ΔΙΜΕΡΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΕΙΜ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΩΝ ΤΗΣ ΕΥΔΑΠ

Ζωή Μεταξιώτου[1], Χρήστος Κουτσούκος[2], Αθηνά Νίνου[2], Παναγιώτης Κάβουρας[1]

[1]ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ (Ε.Ι.Μ.)
Δ/νση Μηχ/κών Μεγεθών, Εργαστήριο Ροής & Όγκου
Οικ. Τετρ. 45, ΒΙΠΕΘ,
Σίνδος, 57 022 ΘΕΣ/ΝΙΚΗ
[2]ΕΥΔΑΠ Α.Ε., Εργαστήριο Υδρομετρητών
Επονιτών 9 – 11 & Φώκαιας
18 547 Ν. ΦΑΛΗΡΟ

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία περιγράφεται η διαδικασία σχεδίασης, υλοποίησης και αξιολόγησης μιας διεργαστηριακής δοκιμής μεταξύ του Εργαστηρίου Ροής του ΕΙΜ και του Εργαστηρίου Υδρομετρητών της ΕΥΔΑΠ η οποία είχε ως στόχο την διερεύνηση των επιδόσεων ενός δοκιμαστηρίου της ΕΥΔΑΠ (BP 0016) στο πεδίο της διακρίβωσης οργάνων μέτρησης ροής ψυχρού πόσιμου νερού. Η διεργαστηριακή αυτή δοκιμή διοργανώθηκε στα πλαίσια των απαιτήσεων του Εθνικού Συστήματος Διαπίστευσης (ΕΣΥΔ) για την διαπίστευση του Εργαστηρίου Υδρομετρητών της ΕΥΔΑΠ κατά ISO 17025. Η υλοποίηση της διεργαστηριακής αυτής δοκιμής κατέστη δυνατή μετά την εγκατάσταση του εθνικού προτύπου ροής υγρών του ΕΙΜ το 2007 και για την εκτέλεσή της χρησιμοποιήθηκε ως πρότυπο μεταφοράς, μετά από αξιολόγηση, ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο αναγνωρισμένου ευρωπαϊκού κατασκευαστικού οίκου. Από τη διεργαστηριακή δοκιμή προέκυψε ικανοποιητική, τόσο ποιοτική όσο και ποσοτική, συμφωνία μεταξύ των δύο εργαστηρίων σε όλο το εύρος των παροχών που εξετάστηκαν. Επιπλέον, θεωρείται σημαντικό το γεγονός ότι δόθηκε η δυνατότητα καθιέρωσης της ιχνηλασιμότητας στα εθνικά πρότυπα στο μέγεθος της ροής ενός από τα μεγαλύτερα εργαστήρια στη χώρα με σημαντικά πλεονεκτήματα σε μετρολογικό, επιστημονικό αλλά και οικονομικό επίπεδο για τους εμπλεκόμενους φορείς.

Abstract

In this study, the results of a bilateral comparison in the measurement of the flow rate of cold potable water in the range of 0-15 m^3/h between the laboratory of water meters of EYDAP S.A. and the Laboratory of Fluid Flow of the Hellenic Institute of Metrology (EIM), are presented. This inter-comparison exercise aimed at investigating the accuracy and the degree of equivalence in measurement over the aforementioned flow range of the test bench BP 0016 of EYDAP in comparison to the national primary flow test bench of EIM. To this end an electromagnetic flow meter of an established European manufacturer was used as a transfer standard. The exercise was conducted in the framework of the accreditation of the laboratory of water meters of EYDAP by the National Accreditation System (ESYD) according to ISO 17025. The results from both laboratories were compared on the basis of the experimentally established error curves of the flow meter over the measurement range examined. In addition, the consistency of the EYDAP test bench in comparison to the national standard of EIM was investigated using the degree of equivalence, E_n, as a quantitative measure. This parameter is often used in evaluating inter-comparison results. Satisfactory agreement was obtained between the two test benches both in qualitative and quantitative terms. The metrological, scientific and economic impact of this exercise is considered to be significant for both parts involved, given that the traceability of one of the largest testing laboratories in Greece was linked to the national standards for the first time.

