ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΠΑΓΙΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Χ. Κώνστας, Σ. Μπαμπαλής, Ε. Μαθιουλάκης και Β. Μπελεσιώτης
Εργαστήριο Ηλιακών & άλλων Ενεργειακών Συστημάτων - ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ»
15310 Αγ. Παρασκευή Αττικής
e-mail: ckonstas@ipta.demokritos.gr

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια πειραματική διερεύνηση των μεθόδων προσδιορισμού των πάγιων θερμικών απωλειών δεξαμενών αποθήκευσης ζεστού νερού, υπό το πρίσμα των νέων ευρωπαϊκών κανονισμών για τον οικολογικό σχεδιασμό και την ενεργειακή επισήμανση προϊόντων θέρμανσης νερού. Διαπιστώνεται ότι η επιλογή της μεθόδου δοκιμής δύναται να επιδράσει τόσο στην αριθμητική τιμή του τελικού αποτελέσματος, όσο και στην κατάταξη του προϊόντος σε ενεργειακή κλάση, γεγονός που με τη σειρά του δύναται να επηρεάσει την εμπορική του εξέλιξη.

Επίσης διαπιστώνεται ότι οι σημαντικότεροι παράμετροι αβεβαιότητας δεν θα πρέπει να αναζητηθούν στις διαδικασίες μέτρησης και στην μετρολογική ποιότητα του μετρητικού εξοπλισμού, αλλά στην φαινομενολογία της μεθόδου δοκιμής και στο μετρούμενο φυσικό μέγεθος αυτό κάθε αυτό.

Τέλος επιβεβαιώνεται ότι μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους κατά τη διαδικασία πιστοποίησης προϊόντων αποτελεί ο χειρισμός της εκτιμώμενης αβεβαιότητας σε συνδυασμό με την επιλογή του διαστήματος εμπιστοσύνης.

Λέξεις-Κλειδιά: πάγιες θερμικές απώλειες , αβεβαιότητα, σύγκριση μεθόδων δοκιμών

Abstract

This paper presents an experimental investigation of methods for the determination of standing heat loss of hot water storage tanks, in consideration of the new European Regulation for ecodesign and energy labeling of water heating products. It noted that the choice of the test method may affect both the numeric value of the final result, and the classification of the product in energy class, which in turn may take affect the commercial development of the product.
It is also noted that the major uncertainty parameters should not be found in the measurement processes and metrological quality of the measuring equipment, but in the phenomenology of the test method and that measured physical quantity.

Finally is confirmed that one of the most important parameters in the product certification process is the handling of the estimated uncertainty in conjuction with the confidences interval selection.

Keywords: standing heat loss, uncertainty, comparison of test methods

1. Εισαγωγή

Στα πλαίσια της ευρύτερης προσπάθειας εξοικονόμησης ενέργειας εντός των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, τέθηκαν πρόσφατα σε εφαρμογή οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί για τον οικολογικό σχεδιασμό και την ενεργειακή σήμανση προϊόντων θέρμανσης νερού. Σκοπός των εν λόγω κανονισμών είναι ο καθορισμός των ελάχιστων ενεργειακών απαιτήσεων για τον οικολογικό σχεδιασμό προϊόντων θέρμανσης νερού (κανονισμός 814/2013) καθώς και η κατάταξη τους σε ενεργειακές κατηγορίες (κανονισμός 812/2013). Στα προαναφερόμενα προϊόντα συγκαταλέγονται και οι δεξαμενές αποθήκευσης ζεστού νερού, ο χαρακτηρισμός των οποίων πραγματοποιείται με βάση το μέγεθος των πάγιων θερμικών απωλειών S.

Οι θερμικές απώλειες ενός δοχείου αποθήκευσης θερμότητας χαρακτηρίζονται από τον συντελεστή θερμικών απωλειών, ο προσδιορισμός του οποίου δύναται να πραγματοποιηθεί με τρεις μεθόδους δοκιμών οι οποίες περιγράφονται στα αντίστοιχα διεθνή πρότυπα. Για λόγους συγκρισιμότητας τα αποτελέσματα των τριών μεθόδων δοκιμής μετατρέπονται με χρήση των συναρτήσεων που δίδονται από τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς σε πάγιες θερμικές απώλειες S εκφραζόμενες σε watt.

