Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΣΕ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ

Ανδρέας Ανδρουτσόπουλος, Λενάντα Αναστασοπούλου
Εργαστήριο Ενεργειακών Μετρήσεων, Διεύθυνση Ενεργειακής Αποδοτικότητας, ΚΑΠΕ
19ο χλμ. Λεωφ. Μαραθώνος, 190 09 Πικέρμι, Αττική
e-mail: aandr@cres.gr

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό την παρουσίαση της συσχέτισης της ολίσθησης των αποτελεσμάτων ελέγχων εργαστηριακού εξοπλισμού στην πάροδο του χρόνου με την αβεβαιότητα της μέτρησης, ούτως ώστε να διασφαλίζεται με κάθε τρόπο η αξιοπιστία των παρεχόμενων δοκιμών. Τα αποτελέσματα των ελέγχων αφορούν τόσο στη διαδικασία της επαναληψιμότητας της μέτρησης στη Διάταξη Προστατευμένης Θερμής Πλάκας του Εργαστηρίου Ενεργειακών Μετρήσεων του ΚΑΠΕ όσο και σε εργαστηριακό μετρητικό εξοπλισμό του οποίου οι μετρήσεις/ έλεγχοι αποτελούν καθοριστικό παράγοντα στην αξιοπιστία του τελικού αποτελέσματος.
Η επαναληψιμότητα είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό σφαλμάτων της μεθόδου καθώς και για τον έλεγχο της ποιότητας των μετρήσεων. Στη συγκεκριμένη διάταξη, βάσει του προτύπου μέτρησής της, η επαναληψιμότητα σε δεδομένο δείγμα και χωρίς μεταβολές στις συνθήκες δοκιμής πρέπει να είναι καλύτερη από 0,5%. Στην εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ελέγχων σειράς ετών της επαναληψιμότητας στη διάταξη και τα οποία ενώ δεν συνεισφέρουν κατά την εκτίμηση της αβεβαιότητας της μέτρησης, αποτελούν έναν ισχυρό δείκτη καλής λειτουργίας της συσκευής. Επιπρόσθετα, εξετάζεται η ύπαρξη της ολίσθησης σε αποτελέσματα μετρήσεων, όπως έχουν προκύψει ύστερα από διακριβώσεις εξοπλισμού, σε επιμέρους μετρητικά όργανα και η συνεισφορά της κατά την εκτίμηση της αβεβαιότητας της μέτρησης.

Λέξεις-Κλειδιά: Ολίσθηση, επαναληψιμότητα, μετρητικά όργανα, διάταξη Προστατευμένης Θερμής Πλάκας

Abstract

The current work presents the contribution of drift as a result of laboratory equipments' calibration measurements, over time, to the estimation of uncertainty of test measurement in order to guarantee the reliability of the test measurements. The measurements are related to both, the repeatability of the measurement process followed in the Guarded Hot Plate apparatus of the Energy Measurements Laboratory and the measuring equipment whose measurements / controls is a key factor in the reliability of the final result.
Repeatability is a method used to detect the process errors and to check the quality of the measurements. In this arrangement, under the standard measurement procedure, repeatability in a given sample and without changes in the test conditions must be better than 0.5%. This paper presents the age range test results on repeatability and even if the results do not contribute to the overall uncertainty of the measurement, they are a powerful

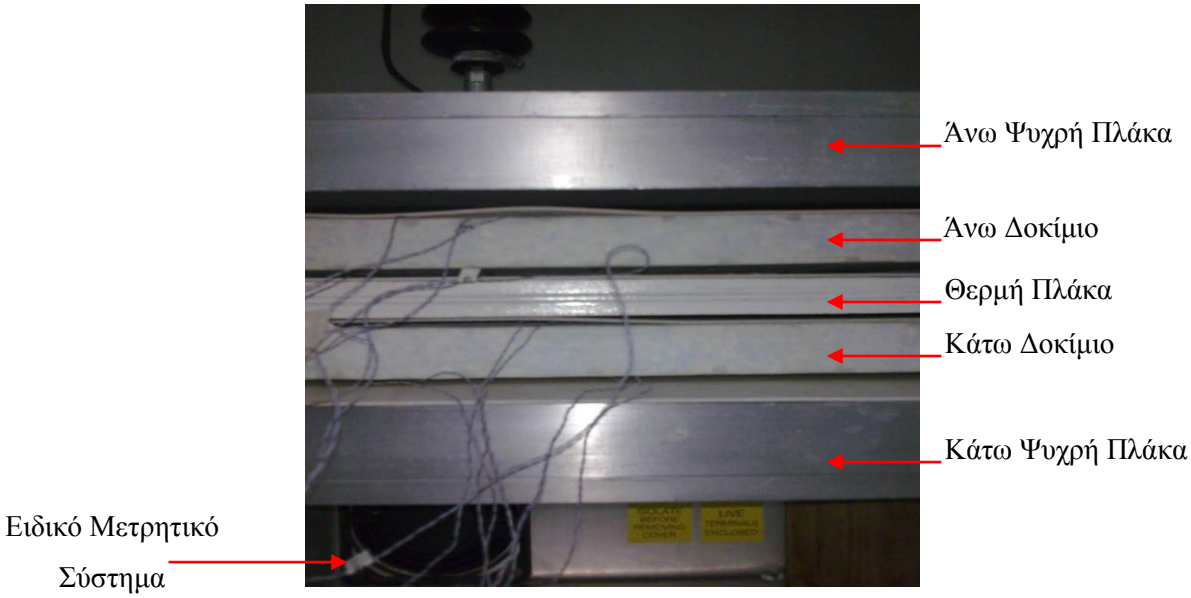
indicator of the reliability of the device. Additionally, the existence of drift in the measurement results is examined, taking into account the equipment calibrations of various measuring instruments and its contribution to the estimation of measurement uncertainty.

