

# ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΚΕΝΑΚ

Γ. Πανάρας

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας  
Μπακόλα & Σιαλβέρα, 50100 Κοζάνη

Τηλ.: +30 (24610) 56644; e-mail address: [gpanaras@uowm.gr](mailto:gpanaras@uowm.gr)

## Περίληψη

Ο Κανονισμός Ενεργειακής Αποδοτικότητας Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.), έχει ως στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων, μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας αλλά και της διείσδυσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Βασικό μέγεθος του κανονισμού αποτελεί η ενεργειακή αποδοτικότητα του κτιρίου. Για τον προσδιορισμό αυτής, χρησιμοποιείται επικυρωμένο μοντέλο ημι-σταθερής κατάστασης, το οποίο έχει ενσωματωθεί στο εμπορικό λογισμικό ΤΕΕ-ΚΕΝΑΚ. Το λογισμικό χρησιμοποιεί ως παραμέτρους εισόδου τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά του κελύφους, καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υφιστάμενων ενεργειακών συστημάτων. Με δεδομένο ότι ο ΚΕΝΑΚ παρέχει τη δυνατότητα επιθεώρησης του κτιρίου στη βάση των ελάχιστων δυνατών μετρήσεων, δηλαδή των γεωμετρικών, η μέτρηση των οποίων μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν εισάγει σημαντικό σφάλμα στην ανάλυση, η επικρατέστερη πρακτική για τα χαρακτηριστικά του κελύφους και των ενεργειακών υποσυστημάτων είναι η χρήση τιμών από πιστοποιητικά ή προκαθορισμένων τιμών. Στην εργασία επιχειρείται η εκτίμηση του επιπέδου της αβεβαιότητας στον προσδιορισμό της ενεργειακής αποδοτικότητας του υπό μελέτη κτιρίου, στη βάση του λογισμικού ΤΕΕ-ΚΕΝΑΚ, λόγω της αβεβαιότητας στη μέτρηση κάποιου μεγέθους ή στην παρεχόμενη τιμή από κάποιο πιστοποιητικό.

*Λέξεις-Κλειδιά: Αβεβαιότητα, ΚΕΝΑΚ, τεχνικά χαρακτηριστικά, ενεργειακά συστήματα*

## Abstract

The Regulation for the Energy Performance of Buildings (KENAK) aims at improving the energy performance of buildings through energy saving as well as Renewable Energy Sources penetration. A basic quantity for the Regulation is the Energy Performance of the Building. In order to estimate it, a validated quasi-steady-state model is used; the model has been integrated into the KENAK software. The input parameters of the software refer to the geometrical characteristics of the building, the thermophysical properties of the envelope, as well as the technical characteristics of the existing energy systems. Given that KENAK allows the energy inspection of the building on the basis of the minimum possible number of implemented measurements, which are the geometrical ones as the measurement of geometrical quantities does not impose any significant error in the analysis, the required values for the envelope and energy systems characteristics refer to predefined values or values determined through certificates. The proposed work aims at estimating the uncertainty of the energy performance of the examined building, on the basis of the KENAK software; the uncertainty is associated with potential errors on the measurement of an individual quantity or on the extracted value by a certificate.

*Key-Words: Uncertainty, KENAK (EPBD), technical characteristics, energy systems*

## 1. Εισαγωγή

Ο Κανονισμός Ενεργειακής Αποδοτικότητας Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) (Φ.Ε.Κ. 407/9.4.2010), έχει ως στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων, μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας αλλά και της διείσδυσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Η έκδοση του Κανονισμού αποτέλεσε προϋπόθεση για την εφαρμογή του νόμου 3661/2008, ο οποίος αποτελεί την εναρμόνιση της Ελληνικής νομοθεσίας με την Κοινοτική Οδηγία 2002/91/ΕΚ, γνωστή και ως EPBD (Energy Performance of Buildings Directive).

Ο Κ.Εν.Α.Κ. προβλέπει δύο διακριτές δράσεις, και αυτές αναφέρονται στην έκδοση Ενεργειακής Μελέτης και στην Ενεργειακή Επιθεώρηση. Η σύνταξη Ενεργειακής Μελέτης αποτελεί υποχρέωση για όλα τα νέα και ριζικώς ανακαινιζόμενα κτίρια και τεκμηριώνει την ικανοποίηση των ελάχιστων απαιτήσεων, όπως αυτές αναφέρονται σε ελάχιστες προδιαγραφές (άρθρο 8 του Κ.Εν.Α.Κ.), καθώς και την απαίτηση ενεργειακής κατάταξης σε κατηγορία Β ή καλύτερη (άρθρο 9 του Κ.Εν.Α.Κ.). Οι ελάχιστες προδιαγραφές αναφέρονται σε συγκεκριμένες απαιτήσεις όσον αφορά στο σχεδιασμό του κτιρίου, το κέλυφος και τις Η/Μ εγκαταστάσεις.

