

Ανάπτυξη εργαλείου για την ολοκληρωμένη μελέτη και αξιολόγηση κτιρίων – Εφαρμογή σε κτίριο χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης

Δημήτριος Αναστασέλος

International Hellenic University, School of Science and Technology, 14th km Thessaloniki – Moudania, 57001 Thermi, Greece

Email: jimanas@aix.meng.auth.gr, τηλ.: 2310996048, fax: 2310996012

Οξυζίδης Συμεών, Ιφιγένεια Θεοδωρίδου, Άγις Μ. Παπαδόπουλος

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Θυρίδα 483, ΤΚ 541 24 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αναλυτική περιγραφή και εφαρμογή ενός εργαλείου το οποίο αναπτύχθηκε για την ολοκληρωμένη αξιολόγηση των κτιρίων στη διάρκεια του κύκλου ζωής τους αποτελεί τον σκοπό της παρούσας εργασίας. Το εργαλείο περιλαμβάνει τρεις κύριους παράγοντες αξιολόγησης, την κατανάλωση ενέργειας, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, το οικονομικό κόστος, των οποίων τα επιμέρους μεγέθη υπολογίζονται αναλυτικά κατά τα τέσσερα διακριτά στάδια του κύκλου ζωής ενός κτιρίου, ενώ ο τέταρτος παράγοντας αξιολόγησης αναφέρεται στις συνθήκες θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του κτιρίου. Τα στάδια του κύκλου ζωής αποτελούν η κατασκευή, η χρήση, η καθαίρεση και η τελική διαχείριση. Ο υπολογισμός των επιθυμητών μεγεθών πραγματοποιείται με τη χρήση αναλυτικών αλγορίθμων οι οποίοι παρέχουν τη δυνατότητα, ανάλογα με το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα, είτε να χρησιμοποιηθούν αυτόνομα, είτε να συνδυαστούν μεταξύ τους. Η σύνδεση των αλγορίθμων που αναπτύχθηκαν, σε συνδυασμό με την ενσωμάτωση των βάσεων δεδομένων οι οποίες δημιουργήθηκαν και οι οποίες περιέχουν στοιχεία τα οποία προέρχονται από τον ελληνικό βιομηχανικό και κατασκευαστικό τομέα, οδήγησαν στη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου εργαλείου υποστήριξης της λήψης αποφάσεων, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως σύνολο, είτε τμήματα αυτού, από πλήθος διαφορετικών χρηστών και για την επίτευξη διαφορετικών σκοπών. Με τη χρήση του ολοκληρωμένου εργαλείου είναι πλέον εφικτή η παραμετρική διερεύνηση της βέλτιστης λύσης στην επιλογή της βέλτιστης θερμομονωτικής λύσης ανά επιμέρους δομικό στοιχείο, της βέλτιστης επιλογής κουφωμάτων αλλά και των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικά, ενεργειακά, και οικονομικά κριτήρια και συνεκτιμώντας παράλληλα την παράμετρο της θερμικής άνεσης. Το εργαλείο εφαρμόστηκε για τη μελέτη τόσο κατά τη φάση σχεδιασμού ενός κτιρίου χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, όσο και για την τελική του αξιολόγηση μετά την αποπεράτωσή του.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έννοια της αειφορίας στον κτιριακό τομέα παρουσιάζει συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον τόσο ως προς τη σημασία της αυτή καθεαυτή, όσο και αναφορικά με τις κατεξοχήν πρακτικές της χρήσεις καθώς η κοινή γνώμη ευαισθητοποιείται ολοένα και περισσότερο σε περιβαλλοντικά θέματα που σχετίζονται τόσο με τον τρόπο κατασκευής των σύγχρονων κτιρίων, όσο και με την ορθολογική διαχείριση του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος.