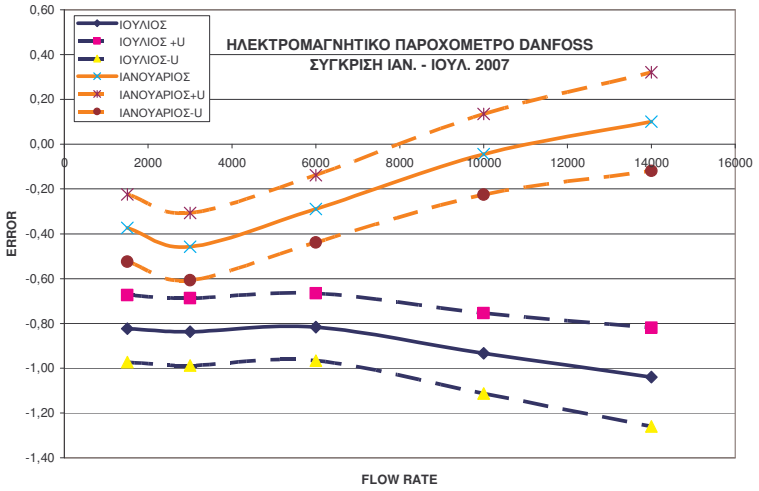
1. Εισαγωγή

Το Εργαστήριο Υδρομετρητών της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. είναι διαπιστευμένο από το Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης (ΕΣΥΔ) κατά ISO 17025 για διακριβώσεις οργάνων μέτρησης ροής και όγκου, ψυχρού πόσιμου νερού. Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του φορέα διαπίστευσης, είναι απαραίτητες οι διεργαστηριακές δοκιμές. Μέχρι πρότινος, λόγω της έλλειψης δυνατότητας διενέργειας διεργαστηριακών μετρήσεων, που να καλύπτουν το σύνολο ή μέρος του πεδίου διαπίστευσης, σε

εθνικό επίπεδο, το Εργαστήριο υδρομετρητών της ΕΥΔΑΠ δεν είχε συμμορφωθεί με αυτή την απαίτηση. Με την εγκατάσταση, ωστόσο, του νέου εθνικού προτύπου ροής του ΕΙΜ τον Ιούλιο του 2007 υφίσταται πλέον αυτή η δυνατότητα και για το λόγο αυτό μετά από σχετικό αίτημα της ΕΥΔΑΠ το Εργαστήριο Ροής του ΕΙΜ προχώρησε στον σχεδιασμό κατάλληλης διεργαστηριακής δοκιμής μεταξύ των δύο εργαστηρίων. Στην παρούσα εργασία περιγράφονται οι τεχνικές λεπτομέρειες και η μεθοδολογία της δοκιμής[1], παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων στα δύο εργαστήρια και προσδιορίζεται ο βαθμός ισοδυναμίας, E_n, μεταξύ του δοκιμαστηρίου BP 016 του εργαστηρίου υδρομετρητών της ΕΥΔΑΠ και του εθνικού προτύπου ροής του ΕΙΜ, VEMIT Kalibro, για τις συγκεκριμένες συνθήκες της διεργαστηριακής άσκησης.

2. Μεθοδολογία

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη διενέργεια διεργαστηριακών δοκιμών είναι η ύπαρξη κατάλληλου οργάνου το οποίο διαθέτει επαρκή μετρολογικά χαρακτηριστικά όσον αφορά την επαναληψιμότητα και τη σταθερότητά του προκειμένου αυτό να χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο μεταφοράς (transfer standard). Το Εργαστήριο Υδρομετρητών της ΕΥΔΑΠ διέθεσε για το σκοπό αυτό ένα ηλεκτρομαγνητικό παροχόμετρο της εταιρίας DANFOSS (*Siemens Mag 6000, S/N: 325704T092*) το οποίο χρησιμοποιούνταν για τις εσωτερικές επαληθεύσεις του εργαστηρίου. Για το όργανο αυτό, ωστόσο, δεν υπήρχαν διαθέσιμα επαρκή και αξιόπιστα ιστορικά δεδομένα για το μετρολογικό του χαρακτηρισμό. Συγκεκριμένα, τα διαθέσιμα δεδομένα αφορούσαν δύο σειρές μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν τον Ιανουάριο και τον Ιούλιο του 2007, αντίστοιχα, οι οποίες, ωστόσο, δεν παρουσίαζαν ούτε ποσοτική ούτε ποιοτική συμφωνία όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Αποτελέσματα δοκιμών με το ηλεκτρομαγνητικό παροχόμετρο Danfoss (S/N: 325704T092) οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στο δοκιμαστήριο BP 0016 του Εργαστηρίου Υδρομετρητών της ΕΥΔΑΠ τον Ιανουάριο και τον Ιούλιο 2007.