Keywords: Drift, repeatability, measuring instruments, Guarded Hot Plate apparatus

1. Εισαγωγή

Η Διάταξη Προστατευμένης Θερμής Πλάκας (ΠΘΠ) που διαθέτει το εργαστήριο Ενεργειακών Μετρήσεων (ΕΜΕ) είναι τύπου NPL-500 (βλ. Σχήμα 1) και πραγματοποιεί μετρήσεις θερμικής αγωγιμότητας και θερμικής αντίστασης δομικών υλικών και προϊόντων σε ομοιογενή δομικά υλικά και προϊόντα με θερμική αγωγιμότητα που κυμαίνεται από 0,02 έως και 3,5 W/(mK) και θερμική αντίσταση έως και 6,0 m^2K/W.

Για τη δοκιμή χρησιμοποιούνται 2 πανομοιότυπα δοκίμια, από την ίδια σειρά παραγωγής και σε διαστάσεις 50cm x 50cm (ελάχιστες διαστάσεις 20cm x 20cm) ενώ το πάχος έκαστου δοκιμίου δύναται να είναι από 2,5cm έως 12cm. Το εύρος θερμοκρασιών δοκιμής κυμαίνεται από -10 έως +80 ^oC.



Σχήμα 1. Διάταξη Προστατευμένης Θερμής Πλάκας

Ο κύριος εξοπλισμός της διάταξης Προστατευμένης Θερμής Πλάκας αποτελείται από:

- Δύο ψυχρές πλάκες από αλουμίνιο, διαστάσεων 600 x 600 mm.
- Μία θερμή πλάκα από αλουμίνιο, συνολικών διαστάσεων 500 x 500 mm. Η πλάκα χωρίζεται σε δύο τμήματα, το εσωτερικό, διαστάσεων 200 x 200 mm, το οποίο αντιστοιχεί στο τμήμα του δοκιμίου στο οποίο πραγματοποιούνται οι μετρήσεις και το εξωτερικό ή δακτύλιο προστασίας, το οποίο χρησιμεύει για την ελαχιστοποίηση των πλευρικών απωλειών θερμότητας.
- Συστήματα θέρμανσης/ ψύξης των πλακών με παροχή ισχύος υψηλής σταθερότητας και ελεγκτή θερμοκρασίας υψηλής ακριβείας.

- Είκοσι (20) θερμοζεύγη και μία θερμοστήλη 32 ζευγών τύπου Ε (Νικελίου-Χρωμίου/ Κοσταντάνης) πάχους 0,2 mm, θερμοκρασιακού εύρους χρήσης από –30 έως +100 ^{o}C, με μόνωση PTFE ηλεκτρικής αντίστασης μεγαλύτερης από 100 MΩ. Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των θερμοκρασιών (απόλυτων και διαφορικών) των πλακών της Διάταξης Προστατευμένης Θερμής Πλάκας. Ελέγχονται ως προς την καλή τους λειτουργία μέσω του ετήσιου ελέγχου της Διάταξης Προστατευμένης Θερμής Πλάκας (Salmon and Stacey, 1999).

Στόχος της εργασίας είναι η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των ελέγχων σειράς ετών της επαναληψιμότητας στη διάταξη ως ένδειξη αξιοπιστίας των μετρήσεων. Επιπρόσθετα, εξετάζεται η συνεισφορά της ολίσθησης των αποτελεσμάτων ελέγχων εργαστηριακού εξοπλισμού στην πάροδο του χρόνου κατά την εκτίμηση της αβεβαιότητας μέτρησης.

2. Έλεγχοι διάταξης ΠΘΠ

Ο έλεγχος της Διάταξης πραγματοποιείται τουλάχιστον σε ετήσια βάση και αφορά στην γραμμικότητα των αποτελεσμάτων, την επαναληψιμότητα ή/και αναπαραγωγή των αποτελεσμάτων και τη διακρίβωση γραμμής σήματος, ενώ διακριβώνεται όλος ο υπόλοιπος εξοπλισμός που λόγω της χρήσης του, καθορίζει τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Τα αποτελέσματα των διακριβώσεων του εξοπλισμού λαμβάνονται ως παράγοντες που συνεισφέρουν κατά τον υπολογισμό της αβεβαιότητας της μέτρησης. Ενδεικτικά αναφέρονται ο ηλεκτρονικός ζυγός ο οποίος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μάζας, ο εξοπλισμός ελέγχου του πάχους και των διαστάσεων των δοκιμίων. Όλες οι βασικές σχέσεις υπολογισμού της αβεβαιότητας στηρίζονται στην «Οδηγία για την αβεβαιότητα της μέτρησης», JCGM 100:2008.

2.1 Επαναληψιμότητα / αναπαραγωγή αποτελεσμάτων

Η επαναληψιμότητα είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό σφαλμάτων της μεθόδου καθώς και για τον έλεγχο των ενσωματωμένων στη διάταξη αισθητήρων, οι οποίοι δε δύναται να ελεγχθούν με οιαδήποτε άλλο τρόπο. Το χαρακτηριστικό το οποίο απαιτείται να μετρηθεί είναι η θερμική αγωγιμότητα των δοκιμίων σε θερμοκρασίες παρόμοιες με αυτές στις οποίες αναφέρεται το πιστοποιητικό βαθμονόμησης του Υλικού Αναφοράς.

