ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών:
Περιβαλλοντική και Υγειονομική Μηχανική

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ενεργειακή Επιθεώρηση κτιρίων: Αξιολόγηση δυνατοτήτων λογισμικών εργαλείων

Ελένη Αλούμπη

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ
Θ. Τσούτσος, Αναπλ. Καθηγητής (επιβλέπων)
Γ. Σταυρακάκης, Καθηγητής
Δ. Κολοκοτσά, Επίκ. (υπό διορισμό) Καθηγήτρια

Χανιά, Μάιος 2010

Ευχαριστίες

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια ολοκλήρωσης των μεταπτυχιακών μου σπουδών στο Πολυτεχνείο Κρήτης για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Περιβαλλοντικής και Υγειονομικής Μηχανικής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Αναπλ. Καθηγητή Θεοχάρη Τσούτσο, για τη στήριξή του σε επιστημονικό και φιλικό επίπεδο, σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής.

Ευχαριστώ τους κ. Ευάγγελο Λογκάκη, Ιωάννη Σγουράκη και Αντώνιο Καλαφάτη από την Τεχνική Υπηρεσία του Νοσοκομείου Σητείας για τη βοήθειά τους στη συλλογή δεδομένων που αφορούν το κτίριο. Επίσης, ευχαριστώ τον Πολιτικό Μηχανικό κ. Εμμανουήλ Παυλίδη για τη συλλογή των σχεδίων κατόψεων του υπό μελέτη κτιρίου.

Ευχαριστώ τον κ. Κωνσταντίνο Λάσκο για την πολύτιμη βοήθειά του όσον αφορά στην εκμάθηση του λογισμικού SUNREL.

Ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, τον Καθηγητή Γεώργιο Σταυρακάκη και την Επίκ. (υπό διορισμό) Καθηγήτρια Διονυσία Κολοκοτσά.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την αδερφή μου Μυρτώ για την επιμέλεια του κειμένου και το συνάδελφό μου Γιώργο Γιατράκο για τις πολύτιμες τεχνικές συμβουλές.

Κυρίως, ευχαριστώ τους γονείς μου για τη συμπαράστασή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, τους συγγενείς και φίλους για την ηθική υποστήριξή τους.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ιδιαίτερη ανησυχία παγκοσμίως για την κατάσταση του περιβάλλοντος. Η κατανάλωση ενέργειας ολοένα και αυξάνεται με αποτέλεσμα την επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου που συντελεί στη μέση αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Στα ευρωπαϊκά κτίρια, συνεπώς και στα ελληνικά, έχει παρατηρηθεί ότι καταναλώνεται περίπου το 40% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας. Το γεγονός αυτό καθιστά την ενεργειακή επιθεώρηση κτιρίων αναγκαία τόσο από πλευράς μείωσης των ρύπων που παράγουν, όσο και από πλευράς εξοικονόμησης ενέργειας.

Στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, γίνεται λόγος για την αξιολόγηση των δυνατοτήτων κάποιων λογισμικών εργαλείων που είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεων ενός κτιρίου, προκειμένου να διεξαχθεί μια σωστή ενεργειακή επιθεώρηση. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση τριών λογισμικών εργαλείων (TRNSYS, EPA-NR και SUNREL) που εφαρμόστηκαν στο ίδιο κτίριο, το οποίο είναι ένα από τα 8 κτίρια του συγκροτήματος του Νοσοκομείου Σητείας.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε εισαγωγική συνέντευξη με το προσωπικό της Τεχνικής Υπηρεσίας του Νοσοκομείου, προκειμένου να συλλεχθούν όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τη μοντελοποίηση και παραμετροποίηση του κτιρίου. Στη συνέχεια, έγινε ενεργειακή επιθεώρηση του κτιρίου, για να επαληθευτούν τα στοιχεία που είχαν συλλεχθεί κατά το προηγούμενο στάδιο και να επισημανθούν τυχόν αλλαγές στο κτίριο, οι οποίες δεν είχαν καταγραφεί. Επόμενο βήμα ήταν η εκτέλεση των λογισμικών TRNSYS, EPA-NR και SUNREL για την προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου και τον υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεών του. Μετά τη συγκέντρωση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε η αξιολόγησή τους, καθώς και η αξιολόγηση των λογισμικών εργαλείων για τη χρήση τους στη διαδικασία της ενεργειακής επιθεώρησης κτιρίων. Τέλος, παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα για τα τρία λογισμικά, καθώς και κάποιες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Το κεφάλαιο 1 αποτελεί εισαγωγή στο πρόβλημα της κατανάλωσης μεγάλων ποσών ενέργειας από τα κτίρια, ενώ ταυτόχρονα γίνεται λόγος και για την έννοια της ενεργειακής επιθεώρησης κτιρίων. Ακόμη, παρατίθενται συνοπτικά κάποια σημεία του ελληνικού θεσμικού πλαισίου (ΚΕΝΑΚ) για την ενεργειακή επιθεώρηση κτιρίων.

Στο κεφάλαιο 2 περιγράφεται η συνήθης διαδικασία της ενεργειακής επιθεώρησης που εφαρμόζεται στα κτίρια άλλων ευρωπαϊκών χωρών, καθώς και τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται. Επιπλέον, δίνονται κάποια παραδείγματα εφαρμογών ενεργειακών προσομοιώσεων κτιρίων.

Στο κεφάλαιο 3 αναπτύσσεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την πραγματοποίηση της ενεργειακής προσομοίωσης του κτιρίου από τα τρία λογισμικά που προαναφέρθηκαν.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η εφαρμογή της μελέτης ενεργειακής προσομοίωσης του κτιρίου. Αναλυτικότερα, πραγματοποιείται η προσομοίωση του κτιρίου του Νοσοκομείου με τα λογισμικά TRNSYS, EPA-NR και SUNREL. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται συγκριτική μελέτη μεταξύ των τριών λογισμικών με βάση τα αποτελέσματα που έχουν εξαχθεί.

Τέλος, στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από τη μελέτη ενεργειακής προσομοίωσης στο συγκεκριμένο, κτίριο καθώς και κάποιες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Abstract

More and more people around the world are concerned about the deterioration of the environment over the last years. Energy consumption is increasing dramatically and as a result, we observe a deterioration of the greenhouse effect that contributes to the increase of the planet's mean temperature. Studies have shown that 40% of Europe's total energy is is consumed in European (and Greek) buildings. Therefore, the procedure of Energy Auditing in Buildings is necessary in order to save energy, as well as to limit atmospheric pollution.

In relation to the problems described above, the main purpose of this project is to evaluate the capabilities of different whole-building energy simulation software which are used to calculate the demand for heating and cooling in a building, in order to conduct a proper Energy Audit. Particularly, TRNSYS, EPA-NR and SUNREL software were used for the calculation of energy demand for heating and cooling in one out of eight buildings of the Prefectural Hospital of Sitia in Crete.

Firstly, people working in the Hospital's Technical Department were interviewed, in order to collect all the necessary data to simulate the building. During the Energy Audit procedure, the verification of the information gathered in the previous step, as well as the identification of any changes in the building that were not recorded earlier, took place. The TRNSYS, EPA-NR and SUNREL software were run for the energy simulation of the building and the calculation of its energy demands. As soon as their results were gathered and compared, an evaluation of using these programs in the Energy Audit procedure was made.

Chapter 1 makes an introduction to the problem of high energy intensity in buildings and to the Energy Audit procedure. A brief description of the Greek Regulation for Energy Efficiency in Buildings is included as well.

In chapter 2 describes energy audit practices in other EU countries, as well as the industry standard software. Furthermore, applications for energy simulation in different kinds of buildings are presented.

In chapter 3 is analyzed the methodology that was followed in order to conduct the energy simulation of the building in TRNSYS, EPA-NR and SUNREL software.

In chapter 4 is depicted the application of energy simulation of the building in TRNSYS, EPA-NR and SUNREL, followed by a comparing study of the three software suites.

In the 5th and final chapter, conclusions on this project, as well as some suggestions for further research are presented.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κατάλογος Συντομογραφιών

BEMS	Building Energy Management System
BESTEST	Building Energy Simulation TEST
CEN	European Committee for Standardization
ΔΟΕ	Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας
ΕΑΑ	Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών
ΕΛΟΤ	Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης
ΕΜΥ	Ελληνική Μετεωρολογική Υπηρεσία
EPA-NR	Energy Performance Assessment for existing Non-Residential buildings
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
EU-25	Ευρώπη των 25
ΖΝΧ	Ζεστό Νερό Χρήσης
HVAC	Heating Ventilation Air Conditioning
IEA	International Energy Agency
IEE	Intelligent Energy Europe
ISO	International Organization for Standardization
ΚΑΠΕ	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
ΚΕΝΑΚ	Κανονισμός ΕΝεργειακής Απόδοσης Κτιρίων
ΚΟΧΕΕ	Κανονισμός Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας
NREL	National Renewable Energy Laboratory
ΣΗΘ	Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θέρμανσης
SERI	Solar Energy Research Institute
ΤΕΕ	Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας
ΤΟΤΕΕ	Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας
ΤΙΠ	Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου
TMY	Typical Meteorological Year
TRNSYS	TRansient energy SYstem Simulation
ΥΠΕΚΑ	Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής
ΥΠΑΝ	Υπουργείο Ανάπτυξης

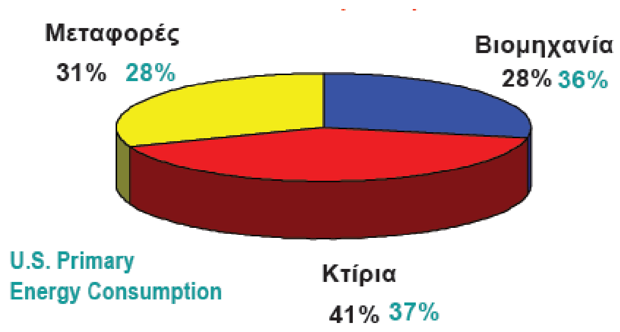
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

1.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται ιδιαίτερη ανησυχία παγκοσμίως για την κατάσταση του περιβάλλοντος. Η κατανάλωση ενέργειας ολοένα και αυξάνεται με αποτέλεσμα την αύξηση των ατμοσφαιρικών ρύπων και την επιδείνωση του φαινόμενου του θερμοκηπίου που τελικά συντελεί στη μέση αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Επιπλέον, η υπερκατανάλωση ενέργειας συντελεί ενδεχομένως στην ταχύρυθμη μείωση των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων. Οι λόγοι αυτοί δικαιολογούν την ιδιαίτερη έμφαση που έχει δοθεί στους τομείς της ορθολογικής χρήσης και της εξοικονόμησης ενέργειας την τελευταία δεκαετία.

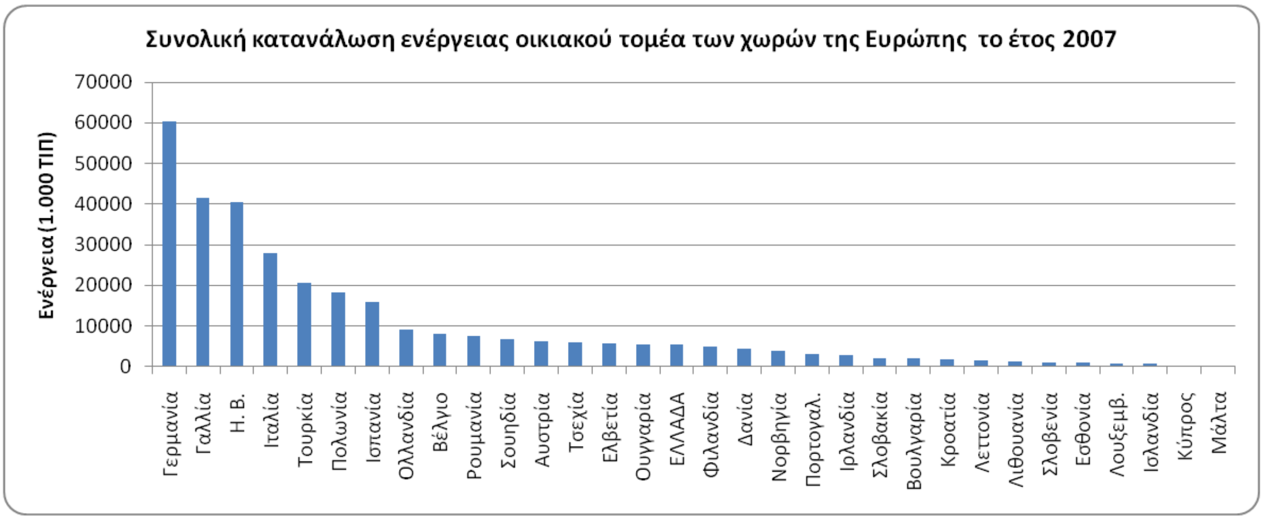
Όσον αφορά στα κτίρια, η προσπάθεια που γίνεται έχει ως σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, προκειμένου να συμβάλει στη βελτίωση των περιβαλλοντικών συνθηκών (ελάττωση ατμοσφαιρικών ρύπων) αλλά και στη μείωση των λειτουργικών δαπανών.

Στα ευρωπαϊκά κτίρια, έχει παρατηρηθεί ότι καταναλώνεται περίπου το 40% της συνολικής ενέργειας. Για το λόγο αυτό, το ζήτημα της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων έχει τεθεί σε υψηλή προτεραιότητα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.



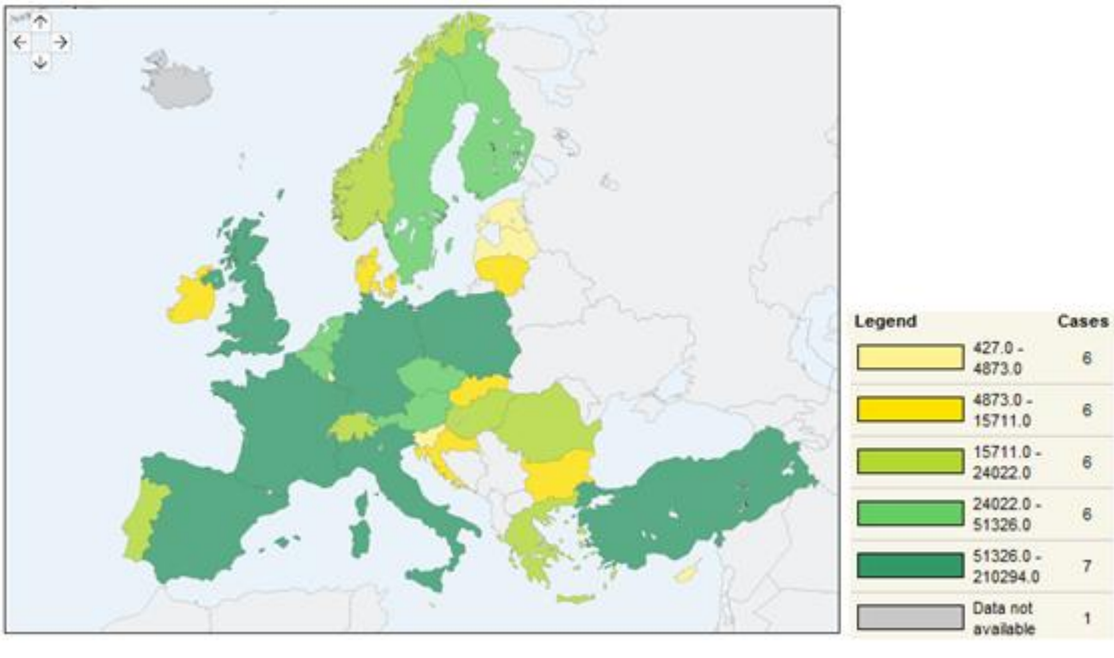
Εικόνα 1. Τελική κατανάλωση ενέργειας EU-25 το 2004 *(EAA)*

Στη συνέχεια, απεικονίζεται η συνολική κατανάλωση ενέργειας του οικιακού τομέα στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης κατά το έτος 2007. Η ενέργεια δίνεται σε 1.000 ΤΙΠ (Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου, *1ΤΙΠ = 11,63 MWh*).



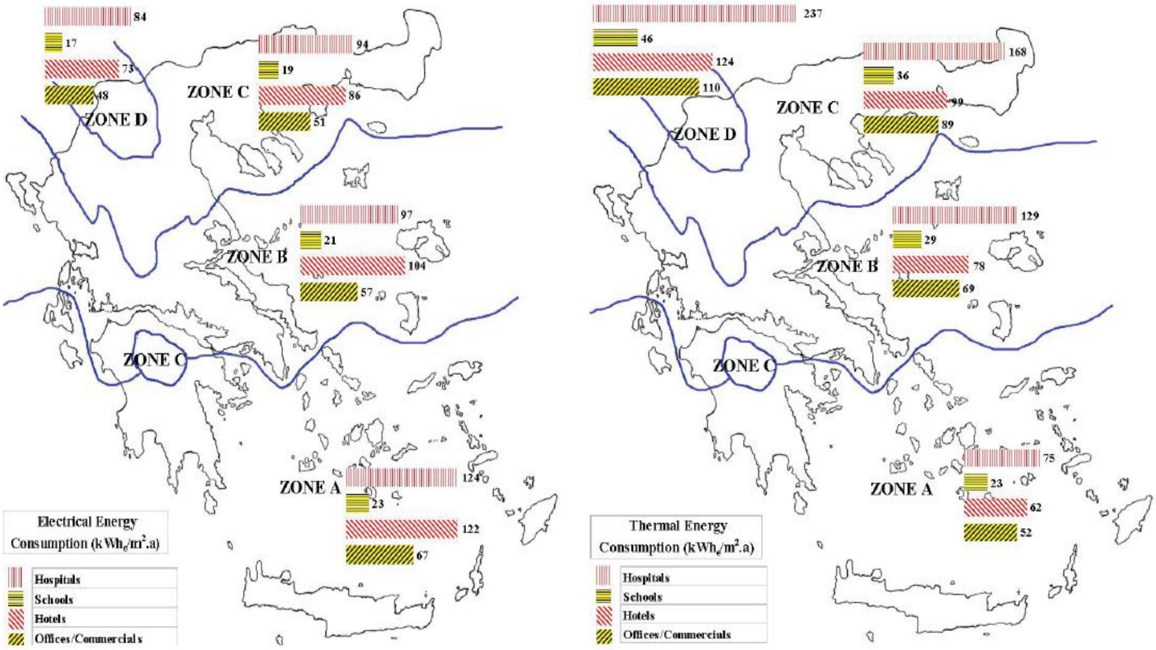
Εικόνα 2. Συνολική κατανάλωση ενέργειας οικιακού τομέα των Ευρωπαϊκών χωρών το έτος 2007 *(Eurostat, Δημοσίευση 23/03/2010)*

Στον επόμενο χάρτη απεικονίζεται η κατανάλωση συνολικής ενέργειας σε όλους τους τομείς (βιομηχανία, μεταφορές, οικίες, υπηρεσίες, γεωργία και υπόλοιποι τομείς), σε κάθε χώρα της Ευρώπης κατά το έτος 2007.



Εικόνα 3. Γραφική απεικόνιση συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στις χώρες της Ευρώπης το 2007 *(Eurostat, Δημοσίευση 23/03/2010)*

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ο διαχωρισμός της Ελληνικής επικράτειας σε τέσσερις κλιματικές ζώνες, όπως αυτές καθορίστηκαν από τον ΚΕΝΑΚ. Σε κάθε ζώνη απεικονίζεται η μέση ηλεκτρική και θερμική κατανάλωση ενέργειας σε κτίρια τριτογενούς τομέα (νοσοκομεία, σχολεία, ξενοδοχεία και γραφεία).



Εικόνα 4. Μέση ηλεκτρική και θερμική κατανάλωση ενέργειας κτιρίων τριτογενούς τομέα ***(Gaglia et al, 2007)***

Οι ενέργειες της Επιτροπής προς την κατεύθυνση αυτή, περιλαμβάνουν κυρίως την Οδηγία 2002/91 με την οποία υποχρεούται να συμμορφωθεί κάθε κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το γεγονός αυτό καθιστά αρχικά την ενεργειακή επιθεώρηση και έπειτα την ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων αναγκαίες τόσο από πλευράς εξοικονόμησης ενέργειας, όσο και από περιβαλλοντική και οικονομική άποψη.

1.2 Ενεργειακή επιθεώρηση κτιρίων

Ο όρος «Ενεργειακή Επιθεώρηση» χρησιμοποιείται γενικά για την περιγραφή μιας συστηματικής διαδικασίας που στοχεύει στην απόκτηση επαρκούς γνώσης γύρω από το προφίλ της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου. Έχει επίσης στόχο τον προσδιορισμό και την αξιολόγηση των οικονομικά βιώσιμων λύσεων για εξοικονόμηση ενέργειας στο εκάστοτε κτίριο. Έτσι, οι ενεργειακές επιθεωρήσεις είναι αποφασιστικής σημασίας για την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, αλλά και για την εξασφάλιση των στόχων της πολιτικής ενεργειακής διαχείρισης.

Ο ενεργειακός σχεδιασμός των κτιρίων στοχεύει στην ποσοτική και ποιοτική βελτίωση της χρήσης της ενέργειας για τη βέλτιστη λειτουργία των κτιρίων, στην κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού και ζεστού νερού χρήσης καθώς και στην εξασφάλιση άνετων συνθηκών διαβίωσης. Γενικότερα, οι στόχοι της ενεργειακής επιθεώρησης κτιρίων είναι (Μαυρίδης και Μιχαηλίδης, 2008):

- Εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση των εκπομπών CO_2.

- Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης.
- Αύξηση χρόνου ζωής εξοπλισμού και συστημάτων.
- Βελτίωση εσωτερικής ποιότητας κτιρίων.
- Μακροπρόθεσμα οικονομικό όφελος.

Στα πλαίσια μιας Ενεργειακής Επιθεώρησης λαμβάνει χώρα και η εκπόνηση «Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης» κτιρίου. Αποτελεί διακριτή μελέτη που αντικαθιστά τη μελέτη θερμομόνωσης. Στη Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης περιλαμβάνονται τα δεδομένα και οι απαραίτητοι υπολογισμοί της ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής κατάταξης των κτιρίων.

Για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής κατάταξης των κτιρίων εφαρμόζεται μεθοδολογία υπολογισμού σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα, (ΕΛΟΤ EN ISO 13790 E2), με τη μέθοδο ημι-σταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος και σύμφωνα με τις εθνικές απαιτήσεις, όπως καθορίζονται με τις ισχύουσες Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (ΤΟΤΕΕ). Οι ΤΟΤΕΕ επικαιροποιούνται κατά περίπτωση σύμφωνα με τις εθνικές απαιτήσεις και εξελίξεις, αλλά και τη διεθνή πρακτική.

Για τους παραπάνω υπολογισμούς, χρησιμοποιείται οποιοδήποτε λογισμικό που αξιολογείται σύμφωνα με τις διαδικασίες της μεθόδου «Building Energy Simulation Test – BESTEST» του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (ΔΟΕ).

Τα δεδομένα υπολογισμού καθώς και οι πρότυπες εσωτερικές συνθήκες άνεσης (θερμοκρασία, υγρασία και αερισμός) των εσωτερικών χώρων των κτιρίων καθορίζονται σύμφωνα με τις ισχύουσες ΤΟΤΕΕ, τα σχετικά Παραρτήματα του ΚΕΝΑΚ και τα στοιχεία που προκύπτουν από την αρχιτεκτονική και τις Η/Μ μελέτες του κτιρίου (ΚΕΝΑΚ, Νόμος 3661/08).

Για τους υπολογισμούς λαμβάνονται υπόψη τα κλιματικά δεδομένα της πλησιέστερης περιοχής.

1.3 Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο - ΚΕΝΑΚ

Το Δεκέμβριο του 2002 το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο θέσπισε την Οδηγία 2002/91/ΕΚ (EPBD: Energy Performance of Buildings Directive) για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων. Στόχος της οδηγίας είναι η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων εντός της Ευρωπαϊκής Κοινότητας λαμβάνοντας υπόψη εξωτερικές κλιματολογικές και τοπικές συνθήκες, κλιματικές απαιτήσεις των εσωτερικών χώρων, θερμικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, εγκαταστάσεις θέρμανσης και κλιματισμού, αερισμό, συστήματα σκίασης και ηλιακής προστασίας καθώς και οικονομικά κριτήρια που εξαρτώνται από τη σχέση κόστους-οφέλους.

