

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**ΕΥΦΥΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΚΤΗΡΙΩΝ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ**

Γεωργίου Κατερίνα

Λεμεσός 2011

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΕΥΦΥΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΚΤΗΡΙΩΝ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Γεωργίου Κατερίνα

Επιβλέπουσα καθηγήτρια Δρ. Τούλα Ονουφρίου

Λεμεσός 2011

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Γεωργίου Κατερίνα, [2011]

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την επιβλέπουσα καθηγήτρια της εργασίας μου κυρία Τούλα Ονουφρίου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου αυτή την εργασία, για την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκειά της και κυρίως για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα ενδιαφέρον αντικείμενο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θέμα της μελέτης που θα αναφερθεί και θα αναλυθεί παρακάτω είναι: *«Ευφυής σχεδιασμός και διαχείριση κτηρίων για βελτιστοποίηση ενεργειακής απόδοσης»*. Στα πλαίσια αυτού του θέματος γράφτηκε η παρακάτω μελέτης, η οποία έχει ως στόχο της να παρουσιαστούν και να αναλυθούν διάφοροι τρόποι, οι οποίοι μπορούν να βοηθήσουν στη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, μέσω του βιοκλιματικού σχεδιασμού των κτηρίων και τη χρήση συστημάτων διαχείρισης ενέργειας, βάσει των αρχών της βιώσιμης ανάπτυξης. Το θέμα αποτελείται ουσιαστικά από τρία μέρη: το βιοκλιματικό σχεδιασμό και τη βιοκλιματική αρχιτεκτονική των κτηρίων, τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης καθώς και την ευφυή διαχείριση των συστημάτων και τεχνολογιών για την εξοικονόμηση της ενέργειας που καταναλώνουν τα κτήρια (για ψύξη, θέρμανση, φωτισμό κλπ) και τη καλύτερη διαχείρισή της. Στο τέλος διατυπώνονται τα συμπεράσματα τα οποία είναι βασισμένα σε όλη την έρευνα καθώς και κάποιες εισηγήσεις - λύσεις πάνω στο θέμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	ix
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xi
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ.....	xiii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xiv
1 Βιοκλιματικός Σχεδιασμός και Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική.....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Βιοκλιματικός Σχεδιασμός.....	1
1.2.1 Αρχές Βιοκλιματικού Σχεδιασμού.....	3
1.3 Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική.....	4
2 Συστήματα θέρμανσης και Ψύξης.....	6
2.1 Εισαγωγή.....	6
2.2 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης.....	6
2.2.1 Συστήματα Άμεσου Κέρδους.....	8
2.2.2 Συστήματα Έμμεσου Κέρδους.....	10
2.2.2.1 Ηλιακοί Τοίχοι.....	10
2.2.2.1.α Τοίχοι θερμικής αποθήκευσης.....	11
2.2.2.1.β Θερμοσιφωνικό πανέλο.....	12
2.2.2.2 Ηλιακός Χώρος (Θερμοκήπιο).....	13
2.3 Συστήματα Combi.....	14
2.4 Σύστημα θέρμανσης δαπέδου.....	16

2.5	Μπόιλερ Παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης και Υποστήριξης Θέρμανση.....	19
2.6	Προσδιορισμός του δυναμικού ελεύθερης ψύξης.....	21
2.6.1	Κύκλος εξοικονόμησης και εξοικονομητές στα συστήματα HVAC....	21
2.6.1.1	Τύποι κύκλων εξοικονόμησης.....	22
2.6.2	Έλεγχοι-Πειράματα.....	23
2.7	Έξυπνο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για ψύξη και θέρμανση.....	26
2.8	Case Studies.....	27
2.8.1	Case Study στην Istanbul.....	27
2.8.1.1	Ανάλυση της υπαίθριας θερμοκρασίας αέρα.....	27
2.8.1.2	Μέθοδος Bin.....	28
2.8.2	Case Study στη Κίνα - Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για ψύξη και θέρμανση.....	33
3	Ενεργειακή Διαχείριση Κτιρίων.....	38
3.1	Εισαγωγή.....	38
3.1.1	Πρόγραμμα Ενεργειακής Διαχείρισης.....	41
3.2	Συστήματα Προσέγγισης.....	43
3.2.1	Βιώσιμη Ανάπτυξη μέσω Συστημάτων Προσέγγισης.....	44
3.3	Συστήματα BEMS.....	45
3.4	Συστήματα BEAMS.....	47
3.4.1	Χαρακτηριστικά γνωρίσματα των συστημάτων BEAMES.....	50
3.4.2	Η Νευρική έννοια δικτύωσης και η εφαρμογή τους σε BEAMES.....	53
3.5	Σχεδιασμός έξυπνων συστημάτων ελέγχου multi-agent για έξυπνα και βιώσιμα κτήρια.....	55
3.5.1	Μαθηματικό Μοντέλο για Agent-Controllers.....	57
3.5.1.1	Κεντρικός agent-controller.....	57
3.5.1.2	Τοπικοί agent-controllers.....	60
3.5.1.2.1	Ελεγκτής θέρμανσης/ψύξης.....	61

3.5.1.2.2	Ελεγκτής εξαερισμού.....	63
3.5.1.2.3	Ελεγκτής φωτισμού.....	65
3.6	Ευφυή συστήματα διαχείρισης ενέργειας στα κτήρια που χρησιμοποιούν σύνολα κανόνων.....	66
3.6.1	Μεθοδολογία συστημάτων διαχείρισης ενέργειας που χρησιμοποιούν σύνολα κανόνων.....	67
3.6.2	Ανάπτυξη μοντέλου	70
3.6.2.1	Αρχιτεκτονική μοντέλου.....	70
3.6.2.2	Ανάπτυξη των συνόλων κανόνα.....	71
3.7	Σχεδιασμός συστημάτων για εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια βασισμένος σε multi agentσύστημα.....	73
3.8	Case Studies – Εφαρμογές – Πειράματα.....	74
3.8.1	Εφαρμογή συστημάτων MAS στα έξυπνα κτήρια.....	74
3.8.2	Συστήματα Προσέγγισης - Case Study.....	76
3.8.3	Case Study Συστημάτων ελέγχου multi-agent – Αποτελέσματα Προσομοίωσης.....	77
3.8.4	Πειραματική αξιολόγηση συστημάτων διαχείρισης ενέργειας στα κτήρια που χρησιμοποιούν σύνολα κανόνων.....	83
	ΣΥΖΗΤΗΣΗ / ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	88
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ / ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	93

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Μηνιαίες τιμές συνολικών N_{bin} (ώρες / μήνα) για την Istanbul.....	31
Πίνακας 2: Ετήσιες συνολικές τιμές N_{bin} (ώρες / έτος) για έξι ξεχωριστές χρονικές περιόδους της ημέρας για την Istanbul	32
Πίνακας 3: Προηγμένες τεχνικές για συστήματα και τεχνολογίες για τα μελλοντικά κτήρια.. ..	49
Πίνακας 4: Κανόνες συγκεκριμένου ελέγχου για AH / AC συστημα	63
Πίνακας 5: Συγκεκριμένοι κανόνες ελέγχου για το σύστημα παραγωγής του συστήματος εξαερισμού	65

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1: Νότια ανοίγματα.....	9
Εικόνα 2: Ανατολικά ανοίγματα.....	9
Εικόνα 3: Λειτουργία Τοίχου Trombe.....	12
Εικόνα 4: Ηλιακός Χώρος (Θερμοκήπιο).....	14
Εικόνα 5: Ενδοδαπέδια Θέρμανση.....	17
Εικόνα 6: Συστήματα Combi – 2 θερμοδοχεία.....	19
Εικόνα 7: Συστήματα Combi – tank in tank.....	20
Εικόνα 8: Μποϊλερ COMBI.....	20
Εικόνα 9: Σχηματική απεικόνιση ενός τυπικού συστήματος ολικού κλιματισμού.....	25
Εικόνα 10: Οι περιοχές ελέγχου ενός σταθερού εξοικονομητή θερμοκρασίας ξηρού βολβού σε ψυχομετρικό γράφημα.....	25
Εικόνα 11: Μεταβολή των ακραίων και μέσων θερμοκρασιών όλου του χρόνου και κατά τις περιόδους θέρμανσης και ψύξης και τις μεταβατικές περιόδους για την Istanbul.....	27
Εικόνα 12: Κατανομή των μηνιαίων συνολικών τιμών N_{bin} για την Istanbul.....	30
Εικόνα 13: Αθροιστική κατανομή των ετήσιων στοιχείων bin για την Istanbul.....	30
Εικόνα 14: Δομή της Βάσης Γνώσεων.....	34
Εικόνα 15: Ενεργειακή Πολιτική.....	41
Εικόνα 16: Διάγραμμα κατανάλωσης Θερμικού Φορτίου και Ηλεκτρισμού.....	42
Εικόνα 17: Συστημάτων Προσέγγιση σε τεχνικές λύσεις.....	47
Εικόνα 18: Μοντέλο Λογικής Δομής συστήματος BEAMS.....	51
Εικόνα 19: Μενού για την εισαγωγή δεδομένων.....	52
Εικόνα 20: Παράδειγμα εξόδου στη φάση του αρχικού έλεγχου με τον κατάλογο των πιθανών ευκαιριών για διατήρησης της ενέργειας του κτηρίου μετά από έρευνα στο πάνω μέρος της οθόνης ενός συστήματος BEAMES.....	52

