

# ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Μεταξύ Ι.Ν. και Δουμπιώτης Α.

Τ.Ε.Ι. Σερρών, Τμήμα Μηχανολογίας

Τ.Ε.Ι. Σερρών, Τμήμα Μηχανολογίας, Τέρμα Μαγνησίας 62124 Σέρρες

## Περίληψη

Στις μέρες μας η ανάγκη για στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι επιτακτική και μεγαλύτερη από ποτέ. Μία πηγή ενέργειας που οφείλουμε να εκμεταλλευτούμε στον ελλαδικό χώρο, λόγω κλιματολογικών συνθηκών, είναι ο ήλιος. Η εγκατάσταση και χρήση ηλιακών συλλεκτών και φωτοβολταϊκών συστημάτων γίνεται όλο και πιο δημοφιλής, τόσο σε βιομηχανικές, όσο και σε οικιακές εφαρμογές.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η χρήση ηλιακών συλλεκτών για τη θέρμανση ενός δημόσιου κολυμβητηρίου. Για το σχεδιασμό της εγκατάστασης απαιτείται ο υπολογισμός της λαμβανόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και των απαιτήσεων του συστήματος σε ενέργεια. Για τα επιμέρους τμήματα της εγκατάστασης απαιτείται ξεχωριστή μεθοδολογία, ώστε να ληφθούν υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, οι τεχνολογικοί, οι οικονομικοί και οι χωροταξικοί περιορισμοί.

Για τους προαναφερθέντες υπολογισμούς χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου διάφορες θερμοκρασίες και διαστάσεις, η ταχύτητα του ανέμου, συντελεστές θερμικών απωλειών, το γεωγραφικό πλάτος και το αζιμούθιο κ.ά. Η χρήση των παραπάνω δεδομένων δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης των μεγεθών που σχετίζονται με την απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία, τις ενεργειακές απαιτήσεις και το μέγεθος της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων. Εξετάζεται η επίδραση της αβεβαιότητας των δεδομένων εισόδου στα τελικά αποτελέσματα και γίνεται αναφορά στις παραδοχές που γίνονται στην πραγματικότητα από τους εμπλεκόμενους μηχανικούς. Όπως προκύπτει, η μετρολογία έχει πολλά να προσφέρει σε αυτόν τον αναπτυσσόμενο τεχνολογικό κλάδο.

*Λέξεις-Κλειδιά: ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, φωτοβολταϊκά, μετρολογία, αβεβαιότητα.*

## Abstract

Nowadays using renewable energy sources is more important and useful than ever. In Greece, the sun is an energy source that we are almost obliged to exploit, because of our

climate. The installation and use of solar panels and photovoltaic systems is becoming very popular for industrial as well as for domestic applications.

In the present work, the use of solar panels for heating a public swimming pool facility is studied. For the design of the installation, it is necessary to calculate the energy received from the solar radiation and the energy demand for operating the facility. Different methodology is needed for different parts of the project, taking into account special features, technological, economical and spatial restrains.

Input data for the aforementioned calculations are -among others- various temperatures and dimensions, wind velocity, thermal loss coefficients, latitude, azimuth. Using these data enables us to estimate quantities associated to the absorbed solar radiation, the energy demand and the size of the photovoltaic system needed. The impact of the uncertainty of the input data to the final results is examined. Moreover, the assumptions made for the calculations are discussed. It turns out that metrology has much to offer to this rapidly developing technology.

*Key-words: renewable energy source, photovoltaic systems, metrology, uncertainty.*

## **1. Εισαγωγή**

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται διαρκής αύξηση της ανθρώπινης δραστηριότητας, η οποία απαιτεί την παραγωγή και χρήση ολοένα και μεγαλύτερων ποσών ενέργειας. Καθώς βιομηχανοποιούνται όλο και περισσότερες περιοχές, οι ανάγκες αυτές διογκώνονται. Κύρια πηγή ενέργειας μέχρι τώρα ήταν η καύση ορυκτών καυσίμων (λιγνίτης, τύρφη, κοκ, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) με αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλου όγκου καυσαερίων. Το τίμημα είναι η διαρκής μείωση των αποθεμάτων των κοιτασμάτων ορυκτών καυσίμων, η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, αιθάλη και άλλους ρυπαντές, καθώς και η επίδραση στο κλίμα (φαινόμενο θερμοκηπίου, όξινη βροχή κλπ.).

