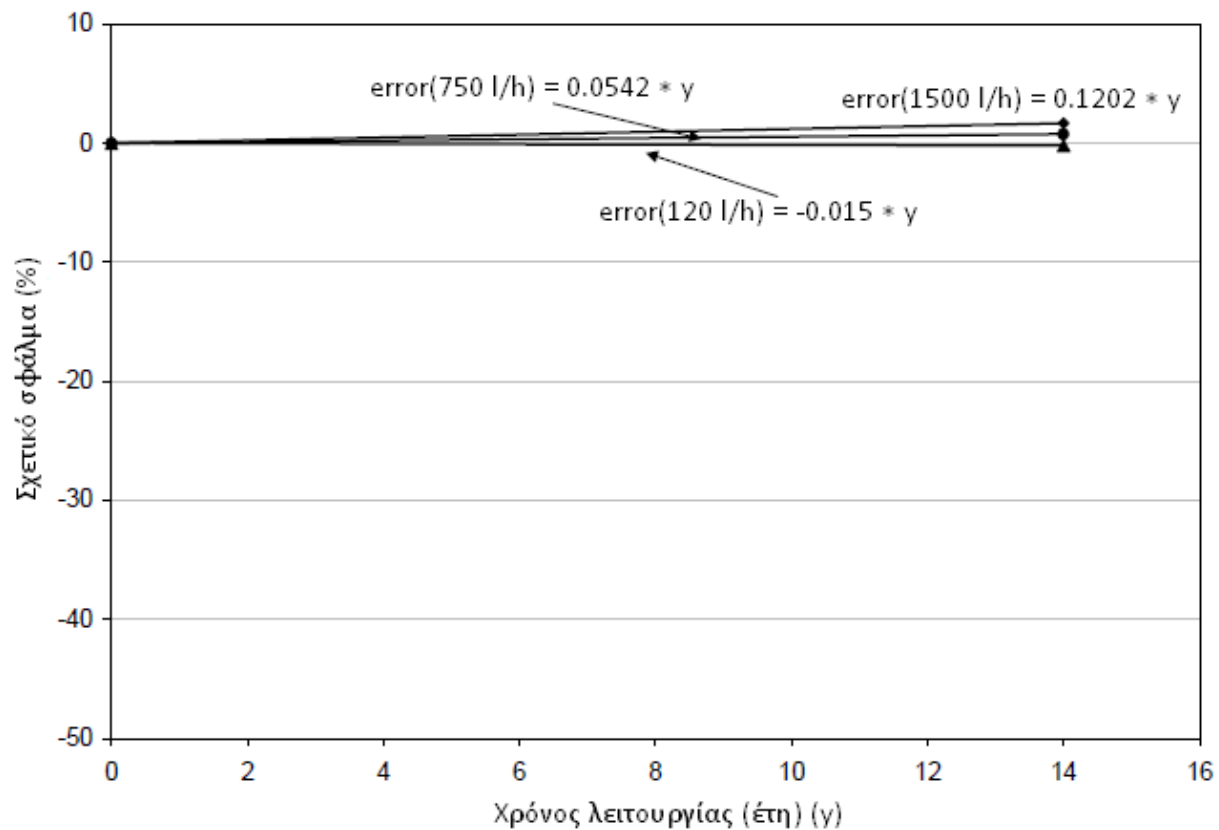
- **Υδρόμετρα ταχυμετρικά**

Για τα ταχυμετρικά υδρόμετρα δεν προκύπτει ειδική σχέση περιγραφής του χρονολογικού παράγοντα, οπότε δε θα τον λάβουμε υπόψη και θα χρησιμοποιήσουμε μονάχα την επίδραση συσσωρευμένου όγκου προκειμένου να μεριμνήσουμε για το γήρας του οργάνου.

Ως παράδειγμα, στο *διάγραμμα 4.2.1-2* φαίνεται η μέση χρονολογική μεταβολή της καμπύλης σφάλματος 191 υδρομετρητών απλής ριπής ονομαστικής παροχής $Q_3=1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, ενώ στο *διάγραμμα 4.2.1-3* απεικονίζεται η χρονολογική μεταβολή της καμπύλης σφάλματος 47 υδρομετρητών επίσης απλής ριπής και της ίδιας ονομαστικής παροχής [17].



διάγραμμα 4.2.1-2



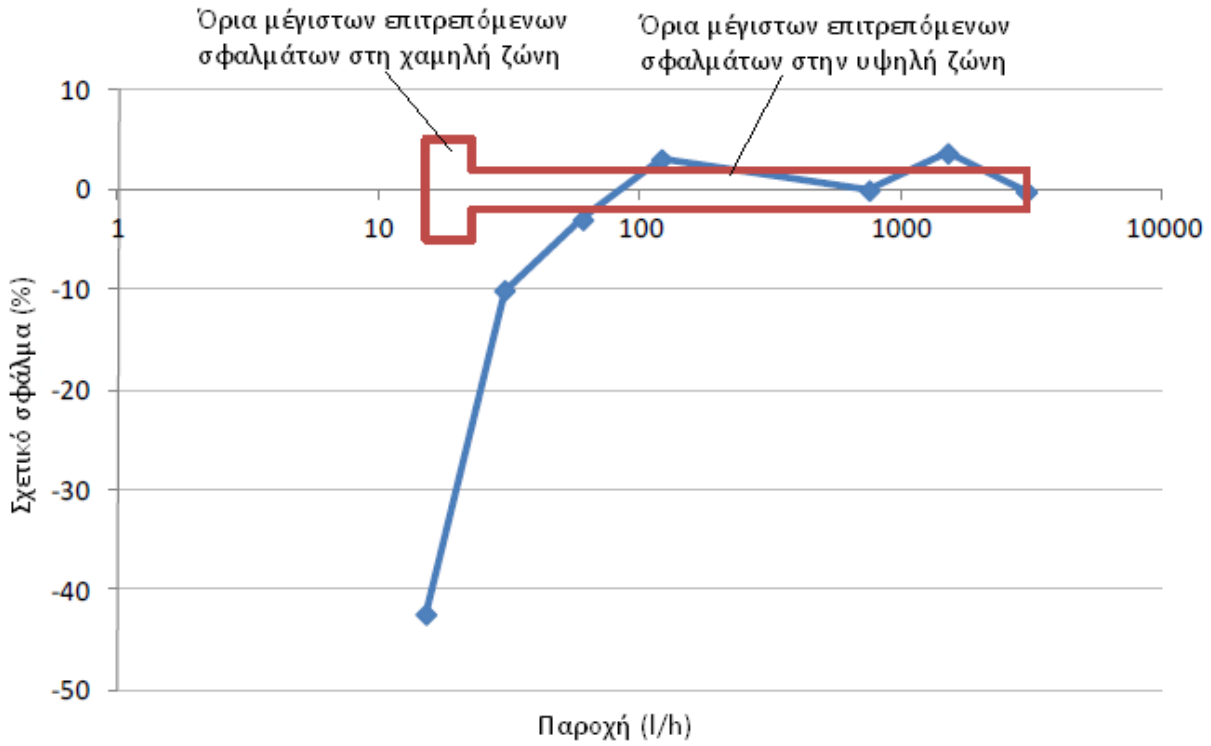
διάγραμμα 4.2.1-3

Παρατηρούμε ότι και για τις δύο οικογένειες υδρομετρητών, παρότι ίδιου τύπου και ίδιας ονομαστικής παροχής, η συμπεριφορά διαφέρει ποιοτικά – στη μία περίπτωση αυξάνει το αρνητικό σχετικό σφάλμα ενώ στην άλλη περίπτωση αυξάνει το θετικό σχετικό σφάλμα.

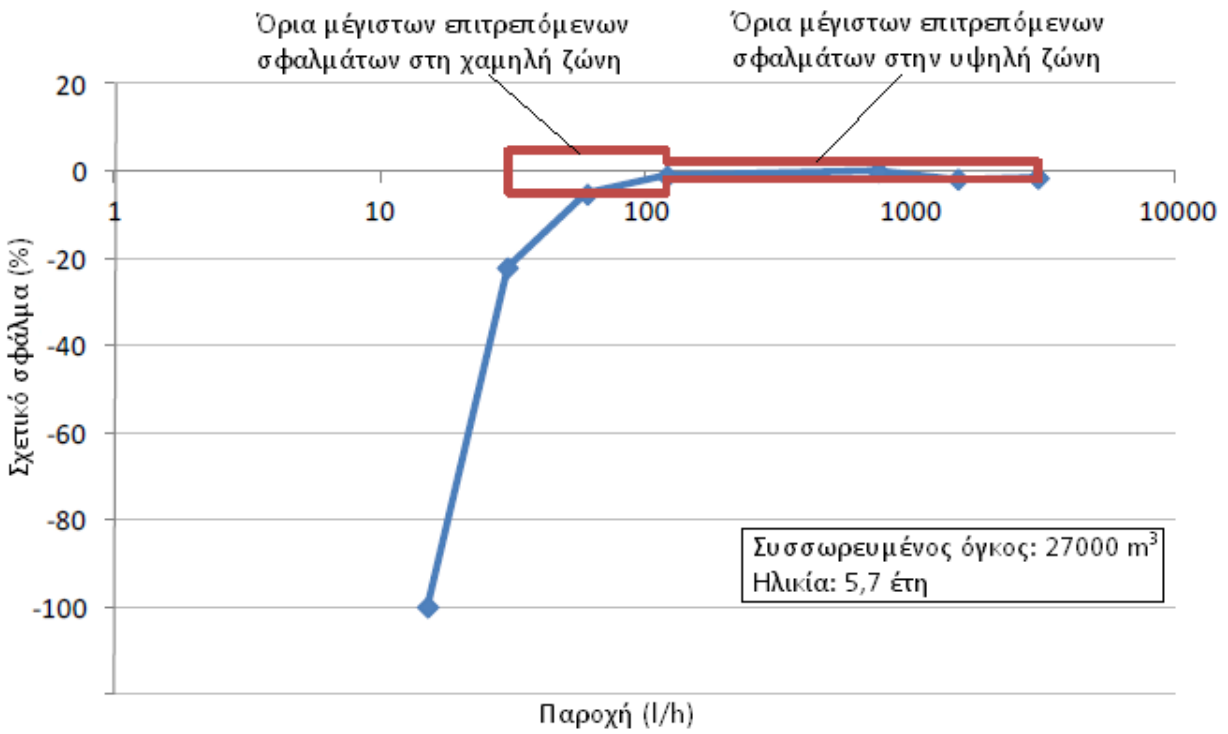
4.3 Επίδραση συσσωρευμένου όγκου

Στην ενότητα αυτή δεν εστιάζουμε στη χρονολογική γήρανση των υδρομετρητών, αλλά στη γήρανση λόγω του συνολικά καταγεγραμμένου, ή "συσσωρευμένου", όγκου νερού του υδρομετρητή. Πρόκειται, στην ουσία, για το μέτρο που δείχνει "πόσο πολύ έχει δουλέψει" το όργανο. Ο διαχωρισμός που κάνουμε σε γήρανση λόγω χρόνου και γήρανση λόγω χρήσης θυμίζει την αξιολόγηση ενός μεταχειρισμένου αυτοκινήτου προς πώληση, όπου δεν ενδιαφερόμαστε απλώς για το έτος κατασκευής του οχήματος αλλά και για τα συνολικά διανυθέντα, ή καταγεγραμμένα, χιλιόμετρα – αφού αυτό είναι πιο αξιόπιστο κριτήριο για να αντιληφθούμε την ένταση της χρήσης και φθοράς που υπέστη.

Ο παράγοντας της γήρανσης του οργάνου λόγω χρήσης είναι αυξημένης βαρύτητας διότι επηρεάζει σημαντικά την ακρίβεια των μετρήσεων. Στα *διαγράμματα 4.3-1 & 4.3-2* [18] βλέπουμε παραδείγματα πειραματικών δοκιμών για τον προσδιορισμό της καμπύλης σφάλματος υδρομέτρων που βρίσκονται ήδη σε λειτουργία. Είναι φανερό, το ότι τα εγκατεστημένα υδρόμετρα τείνουν να βγαίνουν εκτός ορίων μέγιστων επιτρεπόμενων σφαλμάτων, με εντονότερη επίδραση στην κατώτερη ζώνη παροχών.



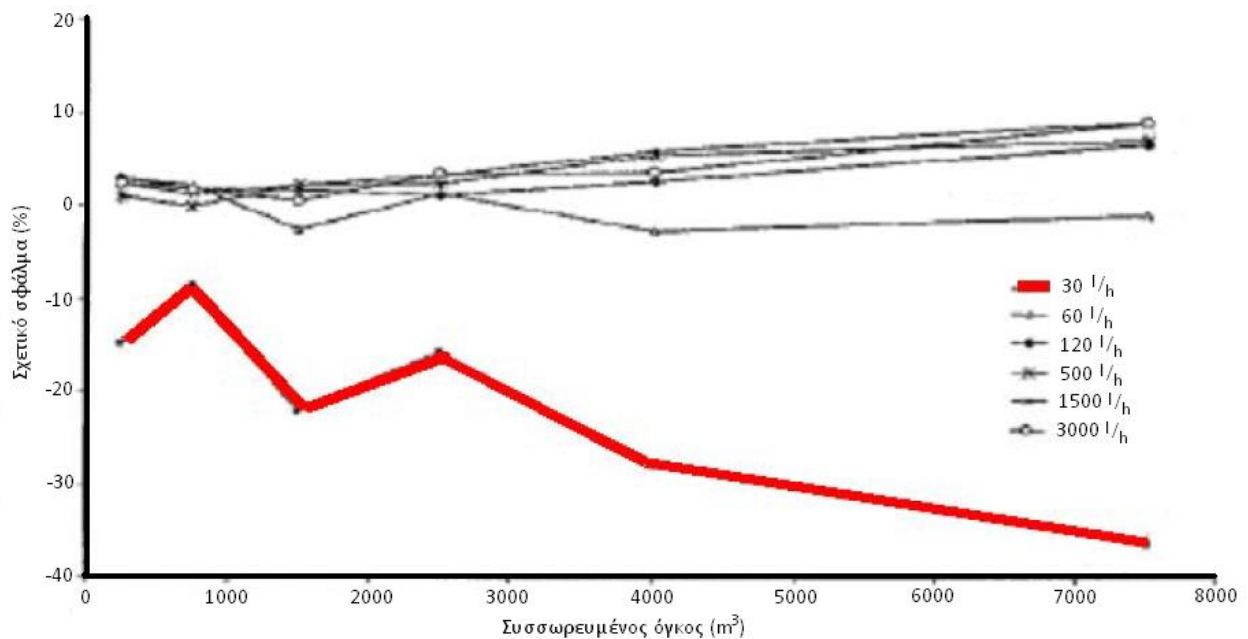
διάγραμμα 4.3-1



διάγραμμα 4.3-2

- **Υδρόμετρα ταχυμετρικά**

Για την επίδραση του καταγεγραμμένου όγκου ταχυμετρικών υδρομέτρων πολλαπλής ριπής στηριζόμαστε στο *διάγραμμα 4.3-3* [19]. Παρουσιάζεται η μέση μεταβολή της καμπύλης σφάλματος τυπικών υδρομετρητών ονομαστικής παροχής $Q_3 = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$.



διάγραμμα 4.3-3

Πράγματι παρατηρούμε ότι η δραματικότερη επιδείνωση εμφανίζεται στις χαμηλές παροχές (κοντά στα 30 l/h), ενώ για υψηλότερες παροχές η επιδείνωση εμφανίζεται με μεγαλύτερη κανονικότητα.

Για τις ανάγκες της μελέτης μας χρειαζόμαστε αναλυτικές σχέσεις για την επεξεργασία των δεδομένων της τηλεμετρίας, τις οποίες θα βασιστούμε στο διάγραμμα για την εξαγωγή τους.

Προκειμένου να μεριμνήσουμε για τη σημαντική διαφορά στην επιδείνωση της καμπύλης σφάλματος των χαμηλών με τις υψηλές παροχές, θα διακρίνουμε τρεις κατηγορίες:

- παροχές $Q \in [60, \infty) \text{ l/h}$, υψηλές
- παροχές $Q \in [40, 60) \text{ l/h}$, μεσαίες
- παροχές $Q \in [0, 40) \text{ l/h}$, χαμηλές

Για κάθε μια από τις ανωτέρω περιοχές παροχών, θα δημιουργήσουμε μία καμπύλη, και βάσει αυτής θα συμμορφώνουμε τα δεδομένα τηλεμετρίας ώστε να συμπεριληφθεί η επίδραση του γήρατος του υδρομετρητή (εννοώντας γήρας λόγω χρήσης – δηλαδή μέσω του συνολικά καταγεγραμμένου όγκου νερού).

Από τις καμπύλες του διαγράμματος 4.3-3 εξάγουμε τα σημεία των πινάκων 4.3-1, 4.3-2, 4.3-3, και απεικονίζουμε στο *διάγραμμα 4.3-4*, όπου έχουμε δημιουργήσει μια επιπλέον, ενδιαμέση, καμπύλη για να επιτύχουμε ομαλότερη μετάβαση μεταξύ των υψηλών και χαμηλών παροχών – εισάγοντας έτσι την κατηγορία των μεσαίων παροχών.

Το διάγραμμα σχεδιάζεται στο *gnuplot* [27] μέσω:

```
gnuplot > plot [0:8000] [-40:20] 'pinakas_4_3_1.csv' title "υψηλές" with points, 'pinakas_4_3_2.csv' title "μεσαίες" with points line type 8, 'pinakas_4_3_3.csv' title "χαμηλές" with points
```

(τετμημένη/τεταγμένη)	1990.29 0.518159	3893.2 3.10716	5796.12 5.69615
194.175 2.52571	2087.38 0.521755	3990.29 3.2589	5893.2 5.8479
291.262 2.38116	2184.47 0.673499	4087.38 3.2625	5980.58 5.99928
378.641 2.0881	2271.84 0.824883	4174.76 3.41388	6077.67 6.00288
475.728 1.94355	2368.93 0.976627	4271.84 3.56562	6174.76 6.15462
572.816 1.79899	2466.02 1.12837	4368.93 3.71737	6271.84 6.30636
669.903 1.65444	2563.11 1.28012	4466.02 3.86911	6368.93 6.30996
757.282 1.36138	2660.19 1.43186	4553.4 4.0205	6466.02 6.4617
854.369 1.21683	2747.57 1.58324	4650.49 4.17224	6553.4 6.61309
951.456 1.07228	2844.66 1.73499	4747.57 4.32398	6650.49 6.76483
1038.83 0.779216	2941.75 1.88673	4844.66 4.47573	6747.57 6.91658
1135.92 0.634664	3038.83 1.89033	4941.75 4.47932	6844.66 7.06832
1233.01 0.490111	3135.92 2.04207	5038.83 4.63107	6941.75 7.22006
1330.1 0.345559	3223.3 2.19346	5126.21 4.78245	7029.13 7.37145
1417.48 0.0524991	3320.39 2.19705	5223.3 4.9342	7126.21 7.52319
1514.56 -0.0920532	3417.48 2.3488	5320.39 4.93779	7223.3 7.67494
1611.65 -0.0884574	3514.56 2.50054	5417.48 5.08954	7320.39 7.82668
1708.74 0.0632866	3611.65 2.65228	5514.56 5.24128	7417.48 7.83028
1796.12 0.214671	3699.03 2.80367	5601.94 5.39266	7504.85 7.98166
1893.2 0.366415	3796.12 2.95541	5699.03 5.54441	7601.94 8.13341

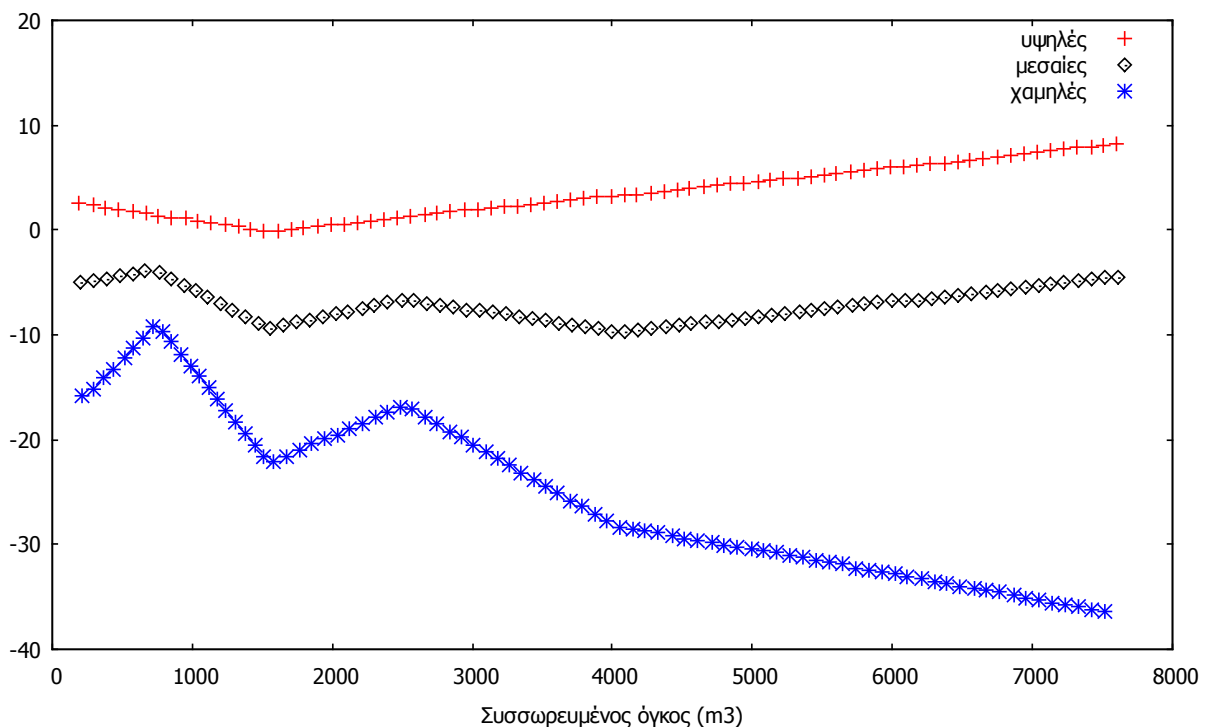
πίνακας 4.3-1 (υψηλές)

200.086 -4.97167	2027.05 -8.04137	3902.9 -9.33677	5798.77 -7.085
297.315 -4.82209	2114.58 -7.74419	3990.34 -9.63072	5896 -6.93542
394.545 -4.67251	2211.84 -7.44683	4087.54 -9.62892	5993.23 -6.78584
482.078 -4.37533	2299.37 -7.14964	4184.77 -9.47935	6090.46 -6.63626
579.307 -4.22575	2396.62 -6.85228	4282 -9.32977	6187.67 -6.63446
666.84 -3.92857	2493.85 -6.7027	4379.23 -9.18019	6275.17 -6.48506
764.022 -4.07456	2581.34 -6.70108	4476.46 -9.03061	6372.4 -6.33549
851.411 -4.66407	2678.49 -6.99486	4563.97 -8.88121	6469.63 -6.18591
938.801 -5.25359	2765.96 -7.14102	4661.2 -8.73163	6566.86 -6.03633
1026.19 -5.84311	2863.14 -7.28701	4758.41 -8.72983	6664.09 -5.88675
1113.58 -6.43263	2960.29 -7.58078	4855.64 -8.58025	6751.6 -5.73735
1200.97 -7.02215	3057.48 -7.72677	4952.87 -8.43067	6848.83 -5.58777
1288.36 -7.61167	3144.94 -7.87294	5040.38 -8.28127	6946.06 -5.43819
1385.44 -8.34879	3242.12 -8.01893	5137.61 -8.13169	7043.29 -5.28861
1472.83 -8.93831	3339.28 -8.3127	5234.83 -7.98212	7130.8 -5.13921
1560.25 -9.38004	3426.74 -8.45887	5332.06 -7.83254	7228.03 -4.98963
1647.78 -9.08286	3523.92 -8.60485	5419.57 -7.68314	7325.26 -4.84005
1745.03 -8.7855	3621.08 -8.89863	5516.8 -7.53356	7422.49 -4.69047
1842.26 -8.63592	3708.54 -9.04479	5614.03 -7.38398	7519.72 -4.54089
1929.8 -8.33874	3805.72 -9.19078	5711.26 -7.2344	7607.2 -4.53928

πίνακας 4.3-2 (μεσαίες)

(τετμημένη/τεταγμένη)	1582.52 -22.0598	3524.27 -24.5003	5553.4 -31.6667
	1679.61 -21.6128	3611.65 -25.0882	5640.78 -31.8113
213.592 -15.7557	1766.99 -21.0185	3699.03 -25.8239	5737.86 -32.2511
291.262 -15.1617	1854.37 -20.4241	3786.41 -26.4118	5834.95 -32.3953
368.932 -14.1243	1941.75 -19.9775	3873.79 -27.1475	5922.33 -32.6876
436.893 -13.2351	2038.83 -19.5306	3961.17 -27.7354	6019.42 -32.8318
514.563 -12.1977	2126.21 -18.9362	4048.54 -28.3233	6106.8 -33.1241
582.524 -11.3085	2213.59 -18.4896	4145.63 -28.6153	6203.88 -33.2683
650.485 -10.2715	2310.68 -17.8949	4233.01 -28.7599	6300.97 -33.5603
718.447 -9.23454	2398.06 -17.4483	4330.1 -28.9041	6388.35 -33.7049
796.117 -9.67502	2485.44 -16.854	4427.18 -29.196	6485.44 -33.9968
854.369 -10.7074	2572.82 -17.1463	4514.56 -29.4884	6582.52 -34.141
922.33 -11.8871	2660.19 -17.882	4611.65 -29.6326	6669.9 -34.4334
990.291 -12.9191	2747.57 -18.4699	4708.74 -29.7768	6766.99 -34.5776
1048.54 -13.9514	2834.95 -19.2056	4796.12 -30.0691	6864.08 -34.8696
1116.5 -14.9834	2922.33 -19.7935	4893.2 -30.2133	6951.46 -35.1619
1184.47 -16.1631	3009.71 -20.5292	4990.29 -30.5053	7048.54 -35.3061
1242.72 -17.1955	3097.09 -21.1171	5077.67 -30.6498	7135.92 -35.5984
1310.68 -18.3752	3184.47 -21.8528	5174.76 -30.794	7233.01 -35.7426
1378.64 -19.4072	3262.14 -22.4411	5271.84 -31.086	7330.1 -35.8868
1446.6 -20.5869	3349.51 -23.1767	5359.22 -31.2306	7417.48 -36.1792
1504.85 -21.6193	3436.89 -23.7646	5456.31 -31.5226	7514.56 -36.3234

πίνακας 4.3-3 (χαμηλές)

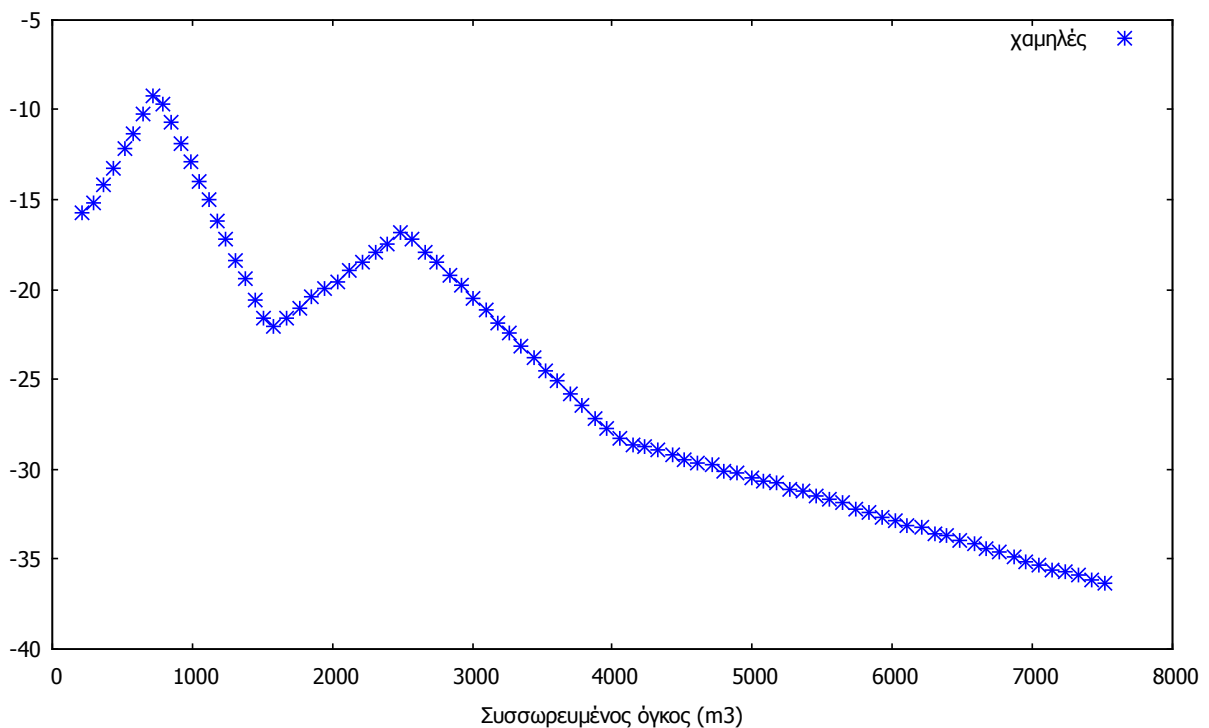


διάγραμμα 4.3-4

Από τα σημεία αυτά, θα αναζητήσουμε την αναλυτική μορφή κάθε καμπύλης. Είναι ξεκάθαρο από το διάγραμμα ότι πρόκειται για πολύκλαδες συναρτήσεις του σφάλματος έναντι του συσσωρευμένου όγκου. Θα προσεγγίσουμε τις καμπύλες ως κατά τμήματα ευθείες, που φαίνεται ως εύλογη επιλογή.

Θα εξηγήσουμε λεπτομερώς την εύρεση ενός τμήματος της καμπύλης που αφορά τις χαμηλές παροχές, αφού με παρόμοιο τρόπο βρίσκονται οι καμπύλες και όλων των υπολοίπων παροχών.