Εικόνα 21: Δομή του συστήματος ελέγχου multi-agent.....	57
Εικόνα 22: Δομή των τοπικών agent-controllers.....	60
Εικόνα 23: Σύνθεση συνάρτησης για $e(k)$ της θερμοκρασίας.....	61
Εικόνα 24: Σύνθεση συνάρτησης των μεταβλητών για τη σήμανση $ce(k)$ της θερμοκρασίας.....	62
Εικόνα 25: Σύνθεση συνάρτησης του P_{want} (AH / AC).....	62
Εικόνα 26: Σύνθετη συνάρτηση για τις μεταβλητές της συγκέντρωσης του CO_2	64
Εικόνα 27: Σύνθετη συνάρτηση για την επιθυμητή δύναμη για τον εξαεριστήρα.....	64
Εικόνα 28: Η φιλοσοφία του μοντέλου.....	68
Εικόνα 29: Η διαδικασία του μοντέλου.....	69
Εικόνα 30: Η αρχιτεκτονική της μονάδας απόφασης.....	70
Εικόνα 31: Τιμή Θερμοκρασίας (από αισθητήρες) και $P_T(k)$	79
Εικόνα 32: Συγκέντρωση CO_2 (από αισθητήρες) και $P_W(k)$	79
Εικόνα 33: Φως περιβάλλοντος (από αισθητήρες), κατανάλωση ενέργειας $P_L(k)$ και επίπεδο φωτισμού.....	80
Εικόνα 34: Επίπεδο άνεσης με ίσο ω	81
Εικόνα 35: Επίπεδο άνεσης με τιμές συντελεστών $\omega_1 = 1/2$, $\omega_2 = 1/2$, $\omega_3 = 0$	81
Εικόνα 36: Εναλλαγή από την κανονική λειτουργία σε λειτουργία έκτακτης ανάγκης κατά τη στιγμή του 30 ^{ου} δευτερόλεπτου.....	82
Εικόνα 37: Χρήση απόρριψης φορτίου κατά τη στιγμή του 35 ^{ου} δευτερολέπτου.....	82
Εικόνα 38: Προδιαγραφές τύπων δωματίων.....	85
Εικόνα 39: Προδιαγραφές τύπου αισθητήρα.....	85

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΚΑΠΕ :	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας
IEA :	International Energy Agency
HVAC:	Heating, Ventilating, and Air Conditioning Systems (Συστήματα Θέρμανσης, Εξαερισμού και Ψύξης)
ΗΠΑ :	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
IDSS :	Intelligent Decision Support System (Εξυπνο Σύστημα Υποστήριξης Απόφασης)
ASHRAE :	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Σύλλογος Αμερικάνων Μηχανικών που ασχολούνται με συστήματα Θέρμανσης και Ψύξης)
Ε.Δ. :	Ενεργειακή Διαχείριση
BEMS :	Building Energy Management Systems (Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας στα Κτήρια)
CO ₂ :	Διοξείδιο του Άνθρακα
BEAMS :	An expert system developed by the Joint Research Centre to illustrate the building energy auditing, which is an essential prelude to the retrofitting of older buildings. (Ένα έμπειρο σύστημα που αναπτύχθηκε από το Κοινό Κέντρο Ερευνών για την ανάδειξη των ενεργειακών ελέγχων κτήριο, το οποίο αποτελεί βασικό προοίμιο για τη μετασκευή των παλαιών κτιρίων.)
ECOs :	energy conservation options
NN :	Νευρικά Δίκτυα
NNPA :	Neutral Network Pattern Associator Νευρικό Σχέδιο Δικτύων Συνεργασίας

ISO : International Organization for Standardization (Διεθνής Οργανισμός
Τυποποίησης)

MAS : Multi-Agent System

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

Air-side εξοικονομητές	Τύπος εξοικονομητή που λειτουργεί με την ψύξη αέρα
Water-side εξοικονομητές	Τύπος εξοικονομητή που λειτουργεί με την ψύξη νερού
Μέθοδος Bin	Μέθοδος Αποθήκευσης
Case Study	Μελέτη
Αλγόριθμος back-propagation	Αλγόριθμος που χρησιμοποιεί πολλαπλασιασμό προς τα πίσω
Multi-agent systems	Συστήματα πολλαπλών Πρακτόρων (ελεγκτών)
Agent - Controllers	Πράκτορες Ελέγχου

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας πλέον λόγω των δεδομένων συνθηκών της εποχής μας σχεδόν επιβάλλεται. Αν αναλογιστούμε το μέγεθος την ενεργειακής κατανάλωσης των οικοδομημάτων, σίγουρα ο τομέας των κατασκευών αποτελεί ένα πολύ σημαντικό ενεργειακό πόλο μελέτης. Η ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων επιβάλλεται πλέον να ρυθμίζεται βάσει των κανονισμών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για να μειώσουμε την ενεργειακή κατανάλωση αυτών μπορούμε είτε από την αρχή να τα σχεδιάζουμε «ενεργειακά οικονομικά», βιοκλιματικός σχεδιασμός, είτε να προσθέσουμε σε αυτά διάφορα συστήματα ελέγχου και ρύθμισης της ενεργειακής τους απόδοσης. Η ανάγκη για ενεργειακή ρύθμιση των κτηρίων για όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους οδήγησε στην ανάπτυξη των ενεργειακών συστημάτων διαχείρισης στα κτήρια (BEMS), δεδομένου ότι αυτά τα συστήματα μπορούν να συμβάλουν στη συνεχή διαχείριση της ενέργειας και επομένως να επιτύχουν εξοικονόμηση κόστους και ενέργειας. Τα BEMS εφαρμόζονται γενικά στον έλεγχο των ενεργών συστημάτων, δηλ. θέρμανση, εξαερισμός, και συστήματα κλιματισμού (HVAC), και έχουν επίσης καθοριστικό ρόλο στους χρόνους λειτουργίας τους. Εξαιτίας των πιο πάνω προσπαθειών, η απόδοση των BEMS συσχετίζεται άμεσα με το ποσό ενέργειας που καταναλώνεται στα κτήρια και την άνεση των χρηστών των κτηρίων [Doukas H. κ.α., 2006]. Η πρόσφατη ανάπτυξη των BEMS οφείλετε στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών, των τηλεπικοινωνιών και στην τεχνολογία των πληροφοριών. Σε αυτό το πλαίσιο, διάφορες σύγχρονες τεχνικές και μέθοδοι έχουν προταθεί στη διεθνή λογοτεχνία για τη βελτίωση των ελέγχων των συγκεκριμένων συστημάτων.

Επιπλέον, BEMS αναπτύσσονται αυτήν την περίοδο για να είναι εφαρμόσιμα στα κτήρια, μετατρέποντας τα σε έξυπνα κτήρια και διάφορες μελέτες έχουν παρουσιαστεί για σύγχρονα ευφυή κτήρια και συστήματα ελέγχου. Στην παρακάτω μελέτη περιγράφονται οι βασικές αρχές τόσο του βιοκλιματικού σχεδιασμού όσο και των προαναφερθέντων ενεργειακών συστημάτων. Συγκεκριμένα η δομή της παρακάτω διπλωματικής, η οποία αποτέλεσε και τη μεθοδολογία της έρευνας αφού βάσει αυτής έγινε η εύρεση των στοιχείων, χωρίζεται σε τρία μέρη. Το πρώτο μέρος αφορά το βιοκλιματικό σχεδιασμό. Το δεύτερο τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης και ακολούθως το τρίτο τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας. Σκοπός μας είναι μέσω των δεδομένων που θα συγκεντρώσουμε για τα παραπάνω

μέρη της εργασίας μας, να εξάγουμε συμπεράσματα που αφορούν την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων. Προσδοκούμε η μελέτη αυτή να μπορέσει να συγκεντρώσει κατά το δυνατόν τα στοιχεία που υπάρχουν για τους προαναφερθείς τομείς έτσι ώστε να έχουμε τη δυνατότητα επεξεργασίας πολλών και έγκυρων δεδομένων και να μπορούμε να προτείνουμε συγκεντρωτικές ιδέες και λύσεις για τη συνδυασμένη δράση αυτών.

1 Βιοκλιματικός Σχεδιασμός και Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική

1.1 Εισαγωγή

Η βιώσιμη ανάπτυξη είναι βασισμένη στην αρχή της αειφόρου ανάπτυξης, δηλαδή στην αρχή εκείνη που καθορίζει ότι η κοινωνία πρέπει να χρησιμοποιεί τους διαθέσιμους πόρους σε μια κλίμακα σύμφωνη με «τη δυνατότητα των μελλοντικών γενιών να ικανοποιηθούν οι ανάγκες τους», όπως δηλώνεται στη διάσημη έκθεση Brundtland [1987]. Το επίτευγμα της βιώσιμης ανάπτυξης απαιτεί μια συντονισμένη προσπάθεια σε όλους τους τομείς της κοινωνίας, για να ικανοποιήσει τα κατάλληλα κριτήρια. Μεταξύ άλλων, η εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς επίσης και η περιβαλλοντική ρύπανση και η παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές, είναι ύψιστης σημασίας στο σημερινό κόσμο και η βιώσιμη διαχείριση της ενέργειας πρέπει να έχει τουλάχιστον τεχνικές, κοινωνικές, και περιβαλλοντικές πτυχές κάλυψης.[Kouloura T.C. κ.α. 2008]

Πρωταρχικός τρόπος εξοικονόμησης ενέργειας στον τομέα των κτηρίων, πριν την εφαρμογή μηχανικών συστημάτων, είναι ο σωστός βιοκλιματικός σχεδιασμός. Μέσω του σχεδιασμού αυτού τα κτήρια μπορούν να εκμεταλλεύονται τις φυσικές πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ενέργεια, ο αέρας κλπ με αποτέλεσμα να εξοικονομούν άλλων ειδών ενέργειες, όπως ηλεκτρική ενέργεια για φωτισμό, θέρμανση/ψύξη κλπ. Στόχος του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού είναι η κατανάλωση όσο το δυνατό λιγότερης ενέργειας. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν και θα επεξηγηθούν οι έννοιες του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού και της Βιοκλιματικής Αρχιτεκτονικής και θα παρουσιαστούν οι Αρχές του Βιοκλιματικού Σχεδιασμού.

