ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΜΕΤΡΗΤΩΝ ΠΙΕΣΗΣ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΛΕΥΚΟΠΟΥΛΟΣ, ΓΕΣΘΗΜΑΝΗ ΛΙΟΝΤΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ (Ε.Ι.Μ.)
Δ/νση Μηχ/κών Μεγεθών, Εργαστήριο Πίεσης
Οικ. Τετρ. 45, ΒΙΠΕΘ,
Σίνδος, 57 022 ΘΕΣ/ΝΙΚΗ

Περίληψη
Στην παρούσα εργασία επισημαίνονται και αναδεικνύονται πιθανά προβλήματα, τα οποία αφορούν την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της διακρίβωσης μετρητών πίεσης, οι οποίες διενεργούνται βάσει υπαρχουσών κατευθυντηρίων οδηγιών. Τα προβλήματα σχετίζονται με τον τρόπο υπολογισμού βασικών συνιστωσών της αβεβαιότητας, όπως η επαναληψιμότητα και η υστέρηση, όταν η σύγκριση σε κάθε σημείο διακρίβωσης, της πρότυπης πίεσης αναφοράς με την ένδειξη του μετρητή, δεν πραγματοποιείται, μεταξύ των διαφόρων σειρών μέτρησης, με σταθερή πίεση αναφοράς. Τα αποτελέσματα της εργασίας, εφόσον επιβεβαιωθούν με την εκτέλεση περαιτέρω μετρήσεων ή/και προσομοιώσεων θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην αναμόρφωση των υφισταμένων σχετικών κατευθυντηρίων οδηγιών.

Abstract
This study outlines and highlights possible problems associated with the evaluation of calibration results of pressure gauges, carried out according to existing calibration guidelines. These problems pertain to the estimation of basic uncertainty components, such as repeatability and hysteresis, when the comparison, at every calibration point, between the reference pressure and meter indication, is not carried out under constant reference pressure, among different calibration series. The results of the study, following subsequent verification through experimental measurements and computer simulations, could be used toward modifying existing pertinent calibration guidelines.

1. Εισαγωγή

Οι διακριβώσεις μετρητών πίεσης διενεργούνται βάσει υπαρχουσών κατευθυντηρίων οδηγιών, οι οποίες παρέχουν τόσο τη μεθοδολογία της μέτρησης, όσο και τον τρόπο επεξεργασίας και αποτίμησης των αποτελεσμάτων της διακρίβωσης. Η οδηγία DKD-R 6-1 (2003), αποτελεί τη δημοφιλέστερη μεθοδολογία διακρίβωσης μετρητών, μεταξύ των Ελληνικών εργαστηρίων διακριβώσεων, στο πεδίο της πίεσης.

Βασική ιδέα της ακολουθούμενης μεθοδολογίας αποτελεί ο έλεγχος του μετρητή, ανάλογα με την επιθυμητή ή σκοπούμενη αβεβαιότητα μέτρησης, σε συγκεκριμένο αριθμό σημείων, σε περισσότερες της μίας σειρές μετρήσεων, κατ' αύξουσα και φθίνουσα σειρά, με σκοπό την εκτίμηση βασικών συνιστωσών αβεβαιότητας του μετρητή, ενδεικτικά απόκλιση στο μηδέν, επαναληψιμότητα, υστέρηση κλπ. Η σύγκριση σε κάθε σημείο διακρίβωσης, της πρότυπης πίεσης αναφοράς, με την ένδειξη του μετρητή, μπορεί να πραγματοποιηθεί, σύμφωνα με τα αναφερόμενα στην οδηγία, μέσω, είτε α) της δημιουργίας συγκεκριμένης, σταθερής τιμής πίεσης αναφοράς, μεταξύ των διαφορετικών σειρών μετρήσεων, είτε β) της δημιουργίας πίεσης αναφοράς, η οποία αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη ένδειξη μετρητή (πχ αυτήν που προκύπτει από την σύμπτωση της βελόνας ενός αναλογικού μανομέτρου με μία συγκεκριμένη υποδιαίρεση της αναλογικής του κλίμακας). Ενώ η επιλογή της λύσης α) είναι εύλογα αποδεκτή, η χρησιμοποίηση της μεθόδου β), πιθανότατα δεν διασφαλίζει τον ορθό υπολογισμό βασικών συνεισφορών αβεβαιότητας του μετρητή, όπως η επαναληψιμότητα και η υστέρηση, ο οποίος απαιτεί, σύμφωνα και με τους αντίστοιχους ορισμούς, την εφαρμογή σταθερής πίεσης αναφοράς μεταξύ διαφορετικών σειρών και κύκλων μέτρησης. Ωστόσο το γεγονός αυτό δεν επισημαίνεται στην οδηγία.