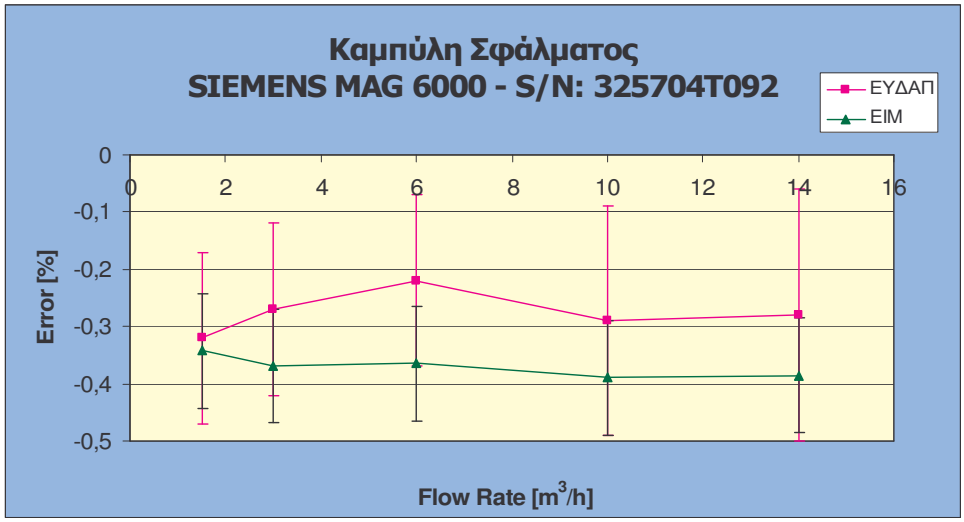
Για το λόγο αυτό κρίθηκε απολύτως αναγκαίο να πραγματοποιηθούν νέες σειρές μετρήσεων οι οποίες θα είχαν ως σκοπό τον καλύτερο χαρακτηρισμό του οργάνου όσον αφορά την ακρίβειά του, την βραχυπρόθεσμη και τη μακροπρόθεσμη επαναληψιμότητά του. Προς την κατεύθυνση αυτή το εργαστήριο ροής του ΕΙΜ σχεδίασε ένα πειραματικό πρωτόκολλο δοκιμών[1] βάσει του οποίου έγιναν μετρήσεις χαρακτηρισμού του προτύπου μεταφοράς τόσο στο εθνικό πρότυπο ροής του ΕΙΜ όσο και στο εργαστήριο υδρομετρητών της ΕΥΔΑΠ. Το ίδιο πειραματικό πρωτόκολλο, με μικρές τροποποιήσεις όσον αφορά την μάζα του νερού και τους αντίστοιχους παλμούς, εφαρμόστηκε και στη διεργαστηριακή άσκηση.

3. Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των δοκιμών αξιολόγησης του παροχόμετρου της ΕΥΔΑΠ παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 και αποτυπώνονται σχηματικά στο Σχήμα 2. Οι τιμές του μετρητικού σφάλματος που αναφέρονται στον Πίνακα 1 είναι οι αντίστοιχοι μέσοι όροι των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε παροχή. Η επαναληψιμότητα του οργάνου εκτιμήθηκε από τα πειραματικά δεδομένα του ΕΙΜ ως η τυπική απόκλιση των 24 συνολικά επαναλήψεων που έγιναν σε κάθε παροχή.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα δοκιμών χαρακτηρισμού του ροομέτρου μεταφοράς από τα εργαστήρια του ΕΙΜ και της ΕΥΔΑΠ

Παροχή [m^3/h]	ΕΙΜ			ΕΥΔΑΠ	
	Σφάλμα [%]	Αβεβαιότητα U (k=2) [%]	Επαναληψιμότητα [%]	Σφάλμα [%]	Αβεβαιότητα U (k=2) [%]
14	-0,39	0,1	0,023	-0,28	0,22
10	-0,39	0,1	0,029	-0,29	0,20
6	-0,36	0,1	0,037	-0,22	0,15
3	-0,37	0,1	0,028	-0,27	0,15
1,5	-0,34	0,1	0,024	-0,32	0,15



Σχήμα 2. Συγκριτικά αποτελέσματα δοκιμών μετρολογικού χαρακτηρισμού του ροομέτρου μεταφοράς μεταξύ ΕΥΔΑΠ και ΕΙΜ.

Όπως προκύπτει από το Σχήμα 2 τα αποτελέσματα βρίσκονται σε ικανοποιητική συμφωνία όσον αφορά τόσο την τάση όσο και την απόκλιση η οποία κυμαίνεται μεταξύ των ορίων αβεβαιότητας των δύο σειρών δεδομένων. Επιπλέον, η επαναληψιμότητα του οργάνου σ' αυτό το στάδιο κρίθηκε ικανοποιητική για τις απαιτήσεις της διεργαστηριακής άσκησης. Επιπλέον, έγινε στο εργαστήριο του ΕΙΜ και έλεγχος της αναπαραγωγισιμότητας του οργάνου. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συνοψίζονται στον Πίνακα 2. Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 2 το παροχόμετρο έχει, βραχυπρόθεσμα τουλάχιστον, αναπαραγωγήσιμη συμπεριφορά όσον αφορά την καμπύλη σφάλματος. Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα το παροχόμετρο κρίθηκε ότι διαθέτει ικανοποιητικά μετρολογικά χαρακτηριστικά προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως ροόμετρο αναφοράς στα πλαίσια της διεργαστηριακής άσκησης. Σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό της διεργαστηριακής άσκησης το σχήμα δοκιμών θα περιελάμβανε μια αρχική σειρά δοκιμών στο εθνικό πρότυπο ροής του ΕΙΜ, μία σειρά μετρήσεων στο δοκιμαστήριο ΒΡ016 της ΕΥΔΑΠ και μία τελική σειρά μετρήσεων πάλι στο ΕΙΜ (διεργαστηριακό σχήμα τύπου "star").

