



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Ευφυή και έμπειρα συστήματα διαχείρισης πόρων σε κτίρια

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΑΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2009



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Ευφυή και έμπειρα συστήματα διαχείρισης πόρων σε κτίρια

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΑΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Συμβουλευτική Επιτροπή : Σαμουηλίδης Ιησούς-Εμμανουήλ
Ψαρράς Ιωάννης
Ασημακόπουλος Βασίλειος

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 28-12-2009.

Σαμουηλίδης Ιησούς-Εμμανουήλ
Ομότ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ψαρράς Ιωάννης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ασημακόπουλος Βασίλειος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ασκούνης Δημήτριος
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Βαρβαρίγου Θεοδώρα
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Μέντζας Γρηγόριος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κούτρας Κωνσταντίνος
Επικ. Καθηγητής Παν.
Πελοποννήσου

ΑΘΗΝΑ 2009

Ιατρόπουλος Δ. Κωνσταντίνος

Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright© Ιατρόπουλος Δ. Κωνσταντίνος, 2009

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. all rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Στους δικούς μου

Δικαίο

Βασιλική

Γιώργο

Αθηνά

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή έλαβε χώρα στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στο πλαίσιο των ερευνητικών και ακαδημαϊκών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης. Πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του Καθηγητή του ΕΜΠ κ. Ι. -Ε. Σαμουηλίδη..

Στόχος της διατριβής είναι να συμβάλει στην κάλυψη με την απαιτούμενη πληρότητα της επιστημονικής και οικονομοτεχνικής εφαρμογής ευφύων και έμπειρων τεχνικών ελέγχου και υποστήριξης απόφασης στο ευρύ πεδίο της διαχείρισης κτιριακών πόρων. Αντικείμενο της διατριβής είναι η ανάπτυξη ικανής μεθοδολογίας για την αποτελεσματική διαχείριση πόρων αυτών σε σύγχρονα κτίρια σε επίπεδο ελέγχου λειτουργίας και αξιολόγησης επενδύσεων με σκοπό την ενεργειακή βελτίωση σε στρατηγικό επίπεδο. Επίσης, βασικοί στόχοι της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε αποτέλεσαν η μοντελοποίηση των ενεργητικών και παθητικών στοιχείων ενός κτιρίου και η προσπάθεια για κάλυψη όσο είναι τεχνικά δυνατό περισσότερων τύπων κτιρίων από τεχνολογική, οικονομική και χρηστική σκοπιά.

Η διατριβή πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη, συνεργασία και συμπαράσταση του Καθηγητή Ι. -Ε. Σαμουλίδη του οποίου το επιστημονικό ήθος και η πνευματική αρτιότητα αποτέλεσαν προσωπικό μου κίνητρο για την ολοκλήρωση της διατριβής. Επίσης, οφείλω να αναγνωρίσω, ισάξια, την προσφορά του Καθηγητή Ι. Ψαρρά και του Αν. Καθηγητή Δ. Ασκούνη για την περαιτέρω καθοδήγηση, υποστήριξη και συνεργασία στο πλαίσιο των ερευνητικών δραστηριοτήτων του εργαστηρίου και του γενικότερου ευνοϊκού περιβάλλοντος που διαμόρφωσαν κατά την εκπόνηση της διατριβής, καθώς και τον Καθηγητή Β. Ασημακόπουλο για τις συμβουλές και τη συνεργασία του.

Θα ήθελα, επιπλέον, να ευχαριστήσω θερμά την Καθηγήτρια κ. Θ. Βαρβαρίχου, τον Καθηγητή κ. Γ. Μέντζα και τον Επ. Καθηγητή κ. Κ. Κούτρα για την τιμή που μου έκαναν να παραβρεθούν στην εξέταση υποστήριξης της διατριβής.

Κλείνοντας αυτό το σύντομο πρόλογο αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στους συγγενείς, φίλους και συνεργάτες που πίστεψαν στην προσπάθειά μου και με βοήθησαν με τον δικό του τρόπο ο καθένας. Ειδικότερα, θέλω να ευχαριστήσω:

- ❖ Τους γονείς μου Δικαίο και Βασιλική και τον αδελφό μου Γιώργο για την αγάπη τους και την υποστήριξη που μου παρέχουν αφειδώς.
- ❖ Τον πραγματικό φίλο μου, από το πρώτο έτος της σχολής, συνάδελφο και διδάκτορα Γιώργο Κουρλιμπίνη για τις επικοινωνιακές μας συζητήσεις και την πίστη του στο στόχο μου.
- ❖ Τους Γιώργο Λεολέη και Νίκο Σκέντο οι οποίοι, εκτός από εγκάρδιοι φίλοι, αποτέλεσαν και πηγή πολύτιμων συμβουλών έχοντας αμφότεροι ολοκληρώσει με επιτυχία τις διατριβές τους.
- ❖ Όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης για την συνεργασία, την συναναστροφή και για τις ερευνητικές και επαγγελματικές εμπειρίες που αποκόμισα όλα αυτά τα χρόνια.
- ❖ Τη σύντροφό μου Αθηνά η οποία με την αγάπη και την υπομονή της μου έδωσε κίνητρο και κουράγιο να ολοκληρώσω την προσπάθεια.

Ιατρόπουλος Κωνσταντίνος
Αθήνα, 2009

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής είναι η ανάπτυξη και υλοποίηση μιας μεθοδολογίας για την βέλτιστη ενεργειακή και περιβαλλοντική διαχείριση των λειτουργιών και των επενδύσεων σε σύγχρονα κτίρια.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία της διατριβής υποστηρίζει την διαχείριση ενός σύγχρονου κτιρίου σε δύο διαφορετικές συνιστώσες. Η πρώτη συνιστώσα αντιμετώπισης του προβλήματος έγκειται στην αποτελεσματική διαχείριση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού του κτιρίου με απόκριση πραγματικού χρόνου και στην αναλυτική καταγραφή της κατάστασης και της λειτουργίας του κτιρίου. Η δεύτερη συνιστώσα ανάπτυξης αφορά στον γενικότερο ενεργειακό έλεγχο του κτιρίου και την οικονομοτεχνική αξιολόγηση επενδύσεων σε αυτό.

Για την ανάπτυξη της πρώτης συνιστώσας πραγματοποιείται, αρχικά, μοντελοποίηση και παραμετροποίηση των ενεργών στοιχείων του κτιρίου. Στη συνέχεια, ορίζονται τα δεδομένα εισόδου και τα σημεία ελέγχου και ενσωματώνεται στη διαδικασία μια μηχανή συμπερασμού ενός έμπειρου συστήματος. Οι διατύπωση των κανόνων λειτουργίας του έμπειρου συστήματος και η διαδικασία εκμάθησης αποτελούν τα επόμενα στοιχεία της μεθοδολογίας της οποίας η παρουσίαση κλείνει με σύντομα συμπεράσματα.

Η μεθοδολογική προσέγγιση του συνολικού ενεργειακού ελέγχου ενός κτιρίου αποτελεί τη δεύτερη συνιστώσα αντιμετώπισης του προβλήματος της διαχείρισης πόρων σε κτίρια. Η προτεινόμενη μεθοδολογία αναπτύσσεται σε βήματα, ξεκινώντας από την συλλογή προτάσεων ενεργειακής βελτίωσης και την αναγνώριση της προτεραιότητας κάθε πρότασης. Χρησιμοποιώντας την λεπτομερή καταγραφή δεδομένων από τον ευφυή έλεγχο του κτιρίου σε συνδυασμό με οικονομοτεχνικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους πραγματοποιείται αξιολόγηση εφαρμογής των προτάσεων και προκύπτει ένα σύνολο, ταξινομημένων ανά ενεργειακό όφελος, προτάσεων.

Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται στο πλαίσιο της διατριβής υλοποιήθηκε υπό τη μορφή πληροφοριακού συστήματος και εφαρμόστηκε πιλοτικά σε κτίριο γραφείων.

Λέξεις Κλειδιά:

Ενεργειακή διαχείριση, διαχείριση πόρων, έμπειρα συστήματα, προστασία περιβάλλοντος, αξιολόγηση επενδύσεων, ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, συνθήκες ευεξίας.

ABSTRACT

In this thesis a complete methodology for efficiently managing energy resources in modern buildings is presented. The proposed methodology deals with the problem of energy management in buildings in two main directions.

The first direction demonstrates a control model of a building capable of resolving functional requirements during the everyday operation including user requests, spatial variations and electromechanical equipment specification. In addition, the requirements for the assurance of the necessary thermal comfort, visual comfort and indoor air quality are fulfilled, especially in the prevailing situation of conflicting, multiple desirable conditions. The proposed methodological framework utilizes expert systems, self adaptation and knowledge engineering techniques, in order to assure the operational needs with the minimum possible energy cost and the environmental protection.

The second main direction of the proposed methodology is focused on the overall energy management and energy conservation measures that can be taken in order to improve a typical building's efficiency. In this context, an innovative intelligent model for the integrated energy management of a typical building is presented. The proposed framework provides the means for the systematical analysis for all the data that are associated with building's energy consumption (loads, current operation demands, user requirements, finds) and take into account a series of external parameters (rate of interest, operational cost, funding possibilities etc) in order to propose measures, interventions and investments for energy efficiency optimization of the controlled building.

The proposed overall methodology was implemented in to an information system and tested under supervision on a real office building. The findings of the experimental operation were analyzed and compared to previous energy consumption measurements indicating that the proposed framework provides one more innovative and useful tool to the problem of optimizing energy efficiency in modern buildings.

Keywords

Energy management, energy efficiency, energy resources, electromechanical equipment, modern buildings, expert system, knowledge engineering, investments, indoor comfort conditions.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	7
ΚΕΦ. 0 : Ευρεία Περίληψη	13
0.1 Περιγραφή Του Προβλήματος	13
0.1.1 Γενικά	13
0.1.2 Ενεργειακή διαχείριση	13
0.1.3 Νομοθετικό πλαίσιο	14
0.1.4 Η μεθοδολογία Gem	15
0.1.5 Η μεθοδολογία Energy Star	16
0.1.6 Συστήματα Ενεργειακής Διαχείρισης Κτιρίων (BEMS)	17
0.1.7 Συμπεράσματα	21
0.2 Το Αντικείμενο και ο Στόχος της Διατριβής	23
0.3 Επισκόπηση Σχετιζόμενων Μεθοδολογιών	25
0.3.1 Εισαγωγή	25
0.3.2 Ανάλυση Κτιριακών Φορτίων και Εσωτερικών Συνθηκών	25
0.3.3 Μεθοδολογίες Υπολογιστικής Υποστήριξης Αποφάσεων.....	26
0.3.4 Τεχνοοικονομική αξιολόγηση Επενδύσεων σε Κτίρια.....	30
0.3.5 Συμπεράσματα	35
0.4 Προτεινόμενη Μεθοδολογία.....	35
0.4.1 Ευφυής Έλεγχος Χώρων Κτιρίου.....	36
0.4.2 Συνολικός Ενεργειακός Έλεγχος	43
0.5 Πληροφοριακό Σύστημα και Εφαρμογή	47
0.6 Συμπεράσματα – Προοπτικές.....	52
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	53
ΚΕΦ. 1 : Εισαγωγή	57
1.1 Το Πρόβλημα	57
1.2 Το Αντικείμενο και ο Στόχος της Διατριβής	59
1.3 Η Συμβολή της Διατριβής	61
1.4 Η Δομή της Διατριβής.....	62
Βιβλιογραφία	63
ΚΕΦ. 2 : Περιγραφή Του Προβλήματος.....	65
2.1 Εισαγωγή	65
2.2 Ενεργειακή Διαχείριση.....	66
2.2.1 Γενικά	66
2.2.2 Εξοικονόμηση ενέργειας.....	66

2.2.3	Νομοθετικό πλαίσιο	67
2.2.4	Η μεθοδολογία Gem	79
2.2.5	Η μεθοδολογία Energy Star	85
2.2.6	Συγκρίσεις	97
2.3	Τα Συστήματα Ενεργειακής Διαχείρισης Κτιρίων (BEMS)	99
2.3.1	Ανασκόπηση της εξέλιξης των BEMS	99
2.3.2	Ερευνητικές Προσπάθειες	103
2.3.3	Εμπορικές Λύσεις.....	107
2.4	Αξιολόγηση Υφιστάμενης Κατάστασης	108
2.5	Τεχνολογικές Δυνατότητες.....	109
2.5.1	Γενικά	109
2.5.2	Ευφυείς Τεχνικές Ελέγχου	109
2.5.3	Πολυκριτηριακή Υποστήριξη Αποφάσεων	111
2.6	Συμπεράσματα.....	113
	Βιβλιογραφία	115
ΚΕΦ. 3 :	Επισκόπηση Σχετιζόμενων Μεθοδολογιών, Τεχνολογιών και Τεχνικών Ευφυούς Ελέγχου	117
3.1	Εισαγωγή	117
3.2	Ανάλυση Κτιριακών Φορτίων και Εσωτερικών Συνθηκών.....	117
3.2.1	Βασικές αρχές μετάδοση θερμότητας	117
3.2.2	Συνολική μεταφορά θερμότητας	123
3.2.3	Διάχυση και Διείσδυση Αέρα.....	128
3.2.4	Συνθήκες ευεξίας.....	130
3.3	Μεθοδολογίες Υπολογιστικής Υποστήριξης Αποφάσεων	135
3.3.1	Γενετικοί Αλγόριθμοι	135
3.3.2	Ασαφής Λογική.....	136
3.3.3	Νευρωνικά Δίκτυα.....	139
3.4	Τα Έμπειρα Συστήματα.....	143
3.4.1	Εξειδικευμένη Γνώση.....	143
3.4.2	Βασική αρχή λειτουργίας	144
3.4.3	Ερευνητική γνώση πεδίου	145
3.4.4	Κανόνες.....	146
3.4.5	Μονάδα Επεξήγησης.....	146
3.4.6	Στρατηγικές συμπερασμού	148
3.4.7	Δομή ενός σύγχρονου έμπειρου συστήματος	149
3.4.8	Εξέλιξη έμπειρων συστημάτων.....	152
3.5	Τεχνοοικονομική αξιολόγηση Επενδύσεων σε Κτίρια	153

3.5.1	Διαχείριση Ενέργειας	153
3.5.2	Μέτρα Ενεργειακής Βελτίωσης	157
3.5.3	Ενεργειακοί Δείκτες	159
3.5.4	Οικονομικοί Δείκτες	159
3.5.5	Περιβαλλοντική Διάσταση	161
3.6	Συμπεράσματα	162
	Βιβλιογραφία	163
ΚΕΦ. 4 :	Προτεινόμενη Μεθοδολογία	167
4.1	Η Γενική Προσέγγιση	167
4.1.1	Ευφυής Έλεγχος Χώρων Κτιρίου	167
4.1.2	Συνολικός Ενεργειακός Έλεγχος	169
4.2	Ευφυής Έλεγχος Χώρων Κτιρίου	170
4.2.1	Μοντελοποίηση Κτιριακών Πόρων	170
4.2.2	Ορισμός Παραμέτρων Εισόδου και Ελέγχου	174
4.2.3	Παραμετροποίηση Εμπείρου Συστήματος – Κανόνες	179
4.2.4	Διατήρηση Ιστορικών Δεδομένων και Εκμάθηση Μοντέλου	201
4.2.5	Συνολική παρουσίαση μεθοδολογίας ευφυούς ελέγχου	203
4.3	Συνολικός Ενεργειακός Έλεγχος	206
4.3.1	Προτάσεις Ενεργειακής Βελτίωσης	206
4.3.2	Δείκτες Κτιρίου - Πρότυποι Δείκτες	209
4.3.3	Αξιολόγηση Προτάσεων	211
4.3.4	Συνολική παρουσίαση μεθοδολογίας ενεργειακού ελέγχου	212
	Βιβλιογραφία	214
ΚΕΦ. 5 :	Πληροφοριακό Σύστημα και Εφαρμογή	217
5.1	Αρχιτεκτονική Συστήματος και Τεχνολογία	217
5.2	Σύστημα Ευφυούς Ελέγχου Χώρων Κτιρίου	220
5.3	Σύστημα Συνολικού Ενεργειακού Ελέγχου	228
5.4	Εφαρμογή Συστήματος σε Πραγματικές Συνθήκες	234
5.4.1	Εφαρμογή Συστήματος Ευφυούς Ελέγχου Χώρων Κτιρίου	235
5.4.2	Εφαρμογή Συστήματος Συνολικού Ενεργειακού Ελέγχου	236
5.4.3	Τελικές λίστες προτάσεων	244
	Βιβλιογραφία	250
ΚΕΦ. 6 :	Συμπεράσματα - Προοπτικές	251
6.1	Γενικά	251
6.2	Αξιολόγηση – Συμπεράσματα	252
6.3	Προοπτικές	254
ΚΕΦ. 7 :	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	255

7.1	Λίστα Δημοσιεύσεων:	255
7.2	Προθέρμανση, Λήξη και Διατήρηση Συνθηκών.....	257
7.3	Δεδομένα Οικονομικού Ελέγχου Προτάσεων.....	260

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 - Λογότυπο GEM	15
Σχήμα 2 - Λογότυπο Energy Star.....	16
Σχήμα 3 - Σύγχρονο σύστημα διαχείρισης κτιρίου.....	20
Σχήμα 4 - Αντιστοιχία φυσικού και τεχνητού νευρώνα.....	29
Σχήμα 5 - Ευφυής Έλεγχος Χώρων Κτιρίου.....	36
Σχήμα 6 - Μοντελοποίηση χώρων και κτιρίου	37
Σχήμα 7 - Μεθοδολογία ευφυούς ελέγχου.....	42
Σχήμα 8 - Συνολικός Ενεργειακός Έλεγχος.....	43
Σχήμα 9 - Μεθοδολογία ενεργειακού ελέγχου	46
Σχήμα 10 - Ενοποιημένη βάση δεδομένων	48
Σχήμα 11 - Αρχιτεκτονική συστήματος ελέγχου χώρων	49
Σχήμα 12 - Αρχιτεκτονική συστήματος ενεργειακού ελέγχου	50
Σχήμα 13 - Λογότυπο GEM	79
Σχήμα 14 - Συντελεστές βαρύτητας GEM.....	83
Σχήμα 15 - Ποσοστιαία βαθμολογία τομέων	84
Σχήμα 16 - Λογότυπο Energy Star.....	85
Σχήμα 17 - Στρατηγικοί άξονες Energy Star.....	90
Σχήμα 18 - Σύγχρονο σύστημα διαχείρισης κτιρίου.....	102
Σχήμα 19 - Διαδικασία ελέγχου	110
Σχήμα 20 - Ευφυής έλεγχος.....	111
Σχήμα 21 - Μετάδοση θερμότητας	118
Σχήμα 22 - Αναλογία ροής ρεύματος και θερμότητας (Α)	119
Σχήμα 23 - Αναλογία ροής ρεύματος και θερμότητας (Β)	121
Σχήμα 24 - Αναλογία ροής ρεύματος και θερμότητας (Γ).....	122
Σχήμα 25 - Ανάλυση θερμικής ροής.....	123
Σχήμα 26 - Ασαφής ελεγκτής	139
Σχήμα 27 - Φυσικός νευρώνας	139
Σχήμα 28 - Αντιστοιχία φυσικού και τεχνητού νευρώνα.....	140
Σχήμα 29 - Ανάλυση Perceptron.....	141
Σχήμα 30 - Πολυστρωματικό νευρωνικό δίκτυο.....	142
Σχήμα 31 - Έμπειρο σύστημα.....	145
Σχήμα 32 - Δομή σύγχρονου έμπειρου συστήματος	149
Σχήμα 33 - Ευφυής έλεγχος χώρων κτιρίου	168
Σχήμα 34 - Συνολικός ενεργειακός έλεγχος.....	169
Σχήμα 35 - Μοντελοποίηση χώρων και κτιρίου	170

Σχήμα 36 - Μεθοδολογία ευφυούς ελέγχου.....	203
Σχήμα 37 - Μεθοδολογία ενεργειακού ελέγχου	212
Σχήμα 38 - Ενοποιημένη βάση δεδομένων	219
Σχήμα 39 - Αρχιτεκτονική συστήματος ελέγχου χώρων	220
Σχήμα 40 - Βασική οθόνη συστήματος.....	221
Σχήμα 41 - Οθόνη ορισμού τύπων χώρων - ζωνών	222
Σχήμα 42 - Οθόνη ορισμού χώρων - ζωνών	222
Σχήμα 43 - Οθόνη ορισμού συσκευών σε χώρους – ζώνες ελέγχου	222
Σχήμα 44 - Οθόνη σύνταξης κανόνων λειτουργίας.....	223
Σχήμα 45 - Οθόνη παρακολούθησης χώρου και δημιουργίας μεμονωμένου αιτήματος	224
Σχήμα 46 - Οθόνη ρυθμίσεων γεννήτριας αιτημάτων	225
Σχήμα 47 - Οθόνη καταγραφής λειτουργίας και υπολογισμού δεικτών	226
Σχήμα 48 - Σύστημα σε λειτουργία.....	227
Σχήμα 49 - Αρχιτεκτονική συστήματος ενεργειακού ελέγχου	228
Σχήμα 50 - Δείκτες κτιρίου	229
Σχήμα 51 - Πρότυποι δείκτες	229
Σχήμα 52 - Οθόνη προτάσεων βελτίωσης	230
Σχήμα 53 - Οθόνη σεναρίου ελέγχου	231
Σχήμα 54 - Επεξεργασία σεναρίου.....	232
Σχήμα 55 - Οικονομικά στοιχεία	232
Σχήμα 56 - Οθόνη ελέγχου βιωσιμότητας	233
Σχήμα 57 - Χρονικό Διάγραμμα Ενεργοποίησης Συστημάτων	258

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 - Δεδομένα καταγραφής	41
Πίνακας 2 - Μοντέλο πρότασης	44
Πίνακας 3 - Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο	69
Πίνακας 4 - Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο	73
Πίνακας 5 - Βαθμολογίες GEM ανά τομέα	82
Πίνακας 6 - Πορεία εξέλιξης του Energy Star	88
Πίνακας 7 - Κατηγορίες Οικονομικών Δεικτών	93
Πίνακας 8 - Φάσεις Μεθοδολογίας Energy Star	95
Πίνακας 9 - Σύγκριση μεθοδολογιών	97
Πίνακας 10 - Τυπικές θερμικές αγωγιμότητες	119
Πίνακας 11 - Θερμικές ιδιότητες κατασκευαστικών και μονωτικών υλικών	127
Πίνακας 12 - Θερμότητα Δραστηριοτήτων	131
Πίνακας 13 - Θερμικές αντιστάσεις ενδυμάτων	132
Πίνακας 14 - Συνθήκες ευεξίας στο εσωτερικό των κτιρίων	134
Πίνακας 15 - Μοντέλο περιγραφής κατάστασης κτιρίου	172
Πίνακας 16 - Παραμετροποίηση λειτουργικών μονάδων	174
Πίνακας 17 - Παράμετροι εισόδου	176
Πίνακας 18 - Παράμετροι εξόδου	178
Πίνακας 19 - Κανόνες έμπειρου συστήματος	200
Πίνακας 20 - Δεδομένα καταγραφής	201
Πίνακας 21 - Τιμές ποιοτικών δεικτών	201
Πίνακας 22 - Μοντέλο πρότασης	206
Πίνακας 23 - Προτάσεις τυπικού κτιρίου	208
Πίνακας 24 - Πρότυποι ενεργειακοί δείκτες	210
Πίνακας 25 - Προτάσεις ενεργειακής βελτίωσης	237
Πίνακας 26 - Τεχνοοικονομική αξιολόγηση	240
Πίνακας 27 - Περιβαλλοντικός έλεγχος	242
Πίνακας 28 - Λίστα Προτάσεων με βάση το κριτήριο της ΚΠΑ	244
Πίνακας 29 - Λίστα Προτάσεων με βάση το κριτήριο του ΕΒΑ	246
Πίνακας 30 - Λίστα Προτάσεων με βάση το κριτήριο της ΕΠΑ	247
Πίνακας 31 - Προτάσεων με βάση το κριτήριο της ΑΠΑ	248
Πίνακας 32 - Λίστα Προτάσεων με τέλεση Επιπλέον Ελέγχου	249
Πίνακας 33 - Δεδομένα Οικονομικού Ελέγχου Προτάσεων	262

ΚΕΦ. 0 : ΕΥΡΕΙΑ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

0.1 Περιγραφή Του Προβλήματος

0.1.1 Γενικά

Ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 30% περίπου της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας^[1] σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο. Η κατανάλωση αυτή, είτε σε μορφή θερμικής (κυρίως πετρέλαιο) είτε σε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα, εκτός της σημαντικής οικονομικής επιβάρυνσης λόγω του υψηλού κόστους της ενέργειας, τη μεγάλη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ρύπους, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), που ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτίριο εξασφαλίζεται σε σημαντικό βαθμό με τον κατάλληλο σχεδιασμό του κτιρίου και τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων και συστημάτων και στη συνέχεια με την αποδοτική λειτουργία εγκατεστημένων ενεργειακών συστημάτων η οποία προϋποθέτει την άριστη ποιότητα του σχετικού εξοπλισμού και της εγκατάστασής του καθώς και των σχετικών τεχνικών μελετών που τον προδιαγράφουν. Ένας εξίσου καθοριστικός παράγοντας εξοικονόμησης ενέργειας, όμως, είναι η ενεργειακή διαχείριση του κτιρίου, μία συστηματική, οργανωμένη και συνεχής δραστηριότητα που αποτελείται από ένα προγραμματισμένο σύνολο διοικητικών, τεχνικών και οικονομικών δράσεων.

0.1.2 Ενεργειακή διαχείριση

Η ενεργειακή διαχείριση του κτιρίου, είναι μια συστηματική, οργανωμένη και συνεχής δραστηριότητα που αποτελείται από ένα προγραμματισμένο σύνολο διοικητικών, τεχνικών και οικονομικών δράσεων και στοχεύει στην εξασφάλιση συνθηκών και υπηρεσιών τέτοιων που να κάνουν την παραμονή των ενοίκων στα κτίρια ευχάριστη με την ελάχιστη δυνατή ενεργειακή κατανάλωση, και συνετή χρήση του ενεργειακού εξοπλισμού.

Οι αντικειμενικοί στόχοι των δράσεων αυτών συνοψίζονται ως εξής:

- Οικονομική αποδοτικότητα και αύξηση του κέρδους των διαφόρων φορέων διαχείρισης κτιρίων από την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας

- Διατήρηση ή βελτίωση της ασφάλειας και ποιότητας ζωής και παροχής υπηρεσιών στα κτίρια
- Διατήρηση ή βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος
- Έλεγχος του συνολικού λειτουργικού ενεργειακού κόστους και όχι απλά της καταναλισκόμενης ποσότητας καυσίμων

Η χρήση της ενέργειας αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα του λειτουργικού κόστους ενός κτιρίου και διαδραματίζει πρωταρχικό ρόλο στην επίτευξη του επιπέδου άνεσης των ενοίκων.

Η διαδικασία της ενεργειακής διαχείρισης αποτελείται από τέσσερα αλληλοεξαρτώμενα στάδια, συγκεκριμένα τη σκέψη, το σχεδιασμό, την υλοποίηση και την καταμέτρηση. Βασικά εργαλεία στη διαχείριση της ενέργειας αποτελούν η ενεργειακή επιθεώρηση, η ενεργειακή παρακολούθηση, η σωστή συντήρηση του εξοπλισμού, καθώς και η λήψη μέτρων για εξοικονόμηση της ενέργειας που καταναλώνεται.

0.1.3 Νομοθετικό πλαίσιο

Τα τελευταία χρόνια στην Ε.Ε. και στην Ελλάδα, υπάρχει ένα καλά οργανωμένο και αυστηρό νομοθετικό πλαίσιο που υποχρεώνει ορισμένες δραστηριότητες, έργα ή κατασκευές να συνοδεύονται από μελέτες που καταδεικνύουν κατά πόσο αυτά είναι σε θέση να επηρεάσουν με αρνητικό τρόπο το περιβάλλον. Οι μελέτες αυτές (Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων) είναι απαραίτητες για αρκετές κατηγορίες έργων, κυρίως αυτών που αφορούν τον πρωτογενή και δευτερογενή τομέα (βιομηχανίες, βιοτεχνίες, μεγάλης κλίμακας έργα, κτηνοτροφία, κλπ.). Όσον αφορά, όμως, τα κτίρια του οικιακού και του τριτογενούς τομέα αυτά αποτελούν έργα ή κατασκευές που δεν εμπίπτουν στο παραπάνω νομοθετικό πλαίσιο. Αυτό το θεσμικό «κενό», έρχεται να καλύψει ή έννοια της ολοκληρωμένης (ενεργειακής και περιβαλλοντικής) αξιολόγησης των κτιρίων.

Είναι ευτυχές το γεγονός, πως τα τελευταία χρόνια έχει υιοθετηθεί μία νέα φιλοσοφία, η οποία θεωρεί τα κτίρια ως μία αλυσίδα διασυνδεδεμένων περιβαλλοντικών παραγόντων. Η ανάπτυξη τέτοιων λογικών, αλλά και εννοιών που πρόσφατα εντάχθηκαν στο «περιβαλλοντικό» μας λεξιλόγιο, όπως της Βιώσιμης Ανάπτυξης (Sustainable Development) και της Περιβαλλοντικής Βιωσιμότητας των Κτιριακών Κατασκευών (Sustainable Construction of Buildings)^[2], ωθήθηκε και ακολούθως ώθησε την ανάπτυξη ενός θεσμικού πλαισίου. Το πλαίσιο αυτό πλέον συναντάται σε κάθε αναπτυσσόμενη χώρα και αντιμετωπίζει ολιστικά το κτίριο,

λαμβάνοντας υπόψη και αξιολογώντας τη συνολική του συμπεριφορά (ενεργειακή και περιβαλλοντική), αναγνωρίζοντας με αυτόν τον τρόπο, αυτό που πραγματικά είναι: ένας περίπλοκος οργανισμός.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται η παρουσίαση των επικρατέστερων μεθοδολογιών ενεργειακής αξιολόγησης επικεντρωμένων στον κτιριακό τομέα.

0.1.4 Η μεθοδολογία Gem

Η πρώτη μεθοδολογία που εξετάζεται ονομάζεται GEM (Global Environmental Method)^[3] και αναπτύχθηκε στον Καναδά από τον Καναδικό Οργανισμό για την Ενέργεια και την Αποτελεσματική Χρήση της (Canadian Energy Efficiency Alliance). Υποστηρίζεται μεταξύ άλλων από την Παγκόσμια Ένωση για την Βελτίωση και Ανάδειξη των Κτιρίων (The Global Alliance for Building Sustainability - GABS), μέλη της οποίας είναι μεγάλος αριθμός κυβερνητικών και μη οργανισμών σε όλη την υφήλιο.



Σχήμα 1 - Λογότυπο GEM

Η μεθοδολογία GEM είναι μια διαδικτυακή εφαρμογή αξιολόγησης και διαχείρισης κτιρίων, η οποία μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη σε ιδιοκτήτες και διαχειριστές κτιρίων για την μέτρηση της απόδοσης των κτιρίων τους, σε σχέση με τομείς-κλειδιά, όπως η ενέργεια, το νερό, τα επικίνδυνα υλικά, η διαχείριση αποβλήτων και το εσωτερικό περιβάλλον. Αυτό το θέμα (της ολοκληρωμένης κτιριακής αξιολόγησης) γενικά είναι δύσκολο και περίπλοκο στην διεκπεραίωσή του, απαιτώντας σημαντικούς οικονομικούς και χρονικούς πόρους. Μεθοδολογίες όπως η παραπάνω, ισχυρίζονται πως εξασφαλίζουν ένα ολοκληρωμένο και αξιόπιστο αποτέλεσμα σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα, χρησιμοποιώντας ένα εμπιστευτικό ερωτηματολόγιο, το οποίο λειτουργεί ως βάση για την παραγωγή μιας ολοκληρωμένης αναφοράς.

0.1.5 Η μεθοδολογία Energy Star

Σε μία ομιλία του για τις ραγδαίες κλιματικές αλλαγές που παρατηρούνται παγκοσμίως, ο πρώην πρόεδρος των ΗΠΑ Bill Clinton (1997) έκανε την ακόλουθη δήλωση^[4]:

«Αν για το διάστημα των επόμενων 15 ετών όλοι αγόραζαν αποκλειστικά εξοπλισμό και προϊόντα με το χαρακτηριστικό σήμα ENERGY STAR, τότε στο τέλος της δεκαπενταετίας θα είχαμε εξοικονομήσει 100 δις δολάρια από τους λογαριασμούς του ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ ταυτόχρονα θα είχαμε μειώσει δραματικά τις εκπομπές ρύπων που εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.»

Η δήλωση αυτή ήταν καθοριστική για την πορεία και εξέλιξη του Energy Star^[5], καθώς από το 1997 που πραγματοποιήθηκε έως και σήμερα είναι αξιοσημείωτη η εξάπλωση του προγράμματος, που πλέον καλύπτει ένα αρκετά ευρύ πεδίο δράσης. Μάλιστα ακόμη και οι τότε προβλέψεις για εξοικονόμηση χρημάτων αποδείχθηκαν συντηρητικές, αφού σήμερα εκτιμάται ότι με πλήρη διείσδυση στην αγορά των πιστοποιημένων προϊόντων Energy Star, το ποσό εξοικονόμησης χρημάτων ανέρχεται στα 19 δις δολάρια ετησίως με παράλληλη μείωση των ρύπων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου αντίστοιχη με 29 εκατομμύρια αυτοκίνητα. Βέβαια, όπως άλλωστε τονίζει και το λογότυπο του προγράμματος, «Το Κέρδος Δεν Είναι Μόνο Τα Χρήματα Που Εξοικονομούνται».



Σχήμα 2 - Λογότυπο Energy Star

Το 1992 το Υπουργείο Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA) παρουσίασε το Energy Star ως ένα εθελοντικό πρόγραμμα αξιολόγησης προϊόντων και συσκευών, τα οποία πιστοποιούνται (με το σήμα του Energy Star) ότι είναι ενεργειακά αποδοτικά και συντελούν στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τα πρώτα προϊόντα που έλαβαν αυτήν τη διάκριση ήταν οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και οι οθόνες τους. Από το 1995 και μετά το EPA διέυρνε την πιστοποίηση και σε άλλα προϊόντα εξοπλισμού γραφείου, καθώς και σε οικιακές κλιματιστικές συσκευές. Το 1996 το EPA συνεργάστηκε με το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (DOE) για

συγκεκριμένες κατηγορίες προϊόντων. Τώρα, το σήμα του Energy Star μπορεί να βρεθεί σε μεγάλες οικιακές συσκευές, εξοπλισμό γραφείου, φωτιστικά, καθώς και σε οικιακές ηλεκτρονικές συσκευές. Επίσης, η απονομή του σήματος μπορεί να περιλαμβάνει καινούριες και ανακατασκευασμένες κατοικίες, εμπορικά και βιομηχανικά κτίρια του δημόσιου και ιδιωτικού τομέα. Για τα κυριότερα σημεία στην εξέλιξη του προγράμματος μπορεί κανείς να συμβουλευτεί τον παρακάτω Πίνακα 4.

Μέσω της συνεργασίας του με περισσότερους από 7.000 ιδιωτικούς και δημόσιους οργανισμούς, το πρόγραμμα του Energy Star παρέχει όλες τις τεχνικές πληροφορίες και τα εργαλεία, που οι οργανισμοί και οι καταναλωτές χρειάζονται ώστε να επιλέξουν τις πιο αποδοτικές και συμφέρουσες λύσεις, που αφορούν στην ορθολογική χρήση της ενέργειας και την ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος (Best Energy Management Practices).

0.1.6 Συστήματα Ενεργειακής Διαχείρισης Κτιρίων (BEMS)

Τα πρώτα εμπορικά κτίρια μεγάλων διαστάσεων εμφανίζονται στις αρχές του 20^{ου} αιώνα^[6]. Το επίπεδο της τότε τεχνολογίας και των επόμενων δεκαετιών επαρκούσε μόνο για λειτουργίες θέρμανσης, εξαερισμού και φωτισμού οι οποίες ελέγχονταν σε τοπικό επίπεδο με απλούς αυτοματισμούς και κυρίως με ανθρώπινη παρέμβαση. Οι αυτοματισμοί αυτών των οικοδομημάτων ήταν κυρίως μηχανικοί με ελάχιστα ηλεκτρολογικά και ηλεκτρονικά στοιχεία (θερμοστάτες, ηλεκτρονόμοι κ.λ.π.). Το επίπεδο άνεσης στους χώρους των κτιρίων αυτών ήταν ικανοποιητικό και αυτός ήταν ένας από τους λόγους που οι κατασκευές ακολούθησαν την ίδια φιλοσοφία για αρκετές ακόμη δεκαετίες. Η κακή διαχείριση της ενέργειας δεν αποτελούσε τότε σημαντικό μειονέκτημα και τα φορτία δεν ήταν σημαντικά σε σχέση με σήμερα. Η απαλλαγή των χρηστών από την ενασχόληση της ρύθμισης των εσωτερικών συνθηκών ανά τακτά χρονικά διαστήματα επαρκούσε για τα δεδομένα της εποχής.

Αυτό το είδος κατασκευών επικράτησε μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 70 όταν πλέον η ανάπτυξη ηλεκτρονικών και υπολογιστικών συστημάτων άγγιξε και τον κατασκευαστικό τομέα. Η ιδέα της συνολικής αυτοματοποίησης της λειτουργίας ενός κτιρίου πρωτοεμφανίζεται στις αρχές της δεκαετίας του 80. Τα πρώτα κτίρια του είδους παρέχουν βασικές υπηρεσίες ελέγχου εσωτερικών συνθηκών (κλιματισμού, εξαερισμού, φωτισμού, ανελκυστήρων) και επικοινωνιών. Η ανάπτυξη των κεντρικών συστημάτων και των αισθητήρων βοήθησε σημαντικά στην υλοποίησή τους, παρέχοντας την κατάλληλη υποδομή για ένα υπολογιστικό σύστημα του οποίου σκοπός είναι ο συνολικός έλεγχος του κτιρίου. Ο έλεγχος, βέβαια, παραμένει σε επίπεδο βασικού αυτοματισμού, παρέχοντας πολλές ευκολίες, καθιστώντας, όμως,

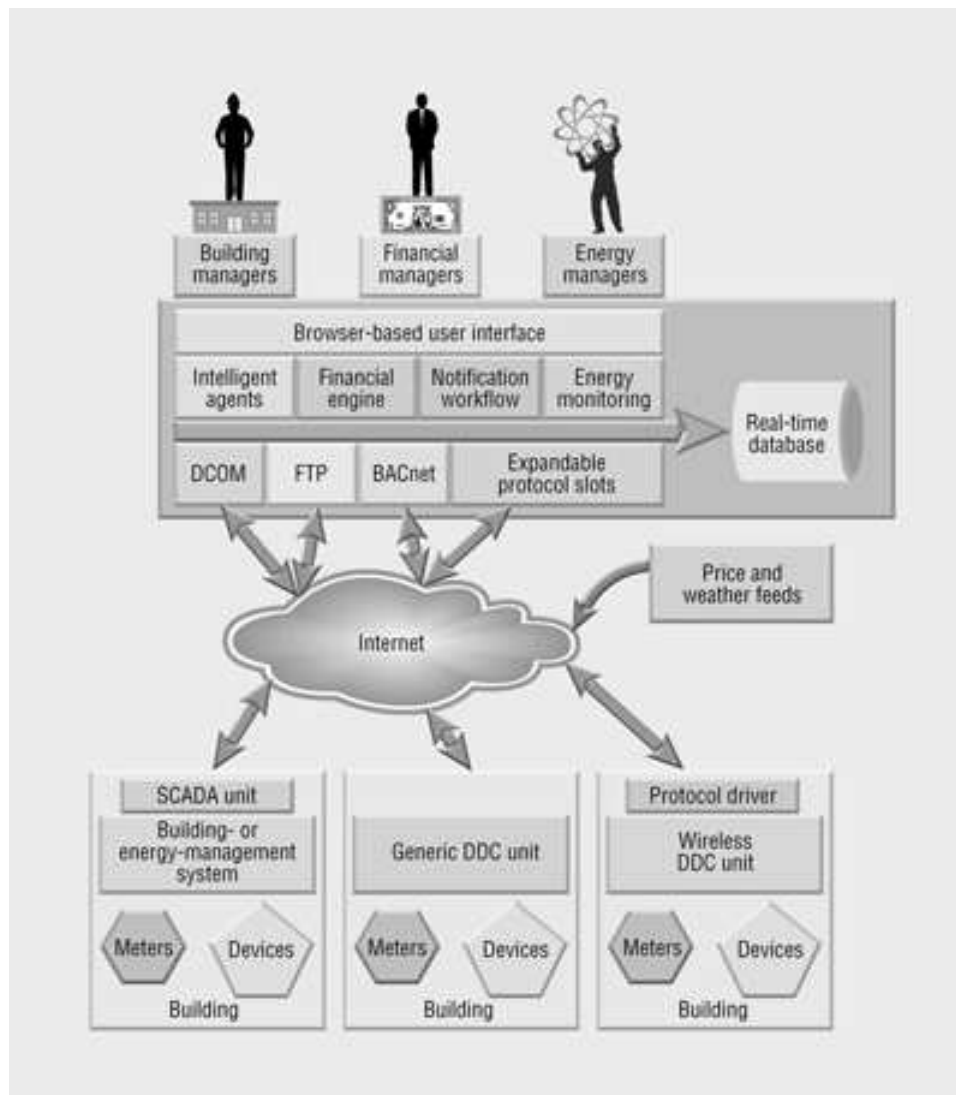
τη συνολική κατασκευή ένα δέκτη ερεθισμάτων από το περιβάλλον και τους χρήστες που λειτουργεί παθητικά και με προκαθορισμένο τρόπο. Σημαντικά βήματα, βέβαια, έγιναν με την συνολική αναβάθμιση των συστημάτων έλεγχου των κτιρίων αυτών. Για πρώτη φορά οικονομικοί παράγοντες λήφθηκαν υπόψη και παράμετροι όπως η ασφάλεια των ατόμων και η αντιμετώπιση ακραίων καταστροφικών καταστάσεων μελετήθηκαν και αντιμετωπίστηκαν στα πλαίσια του οικονομικά και υλικά δυνατού. Επίσης, νέες εξελιγμένες, καλύτερα ελεγχόμενες και πιο αποδοτικές συσκευές αποτελούσαν, πλέον, τον εξοπλισμό των συστημάτων διαχείρισης κτιρίων. Στο όλο κλίμα νεωτερισμών εντάχθηκε και η περιορισμένη χρησιμοποίηση υπολογιστών σε αυτή την πρώτη γενιά “έξυπνων” κτιρίων. Αυτή πραγματοποιήθηκε, όμως, για την αντιμετώπιση της αυξανόμενης πολυπλοκότητας των συστημάτων και για λόγους εντυπωσιασμού των τότε ενδιαφερόμενων. Η χρήση καινοτόμων στοιχείων σε κάθε εφαρμογή αποτελεί αναμφισβήτητο πόλο έλξης για την πλειοψηφία. Ο ρόλος της νέας, τότε, τεχνολογίας, όμως, απέχει πολύ από τις πραγματικές δυνατότητες της και ήταν αποκλειστικά εκτελεστικού χαρακτήρα.

Η δεύτερη γενιά ευφυών κτιρίων παρουσιάζεται περίπου πέντε χρόνια αργότερα^[7], η βασική καινοτομία της οποίας περιλαμβάνει την δυνατότητα του συστήματος διαχείρισης να αποκρίνεται στις απαιτήσεις των χρηστών, εξασφαλίζοντας άνεση και ασφάλεια. Τα νέα αυτά χαρακτηριστικά απαιτούν επιπλέον αυτοματισμούς για την ρύθμιση των συνθηκών του εσωτερικού περιβάλλοντος και ευρεία ενσωμάτωση των τεχνολογιών πληροφορίας και επικοινωνιών. Ενδεικτικά στα νέα στοιχεία των συστημάτων αναφέρονται, η υλοποίηση τοπικών δικτύων πρόσβασης (Local Access Networks) και η χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών υπολογιστών σε τοπικό και κεντρικό επίπεδο. Κύρια χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών αποτελεί η ανάπτυξη εξειδικευμένου λογισμικού οι διεργασίες του οποίου διαχειρίζονται ανεξάρτητα τις λειτουργίες του κτιρίου. Η χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι πλέον καθολική αλλά η έμφαση έχει δοθεί στον τηλεπικοινωνιακό και πληροφορικό τομέα και όχι στη βέλτιστη διαχείριση των διατιθέμενων πόρων. Τα επίπεδα άνεσης που επιτυγχάνονται στο εσωτερικό είναι πολύ υψηλά σε συνδυασμό με την δραματική βελτίωση του ηλεκτρολογικού, μηχανολογικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού των κτιρίων. Τα συστήματα δεύτερης γενιάς ήταν πιο οικονομικά από αυτά που αντικατέστησαν εξαιτίας της συνολικής βελτίωσης των στοιχείων τους και όχι της αλλαγής αντιμετώπισης των πολυπαραμετρικών προβλημάτων που παρουσιάζονταν. Τα δεύτερης γενιάς έξυπνα κτίρια αποτελούν ακόμη και σήμερα την πλειοψηφία, με μόνη εξέλιξη την κεντρική διαχείριση των επιμέρους υποσυστημάτων, παρά την αλματώδη ανάπτυξη της τεχνολογίας. Οι βασικοί λόγοι της στασιμότητας στον τομέα αυτό των κατασκευών είναι το αρχικό κόστος, η έλλειψη πληροφόρησης

και η εγγενής τάση της βάσης του κατασκευαστικού τομέα να δυσπιστεί στις νέες τεχνολογίες. Η απόδοση της προσφοράς προς το κόστος, όμως, σε συνάρτηση με τις δραματικά αυξανόμενες απαιτήσεις σε ενέργεια, καθιστούν τα συστήματα αυτά ελλιπή. Οι ελλείψεις των διαχειριστικών συστημάτων δεύτερης γενιάς εντοπίζονται στον τομέα της εύρεσης της βέλτιστης απόφασης και της αντιμετώπισης καταστάσεων στις οποίες οι επιθυμητοί στόχοι είναι αντικρουόμενοι, γεγονός πολύ συνηθισμένο για ένα κτίριο που φιλοξενεί πολλά άτομα και είναι εξοπλισμένο με συσκευές των οποίων οι λειτουργίες έχουν ανταγωνιζόμενα αποτελέσματα. Το σημαντικότερο, ίσως, και πιο χρήσιμο στην εξέλιξη των συστημάτων στοιχείο των έξυπνων κτιρίων δεύτερης γενιάς αποτελεί η βέλτιστη διαδίκτυωση εξοπλισμού, αισθητήρων και υπολογιστών συγκροτώντας μια ιδανική πλατφόρμα για την ανάπτυξη της νέας γενιάς συστημάτων.

Η τρίτη, και πλέον σύγχρονη, γενιά, των ευφυών κτιρίων εμφανίζεται στα μέσα της δεκαετίας του 90^[8] και χαρακτηρίζεται από την χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών ως εκτελεστές παρακολούθησης, διαχείρισης και λήψης απόφασης. Η ουσιαστική αλλαγή από τα μέχρι τώρα συστήματα έγκειται στην μελέτη και την ανάπτυξη διαδικασιών οι οποίες, εκτός από την παροχή γενικών υπηρεσιών και αυτοματοποίησης, διαχειρίζονται το κτίριο ως οντότητα, βελτιστοποιώντας την συνολική του λειτουργία, και παράλληλα αλληλεπιδρούν με τα άτομα μέσα σε αυτό υπακούοντας στις προσωπικές τους επιλογές άνεσης. Ένα επιπλέον πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των σύγχρονων συστημάτων αποτελεί η δυνατότητα τους να συνυπολογίζουν τις επιδράσεις των φυσικών παραγόντων και των επιτελούμενων λειτουργιών εντοπίζοντας την βέλτιστη για κάθε περίπτωση ακολουθία ενεργειών. Το βάρος έχει πλέον δοθεί στην διαδικασία της απόφασης, εργαλεία της οποίας είναι διάφοροι αλγόριθμοι που βασίζονται σε πολυπαραμετρικά μαθηματικά μοντέλα. Οι αλγόριθμοι αυτοί κατά την αναζήτηση της επιθυμητής λύσης χρησιμοποιούν σύγχρονες τεχνικές όπως τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence), εμπειρία (expert systems), ασαφή λογική (fuzzy logic) και προσεγγιστικές μεθόδους. Ένα σημαντικό στοιχείο των συστημάτων αυτών είναι η προσαρμοστικότητα και δυνατότητα τους για εκμάθηση από την καθημερινή λειτουργία του κτιρίου που διαχειρίζονται. Στην ιδανική περίπτωση τα άτομα μέσα στο κτίριο, μετά από μια περίοδο προσαρμογής, δεν θα απασχολούνται καθόλου με την διαμόρφωση των εσωτερικών συνθηκών η οποία θα είναι ευθύνη του συστήματος. Οι παραπάνω τεχνικές έχουν εφαρμοστεί σε διάφορα πολύπλοκα υπολογιστικά προβλήματα, αλλά στον τομέα διαχείρισης ενός κτιρίου είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Τα ευφυή κτίρια τρίτης γενιάς, επομένως, χρησιμοποιούν τα τεχνολογικά στοιχεία της προηγούμενης γενιάς και εξοπλίζονται κυρίως με λογισμικό που εξασφαλίζει ικανοποιητική απόκριση και απόδοση σε κάθε

περίσταση. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η γενική αρχιτεκτονική ενός σύγχρονου συστήματος.



Σχήμα 3 - Σύγχρονο σύστημα διαχείρισης κτιρίου

0.1.7 Συμπεράσματα

Το ουσιαστικό πρόβλημα έγκειται στο μεγάλο ποσοστό ενέργειας που αφιερώνεται στον κτιριακό τομέα, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Η προσπάθεια για εξοικονόμηση πόρων στο ευρύ αυτό καταναλισκόμενο ενεργειακό δυναμικό υπόσχεται σημαντικές εξελίξεις στον οικονομικό και περιβαλλοντικό τομέα. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση που προηγήθηκε ομαδοποιούνται σε δύο ευρύτερες ενότητες, την ενότητα που αφορά στον ευφυή και αποδοτικό έλεγχο του εξοπλισμού ενός σύγχρονου κτιρίου και αυτήν της ενεργειακής απόδοσης και βελτίωσης ενός κτιρίου συνολικά.

Η πρώτη ενότητα περιλαμβάνει την διαπίστωση ότι έχει πραγματοποιηθεί σημαντικό ερευνητικό έργο στο πεδίο του βέλτιστου ελέγχου και της διασφάλισης ιδανικών συνθηκών στους χώρους ενός κτιρίου. Ακόμα σημαντικότερη πρόοδος έχει σημειωθεί στον αποδοτικό τοπικό έλεγχο και την κατασκευή του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού ενός κτιρίου. Η ερευνητική εξέλιξη του χώρου όμως απέχει πολύ από την εφαρμογή στην κατασκευή και την εύκολη ένταξη σε υπάρχουσες κτιριακές δομές. Η διατριβή στο πεδίο του βέλτιστου ελέγχου προτείνει μια μεθοδολογία και ένα πρότυπο σύστημα το οποίο θα διασφαλίζουν την βέλτιστη ενεργειακή χρήση του εξοπλισμού ενός κτιρίου με το ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εύκολης προσάρτησης σε υπάρχοντα συστήματα ελέγχου και της παραμετροποίησης από ενεργειακό εμπειρογνώμονα χωρίς ιδιαίτερες προγραμματιστικές γνώσεις.

Η δεύτερη ενότητα συμπερασμάτων περιέχει θέματα συνολικής διαχείρισης ενέργειας και στρατηγικής αντιμετώπισης του ενεργειακού κόστους των κτιρίων. Παρουσιάστηκαν οι επικρατέστερες μεθοδολογίες περιβαλλοντικής αξιολόγησης και ενεργειακού ελέγχου σε κτίρια οι οποίες είναι μεν αποδοτικές αλλά αποτελούν εξεζητημένες και δύσκολα εφαρμόσιμες λύσεις. Είναι σαφές ότι υπάρχει ένα χάσμα μεταξύ του καθημερινού ελέγχου μιας κτιριακής εγκατάστασης και της διαμόρφωσης της ενεργειακής της ταυτότητας. Το δεύτερο σκέλος της μεθοδολογίας της διατριβής επικεντρώνεται σε αυτή ακριβώς τη δυνατότητα ενεργειακής βελτίωσης του κτιρίου συνολικά σε στρατηγικό επίπεδο χρησιμοποιώντας λειτουργικά δεδομένα και προτείνοντας βελτιωτικές παρεμβάσεις.

0.2 Το Αντικείμενο και ο Στόχος της Διατριβής

Η προτεινόμενη μεθοδολογία της διατριβής έχει ως αντικείμενο την ανάπτυξη ενός ευφυούς συστήματος εξοικονόμησης ενέργειας και βελτιστοποίησης των λειτουργιών των κτιρίων, αξιόπιστα και οικονομικά, με στόχο την ουσιαστική και ολοκληρωμένη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων και της παροχής υπηρεσιών για την αντιμετώπιση των σύγχρονων απαιτήσεων και καθημερινών καταστάσεων.

Η νέα, πρότυπη μεθοδολογία έχει ως κύριο στόχο την ολοκλήρωση του ελέγχου και της ευφυούς διαχείρισης διαφορετικών λειτουργιών των κτιρίων (π.χ. κλιματισμός, θέρμανση, εξαερισμός, φωτισμός κ.τ.λ.) με την υποβοήθηση της στρατηγικής ενεργειακής βελτίωσης του κτιρίου. Ο επιμέρους έλεγχος των λειτουργιών αυτών μπορεί να επιτευχθεί με τις ήδη υπάρχουσες συσκευές. Παρόλα αυτά, οι λειτουργίες αυτές πολλές φορές έρχονται σε αντίθεση μεταξύ τους με αποτέλεσμα να υπάρχει η ανάγκη ολοκληρωμένου ελέγχου αυτών. Το μοντέλο το οποίο προτείνεται παρέχει αυτή ακριβώς τη διάσταση, η οποία αποτελεί έλλειψη αρκετών από τα ήδη υπάρχοντα συστήματα.

Μια από τις κύριες συνιστώσες ανάπτυξης της μεθοδολογίας αποτελεί η μοντελοποίηση των ιδιοτεροτήτων των χώρων και της συμπεριφοράς των χρηστών σε μία προσπάθεια βελτιστοποίησης της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων σε συνδυασμό με τη δυνατότητα ευφυούς διαχείρισης και ελέγχου των κτιριακών λειτουργιών με την χρήση κανόνων λειτουργίας εμπείρων συστημάτων, βάσεων γνώσης και τεχνοοικονομικών κριτηρίων.

Τα ευφυή χαρακτηριστικά της προτεινόμενης λύσης συνοψίζονται στη συνέχεια:

- Δυνατότητα κεντρικής διαχείρισης των διαφορετικών λειτουργιών.
- Εφαρμογή σε όσο το δυνατόν ευρύτερο φάσμα κτιρίων, καλύπτοντας τις εκάστοτε ιδιοτερότητες τους όπως νοσοκομεία, δημόσια κτίρια, μονάδες παραγωγής κτλ.
- Χωροταξική αποτύπωση του ελεγχόμενου κτιρίου κατά την εγκατάσταση, έτσι ώστε να γίνεται βέλτιστος έλεγχος και διαχείριση όλων των εξαρτημάτων του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Η αποτύπωση αυτή κρίνεται αναγκαία με βάση την προηγούμενη επισήμανση, γιατί σε κτίρια με ιδιόζουσες απαιτήσεις η διαχείριση ορισμένων χώρων είναι αυστηρά περιορισμένη.

- Δυνατότητα αυτοματοποιημένης διαχείρισης των επιμέρους συστημάτων βάσει των διαφορετικών δραστηριοτήτων που επιτελούνται σε διαφορετικά μέρη του κτιρίου και των διαφορετικών επιπέδων ποιότητας λειτουργίας.
- Δυνατότητα ελέγχου εξωτερικών παραγόντων που επηρεάζουν τις λειτουργίες.
- Δυνατότητα υπολογισμού της εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνεται.
- Τεχνοοικονομική αξιολόγηση προτάσεων ενεργειακής βελτίωσης του κελύφους και του εξοπλισμού του κτιρίου με χρήση ιστορικών στοιχείων λειτουργίας και οικονομικών παραμέτρων.
- Η διατριβή αναμένεται να συμβάλει ουσιαστικά στην περαιτέρω ανάπτυξη και προώθηση συστημάτων κεντρικού συντονισμού, διαχείρισης και ελέγχου κτιρίων, παρέχοντας ένα νέο μεθοδολογικό πλαίσιο παραμετροποίησης, ευφυούς ελέγχου και αξιολόγησης επενδύσεων με οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Η συμβολή της διατριβής μπορεί να αναλυθεί σε δυο γενικότερες συνιστώσες, την επιστημονική και την εμπορική.

0.3 Επισκόπηση Σχετιζόμενων Μεθοδολογιών

0.3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται η προσπάθεια συνοπτικής παρουσίασης των σχετιζόμενων μεθοδολογιών, τεχνολογιών και τεχνικών ευφυούς ελέγχου. Το κεφάλαιο διαχωρίζεται σε δύο ενότητες που αφορούν στην ανάλυση κτιριακών φορτίων και συνθηκών και στις μεθοδολογίες υπολογιστικής υποστήριξης αποφάσεων με έμφαση στα έμπειρα συστήματα. Το εύρος του επιστημονικού πεδίου κάθε ενότητας δεν επιτρέπει την αναλυτική προσέγγιση των μεθοδολογιών και δεν αποτελεί σκοπό της διατριβής. Σημαντικό βάρος έχει, βέβαια, αποδοθεί στα σημεία στα οποία βασίζεται η προτεινόμενη μεθοδολογία του επόμενου κεφαλαίου.

0.3.2 Ανάλυση Κτιριακών Φορτίων και Εσωτερικών Συνθηκών

Βασικές αρχές μετάδοση θερμότητας

Η μετάδοση θερμότητας^{[9],[10]} μεταξύ δύο σωμάτων υγρών, στερεών ή αερίων οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας που έχουν αυτά μεταξύ τους. Αυτή η μετάδοση θερμότητας μπορεί να συμβεί με τρεις τρόπους: α) με αγωγιμότητα, β) με μεταφορά, γ) με ακτινοβολία. Στη συνέχεια, αναλύεται πως αυτοί οι τρεις τρόποι συχνά συσχετίζονται μεταξύ τους.

Μετάδοση θερμότητας με αγωγιμότητα

Είναι το βασικό σύστημα μετάδοσης της θερμότητας διαμέσου στερεών. Τα μόρια του σώματος μεταδίδουν τη διέγερσή τους, θερμικής προέλευσης, από το θερμαινόμενο σημείο προς όλα τα άλλα μέρη του σώματος.

Μετάδοση θερμότητας με μεταφορά

Είναι η τυπική μέθοδος μετάδοσης της θερμότητας για ρευστά και αέρια. Εδώ είναι τα ίδια τα μόρια, σε κατάσταση θερμικής διέγερσης, που μετακινούνται διαμέσου του περιβάλλοντος στο οποίο είναι περιορισμένα. Όταν το ρευστό ή το αέριο αναγκάζεται από μια εξωτερική δύναμη όπως μια αντλία ή ένας ανεμιστήρας να κινηθεί τότε πραγματοποιείται τεχνητή μεταφορά θερμότητας, ενώ όταν το υγρό ή το αέριο κινείται εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας ή της πυκνότητας τότε πραγματοποιείται ελεύθερη ή φυσική μεταφορά θερμότητας.

Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία

Είναι η μορφή μετάδοσης της θερμότητας διαμέσου ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, τα οποία είναι παρόμοια με τα κύματα φωτός, μόνο που τα κύματα φωτός έχουν υψηλότερη συχνότητα και μικρότερο μήκος κύματος.

Συνολική μεταφορά θερμότητας

Στην πραγματικότητα στις περισσότερες περιπτώσεις η μεταφορά θερμότητας οφείλεται σε συνδυασμούς των τριών τρόπων που αναλύθηκαν. Οι θερμικοί συντελεστές μπορούν να συνδυαστούν σε ένα συνολικό συντελεστή ώστε η συνολική μεταφορά θερμότητας να μπορεί να υπολογιστεί από την αρχική και την τελική θερμοκρασία χωρίς να χρειάζεται να μας είναι γνωστές οι ενδιάμεσες θερμοκρασίες.

0.3.3 Μεθοδολογίες Υπολογιστικής Υποστήριξης Αποφάσεων

Γενετικοί Αλγόριθμοι

Οι γενετικοί αλγόριθμοι ανήκουν στο κλάδο της επιστήμης υπολογιστών και αποτελούν μια μέθοδο αναζήτησης βέλτιστων λύσεων σε συστήματα που μπορούν να περιγραφούν ως μαθηματικό πρόβλημα^[11]. Είναι χρήσιμοι σε προβλήματα που περιέχουν πολλές παραμέτρους/διαστάσεις και δεν υπάρχει αναλυτική μέθοδος που να μπορεί να βρει το βέλτιστο συνδυασμό τιμών για τις μεταβλητές ώστε το υπό εξέταση σύστημα να αντιδρά με όσο το δυνατόν με το θεμιτό τρόπο.

Ο τρόπος λειτουργίας των γενετικών αλγορίθμων είναι εμπνευσμένος από την βιολογία. Χρησιμοποιεί την ιδέα της εξέλιξης μέσω γενετικής μετάλλαξης, φυσικής επιλογής και διασταύρωσης. Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι αρκετά απλοί στην υλοποίησή τους. Οι τιμές για τις παραμέτρους του συστήματος πρέπει να κωδικοποιούνται με τρόπο ώστε να αναπαρασταθούν από μια μεταβλητή που περιέχει σειρά χαρακτήρων ή δυαδικών ψηφίων (0/1). Αυτή η μεταβλητή μιμείται το γενετικό κώδικα που υπάρχει στους ζωντανούς οργανισμούς. Αρχικά, ο γενετικός αλγόριθμος παράγει πολλαπλά αντίγραφα της μεταβλητής, συνήθως με τυχαίες τιμές, δημιουργώντας ένα πληθυσμό λύσεων. Κάθε λύση δοκιμάζεται για το πόσο κοντά φέρνει την αντίδραση του συστήματος στην επιθυμητή, μέσω μιας συνάρτησης που δίνει το μέτρο ικανότητας της λύσης και η οποία ονομάζεται συνάρτηση ικανότητας.

Οι λύσεις που βρίσκονται πιο κοντά στην επιθυμητή, σε σχέση με τις άλλες, σύμφωνα με το μέτρο που μας δίνει η συνάρτηση ικανότητας^[12], αναπαράγονται στην επόμενη γενιά λύσεων και λαμβάνουν μια τυχαία μετάλλαξη. Επαναλαμβάνοντας

αυτή τη διαδικασία για αρκετές γενιές, οι τυχαίες μεταλλάξεις σε συνδυασμό με την επιβίωση και αναπαραγωγή των γονιδίων/λύσεων που πλησιάζουν καλύτερα το επιθυμητό αποτέλεσμα θα παράγουν ένα γονίδιο/λύση που θα περιέχει τις τιμές για τις παραμέτρους που ικανοποιούν όσο καλύτερα γίνεται την συνάρτηση ικανότητας.

Υπάρχουν διάφορες εκδοχές της παραπάνω διαδικασίας για τους γενετικούς αλγόριθμους από τις οποίες κάποιες περιλαμβάνουν και τη διασταύρωση (ζευγάρωμα) γονιδίων/λύσεων ώστε ο αλγόριθμος να φτάσει στο αποτέλεσμα πιο γρήγορα. Καθώς υπάρχει το στοχαστικό (τυχαίο) συστατικό της μετάλλαξης και ζευγαρώματος, κάθε εκτέλεση του γενετικού αλγόριθμου μπορεί να συγκλίνει σε διαφορετική λύση και σε διαφορετικό χρόνο. Η απόδοση του εξαρτάται επί το πλείστον από την συνάρτηση ικανότητας και συγκεκριμένα από το κατά πόσο το μέτρο της περιγράφει την βέλτιστη λύση.

Ασαφής Λογική

Η ασαφής λογική (fuzzy logic) εισήχθη από τον Lotfi A. Zadeh του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας στο Berkeley των ΗΠΑ στα μέσα του '60^[13]. Η θεωρία της ασαφούς λογικής βασίζεται στην προϋπόθεση ότι ο περιβάλλον χώρος απαρτίζεται από στοιχεία που ανήκουν σε διάφορα σύνολα με διαφορετικούς βαθμούς συμμετοχής^[14]. Η ασάφεια δημιουργεί μια πλειότιμη έννοια στο χώρο της αβεβαιότητας. Παραδείγματα είναι η αλήθεια, το ψεύδος και οι ενδιάμεσες έννοιες.

Τα λογικά παράδοξα και η αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg συνέβαλαν στην ανάπτυξη την *πλειότιμης λογικής* (*multi-valued logic*) στη δεκαετία του 1920. Το επόμενο βήμα επέτρεψε βαθμούς αβεβαιότητας και θεωρούσε τους χαρακτηρισμούς αλήθειας και ψεύδους ως τις ακραίες τιμές ενός πεδίου μεταβολής της ασάφειας. Το 1937 ο μαθηματικός Max Black εφάρμοσε τη συνεχή λογική σε σύνολα στοιχείων και συμβόλων και ονόμασε τη δομή αυτή αβεβαιότητα. Το 1965, στη θεμελιώδη συμβολή του με τίτλο "Fuzzy Sets", ο Zadeh παρουσίασε τη θεωρία των συνόλων πολλαπλών τιμών ή ασαφών συνόλων (fuzzy set theory). Χρησιμοποίησε τον όρο ασαφής λογική και πρωτοστάτησε σε ένα νέο και σημαντικότερο κύμα επιστημονικής δραστηριότητας που συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Δεν είναι λίγοι, όμως, και ειδικά στις ΗΠΑ, που αμφισβητούν τη θεωρία του Zadeh. Αντίθετα, η Ιαπωνία την έχει ενστερνιστεί απόλυτα και η εφαρμογή της αποδίδει σημαντικά οικονομικά οφέλη.

Η θεωρία της ασαφούς λογικής είναι κατάλληλη τόσο για την αναπαράσταση της γνώσης και εμπειρίας όσο και για τη δημιουργία μηχανισμών συμπερασμάτων που χρησιμοποιούν τη διαθέσιμη κωδικοποιημένη γνώση και τις τρέχουσες τιμές των μεταβλητών της διεργασίας υπό έλεγχο για να συμπεράνουν την πράξη ελέγχου που

απαιτείται. Σημειώνεται ότι η ασαφής λογική έχει βρει πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία διεργασιών όσο και σε οικιακές συσκευές που έχουν κατακτήσει την αγορά.

Στα χρόνια που ο Earl Cox εισήγαγε και ξεκίνησε να χρησιμοποιεί την ασαφή λογική^[15], είχε δει τη δύναμη και το πλάτος στο οποίο αυτά τα έμπειρα συστήματα συνέφεραν σε ένα ευρύ φάσμα ασυνήθιστα δύσκολων προβλημάτων. Είχε αναλάβει την αρχιτεκτονική, το σχεδιασμό, και τον προγραμματισμό τριών έμπειρων ασαφών συστημάτων παραγωγής. Αυτά τα εργαλεία είχαν εφαρμοστεί επιτυχώς σε μεγάλες εφαρμογές πραγματικού κόσμου σε περιοχές όπως οι μεταφορές, διαχειριζόμενης πρόνοιας, οικονομικών υπηρεσιών, εκτίμησης ασφαλιστικού κινδύνου, εξόρυξης πληροφορίας μιας βάσης δεδομένων, ανάλυση ευστάθειας εταιρίας, ανίχνευση απάτης διαχειριζόμενης πρόνοιας, απόκτηση μελετών καταλληλότητας, προώθησης ενός νέου προϊόντος, και ανάλυσης πωλήσεων^[16]. Γενικά, τα τελικά μοντέλα ήταν λιγότερο πολύπλοκα, μικρότερα, και ευκολότερα να κατασκευαστούν, να βελτιωθούν, να συντηρηθούν και να επεκταθούν από τα συστήματα που χτίστηκαν χρησιμοποιώντας συμβατικά συμβολικά έμπειρα συστήματα.

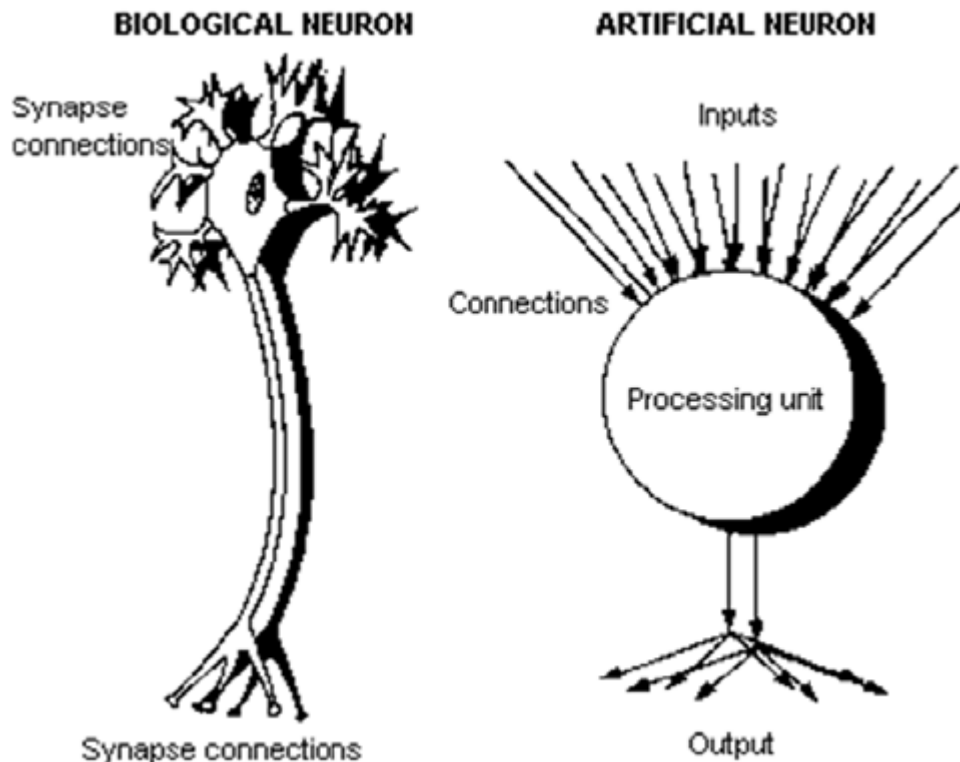
Σημαντικό ενδιαφέρον έχει στραφεί προς την εφαρμογή της ασαφούς λογικής στον τομέα των *διαδικασιών ελέγχου* (control systems), ως αποτέλεσμα της τεράστιας ώθησης που δόθηκε από τα προϊόντα ασαφούς λογικής που κατασκευάστηκαν στην Ιαπωνία. Αυτή η επικέντρωση είναι κατανοητή εφόσον η ασαφής λογική παρέχει μία πολύτιμη τεχνολογία στο σχεδιασμό της εγγενούς μηχανικής νοημοσύνης. Με την ασαφή λογική, οι κατασκευαστές μπορούν να μειώσουν αισθητά το χρόνο ανάπτυξης, να μοντελοποιήσουν πολύπλοκα μη γραμμικά συστήματα, να αναπτύξουν προχωρημένα συστήματα χρησιμοποιώντας μηχανικούς ελέγχου αντί για επιστήμονες ελέγχου, και να υλοποιήσουν ελέγχους χρησιμοποιώντας πιο οικονομικά ολοκληρωμένα κυκλώματα (chips) και αισθητήρες.

Σημαντικό πεδίο εφαρμογών της ασαφούς λογικής μπορεί να βρεθεί στα *έμπειρα συστήματα* και στα *συστήματα υποστήριξης αποφάσεων* (decision support). Αυτά τα συστήματα επόμενης γενιάς χρησιμοποιούν την ασαφή λογική, τους κανόνες παραγωγής, και ένα ευρύ φάσμα τεχνικών εξαγωγής συμπερασμάτων. Η συνένωση της ασαφούς λογικής με την τεχνολογία έμπειρων συστημάτων παρέχει ένα μηχανισμό παραγωγής ασαφών μοντέλων που προωθούν σημαντικές ομάδες προβλημάτων στην πληροφοριακή υποστήριξη αποφάσεων. Τα έμπειρα συστήματα ασαφούς λογικής μοντελοποιούν τον κόσμο με όρους της σημασιολογίας που σχετίζεται με τις υποκείμενες μεταβλητές, παρέχοντας έτσι μία πιο στενή σχέση μεταξύ των φαινομένων του πραγματικού κόσμου και των μοντέλων των υπολογιστών.

Νευρωνικά Δίκτυα

Η μελέτη υπολογιστικών συστημάτων που βασίζονται σε πρότυπα του ανθρώπινου εγκεφάλου έκανε τα πρώτα της βήματα το 1943 από τους McCulloch και Pitts^[17] οι οποίοι σχεδίασαν το πρώτο νευρωνικό δίκτυο. Η πολυπλοκότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι τέτοια έτσι ώστε απαγορεύει την πλήρη κατανόησή του. Ακόμα και η κατανόηση της λειτουργίας ενός νευρώνα του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι φοβερά πολύπλοκη. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελείται από 1010 νευρώνες, με κάθε νευρώνα να έχει αρκετές χιλιάδες συνδέσεις. Βασικά χαρακτηριστικά του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι η αναγνώριση προτύπων^[18] (pattern recognition), ο συνειρμός, η πολυπλοκότητα και η ανεκτικότητα στο θόρυβο.

Ένας νευρώνας ενεργοποιείται όταν το σήμα εισόδου του γίνεται μεγαλύτερο από μία τιμή. Οι συνάψεις (συνδέσεις νευρώνων) μπορεί να είναι είτε διεγερτικές είτε ανασταλτικές. Ο νευρώνας έχει ένα κυτταρικό σώμα, μια δενδρική δομή εισόδων τους δενδρίτες και δενδρική δομή εξόδων τους άξονες. Οι άξονες συνδέονται με δενδρίτες άλλων νευρώνων μέσω των συνάψεων. Τα ηλεκτροχημικά σήματα εισόδων διαδίδονται από τους δενδρίτες στο κυτταρικό σώμα και έπειτα μέσω των αξόνων σε άλλους νευρώνες. Αντίστοιχες δομές ακολουθούνται και στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα.



Σχήμα 4 - Αντιστοιχία φυσικού και τεχνητού νευρώνα

Τα Έμπειρα Συστήματα

Η διαδικασία δημιουργίας ενός έμπειρου συστήματος καλείται μηχανική γνώσης (knowledge engineering)^[19] και επιτελείται από το μηχανικό γνώσης (knowledge engineer). Γενικά, δεν υπάρχει καθολικά αποδεκτή μεθοδολογία για τη σχεδίαση και τον προγραμματισμό της εκμείωσης γνώσης και της εκτίμησης του αποτελέσματος. Η συνήθης πρακτική είναι, να εκμαιεύει ο μηχανικός γνώσης, ύστερα από εκτενείς συνεντεύξεις, τη γνώση από τους ανθρώπους εμπειρογνώμονες ή από άλλες πηγές και να την κωδικοποιεί με χρήση κατάλληλου φορμαλισμού^[20] (τεχνικές αναπαράστασης γνώσης) στη βάση γνώσης του έμπειρου συστήματος. Στη συνέχεια, ο άνθρωπος εμπειρογνώμονας αξιολογεί το πρωτότυπο έμπειρο σύστημα, δίνοντας τις παρατηρήσεις του στο μηχανικό γνώσης. Η χρονοβόρα και επίπονη αλληλεπιδραστική αυτή διαδικασία επαναλαμβάνεται αρκετές φορές, μέχρις ότου η απόδοση του έμπειρου συστήματος κριθεί ικανοποιητική από τον εμπειρογνώμονα.

Ορισμένα έμπειρα συστήματα, χρησιμοποιώντας τεχνικές μηχανικής μάθησης^[21] και πίνακες δεδομένων, προσπαθούν να ανακαλύψουν σχέσεις μεταξύ των δεδομένων αυτών, τις οποίες εκφράζουν με νέους κανόνες, μέσω επαγωγής κανόνων (rule induction). Με τον τρόπο αυτό όμως, μπορούν να κωδικοποιηθούν περιορισμένοι μόνο τύποι γνώσης. Τα τυπικά έμπειρα συστήματα δεν μπορούν να γενικεύσουν τη γνώση τους χρησιμοποιώντας όπως οι άνθρωποι αναλογία με σκοπό το να ανταπεξέλθουν σε νέες καταστάσεις. Έτσι, το πρόβλημα της μεταφοράς της ανθρώπινης γνώσης στο έμπειρο σύστημα από το μηχανικό γνώσης, αποτελεί το μείζονα ανασχετικό παράγοντα κατά τη διαδικασία δημιουργίας ενός έμπειρου συστήματος και καλείται "το στόμιο φιάλης της απόκτησης γνώσης"^[22], αφού περιορίζει τη δημιουργία ενός έμπειρου συστήματος όπως το στόμιο της φιάλης εμποδίζει την ελεύθερη ροή του υγρού.

0.3.4 Τεχνοοικονομική αξιολόγηση Επενδύσεων σε Κτίρια

Διαχείριση Ενέργειας

Διαχείριση ενέργειας είναι η βασική μέθοδος βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας ενός συστήματος με τεχνικά και οργανωτικά μέτρα, με άμεσο στόχο την μείωση της συμμετοχής της ενέργειας στο συνολικό κόστος. Η διαχείριση ενέργειας στηρίζεται στο συνεχή έλεγχο της ενεργειακής κατανάλωσης με συστηματικό και οργανωμένο τρόπο, στη σαφή γνώση των ενεργειακών απαιτήσεων, του ανθρώπινου δυναμικού, των προτεραιοτήτων και των οικονομικών μέσων^[23].

Η διαχείριση ενέργειας αποτελεί μια πειθαρχημένη δραστηριότητα, οργανωμένη και δομημένη προς την πλέον αποδοτική χρήση της ενέργειας, χωρίς να μειωθούν τα παραγωγικά επίπεδα και χωρίς να θυσιαστεί η ποιότητα του προϊόντος, η ασφάλειά του ή τα περιβαλλοντικά του πρότυπα. Η θεμελιώδης αρχή της διαχείρισης ενέργειας είναι η οικονομική αποτελεσματικότητα. Η διατήρηση της ενέργειας πρέπει να εφαρμόζεται στο βαθμό που δικαιολογείται από τους πρότυπους εμπορικούς και οικονομικούς όρους, όπως κάθε επένδυση. Συνεπώς η ενεργειακή διαχείριση απαιτεί τόσο τεχνικές όσο και οικονομικές εκτιμήσεις.

Ενώ πολλές κτιριακές μονάδες τα τελευταία χρόνια εξετάζουν τα ενεργειακά τους κόστη πιο προσεκτικά και έχουν ξεκινήσει προσπάθειες για να μειώσουν την ενεργειακή τους κατανάλωση, παρόλα αυτά η έλλειψη ενδιαφέροντος από την διοίκηση, η αδυναμία του τεχνικού προσωπικού να συμφωνήσει στην οικονομική ελκυστικότητα των εκάστοτε δράσεων ενεργειακής βελτίωσης του κτιρίου, καθώς και η απλή έλλειψη ενημέρωσης στις τεχνικές ενεργειακής εξοικονόμησης και ενημέρωσης συμβάλλουν στην αδυναμία περιορισμού της υπέρμετρης ενεργειακής κατανάλωσης.

Η εμπειρία και η παρατήρηση επισημαίνουν ότι απαιτείται μια πιο συστηματική και δομημένη προσέγγιση στην ενεργειακή διαχείριση, ώστε να πραγματοποιηθεί η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας. Ένα σωστά δομημένο πρόγραμμα ενεργειακής διαχείρισης περιλαμβάνει^[24]:

- Την καταγραφή των ενεργειακών καταναλώσεων, που αποτελεί και το στάδιο συλλογής δεδομένων.
- Την καταγραφή των συσχετίσεων μεταξύ κατανάλωσης ενέργειας και παραγωγής.
- Την αποτίμηση του κόστους ενέργειας.
- Τον εντοπισμό σημείων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.
- Τον καθορισμό του ενεργειακού στόχου.
- Την υλοποίηση του έργου ενεργειακής διαχείρισης.
- Την παρακολούθηση του έργου ενεργειακής διαχείρισης.
- Τη σύγκριση της απόδοσης του έργου με τις πρότυπες αποδόσεις.

Η ενεργειακή διαχείριση στοχεύει στην εξασφάλιση των αναγκαίων συνθηκών και υπηρεσιών που να κάνουν την παραμονή των ενοίκων στα κτίρια ευχάριστη με την ελάχιστη δυνατή ενεργειακή κατανάλωση, και βασίζεται στην συνετή χρήση του ενεργειακού εξοπλισμού.

Η διαδικασία της ενεργειακής διαχείρισης αποτελείται από τέσσερα αλληλοεξαρτώμενα στάδια, συγκεκριμένα τη μελέτη, το σχεδιασμό, την υλοποίηση και τον έλεγχο αποτελεσματικότητας των δράσεων.

Ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα διαχείρισης ενέργειας μπορεί να περιγραφεί από την μεθοδολογία είτε του ενεργειακού ελέγχου, είτε της ενεργειακής παρακολούθησης και θέσπισης ενεργειακών στόχων (Monitoring & Targeting).

Μέτρα Ενεργειακής Βελτίωσης

Τα μέτρα ενεργειακής βελτίωσης αποτελούν τις δυνατές επεμβάσεις στο κέλυφος και τις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις ενός κτιρίου^[25], η εφαρμογή των οποίων μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Ανάλογα με τις ενεργειακές μετρήσεις υπολογίζονται τα δυνατά ποσά εξοικονόμησης ενέργειας, τα οποία μπορούν να επιτευχθούν με τρεις δράσεις ενεργειακής βελτίωσης.

- Μηδενικού αρχικού κόστους (ή νοικοκυρέματος): Τα μέτρα αυτά δεν απαιτούν ειδική χρηματοδότηση ή επένδυση κεφαλαίου. Εφαρμόζονται σε τακτική βάση και εντάσσονται στη συνήθη λειτουργία και συντήρηση του κτιρίου. Τις περισσότερες φορές σχετίζονται με την αλλαγή της συμπεριφοράς των χρηστών του κτιρίου.
- Χαμηλού κόστους: Τα μέτρα είναι εφάπαξ επεμβάσεις που μπορούν να χρηματοδοτηθούν από τον υπάρχοντα ετήσιο προϋπολογισμό της διαχείρισης του κτιρίου. Το κόστος των επεμβάσεων αποπληρώνεται συχνά εντός της ίδιας διαχειριστικής χρονιάς και συνήθως σε λιγότερο από δυο χρόνια.
- Ανακατασκευής: Οι επεμβάσεις αποτελούν εφάπαξ επενδύσεις έντασης κεφαλαίου λόγω του σημαντικού αρχικού κόστους για την εφαρμογή τους και της μέσης ή μακράς περιόδου αποπληρωμής τους.

Από τις προαναφερθείσες δραστηριότητες μόνο η πρώτη κατηγορία δεν απαιτεί κανενός είδους τεχνοοικονομική μελέτη, καθώς δεν απαιτεί χρηματικό κεφάλαιο. Αντιθέτως η δεύτερη αλλά κυρίως η τρίτη δραστηριότητα ενεργειακής βελτίωσης απαιτούν όχι μόνο οικονομική αξιολόγηση αλλά και διερεύνηση των πιθανών χρηματοδοτικών μηχανισμών, καθώς οι επεμβάσεις ανακατασκευής απαιτούν συχνά ένα υπέρογκο για τα δεδομένα της επιχειρησιακής μονάδας χρηματικό ποσό.

Οικονομικοί Δείκτες

Ο έλεγχος με βάση τεχνοοικονομικούς δείκτες έχει στόχο την οικονομική αξιολόγηση των έργων ενεργειακής βελτίωσης, έτσι ώστε να προσδιοριστούν εκείνες που εξασφαλίζουν το βέλτιστο όφελος με τον μικρότερο επενδυτικό κίνδυνο^[27].

Ο έλεγχος αυτός θα βασίζεται σε τρεις επιμέρους ελέγχους, που παρουσιάζονται ακολούθως.

Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) είναι το συνολικό καθαρό όφελος μιας επένδυσης, που προκύπτει ως διαφορά μεταξύ του λειτουργικού οφέλους και του συνόλου των δαπανών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της επένδυσης. Όλα τα ποσά εκφράζονται σε παρούσα αξία, ανηγμένη συνήθως στην αρχή του πρώτου έτους λειτουργίας της επένδυσης. Η καθαρή παρούσα αξία προσδιορίζεται από την εξίσωση:

$$NPV = -K + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1+d)^t}$$

όπου:

- K: Αρχικό επενδυτικό κόστος, που περιλαμβάνει το κόστος εγκατάστασης, ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, σχετιζόμενων μελετών κ.α.
- F_t: Ετήσιο καθαρό όφελος, που περιλαμβάνει το όφελος που προκύπτει από διαφορά της επιτυγχανόμενης εξοικονόμησης ενέργειας, με το ετήσιο κόστος συντήρησης.
- N: Οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης.
- d: Επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία.

Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (EBA) είναι η τιμή του επιτοκίου αγοράς που μηδενίζει την παρούσα αξία για την εξεταζόμενη πρόταση. Προσδιορίζεται ως η λύση της εξίσωσης:

$$NPV_{(d=IRR)} = 0$$

Όταν η απόδοση κεφαλαίου (IRR) είναι μεγαλύτερη από το επιτόκιο αναγωγής (d) η επένδυση είναι αποδεκτή, ενώ όταν συμβαίνει το αντίθετο η επένδυση απορρίπτεται

Η Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής (ΕΠΑ) είναι το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την αποπληρωμή της πρότασης. Προσδιορίζεται ως λύση της εξίσωσης:

$$NPV_{(N=DPB)} = 0$$

Μια πρόταση που περνά από αυτό τον έλεγχο θεωρείται οικονομικά βιώσιμη εάν η τιμή της έντοκης περιόδου αποπληρωμής ($N = DPB$) ικανοποιεί τις προσδοκίες του επενδυτή ως προς τον χρόνο αποπληρωμής.