1.2 Βιοκλιματικός Σχεδιασμός

Για τον Βιοκλιματικό σχεδιασμό δόθηκαν πολλοί ορισμοί, με διαφορετική διατύπωση ο καθένας, όλοι όμως έχουν το ίδιο νόημα, την ίδια σημασία και τον ίδιο στόχο.

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός λοιπόν κατά ένα ορισμό είναι: «Ο αρχιτεκτονικός και πολεοδομικός σχεδιασμός κτηρίων και οικιστικών συνόλων αντίστοιχα, που επιδιώκει την προσαρμογή του κτηρίου και του οικιστικού συνόλου στο τοπικό κλίμα και το φυσικό

περιβάλλον. Στοχεύει στην αξιοποίηση των θετικών περιβαλλοντικών παραμέτρων, ώστε να ελαχιστοποιεί τις ενεργειακές ανάγκες του όλο το χρόνο και να επιτυγχάνει περιορισμό στην κατανάλωση συμβατικής ενέργειας.»[1]

Κατά ένα άλλο ορισμό: «Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αφορά το σχεδιασμό κτηρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών - υπαίθριων) με βάση το τοπικό κλίμα, συνήθως αναφερόμενο ως μικροκλίμα, με σκοπό την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και άλλες περιβαλλοντικές πηγές αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος.»[3,15,16], ή με άλλα λόγια: «Βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτηρίου είναι ο σχεδιασμός ο οποίος λαμβάνοντας υπόψη το κλίμα κάθε περιοχής, στοχεύει στην εξασφάλιση των απαραίτητων εσωτερικών συνθηκών (θερμική και οπτική άνεση, ποιότητα αέρα) με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας, αξιοποιώντας τις διαθέσιμες περιβαλλοντικές πηγές (ήλιο, αέρα - άνεμο, νερό, έδαφος).»[4]

Κύρια πλεονεκτήματα του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι ότι συνεισφέρει στην εξοικονόμηση ενέργειας για τη θέρμανση, την ψύξη και το φωτισμό των κτηρίων. Τεχνικές του βιοκλιματικού σχεδιασμού και βασικά στοιχεία του αποτελούν τα παθητικά συστήματα που ενσωματώνονται στα κτήρια με στόχο την αξιοποίηση των περιβαλλοντικών πηγών (π.χ. ήλιο, αέρα - άνεμο, βλάστηση, νερό, έδαφος, ουρανό) για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτηρίων, η θερμική προστασία του κελύφους, οι τεχνικές και τα συστήματα φυσικού δροσισμού και φυσικού φωτισμού και ορισμένες τεχνικές ορθολογικής χρήσης ενέργειας (θερμικές ζώνες, αποθήκευση θερμότητας στα δομικά στοιχεία του κτηρίου).[4]

Τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα είναι αναπόσπαστα κομμάτια – δομικά στοιχεία ενός κτηρίου που λειτουργούν χωρίς μηχανολογικά εξαρτήματα ή πρόσθετη παροχή ενέργειας και με φυσικό τρόπο θερμαίνουν, αλλά και δροσίζουν τα κτήρια. Τα Παθητικά Συστήματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: στα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης, στα Παθητικά Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού και στα Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτηρίου συνεπάγεται τη συνύπαρξη και συνδυασμένη λειτουργία όλων των συστημάτων, ώστε να συνδυάζουν θερμικά και οπτικά οφέλη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.[ΚΑΠΕ]

Εκτός από τα παθητικά συστήματα, μια πολύ σημαντική μέθοδο εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα βιοκλιματικό κτήριο αποτελούν και τα ενεργητικά συστήματα, που

χρησιμοποιούν μηχανικά μέσα για τη θέρμανση ή το δροσισμό των κτηρίων, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια ή τις φυσικές δεξαμενές ψύξης. Στη κατηγορία αυτή ανήκουν οι ηλιακοί συλλέκτες θέρμανσης ή παροχής ζεστού νερού χρήσης, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κλπ.

Η εγκατάσταση όλων των παραπάνω συστημάτων αυξάνει ελαφρά το συνολικό κόστος κατασκευής του κτηρίου, το οποίο όμως μπορεί να αποσβεθεί μέσω της χρησιμότητας των συστημάτων αυτών που βοηθούν στην περιορισμένη χρήση μονάδων συμβατικής θέρμανσης και των κλιματιστικών μονάδων.[3,15,16]

Εν κατακλείδι και με πιο απλά λόγια ο βιοκλιματικός σχεδιασμός είναι ο σχεδιασμός των κτηρίων που αποσκοπεί στην προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων, καθώς και στη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας που θα βοηθήσει και στην ταυτόχρονη επίτευξη των πιο πάνω παραμέτρων, αλλά και στην εξοικονόμηση χρημάτων του καταναλωτή.

1.2.1 Αρχές Βιοκλιματικού Σχεδιασμού

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός εξαρτάται από το τοπικό κλίμα και βασίζεται στις παρακάτω αρχές, με βάση το ΚΑΠΕ:

- Θερμική προστασία των κτηρίων τόσο το χειμώνα, όσο και το καλοκαίρι με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών που εφαρμόζονται στο εξωτερικό κέλυφος των κτηρίων, ιδιαίτερα με την κατάλληλη θερμομόνωση και αεροστεγάνωση του κτηρίου και των ανοιγμάτων του.
- Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των κτηρίων τη χειμερινή περίοδο και για φυσικό φωτισμό όλο το χρόνο. Αυτό επιτυγχάνεται με τον προσανατολισμό των χώρων και ιδιαίτερα των ανοιγμάτων (ο νότιος προσανατολισμός είναι ο καταλληλότερος) και την διαρρύθμιση των εσωτερικών χώρων ανάλογα με τις θερμικές τους ανάγκες και με τα παθητικά ηλιακά συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και αποτελούν «φυσικά» συστήματα θέρμανσης, αλλά και φωτισμού.
- Προστασία των κτηρίων από τον καλοκαιρινό ήλιο, κυρίως μέσω της σκίασης, αλλά και της κατάλληλης κατασκευής του κελύφους.
- Απομάκρυνση της θερμότητας που το καλοκαίρι συσσωρεύεται μέσα στο κτήριο με φυσικό τρόπο προς το εξωτερικό περιβάλλον με συστήματα και τεχνικές παθητικού

δροσισμού, όπως ο φυσικός αερισμός, κυρίως με τον φυσικό αερισμό τις νυχτερινές ώρες.

- Βελτίωση - ρύθμιση των περιβαλλοντικών συνθηκών μέσα στους χώρους έτσι ώστε οι άνθρωποι να νιώθουν άνετα και ευχάριστα.
- Εξασφάλιση επαρκούς ηλιασμού και ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας για φυσικό φωτισμό των κτηρίων, ο οποίος θα πρέπει να εξασφαλίζει επάρκεια και ομαλή κατανομή του φωτός μέσα στους χώρους.
- Βελτίωση του κλίματος έξω και γύρω από τα κτήρια, με τον βιοκλιματικό σχεδιασμό των χώρων γύρω και έξω από τα κτήρια και εν γένει, του δομημένου περιβάλλοντος, ακολουθώντας όλες τις παραπάνω αρχές.

1.3 Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική

Η βιοκλιματική είναι κλάδος της αρχιτεκτονικής που λαμβάνει υπ' όψη όσα επιβάλλουν και προτείνουν η οικολογία και η βιωσιμότητα. Το ζητούμενο είναι η ανέγερση κτηρίων, π.χ. βιομηχανικών μονάδων, κτηρίων γραφείων, κτηρίων κατοικίας, σχεδιασμένων έτσι ώστε αφενός να καλύπτονται πλήρως οι ενεργειακές τους ανάγκες και αφετέρου στο ετήσιο ισοζύγιο να είναι μηδενική η επιβάρυνση του περιβάλλοντος με εκπομπές βλαβερών για το περιβάλλον αερίων.[3,15,16]

Χαρακτηριστικά παραδείγματα της παλαιότητας της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής είναι οι σκηνές των ινδιάνων και τα ιγκλού των Εσκιμώων τα οποία ήταν σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να τους παρέχουν την βέλτιστη θερμική άνεση που μπορούσε να επιτευχθεί κάτω από αυτές τις ακραίες συνθήκες. Βέβαια αυτά δεν είναι τα βιοκλιματικά κτήρια, παρόλα αυτά εφαρμόζαν τις αρχές που προβάλλει η Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική και παρείχαν τις συνθήκες της εσωτερικής άνεσης που απαιτούνταν για την ικανοποίηση των χρηστών.