Πίνακας 2. Αποτελέσματα δοκιμών χαρακτηρισμού της αναπαραγωγισιμότητας του ροομέτρου αναφοράς από το εργαστήριο του ΕΙΜ

Παροχή [m³/h]	Έλεγχος Αναπαραγωγισιμότητας			
	Σειρά 1 [%]	Σειρά 2 [%]	Σειρά 3 [%]	Max-Min [%]
14	-0,36	-0,38	-0,39	0,03
10	-0,41	-0,39	-0,38	0,03
6	-0,26	-0,28	-0,29	0,03
3	-0,31	-0,34	-0,32	0,03
1,5	-0,29	-0,32	-0,30	0,03

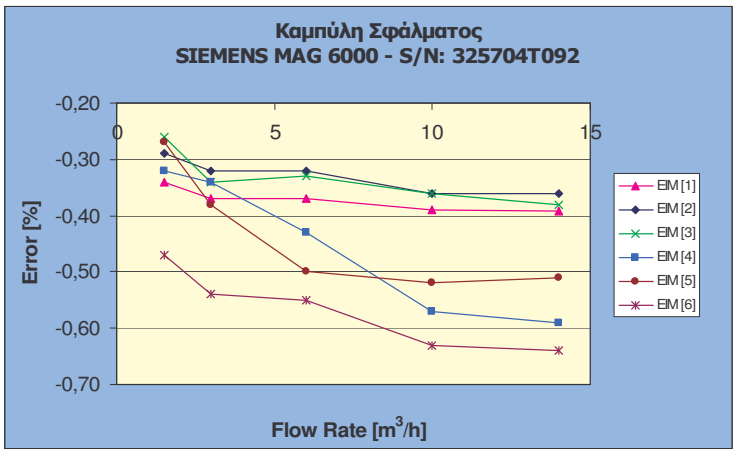
Παρά την αρχική ικανοποιητική συμπεριφορά του παροχόμετρου, στη συνέχεια, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα που παρατίθενται παρακάτω, δεν προέκυψαν αξιόπιστα και επαναλήψιμα αποτελέσματα τόσο στο εργαστήριο ροής του ΕΙΜ όσο και στο δοκιμαστήριο της ΕΥΔΑΠ σε πολλαπλές σειρές μετρήσεων που διεξήχθηκαν στο χρονικό διάστημα Φεβρουάριος 2008 – Οκτώβριος 2008. Συγκεκριμένα, τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα έξι σειρών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο εθνικό πρότυπο ροής του ΕΙΜ συνοψίζονται στον Πίνακα 3 και αποτυπώνονται σχηματικά στο Σχήμα 3.

Πίνακας 3. Μετρητικό σφάλμα του ροομέτρου αναφοράς όπως προέκυψε σε έξι (6) σειρές μετρήσεων στο εθνικό πρότυπο ροής του ΕΙΜ

ΕΙΜ						
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΞΙ (6) ΣΕΙΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ						
Παροχή	ΣΕΙΡΑ 1	ΣΕΙΡΑ 2	ΣΕΙΡΑ 3	ΣΕΙΡΑ 4	ΣΕΙΡΑ 5	ΣΕΙΡΑ 6
	T = 28,8 °C	T = 24,5 °C	T = 28,3 °C	T = 26,8 °C	T = 27,5 °C	T = 28,8 °C
[m³/h]	Σφάλμα [%]	Σφάλμα [%]	Σφάλμα [%]	Σφάλμα [%]	Σφάλμα [%]	Σφάλμα [%]
14	-0,39	-0,36	-0,38	-0,59	-0,51	-0,64
10	-0,39	-0,36	-0,36	-0,57	-0,52	-0,63
6	-0,37	-0,32	-0,33	-0,43	-0,50	-0,55
3	-0,37	-0,32	-0,34	-0,34	-0,38	-0,54
1,5	-0,34	-0,29	-0,26	-0,32	-0,27	-0,47