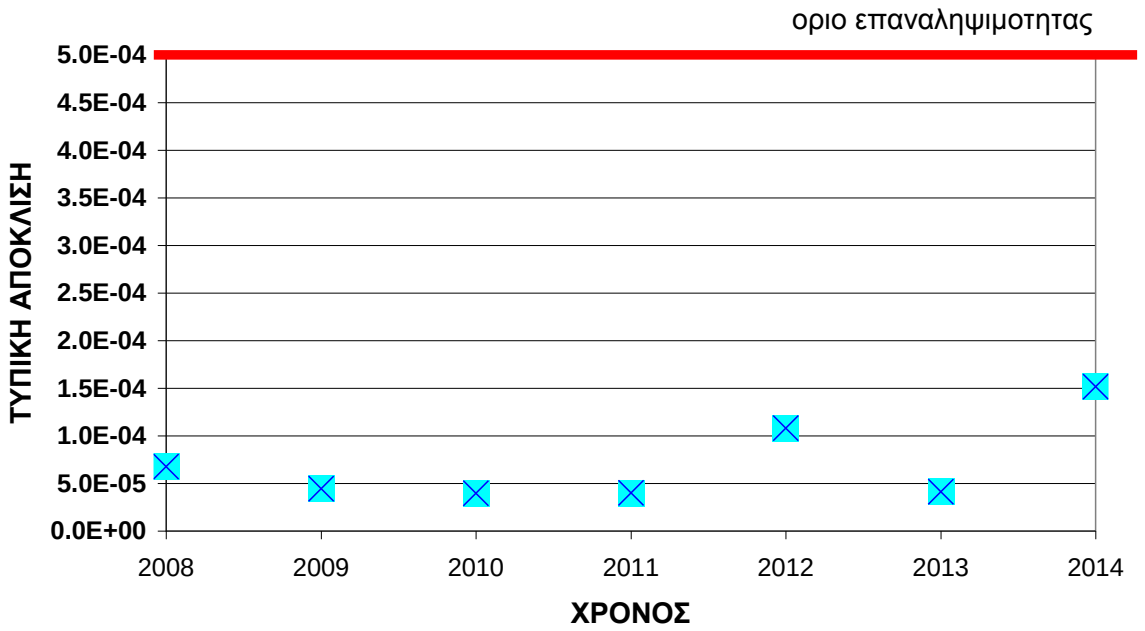
Στη συγκεκριμένη διάταξη, βάσει του προτύπου μέτρησής της, η επαναληψιμότητα σε δεδομένο δείγμα και χωρίς μεταβολές στις συνθήκες δοκιμής πρέπει να είναι καλύτερη από 0,5% (ΕΛΟΤ ΕΝ 12664:2001, ΕΛΟΤ ΕΝ 12667:2001). Η επεξεργασία των μετρήσεων στηρίζεται στην τυπική απόκλιση 10 πειραματικών δοκιμών, δίχως οιαδήποτε μεταβολή στις πειραματικές συνθήκες (Αλεξανδρόπουλος et al, 1994).

Για να γίνει αποδεκτό το αποτέλεσμα του ελέγχου της επαναληψιμότητας θα πρέπει η τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων (S) προς τον μέσο όρο των αποτελεσμάτων ($\bar{x}$) επί τοις εκατό να μην υπερβαίνει το 0,5% (ΕΛΟΤ ΕΝ 12664:2001, ΕΛΟΤ ΕΝ 12667:2001), ήτοι:

$$\left(\frac{S}{\bar{x}}\right)\% \leq 0.005 \qquad (1)$$

Στην περίπτωση που δεν ισχύει η ανισότητα, πραγματοποιείται έλεγχος καλής λειτουργίας όλου του επιμέρους εξοπλισμού της Διάταξης και διερευνώνται τα αίτια των αποκλίσεων.

Στο Σχήμα 2 αναφέρονται τα αποτελέσματα μετρήσεων της επαναληψιμότητας από το έτος 2008 έως το 2014. Το 2015 πραγματοποιήθηκε έλεγχος αναπαραγωγής αποτελεσμάτων και βρέθηκε να είναι καλύτερος από 1% (ΕΛΟΤ ΕΝ 12664:2001, ΕΛΟΤ ΕΝ 12667:2001).



Σχήμα 2: Αποτελέσματα Μετρήσεων Επαναληψιμότητας

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, όλες οι ευρεθείσες τιμές είναι σημαντικά χαμηλότερες από το όριο. Κατά αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η αξιοπιστία των μετρήσεων σε περιπτώσεις που είναι απαραίτητη η επανάληψη της πειραματικής διαδικασίας δίχως την απομάκρυνση των δοκιμίων από τη διάταξη κι η επανατοποθέτησή των εντός. Ταυτόχρονα, αποτελεί ένδειξη ορθής μέτρησης και καταγραφής των λαμβανόμενων μετρήσεων θερμοκρασίας από τους ενσωματωμένους εντός των πλακών αισθητήρων, γεγονός που συναρτήσει των ορθών αποτελεσμάτων της γραμμικότητας συντελεί στη αξιόπιστη λειτουργία της συσκευής για τη μέτρηση συμπιεστών δοκιμίων. Τα αποτελέσματα των εν λόγω ελέγχων δεν αποτελούν παράγοντες στην εκτίμηση της αβεβαιότητας των μετρήσεων, δεδομένου ότι ο αντίστοιχος υπολογισμός της δεν υπερβαίνει το 2% (ISO 8302:1991).