Εξετάζοντας, επομένως, μονάχα τα δεδομένα για τις χαμηλές παροχές (διάγραμμα 4.3-5), παρατηρούμε ότι η καμπύλη αλλάζει περιγραφική σχέση σε συγκεκριμένες τιμές του συσσωρευμένου όγκου: 740 m^3 , 1580 m^3 , 2500 m^3 , και 4130 m^3 .

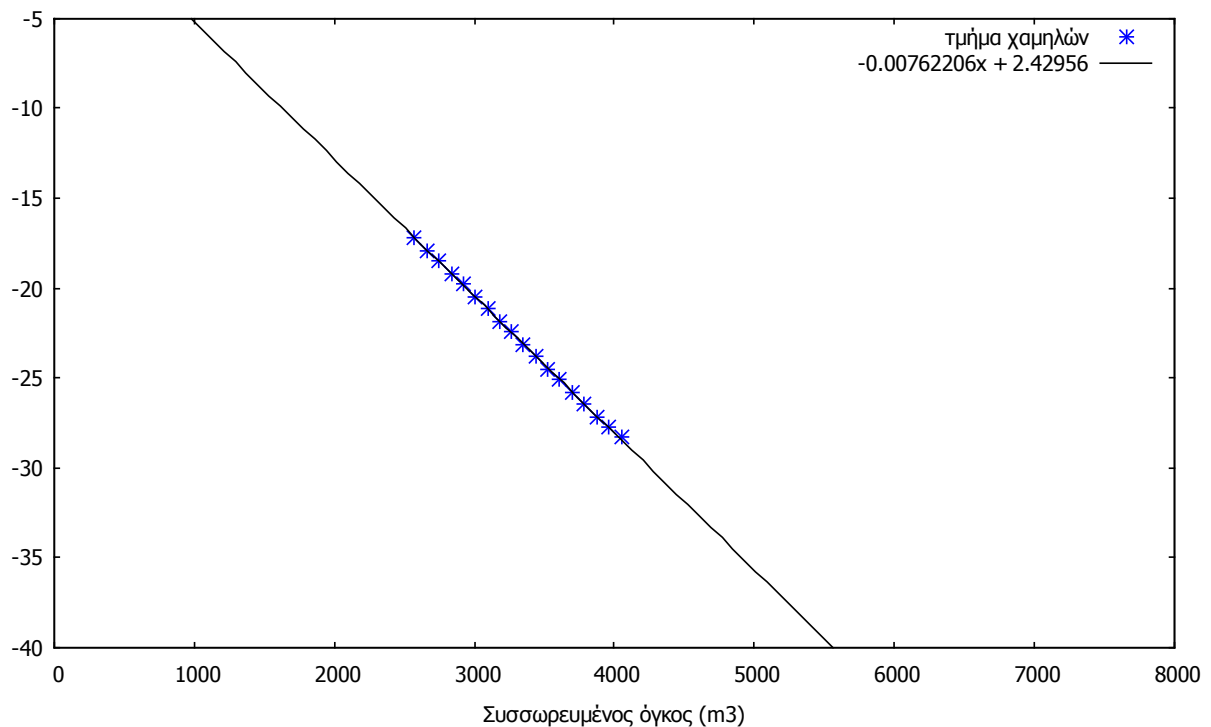


διάγραμμα 4.3-5 (χαμηλές)

Για να βρούμε την ευθεία που προσεγγίζει καλύτερα το κάθε ευθύγραμμο τμήμα, απομονώνουμε τα σημεία ενδιαφέροντος, και εφαρμόζουμε τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Για παράδειγμα, στο *διάγραμμα 4.3-6*, εξετάζουμε μόνο το ευθύγραμμο τμήμα μεταξύ 2500 m^3 και 4130 m^3 , στο οποίο υπολογίζουμε την ευθεία παλινδρόμησης μέσω των εντολών:

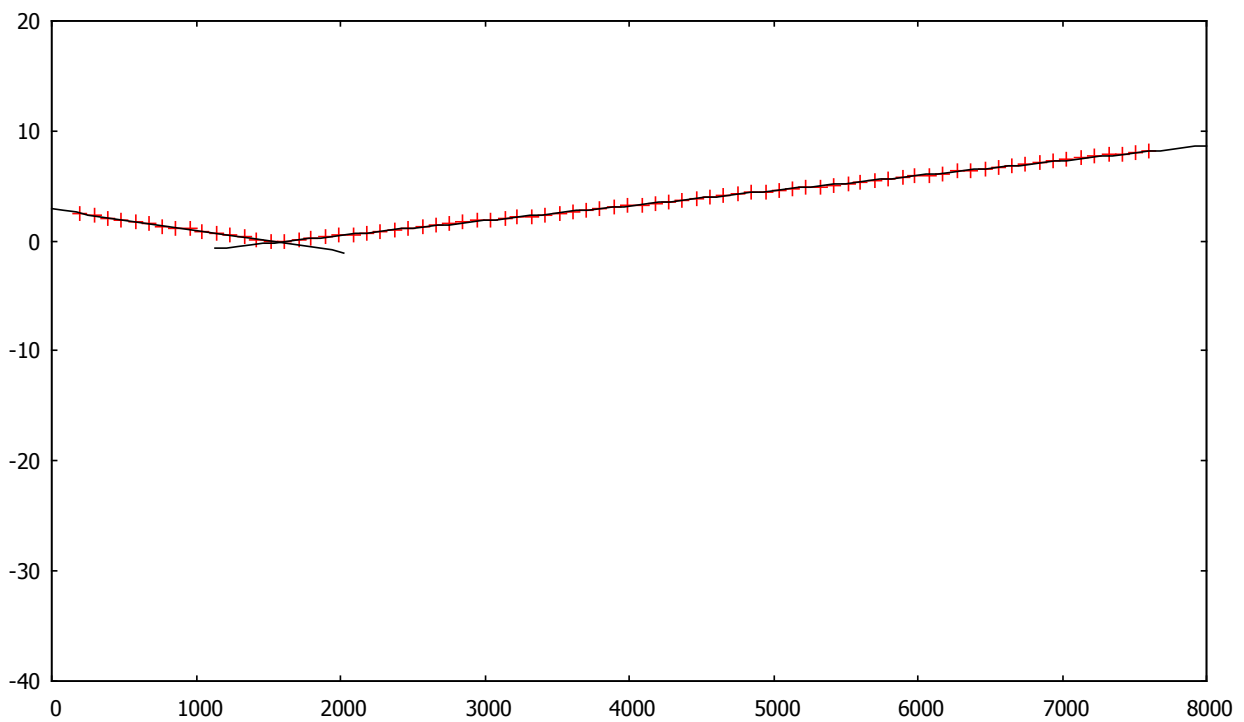
```
gnuplot > f(x) = m*x + b  
gnuplot > fit f(x) 'datafile' using 1:2 via m, b
```

Έπειτα από επτά ανακυκλώσεις καταλήγουμε στις τιμές των παραμέτρων: $m = -0.00762206$, $b = 2.42956$

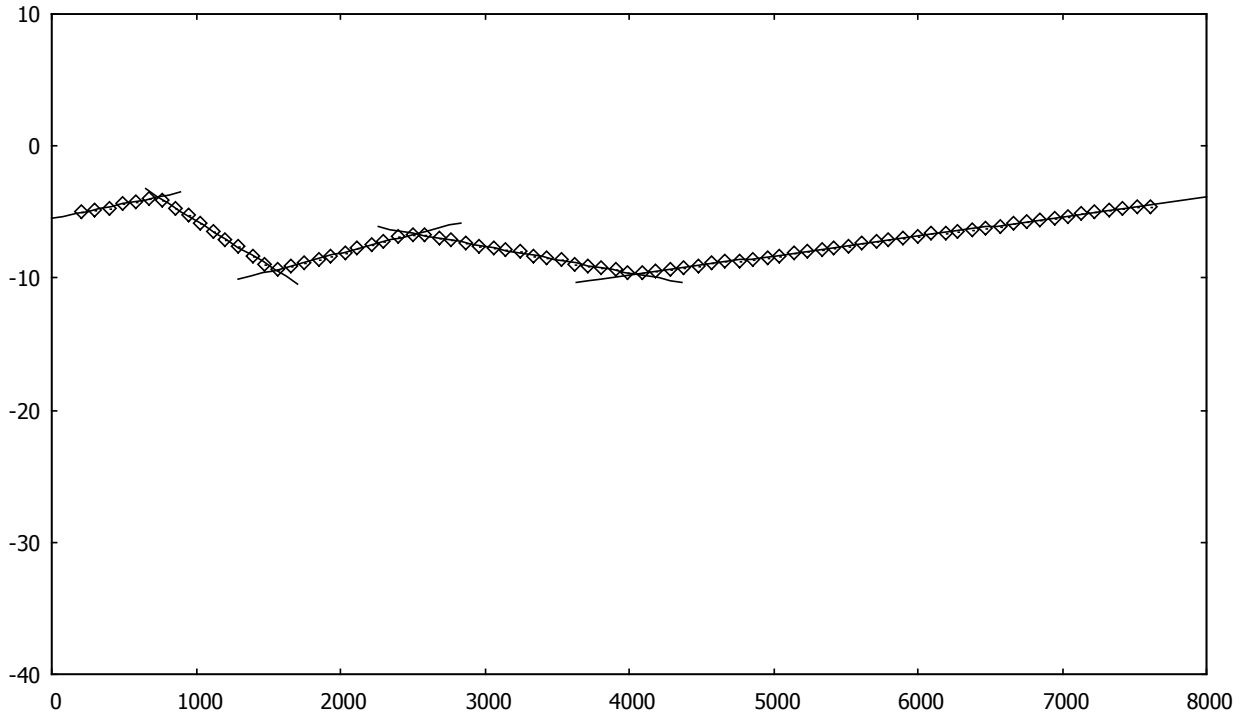


διάγραμμα 4.3-6
(*τμήμα των χαμηλών παροχών, μαζί με την ευθεία παλινδρόμησης*)

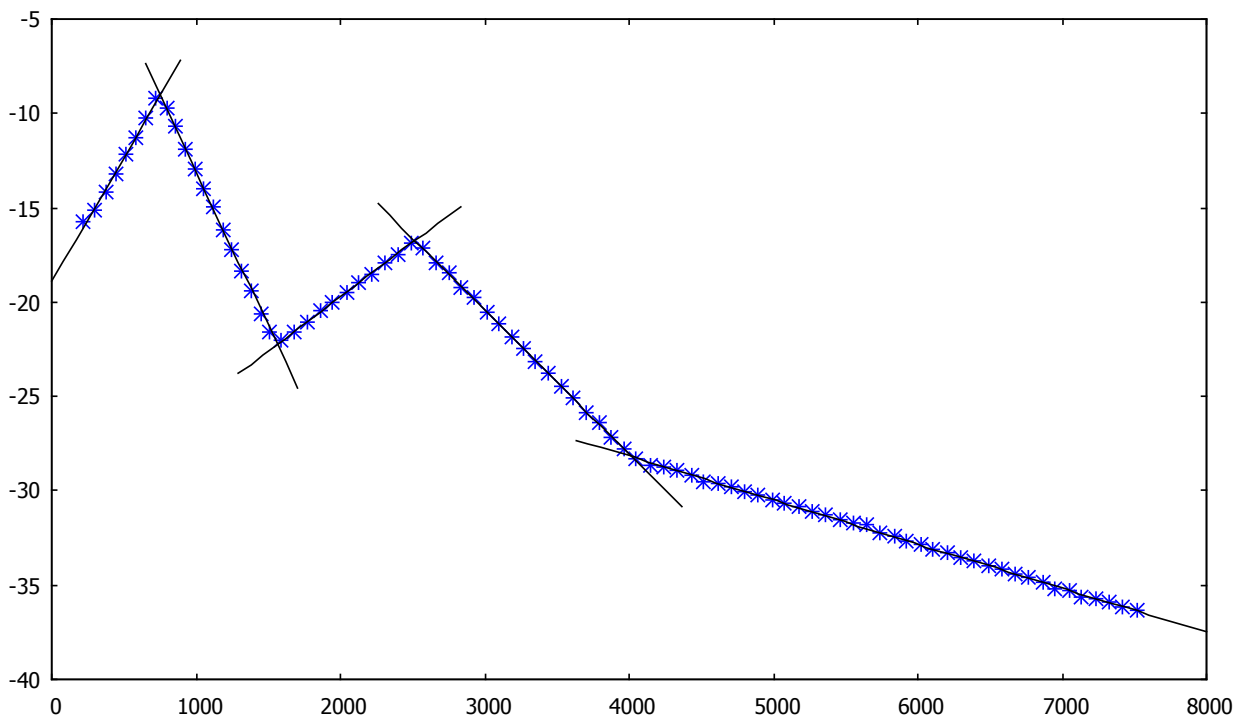
Κατά την ίδια μέθοδο για όλα τα ευθύγραμμα τμήματα όλων των καμπυλών (διαγράμματα 4.3-7, 4.3-8, 4.3-9), καταλήγουμε στις αναλυτικές περιγραφικές σχέσεις που θα χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουμε την επίδραση του συνολικά καταγεγραμμένου όγκου ταχυμετρικών υδρομετρητών.



διάγραμμα 4.3-7 (υψηλές, μαζί με τις ευθείες παλινδρόμησης)



διάγραμμα 4.3-8 (μεσαίες, μαζί με τις ευθείες παλινδρόμησης)



διάγραμμα 4.3-9 (χαμηλές, μαζί με τις ευθείες παλινδρόμησης)

Η αναλυτική μορφή των καμπυλών:

Διορθωτική καμπύλη υψηλών παροχών ($Q \geq 60 \text{ l/h}$):

$$erh(Vac) \triangleq \begin{cases} -0.00193599 Vac + 2.88093 & Vac < 1580 \text{ m}^3 \\ 0.00136109 Vac - 2.22802 & Vac \geq 1580 \text{ m}^3 \end{cases}$$

, όπου Vac ο συσσωρευμένος όγκος του υδρομετρητή σε κυβικά μέτρα (m^3), και $erh(Vac)$ δίνει την τιμή του σχετικού σφάλματος σε ποσοστό (%).

Διορθωτική καμπύλη μεσαίων παροχών ($40 \leq Q < 60 \text{ l/h}$):

$$erm(Vac) \triangleq \begin{cases} 0.00222906 Vac - 5.47274 & Vac < 740 \text{ m}^3 \\ -0.00677352 Vac + 1.10165 & 740 \leq Vac < 1580 \text{ m}^3 \\ 0.0027862 Vac - 13.67 & 1580 \leq Vac < 2500 \text{ m}^3 \\ -0.00198984 Vac - 1.63647 & 2500 \leq Vac < 4130 \text{ m}^3 \\ 0.0014693 Vac - 15.6462 & Vac \geq 4130 \text{ m}^3 \end{cases}$$

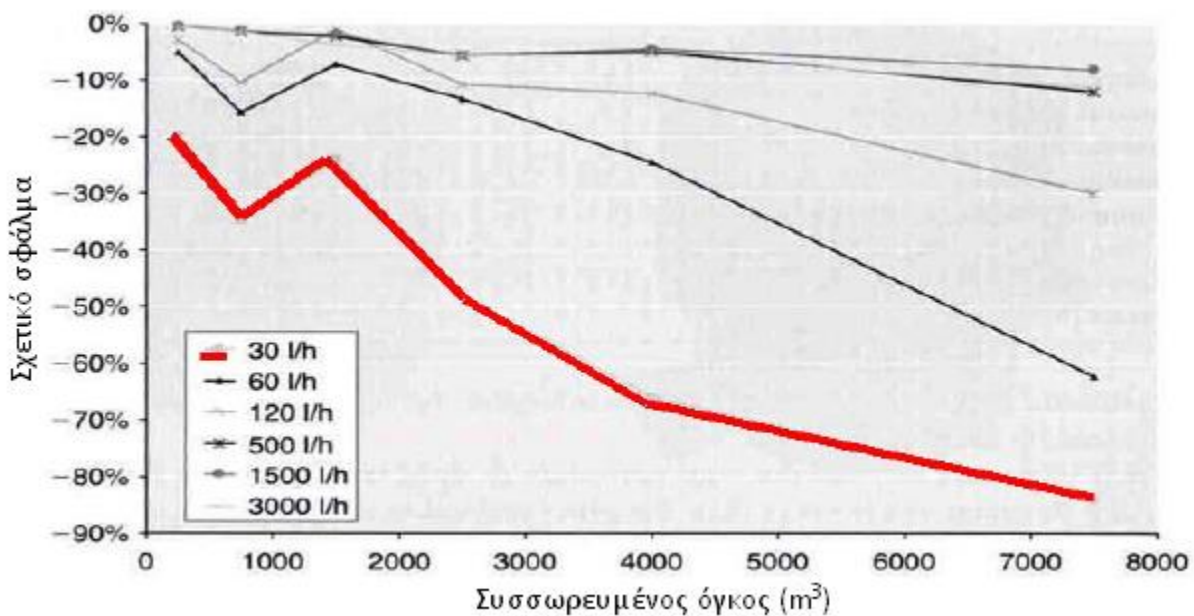
Διορθωτική καμπύλη χαμηλών παροχών ($Q < 40 \text{ l/h}$):

$$erl(Vac) \triangleq \begin{cases} 0.013137 Vac - 18.863 & Vac < 740 \text{ m}^3 \\ -0.0163323 Vac + 3.20287 & 740 \leq Vac < 1580 \text{ m}^3 \\ 0.00575625 Vac - 31.2006 & 1580 \leq Vac < 2500 \text{ m}^3 \\ -0.00762206 Vac + 2.42956 & 2500 \leq Vac < 4130 \text{ m}^3 \\ -0.00233443 Vac - 18.8224 & Vac \geq 4130 \text{ m}^3 \end{cases}$$

Ενδιαφερόμαστε για τους συντελεστές των όγκων Vac , διότι αυτοί περιγράφουν το πώς μεταβάλλεται το σφάλμα στην αντίστοιχη περιοχή παροχών.

- Υδρόμετρα ογκομετρικά

Για την επίδραση του καταγεγραμμένου όγκου ογκομετρικών υδρομέτρων στηρίζομαστε στο *διάγραμμα 4.3-10* [19]. Παρουσιάζεται η μέση μεταβολή της καμπύλης σφάλματος τυπικών υδρομετρητών διαμέτρου μισής ίντσας, ή εναλλακτικά τύπου DN15.



διάγραμμα 4.3-10

Προχωρώντας με τον ίδιο τρόπο όπως στα ταχυμετρικά υδρόμετρα, χωρίζουμε και πάλι τις παροχές σε κατηγορίες:

- παροχές $Q \in [190, \infty)$ l/h
- παροχές $Q \in [90, 190)$ l/h
- παροχές $Q \in [55, 90)$ l/h
- παροχές $Q \in [40, 55)$ l/h
- παροχές $Q \in [0, 40)$ l/h

Για κάθε μια από τις ανωτέρω περιοχές παροχών, θα δημιουργήσουμε μία καμπύλη, και βάσει αυτής θα συμμορφώνουμε τα δεδομένα τηλεμετρίας προκειμένου να συμπεριλάβουμε την επίδραση του καταγεγραμμένου όγκου του υδρομετρητή.

Από τις καμπύλες του διαγράμματος 4.3-10, εξάγουμε τα σημεία των πινάκων 4.3-4, 4.3-5, 4.3-6, 4.3-7, 4.3-8, και απεικονίζουμε στο διάγραμμα 4.3-11, όπου έχουμε δημιουργήσει μια επιπλέον, ενδιάμεση, καμπύλη για να επιτύχουμε ομαλότερη μετάβαση μεταξύ των διαφορετικών χαρακτηριστικών.

(τετμημένη/τεταγμένη)	1960.47 -3.18898	3841.9 -4.96063	5707.51 -7.44094
252.964 -0.354331	2118.58 -3.54331	4000 -4.96063	5865.61 -7.44094
411.067 -0.354331	2260.87 -4.25197	4158.1 -4.96063	6023.72 -7.79528
569.17 -0.708661	2418.97 -4.6063	4316.21 -5.31496	6181.82 -8.14961
727.273 -0.708661	2577.08 -4.96063	4474.31 -5.31496	6339.92 -8.14961
885.375 -1.06299	2735.18 -4.96063	4616.6 -5.66929	6498.02 -8.50394
1027.67 -1.41732	2893.28 -4.96063	4774.7 -6.02362	6640.32 -8.85827
1185.77 -1.41732	3051.38 -4.96063	4932.81 -6.02362	6798.42 -8.85827
1343.87 -1.77165	3209.49 -4.96063	5090.91 -6.37795	6956.52 -9.2126
1501.98 -1.77165	3367.59 -4.96063	5249.01 -6.73228	7114.62 -9.56693
1660.08 -2.12598	3525.69 -4.96063	5407.11 -6.73228	7272.73 -9.56693
1802.37 -2.83465	3683.79 -4.96063	5565.22 -7.08661	7430.83 -9.92126

πίνακας 4.3-4

(τετμημένη/τεταγμένη)	1726.73 -3.18898	3691.09 -12.4016	5655.45 -20.5512
	1869.31 -4.6063	3849.5 -12.4016	5813.86 -21.2598
221.782 -2.83465	1996.04 -6.02362	4007.92 -12.4016	5956.44 -22.3228
348.515 -4.96063	2154.46 -7.44094	4150.5 -13.1102	6114.85 -23.0315
475.248 -6.73228	2297.03 -8.85827	4308.91 -13.8189	6257.43 -23.7402
617.822 -8.85827	2439.6 -10.2756	4451.49 -14.8819	6415.84 -24.4488
744.554 -10.6299	2582.18 -11.3386	4609.9 -15.5906	6558.42 -25.1575
887.129 -9.2126	2740.59 -11.3386	4752.48 -16.2992	6716.83 -25.8661
1029.7 -7.44094	2899.01 -11.3386	4910.89 -17.0079	6859.41 -26.5748
1172.28 -5.66929	3057.43 -11.6929	5053.47 -17.7165	7017.82 -27.2835
1299.01 -3.89764	3215.84 -11.6929	5211.88 -18.4252	7160.4 -28.3465
1441.58 -2.12598	3374.26 -12.0472	5354.46 -19.1339	7318.81 -29.0551
1584.16 -1.77165	3532.67 -12.0472	5512.87 -19.8425	7461.39 -29.7638

πίνακας 4.3-5

252.964 -5.29412	1992.09 -10.5882	3936.76 -24	5786.56 -43.7647
379.447 -7.76471	2150.2 -11.2941	4079.05 -25.4118	5928.85 -45.5294
490.119 -10.2353	2308.3 -12.3529	4221.34 -27.1765	6071.15 -46.9412
600.791 -12.3529	2450.59 -13.0588	4363.64 -28.5882	6213.44 -48.3529
711.462 -14.8235	2592.89 -14.4706	4505.93 -30	6355.73 -50.1176
853.755 -15.5294	2750.99 -15.5294	4648.22 -31.7647	6498.02 -51.5294
980.237 -13.7647	2893.28 -16.5882	4790.51 -33.1765	6640.32 -53.2941
1122.53 -12	3035.57 -17.6471	4932.81 -34.5882	6782.61 -54.7059
1264.82 -10.2353	3193.68 -18.7059	5075.1 -36.3529	6924.9 -56.1176
1407.11 -8.82353	3335.97 -19.7647	5217.39 -37.7647	7067.19 -57.8824
1549.41 -7.76471	3494.07 -20.8235	5359.68 -39.1765	7209.49 -59.2941
1691.7 -8.47059	3636.36 -21.8824	5501.98 -40.9412	7351.78 -60.7059
1849.8 -9.52941	3794.47 -22.9412	5644.27 -42.3529	7494.07 -62.4706

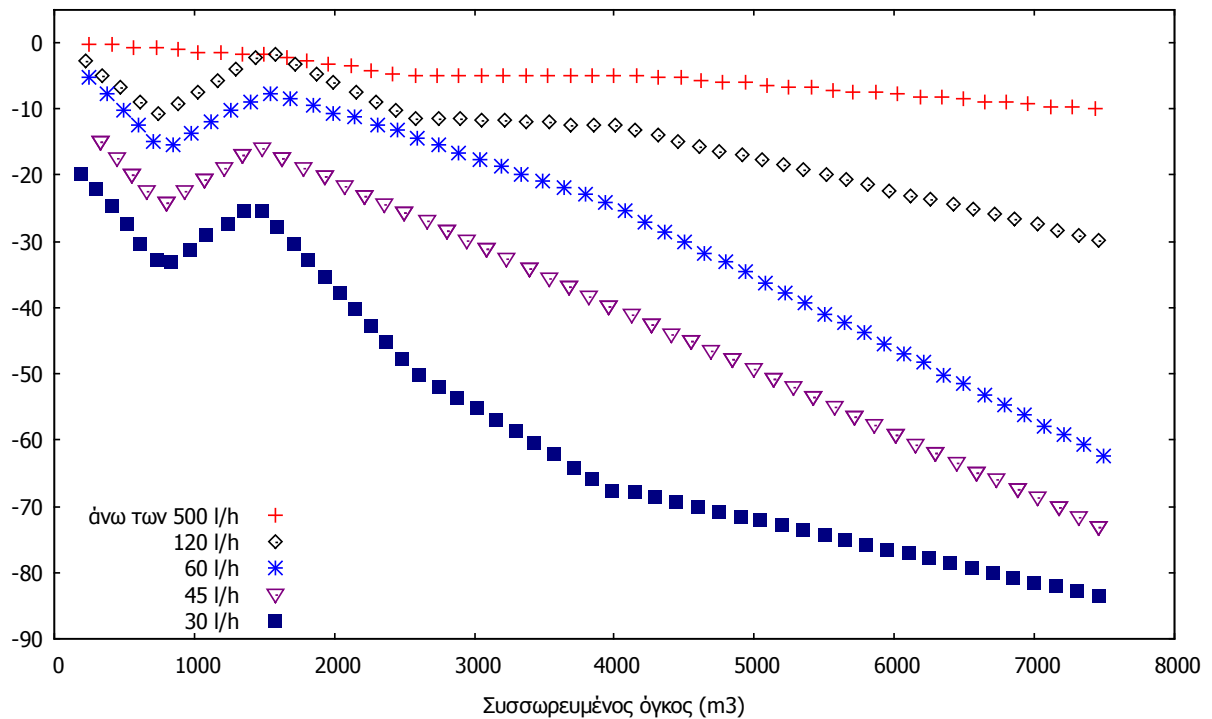
πίνακας 4.3-6

221.782 -12.4017	1932.67 -20.1969	3817.82 -38.2677	5718.81 -56.3386
332.673 -14.8819	2075.25 -21.6142	3960.4 -39.685	5861.39 -57.7559
443.564 -17.3622	2217.82 -23.0315	4118.81 -41.1024	6003.96 -59.1732
554.455 -19.8425	2360.4 -24.4488	4261.39 -42.5197	6146.53 -60.5906
665.347 -22.3228	2502.97 -25.5118	4403.96 -43.937	6289.11 -62.0079
807.921 -24.0945	2661.39 -26.9291	4546.53 -45	6447.52 -63.4252
934.653 -22.3228	2803.96 -28.3465	4689.11 -46.4173	6590.1 -64.8425
1077.23 -20.5512	2946.53 -29.7638	4847.52 -47.8346	6732.67 -65.9055
1219.8 -18.7795	3089.11 -31.1811	4990.1 -49.252	6875.25 -67.3228
1346.53 -17.0079	3231.68 -32.5984	5132.67 -50.6693	7017.82 -68.7402
1489.11 -15.9449	3390.1 -34.0157	5275.25 -52.0866	7176.24 -70.1575
1631.68 -17.3622	3532.67 -35.4331	5417.82 -53.5039	7318.81 -71.5748
1774.26 -18.7795	3675.25 -36.8504	5576.24 -54.9213	7461.39 -72.9921

πίνακας 4.3-7

(τετμημένη/τεταγμένη)	1707.51 -30.2372	3430.83 -60.4743	5501.98 -74.3478
189.723 -19.9209	1818.18 -32.7273	3573.12 -62.253	5644.27 -75.0593
300.395 -22.0553	1928.85 -35.2174	3715.42 -64.0316	5802.37 -75.7708
411.067 -24.5455	2039.53 -37.7075	3841.9 -65.8103	5944.66 -76.4822
521.739 -27.3913	2150.2 -40.1976	3984.19 -67.5889	6102.77 -77.1937
616.601 -30.2372	2260.87 -42.6877	4142.29 -67.9447	6245.06 -77.9051
727.273 -32.7273	2371.54 -45.1779	4284.58 -68.6561	6403.16 -78.6166
837.945 -33.083	2482.21 -47.668	4442.69 -69.3676	6545.45 -79.3281
964.427 -31.3043	2608.7 -50.1581	4600.79 -70.0791	6703.56 -80.0395
1090.91 -29.17	2750.99 -51.9368	4743.08 -70.7905	6845.85 -80.751
1233.2 -27.3913	2877.47 -53.7154	4901.19 -71.502	7003.95 -81.4625
1359.68 -25.2569	3019.76 -55.1383	5043.48 -72.2134	7146.25 -82.1739
1486.17 -25.2569	3162.06 -56.917	5201.58 -72.9249	7304.35 -82.8854
1596.84 -27.747	3304.35 -58.6957	5343.87 -73.6364	7462.45 -83.5968

πίνακας 4.3-8

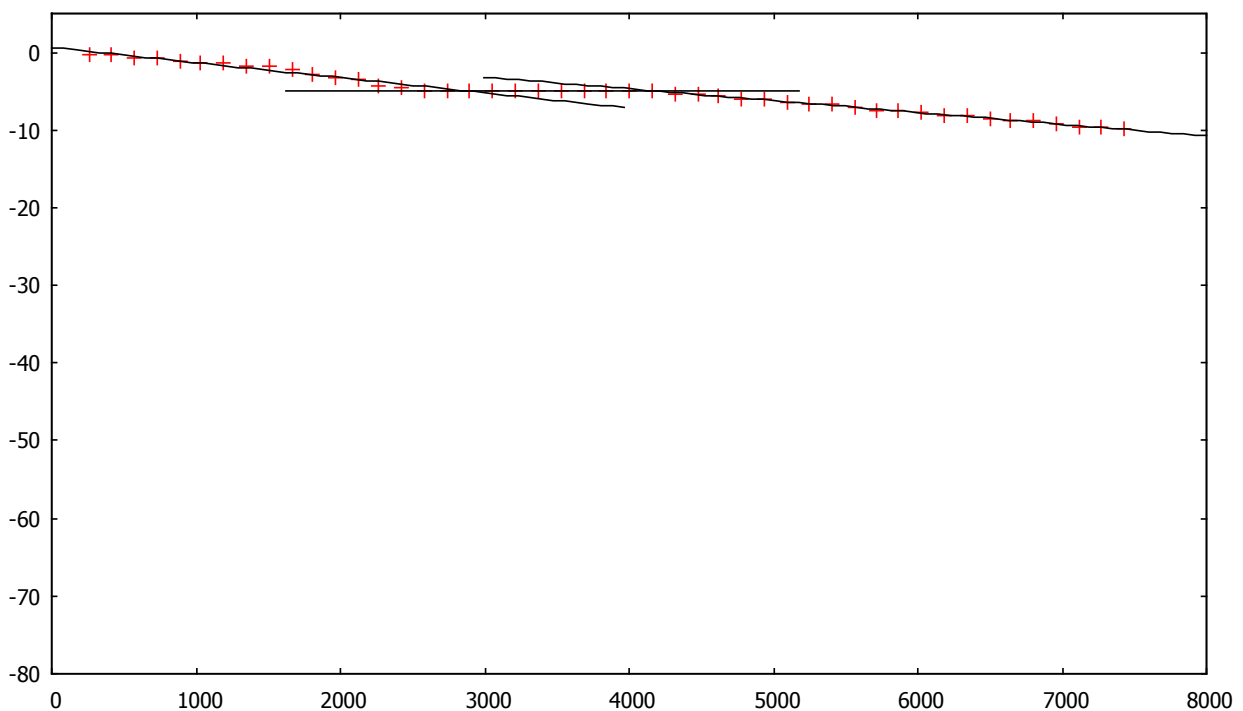


διάγραμμα 4.3-11

Από τα σημεία αυτά, θα αναζητήσουμε την αναλυτική μορφή κάθε καμπύλης, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων για την εύρεση των ευθειών παλινδρόμησης.