Οι απαιτήσεις της Οδηγίας περιλαμβάνουν:

- Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων.
- Εφαρμογή ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση των νέων αλλά και των μεγάλων υφιστάμενων κτιρίων.
- Τακτική επιθεώρηση λεβήτων και συστημάτων κλιματισμού.
- Ενεργειακή πιστοποίηση κτιρίων με την έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης.

Η Οδηγία έπρεπε να τεθεί σε εφαρμογή στην Ελλάδα, όπως και σε όλα τα κράτη μέλη, μέχρι τις 4 Ιανουαρίου 2006. Η Ελλάδα, όπως και άλλες χώρες, κάνοντας χρήση της 2ης παραγράφου του άρθρου 15 της Οδηγίας ζήτησε πρόσθετη περίοδο 36 μηνών για την εφαρμογή της, μέχρι τις 4 Ιανουαρίου 2009.

Το 2002, το Υπουργείο Ανάπτυξης (ΥΠΑΝ) και το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) ολοκλήρωσαν τον «Κανονισμό Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας» (ΚΟΧΕΕ) για τα κτίρια, ο οποίος περιελάμβανε τις απαιτήσεις της Οδηγίας, με σκοπό να αντικαταστήσει από το 2006 τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων του 1979, που ισχύει μέχρι σήμερα.

Στις 19 Μαΐου 2008, με το Νόμο 3661/2008 «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις», η ελληνική νομοθεσία εναρμονίζεται με την Οδηγία 2002/91/ΕΚ. Ο Νόμος ενσωματώνει όλες τις διατάξεις της Οδηγίας και προβλέπει την έκδοση «Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων» (ΚΕΝΑΚ), ο οποίος αντικαθιστά τον ΚΟΧΕΕ. Ο ΚΕΝΑΚ διακρίνει τις παρακάτω βασικές θεματικές ενότητες, οι οποίες αφορούν στα εξής:

- Καθορισμό των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης και στη μέθοδο υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης νέων (άρθρο 3) νέων και υφιστάμενων κτιρίων (άρθρα 4 και 5).
- Έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (άρθρο 6).
- Επιθεωρήσεις λεβήτων και εγκαταστάσεων κλιματισμού (άρθρα 7 και 8).
- Πρόβλεψη ειδικευμένων και διαπιστευμένων ενεργειακών επιθεωρητών (άρθρο 9).

Στις 12 Ιανουαρίου 2010, τέθηκε υπό δημόσια ηλεκτρονική διαβούλευση στο δικτυακό τόπο του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, το Σχέδιο Κοινής Υπουργικής Απόφασης για τον Νέο «ΚΕΝΑΚ» και το Σχέδιο Προεδρικού Διατάγματος για τους «Ενεργειακούς Επιθεωρητές κτιρίων, λεβήτων & εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού» (ΥΠΕΚΑ). Ο Νέος «ΚΕΝΑΚ» διακρίνει συγκεκριμένες δράσεις που αφορούν κυρίως στα εξής:

- Εκπόνηση μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων.
- Ενεργειακή Κατάταξη Κτιρίων (Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης).

- Ενεργειακές Επιθεωρήσεις Κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού.

Συνοπτικά, ο Νέος «ΚΕΝΑΚ» διακρίνει τις παρακάτω βασικές θεματικές ενότητες, οι οποίες αφορούν στα εξής:

- Πεδίο εφαρμογής, ορισμοί και βασικές παράμετροι εφαρμογής ΚΕΝΑΚ (άρθρα 2,3 και 4).
- Υπολογιστικές μέθοδοι και δεδομένα υπολογισμού (άρθρο 5).
- Κλιματικές ζώνες (άρθρο 6).
- Ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και ελάχιστες προδιαγραφές (άρθρα 7 και 8).
- Τεχνικά χαρακτηριστικά του κτιρίου αναφοράς και γενικές διευκρινίσεις (άρθρα 9 και 10).
- Περιεχόμενα μελέτης και ενεργειακής απόδοσης κτιρίου και αμοιβή για τη μελέτη ενεργειακής απόδοσης κτιρίου (άρθρα 11 και 12).
- Καθορισμός κατηγοριών ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης κτιρίων (άρθρα 13 και 14).
- Ενεργειακές επιθεωρήσεις κτιρίων, επιθεώρηση λεβήτων, εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού (άρθρα 15, 16 και 17).

Συνοπτικά, το Προεδρικό Διάταγμα για τους «Ενεργειακούς Επιθεωρητές κτιρίων, λεβήτων & εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού» διακρίνει τις παρακάτω βασικές θεματικές ενότητες, οι οποίες αφορούν στα εξής:

- Ορισμός ενεργειακών επιθεωρητών και άδειες ενεργειακών επιθεωρητών κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού (άρθρα 3 και 4).
- Μητρώο ενεργειακών επιθεωρητών και αρχείο επιθεωρήσεως κτιρίων (άρθρο 5).
- Απαιτούμενα προσόντα ενεργειακών επιθεωρητών καθώς και απαιτούμενα δικαιολογητικά και διαδικασία εγγραφής στο μητρώο ενεργειακών επιθεωρητών (άρθρα 6 και 7).
- Προσωρινές άδειες ενεργειακού επιθεωρητή καθώς και παρακολούθηση και έλεγχος ενεργειακών επιθεωρήσεων και επιθεωρητών (άρθρα 8 και 9).
- Εκπαίδευση ενεργειακών επιθεωρητών και αμοιβές για τη διενέργεια ενεργειακών επιθεωρήσεων (άρθρα 11 και 13).

Η διαβούλευση έλαβε τέλος στις 31 Ιανουαρίου 2010 και ο Νέος «ΚΕΝΑΚ» καθώς και το Προεδρικό Διάταγμα για τους «Ενεργειακούς Επιθεωρητές κτιρίων, λεβήτων & εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού» αναμένονται προς ψήφιση και εφαρμογή (ΥΠΕΚΑ).

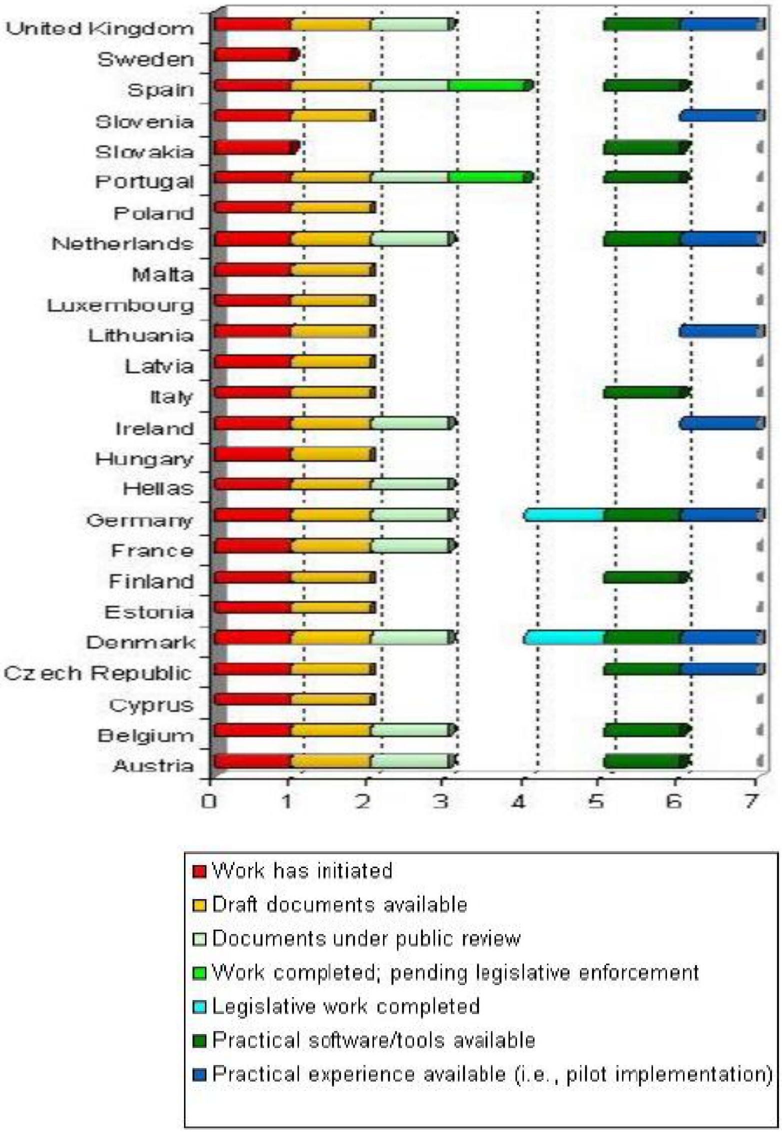
2 ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

2.1 Εισαγωγή

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται στοιχεία που περιγράφουν τη συνήθη πρακτική που εφαρμόζεται στα κτίρια άλλων ευρωπαϊκών χωρών για την ενεργειακή επιθεώρηση καθώς και τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται από αυτές. Επιπλέον, δίνονται κάποια παραδείγματα εφαρμογών ενεργειακών προσομοιώσεων ευρωπαϊκών κτιρίων.

2.2 Εφαρμογή Ενεργειακής Επιθεώρησης Κτιρίων σε ευρωπαϊκές χώρες

Τα πιο πρόσφατα καταγεγραμμένα στοιχεία που αφορούν στην πορεία κάθε χώρας σχετικά με τις διαδικασίες στις οποίες έχει προβεί προκειμένου να ενσωματώσει την Οδηγία 2002/91, είναι από το έτος 2006. Στο επόμενο διάγραμμα, απεικονίζεται σε ποιο στάδιο βρισκόταν κάθε χώρα το έτος 2006. Οι χώρες που ανταποκρίθηκαν αμέσως, ενσωμάτωσαν την Οδηγία 2002/91 στο εθνικό νομοθετικό τους δίκαιο, αλλά προχώρησαν και στην πλήρη εφαρμογή της, ήταν η Γερμανία, η Δανία, η Τσεχία, η Ολλανδία και το Ηνωμένο Βασίλειο (EAA, 2006).

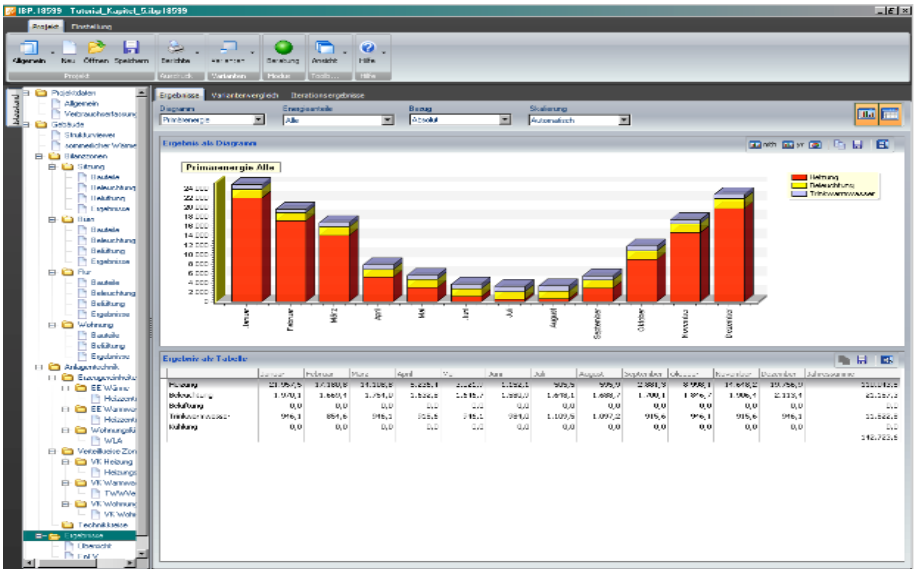


Εικόνα 5. Κατάσταση εναρμόνισης και εφαρμογής της Οδηγίας 2001/91 των Ευρωπαϊκών κρατών το 2006 *(ΕΑΑ 2006)*

Στη συνέχεια, παρατίθενται κάποια παραδείγματα ευρωπαϊκών χωρών οι οποίες έχουν προχωρήσει αρκετά στις διαδικασίες που επιβάλλει η εφαρμογή της Οδηγίας 2002/91 και έχουν αναπτύξει κάποιο λογισμικό για την ενεργειακή προσομοίωση των κτιρίων και την έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης.

- Γερμανία

Οι υπολογισμοί για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων της Γερμανίας γίνονται με βάση το γερμανικό πρότυπο DIN V 18599, προσομοιάζοντας ένα κτίριο πολλών θερμικών ζωνών και χρησιμοποιώντας δεδομένα για φωτισμό, συστήματα θέρμανσης και ψύξης. Το λογισμικό εργαλείο που χρησιμοποιείται είναι το **IBP18599** (Εικόνα 6), το οποίο επιτρέπει την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών, της κατανάλωσης ενέργειας και της πρωτογενούς ενέργειας. Γίνεται λεπτομερής εισαγωγή δεδομένων των χρήσεων κάθε θερμικής ζώνης, των υλικών κατασκευής του κτιρίου, των σκιάστρων κτλ.. Μπορούν επίσης να μελετηθούν πολλά και διαφορετικά σενάρια για κάθε κτίριο και τελικά να εκδοθεί το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (www.buildup.eu).



Εικόνα 6. Περιβάλλον του γερμανικού λογισμικού IBP18599

- Δανία

Στη Δανία, τα τελευταία 3 χρόνια περίπου 700 ενεργειακοί επιθεωρητές έχουν εκδώσει 125.000 πιστοποιητικά για μικρά κτίρια. Οι επιθεωρητές εκπαιδεύτηκαν και έμαθαν τη διαδικασία βαθμολόγησης των κτιρίων μέσα σε διάστημα 2 εβδομάδων. Για τη διευκόλυνση της διαχείρισης των δεδομένων, δημιουργήθηκε το 2006 το λογισμικό εργαλείο **EK-PRO**. Κατά τη χρήση αυτού του λογισμικού, οι επιθεωρητές χρειάζεται μόνο να εισάγουν τις διαστάσεις του κάθε κτιρίου. Στη συνέχεια, οι υπολογισμοί που γίνονται είναι βασισμένοι στα δανικά πρότυπα για την ενεργειακή απόδοση κτιρίων, με τη δυνατότητα χρήσης βιβλιοθηκών και βάσεων δεδομένων οι οποίες βοηθούν στην εισαγωγή λεπτομερών στοιχείων και συστημάτων του κτιρίου. Μετά τους απαραίτητους υπολογισμούς, παράγεται από το λογισμικό μια δισέλιδη αναφορά η οποία περιλαμβάνει τη βαθμολογία για τη θερμική απόδοση του κτιρίου σε μια κλίμακα εύρους A-C. Ανάλογα αποτελέσματα καταγράφονται και για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και νερού, τα επίπεδα εκπομπών CO_2 και την εξοικονόμηση ενέργειας σε θέρμανση, ηλεκτρισμό, και χρήση νερού η οποία μπορεί να επιτευχθεί μετά την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων βελτίωσης (www.homeenergy.org).

Σύμφωνα με στοιχεία από τον Οργανισμό Ενέργειας Δανίας (Danish Energy Agency, www.ens.dk), 26% των ιδιοκτητών οι οποίοι έχουν Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης, έχουν εφαρμόσει τα μέτρα εξοικονόμησης που έχουν προταθεί κατά τη διαδικασία αυτή. Οι βελτιώσεις αυτές έχουν οδηγήσει σε εξοικονόμηση ενέργειας κόστους περίπου 222 εκατομμυρίων ευρώ.

- Ηνωμένο Βασίλειο

Το Ηνωμένο Βασίλειο έχει αναπτύξει μια εθνική μέθοδο υπολογισμού (National Calculation Method - NCM) βασισμένη στην Οδηγία 2002/91. Η διαδικασία περιλαμβάνει τον υπολογισμό της ετήσιας χρήσης ενέργειας του υπό μελέτη κτιρίου και τη σύγκρισή του με την ενέργεια που υπολογίζεται για ένα κτίριο αναφοράς με τα ίδια χαρακτηριστικά. Και οι δύο υπολογισμοί περιλαμβάνουν τη χρήση πρότυπων βάσεων δεδομένων για διαφορετικούς τύπους κτιρίων, καθώς και βιβλιοθήκες υλικών κατασκευής. Στη συνέχεια, εξάγεται η κατάταξη των κτιρίων. Συνεπώς, η NCM περιλαμβάνει τη μέθοδο που έχει αναπτυχθεί, σε συνδυασμό με τις πρότυπες βάσεις δεδομένων που προβλέπει η Οδηγία 2202/91.

Η NCM επιτρέπει τον υπολογισμό των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου, είτε με τη χρήση ενός εγκεκριμένου λογισμικού, είτε με τη χρήση ενός νέου απλοποιημένου εργαλείου το οποίο να βασίζεται στα ευρωπαϊκά πρότυπα CEN. Στα πλαίσια της παραπάνω διαδικασίας, δημιουργήθηκε το λογισμικό **SBEM v3.5.a** (Simplified Building Energy Model), το οποίο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό μηνιαίων φορτίων ενέργειας και εκπομπών CO_2, δεδομένου ότι εισάγεται η περιγραφή της γεωμετρίας του κτιρίου, τα υλικά κατασκευής, τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού καθώς και ο φωτισμός. Αρχικά, το λογισμικό ήταν βασισμένο στην ολλανδική μεθοδολογία NEN 2916:1998 (Energy Performance of Non-Residential Buildings), αλλά στη συνέχεια τροποποιήθηκε ώστε να συμβαδίζει με τα πρόσφατα ισχύοντα ευρωπαϊκά πρότυπα CEN (www.ncm.bre.co.uk).

Συμπέρασμα:

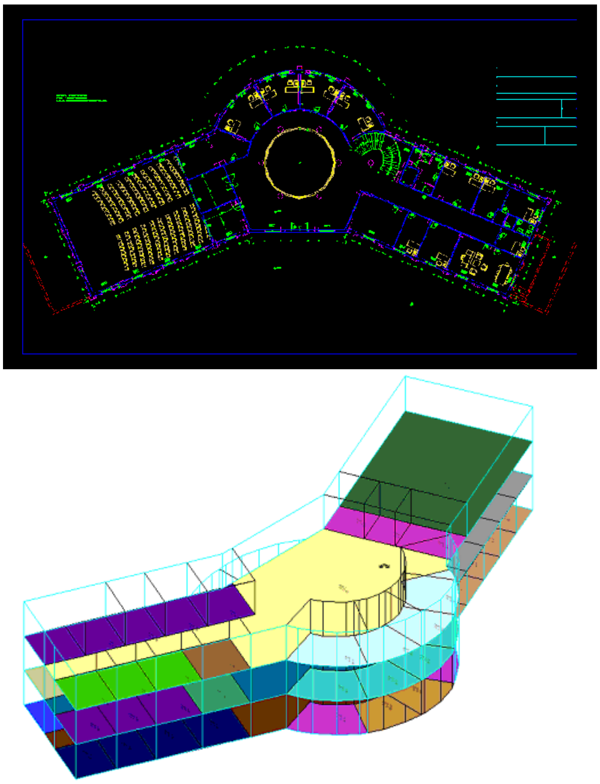
Από την παρούσα κατάσταση των ευρωπαϊκών χωρών που αναφέρθηκαν, συμπεραίνεται ότι η τάση των ευρωπαϊκών χωρών είναι να δημιουργούν οι ίδιες τα λογισμικά που χρειάζονται για την εξαγωγή των υπολογισμών για τη διαδικασία έκδοσης του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης κτιρίων, και όχι να χρησιμοποιούν τα εμπορικά διαθέσιμα λογισμικά. Προτιμάται δηλαδή η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου και ενιαίου λογισμικού το οποίο να είναι προσαρμοσμένο στις εθνικές απαιτήσεις διαθέτοντας τις απαραίτητες βάσεις δεδομένων σε εθνικό επίπεδο κάθε χώρας, αλλά και να λειτουργεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Οδηγίας 2002/91. Επίσης, να μπορεί να πραγματοποιεί τους υπολογισμούς των ενεργειακών αναγκών και ταυτόχρονα να εκδίδει και το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης.

2.3 Παραδείγματα εφαρμογών προσομοιώσεων κτιρίων

Στη συνέχεια, παρατίθενται μερικά παραδείγματα προσομοιώσεων κτιρίων στα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί τα λογισμικά TRNSYS, EPA-NR και SUNREL και έχουν υπολογιστεί τα απαιτούμενα φορτία ψύξης και θέρμανσης.

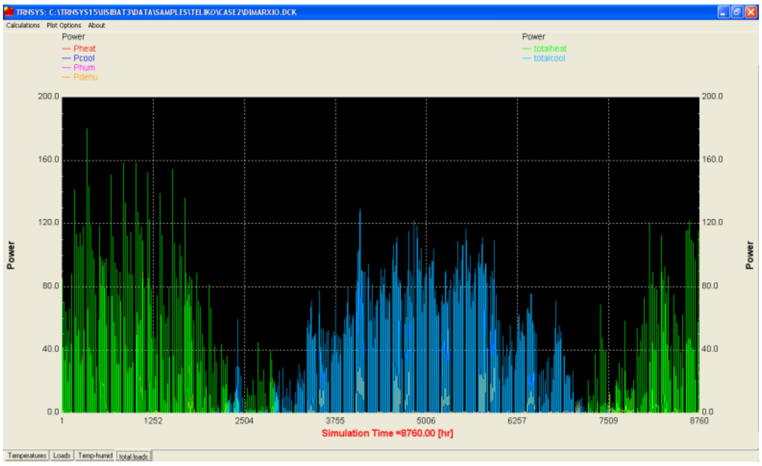
❖ <u>Εφαρμογή λογισμικού TRNSYS σε Δημαρχείο, Ελλάδα</u>

Η εφαρμογή του λογισμικού TRNSYS πραγματοποιήθηκε στο υπό κατασκευή κτίριο Δημαρχείου, το οποίο βρίσκεται στο Δήμο «Ν. Καζαντζάκης» του Ν. Ηρακλείου Κρήτης. Έχει συνολική επιφάνεια 2.500 m^2 και αποτελείται από τρεις ορόφους (Ζηδιανάκης, 2007).



Εικόνα 7. Κάτοψη 2^{ου} ορόφου και τρισδιάστατη απεικόνιση του Δημαρχείου

Το κτίριο χωρίστηκε σε 21 ζώνες για την προσομοίωσή του. Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζονται τα απαιτούμενα ωριαία φορτία ψύξης (γαλάζιο) και θέρμανσης (πράσινο).



Διάγραμμα 1. Απαιτούμενα φορτία ψύξης και θέρμανσης του Δημαρχείου Ηρακλείου

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι μηνιαίες και ετήσιες τιμές των απαιτούμενων φορτίων τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη.

Πίνακας 1. Μηνιαίες τιμές φορτίων ψύξης και θέρμανσης του Δημαρχείου

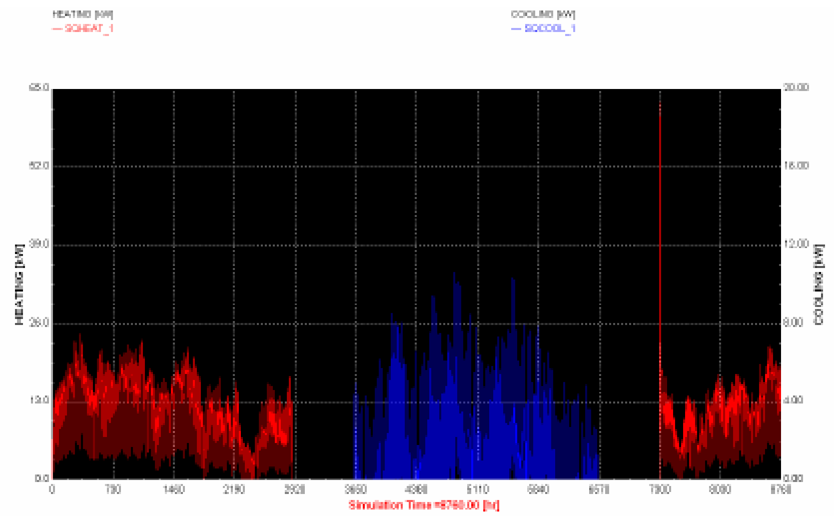
Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπτ	Οκτ	Νοέμ	Δεκ	*Έτος*
Θέρμανση (MWh)	11,115	9,438	6,4	1,032	0,373	0,001	0	0	0	74	2,099	8,420	***38,953***
Ψύξη (MWh)	0	0	0,008	0,941	5,722	14,089	19,818	20,015	10,723	3,887	0,032	0	***75,235***

❖ <u>Εφαρμογή λογισμικού TRNSYS σε κατοικία, Ελλάδα</u>

Η εφαρμογή του λογισμικού TRNSYS πραγματοποιήθηκε σε κτίριο κατοικίας που βρίσκεται στην περιοχή Λενταριανών στην πόλη των Χανίων. Το κτίριο κατασκευάστηκε το 1998, αποτελείται από τρεις ορόφους και έχει συνολική επιφάνεια 604,8 m^2 (Σιούνα, 2009).