Την ολοκλήρωση του κτιρίου ακολουθεί η ενεργειακή επιθεώρηση και η οποία ελέγχει την τήρηση των ελάχιστων προδιαγραφών αλλά και την κατάταξη σε κατηγορία Β ή καλύτερη για το νεόκτιστο ή ριζικά ανακαινιζόμενο κτίριο, σημειώνοντας πως η τήρηση των απαιτήσεων για τα ριζικά ανακαινιζόμενα κτίρια είναι δυνατό να είναι πιο ελαστική. Παράλληλα η διενέργεια ενεργειακής επιθεώρησης προβλέπεται για το σύνολο των υφιστάμενων κτιρίων, τόσο για το κτίριο συνολικά, όσο και για τις επιμέρους εγκαταστάσεις λεβήτων, θέρμανσης & κλιματισμού (ΤΟΤΕΕ 20701-4) όταν αυτές ξεπερνούν κάποια ισχύ. Εστιάζοντας στην ενεργειακή επιθεώρηση κτιρίων, η ολοκλήρωση της περιλαμβάνει την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης, το οποίο συνοψίζει το σύνολο των στοιχείων που χαρακτηρίζουν ενεργειακά το κτίριο, στοιχεία για τις συνθήκες άνεσης αλλά και τις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Επιπρόσθετα περιλαμβάνει τουλάχιστον μια πρόταση ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου, αξιολογημένη σε επίπεδο κόστους, αν και θα πρέπει να σημειωθεί ότι για τα υφιστάμενα κτίρια δεν εγείρονται υποχρεώσεις από το νομοθέτη σε επίπεδο ελάχιστων απαιτήσεων, συμπεριλαμβανομένης της ενεργειακής κατάταξης. Η ύπαρξη ενεργειακού πιστοποιητικού αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την αλλαγή ιδιοκτησίας ή εκμίσθωσης του ακινήτου.

Σύμφωνα και με τα παραπάνω, βασικό μέγεθος του κανονισμού αποτελεί η ενεργειακή αποδοτικότητα του κτιρίου, η οποία όπως θα συζητηθεί στη συνέχεια εκφράζεται με όρους πρωτογενούς ενέργειας. Για τον προσδιορισμό αυτής, χρησιμοποιείται επικυρωμένο μοντέλο ημι-σταθερής κατάστασης, το οποίο έχει ενσωματωθεί στο εμπορικό λογισμικό ΤΕΕ-KENAK (ΤΟΤΕΕ 20701/1). Το λογισμικό χρησιμοποιεί ως παραμέτρους εισόδου τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά του κελύφους, καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υφιστάμενων ενεργειακών συστημάτων. Η πληροφορία για την τιμή των απαιτούμενων μεγεθών συλλέγεται βάσει μετρήσεων, στοιχείων που δίνονται από τον κατασκευαστή, ή βάσει χρήσης κάποιων προκαθορισμένων τιμών (σταθερών) από τη βάση δεδομένων του ΚΕΝΑΚ. Με δεδομένο ότι ο ΚΕΝΑΚ παρέχει τη δυνατότητα επιθεώρησης του κτιρίου στη βάση των ελάχιστων δυνατών μετρήσεων, δηλαδή των γεωμετρικών, η μέτρηση των οποίων μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν εισάγει σημαντικό σφάλμα στην ανάλυση, η επικρατέστερη πρακτική για τα χαρακτηριστικά του κελύφους και των ενεργειακών

Γιώργος Πανάρας, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας  
Η αβεβαιότητα στον προσδιορισμό της ενεργειακής αποδοτικότητας σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ

υποσυστημάτων είναι η χρήση τιμών από πιστοποιητικά ή προκαθορισμένων τιμών (TOTEE 20701-1, TOTEE 20701-2). Παράλληλα, υπάρχει μια σειρά δεδομένων, σχετιζόμενων με τις συνθήκες λειτουργίας του κτιρίου, τους χρήστες & τις συσκευές, τα οποία επίσης δεν καταγράφονται αλλά προσδιορίζονται στη βάση τιμών αναφοράς η οποίες είναι συνάρτηση της χρήσης και της επιφάνειας του κτιρίου (TOTEE 20701-1).

Σύμφωνα με την προβλεπόμενη διαδικασία, τα δεδομένα εισάγονται στο λογισμικό TEE-KENAK. Το λογισμικό προχωράει στη δημιουργία του λεγόμενου κτιρίου αναφοράς, το οποίο είναι ένα υποθετικό κτίριο που έχει με το εξεταζόμενο κτίριο τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, θέση, προσανατολισμό, χρήση και χαρακτηριστικά λειτουργίας. Παράλληλα πληροί τις ελάχιστες προδιαγραφές του Κ.Εν.Α.Κ. και έχει καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά :

- στα εξωτερικά δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους του
- στις Η/Μ εγκαταστάσεις, που αφορούν στη θέρμανση, στην ψύξη και στον κλιματισμό (Θ.Ψ.Κ.) των εσωτερικών χώρων, στην παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (Ζ.Ν.Χ.) και στο φωτισμό (για τα κτίρια του τριτογενούς τομέα).