Περιβαλλοντική Διάσταση

Η διάσταση αυτή έχει να κάνει με τις περιβαλλοντικές επιδόσεις της πρότασης και αφορά στη δυνατότητα αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της εξεταζόμενης πρότασης, λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους που έχουν να κάνουν με τις εξελίξεις αλλά και τις ευκαιρίες της κλιματικής αλλαγής.

Με αυτό τον τρόπο θα αξιολογούνται οι συντελεστές εκπομπών των υπό εξέταση προτάσεων και θα λαμβάνεται υπόψη το «επιπρόσθετο οικονομικό κέρδος» από την αγορά του άνθρακα. Σε αυτό το πλαίσιο, η αξιολόγηση βασίζεται και στη μείωση που δημιουργεί η επιπρόσθετη ροή από την πώληση των επιτυγχανόμενων μειώσεων εκπομπών στην ΕΠΑ.

Ο τρόπος υπολογισμού είναι ίδιος με αυτόν της καθαρής παρούσας αξίας, με μοναδική διαφοροποίηση ότι στο Ft (ετήσιο καθαρό όφελος) περιλαμβάνεται και η επιπρόσθετη ροή, η οποία προσδιορίζεται ως ακολούθως:

*Ετήσιο όφελος από τη ροή άνθρακα [€] = Ετήσιες Μειώσεις Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου [$t\ CO_2\text{-eq}$] * Τιμή Άνθρακα [€/ $t\ CO_2\text{-eq}$]*

0.3.5 Συμπεράσματα

Οι σχετιζόμενες μεθοδολογίες και τεχνολογίες που παρουσιάστηκαν σε αυτό το κεφάλαιο αποτελούν το υπόβαθρο της προτεινόμενης μεθοδολογίας της διατριβής. Τα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης κτιρίων, όπως φάνηκε από τα στοιχεία που παρατέθηκαν, έχουν να επιδείξουν σημαντικές δυνατότητες στο πεδίο του αποδοτικού ελέγχου. Οι μεθοδολογίες ευφυούς ελέγχου, αυτόνομες ή σε υβριδική μορφή, προσεγγίζουν ικανοποιητικά την απόκριση ενός εμπειρογνώμονα στο εφαρμοσμένο πεδίο και η τεχνοοικονομική αξιολόγηση επενδύσεων αποτελεί μια παγιωμένη και δοκιμασμένη περιοχή.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία της διατριβής φιλοδοξεί να συνδυάσει τις τρεις συνιστώσες που αναφέρθηκαν και αναλύθηκαν παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο διαχείρισης ενεργειακών πόρων σε κτίρια. Ένα πλαίσιο συνολικού ελέγχου και διαχείρισης το οποίο από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας δεν έχει οριοθετηθεί αντιμετωπίζοντας το σύγχρονο κτίριο σαν οντότητα. Σκοπός της διατριβής είναι να προτείνει μια μεθοδολογία η οποία θα υποστηρίξει την κεντρική, ευφυή διαχείριση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού ενός κτιρίου σε καθημερινό επίπεδο και θα παρέχει και την δυνατότητα αξιοποίησης των στοιχείων λειτουργίας του κτιρίου για την ενεργειακή βελτίωση του.

Το μέσο για την επίτευξη του στόχου θα αποτελέσουν οι επιστημονικές περιοχές που εξετάστηκαν σε αυτό το κεφάλαιο και ο προτεινόμενος τρόπος θα παρουσιαστεί στο επόμενο κεφάλαιο.

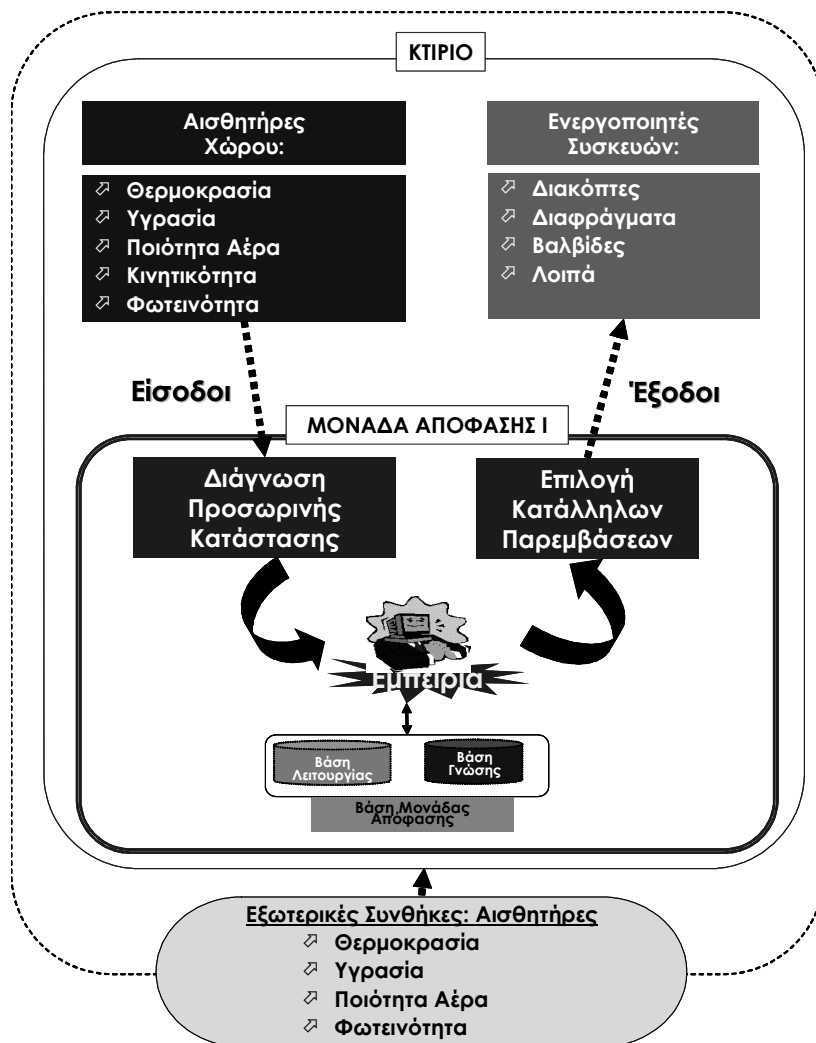
0.4 Προτεινόμενη Μεθοδολογία

Η προτεινόμενη μεθοδολογία της διατριβής υποστηρίζει την διαχείριση ενός σύγχρονου κτιρίου σε δύο διαφορετικά επίπεδα.

Το πρώτο επίπεδο αντιμετώπισης του προβλήματος έγκειται στην αποτελεσματική διαχείριση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού του κτιρίου με απόκριση πραγματικού χρόνου και στην αναλυτική καταγραφή της κατάστασης του κτιρίου. Το δεύτερο επίπεδο ανάπτυξης της μεθοδολογίας αφορά στον γενικότερο ενεργειακό έλεγχο του κτιρίου. Τα καταγεγραμμένα δεδομένα σε συνδυασμό με τεχνοοικονομικά στοιχεία αναλύονται υποδεικνύοντας προτάσεις της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου.

0.4.1 Ευφυής Έλεγχος Χώρων Κτιρίου

Για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας ευφυούς ελέγχου πραγματοποιούνται, αρχικά, μοντελοποίηση και παραμετροποίηση των ενεργών στοιχείων του κτιρίου. Στη συνέχεια, ορίζονται τα δεδομένα εισόδου και τα σημεία ελέγχου και ενσωματώνεται στη διαδικασία μια μηχανή συμπερασμού ενός έμπειρου συστήματος. Οι διατύπωση των κανόνων λειτουργίας του έμπειρου συστήματος και η διαδικασία εκμάθησης αποτελούν τα επόμενα βήματα ανάπτυξης της μεθοδολογίας. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται επιγραμματικά η προσέγγιση ανάπτυξης της μεθοδολογίας.

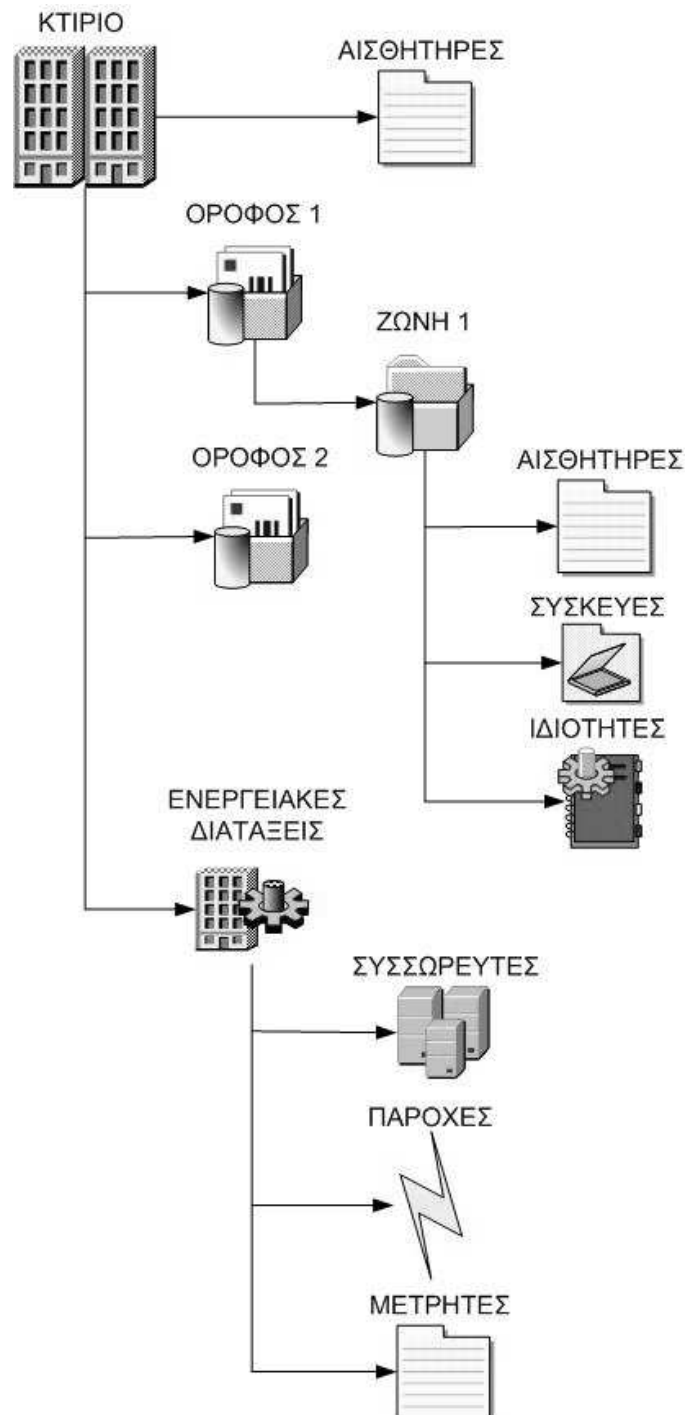


Σχήμα 5 - Ευφυής Έλεγχος Χώρων Κτιρίου

Μοντελοποίηση Κτιριακών Πόρων

Η ανάπτυξη της προτεινόμενης μεθοδολογίας, και ειδικότερα του ευφυούς ελέγχου χώρων ενός κτιρίου, ξεκινά από την μοντελοποίηση του εξοπλισμού και των χώρων του κτιρίου^[28]. Τα λειτουργικά και φυσικά χαρακτηριστικά του κτιρίου διαχωρίζονται σε ευρύτερες ομάδες συσκευών, ελεγκτών και αισθητήρων και ζωνών.

Η διασύνδεση των στοιχείων του κτιρίου, των χώρων – ζωνών ελέγχου και των διατάξεων ακολουθεί ιεραρχική δομή και περιγράφει την φυσική θέση των στοιχείων και τα λειτουργικά στοιχεία που απαιτούνται. Η ιεραρχία των μοντέλων που περιγράφουν το σύνολο του κτιρίου φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 6 - Μοντελοποίηση χώρων και κτιρίου

Τα μοντέλα των ζωνών χρήσης-χώρων αποτελούν ουσιώδης οντότητες της μεθοδολογίας γιατί αποτελούν το σημείο εφαρμογής της διαδικασίας λήψης απόφασης για την διαμόρφωση των εσωτερικών συνθηκών στο κτίριο. Οι ζώνες-

χώροι περιέχουν μοντέλα συσκευών^[29], ένα σύνολο αισθητήρων και ένα σύνολο ιδιοτήτων για τις αρχές λειτουργίας του χώρου και τα φυσικά χαρακτηριστικά του.

Ορισμός Παραμέτρων Εισόδου και Ελέγχου

Την ευρύτερη μοντελοποίηση του κτιρίου, που παρουσιάστηκε, ακολουθεί ο ορισμός των δεδομένων εισόδου και εξόδου (ελέγχου) της μονάδας απόφασης^[30]. Η προτεινόμενη μεθοδολογία χρησιμοποιεί μια μηχανή συμπερασμού (inference engine), ένα έμπειρο σύστημα, για την οποία πρέπει να οριστούν δεδομένα (facts) και κανόνες (rules). Τα δεδομένα εισόδου του έμπειρου συστήματος περιέχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες^[31] για τον χαρακτηρισμό της κατάστασης κάθε χώρου στο κτίριο και της χρονικής περιόδου για την υποστήριξη λήψης απόφασης. Οι παράμετροι χωρίζονται σε κατηγορίες που αντιστοιχούν σε δεδομένα που αφορούν στη θερμοκρασία, στην ποιότητα αέρα, στην υγρασία, στο φωτισμό και στην ώρα και το ωράριο λειτουργίας^{[32],[33]}.

Παραμετροποίηση Εμπείρου Συστήματος – Κανόνες

Η προτεινόμενη μεθοδολογία ελέγχου ενσωματώνει ένα έμπειρο σύστημα ως μηχανή συμπερασμού για την ευφυή διαχείριση ενός κτιρίου^[34]. Το έμπειρο σύστημα, όπως έχει ήδη αναφερθεί στο αντίστοιχο κεφάλαιο, περιλαμβάνει μια βάση γνώσης υπό μορφή κανόνων. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι κανόνες που συντάχθηκαν για τη συγκεκριμένη μεθοδολογία. Οι κανόνες διαχωρίστηκαν σε τρεις^[35] βασικές κατηγορίες διαμόρφωσης εσωτερικών συνθηκών, ενίσχυσης ενεργειακής αποδοτικότητας και συμβατότητας εντολών προς τον εξοπλισμό.

Διαμόρφωση Κανόνων

Η πρώτη βασική κατηγορία των κανόνων ρύθμισης των εσωτερικών συνθηκών του χώρου εξασφαλίζει την άνεση στους χρήστες κάθε χώρου. Χωρίζεται σε τέσσερις υποκατηγορίες κανόνων που συνδέονται με τις παραμέτρους ελέγχου των εσωτερικών συνθηκών του τυπικού κτιρίου:

- ✦ **Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία:** Παρακολούθηση θερμοκρασιών και υγρασίας χώρων, (θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας) και προσαρμογή τους σύμφωνα με την προκαθορισμένη χρήση των χώρων.
- ✦ **Ποιότητα Αέρα:** Παρακολούθηση ποιότητας του αέρα και ρύθμισή της ανάλογα με τα προκαθορισμένα όρια που αντιστοιχούν σε κάθε χώρο.

- ▲ **Φωτεινότητα:** Παρακολούθηση και παροχή του κατάλληλου φωτισμού ανάλογα με την χρήση του χώρου και ρύθμιση της θέσης των ηλεκτρικών σκιάστρων για την πλήρη εκμετάλλευση του φυσικού διαθέσιμου φωτισμού.
- ▲ **Κινητικότητα:** Παρακολούθηση κινητικότητας μέσω αισθητήρων ανίχνευσης παρουσίας προσωπικού και κατάλληλη ρύθμιση της λειτουργίας των συστημάτων.

Η δεύτερη κατηγορία κανόνων περιλαμβάνει κανόνες που εξασφαλίζουν την ενεργειακή αποδοτικότητα της τυπικής κτιριακής μονάδας. Σε αυτή την κατηγορία εμπεριέχονται κανόνες για:

- ▲ **Βελτιστοποίηση Έναρξης / Λήξης Λειτουργίας Συστημάτων:**
Περιλαμβάνονται κανόνες που εξασφαλίζουν την έναρξη και λήξη των συσκευών ανάλογα με το ωράριο λειτουργίας του εκάστοτε χώρου, συμπεριλαμβάνοντας και διαδικασίες προθέρμανσης και ομαλής λήξης των συστημάτων, στο πλαίσιο της εξοικονόμησης ενέργειας.
- ▲ **Ιεράρχηση Διαδικασιών:** Περιλαμβάνονται κανόνες που αφορούν στην ιεράρχηση των παρεμβάσεων για τη ρύθμιση της επιθυμητής θερμοκρασίας – υγρασίας, του φωτισμού και της ποιότητας αέρα του χώρου, με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας. Σε αυτό το πλαίσιο, περιλαμβάνονται και κανόνες για τη «συνεργασία» των συσκευών με τις συνθήκες του περιβάλλοντα χώρου του κτιρίου, όπως εισαγωγή νωπού αέρα για ψύξη και ρύθμιση υγρασίας και εισαγωγή εξωτερικής φωτεινότητας για ρύθμιση του επιπέδου φωτισμού μέσω κινούμενων σκιάστρων.
- ▲ **Βελτίωση Ενεργειακής Διαχείρισης:** Αφορά σε κανόνες που ελέγχουν την ενεργειακή κατανάλωση του κάθε χώρου και του κτιρίου γενικά, με στόχο να εντοπίζονται οι περίοδοι που παρατηρούνται υψηλές ενεργειακές καταναλώσεις και τα συστήματα που συντελούν στη δημιουργία αιχμών φορτίου και στην εξομάλυνση του φορτίου, όπου αυτό καθίσταται δυνατό, χωρίς να υποβαθμίζεται η θερμική άνεση.

Για κάθε μία από τις παραπάνω δύο κατηγορίες υπάρχουν τα εξής είδη κανόνων, που αποτελούν και βήματα της διαδικασίας της μονάδας απόφασης για τον τελικό καθορισμό του τρόπου παρέμβασης:

- ⤴ **Αρχικοποίηση:** Αφορά σε κανόνες έχουν στόχο να ορίσουν τα επιτρεπτά εύρη μεταβλητών των συνθηκών του χώρου (θερμοκρασία, υγρασία, ποιότητα αέρα), που θα πρέπει να τηρούνται στο πλαίσιο ενός άνετου εσωκλίματος.
- ⤴ **Διάγνωσης Ανάγκης Παρέμβασης:** Εμπεριέχει κανόνες που καθορίζουν την ανάγκη παρέμβασης, όπως είναι η θέρμανσης, ψύξη, ύγρανση, αφύγρανση, εξαερισμός και φωτισμός.
- ⤴ **Διαβάθμιση Απόκλισης Συνθηκών Χώρου:** Περιλαμβάνει κανόνες με στόχο να ποσοτικοποιήσουν την απόκλιση της επιθυμητής (από την χρήση) από την τρέχουσα κατάσταση του δωματίου.
- ⤴ **Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης:** Αφορά σε κανόνες επιλογής του ενεργειακού συστήματος που θα καλύψει την ανάγκη παρέμβασης, ανάμεσα στα συστήματα κλιματισμού (θέρμανσης και ψύξης), εξαερισμού, φωτισμού και σκίασης.
- ⤴ **Καθορισμός Έντασης Επέμβασης:** Περιλαμβάνει κανόνες καθορισμού του επιπέδου λειτουργίας των ενεργειακών συστημάτων, ανάλογα πάντα με τις βαθμίδες των ενεργοποιητών των συστημάτων.

Σε ορισμένες περιπτώσεις όπου δεν είναι ιδιαίτερα πολύπλοκες, ένας κανόνας μπορεί ταυτόχρονα να περιλαμβάνει δύο από τα παραπάνω είδη (π.χ. διαβάθμιση απόκλισης συνθηκών χώρου και διάγνωσης ανάγκης παρέμβασης).

Η τρίτη κατηγορία κανόνων αφορά στους κανόνες συμβατότητας της μονάδας απόφασης για την επίλυση αντιφατικών αιτημάτων. Στην κατηγορία αυτή εμπεριέχονται κανόνες που επιλύουν προβλήματα ασυμβατότητας στον τρόπο παρέμβασης όταν η μηχανή συμπερασμού πρέπει να επεξεργαστεί αντιφατικά αιτήματα για ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του κλιματισμού, του εξαερισμού, των φωτιστικών σωμάτων, των διαδικασιών ύγρανσης και αφύγρανσης.

Διατήρηση Ιστορικών Δεδομένων και Εκμάθηση Μοντέλου

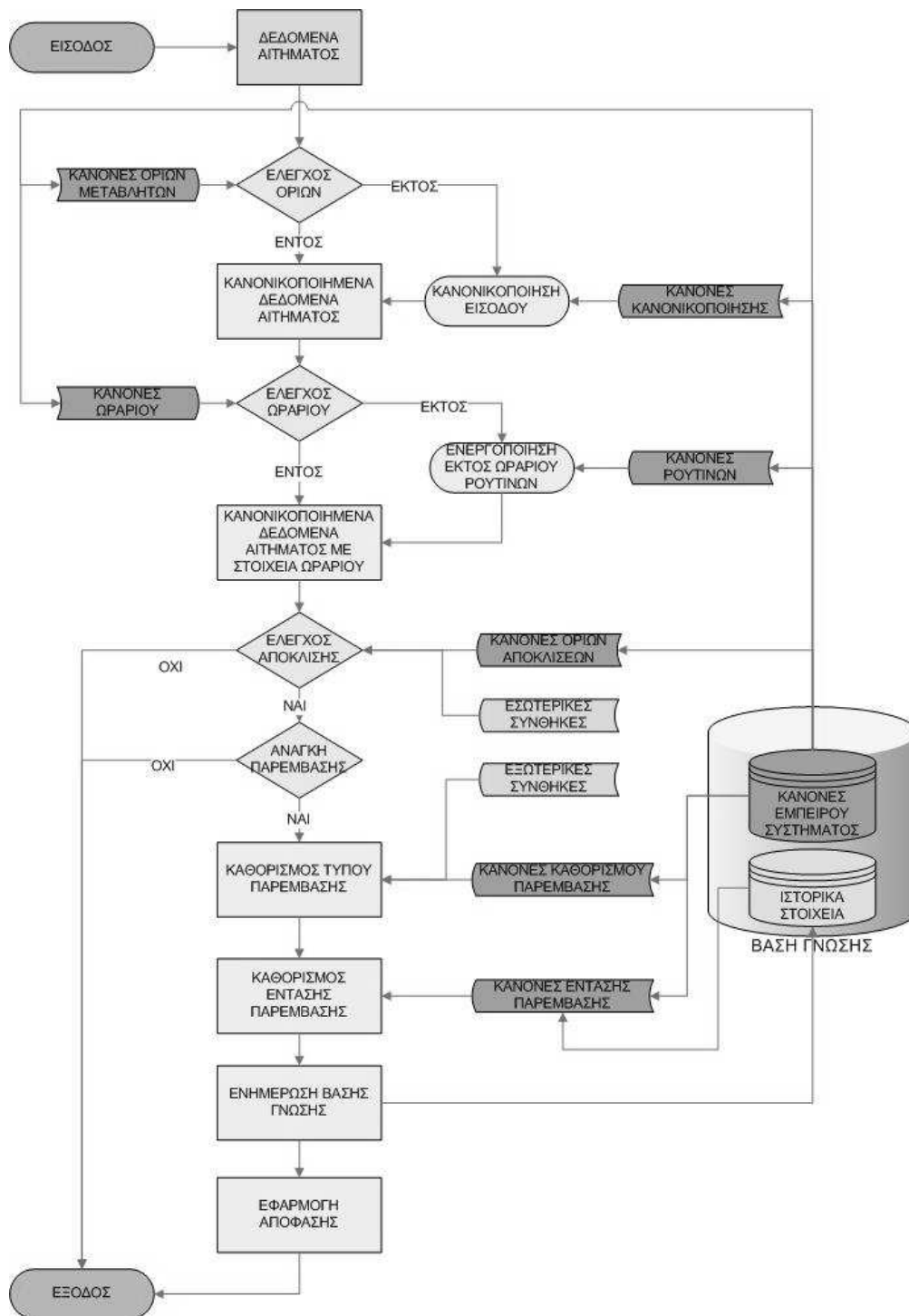
Η μεθοδολογία παρέχει την δυνατότητα καταγραφής των αιτημάτων, της τρέχουσας κατάστασης και της εξόδου της μηχανής συμπερασμού για κάθε χώρο εμπλουτίζοντας τη βάση γνώσης που περιέχει. Οι καταγραφές πραγματοποιούνται σε κάθε κλήση του έμπειρου συστήματος υποστήριξης απόφασης και περιέχει τα παρακάτω δεδομένα.

Παράμετρος	Περιγραφή
<i>TimeStamp</i>	Η χρονική στιγμή που πραγματοποιήθηκε η καταγραφή
<i>RoomCode</i>	Ο κωδικός του χώρου από τον οποίο προήλθε το αίτημα
<i>SetTemp</i>	Η επιθυμητή θερμοκρασία για τον χώρο
<i>CurTemp</i>	Η τρέχουσα θερμοκρασία του χώρου
<i>CurHum</i>	Η τρέχουσα υγρασία του χώρου
<i>CurAir</i>	Η τρέχουσα ποιότητα αέρα του χώρου

Πίνακας 1 - Δεδομένα καταγραφής

Συνολική παρουσίαση μεθοδολογίας ευφυούς ελέγχου

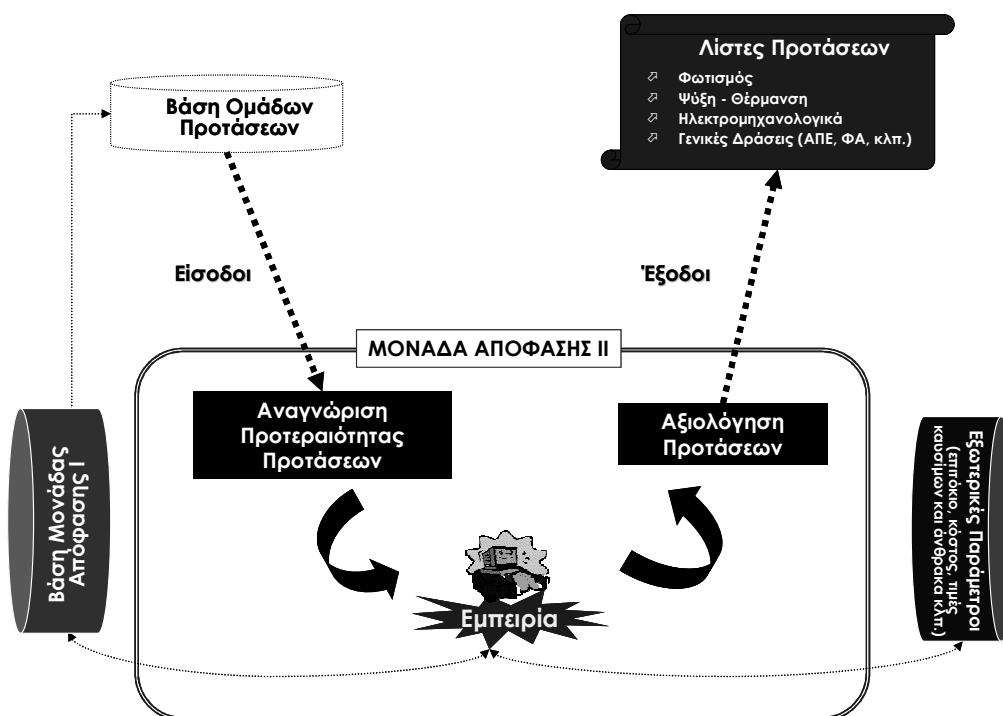
Ανακεφαλαιώνοντας και συνθέτοντας τα σημεία της προτεινόμενης μεθοδολογίας ευφυούς έλεγχου χώρων που παρουσιάστηκαν παρατίθεται το ακόλουθο λογικό διάγραμμα.



Σχήμα 7 - Μεθοδολογία ευφρούς ελέγχου

0.4.2 Συνολικός Ενεργειακός Έλεγχος

Η μεθοδολογική προσέγγιση του συνολικού ενεργειακού ελέγχου ενός κτιρίου αποτελεί το δεύτερο επίπεδο αντιμετώπισης του προβλήματος της διαχείρισης πόρων σε κτίρια. Τα βήματα ανάπτυξης της προτεινόμενης μεθοδολογίας παρουσιάζονται ξεκινώντας από την συλλογή προτάσεων ενεργειακής βελτίωσης και την αναγνώριση της προτεραιότητας κάθε πρότασης. Χρησιμοποιώντας την λεπτομερή καταγραφή δεδομένων από τον ευφυή έλεγχο του κτιρίου και οικονομοτεχνικές παραμέτρους πραγματοποιείται αξιολόγηση εφαρμογής των προτάσεων και προκύπτει ένα σύνολο, ταξινομημένων ανά ενεργειακό όφελος, προτάσεων. Η γενική προσέγγιση της μεθοδολογίας παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 8 - Συνολικός Ενεργειακός Έλεγχος

Προτάσεις Ενεργειακής Βελτίωσης

Η μεθοδολογία συνολικού ενεργειακού ελέγχου αποτελεί ένα εργαλείο στρατηγικής αξιολόγησης των μέτρων που είναι δυνατό να εφαρμοστούν σε ένα συγκεκριμένο κτίριο με σκοπό την ενεργειακής βελτίωσή του και την προστασία του περιβάλλοντος^[36]. Οι προτάσεις αυτές αποτελούν ένα σύνολο παρεμβάσεων στον εξοπλισμό και το κέλυφος του κτιρίου και συνοδεύονται από οικονομικά στοιχεία για την αξιολόγησή τους.

Το μοντέλο της πρότασης που χρησιμοποιεί η προτεινόμενη μεθοδολογία φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΠΡΟΤΑΣΗ	
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΤΑΣΗΣ	
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	
ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	
ΕΤΗ	
ΕΠΙΤΟΚΙΟ	
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΑ ΕΤΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
	ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ
	ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
	ΟΦΕΛΗ CO ₂

Πίνακας 2 - Μοντέλο πρότασης

Δείκτες Κτιρίου - Πρότυποι Δείκτες

Οι δείκτες ενεργειακής κατανάλωσης^[37] στο κτίριο ακολουθούν την κατηγοριοποίηση των προτάσεων. Έτσι, χρησιμοποιούνται δείκτες φωτισμού, ψύξης – θέρμανσης, ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και γενικές προτάσεις (ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, φυσικό αέριο κ.α.) για όλους τους χώρους του κτιρίου.

Συγκεκριμένα, η ομάδα δεικτών αποτελείται από τους ακόλουθους δείκτες στην μορφή KW ανά m² :

- **Δ₁:** Κατανάλωση Φωτισμού / Επιφάνεια Εξεταζόμενου Χώρου
- **Δ₂:** Κατανάλωση Ψύξης – Θέρμανσης / Επιφάνεια Εξεταζόμενου Χώρου
- **Δ₃:** Κατανάλωση Ηλεκτρομηχανολογικού Εξοπλισμού / Επιφάνεια Εξεταζόμενου Χώρου
- **Δ₄:** Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας / Επιφάνεια Κτιρίου

Αξιολόγηση Προτάσεων

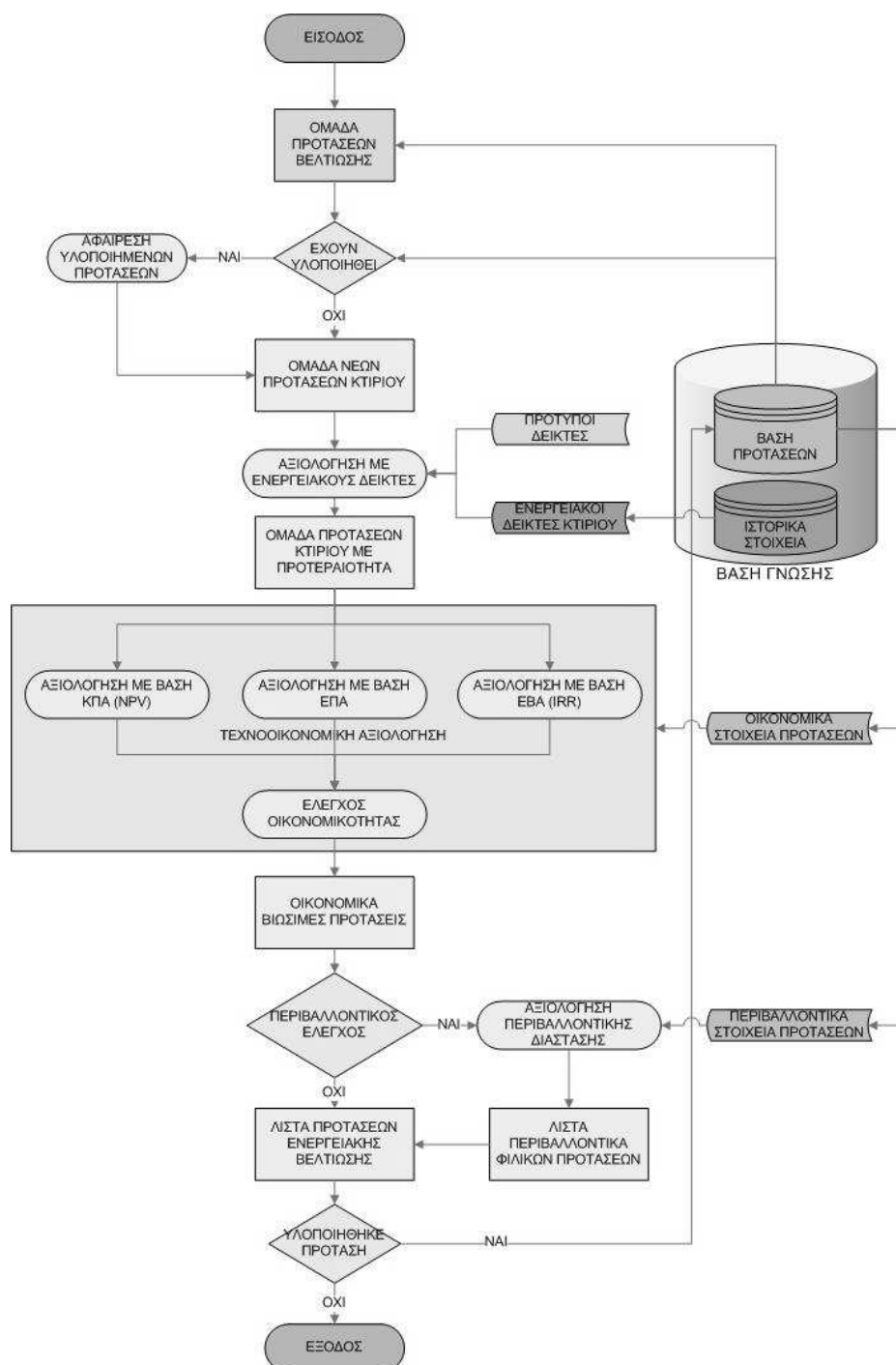
Οι εξεταζόμενες προτάσεις ελέγχονται, στη συνέχεια, για την οικονομική τους αποδοτικότητα, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα ενεργειακά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου κτιρίου, όσο και τις σχετιζόμενες εξωτερικές παραμέτρους, όπως είναι το επιτόκιο, οι τιμές καυσίμων, το κόστος εξοπλισμού, η υπολειμματική αξία του εξοπλισμού κλπ. Οι τρεις έλεγχοι με τους οποίους εξετάζεται η βιωσιμότητα^[38] της κάθε πιθανής πρότασης είναι ο έλεγχος της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ), ο έλεγχος της Έντοκης Περιόδου Αποπληρωμής (ΕΠΑ) και ο έλεγχος του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (ΕΒΑ). Εάν η βιωσιμότητα της πιθανής πρότασης απορριφθεί και από τους τρεις παραπάνω ελέγχους η διαδικασία οδηγείται στην εξέταση της

επόμενης πιθανής πρότασης. Με αυτό τον τρόπο η διαδικασία καταλήγει σε τρεις λίστες προτάσεων αντίστοιχες με τους ελέγχους που έγιναν.

Στη συνέχεια, η ροή οδηγείται στη διεξαγωγή ενός επιπλέον ελέγχου που έχει να κάνει με τις περιβαλλοντικές επιδόσεις της πρότασης. Ο έλεγχος είναι προαιρετικός και αφορά στη δυνατότητα αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της εξεταζόμενης πρότασης μέσω της σύνδεσης της πρότασης με τα σχετιζόμενα ενεργειακά χαρακτηριστικά του κτιρίου και με τις σχετιζόμενες εξωτερικές παραμέτρους. Οι παράμετροι αυτοί έχουν να κάνουν κυρίως με τις εξελίξεις αλλά και τις ευκαιρίες της κλιματικής αλλαγής, λαμβάνοντας υπόψη την τιμή του άνθρακα, τους συντελεστές εκπομπών κ.α. Εάν η εξεταζόμενη πρόταση περάσει τον συγκεκριμένο έλεγχο τότε θεωρείται περιβαλλοντικά φιλική πρόταση και ενσωματώνεται στην τελευταία (τέταρτη κατά σειρά) λίστα προτάσεων.

Συνολική παρουσίαση μεθοδολογίας ενεργειακού ελέγχου

Τα σημεία της προτεινόμενης μεθοδολογίας συνολικού ενεργειακού ελέγχου τα οποία αναλύθηκαν αποτελούν τα βασικά βήματα του λογικού διαγράμματος που ακολουθεί. Στο διάγραμμα αυτό παρουσιάζονται και στη συνέχεια αναλύονται όλα τα βήματα της μεθοδολογίας ακολουθώντας την ροή των δεδομένων και των υπολογιστικών διαδικασιών.



Σχήμα 9 - Μεθοδολογία ενεργειακού ελέγχου

0.5 Πληροφοριακό Σύστημα και Εφαρμογή

Αρχιτεκτονική Συστήματος και Τεχνολογία

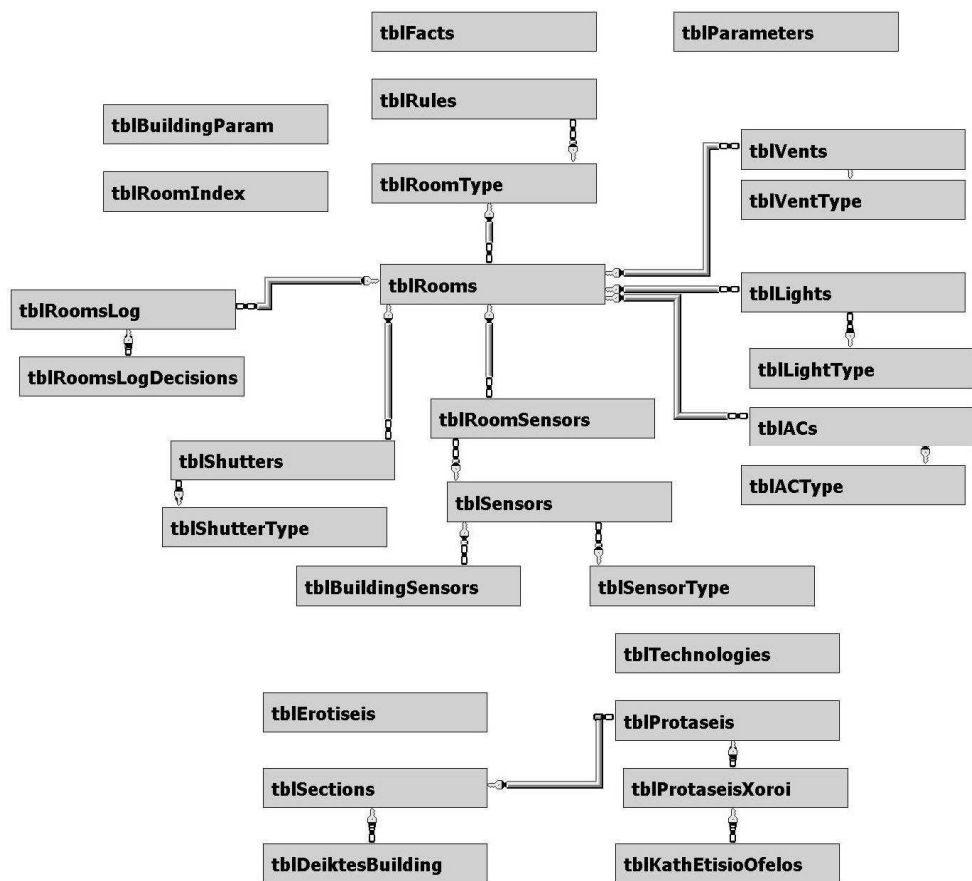
Η μεθοδολογία που υποστηρίζεται στο πλαίσιο της διατριβής υλοποιήθηκε υπό τη μορφή πληροφοριακού συστήματος και εφαρμόστηκε πιλοτικά σε κτίριο γραφείων. Ως προγραμματιστική πλατφόρμα ανάπτυξης το πληροφοριακό σύστημα χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα .NET 2005 της Microsoft, μία σύγχρονη πλατφόρμα, που φέρει την πλήρη υποστήριξη και προώθηση της Microsoft. Διαθέτει πολλά εξελιγμένα εργαλεία και βιβλιοθήκες κατασκευής λογισμικού, επικοινωνεί με όλα τα είδη βάσεων δεδομένων και υποστηρίζει 4 διαφορετικές γλώσσες προγραμματισμού (C#, C++, Visual Basic, J#)^[39]. Οι εφαρμογές μπορούν να αναπτυχθούν σε οποιαδήποτε από αυτές τις γλώσσες ή και με συνδυασμό αυτών ανά τμήματα. Ο συνδυασμός των ανωτέρω παραγόντων υπεροχής της πλατφόρμας .NET θα καταστήσει το σύστημα σύγχρονο, αξιόπιστο, επεκτάσιμο και ευέλικτο.

Μολονότι η ευελιξία της πλατφόρμας .NET επιτρέπει τη συγγραφή του κώδικα της εκάστοτε εφαρμογής σε οποιαδήποτε από τις 4 υποστηριζόμενες γλώσσες προγραμματισμού, για την υλοποίηση του συστήματος, ο πηγαίος κώδικας έχει γραφεί αποκλειστικά Visual Basic^[40].

Η ανάγκη αποθήκευσης και επεξεργασίας του μεγάλου όγκου των δεδομένων της μεθοδολογίας οδήγησε στην χρήση του SQL Server 2000^[41] ως διαχειριστικού συστήματος βάσεων δεδομένων. Η επιλογή αυτή δίνει και το πρόσθετο πλεονέκτημα ότι, όντας και η πλατφόρμα ανάπτυξης .NET και ο SQL Server 2000 εργαλεία της Microsoft, η συμβατότητα στην επικοινωνία μεταξύ τους είναι εγγυημένη και αξιόπιστη.

Η μηχανή συμπερασμού της μεθοδολογίας ευφυούς ελέγχου χώρων κτιρίου βασίστηκε στο έμπειρο σύστημα CLIPS^[42]. Το CLIPS είναι ένα εργαλείο εφαρμογής εμπειρών συστημάτων το οποίο αναπτύχθηκε από τον κλάδο τεχνολογίας λογισμικού της NASA^[43]. Από την πρώτη έκδοσή του, το 1986, έχει υποστεί συνεχή βελτίωση και τώρα χρησιμοποιείται ευρέως ανά την υφήλιο.

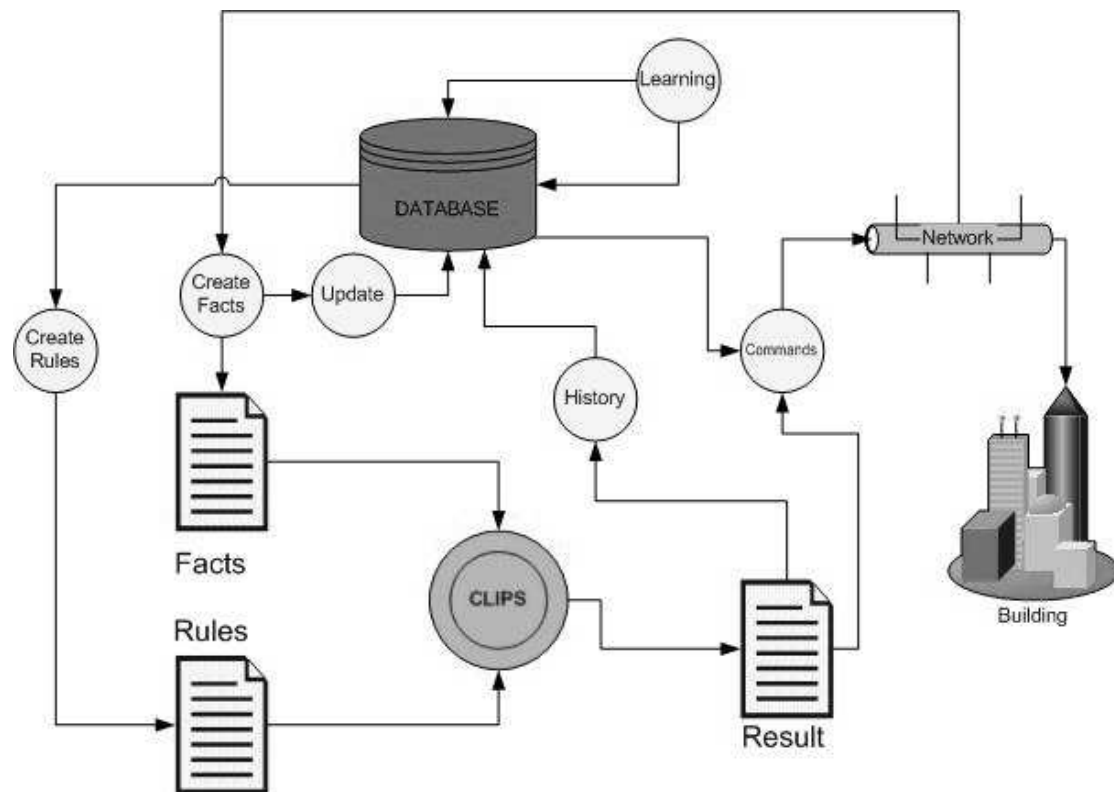
Οι μοντελοποιήσεις, οι βάσεις γνώσης και οι βάσεις λειτουργίας της μεθοδολογίας ενοποιήθηκαν σε μια ενιαία βάση δεδομένων^[44]. Οι προγραμματιστικές οντότητες του συστήματος που αναπτύχθηκε επικοινωνούν με την βάση επιτελώντας τις προκαθορισμένες από την μεθοδολογία λειτουργίες^[45]. Το διάγραμμα οντοτήτων συσχετίσεων της συνολικής βάσης δεδομένων παρουσιάζεται στη συνέχεια.



Σχήμα 10 - Ενοποιημένη βάση δεδομένων

Σύστημα Ευφυούς Ελέγχου Χώρων Κτιρίου

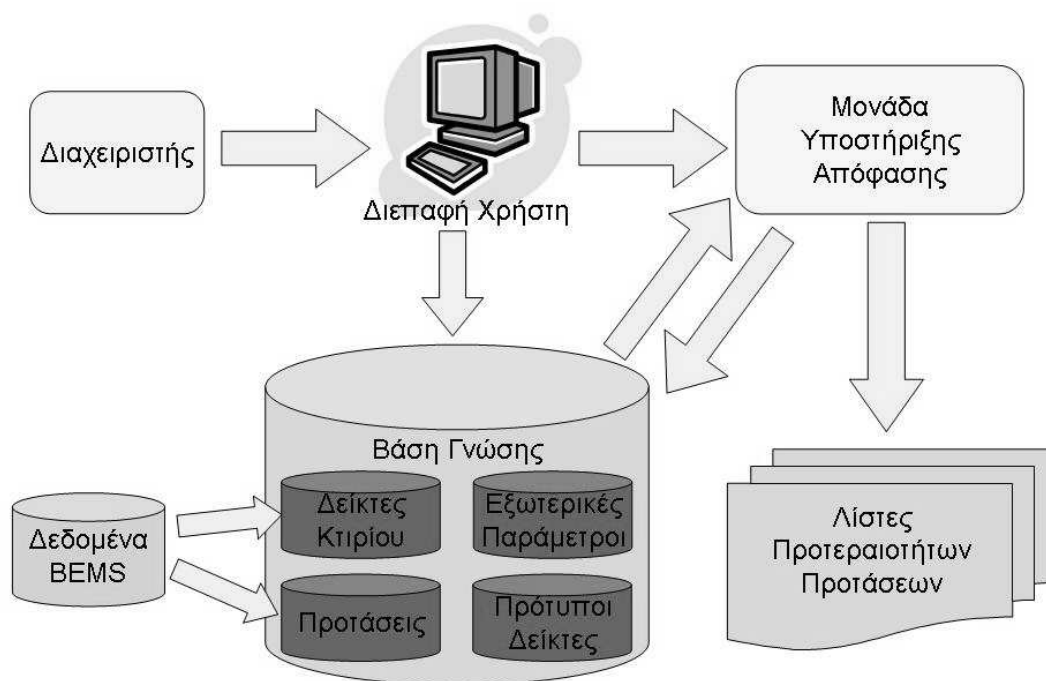
Η μεθοδολογία ευφυούς ελέγχου χώρων κτιρίου υλοποιήθηκε με τα προγραμματιστικά εργαλεία που αναφέρθηκαν. Η αρχιτεκτονική και οι ροές δεδομένων του συστήματος ευφυούς ελέγχου χώρων παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 11 - Αρχιτεκτονική συστήματος ελέγχου χώρων

Σύστημα Συνολικού Ενεργειακού Ελέγχου

Η μεθοδολογία συνολικού ενεργειακού ελέγχου αποτέλεσε την βάση του δεύτερου συστήματος που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της διατριβής. Όπως έχει αναφερθεί τα δυο συστήματα χρησιμοποιούν την ίδια βάση δεδομένων με διαφορετικές λειτουργίες κάθε φορά. Η γενική αρχιτεκτονική του συστήματος ενεργειακού ελέγχου φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 12 - Αρχιτεκτονική συστήματος ενεργειακού ελέγχου

Εφαρμογή Συστήματος σε Πραγματικές Συνθήκες

Στο πλαίσιο της διατριβής και του έργου «ΕΞΕΝ-2Ε: Ευφυή Κτίρια – ΕΞοικονόμηση ΕΝέργειας στα κτίρια μέσω ευφυούς Ελέγχου και Επικοινωνιών», τα συστήματα που περιγράφηκαν δοκιμαστήκαν πιλοτικά στο κτίριο της εταιρείας ΖΗΝΩΝ στα Γλυκά Νερά.

Το κτίριο που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή του μοντέλου αποτελείται από τρεις ορόφους συνολικής επιφάνειας 485.22 m². Οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου καλύπτονται πλήρως από ηλεκτρισμό και δεν υπάρχουν άλλοι τρόποι παραγωγής ενέργειας.

Εφαρμογή Συστήματος Ευφυούς Ελέγχου Χώρων Κτιρίου

Για τις ανάγκες της πιλοτικής λειτουργίας, μια πλήρης τεχνική περιγραφή του κτιρίου και κάθε στοιχείου του δημιουργήθηκε στη βάση του συστήματος ευφυούς ελέγχου. Στη συνέχεια, το σύστημα εφαρμόστηκε, δοκιμάστηκε και βελτιστοποιήθηκε για το συγκεκριμένο κτίριο για χρονικό διάστημα περίπου έξι μηνών. Η εφαρμογή του

συστήματος ήταν απαραίτητη για την καλύτερη ρύθμιση των παραμέτρων του συστήματος και την αξιολόγηση της λειτουργίας του σε πραγματικές συνθήκες.

Τα αποτελέσματα σε κάθε κατηγορία παρουσιάζονται παρακάτω:

- *Θερμοκρασία- Σχετική Υγρασία – Ποιότητα Αέρα*: Οι μετρήσεις των συνθηκών των δωματίων έδειξαν ότι τα επίπεδα θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και ποιότητας αέρας ακολουθούσαν τις τιμές που καθορίστηκαν από τους χρήστες του συστήματος
- *Φωτεινότητα*: Τα επίπεδα φωτεινότητας στους χώρους του κτιρίου, επίσης, εξασφάλισαν άνετες συνθήκες στο κτίριο παρά το γεγονός ότι η προσπάθεια μεταβολής της έντασης του τεχνητού και του φυσικού φωτισμού με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας δεν γίνεται ευχάριστα αποδεκτή από το προσωπικό του κτιρίου.
- *Εξοικονόμηση Ενέργειας*: Τα αθροιστικά αποτελέσματα της λειτουργίας του κτιρίου συγκρινόμενα με αντίστοιχα προηγούμενων ετών ανέδειξαν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 10%. Πιο αναλυτική εξέταση των συγκεντρωμένων πληροφοριών έδειξε ότι η εξοικονόμηση ενέργειας ήταν εντονότερη τις θερμές ημέρες του έτους.

Εφαρμογή Συστήματος Συνολικού Ενεργειακού Ελέγχου

Αξιοποιώντας την αναλυτική καταγραφή του συστήματος ευφυούς έλεγχου χώρων κτιρίου, κατά τα πρότυπα της μεθοδολογίας, επιλέχθηκαν οι προτάσεις ενεργειακής βελτίωσης για το φωτισμό, τη θέρμανση και ψύξη, τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό καθώς και οι γενικές προτάσεις για κάθε έναν από τους χώρους του κτιρίου. Ορισμένες από τις προτάσεις αυτές απέκτησαν υψηλή προτεραιότητα μετά την αξιολόγηση τους με βάση τους ενεργειακούς δείκτες του κτιρίου και τους πρότυπους δείκτες ενεργειακής έντασης.

0.6 Συμπεράσματα – Προοπτικές

Αξιολόγηση – Συμπεράσματα

Η αποδοτική λειτουργία ενός σύγχρονου κτιρίου και η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελούν ένα πολυδιάστατο πρόβλημα με νομοθετικές, κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές προεκτάσεις. Η διατριβή στο πλαίσιο ανάπτυξης και εφαρμογής της μεθοδολογίας διαχείρισης πόρων σε κτίρια διερεύνησε τις παραμέτρους του προβλήματος και ανέδειξε τα ακόλουθα συμπεράσματα για την επιχειρηματική και κοινωνική επικρατούσα κατάσταση.

- Η εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την κατασκευαστική μελέτη και υποδομή του εκάστοτε κτιρίου.
- Το νομοθετικό πλαίσιο για την προώθηση της εξοικονόμησης ενέργειας που έχει εφαρμοστεί μέχρι σήμερα σε κοινοτικό και σε εθνικό επίπεδο είναι αποσπασματικό και αναποτελεσματικό.
- Το αρχικό κόστος εφαρμογής μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας είναι απαγορευτικά υψηλό για τους σύγχρονους οικονομικούς δείκτες του κτιριακού τομέα

Εξειδικεύοντας τα συμπεράσματα της διατριβής, από την εφαρμογή και αξιολόγηση της μεθοδολογίας, τεκμηριώνονται τα πορίσματα που ακολουθούν.

- Η αποτελεσματική μοντελοποίηση και παραμετροποίηση των εμπλεκόμενων οντοτήτων στο πρόβλημα που πραγματεύεται η διατριβή παρέχει δυνατότητες προσαρμογής, επέκτασης και γενίκευσης στην εφαρμογή της μεθοδολογίας σε ποικίλους τύπους κτιρίων με διαφορετικές απαιτήσεις και εξοπλισμό.
- Η υιοθέτηση ευφύων τεχνικών ελέγχου και ειδικότερα ενός έμπειρου συστήματος στην διαχείριση των πόρων ενός κτιρίου παρέχει σημαντικά περιθώρια βελτίωσης της κτιριακής λειτουργίας
- Η εφαρμογή της μεθοδολογίας συνολικού ενεργειακού ελέγχου με πραγματικά στοιχεία ανέδειξε προτάσεις ενεργειακής βελτίωσης οι οποίες είχαν ήδη προταθεί από εμπειρογνώμονες

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΕΘΝΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ (2008), "Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, κατά μεγάλη γεωγραφική περιοχή, περιφέρεια, νομό και κατά κατηγορία χρήσης: 1993-2007 "
- [2] Katharina Kowalski, Sigrid Stagl, Reinhard Madlener, Ines Omann (2009), "Sustainable energy futures: Methodological challenges in combining scenarios and participatory multi-criteria analysis", European Journal of Operational Research, Volume 197, Issue 3, 16 September 2009, Pages 1063-1074
- [3] Επίσημος δικτυακός τόπος μεθοδολογίας GEM:
<http://www.greenglobes.com>
- [4] John Eggink (2006), "Managing energy costs: a behavioral and non-technical approach", The Fairmont Press, Inc. p-194
- [5] Επίσημος δικτυακός τόπος προγράμματος ENERGY STAR:
<http://www.energystar.gov>
- [6] Architectural Record (1953), "Commercial buildings", New York : F.W. Dodge
- [7] Gordon S. Vincent, John Peacock (1985), "The automated building", Architectural Press
- [8] Abraham Warszawski (1999), "Industrialized and automated building systems", Taylor & Francis
- [9] Cengel, Yunus A. (1998), "Θερμοδυναμική για μηχανικούς", ΤΖΙΟΛΑ
- [10] McQuiston, Faye C., Parker, Jerald D (2009), "Θέρμανση, αερισμός και κλιματισμός", ΙΩΝ
- [11] David A. Coley (1999), "An introduction to genetic algorithms for scientists and engineers", World Scientific
- [12] Mitsuo Gen, Runwei Cheng (2000), "Genetic algorithms and engineering optimization", Wiley
- [13] Lotfi A. Zadeh (1965), "Fuzzy Sets", Information and Control, vol 8, Pages 338-353
- [14] Robert J. Marks II (1994), "Fuzzy logic technology and applications", IEEE Technology Update Series
- [15] Earl Cox (1999), "The fuzzy systems handbook : a practioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems - 2nd ed", San Diego : AP Professional

- [16] George Bojadziev, Maria Bojadziev (2004), "Fuzzy Logic for Business, Finance, and Management (Advances in Fuzzy Systems - Applications and Theory)", Advances in Fuzzy Systems - Applications and Theory, Vol 12
- [17] McCulloch, W. and Pitts, W. (1943), "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity", Bulletin of Mathematical Biophysics, 7:115 - 133.
- [18] Christopher M. Bishop (1996), "Neural Networks for Pattern Recognition", Oxford University Press, USA
- [19] Donald A. Waterman (1986), "A guide to expert systems", Reading, MA. : Addison-Wesley.
- [20] Ronald J. Brachman, Hector J. Levesque (2004), "Knowledge representation and reasoning ", Amsterdam : Morgan Kaufmann Publishers.
- [21] Susan Craw, Nirmalie Wiratunga, Ray C. Rowe (2006), "Learning adaptation knowledge to improve case-based reasoning", Artificial Intelligence Vol. 170, Pages 1175–1192
- [22] K. Hanney, M.T. Keane (1997), "The adaptation knowledge bottleneck: How to ease it by learning from cases", Proceedings of the 2nd International Conference on Case-Based Reasoning, Springer-Verlag, Berlin, Pages 359–370.
- [23] Capehart B., Turner W., Kennedy W. (2003), "Guide to energy management", The Fairmont Press, Fourth edition
- [24] The Chartered Institution Building Services Engineers (1991), "Energy Audits and Surveys", London
- [25] Commission of the European Communities (2000), "Action Plan to Improve Energy Efficiency in the European Community", Brussels
- [26] Athina G. Gaglia, Constantinos A. Balaras, Sevastianos Mirasgedis, Elena Georgopoulou, Yiannis Sarafidis, Dimitris P. Lalas (2007), "Empirical assessment of the Hellenic non-residential building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings", Energy Conversion and Management, Volume 48, Issue 4, April 2007, Pages 1160-1175
- [27] Weston J. F., Brigham E. F. (1986), "Βασικές αρχές της χρηματοοικονομικής διαχείρισης και πολιτικής", Εκδόσεις Παπαζήση
- [28] ASHRAE (2008), "HVAC Systems and Equipment Handbook", ASHRAE
- [29] P.A. Strachan (2008), "Simulation support for performance assessment of building components", Building and Environment, Volume 43, Issue 2, February 2008, Pages 228-236
- [30] Alexis Tsoukiàs (2008), "From decision theory to decision aiding methodology", European Journal of Operational Research, Volume 187, Issue 1, 16 May 2008, Pages 138-161

- [31] Yingxu Wang, Vincent Chiew (2008), "On the cognitive process of human problem solving", Cognitive Systems Research, In Press
- [32] ASHRAE (2005), "Application Handbook", ASHRAE
- [33] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (2008), "Τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια", Εκδόσεις ΚΑΠΕ
- [34] Franz J.Kurfess (2004), "Artificial Intelligence", Encyclopedia of Physical Science and Technology, 2004, Pages 609-629
- [35] Michael Donn (2001), "Tools for quality control in simulation", Building and Environment, Volume 36, Issue 6, July 2001, Pages 673-680
- [36] B. Caudana, F. Conti, G. Helcke, R. Pagani (1995), "A prototype expert system for large scale energy auditing in buildings", Pattern Recognition, Volume 28, Issue 10, October 1995, Pages 1467-1475
- [37] Patterson M. G., (1996), "What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues", Energy Policy, Volume 24, Issue 5, 377-390.
- [38] Weston J. F., Brigham E. F. (1986), "Βασικές αρχές της χρηματοοικονομικής διαχείρισης και πολιτικής", Εκδόσεις Παπαζήση
- [39] Andrew Parsons, Nick Randolph (2006), "Professional Visual Studio 2005", Wrox, 2006
- [40] Evangelos Petroutsos (2006), "Mastering Microsoft Visual Basic 2005", Sybex, 1 edition 2006
- [41] Robert Vieira (2000), "Professional SQL Server 2000 Programming", Wrox, 1 edition 2000
- [42] Joseph C Giarratano (1987), "CLIPS user's guide: Version 4.1 of CLIPS", Artificial Intelligence Section, Johnson Space Center (1987)
- [43] Joseph C Giarratano (1998), "Clip Software, Expert Systems", Cambridge, Mass. : Thomson Course Technology, c2005.
- [44] Chengying Xu, Yung C. Shin (2008), "Intelligent Systems: Modeling, Optimization, and Control (Automation and Control Engineering Series)", CRC, 1 edition 2008
- [45] Insup Lee, Joseph Y-T. Leung, Sang H. Son (2007), "Handbook of Real-Time and Embedded Systems", Chapman & Hall/CRC, 1 edition 2007

ΚΕΦ. 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Το Πρόβλημα

Η αυτοματοποιημένη λειτουργία των κτιρίων που αποσκοπεί στην εξοικονόμηση ενέργειας, στη μείωση του περιβαλλοντικού κόστους και στη διασφάλιση επιθυμητών επιπέδων ποιότητας λειτουργίας, αποτελεί μία από τις σημαντικές ερευνητικές κατευθύνσεις στον ακαδημαϊκό χώρο. Επίσης, αναδεικνύεται ανάμεσα στις κύριες επενδυτικές προτεραιότητες σύγχρονων επιχειρήσεων και είναι, πλέον, αναπτυξιακός στόχος των κυβερνήσεων των αναπτυσσόμενων χωρών. Στην κατεύθυνση αυτή έχουν δημιουργηθεί και εφαρμοσθεί σε διεθνές επίπεδο συστήματα κεντρικού συντονισμού, ελέγχου και διαχείρισης λειτουργιών κτιρίων, τα οποία χαρακτηρίζουν τα λεγόμενα «ευφυή κτίρια» (intelligent buildings). Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από ένα πλήθος αισθητήρων, ενεργοποιητών και μονάδων ελέγχου διασυνδεδεμένων μεταξύ τους μέσω δικτύων επικοινωνίας.

Η εξέλιξη των συστημάτων διαχείρισης λειτουργιών κτιρίων ακολούθησε την παρακάτω πορεία η οποία μπορεί να ταξινομηθεί σε τρεις γενιές συστημάτων^[1].

- Τα συστήματα πρώτης γενιάς τα οποία αποτελούνται από ένα πλήθος ανεξάρτητων υποσυστημάτων, τα οποία λειτουργούν χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τις επιδράσεις των διαφορετικών λειτουργιών μεταξύ τους. Κύριο χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών αποτελεί η χρήση τοπικών αυτοματισμών και σεναρίων ελέγχου για περιορισμένο τμήμα του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού του κτιρίου.
- Τα συστήματα δεύτερης γενιάς που αποτελούνται από υποσυστήματα, όπως αυτά της πρώτης γενιάς, τα οποία όμως συνδέονται μεταξύ τους μέσω δικτύου. Τα συστήματα αυτής της γενιάς δίνουν τη δυνατότητα κεντρικού συντονισμού και προγραμματισμού χρησιμοποιώντας δίκτυα επικοινωνιών (PROFIBUS, INSTABUS, LONWORKS, κλπ.) και προσφέροντας κεντρική σύνδεση και επικοινωνία όλων των ηλεκτρικών σημείων του δικτύου^[2]. Τα δίκτυα αυτά μεταδίδουν πληροφορίες και επιτρέπουν την επικοινωνία χωρίς περιορισμό στον αριθμό των χρηστών ή της συχνότητας με την οποία αυτοί θα επιχειρήσουν να ανταλλάξουν πληροφορίες, εντολές και μηνύματα. Η εγκατάστασή τους είναι παρόμοια με αυτή των δικτύων παροχής ενέργειας, αλλά στηρίζεται στη ψηφιακή τεχνολογία. Οι μέθοδοι ελέγχου στα συστήματα δεύτερης γενιάς δεν εξελίχθηκαν

αντίστοιχα με την δικτυακή υποδομή και αναλώθηκαν σε αυτοματοποιημένες διαδικασίες για την αναβάθμιση της δυνατότητας αντιμετώπισης έκτακτων καταστάσεων, την βελτίωση της ασφάλειας και την προσέγγιση των επιθυμητών εσωτερικών συνθηκών χωρίς ενεργειακή και περιβαλλοντική μέριμνα.

- Τα συστήματα τρίτης γενιάς^[3] αποτελούν συστήματα τα οποία έχουν τα χαρακτηριστικά της δεύτερης γενιάς αλλά διαθέτουν την ικανότητα ευφυούς διαχείρισης των λειτουργιών και εκμάθησης της συμπεριφοράς και των χαρακτηριστικών των κτιρίων και των χρηστών τους. Η προτεινόμενη μεθοδολογία και το σύστημα που υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της διατριβής απευθύνεται αποτελεί μια τέτοια ευφυή προσέγγιση του προβλήματος κεντρικού συντονισμού, ελέγχου και διαχείρισης λειτουργιών ενός σύγχρονου κτιρίου.

Παρά το γεγονός ότι τα συστήματα της πρώτης και της δεύτερης γενιάς είναι ευρέως διαδεδομένα και επιφέρουν σημαντικές διευκολύνσεις στους χρήστες των κτιρίων, δε διαθέτουν χαρακτηριστικά όπως αιτιολόγηση, εκμάθηση ή προσαρμοστικότητα, τα οποία αποτελούν χαρακτηριστικά της τρίτης γενιάς. Προσφάτως μόνο, έχει αρχίσει η έρευνα για τα συστήματα τρίτης γενιάς τα οποία θα διαθέτουν τα παραπάνω χαρακτηριστικά^[4].

Επίσης, αποτελεί γεγονός ότι μεγάλο ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο και ειδικότερα στις αναπτυγμένες χώρες καταναλώνεται στην ικανοποίηση των αναγκών του κτιριακού τομέα. Στην Ελλάδα, το ποσοστό αυτό κυμαίνεται στο 30% περίπου ανάλογα με την περιοχή και το μικροκλίμα της εκάστοτε περιοχής^[5].

Από τα παραπάνω, γίνεται εμφανής η ανάγκη δημιουργίας ενός μεθοδολογικού πλαισίου με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας με ενδεχόμενη χρήση νέων μεθοδολογιών υποστήριξης απόφασης, το οποίο θα λαμβάνει υπόψη του τις ιδιαιτερότητες του κτιρίου (δραστηριότητες που επιτελούνται, ιδιομορφίες των χώρων, κτλ.), τις δυναμικά διαμορφούμενες ανάγκες του χρήστη, τις συχνές και αντικρουόμενες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των λειτουργιών που συντελούνται (π.χ. εξαερισμός σε σχέση με τον κλιματισμό) αλλά και τη δυνατότητα διαχείρισης της κατανάλωσης ενέργειας με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας. Το πλαίσιο αυτό θα προσφέρει χαρακτηριστικά τρίτης γενιάς συστημάτων με ευφυή διαχείριση των λειτουργιών, της ενεργειακής κατανάλωσης του και της υποβοήθησης του αποφασίζοντα στη στοχοθέτηση και βελτίωση των ενεργειακών χαρακτηριστικών ενός κτιρίου.

1.2 Το Αντικείμενο και ο Στόχος της Διατριβής

Η προτεινόμενη μεθοδολογία της διατριβής έρχεται να καλύψει την πρόκληση, της ανάπτυξης ενός ευφυούς συστήματος εξοικονόμησης ενέργειας και βελτιστοποίησης των λειτουργιών των κτιρίων, αξιόπιστα και οικονομικά, με στόχο την ουσιαστική και ολοκληρωμένη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων και της παροχής υπηρεσιών για την αντιμετώπιση των σύγχρονων απαιτήσεων και καθημερινών καταστάσεων.

Αντικείμενο της διατριβής αποτελεί η δημιουργία μιας νέας πρότυπης μεθοδολογίας, η οποία, σύμφωνα με τις σύγχρονες απαιτήσεις τρίτης γενιάς συστημάτων, θα έχει ως κύριο στόχο την ολοκλήρωση του ελέγχου και της ευφυούς διαχείρισης διαφορετικών λειτουργιών των κτιρίων (π.χ. κλιματισμός, θέρμανση, εξαερισμός, φωτισμός κ.τ.λ.) με την υποβοήθηση της στρατηγικής ενεργειακής βελτίωσης του κτιρίου. Ο επιμέρους έλεγχος των λειτουργιών αυτών μπορεί να επιτευχθεί με τις ήδη υπάρχουσες συσκευές. Παρόλα αυτά, οι λειτουργίες αυτές πολλές φορές έρχονται σε αντίθεση μεταξύ τους με αποτέλεσμα να υπάρχει η ανάγκη ολοκληρωμένου ελέγχου αυτών. Το μοντέλο το οποίο προτείνεται παρέχει αυτή ακριβώς τη διάσταση, η οποία αποτελεί έλλειψη αρκετών από τα ήδη υπάρχοντα συστήματα.

Μια από τις κύριες συνιστώσες ανάπτυξης της μεθοδολογίας αποτελεί η μοντελοποίηση των ιδιοτήτων των χώρων και της συμπεριφοράς των χρηστών σε μία προσπάθεια βελτιστοποίησης της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων σε συνδυασμό με τη δυνατότητα ευφυούς διαχείρισης και ελέγχου των κτιριακών λειτουργιών με την χρήση κανόνων λειτουργίας εμπείρων συστημάτων, βάσεων γνώσης και τεχνοοικονομικών κριτηρίων.

Τα ευφυή χαρακτηριστικά της προτεινόμενης λύσης συνοψίζονται στη συνέχεια:

- Δυνατότητα κεντρικής διαχείρισης των διαφορετικών λειτουργιών.
- Εφαρμογή σε όσο το δυνατόν ευρύτερο φάσμα κτιρίων, καλύπτοντας τις εκάστοτε ιδιαιτερότητες τους όπως νοσοκομεία, δημόσια κτίρια, μονάδες παραγωγής κτλ.
- Χωροταξική αποτύπωση του ελεγχόμενου κτιρίου κατά την εγκατάσταση, έτσι ώστε να γίνεται βέλτιστος έλεγχος και διαχείριση όλων των εξαρτημάτων του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Η αποτύπωση αυτή κρίνεται αναγκαία με

βάση την προηγούμενη επισήμανση, γιατί σε κτίρια με ιδιάζουσες απαιτήσεις η διαχείριση ορισμένων χώρων είναι αυστηρά περιορισμένη.

- Δυνατότητα αυτοματοποιημένης διαχείρισης των επιμέρους συστημάτων βάσει των διαφορετικών δραστηριοτήτων που επιτελούνται σε διαφορετικά μέρη του κτιρίου και των διαφορετικών επιπέδων ποιότητας λειτουργίας.
- Δυνατότητα ελέγχου εξωτερικών παραγόντων που επηρεάζουν τις λειτουργίες.
- Δυνατότητα υπολογισμού της εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνεται.
- Τεχνοοικονομική αξιολόγηση προτάσεων ενεργειακής βελτίωσης του κελύφους και του εξοπλισμού του κτιρίου με χρήση ιστορικών στοιχείων λειτουργίας και οικονομικών παραμέτρων.

Αντικειμενικός στόχος του προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι η εφαρμογή νέων τεχνολογιών, ευφυών τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας και αξιολόγησης σε κτίρια με σκοπό την εξασφάλιση ιδανικών συνθηκών στο εσωτερικό τους και την παράλληλη προσπάθεια βέλτιστης ενεργειακής διαχείρισης του εξοπλισμού σε εφαρμοσμένο και στρατηγικό πλαίσιο με βασικό γνώμονα την εξοικονόμηση ενέργειας και την ελάχιστη περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Τέλος, στο πλαίσιο της αξιολόγησης του μοντέλου λειτουργίας, της μεθοδολογίας ελέγχου και του συστήματος που αναπτύχθηκε, πραγματοποιήθηκε πιλοτική εγκατάσταση σε κτίριο σύνθετης χρήσης (χώροι γραφείων και βιομηχανικοί χώροι) και εφαρμογή του για περίοδο έξι μηνών.

1.3 Η Συμβολή της Διατριβής

Η διατριβή αναμένεται να συμβάλει ουσιαστικά στην περαιτέρω ανάπτυξη και προώθηση μεθοδολογιών και συστημάτων κεντρικού συντονισμού, διαχείρισης και ελέγχου κτιρίων, παρέχοντας ένα νέο μεθοδολογικό πλαίσιο παραμετροποίησης, ευφυούς ελέγχου και αξιολόγησης επενδύσεων με οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια.

Η συμβολή της διατριβής στον επιστημονικό χώρο αναμένεται να προωθήσει την ανάπτυξη ευφυών τεχνικών για τη διαχείριση της ενεργειακής συμπεριφοράς σύγχρονων κτιρίων σύμφωνα με τις νέες πρακτικές και θεωρήσεις που αφορούν στην κάλυψη της άνεσης και της εξοικονόμησης ενέργειας. Η μεθοδολογία φιλοδοξεί, επίσης, να δώσει μία επιπλέον διάσταση στην διαχείριση της συνολικής ενέργειας των κτιρίων μέσω των εμπειρών συστημάτων και των δυνατοτήτων εκμάθησης και προσαρμογής των διαδικασιών ελέγχου. Η διάσταση αυτή ενδέχεται να συσχετίσει περαιτέρω τις τεχνολογίες τις ευφυείς τεχνικές ελέγχου και τις μεθοδολογίες αξιολόγησης επενδύσεων με τον κτιριακό τομέα ειδικά στα πεδία σχεδιασμού και κατασκευής αλλά και στον καθημερινό έλεγχο και στην εφαρμογή της εκάστοτε ενεργειακής πολιτικής. Επιπροσθέτως, η προσπάθεια παραμετρικής περιγραφής των στοιχείων ενός σύγχρονου κτιρίου με στόχο την παραγωγή μοντέλων ικανών να υποστηρίξουν τις απαιτήσεις της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε συνδυασμό με την βασική κατεύθυνση της γενικότητας της θα προωθήσει περαιτέρω την έρευνα στο πεδίο της μοντελοποίησης και βελτιστοποίησης των κτιριακών στοιχείων. Η διερεύνηση των πεδίων αυτών θα οδηγήσει σε τεχνικές λύσεις που θα αναβαθμίσουν την ενεργειακή ποιότητα των σύγχρονων κτιρίων και θα αυξήσουν την περιβαλλοντική μέριμνα του σημαντικού τομέα των κατασκευών.

Η περιβαλλοντική συνιστώσα της προτεινόμενης μεθοδολογίας αναμένεται, επίσης, να συσχετίσει τις σύγχρονες θεωρήσεις ενεργειακής πολιτικής, όπως οι μηχανισμοί του Πρωτοκόλλου του Κιότο, με την επιστήμη υποστήριξης αποφάσεων προσαρμοσμένες στον ευρύ κτιριακό τομέα. Η συσχέτιση αυτή θα δώσει το έναυσμα για εντονότερο ερευνητικό ενδιαφέρον και εξειδίκευση στην διαχείριση ρύπων και ενέργειας σε κτίρια με θετικό αντίκτυπο μελλοντικά στην προσπάθεια προστασίας του περιβάλλοντος στην οποία πρωτοστατεί η ακαδημαϊκή κοινότητα.

1.4 Η Δομή της Διατριβής

Ο τόμος αυτός παρουσιάζει την διαδικασία εκπόνησης της διατριβής με στόχο την ανάπτυξη και υποστήριξη μιας μεθοδολογίας ελέγχου των λειτουργιών ενός κτιρίου και την τεχνοοικονομική αξιολόγηση των πιθανών βελτιωτικών κινήσεων στο πεδίο της εξοικονόμησης ενέργειας. Η δομή του τόμου ακολουθεί τις δυο αυτές ευρύτερες ενότητες τις οποίες πραγματεύεται η διατριβή.

Στην πρώτη ενότητα παρουσιάζεται το πρόβλημα που καλείται η μεθοδολογία να αντιμετωπίσει με στοιχεία που αφορούν στις έννοιες της ενεργειακής διαχείρισης, της εξοικονόμησης ενέργειας και το ελληνικό και ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι σύγχρονες μεθοδολογίες ενεργειακής αξιολόγησης προσαρμοσμένες στο κτιριακό τομέα και πραγματοποιείται ανάλυση και σύγκρισή τους. Οι τεχνολογίες των σύγχρονων συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης (BMS) παραθέτονται ακολούθως και γίνεται αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης, των ερευνητικών δραστηριοτήτων και των τεχνολογικών δυνατοτήτων του πεδίου.

Η επόμενη ενότητα της διατριβής έχει αντικείμενο την επισκόπηση σχετιζόμενων μεθοδολογιών, αρχιτεκτονικών συστημάτων και ευφυών τεχνικών ελέγχου. Αρχικά, παρουσιάζονται οι δομές των σύγχρονων συστημάτων ευφυούς ελέγχου και η μεθοδολογία ανάλυσης κτιριακών φορτίων και εσωτερικών συνθηκών. Επίσης, αναφέρονται οι μεθοδολογίες υπολογιστικής υποστήριξης απόφασης και πραγματοποιείται ιδιαίτερη μνεία στα έμπειρα συστήματα. Τέλος, η ενότητα επισκόπησης κλείνει με την μεθοδολογία της τεχνοοικονομικής αξιολόγησης επενδύσεων προσαρμοσμένης στον κτιριακό τομέα και με έμφαση στην περιβαλλοντική διάσταση του πεδίου.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία αποτελεί το αντικείμενο της τέταρτης ενότητας. Παρουσιάζεται η γενική προσέγγιση του προβλήματος και γίνεται ο διαχωρισμός των κατευθύνσεων ευφυούς ελέγχου λειτουργιών και συνολικής ενεργειακής βελτίωσης. Τα διαδοχικά βήματα ανάπτυξης της μεθοδολογίας ανά κατεύθυνση αναλύονται, στη συνέχεια, με παρουσίαση των διαδικασιών παραμετροποίησης, σύνταξης κανόνων ελέγχου και προσαρμοστικότητας για τη πρώτη κατεύθυνση και συλλογής προτάσεων, ορισμού δεικτών και αξιολόγησης επενδύσεων για την δεύτερη κατεύθυνση.

Τέλος, παρουσιάζεται το πληροφοριακό σύστημα που προέκυψε από την προγραμματιστική υλοποίηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας, τα αποτελέσματα και η αξιολόγηση της πιλοτικής λειτουργίας του και τα γενικότερα συμπεράσματα και οι μελλοντικές προοπτικές της διατριβής.

Βιβλιογραφία

[1] Natasha Owen, Andrew Harrison (1990), "Analysis: Intelligent buildings", FACILITIES Vol 8/No 2/February 1990.

[3] Marie Chana, Daniel Est`evea, Christophe Escriba, Eric Campo (2008), "Review of smart homes - Present state and future challenges", Computer Methods and Programs in Biomedicine, Volume 91, Issue 1, July 2008, Pages 55-81.

[2] Sung-Hoe Hur, Dongwon Kim, Gwi-Tae Park (2006), "Building automation system via LonWorks and Linux based personal computer", Automation in Construction, Volume 15, Issue 4, July 2006, Pages 522-530.

[4] A.I. Dounis, C. Caraiscos (2008), "Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment—A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 13, Issues 6-7, August-September 2009, Pages 1246-1261

[5] ΕΘΝΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ (2008), "Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, κατά μεγάλη γεωγραφική περιοχή, περιφέρεια, νομό και κατά κατηγορία χρήσης: 1993-2007".

ΚΕΦ. 2 : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

2.1 Εισαγωγή

Ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 30% περίπου της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας^[1] σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο. Η κατανάλωση αυτή, είτε σε μορφή θερμικής (κυρίως πετρέλαιο) είτε σε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα, εκτός της σημαντικής οικονομικής επιβάρυνσης λόγω του υψηλού κόστους της ενέργειας, τη μεγάλη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ρύπους, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), που ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Στην Ελλάδα οι ανάγκες για θέρμανση των κατοικιών ανέρχονται περίπου στο 70% της συνολικής ενεργειακής τους κατανάλωσης^[2]. Η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου. Οι κατοικίες με κεντρικό σύστημα θέρμανσης, το οποίο χρησιμοποιεί ως καύσιμο αποκλειστικά το πετρέλαιο αντιστοιχούν στο 35,5% του συνόλου. Το υπόλοιπο 64% είναι αυτόνομα θερμαινόμενες κατοικίες που χρησιμοποιούν σε ποσοστό 25% πετρέλαιο, 12% ηλεκτρισμό και 18% καυσόξυλα.

Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια στην Ελλάδα παρουσιάζει αυξητική τάση, λόγω της αύξησης της χρήσης κλιματιστικών και μικροσυσκευών. Η χρήση των κλιματιστικών αποτελεί σημαντικό παράγοντα αύξησης του ηλεκτρικού φορτίου αιχμής στη χώρα, με τεράστιες οικονομικές συνέπειες και σημαντική επιβάρυνση του καταναλωτή. Επιπλέον, τα κλιματιστικά επιδεινώνουν το φαινόμενο της υπερθέρμανσης των αστικών κέντρων και τις συνεπαγόμενες δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν το καλοκαίρι.

Η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτίριο εξασφαλίζεται σε σημαντικό βαθμό με τον κατάλληλο σχεδιασμό του κτιρίου και τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων και συστημάτων και στη συνέχεια με την αποδοτική λειτουργία εγκατεστημένων ενεργειακών συστημάτων η οποία προϋποθέτει την άριστη ποιότητα του σχετικού εξοπλισμού και της εγκατάστασής του καθώς και των σχετικών τεχνικών μελετών που τον προδιαγράφουν.

Ένας εξίσου καθοριστικός παράγοντας εξοικονόμησης ενέργειας, όμως, είναι η ενεργειακή διαχείριση του κτιρίου, μία συστηματική, οργανωμένη και συνεχής δραστηριότητα που αποτελείται από ένα προγραμματισμένο σύνολο διοικητικών, τεχνικών και οικονομικών δράσεων.

2.2 Ενεργειακή Διαχείριση

2.2.1 Γενικά

Η χρήση της ενέργειας αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα του λειτουργικού κόστους ενός κτιρίου και διαδραματίζει πρωταρχικό ρόλο στην επίτευξη του επιπέδου άνεσης των ενοίκων.

Η ενεργειακή διαχείριση του κτιρίου, είναι μια συστηματική, οργανωμένη και συνεχής δραστηριότητα που αποτελείται από ένα προγραμματισμένο σύνολο διοικητικών, τεχνικών και οικονομικών δράσεων και στοχεύει στην εξασφάλιση συνθηκών και υπηρεσιών τέτοιων που να κάνουν την παραμονή των ενοίκων στα κτίρια ευχάριστη με την ελάχιστη δυνατή ενεργειακή κατανάλωση, και συνετή χρήση του ενεργειακού εξοπλισμού.

Οι αντικειμενικοί στόχοι των δράσεων αυτών συνοψίζονται ως εξής:

- Οικονομική αποδοτικότητα και αύξηση του κέρδους των διαφόρων φορέων διαχείρισης κτιρίων από την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας
- Διατήρηση ή βελτίωση της ασφάλειας και ποιότητας ζωής και παροχής υπηρεσιών στα κτίρια
- Διατήρηση ή βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος
- Έλεγχος του συνολικού λειτουργικού ενεργειακού κόστους και όχι απλά της καταναλισκόμενης ποσότητας καυσίμων

Η διαδικασία της ενεργειακής διαχείρισης αποτελείται από τέσσερα αλληλοεξαρτώμενα στάδια, συγκεκριμένα τη σκέψη, το σχεδιασμό, την υλοποίηση και την καταμέτρηση. Βασικά εργαλεία στη διαχείριση της ενέργειας αποτελούν η ενεργειακή επιθεώρηση, η ενεργειακή παρακολούθηση, η σωστή συντήρηση του εξοπλισμού, καθώς και η λήψη μέτρων για εξοικονόμηση της ενέργειας που καταναλώνεται.

2.2.2 Εξοικονόμηση ενέργειας

Η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί μια τεχνική έννοια, η οποία αναφέρεται στην αναλογία μεταξύ της ενεργειακής παραγωγής (υπηρεσίες όπως ο ηλεκτρισμός, η θερμότητα και οι μεταφορές) και της εισόδου (καύσιμα)^[3]. Παράγοντες που

επηρεάζουν την αναλογία αυτή είναι το κλίμα, η γεωγραφική θέση και ο τρόπος ζωής. Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι η συνεχής προσπάθεια για βελτίωση της αποδοτικότητας στο μέγιστο βαθμό για ένα συγκεκριμένο σκοπό, με στόχο την επίτευξη του ίδιου αποτελέσματος με όσο το δυνατόν μικρότερη κατανάλωση ενέργειας στην τελική κατανάλωση.