Παρά την παλαιότητα και την ορθότητα αυτού του σκεπτικού σχεδιασμού σήμερα κατά κύριο λόγο αυτές οι αρχές δεν εφαρμόζονται. Αποτέλεσμα αυτής της απουσίας είναι κτήρια με μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση και με κακές συνθήκες διαβίωσης. Σύνηθες φαινόμενο είναι το σύνδρομο του «άρρωστου κτηρίου» κατά το οποίο παρουσιάζονται προσωρινά μικροπροβλήματα υγείας λόγω της κακής ποιότητας των συνθηκών άνεσης.[2]

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες της οικολογικής δόμησης, η οποία ασχολείται με τον έλεγχο των περιβαλλοντικών παραμέτρων στο επίπεδο των κτηριακών μονάδων μελετώντας τις ακόλουθες κατευθύνσεις:

- Τη μελέτη του δομημένου περιβάλλοντος και των προβλημάτων που αυτό δημιουργεί (αύξηση θερμοκρασίας, συγκέντρωση αέριων ρύπων, δυσκολία στην κυκλοφορία αέρα)
- Τον σχεδιασμό των κτηρίων
- Την επιλογή των δομικών υλικών, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις θερμικές και οπτικές τους ιδιότητες, όσο και την τοξικολογική τους δράση.[3,15,16]

Έτσι κλείνοντας το κεφάλαιο αυτό καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι πρώτο και κύριο βήμα για την ενεργειακή βελτιστοποίηση των κτηρίων, την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία των πόρων και του περιβάλλοντος είναι ο σωστός, βιοκλιματικός και αειφόρος σχεδιασμός των κτηρίων, ο οποίος μπορεί να προσφέρει μεγάλα ποσά εξοικονόμησης ενέργειας με και (κυρίως) χωρίς την χρήση μηχανικών μέσων.

Βασικές τεχνικές του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι τα παθητικά συστήματα τα οποία αποτελούν δομικά στοιχεία του κτηρίου τα οποία λειτουργούν χωρίς μηχανικά μέσα ή πρόσθετη παροχή ενέργειας και θερμαίνουν ή / και δροσίζουν και φωτίζουν τα κτήρια με φυσικό τρόπο μέσω της αξιοποίησης των περιβαλλοντικών πηγών (π.χ. ήλιο, αέρα κλπ.).

2 Συστήματα Θέρμανσης και Ψύξης

2.1 Εισαγωγή

Για να λειτουργήσουν οι αλλαγές στα σχέδια κατανάλωσης, απαιτούνται επεμβάσεις όχι μόνο στο τεχνολογικό μέτωπο (δηλ., διαδικασίες παραγωγής, ηλεκτρικές εξοπλισμός, και συσκευές), αλλά και στο συμπεριφοριστικό μέτωπο (δηλ., συμπεριφορές λειτουργίας εξοπλισμού και απαιτήσεις ποιότητας ζωής). Η διαχείριση της ζήτησης από πλευράς αγοράς της ενέργειας απαιτεί αλλαγές τον τρόπο ζωής των καταναλωτών και την καταναλωτική συμπεριφορά, η οποία είναι εκ φύσεως επαχθείς σε οποιαδήποτε παρέμβαση [Cheng, 2005].

Τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης που χρησιμοποιούνται στα κτήρια είναι είτε παθητικά συστήματα που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια, είτε συστήματα τα οποία λειτουργούν με μηχανικά μέσα. Τα συστήματα αυτά στοχεύουν στη δημιουργία συνθηκών άνεσης στο εσωτερικό των κτηρίων, με ταυτόχρονη χρήση όσο το δυνατό λιγότερης ενέργειας. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν και επεξηγηθούν τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης, τα Συστήματα Άμεσου και Έμμεσου Κέρδους (όπως Ηλιακοί Τοίχοι, Τοίχοι θερμικής αποθήκευσης, Θερμοσιφωνικό πανέλο, Ηλιακός Χώρος), τα Συστήματα Combi, το ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης, τα συστήματα Ελεύθερης Ψύξης, τα Μπόιλερ Παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης και Υποστήριξης Θέρμανσης και τα Συστήματα προσδιορισμού του δυναμικού ελεύθερης ψύξης.

2.2 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης

Σημαντική συνεισφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας για τη θέρμανση ενός κτηρίου αποτελεί η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Όλα τα κτήρια δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία περνάει μέσα από τα ανοίγματα στους εσωτερικούς χώρους και τους θερμαίνει.

Για την αποτελεσματική αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, δηλαδή για να υπάρχει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, θα πρέπει να συντρέχουν οι παρακάτω προϋποθέσεις:

- Να υπάρχουν επαρκούς επιφάνειας ανοίγματα, που να «βλέπουν» απ' ευθείας τον ήλιο για αρκετές ώρες την ημέρα το χειμώνα. Για το λόγο αυτό συνιστάται ο νότιος προσανατολισμός, ο οποίος είναι ο μόνος που «βλέπει» αρκετές ώρες τον ήλιο το χειμώνα.
- Να είναι το κτήριο καλά θερμομονωμένο, ώστε να μη «χάνεται» θερμότητα από τις εξωτερικές του επιφάνειες (τοίχους, παράθυρα, οροφές, δάπεδα).
- Να υπάρχουν εσωτερικά στο κτήριο τέτοια υλικά, ώστε να «αποθηκεύεται» μέρος της θερμότητας από την ηλιακή ενέργεια και έτσι να έχουμε χώρους αρκετά (όχι υπερβολικά) θερμούς όλες τις ώρες του εικοσιτετραώρου κατά τις οποίες χρησιμοποιούνται. Τα υλικά αυτά πρέπει να είναι μεγάλης μάζας (όπως κεραμικές πλάκες στο δάπεδο, μπετόν, συμπαγή τούβλα ή πέτρα εσωτερικά στους τοίχους) ώστε να έχουν την απαιτούμενη θερμοχωρητικότητα.
- Να είναι το κτήριο σωστά διαρρυθμισμένο, ώστε οι χώροι που απαιτούν περισσότερη θέρμανση να δέχονται την περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία.

Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης ονομάζουμε τα δομικά στοιχεία του κτηρίου, που, αξιοποιώντας τις αρχές της φυσικής και συγκεκριμένα τους νόμους μεταφοράς θερμότητας, συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, και τη διανέμουν στο χώρο υπό μορφή θερμότητας. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της θερμότητας που προκύπτει στο εσωτερικό του χώρου που καλύπτεται από το γυαλί.

Το πιο συνηθισμένο παθητικό ηλιακό σύστημα (σύστημα άμεσου κέρδους) βασίζεται στην αξιοποίηση των παραθύρων κατάλληλου προσανατολισμού.

Υπάρχουν επίσης και παθητικά ηλιακά συστήματα έμμεσου κέρδους (ηλιακοί τοίχοι, ηλιακοί χώροι-θερμοκήπια, ηλιακά αίθρια) και παθητικά ηλιακά συστήματα απομονωμένου κέρδους (ηλιακοί συλλέκτες-πανέλα εκτός του κτιριακού περιβλήματος).

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα προσαρτώνται σε όψεις του κτηρίου με νότιο προσανατολισμό (με δυνατότητα απόκλισης μέχρι 30° ανατολικά ή δυτικά του καθαρού Νότου), οι οποίες θα πρέπει να μη σκιάζονται κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Επιπρόσθετα συνδυάζονται με την απαιτούμενη θερμική προστασία (θερμομόνωση) καθώς και την απαιτούμενη θερμική μάζα του κτηρίου, η οποία αποθηκεύει και αποδίδει τη θερμότητα στο χώρο με χρονική υστέρηση, ομαλοποιώντας έτσι την κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στο εικοσιτετράωρο.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θα πρέπει το καλοκαίρι να συνδυάζονται με ηλιοπροστασία (π.χ. χρήση φυλλοβόλων δέντρων, οριζόντια σκίαση, τέντες, περσίδες) και συχνά με δυνατότητα αερισμού.[9]

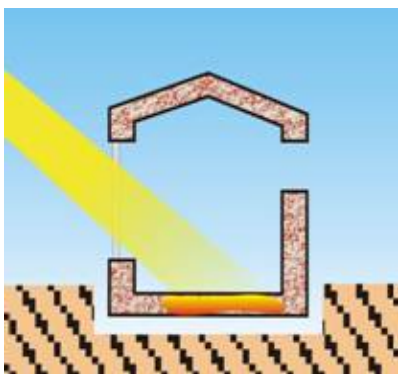
2.2.1 Συστήματα Άμεσου Κέρδους

Ως σύστημα άμεσου κέρδους ορίζεται το σύστημα το οποίο αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια, η οποία συλλέγεται από ανοίγματα κατάλληλου προσανατολισμού για θέρμανση των χώρων. Αποτελείται από τα ανοίγματα, κατάλληλα τοποθετημένα και διαστασιολογημένα, την απαιτούμενη θερμική μάζα (χρήση υλικών υψηλής θερμοχωρητικότητας), την κατάλληλη θερμική προστασία (μόνωση του περιβλήματος, διπλοί υαλοπίνακες, νυκτερινή μόνωση), αλλά και την απαιτούμενη ηλιοπροστασία κατά τους θερινούς μήνες.

Το πιο σημαντικό στοιχείο στην εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση των κτηρίων το χειμώνα (αλλά και για αποφυγή της υπερθέρμανσης το καλοκαίρι) είναι ο σωστός προσανατολισμός των ανοιγμάτων.

