

ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Μέρος 1: Εγκαταστάσεις Καύσης άνω των 20 MW

Κωνσταντίνος Κράλλης¹, Δημήτριος Σωτηρόπουλος² & Νικόλαος Ορφανουδάκης³

¹ Ήρων Σύμβουλοι Μηχανικοί, Χαριλάου Τρικούπη 107, 11473 Αθήνα

² ΔΕΗ Α.Ε., ΔΕΘ / ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, Κοζάνη

³ Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Χαλκίδας, 34400 Ψαχνά Ευβοίας
e-mail: heron@tee.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μετά την έκδοση της Κοινοτικής Οδηγίας 2003/87/ΕΚ, όλοι οι φορείς εκμετάλλευσης που έχουν σε λειτουργία εγκαταστάσεις καύσης θερμικής ισχύος άνω των 20 MW, έχουν την υποχρέωση να μετρήσουν άμεσα ή να υπολογίσουν τις ετήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Είτε πρόκειται για απευθείας μέτρηση είτε υπολογισμό μέσω μέτρησης της κατανάλωσης καυσίμου, πρέπει να προσδιορισθεί το επίπεδο αβεβαιότητας στον τελικό προσδιορισμό της ποσότητας των αερίων θερμοκηπίου.

Η απευθείας μέτρηση της κατανάλωσης του καυσίμου που προσάγεται για καύση δεν είναι πάντοτε προφανής και εύκολη διεργασία. Έτσι, στην πράξη υπάρχει ανάγκη για έμμεσο προσδιορισμό της ποσότητας καυσίμου με την χρήση μεθόδων για τις οποίες η χρήση διαφόρων μετρολογικών παραμέτρων θα οδηγήσει στον υπολογισμό των αερίων θερμοκηπίου.

Η παρούσα εισήγηση περιγράφει συνοπτικά τη μεθοδολογία και τις εφαρμογές της, αναλύει τις πηγές σφαλμάτων στις επιμέρους μετρήσεις και ποσοτικοποιεί τις επιπτώσεις τους στο τελικό αποτέλεσμα του υπολογισμού αερίων θερμοκηπίου.

Λέξεις-Κλειδιά: προσδιορισμός αβεβαιότητας, παράμετροι, αέρια θερμοκηπίου

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – Η ΟΔΗΓΙΑ ETS

Το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου εισήχθη στη Ευρωπαϊκή Ένωση με την Οδηγία 2003/87/ΕΚ και προβλέπει ότι οι βιομηχανίες θα πρέπει να γνωρίζουν με ακρίβεια τις εκπομπές CO₂ που οφείλονται στην παραγωγική τους διαδικασία και δίνει κίνητρα ώστε να τις περιορίσουν.

Οι τεχνικές απαιτήσεις για τον προσδιορισμό των εκπομπών CO₂ σε 10 κατηγορίες βιομηχανιών ως προς την μεθοδολογία και την απαιτούμενη ακρίβεια δίνονται στην απόφαση 2004/156/ΕΚ. Οι εμπλεκόμενες βιομηχανίες έχουν αναπτύξει μεθοδολογίες παρακολούθησης των εκπομπών σύμφωνα με την απόφαση αυτή και έχουν αδειοδοτηθεί για εκπομπές συγκεκριμένων ποσοτήτων CO₂ (δικαιώματα εκπομπών) από την αρμόδια εθνική αρχή (ΥΠΕΧΩΔΕ). Κάθε χρόνο συντάσσουν έκθεση με τις ποσότητες αυτές, την οποία υποβάλλουν σε διαπιστευμένο Φορέα Επαλήθευσης για έλεγχο και επαλήθευση. Με βάση τις επαληθευμένες εκθέσεις οι εμπλεκόμενες βιομηχανίες πρέπει να αγοράσουν από την

ελεύθερη αγορά δικαιώματα εκπομπών για τις υπερβάσεις ή να πωλήσουν δικαιώματα εκπομπών που δεν χρησιμοποίησαν.