Η συνεχής αύξηση των ενεργειακών αναγκών και της κατανάλωσης ενέργειας, διεθνώς, καθιστά την ουσιαστική εφαρμογή της εξοικονόμησης ενέργειας πολύ σημαντική για το μέλλον της ανθρωπότητας. Πιο συγκεκριμένα, ο οικιακός τομέας ο οποίος καταναλώνει σημαντικό ποσοστό ενέργειας, όπως έχει ήδη αναφερθεί, θα μπορούσε να γίνει πιο αποδοτικός με την εφαρμογή των απλών μέτρων που παρουσιάζονται στη συνέχεια^[4]:

- Συστήματα φωτισμού υψηλής αποδοτικότητας: Τα συστήματα φωτισμού είναι δυνατόν να εξοικονομήσουν έως και το 50% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.
- Συστήματα υψηλής αποδοτικότητας κλιματισμού: Ο σύγχρονος εξοπλισμός που κατασκευάζεται σήμερα χρησιμοποιεί περίπου μόνο το 60% της ενέργειας που απαιτείται από εξοπλισμό, ο οποίος είχε κατασκευασθεί 30 έτη πριν.
- Συστήματα διαχείρισης της ενέργειας: Τα συστήματα ελέγχουν την ενεργειακή κατανάλωση του εξοπλισμού της μονάδας από ένα κέντρο ελέγχου με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας.
- Βελτιωμένα ενεργειακά συστήματα: Συστήματα με μηχανές υψηλής αποδοτικότητας, μονάδες συμπαραγωγής, μηχανές φυσικού αερίου ή στροβίλους ατμού και μειώνουν τις ενεργειακές απώλειες κατά 25-30%.

2.2.3 Νομοθετικό πλαίσιο

Τα τελευταία χρόνια στην Ε.Ε. και στην Ελλάδα, υπάρχει ένα καλά οργανωμένο και αυστηρό νομοθετικό πλαίσιο που υποχρεώνει ορισμένες δραστηριότητες, έργα ή κατασκευές να συνοδεύονται από μελέτες που καταδεικνύουν κατά πόσο αυτά είναι σε θέση να επηρεάσουν με αρνητικό τρόπο το περιβάλλον. Οι μελέτες αυτές (Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων) είναι απαραίτητες για αρκετές κατηγορίες έργων, κυρίως αυτών που αφορούν τον πρωτογενή και δευτερογενή τομέα (βιομηχανίες, βιοτεχνίες, μεγάλης κλίμακας έργα, κτηνοτροφία, κλπ.). Όσον αφορά, όμως, τα κτίρια του οικιακού και του τριτογενούς τομέα αυτά αποτελούν έργα ή κατασκευές που δεν εμπίπτουν στο παραπάνω

νομοθετικό πλαίσιο. Αυτό το θεσμικό «κενό», έρχεται να καλύψει ή έννοια της ολοκληρωμένης (ενεργειακής και περιβαλλοντικής) αξιολόγησης των κτιρίων.

Είναι ευτυχές το γεγονός, πως τα τελευταία χρόνια έχει υιοθετηθεί μία νέα φιλοσοφία, η οποία θεωρεί τα κτίρια ως μία αλυσίδα διασυνδεδεμένων περιβαλλοντικών παραγόντων. Η ανάπτυξη τέτοιων λογικών, αλλά και εννοιών που πρόσφατα εντάχθηκαν στο «περιβαλλοντικό» μας λεξιλόγιο, όπως της Βιώσιμης Ανάπτυξης (Sustainable Development) και της Περιβαλλοντικής Βιωσιμότητας των Κτιριακών Κατασκευών (Sustainable Construction of Buildings)^[5], ωθήθηκε και ακολούθως ώθησε την ανάπτυξη ενός θεσμικού πλαισίου. Το πλαίσιο αυτό πλέον συναντάται σε κάθε αναπτυσσόμενη χώρα και αντιμετωπίζει ολιστικά το κτίριο, λαμβάνοντας υπόψη και αξιολογώντας τη συνολική του συμπεριφορά (ενεργειακή και περιβαλλοντική), αναγνωρίζοντας με αυτόν τον τρόπο, αυτό που πραγματικά είναι: ένας περίπλοκος οργανισμός.

Σε αυτήν την ενότητα επιχειρείται αναφορά στο εγχώριο και ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο που ενισχύει και κατοχυρώνει τη συνολική αξιολόγηση των κτιρίων.

Κοινοτικό θεσμικό πλαίσιο για συνολική αξιολόγηση κτιρίων

Εξετάζοντας το ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο^[6] για την ενεργειακή και περιβαλλοντική αξιολόγηση των κτιρίων, θα ήταν σκόπιμο να αναλυθεί σφαιρικά η κατάσταση όπως έχει διαμορφωθεί τα τελευταία χρόνια μέσα στα όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) σχετικά με την ενέργεια, το περιβάλλον και την αλληλεπίδρασή τους με τον κτιριακό τομέα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται δραστηριότητες της Ε.Ε. που υπήρξαν σταθμοί για τη διαμόρφωση του παραπάνω πλαισίου.

Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο		
Ημερομηνία		Δραστηριότητα
1984	13 Νοεμβρίου	Ανακοίνωση της Επιτροπής με τίτλο «Για μια ευρωπαϊκή πολιτική ορθολογικής χρήσης της ενέργειας στον τομέα των κτιριακών εγκαταστάσεων»
1985	15 Ιανουαρίου	Ψήφισμα του Συμβουλίου για τη βελτίωση των προγραμμάτων εξοικονόμησης ενέργειας των κρατών μελών
	15 Μαρτίου	Ψήφισμα που αφορά στην ορθολογική χρήση της ενέργειας στον τομέα των κτιρίων
1986	16 Σεπτεμβρίου	Ψήφισμα νέων στόχων ενεργειακής κοινοτικής πολιτικής
1990	29 Οκτωβρίου	Πρόταση για σταθεροποίηση των συνολικών εκπομπών CO ₂ μέχρι το 2000 στα επίπεδα του 1990 σε ολόκληρη την Κοινότητα
1991	17 Δεκεμβρίου	Τελική πράξη για την έγκριση του Ευρωπαϊκού Χάρτη Ενέργειας
	29 Οκτωβρίου	Θέσπιση του προγράμματος SAVE
1993	13 Σεπτεμβρίου	Ολοκλήρωση δημιουργίας προγράμματος SAVE (οδηγία 93/76/ΕΟΚ)
1998	16 Μαρτίου	Εγκαινιάστηκε η διαδικασία υπογραφής του Πρωτοκόλλου του Κιότο
2000	5 Δεκεμβρίου	Πρόγραμμα δράσης της Κοινότητας σχετικά με την ενεργειακή απόδοση κτιρίων
2002	16 Δεκεμβρίου	Οδηγία 2002/91/ΕΚ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων
2006	5 Απριλίου	Οδηγία 2006/32/ΕΚ για την ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση και τις ενεργειακές υπηρεσίες και για την κατάργηση της οδηγίας 93/76/ΕΟΚ του Συμβουλίου

Πίνακας 3 - Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο

Ενδεικτικό και ιδιαίτερα σημαντικό παράδειγμα παγκόσμιας ομοθυμίας ήταν η συνδιάσκεψη στο Κιότο το 1997 και η αρχική δέσμευση 180 κρατών για τη μείωση σε

παγκόσμιο επίπεδο των εκπομπών του CO₂. Με το περίφημο πλέον Πρωτόκολλο του Κιότο - το οποίο αποτελεί μια μείζονος σημασίας συντονισμένη προσπάθεια για την βελτίωση του περιβάλλοντος - η Κοινότητα οφείλει να συμμορφωθεί και να συμβαδίσει στην παγκόσμια προσπάθεια μείωσης των εκπομπής ρύπων. Για την επίτευξη των στόχων του Πρωτοκόλλου, επισημαίνεται ότι σε κάθε δέσμη μέτρων που εξαγγέλλει η Ε.Ε. εφεξής, πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη ο παράγοντας «αυξημένη ενεργειακή απόδοση».

Αναφορά πρέπει να γίνει στη θέσπιση του προγράμματος SAVE και στην έκδοση της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων το 2002. Αυτά πλαισιώνονται και με ένα πλήθος ακόμα σχετικών κινήσεων, όπως αναφέρονται παρακάτω.

Προτάθηκε στη Κοινότητα και τα κράτη μέλη να λάβουν μέτρα σταθεροποίησης των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, έτσι ώστε αυτές το 2000 να έχουν μειωθεί στα επίπεδα του 1990 σε ολόκληρη την Κοινότητα.

Θεσπίστηκε το πρόγραμμα SAVE για την προώθηση της αποτελεσματικής χρήσης της ενέργειας στην Κοινότητα, το οποίο έκτοτε χρησιμοποιείται ως μέσον αναφοράς. Η οδηγία στοχεύει στον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και προωθεί την ορθολογική χρήση της ενέργειας στους οικονομικούς κλάδους της Ευρωπαϊκής Κοινότητας που καταναλώνουν την περισσότερη ενέργεια, ώστε να διαφυλαχθεί η ποιότητα του περιβάλλοντος. Οι κλάδοι αυτοί δεν είναι άλλοι από αυτούς των κατοικιών και τον τριτογενή.

Μιλώντας συγκεκριμένα για τα περιεχόμενα της οδηγίας, διαπιστώνεται για πρώτη φορά ότι ο τομέας της κατοικίας και ο τριτογενής τομέας απορροφούν περίπου το 30% της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης της Κοινότητας, κάτι που τότε ερμηνεύτηκε ως μελλοντική αύξηση στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακος. Πολύ σημαντικό βήμα για την συνολική αξιολόγηση κτιρίων ήταν η θέσπιση της ενεργειακής πιστοποίησης των κτιρίων, ώστε οι μελλοντικοί χρήστες ενός κτιρίου να είναι σε θέση να γνωρίζουν τα ενεργειακά του χαρακτηριστικά και άρα τις επιπτώσεις που αυτό έχει στο περιβάλλον. Συμπληρωματικά, η οδηγία προτείνει την τιμολόγηση των δαπανών θέρμανσης, κλιματισμού και θερμού ύδατος, με βάση την πραγματική κατανάλωση, ώστε οι χρήστες ενός κτιρίου να είναι σε θέση να κατανείμουν καλύτερα τις σχετικές με τις εν λόγω υπηρεσίες δαπάνες, καθώς και την αυτονομία στην κατανάλωση θερμότητας, ψυχρού και θερμού ύδατος.

Επίσης, συναινεί σε εναλλακτικούς τρόπους χρηματοδότησης, όπως τη χρηματοδότηση εκ μέρους τρίτων, επενδύσεων (συμπεριλαμβανομένων των υπηρεσιών επιθεώρησης, εγκατάστασης, εκμετάλλευσης και συντήρησης) που αποβλέπουν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στον δημόσιο τομέα ενώ,

παράλληλα, καθιστά υποχρεωτική την ικανοποιητική θερμομόνωση των νέων κτιρίων και την περιοδική επιθεώρηση των λεβήτων που έχουν ωφέλιμη ονομαστική ισχύ άνω των 15 kilowatts.

Γενικά, τα προγράμματα που καλούνται να εκπονήσουν τα κράτη μέλη υπό τη σκέπη της συγκεκριμένης οδηγίας, πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις ακόλουθες πτυχές:

- τη δυνατότητα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης
- τη σχέση επίδοσης /κόστους
- την τεχνική ικανότητα
- τις επιπτώσεις στο περιβάλλον

Στις 5 Δεκεμβρίου 2000 το Συμβούλιο ενέκρινε το πρόγραμμα δράσης της Κοινότητας σχετικά με την ενεργειακή απόδοση και ζήτησε τη λήψη ειδικών μέτρων στον τομέα των κτιρίων. Τα ειδικά αυτά μέτρα θεσπίστηκαν τελικά στις 16 Δεκεμβρίου 2002 με την έκδοση της οδηγίας 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.

Στην οδηγία τονίζεται ότι στα μέτρα για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τόσο οι κλιματολογικές όσο και οι τοπικές συνθήκες καθώς και οι κλιματικές συνθήκες στο εσωτερικό τους και η σχέση κόστους προς όφελος.

Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων θα πρέπει να υπολογίζεται με χρήση μεθοδολογίας που μπορεί να διαφοροποιείται σε περιφερειακό επίπεδο και η οποία περιέχει, εκτός της θερμομόνωσης, και άλλους παράγοντες που διαδραματίζουν ολοένα και περισσότερο σημαντικό ρόλο όπως για παράδειγμα οι εγκαταστάσεις θέρμανσης/κλιματισμού, η εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ο σχεδιασμός του κτιρίου. Η κοινή προσέγγιση στη διαδικασία αυτή, που θα εκτελείται από εξειδικευμένους εμπειρογνώμονες, θα συμβάλλει στη δημιουργία ισότιμων όρων σε ότι αφορά τις προσπάθειες που καταβάλλονται στα κράτη μέλη για εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα και θα εισάγει διαφάνεια για τους υποψήφιους ιδιοκτήτες ή χρήστες αναφορικά με την ενεργειακή απόδοση στην κοινοτική αγορά ακινήτων.

Γίνεται πρόταση στα κράτη μέλη να στραφούν σε μελέτες σκοπιμότητας χρήσης εναλλακτικών συστημάτων ενεργειακού εφοδιασμού στο κτιριακό τομέα, έχοντας σαν δεδομένο το γεγονός πως τα κτίρια έχουν επιπτώσεις στην κατανάλωση ενέργειας μακροπρόθεσμα και συνεπώς τα νέα κτίρια θα πρέπει να ικανοποιούν τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης. Επίσης, προωθούνται οι περιπτώσεις

ανακαίνισης μεγάλων και ενεργοβόρων κτιρίων, τις οποίες θεωρεί η Κοινότητα ως ευκαιρία για τη λήψη οικονομικά αποδοτικών μέτρων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, και επαναλαμβάνεται η σημασία της χρηματοδότησης από τρίτους σε επεμβάσεις για την ισότιμη πρόσβαση στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια.

Ιδιαίτερος λόγος γίνεται για τα δημόσια κτίρια και τα κτίρια τα οποία επισκέπτεται συχνά το κοινό τα οποία θα πρέπει να αποτελέσουν το παράδειγμα στα ενεργειακά και περιβαλλοντικά ζητήματα. Αναφορικά με τους χρήστες αυτών των χώρων, είναι θεμιτή η ένδειξη των επίσημα συνιστώμενων εσωτερικών θερμοκρασιών, μαζί με τη μετρούμενη πραγματική θερμοκρασία. Αυτό θα μπορούσε να αποθαρρύνει την κακή χρήση των συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού και αερισμού και να συμβάλλει στην αποφυγή άσκοπης χρήσης ενέργειας διασφαλίζοντας, παράλληλα, άνετες συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμοκρασιακή άνεση).

Το φαινόμενο της ολοένα και μεγαλύτερης διάδοσης των συσκευών κλιματισμού στις χώρες της Νοτίου Ευρώπης αναδεικνύεται, καθώς και οι πρόκληση σοβαρών προβλημάτων σε ώρες αιχμής φορτίου, με συνέπεια την αύξηση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας και την διατάραξη της ενεργειακής ισορροπίας στις χώρες αυτές. Για το λόγο αυτό, προτείνεται να δοθεί προτεραιότητα σε στρατηγικές που βελτιώνουν τη θερμική συμπεριφορά των κτιρίων το καλοκαίρι. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να αναπτυχθούν περισσότερο οι τεχνικές παθητικής ψύξης των κτιρίων και κυρίως εκείνες που συμβάλουν στη βελτίωση της ποιότητας του κλίματος στο εσωτερικό των κτιρίων. Επίσης, δίνεται έμφαση στην τακτική συντήρηση των λεβήτων και των εγκαταστάσεων κλιματισμού από ειδικευμένο προσωπικό.

Τέλος στην οδηγία αυτή τονίζεται ο σημαντικός ρόλος που έχει η διαχείριση της ενεργειακής ζήτησης, ως σημαντικό εργαλείο που επιτρέπει στην Κοινότητα να επηρεάζει την παγκόσμια αγορά ενέργειας.

Η Ευρωπαϊκή οδηγία 2006/32 αφορά στην ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση και τις ενεργειακές υπηρεσίες (κατάργηση της οδηγίας 93/76/ΕΟΚ του συμβουλίου για τον περιορισμό των εκπομπών του CO₂). Η οδηγία έχει σαν στόχο την μείωση της τελικής χρήσης ενέργειας στο 9% σε διάστημα 9 ετών από την ισχύ της σχετικής νομοθεσίας. Η χώρα μας ήταν υποχρεωμένη να εναρμονιστεί με την οδηγία μέχρι το έτος 2008.

Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο για συνολική αξιολόγηση κτιρίων

Σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο έχουν αλλάξει πολλά στα θέματα ενεργειακής πολιτικής αλλά και σχεδιασμού γενικότερα. Αυτή η στροφή έχει γίνει

αντιληπτή και στη χώρα μας στα ζητήματα ενεργειακής πολιτικής, όπου παρατηρείται σταδιακή συμμόρφωση με τα διεθνή δεδομένα^[7]. Έχει γίνει σαφές ότι η εξοικονόμηση ενέργειας, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και υλικών φιλικών προς το περιβάλλον στον κτιριακό τομέα, αποτελούν λύσεις που εμφανίζουν πολλαπλά οφέλη σε κοινωνικό, οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο. Παρακάτω παρουσιάζεται πώς αυτή η συλλογιστική ενισχύεται και περιβάλλεται από το θεσμικό πλαίσιο που αναπτύσσεται και εξελίσσεται σταδιακά στη χώρα μας.

Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο	
Έτος	Δραστηριότητα
1975	Έκδοση νόμου Ν. 40/75 "Περί λήψεως μέτρων εξοικονόμησης Ενέργειας" (Α 90)
1979	Έκδοση «Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων»
1985	Κίνητρα για εξοικονόμησης ενέργειας (Ν. 1512/85)
1994	Νόμος 2244/94 δίνει ώθηση στη χρήση ΑΠΕ
1998	Πρωώθηση εφαρμογής μέτρων για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (Κοινή Υπουργική Απόφαση 21475/4707 - ΚΟΧΕΕ)
2008	Νόμος 3661 - Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων

Πίνακας 4 - Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο

Κάθε νομοθετική πράξη στη χώρα μας που αφορά την προστασία του περιβάλλοντος από τον κτιριακό τομέα, εκπορεύεται από το άρθρο 24 του ελληνικού Συντάγματος, το οποίο αναφέρει χαρακτηριστικά: «Η προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος αποτελεί υποχρέωση του Κράτους και δικαίωμα του καθενός. Για τη διαφύλαξή του το Κράτος έχει υποχρέωση να παίρνει ιδιαίτερα προληπτικά ή κατασταλτικά μέτρα στο πλαίσιο της αρχής της αειφορίας...». Την ίδια χρονιά που θεσπίστηκε το άρθρο 24 του Συντάγματος, το 1975, εκδίδεται ο νόμος Ν.40/75 "Περί λήψεως μέτρων Εξοικονόμησης Ενέργειας" .

Το 1979 με αφορμή την παγκόσμια ενεργειακή κρίση θεσμοθετήθηκε η θερμομόνωση των κτιρίων με το προεδρικό διάταγμα για τον "Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων" ενώ αρκετά αργότερα εκδίδεται ο νόμος Ν. 1512/85, που περιελάμβανε διατάξεις με κίνητρα για εξοικονόμησης ενέργειας. Ωστόσο το ελληνικό θεσμικό πλαίσιο για την συνολική αξιολόγηση των κτιρίων έως και τις αρχές της δεκαετίας του '90 βρισκόταν σε νηπιακή ηλικία (κάτι που ως ένα βαθμό συνέβαινε και στην τότε ΕΟΚ), χωρίς ακόμα να έχει διαμορφώσει μία ολοκληρωμένη υπόσταση, κάτι το οποίο άλλαξε σημαντικά τα χρόνια που ακολούθησαν.

Μείζονος σημασίας για την ελληνική νομοθεσία που αφορά τον κτιριακό τομέα είναι ο νόμος Ν.2244/94, ο οποίος δίνει μεγάλη ώθηση στη χρήση ΑΠΕ. Το Ελληνικό Πρόγραμμα για την Κλιματική Μεταβολή, που αφορά στη σταθεροποίηση και στον περιορισμό των εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αποτελεί το νέο πλαίσιο στρατηγικής για τη λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας και χρήσης ΑΠΕ στις Μεταφορές, τη Βιομηχανία, τα κτίρια του Οικιακού, Εμπορικού και τριτογενή τομέα.

Με αυτή την απόφαση ρυθμίζονται βασικά ζητήματα που αφορούν στον τρόπο μελέτης και κατασκευής των νέων κτιρίων, με γνώμονα την υψηλή ενεργειακή απόδοση και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των υφιστάμενων κτιρίων.

Πρωθείται καθοριστικά η αντίληψη της οικολογικής δόμησης, με την αρωγή του βιοκλιματικού και ενεργειακού σχεδιασμού και της χρήσης των καθαρών τεχνολογιών δόμησης, που αποδεδειγμένα συμβάλλουν στην εξοικονόμηση των φυσικών πόρων (ενέργειας και νερού), στην ανακύκλωση των οικιακών απορριμμάτων, στην εξασφάλιση θερμικής άνεσης στα κτίρια, υγιεινής και ποιότητας εσωτερικού αέρα και προωθούν γενικά την αντίληψη των αειφόρων κτιρίων και οικιστικών συνόλων. εργάζονται (μέσω της ενεργειακής πιστοποίησης και βαθμονόμησης και του δελτίου ενεργειακής ταυτότητας).

Ειδικότερα, θεσπίζεται ο Κανονισμός Ορθολογικής Χρήσης & Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΟΧΕΕ), που έρχεται να αντικαταστήσει τον παλαιό Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων. Αυτός θέτει προδιαγραφές και κριτήρια σχεδιασμού για την εξασφάλιση θερμικής και οπτικής άνεσης, ποιότητας εσωτερικού αέρα, εξοικονόμησης ενέργειας και νερού, θέτοντας ανώτατα όρια κατανάλωσης ενέργειας για κάθε κατηγορία κτιρίου και μεθόδους εξοικονόμησης νερού, υποδεικνύει τους τρόπους υπολογισμού της ενεργειακής ταυτότητας κάθε κτιρίου, τον τρόπο διενέργειας ενεργειακής πιστοποίησης και ορίζει το σύστημα ενεργειακής βαθμονόμησης (κατηγορίες Α – Ε).

Η ενεργειακή πιστοποίηση είναι μια νέα διαδικασία ελέγχου που εισάγεται στη χώρα μας και πρόκειται να συμβάλει στην τήρηση και εφαρμογή των προβλεπόμενων από τη μελέτη στοιχείων, στη διαπίστωση του πραγματικού βαθμού ενεργειακής απόδοσης που επιτυγχάνουν τα κτίρια και πραγματοποιείται από διαπιστευμένους ενεργειακούς επιθεωρητές. Η ενεργειακή πιστοποίηση και η ενεργειακή βαθμονόμηση γίνεται, με ευθύνη των ιδιοκτητών, ένα χρόνο τουλάχιστον μετά την ανέγερση και λειτουργία κάθε κτιρίου που έχει μελετηθεί σύμφωνα με τον ΚΟΧΕΕ και από το 2006 και μετά για όλα τα υφιστάμενα κτίρια.

Οι ενεργειακοί επιθεωρητές εντάσσονται σε Μητρώο Ενεργειακών Επιθεωρητών που δημιουργείται στο υπουργείο Ανάπτυξης και έχουν την ευθύνη

διενέργειας των ενεργειακών ελέγχων και επιθεωρήσεων. Το τελικό αποτέλεσμα της ενεργειακής πιστοποίησης έγκειται στον προσδιορισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και της ένταξής τους στην αντίστοιχη ενεργειακή κατηγορία, σύμφωνα με το οριζόμενο από τον ΚΟΧΕΕ σύστημα ενεργειακής βαθμονόμησης και την αναγραφή αυτής στο Δελτίο Ενεργειακής Ταυτότητας που έχει εκδοθεί για κάθε κτίριο με την οικοδομική άδεια.

Ειδικότερα κάθε οικοδομική άδεια υπό ανέγερση κτιρίου προβλέπεται, πως θα συνοδεύεται από ένα Δελτίο όπου περιγράφονται τα ενεργειακά χαρακτηριστικά του, ο βαθμός Ενεργειακής του Απόδοσης και η ενεργειακή κατηγορία στην οποία κατατάσσεται το κτίριο, το οποίο ονομάζεται Δελτίο Ενεργειακής Απόδοσης (ΔΕΤΑ), όπου αναγράφονται και τα αποτελέσματα της πιστοποίησης που διενεργείται ένα χρόνο μετά τη λειτουργία κάθε νέου κτιρίου.

Παράλληλα, προβλέπεται η λήψη υποχρεωτικών μέτρων ενεργειακής διαχείρισης και απόδοσης σε όλα τα κτίρια του δημόσιου και ευρύτερου δημόσιου τομέα, όπου μέσα στο 1999 πρέπει να οργανωθούν Γραφεία Ενεργειακής Διαχείρισης (ΓΕΔ) και να προγραμματισθούν στη συνέχεια επεμβάσεις ενεργειακής απόδοσης. Προβλέπεται συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα, διαδικασίες και προϋποθέσεις, προδιαγράφονται αρμοδιότητες και υποδεικνύονται τρόποι παρέμβασης.

Επιτρέπεται στο δημόσιο και ευρύτερο δημόσιο τομέα, η χρήση χρηματοδοτικών μηχανισμών που εξαρτούν την απόσβεση του κεφαλαίου από την επιτυχή εξοικονόμηση ενέργειας, όπως είναι η Χρηματοδότηση εκ Μέρους Τρίτων (Third Party Financing), η Χρηματοδοτική Μίσθωση κ.ά. για την εφαρμογή εκτεταμένων επενδύσεων ενεργειακής απόδοσης. Παρέχονται θεσμικά, διοικητικά και οικονομικά κίνητρα, για την εφαρμογή επενδύσεων ενεργειακής απόδοσης, σε ιδιοκτήτες υφιστάμενων κτιρίων του ιδιωτικού τομέα, οι οποίοι εντάσσονται στη συνέχεια σε αντίστοιχη ενεργειακή κατηγορία, μετά από ενεργειακή επιθεώρηση και έκδοση Δελτίου Ενεργειακής Απόδοσης (ΔΕΤΑ).

Θεσπίζονται υποχρεωτικοί περιοδικοί έλεγχοι για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κεντρικών συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, ζεστού νερού χρήσης καθώς και για τις ενεργοβόρες επιχειρήσεις.

Επιγραμματικά, παρουσιάζονται οι τομείς εφαρμογής, που περιλαμβάνει η παραπάνω υπουργική απόφαση:

- Ενεργειακή πιστοποίηση κτιρίων.
- Τιμολόγηση των δαπανών θέρμανσης, κλιματισμού και ζεστού νερού χρήσης, με βάση την πραγματική κατανάλωση.

- Χρηματοδότηση εκ μέρους τρίτων των επενδύσεων για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στο δημόσιο τομέα.
- Ικανοποιητική θερμομόνωση των νέων κτιρίων.
- Περιοδική επιθεώρηση των λεβήτων.
- Ενεργειακές επιθεωρήσεις των πολύ ενεργοβόρων επιχειρήσεων.

Με τον Νόμο 3661-«Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων», εναρμονίζεται η ελληνική νομοθεσία με την Οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2002 «Για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων».

Ο Νόμος 3661 ενσωματώνει όλες τις διατάξεις της οδηγίας, προβλέπει την έκδοση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης των κτιρίων και διακρίνει πέντε βασικές θεματικές ενότητες, οι οποίες αφορούν στον καθορισμό των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης και στη μέθοδο υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης νέων και υφιστάμενων κτιρίων, στην έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης, στις επιθεωρήσεις των λεβήτων και των εγκαταστάσεων κλιματισμού και στην πρόβλεψη ειδικευμένων και διαπιστευμένων ενεργειακών επιθεωρητών.

Έτσι, με τη προαναφερθείσα Ευρωπαϊκή οδηγία και το Ν. 3661/2008 για πρώτη φορά γίνεται θεσμική προσπάθεια για την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων. Σύμφωνα με το νόμο, ο κανονισμός θα καθορίζει τη μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων που θα περιλαμβάνει:

- Την εγκατάσταση θέρμανσης και κλιματισμού
- Το φωτισμό και τον εξαερισμό
- Τα παθητικά ηλιακά συστήματα
- Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα και διάφορα άλλα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Συστήματα συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού
- Συστήματα τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης

Τα κτίρια με το νόμο κατηγοριοποιούνται σε πολυκατοικίες, γραφεία, νοσοκομεία, ξενοδοχεία κ.τ.λ. και καθορίζονται ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή τους απόδοση που αναθεωρούνται κάθε πενταετία. Σε πρώτη φάση οι απαιτήσεις για ελάχιστη ενεργειακή απόδοση αφορούν τα κτίρια (νέα ή

ανακαινιζόμενα) άνω των 1000 τ.μ., και εκδίδεται πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης τους που είναι απαραίτητο για την ενοικίαση ή την πώληση τους.

Εκτός, όμως, από το πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, καθιερώνονται και πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης των λεβήτων θέρμανσης καθώς και των εγκαταστάσεων κλιματισμού τους. Η χορήγηση των ανωτέρω πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης θα γίνεται από ειδικευμένους και διαπιστευμένους ενεργειακούς επιθεωρητές οι οποίοι θα αποτελούνται από φυσικά ή νομικά πρόσωπα.

Ειδικά Προγράμματα

Παράλληλα με το σύνολο της νομοθεσίας, στο ελληνικό θεσμικό πλαίσιο εντάσσονται και ειδικά διαμορφωμένα προγράμματα. Συνήθως καρπός συνεργασίας ελληνικών θεσμικών φορέων (π.χ. υπουργείων) και της Ε.Ε. (π.χ. Κοινοτικά πλαίσια στήριξης), οι οποίοι δίνουν κίνητρα και αποτελούν πηγές χρηματοδότησης ενεργειών που στοχεύουν στη βελτίωση της ενεργειακής και περιβαλλοντικής απόδοσης των κτιρίων. Το σχέδιο δράσης "Ενέργεια 2001", το οποίο αποτελεί ένα συνολικό πλαίσιο στρατηγικής, δράσεως, μέτρων και μέσων για την εξοικονόμηση ενέργειας και χρήση ΑΠΕ στον οικιστικό τομέα και εξειδικεύει τα μέτρα πολιτικής του Ελληνικού Προγράμματος για την Κλιματική Μεταβολή, είναι ένα παράδειγμα. Άλλα τέτοια προγράμματα είναι:

- Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας (ΕΠΕ)
- Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα (ΕΠΑΝ)
- ALTENER, JOULE, THERMIE, SAVE I & II

Σχόλια - παρατηρήσεις

Η εφαρμογή της νομοθεσίας και της λειτουργίας του ελληνικού θεσμικού πλαισίου που αφορά τα θέματα διαχείρισης ενέργειας είναι αρκετά δύσκολη. Χαρακτηριστική είναι η αποτυχία εφαρμογής του ΚΟΧΕΕ, που αφορά στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

Εξάλλου, η Ε.Ε. τηρεί ουσιαστικά στάση αναμονής, ύστερα από την έκδοση της οδηγίας «ορόσημο» για την περιβαλλοντική αξιολόγηση κτιρίων (2002/91/Ε.Κ). Δεν έχει προχωρήσει στην έκδοση κρίσιμης νομοθεσίας από το 2002, περιμένοντας τα κράτη μέλη να εναρμονίσουν το νομοθετικό τους πλαίσιο με αυτό της οδηγίας. Η οδηγία τέθηκε σε ισχύ στις 04.01.2003 και έως τις 04.01.2006 έπρεπε όλα τα κράτη μέλη να την έχουν ενσωματώσει. Στην Ελλάδα, αυτήν τη στιγμή υπάρχει υπό μελέτη ένα κείμενο, το οποίο θα τροποποιεί τον ΚΟΧΕΕ και ταυτόχρονα θα ενσωματώνει

την οδηγία 2002/91/ΕΚ. Το αν τελικά θα επιτευχθεί ο στόχος της εφαρμογής ολοκληρωμένης αντιμετώπισης των κτιρίων και των επιπτώσεων που αυτά έχουν στο περιβάλλον στον ελλαδικό χώρο, μένει να διαπιστωθεί.

Η Ελλάδα, ωστόσο, δεν είναι η μόνη χώρα που κρατά σε αναμονή την Ε.Ε. για την εναρμόνιση του πλαισίου της με την παραπάνω οδηγία. Για παράδειγμα, η Δανία, η οποία κατέχει μία αξιοζήλευτη θέση στην Ε.Ε. σε θέματα ενέργειας και περιβάλλοντος (παγκόσμια δύναμη στην Αιολική Ενέργεια), μέχρι το Μάρτιο του 2005 δεν είχε εναρμονιστεί. Αυτό το γεγονός, γνωρίζοντας κανείς το στιβαρό θεσμικό υπόβαθρο τέτοιων χωρών, μπορεί να οδηγήσει στο συμπέρασμα πως δεν είναι εύκολη ή αυτόματη η τροποποίηση της νομοθεσίας σε ένα κράτος μέλος, ώστε να συμπεριλάβει την νομοθεσία της Κοινότητας. Όμως, στην περίπτωση της Δανίας, ας αναφερθεί ότι, ενώ έχει καθυστερήσει στην επίσημη υιοθέτηση της οδηγίας 2002/91/ΕΚ, ήδη εφαρμόζει στην πράξη κάποιες από τις διατάξεις της (που είναι τμήμα της Εθνικής της Νομοθεσίας). Οι διατάξεις αυτές αφορούν στην ενεργειακή πιστοποίηση και σήμανση υφιστάμενων και νεόδμητων κτιρίων (Energy Labeling of Buildings) αλλά και στην εφαρμογή ολοκληρωμένης στρατηγικής για την καλή ενεργειακή και περιβαλλοντική συμπεριφορά των κτιρίων. Με τα στοιχεία αυτά υπόψη, είναι εύκολο να διαπιστωθεί πόσο δρόμο πρέπει να διανύσει ακόμα η Ελλάδα στον τομέα που εξετάζεται.

ΚΑΠΕ

Κάνοντας λόγο για διαπιστώσεις, στην Ελλάδα υπάρχει ειδικός θεσμικός φορέας που ασχολείται μεταξύ άλλων και με την ολοκληρωμένη αξιολόγηση των κτιρίων. Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ)^[8] είναι το εθνικό κέντρο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), την Ορθολογική Χρήση Ενέργειας (ΟΧΕ) και την Εξοικονόμηση Ενέργειας (ΕΞΕ). Με το Νόμο 2244/94 και το Νόμο 2702/99 το ΚΑΠΕ ορίστηκε ως το Εθνικό Συντονιστικό Κέντρο στους τομείς δραστηριότητάς του.

Το ΚΑΠΕ ιδρύθηκε το Σεπτέμβριο του 1987 με το Προεδρικό Διάταγμα 375/87, είναι Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου, εποπτεύεται από το Υπουργείο Ανάπτυξης - Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) και έχει οικονομική και διοικητική αυτοτέλεια. Ως θεσμικός φορέας, διακρίνεται σε δύο κύρια επίπεδα δράσεων:

- Στη δράση του ως Ερευνητικό και Τεχνολογικό Κέντρο για τις ΑΠΕ/ΟΧΕ/ΕΞΕ, όπου αφενός αναπτύσσει την εφαρμοσμένη έρευνα για τις νέες ενεργειακές τεχνολογίες, αφετέρου υποστηρίζει τεχνικά την αγορά για τη διείσδυση και εφαρμογή των νέων ενεργειακών τεχνολογιών.

- Στη δράση του ως Εθνικό Κέντρο Ενέργειας, όπου μελετά τα θέματα ενεργειακού σχεδιασμού και πολιτικής για τις ΑΠΕ και την Εξοικονόμηση Ενέργειας και αναπτύσσει την απαραίτητη υποδομή για την υποστήριξη της υλοποίησης επενδυτικών προγραμμάτων ΑΠΕ και ΕΞΕ.

Το ΚΑΠΕ αναπτύσσει έντονη δραστηριότητα ως σύμβουλος της Πολιτείας σε θέματα εθνικής ενεργειακής πολιτικής, κυρίως σε ότι αφορά τις ΑΠΕ/ΟΧΕ/ΕΞΕ (χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η σύνταξη και η εισήγηση του ΚΟΧΕΕ το 1998), στην ανάπτυξη και υλοποίηση επιχειρηματικών πρωτοβουλιών και επενδυτικών προσπάθειών μετέχοντας στο σχεδιασμό, συντονισμό και εποπτεία ολοκληρωμένων δράσεων και προγραμμάτων σε εθνικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι το νομοθετικό πλαίσιο για την αξιολόγηση κτιρίων σε καμία περίπτωση δεν έχει ένα τόσο δεσμευτικό χαρακτήρα, τουλάχιστον προς το παρόν.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται η παρουσίαση των επικρατέστερων μεθοδολογιών ενεργειακής αξιολόγησης επικεντρωμένων στον κτιριακό τομέα.

2.2.4 Η μεθοδολογία Gem

Η πρώτη μεθοδολογία που εξετάζεται ονομάζεται GEM (Global Environmental Method)^[9] και αναπτύχθηκε στον Καναδά από τον Καναδικό Οργανισμό για την Ενέργεια και την Αποτελεσματική Χρήση της (Canadian Energy Efficiency Alliance). Υποστηρίζεται μεταξύ άλλων από την Παγκόσμια Ένωση για την Βελτίωση και Ανάδειξη των Κτιρίων (The Global Alliance for Building Sustainability - GABS), μέλη της οποίας είναι μεγάλος αριθμός κυβερνητικών και μη οργανισμών σε όλη την υφήλιο.



Σχήμα 13 - Λογότυπο GEM

Η μεθοδολογία GEM είναι μια διαδικτυακή εφαρμογή αξιολόγησης και διαχείρισης κτιρίων, η οποία μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη σε ιδιοκτήτες και διαχειριστές κτιρίων για την μέτρηση της απόδοσης των κτιρίων τους, σε σχέση με τομείς-κλειδιά, όπως η ενέργεια, το νερό, τα επικίνδυνα υλικά, η διαχείριση

αποβλήτων και το εσωτερικό περιβάλλον. Το θέμα της ολοκληρωμένης κτιριακής αξιολόγησης, γενικά, είναι δύσκολο και περίπλοκο στην διεκπεραίωσή του, απαιτώντας σημαντικούς οικονομικούς και χρονικούς πόρους. Μεθοδολογίες όπως η παραπάνω, ισχυρίζονται πως εξασφαλίζουν ένα ολοκληρωμένο και αξιόπιστο αποτέλεσμα σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα, χρησιμοποιώντας ένα εμπιστευτικό ερωτηματολόγιο, το οποίο λειτουργεί ως βάση για την παραγωγή μιας ολοκληρωμένης αναφοράς.

Η μέθοδος αυτή αποτελεί νέα προσθήκη στο διεθνές πρότυπο αξιολόγησης κτιρίων BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), το οποίο περιλαμβάνει μια συλλογή από ενεργειακά και περιβαλλοντικά εργαλεία αξιολόγησης για κτίρια. Τα κριτήρια με βάση τα οποία πραγματοποιείται ο έλεγχος είναι βασισμένα στο παραπάνω πρότυπο.

Αυτό που προτάσσει σε γενικές γραμμές η μεθοδολογία GEM είναι ότι η περιβαλλοντική συνείδηση των ιδιοκτητών και των διαχειριστών των κτιρίων, όχι μόνο δεν είναι πλέον ζημιογόνος, αλλά μπορεί να λειτουργήσει ως βάση για κερδοφόρες επενδύσεις. Είναι χαρακτηριστική η πρόβλεψη που δίνεται για έως 10% μείωση των εξόδων του κτιρίου, εφόσον ακολουθηθούν μόνο οι απλές προτεινόμενες λύσεις διαχείρισης, αλλά και η ευνοϊκή θέση που αποσπά ένα κτίριο με αυξημένες περιβαλλοντικές και ενεργειακές επιδόσεις στην αγορά ακινήτων.

Τέτοιου είδους μεθοδολογίες χρησιμοποιούνται σε εκατοντάδες κτιρίων, κυρίως στη Βόρεια Αμερική, και εφαρμόζονται αυτήν την περίοδο από:

- Το Τμήμα Δημοσίων Έργων και Κυβερνητικών Υπηρεσιών του Καναδά (PWGSC) για όλα τα κτίρια ομοσπονδιακής κυριότητας.
- Το Καναδικό Υπουργείο Άμυνας για το σχεδιασμό των νέων του κτιρίων
- Την ομοσπονδία των καναδικών δήμων στο πρόγραμμα μετασκευής δημοτικών κτιρίων.
- Την ένωση ξενοδοχείων του Καναδά.
- Την πόλη του Τορόντο στο πρόγραμμα για τη βελτίωση των κτιρίων.
- Τις μεγαλύτερες εταιρίες διαχείρισης ιδιοκτησίας.

Η παραγόμενη αναφορά της μεθοδολογίας μετά από την συμπλήρωση του ερωτηματολογίου περιλαμβάνει:

- Οικολογικές εκτιμήσεις για την ενέργεια, το νερό, τα απόβλητα, το εσωτερικό περιβάλλον, σε σχέση με την τρέχουσα διαχείριση του κτιρίου.
- Τη δυνατότητα εξοικονόμησης πόρων που απορρέουν από την ορθολογικότερη χρήση ενέργειας και νερού.
- Ανάδειξη των τομέων στους οποίους υπερτερεί το κτίριο.
- Προτάσεις για τη βελτίωση του κτιρίου στους υπόλοιπους τομείς.
- Προτάσεις για συστήματα και τρόπους διαχείρισης του κτιρίου.

Η μεθοδολογία στην τελική αναφορά παρέχει δύο είδη εκτιμήσεων: Τα αποτελέσματα (Scores) δίνουν σε μορφή ποσοστού την απόλυτη βαθμολογία που δόθηκε για την εφαρμογή αποτελεσματικών μεθόδων (best practices) σύμφωνα με διεθνώς αναγνωρισμένα κριτήρια. Τα αποτελέσματα δίνονται ξεχωριστά για κάθε βασική κατηγορία αλλά και για κάθε υποενότητα. Αναλυτικά οι βαθμολογίες ανά τομέα παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί.

Βαθμολογίες Ανά Τομέα Μεθοδολογίας GEM			
Τομέας	Υποενότητες		Βαθμοί
Ενέργεια (Energy)	Κατανάλωση Ενέργειας	Δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπές του CO ₂	80
	Ενεργειακά Χαρακτηριστικά	Φωτισμός, λέβητες, αυτοματισμοί, ζεστό νερό χρήσης, «πράσινη ενέργεια», κ.α.	130
	Διαχείριση Ενέργειας	Ενεργειακή πολιτική, έλεγχοι, παρακολούθηση και στόχοι, προϋπολογισμός, ενεργειακές μετρήσεις, τακτική και προληπτική συντήρηση εγκαταστάσεων	80
	Μεταφορές	Πρόσβαση σε μέσα μαζικής μεταφοράς και πρόβλεψη ειδικών χώρων στάθμευσης οχημάτων (δίκυκλων και αυτοκινήτων)	60
Νερό (Water)	Χρήση Νερού	Κατανάλωση νερού, απόδοση στόχων, παράγοντες εξοικονόμησης νερού, μετρήσεις, συστήματα ανίχνευσης διαρροών, άρδευση εξωτερικών χώρων, πύργοι ψύξης	80
Διαχείριση Απορριμμάτων (Resources)	Μείωση αποβλήτων και ανακύκλωση	Μείωση αποβλήτων και εγκαταστάσεις ανακύκλωσης, επαναχρησιμοποίηση οικοδομικών υλικών στην κατασκευή ή την κατεδάφιση	45
	Τοποθεσία	Περιβαλλοντική αξιολόγηση περιοχής, επανόρθωση και οικολογική αύξηση	65
Περιβαλλοντική Διαχείριση (Environmental Management)	Τεκμηρίωση συστήματος διαχείρισης	Στρατηγικός προγραμματισμός, απόδοση στόχων, σχέδια δράσης, κατάρτιση, συμμόρφωση με κανονισμούς, συνεχής βελτίωση	30

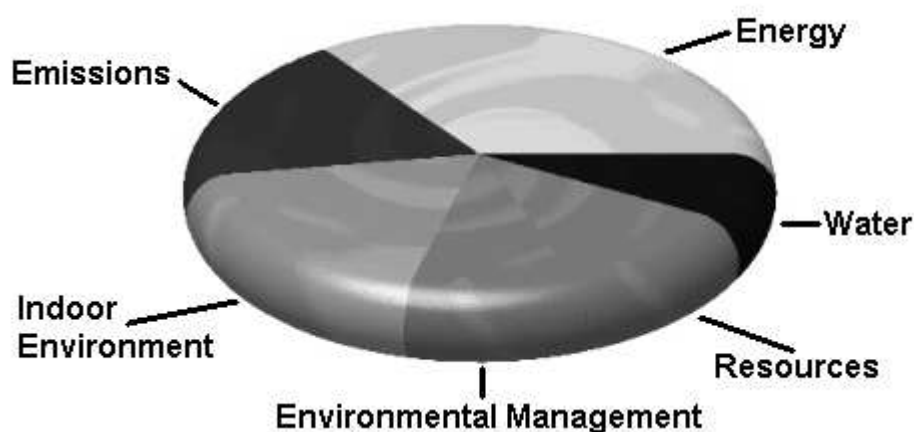
	Πολιτική αγορών	Προμήθεια εξοπλισμού EMS, αποδοτικότητα συστήματος	25
	Ετοιμότητα σε περίπτωση ατυχήματος	Αξιολόγηση κινδύνων και διαδικασίες άμεσης αντιμετώπισης σε διαρροές χημικών, αμιάντου και εκπομπών CFC	20
	Περιβαλλοντική συνείδηση ενοίκων	Ανάπτυξη πρωτοβουλιών ενοίκων στην εξοικονόμηση ενέργειας, τη μείωση απορριμμάτων και την προσεκτική χρήση υλικών, βλαβερών προς το περιβάλλον	25
Εκπομπές (Emissions)	Εκπομπές αερίων	Εκπομπές NO _x , έλεγχος, εποπτεία και συντήρηση λέβητα, ανάλυση καυσαερίων, αναβάθμιση λέβητα	30
	«Τρύπα» του όζοντος	Τύπος ψυκτικών υγρών, απόσυρση ψυκτικών συσκευών παλαιάς τεχνολογίας, ανίχνευση και επιδιόρθωση διαρροών, φύλαξη ψυκτικών υγρών	45
	Ροές υδάτων	Προφύλαξη ενδοδαπέδιων αγωγών, ακαθάρτων και όμβριων	20
	Επικίνδυνα υλικά	Αμιάντος, ραδόνιο, PCBs, δεξαμενές αποθήκευσης, ίχνη μολύβδου στο πόσιμο νερό	47
	Επικίνδυνα προϊόντα, Ασφάλεια και Υγιεινή	Αποθήκευση και διαχείριση επικίνδυνων υλικών και φυτοφαρμάκων, έρευνα σχετικών καταγγελιών	33
Εσωτερικό Περιβάλλον (Indoor Environment)	Εσωτερικός αέρας	Αερισμός: Θέση στομιών εισαγωγής αέρα, μετρήσεις συγκέντρωσης CO ₂ , αποφυγή παραμονής νερού και διάβρωσης στις ψυκτικές μονάδες, καθαρισμός αεραγωγών, ποσοστό νωπού αέρα στα HVAC, έλεγχος και συντήρησή τους Φιλτράρισμα: Αποτελεσματικότητα φίλτρων, ύπαρξη μανομέτρων και ευκολία πρόσβασης στα φίλτρα Υγρανση: Σύστημα ύγρανσης με ατμό ή αξιόπιστο σύστημα ύγρανσης με ψεκασμό Πύργοι ψύξης: Συστήματα αποφυγής μικροβιακών μολύνσεων. Τακτική συντήρηση και καθαρισμός πύργων, χώρων εκτυπώσεων ή αποθήκευσης χημικών, εξαερισμός χώρων στάθμευσης και καπνιστών, συνεχής έλεγχος CO Διαχείριση ποιότητας εσωτερικού αέρα (IAQ): Εκπαίδευση στην εφαρμογή προγράμματος IAQ, στους ελέγχους IAQ και εποπτεία	143
	Φωτισμός	Χρήση ηλεκτρονικών αντισταθμιστών, σκιάστρων, επίπεδα φωτισμού, χρήση σεναρίων φωτισμού, έλεγχος φωτιστικών, αντικατάσταση λαμπτήρων, καθαρισμός λαμπτήρων	32
	Θόρυβος	Στάθμη θορύβου	10

Πίνακας 5 - Βαθμολογίες GEM ανά τομέα

Ο δεύτερος τύπος εκτιμήσεων είναι σχετικός και εμφανίζει απόδοση αναφορικά με άλλα κτίρια που έχουν αξιολογηθεί. Αυτός παρέχεται μόνο για τα

κτίρια, των οποίων η αξιολόγηση έχει εγκριθεί από πιστοποιημένους φορείς (ενεργειακούς επιθεωρητές, μηχανικούς κ.α.). Επιπλέον, με αυτόν τον τρόπο μπορεί να αξιολογηθεί ένα κτίριο σε σχέση με κτίρια παρόμοιας ηλικίας, τύπου ή γεωγραφικής θερμικής ζώνης.

Οι τομείς-κλειδιά του κτιρίου και ο αντίκτυπος που αυτοί έχουν στο περιβάλλον δεν είναι ισοδύναμοι μεταξύ τους, αλλά συμμετέχουν στην τελική αναφορά έχοντας διαφορετικούς συντελεστές βαρύτητας (Weightings). Τα τελικά αποτελέσματα παρουσιάζονται με τρόπο παρόμοιο με εκείνους άλλων εργαλείων αξιολόγησης, οπότε είναι εφικτή η σύγκριση κτιρίων που αξιολογήθηκαν με διαφορετικές μεθόδους. Η γραφική παρουσίαση των συντελεστών βαρύτητας φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 14 - Συντελεστές βαρύτητας GEM

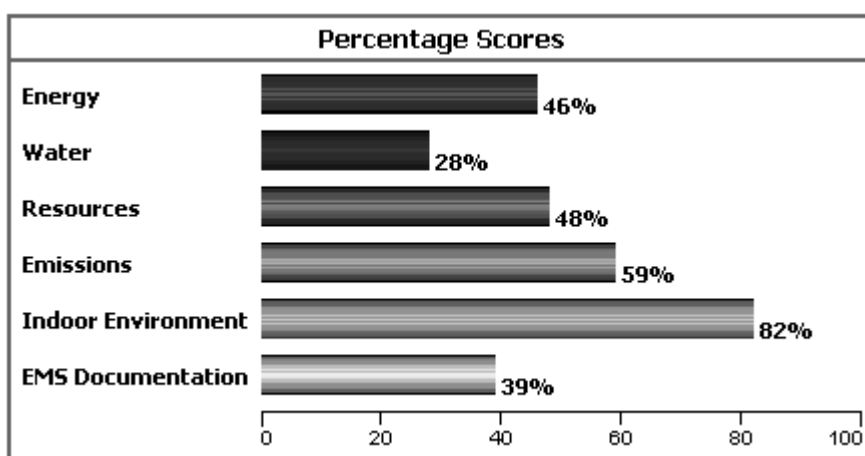
Το ερωτηματολόγιο αξιολόγησης της μεθοδολογίας μπορεί να χαρακτηριστεί επαρκώς αναλυτικό και έχει υλοποιηθεί σε διαδικτυακό περιβάλλον. Ο αριθμός των ερωτήσεων που περιέχει, ανέρχεται περίπου σε 150 και οι περισσότερες από αυτές απαιτούν μόνο ένα απλό "ναι" ή "όχι". Εξαιρέση αποτελούν αυτές που σχετίζονται με στοιχεία από τους λογαριασμούς ενέργειας και ύδατος. Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η εφαρμογή πρέπει να καταβληθεί για κάθε κτίριο το ποσό των 250 канаδικών δολαρίων, το οποίο, όπως πληροφορεί η ιστοσελίδα, καλύπτει τα έξοδα για τη συντήρηση και την ανάπτυξή της. Το ποσό αυτό καλύπτει την είσοδο στοιχείων, την παραγωγή και την εκτύπωση της αναφοράς καθώς και την πρόσβαση στα στοιχεία για περίοδο ενός έτους. Ωστόσο, είναι δυνατή η μείωση του παραπάνω ποσού όταν πρόκειται για σύνολο ή συγκρότημα κτιρίων.

Συνοψίζοντας την αναφορά στη μέθοδο GEM, παρατίθενται κωδικοποιημένα τα βήματα στα οποία έγκειται η χρήση αυτής της μεθόδου:

- Επιλογή του τύπου του κτιρίου

- Εγγραφή στην ιστοσελίδα. Ο οργανισμός Canadian Energy Efficiency Alliance έρχεται στη συνέχεια σε επαφή με τον χρήστη για να καθοριστεί το ποσό και ο τρόπος πληρωμής.
- Συμπλήρωση του ερωτηματολογίου.
- Ενημέρωση-αναθεώρηση της αναφοράς, εφόσον πραγματοποιηθούν κάποιες επεμβάσεις-βελτιώσεις στο κτίριο.

Ύστερα από την ολοκλήρωση της συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου, ο χρήστης μέσα σε λίγα λεπτά έχει εκτυπωμένη την αναφορά της αξιολόγησης. Η αναφορά είναι μία πλήρης και ευπαρουσίαστη έκθεση, η οποία παρέχει τις επί μέρους βαθμολογίες για κάθε έναν από τους έξι κύριους τομείς που εξετάζονται. Επίσης, προκύπτει διάγραμμα όπως το παρακάτω το οποίο αφορά την επί τοις εκατό βαθμολογία των εν λόγω τομέων.



Σχήμα 15 - Ποσοστιαία βαθμολογία τομέων

Συγκεκριμένα, για τον τομέα της ενέργειας η αναφορά που προκύπτει αιτιολογεί τον βαθμό αξιολόγησής της, παραθέτει συγκεκριμένα στοιχεία για την κατανάλωση της ενέργειας, σύμφωνα με τις απαντήσεις που έχουν δοθεί στο ερωτηματολόγιο που αφορά το εξεταζόμενο κτίριο, και παραθέτει προτάσεις βελτίωσης.

2.2.5 Η μεθοδολογία Energy Star

Σε μία ομιλία του για τις ραγδαίες κλιματικές αλλαγές που παρατηρούνται παγκοσμίως, ο πρώην πρόεδρος των ΗΠΑ Bill Clinton (1997) έκανε την ακόλουθη δήλωση^[10]:

«Αν για το διάστημα των επόμενων 15 ετών όλοι αγόραζαν αποκλειστικά εξοπλισμό και προϊόντα με το χαρακτηριστικό σήμα ENERGY STAR, τότε στο τέλος της δεκαπενταετίας θα είχαμε εξοικονομήσει 100 δις δολάρια από τους λογαριασμούς του ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ ταυτόχρονα θα είχαμε μειώσει δραματικά τις εκπομπές ρύπων που εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.»

Η δήλωση αυτή ήταν καθοριστική για την πορεία και εξέλιξη του προγράμματος Energy Star^[11], καθώς από το 1997 που ξεκίνησε έως και σήμερα είναι αξιοσημείωτη η εξάπλωση του, που πλέον καλύπτει ένα ευρύ πεδίο δράσης. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι τότε προβλέψεις για εξοικονόμηση χρημάτων αποδείχθηκαν συντηρητικές, δεδομένου ότι σήμερα υπάρχει η εκτίμηση ότι με πλήρη διείσδυση στην αγορά των πιστοποιημένων προϊόντων Energy Star, το ποσό εξοικονόμησης χρημάτων ανέρχεται στα 19 δις δολάρια ετησίως με παράλληλη μείωση των ρύπων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου αντίστοιχη με 29 εκατομμύρια αυτοκίνητα. Βέβαια, όπως άλλωστε τονίζει και το λογότυπο του προγράμματος, «Το Κέρδος Δεν Είναι Μόνο Τα Χρήματα Που Εξοικονομούνται».



Σχήμα 16 - Λογότυπο Energy Star

Το 1992 το Υπουργείο Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA) παρουσίασε το Energy Star ως ένα εθελοντικό πρόγραμμα αξιολόγησης προϊόντων και συσκευών, τα οποία πιστοποιούνται (με το σήμα του Energy Star) ότι είναι ενεργειακά αποδοτικά και συντελούν στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τα πρώτα προϊόντα που έλαβαν αυτήν τη διάκριση ήταν οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και οι οθόνες τους. Από το 1995 και μετά το EPA διέυρνε την πιστοποίηση και σε άλλα προϊόντα εξοπλισμού γραφείου, καθώς και σε οικιακές κλιματιστικές συσκευές. Το 1996 το EPA συνεργάστηκε με το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (DOE) για

συγκεκριμένες κατηγορίες προϊόντων. Τώρα, το σήμα του Energy Star μπορεί να βρεθεί σε μεγάλες οικιακές συσκευές, εξοπλισμό γραφείου, φωτιστικά, καθώς και σε οικιακές ηλεκτρονικές συσκευές. Επίσης, η απονομή του σήματος μπορεί να περιλαμβάνει καινούριες και ανακατασκευασμένες κατοικίες, εμπορικά και βιομηχανικά κτίρια του δημόσιου και ιδιωτικού τομέα. Για τα κυριότερα σημεία στην εξέλιξη του προγράμματος μπορεί κανείς να συμβουλευτεί τον παρακάτω Πίνακα 4.

Μέσω της συνεργασίας του με περισσότερους από 7.000 ιδιωτικούς και δημόσιους οργανισμούς, το πρόγραμμα του Energy Star παρέχει όλες τις τεχνικές πληροφορίες και τα εργαλεία, που οι οργανισμοί και οι καταναλωτές χρειάζονται ώστε να επιλέξουν τις πιο αποδοτικές και συμφέρουσες λύσεις, που αφορούν στην ορθολογική χρήση της ενέργειας και την ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος (Best Energy Management Practices).

Κατά τη διάρκεια της περασμένης δεκαετίας η μεθοδολογία Energy Star υπήρξε η κινητήριος δύναμη για την εξάπλωση της χρήσης τεχνολογικών καινοτομιών, όπως οι φωτεινοί σηματοδότες ρύθμισης κυκλοφορίας με διόδους εκπομπής φωτός (LED`s), οι συμπαγείς λαμπτήρες φωτισμού («εξοικονόμησης ενέργειας»), τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας για εξοπλισμό γραφείου και τις συσκευές που μπορούν να τίθενται σε κατάσταση αναμονής (Standby Mode).

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται η πορεία εξέλιξης του προγράμματος με ορόσημα και στοιχεία διείσδυσης στον κτιριακό τομέα.

Πορεία εξέλιξης του Energy Star		
Ημερομηνία		Δραστηριότητα
1991	Ιανουάριος	Το EPA παρουσιάζει το πρόγραμμα Green Light, το οποίο προωθεί αποδοτικά συστήματα φωτισμού σε εμπορικά και βιομηχανικά κτίρια (αυτό το πρόγραμμα ενσωματώθηκε στο Energy Star στο τέλος της δεκαετίας).
1992	Ιούνιος	Παρουσίαση πρώτης σειράς προϊόντων με το σήμα Energy Star στην οποία περιλαμβάνονται οι Η/Υ και οι οθόνες.
1993	Ιανουάριος	Το EPA διευρύνει το Energy Star συμπεριλαμβάνοντας εκτυπωτές.
1994	Οκτώβριος	Μηχανές FAX εισάγονται στην κατηγορία των προϊόντων που φέρουν το σήμα Energy Star.
1995	Μάρτιος	Το Energy Star λανσάρεται για να βοηθήσει τις επιχειρήσεις ταυτοχρόνως να βελτιώσουν την ενεργειακή τους απόδοση και να μειώσουν τα έξοδα τους. Το Green Light ενσωματώνεται στο Energy Star.
	Απρίλιος	Το EPA παρουσιάζει τις προδιαγραφές του Energy Star για φωτοαντιγραφικά, μετατροπείς, οικιακές συσκευές θέρμανσης και κλιματισμού, συμπεριλαμβάνοντας αντλίες θερμότητας, κεντρικές κλιματιστικές μονάδες, κλίβανους και προγραμματιζόμενους θερμοστάτες.
	Οκτώβριος	Το EPA προωθεί νέες οικίες που φέρουν το σήμα Energy Star, οι οποίες είναι 30% περισσότερο αποδοτικές από τις ήδη υπάρχουσες.
1996	Ιούνιος	Το EPA και το DOE ανακοινώνουν την συνεργασία τους. Φωτιστικά σήματα εξόδου, μονωτικά υλικά και καυστήρες προστίθενται στην λίστα των προϊόντων που φέρουν το σήμα Energy Star.
	Οκτώβριος	Το Energy Star παρουσιάζει ενεργειακά αποδοτικές οικιακές συσκευές περιλαμβάνοντας πλυντήρια πιάτων, ψυγεία και τοπικές κλιματιστικές συσκευές.
	Δεκέμβριος	Διάφορες εθνικές εταιρίες ενοικίασης σπιτιών, αρχίζουν να προβάλλουν ενδιαφέρον για τις οικίες που φέρουν το σήμα του Energy Star.
1997	Μάρτιος	Ανακοινώνονται οι προδιαγραφές του Energy Star για οικιακό φωτισμό, πολυμηχανήματα και scanners.
	Ιούλιος	Το Energy Star παρουσιάζει το εμπορικό του σήμα και στα πλυντήρια ρούχων.
	Δεκέμβριος	Τα βιομηχανικά κτίρια φέρουν το σήμα του Energy Star.
1998	Ιανουάριος	Το Energy Star παρουσιάζει το εμπορικό του σήμα στις τηλεοράσεις και τα video.
	Μάρτιος	Τα ανοίγματα (παράθυρα-πόρτες) προστίθενται στην λίστα των προϊόντων Energy Star.
1999	Ιανουάριος	Οι απαιτήσεις του προγράμματος Energy Star ανακοινώνονται για τους καταναλωτές του ηχητικού εξοπλισμού και των DVD.
	Φεβρουάριος	Εισάγονται στο Energy Star προϊόντα κατασκευής στεγών.
	Ιούνιος	Το 25% των γραφείων διαθέτει πλέον το σήμα του Energy Star.
	Αύγουστος	Τα συμπαγή φωτιστικά φθορισμού προστίθενται στην οικογένεια του Energy Star.

2000	Απρίλιος	Το 25% των σχολείων διαθέτει το σήμα του Energy Star.
	Ιούνιος	Τα κτίρια του Αμερικάνικου Στρατού και Ναυτικού αποκτούν το πιστοποιητικό του Energy Star.
	Οκτώβριος	Ψύκτες νερού και φωτεινοί σηματοδότες συγκαταλέγονται στα προϊόντα Energy Star.
	Νοέμβριος	Το Energy Star προσφέρει το Home Improvement Toolbox διευκολύνοντας τους χρήστες να ενσωματώσουν το Energy Star σε βελτιώσεις και ανανεώσεις των σπιτιών τους. Το Portfolio Manager, ένα εργαλείο διαχείρισης ενέργειας στα κτίρια, ανακοινώνεται.
2001	Ιανουάριος	Το Energy Star συστήνει οικιακές συσκευές ύγρανσης.
	Ιούνιος	Ανακοινώνονται οι προδιαγραφές του Energy Star για ανεμιστήρες εξαερισμού και οικιακά πλυντήρια.
	Ιούλιος	Το 25% των πολυκαταστημάτων διαθέτει το σήμα του Energy Star.
	Αύγουστος	Ανακοινώνονται οι προδιαγραφές του Energy Star για ανεμιστήρες αερισμού οροφής και οικιακού εξοπλισμού θέρμανσης-ψύξης.
	Σεπτέμβριος	Ανακοινώνονται οι προδιαγραφές του Energy Star για πόρτες ψυγείων και καταψυκτών.
	Νοέμβριος	Το EPA και το Energy Star ξεκινάει καμπάνια ενημέρωσης ονομαζόμενη «Change» έτσι ώστε να ενθαρρύνει τους Αμερικάνους να προστατέψουν το περιβάλλον αλλάζοντας τις συνήθειές τους στην χρήση των προϊόντων. Το 25% των νοσοκομείων διαθέτει το σήμα του Energy Star.
2001 - 2005		Εκτέλεση του προγράμματος ENERGY STAR στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα. κατά τη χρονική περίοδο 2001 – 2005.
2005	Ιανουάριος	Ανανέωση συμφωνίας με την Ευρωπαϊκή Κοινότητα
2007	Σεπτέμβριος	Αναθεώρηση του πλαισίου αξιολόγησης των κτιρίων με προσθήκη παραμέτρων για τους ρύπους του φαινομένου του θερμοκηπίου
2008	Φεβρουάριος	Ο αριθμός των εμπορικών κτιρίων και των εργοστασίων που είναι πιστοποιημένα κατά ENERGY STAR αυξάνεται κατά 25% σε σχέση με το 2007 φτάνοντας τα 4.100.

Πίνακας 6 - Πορεία εξέλιξης του Energy Star

Εστιάζοντας στον τομέα των κτιρίων, από τον Ιανουάριο του 1999 το Υπουργείο Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA), σε συντονισμό με το Υπουργείο Ενέργειας (DOE), παρείχαν στο ευρύ κοινό τα μέσα για μια γρήγορη και εύκολη εκτίμηση και αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των εμπορικών κτιρίων καθώς και τη δυνατότητα της μεταξύ τους σύγκρισης. Ύστερα από μία διαδικασία που λαμβάνει υπόψη παράγοντες υψηλής ενεργειακής έντασης, που ενδεχομένως διαφέρουν από κτίριο σε κτίριο (όπως το κλίμα κάθε περιοχής ή τα κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των κτιρίων), τα κτίρια που επιτυγχάνουν να συγκεντρώσουν βαθμολογία ίση ή μεγαλύτερη των 75 πόντων (σε μια κλίμακα 1-100) και ταυτόχρονα μπορούν να διατηρούν ένα εσωτερικό περιβάλλον υψηλών απαιτήσεων (υγιεινό και παραγωγικό), είναι αυτά που καλύπτουν τις απαιτήσεις ώστε να τους απονεμηθεί το σήμα του Energy Star.

Η αποτίμηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων πραγματοποιείται με το Portfolio Manager, ένα διαδικτυακό αλληλεπιδραστικό λογισμικό. Η διαδικασία έγκειται στην εισαγωγή από τον χρήστη πληροφοριών για τα φυσικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, καθώς και των στοιχείων εκείνων που αφορούν στην κατανάλωση ενέργειας. Ακολούθως ο χρήστης λαμβάνει τις εξής πληροφορίες

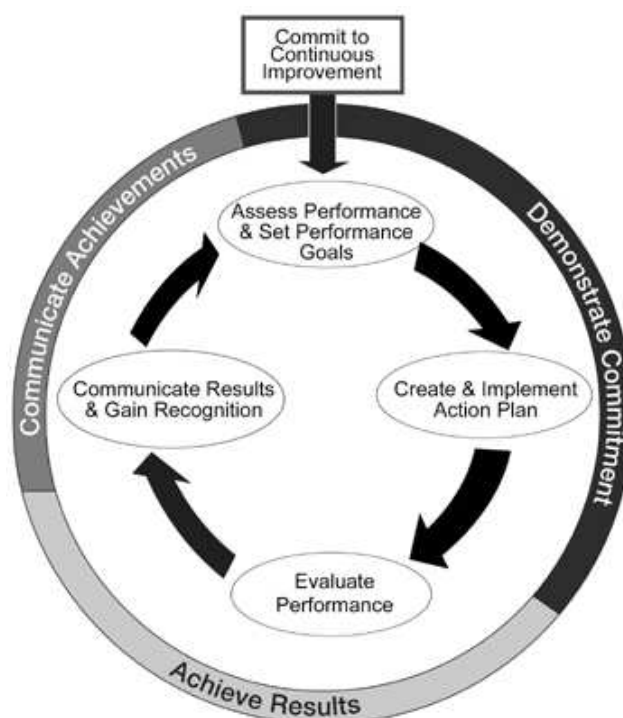
- Βαθμολογία επίδοσης που συγκέντρωσε το κτίριο εκφρασμένη σε κλίμακα 1-100 (η οποία μπορεί να φέρει σε σύγκριση το κτίριο με άλλα της ίδιας κατηγορίας).
- Ενεργειακή ένταση του κτιρίου (κανονικοποιημένη σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα και εκφρασμένη σε ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας).
- Έναν αριθμό-στόχο για τη βελτίωση της επίδοσης του κτιρίου, ο οποίος εκφράζεται σε κλίμακα 1-75 και λαμβάνει υπόψη τα ιδιαίτερα φυσικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του κτιρίου.

Ύστερα από τη λήψη των αποτελεσμάτων και εφόσον πληρούν τις προϋποθέσεις, οι χρήστες μπορούν να κάνουν αίτηση για τη λήψη του σήματος του Energy Star, συμπληρώνοντας μια επιστολή και μια Δήλωση Ενεργειακής Συμπεριφοράς (Statement of Energy Performance). Αυτό το έγγραφο χρησιμεύει όχι μόνο στο να επιδεικνύει τα ενεργειακά χαρακτηριστικά των κτιρίων τα οποία συνοδεύει, αλλά και να παρουσιάζει τα ιδιαίτερα φυσικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, καθώς και το βαθμό της συμμόρφωσης του κτιρίου με το τρέχον θεσμικό πλαίσιο που διέπει την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος. Σε γενικές γραμμές, το παραπάνω έγγραφο μπορεί να αποτελέσει την «ταυτότητα» του κτιρίου και να ταυτιστεί με το Δελτίο Ενεργειακής Ταυτότητας (ΔΕΤΑ). Όπως το ΔΕΤΑ οφείλει να φέρει την υπογραφή εγκεκριμένου Ενεργειακού Επιθεωρητή, κατά τον ίδιο

τρόπο πρέπει να επικυρωθεί η Δήλωση Ενεργειακής Συμπεριφοράς από έναν Ειδικευμένο Μηχανικό.

Αξίζει να τονιστεί ότι η χρήση της παραπάνω εφαρμογής αξιολόγησης γίνεται χωρίς την καταβολή χρηματικού αντιτίμου. Τα μόνα έξοδα αφορούν στην αίτηση για την λήψη του σήματος Energy Star, όπου προβλέπεται αμοιβή για το μηχανικό που θα πιστοποιήσει την Δήλωση Ενεργειακής Συμπεριφοράς.

Τη βασική παρουσίαση του προγράμματος Energy Star ακολουθεί η περαιτέρω παρουσίαση της φιλοσοφίας το διέπει με έμφαση στην αξιολόγηση των κτιρίων, η οποία σχετίζεται με την υιοθέτηση ενός σχεδίου για τη καλύτερη δυνατή διαχείριση της ενέργειας (Energy Management Strategy). Οι κυριότεροι άξονες αυτής της φιλοσοφίας αναλύονται στη συνέχεια και φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 17 - Στρατηγικοί άξονες Energy Star

- Δέσμευση για συνεχή βελτίωση. Αξιολόγηση της τρέχουσας κατάστασης και ανάπτυξη στόχων
- Δημιουργία και εφαρμογή ενός σχεδίου δράσης – εκπαίδευση και ενημέρωση χρηστών κτιρίου
- Αξιολόγηση επιδόσεων
- Δημοσιοποίηση αποτελεσμάτων και αναγνώριση

Από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί υπό την αιγίδα του EPA, έχει διαπιστωθεί πως εταιρίες και οργανισμοί που λαμβάνουν σοβαρά υπόψη τους τον παράγοντα «Ενεργειακή Διαχείριση», υπερτερούν των ανταγωνιστών τους κατά ένα ποσοστό που φθάνει το 10%. Επίσης είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι αυτοί οι οργανισμοί, που υπερτερούν στις ενεργειακές τους επιδόσεις, εφαρμόζουν τα παραπάνω βήματα σαν ένα μέρος της κανονικής τους λειτουργίας.

Η δέσμευση για τη συνεχή βελτίωση στον περιβαλλοντικό και ενεργειακό τομέα είναι απαραίτητη ώστε η επιχείρηση να μπορέσει να αποκομίσει τα μέγιστα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη από μία άρτια ενεργειακή διαχείριση. Η επίδειξη της δέσμευσης αυτής περιλαμβάνει δύο βήματα: την υιοθεσία μιας ενεργειακής πολιτικής και την ανάθεση της τήρησής του σε ένα υπεύθυνο εξειδικευμένο σε θέματα ενέργειας.

Μια επίσημη ενεργειακή πολιτική παρέχει τα θεμέλια για την ενσωμάτωση μίας στρατηγικής για τη διαχείριση της ενέργειας μέσα στους στόχους της επιχείρησης. Η δέσμευση επισημοποιείται με την σύνταξη δύο εγγράφων- επιστολών στο Energy Star. Το πρώτο έγγραφο ονομάζεται «Επιστολή Συνεργασίας» (Partnership Letter. Ταυτόχρονα, πρέπει να συμπληρωθεί μία «Φόρμα Δέσμευσης» (Commitment Form), στην οποία δηλώνονται οι τομείς στους οποίους δεσμεύεται αυτή να εκπληρώσει τις υποχρεώσεις, που απορρέουν από τη συνεργασία της με το Energy Star. Μέρος αυτών των υποχρεώσεων αποτελούν τα παρακάτω:

- Μέτρηση, έλεγχος και βαθμολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς
- Ανάπτυξη και εφαρμογή ενός σχεδίου για βελτίωση της τελευταίας και υιοθεσία της στρατηγικής του Energy Star
- Εκπαίδευση του προσωπικού και ενημέρωση του κοινού σχετικά με τη συνεργασία αυτή και γενικότερα προβολή όλων όσων, επιτεύχθηκαν μέσω αυτής.
- Επίδειξη εμπιστοσύνης προς τον εξειδικευμένο σε θέματα ενέργειας υπεύθυνο από τη διοίκηση.

Το δεύτερο στάδιο της φιλοσοφίας του Energy Star έχει να κάνει με την εκτίμηση της τρέχουσας κατάστασης που βρίσκεται ένα κτίριο καθώς και στην τοποθέτηση μελλοντικών στόχων. Για την επίτευξη των παραπάνω, το Energy Star παρέχει τα εργαλεία για την:

- Εκτίμηση της οικονομικής αξίας της βελτιωμένης ενεργειακής επίδοσης

- Εκτίμηση της συνολικής συμπεριφοράς των κτιρίων (ενεργειακά και περιβαλλοντικά)

Αυτά τα εργαλεία βοηθούν τον ενδιαφερόμενο ώστε να γνωρίζει που να εστιάσει τις επενδύσεις του, να έχει μια βάση για την θέση στόχων και να μπορεί να δει μετρήσιμα αποτελέσματα.

Για τις εκτιμήσεις οικονομικής φύσεως, οι ενδιαφερόμενοι έχουν στη διάθεσή τους μια δέσμη εργαλείων που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Υπολογιστής Οικονομικής Αξίας (Financial Value Calculator): Πρόκειται για ένα εργαλείο με το οποίο είναι δυνατή η ποσοτικοποίηση της βελτιωμένης ενεργειακής συμπεριφοράς σε οικονομικούς όρους. Με άλλα λόγια, μπορεί να αποσαφηνιστεί το οικονομικό όφελος το οποίο θα έχει για την επιχείρηση ή τον ιδιοκτήτη του κτιρίου κάποια επέμβαση για τη βελτίωση των ενεργειακών επιδόσεων του. Τονίζεται, βέβαια, ότι αυτές οι βελτιώσεις εκτός από οικονομικό όφελος, λειτουργούν ευεργετικά τόσο για το περιβάλλον, όσο και για τη δημόσια εικόνα των εμπλεκομένων.

Οικονομικοί δείκτες σχετιζόμενοι με την ενέργεια (Energy-Related Financial Metrics): Το EPA προσφέρει μία δέσμη τέτοιων δεικτών με στόχο να βοηθήσει στην κατανόηση της αποτελεσματικότητας των πρακτικών που εφαρμόζονται και στην εύρεση ευκαιριών που θα βελτιώσουν αυτές τις πρακτικές διαχείρισης ενέργειας. Η χρησιμοποίηση των δεικτών επιτρέπει στους αποφασίζοντες και στους οικονομικούς αναλυτές να αξιολογήσουν γρήγορα και με ακρίβεια την ενεργειακή επίδοση της εταιρίας τους σε σύγκριση με άλλες επιχειρήσεις του ίδιου τομέα.

Οι δείκτες αυτοί μετατρέπουν τα έξοδα, που αφορούν την ενέργεια, σε ένα στρατηγικό οικονομικό δείκτη. Χρησιμοποιούνται για να εκτιμήσουν τη λειτουργική αποτελεσματικότητα, το επιχειρηματικό ρίσκο και το αναπτυξιακό δυναμικό.

Υπάρχουν πέντε κατηγορίες οικονομικών δεικτών η περιγραφή των οποίων φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Κατηγορίες Οικονομικών Δεικτών	
Δείκτης	Περιγραφή
Energy Sales Index	Συγκρίνει τα ετήσια έξοδα για την ενέργεια με τα έσοδα από της ετήσιες πωλήσεις. Αντιστοιχεί το ποσό της ενέργειας που καταναλώθηκε ανά μονάδα πωλούμενου προϊόντος. Κάνει εκτίμηση της λειτουργικής αποτελεσματικότητας και του επιχειρηματικού ρίσκου.
Energy Operating Index	Συγκρίνει τα ετήσια έξοδα για την ενέργεια με τα ετήσια λειτουργικά έξοδα. Μετρά τη συνολική λειτουργική αποτελεσματικότητα (στοιχείο σημαντικό για επιχειρήσεις περιθώρια κέρδους). Κάνει εκτίμηση της λειτουργικής αποτελεσματικότητας και του επιχειρηματικού ρίσκου.
Energy Exposure Index	Συγκρίνει τα ετήσια έξοδα για την ενέργεια με τις ετήσιες δραστηριότητες, που ενέχουν χρηματοροές ετήσια λειτουργικά έξοδα. Κάνει εκτίμηση της λειτουργικής αποτελεσματικότητας και του αναπτυξιακού δυναμικού.
Energy Income Index	Συγκρίνει τα ετήσια έξοδα για την ενέργεια με τα ετήσια καθαρά έσοδα. Σχετίζει τα έξοδα για την ενέργεια απευθείας με οικονομική επιφάνεια της εταιρίας. Κάνει εκτίμηση της λειτουργικής αποτελεσματικότητας και του αναπτυξιακού δυναμικού.
Energy Asset Index	Συγκρίνει τα ετήσια έξοδα για την ενέργεια με το ενεργητικό της εταιρίας. Παρέχει σχετική σύγκριση με των ενεργειακών εξόδων με το ενεργητικό απόθεμα της εταιρίας. Κάνει εκτίμηση της λειτουργικής αποτελεσματικότητας και του αναπτυξιακού δυναμικού.

Πίνακας 7 - Κατηγορίες Οικονομικών Δεικτών

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η αξιολόγηση της απόδοσης των κτιρίων πραγματοποιείται με τη διαδικτυακή εφαρμογή Portfolio Manager. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι τομείς που λαμβάνονται υπόψη στην συνολική αξιολόγηση του κτιρίου:

- Φυσικά χαρακτηριστικά
- Λειτουργικά χαρακτηριστικά
- Κατανάλωση ενέργειας
- Θερμική άνεση
- Φωτισμός
- Αερισμός
- Εσωτερική ποιότητα αέρα

Η επίδραση του κλίματος, το οποίο μπορεί να διαφέρει είτε από περιοχή σε περιοχή είτε χρόνο με το χρόνο συνυπολογίζεται στη βαθμολογία που λαμβάνει το κτίριο, με τις απαιτούμενες διορθώσεις. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, αν ληφθεί υπόψη

ότι η κατανάλωση ενέργειας σε δωδεκαώροφα κτίρια μπορεί να διαφέρει έως και 30% σε διαφορετικές καιρικές συνθήκες. Έτσι αναπτύχθηκε ένας επιπλέον δείκτης με την ονομασία Normalized Annual Consumption (NAC), ο οποίος αντιπροσωπεύει την ενέργεια που θα κατανάλωνε το κτίριο κατά την διάρκεια ενός «κανονικού» έτους, δηλαδή ενός έτους στο οποίο θα επικρατούσαν φυσιολογικές καιρικές συνθήκες.

Η μεθοδολογία Energy Star παρέχει στην αξιολόγηση κτιρίων επιπλέον εργαλεία που μπορούν να διευκολύνουν την ενεργειακή διαχείριση όπως το Target Finder και το Delta Score Estimator. Για νεοαναγειρόμενα κτίρια το EPA προτείνει τη θέση ενός στόχου απόδοσης και την παρακολούθηση της σχεδιαστικής διαδικασίας με την χρήση του Target Finder. Με αυτό το εργαλείο μπορεί να τεθεί ένας επιθυμητός στόχος ενεργειακής απόδοσης για το νέο κτίριο και να διαπιστωθεί εάν αυτός είναι εφικτός σύμφωνα με τα τρέχοντα σχέδια. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να αποφασιστούν ποιες αλλαγές είναι απαραίτητο να γίνουν στα αρχικά σχέδια πριν από το στάδιο της κατασκευής, ελαττώνοντας τις δαπανηρές τροποποιήσεις κατά την διάρκεια της κατασκευής και μετά την αποπεράτωση του κτιρίου. Για κτίρια τα που έχουν ήδη λάβει το σήμα του Energy Star, η βαθμολογία υπολογίζεται από την κατανάλωση ενέργειας προερχόμενη από τους λογαριασμούς ύστερα από ένα έτος χρήσης του κτιρίου. Επίσης συνίσταται στην παραπάνω φόρμα να τίθεται ένας στόχος της τάξεως του 90 ή υψηλότερος.

Η βοηθητική εφαρμογή Delta Score αποτελεί έναν γρήγορο τρόπο αναγνώρισης της σχέσης που υπάρχει μεταξύ του ποσοστού της ενέργειας που εξοικονομείται σε ένα κτίριο και της βαθμολογίας που αυτό λαμβάνει μέσω της αξιολόγησης Energy Star. Κάνοντας χρήση αυτού του εργαλείου υπολογίζεται η νέα βαθμολογία που θα λάμβανε το κτίριο εάν κατανάλωνε λιγότερη ενέργεια, εισάγοντας μια συγκεκριμένη εκατοστιαία μείωση στη χρήση ενέργειας. Ακόμα εισάγοντας σε αυτό μια επιθυμητή βαθμολογία, το εργαλείο είναι σε θέση να υπολογίσει το ποσοστό στο οποίο είναι απαραίτητο να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας ώστε να επιτευχθεί η βαθμολογία-στόχος.

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της αξιολόγησης της τρέχουσας κατάστασης του κτιρίου με τους τρόπους που περιγράφονται παραπάνω, πρέπει να καταρτιστεί και εφαρμοστεί ένα σχέδιο δράσης. Ένα τέτοιο σχέδιο δράσης αποτελεί την πορεία που οφείλει κανείς να ακολουθήσει μέσα στον αξιολογούμενο οργανισμό, εταιρία, επιχείρηση, ώστε να εστιάσει και να θέσει προτεραιότητες για την σωστή ενεργειακή διαχείριση.

Ένα τυπικό σχέδιο δράσης περιλαμβάνει:

- Αναγνώριση των σημείων ενεργειακών επεμβάσεων

- Τα μέσα για την ποσοτικοποίηση των δυνατοτήτων εξοικονόμησης ενέργειας και για την αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων
- Περιγραφή του τρόπου με τον οποίο θα επιτευχθούν οι στόχοι
- Τα σημαντικότερα σημεία του σχεδίου δράσης
- Κατανομή προϋπολογισμού δαπανών
- Εκπαίδευση και παροχή κινήτρων για ενεργή συμμετοχή του προσωπικού

Η μεθοδολογία του Energy Star εστιάζει στη δημιουργία ενός τέτοιου σχεδίου δράσης που είναι «κτιριοκεντρικό» και δεν περιορίζεται απλά στην εφαρμογή επιλεγμένων τεχνολογιών, χωρίς να λαμβάνει υπόψη του την ιδιομορφία κάθε κτιρίου. Προς αυτήν την κατεύθυνση βαδίζει μία προσέγγιση αποτελούμενη από πέντε στάδια - φάσεις και η οποία εκμεταλλεύεται τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα διάφορα συστήματα του κτιρίου. Αυτή η προσέγγιση ξεκινάει με την πραγματοποίηση χαμηλού κόστους βελτιώσεων και την αναβάθμιση των συστημάτων φωτισμού. Στη συνέχεια προτείνει εξοπλισμό και συσκευές με μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση καθώς και άλλους τρόπους για την περαιτέρω μείωση των θερμικών/ψυκτικών φορτίων, ενθαρρύνει προς τη σωστή διαστασιολόγηση των ανεμιστήρων (υπό τα νέα δεδομένα), και τελικά προτείνει αναβαθμίσεις του συστήματος κλιματισμού.

Φάσεις Μεθοδολογίας Energy Star	
1η Φάση	Περιοδικοί έλεγχοι του εξοπλισμού του κτιρίου, των συστημάτων και των διαδικασιών συντήρησης ώστε να διαπιστωθεί εάν αυτά είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κτιρίου και κυρίως με τις τρέχουσες λειτουργικές ανάγκες.
2η Φάση	Εγκατάσταση ενεργειακά αποδοτικών φωτιστικών συστημάτων που βελτιώνουν την ποιότητα φωτισμού και μειώνουν το ψυκτικό φορτίο.
3η Φάση	Αγορά εξοπλισμού και συσκευών με το σήμα ENERGY STAR, εγκατάσταση προστατευτικού φίλμ στα ανοίγματα και πρόσθεση μόνωσης ή κάποιας ανακλαστικής επίστρωσης στην οροφή, ώστε να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας εξαιτίας επιπρόσθετων πηγών ψυκτικών φορτίων.
4η Φάση	Σωστή διαστασιολόγηση ανεμιστήρων, προσθήκη οδηγών μεταβλητής ταχύτητας και μετατροπή σε ένα σύστημα μεταβλητού όγκου αέρα.
5η Φάση	Αντικατάσταση ψυκτών χλωροφθοράνθρακα, ανακατασκευή ή εγκατάσταση ενεργειακά αποδοτικών μοντέλων (σύμφωνα με τα νέα δεδομένα φορτίων), αναβάθμιση λεβήτων και άλλων συστημάτων κεντρικών εγκαταστάσεων ώστε να συμφωνούν με ενεργειακά αποδοτικά πρότυπα.