Νότια ανοίγματα δέχονται την περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα και, με το κατάλληλο οριζόντιο σκίαστρο, ελάχιστη το καλοκαίρι. Ανοίγματα στο Βορρά βοηθούν στην καλύτερο φωτισμό του χώρου γιατί, δέχονται μόνο διάχυτο και όχι άμεσο φως και συνιστώνται για το καλοκαίρι, αλλά πρέπει να είναι περιορισμένης επιφάνειας γιατί

παρουσιάζουν μεγάλες απώλειες και ελάχιστα κέρδη το χειμώνα(Εικόνα 1). Ανατολικά και δυτικά ανοίγματα έχουν τη χειρότερη συμπεριφορά όλο το χρόνο, γι' αυτό χρησιμοποιούνται μόνο όπου είναι απαραίτητα, για λόγους φωτισμού ή θέας. Ιδιαίτερα τα δυτικά ανοίγματα είναι πολύ δυσμενή το καλοκαίρι, καθώς δέχονται άμεσα ήλιο μετά το μεσημέρι(Εικόνα 2). Γενικά στα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα πρέπει να προβλέπεται σκίαση κατά προτίμηση εξωτερική και κατακόρυφου τύπου.



Εικόνα 1: Νότια ανοίγματα[10]



Εικόνα 2: Ανατολικά ανοίγματα[10]

Ο ηλιασμός των κτηρίων και μάλιστα από τη θέση του επιθυμητού προσανατολισμού, είναι συχνά δυσχερής έως αδύνατος, ιδιαίτερα σε πυκνοδομημένες περιοχές. Παρόλα αυτά υπάρχουν πολλές λύσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτηρίων με δυσμενείς προσανατολισμούς και με ελάχιστη πρόσβαση στο άμεσο ηλιακό φως, απλά απαιτούν περισσότερη αρχιτεκτονική ευλυγισία και φαντασία (π.χ. φεγγίτες ή κατάλληλα ανοίγματα στην οροφή). Εξ' άλλου, στόχος του ενεργειακού σχεδιασμού δεν είναι να καλύψει όλα τα ενεργειακά φορτία από τον ήλιο, αλλά απλά να παρέχει τις βέλτιστες συνθήκες με τον οικονομικότερο τρόπο στα εκάστοτε τοπικά δεδομένα.

Η λειτουργία του συστήματος άμεσου κέρδους βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου: η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται από τους υαλοπίνακες, τους οποίους και διαπερνά κατά το μεγαλύτερο μέρος της, μέρος αυτής αποδίδεται σε μορφή θερμότητας άμεσα στον αέρα του χώρου, ενώ μέρος αποθηκεύεται στη μάζα του κτηρίου (τοίχοι, δάπεδα, οροφές, όταν αυτά έχουν επαρκή θερμοχωρητικότητα) και αποδίδεται στο χώρο με χρονική υστέρηση.

Η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από τα αυξημένα νότια ανοίγματα εξαρτάται από την επιφάνεια των ανοιγμάτων, αλλά και από τη συνολική λειτουργία του κτηρίου (μόνωση, εσωτερικά κέρδη, κλίμα της περιοχής, κ.λπ.). Σε ψυχρές περιοχές, η αυξημένη γυάλινη επιφάνεια, λόγω θερμικών απωλειών τη νύχτα, μπορεί να αυξήσει το φορτίο θέρμανσης του κτηρίου. Για τον περιορισμό των θερμικών αυτών απωλειών, συνιστάται νυκτερινή προστασία των ανοιγμάτων με κινητά θερμομονωτικά παντζούρια, ρολά ή κουρτίνες. Η απαιτούμενη ηλιοπροστασία για αποφυγή της θερινής υπερθέρμανσης εξασφαλίζεται από τη σκίαση των ανοιγμάτων από σταθερά ή κινητά σκίαστρα.[10]

2.2.2 Συστήματα Έμμεσου Κέρδους

2.2.2.1 Ηλιακοί Τοίχοι

Οι ηλιακοί τοίχοι αποτελούνται από τοιχοποιίες συνδυαζόμενες με υαλοστάσιο, τοποθετημένο εξωτερικά, σε απόσταση 5-15 cm. Η τοιχοποιία μπορεί να είναι είτε αμόνωντος τοίχος μεγάλης θερμικής μάζας, είτε θερμομονωμένη κατασκευή. Το υαλοστάσιο μπορεί να είναι σταθερό ή ανοιγόμενο και να φέρει μονούς ή διπλούς υαλοπίνακες. Οι ηλιακοί τοίχοι συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και τη μεταδίδουν σε μορφή θερμότητας στους χώρους. Στην Ελλάδα έχουν εφαρμοστεί ηλιακοί τοίχοι κυρίως σε κατοικίες.

Από μετρήσεις, ενεργειακές καταγραφές και προσομοιώσεις βιοκλιματικών κτηρίων σε διάφορες περιοχές της χώρας, προκύπτει ότι μπορούν να συνεισφέρουν σε εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση κατοικιών σε ποσοστό 10-40% (μεγαλύτερη συνεισφορά εξοικονόμησης σε περιοχές με σχετικά ήπιο κλίμα).[12]

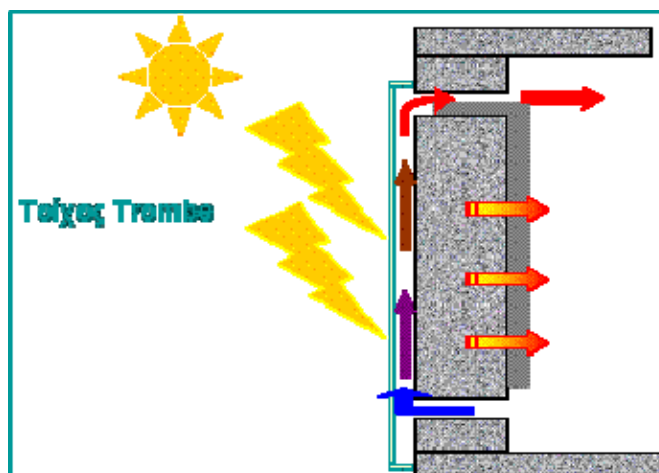
2.2.2.1α Τοίχοι θερμικής αποθήκευσης

Οι τοίχοι θερμικής αποθήκευσης αποτελούνται από τοίχο κατασκευασμένο από υλικά υψηλής θερμοχωρητικότητας όπως σκυρόδεμα, πέτρα, συμπαγή τούβλα, ή δοχεία που περιέχουν νερό ή άλλο υλικό (υλικό αλλαγής φάσης). Η εξωτερική τους επιφάνεια είναι σκούρου χρώματος για αύξηση της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απορροφώμενη ακτινοβολία μεταδίδεται με αγωγή, ακτινοβολία και συναγωγή (μεταφορά μέσω του αέρα) στον εσωτερικό χώρο.

Οι τοίχοι θερμικής αποθήκευσης μπορεί να είναι:

- απλοί τοίχοι μάζας (μη θερμοσιφωνικής ροής, χωρίς θυρίδες) είτε συμπαγούς κατασκευής, είτε αποτελούμενοι από δοχεία νερού ή με υλικά αλλαγής φάσης
- τοίχοι μάζας θερμοσιφωνικής ροής Trombe – Michel (Εικόνα 3). Σ' αυτή την περίπτωση, μέρος της συλλεγόμενης θερμότητας στο διάκενο μεταξύ τοίχου και υαλοπίνακα μεταφέρεται μέσω θυρίδων στον εσωτερικό χώρο. Οι θυρίδες του τοίχου βρίσκονται στο άνω και κάτω τμήμα του και κατά τη διάρκεια της ημέρας το χειμώνα παραμένουν ανοικτές. Έτσι, μέρος της θερμικής ενέργειας που συσσωρεύεται στο διάκενο (μεταξύ τοίχου και υαλοστασίου) μεταφέρεται με φυσική κυκλοφορία του αέρα από τις θυρίδες στο επάνω μέρος του τοίχου στον εσωτερικό χώρο. Αντίστοιχα, ο ψυχρός αέρας του χώρου μεταφέρεται μέσω των θυρίδων στο κάτω μέρος του τοίχου στο διάκενο, όπου και θερμαίνεται και ανέρχεται, δημιουργώντας συνεχή ροή θερμότητας προς το χώρο. Κατά τη διάρκεια της νύκτας και τις νεφοσκεπείς ημέρες οι θυρίδες στο επάνω μέρος του τοίχου μπορούν να παραμένουν κλειστές, ώστε να εμποδίζεται η αντίστροφη κίνηση του θερμού αέρα από το χώρο προς την εξωτερική ψυχρή επιφάνεια του υαλοπίνακα.

Για όλους τους τοίχους θερμικής αποθήκευσης απαιτείται ηλιοπροστασία της συλλεκτικής επιφάνειας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού με κινητά εξωτερικά πετάσματα. Παράλληλα, συνιστάται κατά τη διάρκεια της νύκτας να ανοίγουν τμήματα του υαλοστασίου, ώστε ο αέρας που βρίσκεται στο διάκενο, να κατευθύνεται προς το εξωτερικό περιβάλλον, παρασύροντας και τον αέρα του εσωτερικού χώρου.