Το λογισμικό, προχωράει σε αναλυτικό υπολογισμό των ενεργειακών χαρακτηριστικών των δύο κτιρίων, υπό μελέτη και αναφοράς, σε επίπεδο ζήτησης, κατανάλωση και πρωτογενούς ενέργειας και όσον αφορά στην κάθε χρήση και στο κάθε καύσιμο. Ανάλογα με την τιμή του λόγου της πρωτογενούς ενέργειας του υπό μελέτη κτιρίου σε σχέση με το κτίριο αναφοράς (Σχήμα 1), προκύπτει η ενεργειακή κατάταξη του υπό μελέτη κτιρίου.



Σχήμα 1 – Πίνακας κριτηρίων ενεργειακής κατάταξης κτιρίου

Σύμφωνα με τα όσα έχουν αναφερθεί, η ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου αποτελεί ένα κρίσιμο μέγεθος, στο βαθμό που για νέα ή ριζικά ανακαινιζόμενα κτίρια συνδέεται με διορθωτικές παρεμβάσεις. Θα πρέπει δε να σημειωθεί ότι η μη υλοποίηση αυτών επιφέρει τις κυρώσεις του νόμου περί αυθαιρέτων (Π.Δ. 580/Δ/1999, αρθ. 382). Ουσιαστικά αυτή η πρόβλεψη αναδεικνύει τη σημασία που αποδίδεται πλέον στο μέγεθος της ενεργειακής αποδοτικότητας, σε επίπεδο αντίστοιχο με τα πολεοδομικά μεγέθη. Η αναθεώρηση της αρχικής Κοινοτικής Οδηγίας (91/2002), σύμφωνα με την νέα οδηγία 31/2010, προβλέπει την αυστηροποίηση των απαιτήσεων για τα νέα κτίρια, καθώς και τα υφιστάμενα δημόσια κτίρια από το 2019. Για τα υφιστάμενα κτίρια τα οποία δεν εμπίπτουν στις παραπάνω περιπτώσεις, όπως αναφέρθηκε, δεν εγείρεται απαίτηση κατάταξης σε κατηγορία καλύτερη της B. Παρόλα αυτά, είναι προφανές ότι στα πλαίσια εδραίωσης μια Ευρωπαϊκής ενεργειακής αγοράς στην οποία η σήμανση των

Γιώργος Πανάρας, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

H αβεβαιότητα στον προσδιορισμό της ενεργειακής αποδοτικότητας σύμφωνα με τον KENAK

κτιρίων θα αποτελέσει μέγεθος χαρακτηρισμού της ποιότητας τους, η κατάταξη σε όσο το δυνατόν ανώτερη κατηγορία θα συνεπάγεται βελτίωση της οικονομικής αξίας του ακινήτου. Στο παραπάνω πλαίσιο, είναι σημαντικό για τον ιδιοκτήτη, αλλά και πιθανό ενοικιαστή ή αγοραστή, να έχει πρόσβαση σε αξιόπιστη πληροφορία για την ενεργειακή αποδοτικότητα του κτιρίου.

Η πρόσβαση σε αυτή συνδέεται άμεσα με την αξιοπιστία της διαδικασίας που ακολουθείται για την έκδοση ενεργειακού πιστοποιητικού. Στο βαθμό που το λογισμικό TEE-KENAK θεωρείται επικυρωμένο, ιδιαίτερη σημασία αποκτάει η αξιοπιστία των δεδομένων τα οποία εισάγονται σε αυτό. Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η εκτίμηση του επιπέδου της αβεβαιότητας στον προσδιορισμό της ενεργειακής αποδοτικότητας του υπό μελέτη κτιρίου, στη βάση του λογισμικού TEE-KENAK, λόγω της αβεβαιότητας στη μέτρηση κάποιου μεγέθους ή στην παρεχόμενη τιμή από κάποιο πιστοποιητικό. Η διερεύνηση πραγματοποιείται στη βάση συγκεκριμένου παραδείγματος επιθεώρησης 5-όροφης πολυκατοικίας το οποίο προτείνει το TEE.

## **2. Το Λογισμικό TEE-KENAK**

Το Λογισμικό TEE-KENAK είναι υπεύθυνο για την ενεργειακή ανάλυση του υπό μελέτη κτιρίου. Οι υπολογισμοί αναφέρονται σε προσέγγιση ημισταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος, με τη μεθοδολογία να βασίζεται σε αντίστοιχα Ευρωπαϊκά πρότυπα (TOTEE 20701-1).