Η πίεση της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας είχε ως αποτέλεσμα την έναρξη προσπαθειών για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (Πρωτόκολλο του Κιότο, 1997), την προσπάθεια για τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα, την υιοθέτηση συστημάτων διασφάλισης περιβαλλοντικής διαχείρισης (ISO14001, EMAS) κ.ά. Αν και τέτοιες δράσεις μπορεί να είναι αποτελεσματικές, έχουν πυροσβεστικό χαρακτήρα. Έχει γίνει κατανοητό ότι πρέπει να γίνει στροφή σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας, οι οποίες δεν προξενούν τέτοια προβλήματα. Επομένως, η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι μονόδρομος για την εξασφάλιση των απαραίτητων ποσών ενέργειας, αποφεύγοντας την επίδραση στο κλίμα της γης. Επιπλέον, στον ελλαδικό χώρο, η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προσφέρει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, επειδή επιτυγχάνεται και οικονομία των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων, των συμβατικών πηγών ενέργειας.

Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η λειτουργία μονάδων παραγωγής ενέργειας που εκμεταλλεύονται ανανεώσιμες πηγές (άνεμος, υδατοπτώσεις, ροή νερού, ηλιακή ακτινοβολία, γεωθερμία) είναι ευθύνη των αντίστοιχων επιστημόνων και τεχνικών. Επισημαίνεται ότι αυτή η τεχνολογία δεν έχει αναπτυχθεί και δεν έχει χρησιμοποιηθεί τόσο, όσο τα συστήματα καύσης. Συνέπεια είναι οι μηχανικοί να οδηγούνται σε υπο- ή υπερσχεδιασμό, με αποτέλεσμα να παρατηρείται αρκετές φορές αστοχία στα ποσά της παραγόμενης ενέργειας. Στο σημείο αυτό έρχεται η επιστήμη της μετρολογίας να τονίσει

τη σημαντικότητα της γνώσης της αβεβαιότητας των μεγεθών που υπεισέρχονται στο σχεδιασμό και τους υπολογισμούς.

Στην παρούσα εργασία έγινε μελέτη θέρμανσης πισίνας ανοιχτού κολυμβητηρίου με ηλιακή ακτινοβολία (σύστημα ηλιακών συλλεκτών). Στη συνέχεια παρατίθεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση της παραγόμενης ενέργειας και δίνεται έμφαση στα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται για τους υπολογισμούς, καθώς και το πώς επηρεάζουν τα αποτελέσματα. Επισημαίνεται ότι έγινε και μία προκαταρκτική μελέτη για τη χρήση αντλίας θερμότητας για την παραγωγή ενός μέρους της ενέργειας που απαιτείται, αλλά προέκυψε ότι η λύση δεν είναι οικονομικά βιώσιμη. [Κατσανεβάκης (2007), Κυριτσάκη (2009), Μπίγγος και Καραπάνος (2008), Πασπαλάς (2001), Τσομπάνογλου (2009)]

## 2. Μεθοδολογία

Η μελετώμενη εγκατάσταση για τη θέρμανση πισίνας ανοιχτού κολυμβητηρίου, περιλαμβάνει την πισίνα, το κτίριο, τα αποδυτήρια, το λεβητοστάσιο, το γυμναστήριο, ιατρείο, γραφεία και άλλους κοινόχρηστους χώρους, καθώς και τα ζεστά νερά που απαιτούνται για τη χρήση των παραπάνω χώρων. Υπολογίζονται οι απώλειες των κτιριακών εγκαταστάσεων, στη συνέχεια η απαιτούμενη ενέργεια για τα ζεστά νερά χρήσης και για τη διατήρηση της θερμοκρασίας της πισίνας. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι τα παραπάνω φορτία να καλύπτονται από την ηλιακή ακτινοβολία. Επιπλέον, υπολογίζεται η θερμότητα που απαιτείται για την αρχική θέρμανση της πισίνας, η οποία μπορεί να γίνει με χρήση λέβητα πετρελαίου ή φυσικού αερίου.