Πίνακας 8 - Φάσεις Μεθοδολογίας Energy Star

Ένα κοινό χαρακτηριστικό των εταιριών και οργανισμών που πρωτοπορούν στο τομέα της ενεργειακής διαχείρισης είναι η ενεργή συμμετοχή όλου του προσωπικού στην ενεργειακή πολιτική της εταιρίας. Η μεθοδολογία Energy Star παρέχει στους χρήστες της την πείρα άλλων εταιριών με επιτυχημένη πορεία στο

τομέα της ενεργειακής διαχείρισης, αλλά και δικές της τακτικές, ώστε να δοθούν τα κατάλληλα κίνητρα (συνεχής εκπαίδευση, επιβραβεύσεις κ.α.) για την συμμετοχή του προσωπικού στην προσπάθεια της εταιρίας. Το Energy Star προσφέρει εκπαίδευση σύμφωνα με τις ιδιαίτερες ανάγκες κάθε εταιρίας χωρίς χρέωση στους ενδιαφερόμενους και είναι ένα ικανό κίνητρο για υιοθέτηση της μεθοδολογίας και των πρακτικών του Energy Star.

Για να διαπιστωθεί εάν το σχέδιο δράσης το οποίο εφαρμόστηκε στα προηγούμενα βήματα έχει όντως επιφέρει τις ζητούμενες βελτιώσεις, είναι απαραίτητο να γίνει εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας ύστερα από την εφαρμογή του και να συγκριθεί αυτή με τους αρχικούς στόχους. Η διαδικασία είναι πανομοιότυπη με την αρχική αξιολόγηση που έγινε στο κτίριο, ωστόσο αυτή η εκτίμηση και επαναξιολόγηση δεν αποτελεί το τελευταίο στάδιο της μεθοδολογίας, αλλά είναι μια διαδικασία η οποία είναι σημαντικό να εκτελείται περιοδικά. Με αυτό το τρόπο παρέχεται η ευκαιρία για ανασχεδιασμό της στρατηγικής που υιοθετήθηκε σε πρώτο στάδιο, επανακαθορισμό των αρχικών στόχων και ανάπτυξη βελτιωμένων μελλοντικών σχεδίων. Το Energy Star συστήνει αυτή η διαδικασία να γίνεται τουλάχιστον ετησίως, ώστε να γίνεται ευκολότερα ο έλεγχος της προόδου που έχει πραγματοποιηθεί.

Το τελευταίο και πολύ σπουδαίο στάδιο της στρατηγικής που προτείνει το Energy Star και αφορά τη σωστή ενεργειακή διαχείριση έχει να κάνει με την αναγνώριση της τελευταίας από το ευρύ κοινό μέσω διαδικασιών δημοσιοποίησης. Το πρόγραμμα, εκτός από χρήση του σήματος του Energy Star, παρέχει εργαλεία όπως ένα ενημερωτικό φυλλάδιο (Employee Brochure) το οποίο ενημερώνει τους χρήστες του κτιρίου για τους τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας στον εργασιακό και οικιακό χώρο. Τέλος, μεγάλης σημασίας δραστηριότητες αποτελούν οι εκδηλώσεις απονομής των βραβείων που ανακοινώνει κάθε χρόνο το Energy Star, οι οποίες καταφέρνουν και συγκεντρώνουν μεγάλη δημοσιότητα.

Συνοψίζοντας την αναφορά σε αυτήν την μεθοδολογία συμπεραίνεται ότι μέσα στα δώδεκα χρόνια ζωής του, το Energy Star επεκτάθηκε από τον τομέα των προσωπικών υπολογιστών σε ένα πολυεθνικό πρόγραμμα που υποστηρίζει πάνω από 30 διαφορετικά είδη προϊόντων στην εμπορική και οικιακή αγορά. Η κτιριακή διάσταση της μεθοδολογίας είναι, επίσης, σημαντική. Στο τέλος του 2007 4100 κτίρια είχαν ενταχθεί και πιστοποιηθεί από τους ελεγκτικούς μηχανισμούς του οργανισμού.

2.2.6 Συγκρίσεις

Ακολουθεί η σύγκριση των μεθοδολογιών αξιολόγησης που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους με τη μορφή πίνακα:

ΤΟΜΕΙΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ		GEM	ENERGY STAR
Μεθοδολογία Αξιολόγησης Κτιρίων			
Μεθοδολογία Αξιολόγησης Προϊόντων		X	
Εφαρμογή Αξιολόγησης	On-line λογισμικό		
	Αυτόνομο λογισμικό	X	X
Καταβολή Χρηματικού Ποσού	Για χρήση μεθοδολογίας		X
	Για πιστοποίηση των στοιχείων από επαγγελματία μηχανικό		
	Από κατασκευαστές προϊόντων	X	X
Δυνατότητα χρήσης διεθνώς			
Τομείς Μελέτης Κτιρίου - Προϊόντων			
Γενικά χαρακτηριστικά	Φυσικά		
	Λειτουργικά		
Ενέργεια	Κατανάλωση Ενέργειας		
	Διαχείριση Ενέργειας		
	Μεταφορές		X
Νερό			X
Διαχείριση Απορριμμάτων (Μείωση Αποβλήτων - Ανακύκλωση)			X
Εκπομπές	Εκπομπές Αερίων		
	Τρύπα του όζοντος		
	Επικίνδυνα Υλικά - Προϊόντα		
Εσωτερικό Περιβάλλον	Ποιότητα Εσωτερικού Αέρα - Ανθρώπινη Υγεία		
	Φωτισμός		
	Θόρυβος		X
	Θερμική Άνεση		
	Αερισμός		
Εξωτερικό Περιβάλλον	Άνοδος θερμοκρασίας πλανήτη		
	Όξινη βροχή		
	Ευτροφισμός		X
	Αποθέματα Ορυκτών Καυσίμων		
	Αλλαγή Φυσικού Περιβάλλοντος		X
	Αιθαλομίχλη		

Πίνακας 9 - Σύγκριση μεθοδολογιών

Συμπερασματικά, από την αξιολόγηση των μεθοδολογιών προκύπτει οι δύο μεθοδολογίες εξυπηρετούν μεν τον ίδιο σκοπό (εξετάζουν συνολικά την ενεργειακή και περιβαλλοντική απόδοση των κτιρίων) αλλά το επιχειρούν με αρκετά διαφορετική προσέγγιση.

Από τη σύγκριση των δύο μεθοδολογιών (GEM και ENERGY STAR), προκύπτει πως η πρώτη καταφέρνει να καλύψει ένα ευρύ πεδίο ενεργειακών και περιβαλλοντικών τομέων και θεμάτων, μία ευρύτητα που αφορά και στη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί διεθνώς. Αντίθετα, η Energy Star, η οποία εστιάζει κατά μείζονα λόγο στη χρήση ενέργειας στο κτίριο, πλεονεκτεί στο γεγονός ότι χρησιμοποιείται για την πιστοποίηση ενός πλήθους συσκευών και προϊόντων οικιακού και επαγγελματικού εξοπλισμού.

2.3 Τα Συστήματα Ενεργειακής Διαχείρισης Κτιρίων (BEMS)

2.3.1 Ανασκόπηση της εξέλιξης των BEMS

Τα πρώτα εμπορικά κτίρια μεγάλων διαστάσεων εμφανίζονται στις αρχές του 20^{ου} αιώνα^[12]. Το επίπεδο της τότε τεχνολογίας και των επόμενων δεκαετιών επαρκούσε μόνο για λειτουργίες θέρμανσης, εξαερισμού και φωτισμού οι οποίες ελέγχονταν σε τοπικό επίπεδο με απλούς αυτοματισμούς και κυρίως με ανθρώπινη παρέμβαση. Οι αυτοματισμοί αυτών των οικοδομημάτων ήταν κυρίως μηχανικοί με ελάχιστα ηλεκτρολογικά και ηλεκτρονικά στοιχεία (θερμοστάτες, ηλεκτρονόμοι κ.λ.π.). Το επίπεδο άνεσης στους χώρους των κτιρίων αυτών ήταν ικανοποιητικό και αυτός ήταν ένας από τους λόγους που οι κατασκευές ακολούθησαν την ίδια φιλοσοφία για αρκετές ακόμη δεκαετίες. Η κακή διαχείριση της ενέργειας δεν αποτελούσε τότε σημαντικό μειονέκτημα και τα φορτία δεν ήταν σημαντικά σε σχέση με σήμερα. Η απαλλαγή των χρηστών από την ενασχόληση της ρύθμισης των εσωτερικών συνθηκών ανά τακτά χρονικά διαστήματα επαρκούσε για τα δεδομένα της εποχής.

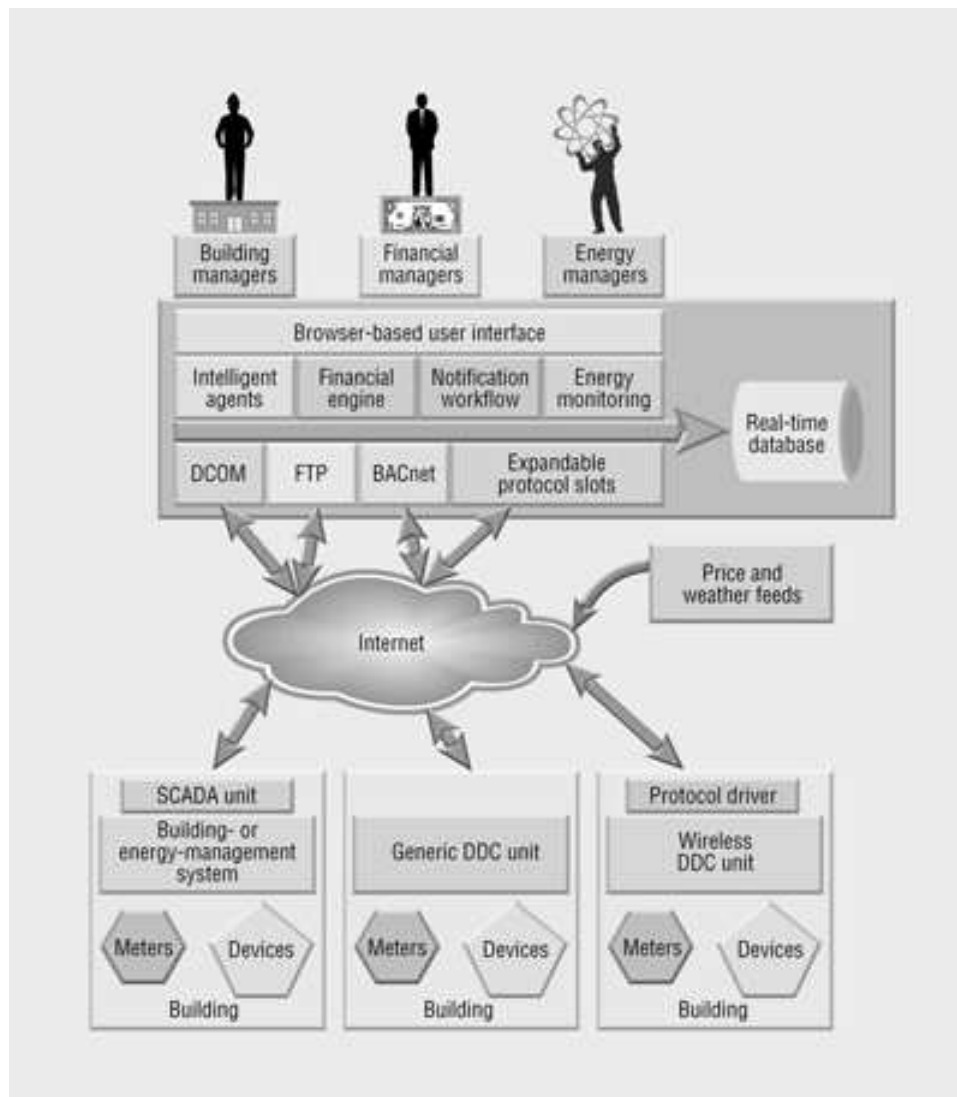
Αυτό το είδος κατασκευών επικράτησε μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 70 όταν πλέον η ανάπτυξη ηλεκτρονικών και υπολογιστικών συστημάτων άγγιξε και τον κατασκευαστικό τομέα. Η ιδέα της συνολικής αυτοματοποίησης της λειτουργίας ενός κτιρίου πρωτοεμφανίζεται στις αρχές της δεκαετίας του 80^[13]. Τα πρώτα κτίρια του είδους παρέχουν βασικές υπηρεσίες ελέγχου εσωτερικών συνθηκών (κλιματισμού, εξαερισμού, φωτισμού, ανελκυστήρων) και επικοινωνιών. Η ανάπτυξη των κεντρικών συστημάτων και των αισθητήρων βοήθησε σημαντικά στην υλοποίηση τους, παρέχοντας την κατάλληλη υποδομή για ένα υπολογιστικό σύστημα του οποίου σκοπός είναι ο συνολικός έλεγχος του κτιρίου. Ο έλεγχος, βέβαια, παραμένει σε επίπεδο βασικού αυτοματισμού, παρέχοντας πολλές ευκολίες, καθιστώντας, όμως, τη συνολική κατασκευή ένα δέκτη ερεθισμάτων από το περιβάλλον και τους χρήστες που λειτουργεί παθητικά και με προκαθορισμένο τρόπο. Σημαντικά βήματα, βέβαια, έγιναν με την συνολική αναβάθμιση των συστημάτων έλεγχου των κτιρίων αυτών. Για πρώτη φορά οικονομικοί παράγοντες λήφθηκαν υπόψη και παράμετροι όπως η ασφάλεια των ατόμων και η αντιμετώπιση ακραίων καταστροφικών καταστάσεων μελετήθηκαν και αντιμετωπίστηκαν στα πλαίσια του οικονομικά και υλικά δυνατού. Επίσης, νέες εξελιγμένες, καλύτερα ελεγχόμενες και πιο αποδοτικές συσκευές αποτελούσαν, πλέον, τον εξοπλισμό των συστημάτων διαχείρισης κτιρίων. Στο όλο κλίμα νεωτερισμών εντάχθηκε και η περιορισμένη χρησιμοποίηση υπολογιστών σε

αυτή την πρώτη γενιά “έξυπνων” κτιρίων. Αυτή πραγματοποιήθηκε, όμως, για την αντιμετώπιση της αυξανόμενης πολυπλοκότητας των συστημάτων και για λόγους εντυπωσιασμού των τότε ενδιαφερόμενων. Η χρήση καινοτόμων στοιχείων σε κάθε εφαρμογή αποτελεί αναμφισβήτητο πόλο έλξης για την πλειοψηφία. Ο ρόλος της νέας, τότε, τεχνολογίας, όμως, απέχει πολύ από τις πραγματικές δυνατότητες της και ήταν αποκλειστικά εκτελεστικού χαρακτήρα.

Η δεύτερη γενιά ευφυών κτιρίων παρουσιάζεται περίπου πέντε χρόνια αργότερα^[14], η βασική καινοτομία της οποίας περιλαμβάνει την δυνατότητα του συστήματος διαχείρισης να αποκρίνεται στις απαιτήσεις των χρηστών, εξασφαλίζοντας άνεση και ασφάλεια. Τα νέα αυτά χαρακτηριστικά απαιτούν επιπλέον αυτοματισμούς για την ρύθμιση των συνθηκών του εσωτερικού περιβάλλοντος και ευρεία ενσωμάτωση των τεχνολογιών πληροφορίας και επικοινωνιών. Ενδεικτικά στα νέα στοιχεία των συστημάτων αναφέρονται, η υλοποίηση τοπικών δικτύων πρόσβασης (Local Access Networks) και η χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών υπολογιστών σε τοπικό και κεντρικό επίπεδο. Κύριο χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών αποτελεί η ανάπτυξη εξειδικευμένου λογισμικού οι διεργασίες του οποίου διαχειρίζονται ανεξάρτητα τις λειτουργίες του κτιρίου. Η χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι πλέον καθολική αλλά η έμφαση έχει δοθεί στον τηλεπικοινωνιακό και πληροφορικό τομέα και όχι στη βέλτιστη διαχείριση των διατιθέμενων πόρων. Τα επίπεδα άνεσης που επιτυγχάνονται στο εσωτερικό είναι πολύ υψηλά σε συνδυασμό με την δραματική βελτίωση του ηλεκτρολογικού, μηχανολογικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού των κτιρίων. Τα συστήματα δεύτερης γενιάς ήταν πιο οικονομικά από αυτά που αντικατέστησαν εξαιτίας της συνολικής βελτίωσης των στοιχείων τους και όχι της αλλαγής αντιμετώπισης των πολυπαραμετρικών προβλημάτων που παρουσιάζονταν. Τα δεύτερης γενιάς έξυπνα κτίρια αποτελούν ακόμη και σήμερα την πλειοψηφία, με μόνη εξέλιξη την κεντρική διαχείριση των επιμέρους υποσυστημάτων, παρά την αλματώδη ανάπτυξη της τεχνολογίας. Οι βασικοί λόγοι της στασιμότητας στον τομέα αυτό των κατασκευών είναι το αρχικό κόστος, η έλλειψη πληροφόρησης και η εγγενής τάση της βάσης του κατασκευαστικού τομέα να δυσπιστεί στις νέες τεχνολογίες. Η απόδοση της προσφοράς προς το κόστος, όμως, σε συνάρτηση με τις δραματικά αυξανόμενες απαιτήσεις σε ενέργεια, καθιστούν τα συστήματα αυτά ελλιπή. Οι ελλείψεις των διαχειριστικών συστημάτων δεύτερης γενιάς εντοπίζονται στον τομέα της εύρεσης της βέλτιστης απόφασης και της αντιμετώπισης καταστάσεων στις οποίες οι επιθυμητοί στόχοι είναι αντικρουόμενοι, γεγονός πολύ συνηθισμένο για ένα κτίριο που φιλοξενεί πολλά άτομα και είναι εξοπλισμένο με συσκευές των οποίων οι λειτουργίες έχουν ανταγωνιζόμενα αποτελέσματα. Το σημαντικότερο, ίσως, και πιο χρήσιμο στην εξέλιξη των συστημάτων στοιχείο των έξυπνων κτιρίων δεύτερης

γενιάς αποτελεί η βέλτιστη δικτύωση εξοπλισμού, αισθητήρων και υπολογιστών συγκροτώντας μια ιδανική πλατφόρμα για την ανάπτυξη της νέας γενιάς συστημάτων.

Η τρίτη, και πλέον σύγχρονη, γενιά, των ευφυών κτιρίων εμφανίζεται στα μέσα της δεκαετίας του 90^[15] και χαρακτηρίζεται από την χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών ως εκτελεστές παρακολούθησης, διαχείρισης και λήψης απόφασης. Η ουσιαστική αλλαγή από τα μέχρι τώρα συστήματα έγκειται στην μελέτη και την ανάπτυξη διαδικασιών οι οποίες, εκτός από την παροχή γενικών υπηρεσιών και αυτοματοποίησης, διαχειρίζονται το κτίριο ως οντότητα, βελτιστοποιώντας την συνολική του λειτουργία, και παράλληλα αλληλεπιδρούν με τα άτομα μέσα σε αυτό υπακούοντας στις προσωπικές τους επιλογές άνεσης. Ένα επιπλέον πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των σύγχρονων συστημάτων αποτελεί η δυνατότητα τους να συνυπολογίζουν τις επιδράσεις των φυσικών παραγόντων και των επιτελούμενων λειτουργιών εντοπίζοντας την βέλτιστη για κάθε περίπτωση ακολουθία ενεργειών. Το βάρος έχει πλέον δοθεί στην διαδικασία της απόφασης, εργαλεία της οποίας είναι διάφοροι αλγόριθμοι που βασίζονται σε πολυπαραμετρικά μαθηματικά μοντέλα. Οι αλγόριθμοι αυτοί κατά την αναζήτηση της επιθυμητής λύσης χρησιμοποιούν σύγχρονες τεχνικές όπως τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence), εμπειρία (expert systems), ασαφή λογική (fuzzy logic) και προσεγγιστικές μεθόδους. Ένα σημαντικό στοιχείο των συστημάτων αυτών είναι η προσαρμοστικότητα και δυνατότητα τους για εκμάθηση από την καθημερινή λειτουργία του κτιρίου που διαχειρίζονται. Στην ιδανική περίπτωση τα άτομα μέσα στο κτίριο, μετά από μια περίοδο προσαρμογής, δεν θα απασχολούνται καθόλου με την διαμόρφωση των εσωτερικών συνθηκών η οποία θα είναι ευθύνη του συστήματος. Οι παραπάνω τεχνικές έχουν εφαρμοστεί σε διάφορα πολύπλοκα υπολογιστικά προβλήματα, αλλά στον τομέα διαχείρισης ενός κτιρίου είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Τα ευφυή κτίρια τρίτης γενιάς, επομένως, χρησιμοποιούν τα τεχνολογικά στοιχεία της προηγούμενης γενιάς και εξοπλίζονται κυρίως με λογισμικό που εξασφαλίζει ικανοποιητική απόκριση και απόδοση σε κάθε περίπτωση. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η γενική αρχιτεκτονική ενός σύγχρονου συστήματος.



Σχήμα 18 - Σύγχρονο σύστημα διαχείρισης κτιρίου

Στο προηγούμενο σχήμα παρουσιάζονται με λεπτομέρεια οι τεχνολογικές δυνατότητες ενός σύγχρονου συστήματος διαχείρισης ενέργειας σε κτίρια και οι προοπτικές διασύνδεσης εγκαταστάσεων διαφορετικών τεχνολογιών και φυσικών θέσεων. Η προτεινόμενη μεθοδολογία της διατριβής επικεντρώνεται στους τομείς της ευφυούς διαχείρισης (Intelligence) και της τεχνοοικονομικής αξιολόγησης επενδύσεων ενεργειακής βελτιστοποίησης (Financial and Energy Management).

2.3.2 Ερευνητικές Προσπάθειες

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΟΥ ESSEX

- **Περιγραφή:** Στο πανεπιστήμιο του Essex σχεδιάστηκε και προσομοιώθηκε ένα σύστημα ευφυούς διαχείρισης κτιρίου. Η διαχείριση αφορά τα επίπεδα θερμοκρασίας και φωτισμού στους χώρους του κτιρίου με σκοπό την βέλτιστη άνεση αλλά και εξοικονόμηση ενέργειας. Το σύστημα ακολουθεί δομή πολλαπλών αντιπροσώπων (multi-agent)^{[16],[17]}. Οι αντιπρόσωποι είναι διεργασίες που ενεργοποιούνται αυτόματα και συλλέγουν πληροφορίες για τη λειτουργία του κτιρίου ή ελέγχουν και επικοινωνούν με οντότητες του κτιρίου όπως ένα δωμάτιο, μια συσκευή ή ένα άτομο. Οι δυνατότητες των αντιπρόσωπων επεκτείνονται εκτός από διαχειριστικό και σε μαθησιακό επίπεδο καθώς προσαρμόζονται με τις εκάστοτε συνθήκες και αλλάζουν στρατηγική αντιμετώπισης των προβλημάτων που προκύπτουν ανάλογα με την εμπειρία που αποκτούν κατά τη λειτουργία. Η υλοποίηση έγινε με χρήση της εξειδικευμένης γλώσσας προγραμματισμού DIBAL (Distributed Intelligent Building Agent Language) και η προσομοίωση του συστήματος έγινε με την βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού Java και των εργαλείων CORBA ή Jini και JavaSpace. Η δικτυακή υποδομή που απαιτεί το σύστημα αποτελείται από ένα συνδυασμό των υπάρχοντων τρόπων δικτύωσης Ethernet και LONWorks. Με το συνδυασμένο αυτό δικτυακό σύστημα επικοινωνούν ανταλλάσσοντας πληροφορίες οι αντιπρόσωποι και οι ενεργητικές και παθητικές μονάδες του συστήματος. Οι ενεργητικές μονάδες περιλαμβάνουν συσκευές όπως κλιματιστικά, θερμαντικά σώματα και φωτιστικά, ενώ οι παθητικές είναι αισθητήρες θερμοκρασίας και έντασης φωτεινότητας.
- **Δομή και ιεραρχία συστήματος:** Η δομή του συστήματος χαρακτηρίζεται από την παράλληλη και κατανεμημένη επεξεργασία των δεδομένων και διαδικασιών απόφασης. Ο βασικός διαχωρισμός επιτυγχάνεται με την ύπαρξη αντιπρόσωπων για κάθε χώρο (room-agent) και άτομο (personal-agent) στο κτίριο. Κάθε αντιπρόσωπος που ελέγχει ένα χώρο του κτιρίου είναι τοποθετημένος μέσα στο χώρο που ελέγχει και βασίζεται στον επεξεργαστή 68000 της Motorola. Ο

αντιπρόσωπος επικοινωνεί με τις μονάδες του χώρου που ελέγχει με δίκτυο LONWorks και με τους άλλους αντιπρόσωπους του συστήματος με Ethernet. Οι προσωπικοί αντιπρόσωποι είναι αποκλειστικά διεργασίες λογισμικού που εκτελούνται σε ένα κεντρικό υπολογιστή και περιέχουν τις προτιμήσεις κάθε ατόμου στο κτίριο. Ενεργοποιούνται με ένα σύστημα ανίχνευσης και εντοπισμού του χώρου που είναι το άτομο και επικοινωνούν μέσω Ethernet με τον αντίστοιχο αντιπρόσωπο του χώρου αυτού παρέχοντας πληροφορίες για τις προτιμήσεις του ατόμου. Ο αντιπρόσωπος χώρου είναι πλέον υπεύθυνος για την διαμόρφωση των κατάλληλων συνθηκών σύμφωνα με τους κανόνες λειτουργίας και τις προτιμήσεις των ατόμων στο χώρο του.

- **Γενική περιγραφή μεθοδολογίας συστήματος:** Οι αντιπρόσωποι χώρου εκτός από την αυτοματοποιημένη αντίδραση για την διαμόρφωση των συνθηκών στο χώρο τους έχουν και τη δυνατότητα εκμάθησης από τα στοιχεία που συλλέγουν κατά τη λειτουργία του κτιρίου. Υπάρχουν τρία προκαθορισμένα σενάρια λειτουργίας με έμφαση σε διαφορετικούς και αντικρουόμενους στόχους, ένα για την άνεση, ένα για την εξοικονόμηση ενέργειας και ένα για ασφάλεια σε περίπτωση έκτακτων συνθηκών. Το σενάριο της άνεσης είναι αυτό που μεταβάλλεται δυναμικά από την διαδικασία της εκμάθησης. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με την τοπική αποθήκευση από τον αντιπρόσωπο δεδομένων από τις καταστάσεις που προκύπτουν στο χώρο του όπως τις εκάστοτε επιθυμητές συνθήκες και τη φυσική συμπεριφορά του χώρου. Τα δεδομένα αυτά αποτελούν την εμπειρία του συστήματος εκμάθησης στην οποία βασίζεται για την αναπροσαρμογή των παραμέτρων του συστήματος. Ο συνδυασμός όλων των στοιχείων, σε τελικό επίπεδο, πραγματοποιείται σε περιβάλλον ασάφειας (Fuzzy Logic) με την επιλογή του κατάλληλου, κατά τον αντιπρόσωπο χώρου, σεναρίου λειτουργίας ανάλογα με τις συνθήκες και τις απαιτήσεις.

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Στο πολυτεχνείο Κρήτης έχει πραγματοποιηθεί μια πολύ ενδιαφέρουσα προσπάθεια για διασύνδεση συστήματος έξυπνων καρτών με ελεγκτές PLC σε ένα τοπικό δίκτυο για το σχηματισμό ενός συστήματος κατανεμημένης διαχείρισης ενέργειας και έλεγχου για κτίρια^{[18],[19]}.

- **Περιγραφή:** Το συγκεκριμένο σύστημα ενεργειακής διαχείρισης και έλεγχου έχει σκοπό την βελτιστοποίηση της άνεσης στους χώρους του κτιρίου. Αυτό το επιτυγχάνει αλληλεπιδρώντας με τα άτομα μέσα στους χώρους του κτιρίου χρησιμοποιώντας τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης και υπό την εποπτεία ενός κεντρικού υπολογιστή. Οι παράμετροι των χώρων του κτιρίου που ελέγχονται από το σύστημα είναι η θερμοκρασία, ο εξαερισμός, ο φωτισμός και η καταναλισκόμενη ενέργεια. Η επικοινωνία των μονάδων του συστήματος γίνεται μέσω του τοπικού δικτύου πληροφοριών (LAN) γεγονός που εξασφαλίζει πρακτικότητα και επεκτασιμότητα του συστήματος.
- **Τα κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος είναι:**
 - ο Διανεμημένος έλεγχος των εσωτερικών συνθηκών άνεσης σε επίπεδο ζώνης-δωματίου του κτιρίου.
 - ο Αλληλεπίδραση με τους χρήστες εντός του κτιρίου, αποδοχή των προτιμήσεων τους για την άνεση και επίδειξη του ποσού ενέργειας που καταναλώνεται.
 - ο Αξιολόγηση της συνολικής απόδοσης του συστήματος και υιοθέτηση της κατάλληλης στρατηγικής ελέγχου.
 - ο Δυνατότητα για εγκατάσταση σε υπάρχοντα κτίρια δεδομένης της εφαρμογής του σε τοπικά δίκτυα πληροφοριών.
- **Οι μονάδες του συστήματος, η ιεραρχική δομή και οι λειτουργίες τους.**
 - ο Σύστημα έξυπνης κάρτας: Η συσκευή της έξυπνης κάρτας είναι κατασκευασμένη από την γαλλική εταιρία INGENICO και αποτελεί το μέσο αλληλεπίδρασης χρήστη και συστήματος. Κάθε χρήστης έχει μια προσωπική κάρτα την οποία εισάγει στη συσκευή ενημερώνοντας το σύστημα για την παρουσία του σε ένα χώρο του κτιρίου. Η πρόσοψη της συσκευής έχει πλήκτρα για την αυξομείωση των παραμέτρων που ελέγχει το σύστημα και για το χειροκίνητο έλεγχο του φωτισμού. Στην

κάρτα είναι αποθηκευμένες οι μόνιμες ατομικές προτιμήσεις του χρήστη για τις παραμέτρους των συνθηκών. Το σύστημα αυτόματα προσπαθεί να ικανοποιήσει είτε τις μόνιμες προτιμήσεις του χρήστη, είτε τις βραχυπρόθεσμες που αυτός θα επιλέξει, είτε μακροπρόθεσμες τις οποίες αποτιμά ο κεντρικός υπολογιστής, παρακολουθώντας τη συμπεριφορά του χρήστη για ένα χρονικό διάστημα και αξιολογώντας τα στοιχεία τα οποία παρέχουν οι αισθητήρες του συστήματος. Οι μακροπρόθεσμες προτιμήσεις τελικά αντικαθιστούν τις μόνιμες ελαχιστοποιώντας την επικοινωνία μεταξύ κεντρικού υπολογιστή και κάρτας.

- ο Αισθητήρες και ενεργά στοιχεία του συστήματος: Το σύστημα είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες για την θερμοκρασία, την μέση θερμότητα από ακτινοβολία, την υγρασία, την ταχύτητα του άνεμου, το ποσοστό CO₂, τη φωτεινότητα, την εξωτερική θερμοκρασία και την εξωτερική υγρασία. Επίσης, ελέγχει μέσω των PLC ενεργά στοιχεία όπως ηλεκτρονόμους για τα κλιματιστικά και τις συσκευές φωτισμού και κινητήρες ελέγχου παραθύρων, σκιαδίων και εξαερισμού.
- ο Ο ελεγκτής PLC: Ο ελεγκτής PLC κατασκευάστηκε από τη ελληνική εταιρία AMBER S.A. και έχει ως βασική λειτουργία την εκτέλεση του αλγόριθμου υποστήριξης ασαφούς απόφασης για την ρύθμιση του επιπέδου της εσωτερικής θερμικής και οπτικής άνεσης καθώς και της ποιότητας της ατμόσφαιρας. Επιπλέον, διαβάζει δεδομένα από τους αισθητήρες μέσω αναλογικής εισόδου που διαθέτει, ελέγχει τα ενεργά στοιχεία του συστήματος, επικοινωνεί με τις συσκευές έξυπνων καρτών χρησιμοποιώντας μια RS 485 σύνδεση και με τον κεντρικό υπολογιστή μέσω μιας συσκευής δικτύου και μιας θύρας RS 232.
- ο Το τοπικό δίκτυο δεδομένων: Το τοπικό δίκτυο δεδομένων αποτελείται από ένα αριθμό κόμβων, οι οποίοι επικοινωνούν με ποικίλα μέσα όπως χαλκό, γραμμές μεταφοράς ισχύος, ραδιοσυχνότητες και οπτικές ίνες χρησιμοποιώντας πρωτόκολλο επικοινωνίας LonTalk. Οι κόμβοι του δικτύου είναι ευφυείς συσκευές που μπορούν να συνδεθούν με τους αισθητήρες, τα ενεργά στοιχεία και μέσα διεπαφής όπως οθόνες, τερματικά και υπολογιστές εκτελώντας τις σχετικές διεργασίες. Υπάρχουν δυο τύποι κόμβου στο σύστημα.. Ένας τυπικός στον οποίο έχει ενσωματωθεί ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα με αρχιτεκτονική νευρώνα, είσοδοι και έξοδοι και μια επαναπρογραμματιζόμενη μνήμη για την αποθήκευση των προς

εκτέλεση εφαρμογών. Ο δεύτερος τύπος κατασκευάστηκε από την ιταλική εταιρία MAC SRL και έχει επιπλέον χαρακτηριστικά από τον πρώτο όπως θύρα RS 232 και σειριακή θύρα EIA-232C η οποία επιτρέπει σε εφαρμογές υπολογιστών να πραγματοποιήσουν διαχείριση δικτύου ή εκτέλεση εφαρμογών με απλές εντολές.

- ο Ο κεντρικός υπολογιστής: Ο κεντρικός υπολογιστής έχει ως βασική λειτουργία την αποτιμήσει των εκάστοτε μακροπρόθεσμων προτιμήσεων του χρήστη. Επιπλέον, συλλέγει παραμέτρους έλεγχου, παρακολουθεί την απόδοση του συστήματος και υπολογίζει την κατανάλωση ενέργειας. Τέλος, έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί διαχειριστικές λειτουργίες στο δίκτυο και λαμβάνει αποφάσεις για ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας και την μεγιστοποίηση της προσφερόμενης άνεσης υιοθετώντας την κατάλληλη συνάρτηση κόστους που προκύπτει από την εκμετάλλευση των κανόνων του ασαφούς περιβάλλοντος.

Το σύστημα έχει ήδη εγκατασταθεί στο Εργαστήριο Ηλεκτρονικής του Πολυτεχνείου Κρήτης και τα αποτελέσματα είναι θετικά.

2.3.3 Εμπορικές Λύσεις

Τα συστήματα διαχείρισης κτιρίων οριοθετούν ένα εμπορικό με έντονη δραστηριοποίηση, ειδικότερα στο εξωτερικό, στον οποίο έχουν κατά καιρούς παρουσιαστεί είτε ολοκληρωμένα προϊόντα, είτε προσπάθειες βελτίωσης ηλεκτρομηχανολογικών προϊόντων με χρήση εξειδικευμένων εφαρμογών. Πρωτοπόροι στον τομέα του κτιριακού ελέγχου στην αγορά είναι οι εταιρείες SIEMENS, HITACHI, JOHNSON CONTROLS, HONEYWELL, ELECTRO CONTROLS Ltd και ένα σύνολο από μικρότερες οι οποίες χρησιμοποιούν έτοιμα εξαρτήματα και διατάξεις και ασχολούνται με την διασύνδεση και τον αποδοτικό έλεγχο. Το κόστος των προσφερόμενων εμπορικών λύσεων είναι ακόμα απαγορευτικό για ελληνικά δεδομένα και υψηλό για τις ανεπτυγμένες χώρες με αποτέλεσμα να μην προωθούνται από το χώρο των κατασκευών και να θεωρούνται στοιχείο πολυτέλειας και εντυπωσιασμού. Τα προϊόντα της αγοράς συστημάτων διαχείρισης κτιρίων δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στο πεδίο των ηλεκτρονικών ευκολιών και χειρισμού από απόσταση και λιγότερο στον ευφυή και προσαρμοζόμενο έλεγχο. Οι αποφάσεις των συστημάτων αυτών περιγράφονται καλύτερα ως αποτέλεσμα αυτοματισμών και εξειδικευμένων μικρού παραμετρικού εύρους επεξεργαστικών διαδικασιών.

2.4 Αξιολόγηση Υφιστάμενης Κατάστασης

Οι ερευνητικές προσπάθειες μεθοδολογιών ελέγχου και η αγορά συστημάτων διαχείρισης την τελευταία πενταετία γνωρίζουν αλματώδη άνοδο. Η γενικότερη ακαδημαϊκή και ερευνητική κατεύθυνση, την οποία ακολουθεί και ο επιχειρηματικός κόσμος επικεντρώνεται στη βελτίωση λειτουργικών μερών του εξοπλισμού των κτιρίων και υιοθέτησης νέων τεχνικών ελέγχου οι οποίες για την ώρα δεν έχουν εφαρμοστεί στο πεδίο της εξοικονόμησης ενέργειας του κτιριακού τομέα. Οι ερευνητικές προσπάθειες που έχουν, ήδη, παρουσιασθεί ποικίλουν σε αρχιτεκτονική και μεθοδολογία και επιχειρούν με διαφορετική κάθε φορά προσέγγιση να επιτύχουν αποτελεσματικό έλεγχο των κτιριακών λειτουργιών με ταυτόχρονη εξασφάλιση ικανοποιητικών συνθηκών στο εσωτερικό των κτιρίων.

Η πανεπιστημιακή κοινότητα επιχειρώντας να επιλύσει αποδοτικά το πρόβλημα ενεργειακής διαχείρισης, ειδικότερα των κτιρίων, έχει στραφεί σε μεθοδολογίες έλεγχου, υποστήριξης απόφασης και τεχνητής νοημοσύνης η εφαρμογή των οποίων υπόσχεται ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η σύγχρονη βιβλιογραφία έχει να επιδείξει παραδείγματα καινοτόμων προσπαθειών ανά την υφήλιο με πρωτοπόρους στον τομέα τις Σκανδιναβικές χώρες, τη Μεγάλη Βρετανία και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Η γεωγραφική τοποθέτηση των χωρών με αυξημένη ερευνητική δραστηριότητα στον τομέα αναδεικνύει το γεγονός ότι οι ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες ωθούν στην προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας. Οι θερμότερες χώρες, όπως η Ελλάδα και οι λοιπές μεσογειακές, πρόσφατα κινητοποιήθηκαν στον τομέα της αποδοτικής διαχείρισης κτιριακών πόρων. Ο λόγος της καθυστέρησης αυτής έγκειται στο μέχρι πρόσφατα εύκρατο κλίμα χωρίς ακραίες τιμές στις θερμοκρασίες ανά εποχή αλλά και στη παγίωση των κατασκευαστικών μεθόδων των κτιρίων η οποία απέτρεψε τις εξελίξεις.

2.5 Τεχνολογικές Δυνατότητες

2.5.1 Γενικά

Οι τεχνολογικές δυνατότητες της σύγχρονης εποχής για την επίλυση υπαρκτών και επίκαιρων προβλημάτων αποτελούν ένα εξαιρετικά διευρυμένο σύνολο, το οποίο εκτείνεται σε αυτόνομες και συνδυαστικές μεθοδολογίες. Το πρόβλημα της ενεργειακής διαχείρισης ενός κτιρίου με δεδομένη την πολυπαραμετρικότητα και την επαναληψιμότητα των συνθηκών απαιτεί σύγχρονες μεθόδους ελέγχου και υποστήριξης απόφασης. Στο πλαίσιο της διατριβής εξετάζονται τα γνωστικά πεδία των ευφυών τεχνικών ελέγχου με έμφαση σε επόμενο κεφάλαιο στα έμπειρα συστήματα για τον έλεγχο των λειτουργιών του κτιρίου, και της πολυκριτηριακής υποστήριξης αποφάσεων για την αξιολόγηση των επενδύσεων σε κτίρια.

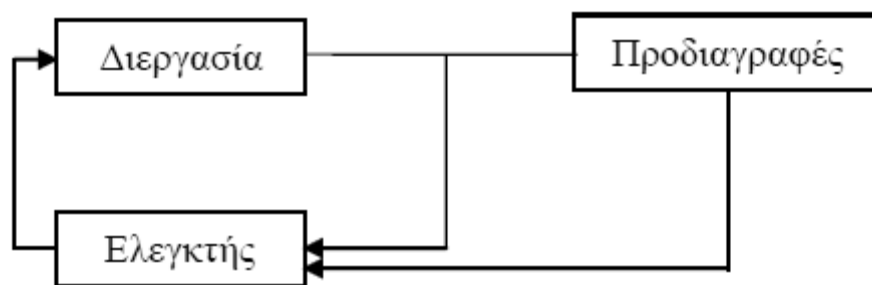
2.5.2 Ευφυείς Τεχνικές Ελέγχου

Η κλασσική θεωρία συστημάτων αυτομάτου ελέγχου, συνέβαλε αποφασιστικά στην ανάπτυξη και υλοποίηση πολλών αγαθών η λειτουργία των οποίων τώρα θεωρείται δεδομένη. Παρόλη, όμως, την συνεχόμενη αυτή πρόοδο, το χάσμα μεταξύ θεωρίας και πράξης κυρίως στην βιομηχανία γίνεται όλο και μεγαλύτερο. Η μεγάλη ανάγκη της βιομηχανίας για ανάπτυξη μιας καινούριας θεωρίας ελέγχου που θα ανταποκρίνεται στις ανάγκες της, οδήγησε πολλούς επιστήμονες στην έρευνα νέων μη συμβατικών τεχνικών αυτομάτου ελέγχου, κάποιες από τις οποίες περιγράφονται από τον όρο "Ευφυής Έλεγχος".

Η εφαρμογή τεχνικών της συμβατικής θεωρίας ελέγχου για τον έλεγχο ενός συστήματος ή μιας διαδικασίας προϋποθέτει την ύπαρξη ενός πλήρους αναλυτικού μοντέλου του ελεγχόμενου συστήματος. Κάτι τέτοιο είναι συχνά αδύνατο λόγω της πολυπλοκότητας των διεργασιών ή και της αδυναμίας μετρήσεων. Αν υπάρχει ένα τέτοιο μοντέλο, τότε η συνηθέστερη μεθοδολογία ελέγχου είναι ο αναλυτικός προγραμματισμός των αποκρίσεων ενός συστήματος σε κάθε δυνατή περίπτωση. Ο προγραμματισμός αυτός πραγματοποιείται είτε με τη χρήση λογισμικού αναπτυγμένου με κατάλληλα για το σκοπό εργαλεία, είτε αποτυπώνεται σε ηλεκτρονικούς ελεγκτές και σε ολοκληρωμένα κυκλώματα. Η δεύτερη επιλογή συμβατικού ελέγχου αποτελεί και την πιο διαδεδομένη όντας οικονομικότερη λύση για παραγωγή μεγάλης κλίμακας.

Η θεωρία του μη συμβατικού ελέγχου, αντί να προσπαθεί να μοντελοποιήσει το ελεγχόμενο σύστημα, αναζητά ένα σύνολο λεκτικών προτάσεων που να περιγράφουν τις αντιδράσεις ενός επιτυχημένου ανθρώπου χειριστή του συστήματος, τις οποίες και προσπαθεί να περιγράψει με διάφορες τεχνικές όπως την ασαφή λογική τα νευρωνικά δίκτυα και τα έμπειρα συστήματα.

Το πρόβλημα ελέγχου ενός συστήματος ή διεργασίας περιγράφεται από το ακόλουθο σχήμα.



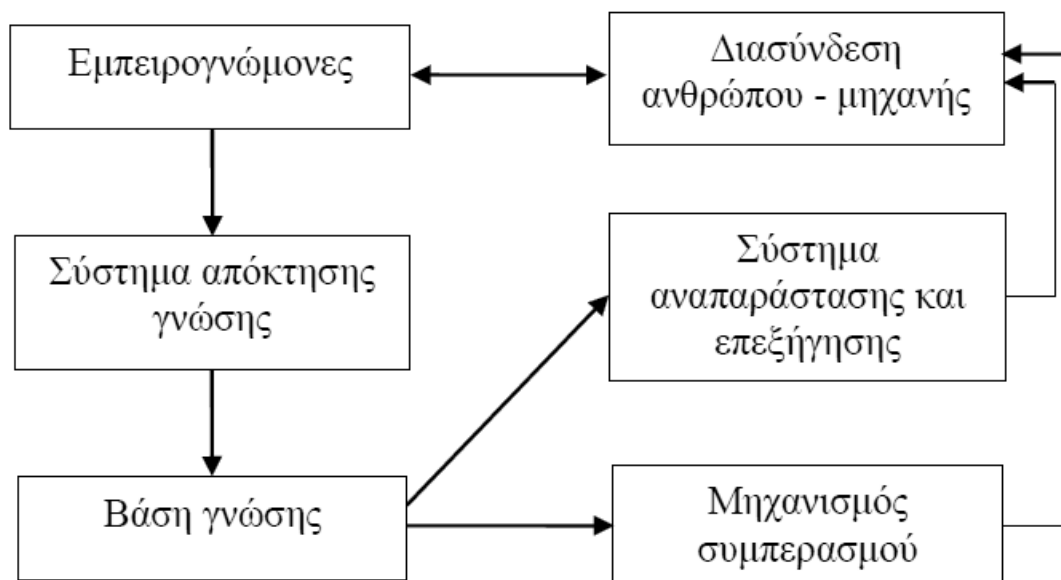
Σχήμα 19 - Διαδικασία ελέγχου

Στο συμβατικό έλεγχο η διεργασία και ο ελεγκτής θεωρούνται γνωστά και μάλιστα γραμμικά με την έννοια ότι υπάρχουν γραμμικά μαθηματικά μοντέλα διαφορικών εξισώσεων που τα περιγράφουν. Οι προδιαγραφές είναι ένα σύνολο κριτηρίων όπως ευστάθεια, ταχύτητα απόκρισης, κλπ που αν πληρούνται ο ελεγκτής θεωρείται επιτυχημένος.

Ο όρος "Ευφυής Έλεγχος" αντλεί τεχνικές από διάφορες επιστήμες όπως η νευρολογία, η ψυχολογία και τα μαθηματικά. Ο στόχος ενός ευφυούς ελεγκτή είναι να λειτουργεί όπως ένας επιτυχημένος άνθρωπος ελεγκτής με τους ίδιους κανόνες χωρίς όμως τα μειονεκτήματά του. Το πλεονέκτημα των ανθρώπων ως ελεγκτών μιας διεργασίας είναι ότι μπορούν να ανταπεξέλθουν και να πάρουν αποφάσεις κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας και να αντιδράσουν άμεσα σε απρόβλεπτες καταστάσεις.

Ένας καλά σχεδιασμένος ευφυής ελεγκτής πρέπει να μπορεί να "μιμηθεί" τον καλύτερο άνθρωπο ελεγκτή της συγκεκριμένης διαδικασίας. Έτσι, ένα πρώτο πρόβλημα που πρέπει να απαντηθεί από τον σχεδιαστή ενός ευφυούς ελεγκτή είναι η καταγραφή των κανόνων με βάση τους οποίους λειτουργεί ένας επιτυχημένος άνθρωπος ελεγκτής της διεργασίας. Η εξόρυξη αυτής της γνώσης (data mining) γίνεται, είτε με συνέντευξη του χειριστή, είτε με τεχνικές pattern association, γενετικών αλγορίθμων κλπ. Δεύτερο βήμα είναι η αποθήκευση αυτής των κανόνων σε μια βάση γνώσης χρησιμοποιώντας είτε συμβολική μορφή (LISP, C++, κλπ) είτε αριθμητική μορφή (ασαφής λογική, νευρωνικά δίκτυα). Έπειτα, ακολουθεί η επιλογή

και υλοποίηση ενός μηχανισμού συμπερασμού ο οποίος έχοντας σαν είσοδο τις μετρήσεις από την ελεγχόμενη διαδικασία και χρησιμοποιώντας την βάση γνώσης που έχει δημιουργηθεί, παρέχει μια έξοδο που ανατροφοδοτείται στην ελεγχόμενη διαδικασία. Τα παραπάνω βήματα φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 20 - Ευφυής έλεγχος

Ο ευφυής έλεγχος συνήθως χρησιμοποιείται σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας και πολυπλοκότητας όπου είναι πρακτικά αδύνατη η εφαρμογή συμβατικών τεχνικών. Οι βασικές αρχές πάνω στις οποίες σχεδιάζεται ένας ευφυής ελεγκτής είναι οι ακόλουθες.

- Ορθότητα: Η ικανότητα εκτέλεσης των λειτουργικών απαιτήσεων του συστήματος με ασφάλεια.
- Ευρωστία: Η ικανότητα του συστήματος να παραμένει λειτουργικό κάτω από μη αναμενόμενες συνθήκες.
- Επεκτασιμότητα: Η δυνατότητα επέκτασης του υλικού και του λογισμικού χωρίς επανασχεδίαση του συστήματος από την αρχή.

2.5.3 Πολυκριτηριακή Υποστήριξη Αποφάσεων

Στο σημερινό πλαίσιο λειτουργίας της ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων οι αποφάσεις χρειάζεται να λαμβάνονται συνυπολογίζοντας περισσότερα δεδομένα. Επιπλέον, σε πολλά ενεργειακά προβλήματα είναι απαραίτητο να επιλεγεί μια παρέμβαση – επένδυση μεταξύ πολλών εναλλακτικών επιλογών, αξιολογώντας περισσότερα του ενός κριτήρια. Οι περιπτώσεις αυτές είναι πλέον συνήθεις και

αποτελούν σημαντικό παράγοντα της διαμόρφωσης ενός ενεργειακά βέλτιστου σεναρίου διαχείρισης.

Στην επιστήμη της υποστήριξης των αποφάσεων, ο αποφασίζων στηρίζεται σε ένα σύνολο κατάλληλων κανόνων ώστε να μπορεί να αξιολογήσει όλες τις πιθανές λύσεις με βάση το στόχο που έχει τεθεί. Η πολυπλοκότητα των προβλημάτων, η ανάμιξη τόσο των ποσοτικών όσο και των ποιοτικών κριτηρίων είναι χαρακτηριστικά της σημερινής εποχής και μπορούν να αντιμετωπιστούν ικανοποιητικά με τη χρήση πολυκριτηριακής υποστήριξης αποφάσεων. Ένας επιπλέον παράγοντας ο οποίος συντελεί στη συνεχιζόμενη διάδοση της χρήσης της τα τελευταία χρόνια, είναι και η συνεχιζόμενη ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Στο παραπάνω πλαίσιο, η αξιολόγηση και κατάταξη των αναγκαίων παρεμβάσεων στη διαδικασία ενεργειακής βελτιστοποίησης των σύγχρονων κτιρίων αποτελεί ένα πρόβλημα που μπορεί να επιλυθεί αποτελεσματικά κάνοντας χρήση της πολυκριτηριακής υποστήριξης αποφάσεων. Επίσης, η αξιολόγηση των επενδύσεων δεν μπορεί να είναι ολοκληρωμένη αν δε λαμβάνει υπόψη της δεδομένα λειτουργίας του υπό έλεγχο κτιρίου, τις νέες παραμέτρους της ενεργειακής αγοράς και τις τάσεις περιβαλλοντικής προστασίας στη τελική διαμόρφωση των αποφάσεων.

Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται σύντομα τα κύρια χαρακτηριστικά της πολυκριτηριακής υποστήριξης αποφάσεων και παρουσιάζεται μια σύντομη παρουσίαση των κυριότερων συσχετιζόμενων δραστηριοτήτων στο παρελθόν.

- Η πολυκριτηριακή υποστήριξη αποφάσεων αποτελεί μια πολυσύνθετη διαδικασία, η οποία θα μπορούσε να χωριστεί για κάθε αντιμετωπιζόμενο πρόβλημα σε τρεις διαδοχικές φάσεις ως ακολούθως^[20]:
 - Προσδιορισμός του προβλήματος: Προηγείται της ανάλυσης των διαφόρων παραγόντων. Η πλήρης κατανόηση του προβλήματος από τον αποφασίζοντα αποτελεί προϋπόθεση για την δημιουργία του μοντέλου απόφασης, και την τελική του αξιολόγηση στη συνέχεια.
 - Δημιουργία κατάλληλου μοντέλου: Η φάση αυτή αποτελεί τον πυρήνα της πολυκριτηριακής υποστήριξης αποφάσεων γιατί περιλαμβάνει την διαδικασία ανάπτυξης μοντέλων σύμφωνα με τα οποία οι εναλλακτικές δράσεις να συγκρίνονται μεταξύ τους με ένα συστηματικό και διαφανή τρόπο.
 - Ανάπτυξη συστήματος απόφασης: Ο τρόπος αξιολόγησης, επιλογής και εφαρμογής των δράσεων – αποφάσεων πραγματοποιείται στη τελευταία φάση.

Γενικά, δύο βασικές κατηγορίες μεθόδων σημειώνονται:

- Οι μέθοδοι που βασίζονται στη συνάρτηση χρησιμότητας βασίζονται σε αυστηρά μαθηματική μεθοδολογία. Σαν πιο διαδεδομένη θα μπορούσε να χαρακτηριστεί η μέθοδος του Σταθμισμένου Μέσου Όρου η οποία είναι πολύ εύκολη στην υλοποίησή της και εφαρμογή της.
- Οι μέθοδοι που είναι βασισμένες στη σχέση επικράτησης έχουν το χαρακτηριστικό γνώρισμα της δυαδικής προσέγγισης υπεροχής, που αποτελεί ένα βασικό πλεονέκτημα έναντι των άλλων μεθόδων. Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, φαίνεται ότι οι πιο γνωστές μέθοδοι πολυκριτηριακής υποστήριξης αποφάσεων που είναι βασισμένες στη σχέση επικράτησης είναι η ELECTRE και οι παραλλαγές της και η PROMETHEE.

2.6 Συμπεράσματα

Η παρουσίαση των πτυχών του προβλήματος που πραγματεύεται η διατριβή πραγματοποιήθηκε σε αυτό το κεφάλαιο. Το πρόβλημα στη βάση του έγκειται στο μεγάλο ποσοστό ενέργειας που αφιερώνεται στον κτιριακό τομέα, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Η προσπάθεια για εξοικονόμηση πόρων στο ευρύ αυτό καταναλισκόμενο ενεργειακό δυναμικό υπόσχεται σημαντικές εξελίξεις στον οικονομικό και περιβαλλοντικό τομέα. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση που προηγήθηκε ομαδοποιούνται σε δύο ευρύτερες ενότητες, την ενότητα που αφορά στον ευφυή και αποδοτικό έλεγχο του εξοπλισμού ενός σύγχρονου κτιρίου και αυτήν της ενεργειακής απόδοσης και βελτίωσης ενός κτιρίου συνολικά.

Η πρώτη ενότητα περιλαμβάνει την διαπίστωση ότι έχει πραγματοποιηθεί σημαντικό ερευνητικό έργο στο πεδίο του βέλτιστου ελέγχου και της διασφάλισης ιδανικών συνθηκών στους χώρους ενός κτιρίου. Ακόμα σημαντικότερη πρόοδος έχει σημειωθεί στον αποδοτικό τοπικό έλεγχο και την κατασκευή του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού ενός κτιρίου. Η ερευνητική εξέλιξη του χώρου όμως απέχει πολύ από την εφαρμογή στην κατασκευή και την εύκολη ένταξη σε υπάρχουσες κτιριακές δομές. Η διατριβή στο πεδίο του βέλτιστου ελέγχου προτείνει μια μεθοδολογία και ένα πρότυπο σύστημα το οποίο θα διασφαλίζουν την βέλτιστη ενεργειακή χρήση του εξοπλισμού ενός κτιρίου με το ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εύκολης προσάρτησης σε υπάρχοντα συστήματα ελέγχου και της παραμετροποίησης από ενεργειακό εμπειρογνώμονα χωρίς ιδιαίτερες προγραμματιστικές γνώσεις.

Η δεύτερη ενότητα συμπερασμάτων περιέχει θέματα συνολικής διαχείρισης ενέργειας και στρατηγικής αντιμετώπισης του ενεργειακού κόστους των κτιρίων. Παρουσιάστηκαν οι επικρατέστερες μεθοδολογίες περιβαλλοντικής αξιολόγησης και ενεργειακού ελέγχου σε κτίρια οι οποίες είναι μεν αποδοτικές αλλά αποτελούν εξεζητημένες και δύσκολα εφαρμόσιμες λύσεις. Είναι σαφές ότι υπάρχει ένα χάσμα μεταξύ του καθημερινού ελέγχου μιας κτιριακής εγκατάστασης και της διαμόρφωσης της ενεργειακής της ταυτότητας. Τα δεύτερο σκέλος της μεθοδολογίας της διατριβής επικεντρώνεται σε αυτή, ακριβώς, τη δυνατότητα ενεργειακής βελτίωσης του κτιρίου συνολικά σε στρατηγικό επίπεδο χρησιμοποιώντας λειτουργικά δεδομένα και προτείνοντας βελτιωτικές παρεμβάσεις.

Βιβλιογραφία

- [1] ΕΘΝΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ (2008), "Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, κατά μεγάλη γεωγραφική περιοχή, περιφέρεια, νομό και κατά κατηγορία χρήσης: 1993-2007 "
- [2] ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ (2009), "ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ",
- [3] Patterson M. G., (1996), "What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues", *Energy Policy*, Volume 24, Issue 5, 377-390.
- [4] Joseph P. Martino (2005), "The economics of technology diffusion and energy efficiency", *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 72, Issue 9, November 2005, Pages 1155-1156
- [5] Katharina Kowalski, Sigrid Stagl, Reinhard Madlener, Ines Omann (2009), "Sustainable energy futures: Methodological challenges in combining scenarios and participatory multi-criteria analysis", *European Journal of Operational Research*, Volume 197, Issue 3, 16 September 2009, Pages 1063-1074
- [6] Γ. ΚΑΜΑΡΑΣ (2004), "Η Ελληνική Πολιτική για τις ΑΠΕ και την Εξοικονόμηση Ενέργειας στα Κτίρια: Υφιστάμενο Κανονιστικό και Χρηματοδοτικό Πλαίσιο", *Διημερίδα ΚΑΠΕ: Νέες προοπτικές για την ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής πολιτικής*, Αθήνα, 14-15.10.2004
- [7] Χ. ΠΙΠΠΟΣ (2004), "Η πολιτική της Ε. Ένωσης για τις ΑΠΕ και την Εξοικονόμηση Ενέργειας στον κτιριακό τομέα – Η Κοινοτική Οδηγία 2002/91/ΕΚ για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (EPBD)", *Διημερίδα ΚΑΠΕ: Νέες προοπτικές για την ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής πολιτικής*, Αθήνα, 14-15.10.2004
- [8] Επίσημος δικτυακός τόπος κέντρου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΚΑΠΕ): <http://www.cres.gr>
- [9] Επίσημος δικτυακός τόπος μεθοδολογίας GEM: <http://www.greenglobes.com>
- [10] John Eggink (2006), "Managing energy costs: a behavioral and non-technical approach", The Fairmont Press, Inc. p-194
- [11] Επίσημος δικτυακός τόπος προγράμματος ENERGY STAR: <http://www.energystar.gov>
- [12] Architectural Record (1953), "Commercial buildings", New York : F.W. Dodge

[13] Gordon S. Vincent, John Peacock (1985), "The automated building", Architectural Press

[14] Abraham Warszawski (1999), "Industrialized and automated building systems", Taylor & Francis

[15] Derek J. Croome (2004), "Intelligent buildings: design, management and operation", Thomas Telford

[16] Sue Sharples, Vic Callaghan, Graham Clarke (1999), "A multi-agent architecture for intelligent building sensing and control", Sensor Review, Volume 19, Issue 2, 1999, Pages 135-140

[17] Hani Hagrais, Victor Callaghan, Martin Colley, Graham Clarke (2003), "A hierarchical fuzzy-genetic multi-agent architecture for intelligent buildings online learning, adaptation and control", Information Sciences, Volume 150, Issues 1-2, March 2003, Pages 33-57

[18] D. Kolokotsa, K. Kalaitzakis, E. Antonidakis, G. S. Stavrakakis (2002), "Interconnecting smart card system with PLC controller in a local operating network to form a distributed energy management and control system for buildings", Energy Conversion and Management, Volume 43, Issue 1, January 2002, Pages 119-134

[19] D. Kolokotsa, K. Niachou, V. Geros, K. Kalaitzakis, G. S. Stavrakakis, M. Santamouris (2005), "Implementation of an integrated indoor environment and energy management system", Energy and Buildings, Volume 37, Issue 1, January 2005, Pages 93-99

[20] Keeney RL., Raiffa H (1976), "Decisions with Multiobjectives", J. Wiley & Sons, USA

ΚΕΦ. 3 : ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΥΦΥΟΥΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται η προσπάθεια συνοπτικής παρουσίασης των σχετιζόμενων μεθοδολογιών, τεχνολογιών και τεχνικών ευφυούς ελέγχου. Το κεφάλαιο διαχωρίζεται σε δύο ενότητες που αφορούν στην ανάλυση κτιριακών φορτίων και συνθηκών και στις μεθοδολογίες υπολογιστικής υποστήριξης αποφάσεων με έμφαση στα έμπειρα συστήματα. Το εύρος του επιστημονικού πεδίου κάθε ενότητας δεν επιτρέπει την αναλυτική προσέγγιση των μεθοδολογιών και δεν αποτελεί σκοπό αυτής της συγγραφής. Σημαντικό βάρος έχει, βέβαια, αποδοθεί στα σημεία στα οποία βασίζεται η προτεινόμενη μεθοδολογία του επόμενου κεφαλαίου.

3.2 Ανάλυση Κτιριακών Φορτίων και Εσωτερικών Συνθηκών

3.2.1 Βασικές αρχές μετάδοση θερμότητας

Η μετάδοση θερμότητας^{[1],[2]} μεταξύ δύο σωμάτων υγρών, στερεών ή αερίων οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας που έχουν αυτά μεταξύ τους. Αυτή η μετάδοση θερμότητας μπορεί να συμβεί με τρεις τρόπους: α) με αγωγιμότητα, β) με μεταφορά, γ) με ακτινοβολία. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστεί να δούμε πως αυτοί οι τρεις τρόποι συχνά συσχετίζονται μεταξύ τους.

Μετάδοση θερμότητας με αγωγιμότητα

Είναι το βασικό σύστημα μετάδοσης της θερμότητας διαμέσου στερεών. Τα μόρια του σώματος μεταδίδουν τη διέγερσή τους, θερμικής προέλευσης, από το θερμαινόμενο σημείο προς όλα τα άλλα μέρη του σώματος. Η ανταλλαγή θερμότητας με αγωγιμότητα μπορεί να περιγραφεί από την εξίσωση Fourier:

$$\rho C_p \frac{dt}{dT} = \kappa \left[\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right]$$

Όπου T = χρόνος (sec)

t = θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)

κ = θερμική αγωγιμότητα ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)

ρ = πυκνότητα (kg m^{-3})

C_p = ειδική θερμική χωρητικότητα ($\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)

x, y, z = συντεταγμένες στο χώρο ή διαστάσεις

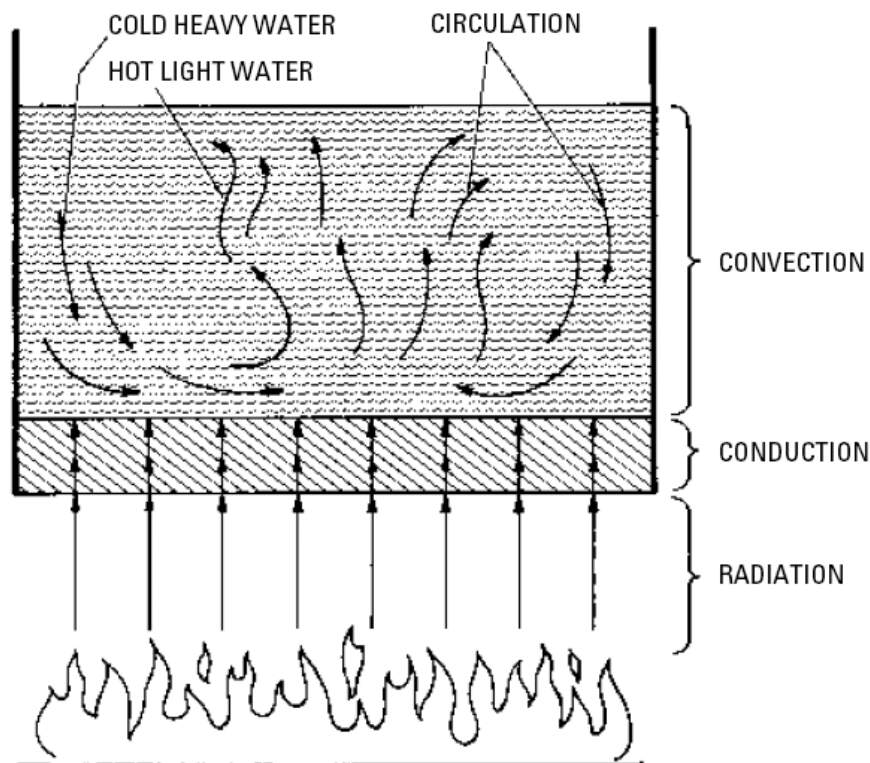
Θερμική αγωγιμότητα είναι το ποσό της θερμότητας που ρέει διαμέσου 1 ft² ομογενούς υλικού 1inch παχύ σε 1 ώρα για κάθε βαθμό διαφοράς της θερμοκρασίας μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής θερμοκρασίας.

Ειδική θερμική χωρητικότητα είναι το ποσό της θερμότητας που χρειάζεται για να ανέβει η θερμοκρασία 1 lb (1 kg) υλικού 1 °F (°C). Η παραπάνω εξίσωση είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και για τα κτίρια μπορεί να απλοποιηθεί σε μία διάσταση μόνο. Επίσης για τα κτίρια η θερμοκρασία θεωρείται σταθερή σε σχέση με το χρόνο οπότε η εξίσωση απλοποιείται ακόμα περισσότερο και γίνεται :

$$Q = -kA \frac{dt}{dx}$$

Όπου Q = το ποσό της θερμότητας (W) (Btu h⁻¹)

A = το εμβαδόν της επιφάνειας (m²)



Σχήμα 21 - Μετάδοση θερμότητας

Το αρνητικό πρόσημο στην παραπάνω εξίσωση δηλώνει την μεταφορά της θερμότητας από το σώμα το οποίο έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία σε αυτό που έχει μικρότερη θερμοκρασία. Τυπικές αγωγιμότητες για διάφορα υλικά δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Τυπικές αγωγιμότητες	
Υλικό	Αγωγιμότητα ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)
Χαλκός	388
Αλουμίνιο	202
Ατσάλι	45
Μπετό	1,4
Νερό	0,6
Αέρας	0,026

Πίνακας 10 - Τυπικές θερμικές αγωγιμότητες

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφεί :

$$Q = kA \frac{(t_1 - t_2)}{l}$$

Όπου t_1 = η θερμοκρασία στο ζεστό άκρο του αγωγού ($^{\circ}\text{C}$)

t_2 = η θερμοκρασία στο κρύο άκρο του αγωγού ($^{\circ}\text{C}$)

l = το μήκος του αγωγού (m)

Η ροή της θερμότητας δύναται να αντιστοιχηθεί με τη ροή του ρεύματος μιας αντίστασης. Η ροή του ρεύματος οφείλεται στην διαφορά τάσης ενώ η ροή της θερμότητας στην διαφορά θερμοκρασίας. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η αναλογία αυτή.



Σχήμα 22 - Αναλογία ροής ρεύματος και θερμότητας (A)

Σε αναλογία με τον νόμο του Ohm για το ρεύμα προκύπτει για την θερμότητα:

$$Q = \Delta T / R$$

Όπου $R = l / Ak$ και ονομάζεται θερμική αντίσταση του υλικού.

Μετάδοση θερμότητας με μεταφορά

Είναι η τυπική μέθοδος μετάδοσης της θερμότητας για ρευστά και αέρια. Εδώ είναι τα ίδια τα μόρια, σε κατάσταση θερμικής διέγερσης, που μετακινούνται διαμέσου του περιβάλλοντος στο οποίο είναι περιορισμένα. Όταν το ρευστό ή το αέριο αναγκάζεται από μια εξωτερική δύναμη όπως μια αντλία ή ένας ανεμιστήρας να κινηθεί τότε δημιουργείται τεχνητή μεταφορά θερμότητας, ενώ όταν το υγρό ή το αέριο κινείται εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας ή της πυκνότητας η μεταφορά θερμότητας χαρακτηρίζεται ελεύθερη ή φυσική. Και οι δύο παραπάνω τρόποι μεταφοράς θερμότητας περιγράφονται από την εξίσωση του Newton:

$$Q = h_c A (t_{\text{surf}} - t_{\text{fluid}})$$

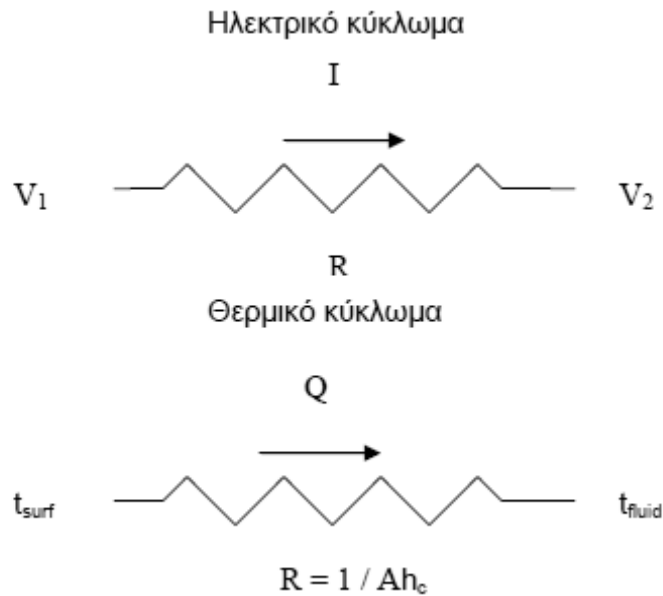
Όπου h_c = συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$)

A = το εμβαδόν της επιφάνειας (m^2)

t_{surf} = η θερμοκρασία στην επιφάνεια ($^{\circ}\text{C}$)

t_{fluid} = η θερμοκρασία μακριά από την επιφάνεια ($^{\circ}\text{C}$)

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται, όπως και προηγουμένως, η αναλογία μεταξύ ηλεκτρικού κυκλώματος και θερμικού κυκλώματος για μετάδοση θερμότητας με μεταφορά.



Σχήμα 23 - Αναλογία ροής ρεύματος και θερμότητας (B)

Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία

Είναι η μορφή μετάδοσης της θερμότητας διαμέσου ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, τα οποία είναι παρόμοια με τα κύματα φωτός, μόνο που τα κύματα φωτός έχουν υψηλότερη συχνότητα και μικρότερο μήκος κύματος. Η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπει ένα μαύρο σώμα, το οποίο είναι ο τέλει ακτινοβολητής δηλαδή εκπέμπει και λαμβάνει τη μέγιστη ποσότητα ακτινοβολίας σε οποιοδήποτε μήκος κύματος, δίνεται από την εξίσωση Stefan-Boltzman:

$$Q = \sigma A T^4$$

Όπου σ = σταθερά Stefan-Boltzman ($5,676 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

T = απόλυτη θερμοκρασία του μαύρου σώματος (K)

A = το εμβαδόν της επιφάνειας (m^2)

Σε ένα πραγματικό σώμα η ακτινοβολία θα είναι παρόμοια με αυτή ενός γκρίζου σώματος και δίνεται από τον τύπο:

$$Q = \sigma \epsilon A T^4$$

Όπου ε = ο συντελεστής εκπομπής της επιφάνειας (0,9 για τα περισσότερα κτιριακά υλικά).

Η ακτινοβολία που μεταδίδεται μεταξύ δύο επιφανειών 1 και 2 δίνεται από τη σχέση:

$$Q_{12} = A_1 \sigma F_a F_e (T_1^4 - T_2^4) = h_r A_1 (T_1 - T_2)$$

Όπου F_a = συντελεστής ο οποίος καθορίζεται από την σχετική γεωμετρία των δύο επιφανειών

F_e = συντελεστής ο οποίος καθορίζεται από τις εκπομπές και απορροφητικότητες των δύο επιφανειών

h_r = συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ($W m^{-2} K^{-1}$)

A_1 = το εμβαδόν της επιφάνειας 1 (m^2)

T_1 = η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας 1 (K)

T_2 = η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας 2 (K)

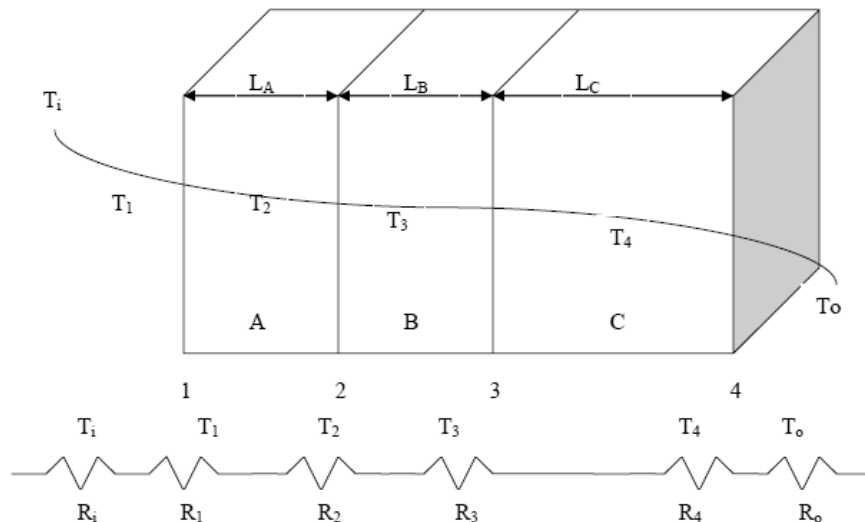
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η αναλογία μεταξύ ηλεκτρικού κυκλώματος και μεταφορά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας.



Σχήμα 24 - Αναλογία ροής ρεύματος και θερμότητας (Γ)

3.2.2 Συνολική μεταφορά θερμότητας

Στην πραγματικότητα στις περισσότερες περιπτώσεις η μεταφορά θερμότητας οφείλεται σε συνδυασμούς των τριών τρόπων που αναλύθηκαν. Οι θερμικοί συντελεστές μπορούν να συνδυαστούν σε ένα συνολικό συντελεστή ώστε η συνολική μεταφορά θερμότητας να μπορεί να υπολογιστεί από την αρχική και την τελική θερμοκρασία χωρίς να χρειάζεται να είναι γνωστές οι ενδιάμεσες θερμοκρασίες. Για παράδειγμα στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας εξωτερικός τοίχος ενός κτιρίου.



Σχήμα 25 - Ανάλυση θερμικής ροής

Στον παραπάνω τοίχο εκτός από την μετάδοση θερμότητας λόγω επαφής των διαφόρων στρωμάτων του τοίχου υπάρχει και μετάδοση θερμότητας μέσω μεταφοράς και ακτινοβολίας στην εσωτερική επιφάνεια 1 και στην εξωτερική επιφάνεια 4 του τοίχου. Από την εξίσωση Fourier για μετάδοση θερμότητας μέσω αγωγιμότητας για τις εσωτερικές επιφάνειες του τοίχου προκύπτει:

$$Q_k = \frac{k_A A}{L_A} (T_1 - T_2) = \frac{k_B A}{L_B} (T_2 - T_3) = \frac{k_C A}{L_C} (T_3 - T_4)$$

Όπου Q_k = το ποσό της θερμότητας (W)

A = το εμβαδόν της επιφάνειας (m^2)

L_A, L_B, L_C = τα αντίστοιχα μήκη των στρωμάτων του τοίχου (m)

K_A, K_B, K_C = οι αντίστοιχες θερμικές αγωγιμότητες των διαφόρων στρωμάτων του τοίχου ($W m^{-1} K^{-1}$)

Αν στην παραπάνω εξίσωση απαλειφθούν οι θερμοκρασίες T_2 και T_3 η εξίσωση γίνεται:

$$Q_k = \frac{T_1 - T_4}{L_A / (k_A A) + L_B / (k_B A) + L_C / (k_C A)}$$

Σε ένα τοίχο ο οποίο έχει n-στρώματα η ροή της θερμότητας θα είναι κατά αντιστοιχία:

$$Q_k = \frac{T_1 - T_{n+1}}{L_1 / (k_1 A) + L_2 / (k_2 A) + \dots + L_n / (k_n A)}$$

Η ροή της θερμότητας για κάθε ένα από τα επίπεδα μπορεί να γραφεί:

$$Q_k = \frac{k A}{L} \Delta T = \frac{\Delta T}{R}, \quad R = \frac{L}{k A}$$

Όπου R είναι η θερμική αντίσταση του υλικού ($K W^{-1}$).

Η ολική θερμική αντίσταση λόγω αγωγιμότητας ενός τοίχου n-επιπέδων θα είναι το άθροισμα των επιμέρους θερμικών αντιστάσεων:

$$R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Όπως έχει ειπωθεί εκτός από την μετάδοση θερμότητας μέσω αγωγιμότητας πραγματοποιείται και μετάδοση θερμότητας μέσω μεταφοράς και ακτινοβολίας στην εσωτερική επιφάνεια 1 και στην εξωτερική επιφάνεια 4 του τοίχου.

Στην εσωτερική επιφάνεια 1 η συνολική μεταφορά θερμότητας Q_i περιλαμβάνει την μετάδοση θερμότητας Q_c , λόγω της επαφής του αέρα με τον τοίχο και την μετάδοση θερμότητας λόγω ακτινοβολίας του τοίχου Q_r . Οπότε:

$$Q_i = Q_c + Q_r = h_c A_1 (T_i - T_1) + h_r A_1 (T_i - T_1) = h_i A_1 (T_i - T_1)$$

Όπου h_i είναι ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας και ισούται με:

$$h_i = h_c + h_r, \quad W m^{-2} K^{-1}$$

Η θερμική αντίσταση R_i της εσωτερικής επιφάνειας λόγω μετάδοσης της θερμότητας με μεταφορά και ακτινοβολία είναι:

$$R_i = \frac{1}{h_i A_1}, \quad W^{-1} K$$

Αντίστοιχα στην εξωτερική επιφάνεια η ροή της θερμότητας είναι:

$$Q_o = h_o A (T_4 - T_o)$$

Όπου h_o είναι ο συνολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας ($W m^{-2} K^{-1}$)

A το εμβαδόν της επιφάνειας

T_4 η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του τοίχου

T_o η θερμοκρασία του αέρα εξωτερικά του τοίχου

Επίσης η θερμική αντίσταση R_o της εξωτερικής επιφάνειας του τοίχου είναι:

$$R_o = \frac{1}{h_o A_4}, \quad W^{-1}K$$

Για τον σύνθετο αυτό τοίχο η συνολική θερμότητα Q , μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$Q = Q_i = Q_k = Q_o = UA(T_i - T_o) = \frac{T_i - T_o}{R_T}$$

Όπου U είναι ο συνολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας ($W m^{-2} ^\circ C^{-1}$)

A το εμβαδόν της κάθετης επιφάνειας από την οποία διέρχεται η θερμότητα (m^2)

T_i είναι η θερμοκρασία στην εσωτερική μεριά του τοίχου

T_o είναι η θερμοκρασία στην εξωτερική μεριά του τοίχου

R_T η ολική θερμική αντίσταση του τοίχου ($^\circ C W^{-1}$) και ισούται με:

$$R_T = R_i + R_A + R_B + R_C + R_o = \frac{1}{UA}$$

Έτσι η συνολική μεταφορά της θερμότητας Q μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$Q = UA(T_i - T_o)$$

χωρίς να χρειάζεται να είναι γνωστοί οι διάφοροι συντελεστές μετάδοσης θερμότητας καθώς και οι θερμοκρασίες στο εσωτερικό του τοίχου, παρά μόνο ο συνολικός συντελεστής U και οι θερμοκρασίες στο εσωτερικό και εξωτερικό μέρος του.

Τυπικές τιμές θερμικών ιδιοτήτων για διάφορα κατασκευαστικά υλικά φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

Θερμικές ιδιότητες κατασκευαστικών και μονωτικών υλικών

Description	Density	Conductivity (k)	Conductance (C)	Resistance (R)		Specific Heat
				Per Inch Thickness (1/k)	For Thickness Listed (1/C)	
				$\frac{F \cdot ft^2 \cdot h}{Btu}$	$\frac{F \cdot ft^2 \cdot h}{Btu}$	
				$\frac{Btu \cdot in}{h \cdot ft^2 \cdot F}$	$\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot F}$	
BUILDING BOARD						
Asbestos-cement board	120	4.0	—	0.25	—	0.24
Asbestos-cement board0.125 in.	120	—	33.00	—	0.03	
Asbestos-cement board0.25 in.	120	—	16.50	—	0.06	
Gypsum or plaster board.....0.375 in.	50	—	3.10	—	0.32	0.26
Gypsum or plaster board.....0.5 in.	50	—	2.22	—	0.45	
Gypsum or plaster board.....0.625 in	50	—	1.78	—	0.56	
Plywood (Douglas Fir)	34	0.80	—	1.25	—	0.29
Plywood (Douglas Fir).....0.25 in.	34	—	3.20	—	0.31	
Plywood (Douglas Fir).....0.375 in.	34	—	2.13	—	0.47	
Plywood (Douglas Fir).....0.5 in.	34	—	1.60	—	0.62	
Plywood (Douglas Fir).....0.625 in.	34	—	1.29	—	0.77	
Plywood or wood panels.....0.75 in.	34	—	1.07	—	0.93	0.29
Vegetable fiber board						
Sheathing, regular density0.5 in.	18	—	0.76	—	1.32	0.31
..... 0.78125 in.	18	—	0.49	—	2.06	
Sheathing intermediate density.....0.5 in.	22	—	0.92	—	1.09	0.31
Nail-base sheathing0.5 in.	25	—	0.94	—	1.06	0.31
Shingle backer.....0.375 in.	18	—	1.06	—	0.94	0.31
Shingle backer.....0.3125 in.	18	—	1.28	—	0.78	
Sound deadening board.....0.5 in.	15	—	0.74	—	1.35	0.30
Tile and lay-in panels, plain or acoustic0.5 in.	18	0.40	—	2.50	—	0.14
.....0.75 in.	18	—	0.80	—	1.25	
Laminated paperboard	30	0.50	—	2.00	—	0.33
Homogeneous board from repulped paper....	30	0.50	—	2.00	—	0.28
Hardboard						
Medium density	50	0.73	—	1.37	—	0.31
High density, service-tempered grade and service grade.....	55	0.82	—	1.22	—	0.32
High density, standard-tempered grade.....	63	1.00	—	1.00	—	0.32
Particleboard						

Low density.....	37	0.71	—	1.41	—	0.31
Medium density.....	50	0.94	—	1.06	—	0.31
High density.....	62	.5	1.18	—	0.85	—
Underlayment..... ...0.625 in.	40	—	1.22	—	0.82	0.29
Waferboard.....	37	0.63	—	1.59	—	—
Wood subfloor.....0.7 5 in.	—	—	1.06	—	0.94	0.33
BUILDING MEMBRANE						
Vapor—permeable felt.....	—	—	16.70	—	0.06	
Vapor—seal, 2 layers of mopped 15-lb felt.....	—	—	8.35	—	0.12	
Vapor—seal, plastic film.....	—	—	—	—	Negl.	
FINISH FLOORING MATERIALS						
Carpet and fibrous pad.....	—	—	0.48	—	2.08	0.34
Carpet and rubber pad.....	—	—	0.81	—	1.23	0.33
Cork tile.....0.125 in.	—	—	3.60	—	0.28	0.48
Terrazzo.....1 in.	—	—	12.50	—	0.08	0.19
Tile—asphalt, linoleum, vinyl, rubber.....	—	—	20.00	—	0.05	0.30
vinyl asbestos.....						0.24
ceramic.....						0.19
Wood, hardwood finish.....0.75 in.	—	—	1.47	—	0.68	
INSULATING MATERIALS						
<i>Blanket and Batt,g</i>						
Mineral fiber, fibrous form processed from rock, slag, or glass						
approx. 3-4 in.....	0.4-2.0	—	0.091	—	11	
approx. 3.5 in.....	0.4-2.0	—	0.077	—	13	
approx. 3.5 in.....	1.2-1.6	—	0.067	—	15	
approx. 5.5-6.5 in.....	0.4-2.0	—	0.053	—	19	
approx. 5.5 in.....	0.6-1.0	—	0.048	—	21	
approx. 6-7.5 in.....	0.4-2.0	—	0.045	—	22	
approx. 8.25-10 in.....	0.4-2.0	—	0.033	—	30	
approx. 10-13 in.....	0.4-2.0	—	0.026	—	38	
<i>Board and Slabs</i>						
Cellular glass.....	8.0	0.33	—	3.03	—	0.18
Glass fiber, organic bonded.....	4.0-9.0	0.25	—	4.00	—	0.23
Expanded perlite, organic bonded.....	1.0	0.36	—	2.78	—	0.30
Expanded rubber (rigid).....	4.5	0.22	—	4.55	—	0.40
Expanded polystyrene, extruded (smooth skin surface)						
(CFC-12 exp.)	1.8-3.5	0.20	—	5.00	—	0.29

Πίνακας 11 - Θερμικές ιδιότητες κατασκευαστικών και μονωτικών υλικών

3.2.3 Διάχυση και Διείσδυση Αέρα

Η διάχυση του αέρα είναι ένας από τους βασικούς συντελεστές για την επίτευξη των επιθυμητών συνθηκών άνεσης. Ανάμεσα στις κυριότερες αιτίες δυσφορίας του ανθρώπου στο περιβάλλον είναι:

Η ταχύτητα του αέρα

Ως ρεύμα αέρα ορίζεται η εντοπισμένη αίσθηση ζέστης ή κρύο, σε μια οποιαδήποτε περιοχή του σώματος, που οφείλονται στην κίνηση και τη θερμοκρασία του αέρα, σε σταθερές συνθήκες σχετικής υγρασίας και μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας. Οι υπερβολικά χαμηλές ταχύτητες του αέρα, από 0,08 m/s και κάτω προκαλούν την αίσθηση του στάσιμου αέρα που είναι εξίσου ενοχλητική και γι' αυτό πρέπει να αποφεύγεται. Η ιδανική ταχύτητα του αέρα για την άνεση των ανθρώπων είναι περίπου 0,13 m/s.