Αποτελείται από 4 τμήματα:

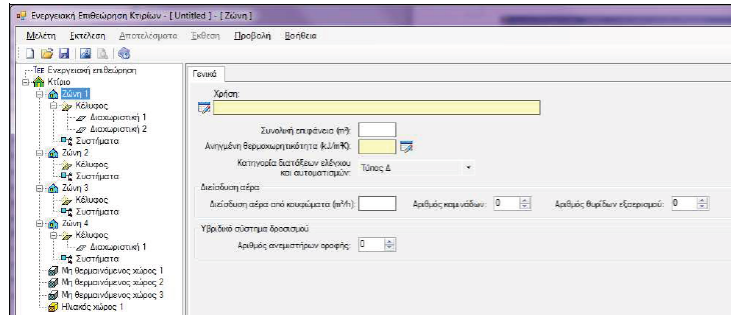
- Μάσκα εισαγωγής δεδομένων
- Βιβλιοθήκες
- Πυρήνας υπολογισμών
- Μάσκα αποτελεσμάτων

Η μάσκα εισαγωγής δεδομένων υποστηρίζει την εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων για την ανάλυση, όπως αυτά αναφέρονται σε στοιχεία για τις χρήσεις του κτιρίου, και τεχνικά χαρακτηριστικά του κελύφους και των Η/Μ εγκαταστάσεων.

Οι βιβλιοθήκες παρέχουν τα απαραίτητα για την ανάλυση κλιματικά δεδομένα (TOTEE 20701—3), καθώς και τιμές παραμέτρων οι οποίες προκύπτουν ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου (απαιτούμενος αερισμός, ZNX, επίπεδα φωτισμού, άτομα κλπ).

Ο πυρήνας των υπολογισμών, βασίζεται στο προϋπάρχον λογισμικό EPA-NR τροποποιημένο με βάση τις απαιτήσεις του KENAK και των αντίστοιχων TOTEE, και είναι υπεύθυνος για την εκτέλεση των υπολογισμών.

Η μάσκα των αποτελεσμάτων υποστηρίζει την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης, για το κτίριο υπό μελέτη, το κτίριο αναφοράς αλλά και τα διαμορφωμένα στα σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης κτίρια.



Σχήμα 2 – Περιβάλλον εργασίας λογισμικού TEE-KENAK

Τα απαραίτητα στοιχεία (δεδομένα) μπορούν να χωριστούν σε τρεις βασικές κατηγορίες

- Πραγματικά δεδομένα: τα εισάγει ο επιθεωρητής (χρήστης) για το υπό επιθεώρηση κτίριο.
- Τυπικές τιμές: τις εισάγει ο επιθεωρητής ανάλογα με τη χρήση του κτηρίου.

Λαμβάνονται υπόψη τυπικές τιμές για ορισμένες παραμέτρους που σχετίζονται με τον χρήστη και με την ορθή χρήση των Η/Μ συστημάτων του κτηρίου (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010)

Οι τυπικές τιμές αφορούν στο προφίλ λειτουργίας του κτηρίου (ωράριο, εσωτερικές συνθήκες λειτουργίας, κ.ά.) και επιλέγονται έμμεσα, χωρίς δυνατότητα παραλλαγής, καθορίζοντας τη χρήση της θερμικής ζώνης.

- Στοιχεία από βιβλιοθήκες: είναι ανεξάρτητα από το εκάστοτε κτίριο. Τα επιλέγει ο επιθεωρητής ή εισάγονται αυτόματα από τον πυρήνα των υπολογισμών

Τα δεδομένα που περιλαμβάνονται στις βιβλιοθήκες είναι απροσπέλαστα στον χρήστη (επιθεωρητή) και οι τιμές επιβάλλονται αυτόματα:

- Βιβλιοθήκη κλιματικών δεδομένων [20701-3] (κλιματικά στοιχεία σε επίπεδο μέσων μηνιαίων τιμών για 61 Ελληνικές πόλεις: θερμοκρασία, υγρασία, ακτινοβολία)
- Βιβλιοθήκη καυσίμων (θερμογόνο δύναμη, συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια, εκπομπές CO<sub>2</sub>).
- Βιβλιοθήκη σταθερών (π.χ. υπολογισμός συντελεστή χρήσης στα φορτία θέρμανσης/ψύξης)
- Βιβλιοθήκη τυπικών τιμών [20701-1] (συνθήκες λειτουργίας του κτιρίου: ωράριο λειτουργίας, εσωτερική θερμοκρασία και υγρασία, νωπός αέρας, θερμικά κέρδη από χρήστες κ.α.)

### 3. Μελέτη περίπτωσης

Για την ανάλυση των αβεβαιοτήτων, χρησιμοποιείται παράδειγμα επιθεώρησης κτιρίου, προτεινόμενο από το TEE.

Ειδικότερα πρόκειται για 5-όροφη πολυκατοικία στη Θεσσαλονίκη, κτισμένη το 1982. Όλοι οι όροφοι του κτιρίου είναι ίδιοι και αποτελούνται από δύο θερμαινόμενα διαμερίσματα έκαστος, Γιώργος Πανάρας, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

Η αβεβαιότητα στον προσδιορισμό της ενεργειακής αποδοτικότητας σύμφωνα με τον KENAK

ενώ συμπεριλαμβάνονται και μη θερμαινόμενοι χώροι όπως η πυλωτή του ισογείου, το λεβητοστάσιο και οι αποθήκες του υπογείου.