Αναφορικά με τους κυριότερους παράγοντες οι οποίοι χαρακτηρίζουν τον κτιριακό τομέα (οικονομική δραστηριότητα, κατανάλωση ενέργειας, περιβαλλοντικές επιπτώσεις) θα πρέπει να επισημανθεί πως κατά την περίοδο 1996 – 2000, ο ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης στην Ευρώπη αυξήθηκε κατά 1.7%, ενώ παράλληλα η μέση ετήσια αύξηση του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (ΑΕΠ) ανήλθε στο 2.6%. Παρόλα αυτά ο ρυθμός αύξησης της κατασκευής των κτιρίων κατοικιών βαίνει μειούμενος καθώς το 2005 ανήλθε στο 0.7% σε σύγκριση με το 4.4% το 2004 (Poel et al, 2007).

Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου οι οποίες συνδέονται με την κατανάλωση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας στον κτιριακό τομέα αντιπροσωπεύουν το ένα τρίτο των συνολικών παραγόμενων εκπομπών στην Ευρώπη, ένα ποσοστό το οποίο εμφανίζεται ακόμη μεγαλύτερο σε μερικές χώρες ανάλογα με τον ποσοστό των συμβατικών καυσίμων που συμμετέχουν στην ηλεκτροπαραγωγή. Το 2005 η τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (EU-27) ανήλθε στα 1,168 Mtoe ή 2.4 toe/κάτοικο (European Commission – Eurostat, 2008), με τον κτιριακό τομέα να αντιπροσωπεύει το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (Balaras et al., 2007).

Τα κτίρια και κατά συνέπεια τα επιμέρους δομικά στοιχεία τους στη διάρκεια του κύκλου ζωής τους αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον. Κατά το πρόσφατο παρελθόν, οι έρευνες αναφορικά με την αποτίμηση των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων επικεντρώθηκαν στο στάδιο της παραγωγής των δομικών υλικών τα οποία συνθέτουν τις εφαρμοζόμενες κατασκευαστικές λύσεις, καθώς και κατά τη διάρκεια της περιόδου χρήσης τους. Η μη συνεκτίμηση των επιπτώσεων των δομικών υλικών κατά τη διάρκεια του τελευταίου σταδίου του κύκλου ζωής τους αντιτίθεται στις βασικές αρχές της αειφορίας.

Η επιθυμία ικανοποίησης των θεμελιωδών αρχών της αειφορίας, η οποία προϋποθέτει την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κτιρίων στον κύκλο ζωής τους, σε συνδυασμό με την συνεκτίμηση των παραγόντων του κόστους και της κατανάλωσης ενέργειας, οδήγησαν στην ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος αξιολόγησης των κτιρίων, το οποίο δύναται να δράσει υποστηρικτικά στη λήψη αποφάσεων αναφορικά με τη μελέτη και την κατασκευή ενός κτιρίου.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η ολοκληρωμένη αξιολόγηση των κτιρίων στον κύκλο ζωής τους επιτυγχάνεται μέσω της ανάπτυξης και εφαρμογής διαφόρων υπολογιστικών αλγορίθμων οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να υπολογίζουν τα απαιτούμενα μεγέθη των παραγόντων αξιολόγησης ενός κτιρίου στη διάρκεια του κύκλου ζωής, ανάλογα με τον τύπο των επιμέρους θερμομονωτικών υλικών και λύσεων, των κουφωμάτων αλλά και των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται. Η αναλυτική παράθεση των υπολογιστικών αλγορίθμων παρουσιάζεται σε σχετική εργασία (Anastaselos et al. 2011).

Οι αλγόριθμοι αυτοί παρέχουν τη δυνατότητα της εισαγωγής ελάχιστων αρχικών δεδομένων, με τις απαιτούμενες τιμές των απαραίτητων για τον υπολογισμό μεγεθών να λαμβάνονται από εκτενείς βάσεις δεδομένων οι οποίες αναπτύχθηκαν, καθώς και τη δυνατότητα εισαγωγής αναλυτικών δεδομένων ανά παράγοντα αξιολόγησης και ανά επιμέρους στάδιο του κύκλου ζωής.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί ότι η κατανάλωση ενέργειας, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, το οικονομικό κόστος αλλά και η θερμική άνεση αποτελούν τους κυριότερους παράγοντες οι οποίοι επιλέχθηκαν για την αξιολόγηση των κτιρίων, τα επιμέρους μεγέθη των οποίων υπολογίζονται αναλυτικά στον κύκλο ζωής των κτιρίων με τη χρήση των κατάλληλων αλγορίθμων οι οποίοι αναφέρθηκαν προηγουμένα.