### 2.1 Υπολογισμός θερμικών απωλειών

Στην ενότητα αυτή υπολογίζονται οι θερμικές απώλειες του συστήματος σε μόνιμη κατάσταση [Γκαβαλιάς (2004), Σελλούντος (2002), Τ.Ο. Τ.Ε.Ε. (2010), Χονδρογιάννης (1991)]. Υπενθυμίζεται ότι το ζητούμενο είναι όλες οι απώλειες να καλυφθούν από την ηλιακή ακτινοβολία. Από τους υπολογισμούς προκύπτει ότι αυτό είναι δυνατό για το καλοκαίρι για τη μελετώμενη εγκατάσταση, λόγω της αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας (Μάιος-Σεπτέμβριος). Ωστόσο, το χειμώνα κρίνεται σκόπιμο να λειτουργήσει για μέρος του θερμικού φορτίου και ο αντίστοιχος λέβητας.

Αρχικά υπολογίζονται οι απώλειες από κάθε τοίχο, λαμβάνοντας υπόψη το διαφορετικό προσανατολισμό, καθώς και τα ανοίγματα (παράθυρα και πόρτες), σύμφωνα με την παρακάτω σχέση. Επισημαίνεται ότι οι προσαυξήσεις (Π) είναι εμπειρικές προσεγγίσεις.

$$Q_1 = k \cdot A \cdot \Delta\theta \cdot \Pi \quad (1)$$

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι απώλειες λόγω αερισμού. Εκτός από τη σχέση (2) για το συνολικό μήκος  $\Sigma l$ , σε αυτόν τον όρο προστίθενται και οι απώλειες από τα WC, οι οποίες θεωρούνται κατ' ελάχιστον 200 kcal/h.

$$Q_2 = \sum l \cdot 1.2 \cdot \Delta\theta \quad (2)$$

Για την εύρεση των απωλειών θερμότητας λόγω της εξάτμισης του νερού και της υπερχειλίσης από την επιφάνεια  $F$  υπολογίζονται οι αντίστοιχες ροές (σχέσεις 3 και 4), οι οποίες μετατρέπονται σε θερμοροή (5).

$$W = (25 + 19xu) \cdot F \cdot (x'' - x) \quad (3)$$

$$W' = 5 \cdot F / 4,5 \quad (4)$$

$$Q_3 = (W + W') \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (5)$$

Στην απώλεια νερού από τους κολυμβητές ( $W'$ ) προστέθηκε στην παρούσα εργασία και η απώλεια νερού λόγω εξάτμισης ( $W$ ), επειδή στο εξατμιζόμενο νερό μεταφέρονται δύο ειδών θερμικών φορτίων, ένα λόγω ψύξης του νερού της δεξαμενής (λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης) και ένα λόγω θέρμανσης του νερού αναπλήρωσης. Γίνεται η παραδοχή ότι η απώλεια νερού λόγω κυματισμού έχει μόνο θερμικές απώλειες λόγω αναπλήρωσης με κρύο νερό.

Επιπλέον, στην παρούσα εργασία προστέθηκε στη μέθοδο και η ανταλλαγή θερμότητας μέσω αγωγής με το έδαφος στο κάτω μέρος της πισίνας [Brodkey and Hershey (1990), Recknagel-Spenger (1992), Smith and Van Ness (1990)].

$$Q_4 = k \cdot A \cdot \Delta \theta \quad (6)$$

Τέλος, υπολογίζεται και το ποσό θερμότητας που απαιτείται για τα ζεστά νερά χρήσης (7), καθώς και οι συνολικές θερμικές απώλειες του συστήματος.

$$Q_5 = m \cdot c \cdot \Delta \theta \quad (7)$$

## 2.2 Υπολογισμός αρχικής θέρμανσης

Για την αρχική θέρμανση της δεξαμενής, το ζητούμενο είναι να υπολογισθεί η συνολικά απαιτούμενη ενέργεια  $E_{ολ}$  [Brodkey and Hershey (1990), Smith and Van Ness (1990)], η οποία περιλαμβάνει τους εξής όρους: α)  $E_1$  ενέργεια για τη θέρμανση του νερού της δεξαμενής (8), β)  $E_2$  για τη θέρμανση του νερού της δεξαμενής εξισορρόπησης, όπου  $V'$  ο όγκος της δεξαμενής εξισορρόπησης (9), γ)  $E_3$  η θερμότητα που χάνεται λόγω της εξάτμισης του νερού της δεξαμενής (10), δ)  $E_4$  η απαιτούμενη θερμότητα για την θέρμανση του νερού αναπλήρωσης του εξατμιζόμενου νερού (11). Ο παράγοντας "/2" απαιτείται για να ληφθεί η μέση τιμή των θερμικών απωλειών κατά την διάρκεια της αρχικής θέρμανσης. Σημειώνεται ότι η αρχική θέρμανση θα πραγματοποιείται εντός  $t=36h$ .