Οι υπολογισμοί γίνονται για τις κατοικίες, οι οποίες θεωρείται ότι αποτελούν ενιαία θερμική ζώνη. Τα δεδομένα εισόδου αποτελούνται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- Χρήση: κατοικία, η οποία καθορίζει αυτόματα τις εσωτερικές συνθήκες και φορτία

#### *Κέλυφος*

- Επιφάνειες αδιαφανών δομικών στοιχείων & αντίστοιχοι συντελεστές θερμοπερατότητας (από τον τύπο του υλικού). Επίσης εισάγονται οι τιμές απορροφητικότητας ( $\alpha$ ) και εκπεμπιμότητας ( $\epsilon$ ).
- Διαφανή δομικά στοιχεία: επιφάνειες, τύπος από κατασκευαστή
- Συντελεστές σκίασης (υπολογίζονται)
- Διείσδυση αέρα από χαραμάδες (υπολογίζεται σύμφωνα με την TOTEE 20701-1)

#### *Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις*

- Κεντρική Εγκατάσταση Θέρμανσης
  - ο Τύπος: λέβητας πετρελαίου
  - ο Απόδοση (από ανάλυση καυσαερίων)
  - ο Συντελεστής υπερδιαστασιολόγησης (μέσω συντελεστή θερμοπερατότητας κτιρίου)
  - ο Συντελεστής μόνωσης μονάδας λέβητα-καυστήρα από TOTEE 20701-1 (απαιτείται τύπος/επάρκεια & μήκος)
  - ο Συντελεστής απόδοσης τερματικών μονάδων (απαιτείται τύπος)
- Αυτόνομες μονάδες ψύξης (Αντλίες θερμότητας). Απαιτούνται τα αντίστοιχα δεδομένα, τα οποία προκύπτουν μέσω του τύπου.
- Ζ.Ν.Χ. (Ηλεκτρικοί θερμαντήρες). Απαιτούνται τα αντίστοιχα δεδομένα, τα οποία προκύπτουν μέσω του τύπου.
- Διατάξεις αυτομάτου ελέγχου (Τύπου Δ, λόγω έλλειψης αυτοματισμών).

Στη βάση των παραπάνω στοιχείων προκύπτει η ενεργειακή ταυτότητα του προς μελέτη κτιρίου, συμπεριλαμβάνοντας στοιχεία φορτίων, κατανάλωσης και πρωτογενούς ενέργειας για κάθε χρήση.

Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου προς μελέτη και του κτιρίου αναφοράς.

#### **4. Υπολογισμός αβεβαιοτήτων – Ανάλυση ευαισθησίας**

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έχουν βασιστεί στα ακόλουθα δεδομένα εισόδου:

- Στοιχεία χρήσης κτιρίου, τα οποία σε συνδυασμό με την επιφάνεια των διαθέσιμων χώρων χαρακτηρίζουν τα εσωτερικά φορτία φωτισμού και ανθρώπων.
- Κλιματολογικά δεδομένα, τα οποία επιδρούν στα φορτία συναγωγής και ακτινοβολίας, φορτία ΖΝΧ (θερμοκρασία νερού δικτύου) καθώς και στη συνεισφορά συστημάτων ΑΠΕ, εστιάζοντας στα θερμικά ηλιακά και Φ/Β.

Γιώργος Πανάρας, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

Η αβεβαιότητα στον προσδιορισμό της ενεργειακής αποδοτικότητας σύμφωνα με τον KENAK