Εικόνα 8. Κτίριο κατοικίας στα Χανιά

Το κτίριο χωρίστηκε σε 8 ζώνες για την προσομοίωσή του. Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζονται τα απαιτούμενα ωριαία φορτία ψύξης (μπλε) και θέρμανσης (κόκκινο).



Διάγραμμα 2. Απαιτούμενα φορτία ψύξης και θέρμανσης του κτιρίου κατοικίας στα Χανιά

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι μηνιαίες και ετήσιες τιμές των απαιτούμενων φορτίων.

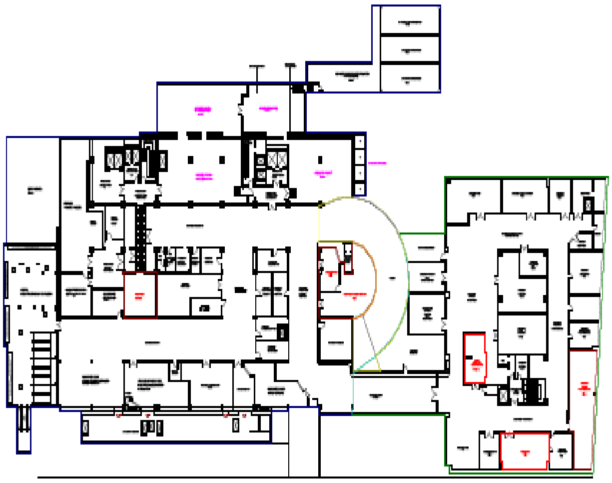
Πίνακας 2. Μηνιαίες τιμές φορτίων ψύξης και θέρμανσης του κτιρίου κατοικίας στα Χανιά

Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπτ	Οκτ	Νοέμ	Δεκ	*Έτος*
Θέρμανση (MWh)	11,03	9,838	9,037	5,345	0	0	0	0	0	0	6,894	9,676	***51,820***
Ψύξη (MWh)	0	0	0	0	0	0,595	1,231	1,002	0,276	0	0	0	***3,104***

Στα πλαίσια δημιουργίας του λογισμικού EPA-NR, πραγματοποιήθηκαν 26 πιλοτικές εφαρμογές σε κτίρια τριτογενούς τομέα (νοσοκομεία, γραφεία, σχολεία κτλ.) των χωρών που συμμετείχαν στη δημιουργία του λογισμικού. Στη συνέχεια, παρατίθενται κάποιες από αυτές τις εφαρμογές σε κτίρια νοσοκομείων ευρωπαϊκών χωρών (National pilot reports, 2007):

❖ Εφαρμογή λογισμικού EPA-NR στο Νοσοκομείο Υγεία, Ελλάδα

Η εφαρμογή του λογισμικού EPA-NR πραγματοποιήθηκε στο ιδιωτικό Νοσοκομείο Υγεία στην Αθήνα, το οποίο κατασκευάστηκε το 1974 και έχει συνολική επιφάνεια 27.935 m^2. Το Νοσοκομείο αποτελείται από ένα παλιό κτίριο 17 ορόφων και ένα καινούριο κτίριο 2 ορόφων το οποίο προστέθηκε μεταγενέστερα.



Εικόνα 9. Κάτοψη και όψη Νοσοκομείου Υγεία στην Αθήνα

Το κτίριο χωρίστηκε σε 5 ζώνες για την προσομοίωσή του, όπως αυτές φαίνονται παρακάτω:

Ζώνη 1: θάλαμοι ασθενών, δωμάτια εντατικής κλινικής και δωμάτια νοσοκόμων
Ζώνη 2: χώροι χειρουργείων και γραφεία ιατρών
Ζώνη 3: εξωτερικά ιατρεία και γραφεία τεχνικής υπηρεσίας
Ζώνη 4: δωμάτια υπηρεσιών (πλυντήρια κτλ.)
Ζώνη 5: χώροι των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων

Το σύστημα θέρμανσης του νοσοκομείου αποτελείται από 3 κεντρικούς λέβητες πετρελαίου (6.105 kW) οι οποίοι το 2005 αντικαταστάθηκαν με λέβητες καύσης φυσικού αερίου ίδιας ισχύος, ενώ το σύστημα κλιματισμού περιλαμβάνει 6 ψύκτες. Ο φωτισμός στο κτίριο παρέχεται από λάμπες φθορισμού συνολικής ισχύος περίπου 300 kW.

Από τη μελέτη του κτιρίου με το λογισμικό EPA-NR υπολογίστηκε η απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη:

- Απαιτούμενη ετήσια ενέργεια για θέρμανση 18,82 kWh/m^2
- Απαιτούμενη ετήσια ενέργεια για ψύξη 22,99 kWh/m^2

❖ <u>Εφαρμογή λογισμικού EPA-NR σε δημόσιο Νοσοκομείο, Ιταλία</u>

Η εφαρμογή του λογισμικού EPA-NR πραγματοποιήθηκε σε δημόσιο Νοσοκομείο στην Ιταλία στην περιοχή Vicenza, το οποίο κατασκευάστηκε περίπου το 1920, ανακαινίστηκε στα τέλη της δεκαετίας του ‘90 και έχει συνολική επιφάνεια 1.320 m^2. Το Νοσοκομείο είναι ένα διώροφο πέτρινο κτίριο, γεγονός που υποδηλώνει την παντελή απουσία μόνωσης και, συνεπώς, τις αυξημένες θερμικές απώλειες.

Εικόνα 10. Νοσοκομείο στην Ιταλία

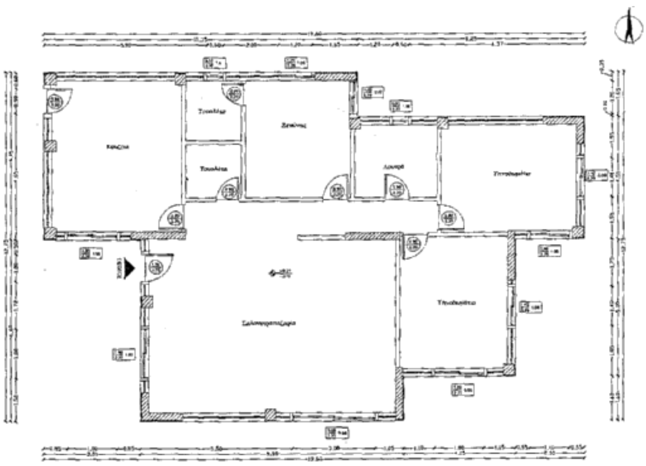
Το σύστημα θέρμανσης του νοσοκομείου αποτελείται από συμβατικούς λέβητες πετρελαίου ενώ το σύστημα κλιματισμού από έναν ψύκτη. Ο φωτισμός στο κτίριο παρέχεται από λάμπες φθορισμού.

Από τη μελέτη του κτιρίου με το λογισμικό EPA-NR υπολογίστηκε η απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη:

- Απαιτούμενη ετήσια ενέργεια για θέρμανση 216 kWh/m^2
- Απαιτούμενη ετήσια ενέργεια για ψύξη 8,22 kWh/m^2

❖ <u>Εφαρμογή λογισμικού SUNREL σε μονοκατοικία, Ελλάδα</u>

Η εφαρμογή του λογισμικού SUNREL πραγματοποιήθηκε σε μονώροφη ισόγεια μονοκατοικία συνολικής επιφάνειας 200 m^2. Η προσομοίωση έγινε με τη θεώρηση πρότυπων εσωτερικών συνθηκών λειτουργίας (Λάσκος και Αξαρλή, 2009).



Εικόνα 11. Κάτοψη μονοκατοικίας

Το κτίριο θεωρήθηκε ότι αποτελείται από μία θερμική ζώνη. Στην προσομοίωση εκτός από τις πρότυπες εσωτερικές συνθήκες λειτουργίας, λήφθηκαν υπόψη τα υλικά κατασκευής του κελύφους και τα εσωτερικά κέρδη.

Από τη μελέτη του κτιρίου με το λογισμικό SUNREL υπολογίστηκε η απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη:

- Απαιτούμενη ετήσια ενέργεια για θέρμανση 39,1 GJ (ή 10,9 MWh)
- Απαιτούμενη ετήσια ενέργεια για ψύξη 15,2 GJ (ή 4,2 MWh)

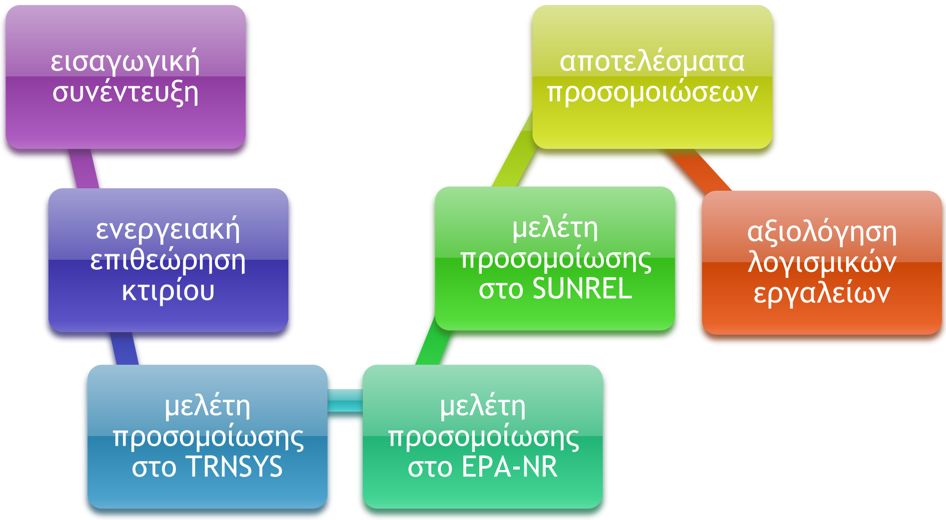
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Εισαγωγή

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου του Νοσοκομείου Σητείας είναι η ίδια και για τα τρία λογισμικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση. Η μεθοδολογία κατά ένα μέρος εντάσσεται στα πλαίσια του ΚΕΝΑΚ για τη διαδικασία Ενεργειακής Επιθεώρησης Κτιρίων, όπου περιλαμβάνεται η διαδικασία της Εισαγωγικής Συνέντευξης, της Επιθεώρησης του κτιρίου και της συλλογής των απαραίτητων στοιχείων και παραμέτρων που περιγράφουν τις κτιριακές υποδομές και τη λειτουργία του Νοσοκομείου Σητείας. Κατά το άλλο μέρος, εντάσσεται στα πλαίσια της διαδικασίας που απαιτεί το κάθε λογισμικό για την εκτέλεσή του. Ουσιαστικά, η διαδικασία αυτή είναι περίπου η ίδια και για τα τρία λογισμικά, εφόσον αλλάζει μόνο ο τρόπος εισαγωγής των συλλεγόμενων στοιχείων.

Η μεθοδολογία αρχικά περιλαμβάνει μια Εισαγωγική Συνέντευξη με τους αρμόδιους της Τεχνικής Υπηρεσίας του Νοσοκομείου Σητείας καθώς και την Ενεργειακή Επιθεώρηση. Σ’ αυτό το στάδιο συλλέγονται και επαληθεύονται όλα τα στοιχεία για την περιγραφή και απεικόνιση του κτιρίου, τα οποία αποτελούν και τα δεδομένα εισαγωγής των λογισμικών. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η προσομοίωσή του με τα τρία λογισμικά και η εξαγωγή των αντίστοιχων αποτελεσμάτων. Τέλος, γίνεται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων καθώς και η αξιολόγηση των λογισμικών εργαλείων.

Συνοπτικά, τα στάδια της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε είναι τα παρακάτω:

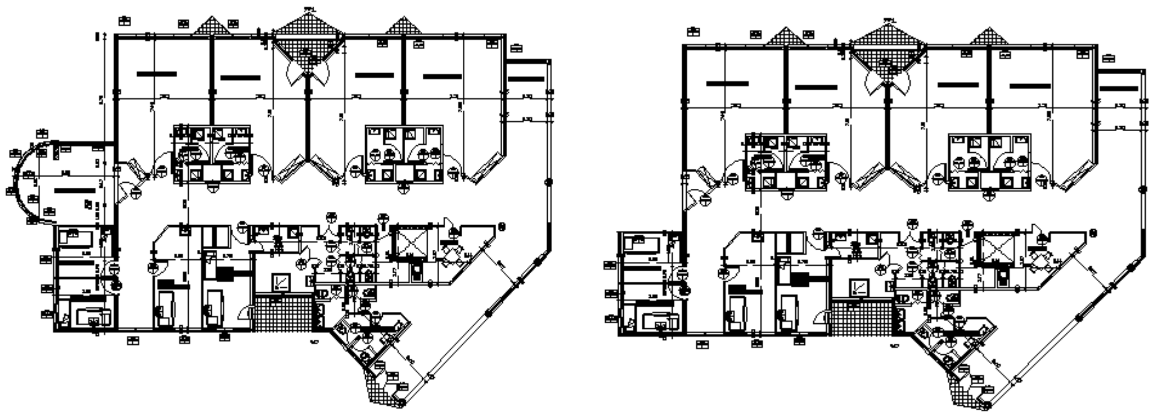


Εικόνα 12. Στάδια μεθοδολογίας

3.2 Το υπό μελέτη κτίριο

Το υπό μελέτη κτίριο ανήκει στις κτιριακές εγκαταστάσεις του Νομαρχιακού Γενικού Νοσοκομείου – Κέντρου Υγείας στην πόλη της Σητείας του νομού Λασιθίου και βρίσκεται στη συνοικία Ξεροκαμάρες. Το Νοσοκομείο κατασκευάστηκε το 1994 και αποτελείται από 8 κτίρια τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους. Το υπό μελέτη κτίριο είναι το κτίριο Β όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα όπου απεικονίζεται ολόκληρο το συγκρότημα. Το κτίριο Β έχει συνολική επιφάνεια 1.250m^2 και στεγάζει τη μαιευτική κλινική στο ισόγειο, την καρδιολογική και παθολογική κλινική στον πρώτο όροφο και την παιδιατρική κλινική στο δεύτερο. Η κάτοψη του ισογείου και του πρώτου ορόφου καθώς και η κάτοψη του δευτέρου ορόφου του κτιρίου Β φαίνονται στην εικόνα 13. Η κάτοψη είναι η ίδια στο ισόγειο και στον πρώτο όροφο, ενώ ο δεύτερος υπολείπεται ενός δωματίου, στη θέση του οποίου υπάρχει μπαλκόνι.

Εικόνα 13. Κτιριακό συγκρότημα Νοσοκομείου Σητείας και κτίριο Β



Εικόνα 14. Κάτοψη ισογείου, 1^{ου} ορόφου, και 2^{ου} ορόφου

Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά λειτουργίας νοσοκομειακών κτιρίων

Τα κτίρια νοσοκομείων συγκαταλέγονται ανάμεσα στις πιο πολύπλοκες εγκαταστάσεις, όσον αφορά τις πολλαπλές και διάφορες συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος αλλά και τις διαφορετικές λειτουργίες και χρήσεις των χώρων. Ειδικότερα, οι πιο απαιτητικοί χώροι ενός νοσοκομείου είναι τα δωμάτια χειρουργείων και οι βοηθητικοί τους χώροι. Οι περιβαλλοντικές εσωτερικές συνθήκες που επικρατούν μέσα σ’ αυτούς τους χώρους περιλαμβάνουν τη θερμική, οπτική και ακουστική άνεση, καθώς και την ποιότητα του αέρα. Οι συνθήκες αυτές επηρεάζουν την εργασία, την ασφάλεια και την υγεία τόσο των εργαζομένων όσο και των ασθενών (Balaras et al, 2007). Συνεπώς, οι απαιτήσεις σε ενέργεια ποικίλουν περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο τύπο κτιρίου και χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής.

Το υπό μελέτη κτίριο δεν περιλαμβάνει χώρους χειρουργείων, αλλά κυρίως αποτελείται από χώρους θαλάμων ασθενών. Επομένως, η χρήση του και οι ενεργειακές του απαιτήσεις δεν συνδέονται με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά εσωτερικών συνθηκών που πρέπει να επικρατούν, πέρα από τις πρότυπες συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος που ορίζονται στην Τεχνική Οδηγία του ΤΕΕ (ΤΟΤΕΕ 2425/86, 2005). Βέβαια, μια σημαντική παράμετρος είναι η 24ωρη λειτουργία όλων των χώρων.

Λόγοι επιλογής του συγκεκριμένου κτιρίου

Από τα 8 κτίρια του συγκροτήματος του Νοσοκομείου Σητείας επιλέχθηκε το κτίριο Β επειδή κρίθηκε ότι παρόλο που είναι αρκετά πολύπλοκο από αρχιτεκτονική άποψη, δεν είναι τόσο όσο τα υπόλοιπα. Επιπλέον, περιλαμβάνει κυρίως θαλάμους ασθενών αλλά και κλινικές με μεγάλη επισκεψιμότητα γεγονός που αυξάνει το ενδιαφέρον για υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεων, εξ’ αιτίας των ιδιαίτερων εσωτερικών συνθηκών περιβάλλοντος που διαμορφώνονται.

3.3 Επιλογή λογισμικών εργαλείων

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο ΚΕΝΑΚ δεν κατονομάζει κάποιο συγκεκριμένο πιστοποιημένο λογισμικό με το οποίο να γίνονται οι υπολογισμοί των ενεργειακών απαιτήσεων των κτιρίων. Αυτό που επισημαίνεται, είναι ότι οι υπολογισμοί αυτοί μπορούν να γίνουν με τη χρήση κάθε είδους λογισμικού ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων, αρκεί να έχει ελεγχθεί και πιστοποιηθεί με τη διεθνώς αναγνωρισμένη μέθοδο BESTEST.

Τα τελευταία 50 χρόνια, εκατοντάδες λογισμικά ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων
έχουν αναπτυχθεί, βελτιωθεί και χρησιμοποιούνται ανά τον κόσμο. Τα βασικά εργαλεία στον τομέα της ενέργειας στα κτίρια, είναι εκείνα που προσομοιάζουν την ενέργεια ολόκληρου του κτιρίου (whole-building energy simulation programs) και παρέχουν στους χρήστες τον υπολογισμό βασικών δεικτών απόδοσης κτιρίων, όπως οι χρήσεις και οι απαιτήσεις ενέργειας, η θερμοκρασία, η υγρασία και το κόστος. Στον επόμενο πίνακα αναφέρονται μερικά από αυτά τα λογισμικά, καθώς και η χρήση τους (Crawley et al, 2008).

Πίνακας 3. Λογισμικά ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων *(Crawley et al, 2008)*

Λογισμικό	Χρήση	Έτος δημιουργίας
BSim v.4.4.12.11	building simulation, energy, daylight, thermal and moisture analysis, indoor climate	1990
DeST v.2.0	building simulation, design process, calculation, building thermal properties, natural temperature, graphical interfaces, state space method, maximum load	2005
DOE-2.1E v.121	energy performance, design, retrofit, research, residential and commercial buildings	2003
ECOTECT v. 5.5	environmental design, environmental analysis, conceptual design, validation; solar control, overshadowing, thermal design and analysis, heating and cooling loads, prevailing winds, natural and artificial lighting, life cycle assessment, life cycle costing, scheduling, geometric and statistical acoustic analysis	2005
Ener-Win v. EC	energy performance, load calculation, energy simulation, commercial buildings, daylight, life-cycle cost	2005
Energy Express v.1.0	energy simulation, load calculation, building performance	2005
Energy-10 v. 1.8	conceptual design, residential buildings, small commercial buildings	2005
EnergyPlus v. 1.2.2	energy simulation, load calculation, building performance, simulation, energy performance, heat balance, mass balance	2005
eQUEST v.3.55	energy performance, simulation, energy use analysis, conceptual design performance analysis, LEED, Energy and Atmosphere Credit analysis, Title 24, compliance analysis, life cycle costing, DOE 2, PowerDOE, building design wizard, energy efficiency measure wizard	2005
ESP-r v. 10.1	energy simulation, environmental performance, commercial buildings, residential buildings, visualization, complex buildings and systems	2005
IDA ICE v.3.0	design, energy performance, thermal comfort, indoor air quality, commercial buildings	2005
IES/VES v.5.2	thermal model, building zone simulation	2004
HAP v.4.20a	energy performance, load calculation, energy simulation, HVAC equipment sizing	2004
HEED v. 1.2	whole building simulation, energy efficient design, climate responsive design, energy costs, indoor air temperature	2005
SUNREL v.1.14	design, retrofit, research, residential buildings, small office buildings, energy simulation, passive solar	2004
Tas v.9.0.7	Building dynamic thermal simulation, building simulation , comfort, CFD, thermal analysis, energy simulation	2005
TRACE 700 v. 4.1.10	energy performance, load calculation, HVAC equipment sizing, energy simulation, commercial buildings	2004
TRNSYS v.16.0.37	energy simulation, load calculation, building performance, simulation, research, energy performance, renewable energy, emerging technology	2005
EPA-NR	energy simulation, load calculation, building performance, renewable energy, cost analysis	2007

Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη προσομοίωση, έχουν ελεγχθεί και πιστοποιηθεί με τη μέθοδο BESTEST (*Βλ. **παράγραφο 4.8.1***). Τα βασικά κριτήρια για την επιλογή τους είναι τα ακόλουθα:

- Πολυπλοκότητα προσομοίωσης: αφορά στο βαθμό πολυπλοκότητας της εισαγωγής των διαφόρων παραμέτρων στο λογισμικό, την εισαγωγή παραμέτρων που είναι εύκολο να εκτιμηθούν από το χρήστη, τη χρήση ενσωματωμένων βιβλιοθηκών και το φιλικό περιβάλλον αλληλεπίδρασης με το χρήστη.
- Εύχρηστο εργαλείο: αφορά στη γρήγορη προσομοίωση, την ευκολία στη χρήση και τη δυνατότητα εκμάθησης του λογισμικού σε μικρό χρονικό διάστημα.
- Αξιοπιστία αποτελεσμάτων: αφορά στην εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων που να ανταποκρίνονται όσο το δυνατόν σε πραγματικές τιμές και να εμφανίζουν μικρά σφάλματα.

Από τα λογισμικά που αναφέρθηκαν παραπάνω, επιλέχθηκαν να δοκιμαστούν τα εξής: το TRNSYS, το EPA-NR, το SUNREL το ESP-r και το Energyplus. Μετά από μια πρώτη δοκιμή, επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν για την παρούσα ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου Β του Νοσοκομείου Σητείας, τα τρία πρώτα λογισμικά. Η επιλογή αυτή έγινε συνδυάζοντας τα παραπάνω κριτήρια. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα κριτήρια που πληρούνται από κάθε λογισμικό:

Πίνακας 4. Κριτήρια επιλογής λογισμικών εργαλείων

Κριτήρια	TRNSYS	EPA-NR	SUNREL	ESP-r	Energyplus
Φιλικό περιβάλλον	✓*	✓	✓	×	✓
Πολύπλοκη εισαγωγή δεδομένων	✓	×	-	✓	✓
Ενσωματωμένες βιβλιοθήκες	✓	✓	×	✓	×
Μικρός χρόνος προσομοίωσης	×	✓	✓	×	×
Εύκολη εκμάθηση	×	✓	✓	×	✓
Αξιόπιστα αποτελέσματα	✓	-	✓	✓	✓
Μικρό σφάλμα	✓	×	✓	✓	✓

***** ✓ = ναι, × = όχι, - = μέτρια**

Το λογισμικό ESP-r δεν επιλέχθηκε, διότι κρίθηκε ότι η προσομοίωση σ’ αυτό απαιτεί πολύ χρόνο. Επιπλέον, η εισαγωγή της γεωμετρίας του κτιρίου είναι σχετικά δύσκολη, καθώς γίνεται περιγραφικά, εισάγοντας χειροκίνητα τις συντεταγμένες κάθε κομβικού σημείου του κελύφους του κτιρίου. Επιπλέον, το περιβάλλον αλληλεπίδρασης με το χρήστη δεν είναι αρκετά φιλικό και πρακτικό. Το λογισμικό Energyplus παρουσιάζει περίπου τα ίδια μειονεκτήματα καθώς η εισαγωγή της γεωμετρίας του κτιρίου είναι αρκετά χρονοβόρα. Επομένως, έπειτα από δοκιμές που έγιναν, κρίθηκε ότι τα δύο παραπάνω λογισμικά αποτελούν σχετικά δύσχρηστα εργαλεία και δεν χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη προσομοίωση.