Η παρούσα εργασία επισημαίνει και αναδεικνύει πιθανά προβλήματα σχετικά με την εφαρμογή της οδηγίας, εντοπίζει τα σημεία τα οποία χρήζουν προσοχής και προτείνει πιθανές λύσεις, με σκοπό την αντιμετώπιση των προβλημάτων και τη βελτίωση της αξιοπιστίας των μετρήσεων.

2. Ανασκόπηση βασικών αρχών κατευθυντήριας οδηγίας DKD-R 6-1 (2003)

Η εν λόγω οδηγία βασίζεται στις παρακάτω αρχές :

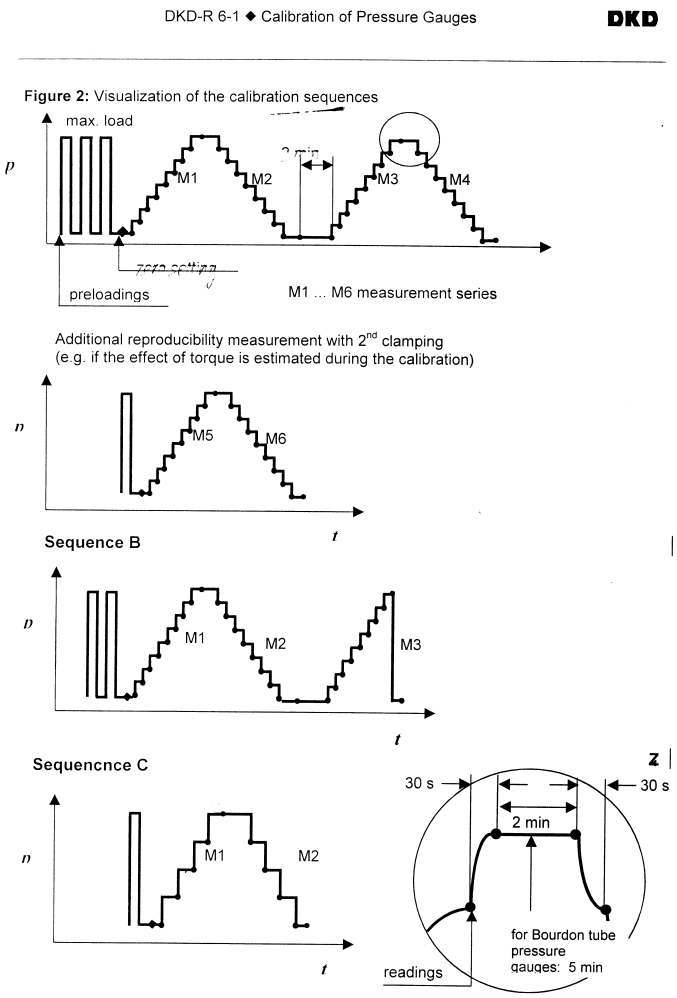
- Σύγκριση των ενδείξεων ενός προτύπου αναφοράς γνωστών και τεκμηριωμένων μετρολογικών προδιαγραφών και του υπό διακρίβωση μετρητή, σε συνθήκες σταθεροποιημένης πίεσης
- Σύγκριση ενδείξεων με ένα από τους παρακάτω τρόπους :

  α) Δημιουργία μιας σταθερής, για κάθε σημείο διακρίβωσης, τιμής πίεσης αναφοράς και σύγκρισή της με την ένδειξη του μετρητή, πρακτική βολική για τη διακρίβωση ψηφιακών κυρίως μετρητών πίεσης, χωρίς αβεβαιότητα ανάγνωσης

  β) Δημιουργία πίεσης αναφοράς, για κάθε σημείο διακρίβωσης, η οποία αντιστοιχεί σε σταθερή ένδειξη μετρητή (π.χ. αυτήν που αντιστοιχεί στη σύμπτωση της βελόνας ενός αναλογικού μανομέτρου με μία συγκεκριμένη υποδιαίρεση της αναλογικής του κλίμακας), πρακτική η οποία ενδείκνυται για τη διακρίβωση αναλογικών κυρίως μετρητών, με σκοπό την ελαχιστοποίηση της αβεβαιότητας ανάγνωσης

Το παρακάτω διάγραμμα αναπαριστά σχηματικά τις παραμέτρους διακρίβωσης για κάθε αλληλουχία διακρίβωσης (A, B, ή C), ανάλογα με τη επιθυμητή/ σκοπούμενη/ ονομαστική διευρυμένη αβεβαιότητα, ή «ακρίβεια» μέτρησης, του μετρητή,