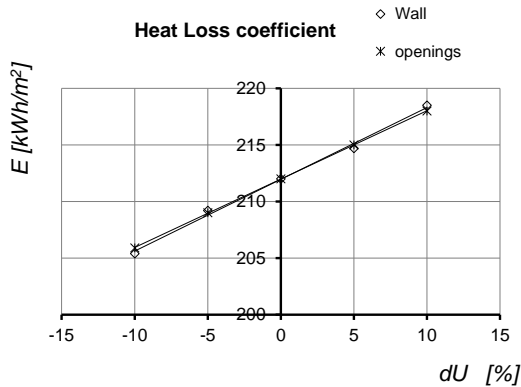
- Στοιχεία μετρήσεων γεωμετρικών χαρακτηριστικών, στα οποία θεωρείται ότι δεν υπεισέρχεται σφάλμα.
- Ποσότητα ZNX σε ετήσια βάση, η οποία προκύπτει από τον αριθμό των ατόμων (άρα και την επιφάνεια των διαθέσιμων χώρων).
- Στοιχεία κελύφους. Ζητείται η θερμοχωρητικότητα του κελύφους. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας προκύπτει από τα πιστοποιητικά των κατασκευαστών ή ακόμα και τη μελέτη θερμομόνωσης (TOTEE 20701-1, TOTEE 20701-2). Παρόλα αυτά, οι πραγματικές τιμές δεν είναι γνωστές.
- Συντελεστές σκίασης. Υπολογίζεται σύμφωνα με μεθοδολογία που προβλέπει η TOTEE20701-1. Εν τούτοις λόγω της σχετικής πολυπλοκότητας της διαδικασίας υπολογισμού μπορεί να θεωρηθεί ενδεχόμενο σφάλμα στον υπολογισμό.
- Διείσδυση αέρα από χαραμάδες. Προκύπτει ανάλογα με τον τύπο και την επιφάνεια των κουφωμάτων. Λόγω της σχετικής πολυπλοκότητας τις διαδικασίας μπορεί να θεωρηθεί ενδεχόμενο σφάλμα στον υπολογισμό.
- Στοιχεία αποδοτικότητας συσκευών, τα οποία εκτιμώνται είτε από μέτρηση είτε από τιμές κατασκευαστών. Σε περίπτωση αδυναμίας προσδιορισμού της αποδοτικότητας, προτείνονται προκαθορισμένες τιμές στην TOTEE20701-1.
- Ισχύς βοηθητικών υποσυστημάτων. Αν και προκύπτει από τα χαρακτηριστικά των συσκευών, πιθανή παράλειψη στην καταγραφή των υποσυστημάτων ενδέχεται να οδηγήσει σε σφάλμα.
- Για τα στοιχεία της θερμομόνωσης σωλήνων και των τερματικών μονάδων, θεωρείται ότι τα στοιχεία του KENAK (βαθμοί απόδοσης θερμομόνωσης & τερματικών μονάδων) είναι τυπικά και ως εκ τούτου επαρκή.
- Τύπος αυτοματισμών. Τον επιλέγει ο επιθεωρητής, στη βάση διαθέσιμων τιμών που προτείνει το λογισμικό.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ανάλογα με τον τύπο των διαθέσιμων συστημάτων, ενδεχόμενα υπεισέρχονται και επιπρόσθετες παράμετροι, όπως στην περίπτωση των συστημάτων ΑΠΕ (θερμικών ηλιακών, Φ/Β, Α/Γ). Σε κάθε περίπτωση, αν εξαιρεθούν οι συντελεστές αποδοτικότητας του ηλιακού συλλέκτη, οι υπόλοιπες παράμετροι αναφέρονται σε στοιχεία ισχύος ή επιφάνειας, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν γνωστά με ακρίβεια. Το ίδιο ισχύει και για τη χρήση προκαθορισμένων τιμών για την αποδοτικότητα του Φ/Β στοιχείου.

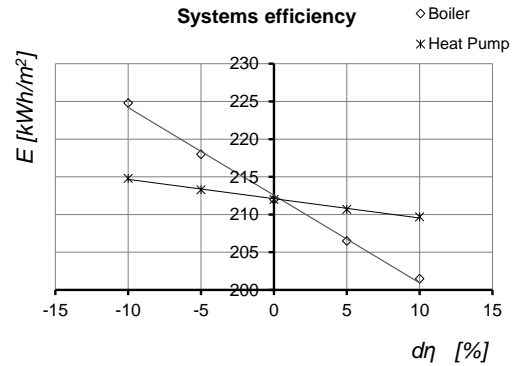
Σύμφωνα με τα παραπάνω, και με γνώμονα το συγκεκριμένο παράδειγμα, η ανάλυση μπορεί να εστιάσει στα εξής μεγέθη:

- U εξωτερικών τοίχων
- U ανοιγμάτων
- Θερμοχωρητικότητα κελύφους
- Διείσδυση αέρα από χαραμάδες
- Συντελεστής αποδοτικότητας καυστήρα πετρελαίου
- Συντελεστής αποδοτικότητας αντλίας θερμότητας
- Ισχύς βοηθητικών υποσυστημάτων
- Συντελεστές σκίασης

Γιώργος Πανάρας, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας  
 Η αβεβαιότητα στον προσδιορισμό της ενεργειακής αποδοτικότητας σύμφωνα με τον KENAK

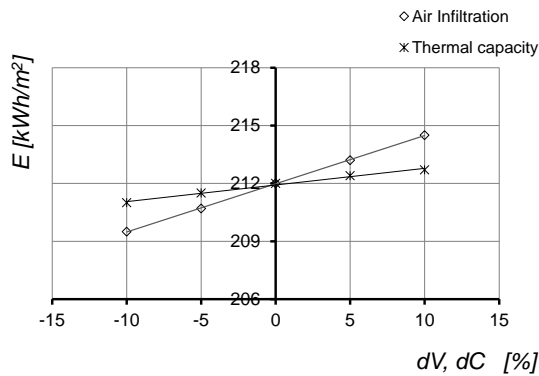


(α)