Πιο συγκεκριμένα, αναφορικά με το στάδιο της κατασκευής, τα δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης και εκπομπών ρύπων κατά την παραγωγική διαδικασία ενός δομικού υλικού και τοποθέτησής του στο κτίριο, μπορούν να υπολογιστούν είτε με τη χρήση ενός εργαλείου Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ), χρησιμοποιώντας κατάλληλα δεδομένα εισροών που προέρχονται από ελληνικές μονάδες παραγωγής δομικών υλικών (χρήση πρώτων υλών, κατανάλωση ενέργειας), είτε από βιβλιογραφική έρευνα. Ο προσδιορισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της μεθοδολογίας που περιγράφεται αναλυτικότερα από τον Αναστασέλο (2009). Τα απαραίτητα στοιχεία κόστους (αγοράς και τοποθέτησης) υπολογίζονται με βάση τις τρέχουσες τιμές της αγοράς.

Αναφορικά με το στάδιο της χρήσης των κτιρίων, η κατανάλωση ενέργειας αποτελεί το κρίσιμο μέγεθος που πρέπει να υπολογιστεί καθώς οδηγεί στον υπολογισμό τόσο των εκπομπών ρύπων όσο και του συνολικού κόστους. Η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να υπολογιστεί είτε με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού προσομοίωσης όπως πχ. το EnergyPlus, το TRNSYS, κτλ (Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009; The University of Wisconsin, 2009), είτε με την εφαρμογή της απλής ωριαίας μεθόδου κατά EN 13790, είτε με την εφαρμογή σχετικών εργαλείων υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων όπως πχ. το TEE-KENAK.

Τέλος, όλα τα απαραίτητα μεγέθη των παραγόντων αξιολόγησης κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων σταδίων του κύκλου ζωής ενός κτιρίου, δηλαδή της καθαίρεσης και της τελικής διαχείρισης, προέρχονται από την εφαρμογή κατάλληλου υπολογιστικού αλγορίθμου για τη βέλτιστη διαχείριση των κτιρίων στο τέλος της ωφέλιμης ζωής τους (Αναστασέλος 2009).

3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

Η αξιολόγηση των κτιρίων στον κύκλο ζωής τους αποτελεί μια εξαιρετικά πολύπλοκη και ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία. Το πλήθος των επιμέρους παραγόντων οι οποίοι πρέπει να υπολογιστούν και να συνδυαστούν κατάλληλα ώστε να οδηγήσουν στο επιθυμητό αποτέλεσμα κατέστησαν επιτακτική την ανάγκη δημιουργίας ενός ολοκληρωμένου εργαλείου υποστήριξης της λήψης αποφάσεων, με την ονομασία *ib3at*[©] (Anastaseos et al. 2011). Με τη χρήση του *ib3at*[©] στη φάση σχεδιασμού ενός νέου κτιρίου είναι πλέον εφικτή η επιλογή τόσο της βέλτιστης θερμομονωτικής λύσης ανά επιμέρους δομικό στοιχείο, όσο των κουφωμάτων αλλά και των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικά, οικονομικά, και ενεργειακά κριτήρια και συνεκτιμώντας την παράμετρο της θερμικής άνεσης. Το *ib3at*[©] περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Βάση δεδομένων με ενσωματωμένα όλα τα επιμέρους φυσικά και θερμικά χαρακτηριστικά (συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, ειδική θερμοχωρητικότητα, πυκνότητα, κτλ) των περισσότερο αντιπροσωπευτικών δομικών (με ιδιαίτερη έμφαση στα θερμομονωτικά) υλικών τα οποία παράγονται στην Ελλάδα και χρησιμοποιούνται ευρέως στις κατασκευές κτιρίων.
- Βάση δεδομένων στοιχείων κόστους, κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών ρύπων κατά το στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας των δομικών υλικών και κουφωμάτων.
- Βάση δεδομένων ανά κατηγορία θερμομονωτικής λύσης των περισσότερο αντιπροσωπευτικών θερμομονωτικών λύσεων οι οποίες προκύπτουν από τη σύνθεση των επιμέρους δομικών υλικών.
- Υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας μιας θερμομονωτικής λύσης και ενός κουφώματος.
- Δυνατότητα ελέγχου της ικανοποίησης των περιορισμών στο συντελεστή θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου που επιβάλλει ο Κ.Εν.Α.Κ. ανά κατηγορία δομικού στοιχείου και ανά κλιματική ζώνη.