Η ανομοιογενής διανομή της ροής του αέρα σε σχέση με τα υπάρχοντα θερμικά φορτία

Η ροή του αέρα πρέπει να κατευθύνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να αντισταθμίζεται θερμικά φορτία από εντοπισμένες πηγές θερμότητας.

Οι υπερβολικές αλλαγές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος σε κατακόρυφο ή οριζόντιο επίπεδο

Η διαφορά της θερμοκρασίας ανάμεσα σε έναν χώρο και έναν άλλο έχει καθοριστική σημασία για την άνεση. Συνήθως είναι ανεκτή μια μέγιστη διαφορά 1,5 °C. Στο κατακόρυφο επίπεδο, για άτομα που κάνουν καθιστική εργασία, η διαφορά 2 °C ανάμεσα στο δάπεδο (πόδια) και τη λεκάνη προκαλεί δυσφορία στο 10-20% των περιπτώσεων.

Η διεύθυνση με την οποία η ροή του αέρα συναντά τα άτομα

Η εμπειρία έχει δείξει ότι επιτυγχάνεται άριστο αποτέλεσμα όταν ο αέρας κατευθύνεται απευθείας προς το πρόσωπο. Αν ο αέρας χτυπά πλευρικά το κεφάλι, η αίσθηση που προκαλείται είναι λιγότερο ευχάριστη και τέλος αν χτυπά τον αυχένα (ακόμα και με αποδεκτές ταχύτητες) δημιουργούνται πολλαπλές συνθήκες δυσφορίας. Μια αργή κίνηση του αέρα προς τα κάτω είναι εν γένει αποδεκτή, ενώ τα ανοδικά ρεύματα είναι πιο ενοχλητικά.

Επίσης, η ποιότητα του αέρα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην επίτευξη των συνθηκών άνεσης σε ένα χώρο. Ο εξωτερικός αέρας που ρέει σε ένα κτίριο

χρησιμοποιείται για να απομακρύνει ή να αραιώσει τις συγκεντρώσεις των αιρούμενων σωματιδίων.

2.5 Εξαερισμός και διείσδυση αέρα

Η ανταλλαγή του αέρα με ένα κτίριο χωρίζεται σε δύο κατηγορίες τον εξαερισμό και την διείσδυση.

Εξαερισμός

Ο εξαερισμός είναι η εσκεμμένη εισαγωγή εξωτερικού αέρα στο κτίριο και χωρίζεται σε δύο κατηγορίες στον φυσικό εξαερισμό και τον μηχανικό εξαερισμό. Φυσικός εξαερισμός είναι η σκόπιμη ροή αέρα στο κτίριο μέσα από παράθυρα, πόρτες, γρίλιες και άλλα σχεδιασμένα ανοίγματα του κτιρίου. Μηχανικός εξαερισμός είναι η σκόπιμη ροή αέρα μέσα και έξω από το κτίριο μέσω ανεμιστήρων, και ανοιγμάτων εξαερισμού.

Διείσδυση

Διείσδυση είναι η μη ελεγχόμενη ροή εξωτερικού αέρα στο κτίριο μέσω χαραμιάδων και άλλων μη σχεδιασμένων ανοιγμάτων στο κτίριο καθώς και ο αέρας που ρέει από τις εξωτερικές πόρτες.

2.6 Ρυθμός ροής αέρα

Ο ρυθμός ροής αέρα I δίνεται από τον τύπο:

$$I = \frac{Q}{V}$$

Όπου Q είναι η ογκομετρική ροή του αέρα στο χώρο ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) και
 V είναι ο όγκος του χώρου (m^3)

Ο ρυθμός ροής αέρα I έχει μονάδες 1/χρόνο. Όταν η μονάδα του χρόνου είναι η ώρα h τότε ο ρυθμός ροής αέρα ονομάζεται επίσης αλλαγές αέρα ανά ώρα (ACH Air Changes per Hour). Οι αλλαγές αέρα ανά ώρα για διάφορους χώρους, με στόχο τη διατήρηση της ποιότητας του αέρα φαίνονται στον πίνακα για τις συνθήκες ευεξίας στο χώρο, στην επόμενη παράγραφο.

3.2.4 Συνθήκες ευεξίας

Η θερμοϋγρομετρική ευεξία επιτυγχάνεται όταν η θερμότητα που παράγεται από το ανθρώπινο σώμα αφαιρείται στην ίδια ποσότητα με την οποία παράγεται. Το άτομο βρίσκεται, έτσι, σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον.^{[3],[4],[5],[6]}

Μια αφαίρεση μεγαλύτερης ποσότητας από αυτήν που παράγεται προκαλεί αίσθηση του κρύου και, αντίθετα μια αφαίρεση μικρότερης ποσότητας από εκείνη που παράγεται προκαλεί αίσθηση ζέσης.

Η εξίσωση που εκφράζει την ισορροπία στην θερμική συναλλαγή ανάμεσα στον οργανισμό και το περιβάλλον προτάθηκε από τον Fanger^[2] και είναι η εξής:

$$M - W = Q_{sk} + Q_{res} \Leftrightarrow M = W + Q_{sk} + Q_{res}$$

Όπου M είναι η ποσότητα θερμότητας που παράγεται από το ανθρώπινο σώμα ($W\ m^{-2}$)

W είναι η ποσότητα μηχανικού έργου που παράγεται ($W\ m^{-2}$)

Q_{sk} είναι η συνολική ποσότητας της θερμότητας που εκχωρείται από την επιδερμίδα ($W\ m^{-2}$)

Q_{res} είναι η συνολική ποσότητα της θερμότητας που εκχωρείται από την αναπνοή ($W\ m^{-2}$).

Οι απαιτήσεις θερμοϋγρομετρικής ευεξίας δεν είναι μονοσήμαντες, αλλά επηρεάζονται από το είδος της δραστηριότητας που αναπτύσσουν τα άτομα (για παράδειγμα καθιστική δραστηριότητα, χειρονακτική εργασία). Στον πίνακα 12 φαίνονται τα πόσα θερμότητας που παράγονται για διάφορες δραστηριότητες.

Θερμότητα Δραστηριοτήτων		
ACTIVITIES	Btu/(h · ft ²)	meta
Resting		
Sleeping	13	0.7
Reclining	15	0.8
Seated, quiet	18	1.0
Standing, relaxed	22	1.2
Walking (on level surface)		
2.9 ft/s (2 mph)	37	2.0
4.4 ft/s (3 mph)	48	2.6
5.9 ft/s (4 mph)	70	3.8
Office Activities		
Reading, seated	18	1.0
Writing	18	1.0
Typing	20	1.1
Filing, seated	22	1.2
Filing, standing	26	1.4
Walking about	31	1.7
Lifting/packing	39	2.1
Driving/Flying		
Car	18 to 37	1.0 to 2.0
Aircraft, routine	22	1.2
Aircraft, instrument landing	33	1.8
Aircraft, combat	44	2.4
Heavy vehicle	59	3.2
Miscellaneous Occupational Activities		
Cooking	29 to 37	1.6 to 2.0
Housecleaning	37 to 63	2.0 to 3.4
Seated, heavy limb movement	41	2.2
Machine work		
sawing (table saw)	33	1.8
light (electrical industry)	37 to 44	2.0 to 2.4
heavy	74	4.0
Handling 110 lb bags	74	4.0
Pick and shovel work	74 to 88	4.0 to 4.8
Miscellaneous Leisure Activities		
Dancing, social	44 to 81	2.4 to 4.4
Calisthenics/exercise	55 to 74	3.0 to 4.0
Tennis, singles	66 to 74	3.6 to 4.0
Basketball	90 to 140	5.0 to 7.6
Wrestling, competitive	130 to 160	7.0 to 8.7

Πίνακας 12 - Θερμότητα Δραστηριοτήτων

Η ένδυση επίσης προσθέτει θερμική αντίσταση στη θερμότητα που ρέει από το δέρμα. Η μονάδα μέτρησης της μόνωσης του ρούχου είναι το “clo”

$$1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \text{ K W}^{-1} (0.88 \text{ ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F Btu}^{-1})$$

Τα σύμβολα I_{cl} , I_T μας αναπαριστούν τις τιμές μέτρησης για το ρούχο μόνο του και για την ολική θερμική αντίσταση μεταξύ του δέρματος και του περιβάλλοντος αντίστοιχα. Όταν υπολογίζονται θερμικές απώλειες είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται την εξωτερική επιφάνεια του ρούχου και όχι αυτή του δέρματος. Η αναλογία μεταξύ της ολική επιφάνειας του ρούχου και της επιφάνειας του δέρματος A_{cl}/A_{sk} δίνεται επίσης στον πίνακα 13^[7].

Θερμικές αντιστάσεις ενδυμάτων			
Ensemble Description	I_{cl} (clo)	I_T (clo)	A_{cl}/A_{sk}
Walking shorts, short-sleeve shirt	0.36	1.02	1.10
Trousers, short-sleeve shirt	0.57	1.20	1.15
Trousers, long-sleeve shirt	0.61	1.21	1.20
Same as above plus suit jacket	0.96	1.54	1.23
Same as above plus vest and t-shirt	1.14	1.69	1.32
Trousers, long-sleeve shirt, long-sleeve sweater, t-shirt	1.01	1.56	1.28
Same as above plus suit jacket and long underwear bottoms	1.30	1.83	1.33
Sweat pants, sweat shirt	0.74	1.35	1.19
Long-sleeve pajama top, long pajama trousers, short 3/4 sleeve robe, slippers, no socks	0.96	1.50	1.32
Knee-length skirt, short-sleeve shirt, pantyhose, sandals	0.54	1.10	1.26
Knee-length skirt, long-sleeve shirt, full slip, pantyhose	0.67	1.22	1.29
Knee-length skirt, long-sleeve shirt, half slip, pantyhose, long-sleeve sweater	1.10	1.59	1.46
Same as above, replace sweater with suit jacket	1.04	1.60	1.30
Ankle-length skirt, long-sleeve shirt, suit jacket, pantyhose	1.10	1.59	1.46
Long-sleeve coveralls, t-shirt	0.72	1.30	1.23
Overalls, long-sleeve shirt, t-shirt	0.89	1.46	1.27
Insulated coveralls, long-sleeve thermal underwear, long underwear bottoms	1.37	1.94	1.26

Πίνακας 13 - Θερμικές αντιστάσεις ενδυμάτων

Το ποσό της μετάδοσης θερμότητας με μεταφορά υπολογίζεται από την σχέση:

$$Q_c = A_{cl} h_c (T_{cl} - T_a)$$

Όπου A_{cl} είναι το εμβαδόν της επιφάνειας του ρούχου και του δέρματος που έρχεται σε επαφή με τον αέρα

T_{cl} είναι η μέση θερμοκρασία του ρούχου και του δέρματος που έρχεται σε επαφή με τον αέρα

h_c είναι ο θερμικός συντελεστής μετάδοσης της θερμότητας μέσω μεταφοράς από το ρούχο

T_a είναι η θερμοκρασία του αέρα.

Η θερμότητα που μεταδίδεται μέσω ακτινοβολίας υπολογίζεται από την σχέση:

$$Q_r = A_{cl} h_r (T_{cl} - T_r)$$

Όπου A_{cl} είναι το εμβαδόν της επιφάνειας του ρούχου και του δέρματος που έρχεται σε επαφή με τον αέρα

T_{cl} είναι η μέση θερμοκρασία του ρούχου και του δέρματος που έρχεται σε επαφή με τον αέρα

h_r είναι ο θερμικός συντελεστής μετάδοσης της θερμότητας μέσω ακτινοβολίας από το σώμα

T_r είναι η θερμοκρασία ενός υποθετικού ισοθερμικού κλειστού χώρου με τον οποίο το ανθρώπινο σώμα θα ανταλλάξει την ίδια ποσότητα ακτινοβολίας όπως με το πραγματικό περιβάλλον.

Είναι δυνατό να συνδυαστούν οι δύο πιο πάνω εξισώσεις στην εξής:

$$Q_c + Q_r = A_{cl} h_{c+r} (T_{cl} - T_{op}), \quad h_{c+r} = h_c + h_r$$

Όπου T_{op} ονομάζεται θερμοκρασία λειτουργίας και καθορίζεται από την σχέση:

$$T_{op} = \frac{h_c T_a + h_r T_r}{h_{c+r}}$$

Στον πίνακα φαίνονται οι θερμοκρασίες που δίνει ο ASHRAE και είναι αυτές που πρέπει να επικρατούν στο εσωτερικό διάφορων κτιρίων ώστε να επιτευχθούν αυτές οι συνθήκες ευεξίας. Στον πίνακα δίνονται επίσης και οι ταχύτητες του αέρα οι οποίες είναι αποδεκτές για διάφορους χώρους^{[8],[9]}.

Συνθήκες ευεξίας στο εσωτερικό των κτιρίων						
General Category	Specific Category	Inside Design Conditions			Air Movement	Circulation, air changes per hour
		Winter		Summer		
Dining and Entertainment Centers	Cafeterias and Luncheonettes	21 to 23°C	20 to 30% rh	26°C 50% rh	0.25 m/s at 1.8 m above floor	12 to 15
	Restaurants	21 to 23°C	20 to 30% rh	23 to 26°C 55 to 60% rh	0.13 to 0.15 m/s	8 to 12
	Bars	21 to 23°C	20 to 30% rh	23 to 26°C 50 to 60% rh	0.15 m/s at 1.8 m above floor	15 to 20
	Nightclubs and Casinos	21 to 23°C	20 to 30% rh	23 to 26°C 50 to 60% rh	below 0.13 m/s at 1.5 m above floor	20 to 30
	Kitchens	21 to 23°C		29 to 31°C	0.15 to 0.25 m/s	12 to 15
Office Buildings		21 to 23°C	20 to 30% rh	23 to 26°C 50 to 60% rh	0.13 to 0.23 m/s 4 to 10 L/(s·m ²)	4 to 10
Museums, Libraries, and Archives	Average	20 to 22°C 40 to 55% rh			below 0.13 m/s	8 to 12
Bowling Centers		21 to 23°C	20 to 30% rh	24 to 26°C 50 to 55% rh	0.25 m/s at 1.8 m above floor	10 to 15
Communication Centers	Telephone Terminal Rooms	22 to 26°C	40 to 50% rh	22 to 26°C 40 to 50% rh	0.13 to 0.15 m/s	8 to 20
	Radio and Television Studios	21 to 23°C	40 to 50% rh	23 to 26°C 45 to 55% rh	0.13 to 0.15 m/s	15 to 40
Transportation Centers	Airport Terminals	23 to 26°C	30 to 40% rh	23 to 26°C 40 to 55% rh	below 0.13 m/s at 3.7 m above floor	8 to 12
	Ship Docks	21 to 23°C	20 to 30% rh	23 to 26°C 50 to 60% rh	0.13 to 0.15 m/s at 1.8 m above floor	8 to 12
	Bus Terminals	21 to 23°C	20 to 30% rh	23 to 26°C 50 to 60% rh	0.13 to 0.15 m/s at 1.8 m above floor	8 to 12
	Garages	4 to 13°C		27 to 38°C	0.15 to 0.38 m/s	4 to 6

Πίνακας 14 - Συνθήκες ευεξίας στο εσωτερικό των κτιρίων

3.3 Μεθοδολογίες Υπολογιστικής Υποστήριξης Αποφάσεων

3.3.1 Γενετικοί Αλγόριθμοι

Οι γενετικοί αλγόριθμοι ανήκουν στο κλάδο της επιστήμης υπολογιστών και αποτελούν μια μέθοδο αναζήτησης βέλτιστων λύσεων σε συστήματα που μπορούν να περιγραφούν ως μαθηματικά προβλήματα^[10]. Είναι χρήσιμοι σε προβλήματα που περιέχουν πολλές παραμέτρους/διαστάσεις και δεν υπάρχει αναλυτική μέθοδος που να μπορεί να βρει το συνδυασμό τιμών για τις μεταβλητές ώστε το υπό εξέταση σύστημα να αντιδρά με όσο το δυνατόν βέλτιστο τρόπο.

Ο τρόπος λειτουργίας των γενετικών αλγορίθμων είναι εμπνευσμένος από την βιολογία. Χρησιμοποιεί την ιδέα της εξέλιξης μέσω γενετικής μετάλλαξης, φυσικής επιλογής και διασταύρωσης. Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι αρκετά απλοί στην υλοποίησή τους. Οι τιμές για τις παραμέτρους του συστήματος πρέπει να κωδικοποιούνται με τρόπο ώστε να αναπαρασταθούν από μια μεταβλητή που περιέχει σειρά χαρακτήρων ή δυαδικών ψηφίων (0/1). Αυτή η μεταβλητή μιμείται το γενετικό κώδικα που υπάρχει στους ζωντανούς οργανισμούς. Αρχικά, ο γενετικός αλγόριθμος παράγει πολλαπλά αντίγραφα της μεταβλητής, συνήθως με τυχαίες τιμές, δημιουργώντας ένα πληθυσμό λύσεων. Κάθε λύση (τιμές για τις παραμέτρους του συστήματος) δοκιμάζεται για το πόσο κοντά φέρνει την αντίδραση του συστήματος στην επιθυμητή, μέσω μιας συνάρτησης που δίνει το μέτρο ικανότητας της λύσης και η οποία ονομάζεται συνάρτηση ικανότητας.

Οι λύσεις που βρίσκονται πιο κοντά στην επιθυμητή, σε σχέση με τις άλλες, σύμφωνα με το μέτρο που μας δίνει η συνάρτηση ικανότητας^[11], αναπαράγονται στην επόμενη γενιά λύσεων και λαμβάνουν μια τυχαία μετάλλαξη. Επαναλαμβάνοντας αυτή τη διαδικασία για αρκετές γενιές, οι τυχαίες μεταλλάξεις σε συνδυασμό με την επιβίωση και αναπαραγωγή των γονιδίων/λύσεων που πλησιάζουν καλύτερα το επιθυμητό αποτέλεσμα θα παράγουν ένα γονίδιο/λύση που θα περιέχει τις τιμές για τις παραμέτρους που ικανοποιούν όσο καλύτερα γίνεται την συνάρτηση ικανότητας.

Υπάρχουν διάφορες εκδοχές της παραπάνω διαδικασίας για τους γενετικούς αλγόριθμους από τις οποίες κάποιες περιλαμβάνουν και τη διασταύρωση (ζευγάρωμα) γονιδίων/λύσεων ώστε ο αλγόριθμος να φτάσει στο αποτέλεσμα πιο γρήγορα. Καθώς υπάρχει το στοχαστικό (τυχαίο) συστατικό της μετάλλαξης και ζευγαρώματος, κάθε εκτέλεση του γενετικού αλγόριθμου μπορεί να συγκλίνει σε διαφορετική λύση και σε διαφορετικό χρόνο. Η απόδοση του εξαρτάται επί το πλείστον από την συνάρτηση ικανότητας και συγκεκριμένα από το κατά πόσο το μέτρο της περιγράφει την βέλτιστη λύση.

3.3.2 Ασαφής Λογική

Η ασαφής λογική (fuzzy logic) εισήχθη από τον Lotfi A. Zadeh του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας στο Berkeley των ΗΠΑ στα μέσα του '60^[12]. Η θεωρία της ασαφούς λογικής βασίζεται στην προϋπόθεση ότι ο περιβάλλον χώρος απαρτίζεται από στοιχεία που ανήκουν σε διάφορα σύνολα με διαφορετικούς βαθμούς συμμετοχής^[13]. Η ασάφεια δημιουργεί μια πλειότιμη έννοια στο χώρο της αβεβαιότητας. Παραδείγματα είναι η αλήθεια, το ψεύδος και οι ενδιάμεσες έννοιες.

Τα λογικά παράδοξα και η αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg συνέβαλαν στην ανάπτυξη την *πλειότιμης λογικής* (*multi-valued logic*) στη δεκαετία του 1920. Το επόμενο βήμα επέτρεψε βαθμούς αβεβαιότητας και θεωρούσε τους χαρακτηρισμούς αλήθειας και ψεύδους ως τις ακραίες τιμές ενός πεδίου μεταβολής της ασάφειας. Το 1937 ο μαθηματικός Max Black εφάρμοσε τη συνεχή λογική σε σύνολα στοιχείων και συμβόλων και ονόμασε τη δομή αυτή αβεβαιότητα. Το 1965, στη θεμελιώδη συμβολή του με τίτλο "Fuzzy Sets", ο Zadeh παρουσίασε τη θεωρία των συνόλων πολλαπλών τιμών ή ασαφών συνόλων (fuzzy set theory). Χρησιμοποίησε τον όρο ασαφή λογική και πρωτοστάτησε σε ένα νέο και σημαντικότερο κύμα επιστημονικής δραστηριότητας που συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Δεν είναι λίγοι, όμως, και ειδικά στις ΗΠΑ, που αμφισβητούν τη θεωρία του Zadeh. Αντίθετα, η Ιαπωνία την έχει ενστερνιστεί απόλυτα και η εφαρμογή της αποδίδει σημαντικά οικονομικά οφέλη.

Η θεωρία της ασαφούς λογικής είναι κατάλληλη τόσο για την αναπαράσταση της γνώσης και εμπειρίας όσο και για τη δημιουργία μηχανισμών συμπερασμάτων που χρησιμοποιούν τη διαθέσιμη κωδικοποιημένη γνώση και τις τρέχουσες τιμές των μεταβλητών της διεργασίας υπό έλεγχο για να συμπεράνουν την πράξη ελέγχου που απαιτείται. Σημειώνεται ότι η ασαφής λογική έχει βρει πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία διεργασιών όσο και σε οικιακές συσκευές που έχουν κατακτήσει την αγορά.

Στα χρόνια που ο Earl Cox εισήγαγε και ξεκίνησε να χρησιμοποιεί την ασαφή λογική^[14], είχε δει τη δύναμη και το πλάτος στο οποίο αυτά τα έμπειρα συστήματα συνεισέφεραν σε ένα ευρύ φάσμα ασυνήθιστα δύσκολων προβλημάτων. Είχε αναλάβει την αρχιτεκτονική, το σχεδιασμό, και τον προγραμματισμό τριών έμπειρων ασαφών συστημάτων παραγωγής. Αυτά τα εργαλεία είχαν εφαρμοστεί επιτυχώς σε μεγάλες εφαρμογές πραγματικού κόσμου σε περιοχές όπως οι μεταφορές, διαχειριζόμενης πρόνοιας, οικονομικών υπηρεσιών, εκτίμησης ασφαλιστικού κινδύνου, εξόρυξης πληροφορίας μιας βάσης δεδομένων, ανάλυση ευστάθειας

εταιρίας, ανίχνευση απάτης διαχειριζόμενης πρόνοιας, απόκτηση μελετών καταλληλότητας, προώθησης ενός νέου προϊόντος, και ανάλυσης πωλήσεων^[15]. Γενικά, τα τελικά μοντέλα ήταν λιγότερο πολύπλοκα, μικρότερα, και ευκολότερα να κατασκευαστούν, να βελτιωθούν, να συντηρηθούν και να επεκταθούν από τα συστήματα που χτίστηκαν χρησιμοποιώντας συμβατικά συμβολικά έμπειρα συστήματα.

Σημαντικό ενδιαφέρον έχει στραφεί προς την εφαρμογή της ασαφούς λογικής στον τομέα των *διαδικασιών ελέγχου* (control systems), ως αποτέλεσμα της τεράστιας ώθησης που δόθηκε από τα προϊόντα ασαφούς λογικής που κατασκευάστηκαν στην Ιαπωνία. Αυτή η επικέντρωση είναι κατανοητή εφόσον η ασαφής λογική παρέχει μία πολύτιμη τεχνολογία στο σχεδιασμό της εγγενούς μηχανικής νοημοσύνης. Με την ασαφή λογική, οι κατασκευαστές μπορούν να μειώσουν αισθητά το χρόνο ανάπτυξης, να μοντελοποιήσουν πολύπλοκα μη γραμμικά συστήματα, να αναπτύξουν προχωρημένα συστήματα χρησιμοποιώντας μηχανικούς ελέγχου αντί για επιστήμονες ελέγχου, και να υλοποιήσουν ελέγχους χρησιμοποιώντας πιο οικονομικά ολοκληρωμένα κυκλώματα (chips) και αισθητήρες.

Σημαντικό πεδίο εφαρμογών της ασαφούς λογικής μπορεί να βρεθεί στα *έμπειρα συστήματα* και στα *συστήματα υποστήριξης αποφάσεων* (decision support). Αυτά τα συστήματα επόμενης γενιάς χρησιμοποιούν την ασαφή λογική, τους κανόνες παραγωγής, και ένα ευρύ φάσμα τεχνικών εξαγωγής συμπερασμάτων. Ο συνδυασμός της ασαφούς λογικής με την τεχνολογία έμπειρων συστημάτων παρέχει ένα μηχανισμό παραγωγής ασαφών μοντέλων που προωθούν σημαντικές ομάδες προβλημάτων στην πληροφοριακή υποστήριξη αποφάσεων. Τα έμπειρα συστήματα ασαφούς λογικής μοντελοποιούν τον κόσμο με όρους της σημασιολογίας που σχετίζεται με τις υποκείμενες μεταβλητές, παρέχοντας έτσι μία πιο στενή σχέση μεταξύ των φαινομένων του πραγματικού κόσμου και των μοντέλων των υπολογιστών.

Βασικές Εννοιες

Τα ασαφή σύνολα (fuzzy sets) είναι συναρτήσεις που αντιστοιχίζουν μία τιμή, η οποία μπορεί να είναι μέλος ενός συνόλου, σε έναν αριθμό μεταξύ του μηδέν και του ένα, δείχνοντας τον πραγματικό βαθμό της ιδιότητας. Ένας βαθμός μηδέν σημαίνει ότι η τιμή δεν είναι στο σύνολο, και ένας βαθμός ένα, σημαίνει ότι η τιμή είναι απόλυτα αντιπροσωπευτική του συνόλου. Αυτή η αντιστοίχιση παράγει μία καμπύλη για όλα τα μέλη του συνόλου. Συγκεκριμένα έχουμε τον ακόλουθο ορισμό:

Ορισμός 1: Ασαφές σύνολο (fuzzy sets) και συναρτήσεις μέλους (membership functions).

Αν X είναι μια συλλογή αντικειμένων, τότε ένα *ασαφές σύνολο* (fuzzy set) A στο X ορίζεται ως ένα σύνολο από διατεταγμένα ζεύγη:

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x) \rangle \mid x \in X \}$$

όπου $\mu_A(x)$ καλείται συνάρτηση μέλους (Membership Function, MF) του ασαφούς συνόλου A . Η MF αντιστοιχίζει κάθε στοιχείο του X σε ένα βαθμό μέλους (ή τιμή μέλους) μεταξύ του 0 και 1.

Προφανώς, ο παραπάνω ορισμός του ασαφούς συνόλου αποτελεί απλή επέκταση του ορισμού ενός κλασικού συνόλου στο οποίο η χαρακτηριστική συνάρτηση επιτρέπεται να έχει οτιδήποτε τιμή μεταξύ 0 και 1. Αν η τιμή της συνάρτησης μέλους $\mu_A(x)$ περιοριστεί σε είτε 0 είτε 1, τότε το A ανάγεται σε κλασικό σύνολο. Τα κλασικά σύνολα αναφέρονται στην βιβλιογραφία με τους όρους: ordinary sets, crisp sets, nonfuzzy sets.

Συνήθως το X αναφέρεται ως universe of discourse ή απλά universe και μπορεί να αποτελείται από διακριτά (διατεταγμένα ή όχι) αντικείμενα ή από συνεχές χώρο τιμών. Το universe of discourse X καλείται συχνά και ως γλωσσική μεταβλητή (linguistic variable).

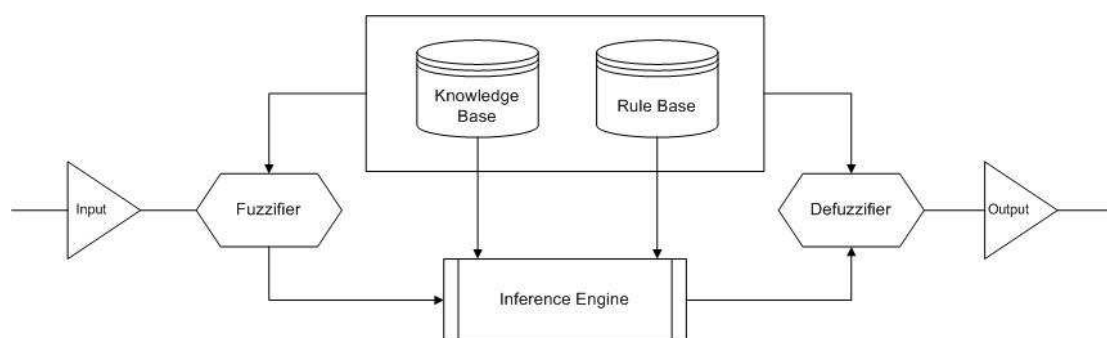
Το επίκεντρο της τεχνικής της ασαφούς μοντελοποίησης είναι η ιδέα της *γλωσσικής μεταβλητής* (linguistic variable). Στην ουσία, μια γλωσσική μεταβλητή είναι το όνομα ενός ασαφούς συνόλου και αναφέρεται στο «σύμπαν ομιλίας» (universe of discourse) X του ασαφούς συνόλου. Οι συναρτήσεις μέλους (membership functions ή degree of membership $\mu_A(x)$) ποσοτικοποιούν τις linguistic μεταβλητές. Κατά σύμβαση $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$, όπου $\mu_A(x)=0$ σημαίνει την έλλειψη της ιδιότητας που δηλώνεται από την γλωσσική μεταβλητή x και $\mu_A(x)=1$ την απόλυτη κατοχή. Οι ενδιάμεσες τιμές αντιστοιχούν σε ενδιάμεσες καταστάσεις.

Μια γλωσσική μεταβλητή ενσωματώνει τις ιδιότητες των κατά προσέγγιση ή ανακριβών εννοιών με ένα συστηματικό και υπολογιστικά χρήσιμο τρόπο. Μειώνει την φαινομενική πολυπλοκότητα της περιγραφής ενός συστήματος ταιριάζοντας ένα σημασιολογικό στοιχείο στην υπογραμμισμένη έννοια. Επιπλέον μια γλωσσική μεταβλητή πάντα αναπαριστά ένα ασαφές διάστημα, το οποίο είναι ένας άλλος τρόπος να λεχθεί ότι όταν αξιολογούμε μια γλωσσική μεταβλητή, βρίσκουμε ένα ασαφές σύνολο.

Η προσέγγιση των fuzzy συστημάτων έχει ομοιότητες με συμβατικά συστήματα τεχνητής νοημοσύνης πιθανοτικών Έμπειρων Συστημάτων βασισμένων σε κανόνες (probabilistic rule based expert systems). Η βασική διαφορά έγκειται στην

δυνατότητα για ευέλικτη ολοκλήρωση νευρωνικών τεχνικών στο πλαίσιο των συστημάτων fuzzy, έτσι ώστε να παρέχεται δυνατότητα προσαρμογής του συστήματος fuzzy στα δεδομένα. Επίσης, η σημασιολογία των εγγενών fuzzy κανόνων και η εκφραστικότητά τους είναι πιο ισχυρή από κανόνες στους οποίους έχει προσδεθεί ένας παράγοντας βεβαιότητας (certainty factor).

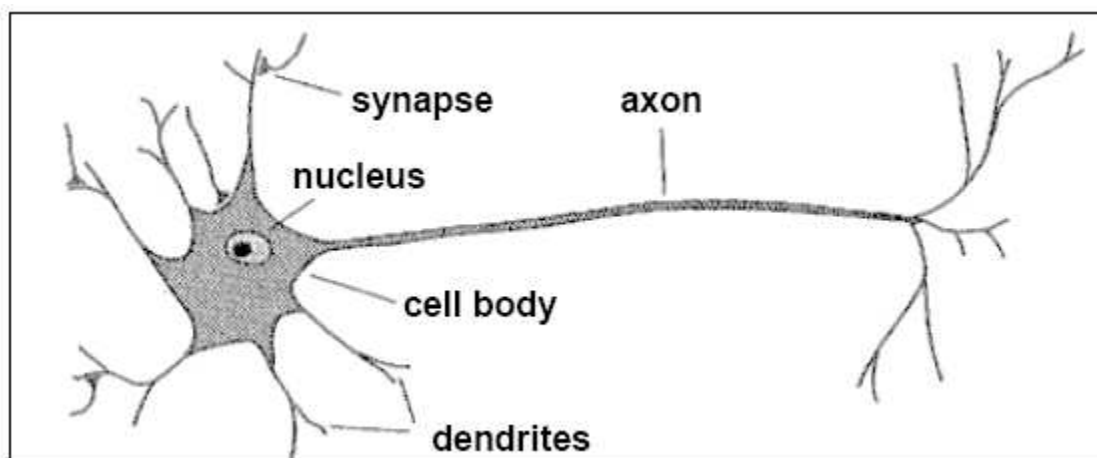
Ένα σύστημα εξαγωγής συμπερασμάτων fuzzy έχει την ακόλουθη αρχιτεκτονική:



Σχήμα 26 - Ασαφής ελεγκτής

3.3.3 Νευρωνικά Δίκτυα

Η μελέτη υπολογιστικών συστημάτων που βασίζονται σε πρότυπα του ανθρώπινου εγκεφάλου έκανε τα πρώτα της βήματα το 1943 από τους McCulloch και Pitts^[16] οι οποίοι σχεδίασαν το πρώτο νευρωνικό δίκτυο. Η πολυπλοκότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι τέτοια έτσι ώστε απαγορεύει την πλήρη κατανόησή του. Ακόμα και η κατανόηση της λειτουργίας ενός νευρώνα του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη.

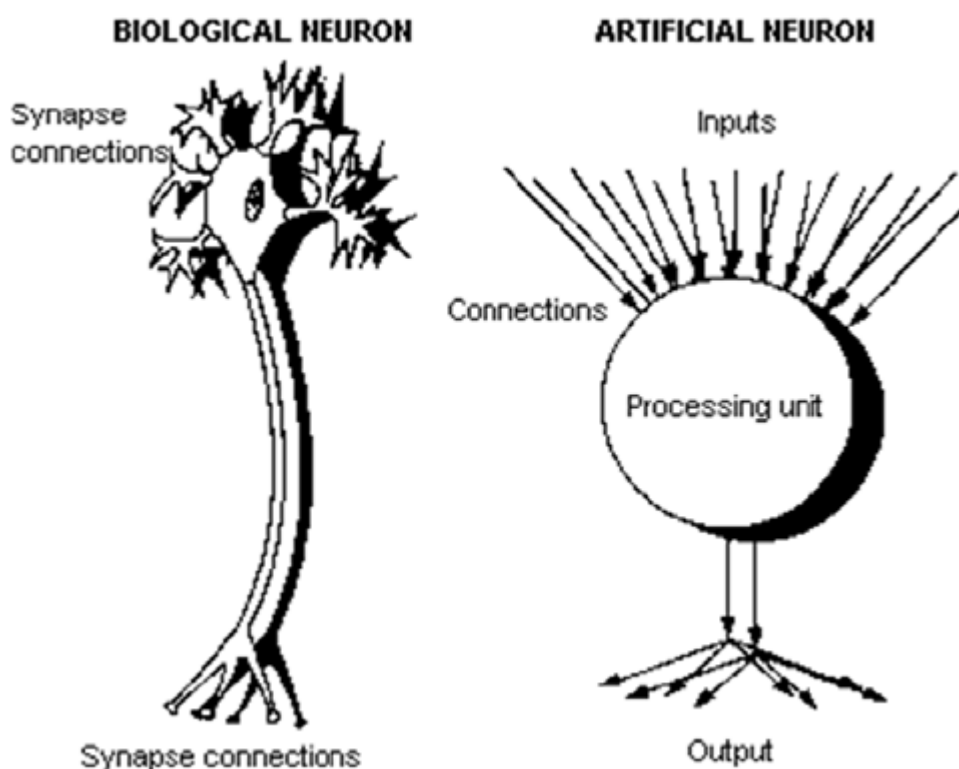


Σχήμα 27 - Φυσικός νευρώνας

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελείται από 1010 νευρώνες, με κάθε νευρώνα να έχει αρκετές χιλιάδες συνδέσεις. Βασικά χαρακτηριστικά του ανθρώπινου

εγκεφάλου είναι η αναγνώριση προτύπων^[17] (pattern recognition), ο συνειρμός, η πολυπλοκότητα και η ανεκτικότητα στο θόρυβο.

Ένας νευρώνας ενεργοποιείται όταν το σήμα εισόδου του γίνεται μεγαλύτερο από μία τιμή. Οι συνάψεις (συνδέσεις νευρώνων) μπορεί να είναι είτε διεγερτικές είτε ανασταλτικές. Ο νευρώνας έχει ένα κυτταρικό σώμα, μια δενδρική δομή εισόδων τους δενδρίτες και δενδρική δομή εξόδων τους άξονες. Οι άξονες συνδέονται με δενδρίτες άλλων νευρώνων μέσω των συνάψεων. Τα ηλεκτροχημικά σήματα εισόδων διαδίδονται από τους δενδρίτες στο κυτταρικό σώμα και έπειτα μέσω των αξόνων σε άλλους νευρώνες. Αντίστοιχες δομές ακολουθούνται και στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα.



Σχήμα 28 - Αντιστοιχία φυσικού και τεχνητού νευρώνα

Perceptron^[18]

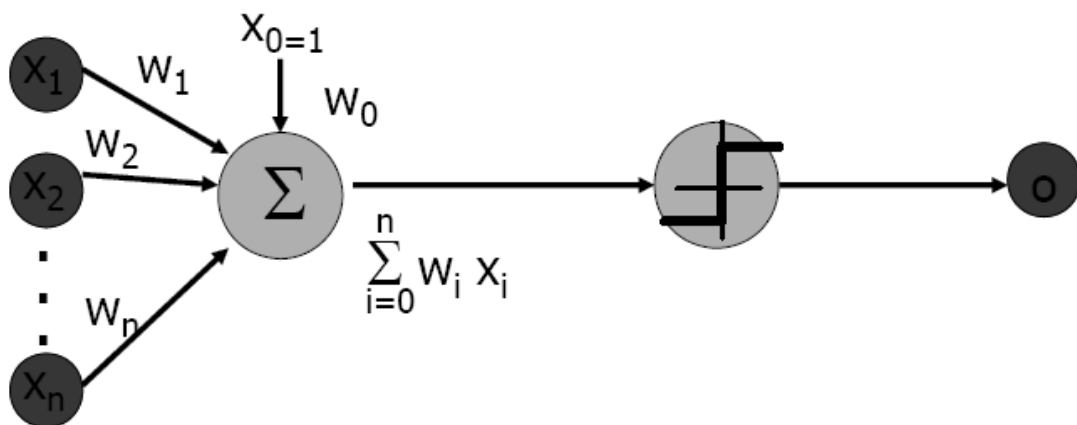
Έστω ένας νευρώνας με n εισόδους $x_1, \dots, x_n$ όπου κάθε σύναψη έχει και ένα (συναπτικό) βάρος $w_1, \dots, w_n$. Η είσοδος x_0 είναι πάντα 1 και το αντίστοιχο συναπτικό βάρος w_0 είναι το επίπεδο ενεργοποίησης του νευρώνα ή αλλιώς το επίπεδο κατωφλίου (threshold). Με O συμβολίζεται η έξοδος του νευρώνα. Συνήθως για ευκολία στο συμβολισμό με w αναφέρεται το διάνυσμα $hw_1 \dots w_n$ και με x το hx_1

... και. Ένας πολύ συνηθισμένος τρόπος υπολογισμού της εξόδου είναι η γραμμική συνάρτηση κατωφλίου

$$O(w, x) = \begin{cases} 1, & \sum_{i=0}^n w_i x_i > 0 \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

Επίσης υπάρχει και η συνάρτηση πρόσημου όπου

$$O(w, x) = \begin{cases} 1, & \sum_{i=0}^n w_i x_i \geq 0 \\ -1, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$



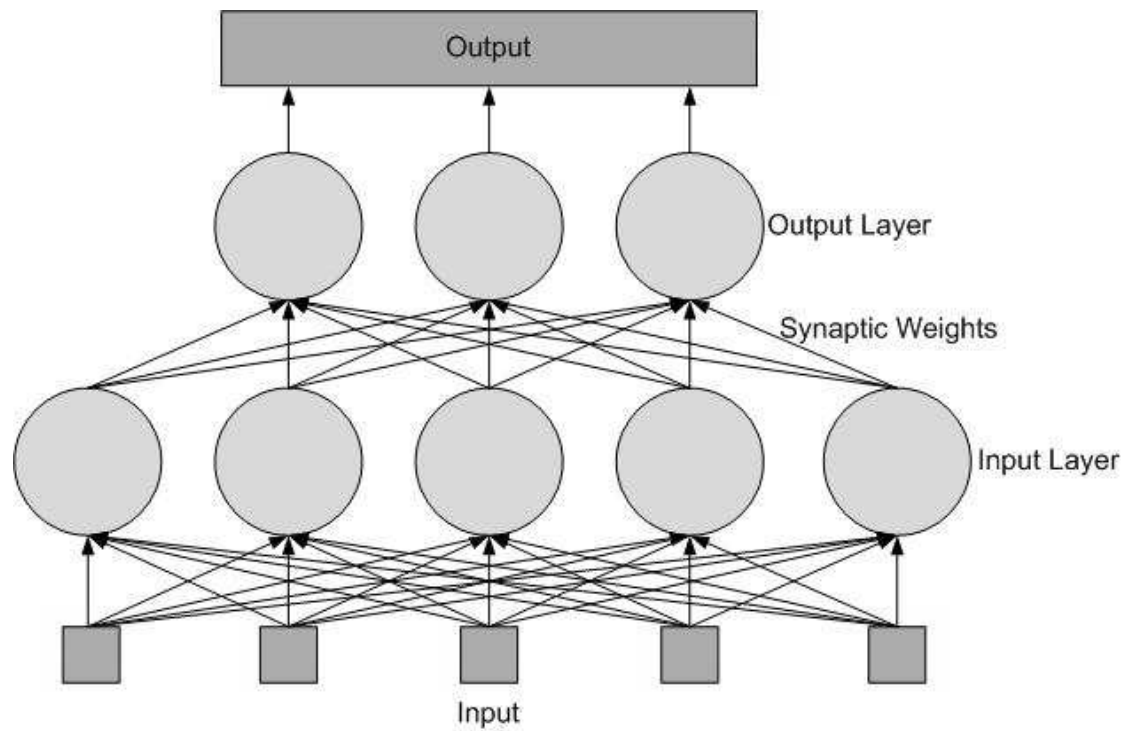
Σχήμα 29 - Ανάλυση Perceptron

Ο νευρώνας ενεργοποιείται θετικά αν

$$\sum_{i=1}^n w_i x_i > -w_0$$

για αυτό και το $w_0 = \theta$ ονομάζεται επίπεδο ενεργοποίησης. Αν $\theta = 0$ τότε η είσοδος x_0 παραλείπεται.

Εκτός από ένα νευρώνα υπάρχουν και πολυεπίπεδα νευρωνικά δίκτυα Perceptron.



Σχήμα 30 - Πολυστρωματικό νευρωνικό δίκτυο

Το πρόβλημα εκπαίδευσης ενός νευρώνα είναι να βρεθούν κατάλληλα συναπτικά βάρη έτσι ώστε για συγκεκριμένες εισόδους το νευρωνικό δίκτυο να παράγει συγκεκριμένες επιθυμητές εξόδους.

3.4 Τα Έμπειρα Συστήματα

Η διαδικασία δημιουργίας ενός έμπειρου συστήματος καλείται μηχανική γνώσης (knowledge engineering)^[19] και επιτελείται από το μηχανικό γνώσης (knowledge engineer). Γενικά, δεν υπάρχει καθολικά αποδεκτή μεθοδολογία για τη σχεδίαση και τον προγραμματισμό της εκμείωσης γνώσης και της εκτίμησης του αποτελέσματος. Η συνήθης πρακτική είναι, να εκμαιεύει ο μηχανικός γνώσης, ύστερα από εκτενείς συνεντεύξεις, τη γνώση από τους ανθρώπους εμπειρογνώμονες ή από άλλες πηγές και να την κωδικοποιεί με χρήση κατάλληλου φορμαλισμού^[20] (τεχνικές αναπαράστασης γνώσης) στη βάση γνώσης του έμπειρου συστήματος. Στη συνέχεια, ο άνθρωπος εμπειρογνώμονας αξιολογεί το πρωτότυπο έμπειρο σύστημα, δίνοντας τις παρατηρήσεις του στο μηχανικό γνώσης. Η χρονοβόρα και επίπονη αλληλεπιδραστική αυτή διαδικασία επαναλαμβάνεται αρκετές φορές, μέχρις ότου η απόδοση του έμπειρου συστήματος κριθεί ικανοποιητική από τον εμπειρογνώμονα.

Κάποια έμπειρα συστήματα, χρησιμοποιώντας τεχνικές μηχανικής μάθησης^[21] και πίνακες δεδομένων, προσπαθούν να ανακαλύψουν σχέσεις μεταξύ των δεδομένων αυτών, τις οποίες εκφράζουν με νέους κανόνες, μέσω επαγωγής κανόνων (rule induction). Με τον τρόπο αυτό όμως, μπορούν να κωδικοποιηθούν περιορισμένοι μόνο τύποι γνώσης. Τα τυπικά έμπειρα συστήματα δεν μπορούν να γενικεύσουν τη γνώση τους χρησιμοποιώντας όπως οι άνθρωποι αναλογία με σκοπό το να ανταπεξέλθουν σε νέες καταστάσεις. Έτσι, το πρόβλημα της μεταφοράς της ανθρώπινης γνώσης στο έμπειρο σύστημα από το μηχανικό γνώσης, αποτελεί το μείζονα ανασχετικό παράγοντα κατά τη διαδικασία δημιουργίας ενός έμπειρου συστήματος και καλείται "το στόμιο φιάλης της απόκτησης γνώσης"^[22], αφού περιορίζει τη δημιουργία ενός έμπειρου συστήματος όπως το στόμιο της φιάλης εμποδίζει την ελεύθερη ροή του υγρού.

3.4.1 Εξειδικευμένη Γνώση

Τα έμπειρα συστήματα, η ανάπτυξη των οποίων άρχισε από τα μέσα της δεκαετίας του 1960, κάνουν εκτεταμένη χρήση εξειδικευμένης γνώσης, για να επιλύσουν προβλήματα, όπως ένας άνθρωπος εμπειρογνώμονας (human expert). Ο άνθρωπος εμπειρογνώμονας διαθέτει γνώση, εμπειρία και εξειδικευμένες ικανότητες, σε μία συγκεκριμένη περιοχή γνώσης, γενικά μη διαθέσιμη στους περισσότερους ανθρώπους και μπορεί να δώσει αποτελεσματικές λύσεις σε προβλήματα τα οποία εμπίπτουν στην ειδικότητά του. Η γνώση του μπορεί να είναι γνώση διαθέσιμη στη

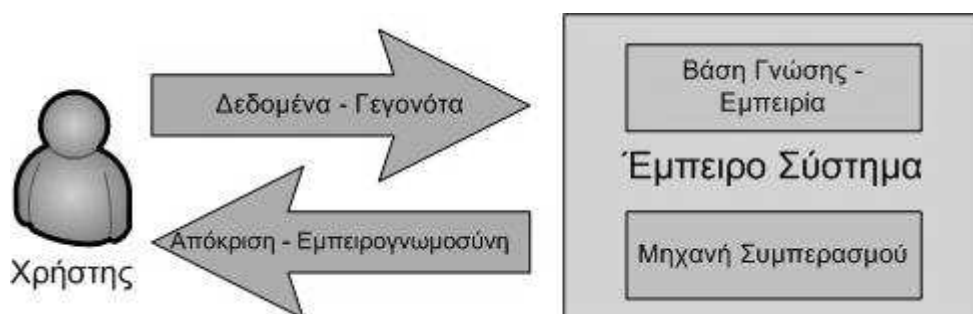
διεθνή βιβλιογραφία, σε ειδικά περιοδικά και βιβλία του χώρου, σε βάσεις δεδομένων, ή ακόμα και να προέρχεται μέσα από τη διαδικασία της μάθησης. Κυρίως όμως είναι εμπειρογνωμοσύνη (expertise), δηλαδή περιλαμβάνει ένα σύνολο εξειδικευμένων ικανοτήτων, οι οποίες έχουν αποκτηθεί με κόπο και σε μεγάλο χρονικό διάστημα, για ένα τελείως συγκεκριμένο σκοπό.

Ένα έμπειρο σύστημα ή έμπειρο σύστημα βασισμένο στη γνώση, είναι ένα ευφυές πρόγραμμα υπολογιστή, το οποίο χρησιμοποιεί γνώση (knowledge) και μηχανισμούς συμπερασμού-εξαγωγής συμπερασμάτων (inference procedures), για να λύσει προβλήματα τα οποία έχουν τέτοιο βαθμό δυσκολίας που απαιτείται σημαντική ανθρώπινη εμπειρία (expertise) για να επιλυθούν. Η ανθρώπινη εμπειρία είναι ένας σημαντικός παράγοντας που μπορεί να παρέχει συμβουλές σ' ένα εξειδικευμένο τομέα γνώσης και να υποστηρίζει την λήψη αποφάσεων. Το έμπειρο σύστημα επιλύει προβλήματα χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο της λογικής του ειδικού σε κάποιο χώρο γνώσης και καταλήγει στα ίδια συμπεράσματα στα οποία θα έφθανε και ο ειδικός εάν αντιμετώπιζε ένα ανάλογο πρόβλημα. Γενικά, στα έμπειρα συστήματα, η γνώση αναπαρίσταται με τη βοήθεια γεγονότων σχετικών με τον κόσμο (αναφέρονται σε ταξινομήσεις και σχέσεις αντικειμένων), με τη βοήθεια κανόνων ή διαδικασιών χειρισμού των γεγονότων και με τη βοήθεια στρατηγικών ή δομών ελέγχου (πληροφοριών για το πότε και πως θα εφαρμόσουμε τους κανόνες). Τα έμπειρα συστήματα επιδεικνύουν συμπεριφορά την οποία θα χαρακτηρίζαμε νοήμονα, σε συγκεκριμένους τομείς και διαδικασίες, ανάλογη με αυτή ενός ανθρώπου εμπειρογνώμονα στον ίδιο τομέα. Το έμπειρο σύστημα εξομοιώνει (emulates) πλήρως την ικανότητα εξαγωγής συμπερασμάτων ενός ανθρώπου εμπειρογνώμονα, ενεργώντας δηλαδή από όλες τις απόψεις όπως αυτός και όχι μερικώς (simulation-προσομοίωση).

3.4.2 Βασική αρχή λειτουργίας

Στο σχήμα που ακολουθεί, αποτυπώνεται η βασική αρχή λειτουργίας ενός έμπειρου συστήματος. Ο χρήστης διατυπώνει ένα αίτημα για παροχή συμβουλής από το έμπειρο σύστημα και το τροφοδοτεί με δεδομένα-πληροφορίες για το τι είναι γνωστό (γεγονότα-facts στην ορολογία των εμπείρων συστημάτων). Τα γεγονότα μπορεί να αναφέρονται είτε σε αρχικά διαθέσιμες πληροφορίες για το πρόβλημα, είτε σε απαντήσεις του χρήστη σε απορίες του συστήματος σχετικές με παροχή πρόσθετων πληροφοριών. Εσωτερικά το έμπειρο σύστημα αποτελείται κυρίως από δύο συστατικά στοιχεία, τη βάση γνώσης (knowledge base), η οποία περιέχει τη γνώση και τη μηχανή συμπερασμού (inference engine), η οποία χρησιμοποιώντας τη

γνώση, εξάγει συμπεράσματα. Ο χρήστης, λαμβάνει αυτά τα συμπεράσματα - έμπειρες συμβουλές, ως απάντηση του έμπειρου συστήματος στην αρχική αίτησή του για εμπειρογνωμοσύνη, είτε λαμβάνει από το έμπειρο σύστημα δήλωση αδυναμίας παροχής συμβουλής, επειδή δεν υπάρχει επαρκής γνώση.



Σχήμα 31 - Έμπειρο σύστημα

3.4.3 Ερευνητική γνώση πεδίου

Τα έμπειρα συστήματα δεν έχουν πραγματική κατανόηση των σχέσεων αιτίου-αιτιατού σ' ένα σύστημα, τους λείπει επομένως η αιτιώδης γνώση (casual knowledge). Προγραμματίζονται καλύτερα με επιφανειακή γνώση (shallow knowledge), η οποία είναι εμπειρική γνώση, παρά με βαθιά γνώση (deep knowledge), η οποία είναι γνώση βασισμένη στις βασικές δομές, λειτουργίες και συμπεριφορές των αντικειμένων. Ένας τύπος επιφανειακής γνώσης είναι και η ευρετική γνώση (heuristic knowledge), η βασισμένη σε κτηθείσες εμπειρίες. Η ευρετική γνώση αποτελείται από εμπειροτεχνικούς κανόνες και μεθόδους που κατακτήθηκαν μέσω εμπειρίας και οι οποίοι μπορούν να βοηθήσουν στην εύρεση κάποιας λύσης, χωρίς όμως να είναι εγγυημένη η επιτυχία τους. Σε πολλά προβλήματα, η ευρετική γνώση παράγει εφικτές λύσεις, εκεί όπου η ακριβής λύση είτε δεν είναι γνωστή, είτε ακόμη και εάν είναι διαθέσιμη, δίνει μη πρακτικά αποτελέσματα λόγω περιορισμών κόστους ή χρόνου. Οι ευρετικές μέθοδοι, αντίθετα από τους αλγόριθμους, δεν έχουν πάντα βέβαιη επιτυχία συνήθως όμως δεν απαιτούν πλήρη δεδομένα για να λειτουργήσουν. Η λύση στην οποία καταλήγουν δεν είναι πάντα η βέλτιστη, καταλήγουν όμως σ' αυτήν γρήγορα, επειδή περιορίζουν το χώρο αναζήτησής της. Έρευνες έδειξαν ότι οι εμπειρογνώμονες δε στηρίζονται σε γενικές μεθόδους συλλογισμού για να επιλύσουν προβλήματα, αλλά κυρίως στην τεράστια βάση εμπειροτεχνικής γνώσης, την οποία έχουν δημιουργήσει στη διάρκεια πολλών ετών. Η ικανότητα συλλογισμών ενός εμπειρογνώμονα, δεν είναι γενικά

καλύτερη από αυτήν ενός μέσου ανθρώπου, όταν έχουν να αντιμετωπίσει μια μη γνώριμη κατάσταση.

3.4.4 Κανόνες

Οι Newell και Simon^[23] χρησιμοποίησαν κανόνες παραγωγής (production rules) της μορφής `EAN...TOTE... (IF...THEN...)` για την αναπαράσταση της ανθρώπινης γνώσης. Η γνωστική ψυχολογία (cognitive psychology), η επιστήμη που ερευνά τους μηχανισμούς της ανθρώπινης ευφυΐας, μοντελοποιεί την επεξεργασία πληροφορίας από τον άνθρωπο και την ανθρώπινη μνήμη χρησιμοποιώντας και αυτή τέτοιους κανόνες. Οι κανόνες είναι μικρά κομμάτια γνώσης (chunks), οργανωμένα με χαλαρή διευθέτηση και με συνδέσμους ανάμεσα σε τέτοια σχετικά μεταξύ τους κομμάτια γνώσης. Συλλογισμοί μπορούν να γίνουν με τη χρήση των κανόνων αυτών.

Συστήματα Παραγωγής

Οι κανόνες είναι ένας τύπος συστήματος παραγωγής (production system). Τα συστήματα παραγωγής εισήχθησαν στη συμβολική λογική από τον Post^[24]. Ο Post απέδειξε ότι οποιοδήποτε σύστημα μαθηματικών ή λογικής μπορεί να γραφεί ως ένας τύπος συστήματος με κανόνες παραγωγής (Post production rules). Η βασική ιδέα είναι, ότι ένα μαθηματικό σύστημα ή ένα σύστημα λογικής, δεν είναι τίποτε άλλο παρά ένα σύνολο από κανόνες, οι οποίοι καθορίζουν πως θα μετασχηματισθεί μια συμβολοσειρά εισόδου (το πρότερο) σε μια άλλη συμβολοσειρά εξόδου (το επακόλουθο). Οι κανόνες είναι ένας προσφιλής τρόπος αναπαράστασης γνώσης, διότι αποτελούν ένα φυσικό τρόπο μοντελοποίησης της γνωστικής διαδικασίας και του τρόπου με τον οποίο οι άνθρωποι επιλύουν προβλήματα. Οι κανόνες αυτοί διευκολύνουν τη λειτουργία της μονάδας επεξήγησης, αφού είναι εύκολο να παρακολουθεί κάποιος ποίοι κανόνες πυροδοτήθηκαν, καθώς και ποίοι ενεργοποιήθηκαν και από ποια γεγονότα, ακολουθώντας έτσι την αλυσίδα συλλογισμού, η οποία οδήγησε σε κάποιο συμπέρασμα. Τέλος, διευκολύνουν γιατί είναι αυτοτελείς μονάδες γνώσης που μπορεί να προστίθενται κατά βούληση στη διάρκεια ανάπτυξης του έμπειρου συστήματος.

3.4.5 Μονάδα Επεξήγησης

Εφόσον ένα έμπειρο σύστημα βασίζεται σε συμπερασμούς, είναι δυνατόν να επεξηγεί κάθε φορά τον τρόπο συλλογισμού του, έτσι ώστε αυτός να μπορεί να

ελεγχθεί. Έτσι, η μονάδα επεξήγησης (explanation facility), αποτελεί σήμερα συστατικό στοιχείο των πιο εξελιγμένων έμπειρων συστημάτων. Η μονάδα επεξήγησης επιτρέπει:

- Την επαλήθευση, κατά τη φάση ανάπτυξης, από τον εμπειρογνώμονα και το μηχανικό γνώσης της ορθότητας της καταχωρημένης γνώσης αποκλείοντας παρανόηση μεταξύ τους και τυπογραφικά λάθη. Έτσι ελέγχουμε εάν η συλλογιστική του ανθρώπου εμπειρογνώμονα μεταφέρθηκε σωστά στο έμπειρο σύστημα από το μηχανικό γνώσης. Η διαδικασία αυτή καλείται έλεγχος επαλήθευσης (verification). Χωρίς μονάδα επεξήγησης, η εντοπισμός σφαλμάτων (debugging) είναι δύσκολος. Ας μη ξεχνάμε ότι η ροή εκτέλεσης σ' ένα έμπειρο σύστημα δεν είναι σειριακή. Έτσι δεν μπορεί κάποιος απλά να διαβάσει τον κώδικα γραμμή -γραμμή και να καταλάβει τη λειτουργία του. Η σειρά εισαγωγής των κανόνων στο σύστημα, δεν είναι απαραίτητα ίδια με τη σειρά εκτέλεσής τους. Τα έμπειρα συστήματα μοιάζουν περισσότερο με ένα παράλληλο πρόγραμμα, όπου οι κανόνες συνιστούν ανεξάρτητους επεξεργαστές γνώσης.
- Τον έλεγχο της ορθότητας των συμπερασμάτων στα οποία κατέληξε το έμπειρο σύστημα, μέσω του ελέγχου των συλλογισμών του και σύγκρισής τους με τα αποτελέσματα του πρότυπου το οποίο εξομοιώνει, δηλαδή του ανθρώπου εμπειρογνώμονα. Η διαδικασία αυτή καλείται έλεγχος αξιοπιστίας (validation).
- Τον εντοπισμό απρόβλεπτων αλληλεπιδράσεων, μέσω της εκτέλεσης υποδειγματικών περιπτώσεων (case studies), με γνωστό εκ των προτέρων τρόπο συλλογισμού, τον οποίο περιμένουμε ότι θα ακολουθήσει και το έμπειρο σύστημα.

Μια απλή μονάδα επεξήγησης σε ένα έμπειρο σύστημα βασισμένο σε κανόνες, παρέχει τη λίστα των γεγονότων τα οποία οδήγησαν στην τελευταία εκτέλεση κανόνα. Επειδή σε ένα έμπειρο σύστημα βασισμένο σε κανόνες η ιστορία των ενεργοποιήσεων των κανόνων και των περιεχομένων της μνήμης εργασίας μπορούν να φυλάσσονται σε μια μνήμη, είναι δυνατόν να απαντηθεί η ερώτηση του πως το σύστημα έφθασε σε κάποιο συμπέρασμα. Συχνά χρησιμοποιούνται πιο πολύπλοκες μονάδες επεξήγησης, οι οποίες μπορούν^[25]:

- Να συντάσσουν κατάλογο όλων των συνθηκών υπέρ, ή κατά κάποιας υπόθεσης
- Να συντάσσουν κατάλογο όλων των υποθέσεων οι οποίες μπορούν να επεξηγήσουν κάποια παρατηρούμενη συμπεριφορά
- Να επεξηγούν όλες τις συνέπειες μιας υπόθεσης

- Να κάνουν πρόβλεψη του τι θα συμβεί εάν μια υπόθεση είναι αληθής
- Να δικαιολογούν τις ερωτήσεις τις οποίες το σύστημα θέτει στο χρήστη για να λάβει περαιτέρω πληροφορίες
- Να δικαιολογούν τη γνώση του συστήματος

3.4.6 Στρατηγικές συμπερασμού

Συνήθως, τα έμπειρα συστήματα ανάλογα με τη σχεδιάσή τους χρησιμοποιούν δύο στρατηγικές συμπερασμού για την επίλυση προβλημάτων. Την ορθή αλυσίδα συλλογισμού (forward chaining, modus ponens)^[26], στην οποία ο συλλογισμός γίνεται από τα γεγονότα προς τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από αυτά τα γεγονότα και την ανάστροφη αλυσίδα συλλογισμού (backward chaining), όπου ο συλλογισμός γίνεται αντίστροφα από μια υπόθεση, ένα εν δυνάμει συμπέρασμα του οποίου θέλουμε να αποδείξουμε την ισχύ ή τη μη ισχύ, προς τα γεγονότα που υποστηρίζουν αυτή την υπόθεση. Η ορθή αλυσίδα συλλογισμού είναι καθοδηγούμενη από τα δεδομένα (data driven), ενώ η ανάστροφη αλυσίδα συλλογισμού είναι καθοδηγούμενη από το στόχο (goal driven). Τα διαγνωστικά προβλήματα λύνονται καλύτερα με backward chaining, ενώ προβλήματα πρόγνωσης, παρακολούθησης (monitoring) και ελέγχου λύνονται καλύτερα με forward chaining.

Η μηχανή συμπερασμού του έμπειρου συστήματος λειτουργεί σε επαναλαμβανόμενους κύκλους. Το σύνολο των εργασιών που επαναλαμβάνονται σε κάθε κύκλο, δίνονται παρακάτω σε ψευδοκώδικα:

WHILE ΟΧΙ ΤΕΛΟΣ

Πυροδότηση: Εκτελούνται διαδοχικά τις ενέργειες οι οποίες περιγράφονται στο δεξί μέρος του ενεργοποιημένου κανόνα με τη μεγαλύτερη προτεραιότητα. Κάποιες από τις ενέργειες αυτές επιδρούν άμεσα στον κύκλο αυτό, αλλάζοντας τη μνήμη εργασίας (προσθέτοντας, αφαιρώντας ή τροποποιώντας γεγονότα). Αφαίρεση του ενεργοποιημένου κανόνα που μόλις πυροδοτήθηκε, από την agenda.

Ταίριασμα προτύπου: Ενημέρωση της agenda, ελέγχοντας αν το αριστερό μέρος κάποιων κανόνων ικανοποιείται. Εάν ναι, ενεργοποίηση αυτών των κανόνων. Αφαίρεση από την agenda ενεργοποιημένων κανόνων, των οποίων το αριστερό μέρος δεν ικανοποιείται πλέον.

Επίλυση διένεξης: Εάν υπάρχουν ενεργοποιημένοι κανόνες στην agenda, επιλογή, σύμφωνα με την ισχύουσα στρατηγική επίλυσης διενέξεων, αυτόν με τη μεγαλύτερη προτεραιότητα για να πυροδοτηθεί, αλλιώς ΤΕΛΟΣ.

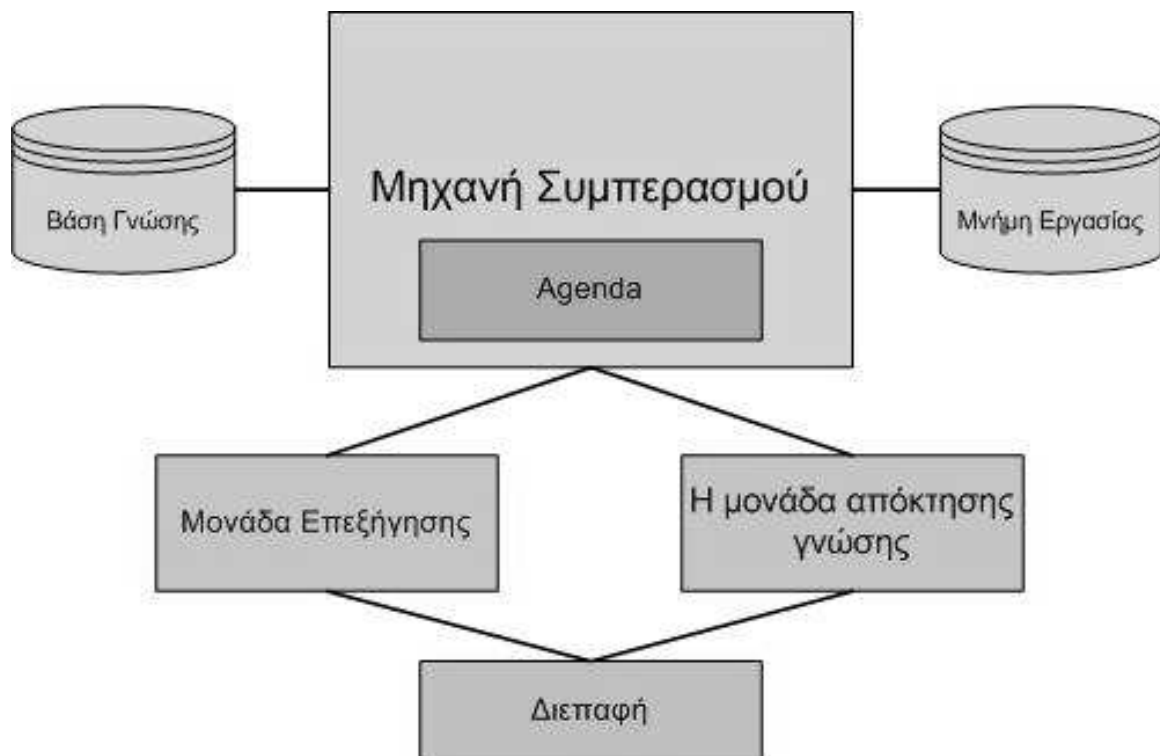
Έλεγχος για HALT: αν υπάρχει εντολή HALT η εντολή BREAK, τότε

ΤΕΛΟΣ

END WHILE

Επιστροφή στο μεταφραστή εντολών, στο top level mode, για αναμονή νέας εντολής του χρήστη.

3.4.7 Δομή ενός σύγχρονου έμπειρου συστήματος



Σχήμα 32 - Δομή σύγχρονου έμπειρου συστήματος

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται αντίστοιχα η δομή ενός σύγχρονου έμπειρου συστήματος βασισμένου σε κανόνες. Η βάση γνώσης (γνωστή και ως μνήμη παραγωγής-production memory), περιέχει τη γνώση του πεδίου η οποία είναι απαραίτητη για την επίλυση του προβλήματος, κωδικοποιημένη υπό μορφή κανόνων. Οι κανόνες είναι κομμάτια γνώσης της μορφής EAN...TOTE... Το τμήμα ανάμεσα στο EAN και το TOTE καλείται υποθετικό τμήμα (conditional part), τμήμα προτύπων (pattern part), πρότερο (antecedent) ή αριστερό μέρος του κανόνα (LHS-Left Hand Side) και περιέχει τις υποθέσεις (conditional elements) ή πρότυπα (patterns). Το τμήμα το οποίο έπεται του TOTE, αποτελείται από ένα σύνολο ενεργειών οι οποίες εκτελούνται όταν πυροδοτηθεί ο κανόνας και καλείται

επακόλουθο (consequent) ή δεξί μέρος του κανόνα (RHS-Right Hand Side). Ένας κανόνας μεταξύ των ενεργειών στο δεξί του μέρος μπορεί να περιλαμβάνει την προσθήκη νέων γεγονότων ή την αφαίρεση προϋπαρχόντων γεγονότων από τη μνήμη εργασίας ή την εκτύπωση κάποιων αποτελεσμάτων ή μηνυμάτων. Η βάση γνώσης μπορεί να χαρακτηριστεί ως στατική, αφού δε μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος.

Η μνήμη εργασίας είναι μια βάση από γεγονότα (φορείς πληροφορίας που ακολουθούν συγκεκριμένη δομή) τα οποία χρησιμοποιούνται από τους κανόνες. Συνιστά το δυναμικό κομμάτι της γνώσης που χρειάζεται για την επίλυση κάποιου προβλήματος αφού αλλάζει κατά την εκτέλεση του έμπειρου συστήματος και εκτός από την αρχικά διαθέσιμη γνώση μπορεί να περιλαμβάνει ενδιάμεσα συμπεράσματα, τα οποία δημιουργούνται κατά την εκτέλεση του προγράμματος, καθώς και την τελική προτεινόμενη λύση.

Η μηχανή συμπερασμού εξάγει συμπεράσματα αποφασίζοντας για ποιους από τους κανόνες τα πρότυπα στο αριστερό τους μέρος ικανοποιούνται από γεγονότα ή από αντικείμενα (σε περίπτωση που το έμπειρο σύστημα υποστηρίζει και αντικειμενοστραφή προγραμματισμό) στη μνήμη εργασίας καθορίζοντας προτεραιότητες για τους κανόνες αυτούς με βάση τη στρατηγική επίλυσης διενέξεων (conflict resolution strategy) και εκτελώντας τον κανόνα με τη μεγαλύτερη προτεραιότητα (η εκτέλεση του κανόνα καλείται και πυροδότηση / firing). Το τμήμα της μηχανής συμπερασμού που είναι υπεύθυνο για το χειρισμό της υπάρχουσας γνώσης (κανόνες, γεγονότα), την παραγωγή νέας μέσω τεχνικών ταυτοποίησης προτύπου matching) και την χρήση συλλογιστικών, καλείται διερμηνέας. Το τμήμα της μηχανής συμπερασμού που έχει την ευθύνη για την επίλυση διενέξεων μεταξύ των κανόνων καλείται χρονοπρογραμματιστής (scheduler). Ο χρονοπρογραμματιστής αποφασίζει στην ουσία για το πότε και με ποια σειρά θα χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα της βάσης γνώσης.

Η agenda είναι η λίστα των κανόνων που η μηχανή συμπερασμού κατέταξε με βάση την προτεραιότητά τους και των οποίων τα πρότυπα (συνθήκες) στο αριστερό τους μέρος ικανοποιούνται από γεγονότα ή από αντικείμενα στη μνήμη εργασίας. Ένας κανόνας του οποίου τα πρότυπα ικανοποιούνται, λέμε ότι έχει ενεργοποιηθεί (activated-instantiated). Η agenda περιέχει επομένως υποψήφιους προς πυροδότηση (εκτέλεση) κανόνες. Εάν ένας κανόνας έχει περισσότερα από ένα πρότυπα στο αριστερό του μέρος συνδεδεμένα με συνδυαστικό AND, πρέπει συγχρόνως όλα τα πρότυπα να ταιριάξουν (pattern matching) με γεγονότα ή αντικείμενα στη λίστα γεγονότων (μνήμη εργασίας), ώστε αυτός να ενεργοποιηθεί. Τα πρότυπα μπορεί επίσης να συνδέονται και με συνδυαστικά OR ή και με συνδυασμούς

των συνδετικών AND και OR, οπότε τότε πρέπει να αληθεύει η σχέση στο αριστερό μέρος του κανόνα. Σήμερα υπάρχουν γρήγοροι αλγόριθμοι όπως ο αλγόριθμος Rete για ταίριασμα προτύπου, οι οποίοι βοήθησαν σημαντικά στην πρακτική εφαρμογή των εμπειρών συστημάτων. Ο αλγόριθμος Rete, αντί να προσπαθεί σε κάθε κύκλο να ταιριάζει γεγονότα της μνήμης εργασίας με τις συνθήκες όλων των κανόνων στη βάση γνώσης εξετάζοντάς τους σειριακά, εξετάζει μόνο τις αλλαγές στα ταιριάσματα σε κάθε κύκλο με βάση τις μεταβολές στη μνήμη εργασίας. Έτσι, ακόμη και σε συστήματα με μεγάλο αριθμό κανόνων, καθίσταται εφικτό το να μην απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα για την απάντηση του έμπειρου συστήματος.

Μπορεί να συμβεί, περισσότεροι του ενός ενεργοποιημένοι κανόνες να βρεθούν, στη διάρκεια ενός κύκλου του έμπειρου συστήματος, ταυτόχρονα στην agenda. Τότε η μηχανή συμπερασμού πρέπει να επιλέξει ένα μοναδικό σε κάθε κύκλο, αυτόν με τη μεγαλύτερη προτεραιότητα, για να τον πυροδοτήσει. Ο κανόνας ο οποίος πυροδοτείται, αφαιρείται από την agenda. Ενεργοποιημένοι κανόνες μπορεί να έχουν παραμείνει στην agenda από προηγούμενους κύκλους, εκτός εάν κάποιος από αυτούς έχουν απενεργοποιηθεί επειδή το αριστερό μέρος τους δεν ικανοποιείται πλέον από γεγονότα ή αντικείμενα. Η προτεραιότητα των κανόνων καθορίζεται από τη στρατηγική επίλυσης διενέξεων με βάση το πότε εισήχθησαν στη μνήμη εργασίας τα γεγονότα τα οποία ταιριάζουν με τα πρότυπα των κανόνων, με βάση την πολυπλοκότητα ή όχι των κανόνων η οποία εξαρτάται από τον αριθμό των συνθηκών τους και των περιορισμών που περιγράφονται σ' αυτές, με βάση τη σειρά εμφάνισης των ενεργοποιημένων κανόνων στην agenda, με βάση την τυχαιότητα, ή τέλος με βάση συνδυασμό των παραπάνω. Επίσης, για να αποφεύγουν τους ατέρμονες βρόχους, τα έμπειρα συστήματα σχεδιάζονται να έχουν μια συμπεριφορά η οποία καλείται *refraction*. Κάθε γεγονός στη μνήμη εργασίας, χαρακτηρίζεται από ένα μοναδικό δείκτη γεγονότος (*fact index*). Εάν ένα σύνολο γεγονότων έχει ενεργοποιήσει σε κάποιο κύκλο λειτουργίας του έμπειρου συστήματος κάποιους κανόνες, η μηχανή συμπερασμού δεν μπορεί να ενεργοποιήσει ξανά του ίδιους κανόνες από τα ίδια γεγονότα στους επόμενους κύκλους λειτουργίας, αφού οι δείκτες γεγονότων που τους αντιστοιχούν έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί.

Μπορεί να τύχει, ένας κανόνας να παραμένει στην agenda διαρκώς ενεργοποιημένος, χωρίς να επιλέγεται για πυροδότηση από τη στρατηγική επίλυσης διενέξεων. Σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να τύχει κάποιος κανόνας να μην ενεργοποιείται ποτέ. Στις δύο παραπάνω περιπτώσεις, η ύπαρξη αυτών των κανόνων πρέπει να επανελέγχεται, διότι, είτε δεν είναι χρήσιμοι, είτε τα πρότυπά τους δεν είναι σωστά σχεδιασμένα.

Η μονάδα επεξήγησης, εξηγεί στο χρήστη τους συλλογισμούς που εκτελεί το έμπειρο σύστημα. Το έμπειρο σύστημα θα πρέπει να έχει την ικανότητα να εξηγεί τι έκανε (what), γιατί το έκανε (why) και πώς το έκανε (how).

Η μονάδα απόκτησης γνώσης, είναι ένας αυτόματος τρόπος εισαγωγής νέας γνώσης στο σύστημα, αντί η γνώση αυτή να κωδικοποιείται από το μηχανικό γνώσης.

Η διεπαφή (interface), φροντίζει για την παροχή ενός προτύπου επικοινωνίας του συστήματος. Η επικοινωνία με το έμπειρο σύστημα πραγματοποιείται είτε μέσω γραφικού περιβάλλοντος προς τον τελικό χρήστη (end user), είτε προγραμματιστικά στην υλοποίηση ευφυών συστημάτων.

Το έμπειρο σύστημα μπορεί να συνοδεύεται επίσης από ένα πλήθος βοηθητικών προγραμμάτων, μέσω των οποίων μπορεί να χειριστεί εξωτερικές βάσεις δεδομένων, προγράμματα γραφικής απεικόνισης, στατιστικά πακέτα, ή να επικοινωνεί με το εξωτερικό του περιβάλλον μέσω συσκευών αλληλεπίδρασης (αισθητήρων-sensors για είσοδο και μηχανισμών για έξοδο).

3.4.8 Εξέλιξη έμπειρων συστημάτων

Στη συνέχεια παρατίθενται μερικά σημαντικά γεγονότα στην ιστορία ανάπτυξης των εμπείρων συστημάτων:

- 1943 Ο Post προτείνει τη χρήση κανόνων παραγωγής^[24]
- 1957 Γλώσσα Lisp από τον McCarthy^{[27],[28]}
- 1965 DENDRAL, το πρώτο έμπειρο σύστημα (Feigenbaum, Buchanan) για ερμηνεία φασματογραφημάτων μάζας και αναγνώριση χημικών ενώσεων (εύρεση του συντακτικού τους τύπου)^[29]
- 1969 MACSYMA, μαθηματικό έμπειρο σύστημα^[30]
- 1973 MYCIN^[31], έμπειρο σύστημα για διάγνωση ασθενειών (εισάγει τη λειτουργία επεξήγησης, την αυτόματη απόκτηση γνώσης και την ευφυή διδασκαλία). Το MYCIN οδήγησε στο GUIDON^[32] (για ευφυή διδασκαλία), στο TEIRESIAS^[31] (μονάδα επεξήγησης), στο EMYCIN (ΤΟ πρώτο κέλυφος εμπείρου συστήματος) και στο σύστημα αναγνώρισης ομιλίας HEARSAY II, όπου χρησιμοποιείται το μοντέλο της αρχιτεκτονικής μαυροπίνακα (blackboard architecture)^[33] για συνεργασία μεταξύ περισσοτέρων εμπείρων συστημάτων.
- 1976 PROSPECTOR^[19], έμπειρο σύστημα για ανάλυση γεωλογικών δεδομένων και αναζήτηση ορυκτών πηγών

- DIPMETER, έμπειρο σύστημα για ανάλυση γεωλογικών δεδομένων και αναζήτηση πετρελαίου
- 1978 XCON/R1, έμπειρο σύστημα για διαμόρφωση συστημάτων υπολογιστών DEC
- 1979 Αλγόριθμος Rete για γρήγορο ταίριασμα προτύπου
- 1980 Μηχανές Lisp από τις εταιρείες Symbolics και LMI
- 1983 Έμπειρο σύστημα Knowledge Engineering Tool (KEE) της εταιρείας InelliCorp
- 1985 Έμπειρο σύστημα Automated Reasoning Tool (ART) της εταιρείας Inference Corp.
- Έμπειρο σύστημα Rulemaster της εταιρείας Radian Corp.
- 1985 Έμπειρο σύστημα CLIPS από τη NASA^[34]

3.5 Τεχνοοικονομική αξιολόγηση Επενδύσεων σε Κτίρια

3.5.1 Διαχείριση Ενέργειας

Διαχείριση ενέργειας είναι η βασική μέθοδος βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας ενός συστήματος με τεχνικά και οργανωτικά μέτρα, με άμεσο στόχο την μείωση της συμμετοχής της ενέργειας στο συνολικό κόστος. Στηρίζεται στο συνεχή έλεγχο της ενεργειακής κατανάλωσης με συστηματικό και οργανωμένο τρόπο, στη σαφή γνώση των ενεργειακών απαιτήσεων, του ανθρώπινου δυναμικού, των προτεραιοτήτων και των οικονομικών μέσων^[35].

Η διαχείριση ενέργειας αποτελεί μια πειθαρχημένη δραστηριότητα, οργανωμένη και δομημένη προς την πλέον αποδοτική χρήση της ενέργειας, χωρίς να μειωθούν τα παραγωγικά επίπεδα και χωρίς να θυσιαστεί η ποιότητα του προϊόντος, η ασφάλειά του ή τα περιβαλλοντικά του πρότυπα. Η θεμελιώδης αρχή της διαχείρισης ενέργειας είναι η οικονομική αποτελεσματικότητα. Η διατήρηση της ενέργειας πρέπει να εφαρμόζεται στο βαθμό που δικαιολογείται από τους πρότυπους εμπορικούς και οικονομικούς όρους, όπως κάθε επένδυση. Συνεπώς η ενεργειακή διαχείριση απαιτεί τόσο τεχνικές όσο και οικονομικές εκτιμήσεις.

Ενώ πολλές κτιριακές μονάδες τα τελευταία χρόνια εξετάζουν τα ενεργειακά τους κόστη πιο προσεκτικά και έχουν ξεκινήσει προσπάθειες για να μειώσουν την ενεργειακή τους κατανάλωση, η έλλειψη ενδιαφέροντος από την διοίκηση, η αδυναμία του τεχνικού προσωπικού να συμφωνήσει στην οικονομική ελκυστικότητα των εκάστοτε δράσεων ενεργειακής βελτίωσης του κτιρίου, καθώς και η απλή

έλλειψη ενημέρωσης στις τεχνικές ενεργειακής εξοικονόμησης και ενημέρωσης συμβάλλουν στην αδυναμία περιορισμού της υπέρμετρης ενεργειακής κατανάλωσης.

Η εμπειρία και η παρατήρηση επισημαίνουν ότι απαιτείται μια πιο συστηματική και δομημένη προσέγγιση στην ενεργειακή διαχείριση, ώστε να πραγματοποιηθεί η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας. Ένα σωστά δομημένο πρόγραμμα ενεργειακής διαχείρισης περιλαμβάνει^[36]:

- Την καταγραφή των ενεργειακών καταναλώσεων, που αποτελεί και το στάδιο συλλογής δεδομένων.
- Την καταγραφή των συσχετίσεων μεταξύ κατανάλωσης ενέργειας και παραγωγής.
- Την αποτίμηση του κόστους ενέργειας.
- Τον εντοπισμό σημείων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.
- Τον καθορισμό του ενεργειακού στόχου.
- Την υλοποίηση του έργου ενεργειακής διαχείρισης.
- Την παρακολούθηση του έργου ενεργειακής διαχείρισης.
- Τη σύγκριση της απόδοσης του έργου με τις πρότυπες αποδόσεις.

Η ενεργειακή διαχείριση στοχεύει στην εξασφάλιση των αναγκαίων συνθηκών και υπηρεσιών που να κάνουν την παραμονή των ενοίκων στα κτίρια ευχάριστη με την ελάχιστη δυνατή ενεργειακή κατανάλωση, και βασίζεται στην συνετή χρήση του ενεργειακού εξοπλισμού.

Η διαδικασία της ενεργειακής διαχείρισης αποτελείται από τέσσερα αλληλοεξαρτώμενα στάδια, συγκεκριμένα τη μελέτη, το σχεδιασμό, την υλοποίηση και τον έλεγχο αποτελεσματικότητας των δράσεων.

Ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα διαχείρισης ενέργειας μπορεί να περιγραφεί από την μεθοδολογία είτε του ενεργειακού ελέγχου, είτε της ενεργειακής παρακολούθησης και θέσπισης ενεργειακών στόχων (Monitoring & Targeting).

Ενεργειακή Επιθεώρηση

Ο όρος «ενεργειακή επιθεώρηση ή ενεργειακός έλεγχος (Energy Audit)^[37]» χρησιμοποιείται γενικά για την περιγραφή μίας συστηματικής διαδικασίας, που στοχεύει στην απόκτηση επαρκούς γνώσης γύρω από το προφίλ της ενεργειακής συμπεριφοράς μιας επιχειρησιακής μονάδας. Έχει επίσης στόχο τον προσδιορισμό και την αξιολόγηση των οικονομικά αποδοτικών δυνατοτήτων για εξοικονόμηση ενέργειας στην εν λόγω μονάδα. Η ενεργειακή επιθεώρηση είναι αποφασιστικής σημασίας για την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, ώστε να υλοποιηθούν οι στόχοι της διαχείρισης ενέργειας.

Η ενεργειακή επιθεώρηση διεξάγεται σε δύο στάδια. Η συνοπτική διαδικασία εντοπίζει τα μέτρα άμεσης απόδοσης και οριοθετεί το αντικείμενο της αναλυτικής διαδικασίας. Η τελευταία, τεκμηριώνει τις επεμβάσεις βραχυπρόθεσμης και μεσοπρόθεσμης απόδοσης και καταδεικνύει τις επενδύσεις που χρήζουν περαιτέρω τεκμηρίωσης και μελέτης. Κάθε στάδιο ελέγχου χαράζει νέους στόχους. Η υλοποίηση των στόχων αυτών συμβάλλει στην εξοικονόμηση πόρων, μέσω των οποίων «αυτοχρηματοδοτούνται» οι επεμβάσεις του επόμενου σταδίου.