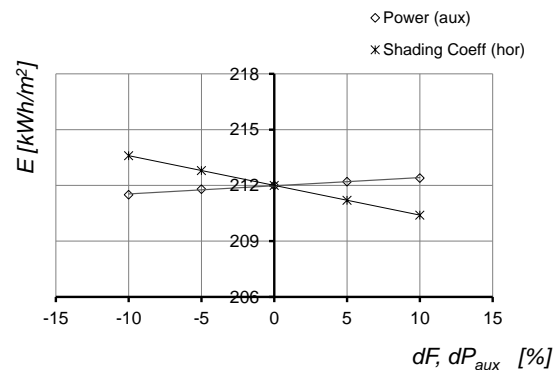


(β)

Σχήμα 3. Μεταβολές στην πρωτογενή ενέργεια σε σχέση με αλλαγές στις τιμές: α) της θερμοπερατότητας των τοίχων και των ανοιγμάτων, β) του βαθμού απόδοσης του λέβητα και του συντελεστή συμπεριφοράς της αντλίας θερμότητας



(α)



(β)

Σχήμα 4. Μεταβολές στην πρωτογενή ενέργεια σε σχέση με αλλαγές στις τιμές: α) της διείσδυσης του αέρα διαμέσου των κουφωμάτων και της θερμοχωρητικότητας του κελύφους, β) της ισχύος των βοηθητικών συστημάτων και των συντελεστών σκίασης (οφειλόμενων σε οριζόντιους προβόλους)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα σχήματα 3-4, η επίδραση στην τελική τιμή πρωτογενούς ενέργειας τόσο της θερμοπερατότητας, όσο και του βαθμού απόδοσης του λέβητα και της αντλίας θερμότητας καθώς και της διείσδυσης του αέρα κρίνονται σημαντικές ενώ δεν μπορεί να διατυπωθεί το ίδιο για τη θερμοχωρητικότητα του κελύφους, την ισχύ των βοηθητικών συστημάτων και των συντελεστών σκίασης λόγω οριζόντιων προβόλων.

Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται στον πίνακα 1, όπου και παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενες τιμές των συντελεστών ευαισθησίας:

$$\frac{\partial E}{\partial A} \approx \frac{\Delta E}{\Delta A} \quad (1)$$

Γιώργος Πανάρας, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

Η αβεβαιότητα στον προσδιορισμό της ενεργειακής αποδοτικότητας σύμφωνα με τον KENAK



Πίνακας 1. Συντελεστές ευαισθησίας

Μέγεθος	Θερμο-περατότητα τοίχων (W/m <sup>2</sup> K)	Θερμο-περατότητα ανοιγμάτων (W/m <sup>2</sup> K)	Βαθμός απόδοσης λέβητα (-)	COP A/Θ (-)	Διείσδυση αέρα (m <sup>3</sup> /h)	Θερμο-χωρητικότητα κελύφους (kJ/m <sup>2</sup> K)	Ισχύς βοηθ. Συσ. (kW)	Συντ. Σκίασης (-)
Συντελεστές ευαισθησίας	0.634	0.604	-1.162	-0.256	0.25	0.086	0.044	-0.16

Υπό αυτή την έννοια, και θεωρώντας ότι οι χρησιμοποιούμενες τιμές για το σύνολο των υπολοίπων παραμέτρων είναι επακριβώς καθορισμένες, θα μπορούσε να διατυπωθεί η ακόλουθη σχέση για την αβεβαιότητα της πρωτογενούς ενέργειας (BIPM et al, 2008):

$$u_E \approx \sqrt{\left(\frac{\partial E}{\partial U_w} u_{U_w}\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial U_{op}} u_{U_{op}}\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial \eta_{oil}} u_{\eta_{oil}}\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial COP_{HP}} u_{COP_{HP}}\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial V} u_V\right)^2} \quad (2)$$

Για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας της πρωτογενούς ενέργειας μπορούμε να θεωρήσουμε ότι γνωρίζουμε την αβεβαιότητα των επιμέρους μεγεθών με ακρίβεια 10%. Αν υποθέσουμε ότι η ορθότητα υποδεικνύει ορθογώνια κατανομή για το εν λόγω μέγεθος, τότε για την αβεβαιότητα του μπορεί να διατυπωθεί η σχέση:

$$u_A = \frac{a_A}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

Από τις εξισώσεις (2), (3), για ορθότητα 10% και για τις τιμές των συντελεστών ευαισθησίας που παρέχονται από τον πίνακα 1, προκύπτει  $u_E = 10.18 \text{ kWh/m}^2$  ή 4.8%.