Η πρώτη μέθοδος δοκιμής αφορά τα έμμεσα θερμαινόμενα δοχεία αποθήκευσης θερμότητας και συνίσταται στην μέτρηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του περιεχόμενου νερού σε ένα συγκεκριμένο θερμοκρασιακό επίπεδο (Πρότυπο *ΕΛΟΤ ΕΝ 12897 «Water supply – Specification for indirectly heated unvented (closed) storage water heaters»*) [1]. Η δεύτερη μέθοδος αναφέρεται σε θερμοδοχεία θερμικών ηλιακών συστημάτων και συνίσταται στην μέτρηση της πτώσης της θερμοκρασίας του περιεχόμενου στο θερμοδοχείο νερού κατά τη διάρκεια της νύχτας, συναρτήσει κλιματολογικών παραμέτρων (Πρότυπο *ΕΛΟΤ ΕΝ 12976-2 «Thermal solar systems and components – Factory made systems – Part 2: Test methods»*) [2]. Η τρίτη μέθοδος αναφέρεται επίσης σε θερμοδοχεία θερμικών ηλιακών συστημάτων και συνίσταται στον προσδιορισμό χαρακτηριστικών παραμέτρων ενός θερμοδοχείου έπειτα από μια σειρά δοκιμών και ανάλυσης μέσω ενός πολυπαραμετρικού μαθηματικού μοντέλου προσομοίωσης (Πρότυπο *EN 12977 -3 «Thermal solar systems and components - Custom built systems - Part 3: Performance test methods for solar water heater stores»*).

Δεδομένου ότι το ίδιο προϊόν δύναται να χρησιμοποιηθεί ως έμμεσα θερμαινόμενο δοχείο αποθήκευσης θερμότητας αλλά και ως δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας ενός θερμικού ηλιακού συστήματος, η επιλογή της μεθόδου προσδιορισμού των παγίων απωλειών ενδεχομένως να επηρεάσει το τελικό αποτέλεσμα και συνεπώς να οδηγήσει στην κατάταξη του προϊόντος σε διαφορετική ενεργειακή κατηγορία, τίθεται το θέμα της συγκρισιμότητας των αποτελεσμάτων.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται μια συστηματική πειραματική διερεύνηση των μεθόδων δοκιμών, περιοριζόμενη όμως για πρακτικούς λόγους στις δύο πρώτες μεθόδους, δεδομένου ότι λόγω απουσίας ενδιαφέροντος δοκιμών σύμφωνα με την τρίτη μέθοδο, το εργαστήριο Ηλιακών και Άλλων Ενεργειακών Συστημάτων του ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» δεν έχει προχωρήσει μέχρι στιγμής στις απαραίτητες για την εφαρμογή της μεθόδου τροποποιήσεις των εγκαταστάσεων του.

2. Πειραματική διερεύνηση

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν σειρές δοκιμών σε δύο αντιπροσωπευτικές δεξαμενές αποθήκευσης θερμότητας κάθετης διαμόρφωσης του ιδίου κατασκευαστή Α και Β, τα χαρακτηριστικά των οποίων περιγράφονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά δοχείων αποθήκευσης θερμότητας

Παράμετρος	Δοχείο Α	Δοχείο Β
Όγκος [lt]	290,1	202,1
Ύψος [m]	1.93	1.40
Διάμετρος [cm]	60.3	60.3
Μόνωση	Αφρός Πολυουρεθάνης, 65mm	

Πριν από την έναρξη των δοκιμών προσδιορίστηκε ο «ενεργός όγκος» Cact των δοχείων σύμφωνα με τη μεθοδολογία η οποία αναφέρεται στους ευρωπαϊκούς κανονισμούς, δεδομένου ότι τα όρια για την κατάταξη ενός δοχείου σε μια ενεργειακή κλάση βάση των πάγιων θερμικών απωλειών υπολογίζονται συναρτήσει του όγκου (πίνακας 2).