Συνοπτική Ενεργειακή Επιθεώρηση

Η συνοπτική ενεργειακή επιθεώρηση διαρκεί 1 ή 2 ημέρες για ένα μικρό σχετικά συγκρότημα και μπορεί να φτάσει τις 5 έως 10 μέρες για τις μεγάλες βιομηχανικές μονάδες. Στηρίζεται σε διαθέσιμα στοιχεία, δεν απαιτεί πολύπλοκες μετρήσεις και εξαρτάται από την εμπειρία και την ικανότητα του ελεγκτή να εντοπίζει τις κυριότερες δυνατότητες για νοικοκύρεμα και τεχνολογικό εκσυγχρονισμό. Τα τυπικά βήματα μιας συνοπτικής ενεργειακής επιθεώρησης περιλαμβάνουν:

- Συνεντεύξεις και συλλογή πληροφοριών: Ο ελεγκτής συλλέγει γραπτές ή προφορικές πληροφορίες από το λογιστήριο (λογαριασμούς καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας, καταναλώσεις καυσίμων), τη διοίκηση, τα τεχνικά στελέχη, τους χειριστές και τους συντηρητές των εγκαταστάσεων. Στόχος στη φάση αυτή είναι η εκτίμηση των ενεργειακών μεγεθών (κατανάλωση, αξία) τόσο σε επίπεδο συγκροτήματος όσο και σε επίπεδο επιμέρους μονάδων και ενεργοβόρων συσκευών καθώς και ο σχηματισμός μιας πρώτης εικόνας για το επίπεδο της διαχειριστικής ικανότητας του συγκροτήματος.
- Σύντομη αυτοψία στο χώρο του συγκροτήματος: Ο ελεγκτής εντοπίζει τις προφανείς περιπτώσεις σπατάλης ή πλημμελούς λειτουργίας και συντήρησης (διαρροές δικτύων χαλασμένες μονώσεις, έλλειψη διαδικασίας συντήρησης, ρύθμιση θερμοκρασίας χώρων με ανοιχτά παράθυρα κ.λπ.).
- Ανάλυση των ενεργειακών μεγεθών: Γίνεται μια προκαταρκτική ανάλυση των ενεργειακών αναγκών της επιχειρησιακής μονάδας ανά τελική μορφή ενέργειας (ηλεκτρική ενέργεια, πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ.λπ.). Στη συνέχεια ο ελεγκτής προβαίνει σε ένα πρώτο επιμερισμό των καταναλώσεων αυτών ανά τομέα τελικής χρήσης δηλαδή κατανέμει την κατανάλωση ενέργειας στις αντίστοιχες μονάδες που την πραγματοποιούν. Ο επιμερισμός γίνεται τόσο σε φυσικές μονάδες κατανάλωσης (π.χ. kWh) όσο και σε αξία.
- Αξιολόγηση επεμβάσεων και συγγραφή έκθεσης: Με βάση τα στοιχεία της αυτοψίας και της ανάλυσης των καταναλώσεων ο ελεγκτής προβαίνει σε μία πρώτη αξιολόγηση των επιμέρους επεμβάσεων. Επίσης οριοθετείται το

αντικείμενο της εκτενής ενεργειακής επιθεώρησης και ακολουθεί η προκαταρκτική αξιολόγηση των προτεινόμενων επενδύσεων.

Στη συνοπτική ενεργειακή επιθεώρηση οι επεμβάσεις αξιολογούνται και επιλέγονται με βάση το κριτήριο της απλής περιόδου αποπληρωμής. Για τον υπολογισμό του κριτηρίου αυτού απαιτείται μια πρώτη εκτίμηση της ετήσιας εξοικονόμησης ενέργειας και της δαπάνης υλοποίησης του μέτρου. Η τελευταία εκτιμάται κατά προσέγγιση με μια ακρίβεια της τάξης του +15%.

Αναλυτική Ενεργειακή Επιθεώρηση

Η αναλυτική ενεργειακή επιθεώρηση πραγματοποιείται συνήθως μετά τη συνοπτική, μπορεί όμως να εκτελεστεί χωρίς να έχει προηγηθεί αυτή. Ανάλογα με το μέγεθος, τον χαρακτήρα και την πολυπλοκότητα της παραγωγικής διαδικασίας, η επιθεώρηση μπορεί να χρειαστεί αρκετές εβδομάδες για να ολοκληρωθεί. Συλλέγονται μετρητικά δεδομένα, προκειμένου να προσδιοριστούν τα ενεργειακά ισοζύγια στις ενεργοβόρες μονάδες ή εγκαταστάσεις.

Ο πρώτος αντικειμενικός στόχος της αναλυτικής ενεργειακής επιθεώρησης είναι η ακριβής εκτίμηση των μηνιαίων ή ετήσιων καταναλώσεων ενέργειας σε κάθε εγκατάσταση και η συσχέτιση αυτών με τα αντίστοιχα μεγέθη της παραγωγής ή την παραγόμενη ωφέλιμη ενέργεια ή με άλλους παράγοντες. Οι μετρούμενες ή εκτιμώμενες καταναλώσεις ενέργειας συσχετίζονται με τους κύριους καθοριστικούς παράγοντες που τις επηρεάζουν όπως για παράδειγμα με τον όγκο παραγωγής στη μονάδα του χρόνου.

Ο δεύτερος αντικειμενικός στόχος είναι να εντοπίσει, να ιεραρχήσει και να τεκμηριώσει όλες τις επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας οι οποίες ικανοποιούν τα κριτήρια αξιολόγησης επενδύσεων του φορέα και δύνανται να υλοποιηθούν άμεσα.

Στην αναλυτική ενεργειακή επιθεώρηση, το σύνηθες κριτήριο αξιολόγησης και ιεράρχησης των δράσεων ενεργειακής βελτίωσης είναι η έντοκος περίοδος αποπληρωμής^[36]. Οι δαπάνες υλοποίησης των τεχνικών έργων τεκμηριώνονται με βάση ανάλυση τιμών από παρόμοιες επενδύσεις ή με βάση συγκεκριμένες προσφορές. Η περιγραφή του προτεινόμενου τεχνικού έργου θα πρέπει να γίνεται σε επίπεδο προμελέτης, σε ότι αφορά τις λειτουργικές προδιαγραφές και τα διαγράμματα ροής της επένδυσης.

Ενεργειακή Παρακολούθηση και Θέσπιση Ενεργειακών Στόχων

Γενικότερα, η καταγραφή της λειτουργίας των ενεργειακών συστημάτων των κτιρίων αποτελεί διαδικασία «παρακολούθησης και στοχοθέτησης (Monitoring and Targeting)^[38]» με στόχο την αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας. Με την ενεργειακή

παρακολούθηση οργανώνεται, καταγράφεται και εξετάζεται η χρήση της ενέργειας σε ολόκληρο το κτίριο και διαχωρίζονται τα ενεργειακά δεδομένα ανάλογα με τη χρήση και την πηγή της ενέργειας. Επίσης επιτρέπεται ο διαρκής έλεγχος της ενέργειας που καταναλώνεται και για ποιο σκοπό, παρέχοντας στον ενεργειακό διαχειριστή την γνώση της κατάστασης των ενεργειακών συστημάτων του κτιρίου ή γενικότερα της μονάδας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται διάφοροι δείκτες, όπως ο λόγος της ενέργειας που καταναλώνεται σε ένα κτίριο προς τον όγκο ή την επιφάνεια του ο οποίος πέρα από την ενεργειακή παρακολούθηση του κτιρίου χρησιμοποιείται και για την ενεργειακή του κατάταξη.

Πιο συγκεκριμένα, τα συστήματα ενεργειακής παρακολούθησης και θέσπισης ενεργειακών στόχων αποτελούν ένα βασικό μέρος των πληροφοριακών συστημάτων διαχείρισης ενέργειας^[39], χωρίς παρόλα αυτά να μπορούν να τα αντικαταστήσουν, μόνο να τα υποκαταστήσουν εν μέρει. Είναι μια διαδικασία συνεχούς και χρονικά δομημένης καταμέτρησης της ενεργειακής συμπεριφοράς της μονάδας, που επιτελείται κυρίως μετά την εφαρμογή μέτρου βελτιστοποίησης της ενεργειακής συμπεριφοράς της εταιρείας, σε αντίθεση με τα πληροφοριακά συστήματα που ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματά τους είναι ο εντοπισμός δυνατών περιπτώσεων διαχείρισης της ενέργειας. Τα κύρια στοιχεία ενός τέτοιου συστήματος είναι:

- Η διαρκής μέτρηση της ενεργειακής κατανάλωσης.
- Η σύγκριση των μετρήσεων με πρότυπες ενεργειακές καταναλώσεις.
- Η καταγραφή των παραμέτρων που επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση (π.χ. κλίμα, παραγωγή) και η συσχέτισή της με αυτές (π.χ. βαθμοημέρες θέρμανσης).
- Ο εντοπισμός των προβλημάτων.
- Η ανάληψη διορθωτικών ενεργειών για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των παρακολουθούμενων συστημάτων.

3.5.2 Μέτρα Ενεργειακής Βελτίωσης

Τα μέτρα ενεργειακής βελτίωσης αποτελούν τις δυνατές επεμβάσεις στο κέλυφος και τις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις ενός κτιρίου^[40], η εφαρμογή των οποίων μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Ανάλογα με τις ενεργειακές μετρήσεις υπολογίζονται τα δυνατά ποσά εξοικονόμησης ενέργειας, τα οποία μπορούν να επιτευχθούν με τρεις δράσεις ενεργειακής βελτίωσης.

- Μηδενικού αρχικού κόστους (ή νοικοκυρέματος): Τα μέτρα αυτά δεν απαιτούν ειδική χρηματοδότηση ή επένδυση κεφαλαίου. Εφαρμόζονται σε τακτική βάση και

εντάσσονται στη συνήθη λειτουργία και συντήρηση του κτιρίου. Τις περισσότερες φορές σχετίζονται με την αλλαγή της συμπεριφοράς των χρηστών του κτιρίου.

- Χαμηλού κόστους: Τα μέτρα είναι εφάπαξ επεμβάσεις που μπορούν να χρηματοδοτηθούν από τον υπάρχοντα ετήσιο προϋπολογισμό της διαχείρισης του κτιρίου. Το κόστος των επεμβάσεων αποπληρώνεται συχνά εντός της ίδιας διαχειριστικής χρονιάς και συνήθως σε λιγότερο από δυο χρόνια.
- Ανακατασκευής: Οι επεμβάσεις αποτελούν εφάπαξ επενδύσεις έντασης κεφαλαίου λόγω του σημαντικού αρχικού κόστους για την εφαρμογή τους και της μέσης ή μακράς περιόδου αποπληρωμής τους.

Από τις προαναφερθείσες δραστηριότητες μόνο η πρώτη κατηγορία δεν απαιτεί κανενός είδους τεχνοοικονομική μελέτη, καθώς δεν απαιτεί χρηματικό κεφάλαιο. Αντιθέτως η δεύτερη αλλά κυρίως η τρίτη δραστηριότητα ενεργειακής βελτίωσης απαιτούν όχι μόνο οικονομική αξιολόγηση αλλά και διερεύνηση των πιθανών χρηματοδοτικών μηχανισμών, καθώς οι επεμβάσεις ανακατασκευής απαιτούν συχνά ένα υπέρογκο για τα δεδομένα της επιχειρησιακής μονάδας χρηματικό ποσό.

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια παραδείγματα των παραπάνω κατηγοριών που μπορούν να προταθούν σε μια κτιριακή εγκατάσταση^[41]. Πιο συγκεκριμένα πιθανά μέτρα χαμηλού ή μηδενικού αρχικού κόστους είναι τα παρακάτω:

- Ορθολογικότερη λειτουργία υφιστάμενων διατάξεων σκίασης.
- Καλύτερη ρύθμιση της επιδιωκόμενης θερμοκρασίας.
- Ορθολογικότερη χρήση των φωτιστικών λαμπτήρων κ.ά.
- Διακοπή των πηγών ενέργειας (θέρμανση, φωτισμός) όταν δεν είναι αναγκαίες.
- Κινητοποίηση των ενοίκων για αποδοτική χρήση της ενέργειας (αυτό μπορεί να απαιτεί εκπαίδευση για τη βελτίωση του επιπέδου ενημέρωσης τους).
- Καλύτερη και συχνότερη συντήρηση των διαφόρων εγκαταστάσεων και μηχανημάτων.

Επιπλέον, πιθανά μέτρα που περιλαμβάνουν κάποιο επίπεδο αρχικής επένδυσης:

- Εισαγωγή συστήματος κεντρικής ενεργειακής διαχείρισης.
- Αντικατάσταση κεντρικών συστήματα θέρμανσης.
- Χρήση συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας.
- Βελτίωση στον κλιματισμό / εξαερισμό.
- Εισαγωγή συστημάτων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας.
- Θερμομόνωση των κτιριακών εγκαταστάσεων.

- Αντικατάσταση του παλιού ή η εγκατάσταση καινούριας τεχνολογίας ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.
- Αντικατάσταση των φωτιστικών λαμπτήρων κ.ά.

Σημειώνεται ότι όταν εξετάζονται μέτρα αυτού του είδους, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθοι παράγοντες:

- Το απαιτούμενο επίπεδο των τεχνικών γνώσεων.
- Τα οφέλη που θα επιτευχθούν.
- Την επένδυση κεφαλαίου που απαιτείται και ο χρόνος για να αποσβεσθεί.
- Το επίπεδο ενόχλησης που θα προσκληθεί αρχικά και τα θέματα συντήρησης.

3.5.3 Ενεργειακοί Δείκτες

Οι δείκτες αποτελούν ένα μεθοδολογικό εργαλείο ανάλυσης και σύγκρισης καθώς ποσοτικοποιούν και απλοποιούν φαινόμενα με στόχο την καλύτερη κατανόηση μίας πολύπλοκης πραγματικότητας. Οι ενεργειακοί δείκτες χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για τη συσχέτιση της ενέργειας που καταναλώνεται για κάθε δραστηριότητα ή τελική χρήση, ως προς ένα μέτρο της έντασης της δραστηριότητας αυτής. Οι ενεργειακοί δείκτες στον κτιριακό τομέας έχουν οριστεί από διεθνείς οργανισμούς, όπως παρουσιάστηκε και στις μεθοδολογίες αξιολόγησης κτιρίων, και δεν απέχουν πολύ στη σύλληψη και την ποιοτική επεξήγηση. Για τις ανάγκες της διατριβής, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο δεικτών του ASRAE:

- Δ_1 : Κατανάλωση για Φωτισμό / Επιφάνεια Χώρου
- Δ_2 : Κατανάλωση για Ψύξη – Θέρμανση / Επιφάνεια Χώρου
- Δ_3 : Κατανάλωση Ηλεκτρομηχανολογικού Εξοπλισμού / Επιφάνεια Χώρου
- Δ_4 : Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας / Επιφάνεια Κτιρίου

Το ευρωπαϊκό μοντέλο κατά το πρότυπο prEN15217:2006 το οποίο υιοθετήθηκε και από τον Νόμο 3661 – «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων» κατατάσσει τα κτήρια σε ενεργειακές κατηγορίες σε αντιστοιχία με την ήδη γνωστή κατάταξη των συσκευών (A+.....H) χρησιμοποιώντας παρεμφερείς δείκτες σε προηγούμενα στάδια της αξιολόγησης.

3.5.4 Οικονομικοί Δείκτες

Ο έλεγχος με βάση τεχνοοικονομικούς δείκτες έχει στόχο την οικονομική αξιολόγηση των παρεμβάσεων ενεργειακής βελτίωσης, έτσι ώστε να προσδιοριστούν εκείνες που εξασφαλίζουν το βέλτιστο όφελος με τον μικρότερο επενδυτικό

κίνδυνο^[42]. Ο έλεγχος αυτός θα βασίζεται σε τρεις επιμέρους ελέγχους, που παρουσιάζονται ακολούθως.

Καθαρή παρούσα αξία

Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) είναι το συνολικό καθαρό όφελος μιας επένδυσης, που προκύπτει ως διαφορά μεταξύ του λειτουργικού οφέλους και του συνόλου των δαπανών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της επένδυσης. Όλα τα ποσά εκφράζονται σε παρούσα αξία, ανηγμένα συνήθως στην αρχή του πρώτου έτους λειτουργίας της επένδυσης. Η καθαρή παρούσα αξία προσδιορίζεται από την εξίσωση:

$$NPV = -K + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1+d)^t}$$

όπου:

- K: Αρχικό επενδυτικό κόστος, που περιλαμβάνει το κόστος εγκατάστασης, ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, σχετιζόμενων μελετών κ.α.
- Ft: Ετήσιο καθαρό όφελος, που περιλαμβάνει το όφελος που προκύπτει από διαφορά της επιτυγχανόμενης εξοικονόμησης ενέργειας, με το ετήσιο κόστος συντήρησης.
- N: Οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης.
- d: Επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία.

Εσωτερικός βαθμός απόδοσης

Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (EBA) είναι η τιμή του επιτοκίου αγοράς που μηδενίζει την παρούσα αξία για την εξεταζόμενη επένδυση. Προσδιορίζεται ως η λύση της εξίσωσης:

$$NPV_{(d=IRR)} = 0$$

Όταν η απόδοση κεφαλαίου (IRR) είναι μεγαλύτερη από το επιτόκιο αναγωγής (d) η επένδυση είναι αποδεκτή, ενώ όταν συμβαίνει το αντίθετο η επένδυση απορρίπτεται

Έντοκη περίοδος αποπληρωμής

Η Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής (ΕΠΑ) είναι το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την αποπληρωμή της επένδυσης. Προσδιορίζεται ως λύση της εξίσωσης:

$$NPV_{(N=DPB)} = 0$$

Μια επένδυση που περνά από αυτό τον έλεγχο θεωρείται οικονομικά βιώσιμη εάν η τιμή της έντοκης περιόδου αποπληρωμής ($N = DPB$) ικανοποιεί τις προσδοκίες του επενδυτή ως προς τον χρόνο αποπληρωμής.

3.5.5 Περιβαλλοντική Διάσταση

Η διάσταση αυτή έχει να κάνει με τις περιβαλλοντικές επιδόσεις μιας ενδεχόμενης παρέμβασης και αφορά στη δυνατότητα αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της παρέμβασης, λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους που έχουν να κάνουν με τις εξελίξεις αλλά και τις ευκαιρίες της κλιματικής αλλαγής. Με αυτό τον τρόπο αξιολογούνται οι συντελεστές εκπομπών των υπό εξέταση επενδύσεων και λαμβάνεται υπόψη το «επιπρόσθετο οικονομικό κέρδος» από την αγορά του άνθρακα^[43].

Η τιμή της αγοράς άνθρακα έχει διακυμάνσεις που ακολουθούν τους κανόνες της προσφοράς και της ζήτησης του αναπτυσσόμενου συστήματος εμπορίας εκπομπών. Οι μειώσεις εκπομπών στη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου και η πώλησή τους μπορεί να αυξήσει σημαντικά την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Έτσι, η επιπρόσθετη εισροή χρηματοδότησης μπορεί να μετατρέψει μια ενεργειακή δράση σε οικονομικά ελκυστική.

Στο σημείο αυτό αξίζει να τονισθεί ότι η ροή άνθρακα δεν μπορεί να αλλάξει τελείως την «οικονομική απόδοση» ενός έργου, ούτε να το μετατρέψει από μη-βιώσιμο σε ιδιαίτερα κερδοφόρο (πολύ μικρή περίοδος αποπληρωμής). Αυτό συμβαίνει διότι οι τα κέρδη από την τιμή του άνθρακα, σε σχέση πάντα με την τιμή τους, αποτελούν περίπου το 5% με 30% του αρχικού κόστους του έργου.

Σε αυτό το πλαίσιο, ο έλεγχος αυτός βασίζεται στη μείωση που δημιουργεί η επιπρόσθετη ροή από την πώληση των επιτυγχανόμενων μειώσεων εκπομπών στην ΕΠΑ.

Η σχέση υπολογισμού είναι ίδια με αυτή της καθαρής παρούσας αξίας, με μοναδική διαφοροποίηση ότι στο Ft (ετήσιο καθαρό όφελος) περιλαμβάνεται και η επιπρόσθετη ροή, η οποία προσδιορίζεται ως ακολούθως:

*Ετήσιο όφελος από τη ροή άνθρακα [€] = Ετήσιες Μειώσεις Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου [$t\ CO_2\text{-eq}$] * Τιμή Άνθρακα [€/ $t\ CO_2\text{-eq}$]*

3.6 Συμπεράσματα

Οι σχετιζόμενες μεθοδολογίες και τεχνολογίες που παρουσιάστηκαν σε αυτό το κεφάλαιο αποτελούν το υπόβαθρο της προτεινόμενης μεθοδολογίας της διατριβής. Τα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης κτιρίων, όπως φάνηκε από τα στοιχεία που παρατέθηκαν, έχουν να επιδείξουν σημαντικές δυνατότητες στο πεδίο του αποδοτικού ελέγχου. Οι μεθοδολογίες ευφυούς ελέγχου, αυτόνομες ή σε υβριδική μορφή, προσεγγίζουν ικανοποιητικά την απόκριση ενός εμπειρογνώμονα στο εφαρμοσμένο πεδίο και η τεχνοοικονομική αξιολόγηση επενδύσεων αποτελεί μια παγιωμένη και δοκιμασμένη περιοχή.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία της διατριβής φιλοδοξεί να συνδυάσει τις τρεις συνιστώσες που αναφέρθηκαν και αναλύθηκαν παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο διαχείρισης ενεργειακών πόρων σε κτίρια. Ένα πλαίσιο συνολικού ελέγχου και διαχείρισης το οποίο, από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, δεν έχει οριοθετηθεί αντιμετωπίζοντας το σύγχρονο κτίριο σαν οντότητα. Σκοπός της διατριβής είναι να προτείνει μια μεθοδολογία η οποία θα υποστηρίξει την κεντρική, ευφυή διαχείριση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού ενός κτιρίου σε καθημερινό επίπεδο και θα παρέχει και την δυνατότητα αξιοποίησης των στοιχείων λειτουργίας του κτιρίου για την ενεργειακή βελτίωση του.

Το μέσο για την επίτευξη του στόχου θα αποτελέσουν οι επιστημονικές περιοχές που εξετάστηκαν σε αυτό το κεφάλαιο και ο προτεινόμενος τρόπος θα παρουσιαστεί στο επόμενο κεφάλαιο.

Βιβλιογραφία

- [1] Cengel, Yunus A. (1998), "Θερμοδυναμική για μηχανικούς", ΤΖΙΟΛΑ
- [2] McQuiston, Faye C., Parker, Jerald D (2009), "Θέρμανση, αερισμός και κλιματισμός", ΙΩΝ
- [3] Antonio Briganti (1994), "Κλιματισμός", Τεχνοεκδοτική
- [4] Παύλος Δ. Λεκάκος (2003), "Οδηγός Κλιματιστικών Εγκαταστάσεων", ΙΩΝ
- [5] Trott A. R., Welch T. C (2000), "Refrigeration and Air Conditioning", Butterworth-Heinemann
- [6] Jones W. P. (2000), "Air Conditioning Engineering", Butterworth-Heinemann
- [7] Pita J. Edward (2001), "Air Conditioning Principles and Systems: An Energy Approach", Prentice Hall
- [8] ASHRAE (2005), "Fundamentals Handbook", ASHRAE
- [9] ASHRAE (2008), "HVAC Systems and Equipment Handbook", ASHRAE
- [10] David A. Coley (1999), "An introduction to genetic algorithms for scientists and engineers", World Scientific
- [11] Mitsuo Gen, Runwei Cheng (2000), "Genetic algorithms and engineering optimization", Wiley
- [12] Lotfi A. Zadeh (1965), "Fuzzy Sets", Information and Control, vol 8, Pages 338-353
- [13] Robert J. Marks II (1994), "Fuzzy logic technology and applications", IEEE Technology Update Series
- [14] Earl Cox (1999), "The fuzzy systems handbook : a practioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems - 2nd ed", San Diego : AP Professional
- [15] George Bojadziev, Maria Bojadziev (2004), "Fuzzy Logic for Business, Finance, and Management (Advances in Fuzzy Systems - Applications and Theory)", Advances in Fuzzy Systems - Applications and Theory, Vol 12
- [16] McCulloch, W. and Pitts, W. (1943), "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity", Bulletin of Mathematical Biophysics, 7:115 - 133.
- [17] Christopher M. Bishop (1996), "Neural Networks for Pattern Recognition", Oxford University Press, USA
- [18] Rosenblatt Frank (1958), "The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain", Cornell Aeronautical Laboratory, Psychological Review, v65, No. 6, pp. 386-408

[19] Donald A. Waterman (1986), "A guide to expert systems", Reading, MA. : Addison-Wesley.

[20] Ronald J. Brachman, Hector J. Levesque (2004), "Knowledge representation and reasoning ", Amsterdam : Morgan Kaufmann Publishers.

[21] Susan Craw, Nirmalie Wiratunga, Ray C. Rowe (2006), "Learning adaptation knowledge to improve case-based reasoning", Artificial Intelligence Vol. 170, Pages 1175–1192

[22] K. Hanney, M.T. Keane (1997), "The adaptation knowledge bottleneck: How to ease it by learning from cases", Proceedings of the 2nd International Conference on Case-Based Reasoning, Springer-Verlag, Berlin, Pages 359–370.

[23] Newell, A., and H. A. Simon (1972), "Human problem solving", Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

[24] Post E. (1943), "Formal reductions of the combinatorial decision problem", American Journal of Mathematics, 65 (2), Pages 197-215

[25] Nils J. Nilsson (1998), "Artificial Intelligence: A New Synthesis", Morgan Kaufmann Publishers, Inc.

[26] Serena H. Chen, Anthony J. Jakeman, John P. Norton (2008), "Artificial Intelligence techniques: An introduction to their use for modelling environmental systems", Mathematics and Computers in Simulation, Volume 78, Issues 2-3, Pages 379-400

[27] John McCarthy (1957), "The Artificial Intelligence Problem, and the Natural Intelligence Problem", MIT AI, Cambridge, Massachusetts

[28] John McCarthy (1957), "A Proposal for a Compiler", MIT AI, Cambridge, Massachusetts

[29] Robert K. Lindsay, Bruce G. Buchanan, Edward A. Feigenbaum, Joshua Lederberg (1980), "Applications Of Artificial Intelligence For Organic Chemistry: The DENDRAL Project", McGraw-Hill Book Company

[30] Joel Moses (1974), "MACSYMA - the fifth year", ACM SIGSAM Bulletin archive Volume 8 , Issue 3

[31] Bruce G. Buchanan, Edward H. Shortliffe (1984), "Rule Based Expert Systems: The Mycin Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project", Addison-Wesley

[32] P. Sedlmeier (2004), "Intelligent Tutoring Systems", International Encyclopedia of the Social & Behavioral Science, Pages 7674-7678

[33] Olivier Corby (1986), "Blackboard architectures in computer aided engineering", Artificial Intelligence in Engineering, Volume 1, Issue 2, October 1986, Pages 95-98

- [34] Joseph C. Giarratano, Gary D. Riley (1998), "Expert Systems: Principles and Programming", Course Technology
- [35] Capehart B., Turner W., Kennedy W. (2003), "Guide to energy management", The Fairmont Press, Fourth edition
- [36] The Chartered Institution Building Services Engineers (1991), "Energy Audits and Surveys", London
- [37] Dr Clive Beggs (2002), "Energy audits and surveys", Energy Management and Conservation, Pages 73-91
- [38] Askounis D. Th., Psarras J. (1998), "Information system for monitoring and targeting (M&T) of energy consumption in breweries", Energy, Vol 23, No 5, Pages 413-419
- [39] K. Patlitzianas, A. Papadopoulou, A. Flamos, J. Psarras (2005), "CMIEM: the computerised model for intelligent energy management", International Journal of Computer Applications in Technology, Vol. 22, No 2/3 pp.120-129, ISSN 0952-8091
- [40] Commission of the European Communities (2000), "Action Plan to Improve Energy Efficiency in the European Community", Brussels
- [41] Athina G. Gaglia, Constantinos A. Balaras, Sevastianos Mirasgedis, Elena Georgopoulou, Yiannis Sarafidis, Dimitris P. Lalas (2007), "Empirical assessment of the Hellenic non-residential building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings", Energy Conversion and Management, Volume 48, Issue 4, April 2007, Pages 1160-1175
- [42] Weston J. F., Brigham E. F. (1986), "Βασικές αρχές της χρηματοοικονομικής διαχείρισης και πολιτικής", Εκδόσεις Παπαζήση
- [43] K Anagnostopoulos, A. Flamos, A. Kagiannas, J. Psarras (2004), "The impact of clean development mechanism in achieving sustainable development", International Journal of Environment and Pollution, Vol. 21(1), pp. 1-23, ISSN: 0957-4352

ΚΕΦ. 4 : ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

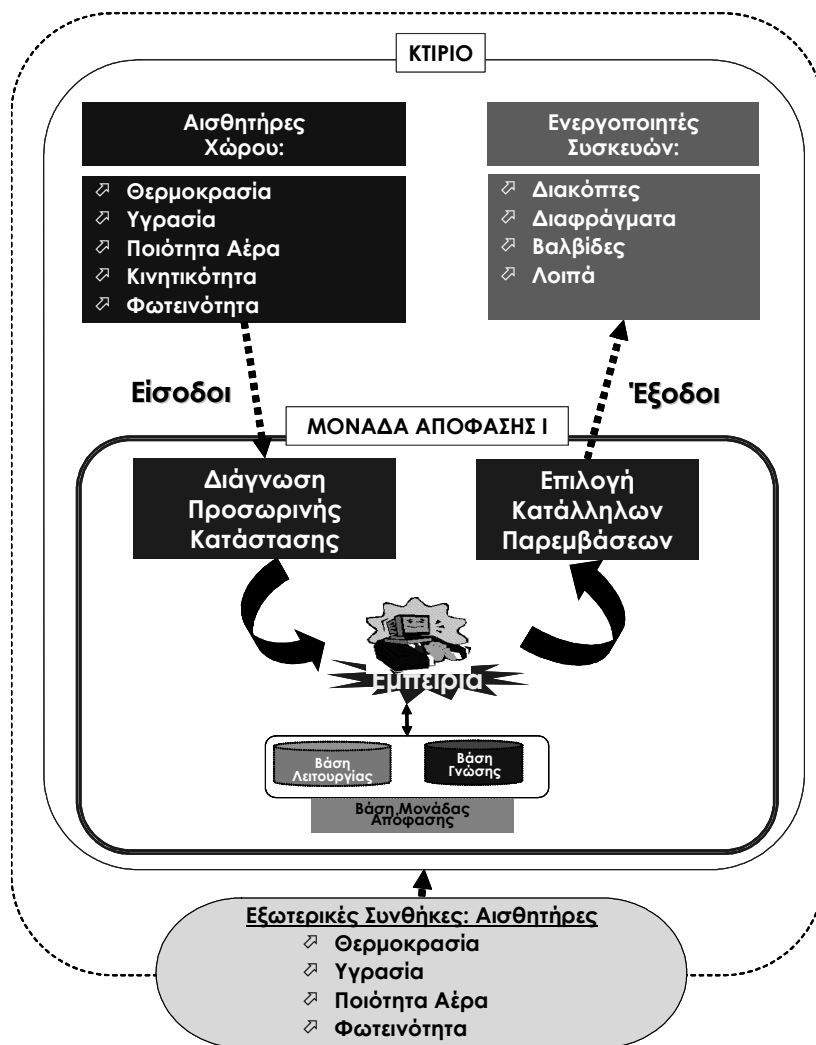
4.1 Η Γενική Προσέγγιση

Η προτεινόμενη μεθοδολογία της διατριβής υποστηρίζει την διαχείριση ενός σύγχρονου κτιρίου σε δύο διαφορετικά επίπεδα.

Το πρώτο επίπεδο αντιμετώπισης του προβλήματος έγκειται στην αποτελεσματική διαχείριση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού του κτιρίου με απόκριση πραγματικού χρόνου και στην αναλυτική καταγραφή της κατάστασης και της λειτουργίας του κτιρίου. Το δεύτερο επίπεδο ανάπτυξης της μεθοδολογίας αφορά στον γενικότερο ενεργειακό έλεγχο του κτιρίου. Τα καταγεγραμμένα δεδομένα σε συνδυασμό με τεχνοοικονομικά στοιχεία αναλύονται υποδεικνύοντας προτάσεις της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου.

4.1.1 Ευφυής Έλεγχος Χώρων Κτιρίου

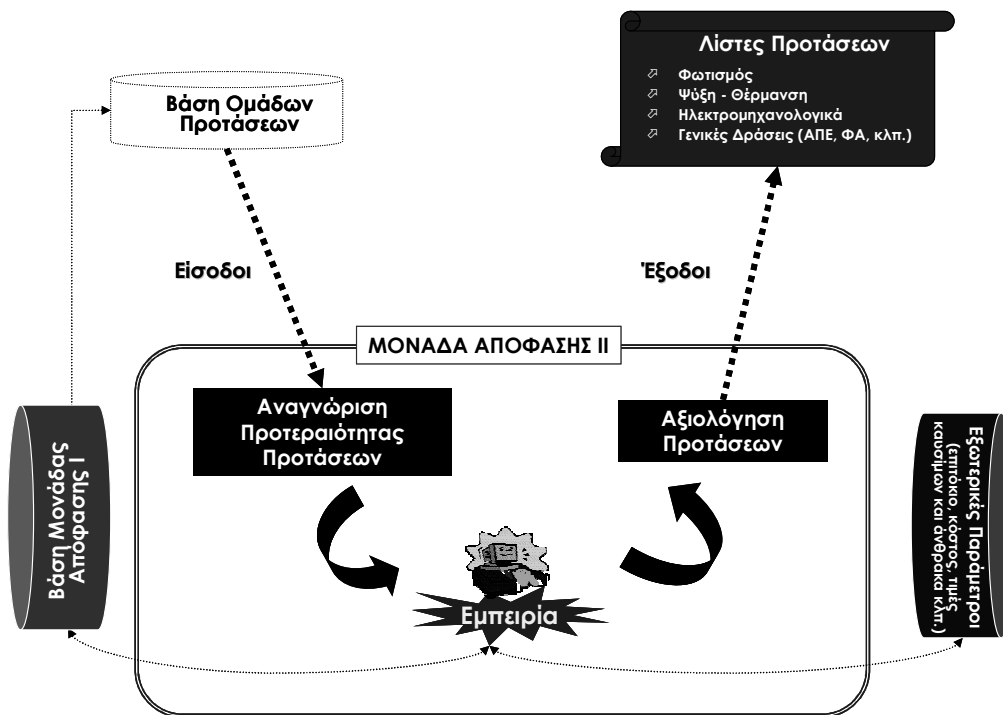
Για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας ευφυούς ελέγχου πραγματοποιείται, αρχικά, μοντελοποίηση και παραμετροποίηση των ενεργών στοιχείων του κτιρίου. Στη συνέχεια, ορίζονται τα δεδομένα εισόδου και τα σημεία ελέγχου και ενσωματώνεται στη διαδικασία μια μηχανή συμπερασμού^[1] ενός έμπειρου συστήματος. Η διατύπωση των κανόνων λειτουργίας του έμπειρου συστήματος και η διαδικασία εκμάθησης αποτελούν τα επόμενα βήματα ανάπτυξης της πρώτης συνιστώσας της μεθοδολογίας της οποίας η παρουσίαση κλείνει με σύντομα συμπεράσματα. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται επιγραμματικά η προσέγγιση ανάπτυξης της μεθοδολογίας.



Σχήμα 33 - Ευφυής έλεγχος χώρων κτιρίου

4.1.2 Συνολικός Ενεργειακός Έλεγχος

Η μεθοδολογική προσέγγιση του συνολικού ενεργειακού ελέγχου ενός κτιρίου αποτελεί το δεύτερο επίπεδο αντιμετώπισης του προβλήματος της διαχείρισης πόρων σε κτίρια. Η προτεινόμενη μεθοδολογία αναπτύσσεται σε βήματα, ξεκινώντας από την συλλογή προτάσεων ενεργειακής βελτίωσης^[2] και την αναγνώριση της προτεραιότητας κάθε πρότασης. Χρησιμοποιώντας την λεπτομερή καταγραφή δεδομένων από τον ευφυή έλεγχο του κτιρίου και οικονομοτεχνικές παραμέτρους πραγματοποιείται αξιολόγηση εφαρμογής των προτάσεων και προκύπτει ένα σύνολο, ταξινομημένων ανά ενεργειακό όφελος, προτάσεων. Η γενική προσέγγιση της μεθοδολογίας παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί και στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί περαιτέρω ανάλυση.

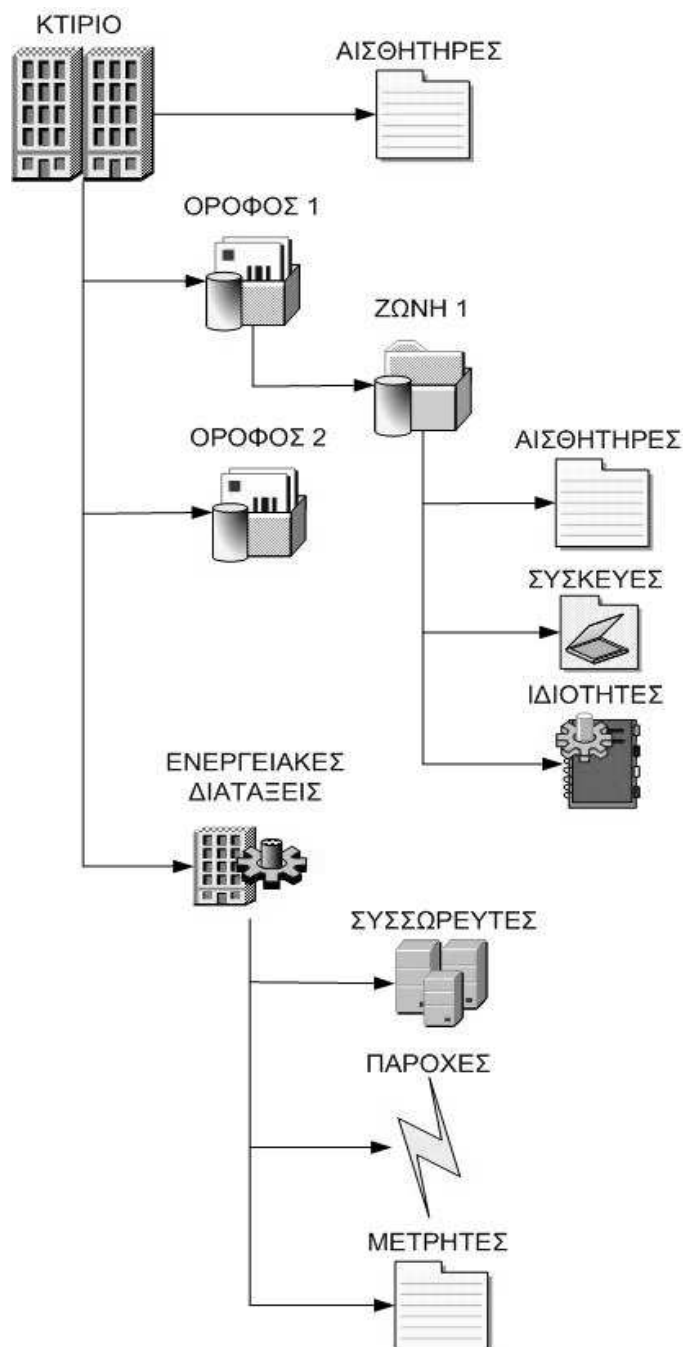


Σχήμα 34 - Συνολικός ενεργειακός έλεγχος

4.2 Ευφυής Έλεγχος Χώρων Κτιρίου

4.2.1 Μοντελοποίηση Κτιριακών Πόρων

Η ανάπτυξη της προτεινόμενης μεθοδολογίας, και ειδικότερα του ευφυούς έλεγχου χώρων ενός κτιρίου, ξεκινά από την μοντελοποίηση του εξοπλισμού και των χώρων του κτιρίου^[3]. Τα λειτουργικά και φυσικά χαρακτηριστικά του κτιρίου διαχωρίζονται σε ευρύτερες ομάδες συσκευών, ελεγκτών και αισθητήρων και ζωνών.



Σχήμα 35 - Μοντελοποίηση χώρων και κτιρίου

Η διασύνδεση των στοιχείων του κτιρίου, των χώρων – ζωνών ελέγχου και των διατάξεων ακολουθεί ιεραρχική δομή και περιγράφει την φυσική θέση των στοιχείων και τα λειτουργικά στοιχεία που απαιτούνται. Η ιεραρχία των μοντέλων που περιγράφουν το σύνολο του κτιρίου φαίνονται στο σχήμα που προηγήθηκε.

Τα μοντέλα των ζωνών χρήσης-χώρων αποτελούν ουσιώδης οντότητες της μεθοδολογίας γιατί σε αποτελούν το σημείο εφαρμογής της διαδικασίας λήψης απόφασης για την διαμόρφωση των εσωτερικών συνθηκών στο κτίριο. Οι ζώνες-χώροι περιέχουν μοντέλα συσκευών^[4], ένα σύνολο αισθητήρων και ένα σύνολο ιδιοτήτων για τις αρχές λειτουργίας του χώρου και τα φυσικά χαρακτηριστικά του. Τα μοντέλα περιγραφής του κτιρίου, των ζωνών του και των ιδιοτήτων τους παρατίθενται στη συνέχεια.

ΚΤΙΡΙΟ
Εξωτερική Θερμοκρασία
Εξωτερική Φωτεινότητα
Εξωτερική Σχετική Υγρασία
ΧΩΡΟΙ - ΖΩΝΕΣ
Περιγραφή
Θέση στο κτίριο
Προσανατολισμός
Τύπος
Επιθυμητή Τιμή Θερμοκρασίας
Επιθυμητή Τιμή Φωτεινότητας
Επιθυμητή Τιμή Ποιότητας Αέρα
Επιθυμητή Τιμή Σχετικής Υγρασίας
Διαστάσεις
Τρέχουσα Θερμοκρασία
Τρέχουσα Φωτεινότητα
Τρέχουσα Ποιότητα Αέρα
Τρέχουσα Σχετική Υγρασία
Παρουσία
Παρουσία Καπνού

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΩΡΟΥ
Περιγραφή
Τύπος
Έναρξη λειτουργίας
Λήξη λειτουργίας
Προεπιλεγμένη Τιμή Θερμοκρασίας
Απόκλιση Θερμοκρασίας
Προεπιλεγμένη Τιμή Φωτεινότητας
Απόκλιση Φωτεινότητας
Προεπιλεγμένη Τιμή Ποιότητας Αέρα
Απόκλιση Ποιότητας Αέρα
Προεπιλεγμένη Τιμή Σχετικής Υγρασίας
Απόκλιση Σχετικής Υγρασίας
Προτεραιότητα
Χρόνος Παύσης Φωτισμού
Χρόνος Εκκίνησης Κλιματισμού
Χρόνος Παύσης Κλιματισμού

Πίνακας 15 - Μοντέλο περιγραφής κατάστασης κτιρίου

Τα μοντέλα συσκευών^[5] που θα παρατεθούν στην συνέχεια περιγράφουν διατάξεις κλιματισμού^[6] (θέρμανσης και ψύξης), εξαερισμού, φωτιστικά σώματα και ηλεκτροκίνητες περσίδες για τις οποίες υπάρχει δυνατότητα να ελεγχθούν. Παράλληλα, παρέχεται και μοντελοποίηση ενός συνόλου αισθητήρων οι ενδείξεις των οποίων αποτελούν μέρος από την είσοδο του συστήματος ευφυούς διαχείρισης. Οι αισθητήρες παρέχουν πληροφορίες για τις εσωτερικές και εξωτερικές συνθήκες οι οποίες αφορούν τη θερμοκρασία, την ποιότητα αέρα (περιεκτικότητα σε CO₂), την υγρασία, τη φωτεινότητα, την κινητικότητα (παρουσία κάποιου μέσα σε συγκεκριμένο χώρο) και την ύπαρξη καπνού.

ΜΟΝΑΔΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ	
Περιγραφή	
Κατανάλωση	
Απόδοση σε BTU	
Λειτουργία (Mode)	
Κατάσταση (ON, OFF)	
Επιλεγμένη Τιμή	
Ταχύτητα Ανεμιστήρα	
ΜΟΝΑΔΑ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ	
Περιγραφή	
Κατανάλωση	
Απόδοση σε m ³ /min	
Κατάσταση (ON, OFF)	
Επιλεγμένη Τιμή	
Ταχύτητα Ανεμιστήρα	
ΜΟΝΑΔΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	
Περιγραφή	
Κατανάλωση	
Απόδοση σε LUX	
Κατάσταση (ON, OFF)	
Επιλεγμένη Τιμή	
ΜΟΝΑΔΑ ΣΚΙΑΣΗΣ	
Περιγραφή	
Κατάσταση	
Επιλεγμένη Τιμή	
Προσανατολισμός	
Κλείδωμα	

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ
Περιγραφή
Τύπος
Μονάδα
Τιμή
Προσανατολισμός (μόνο για τους εξωτερικούς φωτεινότητας)

Πίνακας 16 - Παραμετροποίηση λειτουργικών μονάδων

Το κτίριο, οι χώροι και ο εξοπλισμός του παραμετροποιήθηκαν^[7] με έμφαση την κάλυψη όσο το δυνατό περισσότερων πιθανών εφαρμογών σε διαφορετικούς τύπους κτιρίων. Οι παράμετροι που καθορίστηκαν για κάθε μοντέλο είναι επαρκείς για τον αποτελεσματικό έλεγχο του κτιρίου και των χώρων του και παράλληλα συγκροτούν ένα ελάχιστο σύνολο προϋποθέσεων (αισθητήρες και ελεγκτές) που πρέπει ένα κτίριο να πληροί για είναι διαχειρίσιμο χωρίς να επιβαρύνεται ο γενικός προσανατολισμός της μεθοδολογίας.

4.2.2 Ορισμός Παραμέτρων Εισόδου και Ελέγχου

Την ευρύτερη μοντελοποίηση του κτιρίου, που παρουσιάστηκε, ακολουθεί ο ορισμός των δεδομένων εισόδου και εξόδου (ελέγχου) της μονάδας απόφασης^[8]. Η προτεινόμενη μεθοδολογία χρησιμοποιεί μια μηχανή συμπερασμού (inference engine), ένα έμπειρο σύστημα, για την οποία πρέπει να οριστούν δεδομένα (facts) και κανόνες (rules). Τα δεδομένα εισόδου του έμπειρου συστήματος περιέχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες^[9] για τον χαρακτηρισμό της κατάστασης κάθε χώρου στο κτίριο και της χρονικής περιόδου για την υποστήριξη λήψης απόφασης. Οι παράμετροι χωρίζονται σε κατηγορίες που αντιστοιχούν σε δεδομένα που αφορούν στη θερμοκρασία, στην ποιότητα αέρα, στην υγρασία, στο φωτισμό και στην ώρα και το ωράριο λειτουργίας^{[10],[11]}. Οι παράμετροι εισόδου των συνθηκών ενός χώρου παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα.

Παράμετροι Εισόδου		
Κατηγορίες	Παράμετροι	Περιγραφή
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	inTemp	Εσωτερική θερμοκρασία
	setTemp	Επιθυμητή θερμοκρασία
	outTemp	Εξωτερική θερμοκρασία
	maxSummerTemp	Μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία για την θερινή περίοδο σύμφωνα με τις οδηγίες της ASHRAE (2003 Application Handbook) - 26°C
	minSummerTemp	Ελάχιστη επιτρεπτή θερμοκρασία για την θερινή περίοδο σύμφωνα με τις οδηγίες της ASHRAE (2003 Application Handbook) - 23°C
	maxWinterTemp	Μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία για την χειμερινή περίοδο σύμφωνα με τις οδηγίες της ASHRAE (2003 Application Handbook) - 23°C
	minWinterTemp	Ελάχιστη επιτρεπτή θερμοκρασία για την χειμερινή περίοδο σύμφωνα με τις οδηγίες της ASHRAE - 21°C
	stepTemp	Κατώφλι χαμηλής απόκλισης θερμοκρασίας- 1°C
	stepVTemp	Κατώφλι υψηλής απόκλισης θερμοκρασίας – 3°C
	stepOutDiffTemp	Κατώφλι μέγιστη απόκλισης εσωτερικής, εξωτερικής θερμοκρασίας - 5°C
	roomTempQuality	Δείκτης θερμικής ποιότητας χώρου
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ	inAir	Εσωτερική περιεκτικότητα αέρα σε CO ₂
	stepAir	Κατώφλι χαμηλής απόκλισης ποιότητας αέρα – 600 ppm
	stepVAir	Κατώφλι υψηλής απόκλισης ποιότητας αέρα– 1000 ppm
	roomAirQuality	Δείκτης θερμικής ποιότητας χώρου
ΥΓΡΑΣΙΑ	inHum	Εσωτερική υγρασία
	outHum	Εξωτερική υγρασία
	minHum	Ελάχιστη επιτρεπτή υγρασία
	maxHum	Μέγιστη επιτρεπτή υγρασία
	maxSummerHum	Μέγιστη επιτρεπτή υγρασία για την θερινή περίοδο σύμφωνα με τις

		οδηγίες της ASHRAE (2003 Application Handbook) – 60%
	minSummerHum	Ελάχιστη επιτρεπτή υγρασία για την θερινή περίοδο σύμφωνα με τις οδηγίες της ASHRAE (2003 Application Handbook) – 50%
	maxWinterHum	Μέγιστη επιτρεπτή υγρασία για την χειμερινή περίοδο σύμφωνα με τις οδηγίες της ASHRAE (2003 Application Handbook) – 30%
	minWinterHum	Ελάχιστη επιτρεπτή υγρασία για την χειμερινή περίοδο σύμφωνα με τις οδηγίες της ASHRAE (2003 Application Handbook) – 20%
ΦΩΤΙΣΜΟΣ	inLight	Εσωτερική φωτεινότητα
	setLight	Επιθυμητή φωτεινότητα
	outLight	Εξωτερική φωτεινότητα
ΩΡΑΡΙΟ – ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ	notPresentTime	Χρόνος απουσίας κίνησης από το χώρο
	notPresent	Απουσία κίνησης στο χώρο
	notPresentMaxTime	Μέγιστος χρόνος απουσίας κίνησης από το χώρο
	startTime	Έναρξη ωραρίου
	endTime	Λήξη ωραρίου
	nowTime	Τρέχουσα ώρα
	startingTime	Ώρα προέναρξης λειτουργίας χώρου
	endingTime	Ώρα διαδικασίας λήξης λειτουργίας χώρου
	season	Θερινή ή Χειμερινή Περίοδος

Πίνακας 17 - Παράμετροι εισόδου

Το δεύτερο σύνολο παραμέτρων αποτελεί την έξοδο της μονάδας απόφασης και περιέχει δεδομένα που απευθύνονται στις διατάξεις ελέγχου του εξοπλισμού του κτιρίου οι οποίες θα υλοποιήσουν τελικά την ληφθείσα απόφαση στον χώρο. Οι συγκεκριμένοι παράμετροι χωρίζονται σε κατηγορίες που περιλαμβάνουν δεδομένα σχετικά με τον κλιματισμό, τον εξαερισμό, την ύγρανση και αφύγρανση, τη φωτεινότητα και το ωράριο. Οι παράμετροι εξόδου και ελέγχου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Παράμετροι Εξόδου		
Κατηγορίες	Παράμετροι	Περιγραφή
ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ	Heating	Ανάγκη για θέρμανση
	Cooling	Ανάγκη για ψύξη
	ACOn	Ενεργοποίηση κλιματιστικού
	ACOff	Απενεργοποίηση κλιματιστικού
	NormalTemp	Κανονική θερμοκρασία
	TempL	Χαμηλή θερμοκρασία
	TempVL	Πολύ χαμηλή θερμοκρασία
	TempH	Υψηλή θερμοκρασία
	TempVH	Πολύ υψηλή θερμοκρασία
	AcFanSpeed	Ένταση λειτουργίας κλιματιστικού
	AcMaxFanSpeed	Μέγιστη ένταση λειτουργίας κλιματιστικού
ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΣ	Venting	Ανάγκη εξαερισμού
	VentOn	Ενεργοποίηση εξαερισμού
	VentOff	Απενεργοποίηση εξαερισμού
	NormalAir	Κανονική ποιότητα αέρα
	AirL	Χαμηλή ποιότητα αέρα
	AirVL	Πολύ χαμηλή ποιότητα αέρα
	VentFanSpeed	Ένταση λειτουργίας εξαερισμού
	VentMaxFanSpeed	Μέγιστη ένταση λειτουργίας εξαερισμού
	PossibVentOpen	Δυνατότητα χρήσης εξωτερικού αέρα
	PossibVentClose	Αδυναμία χρήσης εξωτερικού αέρα

ΥΓΡΑΝΣΗ- ΑΦΥΓΡΑΝΣΗ	Drying	Ανάγκη για αφύγρανση
	Vaporing	Ανάγκη για ύγρανση
	DryOn	Ενεργοποίηση αφυγραντήρα
	DryOff	Απενεργοποίηση αφυγραντήρα
	VaporOn	Ενεργοποίηση υγραντήρα
	VaporOff	Απενεργοποίηση υγραντήρα
	NormalHum	Κανονικό επίπεδο υγρασίας
	HumH	Χαμηλή υγρασία
	HumL	Υψηλή υγρασία
ΦΩΤΙΣΜΟΣ	LightsOn	Ενεργοποίηση φωτιστικών σωμάτων
	LightsOff	Απενεργοποίηση φωτιστικών σωμάτων
	PossibShutterOpen	Δυνατότητα ανοίγματος σκιάστρων
	PossibShutterClose	Δυνατότητα κλεισίματος σκιάστρων
	ShutterOpen	Άνοιγμα σκιάστρων
	ShutterClose	Κλείσιμο σκιάστρων
	LightL	Χαμηλή φωτεινότητα – 50 Lux
	LightH	Υψηλή φωτεινότητα – 100 Lux
ΩΡΑΡΙΟ	InTime	Εντός ωραρίου
	OutTime	Εκτός ωραρίου
	Starting	Διαδικασία εκκίνησης λειτουργίας
	Ending	Διαδικασία παύσης λειτουργίας
	NotPresent	Απουσία ατόμων στο χώρο

Πίνακας 18 - Παράμετροι εξόδου

Στους παραπάνω πίνακες υπάρχουν παράμετροι εισόδου η τιμή των οποίων είναι προϋπολογισμένη και προέρχεται από τις πλέον πρόσφατες οδηγίες διασφάλισης ικανοποιητικών συνθηκών σε εσωτερικούς χώρους. Για το προσδιορισμό αυτών των παραμέτρων κύρια πηγή αποτέλεσαν το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και η Αμερικανική Ένωση Μηχανικών Θέρμανσης, Ψύξης & Κλιματισμού (ASHRAE).

4.2.3 Παραμετροποίηση Εμπείρου Συστήματος – Κανόνες

Η προτεινόμενη μεθοδολογία ελέγχου ενσωματώνει ένα έμπειρο σύστημα ως μηχανή συμπερασμού για την ευφυή διαχείριση ενός κτιρίου^[12]. Το έμπειρο σύστημα, όπως έχει ήδη αναφερθεί στο αντίστοιχο κεφάλαιο, περιλαμβάνει μια βάση γνώσης υπό μορφή κανόνων. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι κανόνες που συντάχθηκαν για τη συγκεκριμένη μεθοδολογία. Οι κανόνες διαχωρίστηκαν σε τρεις^[13] βασικές κατηγορίες διαμόρφωσης εσωτερικών συνθηκών, ενίσχυσης ενεργειακής αποδοτικότητας και συμβατότητας εντολών προς τον εξοπλισμό.

Διαμόρφωση Κανόνων

Η **πρώτη** βασική κατηγορία των κανόνων ρύθμισης των εσωτερικών συνθηκών του χώρου εξασφαλίζει την άνεση στους χρήστες κάθε χώρου. Χωρίζεται σε τέσσερις υποκατηγορίες κανόνων που συνδέονται με τις παραμέτρους ελέγχου των εσωτερικών συνθηκών του τυπικού κτιρίου:

- **Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία:** Παρακολούθηση θερμοκρασιών και υγρασίας χώρων, (θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας) και προσαρμογή τους σύμφωνα με την προκαθορισμένη χρήση των χώρων.
- **Ποιότητα Αέρα:** Παρακολούθηση ποιότητας του αέρα και ρύθμισή της ανάλογα με τα προκαθορισμένα όρια που αντιστοιχούν σε κάθε χώρο.
- **Φωτεινότητα:** Παρακολούθηση και παροχή του κατάλληλου φωτισμού ανάλογα με την χρήση του χώρου και ρύθμιση της θέσης των ηλεκτρικών σκιάστρων για την πλήρη εκμετάλλευση του φυσικού διαθέσιμου φωτισμού.
- **Κινητικότητα:** Παρακολούθηση κινητικότητας μέσω αισθητήρων ανίχνευσης παρουσίας προσωπικού και κατάλληλη ρύθμιση της λειτουργίας των συστημάτων.

Η **δεύτερη** κατηγορία κανόνων περιλαμβάνει κανόνες που εξασφαλίζουν την ενεργειακή αποδοτικότητα της τυπικής κτιριακής μονάδας. Σε αυτή την κατηγορία εμπεριέχονται κανόνες για:

- ✦ **Βελτιστοποίηση Έναρξης / Λήξης Λειτουργίας Συστημάτων:** Περιλαμβάνονται κανόνες που εξασφαλίζουν την έναρξη και λήξη των συσκευών ανάλογα με το ωράριο λειτουργίας του εκάστοτε χώρου, συμπεριλαμβάνοντας και διαδικασίες προθέρμανσης και ομαλής λήξης των συστημάτων, στο πλαίσιο της εξοικονόμησης ενέργειας.
- ✦ **Ιεράρχηση Διαδικασιών:** Περιλαμβάνονται κανόνες που αφορούν στην ιεράρχηση των παρεμβάσεων για τη ρύθμιση της επιθυμητής θερμοκρασίας – υγρασίας, του φωτισμού και της ποιότητας αέρα του χώρου, με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας. Σε αυτό το πλαίσιο, περιλαμβάνονται και κανόνες για τη «συνεργασία» των συσκευών με τις συνθήκες του περιβάλλοντα χώρου του κτιρίου, όπως εισαγωγή νωπού αέρα για ψύξη και ρύθμιση υγρασίας και εισαγωγή εξωτερικής φωτεινότητας για ρύθμιση του επιπέδου φωτισμού μέσω κινούμενων σκιάστρων.
- ✦ **Βελτίωση Ενεργειακής Διαχείρισης:** Αφορά σε κανόνες που ελέγχουν την ενεργειακή κατανάλωση του κάθε χώρου και του κτιρίου γενικά, με στόχο να εντοπίζονται οι περίοδοι που παρατηρούνται υψηλές ενεργειακές καταναλώσεις και τα συστήματα που συντελούν στη δημιουργία αιχμών φορτίου και στην εξομάλυνση του φορτίου, όπου αυτό καθίσταται δυνατό, χωρίς να υποβαθμίζεται η θερμική άνεση.

Για κάθε μία από τις παραπάνω δύο κατηγορίες υπάρχουν τα εξής είδη κανόνων, που αποτελούν και βήματα της διαδικασίας της μονάδας απόφασης για τον τελικό καθορισμό του τρόπου παρέμβασης:

- ✦ **Αρχικοποίηση:** Αφορά σε κανόνες έχουν στόχο να ορίσουν τα επιτρεπτά εύρη μεταβλητών των συνθηκών του χώρου (θερμοκρασία, υγρασία, ποιότητα αέρα), που θα πρέπει να τηρούνται στο πλαίσιο ενός άνετου εσωκλίματος.
- ✦ **Διάγνωσης Ανάγκης Παρέμβασης:** Εμπεριέχει κανόνες που καθορίζουν την ανάγκη παρέμβασης, όπως είναι η θέρμανσης, ψύξη, ύγρανση, αφύγρανση, εξαερισμός και φωτισμός.
- ✦ **Διαβάθμιση Απόκλισης Συνθηκών Χώρου:** Περιλαμβάνει κανόνες με στόχο να ποσοτικοποιήσουν την απόκλιση της επιθυμητής (από την χρήστη) από την τρέχουσα κατάσταση του δωματίου.

- ✦ **Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης:** Αφορά σε κανόνες επιλογής του ενεργειακού συστήματος που θα καλύψει την ανάγκη παρέμβασης, ανάμεσα στα συστήματα κλιματισμού (θέρμανσης και ψύξης), εξαερισμού, φωτισμού και σκίασης.
- ✦ **Καθορισμός Έντασης Επέμβασης:** Περιλαμβάνει κανόνες καθορισμού του επιπέδου λειτουργίας των ενεργειακών συστημάτων, ανάλογα πάντα με τις βαθμίδες των ενεργοποιητών των συστημάτων.

Βέβαια, σε μερικές περιπτώσεις όπου δεν είναι ιδιαίτερα πολύπλοκες, ένας κανόνας μπορεί ταυτόχρονα να περιλαμβάνει δύο από τα παραπάνω είδη (π.χ. διαβάθμιση απόκλισης συνθηκών χώρου και διάγνωσης ανάγκης παρέμβασης).

Η **τρίτη** κατηγορία κανόνων αφορά στους κανόνες συμβατότητας της μονάδας απόφασης για την επίλυση αντιφατικών αιτημάτων. Στην κατηγορία αυτή εμπεριέχονται κανόνες που επιλύουν προβλήματα ασυμβατότητας στον τρόπο παρέμβασης όταν η μηχανή συμπερασμού πρέπει να επεξεργαστεί αντιφατικά αιτήματα για ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του κλιματισμού, του εξαερισμού, των φωτιστικών σωμάτων, των διαδικασιών ύγρανσης και αφύγρανσης.

Παρουσίαση Κανόνων

Συγκεντρωτικά, **109 κανόνες** IF-THEN διαμορφώθηκαν για τις παραπάνω κατηγορίες και είδη, με στόχο να καλύπτουν όλες τις ανάγκες ενός τυπικού κτιρίου. Στο υπόλοιπο της παραγράφου γίνεται μια σύντομη περιγραφή των κανόνων του συστήματος.

A. Κανόνες Ρύθμισης Εσωτερικών Συνθηκών Χώρου		
A1. Κανόνες Ρύθμισης Θερμοκρασίας / Υγρασίας		
A1.1	<i>Κατηγορία</i> <i>Σύντομη Περιγραφή</i> <i>Υπόθεση (IF)</i> <i>Απόδοση (THEN)</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Αρχικοποίηση Συστήματος Εντοπισμός εποχής λειτουργίας συστήματος Η τρέχουσα ημερομηνία είναι ανάμεσα στις ημερομηνίες που καθορίζουν την θερινή περίοδο Η παρούσα εποχή είναι καλοκαίρι
A1.2	<i>Κατηγορία</i> <i>Σύντομη Περιγραφή</i> <i>Υπόθεση (IF)</i> <i>Απόδοση (THEN)</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Αρχικοποίηση Συστήματος Εντοπισμός εποχής λειτουργίας συστήματος Η τρέχουσα ημερομηνία είναι ανάμεσα στις ημερομηνίες που καθορίζουν την χειμερινή περίοδο Η παρούσα εποχή είναι χειμώνας
A1.3	<i>Κατηγορία</i> <i>Σύντομη Περιγραφή</i> <i>Υπόθεση (IF)</i> <i>Απόδοση (THEN)</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Αρχικοποίηση Συστήματος Καθορίζεται το εύρος της επιτρεπόμενης εσωτερικής θερμοκρασίας που θα πρέπει να έχει ο χώρος το χειμώνα, όπως αυτές προδιαγράφονται από τις οδηγίες της ASHRAE Η παρούσα εποχή είναι χειμώνας Η μέγιστη εσωτερική θερμοκρασία είναι ίση με τη μέγιστη επιτρεπτή και η ελάχιστη είναι ίση με την ελάχιστη επιτρεπτή για χειμώνα
A1.4	<i>Κατηγορία</i> <i>Σύντομη Περιγραφή</i> <i>Υπόθεση (IF)</i> <i>Απόδοση (THEN)</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Αρχικοποίηση Συστήματος Καθορίζεται το εύρος της επιτρεπόμενης εσωτερικής θερμοκρασίας που θα πρέπει να έχει ο χώρος το καλοκαίρι, όπως αυτές προδιαγράφονται από τις οδηγίες της ASHRAE Η παρούσα εποχή είναι καλοκαίρι Η μέγιστη εσωτερική θερμοκρασία είναι ίση με τη μέγιστη επιτρεπτή και η ελάχιστη είναι ίση με την ελάχιστη επιτρεπτή για καλοκαίρι
A1.5	<i>Κατηγορία</i> <i>Σύντομη Περιγραφή</i> <i>Υπόθεση (IF)</i> <i>Απόδοση (THEN)</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Αρχικοποίηση Συστήματος Κανονικοποιείται από το σύστημα η επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία που δηλώνει ο χρήστης, όταν αυτή είναι μεγαλύτερη από το άνω επιτρεπτό όριο Η επιθυμητή θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από την μέγιστη επιτρεπτή Η επιθυμητή θερμοκρασία να γίνει ίση με την μέγιστη επιτρεπτή

A1.6	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Αρχικοποίηση Συστήματος Κανονικοποιείται από το σύστημα η επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία που δηλώνει ο χρήστης, όταν αυτή είναι μικρότερη από το κάτω επιτρεπτό όριο Η επιθυμητή θερμοκρασία είναι μικρότερη από την ελάχιστη επιτρεπτή Η επιθυμητή θερμοκρασία να γίνει ίση με την ελάχιστη επιτρεπτή
A1.7	Τύπος Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Αρχικοποίηση Συστήματος Καθορίζεται το εύρος της επιτρεπόμενης εσωτερικής υγρασίας που θα πρέπει να έχει ο χώρος το χειμώνα, όπως αυτές προδιαγράφονται από τις οδηγίες της ASHRAE Η παρούσα εποχή είναι χειμώνας Η μέγιστη εσωτερική υγρασία είναι ίση με τη μέγιστη επιτρεπτή και η ελάχιστη είναι ίση με την ελάχιστη επιτρεπτή για χειμώνα
A1.8	Τύπος Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Αρχικοποίηση Συστήματος Καθορίζεται το εύρος της επιτρεπόμενης εσωτερικής υγρασίας που θα πρέπει να έχει ο χώρος το χειμώνα, όπως αυτές προδιαγράφονται από τις οδηγίες της ASHRAE Η παρούσα εποχή είναι καλοκαίρι Η μέγιστη εσωτερική υγρασία είναι ίση με τη μέγιστη επιτρεπτή και η ελάχιστη είναι ίση με την ελάχιστη επιτρεπτή για καλοκαίρι
A1.9	Τύπος Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Αρχικοποίηση Συστήματος Διαπιστώνεται η απόκλιση της απόλυτης διαφοράς εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας σε σχέση με το κατώφλι μέγιστης απόκλισης εξωτερικής – εσωτερικής θερμοκρασίας Η απόλυτη διαφορά είναι μικρότερη από το κατώφλι μέγιστης απόκλισης εξωτερικής – εσωτερικής θερμοκρασίας Δεν υπάρχει δυνατότητα χρήσης εξωτερικού αέρα
A1.10	Τύπος Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Αρχικοποίηση Συστήματος Διαπιστώνεται η απόκλιση της απόλυτης διαφοράς εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας σε σχέση με το κατώφλι μέγιστης απόκλισης εξωτερικής – εσωτερικής θερμοκρασίας Η απόλυτη διαφορά είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι μέγιστης απόκλισης εξωτερικής – εσωτερικής θερμοκρασίας Υπάρχει δυνατότητα χρήσης εξωτερικού αέρα

A1.11	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Διάγνωσης Ανάγκης Παρέμβασης Διαπιστώνεται αν υπάρχει ανάγκη παρέμβασης ελέγχοντας την εσωτερική θερμοκρασία του χώρου Η επιθυμητή θερμοκρασία είναι ίση με την εσωτερική Δεν υπάρχει ανάγκη παρέμβασης
A1.12	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Διάγνωσης Ανάγκης Παρέμβασης Διαπιστώνεται αν υπάρχει ανάγκη ψύξης ελέγχοντας την εσωτερική θερμοκρασία του χώρου Η επιθυμητή θερμοκρασία είναι μικρότερη από την εσωτερική Υπάρχει ανάγκη ψύξης
A1.13	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Διάγνωσης Ανάγκης Παρέμβασης Διαπιστώνεται αν υπάρχει ανάγκη θέρμανσης ελέγχοντας την εσωτερική θερμοκρασία του χώρου Η επιθυμητή θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από την εσωτερική Υπάρχει ανάγκη θέρμανσης
A1.14	Τύπος Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Διάγνωσης Ανάγκης Παρέμβασης Διαπιστώνεται αν υπάρχει ανάγκη αφύγρανσης Η εσωτερική υγρασία είναι μεγαλύτερη από την μέγιστη επιτρεπτή Υπάρχει ανάγκη αφύγρανσης
A1.15	Τύπος Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Διάγνωσης Ανάγκης Παρέμβασης Διαπιστώνεται αν υπάρχει ανάγκη ύγρανσης Η εσωτερική υγρασία είναι μικρότερη από την ελάχιστη επιτρεπτή Υπάρχει ανάγκη ύγρανσης
A1.16	Τύπος Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Διάγνωσης Ανάγκης Παρέμβασης Διαπιστώνεται αν υπάρχει ανάγκη παρέμβασης Η εσωτερική υγρασία είναι ανάμεσα στην ελάχιστη και την μέγιστη επιτρεπτή Δεν υπάρχει ανάγκη παρέμβασης
A1.17	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Διαβάθμιση Απόκλισης Συνθηκών Χώρου Διαπιστώνεται η απόκλιση της επιθυμητής από την τρέχουσα κατάσταση, μέσα από τη σύγκριση της εσωτερικής θερμοκρασίας με προκαθορισμένα κατώφλια απόκλισης

	Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Έχει διαπιστωθεί ανάγκη θέρμανσης και η απόκλιση είναι μικρότερη από το κατώφλι μικρής απόκλισης Δεν υπάρχει ανάγκη παρέμβασης
A1.18	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Διαβάθμιση Απόκλισης Συνθηκών Χώρου Διαπιστώνεται η απόκλιση της επιθυμητής από την τρέχουσα κατάσταση, μέσα από τη σύγκριση της εσωτερικής θερμοκρασίας με προκαθορισμένα κατώφλια απόκλισης Έχει διαπιστωθεί ανάγκη θέρμανσης και η απόκλιση είναι ανάμεσα στα κατώφλια μικρής απόκλισης και μεγάλης απόκλισης Η θερμοκρασία είναι χαμηλή
A1.19	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Διαβάθμιση Απόκλισης Συνθηκών Χώρου Διαπιστώνεται η απόκλιση της επιθυμητής από την τρέχουσα κατάσταση, μέσα από τη σύγκριση της εσωτερικής θερμοκρασίας με προκαθορισμένα κατώφλια απόκλισης Έχει διαπιστωθεί ανάγκη θέρμανσης και η απόκλιση είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι μεγάλης απόκλισης Η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή
A1.20	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Διαβάθμιση Απόκλισης Συνθηκών Χώρου Διαπιστώνεται η απόκλιση της επιθυμητής από την τρέχουσα κατάσταση, μέσα από τη σύγκριση της εσωτερικής θερμοκρασίας με προκαθορισμένα κατώφλια απόκλισης Έχει διαπιστωθεί ανάγκη ψύξης και η απόκλιση είναι μικρότερη από το κατώφλι μικρής απόκλισης Δεν υπάρχει ανάγκη παρέμβασης
A1.21	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Διαβάθμιση Απόκλισης Συνθηκών Χώρου Διαπιστώνεται η απόκλιση της επιθυμητής από την τρέχουσα κατάσταση, μέσα από τη σύγκριση της εσωτερικής θερμοκρασίας με προκαθορισμένα κατώφλια απόκλισης Έχει διαπιστωθεί ανάγκη ψύξης και η απόκλιση είναι ανάμεσα στα κατώφλια μικρής απόκλισης και μεγάλης απόκλισης Η θερμοκρασία είναι υψηλή
A1.22	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Διαβάθμιση Απόκλισης Συνθηκών Χώρου Διαπιστώνεται η απόκλιση της επιθυμητής από την τρέχουσα κατάσταση, μέσα από τη σύγκριση της εσωτερικής θερμοκρασίας με προκαθορισμένα κατώφλια απόκλισης Έχει διαπιστωθεί ανάγκη ψύξης και η απόκλιση είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι μεγάλης απόκλισης Η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή

A1.23	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Διαβάθμιση Απόκλισης Συνθηκών Χώρου
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Διαπιστώνεται η απόκλιση της επιθυμητής από την τρέχουσα κατάσταση, μέσα από τη σύγκριση της υγρασίας με τα προκαθορισμένα κατώφλια απόκλισης
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Έχει διαπιστωθεί ανάγκη ρύθμισης της υγρασίας και η εσωτερική υγρασία είναι μικρότερη από το κατώφλι της ελάχιστης επιτρεπτής
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Η εσωτερική υγρασία είναι χαμηλή
A1.24	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Διαβάθμιση Απόκλισης Συνθηκών Χώρου
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Διαπιστώνεται η απόκλιση της επιθυμητής από την τρέχουσα κατάσταση, μέσα από τη σύγκριση της υγρασίας με τα προκαθορισμένα κατώφλια απόκλισης
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Έχει διαπιστωθεί ανάγκη ρύθμισης της υγρασίας και η εσωτερική υγρασία είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι της μέγιστης επιτρεπτής
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Η εσωτερική υγρασία είναι υψηλή
A1.25	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Ελέγχεται η δυνατότητα εκμετάλλευσης των εξωτερικών συνθηκών για ψύξη, στο πλαίσιο της εξοικονόμησης ενέργειας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Έχει διαπιστωθεί ανάγκη ψύξης, υπάρχει δυνατότητα χρήσης εξωτερικού αέρα και η εσωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη της εξωτερικής
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ενεργοποίηση εξαερισμού και απενεργοποίηση κλιματισμού
A1.26	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Ελέγχεται η δυνατότητα εκμετάλλευσης των εξωτερικών συνθηκών για ψύξη, στο πλαίσιο της εξοικονόμησης ενέργειας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Έχει διαπιστωθεί ανάγκη θέρμανσης, η εσωτερική υγρασία είναι ανάμεσα στην ελάχιστη και μέγιστη επιτρεπτή και η εσωτερική θερμοκρασία είναι μικρότερη της εξωτερικής
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ενεργοποίηση εξαερισμού και απενεργοποίηση κλιματισμού
A1.27	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Ενεργοποίηση κατάλληλων συσκευών με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση θερμοκρασίας - υγρασίας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή και η υγρασία είναι υψηλή
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ενεργοποίηση κλιματισμού
A1.28	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης

	Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ενεργοποίηση κατάλληλων συσκευών με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση θερμοκρασίας - υγρασίας Η θερμοκρασία είναι υψηλή και η υγρασία είναι υψηλή Ενεργοποίηση κλιματισμού
A1.29	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Ενεργοποίηση κατάλληλων συσκευών με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση θερμοκρασίας - υγρασίας Η θερμοκρασία είναι κανονική και η υγρασία είναι υψηλή Ενεργοποίηση διαδικασίας αφύγρανσης
A1.30	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Ενεργοποίηση κατάλληλων συσκευών με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση θερμοκρασίας - υγρασίας Η θερμοκρασία είναι χαμηλή και η υγρασία είναι υψηλή Ενεργοποίηση κλιματισμού
A1.31	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Ενεργοποίηση κατάλληλων συσκευών με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση θερμοκρασίας - υγρασίας Η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή και η υγρασία είναι υψηλή Ενεργοποίηση κλιματισμού
A1.32	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Ενεργοποίηση κατάλληλων συσκευών με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση θερμοκρασίας - υγρασίας Η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή και η υγρασία είναι κανονική Ενεργοποίηση κλιματισμού
A1.33	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Ενεργοποίηση κατάλληλων συσκευών με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση θερμοκρασίας - υγρασίας Η θερμοκρασία είναι υψηλή και η υγρασία είναι κανονική Ενεργοποίηση κλιματισμού
A1.34	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Ενεργοποίηση κατάλληλων συσκευών με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση θερμοκρασίας - υγρασίας Η θερμοκρασία είναι κανονική και η υγρασία είναι κανονική Καμία παρέμβαση
A1.35	Κατηγορία	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης

	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Ενεργοποίηση κατάλληλων συσκευών με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση θερμοκρασίας - υγρασίας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Η θερμοκρασία είναι χαμηλή και η υγρασία είναι κανονική
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ενεργοποίηση κλιματισμού
A1.36	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Ενεργοποίηση κατάλληλων συσκευών με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση θερμοκρασίας - υγρασίας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή και η υγρασία είναι κανονική
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ενεργοποίηση κλιματισμού
A1.37	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Ενεργοποίηση κατάλληλων συσκευών με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση θερμοκρασίας - υγρασίας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή και η υγρασία είναι χαμηλή
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ενεργοποίηση κλιματισμού και εξαερισμού
A1.38	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Ενεργοποίηση κατάλληλων συσκευών με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση θερμοκρασίας - υγρασίας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Η θερμοκρασία είναι υψηλή και η υγρασία είναι χαμηλή
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ενεργοποίηση κλιματισμού και εξαερισμού
A1.39	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Ενεργοποίηση κατάλληλων συσκευών με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση θερμοκρασίας - υγρασίας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Η θερμοκρασία είναι κανονική και η υγρασία είναι χαμηλή
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ενεργοποίηση διαδικασίας ύγρυνσης
A1.40	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Ενεργοποίηση κατάλληλων συσκευών με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση θερμοκρασίας - υγρασίας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Η θερμοκρασία είναι χαμηλή και η υγρασία είναι χαμηλή
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ενεργοποίηση κλιματισμού και εξαερισμού
A1.41	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Ενεργοποίηση κατάλληλων συσκευών με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση θερμοκρασίας - υγρασίας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή και η υγρασία είναι χαμηλή
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ενεργοποίηση κλιματισμού και εξαερισμού

A1.42	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση της θερμοκρασίας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι κακή, το κλιματιστικό έχει ενεργοποιηθεί και η θερμοκρασία πολύ χαμηλή
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ο κλιματισμός να λειτουργήσει στη μέγιστη ταχύτητα
A1.43	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση της θερμοκρασίας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι πολύ κακή, το κλιματιστικό έχει ενεργοποιηθεί και η θερμοκρασία πολύ υψηλή
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ο κλιματισμός να λειτουργήσει στη μέγιστη ταχύτητα
A1.44	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση της θερμοκρασίας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι πολύ κακή, το κλιματιστικό έχει ενεργοποιηθεί και η θερμοκρασία χαμηλή
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ο κλιματισμός να λειτουργήσει στη μέγιστη ταχύτητα
A1.45	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση της θερμοκρασίας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι πολύ κακή, το κλιματιστικό έχει ενεργοποιηθεί και η θερμοκρασία υψηλή
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ο κλιματισμός να λειτουργήσει στη μέγιστη ταχύτητα
A1.46	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση της θερμοκρασίας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι κακή, το κλιματιστικό έχει ενεργοποιηθεί και η θερμοκρασία πολύ χαμηλή
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ο κλιματισμός να λειτουργήσει στη μέγιστη ταχύτητα
A1.47	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση της θερμοκρασίας

	Υπόθεση (IF)	Η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι κακή, το κλιματιστικό έχει ενεργοποιηθεί και η θερμοκρασία πολύ υψηλή
	Απόδοση (THEN)	Ο κλιματισμός να λειτουργήσει στη μέγιστη ταχύτητα
A1.48	Κατηγορία	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης
	Σύντομη Περιγραφή	Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση της θερμοκρασίας
	Υπόθεση (IF)	Η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι κακή, το κλιματιστικό έχει ενεργοποιηθεί και η θερμοκρασία χαμηλή
	Απόδοση (THEN)	Ο κλιματισμός να λειτουργήσει στη μέση ταχύτητα
A1.49	Κατηγορία	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης
	Σύντομη Περιγραφή	Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση της θερμοκρασίας
	Υπόθεση (IF)	Η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι κακή, το κλιματιστικό έχει ενεργοποιηθεί και η θερμοκρασία υψηλή
	Απόδοση (THEN)	Ο κλιματισμός να λειτουργήσει στη μέση ταχύτητα
A1.50	Κατηγορία	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης
	Σύντομη Περιγραφή	Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση της θερμοκρασίας
	Υπόθεση (IF)	Η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι κανονική, το κλιματιστικό έχει ενεργοποιηθεί και η θερμοκρασία πολύ χαμηλή
	Απόδοση (THEN)	Ο κλιματισμός να λειτουργήσει στη μέση ταχύτητα
A1.51	Κατηγορία	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης
	Σύντομη Περιγραφή	Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση της θερμοκρασίας
	Υπόθεση (IF)	Η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι κανονική, το κλιματιστικό έχει ενεργοποιηθεί και η θερμοκρασία πολύ υψηλή
	Απόδοση (THEN)	Ο κλιματισμός να λειτουργήσει στη μέση ταχύτητα
A1.52	Κατηγορία	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης
	Σύντομη Περιγραφή	Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση της θερμοκρασίας
	Υπόθεση (IF)	Η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι κανονική, το κλιματιστικό έχει ενεργοποιηθεί και η θερμοκρασία χαμηλή
	Απόδοση (THEN)	Ο κλιματισμός να λειτουργήσει στη ελάχιστη ταχύτητα

A1.53	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση της θερμοκρασίας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι κανονική, το κλιματιστικό έχει ενεργοποιηθεί και η θερμοκρασία υψηλή
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ο κλιματισμός να λειτουργήσει στη ελάχιστη ταχύτητα
A1.54	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση της θερμοκρασίας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι καλή, το κλιματιστικό έχει ενεργοποιηθεί και η θερμοκρασία πολύ χαμηλή
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ο κλιματισμός να λειτουργήσει στη ελάχιστη ταχύτητα
A1.55	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση της θερμοκρασίας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι καλή, το κλιματιστικό έχει ενεργοποιηθεί και η θερμοκρασία πολύ υψηλή
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ο κλιματισμός να λειτουργήσει στη ελάχιστη ταχύτητα
A1.56	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση της θερμοκρασίας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι καλή, το κλιματιστικό έχει ενεργοποιηθεί και η θερμοκρασία χαμηλή
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ο κλιματισμός να λειτουργήσει στη ελάχιστη ταχύτητα
A1.57	<i>Κατηγορία</i>	Εσωτερική Θερμοκρασία / Υγρασία - Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης
	<i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση της θερμοκρασίας
	<i>Υπόθεση (IF)</i>	Η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι καλή, το κλιματιστικό έχει ενεργοποιηθεί και η θερμοκρασία υψηλή
	<i>Απόδοση (THEN)</i>	Ο κλιματισμός να λειτουργήσει στη ελάχιστη ταχύτητα
A2. Κανόνες Ρύθμισης Ποιότητας Αέρα		
A2.1	<i>Κατηγορία</i>	Ποιότητα Αέρα – Διάγνωση Ανάγκης Παρέμβασης

	Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Διαπιστώνεται αν υπάρχει ανάγκη παρέμβασης για ρύθμιση της ποιότητας αέρα Η εσωτερική ποιότητα αέρα είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη επιτρεπτή Δεν υπάρχει ανάγκη εξαερισμού
A2.2	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ποιότητα Αέρα – Διάγνωση Ανάγκης Παρέμβασης, Διαβάθμιση Απόκλισης Συνθηκών Χώρου Διαπιστώνεται αν υπάρχει ανάγκη παρέμβασης για ρύθμιση της ποιότητας αέρα και με βάση την απόκλιση από τις επιθυμητές τιμές Η εσωτερική ποιότητα αέρα είναι μικρότερη από την κατώφλι μικρής απόκλισης και μεγαλύτερη από το κατώφλι μεγάλης απόκλισης Υπάρχει ανάγκη εξαερισμού
A2.3	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ποιότητα Αέρα – Διάγνωση Ανάγκης Παρέμβασης, Διαβάθμιση Απόκλισης Συνθηκών Χώρου Διαπιστώνεται αν υπάρχει ανάγκη παρέμβασης για ρύθμιση της ποιότητας αέρα και με βάση την απόκλιση από τις επιθυμητές τιμές Η εσωτερική ποιότητα αέρα είναι μικρότερη από το κατώφλι μεγάλης απόκλισης Υπάρχει μεγάλη ανάγκη εξαερισμού
A2.4	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ποιότητα Αέρα – Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Ενεργοποίηση εξαερισμού με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση Υπάρχει ανάγκη εξαερισμού και είναι δυνατή η χρήση εξωτερικού αέρα Ενεργοποίηση εξαερισμού
A2.5	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ποιότητα Αέρα – Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Ενεργοποίηση εξαερισμού με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση Υπάρχει ανάγκη εξαερισμού και δεν είναι δυνατή η χρήση εξωτερικού αέρα Απενεργοποίηση εξαερισμού
A2.6	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ποιότητα Αέρα – Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Ενεργοποίηση εξαερισμού με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση Υπάρχει μεγάλη ανάγκη εξαερισμού Ενεργοποίηση εξαερισμού
A2.7	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF)	Ποιότητα Αέρα – Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Απενεργοποίηση εξαερισμού όταν δεν υπάρχει τέτοια ανάγκη Δεν υπάρχει ανάγκη εξαερισμού

Απόδοση (THEN)		Απενεργοποίηση εξαερισμού
A2.8	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ποιότητα Αέρα – Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση του αέρα Υπάρχει ανάγκη εξαερισμού και η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση του αέρα είναι πολύ κακή Ο εξαερισμός να λειτουργήσει στη μέγιστη ταχύτητα
A2.9	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ποιότητα Αέρα – Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση του αέρα Υπάρχει μεγάλη ανάγκη εξαερισμού και η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση του αέρα είναι πολύ κακή Ο εξαερισμός να λειτουργήσει στη μέγιστη ταχύτητα
A2.10	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ποιότητα Αέρα – Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση του αέρα Υπάρχει ανάγκη εξαερισμού και η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση του αέρα είναι κακή Ο εξαερισμός να λειτουργήσει στη μέση ταχύτητα
A2.11	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ποιότητα Αέρα – Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση του αέρα Υπάρχει μεγάλη ανάγκη εξαερισμού και η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση του αέρα είναι κακή Ο εξαερισμός να λειτουργήσει στη μέγιστη ταχύτητα
A2.12	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ποιότητα Αέρα – Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση του αέρα Υπάρχει ανάγκη εξαερισμού και η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση του αέρα είναι κανονική Ο εξαερισμός να λειτουργήσει στη ελάχιστη ταχύτητα
A2.13	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή	Ποιότητα Αέρα – Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση του αέρα