Η αβεβαιότητα αυτή κρίνεται σημαντική καθώς μπορεί να επηρεάσει την ενεργειακή κατάταξη του πιστοποιούμενου κτιρίου. Σύμφωνα με την ανάλυση, η αβεβαιότητα αυτή εξαρτάται από την επιμέρους αβεβαιότητα συγκεκριμένων παραμέτρων. Ειδικότερα, για τις τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας και αποδοτικότητας του συστήματος παραγωγής θερμότητας, η αβεβαιότητα εξαρτάται κυρίως από την αξιοπιστία της πληροφορίας που παρέχουν τα αντίστοιχα πιστοποιητικά. Για τον υπολογισμό της ποσότητας αέρα που διεισδύει μέσω των κουφωμάτων, η αβεβαιότητα σχετίζεται κυρίως με την ακρίβεια τήρησης της σχετικής διαδικασίας από το μηχανικό, ενώ ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση του συντελεστή αποδοτικότητας της αντλίας θερμότητας. Με δεδομένο ότι αυτό που ενδιαφέρει στην πράξη είναι ο εποχιακός συντελεστής αποδοτικότητας, ο οποίος εκφράζει την αποδοτικότητα της συσκευής σε σχέση με τις περιβαλλοντικές συνθήκες που θα αντιμετωπίσει κατά τη διάρκεια του χρόνου, η τιμή της παραμέτρου δεν προκύπτει από κάποιο πιστοποιητικό κατασκευαστή, τουλάχιστον άμεσα. Ο KENAK προτείνει είτε τον υπολογισμό από τη στιγμιαία απόδοση μέσω κάποιας εξίσωσης, είτε τη χρήση της τιμής της στιγμιαίας αποδοτικότητας για συγκεκριμένες συνθήκες εξωτερικής θερμοκρασίας. Η παροχή στον επιθεωρητή/μηχανικό της δυνατότητας να επιλέξει τη μέθοδο υπολογισμού ενδεχόμενα επιδρά στο τελικό αποτέλεσμα.

Γιώργος Πανάρας, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

Η αβεβαιότητα στον προσδιορισμό της ενεργειακής αποδοτικότητας σύμφωνα με τον KENAK

## 5. Συμπεράσματα

Σύμφωνα με την ανάλυση, και στη βάση της περίπτωσης που εξετάστηκε, η επίδραση της αβεβαιότητας των συντελεστών θερμοπερατότητας του κελύφους και του βαθμού απόδοσης του θερμικού συστήματος είναι ιδιαίτερα σημαντική στο τελικό αποτέλεσμα, ενώ αξιόλογη είναι και η επίδραση της αβεβαιότητας στη γνώση του COP της αντλίας θερμότητας και της διείσδυσης αέρα μέσω των κουφωμάτων. Για αβεβαιότητα αντίστοιχη με 10% ορθότητα στο εισερχόμενο στους υπολογισμούς μέγεθος, η αβεβαιότητα στην τελική τιμή της πρωτογενούς ενέργειας είναι 4.8%. Η αβεβαιότητα αυτή κρίνεται σημαντική καθώς μπορεί να επηρεάσει την ενεργειακή κατάταξη του πιστοποιούμενου κτιρίου.

Με δεδομένο ότι για κάποιες περιπτώσεις όπως τα νεόκτιστα ή ριζικώς ανακαινιζόμενα κτίρια η απαίτηση για κατάταξη τουλάχιστον στην κατηγορία Β είναι ανελαστική, ενώ αναμένεται και αυστηροποίηση των απαιτήσεων στο άμεσο μέλλον για τα δημόσια κτίρια, καθώς και για άλλες κατηγορίες κτιρίων, η εισαγωγή στον ΚΕΝΑΚ μια πολιτικής διαχείρισης της αβεβαιότητας στο τελικό αποτέλεσμα αποτελεί σημαντικό ζήτημα.

Παράλληλα η αύξηση των απαιτήσεων σχετικά με την αξιοπιστία των τιμών των παραμέτρων που ανέδειξε ως κρίσιμες η παρούσα ανάλυση (συντελεστές θερμοπερατότητας στοιχείων κελύφους, ποσότητα διείσδυσης αέρα μέσω κουφωμάτων, συντελεστές αποδοτικότητας συσκευών παραγωγής θερμότητας για θέρμανση χώρων ή αντλιών θερμότητας), αναμένεται να συμβάλλει στη μείωση της αβεβαιότητας του τελικού αποτελέσματος. Η περίπτωση χρήσης ηλιακών συλλεκτών, αναμένεται επίσης να αυξήσει την αβεβαιότητα του τελικού αποτελέσματος, κυρίως όσον αφορά την σχετική αβεβαιότητα με τους συντελεστές αποδοτικότητας του ηλιακού συλλέκτη.

## Βιβλιογραφία

- BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 2008. Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement
- E.E., 2010. Οδηγία 2010/31 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων
- E.E., 2002. Οδηγία 2002/91 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων
- E.T., 2010. Φ.Ε.Κ. 407/9.4.2010, Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Αποδοτικότητας Κτιρίων
- E.T., 2008. Νόμος 3661/2008, Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις
- E.T., 1999. Κώδικας βασικής πολεοδομικής νομοθεσίας, Π.Δ. 580/Δ/1999, αρθ. 382
- ΤΕΕ, 2010. ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010, Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης
- ΤΕΕ, 2010. ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010, Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων
- ΤΕΕ, 2010. ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010, Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών
- ΤΕΕ, 2010. ΤΟΤΕΕ 20701-4/2010, Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού

Γιώργος Πανάρας, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

Η αβεβαιότητα στον προσδιορισμό της ενεργειακής αποδοτικότητας σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