$$E_1 = V \cdot (T_{\tau\epsilon\lambda} - T_{\alpha\rho\chi}) \cdot 1000 \quad (8)$$

$$E_2 = V' \cdot (T_{\tau\epsilon\lambda} - T_{\alpha\rho\chi}) \quad (9)$$

$$E_3 = T \cdot Q_e \quad (10)$$

$$E_4 = T \cdot W \cdot (T_{out} - T_{in}) / 2 \quad (11)$$

Χρησιμοποιώντας τις προαναφερθέντες σχέσεις γίνονται οι υπολογισμοί και προκύπτει ότι η απαιτούμενη θερμική ισχύς ισούται με:  $P = E_{ολ}/t = 1.500.000 \text{ kcal/h}$ . Τονίζεται ότι η αρχική θέρμανση υπερκαλύπτει τις θερμικές απώλειες μόνιμης κατάστασης. Συνεπώς, ο λέβητας χρησιμοποιείται για να ζεστάνει την εγκατάσταση την πρώτη φορά και μετά συντηρείται η θερμοκρασία με την ηλιακή ακτινοβολία. Για την καλύτερη ευελιξία του συστήματος επιλέγεται η εγκατάσταση δύο λεβήτων ισχύος  $835.000 \text{ kcal/h}$ .

## 2.3 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας

Ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας, γίνεται με βάση το μοντέλο του Hottel [Κατσανεβάκης (2007)]. Επισημαίνεται ότι πειραματικές μετρήσεις που έχουν γίνει συμφωνούν αρκετά καλά με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το μοντέλο. Αρχικά υπολογίζεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας έξω από τη γήινη ατμόσφαιρα και στη συνέχεια στην επιφάνεια της γης.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας έξω από την ατμόσφαιρα σε επίπεδο κάθετο προς τις ακτίνες του ήλιου είναι:

$$I_0 = I_{sc} \left[ 1 + 0.034 \cdot \cos \left( \frac{360 \cdot N}{365.25} \right) \right] \quad (12)$$

Όπου  $I_{sc}$  ηλιακή σταθερά=1367 W/m<sup>2</sup> και N ημέρα του έτους. Στη συνέχεια υπολογίζεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας έξω από την ατμόσφαιρα σε επίπεδο οριζόντιο προς τις ακτίνες του ήλιου για γωνία ζενίθ  $\theta_z$ .

$$I_{0, horizontal} = I_0 \cos \theta_z \quad (13)$$

Η ένταση άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης σε οριζόντιο επίπεδο είναι:

$$I_{b,n} = I_0 \left[ a_0 + a_1 e^{-k(1/\cos \theta_z)} \right] \quad (14)$$

Ανάλογα, η ένταση της έμμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης σε οριζόντιο επίπεδο είναι:

$$I_{d,h} = I_0 \cdot \cos \theta_z \left[ 0,2710 - 0,2939 \left( a_0 + a_1 e^{-k/\cos \theta_z} \right) \right] \quad (15)$$

Επομένως η συνολική ακτινοβολία είναι:

$$I_{t,h} = I_{b,n} \cos \theta_z + I_{d,h} \quad (16)$$

Οι συντελεστές για  $a$  και  $k$  των προηγούμενων σχέσεων περνούν τιμές

Για καθαρή ατμόσφαιρα ορατότητα μέχρι 23km σε ύψος  $A$

$$\begin{aligned} a_0 &= 0.4237 - 0.00821 * (6 - A)^2 \\ a_1 &= 0.5055 + 0.00595 * (6.5 - A)^2 \\ k &= 0.2711 + 0.01858 * (2.5 - A)^2 \end{aligned} \quad (17)$$

Για αστική ατμόσφαιρα ορατότητας 5 km

$$\begin{aligned} a_0 &= 0.2538 - 0.0063 * (6 - A)^2 \\ a_1 &= 0.7678 + 0.0010 * (6.5 - A)^2 \\ k &= 0.249 + 0.081 * (2.5 - A)^2 \end{aligned} \quad (18)$$

Η γωνία πρόσπτωσης υπολογίζεται από την απλοποιημένη σχέση όταν ο συλλέκτης βρίσκεται προς το νότο με κλίση  $\beta$ .