2.2 Έλεγχος γραμμής σήματος (line calibration)

Ως έλεγχος γραμμής σήματος ορίζεται η σύγκριση του επιβαλλόμενου σήματος στην είσοδο της γραμμής μέσω των μη ενσωματωμένων στη διάταξη αισθητήρων και η ανάγνωση της ψηφιακής ένδειξης της τιμής στην οθόνη του υπολογιστή (μέσω του λογισμικού συλλογής δεδομένων) σε σχέση με την δοθείσα θερμοκρασία αναφοράς και την ψηφιακή τιμή η οποία αναγράφεται σε καταγραφικό με δεδομένες αποκλίσεις. Το αποτέλεσμα του ελέγχου επηρεάζει κατά κύριο λόγο τον προσδιορισμό του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας στα συμπαγή ασυμπίεστα δομικά υλικά.

Κατά τη μέτρηση μη συμπιεστών δοκιμίων, απαιτείται η χρήση του ειδικού μετρητικού συστήματος που αποτελείται από 20 θερμοστοιχεία που τοποθετούνται επί των δοκιμίων. Για κάθε θερμοστοιχείο λαμβάνονται τουλάχιστον δύο μετρήσεις σε όλες τις υπό εξέταση θερμοκρασίες. Αντίστοιχες λήψεις μετρήσεων πραγματοποιούνται για το θερμόμετρο αναφοράς.

Στον Πίνακα 1 καθώς και στα Σχήματα 3 και 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των μετρήσεων, όπως προέκυψαν από τους αντίστοιχους ελέγχους τα τελευταία 5 έτη.

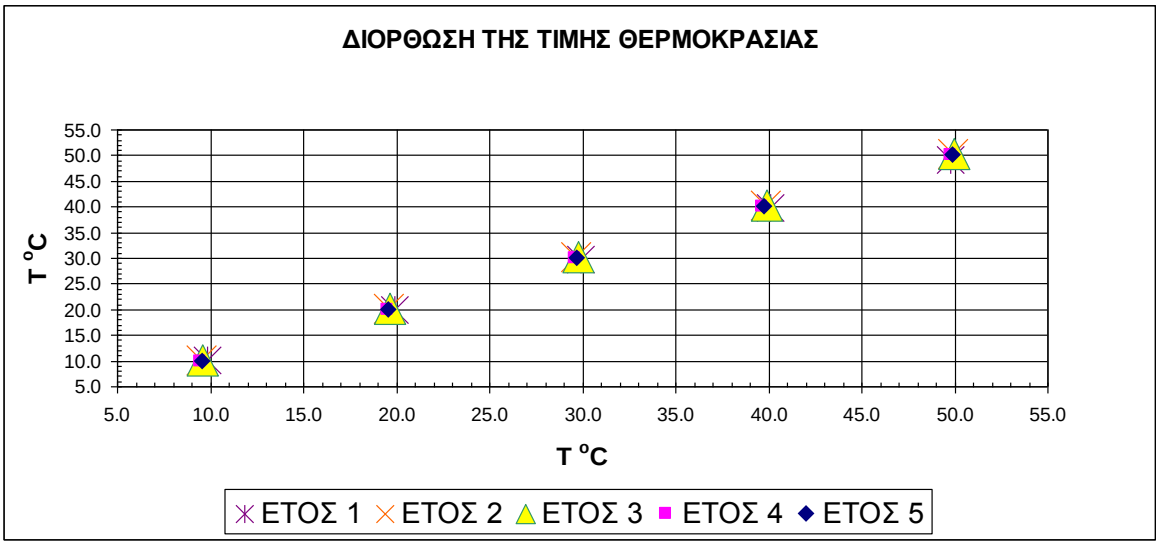
Πίνακας 1: Παρουσίαση αποτελεσμάτων ελέγχων διάταξης ΠΘΠ / Τυπικό σφάλμα προβλεπόμενης τιμής.

ΕΤΟΣ 1		**ΕΤΟΣ 2**		**ΕΤΟΣ 3**		**ΕΤΟΣ 4**		**ΕΤΟΣ 5**	
REF	**TCs**	**REF**	**TCs**	**REF**	**TCs**	**REF**	**TCs**	**REF**	**TCs**
10.08	9.9	10.04	9.5	10.08	9.6	9.93	9.4	9.95	9.6
20.01	19.9	20.09	19.6	20.11	19.7	19.96	19.5	19.98	19.6
29.87	29.9	30.15	29.7	30.17	29.8	29.98	29.6	29.99	29.7
39.88	40.1	40.21	39.8	40.21	39.9	40.00	39.7	40	39.8
49.23	49.7	50.25	49.9	50.26	50.0	50.02	49.8	50.05	49.9
0.076		**0.030**		**0.008**		**0.021**		**0.029**	

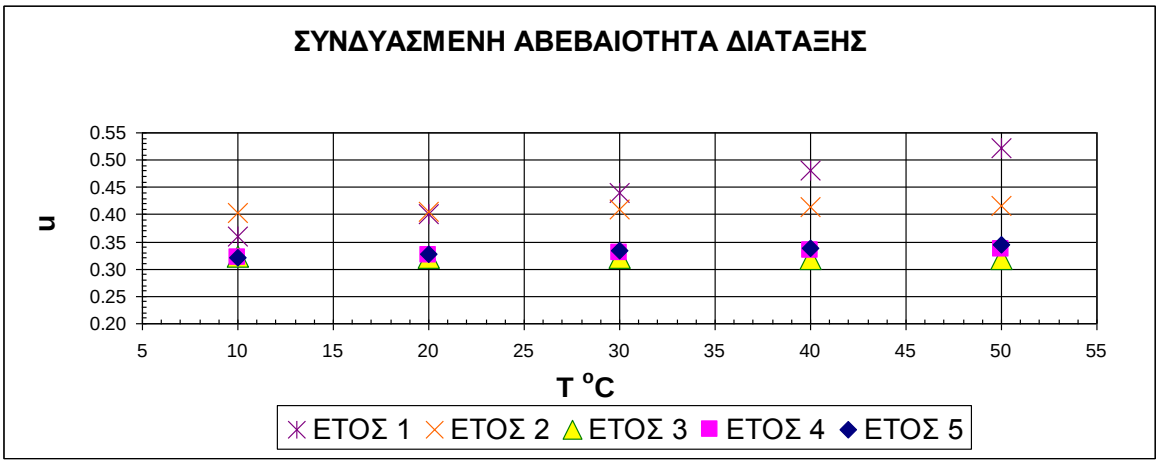
Οι διαφορές μεταξύ της ένδειξης της θερμοκρασίας από το εργαστήριο διακρίβωσης και της ένδειξης της διάταξης κυμαίνεται από ± 0,05 έως ± 0,5. Οι τιμές αυτές βρίσκονται στο αναμενόμενο εύρος θερμοκρασιακής διαφοράς λόγω του κατασκευαστικού τύπου των αισθητήρων (ISO 8302:1991).