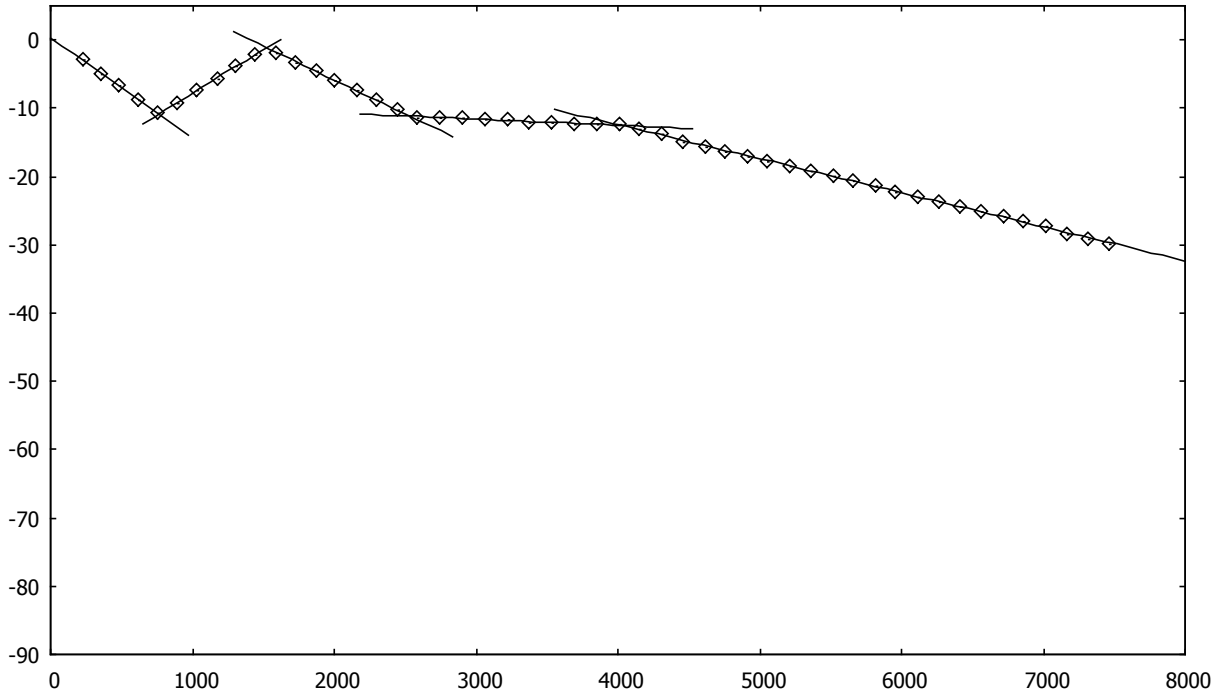
Παρατηρούμε ότι η καμπύλη αλλάζει περιγραφική σχέση σε συγκεκριμένες τιμές του συσσωρευμένου όγκου: $800 m^3$, $1420 m^3$, $2680 m^3$, και $4050 m^3$.

Εργαζόμενοι με παρόμοιο τρόπο όπως στα ταχυμετρικά υδρόμετρα, βρίσκουμε την αναλυτική περιγραφή για όλα τα ευθύγραμμα τμήματα όλων των καμπυλών (διαγράμματα 4.3-12, 4.3-13, 4.3-14, 4.3-15, 4.3-16).

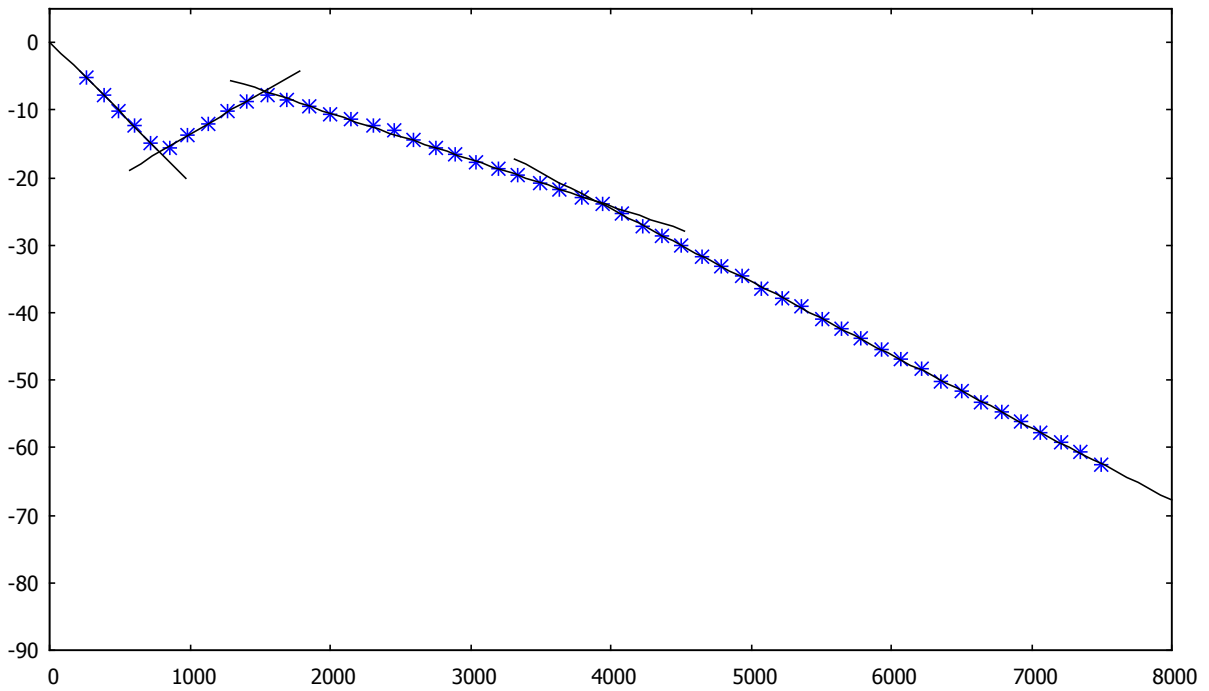


διάγραμμα 4.3-12

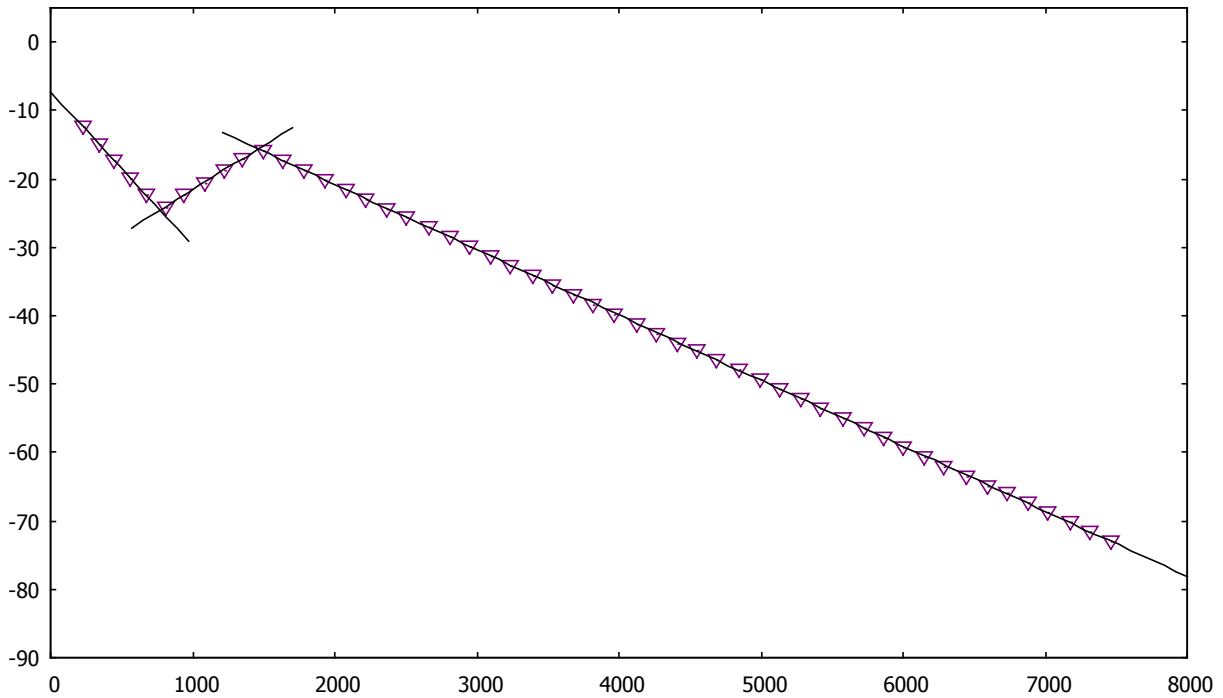
(έχουν σχεδιαστεί και τμήματα των ευθειών παλινδρόμησης)



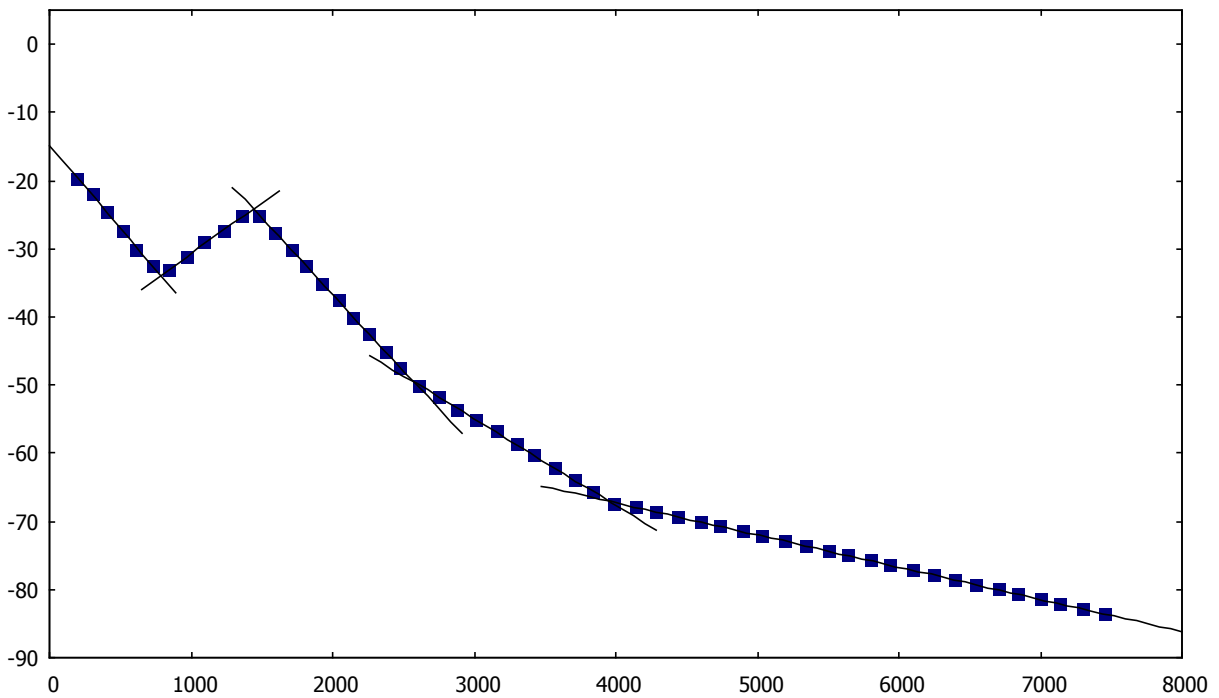
διάγραμμα 4.3-13
(έχουν σχεδιαστεί και τμήματα των ευθειών παλινδρόμησης)



διάγραμμα 4.3-14
(έχουν σχεδιαστεί και τμήματα των ευθειών παλινδρόμησης)



διάγραμμα 4.3-15
(έχουν σχεδιαστεί και τμήματα των ευθειών παλινδρόμησης)



διάγραμμα H
(έχουν σχεδιαστεί και τμήματα των ευθειών παλινδρόμησης)

Καταλήγουμε, επομένως, στις αναλυτικές περιγραφικές σχέσεις που θα χρησιμοποιηθούν για να αντισταθίσουμε την επίδραση του συνολικά καταγεγραμμένου όγκου των ογκομετρικών υδρομετρητών.

Διορθωτική καμπύλη παροχών $Q \geq 190 \text{ l/h}$:

$$er_1(Vac) \triangleq \begin{cases} -0.0019461 Vac + 0.603331 & Vac < 2680 \text{ m}^3 \\ 0 Vac - 4.96063 & 2680 \leq Vac < 4050 \text{ m}^3 \\ -0.00152059 Vac + 1.37174 & Vac \geq 4050 \text{ m}^3 \end{cases}$$

Διορθωτική καμπύλη παροχών $90 \leq Q < 190 \text{ l/h}$:

$$er_2(Vac) \triangleq \begin{cases} -0.0148184 Vac + 0.333138 & Vac < 800 \text{ m}^3 \\ 0.0128496 Vac - 20.6512 & 800 \leq Vac < 1420 \text{ m}^3 \\ -0.00993722 Vac + 13.9464 & 1420 \leq Vac < 2680 \text{ m}^3 \\ -0.000908245 Vac - 8.87737 & 2680 \leq Vac < 4050 \text{ m}^3 \\ -0.00498091 Vac + 7.49301 & Vac \geq 4050 \text{ m}^3 \end{cases}$$

Διορθωτική καμπύλη παροχών $55 \leq Q < 90 \text{ l/h}$:

$$er_3(Vac) \triangleq \begin{cases} -0.0207658 Vac + 0.0179255 & Vac < 800 \text{ m}^3 \\ 0.0121645 Vac - 25.764 & 800 \leq Vac < 1420 \text{ m}^3 \\ -0.00687934 Vac + 3.27935 & 1420 \leq Vac < 4050 \text{ m}^3 \\ -0.0107942 Vac + 18.5392 & Vac \geq 4050 \text{ m}^3 \end{cases}$$

Διορθωτική καμπύλη παροχών $40 \leq Q < 55 \text{ l/h}$:

$$er_4(Vac) \triangleq \begin{cases} -0.0223669 Vac - 7.44102 & Vac < 800 \text{ m}^3 \\ 0.0129972 Vac - 34.5521 & 800 \leq Vac < 1420 \text{ m}^3 \\ -0.00955148 Vac - 1.7245 & Vac \geq 1420 \text{ m}^3 \end{cases}$$

Διορθωτική καμπύλη παροχών $Q < 40 \text{ l/h}$:

$$er_5(Vac) \triangleq \begin{cases} -0.0243685 Vac - 14.9091 & Vac < 800 \text{ m}^3 \\ 0.0149 Vac - 45.5898 & 800 \leq Vac < 1420 \text{ m}^3 \\ -0.0223521 Vac + 7.91227 & 1420 \leq Vac < 2680 \text{ m}^3 \\ -0.0126822 Vac - 16.9679 & 2680 \leq Vac < 4050 \text{ m}^3 \\ -0.00472641 Vac - 48.3659 & Vac \geq 4050 \text{ m}^3 \end{cases}$$

, όπου Vac ο συσσωρευμένος όγκος του υδρομετρητή σε κυβικά μέτρα (m^3), και $er_i(Vac)$ δίνει την τιμή του σχετικού σφάλματος σε ποσοστό (%).

Ενδιαφερόμαστε για τους συντελεστές των όγκων Vac , διότι αυτοί περιγράφουν το πώς μεταβάλλεται το σφάλμα στην αντίστοιχη περιοχή παροχών.

4.4 Επίδραση αντίστροφης ροής

Οι αντίστροφες ροές είναι τυπικό φαινόμενο των δικτύων ύδρευσης. Όπως φανερώνει και η ονομασία του, η ροή του νερού προσωρινά κατευθύνεται αντίθετα από τη συνηθισμένη. Το νερό, δηλαδή, δε ρέει από το δίκτυο ύδρευσης προς το χρήστη, αλλά, εξαιτίας εμφάνισης υψηλότερης πίεσης στην πλευρά του χρήστη απ'ότι στο δίκτυο, δημιουργείται ροή αντίθετης φοράς – από τον καταναλωτή προς το δίκτυο.

Είναι προφανές ότι ο όγκος νερού που επιστρέφει στο δίκτυο αποτελεί ποσότητα νερού την οποία δεν κατανάλωσε ο χρήστης, και ως εκ τούτου δεν πρέπει να χρεωθεί για αυτήν. Εάν ο υδρομετρητής δεν ήταν σε θέση να καταγράψει – ή, ιδανικά, να αφαιρέσει επ'ακριβώς – την ποσότητα αυτή, τότε ο καταναλωτής θα χρεωνόταν επιπλέον για τον όγκο νερού που επέστρεψε προς το δίκτυο, αφού δε θα μπορούσε να γίνει διάκριση των ροών.

Κατά την αντίστροφη ροή, οι υδρομετρητές, αναλόγως της κατασκευής τους, μπορούν [15]:

- να μη μεταβάλλουν καθόλου την ένδειξή τους, διότι η αντίστροφη ροή πραγματοποιείται μέσω διαδρομής που παρακάμπτει τον αισθητήριο μηχανισμό τους (Για παράδειγμα, μέσω βαλβίδων αντεπιστροφής, οι οποίες επιτρέπουν τη διέλευση νερού μονάχα κατά τη μία φορά. Συγκεκριμένα, παραμένουν κλειστές κατά την κανονική ροή ώστε να αναγκάσουν το νερό να περάσει προς καταμέτρηση, ενώ ανοίγουν

κατά την αντίστροφη ροή επιτρέποντας την ελεύθερη επιστροφή του). Πρόκειται για την πιο επιζήμια περίπτωση για το χρήστη.

- να αφαιρούν από την ένδειξή τους το ποσό νερού που επιστρέφει. Με τον τρόπο αυτό, ιδανικά, η παρούσα ένδειξη του οργάνου αντανακλά κάθε στιγμή την καθαρή ποσότητα νερού που έχει καταναλωθεί.
- να καταγράφουν ξεχωριστά (δύο ενδείξεις) τη μέτρηση για την ορθή και την αντίστροφη φορά. Η καταμέτρηση της εταιρείας οφείλει να παρακολουθεί και τις δύο ενδείξεις και να τιμολογεί μονάχα την καθαρά χρησιμοποιούμενο όγκο νερού.

Στην ενότητα αυτή εξετάζουμε την επίδραση που έχει το φαινόμενο των αντιστρόφων ροών στους συνήθεις τύπους υδρομετρητών.

▪ *Υδρόμετρα απλής και πολλαπλής ριπής (single & multi jet), ταχυμετρικά*

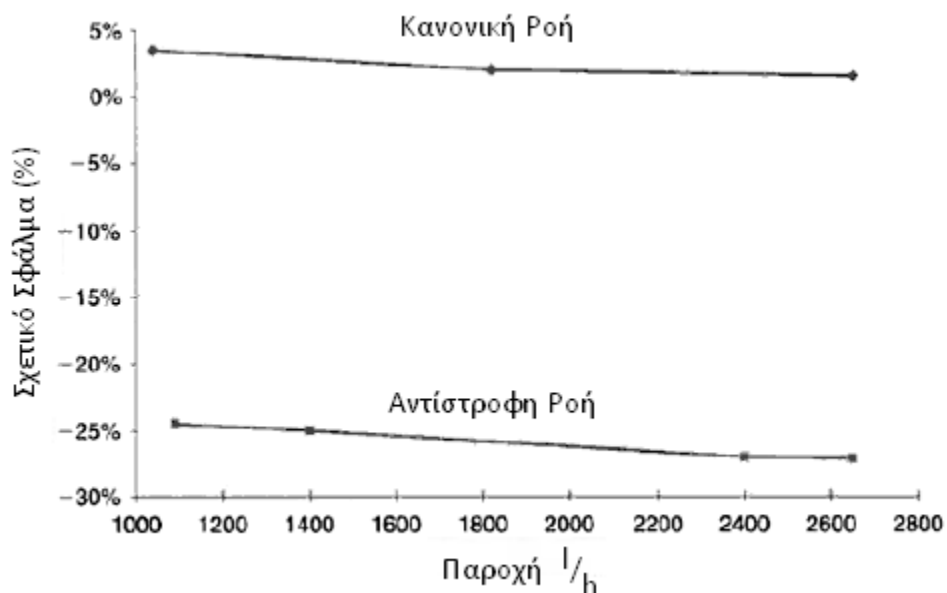
Η ταχύτητα με την οποία ρέει το νερό εσωτερικά των ταχυμετρικών υδρομετρητών κατά την ορθή ή κανονική φορά είναι διαφορετική από την ταχύτητα της αντίστροφης ροής λόγω της διαφορετικής κατασκευής των ακροφυσίων εισόδου και εξόδου. Είναι προφανές ότι, αφού η όλη λειτουργία τους στηρίζεται στην ανίχνευση της ταχύτητας του νερού, αλλαγές στο προφίλ ταχύτητας έχουν άμεση επίδραση στη μετρητική ικανότητα του οργάνου.

Η έντονη διαφορά στη μετρητική συμπεριφορά του οργάνου φαίνεται χαρακτηριστικά στο *διάγραμμα 4.4-1*, όπου συνυπάρχουν οι καμπύλες σφάλματος κανονικής και αντίστροφης ροής ενός ταχυμετρικού υδρομετρητή πολλαπλής ριπής ονομαστικής παροχής $Q_b = 3,5 \text{ m}^3/h$. Παρατηρούμε, για

την κανονική λειτουργία, θετικό σχετικό σφάλμα περίπου 1% ως 4% (δηλαδή καταγράφεται περισσότερος όγκος του πραγματικού – οπότε έχουμε υπερχρέωση του καταναλωτή). Αντιθέτως, κατά την αντίστροφη ροή νερού, έχουμε αρνητικό σχετικό σφάλμα περίπου 24% με 27% (δηλαδή καταγραφή μικρότερου όγκου από τον πραγματικό – που επίσης σημαίνει υπερχρέωση του καταναλωτή).

Για το συγκεκριμένο υδρόμετρο, εάν, για παράδειγμα, 1000 λίτρα νερού επιστρέψουν συνολικά σε κάποια χρονική περίοδο από την υδραυλική εγκατάσταση του καταναλωτή προς το δίκτυο ύδρευσης, θα αφαιρεθούν από την καταγεγραμμένη ποσότητα του οργάνου περίπου 750 λίτρα. Ο χρήστης, έτσι, θα τιμολογηθεί για επιπλέον 250 λίτρα τα οποία δεν κατανάλωσε ποτέ, και που οφείλονται στη μετρητική συμπεριφορά του υδρομέτρου.

Συνεπώς, για τα ταχυμετρικά υδρόμετρα θα υποθέτουμε ότι η μορφή της καμπύλης σφάλματος διατηρεί τη μορφή της κατά την αντίστροφη ροή, αλλά μετατοπίζεται σε αρνητικότερες τιμές. Για κάθε μέτρηση αντίστροφης ροής, επομένως, θεωρούμε ύπαρξη σφάλματος μέτρησης 25% μεγαλύτερο από το σφάλμα που θα παρουσίαζε το όργανο για την ίδια παροχή κατά την κανονική, όμως, ροή.



διάγραμμα 4.4-1 [15]

- ***Υδρόμετρα ογκομετρικά***

Η ταχύτητα και η κατεύθυνση της ροής του νερού δεν επηρεάζει τη λειτουργία των υδρομέτρων αυτών. Ο διερχόμενος όγκος νερού υπολογίζεται άμεσα, μετρώντας πόσες φορές υπήρξε πλήρωση του δεδομένου όγκου στο εσωτερικό του οργάνου. Ο όγκος αυτός είναι ίδιος είτε συμπληρώθηκε κατά την κανονική είτε κατά την αντίστροφη ροή νερού.

Τα ογκομετρικά υδρόμετρα, επομένως, δε μεταβάλλουν τη μετρητική συμπεριφορά τους αναλόγως της φοράς ροής. Παρουσιάζουν την ίδια ακρίβεια, ή το ίδιο σφάλμα, και στις δύο περιπτώσεις. Άρα επαρκεί μονάχα μια καμπύλη σφάλματος για να περιγράψει το όργανο.

4.5 Επίδραση κλίσης τοποθέτησης

- ***Υδρόμετρα απλής ριπής (single jet)***

Λόγω κατασκευής του, το ταχυμετρικό υδρόμετρο απλής ριπής παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα λειτουργίας – άρα και μεγιστοποιεί την ακρίβειά του – όταν είναι τοποθετημένο οριζοντίως. Συγκεκριμένα, πρέπει αφενός ο διαμήκης άξονας του οργάνου να μην έχει κλίση ως προς το έδαφος (βλ. *εικόνα 4.5-1* για εσφαλμένη εγκατάσταση), αφετέρου ο εγκάρσιος άξονας του οργάνου να είναι σε ορθή γωνία ως προς το έδαφος (βλ. *εικόνα 4.5-2* για εσφαλμένη εγκατάσταση).



εικόνα 4.5-1



εικόνα 4.5-2

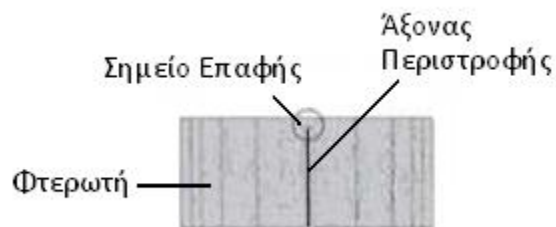
εικόνα 4.5-1, εσφαλμένη εγκατάσταση (το υδρόμετρο είναι σε κατακόρυφη θέση)

εικόνα 4.5-2, εσφαλμένη εγκατάσταση (υδρόμετρο υπό κλίση)

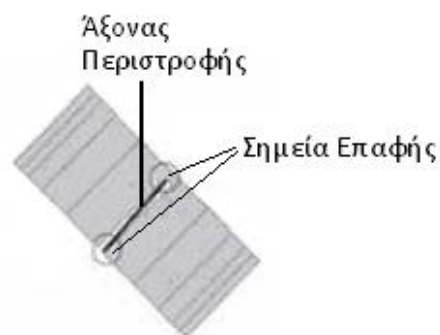
Όταν το υδρόμετρο τοποθετηθεί σωστά – κατά την έννοια που περιγράψαμε – η φτερωτή στο εσωτερικό του έχει τη μικρότερη επαφή με τον άξονα περιστροφής της, δηλαδή τις μικρότερες δυνατές τριβές λόγω κίνησης [εικόνα 4.5-3]. Στην περίπτωση εσφαλμένης εγκατάστασης, λόγω βαρύτητας αυξάνονται τα σημεία επαφής της φτερωτής, κατ'επέκταση αυξάνονται οι τριβές περιστροφής [εικόνες 4.5-4, 4.5-5]. Συνεπώς, για την ίδια παροχή, η φτερωτή ενός υδρομέτρου ορθά τοποθετημένου μπορεί να περιστρέφεται με μεγαλύτερη ευκολία έναντι ενός εσφαλμένα τοποθετημένου. Στη λάθος τοποθέτηση η φτερωτή θα στρέφεται με μικρότερη ταχύτητα και άρα θα καταγράφεται λιγότερη ποσότητα νερού. Με άλλα λόγια, αν το υδρόμετρο δεν είναι εγκατεστημένο με τον προβλεπόμενο τρόπο τότε παρουσιάζει μεγαλύτερο αρνητικό σφάλμα – καταγράφει, δηλαδή, λιγότερο διερχόμενο όγκο νερού από τον πραγματικό. Μεγαλύτερη επίπτωση υπάρχει στις χαμηλές παροχές.

Πέραν της εσφαλμένης καταγραφής, οι αυξημένες τριβές κατά την περιστροφή έχουν και άλλη παρενέργεια στη λειτουργία του οργάνου. Ειδικότερα, επειδή η φτερωτή αποκτά μεγαλύτερη δυσκινησία, πολύ χαμηλές παροχές – που υπό κανονική τοποθέτηση θα προκαλούσαν την περιστροφή της και άρα θα ανιχνευόντουσαν – δε γίνονται πλέον αντιληπτές. Η λάθος εγκατάσταση, επομένως, προκαλεί και αύξηση της παροχής εκκίνησης του υδρομετρητή. Ως αποτέλεσμα, μειώνεται ακόμη περισσότερο η ανίχνευση διαρροών, πόσω μάλλον η καταμέτρησή τους.