	Υπόθεση (IF)	Υπάρχει μεγάλη ανάγκη εξαερισμού και η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση του αέρα είναι κανονική
	Απόδοση (THEN)	Ο εξαερισμός να λειτουργήσει στη μέση ταχύτητα
A2.14	Κατηγορία	Ποιότητα Αέρα – Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης
	Σύντομη Περιγραφή	Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση του αέρα
	Υπόθεση (IF)	Υπάρχει ανάγκη εξαερισμού και η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση του αέρα είναι καλή
	Απόδοση (THEN)	Ο εξαερισμός να λειτουργήσει στη ελάχιστη ταχύτητα
A2.15	Κατηγορία	Ποιότητα Αέρα – Καθορισμός Έντασης Παρέμβασης
	Σύντομη Περιγραφή	Επιλογή έντασης παρέμβασης με βάση την ποσοτικοποιημένη απόκλιση και τη συμπεριφορά του χώρου στην ρύθμιση του αέρα
	Υπόθεση (IF)	Υπάρχει μεγάλη ανάγκη εξαερισμού και η συμπεριφορά του χώρου στη ρύθμιση του αέρα είναι καλή
	Απόδοση (THEN)	Ο εξαερισμός να λειτουργήσει στη ελάχιστη ταχύτητα
A3. Κανόνες Ρύθμισης Φωτεινότητας		
A3.1	Κατηγορία	Φωτεινότητα – Αρχικοποίηση Συστήματος
	Σύντομη Περιγραφή	Διαπιστώνεται πως οι εξωτερικές συνθήκες σε συνδυασμό με την θέση των σκιάστρων επηρεάζουν τον χώρο
	Υπόθεση (IF)	Η εσωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από την εξωτερική
	Απόδοση (THEN)	Δυνατότητα ανοίγματος των σκιάστρων
A3.2	Κατηγορία	Φωτεινότητα – Αρχικοποίηση Συστήματος
	Σύντομη Περιγραφή	Διαπιστώνεται πως οι εξωτερικές συνθήκες σε συνδυασμό με την θέση των σκιάστρων επηρεάζουν τον χώρο
	Υπόθεση (IF)	Η εσωτερική θερμοκρασία είναι μικρότερη από την εξωτερική
	Απόδοση (THEN)	Δυνατότητα κλεισίματος των σκιάστρων
A3.3	Κατηγορία	Φωτεινότητα – Διάγνωση Ανάγκης Παρέμβασης, Διαβάθμιση Απόκλισης Συνθηκών Χώρου
	Σύντομη Περιγραφή	Διαπιστώνεται αν υπάρχει ανάγκη παρέμβασης και ποιας για ρύθμιση της φωτεινότητας στο χώρο
	Υπόθεση (IF)	Η εσωτερική φωτεινότητα είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή
	Απόδοση (THEN)	Η φωτεινότητα είναι υψηλή

A3.4	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Φωτεινότητα – Διάγνωση Ανάγκης Παρέμβασης, Διαβάθμιση Απόκλισης Συνθηκών Χώρου Διαπιστώνεται αν υπάρχει ανάγκη παρέμβασης και ποιας για ρύθμιση της φωτεινότητας στο χώρο Η εσωτερική φωτεινότητα είναι μικρότερη από την επιθυμητή Η φωτεινότητα είναι χαμηλή
A3.5	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Φωτεινότητα – Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Χρήση φωτιστικών σωμάτων όταν οι εξωτερικές συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές Η εσωτερική φωτεινότητα είναι χαμηλή και η εξωτερική χαμηλότερη Ενεργοποίηση φωτιστικών σωμάτων
A3.6	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Φωτεινότητα – Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Χρήση φωτιστικών σωμάτων όταν οι εξωτερικές συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές Η φωτεινότητα είναι χαμηλή και η εξωτερική φωτεινότητα είναι μεγαλύτερη της εσωτερικής και δεν υπάρχει δυνατότητα ανοίγματος των σκιάστρων Ενεργοποίηση φωτιστικών σωμάτων
A3.7	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Φωτεινότητα – Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Χρήση φυσικού φωτισμού στο πλαίσιο της εξοικονόμησης ενέργειας Η φωτεινότητα είναι χαμηλή και η εξωτερική φωτεινότητα είναι μεγαλύτερη της εσωτερικής και υπάρχει δυνατότητα ανοίγματος των σκιάστρων Άνοιγμα σκιάστρων
A3.8	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Φωτεινότητα – Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Αν η φωτεινότητα είναι υψηλή απενεργοποιούνται τα φωτιστικά σώματα Η φωτεινότητα είναι υψηλή και είναι ενεργά φωτιστικά σώματα Απενεργοποίηση φωτιστικών σωμάτων
A3.9	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Φωτεινότητα – Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Αν η φωτεινότητα είναι υψηλή κλείνουν τα σκιάστρα Η φωτεινότητα είναι υψηλή και δεν είναι ενεργά φωτιστικά σώματα Κλείσιμο σκιάστρων
A3.10	Κατηγορία	Φωτεινότητα – Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης

	<i>Σύντομη Περιγραφή</i> <i>Υπόθεση (IF)</i> <i>Απόδοση (THEN)</i>	Αν έχει ενεργοποιηθεί το άνοιγμα των σκιάστρων αλλά η εσωτερική φωτεινότητα είναι χαμηλή τότε χρησιμοποιούνται τα φωτιστικά σώματα Τα σκιάστρα είναι ανοικτά και η φωτεινότητα είναι χαμηλή Χειροκίνητη ρύθμιση φωτισμού
A3.11	<i>Κατηγορία</i> <i>Σύντομη Περιγραφή</i> <i>Υπόθεση (IF)</i> <i>Απόδοση (THEN)</i>	Φωτεινότητα – Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Αν δεν έχει ενεργοποιηθεί το άνοιγμα των σκιάστρων αλλά η εσωτερική φωτεινότητα είναι χαμηλή και δεν υπάρχει δυνατότητα ανοίγματος των σκιάστρων τότε χρησιμοποιούνται τα φωτιστικά σώματα Η φωτεινότητα είναι χαμηλή, τα σκιάστρα είναι κλειστά και δεν υπάρχει δυνατότητα ανοίγματος τους Χειροκίνητη ρύθμιση φωτισμού
A4. Κανόνες Ρύθμισης Κινητικότητας		
A4.1	<i>Κατηγορία</i> <i>Σύντομη Περιγραφή</i> <i>Υπόθεση (IF)</i> <i>Απόδοση (THEN)</i>	Κινητικότητα – Διάγνωση Ανάγκης Παρέμβασης Διαπιστώνεται αν υπάρχει ανάγκη παρέμβασης λόγω απουσίας από το χώρο για μεγάλο διάστημα Δεν υπάρχει παρουσία στο χώρο για διάστημα μεγαλύτερο από το μέγιστο διάστημα απουσίας Απουσία κινητικότητας στο χώρο
A4.2	<i>Κατηγορία</i> <i>Σύντομη Περιγραφή</i> <i>Υπόθεση (IF)</i> <i>Απόδοση (THEN)</i>	Κινητικότητα – Διάγνωση Ανάγκης Παρέμβασης Αν διαπιστωθεί απουσία από το χώρο για μεγάλο διάστημα απενεργοποιούνται τα συστήματα ρύθμισης εσωτερικών συνθηκών Απουσία κινητικότητας στο χώρο Έναρξη διαδικασίας διατήρησης συνθηκών
B. Κανόνες Ενεργειακής Αποδοτικότητας Κτιριακής Μονάδας		
B1. Βελτιστοποίηση έναρξης/ λήξης λειτουργίας συστημάτων		
B1.1	<i>Κατηγορία</i> <i>Σύντομη Περιγραφή</i> <i>Υπόθεση (IF)</i> <i>Απόδοση (THEN)</i>	Έναρξη/ λήξη λειτουργίας συστημάτων- Διάγνωση Ανάγκης Παρέμβασης Διαπιστώνεται αν υπάρχει ανάγκη παρέμβασης λόγω ωραρίου Η τρέχουσα ώρα είναι ανάμεσα στην ώρα έναρξης και λήξης του ωραρίου του χώρου Εντός ωραρίου
B1.2	<i>Κατηγορία</i> <i>Σύντομη Περιγραφή</i>	Έναρξη/ λήξη λειτουργίας συστημάτων- Διάγνωση Ανάγκης Παρέμβασης Διαπιστώνεται αν υπάρχει ανάγκη παρέμβασης λόγω ωραρίου, εισάγοντας τη διαδικασία της προθέρμανσης

	Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Η τρέχουσα ώρα είναι ανάμεσα στην ώρα προέναρξης και έναρξης του ωραρίου του χώρου Διαδικασία έναρξης λειτουργίας χώρου
B1.3	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Έναρξη/ λήξη λειτουργίας συστημάτων- Διάγνωση Ανάγκης Παρέμβασης Διαπιστώνεται αν υπάρχει ανάγκη παρέμβασης λόγω ωραρίου, εισάγοντας τη διαδικασία της ομαλής λήξης λειτουργιών των συστημάτων του χώρου Η τρέχουσα ώρα είναι ανάμεσα στην ώρα διαδικασίας λήξης και λήξης του ωραρίου του χώρου Διαδικασία λήξης λειτουργίας χώρου
B1.4	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Έναρξη/ λήξη λειτουργίας συστημάτων- Διάγνωση Ανάγκης Παρέμβασης Διαπιστώνεται αν υπάρχει παρέμβασης λόγω ωραρίου Η τρέχουσα ώρα είναι πριν την ώρα προέναρξης του ωραρίου του χώρου Εκτός ωραρίου
B1.5	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Έναρξη/ λήξη λειτουργίας συστημάτων- Διάγνωση Ανάγκης Παρέμβασης Διαπιστώνεται αν υπάρχει ανάγκη παρέμβασης λόγω ωραρίου Η τρέχουσα ώρα είναι μετά την ώρα λήξης του ωραρίου του χώρου Εκτός ωραρίου
B1.6	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Έναρξη/ λήξη λειτουργίας συστημάτων- Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Αν διαπιστωθεί έξοδος από το ωράριο λειτουργίας του χώρου ενεργοποιείται η κατάσταση διατήρησης των συνθηκών του κτιρίου σε επιτρεπτά όρια Εκτός ωραρίου Έναρξη διαδικασίας διατήρησης συνθηκών
B2. Ιεράρχηση Διαδικασιών		
B2.1	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ιεράρχηση διαδικασιών- Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Ανάθεση προτεραιότητας στους τρόπους παρέμβασης για τη ρύθμιση του επιθυμητού επιπέδου φωτισμού, με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας Ενεργοποίηση φωτιστικών σωμάτων και ενεργοποίηση κινούμενων σκιάστρων Απενεργοποίηση φωτιστικών σωμάτων
B2.2	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή	Ιεράρχηση διαδικασιών- Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Ανάθεση προτεραιότητας στους τρόπους παρέμβασης για τη ρύθμιση της επιθυμητής ποιότητας αέρα του χώρου, με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας

	Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ενεργοποίηση κλιματιστικού και ενεργοποίηση εξαερισμού Απενεργοποίηση κλιματιστικού
B2.3	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ιεράρχηση διαδικασιών- Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Ανάθεση προτεραιότητας στους τρόπους παρέμβασης για τη ρύθμιση της επιθυμητής ποιότητας αέρα του χώρου, με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας Ενεργοποίηση εξαερισμού και ενεργοποίηση μονάδας αφύγρανσης Απενεργοποίηση μονάδας αφύγρανσης
B2.4	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ιεράρχηση διαδικασιών- Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Ανάθεση προτεραιότητας στους τρόπους παρέμβασης για τη ρύθμιση της επιθυμητής ποιότητας αέρα του χώρου, με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας Ενεργοποίηση εξαερισμού και ενεργοποίηση μονάδας ύγρανσης Απενεργοποίηση μονάδας ύγρανσης
B2.5	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ιεράρχηση διαδικασιών- Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Ανάθεση προτεραιότητας στους τρόπους παρέμβασης για τη ρύθμιση της επιθυμητής υγρασίας του χώρου, με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας Ενεργοποίηση κλιματιστικού και ενεργοποίηση μονάδας αφύγρανσης Απενεργοποίηση κλιματιστικού
B2.6	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ιεράρχηση διαδικασιών- Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Ανάθεση προτεραιότητας στους τρόπους παρέμβασης για τη ρύθμιση της επιθυμητής υγρασίας του χώρου, με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας Ενεργοποίηση κλιματιστικού και ενεργοποίηση μονάδας ύγρανσης Απενεργοποίηση κλιματιστικού
B3. Βελτίωση Ενεργειακής Διαχείρισης		
B3.1	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Βελτίωση Ενεργειακής Διαχείρισης- Αρχειοποίηση Συστήματος Ορισμός μέγιστης κατανάλωσης θερινής περιόδου Η εποχή είναι καλοκαίρι Η μέγιστη κατανάλωση να γίνει ίση με την μέγιστη τιμή της κατανάλωσης για την θερινή περίοδο
B3.2	Κατηγορία	Βελτίωση Ενεργειακής Διαχείρισης- Αρχειοποίηση Συστήματος

	Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ορισμός μέγιστης κατανάλωσης χειμερινής περιόδου Η εποχή είναι χειμώνας Η μέγιστη κατανάλωση να γίνει ίση με την μέγιστη τιμή της κατανάλωσης για την χειμερινή περίοδο
B3.3	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Βελτίωση Ενεργειακής Διαχείρισης- Διάγνωση Ανάγκης Παρέμβασης Διαπίστωση ενεργειακού φόρτου κτιρίου Η τρέχουσα κατανάλωση είναι μικρότερη από το 20% της μέγιστης Χαμηλή Κατανάλωση
B3.4	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Βελτίωση Ενεργειακής Διαχείρισης- Διάγνωση Ανάγκης Παρέμβασης Διαπίστωση ενεργειακού φόρτου κτιρίου Η τρέχουσα κατανάλωση είναι μεγαλύτερη από το 20% και μικρότερη από το 50% της μέγιστης Κανονική Κατανάλωση
B3.5	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Βελτίωση Ενεργειακής Διαχείρισης- Διάγνωση Ανάγκης Παρέμβασης Διαπίστωση ενεργειακού φόρτου κτιρίου Η τρέχουσα κατανάλωση είναι μεγαλύτερη από το 50% και μικρότερη από το 90% της μέγιστης Υψηλή Κατανάλωση
B3.6	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Βελτίωση Ενεργειακής Διαχείρισης- Διάγνωση Ανάγκης Παρέμβασης Διαπίστωση ενεργειακού φόρτου κτιρίου Η τρέχουσα κατανάλωση είναι μεγαλύτερη από το 90% της μέγιστης Πολύ Υψηλή Κατανάλωση
B3.7	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Βελτίωση Ενεργειακής Διαχείρισης- Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης Απόρριψη φορτίων σε πολύ μεγάλο φόρτο Πολύ Υψηλή Κατανάλωση Αποκοπή συγκεκριμένων φορτίων κατά προτεραιότητα
Γ. Κανόνες Συμβατότητας της Μονάδας Απόφασης		
Γ.1	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή	Επίλυση Αντιφατικών Αιτημάτων- Αιτήματα Κλιματισμού Επίλυση ασυμβατότητας στον τρόπο παρέμβασης, όταν υπάρχουν αντικρουόμενα αιτήματα για τον κλιματισμό

	Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Ενεργοποίηση και απενεργοποίηση κλιματιστικού Ενεργοποίηση κλιματιστικού
Γ.2	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Επίλυση Αντιφατικών Αιτημάτων- Αιτήματα Εξαερισμού Επίλυση ασυμβατότητας στον τρόπο παρέμβασης, όταν υπάρχουν αντικρουόμενα αιτήματα για τον εξαερισμό Ενεργοποίηση και απενεργοποίηση εξαερισμού Ενεργοποίηση εξαερισμού
Γ.3	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Επίλυση Αντιφατικών Αιτημάτων- Αιτήματα Φωτισμού Επίλυση ασυμβατότητας στον τρόπο παρέμβασης, όταν υπάρχουν αντικρουόμενα αιτήματα για τον φωτισμό Ενεργοποίηση και απενεργοποίηση φωτιστικών σωμάτων Ενεργοποίηση φωτιστικών σωμάτων
Γ.4	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Επίλυση Αντιφατικών Αιτημάτων- Αιτήματα Αφύγρανσης Επίλυση ασυμβατότητας στον τρόπο παρέμβασης, όταν υπάρχουν αντικρουόμενα αιτήματα για την αφύγρανση Ενεργοποίηση και απενεργοποίηση μονάδας αφύγρανσης Ενεργοποίηση αφύγρανσης
Γ.5	Κατηγορία Σύντομη Περιγραφή Υπόθεση (IF) Απόδοση (THEN)	Επίλυση Αντιφατικών Αιτημάτων- Αιτήματα Ύγρυνσης Επίλυση ασυμβατότητας στον τρόπο παρέμβασης, όταν υπάρχουν αντικρουόμενα αιτήματα για την ύγρυνση Ενεργοποίηση και απενεργοποίηση μονάδας ύγρυνσης Ενεργοποίηση ύγρυνσης

Πίνακας 19 - Κανόνες έμπειρου συστήματος

4.2.4 Διατήρηση Ιστορικών Δεδομένων και Εκμάθηση Μοντέλου

Η μεθοδολογία παρέχει την δυνατότητα καταγραφής των αιτημάτων, της τρέχουσας κατάστασης και της εξόδου της μηχανής συμπερασμού για κάθε χώρο εμπλουτίζοντας τη βάση γνώσης που περιέχει. Οι καταγραφές πραγματοποιούνται σε κάθε κλήση του έμπειρου συστήματος υποστήριξης απόφασης και περιέχει τα παρακάτω δεδομένα.

Παράμετρος	Περιγραφή
<i>TimeStamp</i>	Η χρονική στιγμή που πραγματοποιήθηκε η καταγραφή
<i>RoomCode</i>	Ο κωδικός του χώρου από τον οποίο προήλθε το αίτημα
<i>SetTemp</i>	Η επιθυμητή θερμοκρασία για τον χώρο
<i>CurTemp</i>	Η τρέχουσα θερμοκρασία του χώρου
<i>CurHum</i>	Η τρέχουσα υγρασία του χώρου
<i>CurAir</i>	Η τρέχουσα ποιότητα αέρα του χώρου

Πίνακας 20 - Δεδομένα καταγραφής

Ο έλεγχος της συμπεριφοράς («προσαρμοστικότητας») των χώρων στις επιβαλλόμενες παρεμβάσεις βασίζεται στη χρήση δύο δεικτών που χαρακτηρίζουν κάθε χώρο ως προς την θερμική συμπεριφορά^{[14],[15]} και την συνολική ποιότητα αέρα^[16], τους ακόλουθους:

- Δείκτης θερμικής ποιότητας χώρου,
- Δείκτης ποιότητας αέρα χώρου.

Η τιμή του δείκτη θερμικής ποιότητας χώρου καθορίζει την ένταση της παρέμβασης του συστήματος κλιματισμού στις επιβαλλόμενες θερμοκρασιακές μεταβολές σε κάθε χώρο. Αντίστοιχα, η τιμή του δείκτη ποιότητας αέρα χώρου καθορίζει την ένταση της παρέμβασης του συστήματος εξαερισμού για την διατήρηση της ποιότητας αέρα σε κάθε χώρο.

Οι τιμές των δεικτών παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Τιμή	Περιγραφή Συμπεριφοράς
<i>G</i>	Καλή
<i>N</i>	Κανονική
<i>B</i>	Κακή
<i>VB</i>	Πολύ κακή

Πίνακας 21 - Τιμές ποιοτικών δεικτών

Ο υπολογισμός της τρέχουσας τιμής των δεικτών πραγματοποιείται παραμετρικά με είσοδο το χρονικό παράθυρο που θα ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό και τα κατώφλια κατάταξης. Στη συνέχεια υπολογίζεται η μέση τιμή απόκλισης της τρέχουσας τιμής σε σχέση με την επιθυμητή του εκάστοτε μεγέθους. Πιο αναλυτικά:

Έστω:

$$record_i = \{TimeStamp_i, RoomCode_i, SetTemp_i, CurTemp_i, CurHum_i, CurAir_i\}$$

μια εγγραφή ιστορικών στοιχείων στη βάση γνώσης του μοντέλου για τον χώρο $RoomCode_i$. Η αριθμητική τιμή του δείκτη θερμικής ποιότητας χώρου υπολογίζεται από την σχέση:

$$\Delta_{Temp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |CurTemp_i - SetTemp_i| \quad \forall record_i \quad \mu\epsilon \quad TimeStamp_i \geq setdate$$

όπου $setdate$ η χρονική στιγμή μετά από την οποία είναι επιθυμητό να υπολογιστεί ο δείκτης.

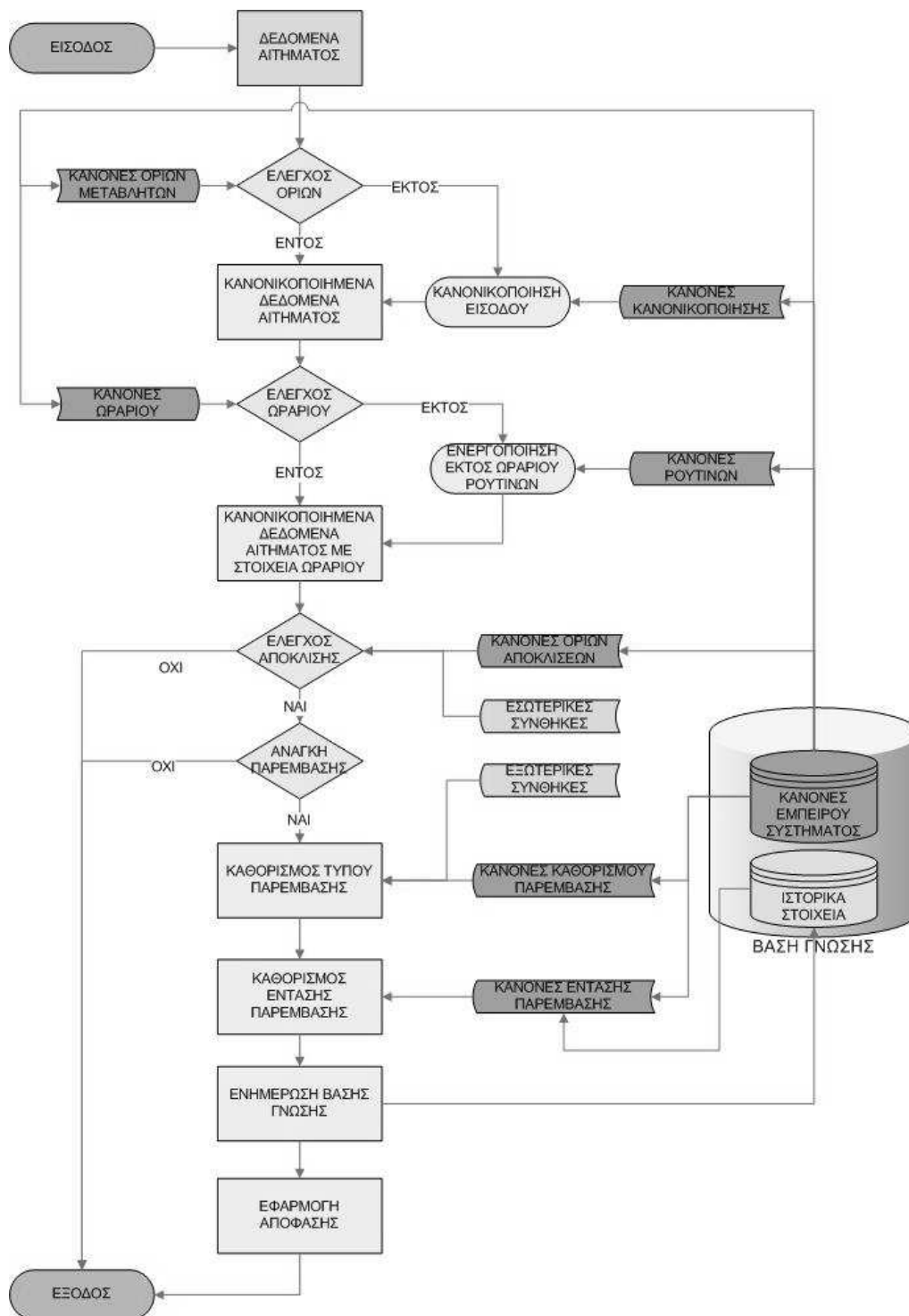
Αντίστοιχα, ο δείκτης ποιότητας αέρα χώρου υπολογίζεται από την σχέση:

$$\Delta_{Air} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |CurAir_i - normalAir| \quad \forall record_i \quad \mu\epsilon \quad TimeStamp_i \geq setdate$$

όπου $normalAir$ το επιθυμητό σταθερό επίπεδο της ποιότητας αέρα στον χώρο.

4.2.5 Συνολική παρουσίαση μεθοδολογίας ευφυούς ελέγχου

Ανακεφαλαιώνοντας και συνθέτοντας τα σημεία της προτεινόμενης μεθοδολογίας ευφυούς έλεγχου χώρων που παρουσιάστηκαν παρατίθεται το ακόλουθο λογικό διάγραμμα και η ανάλυσή του.



Σχήμα 36 - Μεθοδολογία ευφυούς ελέγχου

Στο προηγούμενο διάγραμμα έχει γίνει προσπάθεια περιγραφής της προτεινόμενης μεθοδολογίας με λογικά βήματα και με έμφαση στα σημεία όπου οι κανόνες ελέγχου εφαρμόζονται, από την στιγμή ενός αιτήματος ελέγχου ως την εφαρμογή της απόφασης που θα προκύψει.

Διατρέχοντας το διάγραμμα, σύμφωνα με τη ροή των δεδομένων, το πρώτο σημείο που χρήζει ανάλυσης είναι έλεγχος των ορίων των τιμών των μεταβλητών εισόδου. Το προκαθορισμένο εύρος των τιμών έχει υιοθετηθεί από την σύγχρονη βιβλιογραφία^{[2],[10],[11]} και αποτελεί ένα από τα βασικά μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα χώρο. Για παράδειγμα, τους καλοκαιρινούς μήνες η επιθυμητή θερμοκρασία δεν επιτρέπεται να είναι λιγότερο από 25 °C και οποιαδήποτε τιμή δεν είναι εντός ορίου κανονικοποιείται.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται έλεγχος για το χρονικό παράθυρο εισαγωγής του αιτήματος. Όταν το αίτημα βρίσκεται εντός ωραρίου, η διαδικασία συνεχίζεται χωρίς νέα δεδομένα. Στην περίπτωση που το αίτημα είναι εκτός ωραρίου, ενεργοποιούνται οι ρουτίνες διατήρησης, έναρξης ή τερματισμού λειτουργίας του κτιρίου. Η περιγραφή των ρουτινών αυτών πραγματοποιείται στο Παράρτημα 2 και παρέχεται η δυνατότητα μεταβολής τους ανάλογα με την πολιτική λειτουργίας του κτιρίου ή του συγκεκριμένου χώρου^[17]. Μετά την ενεργοποίηση των ρουτινών, η μεθοδολογία συνεχίζει να εφαρμόζεται με την προσθήκη των δεδομένων ωραρίου.

Ακολουθώντας την πορεία των κανονικοποιημένων, πλέον, δεδομένων το επόμενο στάδιο επεξεργασίας αφορά στον έλεγχο της απόκλισης των συνθηκών μέσα στο χώρο του κτιρίου και στις επιθυμητές συνθήκες του αιτήματος. Στο σημείο αυτό εισάγονται στη διαδικασία οι εσωτερικές συνθήκες του χώρου και εφαρμόζονται οι κανόνες ορίων αποκλίσεων. Αν η απόκλιση είναι μικρότερη από τα προδιαγεγραμμένα όρια η διαδικασία τερματίζεται. Σε αντίθετη περίπτωση ακολουθεί το επόμενο βήμα.

Ο εντοπισμός απόκλισης επιθυμητών και εσωτερικών συνθηκών οδηγεί στη διάγνωση ανάγκης παρέμβασης. Οι αντίστοιχοι κανόνες εφαρμόζονται στα δεδομένα και αν διαπιστωθεί ότι υφίσταται ανάγκη παρέμβασης στο χώρο η μεθοδολογία ελέγχου συνεχίζεται, αλλιώς, η διαδικασία τερματίζεται. Τα κατώφλια ελέγχου για τη διάγνωση ανάγκης παρέμβασης αποτελούν αρχικές παραμέτρους εισόδου της μεθοδολογίας και εξαρτώνται από τη ενεργειακή πολιτική που ακολουθείται στην διαχείριση του κτιρίου.

Συνεχίζοντας την πορεία των δεδομένων στα βήματα της μεθοδολογίας, στο σημείο αυτό, έχει πραγματοποιηθεί η κανονικοποίηση, ο έλεγχος ωραρίου και ο εντοπισμός απόκλισης και ανάγκης παρέμβασης στο χώρο. Οι κανόνες καθορισμού

του τύπου της παρέμβασης ενεργοποιούνται και εφαρμόζονται στα δεδομένα. Το σημείο αυτό είναι καίριο για την αποτελεσματικότητα της μεθοδολογίας γιατί επιλύονται τα θέματα των αντικρουόμενων στόχων όπως θέρμανση – ψύξη και εξαερισμός. Η κατεύθυνση αντιμετώπισης των θεμάτων αυτών, χωρίς υποβάθμιση της άνεσης στους χώρους του κτιρίου, πραγματοποιείται με ιεράρχηση των διαδικασιών ελέγχου και προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας με εκμετάλλευση των εξωτερικών συνθηκών, όπου είναι δυνατό^[18]. Η βάση γνώσης του έμπειρου συστήματος περιέχει υπό μορφή κανόνων, που παρουσιάστηκαν ήδη, την προτεινόμενη επίλυση του προβλήματος, αλλά, παρέχεται και η δυνατότητα αναθεώρησης και επανασύνταξης των κανόνων ανάλογα με τις απαιτήσεις και την πολιτική διαχείρισης του κτιρίου.

Ο καθορισμός του τύπου της παρέμβασης στο χώρο απαιτεί και την πληροφορία της έντασης της παρέμβασης για να ολοκληρωθεί η διαδικασία ελέγχου. Τα ιστορικά στοιχεία και η δυνατότητα εκμάθησης του μοντέλου συνδυάζονται με τα δεδομένα και καθορίζουν την ένταση της παρέμβασης ανάλογα με την συμπεριφορά του χώρου στους τομείς θερμικής άνεσης και καθαρότητας αέρα. Όπως είναι αναμενόμενο, χώροι με μη ικανοποιητικούς δείκτες απαιτούν εντονότερη παρέμβαση^[19] για τη διασφάλιση της άνεσης σε σχέση με περισσότερο δεκτικούς στις μεταβολές χώρους στους οποίους αρκεί ήπια παρέμβαση.

Τα τελευταία βήματα της μεθοδολογίας ελέγχου αφορούν στην ενημέρωση των ιστορικών στοιχείων της βάσης γνώσης και την εφαρμογή της απόφασης. Το αίτημα, οι συνθήκες και η απόφαση ελέγχου καταγράφονται ανά χώρο και θα χρησιμοποιηθούν αθροιστικά σε επόμενες κλίσεις της μεθοδολογίας. Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός του κτιρίου αναλαμβάνει να υλοποιήσει τις εντολές ελέγχου και ο κύκλος της μεθοδολογίας ελέγχου κλείνει.

4.3 Συνολικός Ενεργειακός Έλεγχος

4.3.1 Προτάσεις Ενεργειακής Βελτίωσης

Η μεθοδολογία συνολικού ενεργειακού ελέγχου αποτελεί ένα εργαλείο στρατηγικής αξιολόγησης των μέτρων που είναι δυνατό να εφαρμοστούν σε ένα συγκεκριμένο κτίριο με σκοπό την ενεργειακής βελτίωσή του και την προστασία του περιβάλλοντος^[20]. Οι προτάσεις αυτές αποτελούν ένα σύνολο παρεμβάσεων στον εξοπλισμό και το κέλυφος του κτιρίου και συνοδεύονται από οικονομικά στοιχεία για την αξιολόγησή τους.

Το μοντέλο της πρότασης που χρησιμοποιεί η προτεινόμενη μεθοδολογία φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΠΡΟΤΑΣΗ	
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΤΑΣΗΣ	
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	
ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	
ΕΤΗ	
ΕΠΙΤΟΚΙΟ	
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΑ ΕΤΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
	ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ
	ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
	ΟΦΕΛΗ CO ₂

Πίνακας 22 - Μοντέλο πρότασης

Οι προτάσεις χωρίστηκαν σε τέσσερις κατηγορίες φωτισμού, ψύξης – θέρμανσης, ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και γενικές προτάσεις. Επιπλέον, με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με την εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα της εξοικονόμησης ενέργειας ορίζονται οι επιμέρους δυνατές προτάσεις – επενδύσεις^{[10],[21],[22]} που είναι διαθέσιμες σε ένα τυπικό κτίριο.

Με βάση τα παραπάνω, μια ομάδα προτάσεων για ένα τυπικό κτίριο σήμερα παρουσιάζεται στον παρακάτω:

A/A	Τίτλος
Π₁	Προτάσεις Φωτισμού
Π _{1.1}	Αντικατάσταση «ballast» λαμπτήρων με νέα αποδοτικότερα και υψηλότερης συχνότητας.
Π _{1.2}	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού.
Π _{1.3}	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερα φωτιστικά σώματα με νέα με στραγγαλιστικά πηνία.
Π _{1.4}	Αντικατάσταση υπαρχόντων φωτιστικών σωμάτων διαμέτρων 26 mm με σύγχρονους διαμέτρου 16 mm.
Π _{1.5}	Εγκατάσταση και χρήση κατάλληλων διατάξεων σκίασης για την εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού.
Π _{1.6}	Εγκατάσταση «μοτέρ» για την αυτοματοποίηση των υπαρχόντων διατάξεων σκίασης.
Π _{1.7}	Επανασχεδιασμός και υλοποίηση εγκατάστασης φωτισμού.
Π _{1.8}	Εγκατάσταση - επαναπρογραμματισμός συστημάτων ελέγχου της έντασης του φωτισμού («step control», «analogue control»).
Π₂	Προτάσεις Ψύξης - Θέρμανσης
Π _{2.1}	Αντικατάσταση υπαρχόντων παλιών καυστήρων και λεβήτων για παραγωγή θερμότητας με νέους αποδοτικότερους.
Π _{2.2}	Επισκευή – αντικατάσταση του συστήματος διανομής ζεστού νερού για την αποφυγή απωλειών με στόχο τη βελτίωση του συστήματος διανομής ψύξης-θέρμανσης.
Π _{2.3}	Εγκατάσταση συστήματος αυτομάτου ελέγχου καύσης.
Π _{2.4}	Εγκατάσταση ρυθμιστών στροφών (Variable Speed Drivers - VSD) σε ανεμιστήρες και αντλίες.
Π _{2.5}	Επισκευή – αντικατάσταση μόνωσης στο δίκτυο θέρμανσης - ψύξης με στόχο τον περιορισμό των απωλειών.
Π _{2.6}	Επισκευή – αντικατάσταση θερμοστατικών διακοπών.
Π _{2.7}	Εγκατάσταση κεντρικού συστήματος ελέγχου των συστημάτων ψύξης – θέρμανσης.
Π _{2.8}	Εγκατάσταση μετρητικά συστήματα για την παρακολούθηση και καταγραφή της ποιότητας του αέρα, μέσω της μέτρησης της συγκέντρωσης σωματιδίων και CO ₂ .
Π _{2.9}	Εγκατάσταση καταγραφικών - μετρητικών συστημάτων, για τη παρακολούθηση και καταγραφή των ενεργειακών μεγεθών με στόχο τον έλεγχο όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν την απόδοση των ψυκτικών εγκαταστάσεων.
Π _{2.10}	Εγκατάσταση εναλλακτών θερμότητας αέρα – νερού, με στόχο τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης του λέβητα.
Π _{2.11}	Αντικατάσταση πύργων ψύξης με νέους υψηλής απόδοσης.
Π _{2.12}	Συντήρηση συστήματος ψύξης.
Π _{2.13}	Αντικατάσταση ψυκτών με νέους υψηλής απόδοσης.
Π _{2.14}	Εισαγωγή φυσικού αερίου με ταυτόχρονη αντικατάσταση του λέβητα για κάλυψη θερμικών αναγκών.
Π _{2.15}	Εισαγωγή φυσικού αερίου για ψύξη με απορρόφηση.
Π₃	Προτάσεις Ηλεκτρομηχανολογικού Εξοπλισμού
Π _{3.1}	Έλεγχος και αλλαγή τιμολογίου.
Π _{3.2}	Εγκατάσταση αυτόματου συστήματος διόρθωσης του συντελεστή ισχύος μέσω αντιστάθμισης, με την παράλληλη ζεύξη πυκνωτών.
Π _{3.3}	Συντήρηση – αντικατάσταση των συμπιεστών αέρα.
Π _{3.4}	Εισαγωγή διατάξεων ομαλής εκκίνησης κινητήρα («soft starters»).
Π _{3.5}	Επισκευή – αντικατάσταση του συστήματος δημιουργίας πεπιεσμένου αέρα για την αποφυγή απωλειών.

Π _{3.6}	Αναβάθμιση των μετασχηματιστών ή αυτομετασχηματιστών στο δίκτυο διανομής ισχύος μιας εγκατάστασης.
Π _{3.7}	Τοπογραφική βελτίωση των κυκλωμάτων στο δίκτυο διανομής ισχύος μιας εγκατάστασης.
Π _{3.8}	Μόνιμο σύστημα αναλυτικής καταγραφής ηλεκτρικών καταναλώσεων.
Π ₄	Γενικές Προτάσεις
Π _{4.1}	Εγκατάσταση συστήματος συμπαγωγής ηλεκτρισμού – θερμότητας.
Π _{4.2}	Εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων για θέρμανση νερού (ηλιακοί θερμοσίφωνες).
Π _{4.3}	Εγκατάσταση ηλιοθερμικών συστημάτων για ψύξη - κλιματισμό (προσρόφησης, απορρόφησης, αφύγρανσης).
Π _{4.4}	Αποθήκευση και παραγωγή ενέργειας με συσσωρευτές και γεννήτριες (UPS) σε συνδυασμό με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.
Π _{4.5}	Εγκατάσταση παγοδεξαμενών για τον κλιματισμό με ταυτόχρονη χρήση νυχτερινού τιμολογίου.
Π _{4.6}	Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων για μερική κάλυψη ηλεκτρικού φορτίου.
Π _{4.7}	Εγκατάσταση ανεμογεννητριών για μερική κάλυψη ηλεκτρικού φορτίου.
Π _{4.8}	Εγκατάσταση γεωθερμικών συστημάτων (αντλία θερμότητας) για ψύξη - κλιματισμό.
Π _{4.9}	Εγκατάσταση συστημάτων υβριδικής μορφής γεωθερμίας με ηλιοθερμικά συστήματα για ψύξη - κλιματισμό.
Π _{4.10}	Εγκατάσταση συστημάτων βιομάζας (καύση ξύλου) για θέρμανση.
Π _{4.11}	Εγκατάσταση συστημάτων υβριδικής μορφής βιομάζας με ηλιοθερμικά συστήματα για θέρμανση.
Π _{4.12}	Στεγανοποίηση ανοιγμάτων διαφυγής θερμότητας.
Π _{4.13}	Αντικατάσταση υαλοπινάκων.
Π _{4.14}	Εγκατάσταση θερμομόνωσης οροφής, δαπέδων, pilotis και θερμογεφυρών (υποστυλώματα, δοκοί, τοιχία κλπ.)
Π _{4.15}	Προσθήκη θερμομονωτικού στρώματος σε τμήματα της εξωτερικής τοιχοποιίας που βρίσκονται πίσω από θερμαντικά στρώματα κεντρικής θέρμανσης.
Π _{4.16}	Εγκατάσταση συστήματος αντηλιακής προστασίας (θερμομονωτικές μεμβράνες ή κουρτίνες).
Π _{4.17}	Επισκευή συστήματος αντηλιακής προστασίας.

Πίνακας 23 - Προτάσεις τυπικού κτιρίου

Το σύνολο αυτό είναι ενδεικτικό αν και καλύπτει με μεγάλη πληρότητα τις σύγχρονες απαιτήσεις ενός κτιρίου. Η μεθοδολογία, πάντως, δεδομένης της μοντελοποίησης που παρουσιάστηκε, υποστηρίζει και πιθανές νέες προτάσεις.

4.3.2 Δείκτες Κτιρίου - Πρότυποι Δείκτες

Οι δείκτες ενεργειακής κατανάλωσης^[23] στο κτίριο ακολουθούν την κατηγοριοποίηση των προτάσεων. Έτσι, χρησιμοποιούνται δείκτες φωτισμού, ψύξης – θέρμανσης, ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και γενικές προτάσεις (ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, φυσικό αέριο κ.α.) για όλους τους χώρους του κτιρίου.

Συγκεκριμένα, η ομάδα δεικτών αποτελείται από τους ακόλουθους δείκτες στην μορφή KW ανά m² :

- **Δ₁:** Κατανάλωση Φωτισμού / Επιφάνεια Εξεταζόμενου Χώρου
- **Δ₂:** Κατανάλωση Ψύξης – Θέρμανσης / Επιφάνεια Εξεταζόμενου Χώρου
- **Δ₃:** Κατανάλωση Ηλεκτρομηχανολογικού Εξοπλισμού / Επιφάνεια Εξεταζόμενου Χώρου
- **Δ₄:** Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας / Επιφάνεια Κτιρίου

Οι τιμές των παραπάνω δεικτών για το κτίριο ή το χώρο του κτιρίου που είναι υπό έλεγχο προσδιορίζονται από την αναλυτική καταγραφή λειτουργίας της βάσης γνώσης της μεθοδολογίας ευφυούς ελέγχου. Στη συνέχεια, μέσω της σύγκρισης τους με πρότυπους δείκτες^[24] γίνεται η διαμόρφωση των προτεραιοτήτων. Συγκεκριμένα, για τη διαμόρφωση λίστας προτεραιοτήτων, οι ενεργειακοί δείκτες του κτιρίου συγκρίνονται με πρότυπους ενεργειακούς δείκτες – δείκτες ομοειδών μονάδων πρότυπης κατασκευής και/ ή ορθολογικής χρήσης της ενέργειας, όπως αυτοί έχουν προκύψει από μετρήσεις ή θεωρητικούς υπολογισμούς για δείγμα κτιρίων διαφόρων κατηγοριών.

Μέσα από αυτή τη σύγκριση καθίσταται πληρέστερη η κατανόηση της ορθολογικής ή μη χρήσης της ενέργειας από την υπό μελέτη κτιριακή εγκατάσταση^[25].

Στον παρακάτω πίνακα, ενδεικτικά, καταγράφονται οι τιμές της ειδικής κατανάλωσης ενέργειας σε ετήσια βάση, που έχουν προκύψει με βάση αποτελέσματα μελετών σε ένα ευρύ φάσμα κτιρίων γραφείων στην Ελλάδα, καθώς και τα αντίστοιχα όρια απόδοσης των δεικτών για τις κατηγορίες Φωτισμού, Ψύξης – Θέρμανσης και Ηλεκτρομηχανολογικού Εξοπλισμού^[26].

Πρότυποι Δείκτες									
		Καλός	Ικανοποιητικός		Μέτριος		Αδύναμος		Πολύ Αδύναμος
		< από	από	έως	από	έως	από	έως	>
Συνολικά									
	GJ/m ² kWh/m ²	0,4 100	0,4 100	0,5 150	0,5 150	0,7 200	0,7 200	0,9 250	0,9 250
Επιμέρους Καταναλώσεις									
Φωτισμός	kWh/m ²	15	15	23	23	30	30	38	38
ΗΜ	kWh/m ²	25	25	38	38	50	50	63	63
Ψύξη/Θέρμανση	kWh/m ²	60	60	90	90	120	120	150	150
Φωτισμός	GJ/m ²	0,05	0,05	0,08	0,08	0,11	0,11	0,14	0,14
ΗΜ	GJ/m ²	0,09	0,09	0,14	0,14	0,18	0,18	0,23	0,23
Ψύξη/Θέρμανση	GJ/m ²	0,22	0,22	0,32	0,32	0,43	0,43	0,54	0,54

Πίνακας 24 - Πρότυποι ενεργειακοί δείκτες

Όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα, το μεγαλύτερο ποσοστό της κατανάλωσης ενέργειας καταλαμβάνει η ψύξη/ θέρμανση (60%), ενώ ο φωτισμός και ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός κυμαίνονται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα (15% και 25% αντίστοιχα).

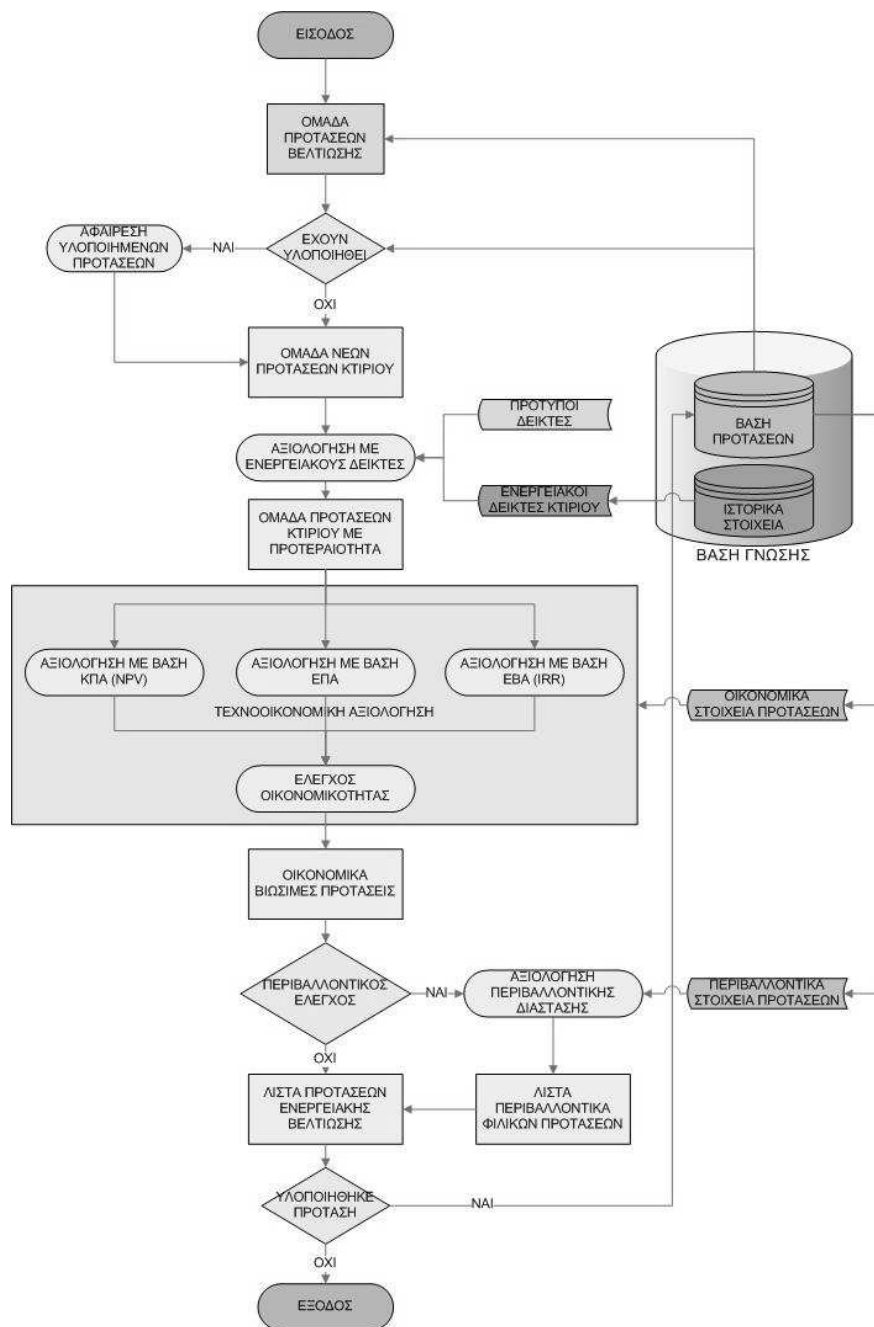
4.3.3 Αξιολόγηση Προτάσεων

Οι εξεταζόμενες προτάσεις ελέγχονται, στη συνέχεια, για την οικονομική τους αποδοτικότητα, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα ενεργειακά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου κτιρίου, όσο και τις σχετιζόμενες εξωτερικές παραμέτρους, όπως είναι το επιτόκιο, οι τιμές καυσίμων, το κόστος εξοπλισμού, η υπολειμματική αξία του εξοπλισμού κλπ. Οι τρεις έλεγχοι με τους οποίους εξετάζεται η βιωσιμότητα^[27] της κάθε πιθανής πρότασης είναι ο έλεγχος της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ), ο έλεγχος της Έντοκης Περιόδου Αποπληρωμής (ΕΠΑ) και ο έλεγχος του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (ΕΒΑ). Εάν η βιωσιμότητα της πιθανής πρότασης απορριφθεί και από τους τρεις παραπάνω ελέγχους η διαδικασία οδηγείται στην εξέταση της επόμενης πιθανής πρότασης. Με αυτό τον τρόπο η διαδικασία καταλήγει σε τρεις λίστες προτάσεων αντίστοιχες με τους ελέγχους που έγιναν.

Στη συνέχεια, η διαδικασία οδηγείται στη διεξαγωγή ενός επιπλέον ελέγχου που έχει να κάνει με τις περιβαλλοντικές επιδόσεις της πρότασης. Ο έλεγχος είναι προαιρετικός και αφορά στη δυνατότητα αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της εξεταζόμενης πρότασης μέσω της σύνδεσης της πρότασης με τα σχετιζόμενα ενεργειακά χαρακτηριστικά του κτιρίου και με τις σχετιζόμενες εξωτερικές παραμέτρους. Οι παράμετροι αυτοί έχουν να κάνουν κυρίως με τις εξελίξεις αλλά και τις ευκαιρίες της κλιματικής αλλαγής, λαμβάνοντας υπόψη την τιμή του άνθρακα, τους συντελεστές εκπομπών κ.α. Εάν η εξεταζόμενη πρόταση περάσει τον συγκεκριμένο έλεγχο τότε θεωρείται περιβαλλοντικά φιλική πρόταση και ενσωματώνεται στην τελευταία (τέταρτη κατά σειρά) λίστα προτάσεων.

4.3.4 Συνολική παρουσίαση μεθοδολογίας ενεργειακού ελέγχου

Τα σημεία της προτεινόμενης μεθοδολογίας συνολικού ενεργειακού ελέγχου τα οποία αναλύθηκαν αποτελούν τα βασικά βήματα του λογικού διαγράμματος που ακολουθεί. Στο διάγραμμα αυτό παρουσιάζονται και στη συνέχεια αναλύονται όλα τα βήματα της μεθοδολογίας ακολουθώντας την ροή των δεδομένων και των υπολογιστικών διαδικασιών.



Σχήμα 37 - Μεθοδολογία ενεργειακού ελέγχου

Η μεθοδολογία κατά την εκκίνησή της λαμβάνει ως είσοδο την ομάδα προτάσεων ενεργειακής βελτίωσης του κτιρίου συνολικά ή του χώρου ο οποίος θα εξετασθεί. Η αρχική ομάδα προτάσεων υπόκειται στον πρώτο έλεγχο ο οποίος εξετάζει αν κάποια από τις προτάσεις έχει ήδη υλοποιηθεί. Οι προτάσεις που έχουν υλοποιηθεί αφαιρούνται από το αρχικό σύνολο και οι εναπομείναντες προτάσεις μεταφέρονται στο επόμενο βήμα.

Οι νέες προτάσεις μετά την αφαίρεση των υλοποιημένων εξετάζονται και λαμβάνουν προτεραιότητες με βάση τους δείκτες του κτιρίου και τους πρότυπους δείκτες. Οι τιμές των δεικτών του κτιρίου υπολογίζονται από την καταγραφή της λειτουργίας του κτιρίου ενώ οι πρότυποι δείκτες προέρχονται από σύγχρονα στατιστικά στοιχεία και μελέτες για την κατανομή της καταναλισκόμενης ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Οι προτάσεις των οποίων οι δείκτες κτιρίου που παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόκλιση από τους πρότυπους προς το χειρότερο αποκτούν και την πιο υψηλή προτεραιότητα.

Οι ελεγχόμενες προτάσεις με τις προτεραιότητές τους αξιολογούνται, στη συνέχεια, με τεchnοοικονομικά κριτήρια. Οι τρεις έλεγχοι που πραγματοποιούνται σε αυτό το στάδιο της μεθοδολογίας αφορούν στην Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ), στον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης (ΕΒΑ) και στην Έντοκη Περίοδο Αποπληρωμής. Τα οικονομικά στοιχεία των υπό έλεγχο προτάσεων προέρχονται από την βάση γνώσης της μεθοδολογίας. Οι προτάσεις που έχουν $KPA < 0€$ ή $EBA < 5\%$ ή $EPA > 10$ έτη δεν θεωρούνται βιώσιμες και απορρίπτονται.

Οι υπόλοιπες προτάσεις που θεωρούνται βιώσιμες από τον οικονομικό έλεγχο υπόκεινται και σε προαιρετικό περιβαλλοντικό έλεγχο. Ο περιβαλλοντικός έλεγχος συνυπολογίζει κατά τον υπολογισμό το ετήσιο όφελος από τη ροή άνθρακα, όπως αυτό έχει ήδη οριστεί. Η περιβαλλοντική διάσταση των ελεγχόμενων προτάσεων δεν μπορεί να μεταβάλει την βιωσιμότητά τους δικαιολογώντας τον προαιρετικό χαρακτήρα του ελέγχου αυτού και το γεγονός ότι έπεται του οικονομικού ελέγχου.

Ολοκληρώνοντας τον κύκλο της η προτεινόμενη μεθοδολογία, ενημερώνει την βάση γνώσης για πιθανώς υλοποιημένες προτάσεις και παράγει τέσσερις λίστες οικονομικά βιώσιμων προτάσεων ενεργειακής βελτίωσης του κτιρίου ή ενός χώρου του, ταξινομημένες ανά οικονομικό και ενεργειακό όφελος. Οι λίστες αυτές αποτελούν τον βασικό οδηγό του αποφασίζοντα ο οποίος χρησιμοποιεί την μεθοδολογία για τον συνολικό ενεργειακό έλεγχο ενός σύγχρονου κτιρίου.

Βιβλιογραφία

- [1] Kenneth P. Burnham, David R. Anderson (2002), "Model selection and multimodel inference : a practical information-theoretic approach", New York, Springer , c2002
- [2] ASHRAE (2005), "Fundamentals Handbook", ASHRAE
- [3] ASHRAE (2008), "HVAC Systems and Equipment Handbook", ASHRAE
- [4] P.A. Strachan (2008), "Building and Environment, Volume 43, Issue 2, February 2008, Pages 228-236", Building and Environment, Volume 43, Issue 2, February 2008, Pages 228-236
- [5] Andrey Rozhentsev (2008), "Refrigerating machine operating characteristics under various mixed refrigerant mass charges", International Journal of Refrigeration, Volume 31, Issue 7, November 2008, Pages 1145-1155
- [6] Michele Albieri, Alessandro Beghi, Cristian Bodo, Luca Cecchinato (2008), "Advanced control systems for single compressor chiller units", International Journal of Refrigeration, In Press
- [7] Harris Poirazis, Åke Blomsterberg, Maria Wall (2008), "Energy simulations for glazed office buildings in Sweden", Energy and Buildings, Volume 40, Issue 7, 2008, Pages 1161-1170
- [8] Alexis Tsoukiàs (2008), "From decision theory to decision aiding methodology", European Journal of Operational Research, Volume 187, Issue 1, 16 May 2008, Pages 138-161
- [9] Yingxu Wang, Vincent Chiew (2008), "On the cognitive process of human problem solving", Cognitive Systems Research, In Press
- [10] ASHRAE (2005), "Application Handbook", ASHRAE
- [11] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (2008), "Τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια", Εκδόσεις ΚΑΠΕ
- [12] Franz J.Kurfess (2004), "Artificial Intelligence", Encyclopedia of Physical Science and Technology, 2004, Pages 609-629
- [13] Michael Donn (2001), "Tools for quality control in simulation", Building and Environment, Volume 36, Issue 6, July 2001, Pages 673-680
- [14] Manuel Correia Guedes, Luís Matias, Carlos Pina Santos (2009), "Thermal comfort criteria and building design: Field work in Portugal", Renewable Energy, Volume 34, Issue 11, November 2009, Pages 2357-2361
- [15] Frédéric Haldi, Darren Robinson (2008), "On the behaviour and adaptation of office occupants", Building and Environment, Volume 43, Issue 12, December 2008, Pages 2163-2177

[16] Mahmoud Bady, Shinsuke Kato, Hong Huang (2008), "Towards the application of indoor ventilation efficiency indices to evaluate the air quality of urban areas", *Building and Environment*, Volume 43, Issue 12, December 2008, Pages 1991-2004

[17] J. Toftum, R.V. Andersen, K.L. Jensen (2009), "Occupant performance and building energy consumption with different philosophies of determining acceptable thermal conditions", *Building and Environment*, Volume 44, Issue 10, October 2009, Pages 2009-2016

[18] J. A. Clarke, J. Cockroft, S. Conner, J. W. Hand, N. J. Kelly, R. Moore, T. O'Brien, P. Strachan (2002), "Simulation-assisted control in building energy management systems", *Energy and Buildings*, Volume 34, Issue 9, October 2002, Pages 933-940

[19] Chungyoon Chun, Alison Kwok, Teruaki Mitamura, Norie Miwa, Akihiro Tamura (2008), "Thermal diary: Connecting temperature history to indoor comfort", *Building and Environment*, Volume 43, Issue 5, May 2008, Pages 877-885

[20] B. Caudana, F. Conti, G. Helcke, R. Pagani (1995), "A prototype expert system for large scale energy auditing in buildings", *Pattern Recognition*, Volume 28, Issue 10, October 1995, Pages 1467-1475

[21] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (2001), "Οδηγοί Εξοικονόμησης Ενέργειας", Εκδόσεις ΚΑΠΕ

[22] ΕΜΠ (2005), "Σημειώσεις Διαχείρισης Ενέργειας και Περιβαλλοντική Πολιτική, Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών ΕΜΠ", ΕΜΠ

[23] Patterson M. G., (1996), "What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues", *Energy Policy*, Volume 24, Issue 5, 377-390.

[24] Joseph P. Martino (2005), "The economics of technology diffusion and energy efficiency", *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 72, Issue 9, November 2005, Pages 1155-1156

[25] Katharina Kowalski, Sigrid Stagl, Reinhard Madlener, Ines Omann (2009), "Sustainable energy futures: Methodological challenges in combining scenarios and participatory multi-criteria analysis", *European Journal of Operational Research*, Volume 197, Issue 3, 16 September 2009, Pages 1063-1074

[26] Χ. ΠΙΠΠΟΣ (2004), "Η πολιτική της Ε. Ένωσης για τις ΑΠΕ και την Εξοικονόμηση Ενέργειας στον κτιριακό τομέα – Η Κοινοτική Οδηγία 2002/91/ΕΚ για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (EPBD)", Διημερίδα ΚΑΠΕ: Νέες προοπτικές για την ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής πολιτικής, Αθήνα, 14-15.10.2004

[27] Weston J. F., Brigham E. F. (1986), "Βασικές αρχές της χρηματοοικονομικής διαχείρισης και πολιτικής", Εκδόσεις Παπαζήση

5.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος και Τεχνολογία

Η μεθοδολογία που υποστηρίζεται στο πλαίσιο της διατριβής υλοποιήθηκε υπό τη μορφή πληροφοριακού συστήματος και εφαρμόστηκε πιλοτικά σε κτίριο γραφείων. Ως προγραμματιστική πλατφόρμα ανάπτυξης το πληροφοριακό σύστημα χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα .NET 2005 της Microsoft, μία σύγχρονη πλατφόρμα, που φέρει την πλήρη υποστήριξη και προώθηση της Microsoft. Διαθέτει πολλά εξελιγμένα εργαλεία και βιβλιοθήκες κατασκευής λογισμικού, επικοινωνεί με όλα τα είδη βάσεων δεδομένων και υποστηρίζει 4 διαφορετικές γλώσσες προγραμματισμού (C#, C++, Visual Basic, J#)^[1]. Οι εφαρμογές μπορούν να αναπτυχθούν σε οποιαδήποτε από αυτές τις γλώσσες ή και με συνδυασμό αυτών ανά τμήματα. Ο συνδυασμός των ανωτέρω παραγόντων υπεροχής της πλατφόρμας .NET θα καταστήσει το σύστημα σύγχρονο, αξιόπιστο, επεκτάσιμο και ευέλικτο.

Μολονότι η ευελιξία της πλατφόρμας .NET επιτρέπει τη συγγραφή του κώδικα της εκάστοτε εφαρμογής σε οποιαδήποτε από τις 4 υποστηριζόμενες γλώσσες προγραμματισμού, για την υλοποίηση του συστήματος, ο πηγαίος κώδικας έχει γραφεί αποκλειστικά Visual Basic^[2].

Η ανάγκη αποθήκευσης και επεξεργασίας του μεγάλου όγκου των δεδομένων της μεθοδολογίας οδήγησε στην χρήση του SQL Server 2000^[3] ως διαχειριστικού συστήματος βάσεων δεδομένων. Η επιλογή αυτή δίνει και το πρόσθετο πλεονέκτημα ότι, όντας και η πλατφόρμα ανάπτυξης .NET και ο SQL Server 2000 εργαλεία της Microsoft, η συμβατότητα στην επικοινωνία μεταξύ τους είναι εγγυημένη και αξιόπιστη.

Η μηχανή συμπερασμού της μεθοδολογίας ευφυούς ελέγχου χώρων κτιρίου βασίστηκε στο έμπειρο σύστημα CLIPS^[4]. Το CLIPS είναι ένα εργαλείο εφαρμογής εμπειρών συστημάτων το οποίο αναπτύχθηκε από τον κλάδο τεχνολογίας λογισμικού της NASA^[5]. Από την πρώτη έκδοσή του, το 1986, έχει υποστεί συνεχή βελτίωση και τώρα χρησιμοποιείται ευρέως ανά την υφήλιο.

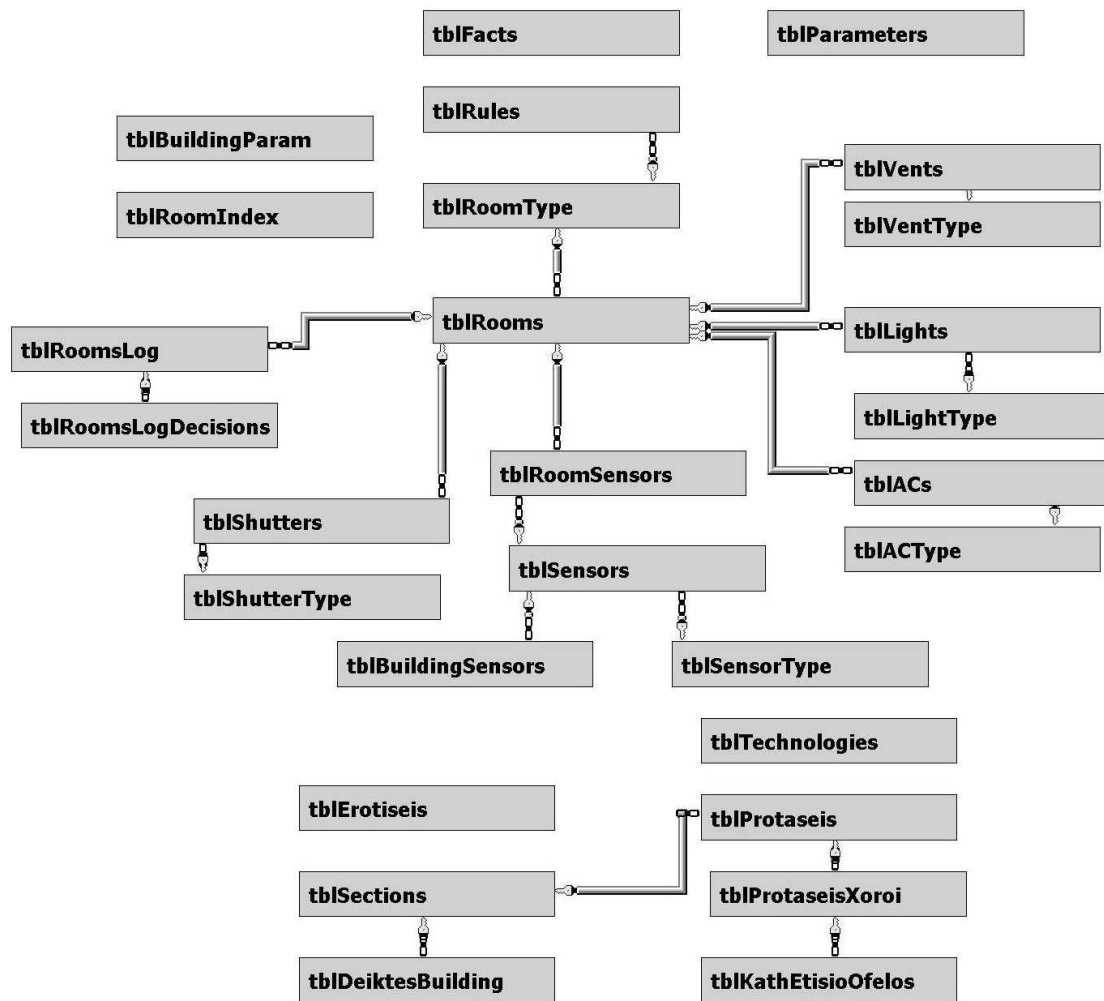
Το CLIPS σχεδιάστηκε για να βοηθήσει στην ανάπτυξη λογισμικού με σκοπό την μοντελοποίηση την ανθρώπινης γνώσης και εμπειρίας, στοιχείο που το κατέστησε ιδανικό για την ενσωμάτωσή του στο υποσύστημα απόφασης.

Υπάρχουν τρεις τρόποι αναπαράστασης της γνώσης στο CLIPS.

- Κανόνες, οι οποίοι κυρίως χρησιμοποιούνται για ευρετική γνώση βασισμένη σε εμπειρία.
- Συναρτήσεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται για εξαγωγή υπολογιζόμενης γνώσης.
- Αντικειμενοστραφής προγραμματισμός, ο οποίος επίσης χρησιμοποιείται κυρίως για δημιουργία υπολογιζόμενης γνώσης. Το CLIPS υποστηρίζει τα πέντε γενικά αποδεκτά χαρακτηριστικά του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού, κλάσεις, χειρισμό μηνυμάτων, αφαίρεση, ενθυλάκωση, κληρονομικότητα και πολυμορφισμό.

Το βασικό χαρακτηριστικό του CLIPS είναι ότι αποτελεί ένα πλήρες περιβάλλον σχεδιασμού και ανάπτυξης έμπειρων συστημάτων. Ο πυρήνας του CLIPS, ο οποίος και χρησιμοποιήθηκε στην υλοποίηση του συστήματος εκτελεί πράξεις λογικής και συμπερασμού εφαρμόζοντας τους κανόνες ελέγχου και λειτουργίας. Επίσης, στο πλήρες πακέτο του λογισμικού περιλαμβάνεται και ένας κειμενογράφος ο οποίος δεν χρησιμοποιήθηκε γιατί τα δεδομένα προς τον πυρήνα του συστήματος διαβιβάστηκαν προγραμματιστικά.

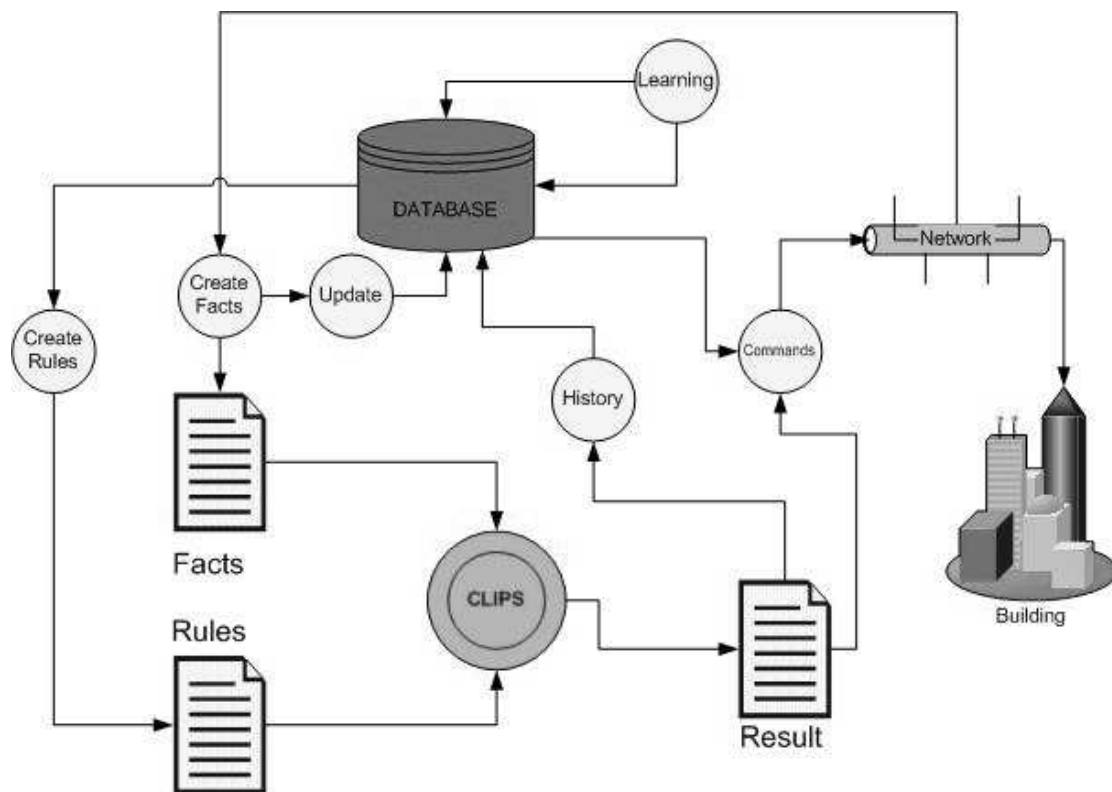
Οι μοντελοποιήσεις, οι βάσεις γνώσης και οι βάσεις λειτουργίας της μεθοδολογίας ενοποιήθηκαν σε μια ενιαία βάση δεδομένων^[6]. Οι προγραμματιστικές οντότητες του συστήματος που αναπτύχθηκε επικοινωνούν με την βάση επιτελώντας τις προκαθορισμένες από την μεθοδολογία λειτουργίες^[7]. Το διάγραμμα οντοτήτων συσχετίσεων της συνολικής βάσης δεδομένων παρουσιάζεται στη συνέχεια.



Σχήμα 38 - Ενοποιημένη βάση δεδομένων

5.2 Σύστημα Ευφυούς Ελέγχου Χώρων Κτιρίου

Η μεθοδολογία ευφυούς ελέγχου χώρων κτιρίου υλοποιήθηκε με τα προγραμματιστικά εργαλεία που αναφέρθηκαν. Η αρχιτεκτονική και οι ροές δεδομένων του συστήματος ευφυούς ελέγχου χώρων παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



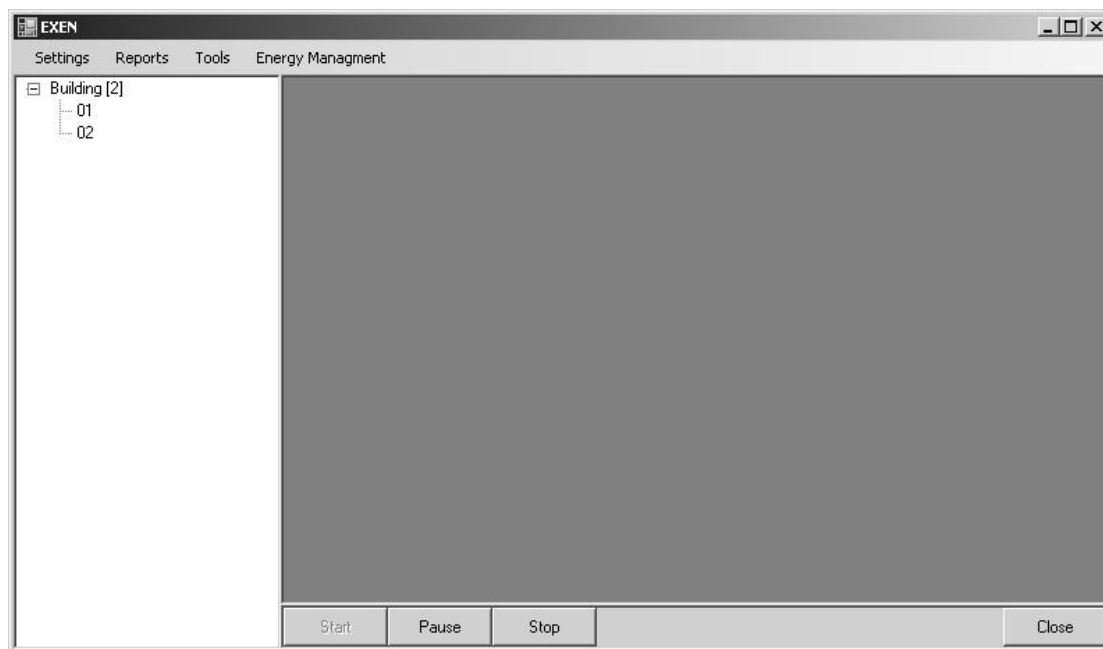
Σχήμα 39 - Αρχιτεκτονική συστήματος ελέγχου χώρων

Στο σχήμα που προηγήθηκε φαίνεται η διασύνδεση της ενοποιημένης βάσης με τον πυρήνα του έμπειρου συστήματος CLIPS και το δίκτυο του κτιρίου. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι η προγραμματιστική υλοποίηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας έχει πραγματοποιηθεί με στόχο την εύκολη εφαρμογή της σε κτίρια με υπάρχουσα δικτύωση. Το γεγονός αυτό αναδεικνύεται και από την ελαχιστοποίηση των διεπαφών του συστήματος με το δίκτυο του κτιρίου όπως φαίνεται και στο σχήμα.

Συνεχίζοντας την παρουσίαση του συστήματος που βασίστηκε στη προτεινόμενη μεθοδολογία ευφυούς ελέγχου χώρων πραγματοποιείται σύντομη και περιεκτική αναφορά στις γραφικές οθόνες του και ανάλυση των λειτουργιών που επιτελούνται.

Κύρια οθόνη

Η κύρια οθόνη του συστήματος περιέχει τρεις βασικές περιοχές. Την περιοχή δενδρικής απεικόνισης του κτιρίου, την περιοχή των επιλογών λειτουργιών (menu) και την περιοχή εμφάνισης των οθονών έχουν ζητηθεί από τον χρήστη. Επίσης, στο κατώτερο μέρος της κεντρικής οθόνης έχουν τοποθετηθεί οι βασικές λειτουργίες εκκίνησης, παύσης και τερματισμού της διαδικασίας ελέγχου και, φυσικά, τερματισμού της εφαρμογής. Η μορφή της κεντρικής οθόνης του συστήματος φαίνεται στη συνέχεια.



Σχήμα 40 - Βασική οθόνη συστήματος

Οθόνες παραμετροποίησης

Η μοντελοποίηση της μεθοδολογίας που παρουσιάστηκε και οι παράμετροι που ορίστηκαν διαμόρφωσαν τις οθόνες παραμετροποίησης του συστήματος ευφυούς ελέγχου. Οι οθόνες αυτές παρέχουν τη δυνατότητα ηλεκτρονικής καταχώρησης των στοιχείων του υπό έλεγχο κτιρίου, ορισμού τύπων χώρων – ζωνών ελέγχου και ορισμού χώρων – ζωνών ελέγχου και συσκευών και των παραμέτρων τους. Επιγραμματικά, παρουσιάζονται οι οθόνες αρχικής παραμετροποίησης του συστήματος.

Edit Room Types

Room Type ID	Description	Start Time	End Time	Starting Time	Ending Time	Lights Off Time	MAX Summer Temp	MIN Summer Temp	MAX Winter Temp
1	Office	30/12/1899 9:00...	30/12/1899 5:00...	30/12/1899 8:00...	30/12/1899 4:00...	10	28	24	27
2	Meeting Room	30/12/1899 9:00...	30/12/1899 5:00...	30/12/1899 8:00...	30/12/1899 4:00...	10	28	24	27
3	Common	30/12/1899 9:00...	30/12/1899 5:00...	30/12/1899 8:00...	30/12/1899 4:00...	50	28	24	27
▶ 4	Server Room	30/12/1899 9:00...	30/12/1899 5:00...	30/12/1899 8:00...	30/12/1899 4:00...	0	28	24	27
✱									

Save Close

Σχήμα 41 - Οθόνη ορισμού τύπων χώρων - ζωνών

Edit Rooms

Room ID	Type	Volume	Orientation
01	Office ▼	150	5
02	Meeting Room ▼	200	5
▶✱	▼		

Save Close

Σχήμα 42 - Οθόνη ορισμού χώρων - ζωνών

Devices

Room: 01 Room Type: Office

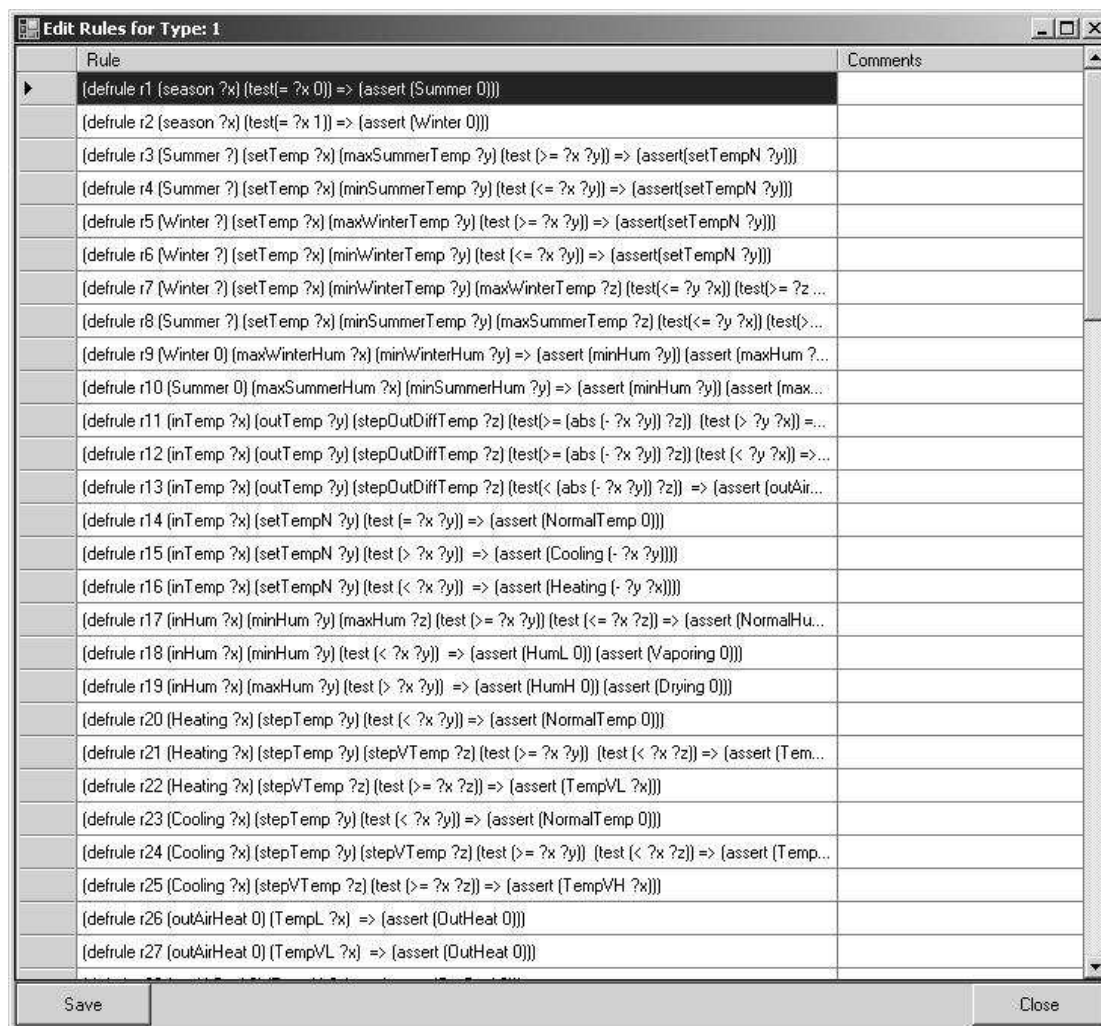
Device ID	Type	Watt	Capacity
01	AC	1000	9000
▶✱			

Save Close

Σχήμα 43 - Οθόνη ορισμού συσκευών σε χώρους – ζώνες ελέγχου

Οθόνη σύνταξης κανόνων λειτουργίας

Στο πλαίσιο τη παραμετροποίησης και δημιουργίας της βάσης γνώσης της μεθοδολογίας το σύστημα προσφέρει τη δυνατότητα καταχώρησης των κανόνων ελέγχου με τη βοήθεια της οθόνης που ακολουθεί. Αξίζει να σημειωθεί ότι υποστηρίζεται διαφορετικό σύνολο κανόνων για κάθε τύπο χώρου – ζώνης καθιστώντας το σύστημα ιδιαίτερα ευέλικτο και προσαρμόσιμο.



Σχήμα 44 - Οθόνη σύνταξης κανόνων λειτουργίας

Οι κανόνες, που παρουσιάστηκαν στη μεθοδολογία, έχουν εισαχθεί στο σύστημα σύμφωνα με την σύνταξη που απαιτεί ο πυρήνας του έμπειρου συστήματος CLIPS.

Οθόνες λειτουργίας

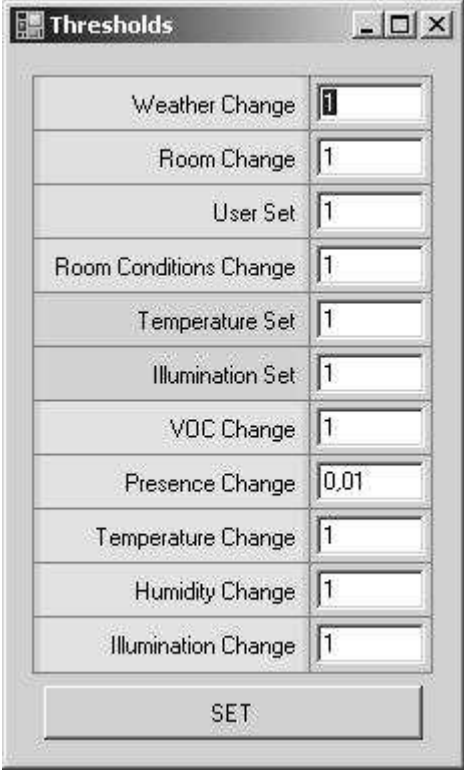
Το σύστημα κατά την διάρκεια εκτέλεσης της μεθοδολογίας ελέγχου διαθέτει οθόνες εισόδου στοιχείων και παρακολούθησης των δεδομένων εισόδου και εξόδου. Οι οθόνες ανανεώνονται σε πραγματικό χρόνο ενημερώνοντας για την κατάσταση των υπό έλεγχο χώρων του κτιρίου. Επίσης, χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μεμονωμένων αιτημάτων με σκοπό τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας του συστήματος και για την παραμετροποίηση της αυτοματοποιημένης γεννήτριας αιτημάτων. Οι οθόνες αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια με επιγραμματική επεξήγηση των λειτουργιών τους.

The screenshot shows a software window titled "Room: 01". It contains several input fields and sections for monitoring and controlling room parameters.

Room: 01	
Time Not Present	57,500
Queue Size	
INPUT PARAMETERS	
Time Stamp	22/4/2008 8:36:57 μμ
Current Temperature	12,2
Set Temperature	0,8
Current Humidity	47,7
Current Illumination	56,1
Set Illumination	1,4
Current VOC	96,8
Current Presence	False
WEATHER PARAMETERS	
Time Stamp	22/4/2008 8:36:57 μμ
Temperature	13,6
Humidity	47,9
Illumination	112,1
SET	

Σχήμα 45 - Οθόνη παρακολούθησης χώρου και δημιουργίας μεμονωμένου αιτήματος

Οθόνη ρυθμίσεων γεννήτριας αιτημάτων. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν πιθανότητες μεταβολής του μεγέθους που αντιστοιχεί και αυτόματη δημιουργία αιτήματος ελέγχου προς το σύστημα.



The image shows a software window titled "Thresholds" with a list of parameters and their corresponding values. The parameters are listed on the left, and the values are entered in text boxes on the right. At the bottom of the window is a "SET" button.

Parameter	Value
Weather Change	1
Room Change	1
User Set	1
Room Conditions Change	1
Temperature Set	1
Illumination Set	1
VOC Change	1
Presence Change	0,01
Temperature Change	1
Humidity Change	1
Illumination Change	1

SET

Σχήμα 46 - Οθόνη ρυθμίσεων γεννήτριας αιτημάτων

Οθόνη καταγραφής λειτουργίας και υπολογισμού δεικτών. Παρουσίαση της καταγραφής δεδομένων εισόδου – εξόδου και υπολογισμός των δεικτών θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα.

Select Room		Timestamp	Presence	Set Temperature	Set Illumination	Cur Temperature	Cur Air
Room Temperature Index Good [0,22]		24/4/2008 2:24 μμ	☐	1,10	1,10	1,40	1,20
Room Air Quality Index Normal [1,30]		24/4/2008 2:24 μμ	☐	1,30	0,90	1,30	1,20
		24/4/2008 2:24 μμ	☐	1,20	0,90	1,60	1,20
		24/4/2008 2:24 μμ	☐	1,10	0,60	0,90	1,60

Decision	Value
InTime	0,0000
LightL	0,0000
LightOn	0,0000
NotUseShutter	0,0000
LightMan	0,0000
NormalAir	0,0000
outAirHeat	0,0000
Summer	0,0000
setTempN	24,0000
Heating	22,6000
TempVL	22,6000
OutHeat	0,0000
ACFan	1,0000
maxHum	60,0000
Vaporing	0,0000
VentOn	0,0000
VentOn	1,0000

Σχήμα 47 - Οθόνη καταγραφής λειτουργίας και υπολογισμού δεικτών

Σύστημα σε λειτουργία

Κλείνοντας την παρουσίαση του υποσυστήματος ευφυούς ελέγχου χώρων παρατίθεται μια τελευταία οθόνη με το σύστημα σε λειτουργία και τις αντίστοιχες οθόνες ενεργές.

The screenshot displays the EXEN system interface. On the left, a tree view shows 'Building [2]' with sub-items '01' and '02'. The main area is divided into three panels: 'Room: 01', 'Room: 02', and 'Threshholds'.