Εικόνα 3: Λειτουργία Τοίχου Trombe.[12]

Στις περιοχές όπου παρατηρούνται χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη χειμερινή περίοδο συνιστώνται διπλοί υαλοπίνακες στο υαλοστάσιο καθώς και νυχτερινή προστασία με κινητά θερμομονωτικά εσωτερικά (στο διάκενο) ή εξωτερικά πετάσματα.[12]

2.2.2.1β Θερμοσιφωνικό πάνελο

Το θερμοσιφωνικό πάνελο αποτελεί σύστημα παρόμοιας κατασκευής και λειτουργίας με τον τοίχο Trombe - Michel , χωρίς την ύπαρξη της θερμικής μάζας. Η βασική διαφορά από τον τοίχο μάζας θερμοσιφωνικής ροής είναι ότι ο τοίχος του πανέλου απομονώνεται θερμικά από το διάκενο με χρήση θερμομόνωσης και η μεταφορά θερμότητας γίνεται μόνο με συναγωγή (μεταφορά) από τον αέρα του διακένου, ο οποίος μεταφέρεται στον εσωτερικό χώρο μέσω των θυρίδων ή αγωγών. Επί πλέον, το θερμοσιφωνικό πάνελο συνήθως φέρει στην εξωτερική επιφάνεια του τοίχου προς το διάκενο μεταλλική απορροφητική πλάκα για μεγαλύτερη απόδοση. Έτσι, κατά τη χειμερινή περίοδο, η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο συλλέκτη (γυάλινη επιφάνεια) μετατρέπεται σε θερμική και μεταφέρεται στον εσωτερικό χώρο μέσω θυρίδων στο άνω τμήμα του πανέλου. Θυρίδες στο κατώτερο τμήμα επιτρέπουν την εισροή αέρα από το εσωτερικό του κτηρίου στο διάκενο του θερμοσιφωνικού πανέλου. Κατά τη θερινή περίοδο, η λειτουργία του αντιστρέφεται. Ανοίγματα στο άνω τμήμα του

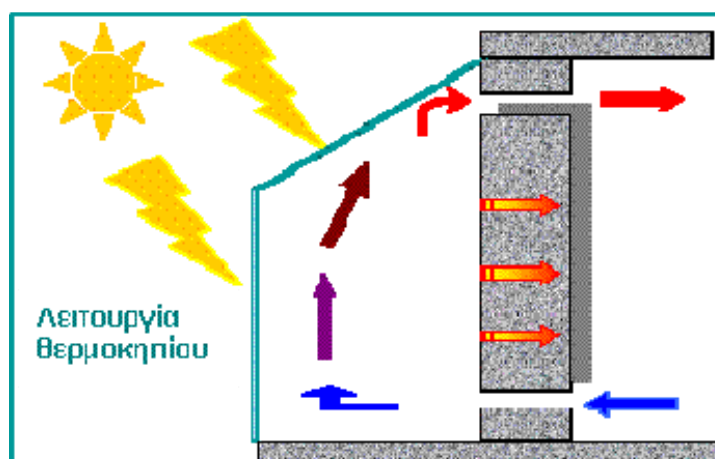
υαλοστασίου επιτρέπουν την κίνηση του θερμού αέρα προς τον εξωτερικό χώρο με αποτέλεσμα το δροσισμό του κτηρίου.[12]

2.2.2.2 Ηλιακός Χώρος (Θερμοκήπιο)

Ο Ηλιακός Χώρος είναι ένας κλειστός χώρος, με μεγάλο ποσοστό γυάλινης επιφάνειας, ο οποίος προσαρτάται ή ενσωματώνεται σε τμήμα του κτηριακού κελύφους (Εικόνα 4). Για την αποτελεσματική του λειτουργία απαιτούνται:

- νότιος προσανατολισμός ($\pm 30^\circ$ N)
- θυρίδες ή και άλλα ανοίγματα (παράθυρα ή πόρτες) προς το εσωτερικό του κτηρίου
- σύστημα σκιασμού και αερισμού.

Η ηλιακή ακτινοβολία, διερχόμενη από τα νότια υαλοστάσια του θερμοκηπίου, μετατρέπεται σε θερμική και μέρος αυτής αποδίδεται άμεσα στο χώρο, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του, ενώ μέρος της αποθηκεύεται στα δομικά στοιχεία του χώρου (θερμική μάζα) και αποδίδεται με χρονική υστέρηση. Η μεταφορά της θερμικής ενέργειας, που συσσωρεύεται στον ηλιακό χώρο, προς το εσωτερικό του κτηρίου επιτυγχάνεται μέσω των θυρίδων ή ανοιγμάτων του κοινού δομικού στοιχείου.



Εικόνα 4: Ηλιακός Χώρος (Θερμοκήπιο).[11]

Για τη μείωση των θερμικών απωλειών κατά τη χειμερινή περίοδο, συνιστάται η νυχτερινή προστασία του υαλοστασίου με θερμομονωτικά εσωτερικά πετάσματα, εκτός αν το τμήμα του κτηριακού κελύφους, με το οποίο ο ηλιακός χώρος βρίσκεται σε επαφή, είναι θερμομονωμένο. Ειδικότερα, σε περιοχές όπου παρατηρούνται πολύ χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, συνιστάται η εφαρμογή διπλών υαλοπινάκων στον ηλιακό χώρο, καθώς και θερμομόνωση του κοινού τμήματος της τοιχοποιίας.[11]

Στην Ελλάδα, από μετρήσεις και προσομοιώσεις που έγιναν σε κατοικίες που εφαρμόζουν θερμοκήπια προκύπτει ότι αυτά συνεισφέρουν σε εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση της τάξης του 13 με 30%.

Όπως προέκυψε από την ενεργειακή ανάλυση, αλλά και από μαρτυρίες των κατοίκων, η αποδοτικότερη λειτουργία του θερμοκηπίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας είναι αυτή κατά την οποία αυτό προσδίδει άμεσα τα ηλιακά του κέρδη στο κτήριο την ημέρα (με άνοιγμα πορτών και παραθύρων προς τους κύριους χώρους), ενώ παραμένει απομονωμένο, με κλειστά τα ανοίγματα, κατά τη διάρκεια της νύχτας.[2]

Για την αποφυγή υπερθέρμανσης κατά τη θερινή περίοδο απαιτείται σκιασμός της γυάλινης επιφάνειας του θερμοκηπίου, με εξωτερικά - κατά προτίμηση - κινητά σκίαστρα, με σταθερά στέγαστρα, ή με φυλλοβόλο βλάστηση.

Στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας συνιστάται να έχουν αδιαφανή οροφή, ή οροφή που να σκιάζεται απόλυτα τους θερινούς μήνες. Επί πλέον, απαιτείται αερισμός του ηλιακού χώρου μέσω των ανοιγμάτων του υαλοστασίου ή με πλήρη απομάκρυνση του υαλοστασίου.[11]

2.3 Συστήματα Combi

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα υποβοήθησης θέρμανσης χώρων και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (Combi solar systems) είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα εδώ και 10

τουλάχιστον χρόνια σε αρκετές Ευρωπαϊκές χώρες όπως η Αυστρία, η Γερμανία, η Ιταλία, η Γαλλία κ.α. Σύμφωνα με στοιχεία του ΚΑΠΕ το 2001 η συνολική επιφάνεια συλλεκτών που αφορούσε ηλιακά συστήματα Combi στην Ευρώπη ήταν περίπου 340.000 m².

Στο διάστημα από 12/1998 - 12/2002 η Διεθνής Υπηρεσία Ενέργειας (IEA - International Energy Agency) εκπόνησε ένα ιδιαίτερα φιλόδοξο πρόγραμμα με σκοπό την μελέτη, την βελτίωση και την προώθηση των ηλιακών συστημάτων Combi. Στα πλαίσια αυτού του προγράμματος (Task 26 - Solar Combisystems) έλαβαν μέρος 7 Ευρωπαϊκές χώρες (Αυστρία, Γερμανία, Γαλλία, Ολλανδία, Σουηδία, Δανία και Ιταλία) και εγκαταστάθηκαν προς μελέτη 200 νέα συστήματα Combi.

Στην Ελλάδα, αν και είναι ιδιαίτερα ευνοημένη από τις καιρικές συνθήκες, τα συστήματα αυτά δεν είναι ιδιαίτερα γνωστά και μόνο τα τελευταία χρόνια, και κυρίως λόγω της ραγδαίας αύξησης της τιμής του πετρελαίου γίνονται κάποια βήματα για την αξιοποίηση αυτής της τεχνολογίας.

Τα ηλιοθερμικά συστήματα συνδυασμένης λειτουργίας για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και θέρμανση χώρων μπορούν να καλύψουν από 10% - 60% τις ανάγκες μιας κατοικίας σε θέρμανση και σε ζεστό νερό χρήσης, ανάλογα με το μέγεθος της συλλεκτικής επιφάνειας, τον όγκο του θερμοδοχείου, τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής και τα χαρακτηριστικά της κατοικίας (μέγεθος, ποιότητα μόνωσης, θερμικές ανάγκες).

Γενικά τα συστήματα αυτά αποτελούνται από το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών (παραγωγή ενέργειας), το θερμοδοχείο αδρανείας (αποθήκευση ενέργειας), ένα σύστημα βοηθητικής ενέργειας (ηλεκτρικός λέβητας, λέβητας πετρελαίου –αερίου- βιομάζας, αντλία θερμότητας), ένα σύστημα θέρμανσης (θερμαντικά σώματα, ενδοδαπέδια, fancoils) και ένα σύστημα ελέγχου. Η ιδανική εφαρμογή του συστήματος είναι για συστήματα θέρμανσης χαμηλών θερμοκρασιών (ενδοδαπέδια, fancoils), ενώ για θέρμανση με θερμαντικά σώματα αναμένεται μια μείωση της απόδοσης κατά 10%-15%.

Η αρχή λειτουργίας του συστήματος είναι ίδια με αυτή ενός κεντρικού συστήματος ηλιακών για θέρμανση ζεστού νερού χρήσης. Η ενέργεια των ηλιακών συλλεκτών μεταφέρεται σε ένα καλά μονωμένο θερμοδοχείο και θερμαίνει αρχικά το νερό της κεντρικής θέρμανσης και στη συνέχεια το ζεστό νερό χρήσης. Εάν η ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί, τότε τίθεται σε λειτουργία ο λέβητας και συμπληρώνει την απαιτούμενη ενέργεια. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται μεγάλη εξοικονόμηση καυσίμων και η θέρμανση των χώρων και του νερού χρήσης επιτυγχάνεται με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον.