Ο επιθεωρητής του Φορέα Επαλήθευσης πρέπει να ελέγξει την συμμόρφωση των εκθέσεων εκπομπών τόσο ως προς τις ποσότητες όσο και ως προς την ακρίβεια των μετρήσεων και των υπολογισμών.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO₂

2.1. Μέτρηση

Η μεθοδολογία αυτή, αν και θεωρητικά απλή, έχει περιορισμένη έως μηδενική εφαρμογή, λόγω κυρίως της δυσκολίας μέτρησης της παροχής καυσαερίων, όπως θα εξηγηθεί στη συνέχεια. Συγκεκριμένα συνίσταται στην μέτρηση της παροχής των καυσαερίων και της συγκέντρωσης CO₂ σε αυτά. Επιπλέον, για αναγωγή σε κανονικές συνθήκες, ώστε να είναι δυνατή η έκφραση του CO₂ σε μάζα (τόνους), είναι απαραίτητη η ταυτόχρονη μέτρηση θερμοκρασίας και πίεσης.

Από τα παραπάνω μεγέθη, ιδιαίτερη δυσκολία παρουσιάζει ο προσδιορισμός της αβεβαιότητας στη μέτρηση παροχής των καυσαερίων, η οποία είναι τάξης μεγέθους εκατοντάδων χιλιάδων έως εκατομμυρίων m³/h. Η μέτρηση παροχής μπορεί να γίνει με Venturi, διάφραγμα ή διάταξη σωλήνων Pitot. Δυστυχώς η διακρίβωση μιας τέτοιας μετρητικής διάταξης είναι πολύ δύσκολη λόγω του μεγέθους της.

Όσον αφορά τις λοιπές μετρήσεις, ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης CO₂ είναι πλέον εφικτός με on-line αισθητήρες που βασίζονται σε οπτικές μεθόδους και διακρίβώνονται εύκολα επιτόπου με πρότυπο μείγμα αερίων. Εύκολη είναι επίσης η διακρίβωση μανομέτρων και θερμομέτρων.

Παρ' ότι όμως οι μετρήσεις αυτές μπορούν να θεωρηθούν αρκετά ακριβείς (ως μεμονωμένες μετρήσεις), εντούτοις η έντονη διαφοροποίηση της κατανομής των ταχυτήτων σε έναν αγωγό καυσαερίων ισοδύναμης διαμέτρου μερικών μέτρων αποτελεί σημαντικό παράγοντα εισαγωγής αβεβαιότητας και στις μετρήσεις αυτές.

2.2. Υπολογισμός

Λόγω του προβλήματος που αναφέρθηκε παραπάνω, σχεδόν όλες οι βιομηχανίες προτιμούν τη μεθοδολογία του «υπολογισμού». Σύμφωνα με αυτή, η ποσότητα των εκπομπών CO₂ προκύπτει από τις αναλώσεις καυσίμων και πρώτων υλών, χρησιμοποιώντας εργαστηριακές χημικές αναλύσεις. Επομένως η συνολική αβεβαιότητα προκύπτει με μαθηματική σύνθεση από τις αβεβαιότητες προσδιορισμού της μάζας καυσίμων και πρώτων υλών, τα οποία οι περισσότερες βιομηχανίες μετρούν με κάποιο βαθμό ακρίβειας για λόγους τιμολόγησης και από τις αβεβαιότητες των χημικών αναλύσεων, οι οποίες είναι γνωστές τουλάχιστον για τα διαπιστευμένα εργαστήρια.

Στις επόμενες παραγράφους θα επικεντρωθούμε στην μεθοδολογία του «υπολογισμού».

3. ΦΥΣΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ – ΔΙΑΔΟΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΩΝ

Στην παρούσα παρουσίαση θα αναφερθούμε στην κατηγορία των μεγάλων εγκαταστάσεων καύσης. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, μονάδες παραγωγής ζεστού νερού (τηλεθέρμανση – district heating), παραγωγή βιομηχανικού ατμού, κλίβανοι προθέρμανσης μετάλλων και συναφείς δραστηριότητες.