Τέλος, οι αυξημένες τριβές στην εσφαλμένη τοποθέτηση του υδρομετρητή συνεπάγονται αυξημένες μηχανικές καταπονήσεις στα κινούμενα μέρη του. Μειώνεται, επομένως, ταχύτερα η διάρκεια ζωής του οργάνου και επιταχύνεται η φθορά του.



*εικόνα 4.5-3
σωστή εγκατάσταση, ελάχιστη επαφή*



*εικόνα 4.5-4
εσφαλμένη εγκατάσταση, αυξημένη επαφή*



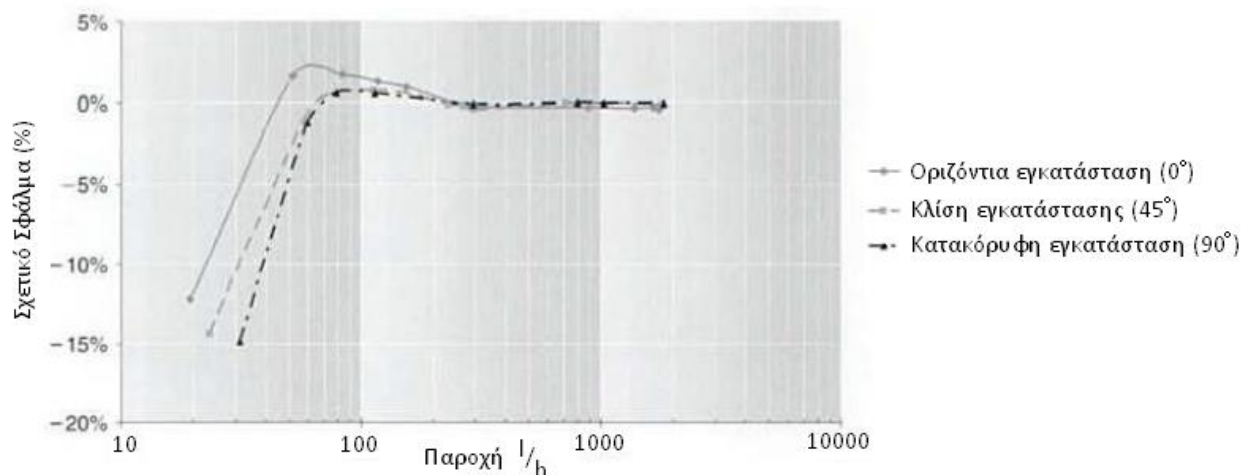
εικόνα 4.5-5

εσφαλμένη εγκατάσταση, μέγιστη επαφή

Στο διάγραμμα 4.5-1 [15] φαίνεται η επίδραση της κλίσης τοποθέτησης ενός υδρομετρητή μετρολογικής κλάσης B, ονομαστικής παροχής $Q_B = 1,5 \text{ m}^3/h$ στην καμπύλη σφάλματός του. Παρατηρούμε ότι πράγματι η παροχή εκκίνησης αυξάνεται με την κλίση εγκατάστασης.

Για παράδειγμα, στην παροχή $Q = 30 \text{ l/h}$ το ορθά τοποθετημένο υδρόμετρο παρουσιάζει αρνητικό σχετικό σφάλμα περίπου 5%, ενώ το κατακόρυφα τοποθετημένο περίπου 15% - μάλιστα υπάρχει περίπτωση να μην εκκινήσει καθόλου. Για παροχή $Q = 25 \text{ l/h}$ το ορθά τοποθετημένο υδρόμετρο έχει αρνητικό σφάλμα περίπου 7%, ενώ το κατακόρυφα τοποθετημένο δεν καταγράφει την παροχή (σφάλμα 100%).

Έχει βρεθεί ότι για υδρόμετρα κλάσης B, η παροχή εκκίνησης αυξάνεται περίπου κατά 10 l/h για κλίση 45° έναντι της οριζόντιας τοποθέτησης [15].



διάγραμμα 4.5-1

Στον πίνακα 4.5-1 [20] φαίνεται ένα παράδειγμα για την έντονη επίδραση που έχει η κλίση τοποθέτησης στις χαμηλές ροές. Τα αποτελέσματα αποτελούν το μέσο όρο 35 υδρομέτρων, μετρολογικών κλάσεων B και C, ονομαστικής παροχής $Q_3 = 1.5 \text{ m}^3/h$, για κάθε κατασκευαστικό τύπο, και αφορούν τη (χαμηλή) παροχή $q = 22,5 \text{ l/h}$.

	Τύπος 1 Κλάση C	Τύπος 2 Κλάση B	Τύπος 3 Κλάση B	Τύπος 4 Κλάση C	Τύπος 5 Κλάση C
Οριζόντια τοποθέτηση (κλίση 0°)	1,5 %	-0,6 %	-5,7 %	0,3 %	0,2 %
Κλίση τοποθέτησης 45°	-2,9 %	-10,1 %	-37,9 %	-2,6 %	-4,5 %
Διαφορά σφάλματος	4,4 %	9,5 %	32,2 %	2,9 %	4,7 %

πίνακας 4.5-1

Ως γενικό κανόνα, μπορούμε να πούμε ότι το σφάλμα στις χαμηλές παροχές γίνεται περισσότερο αρνητικό όσο αυξάνει η κλίση τοποθέτησης του υδρομέτρου, ενώ για παροχές μεγαλύτερες της μεταβατικής η μετρητική ακρίβεια δεν παρουσιάζει αξιοσημείωτες μεταβολές. Το ποσοστό ύδατος που δεν καταγράφεται λόγω του παράγοντα αυτού κυμαίνεται για τους οικιακούς καταναλωτές στο 1% με 4% του πραγματικού όγκου νερού που καταναλώνουν[20].

- *Υδρόμετρα πολλαπλής ριπής (multi jet)*

Όπως και τα υδρόμετρα απλής ριπής, τα υδρόμετρα πολλαπλής ριπής είναι ταχυμετρικά, δηλαδή στηρίζονται στην ταχύτητα περιστροφής της φτερωτής που διαθέτουν για τον έμμεσο προσδιορισμό του διερχόμενου όγκου νερού. Επομένως, για τους ίδιους λόγους – τις τριβές του στροφείου με τον άξονα περιστροφής – είναι και αυτά ευαίσθητα ως προς την κλίση με την οποία τοποθετούνται.

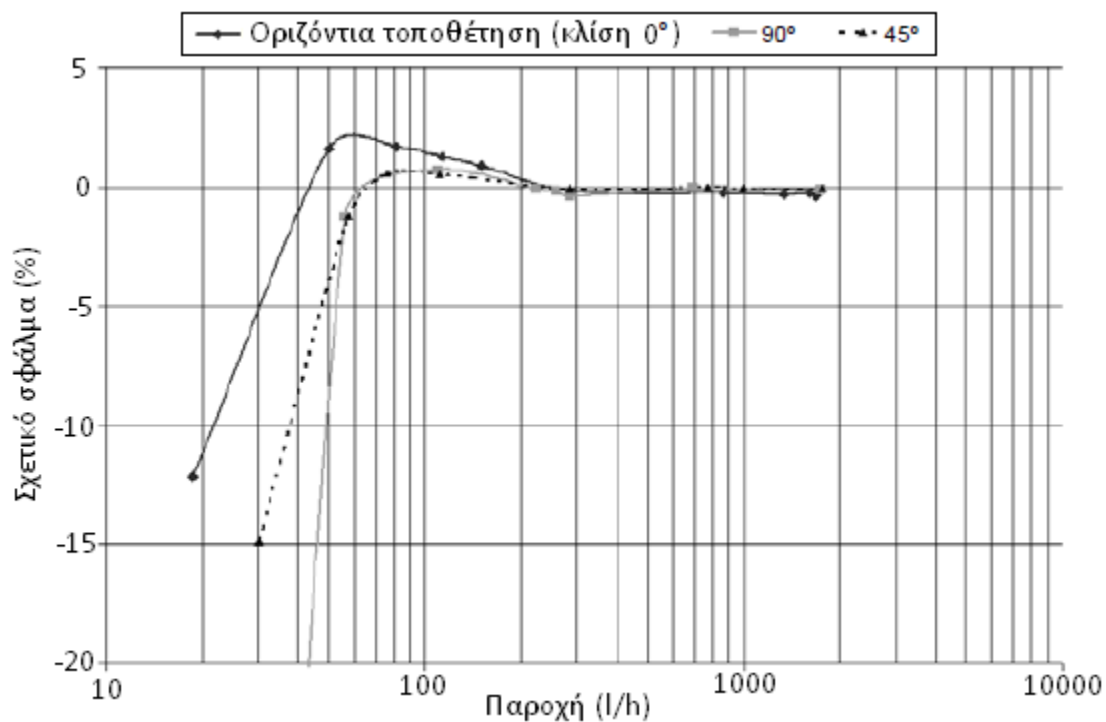
- *Υδρόμετρα ογκομετρικά*

Παρουσιάζουν ελάχιστη ευαισθησία στην κλίση τοποθέτησης.

4.5.1 Επίδραση κλίσης τοποθέτησης – ποσοτικά χαρακτηριστικά

- Ταχυμετρικοί υδρομετρητές

Για την επίδραση της κλίσης εγκατάστασης των ταχυμετρικών υδρομέτρων απλής ριπής στηρίζομαστε στο *διάγραμμα 4.5.1-1* [20]. Παρουσιάζεται η μεταβολή της καμπύλης σφάλματος ενός τυπικού υδρομετρητή τύπου DN15. Υπενθυμίζουμε το γενικό κανόνα ότι το σφάλμα των χαμηλών παροχών τείνει να αυξάνεται προς τα αρνητικά αναλόγως της κλίσης τοποθέτησης του οργάνου, ενώ το σφάλμα των παροχών που υπερβαίνουν τη μεταβατική παροχή τείνει να παραμένει ανεπηρέαστο, και παρατηρούμε ότι το παρόν διάγραμμα υπακούει στον κανόνα αυτόν.



διάγραμμα 4.5.1-1

Προκειμένου να μεριμνήσουμε για την επίδραση που έχει η κλίση εγκατάστασης του οργάνου στη μετρητική του ικανότητα, θα διακρίνουμε τρεις κατηγορίες:

- κλίση τοποθέτησης $\delta < 22^\circ$
- κλίση τοποθέτησης $22^\circ \leq \delta < 66^\circ$
- κλίση τοποθέτησης $\delta \geq 66^\circ$

Για κάθε μια από τις ανωτέρω περιοχές κλίσεων, θα δημιουργήσουμε μία καμπύλη, ώστε βάσει αυτής να συμμορφώνονται τα δεδομένα τηλεμετρίας για να συμπεριληφθεί η επίδραση της γωνίας εγκατάστασης του υδρομετρητή. Από τις καμπύλες του διαγράμματος 4.5.1-1, εξάγουμε τα σημεία των πινάκων 4.5.1-1, 4.5.1-2, 4.5.1-3, και απεικονίζουμε στο διάγραμμα 4.5.1-2 και στο διάγραμμα 4.5.1-3 όπου επικεντρωθήκαμε σε παροχές χαμηλότερες των 300 l/h για να τονίσουμε τις διαφορές.

18.6155 -12.1641	33.6664 -3.65524	86.1284 1.65924	398.491 -0.00559993
20.0104 -11.4899	36.1891 -2.89679	99.5194 1.49265	460.447 -0.00383895
21.2012 -10.7316	38.3426 -2.1385	114.992 1.32606	524.403 -0.0864291
22.1405 -9.8893	40.6244 -1.29605	130.965 1.15929	605.936 -0.0846682
23.4581 -9.13102	42.4243 -0.537946	151.327 0.992702	700.145 0.00126791
24.4975 -8.37292	44.949 0.220334	172.346 0.741762	809.002 0.00302889
25.9553 -7.53047	47.6238 0.978615	196.285 0.322472	921.372 -0.0795613
27.4999 -6.77218	50.4579 1.73689	223.549 0.0715312	1064.62 -0.0778003
28.7183 -6.01408	57.4664 2.15936	258.306 -0.0108829	1230.15 -0.0760393
30.4273 -5.17163	66.4012 2.16112	298.466 -0.0091219	1421.41 -0.0742783
31.7755 -4.41352	75.6243 1.91018	344.871 -0.00736092	1642.41 -0.0725174

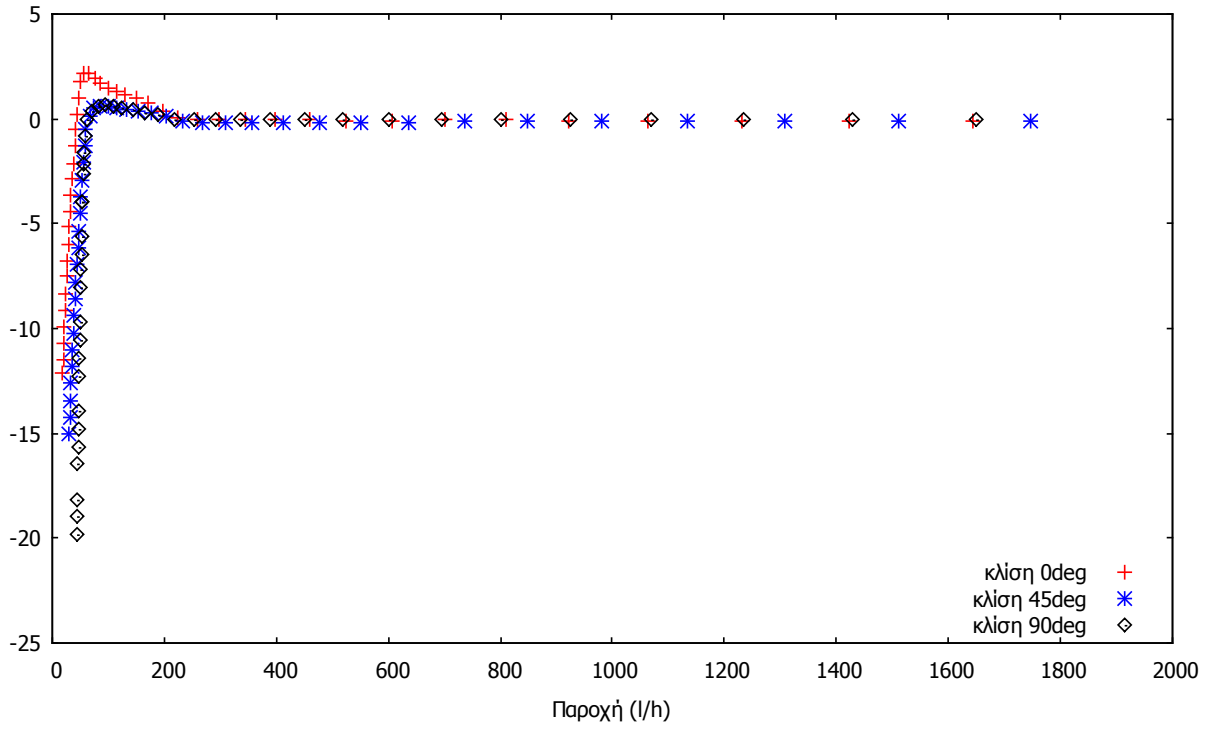
πίνακας 4.5.1-1

(τετμημένη/τεταγμένη)	44.1666 -6.9786	86.9876 0.579962	412.92 -0.156156
29.9221 -15.037	46.1193 -6.13915	100.482 0.581714	476.976 -0.154404
31.6989 -14.2813	47.4689 -5.38377	116.07 0.499573	550.969 -0.152653
32.6265 -13.442	49.5677 -4.54432	132.156 0.417256	636.441 -0.150902
34.069 -12.6026	51.7592 -3.70487	152.657 0.335115	735.171 -0.14915
35.5753 -11.847	53.2738 -2.94948	176.338 0.252974	849.217 -0.147399
36.6163 -11.0077	55.6292 -2.11003	203.693 0.0869401	980.955 -0.145647
38.2352 -10.2522	58.0887 -1.27058	231.923 -0.0792689	1133.13 -0.143896
39.3541 -9.41289	60.657 -0.51502	267.901 -0.16141	1308.91 -0.142145
41.094 -8.57344	67.1 0.157347	309.461 -0.159659	1511.96 -0.140393
42.9109 -7.81788	75.3055 0.494318	357.467 -0.157907	1746.51 -0.138642

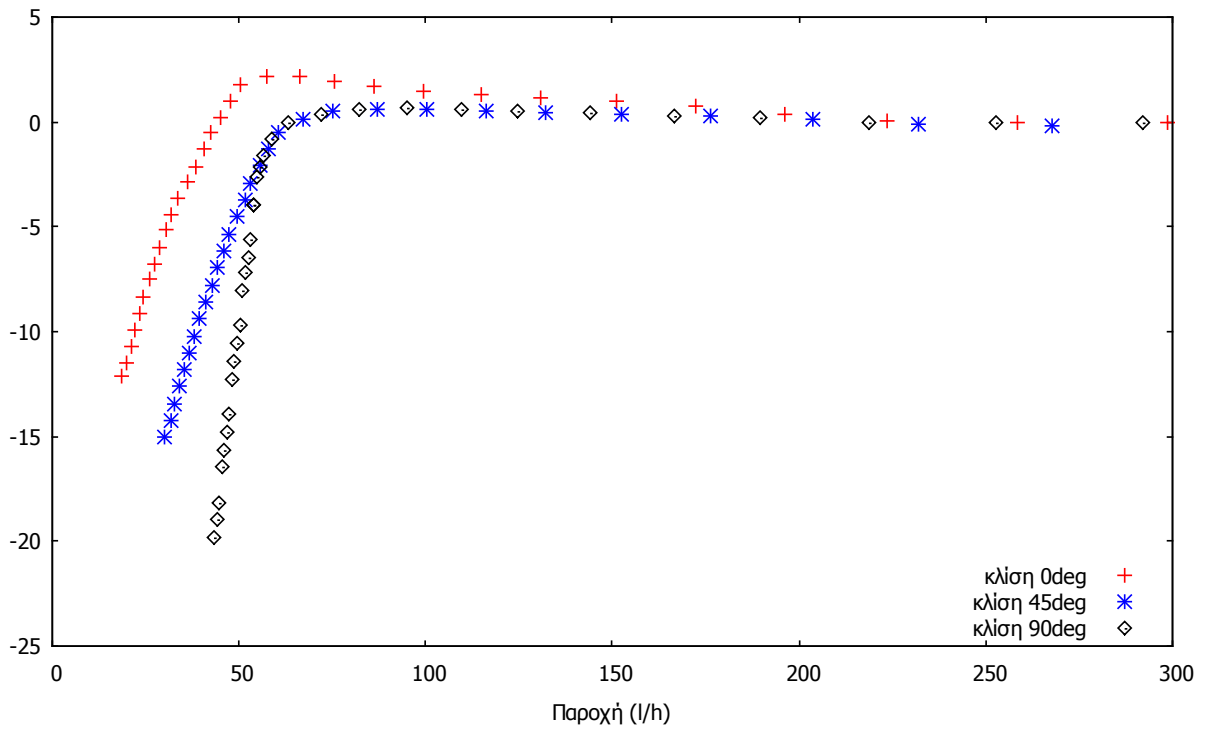
πίνακας 4.5.1-2

(τετμημένη / τεταγμένη)	49.5677 -10.5724	63.3388 -0.0505051	337.43 -0.0505051
	50.2877 -9.73064	72.117 0.37037	389.775 -0.0505051
	51.0181 -8.04714	82.1117 0.622896	450.241 -0.0505051
43.5342 -19.8316	51.7592 -7.20539	94.8496 0.707071	520.086 -0.0505051
44.1666 -18.9899	52.511 -6.44781	109.564 0.622896	600.766 -0.0505051
44.8081 -18.1481	53.2738 -5.60606	124.748 0.538721	693.963 -0.0505051
45.459 -16.4646	54.0476 -3.92256	144.1 0.454545	801.616 -0.0505051
46.1193 -15.6229	54.0476 -3.92256	166.454 0.286195	925.97 -0.0505051
46.7893 -14.7811	54.8327 -2.65993	189.523 0.20202	1069.62 -0.0505051
47.4689 -13.9394	55.6292 -2.15488	218.923 -0.0505051	1235.54 -0.0505051
48.1584 -12.2559	56.4372 -1.56566	252.885 -0.0505051	1427.21 -0.0505051
48.858 -11.4141	58.9325 -0.808081	292.115 -0.0505051	1648.61 -0.0505051

πίνακας 4.5.1-3



διάγραμμα 4.5.1-2



διάγραμμα 4.5.1-3

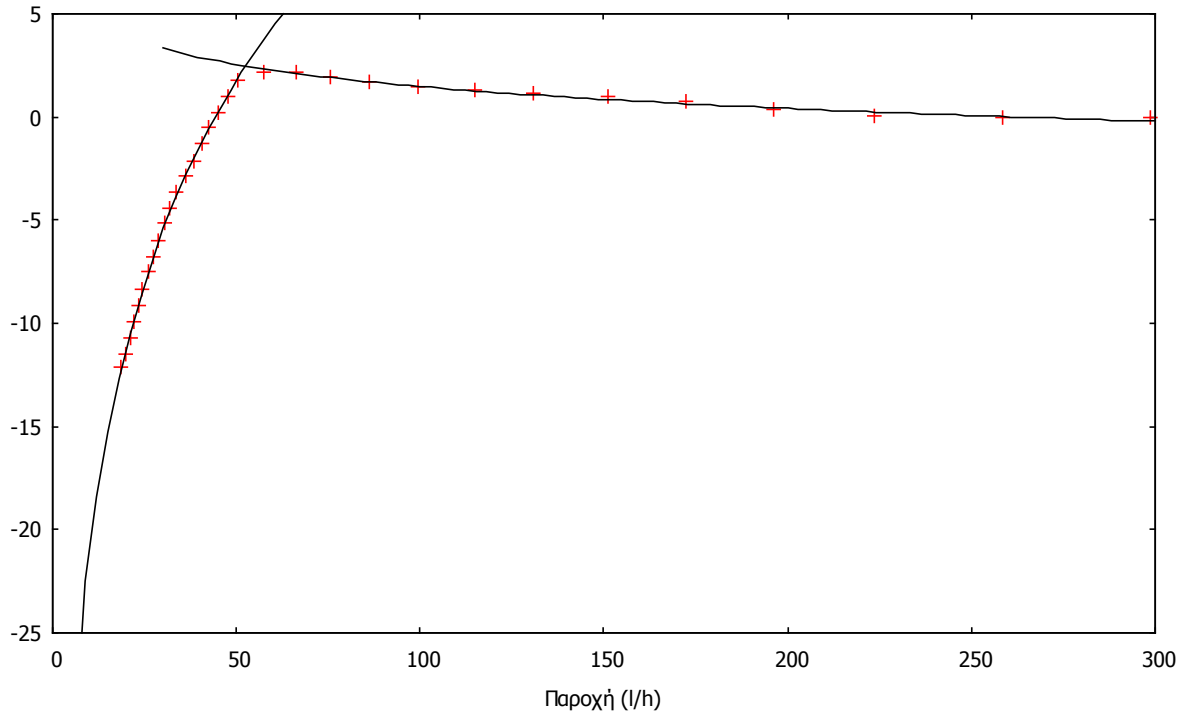
Από τα σημεία αυτά, θα αναζητήσουμε την αναλυτική μορφή κάθε καμπύλης. Καθότι το αρχικό διάγραμμα είναι σχεδιασμένο σε ημιλογαριθμικούς άξονες, τα ευθύγραμμα τμήματα των καμπυλών που αφορούν σε χαμηλές παροχές θα προσεγγιστούν από λογαριθμικές συναρτήσεις σε καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων.

Για να βρούμε την καμπύλη που προσεγγίζει καλύτερα τα επιμέρους τμήματα, απομονώνουμε τα σημεία των τμημάτων αυτών, και προσαρμόζουμε τη γενική μορφή της συνάρτησης μέσω των ελαχίστων τετραγώνων.

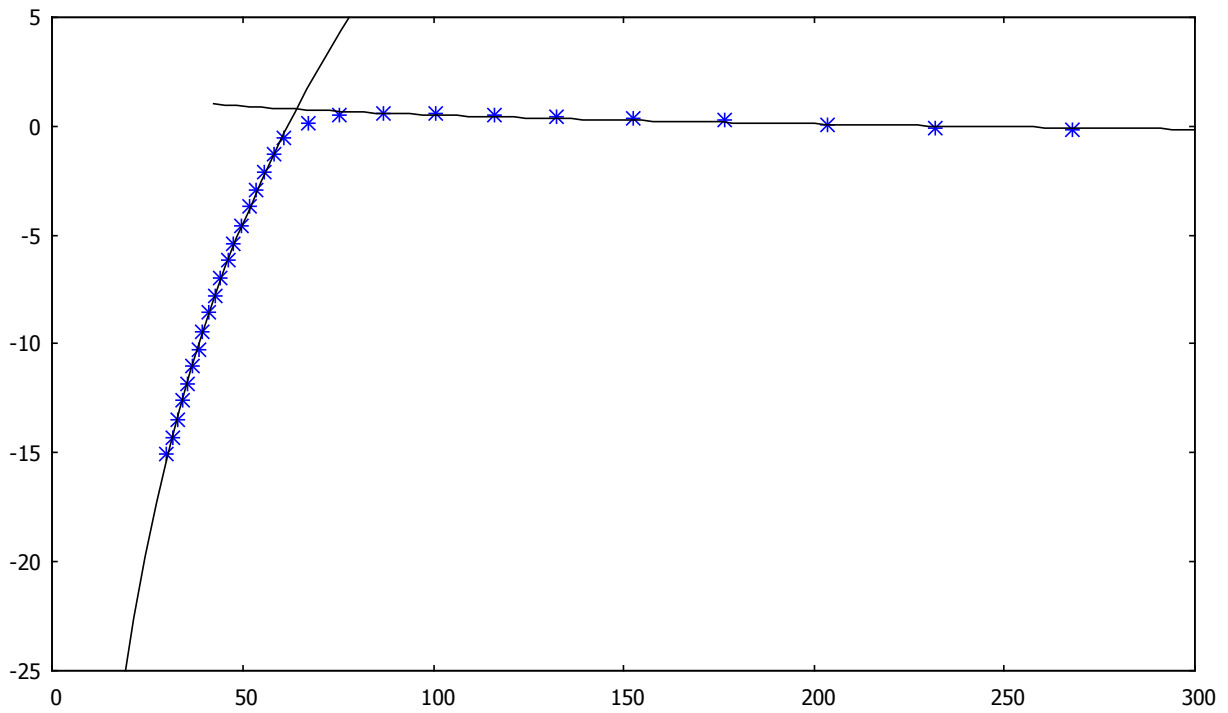
Οι συναρτήσεις, όπως εξηγήσαμε, έχουν λογαριθμική μορφή. Συνεπώς, για κάθε επιμέρους τμήμα ενδιαφέροντος, χρησιμοποιούμε εντολές της μορφής:

```
gnuplot > f(x) = m*log(x) + b  
gnuplot > fit f(x) 'datafile' using 1:2 via m, b
```

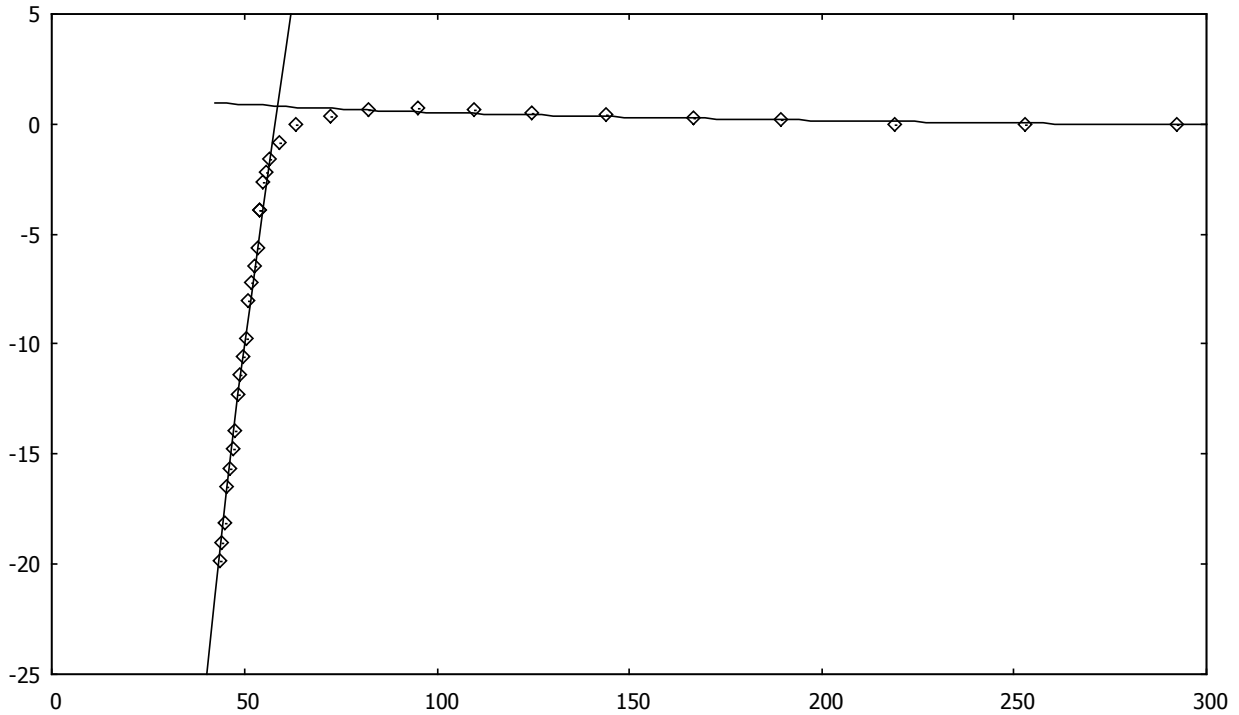
Κατά την ίδια μέθοδο για όλα τα τμήματα όλων των καμπυλών (διαγράμματα 4.5.1-4, 4.5.1-5, 4.5.1-6), καταλήγουμε στις αναλυτικές περιγραφικές σχέσεις βάσει των οποίων θα περιγράψουμε την επίδραση της κλίσης τοποθέτησης των ταχυμετρικών υδρομετρητών απλής ριπής.