Αντίστοιχα, μετά την επεξεργασία των μετρήσεων (βλ Σχήμα 3) παρατηρείται ότι η θερμοκρασιακή απόκλιση μεταξύ των δύναται να θεωρηθεί αμελητέα και δε καθίσταται αναγκαία η διόρθωση της θερμοκρασίας, καθόσον διότι οι λαμβανόμενες τιμές βρίσκονται στο ίδιο εύρος αποκλίσεων και λαμβάνονται ως θερμοκρασιακές διαφορές.

Στο Σχήμα 4 δίδεται για τα αντίστοιχα έτη η συνδυασμένη αβεβαιότητα για κάθε θερμοκρασία (ΕΑ-4/02 M:2013). Όπως φαίνεται από το Σχήμα για τα δύο πρώτα έτη, οι τιμές της αβεβαιότητας είναι σημαντικά υψηλότερες από ότι για τα τρία επόμενα. Το γεγονός αυτό αποτέλεσε αίτιο διερεύνησης για πιθανό σφάλμα. Το εργαστήριο, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των μετρήσεων και εξετάζοντας τις επιπτώσεις της αυξημένης κατ΄ εκτίμηση τιμής της αβεβαιότητας, ήτοι άνω του ±5% όπως ορίζεται για τα ασυμπίεστα δοκίμια (ISO 8302:1991, ΕΛΟΤ ΕΝ 12664:2001, ΕΛΟΤ ΕΝ 12667:2001), προέβη στις απαραίτητες ενέργειες, παρά το γεγονός ότι οι υπόλοιποι έλεγχοι δεν παρουσίαζαν οποιαδήποτε απόκλιση. Μετά το 2^{ο} έτος αντικατέστησε το ειδικό μετρητικό σύστημα, με αποτέλεσμα στους επόμενους ελέγχους (έτη 3, 4 και 5) να μην επαναλαμβάνεται η παρατηρηθείσα απόκλιση .



Σχήμα 3: Σχηματική παράσταση διόρθωσης θερμοκρασιών



Σχήμα 4: Συνδυασμένη αβεβαιότητα Ελέγχου Γραμμής Σήματος

2.3 Προσδιορισμός μάζας / πάχους δοκιμίου

Ένας κρίσιμος παράγοντας που συνεισφέρει στην εκτίμηση της αβεβαιότητας της μέτρησης με τη Διάταξη ΠΘΠ είναι ο προσδιορισμός της πυκνότητας και της υγρασίας του Δοκιμίου. Για τη μέτρηση της πυκνότητας του δοκιμίου οι παράγοντες που επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα της αβεβαιότητας σχετίζονται αφενός με τη μάζα του δοκιμίου και αφετέρου με τη μέτρηση των διαστάσεών του.

Συνοπτικά, οι παράγοντες της αβεβαιότητας που σχετίζονται με τον προσδιορισμό των διαστάσεων και τη μάζα των δοκιμίων παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 2: Παράγοντες αβεβαιότητας σε σχέση με την πυκνότητα και την υγρασία των δοκιμίων

	ΣΥΜΠΙΕΣΤΑ ΔΟΚΙΜΙΑ	ΑΣΥΜΠΙΕΣΤΑ ΔΟΚΙΜΙΑ
Αβεβαιότητα Ζυγού	Λαμβάνεται η τιμή της διευρυμένης αβεβαιότητας του Ζυγού για το εύρος μέτρησης της μάζας.	Λαμβάνεται η τιμή της διευρυμένης αβεβαιότητας του Ζυγού για το εύρος μέτρησης της μάζας.