Η μεθοδολογία διαφέρει ελαφρώς ανάλογα με την φύση του χρησιμοποιούμενου καυσίμου, αλλά σε όλες τις περιπτώσεις το «φυσικό μοντέλο» έχει τη μορφή γινομένου.

$$m_{CO_2} = D \cdot E \cdot S$$

$$D = m_F \cdot H \quad (\text{στερεά \& υγρά καύσιμα})$$

$$D = V_F \cdot H \quad (\text{αέρια καύσιμα})$$

Συνδυάζοντας τις παραπάνω εξισώσεις έχουμε τα «φυσικά μοντέλα»:

$$m_{CO_2} = m_F \cdot H \cdot E \cdot S \quad (\text{στερεά \& υγρά καύσιμα}) \quad (1\alpha)$$

$$m_{CO_2} = V_F \cdot H \cdot E \cdot S \quad (\text{αέρια καύσιμα}) \quad (1\beta)$$

όπου:

m_{CO_2} : μάζα παραγομένου CO₂ σε τόνους (t)

m_F : μάζα καταναλωθέντος καυσίμου (Mg)

V_F : όγκος καταναλωθέντος καυσίμου (Nm³)

D : δεδομένα δραστηριότητας (TJ)

E : συντελεστής εκπομπών (t/TJ)

S : συντελεστής οξειδωσης (καθαρός αριθμός, 0-1 ή 0-100%)

H : Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα καυσίμου (TJ/t ή TJ/Nm³)

Στις σχετικά μικρές μονάδες η θερμογόνος δύναμη, ο συντελεστής εκπομπών και ο συντελεστής οξειδωσης μπορούν να ληφθούν από πίνακες, οι οποίοι θεωρούνται ότι έχουν μηδενική αβεβαιότητα, οπότε όλη η αβεβαιότητα ανάγεται στην αβεβαιότητα της μέτρησης των καταναλώσεων καυσίμου.

Στις μεγάλες μονάδες πρέπει να γίνει σύνθεση των επιμέρους αβεβαιοτήτων, οι οποίες είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, με βάση ένα «μοντέλο διάδοσης αβεβαιοτήτων» [4] της μορφής:

$$u_y = \sqrt{\sum_N \left[\left(\frac{\partial M}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u_{xi}^2 \right]}$$

όπου u_{xi} οι επί μέρους αβεβαιότητες και M η εξίσωση του φυσικού μοντέλου. Εφαρμόζοντας το φυσικό μοντέλο της εξίσωσης (1α και 1β) έχουμε:

$$u_{m_{CO_2}} = \sqrt{(H \cdot E \cdot S)^2 u_{mf}^2 + (m_F \cdot E \cdot S)^2 u_H^2 + (m_F \cdot H \cdot S)^2 u_E^2 + (m_F \cdot H \cdot E)^2 u_s^2}$$

και

$$u_{m_{CO_2}} = \sqrt{(H \cdot E \cdot S)^2 u_{Vf}^2 + (V_F \cdot E \cdot S)^2 u_H^2 + (V_F \cdot H \cdot S)^2 u_E^2 + (V_F \cdot H \cdot E)^2 u_s^2}$$

ή μπορούν να γραφούν διαφορετικά:

$$\frac{u_{m_{CO_2}}}{m_{CO_2}} = \sqrt{\left(\frac{u_{mf}}{m_f}\right)^2 + \left(\frac{u_H}{H}\right)^2 + \left(\frac{u_E}{E}\right)^2 + \left(\frac{u_s}{S}\right)^2}$$

και

$$\frac{u_{m_{CO_2}}}{m_{CO_2}} = \sqrt{\left(\frac{u_{mf}}{m_f}\right)^2 + \left(\frac{u_H}{H}\right)^2 + \left(\frac{u_E}{E}\right)^2 + \left(\frac{u_s}{S}\right)^2}$$

Η αβεβαιότητα του μεγέθους m_F ή V_F είναι επίσης αποτέλεσμα σύνθεσης στην οποία υπεισέρχονται οι επιμέρους αβεβαιότητες μέτρησης παροχής και των μεγεθών αναγωγής (θερμοκρασία – πίεση – πυκνότητα).

4. ΜΟΝΑΔΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Οι μονάδες αυτές καταναλώνουν διάφορες κατηγορίες γαιανθράκων και υποκαταστάτων όπως π.χ. πετρελαϊκό κώκ (pet-coke). Στην πράξη εμφανίζονται αρκετές πηγές αβεβαιότητας, όπως θα περιγραφεί στη συνέχεια.

4.1. Κατανάλωση καυσίμου

Η κατανάλωση του καυσίμου προσδιορίζεται με ζύγιση. Παρόλο που η σημερινή τεχνολογία επιτρέπει τη ζύγιση μεγάλων ποσοτήτων με ταινιοζυγούς [6] με πολύ καλή ακρίβεια ($\pm 1-4\%$), στην πράξη υπάρχει δυσκολία λόγω ύπαρξης απαρχαιομένων εγκαταστάσεων σε πολλές παλαιότερες μονάδες. Οι μονάδες αυτές είναι σχετικά υψηλού κόστους και η άμεση αντικατάστασή τους δεν είναι εύκολη.

Η στατική περιοδική βαθμονόμηση των ταινιοζυγών δεν παρουσιάζει κάποια ιδιαίτερη τεχνική δυσκολία, όμως υπεισέρχονται ανακρίβειες που σχετίζονται με το δυναμικό χαρακτήρα της ζύγισης, δηλαδή πρόσθετη αβεβαιότητα που οφείλεται στο φαινόμενο της ελεύθερης πτώσης του καυσίμου πάνω στον ιμάντα μεταφοράς και τις προκύπτουσες ταλαντώσεις αυτού, στη διαφορά τάνυσης του ιμάντα (με/και χωρίς καύσιμο) αναλόγως της παροχής του μεταφερόμενου καυσίμου κ.λ.π. Λόγω του φαινομένου της ταλάντωσης, πρέπει να αποφεύγεται να είναι η θέση ζύγισης πλησίον του σημείου φόρτωσης του ιμάντα (> 5 φορές του πλάτους ιμάντα).

4.2. Λοιπά μεγέθη

Η περιεκτικότητα του καυσίμου σε άνθρακα και η θερμογόνος δύναμη προσδιορίζονται εύκολα εργαστηριακά, όμως πρέπει να εξασφαλίζεται η αντιπροσωπευτική δειγματοληψία του καυσίμου.

Πρόσθετες ανάγκες προκύπτουν λόγω της μη ολικής καύσης του άνθρακα. Αυτό οδηγεί στην περιεκτικότητα άκαυστου άνθρακα στην ιπτάμενη τέφρα και την τέφρα πυθμένα, ο οποίος πρέπει να αφαιρεθεί κατά τον υπολογισμό. Επομένως απαιτούνται εργαστηριακές αναλύσεις και για τον ολικό άνθρακα της τέφρας και τον υπολογισμό στη συνέχεια του «Συντελεστή Οξειδωσης» (ΣΟ) από μία σχέση της μορφής:

$$\Sigma.O. = 1 - T \times \frac{m_f \cdot C_f + m_s \cdot C_s}{(m_f + m_s) \cdot C_{fuel}}$$

όπου T είναι το κλάσμα τέφρας του καυσίμου, m_f και m_s οι παραγόμενες ποσότητες ιπτάμενης και υγρής τέφρας, C_f και C_s η περιεκτικότητες σε άνθρακα της ιπτάμενης και υγρής τέφρας και C_{fuel} η περιεκτικότητα σε άνθρακα του καυσίμου.

Επομένως οι βασικές απαιτήσεις για την κατηγορία αυτή είναι:

- Μετρολογικά επαρκείς ταινιοζυγοί.
- Διαπιστευμένα εργαστήρια προσδιορισμού θερμογόνου δύναμης και ποσοστού άνθρακα (στο καύσιμο και την τέφρα του).
- Αντιπροσωπευτική δειγματοληψία.

5. ΜΟΝΑΔΕΣ ΥΓΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Τα υγρά καύσιμα που συναντώνται στις μεγάλες μονάδες καύσης είναι το πετρέλαιο diesel και διάφορες κατηγορίες μαζούτ. “Εξωτικά” καύσιμα (π.χ. Orimulsion 400, δηλαδή γαλάκτωμα ασφάλτου σε νερό) είναι επίσης δυνατόν να εμφανισθούν σε μερικές εγκαταστάσεις με Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως (ΜΕΚ).