$$\cos \theta_i = \sin a \cdot \cos \beta - \cos a \cdot \sin \beta \cdot \cos A \quad (19)$$

Η ακτινοβολία καθετή στο συλλέκτη υπολογίζεται ως:

$$I_{b,a} = I_{b,n} \cos \theta_i \quad (20)$$

Η ολική ακτινοβολία σε κεκλιμένη επιφάνεια δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$I_{t,\alpha} = I_{b,n} \cos \vartheta_i \left[ I_{d,h} ((1 + \cos \beta) / 2) + \rho I_{t,h} \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \right] \quad (21)$$

Με την διαδικασία που αναφέρθηκε υπολογίζεται η ηλιακή ακτινοβολία που παίρνουμε στο συλλέκτη. Για την εξαγωγή της συνολικής ενέργειας που εκμεταλλευόμαστε χρησιμοποιούμε την θερμοκρασία εισόδου του νερού, τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, την εξίσωση του βαθμού απόδοσης από τον κατασκευαστή και την παροχή [Δουμπιώτης (2012)].

### 3. Ρόλος Μετρολογίας

Τα αποτελέσματα των θερμικών φορτίων προκύπτουν με τη χρήση των παραπάνω τύπων, οι οποίοι ενέχουν αβεβαιότητες της μεθόδου και αβεβαιότητες λόγω των χρησιμοποιούμενων μεταβλητών εισόδου. Η αβεβαιότητα με την οποία γνωρίζουμε τα δεδομένα εισόδου (θερμοκρασίες, συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας, διαστάσεις, ταχύτητα ανέμου, θέση ηλίου, θέση ηλιακού συλλέκτη κ.ά.) επηρεάζει τα ποσά ενέργειας που υπολογίζονται. Το γεγονός αυτό επηρεάζει και τους υπολογισμούς των οικονομικών μεγεθών που συνδέονται με την υπό μελέτη εγκατάσταση και τη δυνατότητα του μελετητή να πάρει αποφάσεις για τη βιωσιμότητα και την απόδοση της επένδυσης στη συγκεκριμένη εφαρμογή [Αυλωνίτης (2006)].

Σημειώνεται ότι η προτεινόμενη μέθοδος παραμένει προσεγγιστική και περιέχει σφάλματα λόγω των παραδοχών, παρά το συνυπολογισμό πρόσθετων φαινομένων στις ενεργειακές ροές. Είναι κοινή πρακτική των μηχανικών σχεδιασμού να επιλέγουν μία απλοποιημένη μέθοδο, η οποία δεν είναι κατά ανάγκη η ακριβέστερη, αλλά που μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα με παραδοχές και σταθερές εμπειρικού χαρακτήρα. Για λόγους ασφαλείας υπεισέρχονται και συντελεστές υπερσχεδιασμού. Οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι προκύπτουν από την ερμηνεία πειραματικών αποτελεσμάτων, τη θεωρία της μετάδοσης θερμότητας και την εξαγωγή μοντέλων. Στο σημείο αυτό η επιστήμη της μετρολογίας οφείλει να συνδράμει τους μηχανικούς, τους τεχνικούς επιστήμονες και τους τελικούς χρήστες, ώστε να βελτιωθούν οι πειραματικές διατάξεις, η διαδικασία των μετρήσεων, οι τεχνικές δειγματοληψίας και οι τελικές αβεβαιότητες.

Μέχρι τώρα έγινε σαφές ότι χρειάζονται πειράματα με μετρήσεις υψηλής ακρίβειας. Αυτό είναι απαραίτητο για να προκύψουν ακριβέστερα αποτελέσματα, αλλά και για να γίνει ασφαλέστερα η θεωρητική ερμηνεία των τιμών που προκύπτουν για τα παραγόμενα ποσά ενέργειας. Παράλληλα, θεωρείται σκόπιμο να γίνουν αναλύσεις ευαισθησίας, οι οποίες θα οδηγήσουν στις μεταβλητές που επηρεάζουν περισσότερο τα τελικά αποτελέσματα, ώστε να δοθεί η κατάλληλη βαρύτητα στη βελτίωση της μετρούμενης αβεβαιότητας για τα κρίσιμα μεγέθη. Συνεπώς, η επιστήμη της μετρολογίας μπορεί να βοηθήσει στο σχεδιασμό καλύτερων πειραματικών διατάξεων, στη λήψη μετρήσεων μικρότερης αβεβαιότητας, καθώς και στην εξαγωγή ακριβέστερων θεωρητικών εξισώσεων.