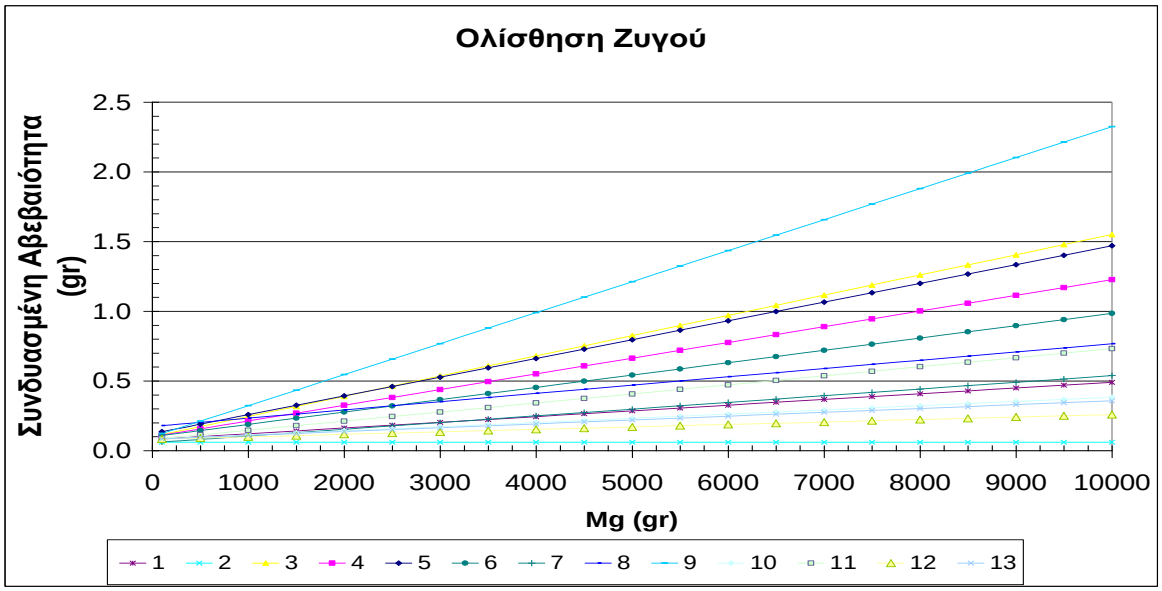
Μέτρηση Πάχους	Συνολική αβεβαιότητα διακρίβωσης παχυμέτρου / μικρομέτρου για το μετρούμενο πάχος Απόκλιση από το όριο αν υπάρχει	Συνολική αβεβαιότητα διακρίβωσης παχυμέτρου για το μετρούμενο πάχος Απόκλιση από το όριο αν υπάρχει
Αβεβαιότητα Μέτρησης Μήκους και Πλάτους	Συνολική αβεβαιότητα διακρίβωσης παχυμέτρου / μετροταινίας για το μετρούμενο μήκος και πλάτους	Συνολική αβεβαιότητα διακρίβωσης παχυμέτρου / μετροταινίας για το μετρούμενο μήκος και πλάτους
Σφάλμα καθετότητας πλευρών	----------	Σφάλμα μη κάθετης ευθυγράμμισης πλευρών
Σφάλμα Ορθογωνικότητας Δοκιμίων (έως 1mm)	----------	Μέγιστη απόκλιση ορθογωνικότητας των πλευρών

Για τις τιμές της μάζας λαμβάνεται υπόψη η διακρίβωση του ηλεκτρονικού ζυγού, ενώ για την διαστασιολόγηση, εκτός από το πάχος, το μήκος και το πλάτος λαμβάνεται υπόψη η καθετότητα των πλευρών του δοκιμίου καθώς και η ορθογωνικότητα αυτού.

- Μέτρηση μάζας

Τα δοκίμια ζυγίζονται πριν και μετά από την ξήρανση όταν αυτή απαιτείται. Χρησιμοποιείται ηλεκτρονικός ζυγός, η ορθή λειτουργία του οποίου διασφαλίζεται πραγματοποιώντας εκτός από διακρίβωση και ετήσιους ελέγχους με βάρη αναφοράς. Η απαιτούμενη ακρίβεια των πραγματοποιούμενων ζυγίσεων είναι 0,5% (ISO 8302:1991).

Τα αποτελέσματα των διακριβώσεων του ηλεκτρονικού ζυγού για μια περίοδο 13 ετών παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.



Σχήμα 5: Ιστορικό διακριβώσεων ηλεκτρονικού ζυγού

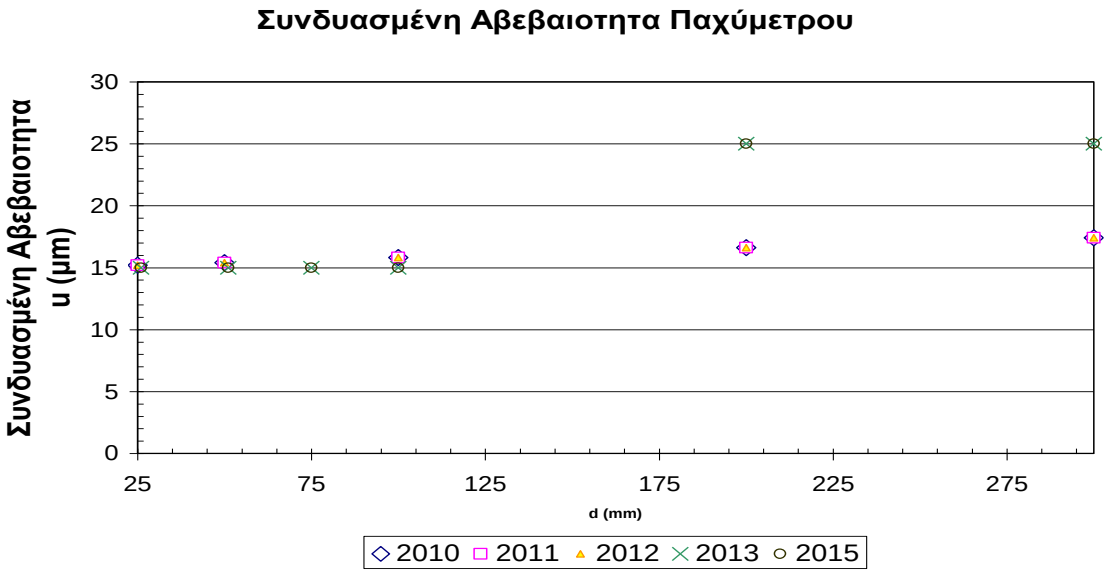
Αφορά σε μια μεγάλη χρονική περίοδο, όπου τα αποτελέσματα της εκτιμηθείσας τιμής της αβεβαιότητας δε συνάδει με την πάροδο της χρονολογικής σειράς όπου πραγματοποιήθηκαν οι διακριβώσεις. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι εξωγενείς παράγοντες κατά τη χρήση του εξοπλισμού, η αλλαγή της μεθόδου της διακρίβωσης καθώς και ο τρόπος χρήσης αυτού οδήγησαν στα διαφορετικά αποτελέσματα. Στον Πίνακα 3 δίδονται τα ανώ όρια απόκλισης της μάζας. Σε κάθε περίπτωση η συνδυασμένη αβεβαιότητα βρίσκεται κάτω από το όριο που ορίζουν τα πρότυπα μετρήσεων (ΕΛΟΤ ΕΝ 12664:2001, ΕΛΟΤ ΕΝ 12667:2001).