Ένα από τα βασικά στοιχεία ενός σωστού συστήματος ηλιακής θέρμανσης είναι το θερμοδοχείο, το οποίο αποτελεί την «καρδιά» του συστήματος και πρέπει να είναι ειδικά μελετημένο και κατασκευασμένο για τον σκοπό αυτό. Το θερμοδοχείο θα πρέπει να είναι καλά μονωμένο και κυρίως να βοηθά στην διαστρωμάτωση της θερμοκρασίας του νερού στο εσωτερικό του.

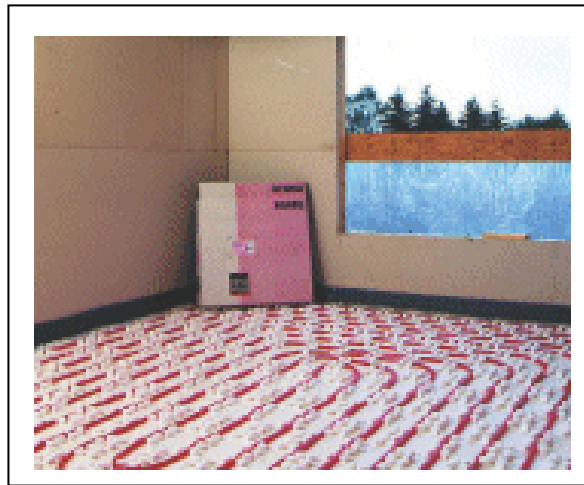
Η διαστρωμάτωση του δοχείου έχει ως αποτέλεσμα την μέγιστη απόδοση του συστήματος, τον περιορισμό των θερμικών απωλειών και την μέγιστη συλλογή ενέργειας από τους ηλιακούς συλλέκτες.[6]

2.4 Σύστημα θέρμανσης δαπέδου

Συστήματα ενδοδαπέδιας θέρμανσης(Εικόνα 5), τα οποία θερμαίνουν με ήπια ακτινοβολία ενέργειας, εξασφαλίζουν έτσι τη μέγιστη θερμική θαλπωρή. Σε αντίθεση με τα στατικά συστήματα θέρμανσης, με αυτό τον τρόπο αποκαθίσταται η ισορροπία

ακτινοβολούμενης θερμότητας μεταξύ του ανθρώπου και του χώρου που τον περικλείει και επιτυγχάνεται η ιδανική αίσθηση της θαλπωρής.

Χάρη στο υψηλό ποσοστό ακτινοβολούμενης ενέργειας των συστημάτων θέρμανσης δαπέδου, η αίσθηση της θαλπωρής γίνεται αντιληπτή σε χαμηλότερες θερμοκρασίες χώρου. Έτσι η θερμοκρασία του χώρου μπορεί να μειωθεί κατά 1 με 2 °C, γεγονός που συνεπάγεται ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας από 3 έως 6%.



Εικόνα 5: Ενδοδαπέδια Θέρμανση.[7]

Τα συστήματα ενδοδαπέδιας θέρμανσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εσωτερικούς χώρους ως ολοκληρωμένα συστήματα θέρμανσης προσφέροντας σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας σε:

- Κτήρια κατοικιών,
- Δημόσια κτήρια (νηπιαγωγεία, σχολεία, εκκλησίες, κλειστά γυμναστήρια, γηροκομεία),
- Ξενοδοχεία και
- Βιομηχανικά κτήρια (χώροι παραγωγής ή αποθήκευσης).

Τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης δαπέδου:

- Επιτρέπουν την ελεύθερη διαμόρφωση των χώρων, χωρίς την παρουσία θερμαντικών σωμάτων.

- Προσφέρουν στον αρχιτέκτονα ελευθερία στο σχεδιασμό.
- Μειώνουν τον κίνδυνο τραυματισμών σε παιδικούς σταθμούς, σχολεία, νοσοκομεία, γηροκομεία.

Λόγω της αυξημένης απόδοσης θέρμανσης σε σχετικά μικρές θερμοκρασίες προσαγωγής, τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης δαπέδου μπορούν να συνδυασθούν ιδανικά με λέβητες αερίου, αντλίες θερμότητας ή ηλιακούς συλλέκτες.

Λόγω του χαμηλού ποσοστού ακτινοβολούμενης ενέργειας των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης δαπέδου προκύπτει μία περιορισμένη ανακυκλοφορία του αέρα του θερμαινόμενου χώρου. Η ανακυκλοφορία και το σκόρπισμα της σκόνης ανήκει πλέον στο παρελθόν. Έτσι προφυλάσσεται το αναπνευστικό σύστημα όλων και κυρίως των αλλεργικών ατόμων.

Τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης δαπέδου έχουν τη δυνατότητα να συμπληρωθούν με ένα πλούσιο προαιρετικό εξοπλισμό, δημιουργώντας έτσι ένα ολοκληρωμένο σύστημα κορυφαίας τεχνολογίας και ποιότητας.

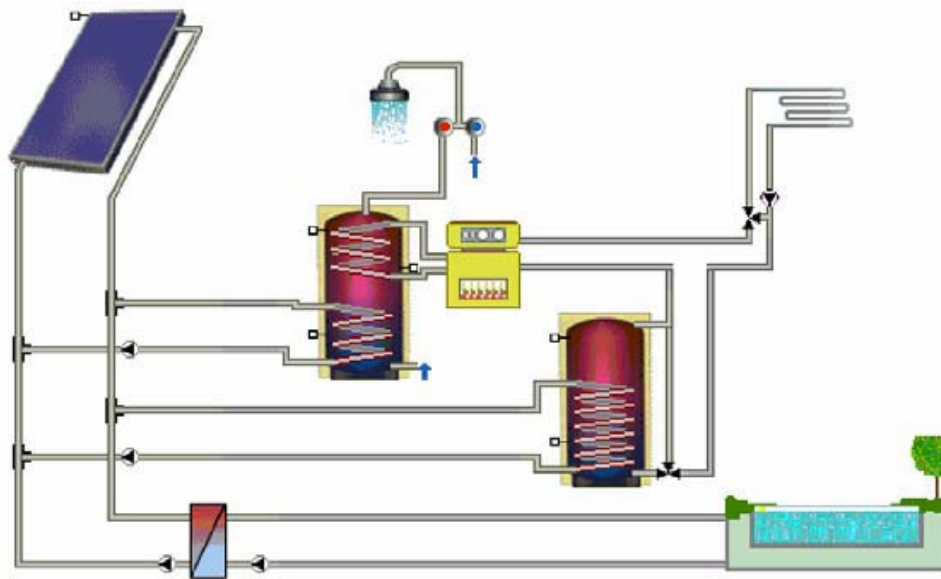
Τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα συστήματα αυτά είναι:

- Μεγάλη θερμική άνεση,
- Ομοιόμορφη θέρμανση του χώρου,
- Εξοικονόμηση ενέργειας,
- Φιλική προς το περιβάλλον,
- Κατάλληλη για αλλεργικούς και
- Ελευθερία στην αρχιτεκτονική του χώρου.[7]

2.5 Μπόιλερ Παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης και Υποστήριξης Θέρμανσης

Τα μποϊλερ COMBI, είναι ειδικά κατασκευασμένα θερμοδοχεία (Εικόνα 6) συνδυασμένης λειτουργίας, για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και υποστήριξη θέρμανση και μπορούν να συνδεθούν ταυτόχρονα σε σύστημα ηλιακών συλλεκτών και λέβητα ή αντλία θερμότητας.

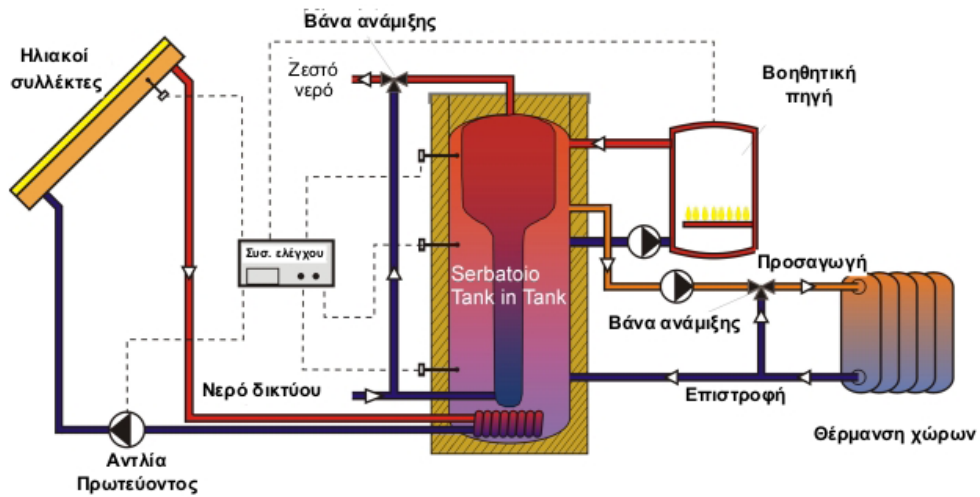
Το θερμοδοχείο αποτελείται από δυο ξεχωριστά δοχεία το ένα μέσα στο άλλο (tank in tank) (Εικόνα 7). Στο εξωτερικό δοχείο (δοχείο αδρανείας) κυκλοφορεί το νερό του συστήματος της κεντρικής θέρμανσης. Στο εσωτερικό του δοχείου αδρανείας υπάρχει ένα δεύτερο δοχείο (δοχείο ζεστού νερού χρήσης), ειδικά επεξεργασμένο, που το καθιστά κατάλληλο για πόσιμο νερό. Στο εσωτερικό του δοχείου αδρανείας βρίσκεται εμβαπτισμένος και ένας εναλλάκτης για σύνδεση του δοχείου με ηλιακούς συλλέκτες.