Πινακας 2: Ενεργειακή κατάταξη δοχείων αποθήκευσης θερμότητας

Τάξη ενεργειακής απόδοσης	Πάγιες απώλειες S, σε Watt, συναρτήσει της χωρητικότητας αποθήκευσης V, σε λίτρα
A+	$S < 5{,}5 + 3{,}16 * V^{0,4}$
A	$5{,}5 + 3{,}16 * V^{0,4} \leq S < 8{,}5 + 4{,}25 * V^{0,4}$
B	$8{,}5 + 4{,}25 * V^{0,4} \leq S < 12 + 5{,}93 * V^{0,4}$
C	$12 + 5{,}93 * V^{0,4} \leq S < 16{,}66 + 8{,}33 * V^{0,4}$
D	$16{,}66 + 8{,}33 * V^{0,4} \leq S < 21 + 10{,}33 * V^{0,4}$
E	$21 + 10{,}33 * V^{0,4} \leq S < 26 + 13{,}66 * V^{0,4}$
F	$26 + 13{,}66 * V^{0,4} \leq S < 31 + 16{,}66 * V^{0,4}$
G	$S > 31 + 16{,}66 * V^{0,4}$

Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε εσωτερικό χώρο σταθερών περιβαλλοντικών συνθηκών και χρησιμοποιήθηκε διακριβωμένος μετρητικός εξοπλισμός του εργαστηρίου.

2.1 Μέθοδος δοκιμής σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ ΕΝ 12897

Η δοκιμή προσδιορισμού των θερμικών απωλειών πραγματοποιείται κάνοντας χρήση του ενσωματωμένου στο δοχείο θερμαντικού στοιχείου (ηλεκτρική αντίσταση), καταγράφοντας την ενέργεια που πρέπει να προσδώσουμε στο νερό έτσι ώστε η θερμοκρασία αυτού στο επάνω μέρος του δοχείου να παραμένει σταθερή. Εάν στο δοχείο

δεν υπάρχει ηλεκτρική αντίσταση τότε λαμβάνεται μέριμνα ώστε να τοποθετηθεί σε κατάλληλο σημείο.

Η θερμοκρασία στο επάνω μέρος του δοχείου καταγράφεται με θερμόμετρο τύπου Pt100 ευρισκόμενο εντός κυαθίου κατάλληλα προσαρμοσμένου στο επάνω μέρος αυτού. Η ηλεκτρική αντίσταση ενεργοποιείται, με τη βοήθεια ηλεκτρονικού ελεγκτή, έτσι ώστε η θερμοκρασία στο πάνω μέρος της δεξαμενής (αισθητήριο T2) να διατηρείται σταθερή και ίση με 65±2 ^{o}C. Χρησιμοποιώντας όργανο μέτρησης ηλεκτρικής ισχύος στο κύκλωμα τροφοδοσίας της ηλεκτρικής αντίστασης καταγράφεται η ηλεκτρική κατανάλωση *E*, σε [kWh] για διαδοχικά 24ωρα, μετά από μια αρχική περίοδο σταθεροποίησης 24 ωρών. Η τιμή της ηλεκτρικής κατανάλωσης θεωρείται σταθερή όταν οι διαδοχικές 24ωρες καταγραφές είναι σταθερές, με απόκλιση ±2%. Σε περίπτωση μεγαλυτέρων αποκλίσεων λαμβάνεται ο μέσος όρος επτά διαδοχικών 24ωρων καταγραφών.

Οι θερμικές απώλειες δεξαμενής Qst σε [kWh] ανά 24ωρο, υπολογίζονται , σύμφωνα με τις προβλέψεις του προτύπου, από τη σχέση:

$$Q_{\mathrm{st}} = E \times \left(\frac{45}{T_2(\mathrm{av}) - T_{\mathrm{a}}} \right) \qquad (1)$$

όπου Ta είναι η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος και T2(av) η μέση θερμοκρασία που καταγράφεται από το θερμοστοιχείο στο επάνω μέρος της δεξαμενής.