Πίνακας 3: Μέγιστο όριο κατά τη μέτρηση της μάζας (κατά ΕΛΟΤ ΕΝ 12664:2001, ΕΛΟΤ ΕΝ 12667:2001)

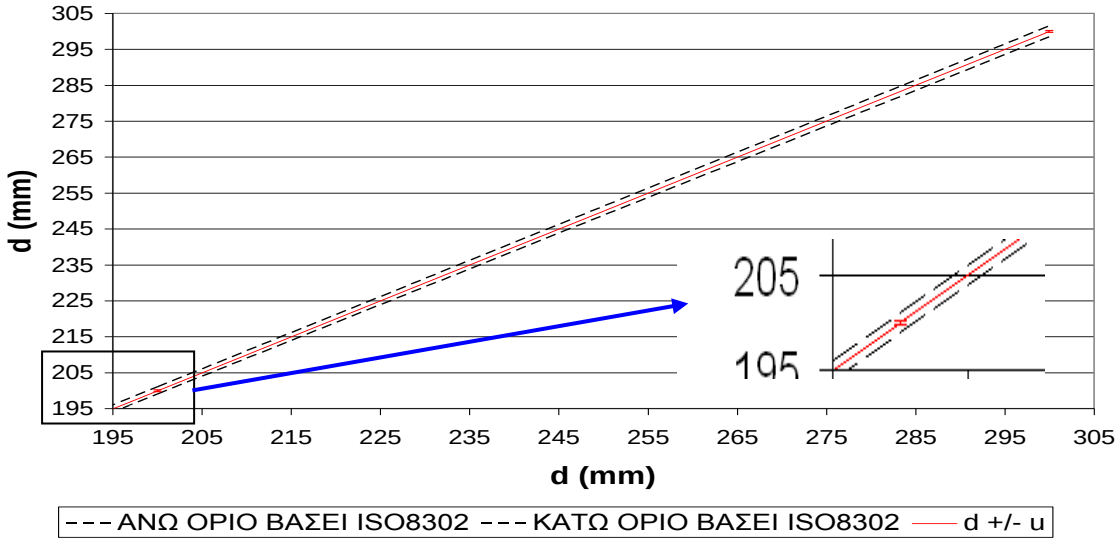
Μετρούμενη Μάζα M (gr)	M x 0,5% (gr)	Μετρούμενη Μάζα M (gr)	M x 0,5% (gr)	Μετρούμενη Μάζα M gr)	M x 0,5% (gr)	Μετρούμενη Μάζα M (gr)	M x 0,5% (gr)
100	0.50	2000	10.00	4000	20.00	8500	42.50
500	2.50	2500	12.50	4500	22.50	9000	45.00
1000	5.00	3000	15.00	5000	25.00	9500	47.50
1500	7.50	3500	17.50	8000	40.00	10000	50.00

- Διαστασιολόγηση δοκιμίων

Η διαστασιολόγηση των δοκιμίων πραγματοποιείται με χρήση μηχανικού παχύμετρου με δυνατότητα μέτρησης από 0 έως 300 mm. Τα αποτελέσματα των διακριβώσεων για 5 έτη παρουσιάζονται στα κάτωθι σχήματα..



Σχήμα 6: Ιστορικό διακριβώσεων μηχανικού παχυμέτρου



Σχήμα 7: Απόλυτη μέτρηση μηχανικού παχύμετρου (κατά ISO 8302)

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται η τιμή της συνδυασμένης αβεβαιότητας συναρτήσει της μέτρησης. Η μέγιστη τιμή της συνδυασμένης αβεβαιότητας είναι της τάξεως των 25 μm. Στο Σχήμα 7 δίδεται η μέγιστη τιμή συναρτήσει των ορίων που τίθενται από τα πρότυπα μέτρησης (ΕΛΟΤ ΕΝ 12664:2001, ΕΛΟΤ ΕΝ 12667:2001). Σε κάθε περίπτωση, οι τιμές είναι εντός των ορίων, ενώ το ιστορικό των διακριβώσεων δεν παρουσιάζει σημαντική ολίσθηση των τιμών. Αυτό οφείλεται, κατ΄ εκτίμηση στη σωστή τήρηση των διαδικασιών χρήσης του εξοπλισμού, συντήρησης και ελέγχων.