3.4 Μελέτη προσομοίωσης του κτιρίου με το λογισμικό TRNSYS

Εφόσον έχουν συλλεχθεί όλα τα στοιχεία που περιγράφουν την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου και αποτελούν τα απαραίτητα δεδομένα εισαγωγής για τα λογισμικά που θα χρησιμοποιηθούν, επόμενο βήμα είναι η προσομοίωση στα τρία λογισμικά.

Το πρώτο λογισμικό εργαλείο που χρησιμοποιείται είναι το TRNSYS v. 15. Το λογισμικό TRNSYS (TRansient energy SYstem Simulation) είναι ένα πρόγραμμα ωριαίας προσομοίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων. Χρησιμοποιείται είτε για κτίρια μίας θερμικής ζώνης, είτε για κτίρια πολλών θερμικών ζωνών (multi-zone buildings).

Το TRNSYS δημιουργήθηκε από το Πανεπιστήμιο του Γουισκόνσιν της Αμερικής (University of Wisconsin, Madison USA). Πρόκειται για εμπορικό λογισμικό με έντονα σημάδια ερευνητικού χαρακτήρα.

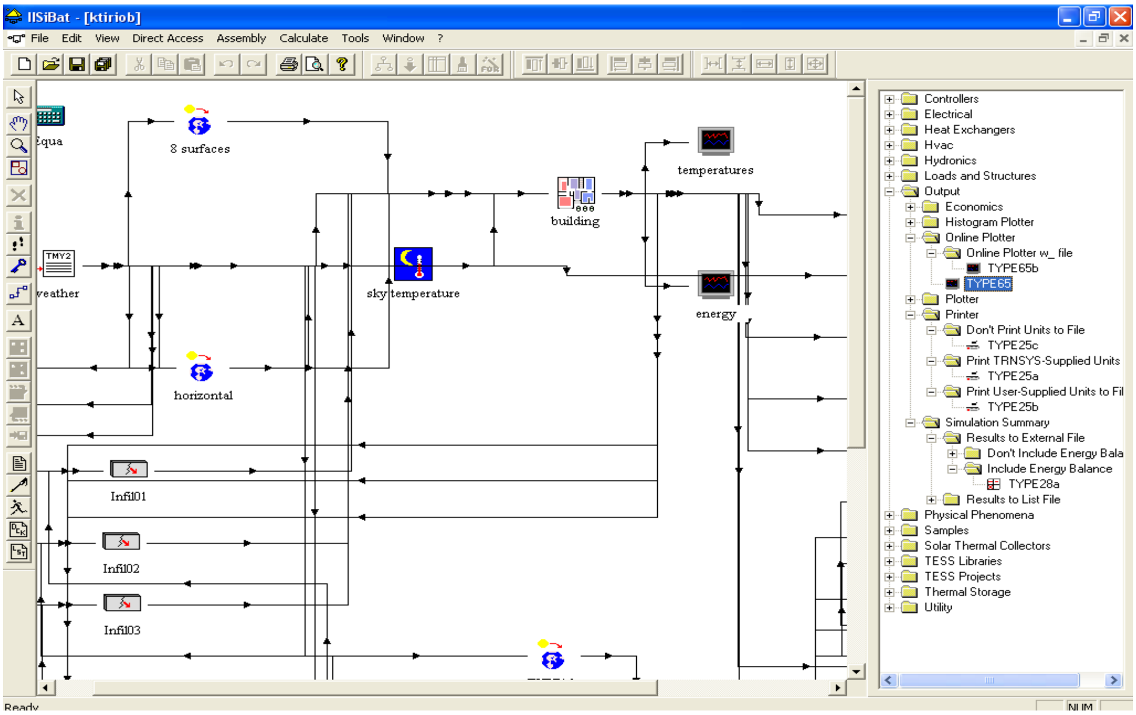
Αποτελείται από υπορουτίνες οι οποίες συνδέουν τα διάφορα μέρη (components ή Types) και συνθέτουν το τελικό μοντέλο (Neymark et al, 2002). Με το πρόγραμμα αυτό υπάρχει η δυνατότητα της υπερσύνδεσης των διάφορων μερών (components ή Types) από τα οποία απαρτίζεται το σύστημα σε οποιοδήποτε επιθυμητό συνδυασμό καθώς και της επίλυσης διαφορικών εξισώσεων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να διευκολύνεται η διαδικασία λήψης των τελικών αποτελεσμάτων από το πρόγραμμα. Μ’ αυτό τον τρόπο, όλο το πρόβλημα της ενεργειακής προσομοίωσης του κτιρίου, ανάγεται στο πρόβλημα καθορισμού των διαφορετικών μερών που συνθέτουν το συγκεκριμένο σύστημα και στη διατύπωση της γενικής μαθηματικής περιγραφής καθενός από αυτά (Balghouthi et al, 2007).

Το component το οποίο αντιπροσωπεύει το κτιριακό κέλυφος είναι αρκετά σύνθετο και η διαχείρισή του επιτυγχάνεται μέσω ενός ξεχωριστού υποπρογράμματος του TRNSYS, του Prebid. Σ΄ αυτό το υποπρόγραμμα εισάγονται όλες οι παράμετροι που είναι απαραίτητες για την περιγραφή του. Επιπλέον, ο τρισδιάστατος σχεδιασμός του προφίλ του κτιρίου επιτυγχάνεται μέσω ενός άλλου ξεχωριστού σχεδιαστικού λογισμικού του SimCad. Σ΄ αυτό το λογισμικό σχεδιάζεται η εξωτερική και εσωτερική τοιχοποιία και μ’ αυτό τον τρόπο το κτίριο καθορίζεται γεωμετρικά, ενώ ταυτόχρονα ορίζεται και ο προσανατολισμός του. Στη συνέχεια, το αρχείο που δημιουργείται από το SimCad εισάγεται στο TRNSYS για την περαιτέρω προσομοίωση του κτιρίου.

Η βιβλιοθήκη του TRNSYS περιλαμβάνει πολλά από τα στοιχεία (components ή types) που περιγράφουν τα συστήματα θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, στοιχεία για εισαγωγή μετεωρολογικών αρχείων καθώς και τα στοιχεία για τα εξαγόμενα αποτελέσματα. Η βιβλιοθήκη είναι πολύ πλούσια και παρέχει τη δυνατότητα περιγραφής πολλαπλών συστημάτων σε ένα κτίριο, περιλαμβανομένων και συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, ηλιακών συστημάτων (ηλιακά θερμικά και φωτοβολταϊκά), συστημάτων κυψελών καυσίμου, συστημάτων HVAC (Heating Ventilation Air Conditioning) αλλά και εφαρμογές μελετών κτιρίων χαμηλής ενέργειας. Ουσιαστικά, ένα σύστημα μπορεί να «χτιστεί» με το μοντέλο του TRNSYS με τόση λεπτομέρεια, ώστε να είναι δυνατόν να καθοριστεί και η τελευταία αντλία των συστημάτων. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα επιλογής έτοιμων υλικών κατασκευής (τσιμέντο, είδη τούβλων, άσφαλτος κτλ., υλικά μόνωσης, υλικά επιστρώσεων κτλ.) με τα τεχνικά και φυσικά χαρακτηριστικά τους από ένα πλήρη κατάλογο περιγραφής κάθε είδους υλικών κατασκευής των κτιρίων. Υπάρχουν ακόμα έτοιμοι κατάλογοι με πληροφορίες σχετικά με τα εσωτερικά θερμικά κέρδη ανάλογα με την ανθρώπινη δραστηριότητα, την εκπεμπόμενη θερμότητα από διάφορα είδη συσκευών, τα τεχνικά χαρακτηριστικά υαλοπινάκων κτλ. Επιπλέον, πέρα από τα ήδη υπάρχοντα components της βιβλιοθήκης, υπάρχει και η *δυνατότητα δημιουργίας νέων* από το χρήστη. Το TRNSYS είναι κατάλληλο για λεπτομερείς αναλύσεις οποιουδήποτε συστήματος του οποίου η συμπεριφορά εξαρτάται από το χρόνο.

Επίσης, το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού είναι απλό και λειτουργικό, επιτρέποντας την εύκολη εισαγωγή των δεδομένων (input) αλλά και την εύκολη εξαγωγή και επεξεργασία των αποτελεσμάτων (output). Στο σημείο αυτό, πρέπει να σημειωθεί ότι ο αριθμός των στοιχείων εισαγωγής είναι πολύ μεγάλος (πράγμα το οποίο βέβαια εξαρτάται και από την πολυπλοκότητα και το μέγεθος κάθε κτιρίου μελέτης), καθώς επίσης υπάρχει και μια σχετική δυσκολία στην εκμάθηση του λογισμικού. Η δυσκολία αυτή έγκειται όχι τόσο στη διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων, αλλά στην επιλογή και τον τρόπο σύνδεσης των διαφορετικών μερών (components ή types), τα οποία στις περισσότερες μελέτες συνθέτουν ένα αρκετά πολύπλοκο μοντέλο προσομοίωσης. Ο χρήστης μπορεί με μεγάλη ακρίβεια να επανεξετάσει τα δεδομένα που έχει εισάγει σε κάθε προσομοίωση και να διορθώσει πιθανά λάθη.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται το περιβάλλον αλληλεπίδρασης του λογισμικού TRNSYS με το χρήστη.



Εικόνα 15. Περιβάλλον λογισμικού TRNSYS

Για την προσομοίωση του κτιρίου στο πρόγραμμα TRNSYS είναι απαραίτητη η εισαγωγή ενός αρχείου με τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής που βρίσκεται το κτίριο (αρχείο τυπικού μετεωρολογικού έτους TMY). Αρχικά, χρησιμοποιείται το σχεδιαστικό λογισμικό SimCad για την κατασκευή του προφίλ του κτιρίου. Με τη βοήθεια των σχεδίων των κατόψεων του κτιρίου, σχεδιάζονται οι τοίχοι, τα δωμάτια, οι θερμικές ζώνες και τελικά καθορίζεται το σχήμα και η μορφή του κτιρίου. Μ' αυτό τον τρόπο διατηρείται η γεωμετρία και ο προσανατολισμός του. Η εισαγωγή όλων των δεδομένων που περιγράφουν το κτίριο γίνεται στο υποπρόγραμμα Prebid. Στη συνέχεια, τα αρχεία που έχουν δημιουργηθεί στα δύο προηγούμενα λογισμικά εξάγονται στο TRNSYS όπου κατασκευάζεται το τελικό μοντέλο και εκτελείται το πρόγραμμα. Στην παρούσα μελέτη, τα αποτελέσματα του προγράμματος δίνουν δεδομένα που αφορούν στην απαιτούμενη ενέργεια για κλιματισμό και θέρμανση του κτιρίου (σε ωριαία βάση για διάστημα ενός χρόνου).

3.5 Μελέτη προσομοίωσης του κτιρίου με το λογισμικό EPA-NR

Το δεύτερο λογισμικό εργαλείο που χρησιμοποιείται είναι το EPA-NR. Το EPA-NR είναι ένα εργαλείο με το οποίο πραγματοποιείται μηνιαία ενεργειακή προσομοίωση κτιρίων του τριτογενούς τομέα (νοσοκομεία, γραφεία ξενοδοχεία κτλ.), διαμορφώνεται η εικόνα της ενεργειακής συμπεριφοράς τους, καθώς επίσης υπολογίζονται και οι ανάγκες των κτιρίων σε ψύξη, θέρμανση, φωτισμό κτλ. (Poel et al, 2007). Χρησιμοποιείται είτε για κτίρια μίας θερμικής ζώνης, είτε για κτίρια πολλών θερμικών ζωνών (multi-zone buildings).

Το EPA-NR (Energy Performance Assessment for existing Non-Residential buildings) δημιουργήθηκε κατά την περίοδο 2005-2007 στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος Intelligent Energy Europe (IEE). Στο πρόγραμμα αυτό συμμετείχαν 7 ευρωπαϊκές χώρες (Αυστρία, Γερμανία, Γαλλία, Δανία, Ελλάδα, Ιταλία και Ολλανδία). Συνολικά μελετήθηκαν 25 κτίρια γραφείων, σχολείων, νοσοκομείων και ξενοδοχείων, αντιπροσωπευτικά των εθνικών τυπολογιών των χωρών, ηλικίας 2-70 ετών και επιφάνειας 800-30.000 m^2. Στην Ελλάδα πραγματοποιήθηκαν συνολικά 6 πιλοτικές εφαρμογές σε 4 κτίρια σχολείων, ένα κτίριο γραφείου και ένα νοσοκομείο, τα οποία βρίσκονται στην περιοχή της Αθήνας. Η αξιοπιστία του EPA-NR έχει ελεγχθεί με τη διεθνώς αναγνωρισμένη μέθοδο BESTEST. Επιπλέον, συμμορφώνεται με την ευρωπαϊκή Οδηγία EPBD (Energy Performance of Buildings Directive, Directive 2002/91/EC) και απεικονίζει τα πρότυπα των ευρωπαϊκών κανονισμών CEN. Αποτελεί εμπορικό λογισμικό.

Στο λογισμικό EPA-NR για τα κτίρια του τριτογενούς τομέα, οι υπολογισμοί βασίζονται στους νέους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς (CEN) που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της Οδηγίας EPBD για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Πιο συγκεκριμένα, για τα **θερμικά και ψυκτικά φορτία** οι υπολογισμοί βασίζονται στον Ευρωπαϊκό Κανονισμό EN ISO 13790. Ανάμεσα στις 4 μεθόδους που περιλαμβάνονται στον Κανονισμό, το EPA-NR χρησιμοποιεί τη μηνιαία μέθοδο, όπου τα φορτία υπολογίζονται με βάση το συντελεστή χρήσης (εξαρτάται από το ισοζύγιο μεταξύ κερδών και απωλειών και τη σταθερά χρόνου της ζώνης). Αυτός ο συντελεστής καθορίζει σε ποιο βαθμό τα θερμικά κέρδη είναι ωφέλιμα για το θερμικό φορτίο (περίοδος θέρμανσης) και σε ποιο βαθμό οι θερμικές απώλειες είναι ωφέλιμες για το ψυκτικό φορτίο (περίοδος ψύξης).

Στο λογισμικό EPA-NR όλα τα δεδομένα που περιγράφουν το κτίριο μελέτης εισάγονται ανά θερμική ζώνη του κτιρίου. Παρέχεται η δυνατότητα εισαγωγής χαρακτηριστικών που περιγράφουν συστήματα ψύξης, θέρμανσης, ύγρανσης, ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ), συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θέρμανσης (ΣΗΘ), ηλιακών συλλεκτών και φωτοβολταϊκών. Τα αποτελέσματα του λογισμικού αφορούν στις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου σε θέρμανση, ψύξη, αερισμό, ύγρανση, ζεστό νερό χρήσης και φωτισμό, στην καταναλισκόμενη ενέργεια, στην κατανάλωση καυσίμου αλλά και στις εκπομπές CO_2 από τα διάφορα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα που είναι εγκατεστημένα στο κτίριο.

Το λογισμικό EPA-NR διαθέτει τρεις ενσωματωμένες εθνικές βιβλιοθήκες. Οι βιβλιοθήκες αυτές περιέχουν τις σταθερές της μεθοδολογίας που χρησιμοποιούνται από το λογισμικό και διευκολύνουν το χρήστη στην εισαγωγή κάποιων τιμών που είτε είναι δύσκολο να βρεθούν είτε αποτελούν τυπικές τιμές. Συγκεκριμένα:

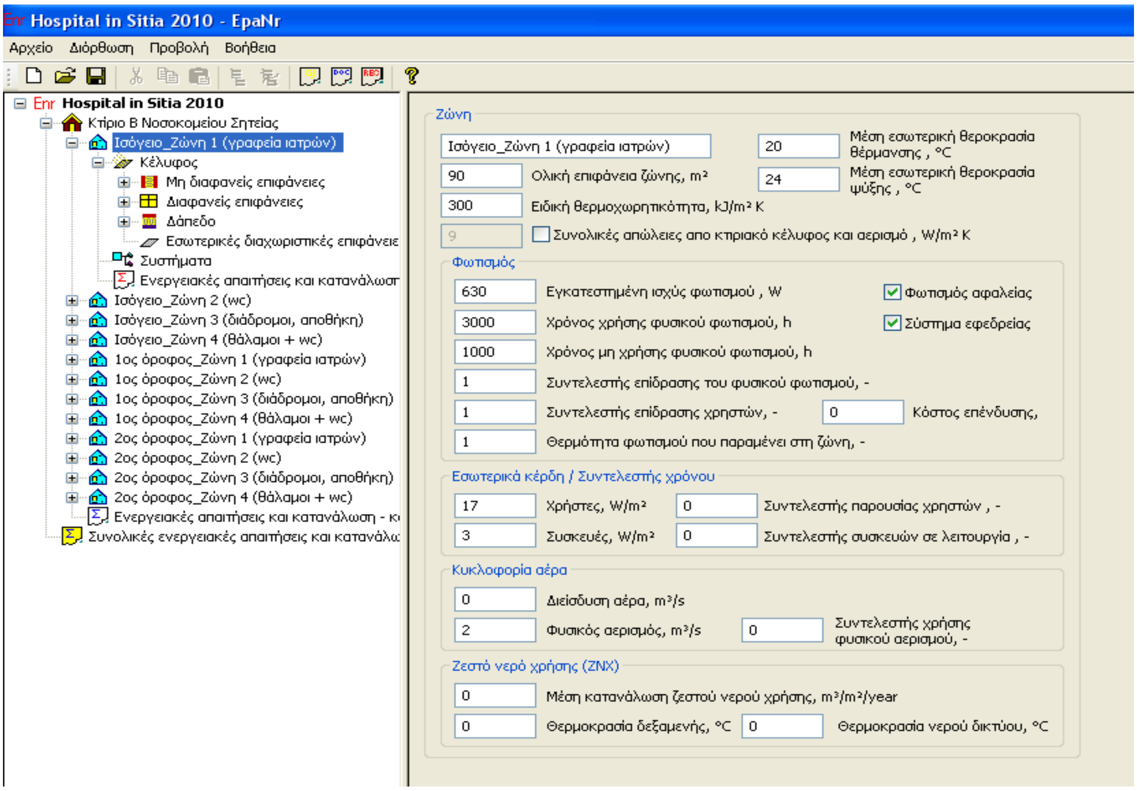
- Κλιματική βιβλιοθήκη: περιλαμβάνει κλιματικά δεδομένα όπως γεωγραφική θέση (πλάτος και μήκος) και μέσες μηνιαίες τιμές εξωτερικής θερμοκρασίας, απόλυτης υγρασίας, ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντια κατεύθυνση και σε κεκλιμένη επιφάνεια.

- Βιβλιοθήκη σταθερών δεδομένων: περιλαμβάνει γενικά δεδομένα που είναι δύσκολο να εκτιμηθούν από το χρήστη και είναι ανεξάρτητα από το κάθε κτίριο, όπως διορθωτικοί συντελεστές, συντελεστές σκίασης και ποσοστό πλαισίου παραθύρων.

- Βιβλιοθήκη καυσίμων: περιλαμβάνει δεδομένα για τα πιο κοινά καύσιμα σε εθνικό επίπεδο, καθώς και συντελεστές μετατροπής μονάδων, μετατροπή σε πρωτογενή ενέργεια, εκπομπές CO_2 και τιμές μονάδας καυσίμων.

Το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού είναι απλό και επιτρέπει την εύκολη εισαγωγή των δεδομένων αλλά και την εύκολη εξαγωγή και επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Είναι σχετικά εύκολο στην εκμάθησή του, επιτρέποντας συγχρόνως στο χρήστη να επανεξετάσει με μεγάλη ακρίβεια τα δεδομένα που έχει εισάγει σε κάθε προσομοίωση και να διορθώσει πιθανά λάθη.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται το περιβάλλον αλληλεπίδρασης του λογισμικού EPA-NR με το χρήστη.



Εικόνα 16. Περιβάλλον λογισμικού EPA-NR

Εφόσον έχουν συλλεχθεί όλα τα απαραίτητα στοιχεία για το κτίριο, εισάγονται στο κατάλληλο πεδίο εισαγωγής του λογισμικού για κάθε θερμική ζώνη. Τα στοιχεία αυτά αφορούν στα υλικά κατασκευής του κελύφους του κτιρίου, στα εσωτερικά θερμικά κέρδη (ανθρώπινη δραστηριότητα, φωτισμός, συσκευές σε λειτουργία) και στα συστήματα ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Επιπλέον, εισάγεται το αρχείο με τα μετεωρολογικά δεδομένα και καθορίζονται τα επιθυμητά αποτελέσματα που πρέπει να υπολογιστούν από το λογισμικό (στη συγκεκριμένη μελέτη είναι τα φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου). Στη συνέχεια, εκτελείται το λογισμικό και εξάγεται το αρχείο των αποτελεσμάτων το οποίο μπορεί να ανοιχτεί και μέσω του Excel για περαιτέρω επεξεργασία των στοιχείων.

3.6 Μελέτη προσομοίωσης του κτιρίου με το λογισμικό SUNREL

Το τρίτο λογισμικό εργαλείο που χρησιμοποιείται στην παρούσα μελέτη είναι το SUNREL. Το SUNREL είναι ένα λογισμικό ωριαίας ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων. Βοηθάει στο σχεδιασμό κτιρίων μικρής ενεργειακής απόδοσης, όπου τα φορτία κυριαρχούνται από τις δυναμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του κελύφους του κτιρίου, του περιβάλλοντός του και της ανθρώπινης δραστηριότητας μέσα σ' αυτό. Χρησιμοποιείται είτε για κτίρια μίας θερμικής ζώνης, είτε για κτίρια πολλών θερμικών ζωνών (multi-zone buildings).

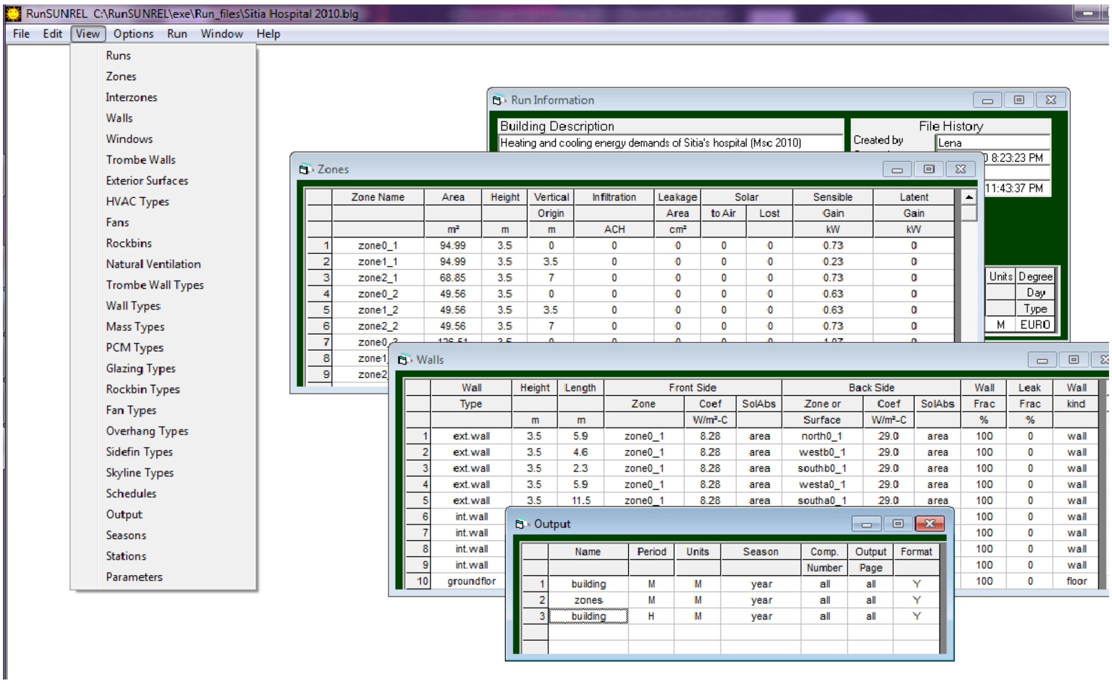
Το SUNREL αποτελεί μια αναβάθμιση του λογισμικού SERI-RES που δημιουργήθηκε στις αρχές του 1980 από το Ινστιτούτο Έρευνας Ηλιακής Ενέργειας (Solar Energy Research Institute - SERI) της Νέας Υόρκης, το οποίο σήμερα έχει μετονομαστεί σε Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας (National Renewable Energy Laboratory - NREL) (www.nrel.gov/buildings/sunrel). Αποτελεί εμπορικό λογισμικό.