Διάγραμμα 1. Απεικόνιση σχημάτων διακρίβωσης μετρητών, σύμφωνα με την επιλεγείσα αλληλουχία διακρίβωσης

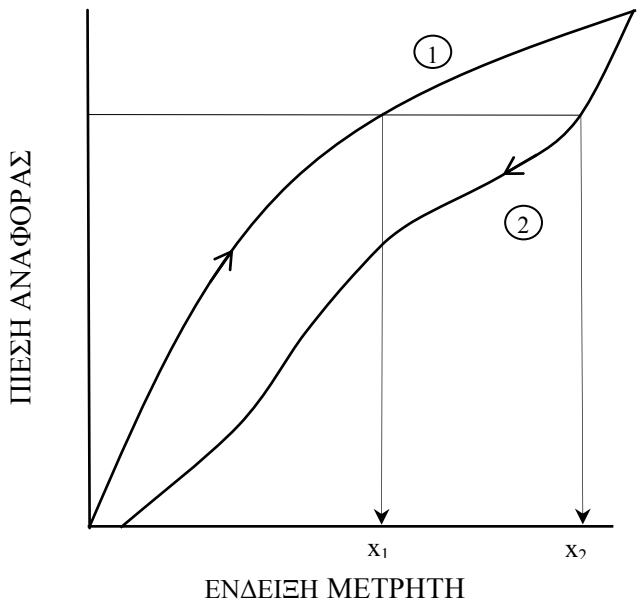


3. Προβλήματα

α) Εφαρμογή μη σταθερής πίεσης αναφοράς

Η δημιουργία σταθερής πίεσης αναφοράς, για το ίδιο σημείο διακρίβωσης, μεταξύ διαφορετικών σειρών και κύκλων μέτρησης, ακόμη και αν αποτελεί επιδίωξη του χρήστη, δεν είναι πάντοτε εφικτή, δεδομένου ότι εξαρτάται από το είδος του μετρητικού προτύπου, την ικανότητα του χειριστή, τις συνθήκες διακρίβωσης κλπ. Αναφέρεται ως χαρακτηριστικό παράδειγμα αδυναμίας παραγωγής σταθερής πίεσης, η χρήση ζυγού πίεσης για τη παραγωγή απόλυτης πίεσης, μέσω μέτρησης της διαρκώς μεταβαλλόμενης κατά τη διάρκεια της διακρίβωσης, βαρομετρικής πίεσης.

Στην περίπτωση λοιπόν αδυναμίας επίτευξης σταθερής πίεσης αναφοράς, ο υπολογισμός των συνιστωσών αβεβαιότητας, της επαναληψιμότητας και της υστέρησης, για κάθε σημείο διακρίβωσης, που παρέχονται στην οδηγία, εν γένει δεν ισχύει, δεδομένου ότι η εφαρμογή των μαθηματικών εκφράσεων υπολογισμού των εν λόγω συνιστωσών της οδηγίας, προϋποθέτει την εφαρμογή σταθερού ερεθίσματος (πίεσης αναφοράς), σύμφωνα και με τον ορισμό των παραμέτρων αυτών [VIM].



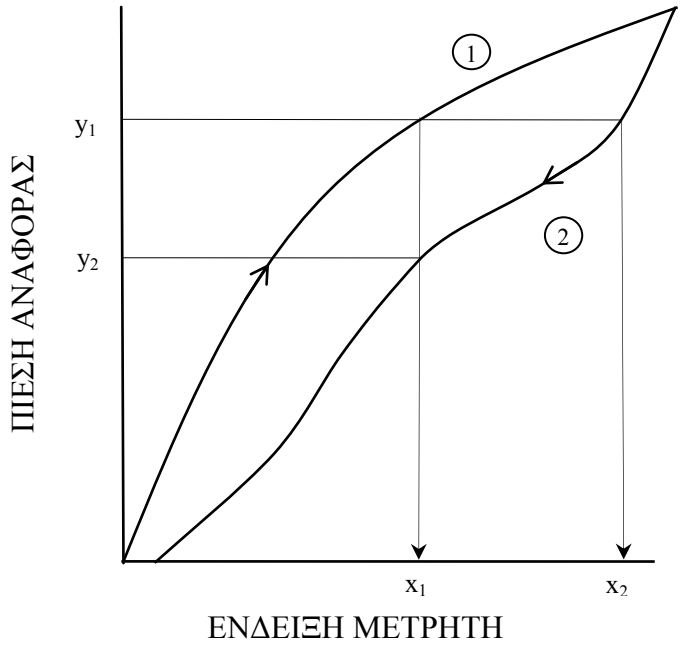
Διάγραμμα 2. Τυπικό διάγραμμα υστέρησης μετρητή πίεσης

Στο ανωτέρω διάγραμμα, η υστέρηση ορίζεται ως η διαφορά των ενδείξεων του υπό διακρίβωση μετρητή, με την εφαρμογή σταθερής πίεσης αναφοράς κατ' αυξανόμενη και μειούμενη σειρά.