Ο υπολογισμός των παγίων απωλειών S σε [watt] πραγματοποιείται με την χρήση της ακόλουθης σχέσης η οποία δίνεται από τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς

$$S = Q_{st} * \frac{1000}{3600} \qquad (2)$$

2.2 Μέθοδος δοκιμής σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ ΕΝ 12976-2

Ο συντελεστής θερμικών απωλειών, Ust, προσδιορίζεται καταγράφοντας την πτώση της θερμοκρασίας του νερού του δοχείου, το οποίο αφήνεται σε ηρεμία επί ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Χρησιμοποιώντας την ενσωματωμένη στα δοχεία ηλεκτρική αντίσταση το νερό θερμάνθηκε μέχρι τη θερμοκρασία των 65 ^{o}C. Η θερμοκρασία του νερού εντός των δοχείων ομογενοποιήθηκε με ανακυκλοφορία, και καταγράφηκαν οι αρχικές θερμοκρασίες , Ti , ενώ στην συνέχεια τα δοχεία αφέθηκαν σε ηρεμία επί ένα χρονικό διάστημα Δ*t* 48 ωρών, καταγράφοντας την θερμοκρασία περιβάλλοντος Τα. Με το πέρας του χρονικού διαστήματος Δ*t* η θερμοκρασία του νερού ομογενοποιήθηκε εκ νέου και καταγράφηκαν οι τελικές θερμοκρασίες, Tf. Το διεθνές πρότυπο θεσπίζει ως κριτήριο αποδοχής ομογενοποίησης την σταθερότητα της θερμοκρασίας στην έξοδο του υπό δοκιμή δοχείου κατά 1 ^{o}C για διάστημα 15 λεπτών και οι θερμοκρασίες Ti, Tf προέκυψαν από τον μέσο όρο των μετρούμενων τιμών κατά το χρονικό διάστημα αυτό. Ο συντελεστής θερμικών απωλειών Ust, σε [W/K], υπολογίζεται, σύμφωνα με τις προβλέψεις του προτύπου, από την σχέση:

$$U_{\mathrm{st}} = \frac{\rho w \times Cpw \times Vs}{\Delta t} \times \ln\left[\frac{Ti - Ta}{Tf - Ta}\right] \qquad (3)$$

όπου Τα είναι η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ενώ Vs ο όγκος του θερμοδοχείου

Δεδομένου ότι τόσο η πυκνότητα, ρw , όσο και η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού, Cpw, είναι μεγέθη εξαρτώμενα από την θερμοκρασία, ο υπολογισμός της αριθμητικής τους τιμής πραγματοποιήθηκε στην μέση θερμοκρασία, *Tsm*, στην οποία βρέθηκε το νερό των δοχείων κατά τη διάρκεια της δοκιμής, χρησιμοποιώντας σχέσεις και συντελεστές που αναφέρονται στην βιβλιογραφία [3].

Ο υπολογισμός των παγίων απωλειών S σε [watt] πραγματοποιείται με την χρήση της ακόλουθης σχέσης η οποία δίνεται από τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς

$$S = U_{st} * 45 \qquad (4)$$

2.3 Αποτελέσματα

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν και στα δύο δοχεία επαναλαμβανόμενες δοκιμές και με τις δύο μεθόδους, τα αποτελέσματα των οποίων απεικονίζονται στους πίνακες 3 και 4. Για κάθε δοκιμή υπολογίστηκε η συνολική αβεβαιότητα του τελικού αποτελέσματος, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που έχει παρουσιαστεί σε προγενέστερη εργασία [4] .

Πίνακας 3 : Αποτελέσματα δοκιμών δοχείου Α

Δοχείο Α (V=290.1 lt)			
ΕΛΟΤ EN 12897		ΕΛΟΤ EN 12976-2	
S [w]	Κλάση	S [w]	Κλάση
143.55	E	140.95	E
135.67	E	139.66	E
		140.77	E

Πίνακας 4 : Αποτελέσματα δοκιμών δοχείου Β

Δοχείο Β (V=202.1 lt)			
ΕΛΟΤ EN 12897		ΕΛΟΤ EN 12976-2	
S [w]	Κλάση	S [w]	Κλάση
86.54	D	106.89	D
85.06	C	99.32	D

Λαμβάνοντας υπόψη την απαίτηση των ευρωπαικών κανονισμών, η οποία θέτει σε περίπτωση επαλήθευσης, ως μέγιστο όριο απόκλισης της μετρούμενης τιμής των πάγιων θερμικών απωλειών το 5% της ονομαστικής τους τιμής, πραγματοποιήθηκε μια σύγκριση τόσο ανάμεσα στα αποτελέσματα κάθε μεθόδου, όσο στα αποτελέσματα των μεθόδων μεταξύ τους. Στον πίνακα 5 εμφανίζονται για κάθε δοχείο οι μέγιστες αποκλίσεις για κάθε μέθοδο δοκιμής, οι αποκλίσεις των μεθόδων μεταξύ τους καθώς και η μέγιστη διευρυμένη αβεβαιότητα κάθε μεθόδου εκφραζόμενη ως σχετική αβεβαιότητα και για διάστημα εμπιστοσύνης ίσο με 95% (κ=2).