διάγραμμα 4.5.1-4
(έχουν σχεδιαστεί και τμήματα των καμπύλων παλινδρόμησης)



διάγραμμα 4.5.1-5
(έχουν σχεδιαστεί και τμήματα των καμπύλων παλινδρόμησης)



διάγραμμα 4.5.1-6
(έχουν σχεδιαστεί και τμήματα των καμπύλων παλινδρόμησης)

Η αναλυτική μορφή των καμπυλών:

Διορθωτική καμπύλη για κλίση εγκατάστασης $\delta < 22^\circ$:

$$ers_1(q) \triangleq \begin{cases} 14.2404 \ln(q) - 53.9578 & 0 < q < 60 \text{ l/h} (*) \\ -1.53793 \ln(q) + 8.55532 & 60 \text{ l/h} \leq q < 300 \text{ l/h} \\ 0 & q \geq 300 \text{ l/h} \end{cases}$$

, όπου q η παροχή διαμέσου του μετρητή σε λίτρα ανά ώρα (l/h), και $ers_i(q)$ δίνει την τιμή του σχετικού σφάλματος σε ποσοστό (%).

*Σχόλιο: Η περιοχή παροχών $0 < q < 60 \text{ l/h}$ πρακτικά αφορά την περιοχή $Q_{start} \leq q < 60 \text{ l/h}$, αφού το υδρόμετρο δε δύναται να καταγράψει παροχές $0 \leq q < Q_{start}$.

Διορθωτική καμπύλη για κλίση εγκατάστασης $22^\circ \leq \delta < 66^\circ$:

$$ers_2(q) \triangleq \begin{cases} 21.1982 \ln(q) - 87.3566 & 0 < q < 60 \text{ l/h} \\ -0.593758 \ln(q) + 3.24515 & 60 \text{ l/h} \leq q < 300 \text{ l/h} \\ 0 & q \geq 300 \text{ l/h} \end{cases}$$

Διορθωτική καμπύλη για κλίση εγκατάστασης $\delta \geq 66^\circ$:

$$ers_3(q) \triangleq \begin{cases} 69.6816 \ln(q) - 282.571 & 0 < q < 60 \text{ l/h} \\ -0.527768 \ln(q) + 2.95711 & 60 \text{ l/h} \leq q < 300 \text{ l/h} \\ 0 & q \geq 300 \text{ l/h} \end{cases}$$

Θεωρώντας ότι το υδρόμετρο παρουσιάζει την καλύτερη μετρητική συμπεριφορά όταν είναι τοποθετημένο οριζοντίως, αυτό που ενδιαφέρει είναι οι διαφορές των καμπυλών $ers_2 - ers_1$ και $ers_3 - ers_1$, διότι δείχνουν το πώς μεταβάλλεται το σφάλμα όσο αυξάνεται η κλίση τοποθέτησης.

5

Αριθμητική εφαρμογή πραγματικού υδρομετρητή

5.1 Πληροφορίες που παρέχει ο κατασκευαστής

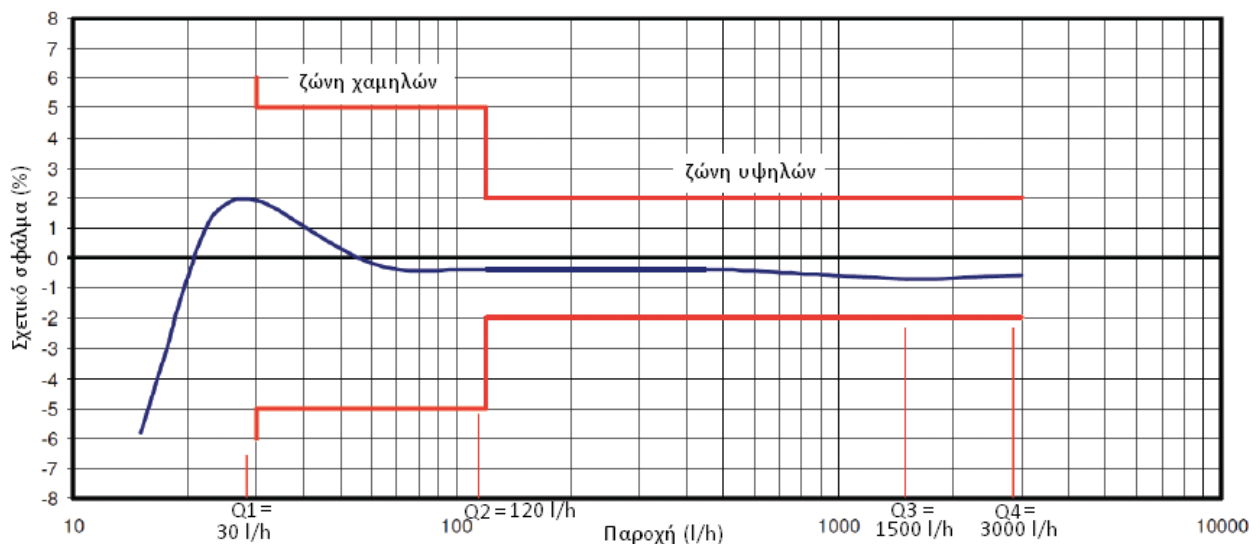
Οι εταιρείες ύδρευσης πραγματοποιούν μαζικές παραγγελίες υδρομετρητών, από εκατοντάδες έως χιλιάδες τη φορά. Το πλεονέκτημα αγοράς και εγκατάστασης μεγάλου αριθμού όμοιων υδρομέτρων είναι αφενός οικονομικής φύσεως (οφέλη οικονομίας κλίμακας), αφετέρου η εταιρεία δημιουργεί μια "κανονικότητα" των οργάνων που θα χρησιμοποιήσει. Είναι ευκολότερο να διαχειριστεί μεγάλο αριθμό ίδιων υδρομετρητών, παρά μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών μοντέλων και κατασκευαστών. Έτσι, γνωρίζει ότι τα μετρητικά σφάλματα θα είναι σχεδόν όμοια – δε γίνεται να είναι πανομοιότυπα αφού κάθε όργανο υπόκειται κάτω από μοναδικές κάθε φορά συνθήκες λειτουργίας – και επιπλέον ότι θα φθειρόνται με όμοιο τρόπο. Είναι

ευκολότερο, επομένως, να προγραμματίσει τις συντηρήσεις και αντικαταστάσεις των υδρομέτρων.

Το γεγονός ότι πραγματοποιείται ταυτόχρονη παραγγελία μεγάλου αριθμού υδρομετρητών συνεπάγεται ότι υπάρχει μια καμπύλη σφάλματος που περιγράφει αρχικά τη μετρητική ακρίβεια των οργάνων. Ο κατασκευαστής έχει υποχρέωση να παρέχει τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, όπως οι παροχές Q_i , η μέγιστη πίεση λειτουργίας, και οι απώλειες πίεσης.

5.1.1 Περίπτωση όπου δίνεται η καμπύλη σφάλματος

Έστω το δομοστοιχειωτό ταχυμετρικό υδρόμετρο μονής ριπής ξηρού τύπου με όνομα μοντέλου *120C*, του οίκου *Sensus*, ονομαστικής παροχής $Q_3 = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, για το οποίο παρέχεται η εξής καμπύλη σχετικού σφάλματος [διάγραμμα 5.1.1-1]:

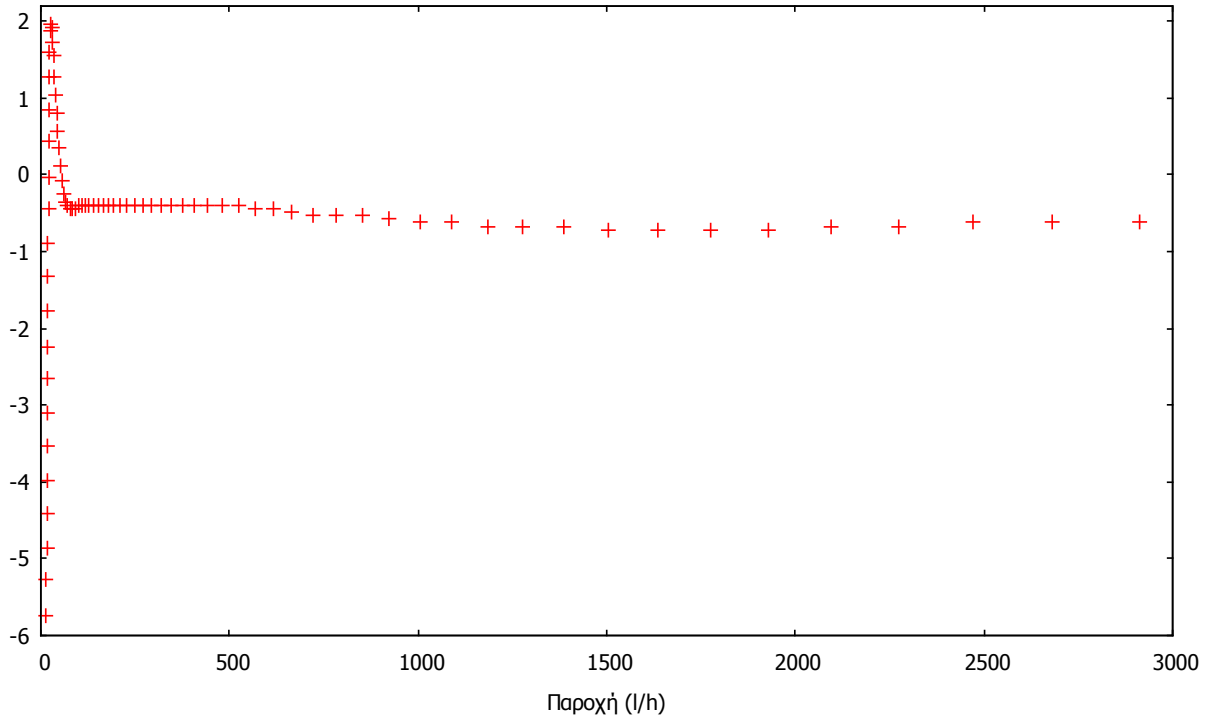


διάγραμμα 5.1.1-1

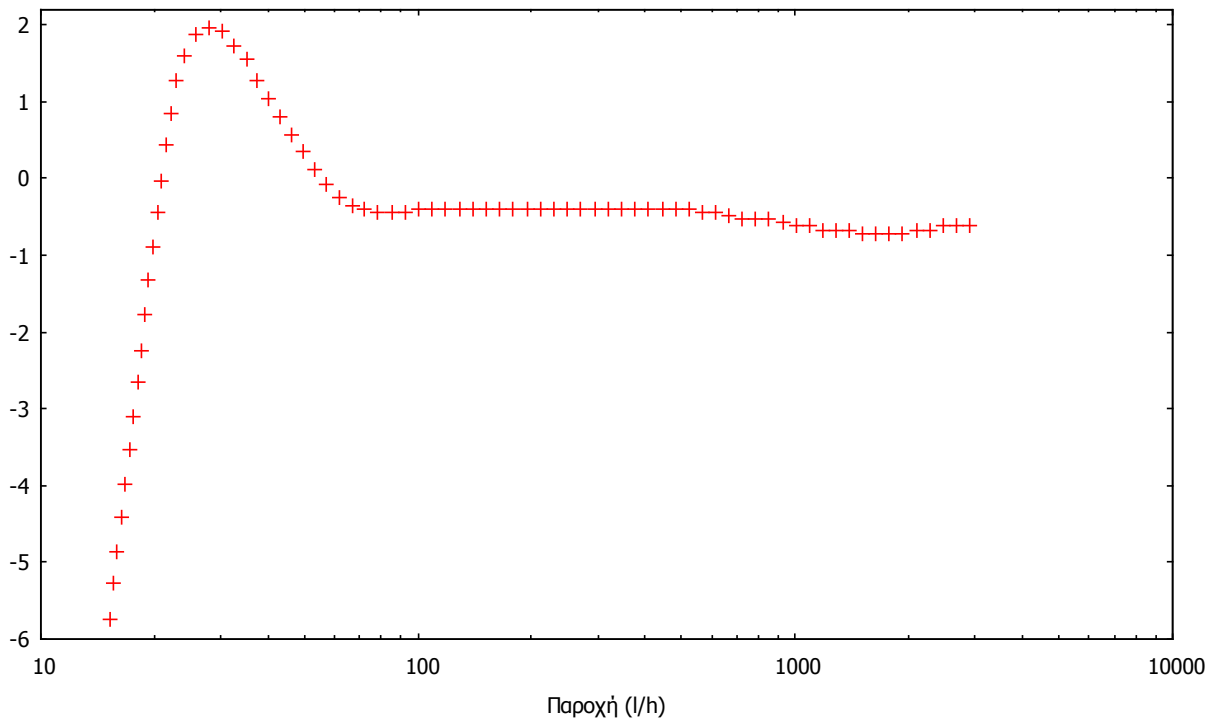
Από την καμπύλη του διαγράμματος 5.1.1-1, εξάγουμε τα σημεία του πίνακα 5.1.1-1, και απεικονίζουμε στα διαγράμματα 5.1.1-2 & 5.1.1-3, σε καρτεσιανή και ημιλογαριθμική κλίμακα αντίστοιχα.

(τετμημένη/τεταγμένη)	25.9155 1.86744	118.458 -0.391931	617.193 -0.43804
	27.9124 1.95965	128.649 -0.391931	664.797 -0.48415
15.2156 -5.74063	30.3145 1.91354	139.717 -0.391931	722.008 -0.530259
15.5933 -5.27954	32.655 1.72911	151.737 -0.391931	784.123 -0.530259
15.9808 -4.86455	35.1762 1.54467	164.791 -0.391931	851.582 -0.530259
16.3775 -4.40346	37.5824 1.26801	178.968 -0.391931	924.866 -0.576369
16.7845 -3.98847	40.1523 1.03746	194.365 -0.391931	1004.46 -0.622478
17.2011 -3.52738	43.2534 0.806916	211.087 -0.391931	1090.87 -0.622478
17.6286 -3.11239	46.211 0.576369	229.247 -0.391931	1184.75 -0.668588
18.0662 -2.6513	49.78 0.345821	248.969 -0.391931	1276.1 -0.668588
18.5151 -2.23631	53.184 0.115274	270.388 -0.391931	1385.88 -0.668588
18.8188 -1.77522	57.2902 -0.0691643	293.65 -0.391931	1505.15 -0.714697
19.2859 -1.31412	61.7134 -0.253602	318.913 -0.391931	1634.64 -0.714697
19.7652 -0.899135	67.0259 -0.345821	346.349 -0.391931	1775.27 -0.714697
20.4237 -0.43804	72.1956 -0.391931	376.146 -0.391931	1928 -0.714697
20.9312 -0.0230548	78.4085 -0.43804	408.506 -0.391931	2093.81 -0.668588
21.4508 0.43804	85.1541 -0.43804	443.651 -0.391931	2273.95 -0.668588
22.166 0.853026	92.48 -0.43804	481.819 -0.391931	2469.52 -0.622478
22.905 1.26801	100.434 -0.391931	523.27 -0.391931	2681.98 -0.622478
24.0638 1.59078	109.074 -0.391931	568.301 -0.43804	2912.71 -0.622478

πίνακας 5.1.1-1



διάγραμμα 5.1.1-2



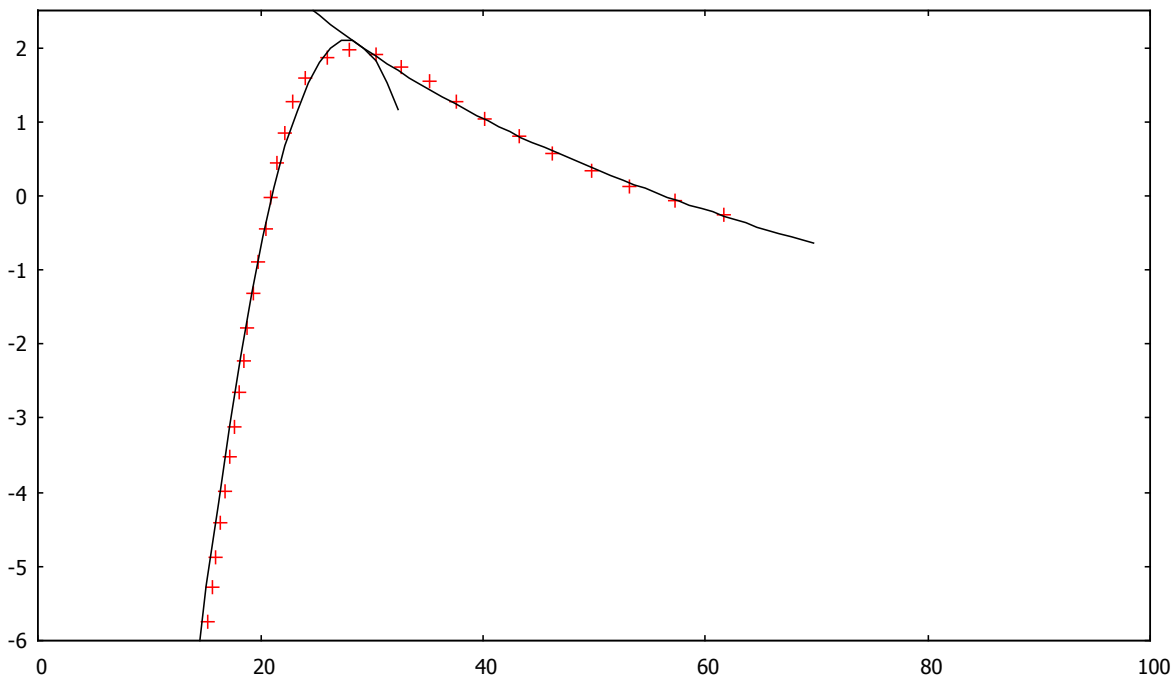
διάγραμμα 5.1.1-3

Από τα σημεία αυτά, θα αναζητήσουμε την αναλυτική μορφή της καμπύλης σφάλματος. Ασφαλώς, πρόκειται για μια πολύκλαδη συνάρτηση, καθώς αλλάζει μορφές

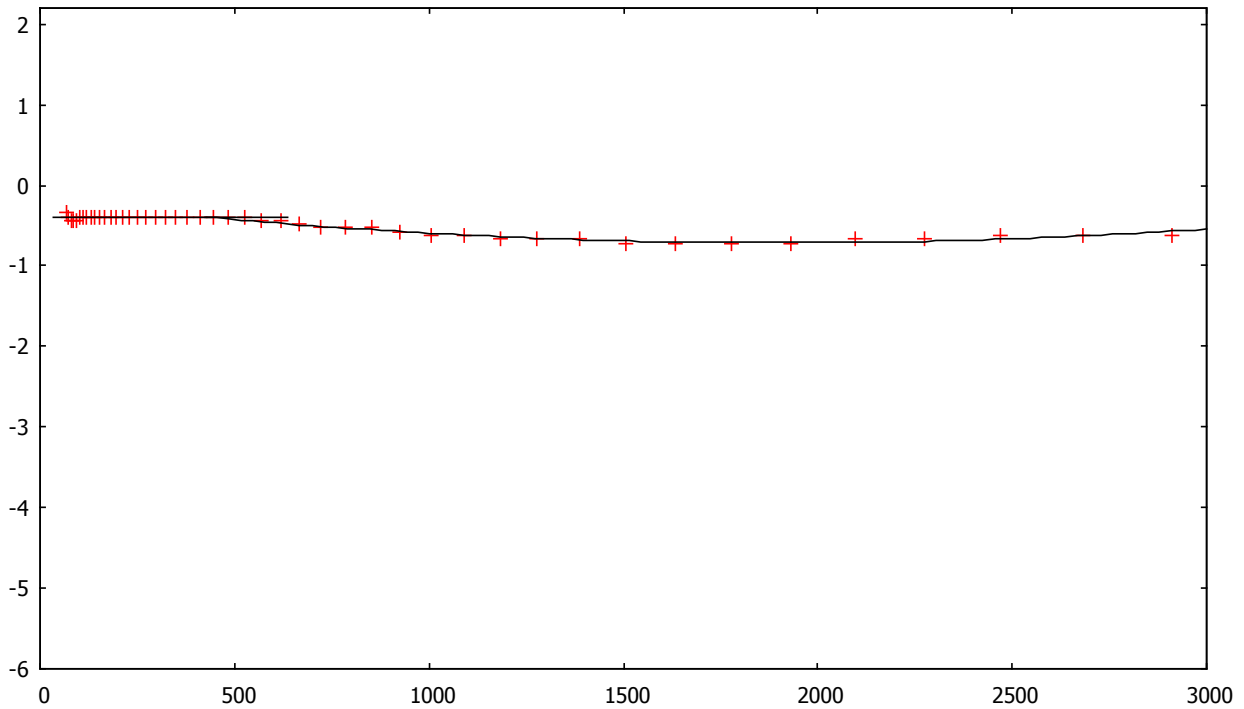
Για να βρούμε τις καμπύλες που προσεγγίζουν καλύτερα τα επιμέρους τμήματα, απομονώνουμε τα σημεία των τμημάτων αυτών, και προσαρμόζουμε τη γενική μορφή της συνάρτησης που ελαχιστοποιεί το τετραγωνικό σφάλμα.

Συνεπώς, για το συγκεκριμένο υδρόμετρο, για παροχές έως τα $30m^3$ αναζητούμε πολυωνυμική σχέση της μορφής $f(x) = ax^2 + bx + c$, έπειτα έως τα $70m^3$ αναζητούμε λογαριθμική σχέση της μορφής $g(x) = a \ln(x) + b$, έπειτα ως τα $450m^3$ αναζητούμε ευθεία, ενώ για τις μεγαλύτερες παροχές αναζητούμε πάλι πολυωνυμική σχέση $h(x) = ax^2 + bx + c$.

Στα διαγράμματα 5.1.1-4 & 5.1.1-5 παρουσιάζονται τμήματα των καμπυλών παλινδρόμησης που βρίσκονται μέσω της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων.



διάγραμμα 5.1.1-4



διάγραμμα 5.1.1-5

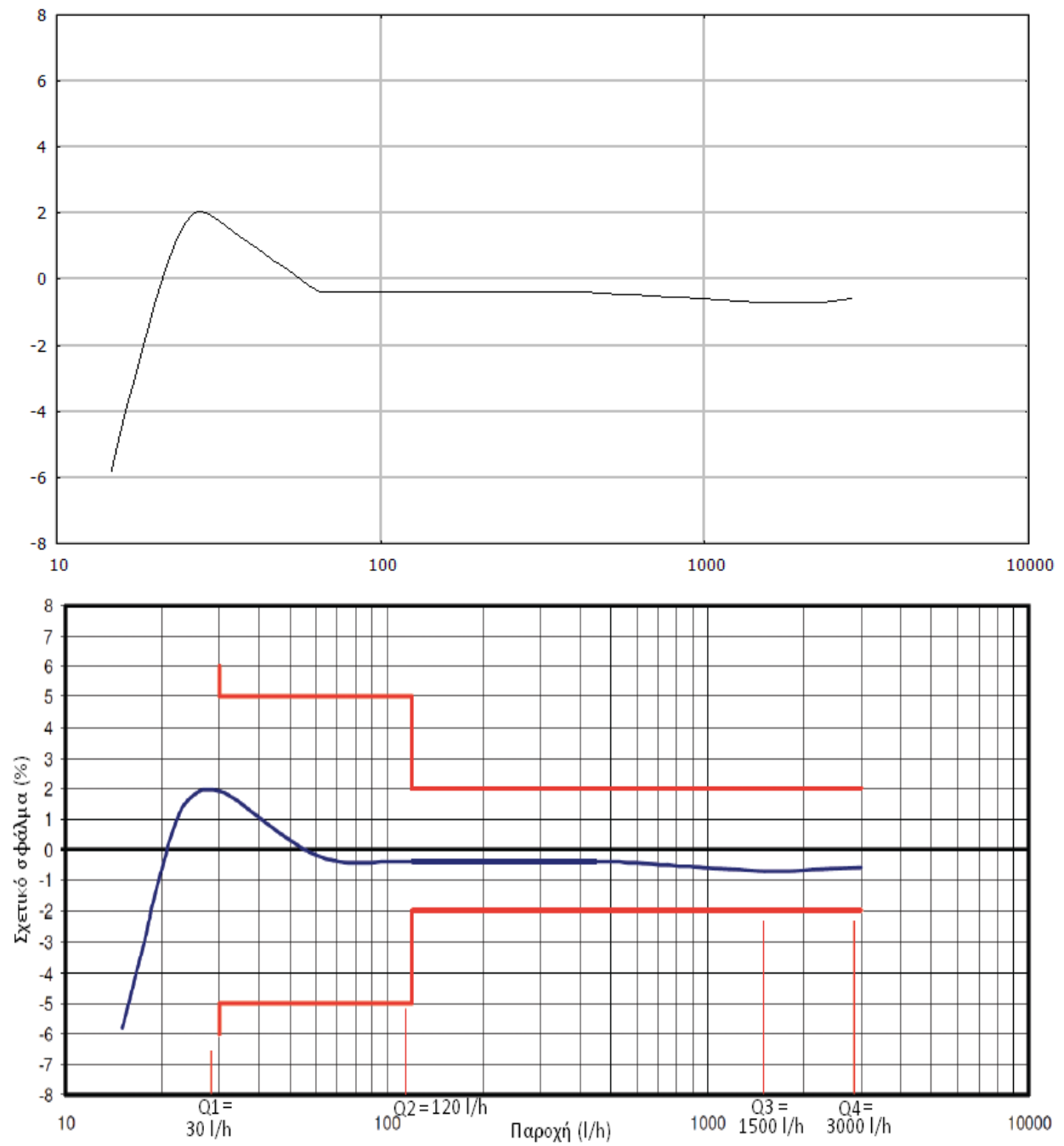
Επομένως, ως αναλυτική μορφή της καμπύλης σφάλματος του συγκεκριμένου υδρομέτρου βρίσκουμε:

$$er(Q) = \begin{cases} -0.046 Q^2 + 2.5576 Q - 33.45064 & Q_{start} \leq Q < 29 \\ -3.03848 \ln Q + 12.2477 & 29 \leq Q < 64 \\ -0.395478 & 64 \leq Q < 430 \\ 1.44201 \cdot 10^{-7} Q^2 - 5.51257 \cdot 10^{-4} Q - 0.186641 & 430 \leq Q \leq 3000 \end{cases}$$

, όπου $er(Q)$ το σχετικό σφάλμα του οργάνου στην παροχή Q [l/h].

Η συνάρτηση $er(Q)$ φαίνεται στο *διάγραμμα 5.1.1-6*, μαζί με την αρχικά δοθείσα καμπύλη σχετικού σφάλματος.

Υπενθυμίζουμε ότι οι παραγγελίες υδρομετρητών αφορούν μεγάλο αριθμό οργάνων, επομένως οι εταιρείες ύδρευσης αρκεί να βρουν μια φορά στην αρχή την αναλυτική μορφή της καμπύλης σφάλματος, η οποία και θα ισχύει για όλα τα τεμάχια.



διάγραμμα 5.1.1-6

5.1.2 Περίπτωση όπου δίνονται σημεία της καμπύλης σφάλματος

Ο κατασκευαστής ενδέχεται, αντί της καμπύλης σφάλματος, να δίνει το σχετικό σφάλμα του οργάνου σε κάποια διακριτά σημεία, δηλαδή για κάποιες συγκεκριμένες παροχές.