Τα αποτελέσματα στο δοκιμαστήριο ΒΡ 016 της ΕΥΔΑΠ παρατίθενται στον Πίνακα 4 και το Σχήμα 4, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της ΕΥΔΑΠ για λόγους σύγκρισης παρατίθενται ανηγμένα στη θερμοκρασία των 27,2 °C η οποία είναι κατά προσέγγιση η μέση θερμοκρασία των δοκιμών του ΕΙΜ. Η συμπεριφορά του παροχόμετρου αποτέλεσε ένα πειραματικό «γρίφο» για τα δύο εμπλεκόμενα εργαστήρια χωρίς να υπάρχει προφανής αιτία ή πειραματική αστοχία στην οποία θα μπορούσε να αποδοθεί μια τέτοια συμπεριφορά. Διερευνήθηκε, μετά από εκτενή σειρά μετρήσεων στο εθνικό πρότυπο ροής του ΕΙΜ, η πιθανότητα να οφείλεται η συμπεριφορά του στις συνθήκες εγκατάστασης στο κύκλωμα ροής (installation effects) ή στην επίδραση της μεταβολής της θερμοκρασίας μεταξύ των διαφορετικών σειρών μετρήσεων χωρίς, ωστόσο, να μπορέσουν τα αποτελέσματα να αποδοθούν σ' αυτούς τους παράγοντες. Μετά τον αποκλεισμό αυτών των παραγόντων η αιτία αναζητήθηκε στη μεταφορά του σήματος του οργάνου στο μετρητικό σύστημα η οποία γίνεται μέσω του καλωδίου του. Συγκεκριμένα, η τυχαία συμπεριφορά του καλωδίου αποδόθηκε στο γεγονός ότι η εσωτερική του αντίσταση ήταν περίπου η απαιτούμενη για την ορθή μετάδοση των παλμών με αποτέλεσμα άλλοτε να λειτουργεί σωστά και άλλοτε όχι. Για το σκοπό αυτό το καλώδιο του παροχόμετρου αντικαταστάθηκε από καλώδιο που χρησιμοποιείται σε διακριβώσεις ρουτίνας (καλώδιο MJ009) στο εθνικό πρότυπο ροής του ΕΙΜ και όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα που παρατίθενται στον Πίνακα 5 η συμπεριφορά του οργάνου αποκαταστάθηκε. Το καλώδιο αυτό διαθέτει ενσωματωμένη αντίσταση η οποία διασφαλίζει ότι η γραμμή μετάδοσης του σήματος έχει την απαιτούμενη αντίσταση έτσι ώστε το σήμα να μεταδίδεται αναλλοίωτο. Μετά τον εντοπισμό του προβλήματος αποφασίστηκε να συνεχιστεί

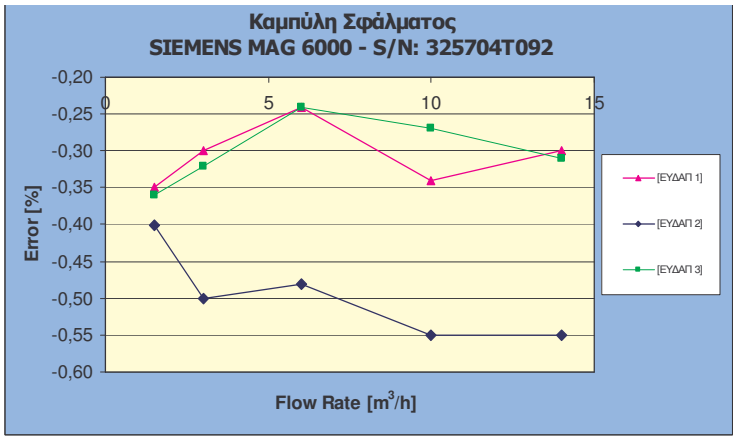
η διεργαστηριακή άσκηση με το νέο καλώδιο το οποίο όμως προέκυψε ότι δεν μπορούσε να προσαρμοστεί στο δοκιμαστήριο της ΕΥΔΑΠ. Ετσι η ΕΥΔΑΠ χρησιμοποίησε καλώδιο παρόμοιας κατασκευής με το καλώδιο του ΕΙΜ έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων. Ωστόσο, στο σημείο αυτό διαπιστώθηκε βλάβη στη γεννήτρια παλμών του παροχόμετρου.



Σχήμα 3. Καμπύλη σφάλματος του παροχόμετρου αναφοράς σε έξι (6) σειρές μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο εθνικό πρότυπο ροής του ΕΙΜ

Πίνακας 4. Μετρητικό σφάλμα του ροομέτρου αναφοράς όπως προέκυψε σε τρεις (3) σειρές μετρήσεων στο δοκιμαστήριο ΒΡ 016 της ΕΥΔΑΠ

ΕΥΔΑΠ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΡΙΩΝ (3) ΣΕΙΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΝΗΓΜΕΝΑ ΣΤΟΥΣ 27.2 °C			
Παροχή [m³/h]	ΣΕΙΡΑ 1 Σφάλμα [%]	ΣΕΙΡΑ 2 Σφάλμα [%]	ΣΕΙΡΑ 3 Σφάλμα [%]
14	-0,30	-0,55	-0,31
10	-0,34	-0,55	-0,27
6	-0,24	-0,48	-0,24
3	-0,30	-0,50	-0,32
1,5	-0,35	-0,40	-0,36



Σχήμα 4. Καμπύλη σφάλματος του παροχόμετρου αναφοράς σε τρεις (3) σειρές μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο δοκιμαστήριο ΒΡ 016 της ΕΥΔΑΠ

Η ΕΥΔΑΠ ανέλαβε να την αντικαταστήσει άμεσα όμως λόγω αυτής της μεταβολής ήταν επιβεβλημένη η εκ νέου επανάληψη του συνόλου των μετρήσεων. Ετσι πραγματοποιήθηκαν τρεις νέοι (3) κύκλοι μετρήσεων στη σειρά ΕΙΜ – ΕΥΔΑΠ – ΕΙΜ τα αποτελέσματα των οποίων παρατίθενται στους συγκεντρωτικούς πίνακες 6, 7 και 8, αντίστοιχα.