Λόγω των τελωνειακών ελέγχων προς αποφυγή λαθρεμπορίας υπάρχει ήδη, θεωρητικά τουλάχιστον, ένα πλέγμα διατάξεων και διαδικασιών που αφορά τον προσδιορισμό της ποσότητας των διακινούμενων καυσίμων. Συγκεκριμένα οι παραλαβές γίνονται ογκομετρικά σε βαθμονομημένες δεξαμενές και κατόπιν γίνεται μέτρηση πυκνότητας διόρθωση θερμοκρασίας βάσει του προτύπου IP 54 ή αναλόγου.

Στη χώρα μας οι δεξαμενές στις οποίες γίνονται παραδόσεις – παραλαβές υγρών καυσίμων διακριβώνονται από εξειδικευμένους εργολάβους παρουσία τριμελούς επιτροπής δημοσίων λειτουργών (Διεύθυνση Βιομηχανίας, Γενικό Χημείο του Κράτους και Τελωνείο) οι οποίοι υπογράφουν και εγκρίνουν τον πίνακα στάθμης – όγκου της δεξαμενής. Ενώ στην πράξη η ακρίβεια της βαθμονόμησης έχει αποδειχθεί πολύ καλή, το πιστοποιητικό δεν περιλαμβάνει ένδειξη της αβεβαιότητας και στην πράξη ο πίνακας βαθμονόμησης είναι αποδεκτός ως «μηδενικής αβεβαιότητας», ως προερχόμενος από δημόσιο έγγραφο.

Κατά τις παραδόσεις και παραλαβές η μέτρηση στάθμης γίνεται με ειδικές χαλύβδινες μετροταινίες με βάρος στην άκρη, οι οποίες διακριβώνονται εύκολα και δεν υφίστανται

εύκολα φθορές και παραμορφώσεις. Η ακρίβεια ανάγνωσης είναι 1 mm και η τυπική αβεβαιότητα της μέτρησης είναι της τάξης των 0,2 mm.

Η μετρήσεις πυκνότητας και θερμοκρασίας είναι σχετικά απλές και απαιτούν διακριβωμένα θερμόμετρα και πυκνόμετρα.

Ο προσδιορισμός θερμογόνου δύναμης και συντελεστή εκπομπών (ουσιαστικά περιεκτικότητας του καυσίμου σε άνθρακα) απαιτεί την αποστολή δείγματος σε διαπιστευμένο εργαστήριο.

6. ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Στην πλειοψηφία τους οι μεγάλες μονάδες καύσης αερίων καυσίμων λειτουργούν με φυσικό αέριο από το δίκτυο. Η παραλαβή γίνεται με ογκομετρικούς μετρητές, συνήθως τουρμπιόμετρα, σπανιότερα διαφράγματα & venturi, στους οποίους γίνεται διόρθωση θερμοκρασίας και πίεσης και ανήκουν στον προμηθευτή [7, 8]. Η θερμογόνος δύναμη και ο συντελεστής εκπομπών παρέχεται από τον προμηθευτή.

Βασική δυσκολία στην περίπτωση αυτή είναι η αξιοπιστία των στοιχείων εξαρτάται από τις διαδικασίες διαχείρισης του προμηθευτή και όχι του υποχρέου. Ο προμηθευτής με βάση τη σημερινή κατάσταση δεν έχει υποχρέωση μετρολογικής επαλήθευσης των μεγεθών αυτών, ιδίως δε των αβεβαιοτήτων των μετρήσεων και αναλύσεων.

7. ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΠΟΘΕΙΩΣΗΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

Η αποθείωση των καυσαερίων με ασβεστόλιθο (ανθρακικό ασβέστιο, συχνά με ίχνη ανθρακικού μαγνησίου) οδηγεί σε εκπομπή CO₂ μοριακά ίση με την ποσότητα του δεσμευόμενου SO₂. Η μεθοδολογία προσδιορισμού απαιτεί τη γνώση της ποσότητας του ασβεστολίθου, που προσδιορίζεται με ζύγιση και την χημική ανάλυσή του. Επειδή η μετατροπή δεν είναι πάντα 100% και μπορεί να παραμείνει υπόλειμμα ανθρακικού ασβεστίου στο γύψο, είναι προς όφελος του υποχρέου να μετρήσει την περιεκτικότητα του γύψου σε ανθρακικά άλατα και να αφαιρέσει την αντίστοιχη ποσότητα εκπομπών CO₂.

8. Η ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Κατά την εφαρμογή της οδηγίας έχουν προκύψει διάφορα πρακτικά προβλήματα και εξ' αυτού ορμώμενη η αδειοδοτούσα αρχή ΓΕΔΕ / ΥΠΕΧΩΔΕ έχει καταλήξει για την περίοδο 2005-2008 σε συγκεκριμένες πρακτικές όπως:

- Γίνονται αποδεκτά τιμολόγια αγοράς υγρών καυσίμων με μηδενική αβεβαιότητα.
- Σε καταναλωτές Φυσικού Αερίου από το δίκτυο γίνονται δεκτά τα στοιχεία του προμηθευτή (ποσότητα, θερμογόνος δύναμη) με μηδενική αβεβαιότητα.

- Γενικά έχει διαπιστωθεί σημαντική έλλειψη διαπιστευμένων εργαστηρίων για τις αναγκαίες χημικές αναλύσεις. Αν δεν υπάρχει δυνατότητα για αναλύσεις σε διαπιστευμένα εργαστήρια, γίνονται αποδεκτοί συντελεστές με βάση την ετήσια απογραφή, ακόμη και σε μεγάλες μονάδες, κατ' εξαίρεση και με μηδενική αβεβαιότητα.
- Δεν απαιτείται η δυναμική βαθμονόμηση στους ταινιοζυγούς για να ληφθεί υπόψη το θέμα των ταλαντώσεων του ιμάντα στα σημεία απόθεσης καυσίμου.

Οι λύσεις αυτές βέβαια είναι προσωρινές και δεν μπορούν να συνεχισθούν σε μεγάλη κλίμακα στην επόμενη περίοδο 2009-2012. Το σημαντικότερο όμως αποτέλεσμα των προσεγγίσεων αυτών είναι ότι σε πολλές περιπτώσεις οι αβεβαιότητες των ποσοτήτων των εκπομπών CO₂ που αναφέρονται στις επαληθευμένες εκθέσεις είναι συμβατικές και όχι πραγματικές.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ISO 9096:2003 “Stationary source emissions – Manual determination of mass concentration of particulate matter”, 2003.
- [2] Verein Deutscher Ingenieure (VDI): “VDI 2066 Messen von Partikeln”, Blat. 1 – 7, Düsseldorf, 1993.
- [3] Δρ. Ν. Σ. Θωμαΐδης: “Εκτίμηση αβεβαιότητας στις χημικές μετρήσεις”, Ημερίδα Από το EN 45001 στο ISO/IEC 17025, HellasLab, Αθήνα, 2001.
- [4] Δρ. Ε. Μαθιουλάκης: “Μέτρηση, Ποιότητα Μέτρησης και Αβεβαιότητα”, HellasLab, Αθήνα, 2004
- [5] Δρ. Ε. Μαθιουλάκης: “Η αβεβαιότητα στα αποτελέσματα των δοκιμών”, Ημερίδα Από το EN 45001 στο ISO/IEC 17025, HellasLab, Αθήνα, 2001.
- [6] OIML R50-1 (1997): “Continuous totalizing weighing instruments (belt weighers). Part 1: Metrological and technical requirements (tests)”
- [7] OIML R31 (1995): “Diaphragm Gas Meters”
- [8] OIML R32 (1983): “Rotary piston gas meters and turbine gas meters”

10. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή υποστηρίχθηκε οικονομικά από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και εθνικούς πόρους (ΕΠΕΑΕΚ II, Αρχιμήδης I).