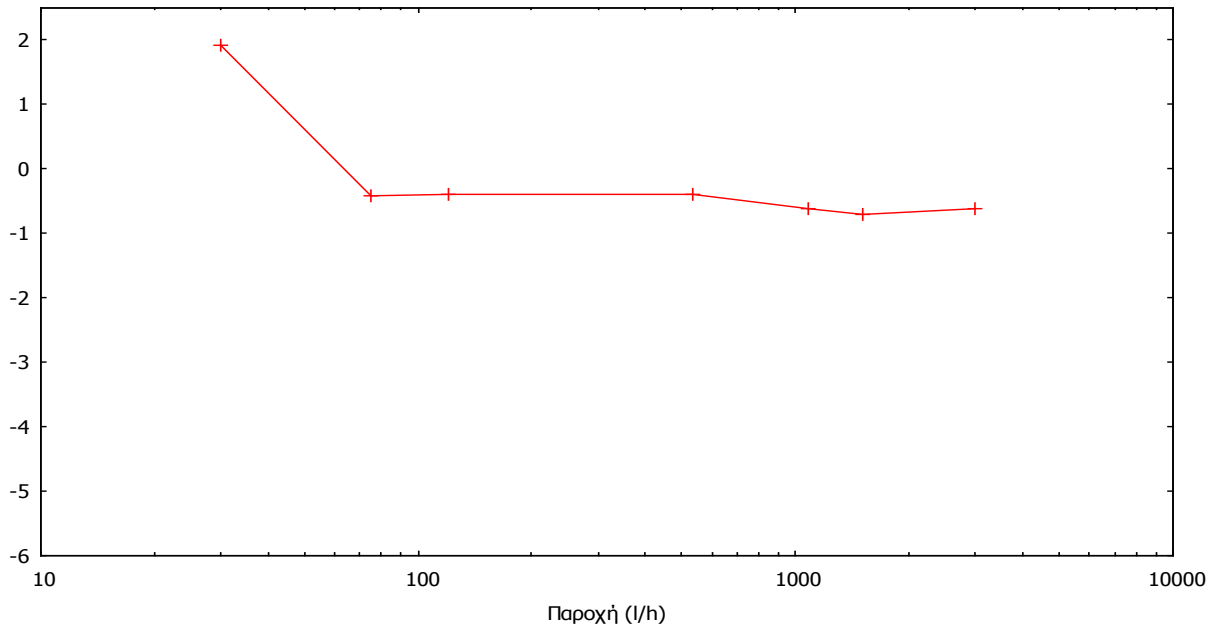
Βάσει του διεθνούς οργανισμού μετρολογίας ΟΙΜΛ, ο κατασκευαστής οφείλει, μέσω εργαστηριακών δοκιμών, να καταγράψει το σχετικό σφάλμα του οργάνου, και να επιβεβαιώσει ότι σε κάθε περίπτωση εμπίπτει εντός των μέγιστων επιτρεπόμενων ορίων σφαλμάτων, για τις εξής παροχές [21]:

- (i) Μεταξύ Q_1 και $1,1Q_1$
- (ii) Μεταξύ $0,5(Q_1 + Q_2)$ και $0,55(Q_1 + Q_2)$
- (iii) Μεταξύ Q_2 και $1,1Q_2$
- (iv) Μεταξύ $0,33(Q_2 + Q_3)$ και $0,37(Q_2 + Q_3)$
- (v) Μεταξύ $0,67(Q_2 + Q_3)$ και $0,74(Q_2 + Q_3)$
- (vi) Μεταξύ $0,9Q_3$ και Q_3
- (vii) Μεταξύ $0,95Q_4$ και Q_4

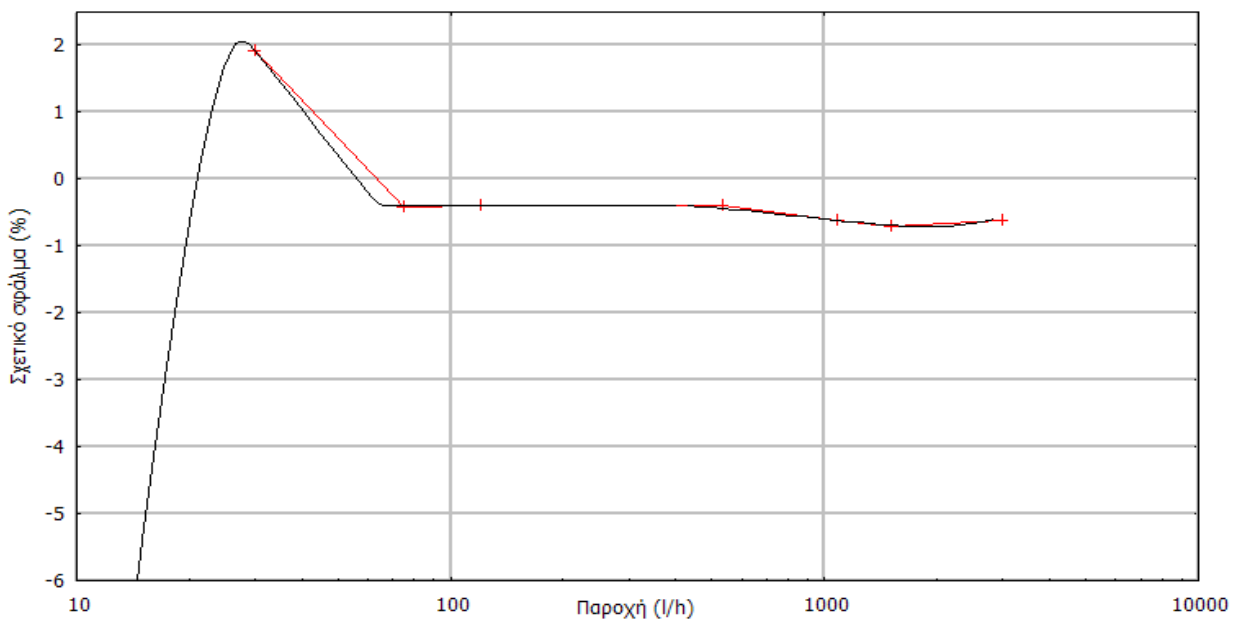
Επομένως, για το ίδιο υδρόμετρο της προηγούμενης ενότητας (5.1.1), ο κατασκευαστής θα έδινε τα εξής δεδομένα:

Παροχή (l/h)	Σχετικό σφάλμα (%)
$Q_1 = 30$	1,92
$0,5(Q_1 + Q_2) = 75$	-0.413
$Q_2 = 120$	-0.39
$0,33(Q_2 + Q_3) = 535$	-0.405
$0,67(Q_2 + Q_3) = 1085$	-0.622
$Q_3 = 1500$	-0.712
$Q_4 = 3000$	-0.622

Όπως βλέπουμε στο *διάγραμμα 5.1.2-1*, οι τιμές αυτές δεν επαρκούν για να αναδομηθεί με αξιόπιστο τρόπο τη καμπύλη σφάλματος του οργάνου. Στο *διάγραμμα 5.1.2-2* φαίνεται μαζί και η αναλυτική μορφή που υπολογίσαμε προηγουμένως, όπου διαπιστώνουμε πως στις χαμηλές παροχές έχουμε σοβαρές αποκλίσεις. Οπότε, η εταιρεία θα πρέπει η ίδια να προσδιορίσει πειραματικά την καμπύλη, ώστε να έχει πιο αξιόπιστα μοντέλα.



διάγραμμα 5.1.2-1



διάγραμμα 5.1.2-2

5.2 Συνδυασμός καμπύλης σφάλματος με παράγοντες που την επηρεάζουν

Έστω ότι για το υδρόμετρο της ενότητας 5.1.1 γνωρίζουμε επιπλέον ότι έχει εγκατασταθεί καθέτως (δηλαδή με 90° κλίση) και ότι έχει καταγράψει συνολικά 2000 κυβικά μέτρα νερό. Το ζητούμενό μας είναι να προσδιορίσουμε την τωρινή ισχύουσα καμπύλη σχετικού σφάλματος του οργάνου.

Για την επίδραση του καταγεγραμμένου όγκου των $2000m^3$ βασιζόμαστε στις σχέσεις που εξάγαμε στο κεφάλαιο 4. Συγκεκριμένα, βάσει των σχέσεων της ενότητας 4.3 για τα ταχυμετρικά υδρόμετρα, βρίσκουμε το σφάλμα που εισήχθη επιπλέον στο όργανο λόγω του συσσωρευμένου όγκου, για κάθε περιοχή παροχών.

Ειδικότερα, για $V_{ac} = 2000 m^3$ έχουμε :

Για παροχές $Q < 40 l/h$:

$$\begin{aligned} \text{Μεταβολή του σχετικού σφάλματος} &= \\ &= (0,013137 * 740) + \\ &\quad + [-0,0163323 * (1580 - 740)] + [0,00575625 * (2000 - 1580)] = \\ &= -1,580127 (\%) \end{aligned}$$

Για παροχές $40 \leq Q < 60 l/h$:

$$\begin{aligned} \text{Μεταβολή του σχετικού σφάλματος} &= \\ &= (0,00222906 * 740) + \\ &\quad + [-0,00677352 * (1580 - 740)] + [0,0027862 * (2000 - 1580)] = \\ &= -2,8700484 (\%) \end{aligned}$$

Για παροχές $Q \geq 60 \text{ l/h}$:

Μεταβολή του σχετικού σφάλματος =

$$= (-0,00193599 * 1580) + [0,00136109 * (2000 - 1580)] =$$

$$= -2,4872064 (\%)$$

Για την επίδραση των 90° κλίσης τοποθέτησης βασιζόμαστε στις σχέσεις που εξάγαμε στην ενότητα 4.5.1 . Ειδικότερα, επειδή τα ταχυμετρικά υδρόμετρα παρουσιάζουν την καλύτερη μετρητική συμπεριφορά όταν είναι τοποθετημένα οριζοντίως, για να βρούμε την επιδείνωση της ακρίβειας του οργάνου θα χρησιμοποιήσουμε τη διαφορά $ers_3(q) - ers_1(q)$, όπως αυτές ορίστηκαν στην ενότητα εκείνη.

Επομένως :

$$ers_3(q) - ers_1(q) =$$

$$\begin{cases} (69.6816 \ln(q) - 282.571) - (14.2404 \ln(q) - 53.9578) & 0 < q < 60 \\ (-0.527768 \ln(q) + 2.95711) - (-1.53793 \ln(q) + 8.55532) & 60 \leq q < 300 \\ 0 & q \geq 300 \end{cases}$$

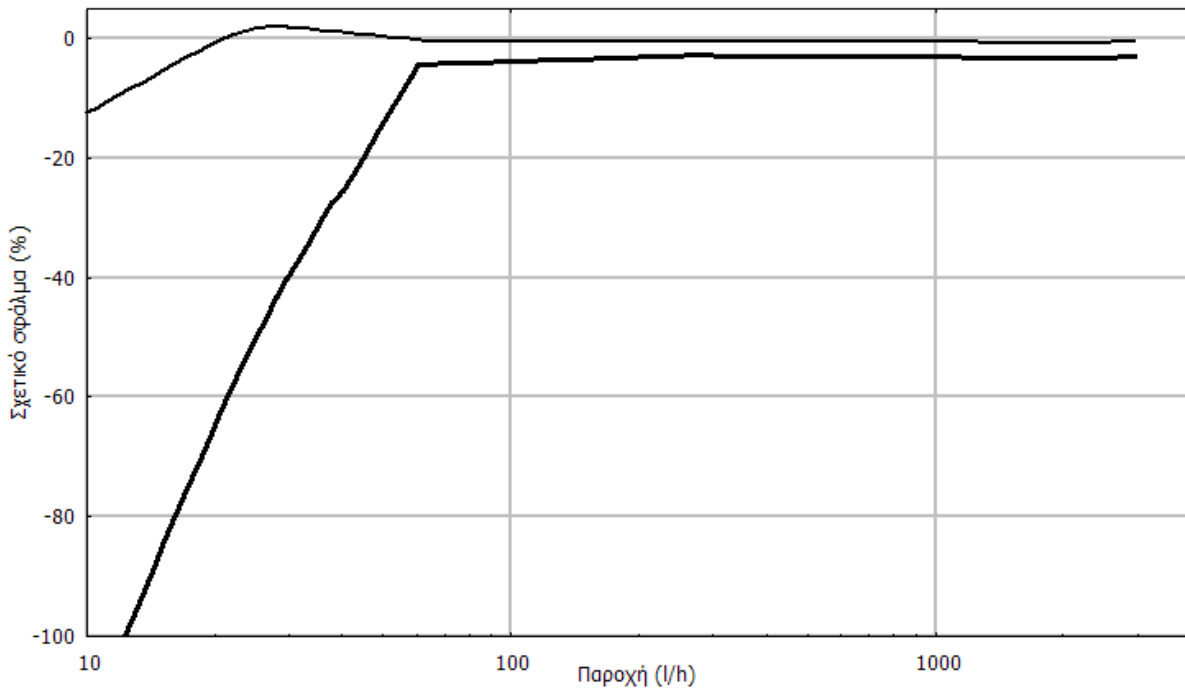
$$= \begin{cases} 55.4412 \ln(q) - 228.6132 & 0 < q < 60 \\ 1.010162 \ln(q) - 5.59821 & 60 \leq q < 300 \\ 0 & q \geq 300 \end{cases}$$

Άρα, για την ισχύουσα καμπύλη σφάλματος έχουμε:

$$er_{new}(Q) =$$

$$= \begin{cases} -0.046Q^2 + 2.5576Q + 55.4412 \ln Q - 263.643967 & Q_{start} \leq Q < 29 \text{ l/h} \\ 52.40272 \ln Q - 217.945627 & 29 \leq Q < 40 \text{ l/h} \\ 52.40272 \ln Q - 219.2355484 & 40 \leq Q < 60 \text{ l/h} \\ -2.028318 \ln Q + 4.1622836 & 60 \leq Q < 64 \text{ l/h} \\ 1.010162 \ln Q - 8.4808944 & 64 \leq Q < 300 \text{ l/h} \\ -2.8826844 & 300 \leq Q < 430 \text{ l/h} \\ 1.44201 \cdot 10^{-7} Q^2 - 5.51257 \cdot 10^{-4} Q - 2.6738474 & 430 \leq Q \leq 3000 \text{ l/h} \end{cases}$$

Η οποία σχεδιάζεται στο *διάγραμμα 5.2.1* (κάτω καμπύλη) μαζί με την αρχική καμπύλη (άνω καμπύλη). Είναι εμφανές ότι υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ τους, ιδίως στις χαμηλότερες παροχές.



διάγραμμα 5.2.1

5.3 Επεξεργασία δεδομένων τηλεμετρίας

Οι πληροφορίες που μεταδίδονται μέσω τηλεμέτρησης περιλαμβάνουν κατ'ελάχιστο τα εξής στοιχεία:

- Ημερομηνία
- Χρόνος
- Ένδειξη οργάνου

ή

- Ημερομηνία
- Χρόνος
- Μετρούμενοι παλμοί

,αφού αυτά τα μεγέθη αρκούν για να περιγράψουν την καταναλωτική συμπεριφορά ενός χρήστη. Στην πρώτη μορφή μετρήσεων, αποστέλεται η ολική ένδειξη που αναγράφει το υδρόμετρο, παραδείγματος χάριν $650,221m^3$. Στη δεύτερη μορφή αποστέλλονται είτε οι συνολικά καταγεγραμμένοι παλμοί, είτε, συνηθέστερα, οι μετρούμενοι παλμοί που ανιχνεύθηκαν μετά την αμέσως προηγούμενη μέτρηση. Ασφαλώς, οι δύο αυτοί τρόποι παρέχουν ισοδύναμες πληροφορίες, εφόσον γνωρίζουμε την ανάλυση των μετρήσεων, δηλαδή σε ποιο όγκο νερού αντιστοιχεί ο ένας παλμός που καταμετράται.

Οι πληροφορίες που συλλέγονται και μεταδίδονται από το συγκεντρωτή δεδομένων, επομένως, είναι της μορφής του πίνακα 5.3-1, 5.3-2 ή 5.3-3, ανάλογα με το εάν μεταδίδονται οι ενδείξεις του οργάνου ή οι μετρούμενοι παλμοί αντίστοιχα.

Ημερομηνία	Χρόνος	Ένδειξη (καταγεγραμμένος όγκος)
<i>DD/MM/YYYY</i>	<i>t₁</i>	<i>V₁</i>
<i>DD/MM/YYYY</i>	<i>t₂</i>	<i>V₂</i>
<i>DD/MM/YYYY</i>	<i>t₃</i>	<i>V₃</i>
<i>DD/MM/YYYY</i>	<i>t₄</i>	<i>V₄</i>
...

πίνακας 5.3-1

Ημερομηνία	Χρόνος	Μετρηθέντες παλμοί (pulse count)
<i>DD/MM/YYYY</i>	<i>t₁</i>	<i>PC₁</i>
<i>DD/MM/YYYY</i>	<i>t₂</i>	<i>PC₂</i>
<i>DD/MM/YYYY</i>	<i>t₃</i>	<i>PC₃</i>
<i>DD/MM/YYYY</i>	<i>t₄</i>	<i>PC₄</i>
...

πίνακας 5.3-2

Ημερομηνία	Χρόνος	Συνολικά μετρηθέντες παλμοί (total pulse count)
<i>DD/MM/YYYY</i>	<i>t₁</i>	<i>TPC₁</i>
<i>DD/MM/YYYY</i>	<i>t₂</i>	<i>TPC₂</i>
<i>DD/MM/YYYY</i>	<i>t₃</i>	<i>TPC₃</i>
<i>DD/MM/YYYY</i>	<i>t₄</i>	<i>TPC₄</i>
...

πίνακας 5.3-3

Για το παράδειγμα που θα εξετάσουμε χρησιμοποιούμε δεδομένα της μορφής του πίνακα 5.3-2. Μάλιστα, οι μετρηθέντες παλμοί PC_i αναφέρονται στους παλμούς που καταγράφηκαν στο χρονικό διάστημα $\Delta t_i \equiv t_{i-1} - t_i$. Εάν λαμβάναμε δεδομένα συνολικά καταγεγραμμένων παλμών TPC_i (Total Pulse Count), τότε θα μπορούσαμε εύκολα να μετατρέψουμε στην ίδια μορφή, μέσω της σχέσης: $PC_i \equiv TPC_i - TPC_{i-1}$.

Βήμα 1^ο – Μετατροπή των παλμών σε λίτρα

Το μέγεθος PC_i δείχνει τους παλμούς που καταμετρήθηκαν εντός του χρονικού διαστήματος $\Delta t_i \equiv t_{i-1} - t_i$. Μπορούμε από αυτούς να βρούμε την ποσότητα νερού που καταναλώθηκε στο διάστημα Δt_i εφόσον γνωρίζουμε την ανάλυση με την οποία είναι ρυθμισμένη η παλμοδοτική διάταξη του υδρομετρητή:

$$(\text{αριθμός παλμών}) \times \left(\frac{\text{λίτρα}}{\text{παλμός}} \right) = \text{καταναλωθέντα λίτρα}$$

$$PC_i \times \left(\frac{\text{liters}}{\text{pulse}} \right) = l_i$$

, όπου l_i τα λίτρα που καταναλωθήκαν στο χρονικό διάστημα Δt_i .

Βήμα 2^ο – Εύρεση των παροχών

Για να βρούμε τη μέση παροχή Q_i με την οποία καταναλώθηκαν τα λίτρα l_i στο χρονικό διάστημα Δt_i , εξ'ορισμού: $Q_i \equiv l_i / \Delta t_i$.

Βήμα 3^ο – Εύρεση σφάλματος μέτρησης

Από τη δοθείσα καμπύλη σφάλματος, ή από την καμπύλη σφάλματος που θα έχουμε καταλήξει λαμβάνοντας υπόψιν και άλλους παράγοντες (κατά τα λεγόμενα του κεφαλαίου 4), βρίσκουμε το αντίστοιχο σχετικό σφάλμα ε που αντιστοιχεί στην παροχή Q_i .

Βήμα 4^ο – Υπολογισμός της πραγματικά ζητούμενης ποσότητας

Πλέον γνωρίζουμε τα σφάλματα ε_i που συνοδεύουν κάθε ποσότητα λίτρων l_i , οπότε, για την πραγματικά ζητούμενη ποσότητα λίτρων l_{ia} στο χρονικό διάστημα Δt_i έχουμε:

$$l_i = l_{ia} \cdot (1 + 0.01 \cdot \varepsilon_i) \Rightarrow l_{ia} = l_i / (1 + 0.01 \cdot \varepsilon_i)$$

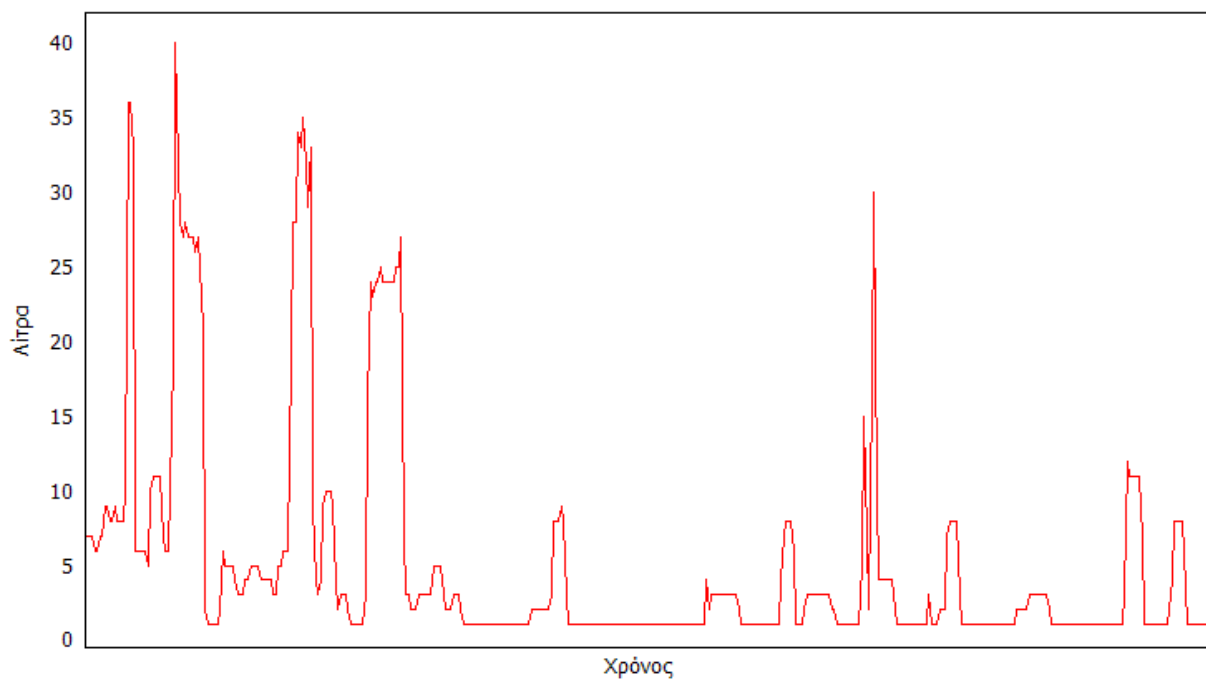
Βήμα 5^ο – Απολογισμός

Μπορούμε, τέλος, να υπολογίσουμε την ποσότητα νερού που δε μετρήθηκε, και κατ'επέκταση δεν απέφερε έσοδα στις εταιρείες ύδρευσης. Συγκεκριμένα: $\Delta l_i = l_{ia} - l_i$ είναι ο όγκος νερού που δεν καταμετρήθηκε στο διάστημα Δt_i , και $\sum_i \Delta l_i$ είναι ο συνολικός όγκος νερού δεν καταγράφηκε.

Στο *Παράρτημα Α* φαίνονται τα αποτελέσματα εφαρμογής της ανωτέρω μεθοδολογίας για μια σειρά μετρήσεων σε διαστήματα των 8 δευτερολέπτων, συνολικά μίας ώρας (σύνολο 450 μετρήσεις). Η ανάλυση παλμών είναι 0,1 λίτρα ανά παλμό, ή ισοδύναμα 10 παλμοί ανά λίτρο.

Παρατηρούμε ότι τα καταγραφόμενα λίτρα ήταν 2504, και λαμβάνοντας υπόψιν την καμπύλη σφάλματος βρίσκουμε ότι τα πραγματικά ζητηθέντα ήταν 2518, δηλαδή 14 λίτρα περισσότερα. Χρησιμοποιώντας την καμπύλη σφάλματος της ενότητας 5.2 – προσμετρώντας τις επιπτώσεις του συσσωρευμένου όγκου και της κλίσης τοποθέτησης – βρίσκουμε ότι τα πραγματικά ζητηθέντα λίτρα ήταν 3690, δηλαδή 1186 περισσότερα από τα μετρηθέντα.

Τέλος, στο *διάγραμμα 5.3-1* απεικονίζουμε τα μετρούμενα λίτρα L_i για κάθε χρονικό διάστημα Δt_i . Είναι ξεκάθαρο ότι πλέον διαθέτουμε εικόνα για τη φύση του φορτίου – εν προκειμένω τη ζήτηση νερού. Επίσης, παρατηρούμε ότι ο συγκεκριμένος καταναλωτής έχει πάντοτε κάποια ζητούμενη ποσότητα νερού. Ειδικότερα, εμφανίζει μια συνεχή ελάχιστη παροχή $Q = 16,8 \text{ l/h}$, οπότε έχουμε ισχυρή ένδειξη ύπαρξης διαρροής. Είναι προφανές ότι, μέσω της παραδοσιακής μεθόδου μέτρησης, θα διαθέταμε μονάχα δύο τιμές, την αρχική και τελική, πληροφορία που θα ήταν σαφώς μικρότερης πρακτικής αξίας.



διάγραμμα 5.3-1

6

Σχόλια & Περαιτέρω ανάπτυξη

6.1 Πλεονεκτήματα της μεθόδου

Η επεξεργασία των μετρήσεων των υδρομετρητών, λαμβάνοντας υπόψιν τις καμπύλες σφάλματός τους, καθώς και τους παράγοντες που επιδρούν στην ακρίβειά τους συνεπάγεται σημαντικά πλεονεκτήματα:

- **Δικαιότερη χρέωση**

Η χρέωση στηρίζεται στον *πραγματικά* καταναλισκόμενο όγκο νερού. Αφενός, ο χρήστης τιμολογείται για το νερό που χρησιμοποίησε, αφετέρου η εταιρεία ύδρευσης θα εισπράξει τα αντίστοιχα έσοδα για το νερό που ζητήθηκε – δίχως κάποια πλευρά να αδικείται εξαιτίας μετρητικών ανακρίβειών των υδρομέτρων.

- **Αποτελεσματικότερη διαχείριση δικτύου**

Ορθότερες καταγραφές μετρήσεων βοηθούν τις εταιρίες ύδρευσης να διαχειρίζονται αποτελεσματικότερα το δίκτυο νερού, να πραγματοποιούν ακριβέστερες προβλέψεις – άρα πιο αξιόπιστες μελέτες επέκτασης, συντήρησης και λειτουργίας του δικτύου.

- **Εξοικονόμηση χρημάτων για την εταιρεία**

Ο βασικός λόγος που μια εταιρεία ύδρευσης κωλύεται στην αντικατάσταση υδρομετρητών είναι το κόστος που συνεπάγεται η αλλαγή αυτή – κόστος που συμπεριλαμβάνει προμήθεια των οργάνων, εγκατάστασή τους, και συχνά ακόμα και αντικατάσταση πεπαλαιωμένων σωληνώσεων κοντά στο μετρητή. Από την άλλη, η μη αντικατάσταση των υδρομετρητών συνεπάγεται απώλεια εσόδων για την εταιρεία, αφού επί τω πλείστον οι υδρομετρητές παρουσιάζουν αρνητικό σφάλμα, δηλαδή τείνουν να καταγράφουν ποσότητες μικρότερες των πραγματικών, άρα και οι εισπράξεις χρημάτων θα είναι αντίστοιχα μικρότερες από ότι αν οι μετρήσεις ήταν ορθότερες.

Μέσω της προσέγγισης που υιοθετούμε στην παρούσα διπλωματική εργασία, στην εύρεση, δηλαδή, μιας ιδανικής "μηδενικής" καμπύλης σφάλματος, η εταιρεία ύδρευσης δεν έχει απώλεια εσόδων εξαιτίας της ανακρίβειας των οργάνων. Στην ουσία, μειώνουμε το κόστος του μη μετρήσιμου νερού.

Όπως υποδηλώνει και η περιγραφή του, το κόστος του μη μετρήσιμου νερού είναι οι απώλειες εσόδων που οφείλονται σε νερό που καταναλώθηκε αλλά δε μετρήθηκε – και ως εκ τούτου δεν τιμολογήθηκε. Το μη μετρήσιμο νερό ανήκει στις *φαινόμενες απώλειες (apparent losses)* ενός δικτύου ύδρευσης, όπως χαρακτηρίζεται από την IWA (*International Water Association*). Οι φαινόμενες απώλειες δεν αφορούν νερό που "χάθηκε" από το δίκτυο, μέσω, για παράδειγμα, μιας διαρροής στο σύστημα διανομής – οπότε

και κάνουμε λόγο για *πραγματικές (real)* απώλειες – αλλά νερό που "χάθηκε λογιστικά", διότι δε μετρήθηκε από τα υδρόμετρα, ή λόγω εσφαλμένης καταγραφής των ενδείξεών τους, ή λόγω παράνομης (μη καταγραφθείσας) σύνδεσης στο δίκτυο.

Πρακτικά, οι εταιρίες αποκτούν την επιλογή να αναβάλλουν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα την αντικατάσταση των υδρομέτρων διότι μειώσαμε σημαντικά την απώλεια εσόδων που θα συνόδευε τη μη αντικατάστασή τους.

- **Αναγνώριση διαρροών**

Γίνεται ταχύτερη αναγνώριση και ανίχνευση των διαρροών. Επισημαίνονται παροχές που ενδεχομένως οφείλονται σε διαρροές.

- **Μειώνεται η επίδραση εσφαλμένης διαστασιολόγησης υδρομετρητή**

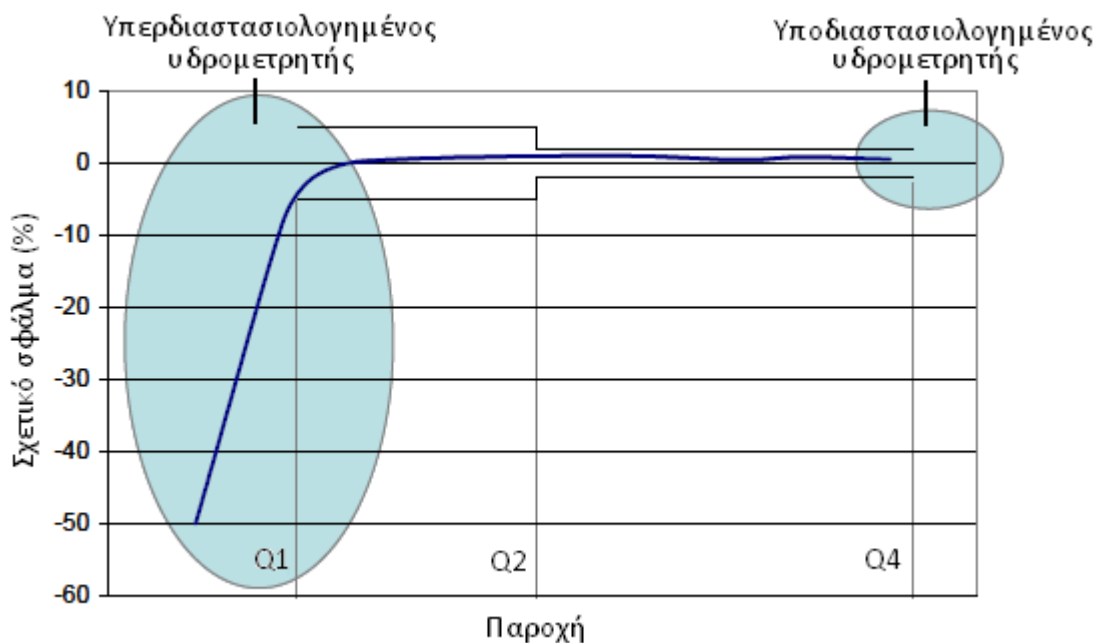
Εάν έχουμε υπερδιαστασιολόγηση του υδρομέτρου – δηλαδή εγκαταστάθηκε υδρόμετρο μεγαλύτερης ονομαστικής παροχής από ότι θα ταίριαζε στο καταναλωτικό προφίλ ενός συγκεκριμένου χρήστη – τότε οι παροχές που θα εκδηλώνονται θα βρίσκονται προς τις χαμηλές παροχές της καμπύλης σφάλματος του οργάνου. Ως αποτέλεσμα, το υδρόμετρο θα βρίσκεται πολύ συχνά στην περιοχή εκείνη λειτουργίας που η ακρίβειά του θα είναι χαμηλή (ή αντίστοιχα το σφάλμα του θα είναι υψηλό).