Το λογισμικό αυτό βασίζεται στα θεμελιώδη πρότυπα φυσικής συμπεριφοράς και περιλαμβάνει αλγορίθμους κυρίως για παθητικές τεχνολογίες όπως οι τοίχοι Trombe, η προγραμματισμένη σκίαση παραθύρων, η τοποθέτηση προηγμένων υαλοπινάκων και ο φυσικός εξαερισμός. Το μοντέλο αναπαράστασης του κτιρίου είναι ουσιαστικά ένα θερμικό δίκτυο το οποίο επιλύεται με διάφορες τεχνικές, χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες εξισώσεις που εφαρμόζει το λογισμικό. Επιπλέον, υπάρχουν αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της διείσδυσης αέρα από τα κουφώματα αλλά και του φυσικού αερισμού. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το λογισμικό προσομοιάζει μόνο εξιδανικευμένα συστήματα HVAC. Αυτό σημαίνει ότι στο λογισμικό δεν εισάγονται τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού με τα χαρακτηριστικά τους όπως το είδος (π.χ. κεντρική θέρμανση με λέβητα, ηλεκτρική θέρμανση, κλιματισμός), η ισχύς, το είδος καυσίμου, αλλά καθορίζεται μόνο η επιθυμητή θερμοκρασία θέρμανσης, ψύξης και αερισμού την οποία πρέπει να παρέχουν στον κτιριακό χώρο για την επίτευξη των κατάλληλων συνθηκών άνετης διαβίωσης. Οι υπολογισμοί των συστημάτων που υπάρχουν μέσα σε ένα κτίριο καθώς και οι υπολογισμοί των φορτίων του κτιρίου επιλύονται ταυτόχρονα από το λογισμικό. Όπως και στα προηγούμενα λογισμικά, έτσι και σ' αυτό είναι απαραίτητο να εισαχθεί ένα αρχείο με τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής που βρίσκεται το κτίριο (Λάσκος και Αξαρλή, 2009).

Το λογισμικό SUNREL δεν διαθέτει κάποιες ενσωματωμένες βιβλιοθήκες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απαιτούνται από το χρήστη περισσότερα δεδομένα εισαγωγής για τη σωστή περιγραφή του κτιρίου και την εξαγωγή πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

Επίσης, το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού είναι απλό και επιτρέπει την εύκολη εισαγωγή των δεδομένων (input) αλλά και την εύκολη εξαγωγή και επεξεργασία των αποτελεσμάτων (output). Είναι σχετικά εύκολο στην εκμάθησή του και ο χρήστης μπορεί με μεγάλη ακρίβεια να επανεξετάσει τα δεδομένα που έχει εισάγει σε κάθε προσομοίωση και να διορθώσει πιθανά λάθη.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται το περιβάλλον αλληλεπίδρασης του λογισμικού SUNREL με το χρήστη.



Εικόνα 17. Περιβάλλον λογισμικού SUNREL

Εφόσον έχουν συλλεχθεί όλα τα απαραίτητα στοιχεία για το κτίριο, εισάγονται στο κατάλληλο παράθυρο εισαγωγής του λογισμικού. Επιπλέον, εισάγεται το αρχείο με τα μετεωρολογικά δεδομένα και καθορίζονται τα επιθυμητά αποτελέσματα που πρέπει να υπολογιστούν από το λογισμικό (στη συγκεκριμένη μελέτη είναι τα φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου). Στη συνέχεια, εκτελείται το λογισμικό και εξάγεται το αρχείο των αποτελεσμάτων (output file) το οποίο μπορεί να ανοιχτεί μέσω του Excel για περαιτέρω επεξεργασία των στοιχείων.

3.7 Εισαγωγική Συνέντευξη

Σ’ αυτό το στάδιο λαμβάνει χώρα μια συνέντευξη με τους εργαζόμενους της Τεχνικής Υπηρεσίας του Νοσοκομείου Σητείας για τη λήψη γενικών πληροφοριών σχετικά με το κτίριο, τις ανάγκες του και κάποια προβλήματα που πιθανόν να υπάρχουν κατά τη λειτουργία του. Επιπλέον, εξασφαλίζονται τα πρώτα στοιχεία τα οποία χαρακτηρίζουν το κτίριο και βοηθούν να σχηματιστεί μια πρώτη εικόνα γι' αυτό (σχέδια κατόψεων, τεχνικές εκθέσεις θέρμανσης, κλιματισμού και φωτισμού, ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός κτλ.). Τα βασικότερα από αυτά είναι:

- Τα υλικά κατασκευής τοιχοποιίας, πατωμάτων, οροφών, παραθύρων, τα υλικά των μονώσεων, καθώς και κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά τους.
- Ο τύπος των ανοιγμάτων (παράθυρα), η επιφάνεια και ο προσανατολισμός τους στο κτίριο.
- Η χρήση του κτιρίου καθώς και των χώρων του ξεχωριστά.
- Στοιχεία αερισμού και κλιματισμού των χώρων.
- Στοιχεία θέρμανσης των χώρων από κεντρικές μονάδες και από εσωτερικές πηγές θερμότητας όπως φωτισμός, ανθρώπινη δραστηριότητα, ηλεκτρονικοί υπολογιστές και άλλες συσκευές που απελευθερώνουν θερμότητα (μηχανήματα υπερήχων, μόνιτορ).

3.8 Ενεργειακή Επιθεώρηση κτιρίου

Σ' αυτό το στάδιο πραγματοποιείται η ενεργειακή επιθεώρηση του κτιρίου. Κατά τη διαδικασία αυτή, καταγράφονται όλα τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν το κτίριο και ταυτόχρονα γίνεται η επαλήθευση των στοιχείων που έχουν συλλεχθεί από το προηγούμενο στάδιο. 'Έτσι, συγκεντρώνονται όλα τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για τη μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου, τα οποία εν συνεχεία εισάγονται στα λογισμικά για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

3.8.1 Διαχωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες

Τα περισσότερα λογισμικά προσομοίωσης ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίων χρησιμοποιούν την έννοια της ***θερμικής ζώνης*** για την εισαγωγή των δεδομένων του κτιρίου. Ο διαχωρισμός αυτός περιλαμβάνεται και στα πλαίσια της διαδικασίας Ενεργειακής Επιθεώρησης κτιρίων. Η θερμική ζώνη περιλαμβάνει μια ομάδα χώρων (δωματίων) του κτιρίου που έχουν τις ίδιες απαιτήσεις σε θέρμανση, ψύξη και αερισμό. Η επιλογή και ο διαχωρισμός των ζωνών γίνεται με βάση τα παρακάτω κριτήρια, τα οποία καθορίζονται από τη χρήση των χώρων και τον προσανατολισμό τους:

➢ Εσωτερική θερμοκρασία (διαφορά >4 ^{o}C)

Αν η διαφορά θερμοκρασίας σε κάποια δωμάτια είναι μεγαλύτερη από 4^{o}C, τότε αυτά χωρίζονται σε διαφορετικές ζώνες. Τα δωμάτια που δεν θερμαίνονται αποτελούν επίσης διαφορετική ζώνη.

➢ Εσωτερικές πηγές θερμότητας

Στα εσωτερικά κέρδη περιλαμβάνεται η θερμότητα που προέρχεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα (η οποία εξαρτάται από το είδος της δραστηριότητας αλλά και τον αριθμό των ατόμων), από τον εξοπλισμό (ηλεκτρονικοί υπολογιστές, συσκευές υπερήχων κτλ.) και από το φωτισμό. Δωμάτια με παρόμοια εσωτερικά κέρδη συνήθως ανήκουν στην ίδια ζώνη.

- Τύπος εξαερισμού και ποσοστό ροής αέρα

Δωμάτια που αερίζονται μηχανικά χωρίζονται σε διαφορετικές ζώνες από δωμάτια που αερίζονται φυσικά. Επιπλέον, αν το ποσοστό ροής αέρα στα δωμάτια που αερίζονται μηχανικά έχει μεγάλη διαφορά, τότε και αυτά χωρίζονται σε διαφορετικές ζώνες. Αυτό μπορεί να ελεγχθεί από σχέδια εξαερισμού ή κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης.

- Συστήματα ψύξης και θέρμανσης

Όσον αφορά τη θέρμανση, δωμάτια που θερμαίνονται από διαφορετικά συστήματα χωρίζονται επίσης σε διαφορετικές ζώνες. Όσον αφορά την ψύξη, συνήθως δεν χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι συστημάτων ψύξης στο ίδιο κτίριο, ενώ ο διαχωρισμός σε ζώνες γίνεται ανάμεσα στα δωμάτια που ψύχονται από κάποιο σύστημα ψύξης και στα δωμάτια που δεν ψύχονται.

Κατά το σχεδιασμό του, ένα κτίριο είναι δυνατόν να χωριστεί είτε σε πολλές θερμικές ζώνες (multi zone building), είτε να θεωρηθεί ότι όλο το κτίριο αποτελεί μια θερμική ζώνη (single zone building). Στην παρούσα μελέτη, επιλέγεται ο πρώτος τρόπος σχεδιασμού γιατί επιτυγχάνεται μια πιο ρεαλιστική προσομοίωση του κτιρίου.

Ο διαχωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες, πέρα από την τήρηση των παραπάνω βασικών κριτηρίων, είναι υποκειμενικός και επαφίεται κάθε φορά στην κρίση του μελετητή. Στο υπό μελέτη κτίριο, η θέρμανση παρέχεται σε όλους τους χώρους από κεντρική μονάδα θέρμανσης (λέβητας πετρελαίου) και τα δωμάτια είναι εφοδιασμένα με καλοριφέρ. Το σύστημα ψύξης περιλαμβάνει κλιματιστικές μονάδες (air conditioning) σε κάθε χώρο του κτιρίου, οι οποίες ρυθμίζονται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία λειτουργίας. Επομένως, εφόσον τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης είναι ενιαία σε όλο το κτίριο, ο διαχωρισμός του σε ζώνες θα γίνει με βάση το προφίλ χρήσης και τα εσωτερικά κέρδη κάθε χώρου.

Οι θερμικές ζώνες για την προσομοίωση χωρίστηκαν διαφορετικά σε κάθε λογισμικό. Η διαφοροποίηση αυτή δεν έχει επίπτωση στα αποτελέσματα των λογισμικών, εφόσον τα χαρακτηριστικά του κτιρίου είναι τα ίδια και απλά αλλάζει η ομαδοποίησή τους. Η διαφοροποίηση αυτή έγινε για λόγους διευκόλυνσης που εμπίπτουν στις διαφορετικές απαιτήσεις του κάθε λογισμικού εργαλείου. Συγκεκριμένα, το TRNSYS παρέχει τη δυνατότητα προσομοίωσης 25 θερμικών ζωνών συνολικά. Στο EPA-NR, όσο λιγότερες ζώνες υπάρχουν στο κτίριο, τόσο καλύτερα γίνεται η προσομοίωση από την πλευρά ευκολίας εισαγωγής δεδομένων αλλά και από την πλευρά αποφυγής λαθών και ελαχιστοποίησης σφαλμάτων. Στο SUNREL υπάρχει περιορισμός μέγιστου αριθμού ζωνών ίσος με 100. Γενικά, από τη μέχρι τώρα εμπειρία, σε μια προσομοίωση κτιρίου αποφεύγεται η δημιουργία πολλών θερμικών ζωνών και προτιμάται μια μέση κατάσταση (η προσομοίωση είναι καλύτερη αν δεν υπάρχουν πάνω από 8 ζώνες ανά όροφο κτιρίου).

3.8.2 Συλλογή απαραίτητων δεδομένων προσομοίωσης

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη παράγραφο, για την ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου Β του Νοσοκομείου Σητείας, είναι απαραίτητο να συλλεχθούν στοιχεία περιγραφής του κτιριακού κελύφους, των συνθηκών εσωτερικού περιβάλλοντος αλλά και μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής που βρίσκεται το κτίριο. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

3.8.2.1 Μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής

Τα αρχεία μετεωρολογικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις διαφέρουν σε κάθε λογισμικό. Στο λογισμικό TRNSYS χρησιμοποιήθηκε αρχείο που περιέχει τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής της Σητείας. Τα στοιχεία αυτά παραχωρήθηκαν από την Ελληνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) μετά από συμφωνία με το εργαστήριο Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Τα στοιχεία αυτά αφορούν στη ροή ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας, στη σχετική υγρασία, στη θερμοκρασία περιβάλλοντος καθώς και στη διεύθυνση και ταχύτητα του ανέμου. Μετά την επεξεργασία αυτών των παραμέτρων, δημιουργήθηκε το αρχείο του Τυπικού Μετεωρολογικού Έτους (TMY2) το οποίο περιέχει τις μέσες τιμές τους σε ωριαία βάση. Το αρχείο αυτό είναι σε μορφή .tm2 και χρησιμοποιείται ως αρχείο εισαγωγής στο λογισμικό TRNSYS.

Το λογισμικό EPA-NR έχει ενσωματωμένη βιβλιοθήκη κλιματικών δεδομένων για την περιοχή της Αθήνας, της Θεσσαλονίκης και του Ηρακλείου. Επειδή τα αρχεία αυτά είναι σε συγκεκριμένη μορφή, ενώ ταυτόχρονα δεν υπάρχει διαθέσιμο αρχείο για την περιοχή της Σητείας, στην προσομοίωση χρησιμοποιούνται τα δεδομένα του Ηρακλείου. Η παραδοχή χρήσης των μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής του Ηρακλείου αντί της Σητείας, έγινε δεδομένου ότι οι κλιματικές συνθήκες στο νησί της Κρήτης δε διαφέρουν σημαντικά από νομό σε νομό.

Στο λογισμικό SUNREL χρησιμοποιείται το ίδιο αρχείο που χρησιμοποιείται και στο TRNSYS, το οποίο περιέχει τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής της Σητείας.

3.8.2.2 Υλικά κατασκευής κτιρίου

Τα υλικά κατασκευής του κελύφους του κτιρίου έχουν συλλεχθεί από τα σχέδια που παρείχε η Τεχνική Υπηρεσία του Νοσοκομείου και είναι απαραίτητα για τους υπολογισμούς που αφορούν τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου.

3.8.2.3 Εσωτερικές πηγές θερμότητας

Για τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων του κτιρίου είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη οι εσωτερικές πηγές θερμότητας. Ουσιαστικά, αυτές αποτελούν τα θερμικά κέρδη που προέρχονται από τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου. Πρόκειται για πηγές που ελευθερώνουν θερμότητα σ' αυτό, η οποία μπορεί να είναι είτε αισθητή είτε λανθάνουσα. Στο συγκεκριμένο κτίριο θα ληφθούν υπόψη οι κύριες εσωτερικές πηγές θερμότητας δηλαδή ο φωτισμός, η ανθρώπινη δραστηριότητα, και οι συσκευές (οι υπολογιστές και κάποια μηχανήματα όπως μόνιτορ και υπέρηχοι).

- Φωτισμός

Είναι γνωστό ότι οι πηγές φωτισμού εκπέμπουν ένα μέρος φωτός και ένα μέρος θερμότητας. Κατά συνέπεια, συμβάλουν στο συνολικό εσωτερικό ποσό θερμότητας του κτιρίου. Στο υπό μελέτη κτίριο υπάρχουν 2 τύποι λαμπτήρων, οι λαμπτήρες φθορισμού ισχύος 32 W και οι λαμπτήρες πυρακτώσεως ισχύος 75 W. Σε κάθε ζώνη του κτιρίου καθορίζεται ο αριθμός και ο τύπος των λαμπτήρων που υπάρχουν.

- Ανθρώπινη δραστηριότητα

Λόγω διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος, εκπέμπεται κάποιο ποσοστό θερμότητας από τον άνθρωπο προς το περιβάλλον. Το θερμικό αυτό φορτίο χωρίζεται σε αισθητό και λανθάνον. Τα λογισμικά TRNSYS και EPA-NR περιέχουν στις βιβλιοθήκες τους πίνακες με τις τυπικές τιμές των θερμικών φορτίων ανάλογα με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Το SUNREL, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη παράγραφο, δεν διαθέτει ενσωματωμένες βιβλιοθήκες. Οι τυπικές τιμές των θερμικών φορτίων ανάλογα με την ανθρώπινη δραστηριότητα παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες:

Πίνακας 5. Αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα ανάλογα με την ανθρώπινη δραστηριότητα *(TRNSYS manual)*

		Total Heat Adjusted		Sensible Heat		Latent Heat	
Degree of Activity	Typical Application	Watts	Btu/h	Watts	Btu/h	Watts	Btu/h
Seated at rest	Theatre, Movie	100	350	60	210	40	140
Seated, very light writing	Office, Hotels, Apts	120	420	65	230	55	190
Seated, eating	Restaurant	170	580	75	255	95	325
Seated, light work, typing	Office, Hotels, Apts	150	510	75	255	75	255
Standing, light work or working slowly	Retail Store, Bank	185	640	90	315	95	325
light bench work	Factory	230	780	100	345	130	435
walking 1,3 m/s (3 mph) light machine work	Factory	305	1040	100	345	205	695
Bowling	Bowling Alley	280	960	100	345	180	615
moderate dancing	Dance Hall	375	1280	120	405	255	875
Heavy work, lifting Heavy machine work	Factory	470	1600	165	565	300	1035
Heavy work, athletics	Gymnasium	525	1800	185	635	340	1165

- Συσκευές

Γίνεται εκτίμηση του αριθμού και του τύπου των συσκευών που υπάρχουν σε κάθε χώρο του κτιρίου. Στο υπό μελέτη κτίριο υπάρχουν ηλεκτρονικοί υπολογιστές με έγχρωμη οθόνη ισχύος 230 W, μόνιτορ 2,5 kW καθώς και ένας υπέρηχος ισχύος 1,5 kW σε συγκεκριμένους χώρους γραφείων και εξέτασης των ασθενών.

3.8.2.4 Συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος κτιρίου

Οι συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος του κτιρίου περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία, την υγρασία καθώς και τις απαιτήσεις αερισμού. Οι τιμές αυτές πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να επιτυγχάνεται η άνετη διαβίωση των ατόμων, τόσο κατά τη χειμερινή περίοδο του χρόνου, όσο και κατά τη θερινή. Στους ακόλουθους πίνακες, παρουσιάζονται οι τυπικές τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας για τη χειμερινή και θερινή περίοδο, ανάλογα με τον τύπο κτιρίου, όπως αυτές καθορίζονται από την Τεχνική Οδηγία του ΤΕΕ (ΤΟΤΕΕ 2425/86, 2005).

Πίνακας 6. Τυπικές τιμές θερμοκρασίας για κλιματιζόμενους χώρους το χειμώνα *(ΤΟΤΕΕ 2425/86, 2005)*

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΩΡΟΥ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ(%)
Κατοικίες	22	30-50
Κτίρια γραφείων	21-23	30-35
Βιβλιοθήκες - Μουσεία	20-22	40-50
Νοσοκομεία	24	30
Εστιατόρια και Κέντρα Διασκεδάσεως	21-23	30-40

Πίνακας 7. Τυπικές τιμές θερμοκρασίας για κλιματιζόμενους χώρους το καλοκαίρι *(ΤΟΤΕΕ 2425/86, 2005)*

ΕΙΔΟΣ ΧΩΡΟΥ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)
Κατοικίες	25-26	40-50
Κτίρια γραφείων	25-26	40-50
Βιβλιοθήκες - Μουσεία	22	40-55
Εστιατόρια και Κέντρα Διασκεδάσεως	23-26	50-60
Εκπαιδευτικά κτίρια	26	45-50
Νοσοκομεία		
Αίθουσες	24	45-50
Χειρουργεία	20-24	50-60
Αναρρωτήρια	24	50-60

Ο προσδιορισμός της ποσότητας του αέρα που πρέπει να παρέχει το σύστημα αερισμού μπορεί να γίνει με διάφορα κριτήρια. Η απαιτούμενη ποσότητα αέρα ανά άτομο είναι ένα κριτήριο που δίνει ικανοποιητικές τιμές και είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για μεγάλους χώρους συγκεντρώσεων (ΤΟΤΕΕ 2425/86, 2005). Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι τυπικές τιμές αερισμού για διάφορους τύπους κτιρίων και χώρων:

Πίνακας 8. Απαιτήσεις αερισμού κτιρίων *(ΤΟΤΕΕ 2425/86, 2005)*

ΧΩΡΟΣ	ΕΚΤΙΜΟΥΜΕΝΑ ΑΤΟΜΑ ΑΝΑ 100 m^2 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΑΠΕΔΟΥ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΑΝΑ ΑΤΟΜΟ (m^3/h) ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ	ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΟΣ
Μονοκατοικίες			
Καθιστικά, υπνοδωμάτια	5	8,5	12-17
Κουζίνες, μπάνια	-	34	50-85
Πολυκατοικίες			
Καθιστικά, υπνοδωμάτια	7	8,5	12-17
Κουζίνες, μπάνια	-	34	50-85
Εκπαιδευτικά κτίρια			
Αίθουσες	55	17	17-26
Εργαστήρια	32	17	17-26
Αμφιθέατρα	110	17	26-34
Βιβλιοθήκες	22	12	17-21
Γραφεία	10	12	17-26
Γυμναστήρια	75	34	42-51
Εστιατόρια	110	17	26-34
Βοηθητικοί χώροι	3	8,5	12-17
Νοσοκομεία			
Αίθουσες αναμονής	55	34	42-51
Δωμάτια ασθενών	22	17	26-34
Χειρουργεία	-	34	-
Αίθουσες εξετάσεων	10	50	70-85
Αναρρωτήρια	-	25	-
Γραφεία			
Γενικά	10	25,5	25,5-42,5
Αίθουσες συνδιαλέξεων	65	42,5	51-68
Σχεδιαστήρια	22	12	17-25,5
Αίθουσες αναμονής	32	12	25,5-34
Αίθουσες Η/Υ	22	8,5	12-17
Ξενοδοχεία			
Υπνοδωμάτια	5	12	17-25,5
Καθιστικοί χώροι	22	17	25,5-34
Μπάνια	-	34	51-85

Η απαιτούμενη ποσότητα αέρα ανά ώρα για τον αερισμό ενός χώρου προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της επιλεγμένης τιμής του ακόλουθου πίνακα επί τον αριθμό των ατόμων που υπάρχουν στον χώρο. Ο υπολογισμός της ωριαίας εναλλαγής του αέρα του χώρου με εξωτερικό αέρα προκύπτει από τη διαίρεση της παραπάνω τιμής με τον όγκο του χώρου.

3.8.2.5 Διείσδυση αέρα και απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας

Η διείσδυση αέρα υπολογίζεται από τα λογισμικά TRNSYS και SUNREL, ανάλογα με τα δεδομένα εισαγωγής που περιγράφουν το κέλυφος του κτιρίου. Στο λογισμικό EPA-NR η διείσδυση αέρα αποτελεί δεδομένο εισαγωγής για κάθε θερμική ζώνη.

Η απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας της εξωτερικής επιφάνειας του κελύφους του κτιρίου εξαρτάται από το χρώμα των εξωτερικών τοίχων. Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται οι τιμές των συντελεστών απορρόφησης ανάλογα με το χρώμα των τοίχων.