β) Δημιουργία πίεσης αναφοράς, η οποία αντιστοιχεί σε σταθερή ένδειξη μετρητή

Όπως προαναφέρθηκε, στην περίπτωση διακρίβωσης αναλογικών μανομέτρων, η οδηγία παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας πίεσης αναφοράς, η οποία αντιστοιχεί σε σταθερή ένδειξη μετρητή, με σκοπό την ελαχιστοποίηση της αβεβαιότητας ανάγνωσης. Ωστόσο, η οδηγία δεν παρέχει τους μαθηματικούς τύπους υπολογισμού των συνιστωσών αβεβαιότητας στην περίπτωση αυτή. Ως αποτέλεσμα, συχνά, εργαστήρια διακρίβωσης – χρήστες της οδηγίας, χρησιμοποιούν και στην περίπτωση αυτή, τους ίδιους μαθηματικούς τύπους υπολογισμού των παραμέτρων αυτών, οι οποίοι εφαρμόζονται στην περίπτωση εφαρμογής σταθερής πίεσης αναφοράς, και οι οποίοι, ως εκ τούτου, δεν ισχύουν.

Σχηματικά, παρέχεται στο επόμενο διάγραμμα, η διαφορά των δύο τρόπων υπολογισμού της υστέρησης.



Διάγραμμα 3. Διαφορά εκτίμησης υστέρησης στις περιπτώσεις εφαρμογής α) σταθερής πίεσης αναφοράς και β) πίεσης αναφοράς, η οποία αντιστοιχεί σε σταθερή ένδειξη μετρητή

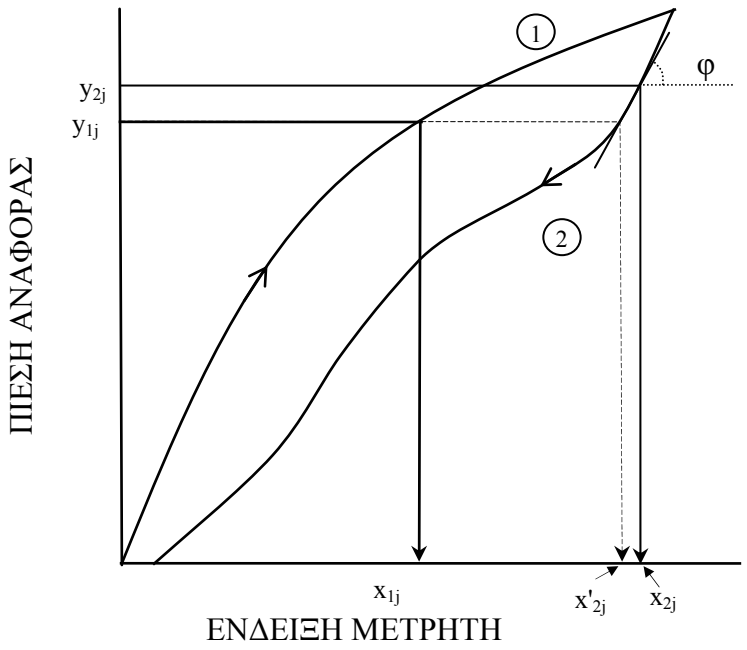
Με βάση το ανωτέρω διάγραμμα :

- Η υστέρηση υπό την επίδραση σταθερής πίεσης αναφοράς y_1, υπολογίζεται ως $h_{ref} = |x_1 - x_2|$
- Η υστέρηση με πίεση αναφοράς, η οποία αντιστοιχεί σε σταθερή ένδειξη μετρητή x_1, εκτιμάται ως : $h_{DUT} = |y_1 - y_2|$

Είναι προφανές ότι οι αριθμητικές τιμές των δύο εκτιμήσεων είναι εν γένει δεν συμπίπτουν.