Πίνακας 5 : Αποτελέσματα σύγκρισης και αβεβαιότητες μεθόδων

	Δοχείο Α		Δοχειο Β	
	ΔSmax [%]	Umax [%]	ΔSmax [%]	Umax [%]
EN 12897	2,82	0,58	0,86	0,58
EN 12976-2	0,57	1,30	3,67	1,35
Σύγκριση μεθόδων	0,61	-	16,78	-

2.4 Αβεβαιότητες μέτρησης και πιστοποίηση προϊόντος

Είναι γνωστό ότι κάθε αριθμητική τιμή ενός μετρούμενου μεγέθους συνοδεύεται από μια τιμή αβεβαιότητας, η «πραγματική» τιμή του μετρούμενου μεγέθους αναμένεται να βρίσκεται με μια συγκεκριμένη πιθανότητα (ποσοστό κάλυψης) εντός ενός διαστήματος τιμών (διάστημα εμπιστοσύνης). Το γεγονός αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για τις διαδικασίες κατάταξης προϊόντων, δεδομένου ότι το διάστημα εμπιστοσύνης ενδέχεται να καλύπτει τα όρια δύο κατηγοριών, δηλαδή η «πραγματική» τιμή του μετρούμενου ή υπολογιζόμενου μεγέθους να βρίσκεται με την ίδια πιθανότητα σε δύο διαφορετικές κατηγορίες, δημιουργώντας καταυτόν τον τρόπο έναν προβληματισμό.

Στην περίπτωση των κανονισμών που εξετάζονται στην παρούσα εργασία, ο προβληματισμός αυτός εντείνεται, καθότι δεν αναφέρονται τα όρια μέσα στα οποία οφείλει να κινείται η αβεβαιότητα του υπολογιζόμενου μεγέθους, το διάστημα εμπιστοσύνης στο οποίο θα περιλαμβάνεται η μετρούμενη τιμή και δεν δίνεται κάποια διευκρίνιση για περιπτώσεις όμοιες με αυτήν που προαναφέρθηκε. Αντί αυτού δίνεται ένα επιτρεπτό ποσοστό μέγιστης απόκλισης της μετρούμενης τιμής κατά τη διαδικασία επαλήθευσης, διαδικασία κατά την οποία προστίθενται και νέες πηγές αβεβαιότητας οι οποίες άπτονται της παραγωγικής διαδικασίας.

Υπό το πρίσμα αυτό, θεωρήθηκε σκόπιμο να διερευνηθεί η επίδραση της αβεβαιότητας υπολογισμού των πάγιων απωλειών μιας δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού στην ενεργειακή κατάταξη του προϊόντος.

Λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις ορθότητας για την μέτρηση των επί μέρους φυσικών μεγεθών που δίνονται στην σχετική ανακοίνωση εφαρμογής των κανονισμών 2014/C, 207/03 του πίνακα 6 και για ορθογώνια κατανομή σφάλματος, υπολογίστηκαν εκ νέου οι αβεβαιότητες στην αριθμητική τιμή των πάγιων απωλειών για τις δύο μεθόδους δοκιμών.

Πίνακας 6 : Απαιτήσεις ορθότητας μετρούμενων μεγεθών βάση της ανακοίνωσης 2014C , 207/03

Μετρούμενο μέγεθος			Ορθότητα Μέτρησης
Περιγραφή	Σύμβολο	Μονάδες	
Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	E	Kwh	± 2%
Θερμοκρασία Νερού	T	^{o}C	± 0.5
Θερμοκρασία Περιβάλλοντος	Τα	^{o}C	± 1
Όγκος νερού στο δοχείο	Cact	lt	± 0.1

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών εμφανίζονται στον πίνακα 7 σε σύγκριση με την απαίτηση επαλήθευσης των κανονισμών και την εκτιμούμενη αβεβαιότητα μέτρησης του εργαστηρίου Ηλιακών και Άλλων Ενεργειακών Συστημάτων του ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ». Διευκρινίζεται ότι οι εμφανιζόμενες τιμές δίνονται με την μορφή διευρυμένης αβεβαιότητας για διάστημα εμπιστοσύνης 95% (k=2).