Υπενθυμίζεται ότι το παράδειγμα εφαρμογής της παρούσας εργασίας αφορά στην εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας με τη χρήση συλλεκτών για τη θέρμανση της πισίνας και των χώρων ενός ανοιχτού κολυμβητηρίου. Δηλαδή σκοπός είναι η χρήση μίας ανανεώσιμης πηγής ενέργειας όπως ο ήλιος για την παραγωγή θερμότητας. Άρα η μετρολογία είναι απαραίτητη για την εξαγωγή ακριβέστερων όχι μόνο φυσικών, αλλά και οικονομικών μεγεθών. Η εμπιστοσύνη που οφείλουν να έχουν οι τεχνικοί επιστήμονες στα εξαγόμενα αποτελέσματα είναι αναγκαία, ώστε να πεισθούν οι εμπλεκόμενοι

οικονομικοί παράγοντες. Δεν είναι δυνατό να προτιμηθούν και να προωθηθούν οι επενδύσεις στη λεγόμενη πράσινη ενέργεια, αν δεν πρόκειται για αποδεδειγμένα οικονομικά βιώσιμη και συμφέρουσα λύση. Η πεπατημένη οδός της καύσης κοιτασμάτων που ολοένα μειώνονται δύσκολα θα εγκαταλειφθεί. Οι εναλλακτικές μορφές ενέργειας πρέπει να είναι αποδοτικές και να ικανοποιούν τις διαρκώς αυξανόμενες ενεργειακές απαιτήσεις.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι στο ρευστό και εξαιρετικά αβέβαιο ενεργειακό και οικονομικό παρόν η μετρολογία καλείται να προσφέρει την ελαχιστοποίηση των αβεβαιοτήτων για ένα πιο οικολογικό μέλλον.

### **Βιβλιογραφία**

- Αυλωνίτης Σ.Δ., “Όργάνωση και Διοίκηση παραγωγής”, Έλλην, 2006
- Γκαβαλιάς Β.Π., “Θέρμανση-Ψύξη-Κλιματισμός”, Τμήμα Μηχανολογίας Τ.Ε.Ι. Σερρών, 2004
- Δουμπιώτης Α., “Τεχνικοοικονομική μελέτη θέρμανσης πισίνας ανοιχτού κολυμβητηρίου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας”, Τμήμα Μηχανολογίας Τ.Ε.Ι. Σερρών, 2012, *Υπό υποβολή*
- Κατσανεβάκης Α.Ν., “Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας”, Τμήμα Μηχανολογίας Τ.Ε.Ι. Σερρών, 2007
- Κυριτσάκη Ο., “Οι ανανεώσιμες πηγές στην Ελλάδα”, Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων Τ.Ε.Ι. Κοζάνης, 2009
- Μπίγγος Χ. και Καραπάνος Χ., “Καύσιμα-Λιπαντικά”, Μακεδονικές Εκδόσεις, 2008
- Πασπαλάς Κ.Π., “Καυστήρες-Λέβητες”, Σ.ΜΗ.Β.Ε., 2001
- Σελλούντος Β.Η., “Θέρμανση και Κλιματισμός”, ΣΕΛΚΑ-4Μ, 2002
- Τ.Ο. Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, “Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης”, Τ.Ε.Ε., 2010
- Τ.Ο. Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010, “Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών”, Τ.Ε.Ε., 2010
- Τσομπάνογλου Σ. “Παρουσίαση και αξιολόγηση τεχνολογιών θερμικής επεξεργασίας και ενεργειακής αξιοποίησης αστικών στερεών αποβλήτων”, Τμήμα Γεωτεχνολογίας & Περιβάλλοντος Τ.Ε.Ι. Κοζάνης, 2009
- Χονδρογιάννης Α. “Υδραυλικά & Θέρμανση”, Επιστημονικές Εκδόσεις, 1991
- Brodkey R.S. and Hershey H.C. “Φαινόμενα Μεταφοράς”, Τζιόλας, 1990
- Recknagel-Spenger, “Θέρμανση και Κλιματισμός, 1. Θέρμανση”, Γκιούρας, 1992
- Smith J.M. and Van Ness H.C. “Εισαγωγή στη Θερμοδυναμική”, Τζιόλας, 1990