2.4 Παράμετροι αβεβαιότητας μέτρησης κατά τον προσδιορισμό του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ) υλικού

Για την εκτίμηση της αβεβαιότητας της μέτρησης του συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ ενός υλικού, λαμβάνονται επιπρόσθετοι παράγοντες οι οποίοι δύναται να επηρεάσουν δυσμενώς το τελικό αποτέλεσμα της μέτρησης. Οι πιο βασικοί από αυτούς είναι (ΕΛΟΤ ΕΝ 12664:2001, ΕΛΟΤ ΕΝ 12667:2001):

- Παράγοντες αβεβαιότητας που σχετίζονται με τις διαστάσεις και τις ανοχές των δοκιμίων (μέτρηση πάχους, μήκους και πλάτους των δοκιμίων / επιπεδότητα και καθετότητα).
- Παράγοντες αβεβαιότητας που σχετίζονται με τη θερμοκρασία (επίπτωση της διαφοράς θέσεων των αισθητήρων, πτώση της θερμοκρασίας και η μέτρηση απόλυτης θερμοκρασίας).
- Παράγοντες αβεβαιότητας που σχετίζονται με την ισχύ θέρμανσης και διάφοροι άλλοι όπως για παράδειγμα η ισορροπία μετρητικής επιφάνειας/ δακτυλίου προστασίας επιφανειών, η ισορροπία αέρα / μετρητικής επιφάνειας, η μέγιστη απόκλιση επιπεδότητας κατά τον έλεγχο των πλακών (ψυχρών και θερμής), οι πλευρικές απώλειες από τις κάθετες πλευρές του δοκιμίου.

Όλοι οι παράγοντες της αβεβαιότητας μετά την επεξεργασία τους αθροίζονται και δίνουν το τελικό αποτέλεσμα της διευρυμένης αβεβαιότητας της εκάστοτε πειραματικής διαδικασίας σε ένα επίπεδο εμπιστοσύνης 95% με συντελεστή κάλυψης k=2.

Το εργαστήριο, με το σύνολο των διακριβώσεων και ελέγχων που πραγματοποιεί παρέχει μετρήσεις των οποίων η υπολογιζόμενη αβεβαιότητα μέτρησης κυμαίνεται κάτω από προβλεπόμενα όρια, ενώ οποιαδήποτε τιμή που τα υπερβαίνει οφείλεται σε κατασκευαστικές ατέλειες στη μορφή των δοκιμίων (μήκος, πλάτος, πάχος, επιπεδότητα).

3. Συμπεράσματα

Η εκτίμηση της αβεβαιότητας μέτρησης κατά τον προσδιορισμό του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας / θερμικής αντίστασης ενός υλικού, αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία, δεδομένου ότι λαμβάνονται υπόψη πλήθος εξωγενών και ενδογενών παραγόντων μέτρησης. Ορισμένοι από τους παράγοντες δύναται να προσδιοριστούν μέσω συγκεκριμένων διαδικασιών όπως για παράδειγμα μέσω της διακρίβωσης του εξοπλισμού, ενώ άλλοι είναι εκτιμώμενοι μέσω συγκριτικών δοκιμών.

Τέτοιου είδους εκτιμήσεις πραγματοποιούνται με τη χρήση των υλικών αναφοράς και την επανάληψη πλήθους πειραμάτων. Στην περίπτωση που η επανάληψη της πειραματικής διαδικασίας προϋποθέτει την απομάκρυνση και επανατοποθέτηση του υλικού εντός της πειραματικής διάταξης, τότε γίνεται λόγος για αναπαραγωγή των αποτελεσμάτων, ενώ σε αντίθετη περίπτωση για την επαναληψιμότητα της διάταξης.

Στην περίπτωση της Διάταξης της ΠΘΠ του εργαστηρίου ΕΜΕ του ΚΑΠΕ, η επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων σε δεδομένη θερμοκρασία δεν παρουσιάζει αποκλίσεις από το όριο που έχει τεθεί βάσει των προτύπων κατασκευής και μέτρησης, με αποτέλεσμα να μην επηρεάζει την εκτίμηση της αβεβαιότητας της μέτρησης των υλικών.

Ωστόσο, ο έλεγχος της γραμμής σήματος είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει δυσμενώς την τελική εκτίμηση της αβεβαιότητας της μέτρησης καθώς επίσης αποτελεί κι ένα σημαντικό δείκτη καλής λειτουργίας της διάταξης.

Όσον αφορά στον υπόλοιπο χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό, δεδομένου ότι τηρούνται όλες οι προβλεπόμενες διαδικασίες, η επιρροή των αποτελεσμάτων της διακρίβωσης αυτού παίζει μεν καθοριστικό ρόλο κατά την εκτίμηση της αβεβαιότητας της μέτρησης, διατηρώντας δε το αποτέλεσμα εντός των καθοριζόμενων από τα πρότυπα ορίων. Κατά αυτόν τον τρόπο το εργαστήριο ΕΜΕ δύναται να διασφαλίζει την αξιοπιστία των παρεχόμενων υπηρεσιών του.

4. Βιβλιογραφία

Αλεξανδρόπουλος Α., Κατωπόδις Ε.., Παλιατσός Α., Πρεζεράκος Ν.: «*Στατιστική*», Σύγχρονη Εκδοτική, 1994.

ΕΛΟΤ ΕΝ 12664:2001: Θερμική απόδοση κτιριακών υλικών και προϊόντων - Προσδιορισμός θερμικής αντίστασης με τις μεθόδους προστατευμένης θερμικής πλάκας και μέτρησης ροής θερμότητας - Ξηρά και υγρά προϊόντα μέσης και χαμηλής θερμικής αντίστασης.

ΕΛΟΤ ΕΝ 12667:2001: Θερμική απόδοση κτιριακών υλικών και προϊόντων - Προσδιορισμός θερμικής αντίστασης με τις μεθόδους προστατευμένης θερμικής πλάκας και μέτρησης ροής θερμότητας - Προϊόντα υψηλής και μέσης θερμικής αντίστασης.

EA-4/02 M:2013: Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration, European Accreditation, 2013.

JCGM 100:2008: GUM 1995 with minor corrections: Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement, Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG 1), 2008.

ISO 8302:1991: Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Guarded hot plate apparatus.

Salmon D. & Stacey C.: "*Operating procedure for the determination of thermal Conductivity using the NPL Type-500 Guarded Hot Plate"*. National Physics Laboratory, 1999.