- Δυνατότητα επιλογής επιθυμητού τύπου και πάχους θερμομονωτικού υλικού ανά θερμομονωτική λύση και ανά κατηγορία αυτής που περιέχεται στη βάση δεδομένων.
- Δυνατότητα μεταβολής ανά θερμομονωτικής λύσης είτε κάθε επιμέρους δομικού υλικού ή/και των επιμέρους χαρακτηριστικών αυτού (πχ. πάχους).
- Δυνατότητα προσθήκης ενός νέου δομικού υλικού.
- Δυνατότητα προσθήκης μιας νέας θερμομονωτικής λύσης με την κατάλληλη επιλογή των δομικών υλικών που τη συνθέτουν και τα οποία περιέχονται στη βάση δεδομένων.
- Δυνατότητα μεταβολής όλων των επιμέρους μεγεθών που απαιτούνται για την αξιολόγηση ενός κτιρίου στον κύκλο ζωής τους.
- Δυνατότητα μεταβολής της συνολικής περιόδου χρήσης.
- Δυνατότητα επιλογής της μεθόδου καθαίρεσης των επιμέρους δομικών στοιχείων και τελικής διαχείρισης των απορριμμάτων των δομικών υλικών.
- Δυνατότητα αξιολόγησης της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας που προκύπτει στον κύκλο ζωής ενός κτιρίου ή και στα επιμέρους στάδια αυτού.
- Δυνατότητα αξιολόγησης του συνολικού κόστους που προκύπτει στον κύκλο ζωής ενός κτιρίου ή και στα επιμέρους στάδια αυτού.
- Δυνατότητα αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στον κύκλο ζωής ενός κτιρίου ή και στα επιμέρους στάδια αυτού.
- Δυνατότητα μεταβολής των συντελεστών κατηγοριοποίησης, κανονικοποίησης και βαρύτητας (άρα και μεθοδολογίας) που χρησιμοποιούνται για την ολοκληρωμένη αξιολόγηση των κτιρίων στον κύκλο ζωής τους.
- Δυνατότητα υπολογισμού του συνολικού συντελεστή θερμοπερατότητας ενός κτιρίου μέσω της εισαγωγής της συνολικής επιφάνειας των θερμομονωτικών (ή και κατασκευαστικών) λύσεων αυτού.
- Δυνατότητα ενεργειακής, οικονομικής και περιβαλλοντικής αξιολόγησης ενός κτιρίου στον κύκλο ζωής του ή/και στα επιμέρους στάδια αυτού.

Το *ib3at*[©] μέσω του άμεσου υπολογισμού όλων των απαιτούμενων μεγεθών καθώς και της γραφικής απεικόνισης των μεταβολών τους, παρέχει τη δυνατότητα της αξιολόγησης τόσο των υφιστάμενων, όσο και νέων κτιρίων. Τέλος η δομή του επιτρέπει τη σύνδεση τόσο με κατάλληλα λογισμικά AKZ, όσο και με λογισμικά ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων ώστε να επιτυγχάνεται η άμεση εισαγωγή των αποτελεσμάτων που προκύπτουν στη βάση δεδομένων.