Πίνακας 5. Μετρητικό σφάλμα του ροομέτρου αναφοράς όπως προέκυψε σε τρεις (3) σειρές μετρήσεων στο εθνικό πρότυπο ροής του ΕΙΜ. Το καλώδιο μεταφοράς σήματος του παροχόμετρου αντικαταστάθηκε με καλώδιο MJ009 του ΕΙΜ.

Παροχή	ΣΕΙΡΑ 1 T=27 °C	ΣΕΙΡΑ 2 T=23 °C	ΣΕΙΡΑ 3 T=23 °C	Σφάλμα Max-Min
[m³/h]	[%]	[%]	[%]	[%]
14	-0,65	-0,65	-0,65	0,00
10	-0,65	-0,63	-0,63	-0,02
6	-0,58	-0,57	-0,57	-0,01
3	-0,52	-0,48	-0,49	-0,04
1,5	-0,47	-0,44	-0,46	-0,03

Πίνακας 6. Αρχικός νέος κύκλος μετρήσεων στο εθνικό πρότυπο ροής του ΕΙΜ μετά την αντικατάσταση της παλμογεννήτριας και με χρήση του καλωδίου MJ009 του ΕΙΜ.

ΕΙΜ - ΑΡΧΙΚΗ - ΣΕΙΡΑ 1					ΕΙΜ - ΑΡΧΙΚΗ - ΣΕΙΡΑ 2					ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ	
Παροχή	RUN 1 Σφάλμα	RUN 2 Σφάλμα	RUN 3 Σφάλμα	RUN 4 Σφάλμα	Παροχή	RUN 1 Σφάλμα	RUN 2 Σφάλμα	RUN 3 Σφάλμα	RUN 4 Σφάλμα	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση
[m3/h]	[%]	[%]	[%]	[%]	[m³/h]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
14	-0,34	-0,34	-0,35	-0,34	14	-0,35	-0,37	-0,36	-0,37	-0,35	0,013
10	-0,33	-0,33	-0,31	-0,34	10	-0,36	-0,33	-0,37	-0,32	-0,34	0,020
6	-0,30	-0,33	-0,32	-0,29	6	-0,33	-0,32	-0,34	-0,34	-0,32	0,018
3	-0,37	-0,39	-0,37	-0,39	3	-0,39	-0,37	-0,4	-0,37	-0,38	0,012
1,5	-0,49	-0,50	-0,50	-0,47	1,5	-0,44	-0,5	-0,44	-0,48	-0,48	0,025

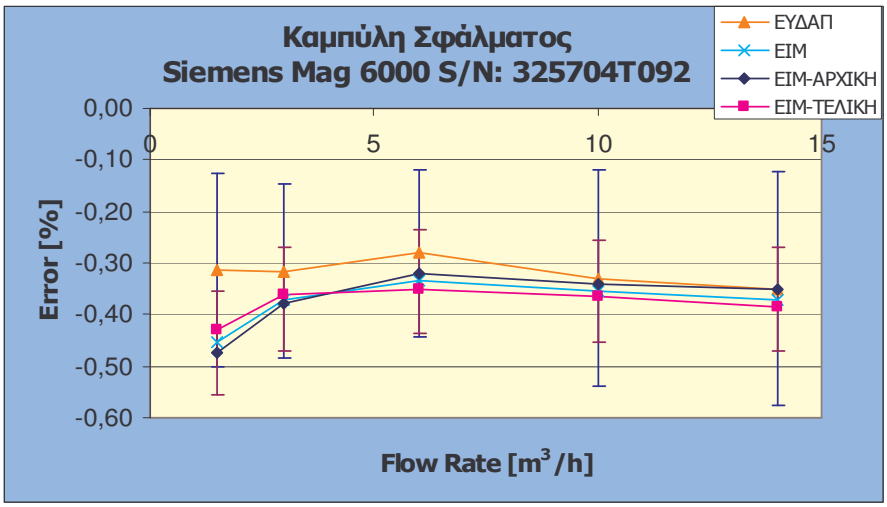
Πίνακας 7. Νέος κύκλος μετρήσεων στο δοκιμαστήριο ΒΡ 016 της ΕΥΔΑΠ μετά την αντικατάσταση της παλμογεννήτριας και με χρήση καλωδίου παρόμοιας κατασκευής με του καλωδίου MJ009 του ΕΙΜ.