Αντιθέτως, εάν έχουμε υποδιαστασιολόγηση του υδρομέτρου – δηλαδή εγκατάσταση υδρομετρητής μικρότερης ονομαστικής παροχής από ότι θα ταίριαζε στο συγκεκριμένο καταναλωτικό προφίλ – τότε οι παροχές που θα εκδηλώνονται θα αναγκάζουν το όργανο να λειτουργεί προς τις περιοχές παροχών υπερφόρτισης. Ως εκ τούτου, το υδρόμετρο θα φθαρεί νωρίτερα

από τον προβλεπόμενο χρόνο ζωής του, και κατ'επέκταση θα εκδηλώσει νωρίτερα μετρητικά σφάλματα λόγω γήρατος [διάγραμμα 6.1-1] [20].

Με τη μέθοδο που περιγράφουμε, δηλαδή της αναγωγής σε ιδανική καμπύλη μηδενικού σφάλματος καθ'όλη την περιοχή λειτουργίας του υδρομέτρου, μειώνουμε κατά πολύ το κόστος της εσφαλμένης διαστασιολόγησης του μετρητή.

Στην περίπτωση της υποδιαστασιολόγησης δε μπορούμε να αποτρέψουμε την ταχύτερη φθορά του οργάνου. Ωστόσο, στην περίπτωση της υπερδιαστασιολόγησης μπορούμε να εξαλείψουμε τα σφάλματα που εισάγονται στη μέτρηση, χρησιμοποιώντας τη γνώση για την καμπύλη σχετικού σφάλματος του εκάστοτε υδρομέτρου, σε συνδυασμό με την εύρεση της παροχής λειτουργίας μέσω των δεδομένων της τηλεμετρίας.



διάγραμμα 6.1-1

Να σημειώσουμε ότι το φαινόμενο της εσφαλμένης διαστασιολόγησης των υδρομετρητών δεν είναι πολύ συχνό, είναι όμως υπαρκτό. Στον *πίνακα 6.1-1* [13] φαίνεται ο χαρακτηρισμός 15596 μετρητών από ενδεικτική μελέτη της Ισπανικής εταιρείας ύδρευσης FACSA το έτος 2010, και παρατηρούμε ότι οι 257 από αυτούς κριθήκαν λάθος διαστασιολογημένοι.

Ημερήσια Κατανάλωση (m3)	DN15	DN20	DN25
1	15073	252	59
2	127	8	4
3	28	4	2
4	10	1	4
6	8		3
7	4	3	1
8	4		1

υπερδιαστασιολόγηση

υποδιαστασιολόγηση

πίνακας 6.1-1

6.2 *Εγγενείς αδυναμίες*

Η ακριβής πρόβλεψη της μεταβολής στη συμπεριφορά των υδρομέτρων με την πάροδο του χρόνου είναι αδύνατη. Αφενός είναι πολυάριθμοι παράγοντες που την επηρεάζουν – όπως το καταναλωτικό προφίλ, ο συσσωρευμένος όγκος, η ποιότητα νερού, κ.α. – αφετέρου δεν είναι γνωστές για κανένα υδρόμετρο οι συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας του κάθε χρονική στιγμή – όπως έκτακτες ή δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες, τακτική παρουσία αέρα στις σωληνώσεις, απρόβλεπτα γεγονότα φυσικού ή ανθρώπινου παράγοντα, κ.α.

Συνεπώς, δε γίνεται να ισχυριστούμε ότι μετά την επεξεργασία των μετρήσεων επιτύχαμε απολύτως ορθές τιμές μεγεθών. Αυτό που μπορούμε, όμως, να ισχυριστούμε είναι ότι επιτύχαμε μεγαλύτερη ορθότητα των καταγεγραμμένων ποσοτήτων σε σχέση με το να βασιζόμαστε μονάχα στην αριθμητική ένδειξη των υδρομετρητών για τον καθορισμό τους.

Αξίζει να σημειωθεί, επίσης, ότι δεν υπάρχει ακόμα ευρέως αποδεκτή επιστημονική βάση, που να επιβεβαιώνεται από πραγματικά δεδομένα, για την επίδραση που έχουν οι διάφοροι παράγοντες στη μετρητική ικανότητα των υδρομετρητών – πόσω μάλλον για όλες τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες κατασκευής τους (απλής ριπής, πολλαπλής ριπής, ταλαντευόμενου εμβόλου, ηλεκτρομαγνητικά, Woltmann, κ.α.). Για το λόγο αυτό, κάθε εταιρεία ύδρευσης συχνά υιοθετεί τα δικά της μοντέλα για να εκτιμήσει τις μεταβολές στη συμπεριφορά των μετρητών [20].

Προκειμένου κάποιος να αποκομίσει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα μέσω της επεξεργασίας μετρήσεων που πραγματοποιήσαμε αρκεί, επομένως, να χρησιμοποιήσει διαφορετικά μοντέλα, καταλληλότερα ανάλογα με την περίπτωση.

6.3 *Επέκταση της βάσης δεδομένων των εταιρειών ύδρευσης*

Τα δεδομένα της αυτοματοποιημένης τηλεμετρίας είναι σίγουρα μια πολύ σημαντική πηγή πληροφοριών προς αξιοποίηση, όπως περιγράψαμε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Ωστόσο, στα πλαίσια της αποτελεσματικότερης διαχείρισης υδάτων, οι εταιρείες ύδρευσης επιβάλλεται να συλλέγουν και διαχειρίζονται περισσότερες πληροφορίες που αφορούν το δίκτυό τους και τους χρήστες του. Κάθε εταιρεία είναι φυσικό να εστιάζει στα μεγέθη που κρίνει, βάσει εμπειρίας και χρηστικότητας, σημαντικότερα.

Στη βάση δεδομένων για τον κάθε καταναλωτή οφείλονται να διατηρούνται αναλυτικές στοιχεία για τα τεχνικά χαρακτηριστικά του υδρομετρητή. Σύμφωνα με αυτά, το έργο των εταιρειών ύδρευσης για τον υπολογισμό της πραγματικής κατανάλωσης ενός χρήστη και για την καλύτερη συντήρηση των δικτύων τους διευκολύνεται σημαντικά.

Συνεπώς, για την εφαρμογή της μεθόδου επεξεργασίας των μετρήσεων λαμβάνοντας υπόψιν τις καμπύλες σφάλματος των υδρομετρητών, μια εταιρεία ύδρευσης θα πρέπει να καταγράφει για κάθε μετρητή:

- Κατασκευαστή
- Ονομαστική παροχή (Q_3) [m^3/h]
- Σειριακό αριθμό
- Τύπο
- Μετρολογική κλάση (παλαιότερων ή νεότερων προτύπων)
- Τρέχουσα καταμέτρηση
- Μέγεθος [mm]
- Παροχή εκκίνησης
- Καμπύλη Σφάλματος
- Κλίση τοποθέτησης
- Πίεση κανονικής λειτουργίας

- Μέγιστη πίεση
- Απώλεια πίεσης
- Πυκνότητα παλμών (pulses/liter ή liters/pulse)
- Ύπαρξη δυνατότητας καταγραφής αντίστροφης ροής
- Συσσωρευμένο όγκο
- Ηλικία / Ημερομηνία εγκατάστασης
- Εκτιμώμενη διάρκεια ζωής
- Ενεργειακή αυτονομία (εκτιμώμενη)
- Ημερομηνία αντικατάστασης μπαταριών
- Ημερομηνία προβλεπόμενης συντήρησης
- Έτος κατασκευής

Όσον αφορά την καλύτερη διαχείριση του δικτύου της, η εταιρεία ύδρευσης μπορεί να διαθέτει επιπλέον πληροφορίες για κάθε υδρομετρητή, όπως:

- Υλικό κατασκευής
- Ύπαρξη αντικλεπτικής προστασίας
- Ποιότητα/Σύσταση παρεχόμενου νερού
- Απαιτούμενο μήκος ανάντη σωληνώσεων (κλάση U)
- Πραγματικό μήκος ανάντη σωληνώσεων
- Απαιτούμενο μήκος κατάντη σωληνώσεων (κλάση D)
- Πραγματικό μήκος κατάντη σωληνώσεων
- Υψόμετρο τοποθέτησης
- Τιμή αγοράς τεμαχίου και ημερομηνία αγοράς
- Απαιτείται αντικατάσταση σωληνώσεων;
- Λειτουργικό κόστος (π.χ. για ηλεκτρική τροφοδοσία)
- Ιστορικό δοκιμών
- Ιστορικό επισκευών
- Ειδικά σχόλια
- Ορθότητα τοποθέτησης

- Προσβάσιμοι με παρουσία του χρήστη
- Βαθμός προστασίας (π.χ. IP68)
- Δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες
- Ύπαρξη απομειωτών (reducers)
- Ύπαρξη βαλβίδων (valves)
- Αντικεραυνική προστασία
- Προστασία υπερτάσεων και υπερεντάσεων
- Φωτογραφία ή σχεδιάγραμμα τοποθέτησης
- Σημάδια παραβίασης
- Πλήθος υδρομετρητών για την ίδια κατανάλωση
- Καταγραφή αντίστροφης ροής
- Θερμοκρασία κανονικής λειτουργίας (νερού)
- Διαστάσεις και σχήμα του οργάνου
- Έχει υποστεί πρότερη επισκευή;
- Παρουσία σωματιδίων λόγω επισκευών ή βλαβών
- Χρήση νερού : νοικοκυριό, επαγγελματικά γραφεία, κλπ
- Συνοδευτικά πιστοποιητικά

Σχόλιο για την "Ποιότητα παρεχόμενου νερού":

Η γνώση της ποιότητας/σύστασης του νερού πληροφορεί για τη μελλοντική επίδραση στη μετρητική ικανότητα του οργάνου.

Για παράδειγμα, τα ταχυμετρικά υδρόμετρα απλής ριπής μακροπρόθεσμα επιδεινώνουν τη λειτουργία τους όταν μετράνε νερό με υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα. Τα άλατα δυσχεραίνουν την περιστροφή της φτερωτής, γεγονός που έχει εντονότερες συνέπειες κατά τη μέτρηση χαμηλών – άρα και αδύναμων – ροών. Τα πολλαπλής ριπής, αντιθέτως, δεν είναι τόσο ευαίσθητα στον παράγοντα αυτό.

Σχόλιο για τη "Θερμοκρασία κανονικής λειτουργίας (νερού)":

Η θερμοκρασία του νερού στο δίκτυο διανομής νερού μεταβάλλεται συνεχώς – αφενός στη διάρκεια της ημέρας, αφετέρου, και εντονότερα, συγκρίνοντας τη χειμερινή με την καλοκαιρινή περίοδο. Το πρότυπο ISO 4064-

1 : 2005 ορίζει εκείνες τις τιμές θερμοκρασίας του νερού για τις οποίες οφείλει ο υδρομετρητής να λειτουργεί με τον προβλεπόμενο τρόπο χωρίς να προκαλείται μόνιμη βλάβη σε αυτόν ή οποιαδήποτε επιδείνωση της συμπεριφοράς του. Στη διπλωματική αυτή ασχολούμαστε αποκλειστικά με ψυχρό νερό – δηλαδή νερό αστικής κατανάλωσης (πόσιμο) έως 30°C – και όλοι οι υδρομετρητές είναι ψυχρού ύδατος.

Σχόλιο για τις "Δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες":

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες λειτουργίας του υδρομέτρου έχουν αντίκτυπο στη φθορά του οργάνου. Για παράδειγμα, η συνεχής έκθεση στον ήλιο μπορεί να μειώσει ταχύτερα τη διάρκεια ζωής των μπαταριών, ή να προκαλέσει τη δυσλειτουργία των ηλεκτρονικών μερών, στα οποία βασίζονται τα ηλεκτρομαγνητικά και υπερηχητικά υδρόμετρα.

Η προστασία κατηγορίας IP68 δε μπορεί να εξασφαλίσει την απρόσκοπτη λειτουργία των ηλεκτρονικών κάτω από τέτοιες συνθήκες λειτουργίας. Η εταιρεία ύδρευσης, επομένως, δεν αρκεί να καθυσιχάζεται από το βαθμό προστασίας του οργάνου, αλλά να αναμένει την ταχύτερη επιδείνωση υδρομέτρων που υπόκεινται σε ιδιαίτερες καταπονήσεις εξαιτίας περιβαλλοντικών συνθηκών.

Σχόλιο για το "Εάν ο μετρητής έχει υποστεί πρότερη επισκευή":

Όταν ένα υδρόμετρο έχει διαγνωστεί με βλάβη, ή όταν υπάρχει υποψία βλάβης, τότε δύναται να υποστεί μετρητικό έλεγχο της ακριβείας του, σύμφωνα με τα πρότυπα *IS 6784/ ISO 4064 (μέρος III)*. Εάν το όργανο δεν επισκευάζεται τότε αποσύρεται από το δίκτυο και αντικαθίσταται με νέο. Αντιθέτως, εάν χρήζει επισκευής τότε: επισκευάζεται, υποβάλλεται σε δοκιμές, και/ή διακριβώνεται πριν την επανεγκατάστασή του.

Ανάλογα με την πολιτική που ακολουθεί η εταιρεία ύδρευσης, οι απαιτήσεις ακριβείας για επισκευασμένους υδρομετρητές μπορεί να διαφέρουν από τις απαιτήσεις ενός καινούριου μετρητή – συγκεκριμένα επιτρέπουν διπλάσια όρια ανοχής για τις ζώνες παροχών, δηλαδή $\pm 4\%$

σφάλμα ανώτερης ζώνης (έναντι του $\pm 2\%$) και $\pm 10\%$ σφάλμα κατώτερης ζώνης (έναντι του $\pm 5\%$) [15].

Συνεπώς, είναι χρήσιμο για την εταιρεία ύδρευσης να γνωρίζει εάν το συγκεκριμένο υδρόμετρο που εξετάζει έχει υποστεί πρότερη επισκευή. Αφενός για να γνωρίζει ποιές είναι οι απαιτήσεις ακριβείας για το όργανο αυτό, αφετέρου για να εξετάσει τους λόγους που μπορεί, ενδεχομένως, ο μετρητής αυτός να παρουσίασε εκ νέου βλάβη.

Σχόλιο για την "Πίεση κανονικής λειτουργίας", "Μέγιστη πίεση", και "Απώλεια πίεσης":

Η πίεση κανονικής λειτουργίας αφορά την πίεση που πρέπει να έχει το δίκτυο ύδρευσης ώστε το υδρόμετρο να λειτουργεί κανονικά για οποδήποτε χρονικό διάστημα (εντός του χρόνου ζωής του οργάνου βεβαίως). Το πρότυπο ISO 4064 – 1 : 2005 καθορίζει τα επιτρεπόμενα όρια πίεσης του δικτύου στα οποία οφείλουν να συμμορφώνονται οι εταιρίες ύδρευσης. Οι υδρομετρητές είναι κατασκευασμένοι να αντέχουν σε πιέσεις υψηλότερες από τις πιέσεις λειτουργίας που αναπτύσσονται στο δίκτυο διανομής ύδατος.

Η μέγιστη πίεση αφορά τη μέγιστη πίεση που δύναται να υποστεί το όργανο χωρίς να προκληθεί μόνιμη βλάβη σε αυτό. Ασφαλώς, η εμφάνιση τέτοιας πίεσης στο δίκτυο θα πρέπει να αποφεύγεται, όχι απλώς γιατί καταστρέφεται ο υδρομετρητής, αλλά επειδή συχνά καταστρέφονται και τμήματα του δικτύου ύδρευσης (για παράδειγμα διάτρηση σωλήνων), ειδικά εαν πρόκειται για πεπαλαιωμένη εγκατάσταση.

Η απώλεια ή "πτώση" πίεσης είναι το φαινόμενο κατά το οποίο η πίεση του νερού που εξέρχεται από το υδρόμετρο είναι μικρότερη της πίεσης του νερού που εισέρχεται, διότι το όργανο παρουσιάζει αντίσταση στη ροή του νερού. Καθ' ηλεκτρική αναλογία, η "απώλεια" ή πτώση τάσης είναι το φαινόμενο κατά το οποίο το ηλεκτρικό δυναμικό στον ένα ακροδέκτη μιας ηλεκτρικής συσκευής είναι μικρότερο από ότι στο άλλο άκρο, διότι η συσκευή παρουσιάζει αντίσταση στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος.

Σχόλιο για το "Απαιτούμενο μήκος σωληνώσεων εκατέρωθεν του μετρητή":

Οι ταχυμετρικοί υδρομετρητές, εκ κατασκευής, κατευθύνουν τη ροή του νερού προς το στροφείο στο εσωτερικό τους με την κατάλληλη κλίση και ταχύτητα ώστε να επιτευχθεί η ορθότερη μέτρηση όσο πιο ανεξάρτητα γίνεται από το προφίλ της ταχύτητας νερού εξωτερικά του μετρητή. Μάλιστα οι ταχυμετρικοί υδρομετρητές πολλαπλής ριπής είναι πρακτικά ανεπηρέαστοι από τα εκατέρωθεν μήκη των σωλήνων [15]. Πρόκειται, λοιπόν, για πληροφορίες που δεν είναι υψίστης σημασίας για τις ανάγκες μας.

Οι ογκομετρικοί υδρομετρητές, αντιθέτως, δεν εξαρτούν τη λειτουργία τους στην ταχύτητα του νερού. Συνεπώς, από μετρητικής σκοπιάς, είναι αδιάφορο το μήκος σωληνώσεων ανάντη και κατάντη.

Ωστόσο, με το πρότυπο ISO 4064 – 1 : 2005 , οι μετρητές συνοδεύονται από την πληροφορία για την κλάση U που ανήκουν, η οποία δείχνει ακριβώς το πόσο μήκος ανάντη σωληνώσεων απαιτείται για την προβλεπόμενη λειτουργία του, και για την κλάση D η οποία αφορά τα κατάντη μήκη (ενδεικτικά βλ. *πίνακα 6.3-1*)[13]. Για παράδειγμα, ένας υδρομετρητής με την ένδειξη U6/D3 (Upstream 6/ Downstream 3) απαιτεί μήκος ευθύγραμμων ανάντι σωληνώσεων τουλάχιστον έξι φορές μεγαλύτερο της διαμέτρου και μήκος ευθύγραμμων κατάντι σωληνώσεων τουλάχιστον τρεις φορές μεγαλύτερο της διαμέτρου, προκειμένου να μένει ανεπηρέαστος από το προφίλ της ταχύτητας του νερού. Εάν δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση τέτοιων μηκών σωληνώσεων, η εταιρεία θα πρέπει να επιλέξει μετρητές τύπου, για παράδειγμα, U0/D0, που δεν έχουν ευαισθησία, δηλαδή, στο προφίλ ταχύτητας.

Κλάση	U0	U3	U5	U10	U15	D0	D3	D5
Απαιτούμενο μήκος	0 Δ *	3 Δ	5 Δ	10 Δ	15 Δ	0 Δ	3 Δ	5 Δ
* Δ : Διάμετρος του σωλήνα. Για παράδειγμα, 3Δ σημαίνει μήκος τριπλάσιο της διαμέτρου.								

πίνακας 6.3-1

Παράρτημα Α

(Δεδομένα τηλεμετρίας ενότητας 5.3)

Χρόνος	Παλμοί PCi	Λίτρα l_i [l]	Παροχή Q_i [l/h]	Σφάλμα ϵ_i (%)	Σφάλμα με επιδράσεις ϵ'_i (%)	Πραγμα- τικά λίτρα $l_{i\alpha}$ [l]	Πραγμα- τικά λίτρα $l'_{i\alpha}$ [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]
18:50:10	73	7,3	87,6	-0,395478	-3,962661	7,329	7,60121	0,028985	0,30121
18:50:18	74	7,4	88,8	-0,395478	-3,948917	7,4294	7,70423	0,029382	0,304234
18:50:26	72	7,2	86,4	-0,395478	-3,976594	7,2286	7,49817	0,028587	0,298172
18:50:34	73	7,3	87,6	-0,395478	-3,962661	7,329	7,60121	0,028985	0,30121
18:50:42	68	6,8	81,6	-0,395478	-4,034334	6,827	7,08587	0,026999	0,285868
18:50:50	67	6,7	80,4	-0,395478	-4,049299	6,7266	6,98275	0,026602	0,282753
18:50:58	79	7,9	94,8	-0,395478	-3,88287	7,9314	8,21914	0,031367	0,319138
18:51:06	74	7,4	88,8	-0,395478	-3,948917	7,4294	7,70423	0,029382	0,304234
18:51:14	96	9,6	115,2	-0,395478	-3,685989	9,6381	9,9674	0,038117	0,367397
18:51:22	96	9,6	115,2	-0,395478	-3,685989	9,6381	9,9674	0,038117	0,367397
18:51:30	83	8,3	99,6	-0,395478	-3,832975	8,333	8,63082	0,032955	0,330817
18:51:38	88	8,8	105,6	-0,395478	-3,773885	8,8349	9,14513	0,03494	0,345127
18:51:46	90	9	108	-0,395478	-3,751183	9,0357	9,35076	0,035734	0,350764
18:51:54	84	8,4	100,8	-0,395478	-3,820877	8,4334	8,7337	0,033352	0,333704
18:52:02	82	8,2	98,4	-0,395478	-3,84522	8,2326	8,52792	0,032558	0,327917
18:52:10	89	8,9	106,8	-0,395478	-3,76247	8,9353	9,24795	0,035337	0,347951
18:52:18	106	10,6	127,2	-0,395478	-3,585891	10,642	10,9942	0,042087	0,394242
18:52:26	365	36,5	438	-0,400427	-2,887634	36,647	37,5853	0,146743	1,085327
18:52:34	361	36,1	433,2	-0,398384	-2,885591	36,244	37,1727	0,144392	1,072651
18:52:42	331	33,1	397,2	-0,395478	-2,882684	33,231	34,0825	0,131423	0,982491
18:52:50	69	6,9	82,8	-0,395478	-4,019587	6,9274	7,18897	0,027396	0,288967
18:52:58	62	6,2	74,4	-0,395478	-4,127646	6,2246	6,46693	0,024617	0,266932
18:53:06	63	6,3	75,6	-0,395478	-4,111483	6,325	6,57013	0,025014	0,27013
18:53:14	62	6,2	74,4	-0,395478	-4,127646	6,2246	6,46693	0,024617	0,266932
18:53:22	62	6,2	74,4	-0,395478	-4,127646	6,2246	6,46693	0,024617	0,266932
18:53:30	58	5,8	69,6	-0,395478	-4,195015	5,823	6,05396	0,023029	0,253965
18:53:38	106	10,6	127,2	-0,395478	-3,585891	10,642	10,9942	0,042087	0,394242
18:53:46	111	11,1	133,2	-0,395478	-3,539332	11,144	11,5073	0,044072	0,407281
18:53:54	111	11,1	133,2	-0,395478	-3,539332	11,144	11,5073	0,044072	0,407281
18:54:02	112	11,2	134,4	-0,395478	-3,530272	11,244	11,6099	0,044469	0,40986
18:54:10	114	11,4	136,8	-0,395478	-3,512392	11,445	11,815	0,045263	0,414989

Χρόνος (cont.)	PCi	Λίτρα l _i [l]	Παροχή Q _i [l/h]	Σφάλμα ε _i (%)	Σφάλμα με επιδράσεις ε _i (%)	Πραγμα- τικά λίτρα l _{ia} [l]	Πραγμα- τικά λίτρα l' _{ia} [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl _i [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl _i [l]
18:54:18	78	7,8	93,6	-0,395478	-3,895738	7,831	8,11619	0,03097	0,316185
18:54:26	61	6,1	73,2	-0,395478	-4,144072	6,1242	6,36372	0,02422	0,263717
18:54:34	60	6	72	-0,395478	-4,160769	6,0238	6,26048	0,023823	0,260484
18:54:42	107	10,7	128,4	-0,395478	-3,576406	10,742	11,0969	0,042484	0,396869
18:54:50	191	19,1	229,2	-0,395478	-2,991073	19,176	19,6889	0,075836	0,58891
18:54:58	405	40,5	486	-0,420492	-2,907699	40,671	41,7129	0,171018	1,212885
18:55:06	325	32,5	390	-0,395478	-2,882684	32,629	33,4647	0,129041	0,964681
18:55:14	283	28,3	339,6	-0,395478	-2,882684	28,412	29,14	0,112365	0,840015
18:55:22	278	27,8	333,6	-0,395478	-2,882684	27,91	28,6252	0,110379	0,825173
18:55:30	280	28	336	-0,395478	-2,882684	28,111	28,8311	0,111174	0,83111
18:55:38	274	27,4	328,8	-0,395478	-2,882684	27,509	28,2133	0,108791	0,8133
18:55:46	274	27,4	328,8	-0,395478	-2,882684	27,509	28,2133	0,108791	0,8133
18:55:54	274	27,4	328,8	-0,395478	-2,882684	27,509	28,2133	0,108791	0,8133
18:56:02	266	26,6	319,2	-0,395478	-2,882684	26,706	27,3896	0,105615	0,789554
18:56:10	271	27,1	325,2	-0,395478	-2,882684	27,208	27,9044	0,1076	0,804396
18:56:18	254	25,4	304,8	-0,395478	-2,882684	25,501	26,1539	0,10085	0,753935
18:56:26	210	21	252	-0,395478	-2,895275	21,083	21,6261	0,08338	0,626136
18:56:34	27	2,7	32,4	1,679385	-35,680665	2,6554	4,1978	-0,04459	1,497805
18:56:42	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
18:56:50	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
18:56:58	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
18:57:06	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
18:57:14	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
18:57:22	27	2,7	32,4	1,679385	-35,680665	2,6554	4,1978	-0,04459	1,497805
18:57:30	60	6	72	-0,395478	-4,160769	6,0238	6,26048	0,023823	0,260484
18:57:38	59	5,9	70,8	-0,395478	-4,177747	5,9234	6,15723	0,023426	0,257234
18:57:46	53	5,3	63,6	-0,369933	-4,260537	5,3197	5,53586	0,019679	0,235857
18:57:54	56	5,6	67,2	-0,395478	-4,230463	5,6222	5,84737	0,022235	0,247371
18:58:02	51	5,1	61,2	-0,253054	-4,182515	5,1129	5,32262	0,012938	0,222619
18:58:10	42	4,2	50,4	0,336885	-13,817348	4,1859	4,87337	-0,0141	0,673371
18:58:18	32	3,2	38,4	1,16315	-26,777493	3,1632	4,37024	-0,03679	1,170241
18:58:26	37	3,7	44,4	0,722018	-20,459483	3,6735	4,65172	-0,02652	0,951717
18:58:34	37	3,7	44,4	0,722018	-20,459483	3,6735	4,65172	-0,02652	0,951717
18:58:42	43	4,3	51,6	0,265388	-12,584286	4,2886	4,91902	-0,01138	0,619024
18:58:50	49	4,9	58,8	-0,131499	-5,739434	4,9065	5,19836	0,006452	0,298356

Χρόνος (cont.)	PCi	Λίτρα li [l]	Παροχή Qi [l/h]	Σφάλμα ei (%)	Σφάλμα με επιδράσεις ε'ι (%)	Πραγμα- τικά λίτρα liα [l]	Πραγμα- τικά λίτρα liα [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δli [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δli [l]
18:58:58	51	5,1	61,2	-0,253054	-4,182515	5,1129	5,32262	0,012938	0,222619
18:59:06	59	5,9	70,8	-0,395478	-4,177747	5,9234	6,15723	0,023426	0,257234
18:59:14	52	5,2	62,4	-0,312055	-4,221901	5,2163	5,42922	0,016278	0,229216
18:59:22	52	5,2	62,4	-0,312055	-4,221901	5,2163	5,42922	0,016278	0,229216
18:59:30	45	4,5	54	0,127252	-10,201934	4,4943	5,01124	-0,00572	0,511244
18:59:38	42	4,2	50,4	0,336885	-13,817348	4,1859	4,87337	-0,0141	0,673371
18:59:46	41	4,1	49,2	0,410105	-15,080126	4,0833	4,82808	-0,01675	0,728081
18:59:54	44	4,4	52,8	0,195535	-11,379573	4,3914	4,965	-0,00859	0,564995
19:00:02	41	4,1	49,2	0,410105	-15,080126	4,0833	4,82808	-0,01675	0,728081
19:00:10	33	3,3	39,6	1,069651	-25,164975	3,2651	4,4097	-0,03492	1,1097
19:00:18	32	3,2	38,4	1,16315	-26,777493	3,1632	4,37024	-0,03679	1,170241
19:00:26	51	5,1	61,2	-0,253054	-4,182515	5,1129	5,32262	0,012938	0,222619
19:00:34	52	5,2	62,4	-0,312055	-4,221901	5,2163	5,42922	0,016278	0,229216
19:00:42	65	6,5	78	-0,395478	-4,079913	6,5258	6,77647	0,025808	0,276474
19:00:50	63	6,3	75,6	-0,395478	-4,111483	6,325	6,57013	0,025014	0,27013
19:00:58	63	6,3	75,6	-0,395478	-4,111483	6,325	6,57013	0,025014	0,27013
19:01:06	190	19	228	-0,395478	-2,996376	19,075	19,5869	0,075439	0,586897
19:01:14	286	28,6	343,2	-0,395478	-2,882684	28,714	29,4489	0,113556	0,848919
19:01:22	285	28,5	342	-0,395478	-2,882684	28,613	29,346	0,113159	0,845951
19:01:30	345	34,5	414	-0,395478	-2,882684	34,637	35,524	0,136982	1,024046
19:01:38	338	33,8	405,6	-0,395478	-2,882684	33,934	34,8033	0,134202	1,003268
19:01:46	351	35,1	421,2	-0,395478	-2,882684	35,239	36,1419	0,139364	1,041855
19:01:54	325	32,5	390	-0,395478	-2,882684	32,629	33,4647	0,129041	0,964681
19:02:02	299	29,9	358,8	-0,395478	-2,882684	30,019	30,7875	0,118717	0,887507
19:02:10	338	33,8	405,6	-0,395478	-2,882684	33,934	34,8033	0,134202	1,003268
19:02:18	95	9,5	114	-0,395478	-3,696567	9,5377	9,86465	0,03772	0,364654
19:02:26	40	4	48	0,485133	-16,374086	3,9807	4,78321	-0,01931	0,783206
19:02:34	39	3,9	46,8	0,562061	-17,700808	3,8782	4,73881	-0,0218	0,838807
19:02:42	43	4,3	51,6	0,265388	-12,584286	4,2886	4,91902	-0,01138	0,619024
19:02:50	98	9,8	117,6	-0,395478	-3,66516	9,8389	10,1729	0,038911	0,372851
19:02:58	100	10	120	-0,395478	-3,644752	10,04	10,3783	0,039705	0,378262
19:03:06	103	10,3	123,6	-0,395478	-3,614893	10,341	10,6863	0,040896	0,386298
19:03:14	102	10,2	122,4	-0,395478	-3,624748	10,24	10,5836	0,040499	0,383363
19:03:22	99	9,9	118,8	-0,395478	-3,654905	9,9393	10,2756	0,039308	0,375562
19:03:30	48	4,8	57,6	-0,068847	-6,81994	4,8033	5,15132	0,003307	0,351317