| Τοιχοποιία | | Δάπεδα δάπεδο επί εδάφους | | Ανοίγματα | |
|----------------------------------|----------------|------------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------|
| Επιφάνεια | m ² | Επιφάνεια | m ² | Επιφάνεια | m ² |
| Θερμομονωτικό υλικό | | Θερμομονωτικό υλικό | | U (W/m ² K) | KENAK 2,80 |
| Πάχος ΘΥ | cm | Πάχος ΘΥ | cm | | |
| Επιλογή καθαίρεσης | KENAK | Επιλογή καθαίρεσης | KENAK | | |
| u (W/m ² K) | 0,50 | u (W/m ² K) | 0,70 | | |
| Φέρων οργανισμός Υποσταλόματα | | Δάπεδο pilotis | | Κλιματική ζώνη | |
| Επιφάνεια | m ² | Επιφάνεια | m ² | ε | |
| Θερμομονωτικό υλικό | | Θερμομονωτικό υλικό | | | |
| Πάχος ΘΥ | cm | Πάχος ΘΥ | cm | | |
| Επιλογή καθαίρεσης | KENAK | Επιλογή καθαίρεσης | KENAK | | |
| u (W/m ² K) | 0,50 | u (W/m ² K) | 0,40 | | |
| Δοκοί | | Δάπεδο ενδιάμεσο | | Επιλογή τελικής διαχείρισης | |
| Επιφάνεια | m ² | Επιφάνεια | m ² | Διογκωμένη Πολυστερίνη | |
| Θερμομονωτικό υλικό | | Θερμομονωτικό υλικό | | Πετροβάμβακας | |
| Πάχος ΘΥ | cm | Πάχος ΘΥ | cm | Εξηλασμένη Πολυστερίνη | |
| Επιλογή καθαίρεσης | KENAK | Επιλογή καθαίρεσης | KENAK | Αφρός πολυουρεθάνης | |
| u (W/m ² K) | 0,50 | u (W/m ² K) | 0,60 | | |
| Τοχεία | | Δώματα οροφή | | Περιβαλλοντική αξιολόγηση | |
| Επιφάνεια | m ² | Επιφάνεια | m ² | | |
| Θερμομονωτικό υλικό | | Θερμομονωτικό υλικό | | | |
| Πάχος ΘΥ | cm | Πάχος ΘΥ | cm | | |
| Επιλογή καθαίρεσης | KENAK | Επιλογή καθαίρεσης | KENAK | | |
| u (W/m ² K) | 0,50 | u (W/m ² K) | 0,40 | | |
| Τοχεία υπογείου | | Στέγη | | Αξιολόγηση θερμομονωτικών λύσεων | |
| Επιφάνεια | m ² | Επιφάνεια | m ² | | |
| Θερμομονωτικό υλικό | | Θερμομονωτικό υλικό | | | |
| Πάχος ΘΥ | cm | Πάχος ΘΥ | cm | | |
| Επιλογή καθαίρεσης | KENAK | Επιλογή καθαίρεσης | KENAK | | |
| u (W/m ² K) | 0,50 | u (W/m ² K) | 0,40 | | |

Σχήμα 1. Αρχική σελίδα του ib3at[®]

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΚΤΙΡΙΟ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

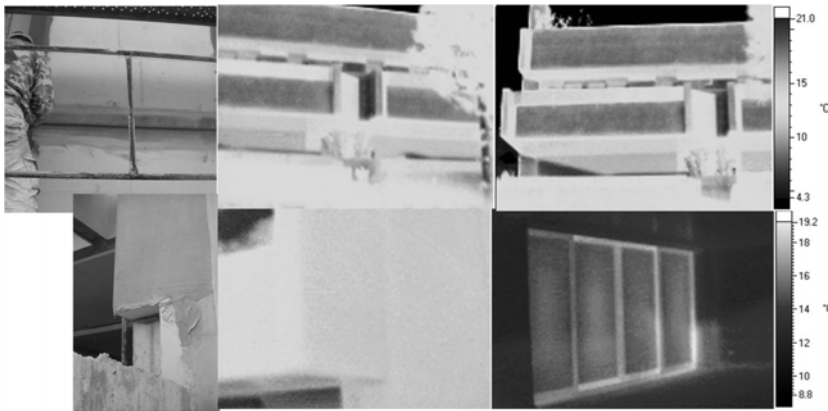
Το ib3at[®] εφαρμόστηκε τόσο στη φάση της μελέτης για τη βέλτιστη επιλογή των επιμέρους θερμομονωτικών λύσεων ενός κτιρίου χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης όσο και μετά την αποπεράτωσή του για την τελική του αξιολόγηση. Τα αναλυτικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη και αξιολόγηση του κτιρίου παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1. Αναλυτικά στοιχεία μελέτης - αξιολόγησης