Παροχή	ΕΥΔΑΠ Run 1	ΕΥΔΑΠ Run 2	ΕΥΔΑΠ Run 3	ΕΥΔΑΠ Run 4	ΕΥΔΑΠ Run 5	Μέσος Όρος T=21,2 °C	Τυπική απόκλιση μεταξύ επαναλήψεων	Max-Min Μεταξύ επαναλήψεων
[m³/h]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
14	-0,15	-0,41	-0,17	-0,69	-0,33	-0,35	0,22	0,54
10	-0,20	-0,41	-0,13	-0,61	-0,30	-0,33	0,19	0,48
6	-0,09	-0,34	-0,09	-0,50	-0,38	-0,28	0,18	0,41
3	-0,15	-0,35	-0,17	-0,48	-0,43	-0,32	0,15	0,33
1,5	-0,20	-0,25	-0,21	-0,39	-0,52	-0,31	0,14	0,32

Η συγκριτική παρουσίαση των τριών κύκλων μετρήσεων αποτυπώνεται στο Σχήμα 5. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται στη θερμοκρασία των 21,5 °C μετά από σχετική αναγωγή των αποτελεσμάτων της ΕΥΔΑΠ. Σημειώνεται πως η σύγκριση των αποτελεσμάτων δεν είναι δυνατή αν δεν προηγηθεί αναγωγή στην ίδια θερμοκρασία δεδομένου ότι το σφάλμα ένδειξης του οργάνου εξαρτάται από τη θερμοκρασία του νερού. Από το διάγραμμα του σχήματος 5 προκύπτει ότι υπάρχει πολύ καλή συμφωνία μεταξύ των δύο εργαστηρίων σε όλο το εύρος μέτρησης του παροχόμετρου που εξετάστηκε. Επιπλέον παρατηρείται ότι τα όρια αβεβαιότητας των καμπυλών σφάλματος των δύο εργαστηρίων επικαλύπτονται σε όλες τις παροχές που μετρήθηκαν.

Πίνακας 8. Τελικός νέος κύκλος μετρήσεων στο εθνικό πρότυπο ροής του ΕΙΜ μετά την αντικατάσταση της παλμογεννήτριας και με χρήση του καλωδίου MJ009 του ΕΙΜ.

ΕΙΜ - ΤΕΛΙΚΗ - ΣΕΙΡΑ 1					ΕΙΜ - ΤΕΛΙΚΗ – ΣΕΙΡΑ 2					ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ	
Παροχή	RUN 1	RUN 2	RUN 3	RUN 4	Παροχή	RUN 1	RUN 2	RUN 3	RUN 4	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση
[m³/h]	[%]	[%]	[%]	[%]	[m³/h]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
14	-0,38	-0,38	-0,40	-0,38	14	-0,38	-0,39	-0,39	-0,4	-0,39	0,009
10	-0,36	-0,37	-0,38	-0,38	10	-0,38	-0,36	-0,36	-0,35	-0,37	0,012
6	-0,34	-0,37	-0,36	-0,35	6	-0,34	-0,32	-0,35	-0,35	-0,35	0,015
3	-0,24	-0,38	-0,39	-0,38	3	-0,38	-0,36	-0,36	-0,37	-0,36	0,011
1,5	-0,43	-0,45	-0,43	-0,42	1,5	-0,43	-0,43	-0,42	-0,45	-0,43	0,012



Σχήμα 5. Καμπύλη σφάλματος του παροχόμετρου Mag 6000 (S/N: 325704T092) όπως προέκυψε από μετρήσεις στο εθνικό πρότυπο ροής του ΕΙΜ και στο δοκιμαστήριο ΒΡ 016 του Εργαστηρίου Υδρομετρητών της ΕΥΔΑΠ.

Ποσοτικά, ωστόσο, ο βαθμός ισοδυναμίας του δοκιμαστηρίου ΒΡ 016 της ΕΥΔΑΠ σε σχέση με το εθνικό πρότυπο ροής του ΕΙΜ εκτιμάται με βάση την παράμετρο E_n η οποία ορίζεται ως εξής[2]:

$$E_n = \frac{\left(E_{EYDAP} - E_{EIM}\right)}{\sqrt{U_{EYDAP}^2 + U_{EIM}^2}} \leq 1$$

Όπου:

$E_{ΕΥΔΑΠ}$ = Σφάλμα του οργάνου στο δοκιμαστήριο ΒΡ 016, [%]

$E_{ΕΙΜ}$ = Σφάλμα του οργάνου στο εθνικό πρότυπο ροής του ΕΙΜ, [%]

$U_{ΕΥΔΑΠ}$ = Διευρυμένη αβεβαιότητα της τιμής του σφάλματος του οργάνου στο δοκιμαστήριο ΒΡ 016, [%]