Room: 01

Time Not Present	32,718
Queue Size	
INPUT PARAMETERS	
Time Stamp	24/4/2008 2:35:32 μμ.
Current Temperature	0,6
Set Temperature	1,3
Current Humidity	1,4
Current Illumination	1,1
Set Illumination	0,2
Current VOC	0,6
Current Presence	False
WEATHER PARAMETERS	
Time Stamp	24/4/2008 2:35:32 μμ.
Temperature	13,3
Humidity	2,2
Illumination	2,4
SET	

Room: 02

Time Not Present	32,718
Queue Size	
INPUT PARAMETERS	
Time Stamp	24/4/2008 2:35:32 μμ.
Current Temperature	0,2
Set Temperature	0,5
Current Humidity	0,2
Current Illumination	2,5
Set Illumination	1,1
Current VOC	2,2
Current Presence	False
WEATHER PARAMETERS	
Time Stamp	24/4/2008 2:35:32 μμ.
Temperature	13,3
Humidity	2,2
Illumination	2,4
SET	

Threshholds

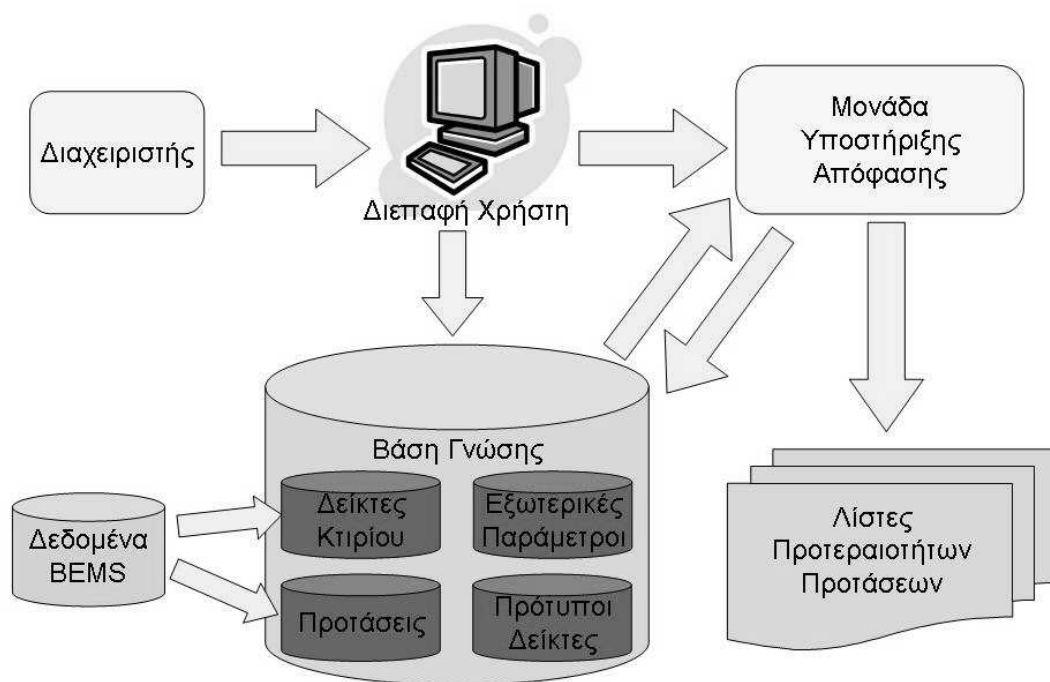
Weather Change	0
Room Change	1
User Set	1
Room Conditions Change	1
Temperature Set	1
Illumination Set	1
VOC Change	1
Presence Change	0,01
Temperature Change	1
Humidity Change	1
Illumination Change	1
SET	

At the bottom of the interface, there are buttons for 'Start', 'Pause', 'Stop', and 'Close'.

Σχήμα 48 - Σύστημα σε λειτουργία

5.3 Σύστημα Συνολικού Ενεργειακού Ελέγχου

Η μεθοδολογία συνολικού ενεργειακού ελέγχου αποτέλεσε την βάση του δεύτερου συστήματος που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της διατριβής. Όπως έχει αναφερθεί τα δυο συστήματα χρησιμοποιούν την ίδια βάση δεδομένων με διαφορετικές λειτουργίες κάθε φορά. Η γενική αρχιτεκτονική του συστήματος ενεργειακού ελέγχου φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.

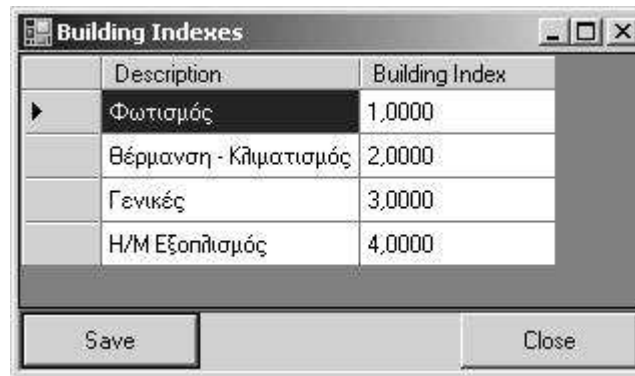


Σχήμα 49 - Αρχιτεκτονική συστήματος ενεργειακού ελέγχου

Αναλύοντας την αρχιτεκτονική και την λογική ροή του συστήματος φαίνεται ότι απευθύνεται, όπως και η μεθοδολογία, στον αποφασίζοντα – διαχειριστή μιας κτιριακής μονάδας ο οποίος αναζητά τρόπους ενεργειακής βελτίωσης με βάση τα δεδομένα λειτουργίας του κτιρίου και οικονομικά στοιχεία ενεργειακά βελτιωτικών προτάσεων. Η αναζήτηση ιδανικών για το συγκεκριμένο κτίριο προτάσεων προς υλοποίηση απαιτεί από τον χρήστη του συστήματος να ακολουθήσει τα βήματα της μεθοδολογίας με τη βοήθεια των οθονών που παρέχονται από το σύστημα. Η ακολουθία οθονών του συστήματος παρουσιάζεται στις επόμενες σελίδες με επεξηγήσεις των λειτουργιών που επιτελούνται σε κάθε βήμα.

Οθόνες δεικτών κτιρίου και πρότυπων δεικτών

Στις οθόνες που παρουσιάζονται παρακάτω ο χρήστης μπορεί να δει τις τιμές των ενεργειακών δεικτών της μεθοδολογίας όπως έχουν υπολογισθεί από τα δεδομένα λειτουργίας του κτιρίου και α καθορίσει τις τιμές των πρότυπων δεικτών ενεργειακής κατανάλωσης ανά τομέα, όπως ορίστηκαν στη μεθοδολογία.



	Description	Building Index
▶	Φωτισμός	1,0000
	Θέρμανση - Κλιματισμός	2,0000
	Γενικές	3,0000
	Η/Μ Εξοπλισμός	4,0000

Σχήμα 50 - Δείκτες κτιρίου



	Description	Index
	Φωτισμός	1,0000
	Θέρμανση - Κλιματισμός	1,0000
	Γενικές	1,0000
	Η/Μ Εξοπλισμός	1,0000
▶*		

Σχήμα 51 - Πρότυποι δείκτες

Οθόνη προτάσεων βελτίωσης

Το σύνολο των προτάσεων που θα ελεγχθούν ανασύρεται από τη βάση δεδομένων και παρουσιάζεται σε αυτή την οθόνη. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προσθέσει νέες προτάσεις ή να αφαιρέσει υπάρχουσες.

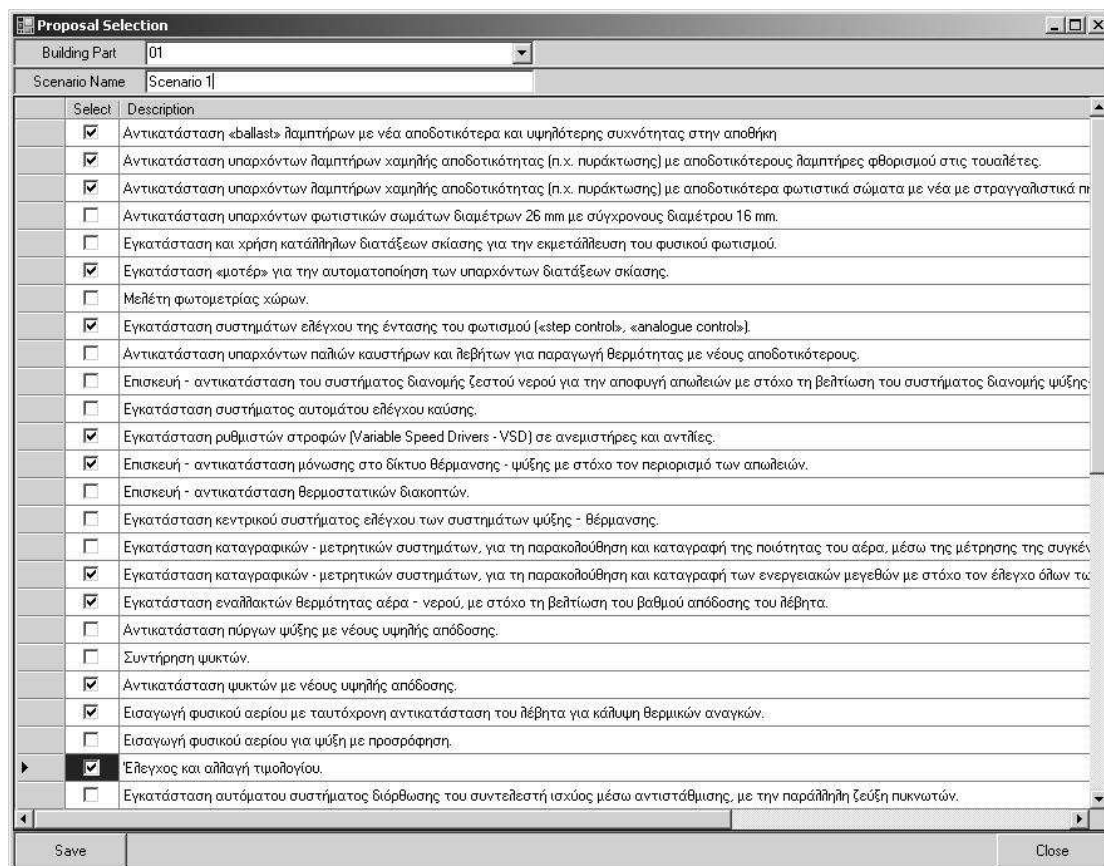
The screenshot shows a software window titled "Proposals". At the top, there is a dropdown menu labeled "Section" with the value "Θέρμανση - Κλιματισμός" selected. Below this is a table with two columns: "Description" and an empty column. The table contains 15 rows of text describing various energy efficiency and climate control improvements. At the bottom of the window, there are "Save" and "Close" buttons.

Description	
Αντικατάσταση υπαρχόντων παλιών καυστήρων και λέβητων για παραγωγή θερμότητας με νέους αποδοτικότερους.	
Επισκευή - αντικατάσταση του συστήματος διανομής ζεστού νερού για την αποφυγή απωλειών με στόχο τη βελτίωση του συστήματος διανομής ψύξης-θέρμανσης.	
Εγκατάσταση συστήματος αυτομάτου ελέγχου καύσης.	
Εγκατάσταση ρυθμιστών στροφών (Variable Speed Drivers - VSD) σε ανεμιστήρες και αντλίες.	
Επισκευή - αντικατάσταση μόνωσης στο δίκτυο θέρμανσης - ψύξης με στόχο τον περιορισμό των απωλειών.	
Επισκευή - αντικατάσταση θερμοστατικών διακοπών.	
Εγκατάσταση κεντρικού συστήματος ελέγχου των συστημάτων ψύξης - θέρμανσης.	
Εγκατάσταση καταγραφικών - μετρητικών συστημάτων, για τη παρακολούθηση και καταγραφή της ποιότητας του αέρα, μέσω της μέτρησης της συγκέντρωσης σωματιδίων και CO2.	
Εγκατάσταση καταγραφικών - μετρητικών συστημάτων, για τη παρακολούθηση και καταγραφή των ενεργειακών μεγεθών με στόχο τον έλεγχο όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν	
Εγκατάσταση εναλλακτικών θερμότητας αέρα - νερού, με στόχο τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης του λέβητα.	
Αντικατάσταση πύργων ψύξης με νέους υψηλής απόδοσης.	
Συντήρηση ψυκτών.	
Αντικατάσταση ψυκτών με νέους υψηλής απόδοσης.	
Εισαγωγή φυσικού αερίου με ταυτόχρονη αντικατάσταση του λέβητα για κάλυψη θερμικών αναγκών.	
Εισαγωγή φυσικού αερίου για ψύξη με προσρόφηση.	

Σχήμα 52 - Οθόνη προτάσεων βελτίωσης

Οθόνη σεναρίου ελέγχου

Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή των προτάσεων που θα ελεγχθούν από την μεθοδολογία. Στην οθόνη αυτή είναι επιλεγμένες οι προτάσεις που δεν έχουν υλοποιηθεί, όμως, παρέχεται η δυνατότητα επιλογής και υλοποιημένων προτάσεων αν ο χρήστης το επιθυμεί. Οι τελικές επιλογές αποθηκεύονται με τη μορφή σεναρίου ελέγχου για μελλοντική επανεξέταση.



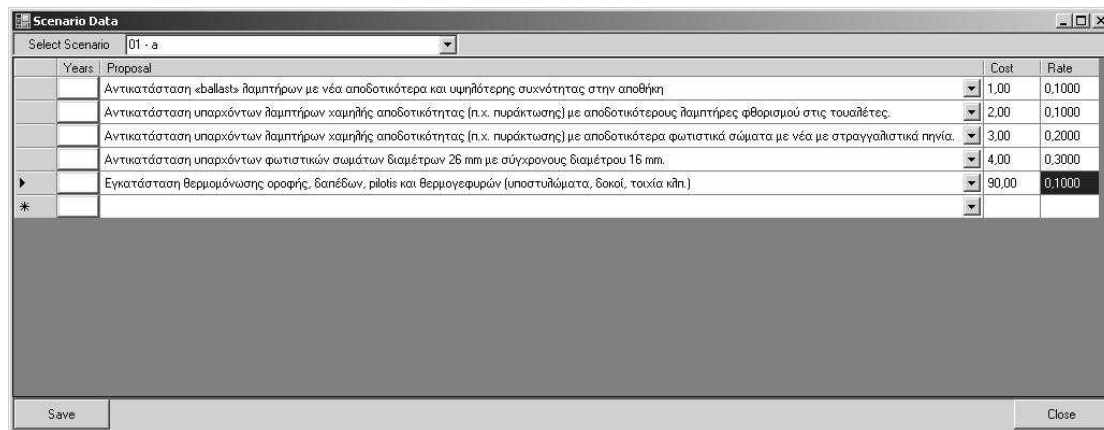
The screenshot shows a software window titled "Proposal Selection". At the top, there are two input fields: "Building Part" with the value "01" and "Scenario Name" with the value "Scenario 1". Below these is a table with two columns: "Select" and "Description". The table contains 28 rows of proposals, each with a checkbox in the "Select" column and a description in the "Description" column. The checkboxes for the first 15 rows are checked, while the last 13 rows have unchecked checkboxes. The descriptions cover various energy efficiency measures, including lighting, heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems, and renewable energy sources. At the bottom of the window, there are "Save" and "Close" buttons.

Select	Description
☒	Αντικατάσταση «ballast» λαμπτήρων με νέα αποδοτικότερα και υψηλότερης συχνότητας στην αποθήκη
☒	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού στις τουαλέτες.
☒	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερα φωτιστικά σώματα με νέα με στραγγαλιστικά π
☐	Αντικατάσταση υπαρχόντων φωτιστικών σωμάτων διαμέτρου 26 mm με σύγχρονους διαμέτρου 16 mm.
☐	Εγκατάσταση και χρήση κατάλληλων διατάξεων σκίασης για την εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού.
☒	Εγκατάσταση «μωτέρ» για την αυτοματοποίηση των υπαρχόντων διατάξεων σκίασης.
☐	Μελέτη φωτομετρίας χώρων.
☒	Εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου της έντασης του φωτισμού («step controls», «analogue controls»).
☐	Αντικατάσταση υπαρχόντων παλιών καυστήρων και πετρήτων για παραγωγή θερμότητας με νέους αποδοτικότερους.
☐	Επισκευή - αντικατάσταση του συστήματος διανομής ζεστού νερού για την αποφυγή απωλειών με στόχο τη βελτίωση του συστήματος διανομής ψύξης.
☐	Εγκατάσταση συστήματος αυτομάτου ελέγχου καύσης.
☒	Εγκατάσταση ρυθμιστών στροφών (Variable Speed Drivers - VSD) σε ανεμιστήρες και αντλίες.
☒	Επισκευή - αντικατάσταση μόνωσης στο δίκτυο θέρμανσης - ψύξης με στόχο τον περιορισμό των απωλειών.
☐	Επισκευή - αντικατάσταση θερμοστατικών διακοπών.
☐	Εγκατάσταση κεντρικού συστήματος ελέγχου των συστημάτων ψύξης - θέρμανσης.
☐	Εγκατάσταση καταγραφικών - μετρητικών συστημάτων, για τη παρακολούθηση και καταγραφή της ποιότητας του αέρα, μέσω της μέτρησης της συγκέν
☒	Εγκατάσταση καταγραφικών - μετρητικών συστημάτων, για τη παρακολούθηση και καταγραφή των ενεργειακών μεγεθών με στόχο τον έλεγχο όλων τω
☒	Εγκατάσταση εναλλακτικών θερμότητας αέρα - νερού, με στόχο τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης του λέβητα.
☐	Αντικατάσταση πύργων ψύξης με νέους υψηλής απόδοσης.
☐	Συντήρηση ψυκτών.
☒	Αντικατάσταση ψυκτών με νέους υψηλής απόδοσης.
☒	Εισαγωγή φυσικού αερίου με ταυτόχρονη αντικατάσταση του λέβητα για κάλυψη θερμικών αναγκών.
☐	Εισαγωγή φυσικού αερίου για ψύξη με προσρόφηση.
☒	Έλεγχος και αλλαγή τιμολογίου.
☐	Εγκατάσταση αυτόματου συστήματος διόρθωσης του συντελεστή ισχύος μέσω αντιστάθμισης, με την παράλληλη ζεύξη πυκνωτών.

Σχήμα 53 - Οθόνη σεναρίου ελέγχου

Οθόνες οικονομικών δεδομένων σεναρίου

Στις δυο οθόνες που ακολουθούν ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί το σενάριο που μόλις δημιούργησε και να εισάγει ή ανακτήσει τα ετήσια οικονομικά στοιχεία κάθε πρότασης για το συγκεκριμένο χώρο που σκοπεύει να ελέγξει.

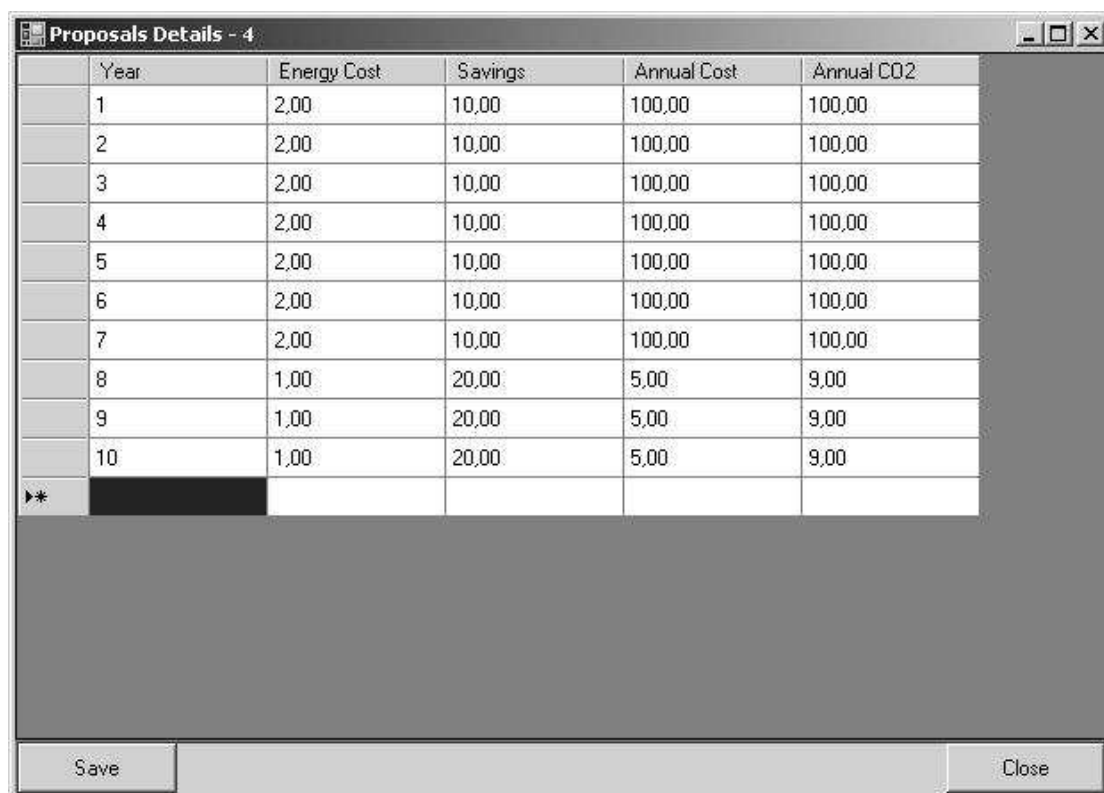


The 'Scenario Data' window displays a table of proposals. The 'Select Scenario' dropdown is set to '01 - a'. The table has columns for 'Years', 'Proposal', 'Cost', and 'Rate'.

Years	Proposal	Cost	Rate
	Αντικατάσταση «ballast» λαμπτήρων με νέα αποδοτικότερα και υψηλότερης συχνότητας στην αποθήκη	1,00	0,1000
	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού στις τουαλέτες	2,00	0,1000
	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερα φωτιστικά σώματα με νέα με στραγγαλιστικά πηνία	3,00	0,2000
	Αντικατάσταση υπαρχόντων φωτιστικών σωμάτων διαμέτρου 26 mm με σύγχρονους διαμέτρου 16 mm	4,00	0,3000
	Εγκατάσταση θερμομόνωσης οροφής, δαπέδων, pilotis και θερμογεφυρών (υποστυλώματα, δοκοί, τοιχεία κλπ.)	90,00	0,1000

Buttons: Save, Close

Σχήμα 54 - Επεξεργασία σεναρίου



The 'Proposals Details - 4' window displays a table of economic data for 10 years. The table has columns for 'Year', 'Energy Cost', 'Savings', 'Annual Cost', and 'Annual CO2'.

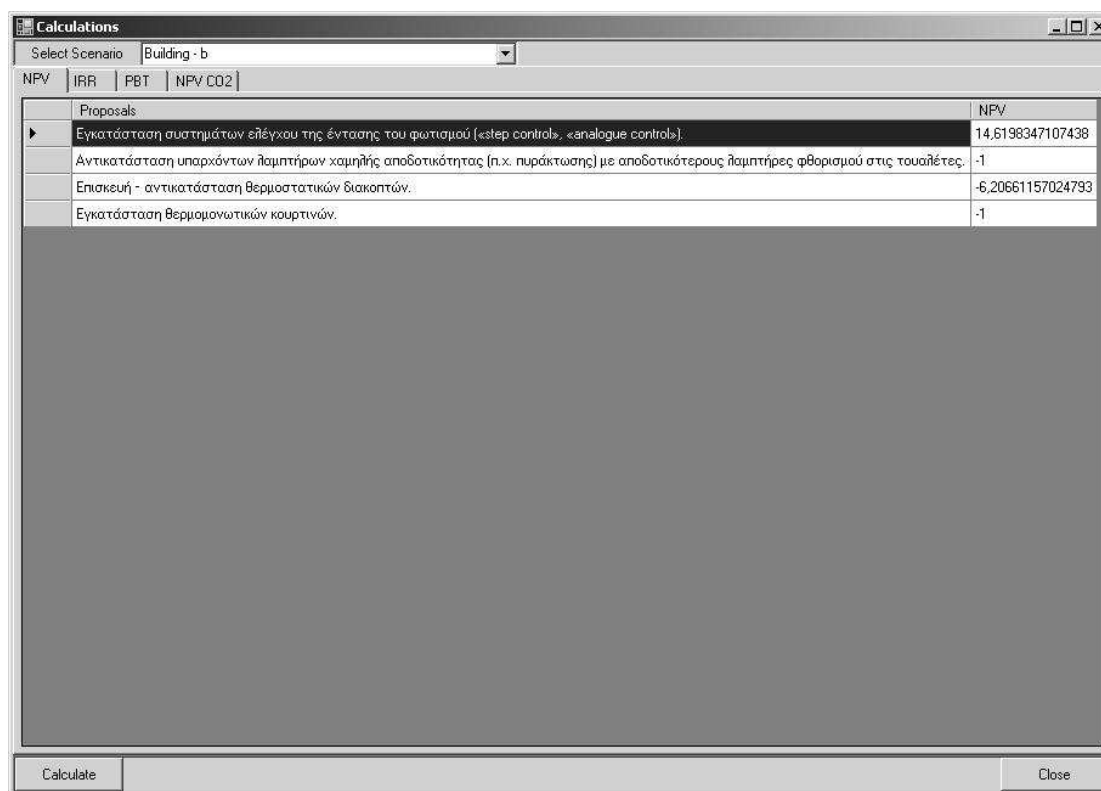
Year	Energy Cost	Savings	Annual Cost	Annual CO2
1	2,00	10,00	100,00	100,00
2	2,00	10,00	100,00	100,00
3	2,00	10,00	100,00	100,00
4	2,00	10,00	100,00	100,00
5	2,00	10,00	100,00	100,00
6	2,00	10,00	100,00	100,00
7	2,00	10,00	100,00	100,00
8	1,00	20,00	5,00	9,00
9	1,00	20,00	5,00	9,00
10	1,00	20,00	5,00	9,00

Buttons: Save, Close

Σχήμα 55 - Οικονομικά στοιχεία

Οθόνη ελέγχου βιωσιμότητας

Την σύνταξη του σεναρίου ελέγχου και την συμπλήρωση των οικονομικών στοιχείων ακολουθεί ο οικονομικός έλεγχος βιωσιμότητας και η κατάρτιση των τελικών λιστών προτάσεων όπως έχουν περιγραφεί. Η τελευταία οθόνη του συστήματος συνολικού ενεργειακού ελέγχου πραγματοποιεί τις λειτουργίες αυτές και κλείνει τον κύκλο της προτεινόμενης μεθοδολογίας της διατριβής.



Proposals	NPV
Εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου της έντασης του φωτισμού («step controls», «analogue controls»).	14,6198347107438
Αντικατάσταση υφιστάμενων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού στις τουαλέτες.	-1
Επισκευή - αντικατάσταση θερμοστατικών διακοπών.	-6,20661157024793
Εγκατάσταση θερμομονωτικών κουρτινών.	-1

Σχήμα 56 - Οθόνη ελέγχου βιωσιμότητας

Η παρουσίαση των δυο συστημάτων που αναπτύχθηκαν στην προσπάθεια αυτοματοποίησης της μεθοδολογίας αναδεικνύει ένα γεγονός το οποίο είχε διαφανεί από το προηγούμενο κεφάλαιο. Η μεθοδολογία ευφυούς ελέγχου χώρων κτιρίου και το σύστημά της αποτελούν ένα μια κλειστή αυτοματοποιημένη διαδικασία ελέγχου τη συνδρομή έμπειρου συστήματος και χαρακτηριστικών εκμάθησης. Αντίθετα, η μεθοδολογία συνολικού ενεργειακού ελέγχου και το αντίστοιχο σύστημα είναι ένα αλληλοδραστικό εργαλείο προς το διαχειριστή που επιθυμεί να βελτιώσει τα ενεργειακά χαρακτηριστικά ενός κτιρίου χρησιμοποιώντας στατιστικά δεδομένα και τεχνοοικονομική ανάλυση.

5.4 Εφαρμογή Συστήματος σε Πραγματικές Συνθήκες

Στο πλαίσιο της διατριβής και του έργου «**ΕΞΕΝ-2Ε: Ευφυή Κτίρια – ΕΞοικονόμηση ΕΝέργειας στα κτίρια μέσω ευφυούς Ελέγχου και Επικοινωνιών**», τα συστήματα που περιγράφηκαν δοκιμαστηκαν πιλοτικά στο κτίριο της εταιρείας ΖΗΝΩΝ στα Γλυκά Νερά.

Το κτίριο που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή του μοντέλου αποτελείται από τρεις (3) ορόφους συνολικής επιφάνειας 485.22 m². Οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου καλύπτονται πλήρως από ηλεκτρισμό και δεν υπάρχουν άλλοι τρόποι παραγωγής ενέργειας. Ειδικότερα, τα ενεργειακά φορτία του κτιρίου αναλύονται παρακάτω:

- Φωτισμός (εσωτερικός και εξωτερικός).
- Υδραυλικός ανελκυστήρας.
- Κεντρικό σύστημα κλιματισμού.
- Προσωπικοί υπολογιστές και εξοπλισμός γραφείου (εκτυπωτές, fax).
- Δωμάτιο Server (συμπεριλαμβανομένου του τηλεφωνικού κέντρου, των εξυπηρετητών, των δρομολογητών και του δικτυακού εξοπλισμού).
- Ηλεκτρικές αντλίες για την απομάκρυνση όμβριων υδάτων.

Το κτίριο είναι εξοπλισμένο με ένα τυπικό σύστημα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίου με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Αυτόνομοι μικροελεγκτές, αισθητήρες και ενεργοποιητές για τον έλεγχο του φωτισμού, της θερμοκρασίας και της ποιότητας αέρα.
- Κεντρικό σύστημα κλιματισμού (HVAC) με τοπικούς ελεγκτές για κάθε περιοχή ή δωμάτιο του κτιρίου και κεντρική υπολογιστική μονάδα.
- Έλεγχο πρόσβασης και ανθρώπινης παρουσίας.
- Διάφορες συσκευές.
- Αυτόνομο κεντρικό λογισμικό ελέγχου και διαχείρισης για τις περιοχές και τα δωμάτια του κτιρίου.

5.4.1 Εφαρμογή Συστήματος Ευφυούς Ελέγχου Χώρων Κτιρίου

Για τις ανάγκες της πιλοτικής λειτουργίας, μια πλήρης τεχνική περιγραφή του κτιρίου και κάθε στοιχείου του δημιουργήθηκε στη βάση του συστήματος ευφυούς ελέγχου. Στη συνέχεια, το σύστημα εφαρμόστηκε, δοκιμάστηκε και βελτιστοποιήθηκε για το συγκεκριμένο κτίριο για χρονικό διάστημα περίπου ενός χρόνου. Η εφαρμογή του συστήματος ήταν απαραίτητη για την καλύτερη ρύθμιση των παραμέτρων του συστήματος και την αξιολόγηση της λειτουργίας του σε πραγματικές συνθήκες.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του υποσυστήματος από τον Οκτώβριο του 2004 έως τον Οκτώβριο του 2005 κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με τις υπό έλεγχο εσωτερικές συνθήκες άνεσης (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ποιότητα αέρα και φωτεινότητα) και την ενεργειακή κατανάλωση. Τα αποτελέσματα σε κάθε κατηγορία παρουσιάζονται παρακάτω:

- *Θερμοκρασία- Σχετική Υγρασία – Ποιότητα Αέρα:* Οι μετρήσεις των συνθηκών των δωματίων έδειξαν ότι τα επίπεδα θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και ποιότητας αέρας ακολουθούσαν τις τιμές που καθορίστηκαν από τους χρήστες του συστήματος. Καταστάσεις δυσφορίας δεν παρουσιάστηκαν ειδικά λόγω του αποτελεσματικού ελέγχου της σχετικής υγρασίας και της ποιότητας αέρα. Οι διαδικασίες προθέρμανσης και τερματισμού συνέβαλαν στην εξοικονόμηση ενέργειας στη χειμερινή και τη θερινή περίοδο. Ειδικά το χειμώνα δεν χρησιμοποιήθηκε ποτέ εξωτερικός αέρας για θέρμανση και χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος των μονάδων σκίασης για την θέρμανση από ηλιακή ακτινοβολία.
- *Φωτεινότητα:* Τα επίπεδα φωτεινότητας στους χώρους του κτιρίου, επίσης, εξασφάλισαν άνετες συνθήκες στο κτίριο. Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκε ικανοποιητικός έλεγχος των μονάδων σκίασης σε συνδυασμό με τις μονάδες φωτισμού. Ενόστε, η προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας από τη λειτουργία του κλιματισμού οδηγούσε σε κλειστά σκίαστρα σε πολύ θερμές ημέρες, γεγονός το οποίο αποδείχθηκε ενεργειακά οικονομικότερο.
- *Εξοικονόμηση Ενέργειας:* Τα αθροιστικά αποτελέσματα της λειτουργίας του κτιρίου συγκρινόμενα με αντίστοιχα προηγούμενων ετών ανέδειξαν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 10%. Πιο συγκεκριμένα, η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση μειώθηκε από 106,5 MWh (Οκτώβριος 2003 – Οκτώβριος 2004) σε 95 MWh (Οκτώβριος 2004 – Οκτώβριος 2005). Πιο αναλυτική εξέταση των συγκεντρωμένων πληροφοριών έδειξε ότι η εξοικονόμηση ενέργειας ήταν εντονότερη τις θερμές ημέρες του έτους.

5.4.2 Εφαρμογή Συστήματος Συνολικού Ενεργειακού Ελέγχου

Αξιοποιώντας την αναλυτική καταγραφή του συστήματος ευφυούς έλεγχου χώρων κτιρίου, κατά τα πρότυπα της μεθοδολογίας, επιλέχθηκαν οι προτάσεις του επόμενου πίνακα για το φωτισμό, τη θέρμανση και ψύξη, τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό καθώς και οι γενικές προτάσεις για κάθε έναν από τους χώρους του κτιρίου. Οι προτάσεις αυτές απέκτησαν υψηλή προτεραιότητα μετά την αξιολόγηση τους με βάση τους ενεργειακούς δείκτες του κτιρίου και τους πρότυπους δείκτες ενεργειακής έντασης.

A/A	Τίτλος
Προτάσεις Φωτισμού	
1	Αντικατάσταση «ballast» λαμπτήρων με νέα αποδοτικότερα και υψηλότερης συχνότητας στην αποθήκη.
2	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού σε τουαλέτες.
3	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού σε χώρους υποδοχής.
4	Αντικατάσταση υπαρχόντων φωτιστικών σωμάτων διαμέτρων 26 mm με σύγχρονους διαμέτρου 16 mm σε χώρους γραφείων.
5	Μελέτη φωτισμού - Επανασχεδιασμός και υλοποίηση εγκατάστασης φωτισμού της αίθουσας συνεδριάσεων.
6	Επαναπρογραμματισμός συστημάτων ελέγχου της έντασης του φωτισμού (step control, analogue control) σε χώρους γραφείων.
Προτάσεις Ψύξης - Θέρμανσης	
7	Εγκατάσταση ρυθμιστών στροφών (Variable Speed Drivers - VSD) σε ανεμιστήρες.
8	Εγκατάσταση μετρητικών συστημάτων για τη παρακολούθηση και καταγραφή της ποιότητας του αέρα, μέσω της μέτρησης της συγκέντρωσης σωματιδίων και CO ₂ σε χώρους γραφείων.
9	Συντήρηση συστήματος κλιματισμού.
Προτάσεις Ηλεκτρομηχανολογικού Εξοπλισμού	
10	Έλεγχος και αλλαγή τιμολογίου
Γενικές Προτάσεις	
11	Εγκατάσταση συστήματος συμπαραγωγής ηλεκτρισμού – θερμότητας (με κλιματιστική μονάδα απορρόφησης για ψύξη) με καύση φυσικού αερίου.
12	Εγκατάσταση ηλιοθερμικών συστημάτων στην οροφή του κτιρίου για

	κάλυψη ποσοστού της ψύξης με τη διαδικασία της απορρόφησης με παράλληλη χρήση του συστήματος συμπαραγωγής για τις ώρες μη ηλιοφάνειας.
13	Εγκατάσταση παγοδεξαμενών για τον κλιματισμό με ταυτόχρονη χρήση νυχτερινού τιμολογίου.
14	Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων για μερική κάλυψη ηλεκτρικού φορτίου, καλύπτοντας το ελεύθερο εμβαδό της ταράτσας.
15	Εγκατάσταση μικρής ανεμογεννήτριας για μερική κάλυψη ηλεκτρικού φορτίου.
16	Εγκατάσταση εναλλάκτη θερμότητας για προθέρμανση και πρόψυξη του αέρα από το νερό του πηγαδιού.
17	Στεγανοποίηση ανοιγμάτων διαφυγής θερμότητας.
18	Εγκατάσταση θερμομόνωσης οροφής, δαπέδων, pilotis και θερμογεφυρών (υποστυλώματα, δοκοί, τοιχία κλπ.)
19	Εγκατάσταση συστήματος αντηλιακής προστασίας στα υαλοστάσια νότιου προσανατολισμού.
20	Επισκευή συστήματος αντηλιακής προστασίας στα υαλοστάσια νότιου προσανατολισμού.

Πίνακας 25 - Προτάσεις ενεργειακής βελτίωσης

Από το πλήθος των προτάσεων του παραπάνω πίνακα διαφαίνεται ότι υπάρχουν σημαντικά περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας, με τη χρήση αποδοτικότερων τεχνολογιών, κυρίως στους χώρους των γραφείων.

Τα αποτελέσματα αυτά αναμένονταν, με δεδομένο ότι από πλευράς ηλεκτρικής κατανάλωσης, το κτίριο βρίσκεται σε ζώνη υψηλού φορτίου, κάτι το οποίο εντείνεται από τα εγγενή μειονεκτήματα του επιπέδου της μόνωσης αλλά και της ύπαρξης μεγάλων υαλοστασίων για λόγους φυσικού φωτισμού.

Συνεχίζοντας την εφαρμογή της μεθοδολογίας συλλέχθηκαν όλα τα απαραίτητα δεδομένα τόσο για το κτίριο όσο και για τις προτεινόμενες παρεμβάσεις και διενεργήθηκε ο οικονομικός έλεγχος για κάθε μία από αυτές. Συγκεκριμένα, μετά την εισαγωγή των δεδομένων στο σύστημα συνολικού ενεργειακού ελέγχου, τα αποτελέσματα για κάθε μία από τις εξεταζόμενες προτάσεις φαίνονται στους ακόλουθους υποπίνακες. Αναλυτικά, τα δεδομένα του οικονομικού ελέγχου για κάθε μία από τις προτάσεις παρατίθενται στο Παράρτημα 3: Δεδομένα Οικονομικού Ελέγχου Προτάσεων.

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση	
ΑΑ	Τίτλος
1	Αντικατάσταση «ballast» λαμπτήρων με νέα αποδοτικότερα και υψηλότερης συχνότητας στην αποθήκη.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 42,6 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 36,7 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: -284,47 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: -12,61 %.
2	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού σε τουαλέτες.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 1,1 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 1,1 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: 726,89 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 96,63 %.
3	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού σε χώρους υποδοχής.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 0,3 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 0,3 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: 490,49 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 392,45 %.
4	Αντικατάσταση υπαρχόντων φωτιστικών σωμάτων διαμέτρων 26 mm με σύγχρονους διαμέτρου 16 mm σε χώρους γραφείων.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 432,5 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 173,1 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: -12533,30 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: -31,70 %.
5	Μελέτη, επανασχεδιασμός και υλοποίηση εγκατάστασης φωτισμού της αίθουσας συνεδριάσεων.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 54,6 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 44,7 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: -616,49 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: -14,94 %.
6	Επαναπρογραμματισμός συστημάτων ελέγχου της έντασης του φωτισμού (step control, analogue control) σε χώρους γραφείων.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 5,5 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 5,5 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: 743,63 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 18,36 %.
7	Εγκατάσταση ρυθμιστών στροφών (Variable Speed Drivers - VSD) σε ανεμιστήρες.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 43,7 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 37,5 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: -167,13 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: -7,91 %.
8	Εγκατάσταση μετρητικών συστημάτων για τη παρακολούθηση και καταγραφή της ποιότητας του αέρα, μέσω της μέτρησης της συγκέντρωσης σωματιδίων και CO ₂ σε χώρους γραφείων.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 13,4 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 13 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: 32,16 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 4,94 %.

9	<i>Συντήρηση συστήματος κλιματισμού.</i>
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 42,6 έτη. Έντοκη Περίοδο Αποπληρωμής: 36,7 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: -284,47 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: <-15,00 %.
10	<i>Έλεγχος και αλλαγή τιμολογίου.</i>
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: Η επένδυση δεν αποπληρώνεται. Έντοκη Περίοδο Αποπληρωμής: Η επένδυση δεν αποπληρώνεται. Καθαρή Παρούσα Αξία: -37.563,25 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: Η επένδυση δεν αποπληρώνεται.
11	<i>Εγκατάσταση συστήματος συμπαραγωγής ηλεκτρισμού – θερμότητας (με κλιματιστική μονάδα απορρόφησης για ψύξη) με καύση φυσικού αερίου.</i>
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: (α) 57,3 έτη, (β) 34,4 έτη. Έντοκη Περίοδο Αποπληρωμής: (α) 23,5 έτη, (β) 16,8 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: (α) - 41.440,58 €, (β) – 8.040,58 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: (α) -3,93 %, (β) 1,11 %.
12	<i>Εγκατάσταση ηλιοθερμικών συστημάτων στην οροφή του κτιρίου για κάλυψη ποσοστού της ψύξης με τη διαδικασία της απορρόφησης με παράλληλη χρήση του συστήματος συμπαραγωγής για τις ώρες μη ηλιοφάνειας.</i>
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: (α) 78,3 έτη, (β) 47 έτη. Έντοκη Περίοδο Αποπληρωμής: (α) 58 έτη, (β) 39,8 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: (α) -33.231,34 €, (β) -16.631,34 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: (α) – 12,58 %, (β) – 8,57 %.
13	<i>Εγκατάσταση παγοδεξαμενών για τον κλιματισμό με ταυτόχρονη χρήση νυχτερινού τιμολογίου.</i>
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 42,6 έτη. Έντοκη Περίοδο Αποπληρωμής: 36,7 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: -284,47 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: <-15,00 %.
14	<i>Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων για μερική κάλυψη ηλεκτρικού φορτίου, καλύπτοντας το ελεύθερο εμβαδό της ταράτσας.</i>
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: (α) 56,2 έτη, (β) 69,1 έτη, (γ) 70,6 έτη. Έντοκη Περίοδο Αποπληρωμής: (α) 41,3 έτη, (β) 47,2 έτη, (γ) 47,8 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: (α) -19.449,70€, (β) -12.471,81 €, (γ) -9.576,93 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: (α) -1,24 %, (β) -2,34 %, (γ) -2,45 %.
15	<i>Εγκατάσταση μικρής ανεμογεννήτριας για μερική κάλυψη ηλεκτρικού φορτίου.</i>
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 41,1 έτη. Έντοκη Περίοδο Αποπληρωμής: 29,3 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: -2.137,53 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 1,55 %.
16	<i>Εγκατάσταση εναλλάκτη θερμότητας για προθέρμανση και πρόψυξη του αέρα από το νερό του πηγαδιού.</i>
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 32 έτη. Έντοκη Περίοδο Αποπληρωμής: 28,7 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: -139,76 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 2,18 %.
17	<i>Στεγανοποίηση ανοιγμάτων διαφυγής θερμότητας.</i>
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 13,6 έτη. Έντοκη Περίοδο Αποπληρωμής: 13,2 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: 146,48 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 9,95 %.

18	<i>Εγκατάσταση θερμομόνωσης οροφής, δαπέδων, pilotis και θερμογεφυρών (υποστυλώματα, δοκοί, τοιχία κλπ.).</i>
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 171,1 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 80 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: -8.316,57 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: -18,59 %.
19	<i>Εγκατάσταση συστήματος αντηλιακής προστασίας στα υαλοστάσια νότιου προσανατολισμού.</i>
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: (α) 19,2 έτη, (β) 12,6 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: (α) 18,2 έτη, (β) 12,3 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: (α) -1.261,00 €, (β) € -1.264,64 € Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: (α) -3,37 %, (β) -2,64 %
20	<i>Επισκευή συστήματος αντηλιακής προστασίας στα υαλοστάσια νότιου προσανατολισμού.</i>
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 4,5 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 4,5 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: 1.734,63 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 23,38 %.

Πίνακας 26 - Τεχνοοικονομική αξιολόγηση

Στη συνέχεια, και με βάση τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε, το σύστημα διενεργεί οικονομικό έλεγχο των παραπάνω προτάσεων, λαμβάνοντας υπόψη και το «επιπρόσθετο οικονομικό κέρδος» από την αγορά του άνθρακα. Τα αποτελέσματα για κάθε μία από τις εξεταζόμενες προτάσεις φαίνεται στις επόμενες υποπίνακες. Αναλυτικά, οι εκτιμώμενες μειώσεις εκπομπών που αναμένεται να επιτευχθούν από τις προτάσεις παρατίθενται στο Παράρτημα 3.

Περιβαλλοντικός έλεγχος	
ΑΑ	Τίτλος
1	Αντικατάσταση «ballast» λαμπτήρων με νέα αποδοτικότερα και υψηλότερης συχνότητας στην αποθήκη.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 35,1 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 31,1 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: -259,88 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: -10,56 %.
2	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού σε τουαλέτες.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 0,9 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 0,9 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: 895,79 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 116,29 %.
3	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού σε χώρους υποδοχής.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 0,2 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 0,2 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: 596,70 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 474,74 %.
4	Αντικατάσταση υπαρχόντων φωτιστικών σωμάτων διαμέτρων 26 mm με σύγχρονους διαμέτρου 16 mm σε χώρους γραφείων.

	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 356,6 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 157,2 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: -12.455,27 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: -30,39 %.
5	Μελέτη φωτισμού - επανασχεδιασμός και υλοποίηση εγκατάστασης φωτισμού της αίθουσας συνεδριάσεων.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 45,0 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 38,2 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: -578,13 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: -13,04 %.
6	Επαναπρογραμματισμός συστημάτων ελέγχου της έντασης του φωτισμού (step control, analogue control) σε χώρους γραφείων.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 4,5 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 4,5 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: 1.029,57 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 23,20 %.
7	Εγκατάσταση ρυθμιστών στροφών (Variable Speed Drivers - VSD) σε ανεμιστήρες.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 36 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 31,8 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: 147,37 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: - 6,12 %.
8	Εγκατάσταση μετρητικών συστημάτων για τη παρακολούθηση και καταγραφή της ποιότητας του αέρα, μέσω της μέτρησης της συγκέντρωσης σωματιδίων και CO ₂ σε χώρους γραφείων.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 11,1 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 10,9 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: 81,57 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 7,64 %.
9	Συντήρηση συστήματος κλιματισμού.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 42,6 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 36,7 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: -284,47 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: <-15,00 %.
10	Έλεγχος και αλλαγή τιμολογίου.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: Η επένδυση δεν αποπληρώνεται. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: Η επένδυση δεν αποπληρώνεται. Καθαρή Παρούσα Αξία: -37.563,25 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: Η επένδυση δεν αποπληρώνεται.
11	Εγκατάσταση συστήματος συμπαραγωγής ηλεκτρισμού – θερμότητας (με κλιματιστική μονάδα απορρόφησης για ψύξη) με καύση φυσικού αερίου.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: (α) 68,5 έτη, (β) 41,1 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: (α) 24,6 έτη, (β) 17,8 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: (α) -45.146,12 €, (β) -11.746,12 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: (α) -4,71 %, (β) 0,18 %.
12	Εγκατάσταση ηλιοθερμικών συστημάτων στην οροφή του κτιρίου για κάλυψη ποσοστού της ψύξης με τη διαδικασία της απορρόφησης με παράλληλη χρήση του συστήματος συμπαραγωγής για τις ώρες μη ηλιοφάνειας.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: (α) 64,5 έτη, (β) 38,7 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: (α) 53 έτη, (β) 33,9 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: (α) -31.471,67 €, (β) -14.871,67 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: (α) -11,30 %, (β) - 6,81 %.

13	Εγκατάσταση παγοδεξαμενών για τον κλιματισμό με ταυτόχρονη χρήση νυχτερινού τιμολογίου.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 42,6 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 36,7 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: -284,47 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: <-15,00 %.
14	Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων για κάλυψη ηλεκτρικού φορτίου, καλύπτοντας το ελεύθερο εμβαδό της ταράτσας.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: (α) 36,3 έτη, (β) 53,9 έτη, (γ) 55,0 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: (α) 35,0 έτη, (β) 40,1 έτη, (γ) 40,7 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: (α) -13.979,87€, (β) -9.966,39 €, (γ) -7.709,21 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: (α) 35,00 %, (β) 40,10 %, (γ) 40,70 %.
15	Εγκατάσταση μικρής ανεμογεννήτριας για μερική κάλυψη ηλεκτρικού φορτίου.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 30,6 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 24,2 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: 485,37 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 3,31 %.
16	Εγκατάσταση εναλλάκτη θερμότητας για προθέρμανση και πρόψυξη του αέρα από το νερό του πηγαδιού.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 26,4 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 24,2 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: 107,15 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 3,59 %.
17	Στεγανοποίηση ανοιγμάτων διαφυγής θερμότητας.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 11,2 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 11 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: 198,93 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 11,90 %.
18	Εγκατάσταση θερμομόνωσης οροφής, δαπέδων, pilotis και θερμογεφυρών (υποστυλώματα, δοκοί, τοιχία κλπ.).
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 141,17 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 70 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: -7.883,83 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 17,29 %.
19	Εγκατάσταση συστήματος αντηλιακής προστασίας στα υαλοστάσια νότιου προσανατολισμού.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: (α) 15,8 έτη, (β) 10,4 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: (α) 15,2 έτη, (β) 10,2 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: (α) -784,52 €, (β) € 1.016,87 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: (α) -0,75 %, (β) 5,74 %.
20	Επισκευή συστήματος αντηλιακής προστασίας στα υαλοστάσια νότιου προσανατολισμού.
	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: 3,7 έτη. Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής: 3,7 έτη. Καθαρή Παρούσα Αξία: 2.316,58 €. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 28,93 %.

Πίνακας 27 - Περιβαλλοντικός έλεγχος

Από την παραπάνω ανάλυση καθίσταται σαφές ότι οι προτάσεις αυτές εξασφαλίζουν σημαντικές μειώσεις εκπομπών, βελτιώνουν σημαντικά την οικονομική απόδοση και επιτυγχάνουν τη βιωσιμότητα τους. Επιπλέον, οι περιβαλλοντικά φιλικές προτάσεις που ήταν βιώσιμες χωρίς το συνυπολογισμό της ροής του άνθρακα, μέσω του επιπλέον ελέγχου φαίνεται ότι είναι ιδιαίτερα ελκυστικές.

5.4.3 Τελικές λίστες προτάσεων

Οι τελικές λίστες προτάσεων αποτελούν την ιεραρχημένη παρουσίαση της Ομάδας Προτάσεων Κτιρίου του πίνακα 25 ανά διαφορετικό κριτήριο οικονομικότητας. Με τον έλεγχο οικονομικότητας που έλαβε χώρα για την Ομάδα Προτάσεων Κτιρίου, κάθε πρόταση ενεργειακής εξοικονόμησης αξιολογήθηκε με βάση τέσσερα χρηματοοικονομικά κριτήρια, την Καθαρή Παρούσα Αξία, τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης, την Έντοκη Περίοδο Αποπληρωμής και την Απλή Περίοδο Αποπληρωμής. Τα αποτελέσματα του χρηματοοικονομικού ελέγχου για κάθε κριτήριο συνοψίζονται στις τελικές λίστες προτάσεων καθώς σε αυτές παρουσιάζονται σε σειρά κατάταξης οι προτάσεις με τις καλύτερες επιδόσεις στα κριτήρια αυτά. Στον πίνακα 28 απεικονίζεται η Λίστα των Τελικών Προτάσεων Κτιρίου που προέκυψε με βάση το κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας. Σύμφωνα με το κριτήριο αποδεκτή γίνεται κάθε πρόταση με ΚΠΑ μεγαλύτερη του μηδενός. Παρατηρείται πως επιλέχθηκαν ως πιο προσοδοφόρες προτάσεις δύο γενικές προτάσεις (θέση 1 και 5), τρεις προτάσεις φωτισμού (θέση 2,3 και 4) και μια ψύξης – θέρμανσης (θέση 6).

<u>A/A</u>	<u>Περιγραφή</u>
Τελική Λίστα Προτάσεων με βάση το κριτήριο της ΚΠΑ	
1	Επισκευή συστήματος αντηλιακής προστασίας στα υαλοστάσια νότιου προσανατολισμού ⁵ .
2	Επαναπρογραμματισμός συστημάτων ελέγχου της έντασης του φωτισμού (step control, analogue control) σε χώρους γραφείων.
3	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού σε τουαλέτες.
4	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού σε χώρους υποδοχής.
5	Στεγανοποίηση ανοιγμάτων διαφυγής θερμότητας.
6	Εγκατάσταση μετρητικών συστημάτων για τη παρακολούθηση και καταγραφή της ποιότητας του αέρα, μέσω της μέτρησης της συγκέντρωσης σωματιδίων και CO ₂ σε χώρους γραφείων.

Πίνακας 28 - Λίστα Προτάσεων με βάση το κριτήριο της ΚΠΑ

Η σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας που απορρέει από την εφαρμογή των προτάσεων αυτών σε συνδυασμό με το σχετικά χαμηλό κόστος επένδυσής τους τις κατατάσσει ψηλά στην αξιολόγηση με ΚΠΑ. Αντιθέτως, το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης των υπόλοιπων προτάσεων οδήγησε σε αρνητική ΚΠΑ και στη μη αποδοχή τους. Η ΚΠΑ δίνει τη μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία τόσο σαν κριτήριο αποδοχής όσο και σαν κριτήριο επιλογής και κατάταξης επενδυτικών προτάσεων. Λαμβάνει υπόψη της τη συνολική αξία των διαφορετικών προτάσεων καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους, ανεξαρτήτως διάρκειας ζωής καθώς όλες ανάγονται σε κοινή διάρκεια ζωής και τη σηματοδότηση κέρδους ή όχι από την υλοποίησή τους.

Στο πίνακα 29 απεικονίζεται η Λίστα των Τελικών Προτάσεων Κτιρίου που προκύπτει με βάση το κριτήριο του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης. Το κριτήριο του ΕΒΑ οδηγεί συνήθως σε ίδια συμπεράσματα με αυτό της ΚΠΑ, όταν χρησιμοποιείται ως κριτήριο αποδοχής μιας πρότασης. Ωστόσο σαν κριτήριο κατάταξης μπορεί να διαφοροποιείται ελαφρώς από την ΚΠΑ λόγω του ότι αναφέρεται στην ετήσια απόδοση κεφαλαίου της πρότασης και δεν λαμβάνει υπόψη το πραγματικό κόστος κεφαλαίου αυτής. Αυτή η διαφοροποίηση αποτυπώνεται και στον πίνακα 29 καθώς οι προτάσεις είναι οι ίδιες που επιλέχθηκαν και με το κριτήριο της ΚΠΑ αλλά με ελαφρώς διαφορετική σειρά κατάταξης. Οι προτάσεις φωτισμού κατέχουν πλέον τις θέσεις 1,2 και 4, οι γενικές τις 3 και 5 και η πρόταση ψύξης- θέρμανσης την έκτη θέση. Σε όλες οι υπόλοιπες προτάσεις προέκυψε ΕΒΑ μικρότερος του επιτοκίου αναγωγής που οδήγησε στη μη αποδοχή τους.

<u>Α/Α</u>	<u>Περιγραφή</u>
Τελική Λίστα Προτάσεων με βάση το κριτήριο του ΕΒΑ	
1	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού σε χώρους υποδοχής.
2	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού σε τουαλέτες.
3	Επισκευή συστήματος αντηλιακής προστασίας στα υαλοστάσια νότιου προσανατολισμού ⁵ .
4	Επαναπρογραμματισμός συστημάτων ελέγχου της έντασης του φωτισμού (step control, analogue control) σε χώρους γραφείων.
5	Στεγανοποίηση ανοιγμάτων διαφυγής θερμότητας.
6	Εγκατάσταση μετρητικών συστημάτων για τη παρακολούθηση και καταγραφή της ποιότητας του αέρα, μέσω της μέτρησης της συγκέντρωσης σωματιδίων και CO ₂ σε χώρους γραφείων.

Πίνακας 29 - Λίστα Προτάσεων με βάση το κριτήριο του ΕΒΑ

Στους πίνακες 28 και 29 απεικονίζονται οι λίστες των Τελικών Προτάσεων Κτιρίου που προκύπτουν με βάση τα κριτήρια της Έντοκης και Απλής Περιόδου Αποπληρωμής αντίστοιχα. Τα κριτήρια αυτά εξετάζουν το χρόνο που απαιτείται για την αποπληρωμή της αρχικής επένδυσης είτε με τον υπολογισμό τόκων κεφαλαίου όποτε αντιστοιχεί σε έντοκη περίοδο είτε χωρίς οπότε αντιστοιχεί σε άτοκη. Η μέθοδος της περιόδου αποπληρωμής δεν είναι συμβατή με τις προηγούμενες μεθόδους (ΚΠΑ και ΕΒΑ) και μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικές επιλογές. Τα κριτήρια ΕΠΑ και ΑΠΑ είναι χρήσιμα για μια γρήγορη εκτίμηση της αποδοχής μιας πρότασης και κατάλληλα μόνο για περιπτώσεις πολύ απλών και βραχυχρόνιων προτάσεων. Για πιο σύνθετες και μακροχρόνιες προτάσεις προτείνεται να χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά μαζί με κάποιο κριτήριο που λαμβάνει υπόψη τη χρονική αξία του χρήματος και τη διάρκεια ζωής της επένδυσης (ΕΒΑ, ΚΠΑ). Αυτό διότι τα κριτήρια της ΚΠΑ και του ΕΒΑ συγκρίνουν απόλυτα μεγέθη όπως η παρούσα αξία του χρήματος μεγαλύτερη ή μικρότερη του μηδενός και η απόδοση του κεφαλαίου χρήματος μεγαλύτερη ή μικρότερη του επιτοκίου αναγωγής που οδηγούν ξεκάθαρα σε αποδοχή ή όχι μιας πρότασης. Αντιθέτως η περίοδος αποπληρωμής συγκρίνει ένα μέγεθος, το χρόνο αποπληρωμής, που είναι υποκειμενικά

οριοθετημένος από κάθε αποφασίζοντα. Στην εφαρμογή που παρουσιάστηκε κρίθηκε ως οριακός χρόνος αποπληρωμής τα δέκα χρόνια ενώ κάλλιστα θα μπορούσε να ήταν διαφορετικός.

Ωστόσο, παρατηρείται πως οι προτάσεις που έγιναν αποδεκτές στους πίνακες 30 και 31 είχαν επιλεγεί και στις λίστες των προηγούμενων κριτηρίων, μόνο που εδώ είναι κατά δύο λιγότερες. Κυριαρχούν οι προτάσεις φωτισμού (θέση 1,2 και 4) και μία πρόταση της γενικής ομάδας (θέση 3) ενώ η δεύτερη πρόταση γενικής ομάδας και η πρόταση ψύξης- θέρμανσης που είχαν επιλεγεί στις προηγούμενες λίστες απορρίφθηκαν.

<u>A/A</u>	<u>Περιγραφή</u>
Τελική Λίστα Προτάσεων με βάση το κριτήριο της ΕΠΑ	
1	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού σε χώρους υποδοχής.
2	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού σε τουαλέτες.
3	Επισκευή συστήματος αντηλιακής προστασίας στα υαλοστάσια νότιου προσανατολισμού.
4	Επαναπρογραμματισμός συστημάτων ελέγχου της έντασης του φωτισμού (step control, analogue control) σε χώρους γραφείων.

Πίνακας 30 - Λίστα Προτάσεων με βάση το κριτήριο της ΕΠΑ

<u>Α/Α</u>	<u>Περιγραφή</u>
Τελική Λίστα Προτάσεων με βάση το κριτήριο της ΑΠΑ	
1	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού σε χώρους υποδοχής.
2	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού σε τουαλέτες.
3	Επισκευή συστήματος αντηλιακής προστασίας στα υαλοστάσια νότιου προσανατολισμού.
4	Επαναπρογραμματισμός συστημάτων ελέγχου της έντασης του φωτισμού (step control, analogue control) σε χώρους γραφείων.

Πίνακας 31 - Προτάσεων με βάση το κριτήριο της ΑΠΑ

Τέλος, στον πίνακα 32 απεικονίζεται η λίστα των Τελικών Προτάσεων Κτιρίου ύστερα από την τέλεση του επιπλέον ελέγχου που λαμβάνει υπόψη το «επιπρόσθετο οικονομικό κέρδος» από την αγορά του άνθρακα που προκύπτει από τις εκτιμώμενες μειώσεις εκπομπών που αναμένεται να επιτευχθούν από την υλοποίηση των προτάσεων. Το κριτήριο οικονομικής αξιολόγησης που χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση της λίστας των Τελικών Προτάσεων με επιπλέον έλεγχο είναι αυτό της ΚΠΑ ως το πιο ακριβές και αξιόπιστο.

<u>A/A</u>	<u>Περιγραφή</u>
Τελική Λίστα Προτάσεων με τέλεση Επιπλέον Ελέγχου.	
1	Επισκευή συστήματος αντηλιακής προστασίας στα υαλοστάσια νότιου προσανατολισμού.
2	Εγκατάσταση συστήματος αντηλιακής προστασίας στα υαλοστάσια νότιου προσανατολισμού.
3	Επαναπρογραμματισμός συστημάτων ελέγχου της έντασης του φωτισμού (step control, analogue control) σε χώρους γραφείων.
4	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού σε τουαλέτες.
5	Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού σε χώρους υποδοχής.
6	Εγκατάσταση μικρής ανεμογεννήτριας για μερική κάλυψη ηλεκτρικού φορτίου.
7	Στεγανοποίηση ανοιγμάτων διαφυγής θερμότητας.
8	Εγκατάσταση ρυθμιστών στροφών (Variable Speed Drivers - VSD) σε ανεμιστήρες.
9	Εγκατάσταση εναλλάκτη θερμότητας για προθέρμανση και πρόψυξη του αέρα από το νερό του πηγαδιού.
10	Εγκατάσταση μετρητικών συστημάτων για τη παρακολούθηση και καταγραφή της ποιότητας του αέρα, μέσω της μέτρησης της συγκέντρωσης σωματιδίων και CO ₂ σε χώρους γραφείων.

Πίνακας 32 - Λίστα Προτάσεων με τέλεση Επιπλέον Ελέγχου

Βιβλιογραφία

- [1] Andrew Parsons, Nick Randolph (2006), "Professional Visual Studio 2005", Wrox, 2006
- [2] Evangelos Petroutsos (2006), "Mastering Microsoft Visual Basic 2005", Sybex, 1 edition 2006
- [3] Robert Vieira (2000), "Professional SQL Server 2000 Programming", Wrox, 1 edition 2000
- [4] Joseph C Giarratano (1987), "Artificial Intelligence Section, Johnson Space Center (1987)", Artificial Intelligence Section, Johnson Space Center (1987)
- [5] Joseph C Giarratano (1998), "Clip Software, Expert Systems", Cambridge, Mass. : Thomson Course Technology, c2005.
- [6] Chengying Xu, Yung C. Shin (2008), "Intelligent Systems: Modeling, Optimization, and Control (Automation and Control Engineering Series)", CRC, 1 edition 2008
- [7] Insup Lee, Joseph Y-T. Leung, Sang H. Son (2007), "Handbook of Real-Time and Embedded Systems", Chapman & Hall/CRC, 1 edition 2007

ΚΕΦ. 6 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

6.1 Γενικά

Τα κτίρια αποτελούν τον μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας στην Ευρώπη, καλύπτοντας, σχεδόν, το 30% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου της. Παράλληλα, ο κτιριακός χώρος, ως πλήρες στοιχείο του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος επηρεάζεται από τα σύγχρονα προβλήματά του και συντελεί στην διαμόρφωσή τους. Η ένταση των προβλημάτων του εξωτερικού περιβάλλοντος έχει διαμορφώσει ένα πλαίσιο προβλημάτων για το κτίριο όπου τα προβλήματα ποιότητας του εσωτερικού κλίματος και περιβάλλοντος καθώς και τα ποσοτικά προβλήματα κατανάλωσης και εξοικονόμησης ενέργειας, συμπλέουν και απαιτούν κοινή αντιμετώπιση και προοδευτική αντίληψη αντιμετώπισης.

Η διδακτορική διατριβή είχε ως στόχο την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας συνολικής ενεργειακής διαχείρισης των ενεργειακών πόρων ενός σύγχρονου κτιρίου, λαμβάνοντας υπόψη την καθημερινή δραστηριότητα στους χώρους του και τις προοπτικές βελτίωσης των δομικών χαρακτηριστικών του. Ο στόχος αυτός φιλοδοξεί να δώσει μια ακόμα ώθηση στην αντιμετώπιση του επίκαιρου ενεργειακού προβλήματος σε συνδυασμό με τις όποιες περιβαλλοντικές συνιστώσες έχουν αναδυθεί τα τελευταία χρόνια.

Στο πλαίσιο αυτό, η διατριβή επικεντρώθηκε σε ένα σύνολο διαδοχικών διερευνητικών ενεργειών οι οποίες παρουσιάστηκαν αναλυτικά στα προηγούμενα κεφάλαια, και αφορούσαν στους παρακάτω τομείς.

- Την παρουσίαση της διαδικασίας της ενεργειακής διαχείρισης, το νομοθετικό πλαίσιο που την διέπει και τις σύγχρονες μεθοδολογίες ενεργειακής αξιολόγησης των κτιρίων.
- Την ανάλυση και παρουσίαση της υφιστάμενης κατάστασης και της ιστορικής διαδρομής των συστημάτων διαχείρισης κτιρίων.
- Την μελέτη του επιστημονικού πεδίου των ευφυών τεχνικών ελέγχου και τις δυνατότητες εφαρμογής τους για την αντιμετώπιση του προβλήματος
- Την επισκόπηση της θεωρίας θερμικών φορτίων και συνθηκών ευεξίας στους χώρους ενός κτιρίου
- Την μοντελοποίηση κτιριακών πόρων και προτάσεων ενεργειακής βελτίωσης

- Την ανάπτυξη μεθοδολογίας συνολικού ενεργειακού ελέγχου των πόρων ενός κτιρίου με βασικές συνιστώσες την εξοικονόμηση από τον ευφυή έλεγχο του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού του και την βελτιστοποίηση των ενεργειακών χαρακτηριστικών με κατάλληλες παρεμβάσεις
- Την υλοποίηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε πληροφοριακό σύστημα και την πιλοτική εφαρμογή και αξιολόγησή της σε πραγματικές συνθήκες

Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει τα γενικά συμπεράσματα που απορρέουν από τη διατριβή καθώς και τις προοπτικές που διαφαίνονται για περαιτέρω ερευνητικές δραστηριότητες πάνω στο πρόβλημα της διαχείρισης πόρων σε κτίρια.

6.2 Αξιολόγηση – Συμπεράσματα

Η αποδοτική λειτουργία ενός σύγχρονου κτιρίου και η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελούν ένα πολυδιάστατο πρόβλημα με νομοθετικές, κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές προεκτάσεις. Η διατριβή στο πλαίσιο ανάπτυξης και εφαρμογής της μεθοδολογίας διαχείρισης πόρων σε κτίρια διερεύνησε τις παραμέτρους του προβλήματος και ανέδειξε τα ακόλουθα συμπεράσματα για την επιχειρηματική και κοινωνική επικρατούσα κατάσταση.

- Η εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την κατασκευαστική μελέτη και υποδομή του εκάστοτε κτιρίου. Μια εγκατάσταση με προσανατολισμό εξοικονόμησης και χρήση αντίστοιχων τεχνολογιών αποτελεί ένα ιδανικό πεδίο εφαρμογής μεθοδολογιών βελτιστοποίησης της διαχείρισης πόρων του κτιρίου. Το γεγονός αυτό, όμως, δεν αποτελεί πρωτεύοντα στόχο για τον κατασκευαστικό τομέα.
- Το νομοθετικό πλαίσιο για την προώθηση της εξοικονόμησης ενέργειας που έχει εφαρμοστεί μέχρι σήμερα σε κοινοτικό και σε εθνικό επίπεδο είναι αποσπασματικό και αναποτελεσματικό. Αυτό αποδεικνύεται από το γεγονός ότι η προώθηση μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας έχει επιχειρηθεί στο πλαίσιο διαφορετικών πολιτικών όπως η προφύλαξη του περιβάλλοντος, η ανταγωνιστικότητα και η οικονομική ανάπτυξη.
- Το αρχικό κόστος εφαρμογής μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας είναι απαγορευτικά υψηλό για τους σύγχρονους οικονομικούς δείκτες του κτιριακού

τομέα. Παράλληλα, η ευαισθητοποίηση και ενημέρωση της κοινής γνώμης στα θέματα ενεργειακής διαχείρισης απέχει κατά πολύ από το ικανοποιητικό.

Εξειδικεύοντας τα συμπεράσματα της διατριβής, από την εφαρμογή και αξιολόγηση της μεθοδολογίας, τεκμηριώνονται τα πορίσματα που ακολουθούν.

- Η αποτελεσματική μοντελοποίηση και παραμετροποίηση των εμπλεκόμενων οντοτήτων στο πρόβλημα που πραγματεύεται η διατριβή παρέχει δυνατότητες προσαρμογής, επέκτασης και γενίκευσης στην εφαρμογή της μεθοδολογίας σε ποικίλους τύπους κτιρίων με διαφορετικές απαιτήσεις και εξοπλισμό. Οι δυνατότητες αυτές, βέβαια, δεν περιορίζουν την αποδοτικότητα της διαδικασίας και δεν αυξάνουν την πολυπλοκότητα της μεθοδολογίας.
- Η υιοθέτηση ευφών τεχνικών ελέγχου και ειδικότερα ενός έμπειρου συστήματος στην διαχείριση των πόρων ενός κτιρίου παρέχει σημαντικά περιθώρια βελτίωσης της κτιριακής λειτουργίας. Στην περίπτωση της πιλοτικής εφαρμογής που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της διατριβής, όπου στο υπό έλεγχο κτίριο αρχικά δεν είχε εφαρμοσθεί κανένα μέτρο εξοικονόμησης στην κατασκευή και την λειτουργία του, τα αποτελέσματα ήταν θεαματικά.
- Η προσπάθεια μεταβολής της έντασης του τεχνητού και του φυσικού φωτισμού με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας δεν έγινε ευχάριστα αποδεκτή από το προσωπικό του κτιρίου. Η δυσφορία αυτή ίσως να οφείλεται στη υψηλή ευαισθησία του ματιού στις μεταβολές της έντασης αλλά και τις ποιότητας του φωτισμού.
- Η εφαρμογή της μεθοδολογίας συνολικού ενεργειακού ελέγχου με πραγματικά στοιχεία ανέδειξε προτάσεις ενεργειακής βελτίωσης οι οποίες είχαν ήδη προταθεί από εμπειρογνώμονες. Το γεγονός αποδεικνύει την ορθότητα των αποτελεσμάτων αλλά και δικαιολογεί τον χαρακτηρισμό του αυτοματοποιημένου εργαλείου της συγκεκριμένης μεθοδολογίας.
- Η μεθοδολογία, εκτός από ένα πλαίσιο αποδοτικού ελέγχου ενός σύγχρονου κτιρίου, προσφέρει και ένα χρήσιμο εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων για την βελτίωση των κτιρίων και την προώθηση της εξοικονόμησης της ενέργειας.

6.3 Προοπτικές

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της διατριβής και η ανάπτυξη της προτεινόμενης μεθοδολογίας ανέδειξαν διαστάσεις και επεκτάσεις του προβλήματος οι οποίες αποτελούν πρόσφορο πεδίο για περαιτέρω έρευνα και καινοτομία. Το πεδίο αυτό περιέχει επιστημονικούς χώρους διερεύνησης με τεχνολογικό, οικονομικό, συμβουλευτικό και κοινωνικό περιεχόμενο. Ενδεικτικά, στη συνέχεια αναφέρονται οι κύριες προοπτικές βελτίωσης και επέκτασης της μεθοδολογίας της παρούσας διατριβής.

- Η υιοθέτηση υβριδικών τεχνικών ελέγχου στη θέση του έμπειρου συστήματος της μεθοδολογίας δύναται να αυξήσει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας ελέγχου στους τομείς της άνεσης και της παράλληλης εξοικονόμησης ενέργειας.
- Ο εμπλουτισμός της βάσης γνώσης και των κανόνων λειτουργίας από εμπειρογνώμονες μηχανικούς και εξειδικευμένους επιστήμονες θα συμβάλλει σημαντικά στην βελτίωση των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας ευφυούς ελέγχου χώρων.
- Η προσαρμογή τη μοντελοποίησης των προτάσεων βελτίωσης με εισαγωγή παραμέτρων διαχείρισης κινδύνου και επιχειρηματικών ευκαιριών και η ενημέρωση των διενεργούμενων ελέγχων θα καταστήσει την αξιολόγηση των προτάσεων πιο ρεαλιστική.
- Η μελέτη διασύνδεσης των βάσεων γνώσης που χρησιμοποιούνται θα μπορούσε να συμβάλει σημαντικά στην πληροφόρηση φορέων χάραξης ενεργειακής πολιτικής και διαμόρφωσης μέτρων προώθησης της εξοικονόμησης ενέργειας.
- Η στατιστική μελέτη των δεδομένων καταγραφής για κάθε χώρο του κτιρίου είναι δυνατό να αποτελέσει εργαλείο εντοπισμού επιβαρυντικών ενεργειακά συμπεριφορών από τους χρήστες του κτιρίου ή εγγενών ελαττωμάτων του εξοπλισμού και του σχεδιασμού του. Βέβαια, στην περίπτωση ελέγχου της ατομικής συμπεριφοράς, οι απαραίτητες δικλείδες διασφάλισης προσωπικών δεδομένων οφείλουν να διερευνηθούν και εφαρμοστούν.

ΚΕΦ. 7 : ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

7.1 Λίστα Δημοσιεύσεων:

- H. Doukas, K. D. Patlitzianas, K. Iatropoulos and J. Psarras, “Intelligent Building Energy Management System Using Rule Sets”, Building and Environment – The International Journal of Building Science and its Applications, 42, 2007, pp. 3562–3569.
- H. Doukas, D. K. Patlitzianas, K. Iatropoulos and J. Psarras, “A decision support model using expert knowledge for building energy management”, International Conference on Improving Energy Efficiency in Commercial Buildings (IEECB’06), Building Performance Congress, Frankfurt 26-27 April 2006
- K. Iatropoulos, N. Tournlis, H. Doukas, S. Louizidis, D. K. Patlitzianas, J. Psarras “An Expert Model for Monitoring Building’s Operations via BEMS”, Energy Performance and Environmental Quality of Buildings (EPEQUB2006), Milos island, 6-7 July 2006.
- D. K. Patlitzianas, H. Doukas, S. Louizidis, N. Tournlis, K. Iatropoulos, J. Psarras “Intelligent Building Energy Management Integrated Model, Energy Performance and Environmental Quality of Buildings (EPEQUB2006), Milos island, 6-7 July 2006.

7.2 Προθέρμανση, Λήξη και Διατήρηση Συνθηκών

Μια πολύ σημαντική διαδικασία για την αποδοτικότερη διαχείριση του εξοπλισμού του κτιρίου είναι η διαδικασία προθέρμανσης, λήξης και διατήρησης συνθηκών χώρου.

Η διαδικασία προθέρμανσης ενεργοποιείται σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή πριν από την έναρξη κανονικής λειτουργίας (ωράριο λειτουργίας) που επιλέγεται από τον διαχειριστή του συστήματος. Σκοπός της διαδικασίας είναι η ανανέωση του εσωτερικού αέρα των χώρων πριν την είσοδο εργαζομένων και η σταδιακή προσέγγιση των προεπιλεγμένων εσωτερικών συνθηκών των χώρων.

Η χρονική ακολουθία των βημάτων που ακολουθείται για κάθε χώρο περιγράφεται παρακάτω:

- Ενεργοποίηση διαδικασίας την επιλεγμένη χρονική στιγμή πριν την κανονική λειτουργία του συστήματος.
- Υπολογισμός της χρονικής διάρκειας που απαιτείται για την πλήρη ανανέωση του αέρα του χώρου.

$$T_{\text{renew}} = V_{\text{Room}} / V_{\text{Air}}$$

όπου T_{renew} : χρόνος ανανέωσης

V_{Room} : όγκος του χώρου σε m^3

V_{Air} : ταχύτητα εναλλαγής του εξαεριστικού σε m^3/min

- Εντοπισμός προεπιλεγμένων επιθυμητών εσωτερικών συνθηκών του χώρου στη βάση δεδομένων του συστήματος.
- Επιλογή ενεργειών «ήπιας προσέγγισης» των επιθυμητών συνθηκών.
- Παύση της διαδικασίας όταν το σύστημα μπει σε κατάσταση κανονικής λειτουργίας.

Αντίστοιχα, η διαδικασία λήξης του συστήματος θα πρέπει να εκτελείται σε προεπιλεγμένη χρονική στιγμή πριν από την λήξη του κανονικού ωραρίου λειτουργίας. Η χρονική στιγμή επιλέγεται από τον διαχειριστή του συστήματος. Σκοπός της διαδικασίας είναι η σταδιακή απενεργοποίηση του εξοπλισμού του χώρου και η «ήπια μετάβαση» στην εκτός ωραρίου κατάσταση. Η ένταση των παρεμβάσεων στις συνθήκες κάθε χώρου μειώνεται βηματικά, εξοικονομώντας ενέργεια, με τελική κατάσταση την παύση λειτουργίας των εξοπλισμών με το προκαθορισμένου τέλος του ωραρίου του χώρου.

Επιπλέον, η διαδικασία διατήρησης συνθηκών χώρου πρέπει να ενεργοποιείται όταν διαπιστωθεί απουσία από το χώρο για μεγάλο διάστημα. Σε αυτή την περίπτωση απενεργοποιούνται τα συστήματα ρύθμισης των εσωτερικών

συνθηκών του κτιρίου εκτός από προκαθορισμένες ακραίες καιρικές συνθήκες (καύσωνας, παγετός). Συγκεκριμένα, όταν η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου είναι $< 15^{\circ}\text{C}$ (χειμώνας) ή όταν είναι $> 35^{\circ}\text{C}$ (καλοκαίρι), τότε το σύστημα κλιματισμού μπαίνει σε λειτουργία ακόμα και εκτός ωραρίου λειτουργίας με στόχο να αποφευχθεί η πτώση της θερμοκρασίας κάτω από τους 15°C το χειμώνα και πάνω από τους 35°C το καλοκαίρι. Η διαδικασία αυτή είναι σημαντική στο πλαίσιο της εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς αν υπάρξει πλήρης θερμική αποφόρτιση του κτιρίου, η μετέπειτα προσπάθεια των συσκευών κλιματισμού για ρύθμιση θα είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρα.

Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται ένα τυπικό χρονικό διάγραμμα ενεργοποίησης συστημάτων, για διάφορους τύπους χώρων.

	Scheduling																							
Rooms	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Working Hours																								
Office Rooms																								
Communal Rooms																								
Meeting Rooms																								
Server Room																								

Σχήμα 57 - Χρονικό Διάγραμμα Ενεργοποίησης Συστημάτων

Συγκεκριμένα, σε κάθε γραμμή του σχήματος απεικονίζονται τα ακόλουθα:

- Στην πρώτη γραμμή του χρονοδιαγράμματος είναι ένα τυπικό ωράριο λειτουργίας το οποίο ξεκινά στις 8:00 και τερματίζει στις 16:00.
- Στη δεύτερη γραμμή φαίνεται ο κύκλος ελέγχου που θα πρέπει να κάνει το εκάστοτε σύστημα διαχείρισης λειτουργιών κτιρίου. Μια ώρα πριν την επίσημη εκκίνηση του ωραρίου (περιοχή με κίτρινο) το σύστημα εκτελεί την διαδικασία εκκίνησης κατά την οποία ανανεώνει τον αέρα του χώρου με την βοήθεια των εξαεριστικών και στη συνέχεια με ήπιο ρυθμό προσεγγίζει τις προεπιλογές για το συγκεκριμένο χώρο. Αντίστοιχα, μια ώρα πριν τον επίσημο τερματισμό του ωραρίου εργασίας (περιοχή με γαλάζιο) το υποσύστημα είναι πιο ανεκτικό στην τήρηση των επιλογών του χώρου και σταδιακά εισέρχεται σε κατάσταση αναμονής (περιοχή με μπλε).
- Στις υπόλοιπες γραμμές του χρονοδιαγράμματος παρουσιάζεται η λειτουργία του συστήματος για τους άλλους τύπους χώρων. Συγκεκριμένα:
- Στην τρίτη γραμμή παρουσιάζονται οι κοινόχρηστοι χώροι, οι οποίοι είναι υπό έλεγχο από το υποσύστημα κατά την διάρκεια του ωραρίου.

- Στην τέταρτη γραμμή παρουσιάζονται οι αίθουσες συνεδριάσεων, οι οποίες βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής σε ένα διευρυμένο χρονικό και το σύστημα αντιδρά άμεσα σε κάθε αίτημα.
- Στην πέμπτη γραμμή παρουσιάζονται οι χώροι των υπολογιστικών συστημάτων που βρίσκονται σε διαρκή και αυστηρό έλεγχο σε όλη τη διάρκεια της ημέρας.

7.3 Δεδομένα Οικονομικού Ελέγχου Προτάσεων

Ομάδα Προτάσεων Κτιρίου	Χρόνος ζωής (έτη)	Κόστος Εξοπλισμού (€)	Ετήσιος Κόστος Συντήρησης (€/έτος)	Εξοικονόμηση Ενέργειας ανά έτος (kWh)/έτος	Εξοικονόμηση Ισχύος (kW)	Μείωση Εκπομπών (t CO ₂ –eq / έτος)
Αντικατάσταση «ballast» λαμπτήρων με νέα αποδοτικότερα και υψηλότερης συχνότητας στην αποθήκη.	12	400	0	100	0	0,08
Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού σε τουαλέτες.	12	70	-0,32	687	0	0,55
Αντικατάσταση υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας (π.χ. πυράκτωσης) με αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορισμού σε χώρους υποδοχής.	12	10,5	-0,19	432	0	0,35
Αντικατάσταση υπαρχόντων φωτιστικών σωμάτων διαμέτρων 26 mm με σύγχρονους διαμέτρου 16 mm σε χώρους γραφείων.	12	12.900	0	317,4	0	0,25
Μελέτη φωτισμού - Επανασχεδιασμός και υλοποίηση εγκατάστασης φωτισμού της αίθουσας συνεδριάσεων.	12	800	-0,33	156	0	0,12
Επαναπρογραμματισμός συστημάτων ελέγχου της έντασης του φωτισμού (step control, analogue control) σε χώρους γραφείων.	12	600	0	1.163	0	0,93

Ομάδα Προτάσεων Κτιρίου	Χρόνος ζωής (έτη)	Κόστος Εξοπλισμού (€)	Ετήσιος Κόστος Συντήρησης (€/έτος)	Εξοικονόμηση Ενέργειας ανά έτος (kWh)/έτος	Εξοικονόμηση Ισχύος (kW)	Μείωση Εκπομπών (t CO ₂ –eq / έτος)
Εγκατάσταση ρυθμιστών στροφών (Variable Speed Drivers - VSD) σε ανεμιστήρες.	15	260	0	63,36	0	0,05
Εγκατάσταση μετρητικών συστημάτων για τη παρακολούθηση και καταγραφή της ποιότητας του αέρα, μέσω της μέτρησης της συγκέντρωσης σωματιδίων και CO ₂ σε χώρους γραφείων.	15	200	0	158,4	0	0,13
Συντήρηση συστήματος κλιματισμού	-	-	300	390	-	0,31
Έλεγχος και αλλαγή τιμολογίου	12	35	0	0	0	0
Εγκατάσταση συστήματος συμπαγωγής ηλεκτρισμού – θερμότητας (με κλιματιστική μονάδα απορρόφησης για ψύξη) με καύση φυσικού αερίου.	15	83.500	534,60	47.520	35	-9,5
Εγκατάσταση ηλιοθερμικών συστημάτων στην οροφή του κτιρίου για κάλυψη ποσοστού της ψύξης με τη διαδικασία της απορρόφησης με παράλληλη χρήση του συστήματος συμπαγωγής για τις ώρες μη ηλιοφάνειας.	15	41.500	0	5.641,5	0	4,51
Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων για μερική κάλυψη ηλεκτρικού φορτίου, καλύπτοντας το ελεύθερο εμβαδό της ταράτσας.	25	(α) 41.854 (β) 22.460 (γ) 17.000	(α) 209,27 (β) 112,30 (γ) 85,00	(α) 10.010 (β) 4.585 (γ) 3.418	(α) 6,28 (β) 3,10 (γ) 2,30	(α) 8,01 (β) 3,67 (γ) 2,73

Ομάδα Προτάσεων Κτιρίου	Χρόνος ζωής (έτη)	Κόστος Εξοπλισμού (€)	Ετήσιος Κόστος Συντήρησης (€/έτος)	Εξοικονόμηση Ενέργειας ανά έτος (kWh)/έτος	Εξοικονόμηση Ισχύος (kW)	Μείωση Εκπομπών (t CO ₂ –eq / έτος)
Εγκατάσταση μικρής ανεμογεννήτριας για μερική κάλυψη ηλεκτρικού φορτίου.	25	11.500	172,5	4.800	0,75	3,84
Εγκατάσταση εναλλάκτη θερμότητας για προθέρμανση και πρόψυξη του αέρα από το νερό του πηγαδιού.	26	1.300	0	432,2	0	0,35
Στεγανοποίηση ανοιγμάτων διαφυγής θερμότητας.	30	100	0	78	0	0,06
Εγκατάσταση θερμομόνωσης οροφής, δαπέδων, pilotis και θερμογεφυρών (υποστυλώματα, δοκοί, τοιχία κλπ.)	30	10.350	0	643,5	0	0,51
Εγκατάσταση συστήματος αντηλιακής προστασίας στα υαλοστάσια νότιου προσανατολισμού.	12	(α) 5.500 (β) 1.000	(α) 0 (β) 0	(α) 4.651 (β) 2.367	(α) 0 (β) 0	(α) 3,72 (β) 1,89
Επισκευή συστήματος αντηλιακής προστασίας στα υαλοστάσια νότιου προσανατολισμού.	12	1.000	0	2.367	0	1,89

Πίνακας 33 - Δεδομένα Οικονομικού Ελέγχου Προτάσεων