Πίνακας 7 : Όρια αβεβαιότητας και απαιτήσεις επαλήθευσης

Αβεβαιότητα	ΕΛΟΤ ΕΝ 12897	ΕΛΟΤ ΕΝ 12976-2
Απαίτηση επαλήθευσης κανονισμών	5 %	5 %
Εκτιμώμενη Αβεβαιότητα μέτρησης σύμφωνα με τις απαιτήσεις ορθότητας των κανονισμών	2.3 %	6.8 %
Αβεβαιότητα μέτρησης Εργαστηρίου	0.6 %	1.3 %

Με βάση τις τιμές του πίνακα 7, υπολογίστηκαν για κάθε περίπτωση και για κάθε μέθοδο δοκιμής το άνω και το κάτω όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης. Παράλληλα με βάση τις τιμές των ορίων αυτών πραγματοποιήθηκε εκ νέου η κατάταξη του προϊόντος σε ενεργειακή κλάση. Στον πίνακα 8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διερεύνησης για το Δοχείο Β.

Διαπιστώνεται λοιπόν ότι η τιμή της αβεβαιότητας υπολογισμού των πάγιων απωλειών, σε συνδυασμό με το επιλεγόμενο διάστημα εμπιστοσύνης δύνανται να διαφοροποιήσουν την ενεργειακή κατάταξη του προϊόντος ανεξάρτητα από την επιλογή της μεθόδου δοκιμής. Αν και θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι η απαίτηση των κανονισμών να δίνονται τα τελικά αποτελέσματα στρογγυλοποιημένα στον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό εμπεριέχει μια μορφή συνυπολογισμού της αβεβαιότητας μέτρησης, πρακτικά αποδεικνύεται ότι το ποσό αυτό, η μέγιστη τιμή του οποίου ανέρχεται σε 0.5 watt οδηγεί σε μια υποεκτίμηση της πραγματικότητας, η οποία στην καλύτερη περίπτωση (αυτή του εργαστηρίου ΕΗ-ΕΣ) είναι της τάξεως των 1-2 watt.

Πίνακας 8: Αποτελέσματα διερεύνησης της επίδρασης των εκτιμούμενων αβεβαιοτήτων στην ενεργειακή κατάταξη του Δοχείου Β

		ΕΛΟΤ ΕΝ 12897		ΕΛΟΤ ΕΝ 12976-2	
		S [w]	Κλάση	S [w]	Κλάση
Μετρηθείσα τιμή		87	D	107	D
Επαναληψημό-τητα κανονισμού	Άνω όριο	91	D	112	E
	Κάτω όριο	82	C	102	D
Αβεβαιότητα κανονισμών	Άνω όριο	89	D	114	E
	Κάτω όριο	85	C	100	D
Αβεβαιότητα Εργαστηρίου ΕΗ-ΕΣ	Άνω όριο	87	D	108	E
	Κάτω όριο	86	C	106	D

3. Συμπεράσματα

Παρόλο που στις περισσότερες των περιπτώσεων δεν υπήρξε διαφοροποίηση στην ενεργειακή κατάταξη των δοχείων, η επιλογή της μεθόδου δοκιμής δύναται να επιδράσει σε αυτήν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το δοχείο Β, του οποίου οι υπολογιζόμενες με το ΕΝ 12976-2 πάγιες απώλειες το κατατάσσουν ξεκάθαρα στην κλάση D, (μάλιστα η πρώτη δοκιμή «αγγίζει» το κάτω όριο της κατηγορίας Ε που βρίσκεται στα 107,4 watt), ενώ οι υπολογιζόμενες με το ΕΝ 12897 πάγιες απώλειες το κατατάσσουν στην κλάση C (η πρώτη δοκιμή έχει ξεπεράσει οριακά το άνω όριο της κλάσης C που βρίσκεται στα 86,3 watt). Προς αυτήν την κατεύθυνση συνηγορεί και η απόκλιση από την σύγκριση των δύο μεθόδων για το ίδιο δοχείο, η τιμή της οποία είναι σχεδόν τριπλάσια από το ανώτατο όριο που θέτουν οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί.