Πίνακας 9. Απορρόφηση ακτινοβολίας ανάλογα με το χρώμα των εξωτερικών τοίχων

Χρώμα	Εύρος	Μέση τιμή
Μαύρο	0,85 - 0,98	**0,92**
Μπλε	0,86 - 0,92	**0,89**
Σκούρο καφέ	0,79 - 0,85	**0,82**
Κόκκινο	0,65 - 0,80	**0,73**
Κίτρινο	0,50 - 0,70	**0,6**
Άσπρο ή κρεμ	0,30 - 0,50	**0,4**

3.8.2.6 Ώρες λειτουργίας

Οι ώρες λειτουργίας του κτιρίου, όπως είναι αναμενόμενο, επηρεάζουν τα απαιτούμενα φορτία θέρμανσης και ψύξης. Η παράμετρος αυτή είναι πολύ σημαντική στον υπολογισμό των φορτίων για θέρμανση και κλιματισμό, γιατί αυτά υπολογίζονται ανάλογα με τις ώρες που υπάρχει δραστηριότητα στο κτίριο. Αυτό βέβαια εξαρτάται από το είδος του κτιρίου και τη χρήση του (νοσοκομείο, ξενοδοχείο, κατοικία κτλ.). Επίσης, οι ώρες λειτουργίας καθορίζουν και την κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου. Το κτίριο Β, εφόσον ανήκει σε κτιριακό συγκρότημα Νοσοκομείου, είναι προφανές ότι λειτουργεί 24 ώρες το 24ωρο.

3.8.3 Παραδοχές

Για τη μελέτη του κτιρίου, ήταν απαραίτητο να γίνουν κάποιες παραδοχές οι οποίες βοηθούν στην προσομοίωσή του και στα τρία λογισμικά:

Καθορισμός θερινής και χειμερινής περιόδου

Ο καθορισμός αυτός έγινε για το λογισμικό TRNSYS. Η θερινή περίοδος ορίζεται το διάστημα από 1η Ιουνίου έως 30 Σεπτεμβρίου και το σύνολο των ωρών της είναι 2.928. Η χειμερινή περίοδος ορίζεται το διάστημα από 1η Δεκεμβρίου έως 30 Μαρτίου με σύνολο ωρών ίσο με 2.904.

Μετεωρολογικά δεδομένα

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, η παραδοχή χρήσης του μετεωρολογικού αρχείου της περιοχής του Ηρακλείου αντί της περιοχής της Σητείας γίνεται μόνο για το λογισμικό EPA-NR. Η παραδοχή αυτή έγινε δεδομένου ότι οι κλιματικές συνθήκες στο νησί της Κρήτης δε διαφέρουν σημαντικά από νομό σε νομό.

Χρήση τιμών από ενσωματωμένες βιβλιοθήκες

Σε κάποια πεδία εισαγωγής των λογισμικών, απαιτούνται διάφορες παράμετροι οι οποίες είναι δύσκολο να καθοριστούν από το χρήστη. Για τη διευκόλυνση εισαγωγής αυτών των δεδομένων, τα ίδια τα λογισμικά διαθέτουν ενσωματωμένες βιβλιοθήκες. Έτσι, σε τέτοιες περιπτώσεις, χρησιμοποιήθηκαν οι τυπικές τιμές που προτείνονται από το κάθε λογισμικό. Επομένως, κάποιες τιμές διαφέρουν από λογισμικό σε λογισμικό. Στο σημείο αυτό, είναι αναγκαίο να αναφερθεί ότι ο αριθμός και ο τύπος των δεδομένων εισαγωγής είναι επίσης διαφορετικός σε κάθε λογισμικό. Αυτό σημαίνει ότι στην προσομοίωση ενός λογισμικού μπορεί να είναι απαραίτητες κάποιες παράμετροι οι οποίες να μην χρειάζονται σε κάποιο άλλο. Αυτό βέβαια καθορίζεται από τις εξισώσεις, τον αλγόριθμο και τη μεθοδολογία που χρησιμοποιεί το καθένα για να εξάγει τα αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης.

3.9 Αποτελέσματα λογισμικών εργαλείων

Μετά την προσομοίωση του κτιρίου Β στα τρία λογισμικά, εξάγονται και τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν υπολογισμούς για τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου με βάση τα στοιχεία του κελύφους, τα εσωτερικά κέρδη, τις εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες και τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής όπου βρίσκεται. Έτσι, υπολογίζονται τα μέσα ωριαία, μηνιαία και ετήσια φορτία κλιματισμού και θέρμανσης του κτιρίου.

3.10 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων και λογισμικών εργαλείων

Τελικό βήμα στη μελέτη προσομοίωσης του κτιρίου Β είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων από κάθε λογισμικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε. Επιπλέον, πραγματοποιείται και η αξιολόγηση των δυνατοτήτων των λογισμικών εργαλείων. Τα κριτήρια για την αξιολόγηση αυτή είναι:

- Εξαγωγή παρόμοιων ενεργειακών απαιτήσεων και από τα τρία λογισμικά προσομοίωσης για το κτίριο Β.
- Παρουσία μικρότερου σφάλματος στα αποτελέσματα των λογισμικών.
- Αξιοπιστία των εξαγόμενων αποτελεσμάτων με βάση τον έλεγχο των λογισμικών με τη μέθοδο BESTEST.
- Διαδικασία διεξαγωγής προσομοίωσης (εύκολη, γρήγορη κτλ.), κατάλληλη για χρήση του λογισμικού σε μια ενεργειακή επιθεώρηση κτιρίου.
- Δυνατότητα λογισμικών για επανεισαγωγή νέων δεδομένων και επέμβαση στο αρχικό μοντέλο προσομοίωσης.

4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα δεδομένα που περιγράφουν και χαρακτηρίζουν το κτίριο Β, τα οποία ταυτόχρονα αποτελούν και τα δεδομένα εισαγωγής των λογισμικών εργαλείων. Επιπλέον, περιγράφονται οι διαδικασίες που έλαβαν χώρα για την παρούσα μελέτη. Ακόμη, παρατίθενται οι ενεργειακές προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν στα λογισμικά TRNSYS, EPA-NR και SUNREL καθώς και η σύγκριση των αποτελεσμάτων τους.

4.2 Εισαγωγική Συνέντευξη

Κατά την Εισαγωγική Συνέντευξη με τους εργαζόμενους στην Τεχνική Υπηρεσία συλλέχθηκαν κυρίως στοιχεία που αφορούσαν τα υλικά κατασκευής τοιχοποιίας, πατωμάτων, οροφών, παραθύρων, τα υλικά των μονώσεων, καθώς και κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Τα στοιχεία αυτά δεν υπήρχαν καταγεγραμμένα, δεδομένου ότι και το Νοσοκομείο Σητείας κατασκευάστηκε πριν από 16 χρόνια, δηλαδή το έτος 1994.

4.3 Ενεργειακή Επιθεώρηση κτιρίου

Κατά την Ενεργειακή Επιθεώρηση του κτιρίου ελέγχθηκε αν τα στοιχεία που είχαν συλλεχθεί από την Τεχνική Υπηρεσία συμβαδίζουν με τα πραγματικά. Επιβεβαιώθηκαν όλα τα αρχιτεκτονικά σχέδια και οι χρήσεις των χώρων. Οι επιπλέον πληροφορίες που συλλέχθηκαν για το κτίριο διατυπώνονται παρακάτω:

- Λόγω της έλλειψης σύνταξης μελέτης φωτισμού στο κτίριο αλλά και έλλειψης καταγραφής των υπαρχόντων δεδομένων φωτισμού, ήταν απαραίτητο να καταγραφεί σε κάθε χώρο και κάθε όροφο του κτιρίου ο αριθμός και ο τύπος των λαμπτήρων.
- Στα στοιχεία που συλλέχθηκαν από την Τεχνική Υπηρεσία δεν υπήρχε νέα μελέτη κλιματισμού του κτιρίου η οποία να αντιπροσωπεύει την παρούσα κατάσταση. Πρόσφατα, εγκαταστάθηκαν στους χώρους του κτιρίου Β κλιματιστικές μονάδες οι οποίες δεν έχουν καταγραφεί. Συνεπώς, κατά τη διάρκεια της Ενεργειακής Επιθεώρησης πραγματοποιήθηκε η παραπάνω καταγραφή.
- Μια επιπλέον καταγραφή η οποία έλαβε χώρα στη διαδικασία αυτή, είναι η καταγραφή των συσκευών, οι οποίες ανήκουν στις εσωτερικές πηγές θερμότητας. Καταγράφηκε δηλαδή ο αριθμός και η ισχύς των ηλεκτρονικών υπολογιστών, των μόνιτορ και των υπερήχων, καθώς επίσης προσδιορίστηκε και ο χώρος του κτιρίου Β στον οποίο βρίσκονται.

Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους.

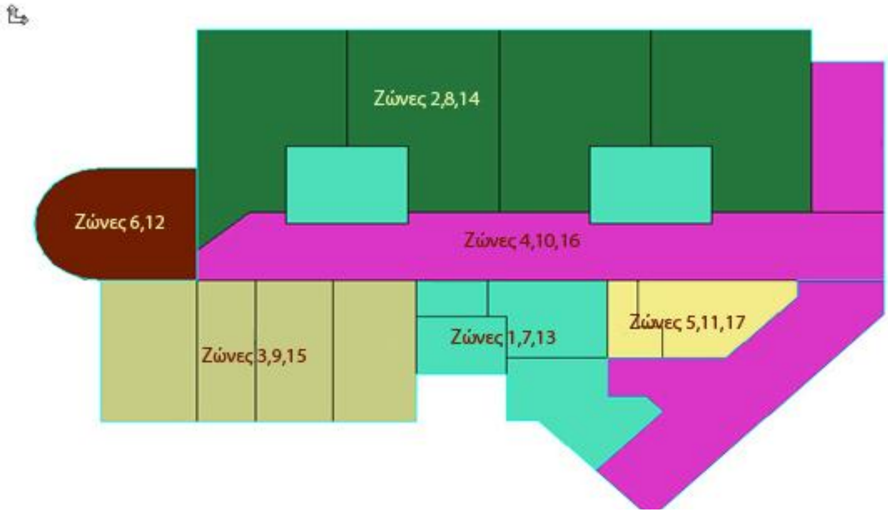
4.3.1 Διαχωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες

Οι θερμικές ζώνες στις οποίες χωρίστηκε το κτίριο για την προσομοίωση σε κάθε ένα από τα τρία λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν, φαίνονται στους ακόλουθους πίνακες και τις εικόνες κατόψεων. Σ' αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι ο διαχωρισμός των ζωνών είναι ο ίδιος και για τους τρεις ορόφους του κτιρίου.

Στο λογισμικό TRNSYS το κτίριο Β χωρίστηκε σε 6 ζώνες ανά όροφο. Εξαίρεση αποτελεί ο 2^{ος} όροφος, ο οποίος έχει 5 ζώνες, επειδή, τη θέση του δωματίου, το οποίο στους άλλους ορόφους αντιστοιχεί στο χώρο βρεφών και στην αίθουσα καρδιολογικού υπερήχου, υπάρχει μπαλκόνι. Επομένως, ο συνολικός αριθμός των θερμικών ζωνών είναι ίσος με 17.

Πίνακας 10. Διαχωρισμός θερμικών ζωνών στο TRNSYS

Ζώνη	Ισόγειο	1^{ος} όροφος	2^{ος} όροφος
Ζώνες 1,7,13	Τουαλέτες	Τουαλέτες	Τουαλέτες
Ζώνες 2,8,14	Θάλαμοι ασθενών	Θάλαμοι ασθενών	Θάλαμοι ασθενών
Ζώνες 3,9,15	Γραφεία ιατρών, νοσηλευτριών	Γραφεία ιατρών, νοσηλευτριών	Γραφεία ιατρών, νοσηλευτριών
Ζώνες 4,10,16	Διάδρομος	Διάδρομος	Διάδρομος
Ζώνες 5,11,17	Αποθηκευτικός χώρος	Αποθηκευτικός χώρος	Αποθηκευτικός χώρος
Ζώνες 6,12	Χώρος βρεφών	Αίθουσα καρδιολογικού υπερήχου	-

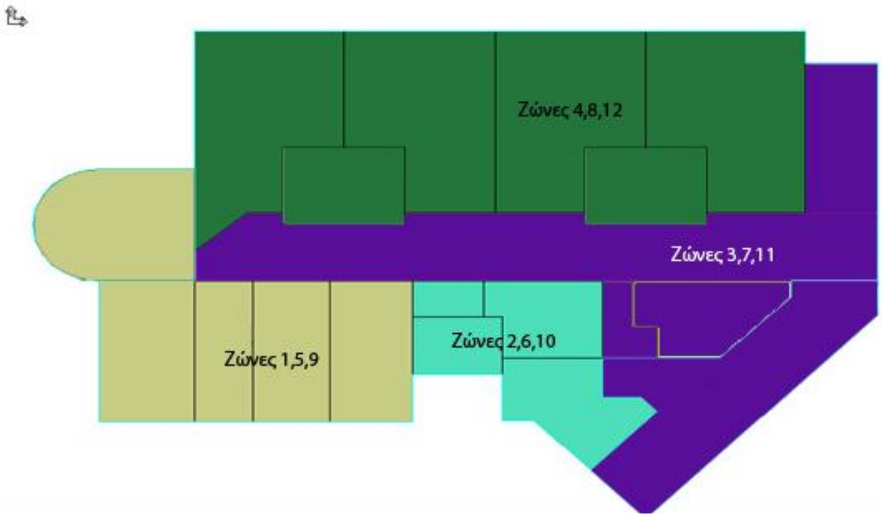


Εικόνα 18. Διαχωρισμός ζωνών στο TRNSYS

Στα λογισμικά EPA-NR και SUNREL το κτίριο Β χωρίστηκε στις ίδιες ακριβώς ζώνες. Ο κάθε όροφος χωρίστηκε σε 4 ζώνες. Επομένως, ο συνολικός αριθμός των θερμικών ζωνών είναι ίσος με 12.

Πίνακας 11. Διαχωρισμός θερμικών ζωνών στο EPA-NR και στο SUNREL

Ζώνη	Ισόγειο	1ος όροφος	2ος όροφος
Ζώνες 1,5,9	Χώρος βρεφών, Γραφεία ιατρών, νοσηλευτριών	Αίθουσα καρδιολογικού υπερήχου, Γραφεία ιατρών, νοσηλευτριών	Γραφεία ιατρών, νοσηλευτριών
Ζώνες 2,6,10	Τουαλέτες	Τουαλέτες	Τουαλέτες
Ζώνες 3,7,11	Αποθηκευτικός Χώρος, Διάδρομος	Αποθηκευτικός Χώρος, Διάδρομος	Αποθηκευτικός Χώρος, Διάδρομος
Ζώνες 4,8,12	Θάλαμοι ασθενών	Θάλαμοι ασθενών	Θάλαμοι ασθενών



Εικόνα 19. Διαχωρισμός ζωνών στο EPA-NR και το SUNREL

4.3.2 Συλλογή απαραίτητων δεδομένων προσομοίωσης

Συγκεντρωτικά, τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από τα προηγούμενα στάδια και είναι απαραίτητα για τη μελέτη του κτιρίου παρουσιάζονται σε πίνακες στις επόμενες παραγράφους.

4.3.2.1 Υλικά κατασκευής κτιρίου

Στον ακόλουθο πίνακα παρατίθενται τα υλικά κατασκευής του κελύφους του κτιρίου Β, καθώς και το πάχος τους.

Πίνακας 12. Υλικά κατασκευής του κτιρίου Β

Είδος	Υλικά Κατασκευής	Συνολικό Πάχος (cm)
Πάτωμα ισογείου	Μπετόν 20 cm, πολυαιθυλένιο 1 cm	21
Πάτωμα 1ου ορόφου	Μπετόν 20 cm, πολυαιθυλένιο 1 cm	21
Πάτωμα 2ου ορόφου	Μπετόν 20 cm, πολυαιθυλένιο 1 cm	21
Οροφή	Πίσσα, ασφαλτόπανο, αφρομπετόν 0,50 cm, άσφαλτος, σκύρα	60
Εξωτερικοί τοίχοι	Τούβλο 10 cm, roof mator (τύπου μπλε φελιζόλ), τούβλο 10cm, σοβάς	30
Εσωτερικοί τοίχοι	Τούβλο 10 cm, σοβάς	11

4.3.2.2 Περιγραφή κελύφους

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα δεδομένα που περιγράφουν το κέλυφος του κτιρίου Β. Προσδιορίζεται η επιφάνεια και ο όγκος κάθε θερμικής ζώνης, καθώς επίσης η επιφάνεια και ο προσανατολισμός κάθε εξωτερικού τοίχου και παραθύρου.

Πίνακας 13. Χαρακτηριστικά κελύφους ανά θερμική ζώνη στο λογισμικό TRNSYS

Ζώνη	Όροφος	Επιφάνεια (m^2)	Όγκος (m^3)	Εξωτερικά παράθυρα	
				Προσανατολισμός	Επιφάνεια (m^2)
Ζώνη 1	Ισόγειο	68,03	236,57	SW	1,33
Ζώνη 2		144,39	505,36	N	5,83
Ζώνη 3		12,26	280,91	W	1,28
				S	4,49
Ζώνη 4		119,20	417,19	N	1,41
				SE	3,38
Ζώνη 5		4,66	16,29	-	0
Ζώνη 6		24,72	86,85	W	2,78
				S	0,85
				N	3,79
				SW	1,1
				NW	1,1
Ζώνη 7	$1^{ος}$	68,03	236,57	SW	1,33
Ζώνη 8		144,39	505,36	N	5,83
Ζώνη 9		12,26	280,91	W	1,28
				S	4,49
Ζώνη 10		119,20	417,19	N	1,41
				SE	3,38
Ζώνη 11		4,66	16,29	-	0
Ζώνη 12		24,72	86,85	W	2,78
				S	0,85
				N	3,79
				SW	1,1
				NW	1,1
Ζώνη 13	$2^{ος}$	68,03	236,57	SW	1,33
Ζώνη 14		144,39	505,36	N	5,83
Ζώνη 15		12,26	280,91	W	1,28
				S	8,23
Ζώνη 16		79,47	278,12	N	1,41
Ζώνη 17		4,66	16,29	-	0

Πίνακας 14. Χαρακτηριστικά κελύφους ανά θερμική ζώνη στα λογισμικά EPA-NR και SUNREL

Ζώνη	Όροφος	Επιφάνεια (m^2)	Όγκος (m^3)	Εξωτερικοί τοίχοι		Εξωτερικά παράθυρα	
				Προσ/λισμός	Επιφάνεια (m^2)	Προσ/λισμός	Επιφάνεια (m^2)
Ζώνη 1	Ισόγειο	90,84	317,94	N	20.9	N	2.2
				NW	6.6	NW	2.7
				W	7.6	W	5.2
				WS	4.6	WS	1.8
				S	26.65	S	5.35
				E	6.4	E	0
Ζώνη 2		39,43	138	S	11.2	S	3.3
				W	6.4	W	0
				WS	10.8	WS	0
Ζώνη 3		98,27	343,94	WS	9.8	WS	0
				SE	42	SE	0
				E	37	E	0
				N	7	N	2.1
Ζώνη 4		172,55	603,92	E	4.7	E	0
				N	66.5	N	12.3
				W	20.5	W	0
Ζώνη 5	1ος	90,84	317,94	N	20.9	N	2.2
				NW	6.6	NW	2.7
				W	7.6	W	5.2
				WS	4.6	WS	1.8
				S	26.65	S	5.35
				E	6.4	E	0
Ζώνη 6		39,43	138	S	11.2	S	3.3
				W	6.4	W	0
				WS	10.8	WS	0
Ζώνη 7		98,27	343,94	WS	9.8	WS	0
				SE	42	SE	0
				E	37	E	0
				N	7	N	2.1
Ζώνη 8		172,55	603,92	E	4.7	E	0
				N	66.5	N	12.3
				W	20.5	W	0
Ζώνη 9	2ος	66,12	231,42	N	6.4	N	0
				W	3	W	3.4
				S	21.15	S	4.45
				E	6.4	E	0
Ζώνη 10		39,43	138	S	11.2	S	3.3
				W	6.4	W	0
				WS	10.8	WS	0
Ζώνη 11		98,27	343,94	WS	9.8	WS	0
				SE	42	SE	0
				E	37	E	0
				N	7	N	2.1
Ζώνη 12		172,55	603,92	E	4.7	E	0
				N	66.5	N	12.3
				W	20.5	W	0

4.3.2.3 Εσωτερικές πηγές θερμότητας

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι εσωτερικές πηγές θερμότητας του κτιρίου για κάθε λογισμικό. Προσδιορίζεται ο αριθμός των ατόμων, ο αριθμός και τύπος των λαμπτήρων καθώς και ο αριθμός και η ισχύς των συσκευών που υπάρχουν σε κάθε θερμική ζώνη.

Πίνακας 15. Εσωτερικές πηγές θερμότητας ανά θερμική ζώνη για το λογισμικό TRNSYS

Ζώνη	Όροφος	Αριθμός ατόμων	Φωτισμός			Συσκευές (kW)
			Φθορισμού	Πυρακτώσεως	Συν. Ισχύς (W)	
Ζώνη 1	Ισόγειο	4	12	13	1.359	-
Ζώνη 2		17	14	-	448	-
Ζώνη 3		5	14	1	523	0,6
Ζώνη 4		4	28	-	986	0,3
Ζώνη 5		1	-	1	75	-
Ζώνη 6		2	4	-	128	-
Ζώνη 7	1^{ος}	5	12	13	1.359	-
Ζώνη 8		19	14	-	448	2,5
Ζώνη 9		5	14	1	423	0,6
Ζώνη 10		5	21	-	672	0,3
Ζώνη 11		1	-	1	75	-
Ζώνη 12		2	4	-	128	1,5
Ζώνη 13	2^{ος}	4	15	13	1.455	-
Ζώνη 14		16	14	4	780	-
Ζώνη 15		7	14	1	523	0,3
Ζώνη 16		4	17	-	544	0,3
Ζώνη 17		1	-	1	75	-

Πίνακας 16. Εσωτερικές πηγές θερμότητας ανά θερμική ζώνη για τα λογισμικά EPA-NR και SUNREL

Ζώνη	Όροφος	Αριθμός ατόμων	Φωτισμός			Συσκευές (kW)
			Φθορισμού	Πυρακτώσεως	Συν. Ισχύς (W)	
Ζώνη 1	Ισόγειο	8	15	2	630	0,3
Ζώνη 2		3	8	5	631	0,3
Ζώνη 3		6	31	31	1.067	0,3
Ζώνη 4		21	18	8	1.176	-
Ζώνη 5	1^{ος}	7	15	2	630	1,8
Ζώνη 6		4	8	5	631	-
Ζώνη 7		6	24	1	843	0,3
Ζώνη 8		21	18	8	1.176	2,5
Ζώνη 9	2^{ος}	7	11	1	427	0,3
Ζώνη 10		4	11	5	727	-
Ζώνη 11		9	20	1	715	0,3
Ζώνη 12		22	18	12	1.476	-

4.3.2.4 Συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος κτιρίου

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται οι επιθυμητές συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος του κτιρίου για κάθε λογισμικό, όπως αυτές επιλέχθηκαν σύμφωνα με την Τεχνική Οδηγία του ΤΕΕ (ΤΟΤΕΕ 2425/86, 2005). Προσδιορίζονται οι τιμές της επιθυμητής θερμοκρασίας και υγρασίας τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη σε κάθε θερμική ζώνη.