Χρόνος (cont.)	PCi	Λίτρα l_i [l]	Παροχή Q_i [l/h]	Σφάλμα ϵ_i (%)	Σφάλμα με επιδράσεις ϵ'_i (%)	Πραγμα- τικά λίτρα $l_{i\alpha}$ [l]	Πραγμα- τικά λίτρα $l'_{i\alpha}$ [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]
19:03:38	25	2,5	30	1,91323	-39,713633	2,4531	4,14687	-0,04693	1,646875
19:03:46	35	3,5	42	0,890866	-23,371494	3,4691	4,56749	-0,0309	1,067491
19:03:54	35	3,5	42	0,890866	-23,371494	3,4691	4,56749	-0,0309	1,067491
19:04:02	33	3,3	39,6	1,069651	-25,164975	3,2651	4,4097	-0,03492	1,1097
19:04:10	29	2,9	34,8	1,462259	-31,936021	2,8582	4,2607	-0,04179	1,360697
19:04:18	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:04:26	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:04:34	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:04:42	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:04:50	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:04:58	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:05:06	38	3,8	45,6	0,640987	-19,061994	3,7758	4,69495	-0,0242	0,894951
19:05:14	166	16,6	199,2	-0,395478	-3,132784	16,666	17,1369	0,06591	0,536861
19:05:22	247	24,7	296,4	-0,395478	-2,731345	24,798	25,3936	0,098071	0,693586
19:05:30	239	23,9	286,8	-0,395478	-2,764605	23,995	24,5795	0,094895	0,679527
19:05:38	242	24,2	290,4	-0,395478	-2,752004	24,296	24,8848	0,096086	0,684832
19:05:46	249	24,9	298,8	-0,395478	-2,723199	24,999	25,5971	0,098865	0,697059
19:05:54	250	25	300	-0,395478	-2,882684	25,099	25,7421	0,099262	0,742062
19:06:02	248	24,8	297,6	-0,395478	-2,727264	24,898	25,4953	0,098468	0,695325
19:06:10	248	24,8	297,6	-0,395478	-2,727264	24,898	25,4953	0,098468	0,695325
19:06:18	244	24,4	292,8	-0,395478	-2,74369	24,497	25,0883	0,09688	0,688346
19:06:26	245	24,5	294	-0,395478	-2,739558	24,597	25,1901	0,097277	0,690097
19:06:34	246	24,6	295,2	-0,395478	-2,735443	24,698	25,2918	0,097674	0,691844
19:06:42	256	25,6	307,2	-0,395478	-2,882684	25,702	26,3599	0,101644	0,759872
19:06:50	256	25,6	307,2	-0,395478	-2,882684	25,702	26,3599	0,101644	0,759872
19:06:58	275	27,5	330	-0,395478	-2,882684	27,609	28,3163	0,109188	0,816269
19:07:06	70	7	84	-0,395478	-4,005052	7,0278	7,29205	0,027793	0,29205
19:07:14	31	3,1	37,2	1,259618	-28,441212	3,0614	4,3321	-0,03856	1,232102
19:07:22	33	3,3	39,6	1,069651	-25,164975	3,2651	4,4097	-0,03492	1,1097
19:07:30	27	2,7	32,4	1,679385	-35,680665	2,6554	4,1978	-0,04459	1,497805
19:07:38	27	2,7	32,4	1,679385	-35,680665	2,6554	4,1978	-0,04459	1,497805
19:07:46	26	2,6	31,2	1,794058	-37,658361	2,5542	4,17057	-0,04582	1,570567
19:07:54	32	3,2	38,4	1,16315	-26,777493	3,1632	4,37024	-0,03679	1,170241
19:08:02	32	3,2	38,4	1,16315	-26,777493	3,1632	4,37024	-0,03679	1,170241
19:08:10	31	3,1	37,2	1,259618	-28,441212	3,0614	4,3321	-0,03856	1,232102

Χρόνος (cont.)	PCi	Λίτρα l_i [l]	Παροχή Q_i [l/h]	Σφάλμα ϵ_i (%)	Σφάλμα με επιδράσεις ϵ^i (%)	Πραγμα- τικά λίτρα $l_{i\alpha}$ [l]	Πραγμα- τικά λίτρα $l'_{i\alpha}$ [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]
19:08:18	32	3,2	38,4	1,16315	-26,777493	3,1632	4,37024	-0,03679	1,170241
19:08:26	30	3	36	1,359249	-30,159487	2,9598	4,2955	-0,04023	1,295501
19:08:34	31	3,1	37,2	1,259618	-28,441212	3,0614	4,3321	-0,03856	1,232102
19:08:42	53	5,3	63,6	-0,369933	-4,260537	5,3197	5,53586	0,019679	0,235857
19:08:50	51	5,1	61,2	-0,253054	-4,182515	5,1129	5,32262	0,012938	0,222619
19:08:58	50	5	60	-0,192884	-4,142349	5,0097	5,21607	0,009663	0,216068
19:09:06	52	5,2	62,4	-0,312055	-4,221901	5,2163	5,42922	0,016278	0,229216
19:09:14	38	3,8	45,6	0,640987	-19,061994	3,7758	4,69495	-0,0242	0,894951
19:09:22	28	2,8	33,6	1,568883	-33,774902	2,7567	4,228	-0,04325	1,428004
19:09:30	27	2,7	32,4	1,679385	-35,680665	2,6554	4,1978	-0,04459	1,497805
19:09:38	27	2,7	32,4	1,679385	-35,680665	2,6554	4,1978	-0,04459	1,497805
19:09:46	32	3,2	38,4	1,16315	-26,777493	3,1632	4,37024	-0,03679	1,170241
19:09:54	30	3	36	1,359249	-30,159487	2,9598	4,2955	-0,04023	1,295501
19:10:02	30	3	36	1,359249	-30,159487	2,9598	4,2955	-0,04023	1,295501
19:10:10	25	2,5	30	1,91323	-39,713633	2,4531	4,14687	-0,04693	1,646875
19:10:18	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:10:26	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:10:34	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:10:42	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:10:50	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:10:58	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:11:06	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:11:14	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:11:22	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:11:30	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:11:38	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:11:46	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:11:54	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:12:02	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:12:10	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:12:18	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:12:26	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:12:34	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:12:42	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:12:50	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079

Χρόνος (cont.)	PCi	Λίτρα l_i [l]	Παροχή Q_i [l/h]	Σφάλμα ϵ_i (%)	Σφάλμα με επιδράσεις ϵ^i (%)	Πραγμα- τικά λίτρα $l_{i\alpha}$ [l]	Πραγμα- τικά λίτρα $l'_{i\alpha}$ [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]
19:12:58	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:13:06	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:13:14	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:13:22	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:13:30	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:13:38	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:13:46	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:13:54	28	2,8	33,6	1,568883	-33,774902	2,7567	4,228	-0,04325	1,428004
19:14:02	28	2,8	33,6	1,568883	-33,774902	2,7567	4,228	-0,04325	1,428004
19:14:10	27	2,7	32,4	1,679385	-35,680665	2,6554	4,1978	-0,04459	1,497805
19:14:18	28	2,8	33,6	1,568883	-33,774902	2,7567	4,228	-0,04325	1,428004
19:14:26	28	2,8	33,6	1,568883	-33,774902	2,7567	4,228	-0,04325	1,428004
19:14:34	27	2,7	32,4	1,679385	-35,680665	2,6554	4,1978	-0,04459	1,497805
19:14:42	28	2,8	33,6	1,568883	-33,774902	2,7567	4,228	-0,04325	1,428004
19:14:50	27	2,7	32,4	1,679385	-35,680665	2,6554	4,1978	-0,04459	1,497805
19:14:58	31	3,1	37,2	1,259618	-28,441212	3,0614	4,3321	-0,03856	1,232102
19:15:06	85	8,5	102	-0,395478	-3,808923	8,5337	8,83658	0,033749	0,336578
19:15:14	87	8,7	104,4	-0,395478	-3,785429	8,7345	9,04229	0,034543	0,342289
19:15:22	89	8,9	106,8	-0,395478	-3,76247	8,9353	9,24795	0,035337	0,347951
19:15:30	90	9	108	-0,395478	-3,751183	9,0357	9,35076	0,035734	0,350764
19:15:38	83	8,3	99,6	-0,395478	-3,832975	8,333	8,63082	0,032955	0,330817
19:15:46	32	3,2	38,4	1,16315	-26,777493	3,1632	4,37024	-0,03679	1,170241
19:15:54	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:16:02	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:16:10	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:16:18	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:16:26	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:16:34	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:16:42	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:16:50	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:16:58	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:17:06	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:17:14	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:17:22	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:17:30	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079

Χρόνος (cont.)	PCi	Λίτρα l_i [l]	Παροχή Q_i [l/h]	Σφάλμα ϵ_i (%)	Σφάλμα με επιδράσεις ϵ'_i (%)	Πραγμα- τικά λίτρα $l_{i\alpha}$ [l]	Πραγμα- τικά λίτρα $l'_{i\alpha}$ [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]
19:17:38	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:17:46	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:17:54	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:18:02	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:18:10	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:18:18	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:18:26	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:18:34	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:18:42	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:18:50	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:18:58	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:19:06	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:19:14	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:19:22	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:19:30	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:19:38	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:19:46	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:19:54	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:20:02	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:20:10	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:20:18	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:20:26	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:20:34	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:20:42	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:20:50	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:20:58	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:21:06	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:21:14	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:21:22	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:21:30	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:21:38	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:21:46	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:21:54	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:22:02	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:22:10	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079

Χρόνος (cont.)	PCi	Λίτρα l_i [l]	Παροχή Q_i [l/h]	Σφάλμα ϵ_i (%)	Σφάλμα με επιδράσεις ϵ^i (%)	Πραγμα- τικά λίτρα $l_{i\alpha}$ [l]	Πραγμα- τικά λίτρα $l'_{i\alpha}$ [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]
19:22:18	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:22:26	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:22:34	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:22:42	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:22:50	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:22:58	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:23:06	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:23:14	40	4	48	0,485133	-16,374086	3,9807	4,78321	-0,01931	0,783206
19:23:22	28	2,8	33,6	1,568883	-33,774902	2,7567	4,228	-0,04325	1,428004
19:23:30	39	3,9	46,8	0,562061	-17,700808	3,8782	4,73881	-0,0218	0,838807
19:23:38	38	3,8	45,6	0,640987	-19,061994	3,7758	4,69495	-0,0242	0,894951
19:23:46	37	3,7	44,4	0,722018	-20,459483	3,6735	4,65172	-0,02652	0,951717
19:23:54	36	3,6	43,2	0,805269	-21,895263	3,5712	4,6092	-0,02876	1,009195
19:24:02	36	3,6	43,2	0,805269	-21,895263	3,5712	4,6092	-0,02876	1,009195
19:24:10	36	3,6	43,2	0,805269	-21,895263	3,5712	4,6092	-0,02876	1,009195
19:24:18	36	3,6	43,2	0,805269	-21,895263	3,5712	4,6092	-0,02876	1,009195
19:24:26	36	3,6	43,2	0,805269	-21,895263	3,5712	4,6092	-0,02876	1,009195
19:24:34	36	3,6	43,2	0,805269	-21,895263	3,5712	4,6092	-0,02876	1,009195
19:24:42	35	3,5	42	0,890866	-23,371494	3,4691	4,56749	-0,0309	1,067491
19:24:50	30	3	36	1,359249	-30,159487	2,9598	4,2955	-0,04023	1,295501
19:24:58	26	2,6	31,2	1,794058	-37,658361	2,5542	4,17057	-0,04582	1,570567
19:25:06	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:25:14	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:25:22	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:25:30	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:25:38	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:25:46	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:25:54	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:26:02	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:26:10	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:26:18	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:26:26	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:26:34	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:26:42	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:26:50	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079

Χρόνος (cont.)	PCi	Λίτρα l_i [l]	Παροχή Q_i [l/h]	Σφάλμα ϵ_i (%)	Σφάλμα με επιδράσεις ϵ'_i (%)	Πραγμα- τικά λίτρα $l_{i\alpha}$ [l]	Πραγμα- τικά λίτρα $l'_{i\alpha}$ [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δ_i [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δ_i [l]
19:26:58	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:27:06	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:27:14	46	4,6	55,2	0,060469	-9,05018	4,5972	5,05773	-0,00278	0,457734
19:27:22	71	7,1	85,2	-0,395478	-3,990723	7,1282	7,39512	0,02819	0,295119
19:27:30	80	8	96	-0,395478	-3,870163	8,0318	8,32208	0,031764	0,322078
19:27:38	86	8,6	103,2	-0,395478	-3,797108	8,6341	8,93944	0,034146	0,33944
19:27:46	85	8,5	102	-0,395478	-3,808923	8,5337	8,83658	0,033749	0,336578
19:27:54	66	6,6	79,2	-0,395478	-4,06449	6,6262	6,87962	0,026205	0,279622
19:28:02	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:28:10	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:28:18	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:28:26	25	2,5	30	1,91323	-39,713633	2,4531	4,14687	-0,04693	1,646875
19:28:34	32	3,2	38,4	1,16315	-26,777493	3,1632	4,37024	-0,03679	1,170241
19:28:42	32	3,2	38,4	1,16315	-26,777493	3,1632	4,37024	-0,03679	1,170241
19:28:50	32	3,2	38,4	1,16315	-26,777493	3,1632	4,37024	-0,03679	1,170241
19:28:58	31	3,1	37,2	1,259618	-28,441212	3,0614	4,3321	-0,03856	1,232102
19:29:06	32	3,2	38,4	1,16315	-26,777493	3,1632	4,37024	-0,03679	1,170241
19:29:14	32	3,2	38,4	1,16315	-26,777493	3,1632	4,37024	-0,03679	1,170241
19:29:22	30	3	36	1,359249	-30,159487	2,9598	4,2955	-0,04023	1,295501
19:29:30	30	3	36	1,359249	-30,159487	2,9598	4,2955	-0,04023	1,295501
19:29:38	30	3	36	1,359249	-30,159487	2,9598	4,2955	-0,04023	1,295501
19:29:46	30	3	36	1,359249	-30,159487	2,9598	4,2955	-0,04023	1,295501
19:29:54	29	2,9	34,8	1,462259	-31,936021	2,8582	4,2607	-0,04179	1,360697
19:30:02	28	2,8	33,6	1,568883	-33,774902	2,7567	4,228	-0,04325	1,428004
19:30:10	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:30:18	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:30:26	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:30:34	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:30:42	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:30:50	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:30:58	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:31:06	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:31:14	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:31:22	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:31:30	54	5,4	64,8	-0,395478	-4,2672	5,4214	5,6407	0,021441	0,2407

Χρόνος (cont.)	PCi	Λίτρα l_i [l]	Παροχή Q_i [l/h]	Σφάλμα ϵ_i (%)	Σφάλμα με επιδράσεις ϵ'_i (%)	Πραγμα- τικά λίτρα $l_{i\alpha}$ [l]	Πραγμα- τικά λίτρα $l'_{i\alpha}$ [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]
19:31:38	155	15,5	186	-0,395478	-3,202044	15,562	16,0127	0,061542	0,512735
19:31:46	74	7,4	88,8	-0,395478	-3,948917	7,4294	7,70423	0,029382	0,304234
19:31:54	24	2,4	28,8	2,054	-41,836083	2,3517	4,12627	-0,0483	1,72627
19:32:02	177	17,7	212,4	-0,395478	-3,06797	17,77	18,2602	0,070278	0,560218
19:32:10	300	30	360	-0,395478	-2,882684	30,119	30,8905	0,119114	0,890475
19:32:18	108	10,8	129,6	-0,395478	-3,567009	10,843	11,1995	0,042881	0,399487
19:32:26	46	4,6	55,2	0,060469	-9,05018	4,5972	5,05773	-0,00278	0,457734
19:32:34	45	4,5	54	0,127252	-10,201934	4,4943	5,01124	-0,00572	0,511244
19:32:42	45	4,5	54	0,127252	-10,201934	4,4943	5,01124	-0,00572	0,511244
19:32:50	45	4,5	54	0,127252	-10,201934	4,4943	5,01124	-0,00572	0,511244
19:32:58	46	4,6	55,2	0,060469	-9,05018	4,5972	5,05773	-0,00278	0,457734
19:33:06	47	4,7	56,4	-0,004877	-7,923196	4,7002	5,10443	0,000229	0,404434
19:33:14	39	3,9	46,8	0,562061	-17,700808	3,8782	4,73881	-0,0218	0,838807
19:33:22	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:33:30	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:33:38	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:33:46	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:33:54	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:34:02	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:34:10	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:34:18	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:34:26	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:34:34	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:34:42	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:34:50	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:34:58	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:35:06	31	3,1	37,2	1,259618	-28,441212	3,0614	4,3321	-0,03856	1,232102
19:35:14	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:35:22	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:35:30	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:35:38	25	2,5	30	1,91323	-39,713633	2,4531	4,14687	-0,04693	1,646875
19:35:46	28	2,8	33,6	1,568883	-33,774902	2,7567	4,228	-0,04325	1,428004
19:35:54	27	2,7	32,4	1,679385	-35,680665	2,6554	4,1978	-0,04459	1,497805
19:36:02	76	7,6	91,2	-0,395478	-3,921978	7,6302	7,91024	0,030176	0,310238
19:36:10	85	8,5	102	-0,395478	-3,808923	8,5337	8,83658	0,033749	0,336578

Χρόνος (cont.)	PCi	Λίτρα l_i [l]	Παροχή Q_i [l/h]	Σφάλμα ϵ_i (%)	Σφάλμα με επιδράσεις ϵ'_i (%)	Πραγμα- τικά λίτρα $l_{i\alpha}$ [l]	Πραγμα- τικά λίτρα $l'_{i\alpha}$ [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]
19:36:18	83	8,3	99,6	-0,395478	-3,832975	8,333	8,63082	0,032955	0,330817
19:36:26	84	8,4	100,8	-0,395478	-3,820877	8,4334	8,7337	0,033352	0,333704
19:36:34	84	8,4	100,8	-0,395478	-3,820877	8,4334	8,7337	0,033352	0,333704
19:36:42	37	3,7	44,4	0,722018	-20,459483	3,6735	4,65172	-0,02652	0,951717
19:36:50	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:36:58	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:37:06	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:37:14	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:37:22	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:37:30	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:37:38	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:37:46	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:37:54	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:38:02	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:38:10	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:38:18	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:38:26	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:38:34	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:38:42	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:38:50	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:38:58	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:39:06	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:39:14	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:39:22	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:39:30	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:39:38	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:39:46	27	2,7	32,4	1,679385	-35,680665	2,6554	4,1978	-0,04459	1,497805
19:39:54	28	2,8	33,6	1,568883	-33,774902	2,7567	4,228	-0,04325	1,428004
19:40:02	27	2,7	32,4	1,679385	-35,680665	2,6554	4,1978	-0,04459	1,497805
19:40:10	27	2,7	32,4	1,679385	-35,680665	2,6554	4,1978	-0,04459	1,497805
19:40:18	27	2,7	32,4	1,679385	-35,680665	2,6554	4,1978	-0,04459	1,497805
19:40:26	34	3,4	40,8	0,978944	-24,89052	3,367	4,52673	-0,03296	1,126726
19:40:34	33	3,3	39,6	1,069651	-25,164975	3,2651	4,4097	-0,03492	1,1097
19:40:42	32	3,2	38,4	1,16315	-26,777493	3,1632	4,37024	-0,03679	1,170241
19:40:50	31	3,1	37,2	1,259618	-28,441212	3,0614	4,3321	-0,03856	1,232102

Χρόνος (cont.)	PCi	Λίτρα l_i [l]	Παροχή Q_i [l/h]	Σφάλμα ϵ_i (%)	Σφάλμα με επιδράσεις ϵ^i (%)	Πραγμα- τικά λίτρα $l_{i\alpha}$ [l]	Πραγμα- τικά λίτρα $l'_{i\alpha}$ [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]
19:40:58	33	3,3	39,6	1,069651	-25,164975	3,2651	4,4097	-0,03492	1,1097
19:41:06	33	3,3	39,6	1,069651	-25,164975	3,2651	4,4097	-0,03492	1,1097
19:41:14	33	3,3	39,6	1,069651	-25,164975	3,2651	4,4097	-0,03492	1,1097
19:41:22	31	3,1	37,2	1,259618	-28,441212	3,0614	4,3321	-0,03856	1,232102
19:41:30	28	2,8	33,6	1,568883	-33,774902	2,7567	4,228	-0,04325	1,428004
19:41:38	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:41:46	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:41:54	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:42:02	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:42:10	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:42:18	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:42:26	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:42:34	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:42:42	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:42:50	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:42:58	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:43:06	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:43:14	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:43:22	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:43:30	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:43:38	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:43:46	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:43:54	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:44:02	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:44:10	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:44:18	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:44:26	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:44:34	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:44:42	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:44:50	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:44:58	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:45:06	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:45:14	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:45:22	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:45:30	30	3	36	1,359249	-30,159487	2,9598	4,2955	-0,04023	1,295501

Χρόνος (cont.)	PCi	Λίτρα l_i [l]	Παροχή Q_i [l/h]	Σφάλμα ϵ_i (%)	Σφάλμα με επιδράσεις ϵ'_i (%)	Πραγμα- τικά λίτρα $l_{i\alpha}$ [l]	Πραγμα- τικά λίτρα $l'_{i\alpha}$ [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]
19:45:38	120	12	144	-0,395478	-3,460578	12,048	12,4302	0,047646	0,430155
19:45:46	117	11,7	140,4	-0,395478	-3,486153	11,746	12,1226	0,046455	0,422613
19:45:54	117	11,7	140,4	-0,395478	-3,486153	11,746	12,1226	0,046455	0,422613
19:46:02	116	11,6	139,2	-0,395478	-3,494824	11,646	12,0201	0,046058	0,420081
19:46:10	116	11,6	139,2	-0,395478	-3,494824	11,646	12,0201	0,046058	0,420081
19:46:18	115	11,5	138	-0,395478	-3,50357	11,546	11,9175	0,045661	0,417539
19:46:26	75	7,5	90	-0,395478	-3,935358	7,5298	7,80724	0,029779	0,307243
19:46:34	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:46:42	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:46:50	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:46:58	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:47:06	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:47:14	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:47:22	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:47:30	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:47:38	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:47:46	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:47:54	26	2,6	31,2	1,794058	-37,658361	2,5542	4,17057	-0,04582	1,570567

Χρόνος (cont.)	PCi	Λίτρα l_i [l]	Παροχή Q_i [l/h]	Σφάλμα ϵ_i (%)	Σφάλμα με επιδράσεις ϵ'_i (%)	Πραγμα- τικά λίτρα $l_{i\alpha}$ [l]	Πραγμα- τικά λίτρα $l'_{i\alpha}$ [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]	Μη μετρού- μενο νερό Δl_i [l]
19:48:02	48	4,8	57,6	-0,068847	-6,81994	4,8033	5,15132	0,003307	0,351317
19:48:10	84	8,4	100,8	-0,395478	-3,820877	8,4334	8,7337	0,033352	0,333704
19:48:18	81	8,1	97,2	-0,395478	-3,857615	8,1322	8,425	0,032161	0,325004
19:48:26	83	8,3	99,6	-0,395478	-3,832975	8,333	8,63082	0,032955	0,330817
19:48:34	83	8,3	99,6	-0,395478	-3,832975	8,333	8,63082	0,032955	0,330817
19:48:42	60	6	72	-0,395478	-4,160769	6,0238	6,26048	0,023823	0,260484
19:48:50	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:48:58	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:49:06	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:49:14	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:49:22	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:49:30	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:49:38	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:49:46	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:49:54	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:50:02	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
19:50:10	14	1,4	16,8	-3,466	-77,238696	1,4503	6,15079	0,050266	4,75079
Totals		2504				2518	3690	14	1186

Βιβλιογραφία

- [1] Εταιρεία Υδρεύσεως και Αποχετεύσεως Πρωτεύουσας, Διεύθυνση Προμηθειών & Μεταφορών, Υπηρεσία Προμηθειών, Διακήρυξη δημοπρασίας αριθ. 9259
- [2] Ευφύες Σύστημα Εξοικονόμησης Υδάτινων Πόρων του Δήμου Αμφιλοχίας, ΕΣΠΑ 2007 – 2013, Κωδικός ΟΠΣ: 327795
- [3] Προμήθεια Υδρομετρητών, και Εγκατάσταση & Λειτουργία Συστήματος Αυτόματης Ανάγνωσης Ενδείξεων (Α.Μ.Ρ.), Αριθ. πρωτ: 22167. Αριθ. Απόφ. Δημάρχου: 1691
- [4] Σχεδιασμός, Προμήθεια, Θέση σε Λειτουργία Συστήματος Διατάξεων Μέτρησης, Καταγραφής, Τηλεμετάδοσης και Διαχείρισης Ενδείξεων Κατανάλωσης Νερού 750 καταναλωτών της ΕΥΑΘ Α.Ε. στην Βιομηχανική Περιοχή Θεσσαλονίκης, Διακήρυξη Νο 11/2011
- [5] Ανάθεση παροχής υπηρεσιών υποστήριξης της ΔΕΥΑΙ για την υποβολή φακέλου πρότασης για χρηματοδότηση του έργου "Εγκατάσταση Υδρομετρητών Ηλεκτρονικής Καταμέτρησης της Κατανάλωσης Ύδατος στις Παροχές των Καταναλωτών Νερού", από το Ταμείο Ανάπτυξης Ηπείρου, στο πλαίσιο εφαρμογής του χρηματοδοτικού εργαλείου JESSIKA, Πρακτικό αριθ. 3, Απόφαση αριθ. 119
- [6] Εγκατάσταση Συστήματος Διαχείρισης & Εξοικονόμησης Υδάτινων Πόρων με τη Χρήση Ασύρματων Υδρομέτρων στο Δήμο Κομοτηνής, Αρ.Αποφ. 12/2012
- [7] Ολοκληρωμένο Πληροφοριακό Σύστημα Εξοικονόμησης Υδάτινων Πόρων στο Δήμο Νεμέας, ΕΣΠΑ 2007 – 2013, Κωδικός ΟΠΣ: 327627
- [8] Ολοκληρωμένο Πληροφοριακό Σύστημα Εξοικονόμησης Υδάτινων Πόρων και Εξυπηρέτησης των Πολιτών του Δήμου Παξών σε Θέματα Ύδρευσης, ΕΣΠΑ 2007 – 2013, Κωδικός ΟΠΣ: 327305
- [9] Πιλοτικό Πρόγραμμα Αυτόματης Ανάγνωσης Ενδείξεων Υδρομέτρων, Αρ. Αποφ. 93/2013
- [10] Οδηγία 2004/22/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για τα Όργανα Μετρήσεων, Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 31^η Μαρτίου 2004

- [11] Stewart R.A., Willis R., Capati B., Closing the loop on water planning: an integrated smart metering and web-based knowledge management system approach.
- [12] JE van Zyl, Introduction to Integrated Water Meter Management, Water Research Commission, 1st ed. 2011
- [13] Arregui F., Soriano J., Gavara F.J., An Integrated Approach to Large Customer Water Meters Management
- [14] Arregui F., Cobacho R., Soriano J., García-Serra J., Calculating the Optimum Level of Apparent Losses due to Water Meter Inaccuracies, Water Loss Conference, São Paulo – Brazil, 2010
- [15] Arregui F., Cabrera E. Jr., Cobacho R., Integrated Water Meter Management, IWA Publishing, 2006.
- [16] Water Research Foundation Webcast, Accuracy of In-Service Water Meters at Low and High Flow Rates, September 2010
- [17] Arregui F., Palau C., Gascón L., Peris O., Evaluating Domestic Water Meter Accuracy – A case study
- [18] Arregui F., An Integrated Approach to Large Customers Water Meter Management, Water Loss conference, Manila – Philippines, 2012
- [19] Sharon Yaniv, Reduction of Apparent Losses Using the Unmeasured-Flow Reducer – Case Studies
- [20] Arregui F., Cabrera E. Jr., Cobacho R., García-Serra J., Key Factors Affecting Water Meter Accuracy, Conference Proceedings – Leakage 2005
- [21] Water Meters Intended for the Metering of Cold Potable Water and Hot Water, Part 2: Test methods, International Recommendation OIML R 49-2, International Organization of Legal Metrology, Edition 2006

- [22] Kenna B., Water Metering and Revenue Protection, University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying, dissertation 2008
- [23] Blom A., Cox P., Raczka K., Developing a Policy Position on Smart Water Metering, WPI Interactive Qualifying Project, April 2010
- [24] World Health Organisation, Manual on Operation and Maintenance of Water Supply Systems, January 2005
- [25] Britton T., Stewart R.A., Wiskar D., Smart metering as a tool for revealing the characteristics of household leakage during a typical reading cycle, Australian Water Association , Proceedings of the IWA Efficient 2009 Conference
- [26] Johnson E. H., Reliance upon regulations to define water meter accuracy. IWA Efficient Conference, Sydney 2009
- [27] Λογισμικό γραφικών gnuplot, <http://www.gnuplot.info/>