$U_{ΕΙΜ}$ = Διευρυμένη αβεβαιότητα της τιμής του σφάλματος του οργάνου στο εθνικό πρότυπο ροής, [%]

Τα αποτελέσματα του υπολογισμού του βαθμού ισοδυναμίας του δοκιμαστηρίου ΒΡ 016 αποτυπώνονται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9. Βαθμός ισοδυναμίας δοκιμαστηρίου ΒΡ 016 του εργαστηρίου υδρομετρητών της ΕΥΔΑΠ σε σχέση με το εθνικό πρότυπο ροής του ΕΙΜ με βάση την καμπύλη σφάλματος του ηλεκτρομαγνητικού παροχόμετρου DANFOSS Siemens Mag 6000 (S/N: 325704T092)

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΘΜΟΥ ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑΣ ΔΟΚΙΜΑΣΤΗΡΙΟΥ ΒΡ 016 ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΤΩΝ ΤΗΣ ΕΥΔΑΠ					
Flow Rate	ΕΥΔΑΠ		ΕΙΜ		
[m^3/h]	Error [%]	U [%]	Error [%]	U [%]	E_n
14	-0,35	0,23	-0,37	0,1	**0,08**
10	-0,33	0,21	-0,36	0,1	**0,13**
6	-0,28	0,16	-0,34	0,1	**0,32**
3	-0,32	0,17	-0,37	0,1	**0,25**
1,5	-0,31	0,19	-0,46	0,1	**0,70**

4. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα της παρούσας διεργαστηριακής άσκησης συνοψίζονται στα εξής:

- Η καμπύλη σφάλματος του προτύπου αναφοράς όπως προέκυψε στο δοκιμαστήριο της ΕΥΔΑΠ παρουσιάζει ικανοποιητική συμφωνία τόσο ποιοτική όσο και ποσοτική με την αντίστοιχη καμπύλη σφάλματος που προέκυψε στο εθνικό πρότυπο ροής του ΕΙΜ σε όλο το εύρος των παροχών που εξετάστηκαν.
- Τα όρια μετρητικής αβεβαιότητας των δύο καμπυλών επικαλύπτονται σε όλο το μετρητικό εύρος που εξετάστηκε.
- Ο βαθμός ισοδυναμίας του δοκιμαστηρίου ΒΡ 016 της ΕΥΔΑΠ ικανοποιεί το κριτήριο E_n (≤ 1) σε όλο το μετρητικό εύρος παροχών που εξετάστηκε.
- Τα ανωτέρω κρίνονται επαρκής πειραματική τεκμηρίωση της μετρητικής αξιοπιστίας του δοκιμαστηρίου ΒΡ 016 της ΕΥΔΑΠ.
- Τα αποτελέσματα της ΕΥΔΑΠ παρά την ικανοποιητική τους συμφωνία με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του ΕΙΜ σε επίπεδο μέσων όρων, παρουσιάζουν περιορισμένη επαναληψιμότητα η οποία, ωστόσο, βρίσκεται εντός των ορίων της μετρητικής αβεβαιότητας του δοκιμαστηρίου ΒΡ 016 της ΕΥΔΑΠ. Η περιορισμένη επαναληψιμότητα δεν οφείλεται σε αστοχία του δοκιμαστηρίου αλλά αποδίδεται στο γεγονός ότι το καλώδιο που χρησιμοποιήθηκε από την ΕΥΔΑΠ παρόλη την αισθητή βελτίωση που συνεισέφερε στη μετάδοση του σήματος του οργάνου στην μονάδα επεξεργασίας του δοκιμαστηρίου ΒΡ 016, σε σχέση με το αρχικό καλώδιο, εξακολουθεί να μην πληροί στο σύνολό τους τις απαιτούμενες προδιαγραφές για τη σκοπούμενη χρήση.
- Κρίνεται απαραίτητη η άμεση αντικατάσταση του καλωδίου του παροχόμετρου με καλώδιο ίδιας τεχνολογίας με το καλώδιο MJ009 του ΕΙΜ προκειμένου να διασφαλισθεί στο μέλλον η αξιοπιστία των εσωτερικών ελέγχων που διενεργεί το εργαστήριο υδρομετρητών της ΕΥΔΑΠ χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο παροχόμετρο.
- Μέσω της παρούσας διεργαστηριακής μέτρησης συγκρίνεται το δοκιμαστήριο ΒΡ016 με το εθνικό πρότυπο ροής του ΕΙΜ το οποίο για το μέγεθος της ροής έχει ιχνηλασιμότητα στα εθνικά πρότυπα μάζας και θερμοκρασίας.

5. Βιβλιογραφία

1. ISO 6817, “Measurement of conductive liquid flow in closed conduits – Method using electromagnetic flow meters”, (1992).
2. H.K. Iyer, C.M. Wang and D.F. Vecchia, “Consistency tests for key comparison data”, Metrologia, **41**, 223-230, (2004).