Πίνακας 17. Εσωτερική θερμοκρασία και υγρασία ανά θερμική ζώνη στο λογισμικό TRNSYS

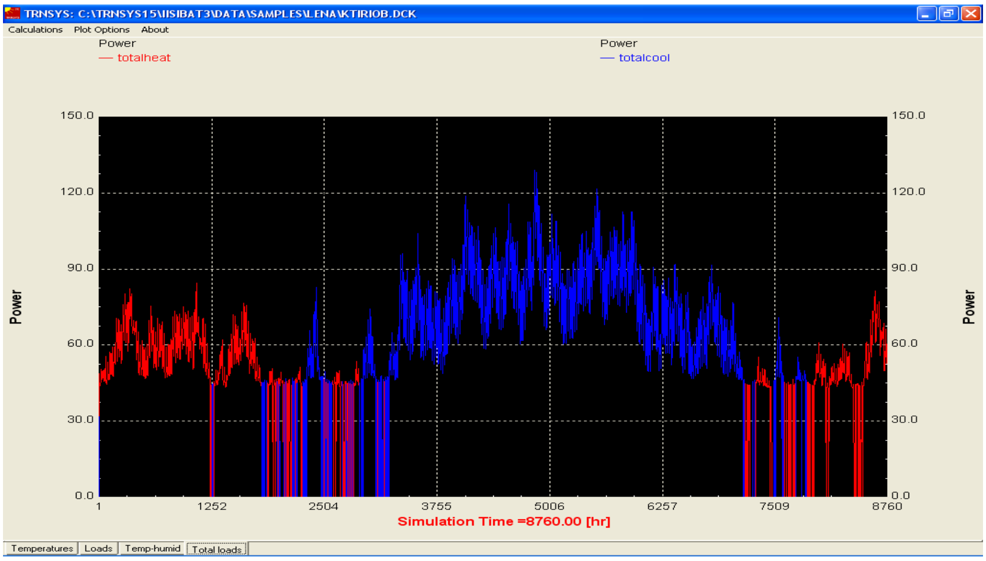
Ζώνη	Θέρμανση		Ψύξη	
	Θερμοκρασία (°C)	Υγρασία	Θερμοκρασία (°C)	Υγρασία
Ζώνες 1,7,13	21	30	24	40
Ζώνες 2,8,14	20	30	24	40
Ζώνες 3,9,15	20	30	24	47
Ζώνες 4,10,16	16	30	24	50
Ζώνες 5,11,17	15	30	24	47
Ζώνες 6,12	18	30	24	50

Πίνακας 18. Εσωτερική θερμοκρασία ανά θερμική ζώνη στα λογισμικά EPA-NR και SUNREL

Ζώνη	Θέρμανση	Ψύξη
	Θερμοκρασία (°C)	Θερμοκρασία (°C)
Ζώνες 1,5,9	20	24
Ζώνες 2,6,10	21	24
Ζώνες 3,7,11	16	24
Ζώνες 4,8,12	20	24

4.4 Μελέτη προσομοίωσης του κτιρίου με το λογισμικό TRNSYS

Στο επόμενο διάγραμμα, απεικονίζονται τα ολικά φορτία ψύξης (με μπλε χρώμα) και τα ολικά φορτία θέρμανσης (με κόκκινο χρώμα). Στον άξονα y παριστάνεται η ισχύς (kW) και στον άξονα x ο χρόνος (ωριαίες τιμές για ένα ημερολογιακό έτος, σύνολο 8.760 ώρες). Παρατηρείται ότι υπάρχει ένα μέγιστο φορτίο ψύξης, ισχύος περίπου 130 kW κατά την περίοδο του Ιουλίου. Αυτό είναι αναμενόμενο, αφού στη συγκεκριμένη περίοδο υπάρχει αυξημένη ηλιοφάνεια και θερμοκρασία περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι ανάγκες για ψύξη (Tsoutsos et al, 2010).



Διάγραμμα 3. Ισχύς ολικών φορτίων ψύξης και θέρμανσης συναρτήσει του χρόνου

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι μηνιαίες και ετήσιες τιμές των ενεργειακών απαιτήσεων σε ψύξη και θέρμανση, όπως αυτές υπολογίστηκαν από το λογισμικό TRNSYS.

Πίνακας 19. Αποτελέσματα απαιτήσεων ενέργειας θέρμανσης και ψύξης από το TRNSYS

Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπτ	Οκτ	Νοέμ	Δεκ	*Έτος*
Θέρμανση (MWh)	11,14	9,3	5,7	0,53	0,065	0	0	0	0	0,0089	0,84	6,62	***34,20***
Ψύξη (MWh)	0	0,0008	0,016	1,51	9,92	22,09	31,12	30,04	19,61	8,93	8,93	0,67	***123,91***

4.5 Μελέτη προσομοίωσης του κτιρίου με το λογισμικό EPA-NR

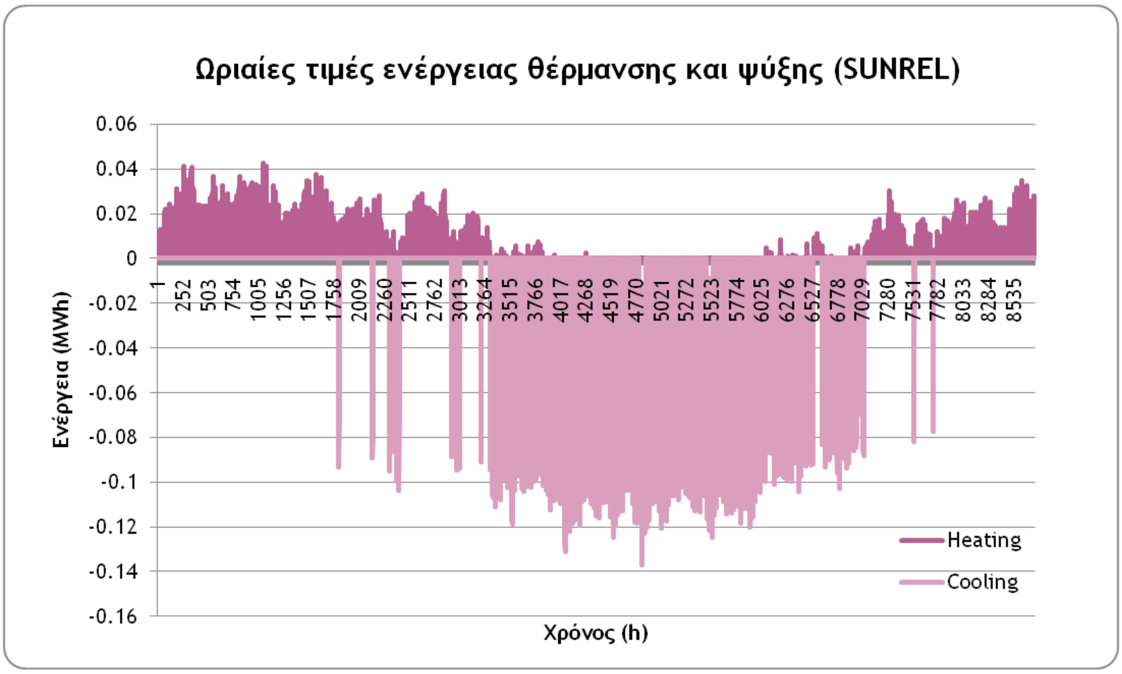
Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι μηνιαίες και ετήσιες τιμές των ενεργειακών απαιτήσεων σε ψύξη και θέρμανση, όπως αυτές υπολογίστηκαν από το λογισμικό EPA-NR.

Πίνακας 20. Αποτελέσματα απαιτήσεων ενέργειας θέρμανσης και ψύξης από το EPA-NR

Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπτ	Οκτ	Νοέμ	Δεκ	*Έτος*
Θέρμανση (MWh)	15,10	13,14	11,13	4,37	0,01	0	0	0	0	0,02	3,66	10,88	***58,31***
Ψύξη (MWh)	1,10	1,89	2,84	5,79	11,53	20,77	27,57	27,57	17,12	10,36	2,15	1,9	***130,59***

4.6 Μελέτη προσομοίωσης του κτιρίου με το λογισμικό SUNREL

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η προσομοίωση που πραγματοποιείται στο SUNREL είναι ωριαίου βήματος. Με βάση τις ωριαίες τιμές που υπολογίστηκαν από το λογισμικό, δημιουργήθηκε το παρακάτω διάγραμμα. Σ' αυτό, απεικονίζονται οι τιμές της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση (κόκκινο) και ψύξη (γαλάζιο) του κτιρίου, σε συνάρτηση με το χρόνο (ωριαίες τιμές για ένα ημερολογιακό έτος, σύνολο 8.760 ώρες).



Διάγραμμα 4. Απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης και ψύξης συναρτήσει του χρόνου

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι μηνιαίες και ετήσιες τιμές των ενεργειακών απαιτήσεων σε ψύξη και θέρμανση, όπως αυτές υπολογίστηκαν από το λογισμικό SUNREL.

Πίνακας 21. Αποτελέσματα απαιτήσεων ενέργειας θέρμανσης και ψύξης από το SUNREL

Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπτ	Οκτ	Νοέμ	Δεκ	*Έτος*
Θέρμανση (MWh)	9,56	8,41	7,03	3,82	1,22	0,08	0,00027	0,00027	0,063	0,92	3,44	7,26	***41,8***
Ψύξη (MWh)	0	0	0,42	1,78	11,47	25,3	32,7	30,25	18,44	6,96	0,74	0	***128,07***

4.7 Αποτελέσματα λογισμικών εργαλείων

Στον επόμενο πίνακα φαίνονται συγκεντρωτικά οι μέσες μηνιαίες και ετήσιες τιμές των απαιτούμενων φορτίων θέρμανσης και ψύξης, όπως αυτές υπολογίστηκαν από τα τρία λογισμικά εργαλεία.

Πίνακας 22. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα λογισμικών

Μήνας	TRNSYS	EPA-NR	SUNREL

	Θέρμανση (MWh)	Ψύξη (MWh)	Θέρμανση (MWh)	Ψύξη (MWh)	Θέρμανση (MWh)	Ψύξη (MWh)
Ιανουάριος	11,14	0	15,10	1.1	9,56	0
Φεβρουάριος	9,30	0,0008	13,14	1.89	8,41	0
Μάρτιος	5,70	0,016	11,13	2.84	7,03	0,42
Απρίλιος	0,53	1,51	4,37	5.79	3,82	1,78
Μάιος	0,065	9,92	0,01	11.53	1,22	11,47
Ιούνιος	0	22,09	0	20.77	0,08	25,30
Ιούλιος	0	31,12	0	27.57	0,00027	32,70
Αύγουστος	0	30,04	0	27.57	0,00027	30,25
Σεπτέμβριος	0	19,61	0	17.12	0,063	18,44
Οκτώβριος	0,0089	8,93	0,02	10.36	0,92	6,96
Νοέμβριος	0,84	0,67	3,66	2.15	3,44	0,74
Δεκέμβριος	6,62	0	10,88	1.9	7,26	0
Έτος	***34,20***	***123,91***	***58,31***	***130,59***	***41,8***	***128,07***

Παρατηρείται ότι οι ετήσιες τιμές σε ανάγκες θέρμανσης έχουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ των λογισμικών. Η μεγαλύτερη διαφορά στα φορτία εμφανίζεται στην τιμή της ετήσιας ενέργειας θέρμανσης του λογισμικού EPA-NR σε σχέση με το TRNSYS, η οποία ανέρχεται στο υψηλό ποσοστό του 41% και σε σχέση με το SUNREL όπου ανέρχεται στο ποσοστό του 28%. Οι ετήσιες τιμές των φορτίων ψύξης είναι πιο ομοιογενείς, με το EPA-NR να έχει μια διαφορά της τάξης του 5% από το TRNSYS και 3% από το SUNREL.

4.8 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων και λογισμικών εργαλείων

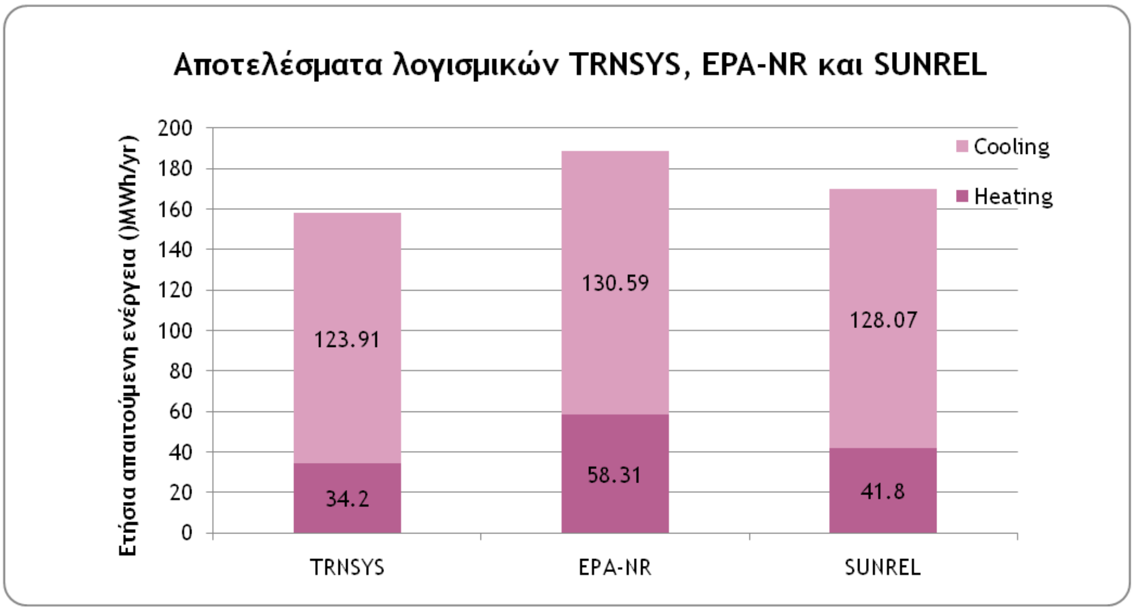
Για να πραγματοποιηθεί η σύγκριση των αποτελεσμάτων από τα τρία λογισμικά, είναι απαραίτητο να δημιουργηθούν κάποια συγκριτικά διαγράμματα. Στη συνέχεια παρατίθενται διαγράμματα που αφορούν τα συνολικά ετήσια φορτία, καθώς και τα μηνιαία.

- Σύγκριση αποτελεσμάτων λογισμικών εργαλείων

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να τονιστεί ότι δεν υπάρχουν ιστορικά στοιχεία των πραγματικών τιμών καταναλώσεων του κτιρίου Β ώστε να γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων των λογισμικών εργαλείων με αυτές. Αυτό συμβαίνει λόγω τεχνικής δυσκολίας συλλογής των συγκεκριμένων δεδομένων. Η δυσκολία έγκειται στο γεγονός ότι το Νοσοκομείο Σητείας διαθέτει κεντρικό λέβητα και για τα οχτώ κτίρια από τα οποία απαρτίζεται. Αυτό σημαίνει ότι η θερμική ενέργεια που καταναλώνεται υπολογίζεται συνολικά για όλο το κτιριακό συγκρότημα και δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί για ένα μόνο κτίριο. Το ίδιο συμβαίνει και με το σύστημα ψύξης, αφού η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται εμφανίζεται σε ένα λογαριασμό της ΔΕΗ για όλα τα κτίρια.

Επιπλέον, ακόμη και σε περίπτωση που υπήρχε η δυνατότητα να είναι διαθέσιμα τα παραπάνω στοιχεία, πάλι δεν θα μπορούσε να γίνει σωστή σύγκριση των αποτελεσμάτων των λογισμικών εργαλείων με τις πραγματικές καταναλώσεις. Και αυτό γιατί οι υπολογιζόμενες τιμές από τα λογισμικά εργαλεία εκφράζουν τις *απαιτήσεις* του κτιρίου σε θέρμανση και ψύξη με βάση το προφίλ χρήσης, τις επιθυμητές εσωτερικές συνθήκες διαβίωσης και τα χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους. Από τη στιγμή που δεν υπάρχει κάποιο σύστημα διαχείρισης ενέργειας κτιρίων (BEMS) ώστε να διατηρούνται σταθερές οι θερμοκρασίες θέρμανσης και ψύξης καθώς και άλλες παράμετροι οι οποίες ρυθμίζονται με το σύστημα αυτό, αυτομάτως συμπεραίνεται ότι οι *πραγματικές* ενεργειακές απαιτήσεις είναι διαφορετικές από την πραγματική κατανάλωση.

Το επόμενο διάγραμμα απεικονίζει την ετήσια απαιτούμενη ενέργεια του κτιρίου τόσο σε θέρμανση όσο και σε ψύξη.

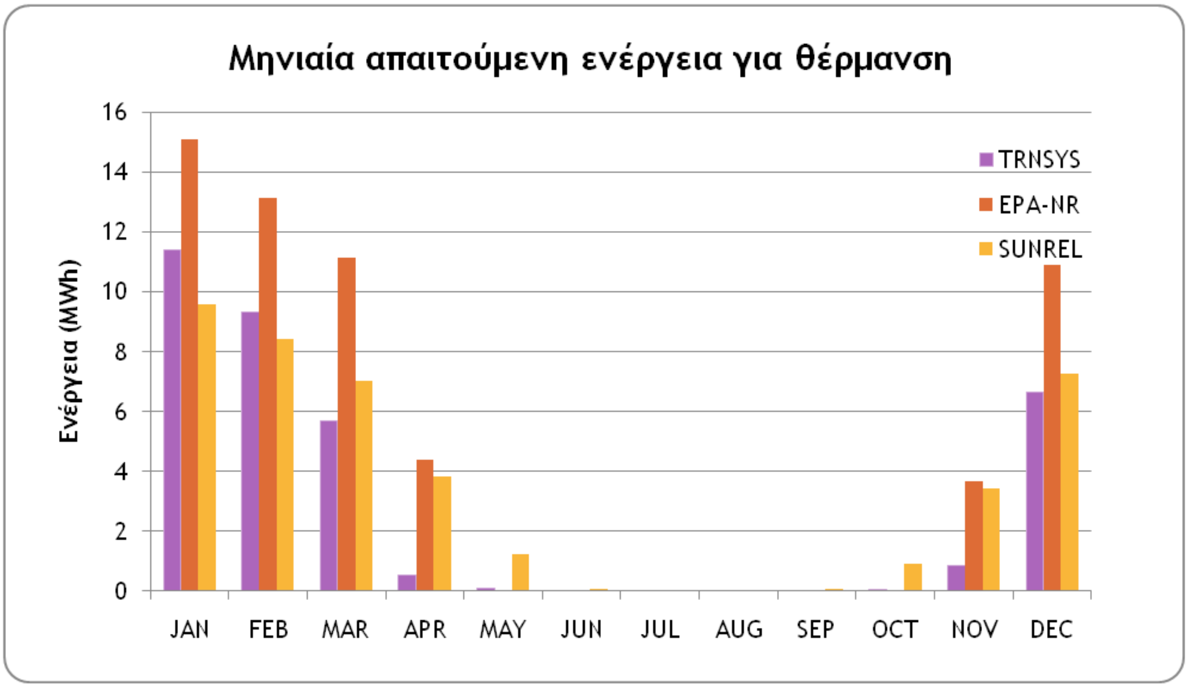


Διάγραμμα 5. Ετήσια απαιτούμενη ενέργεια ψύξης και θέρμανσης των τριών λογισμικών

Παρατηρώντας το διάγραμμα, φαίνεται ότι οι ανάγκες του κτιρίου για ψύξη είναι μεγαλύτερες από τις ανάγκες για θέρμανση κατά τη διάρκεια του χρόνου.

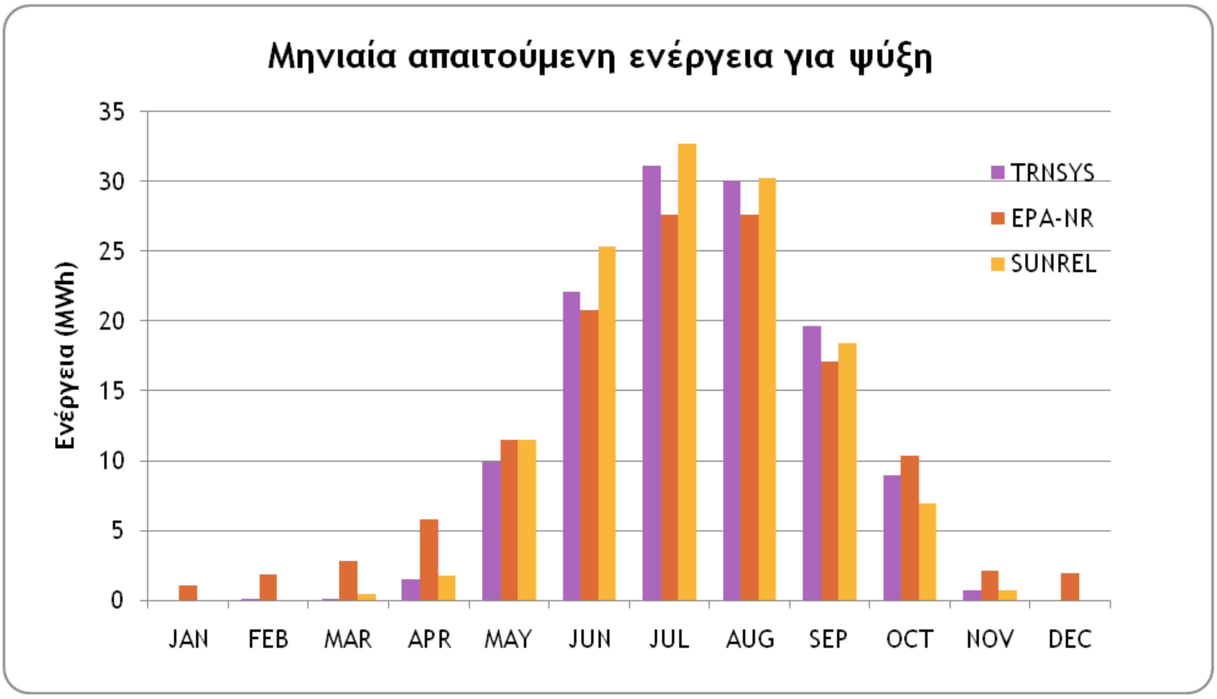
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα, παρατηρείται ότι οι τιμές ψύξης είναι αρκετά ομοιογενείς και στα τρία λογισμικά. Αντίθετα, το φορτίο θέρμανσης παρουσιάζει σχετικά μεγάλη απόκλιση μεταξύ των τριών προσομοιώσεων και ιδιαίτερα η τιμή από το EPA-NR (58,31 MWh) διαφέρει περισσότερο από τις τιμές των άλλων δύο λογισμικών (34,2 MWh και 41,8 MWh), οι οποίες έχουν μικρότερη διαφορά μεταξύ τους. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι ενώ και τα τρία λογισμικά προσομοιώνουν στον ίδιο περίπου βαθμό αξιοπιστίας τα ψυκτικά φορτία, το TRNSYS είναι πολύ πιο αξιόπιστο στην προσομοίωση των θερμικών φορτίων απ' ότι το EPA-NR (όπως αυτό εξηγείται στην ***παράγραφο 4.8.1*** πιο αναλυτικά). Ένας δεύτερος λόγος είναι ότι στο EPA-NR δεν χρησιμοποιούνται πλήρως δυναμικοί υπολογισμοί για τα θερμικά και ψυκτικά φορτία, αλλά υπολογίζονται με βάση το συντελεστή χρήσης (εξαρτάται από το ισοζύγιο μεταξύ κερδών και απωλειών και τη σταθερά χρόνου της ζώνης). Αυτός ο συντελεστής καθορίζει σε ποιο βαθμό τα θερμικά κέρδη είναι ωφέλιμα για το θερμικό φορτίο (περίοδος θέρμανσης) και σε ποιο βαθμό οι θερμικές απώλειες είναι ωφέλιμες για το ψυκτικό φορτίο (περίοδος ψύξης). Επιπλέον, το EPA-NR δεν λαμβάνει υπόψη τους εσωτερικούς τοίχους. Αυτό σημαίνει ότι οι εσωτερικοί τοίχοι του κτιρίου Β δεν προσομοιώθηκαν στο λογισμικό EPA-NR. Συνεπώς, προκύπτει κάποιο σφάλμα στους υπολογισμούς, εφόσον οι εσωτερικοί τοίχοι συμβάλουν στη μεταφορά θερμότητας, αλλά το φαινόμενο αυτό δεν λαμβάνεται υπόψη στη συνολική ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου. Εφόσον λοιπόν απουσιάζουν αυτά τα εσωτερικά δομικά στοιχεία, η θερμική ενέργεια που θα απορροφούσαν ή θα απελευθέρωναν παραμένει στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απαίτηση μεγαλύτερων ποσών ενέργειας τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη.

Τα επόμενα διαγράμματα απεικονίζουν το μηνιαίο καταμερισμό της απαιτούμενης ενέργειας του κτιρίου για θέρμανση και για ψύξη, όπως αυτός υπολογίστηκε από τα τρία λογισμικά προσομοίωσης.



Διάγραμμα 6. Μηνιαία απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης των τριών λογισμικών

Παρατηρείται, ότι ο μήνας με τις μεγαλύτερες ανάγκες για θέρμανση είναι ο Ιανουάριος. Τους μήνες Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο δεν απαιτείται θέρμανση. Όμως, παρατηρείται ότι για τους μήνες Μάιο και Οκτώβριο το λογισμικό SUNREL έχει υπολογίσει ένα μικρό ποσοστό για θέρμανση, πράγμα που στην πραγματικότητα δεν συμβαίνει. Οι τιμές αυτές πιθανόν να συμπεριλαμβάνονται στα πλαίσια σφάλματος του λογισμικού.