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ |
|---|
| Κτίριο κατοικιών στην Κηφισιά. |
| Ιδιοκτησία – Κατασκευή: Κ. Μπάκαλας & ΣΙΑ Ο.Ε. |
| Μελέτη: 2007 |
| Αποπεράτωση: 2010 |
| ΑΡΧΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ |
| Δομικά στοιχεία με $U_i \leq 0.50 \text{ W/m}^2\text{K}$. |
| Κουφώματα με $U_w = 2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$. |
| Περίοδος χρήσης: 50 χρόνια. |
| Μέθοδος καθαίρεσης: Επιλεκτική αποδόμηση με ανακύκλωση υλικών. |
| Χρήση λογισμικού Α.Κ.Ζ: SimaPro. |
| Μέθοδος περιβαλλοντικής αξιολόγησης: CML 2. |
| Διαχωρισμός σε 47 θερμικές ζώνες. |
| Χρήση λογισμικού προσομοίωσης: TRNSYS 16. |
| ΤΕΛΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ |
| Προδιαγραφές Γερμανικού Κανονισμού $U_{\text{τοιχοποιίας}} \leq 0.28 \text{ W/m}^2\text{K}$. |
| Κουφώματα με $U_w = 1.8 \sim 2.0 \text{ W/m}^2\text{K}$. |
| Μελέτη ηλιοπροστασίας των κουφωμάτων. |
| Κατασκευαστική αρτιότητα. |
| Τοποθέτηση Συστήματος Εξωτερικής Θερμομόνωσης (περιορισμός των θερμογεφυρών). |
| Λέβητας πετρελαίου χαμηλής θερμοκρασίας (ορθή διαστασιολόγηση) με βαθμό απόδοσης 94%. |
| Ενδοδαπέδια θέρμανση. |



Σχήμα 2. Κτίριο χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης



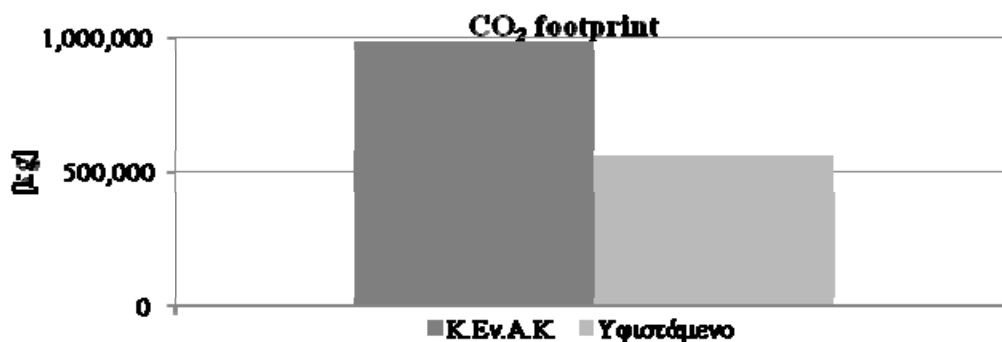
Σχήμα 3. Κατασκευή – Θερμογραφικός έλεγχος

Τα τελικά αποτελέσματα που προκύπτουν παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Η ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει, σε σύγκριση με την τυπική κατασκευή κατά Κ.Εν.Α.Κ. (ή εναλλακτικά το κτίριο αναφοράς), ανέρχεται σε 52.97% για θέρμανση και 43.98% για ψύξη, ενώ ο δείκτης PPD αναφορικά με την θερμική άνεση βαίνει μειούμενος κατά 12.07% (καλύτερες συνθήκες θερμικής άνεσης). Στον κύκλο ζωής του κτιρίου, η συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, με την εφαρμογή των συγκεκριμένων κατασκευαστικών λύσεων παράλληλα με την επιλογή του κατάλληλου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, ελαττώνεται κατά 32.04%, η περιβαλλοντική επίδοση βελτιώνεται κατά 40.78%, ενώ τέλος η συνολική επίδοση του κτιρίου βελτιώνεται κατά 36.98%.