4. Πρόταση

Προτείνεται η μετατόπιση της τιμής ένδειξης του υπό διακρίβωση μετρητή, η οποία λαμβάνεται με διαφοροποιημένη τιμή πίεσης αναφοράς κατά την κάθοδο, σε σχέση με την αντίστοιχη κατά την άνοδο, κατά μήκος της καμπύλης καθόδου, όπως φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Διάγραμμα 4. Διόρθωση ενδείξεων μετρητή

Στο ανωτέρω διάγραμμα :

- x_{ij} = ένδειξη μετρητή
- y_{ij} = πίεση αναφοράς, όπου :
  i = σειρά μέτρησης κατ΄ αυξανόμενη ή μειούμενη σειρά (1 ή 2)
  j = σημείο διακρίβωσης
- Οι καμπύλες (1) και (2) αντιστοιχούν στις χαρακτηριστικές καμπύλες του μετρητή, κατά την άνοδο και κάθοδο.

Η ένδειξη του μετρητή κατά την κάθοδο, x_{2j}, ως αποτέλεσμα της εφαρμογής πίεσης αναφοράς y_{2j}, δεν μπορεί να συγκριθεί ευθέως με την ένδειξη x_{1j}, δεδομένου ότι αυτή λαμβάνεται με διαφοροποιημένη πίεση αναφοράς (y_{2j}, κατά την κάθοδο, έναντι τιμής y_{1j} κατά την άνοδο). Εάν κατά την κάθοδο ήταν δυνατόν να εφαρμοστεί η ίδια πίεση αναφοράς, x_{1j}, η ένδειξη του μετρητή θα ήταν x'_{2j}, και πλέον οι τιμές x_{1j} και x'_{2j} θα ήταν ευθέως συγκρίσιμες για την εκτίμηση της υστέρησης, ως διαφοράς $|x_{1j} - x'_{2j}|$. Μπορεί εύκολα να αποδειχθεί ότι η διορθωμένη τιμή x'_{2j} παρέχεται από τη σχέση :

$$x'_{2j} = x_{2j} - \frac{y_{2j} - y_{1j}}{\tan(\phi)}$$

όπου :

- φ = τοπική κλίση της χαρακτηριστικής καμπύλης καθόδου

Η εκτίμηση πλέον των παραμέτρων της επαναληψιμότητας και υστέρησης είναι δυνατός, με την εφαρμογή των μαθηματικών τύπων της οδηγίας, όχι για τις τιμές των πρωτογενών ενδείξεων x_{2j}, αλλά για τις αντίστοιχες μετατοπισμένες x'_{2j}.

4. Συμπεράσματα

- Οι κατευθύνσεις αποτίμησης και επεξεργασίας των αποτελεσμάτων μετρήσεων που παρέχονται στην οδηγία DKD-R 6-1 (2003), δεν καλύπτουν την περίπτωση εφαρμογής μη σταθερής πίεσης αναφοράς, μεταξύ διαφορετικών σειρών μετρήσεων (για το ίδιο σημείο διακρίβωσης)

- Η οδηγία παρότι προτείνει τη δυνατότητα διενέργειας της διακρίβωσης με πίεση αναφοράς, η οποία αντιστοιχεί σε σταθερή ένδειξη μετρητή, δεν παρέχει τις αντίστοιχες μαθηματικές εκφράσεις για την εκτίμηση βασικών και των κρίσιμων συνιστωσών της αβεβαιότητας
- Στην περίπτωση της εφαρμογής μη σταθερής πίεσης αναφοράς μεταξύ διαφορετικών σειρών μετρήσεων, η εφαρμογή των προτεινομένων μαθηματικών εκφράσεων εκτίμησης της επαναληψιμότητας και της υστέρησης είναι δυνατόν να οδηγήσει σε εσφαλμένα αποτελέσματα
- Η διόρθωση των τιμών των ενδείξεων του μετρητή, για την αναγωγή όλων των πιέσεων αναφοράς στην ίδια τιμή, αποτελεί ένα τρόπο για την αντιμετώπιση του προβλήματος
- Η κρισιμότητα του θέματος επιβάλλει την περαιτέρω διερεύνησή του με πραγματικές μετρήσεις και την εκτέλεση πειραμάτων προσομοίωσης, με σκοπό τη οριστικοποίηση τυχόν τροποποιήσεων, για την αναμόρφωση των υφισταμένων σχετικών κατευθυντηρίων οδηγιών.

5. Βιβλιογραφία

1. Guideline DKD-R 6-1, “Calibration of Pressure Gauges” (1992)
2. EURAMET/cg-17/v.01, “Guidelines on the Calibration of. Electromechanical Manometers” (2007)
3. International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms VIM, 3rd ed., JCGM 200 (2008)