Διάγραμμα 7. Μηνιαία απαιτούμενη ενέργεια ψύξης των τριών λογισμικών

Παρατηρείται, ότι ο μήνας με τις μεγαλύτερες ανάγκες για ψύξη είναι ο Ιούλιος. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα, το λογισμικό EPA-NR έχει υπολογίσει ένα μικρό ποσοστό για ψύξη το μήνα Ιανουάριο (ίσο με 1,1 MWh), πράγμα που δεν υφίσταται στην πραγματικότητα. Η τιμή αυτή συμπεριλαμβάνεται στα πλαίσια σφάλματος του λογισμικού όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω. Αν η τιμή αυτή ήταν ίση με το μηδέν και αφαιρούνταν από το ετήσιο σύνολο, τότε θα μειωνόταν και η διαφορά στις συνολικές υπολογιζόμενες ετήσιες MWh του λογισμικού EPA-NR από τα άλλα δύο λογισμικά. Το ίδιο συμβαίνει και με τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο.

➢ Σύγκριση λογισμικών εργαλείων

Σύμφωνα με τα κριτήρια τα οποία αναφέρονται στην ***παράγραφο 3.10***, η σύγκριση των λογισμικών εργαλείων καταλήγει στα εξής:

- Οι τιμές ψύξης είναι αρκετά κοντά και στα τρία λογισμικά, ενώ το φορτίο θέρμανσης παρουσιάζει σχετικά μεγάλη απόκλιση μεταξύ των τριών προσομοιώσεων. Μεταξύ των τριών λογισμικών, φαίνεται ότι το TRNSYS και το SUNREL προσομοιάζουν καλύτερα και πιο αξιόπιστα το κτίριο Β απ' ότι το λογισμικό EPA-NR.
- Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων, αποδεικνύεται ότι το EPA-NR παρουσιάζει το μεγαλύτερο σφάλμα στην προσομοίωση.

4.8.1 Σύγκριση λογισμικών με τη μέθοδο BESTEST

Υπάρχει πληθώρα λογισμικών εργαλείων τα οποία είναι διαθέσιμα για τον υπολογισμό των χρήσεων ενέργειας σε ένα κτίριο. Αυτά τα λογισμικά προσφέρουν ποικίλους βαθμούς πολυπλοκότητας και απαιτούν διαφορετικό επίπεδο γνώσεων των χρηστών, καθώς και δεδομένων εισαγωγής. Επίσης, κάθε λογισμικό υπολογίζει τις απαιτήσεις ενέργειας χρησιμοποιώντας διαφορετική μέθοδο και φυσικά και διαφορετικό κώδικα. Συνεπώς, είναι αναγκαίο να υπάρχει κάποιο ορόσημο, δηλαδή ένα σημείο αναφοράς ώστε οι δημιουργοί λογισμικών να είναι σίγουροι ότι τα λογισμικά τούς δίνουν λογικά και αξιόπιστα αποτελέσματα.

Έτσι, ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA) σε συνεργασία με το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας των ΗΠΑ, δημιούργησαν ένα ορόσημο για τα λογισμικά ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων. Το ορόσημο αυτό, που έχει τίτλο "BESTEST-Building Energy Simulation Test and Diagnostic Method" αναπτύσσεται και εξελίσσεται από το 1981.

Η μέθοδος BESTEST αποτελεί μια συγκριτική διαδικασία δοκιμών (tests) για θερμικές προσομοιώσεις κτιρίων οι οποίες κυρίως σχετίζονται με το κέλυφος του κτιρίου. Με τη μέθοδο BESTEST, οι δοκιμασίες αρχίζουν με τη βασική δομή του κτιρίου και στη συνέχεια αφαιρούνται τα παράθυρα, προστίθεται εξωτερική σκίαση, γίνεται αλλαγή στην κατασκευή των τοίχων, μορφοποιείται η ζεύξη του κτιρίου με το έδαφος και προστίθεται κάποιος ηλιακός χώρος. Έτσι, οι δοκιμές αυτές χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν μια σειρά από παραμέτρους συμπεριλαμβανομένης της θερμικής μάζας, των κερδών άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας των παραθύρων, των συσκευών σκίασης των παραθύρων, της εσωτερικής παραγόμενης θερμότητας, της διείσδυσης αέρα, των ηλιακών χώρων, της ζεύξης του κτιρίου με το έδαφος (ground coupling) και της αποτυχίας ελέγχου του θερμοστάτη. Επιπλέον, σε περίπτωση αποτυχίας του λογισμικού στις αρχικές δοκιμασίες, υπάρχει μια πληθώρα διαγνωστικών δοκιμασιών που μπορούν να γίνουν περαιτέρω.

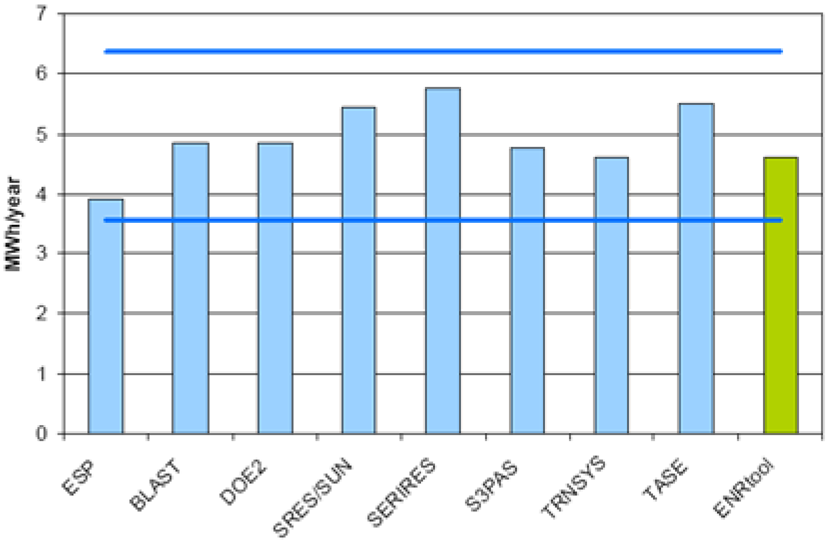
Υπάρχουν πολλά λογισμικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για τη διεξαγωγή αυτών των δοκιμασιών. Τα λογισμικά αναφοράς (state of the art software) περιλαμβάνουν το BLAST, CLIM2000, DEROB, DOE2, ESP, SERIRES, S3PAS, TASE, και το TRNSYS. Τα καταγεγραμμένα αποτελέσματα γι' αυτά τα λογισμικά περιλαμβάνουν το συνολικό ετήσιο φορτίο θέρμανσης και ψύξης για κάθε δοκιμασία, καθώς επίσης και τις μέγιστες απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης σε συνάρτηση με τη χρονική στιγμή στην οποία αυτές συνέβησαν μέσα στο έτος. Επιπλέον, συγκρίνονται οι ετήσιες θερμοκρασίες καθώς και μερικά ωριαία δεδομένα. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα τιμών που αναφέρθηκαν από αυτά τα λογισμικά το οποίο κυμαίνεται από μια διαφορά 22% για τα φορτία αιχμής σε περιπτώσεις χαμηλής θερμικής χωρητικότητας, μέχρι 66% για ετήσια ψυκτικά φορτία σε περιπτώσεις υψηλής θερμικής χωρητικότητας. Μέσα από την αρχική διαδικασία δοκιμασιών, βρέθηκαν σφάλματα σχεδόν σε κάθε προσομοίωση λογισμικού η οποία χρησιμοποιήθηκε γι’ αυτές τις δοκιμασίες. Το αποτέλεσμα, είναι η παροχή μιας σειράς από δοκιμασίες και ενός φάσματος καλών αποτελεσμάτων στα οποία τα νέα λογισμικά μπορούν να συγκριθούν (http://software.cstb.fr).

Συμπερασματικά, η μέθοδος BESTEST αποτελεί μια διαδικασία ελέγχου της συμπεριφοράς των λογισμικών όταν αυτά δοκιμαστούν σε συγκεκριμένες δοκιμασίες όπου πρέπει να πληρούνται καθορισμένα κριτήρια και παράμετροι. Αναλυτικότερα, ορίζεται ένα κτίριο αναφοράς με διαφορετικές γεωμετρίες, προσανατολισμούς και ποσοστό σκίασης ανοιγμάτων, το οποίο μελετάται και προσομοιάζεται από το εκάστοτε λογισμικό. Στη συνέχεια, ελέγχεται αν πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις και μ’ αυτό τον τρόπο ελέγχεται η αξιοπιστία του λογισμικού. Εάν έχει επιτευχθεί η δοκιμασία με επιτυχία, το λογισμικό πιστοποιείται με τη διεθνώς αναγνωρισμένη μέθοδο BESTEST.

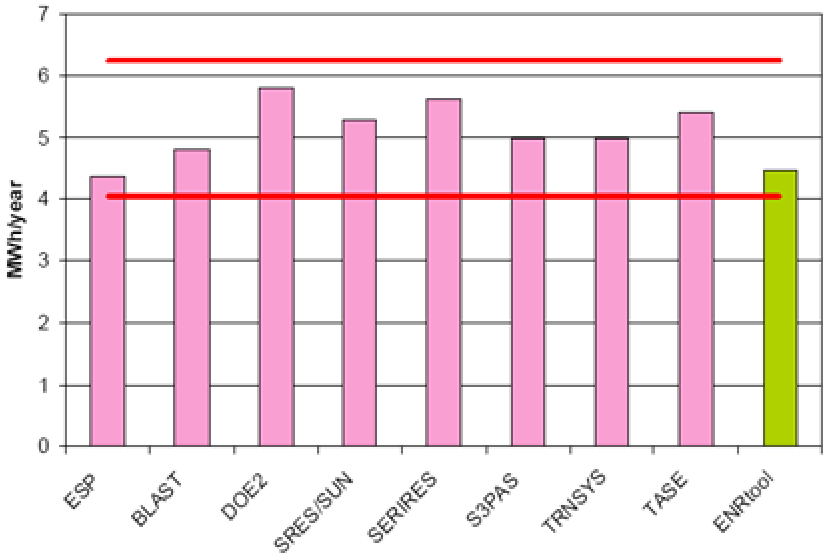
Η μεθοδολογία BESTEST έχει χρησιμοποιηθεί από τους περισσότερους δημιουργούς λογισμικών εργαλείων προσομοιώσεων κτιρίων ως μέρος του προγράμματος πρότυπου ελέγχου της ποιότητάς τους. Η μέθοδος BESTEST έχει δείξει ότι όταν ένα λογισμικό εμφανίζει σημαντικές διαφορές με τα λογισμικά αναφοράς, ο κύριος λόγος συνήθως είναι κάποιο σφάλμα, ένας ελαττωματικός αλγόριθμος ή κάποιο πρόβλημα τεκμηρίωσης (Neymark et al, 2002).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το λογισμικό TRNSYS αποτελεί λογισμικό αναφοράς της μεθοδολογίας BESTEST και επομένως θεωρείται το πλέον αξιόπιστο από τα τρία λογισμικά που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη. Επιπλέον, η βάση για τη δημιουργία του λογισμικού SUNREL, είναι διάφορες εκδόσεις του λογισμικού SERIRES, το οποίο επίσης αποτελεί λογισμικό αναφοράς της μεθοδολογίας BESTEST (www.nrel.gov). Το λογισμικό EPA-NR έχει επίσης ελεγχθεί και πιστοποιηθεί με τη διεθνώς αναγνωρισμένη μέθοδο BESTEST (Wittchen, 2007).

Το λογισμικό EPA-NR συγκρίθηκε με 8 ήδη πιστοποιημένα λογισμικά σε διάφορες συνθήκες, κάθε μία από τις οποίες αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο φαινόμενο μετάδοσης θερμότητας. Ορίστηκε ένα κτίριο αναφοράς, το οποίο μελετήθηκε με διαφορετικές γεωμετρίες, προσανατολισμούς και ποσοστό σκίασης ανοιγμάτων. Τα αποτελέσματα που αφορούν το βαθμό αξιοπιστίας των λογισμικών για την προσομοίωση των ψυκτικών και θερμικών φορτίων παρουσιάζονται στα διαγράμματα 8 και 9 αντίστοιχα (Wittchen, 2007).



Διάγραμμα 8. Αποτελέσματα μεθόδου BETSEST για τα ψυκτικά φορτία



Διάγραμμα 9. Αποτελέσματα μεθόδου BESTEST για τα θερμικά φορτία

Οι δύο οριζόντιες ευθείες των παραπάνω διαγραμμάτων ορίζουν το διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει 95% πιθανότητα η πραγματική τιμή να βρίσκεται μεταξύ αυτών των ορίων. Τα αποτελέσματα από το EPA-NR και το TRNSYS, βρίσκονται στο διάστημα αυτό, σε σχέση με τα αποτελέσματα των άλλων λογισμικών, για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη του κτιρίου Β, παρατηρείται ότι και τα δύο λογισμικά (EPA-NR και TRNSYS) βρίσκονται στα ίδια περίπου επίπεδα όσον αφορά τα ψυκτικά φορτία, ενώ υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα η τιμή των θερμικών φορτίων που υπολογίζεται από το TRNSYS να βρίσκεται πιο κοντά στην πραγματική τιμή, απ' ότι η τιμή που υπολογίζεται από το EPA-NR. Η διαπίστωση αυτή εξηγεί και τη διαφορά στα αποτελέσματα των δύο λογισμικών όσον αφορά τις τιμές των φορτίων θέρμανσης *(**παράγραφος 4.8**)*.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

5.1 Συμπεράσματα αξιολόγησης δυνατοτήτων λογισμικών εργαλείων

Μετά τη μελέτη του κτιρίου Β του Νοσοκομείου Σητείας με τα λογισμικά TRNSYS, EPA-NR και SUNREL και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων τους, συνεπάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

➢ **Ενεργειακές απαιτήσεις κτιρίου Β**

Υπολογίστηκε ότι τα απαιτούμενα ετήσια φορτία θέρμανσης και ψύξης σύμφωνα με το προφίλ χρήσης του κτιρίου και τα χαρακτηριστικά του κελύφους του, είναι τα εξής:

Πίνακας 23. Αποτελέσματα λογισμικών - ετήσιες απαιτήσεις ενέργειας

Ετήσιες Απαιτήσεις	TRNSYS	EPA-NR	SUNREL
Θέρμανση (MWh)	34,20	58,31	41,80
Ψύξη (MWh)	123,91	130,59	128,07
Σύνολο (MWh)	**158,11**	**188,90**	**169,87**

Η ετήσια ανάγκη του κτιρίου Β για ψύξη, λαμβάνοντας υπόψη ένα μέσο όρο των τιμών που υπολογίστηκαν και από τα τρία λογισμικά εργαλεία, ανέρχεται περίπου στις 130 MWh. Αντίστοιχα, η ετήσια ανάγκη για θέρμανση ανέρχεται στις 40 MWh περίπου.

➢ **Χρήση λογισμικών εργαλείων TRNSYS, SUNREL και EPA-NR**

Από τη χρήση των συγκεκριμένων λογισμικών εργαλείων, συμπεραίνεται ότι:

- Μεταξύ των τριών λογισμικών, φαίνεται ότι το TRNSYS και το SUNREL προσομοιάζουν καλύτερα και πιο αξιόπιστα το κτίριο Β απ' ότι το λογισμικό EPA-NR.
- Όσον αφορά το χρόνο διεξαγωγής της προσομοίωσης, τα λογισμικά EPA-NR και SUNREL απαιτούν σχετικά μικρό χρόνο, ενώ το TRNSYS απαιτεί περισσότερο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, το TRNSYS απαιτεί και περισσότερο χρόνο εκμάθησης, ενώ τα άλλα δύο λογισμικά είναι πιο εύκολα στη χρήση τους. Το TRNSYS χρησιμοποιείται κυρίως όταν ο μελετητής επιδιώκει περισσότερη ακρίβεια στην προσομοίωση και στα αποτελέσματα, καθώς επίσης και περισσότερη λεπτομέρεια στην εισαγωγή των δεδομένων και την περιγραφή του υπό μελέτη κτιρίου.

- Το λογισμικό EPA-NR θα ήταν ακόμη πιο εύχρηστο για το μελετητή, αν είχε περισσότερα δεδομένα στις βιβλιοθήκες που διαθέτει, τα οποία να αφορούν τυπικές τιμές και παραμέτρους σε εθνικό επίπεδο. Επίσης, το λογισμικό SUNREL θα μπορούσε να εμπλουτιστεί με την ενσωμάτωση τέτοιων βιβλιοθηκών.
- Και τα τρία λογισμικά δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη να επανεισάγει νέα δεδομένα και να επεμβαίνει στο αρχικό μοντέλο προσομοίωσης. Μ' αυτό τον τρόπο, καθίσταται δυνατή η διεξαγωγή και εξέταση διαφόρων σεναρίων βελτίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου, με στόχο την αύξηση της ενεργειακής του απόδοσης.

Επομένως, και τα τρία λογισμικά κρίνονται κατάλληλα για τη χρήση τους στα πλαίσια της διαδικασίας της Ενεργειακής Επιθεώρησης κτιρίων.

➢ Διαδικασία Ενεργειακής Επιθεώρησης

Όσον αφορά τη διαδικασία της Ενεργειακής Επιθεώρησης στο κτίριο Β, συμπεραίνονται τα ακόλουθα:

- Συλλέχθηκαν αρκετά στοιχεία από την Τεχνική Υπηρεσία του Νοσοκομείου Σητείας και αυτό κατέστησε πιο εύκολη τη συγκέντρωση των δεδομένων που περιγράφουν κυρίως το κέλυφος του κτιρίου Β.
- Κατά τη διάρκεια της Επιθεώρησης στους τρεις ορόφους του κτιρίου καταγράφηκαν πολλά στοιχεία που αφορούσαν αλλαγές στον εξοπλισμό και τη χρήση του.
- Σε γενικές γραμμές, η Ενεργειακή Επιθεώρηση για τη συλλογή κυρίως των απαραίτητων δεδομένων τα οποία μέσω των λογισμικών θα οδηγούσαν στον υπολογισμό των αναγκών σε θέρμανση και ψύξη, απαιτούσε αρκετή οργάνωση του μελετητή. Δεδομένου ότι το κτίριο Β αποτελεί ένα αρκετά πολύπλοκο κτίριο μεγάλης επιφάνειας και πολλών ορόφων, ήταν απαραίτητη η σωστή και μεθοδική οργάνωση της διαδικασίας συλλογής αλλά και της ταξινόμησης των καταγραφόμενων στοιχείων.

5.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Πέρα από τη μελέτη που εκπονήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία, θα μπορούσαν να γίνουν οι παρακάτω προτάσεις για περαιτέρω έρευνα πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο μελέτης:

- Μια ανάλυση ευαισθησίας θα μπορούσε να δείξει κατά πόσο επηρεάζονται οι διάφορες παράμετροι που εισάχθηκαν στην προσομοίωση του κτιρίου και στα τρία λογισμικά και κατά πόσο αυτές επηρεάζουν τα τελικά αποτελέσματα της μελέτης.
- Θα μπορούσε να γίνει μια ολοκληρωμένη μελέτη η οποία να περιλαμβάνει εκτός από τον υπολογισμό των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου, τον υπολογισμό των καταναλώσεών του, των εκπομπών ρύπων (CO_2) κτλ.
- Θα μπορούσαν να διεξαχθούν κάποια σενάρια που να αφορούν αλλαγές πάνω στο κτίριο (όπως αντικατάσταση λαμπτήρων, υαλοπινάκων, εγκατάσταση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας), με σκοπό την εύρεση του βέλτιστου σεναρίου ή και συνδυασμού σεναρίων ώστε να επιτυγχάνεται βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου.
- Όσον αφορά το λογισμικό EPA-NR, θα μπορούσε να γίνει μια προσπάθεια εμπλουτισμού των ενσωματωμένων βιβλιοθηκών του σε εθνικό επίπεδο χωρών από τους δημιουργούς του, ώστε να είναι διαθέσιμα και συγκεντρωμένα περισσότερα στοιχεία. Ο εμπλουτισμός αυτός βοηθάει το χρήστη του λογισμικού και το καθιστά ακόμη πιο εύκολο στην προσομοίωση.
- Όσον αφορά το λογισμικό SUNREL, θα μπορούσε να γίνει μια προσπάθεια δημιουργίας και ενσωμάτωσης βιβλιοθηκών που αφορούν κυρίως παραμέτρους και χαρακτηριστικά δομικών στοιχείων, ώστε να είναι διαθέσιμα και συγκεντρωμένα περισσότερα δεδομένα.

Πίνακας Εικόνων

Πίνακας πινάκων

Πίνακας διαγραμμάτων

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Balaras A. Constantinos, Dascalaki Elena, Gaglia Athina (2007), "HVAC and indoor thermal conditions in hospital operating rooms", Energy and Buildings 39, 454-470.

Balghouthi M., Chahbani M. H, Guizani A. (2008), "Feasibility of solar absorption in Tunisia", Building and Environment 43, 1459-1470.

Crawley B. Drury, Jon W. Hand, Michaël Kummert, Brent T. Griffith (2008), "Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs", Building and Environment 43, 661-673.

Gaglia G. Athina, Balaras A. Constantinos, Mirasgedis Sevastianos, Georgopoulou Elena, Sarafidis Yiannis, Lalas P. Dimitris (2007), "Empirical assessment of the Hellenic non-residential building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings", Energy Conversion and Management, 48, 1160-1175.

Ζηδιανάκης Γ. (2007), "Ανάπτυξη μεθοδολογίας για μελέτη συστημάτων ηλιακού κλιματισμού. Εφαρμογή στο υπό κατασκευή δημαρχείο του δήμου "Ν. Καζαντζάκης" στο Ν. Ηρακλείου", Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ), Νόμος 3661/08.

Λάσκος Κ., Αξαρλή Κ. (2009), "Εφαρμογή προτύπου EN ISO 13790:2008 για τον υπολογισμό της ενεργειακής ζήτησης για θέρμανση και ψύξη κτιρίου με χρήση προγραμμάτων δυναμικής προσομοίωσης", Πρακτικά Ένατου Εθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας.

Μαυρίδης Γ., Μιχαηλίδης Χ. (2008), "Ενεργειακή Επιθεώρηση Κτιρίων σύμφωνα με την Οδηγία 2001/91/ΕΚ", Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Σιούνα Κ. (2009), "Ανάλυση, αξιολόγηση και βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς κατοικίας στην πόλη των Χανίων", Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Neymark J., Judkoff R., Knabe G., Le H. T., Dürig M., Glass A., Zweifel G. (2002), "Applying the building energy simulation test (BESTEST) diagnostic method to verification of space conditioning equipment models used in whole-building energy simulation programs", Energy and Buildings 34, 917-931.

Poel Bart, Gerelle Van Cruchten, Constantinos A. Balaras (2007), "Energy performance assessment of existing dwellings", Energy and Buildings 39, 393-403.

Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, ΤΟΤΕΕ 2425/86, (2005) "Εγκαταστάσεις σε κτίρια: στοιχεία υπολογισμού φορτίων κλιματισμού κτιριακών χώρων", Αθήνα.

Tsoutsos T., Aloumpi E., Gkouskos Z., Karagiorgas M. (2010), "Design of a solar absorption cooling system in a Greek hospital", Energy and Buildings 42, 265-272.

Wittchen B. Kim, (2007), "ENRtool - BesTest Results".

Ιστοσελίδες:

1. www.buildup.eu/node/2767
2. www.homeenergy.org
3. www.epa-nr.org
4. www.ens.dk/en-US/Sider/forside.aspx
5. www.sciencedirect.com
6. www.ncm.bre.co.uk
7. www.nrel.gov/buildings/SUNREL
8. http://software.cstb.fr/iisibat/besttest_us.htm
9. www.nrel.gov/buildings/sunrel/faqs.html
10. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory
11. www.opengov.gr/minenv/?option=kenak
12. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database

Εγχειρίδια:

Τα ακόλουθα εγχειρίδια αποτελούν εγχειρίδια χρήσης των λογισμικών εργαλείων. Επιπλέον, τα εγχειρίδια που αφορούν το EPA-NR συμπεριλαμβάνονται στο πακέτο εγκατάστασης του λογισμικού και περιέχουν εκτός των άλλων, πιλοτικές εφαρμογές του λογισμικού σε κτίρια ευρωπαϊκών χωρών και ειδικές οδηγίες λειτουργίας του.

1. EPA-NR: Application Strategies for the EPA-NR method
2. EPA-NR: Functional specification of the EPA-NR software
3. EPA-NR: Inspection Protocol
4. EPA-NR: National pilot reports (2007)
5. TRNSYS: TRNSYS manual
6. SUNREL: SUNREL manual