Στον αντίποδα αυτής της διαπίστωσης βρίσκονται τα αποτελέσματα του δοχείου Α οι αποκλίσεις των οποίων τόσο ανάμεσα στις ίδιες δοκιμές όσο και ανάμεσα στις δύο μεθόδους βρίσκονται εντός των θεσμοθετημένων ορίων.

Με δεδομένο ότι τα δύο δοχεία έχουν πανομοιότυπη κατασκευή και ότι οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με τον ίδιο εργαστηριακό εξοπλισμό, κάτω από σταθερές περιβαντολλογικές συνθήκες, οι αιτίες για αυτήν τη διαφοροποίηση θα πρέπει να αναζητηθούν στην φαινομενολογία των ίδιων των μεθόδων δοκιμών. Το γεγονός αυτό επαληθεύεται από δύο ακόμα παρατηρήσεις των αποτελεσμάτων. Παρατηρείται λοιπόν ότι η τιμή της υπολογιζόμενης αβεβαιότητας των μετρήσεων είναι τις περισσότερες φορές μικρότερη από τις αποκλίσεις των επαναλαμβανόμενων δοκιμών, καθώς και πως η βασιζόμενη στο ΕΝ 12976-2 μέθοδος δοκιμής προσδιορίζει σταθερά υψηλότερες πάγιες απώλειες, οι οποίες δεν δύναται να καλυφθούν από τις υπολογιζόμενες μετρητικές αβεβαιότητες.

Οι αιτίες για αυτό θα πρέπει να αναζητηθούν σε παραμέτρους οι οποίες έχουν να κάνουν με τη διαδικασία δοκιμής καθώς και με το ίδιο το μετρούμενο φυσικό φαινόμενο. Ο προσδιορισμός της τελικής θερμοκρασίας του δοχείου με ομογενοποίηση (ανακυκλοφορία) είναι συνυφασμένος με επιπλέον θερμικές απώλειες, λόγω της εισόδου κρύου νερού από τις σωληνώσεις κατά την έναυση της ανακυκλοφορίας. Όσο μεγαλύτερη είναι διάρκεια της ομογενοποίησης (πχ. λόγω έντονης θερμοκρασιακής διαστρωμάτωσης του νερού μέσα στο δοχείο), τόσο μεγαλύτερη θα είναι η επίδραση στην θερμοκρασία του νερού στο δοχείο λόγω θερμικών απωλειών διαμέσου των σωληνώσεων, αλλά και μέσω του αυξημένου συντελεστή θερμικών απωλειών λόγω εξαναγκασμένης συναγωγής.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι η τιμή της αβεβαιότητας με την οποία προσδιορίζεται το τελικό αποτέλεσμα σε συνδυασμό με την επιλογή του διαστήματος εμπιστοσύνης δύνανται να επηρεάσουν την ενεργειακή κατάταξη του προϊόντος. Αν σε αυτό το γεγονός ληφθεί υπόψη και η επιλογή της μεθόδου, η διαφοροποίηση αυτή μπορεί να φτάσει και τις τρεις ενεργειακές κλάσεις (βλ. πίνακα 8).

4. Βιβλιογραφία

[1] Πρότυπο *ΕΛΟΤ EN 12897 «Water supply – Specification for indirectly heated unvented (closed) storage water heaters»*

[2] Πρότυπο *ΕΛΟΤ EN 12976-2 «Thermal solar systems and components – Factory made systems – Part 2: Test methods»*)

[3] VDI Heat Atlas, Springer Verlag

[4] Σ. Μπαμπαλής, Χ. Κώνστας, Ε. Μαθιουλάκης και Β. Μπελεσιώτης: « Μέθοδοι και αβεβαιότητα προσδιορισμού θερμικών απωλειών θερμοδοχείων» 5ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, 9-10 Μαΐου 2014, Αθήνα.