Πίνακας 2. Αναλυτικά αποτελέσματα

| Σενάριο | Θέρμανση (kWh/m ²) | Ψύξη (kWh/m ²) | Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (GJ) | Περιβαλλοντική Επίδοση (pt) | Θερμική Άνεση (PPD) | Συνολική επίδοση (pt) |
|------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|
| Κ.Εν.Α.Κ. | 62.38 | 10.47 | 4,670.58 | 191.22 | 10.12 | 275.25 |
| Υφιστάμενο | 29.34 | 5.94 | 3,174.15 | 113.23 | 8.90 | 173.46 |

| | | | | | | |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Διαφορά | 52.97% | 43.28% | 32.04% | 40.78% | 12.07% | 36.98% |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|



Σχήμα 4. Αποτελέσματα

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρουσίαση αλλά και η εφαρμογή ενός εργαλείου για την ολοκληρωμένη μελέτη και αξιολόγηση νεοαναγειρόμενων και υφιστάμενων κτιρίων αποτελεί τον σκοπό της παρούσας εργασίας. Το εργαλείο αυτό αποτελείται από υπολογιστικούς αλγορίθμους που αναπτύχθηκαν, ενώ ως κυριότερα πλεονεκτήματα του εργαλείου αυτού μπορούν να αναφερθούν ο άμεσος και αναλυτικός υπολογισμός των μεγεθών των παραγόντων αξιολόγησης ανά επιμέρους στάδιο του κύκλου ζωής, καθώς και η ενσωμάτωση εκτενών βάσεων δεδομένων με στοιχεία από τον ελληνικό βιομηχανικό και κατασκευαστικό τομέα. Επιπρόσθετα, η εύκολη εισαγωγή νέων δομικών υλικών, θερμομονωτικών λύσεων, κουφωμάτων, ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων, παραγόντων αξιολόγησης και επιμέρους στοιχείων αυτών, σε συνδυασμό με τη δυνατότητα της χρήσης είτε ολόκληρου του εργαλείου, είτε τμήματα αυτού, από ένα ευρύ φάσμα χρηστών και για την επίτευξη διαφορετικών σκοπών, διαμορφώνουν ένα πλήρως επεκτάσιμο και παραμετροποιήσιμο εργαλείο υποστήριξης της λήψης αποφάσεων. Το εργαλείο αυτό εφαρμόστηκε σε ένα κτίριο χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης στην Αθήνα. Όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα, η επιλογή των συγκεκριμένων θερμομονωτικών λύσεων, κουφωμάτων και ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων οδηγεί στη σημαντική βελτίωση της συνολικής ενεργειακής, περιβαλλοντικής και οικονομικής απόδοσης του κτιρίου στον κύκλο ζωής του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anastaselos D., Oxizidis S., Papadopoulos A.M. (2011). Energy, environmental and economic optimization of thermal insulation solutions by means of an integrated decision support system. *Energy and Buildings*, 43, 686–694.
- European Commission – Eurostat (2008). Key figures on Europe 2007/08. European Communities.
- Balaras C., Gaglía A., Georgopoulou E., Mirasgedis S., Sarafidis Y. and Lalas D. (2007). European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings. *Building and Environment*, 42, 1298–1314.
- Poel B., Cruchten G., Balaras C. (2007). Energy performance assessment of existing dwellings. *Energy and Buildings*, 39, 394–403.
- Αναστασέλος Δ. (2009). Σύστημα αξιολόγησης θερμομονωτικών λύσεων με έμφαση στις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσής τους. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ιούνιος.