Εικόνα 6: Συστήματα Combi – 2 θερμοδοχεία[6,8]

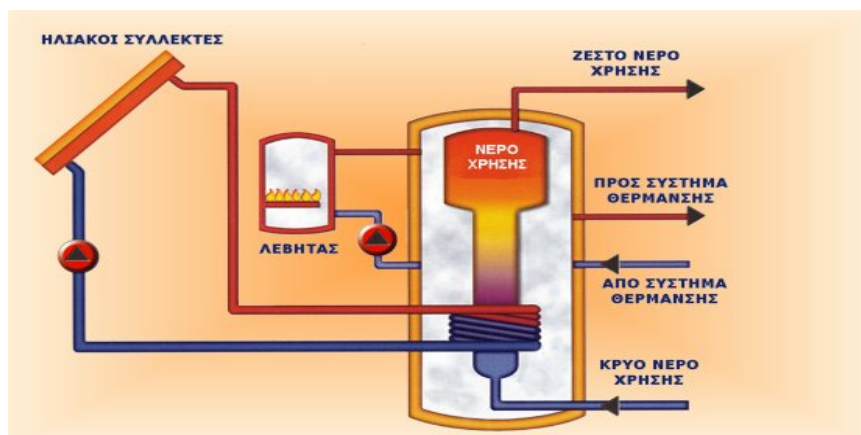
Η ενέργεια των ηλιακών συλλεκτών μεταφέρεται στο μποϊλερ μέσω του σταθερού εναλλάκτη και θερμαίνει αρχικά το νερό της κεντρικής θέρμανσης και στη συνέχεια το

ζεστό νερό χρήσης. Εάν η ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί, τότε τίθεται σε λειτουργία ο λέβητας και συμπληρώνει την απαιτούμενη ενέργεια. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται μεγάλη εξοικονόμηση καυσίμων και η θέρμανση των χώρων και του νερού χρήσης επιτυγχάνεται με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον.



Εικόνα 7: Συστήματα Combi – tank in tank. [6,8]

Τα μποϊλερ COMBI (Εικόνα 8) είναι εξοπλισμένα με ηλεκτρονικό σύστημα ανοδικής προστασίας με ανόδιο τιτανίου. Το σύστημα αυτό εξασφαλίζει προστασία έναντι της διάβρωσης για κάθε είδος νερού, δεν χρειάζεται καμία συντήρηση, είναι απολύτως αδιάβρωτο, αποδοτικό και χαρακτηρίζεται από μικρή κατανάλωση ρεύματος.[6,8]



Εικόνα 8: Μποϊλερ COMBI.[6,8]

2.6 Προσδιορισμός του δυναμικού ελεύθερης ψύξης

Ένα σημαντικό μερίδιο της ενέργειας που καταναλώνεται στα κτήρια αποδίδεται στην ενεργειακή χρήση από τα συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC). Η δυνατότητα της ελεύθερης ψύξης αντιπροσωπεύει ένα μέτρο της ικανότητας εξαερισμού να εξασφαλίσει την εσωτερική άνεση, χωρίς τη χρήση μηχανικών συστημάτων ψύξης [C. Ghiaus, F. Allard, 2006]. Η ελεύθερη ψύξη δεν είναι εναλλακτική λύση μηχανικής ψύξης, πρέπει να θεωρηθεί ως συμπληρωματική και υποστηρικτική εφαρμογή του συστήματος κλιματισμού. Η ελεύθερη ψύξη είναι μια καλή ευκαιρία για την εξοικονόμηση ενέργειας στα συστήματα κλιματισμού. Παρά το γεγονός ότι τα συστήματα κύκλου εξοικονόμησης υπάρχουν εδώ και πολλά χρόνια, κατά τα τελευταία χρόνια, πολλές μονάδες πακέτα κατασκευαστών κύκλου εξοικονόμησης προσφέρουν εκτενέστερα αέρα, έτσι ώστε να παρέχει ελεύθερη ψύξη για την εξοικονόμηση ενέργειας καθώς και για να βελτιώσει την εσωτερική ποιότητα αέρα. Με την ελεύθερη ψύξη, γνωστή συνήθως και ως κύκλος εξοικονόμησης, τα οφέλη των χαμηλότερων θερμοκρασιών περιβάλλοντος, χρησιμοποιούνται για ένα σημαντικό ποσοστό του έτους σε πολλά κλίματα. Η λεπτομερής ανάλυση των τοπικών καιρικών στοιχείων απαιτείται για να αξιολογήσει τα οφέλη του κύκλου εξοικονόμησης. [Bulut H. κ.α., 2010]

2.6.1 Κύκλος εξοικονόμησης και εξοικονομητές στα συστήματα HVAC

Ο κύκλος εξοικονόμησης χρησιμοποιείται όταν οι εξωτερικές συνθήκες είναι κατάλληλες, δηλ., όταν ο εξωτερικός αέρας είναι αρκετά δροσερός για να χρησιμοποιηθεί ως μέσο ψύξης [ASHRAE].

Ένας κύκλος εξοικονόμησης είναι ένας κύκλος κλιματισμού που χρησιμοποιεί την ικανότητα ελεύθερης ψύξης του υπαίθριου αέρα, είτε άμεσα, είτε για να δροσίσει το νερό συμπυκνωτών σε έναν πύργο ψύξης, και έπειτα για να δροσίσει τον αέρα έμμεσα, αντί να χρησιμοποιεί ψυκτικά μηχανήματα για να παρέχει ψύξη / αφύγρανση, ώστε να διατηρηθεί η απαιτούμενη θερμοκρασία χώρου. Το συστατικό και οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στη λειτουργία ενός κύκλου εξοικονόμησης καλούνται συλλογικά εξοικονομητές, και ο

τύπος ελέγχου που χρησιμοποιείται για να ενεργοποιήσει τον κύκλο εξοικονομητών αποτελεσματικά και ενεργειακά αποδοτικά καλούνται εξοικονομητές έλεγχου. Υπάρχουν δύο τύποι εξοικονομητών, οι air-side εξοικονομητές και οι water-side.[Bulut H. κ.α., 2010]

2.6.1.1 Τύποι κύκλων εξοικονόμησης:

Water-side εξοικονομητές: αποτελούνται από μια σπείρα νερού που βρίσκεται στην αυτόνομη μονάδα πριν από τη σπείρα ψύξης άμεσης επέκτασης. Τα πρότυπα ASHRAE 90.1 εξετάζουν την εφαρμογή του water-side εξοικονομητή [ASHRAE]. Οι water-side εξοικονομητές χρησιμοποιούν τον υπαίθριο αέρα για την ψύξη του νερού του συμπυκνωτή ή για την ψύξη του νερού στον πύργο ψύξης ή πρώτα στο ψυκτικό δοχείο εξάτμισης, και στη συνέχεια για την ψύξη του μείγματος του εξωτερικού αέρα και ανακυκλοφορεί τον αέρα μέσω μιας σπείρας προκαταρκτικής ψύξης. Ένας water-side εξοικονομητής αποτελείται κυρίως από έναν πύργο ψύξης, μια σπείρα προκαταρκτικής ψύξης νερού στη μονάδα διαχείρισης αέρα, μια αντλία κυκλοφορίας για την κυκλοφορία του παγωμένου νερού, και το σχετικό σύστημα ελέγχου[Bulut H. κ.α., 2010]

Η Εικόνα 9 παρουσιάζει μια σχηματική αναπαράσταση ενός χαρακτηριστικού συστήματος ολικού κλιματισμού HVAC που αποτελείται από μια διαχειριζόμενη μονάδα αέρα, ένα σύστημα, τις διατάξεις απόσβεσης, τους ανεμιστήρες και τους αεραγωγούς ψύξης. Μια σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας είναι δυνατή όταν το σύστημα μετατρέπεται κατάλληλα σε έναν κύκλο εξοικονόμησης. Στην αρχή της λειτουργίας εξοικονομητών, οι διατάξεις επιστροφής απόσβεσης είναι κλειστές, οι εξωτερικές διατάξεις απόσβεσης είναι ανοικτές, και ο μέγιστος πιθανός εξωτερικός αέρας παρέχεται στις σπείρες ψύξης. Οι αλγόριθμοι ελέγχου για τη μεταστροφή είναι χαρακτηριστικά ταξινομημένες στον ξηρό βολβό βασισμένο στη θερμοκρασία και στην ενθαλπία*[ASHRAE].

*Με τον όρο Ενθαλπία, που προέρχεται από το ρήμα ενθάλλω = ζεσταίνω, κρύβω μέσα μου, περιθάλλω, χαρακτηρίζεται στη Χημεία η ενέργεια που προσφέρεται κατά τη θέρμανση ουσιών και που εγκλωβίζεται στα μόριά τους ιδίως σ' εκείνα των υδρατμών τους. Συνέπεια αυτού είναι ότι τα μόρια αυτά έχουν μεγαλύτερο ενεργειακό περιεχόμενο από τα αρχικά μόρια. Έτσι στη γλώσσα της χημείας η ενθαλπία αποτελεί το θερμικό περιεχόμενο κάθε χημικού συστήματος η οποία και συμβολίζεται συνήθως με το γράμμα Η.

Με τη χρήση του κύκλου εξοικονόμησης, η ανάγκη για μηχανική ψύξη μπορεί να αποβληθεί πλήρως (ελεύθερη ψύξη) ή να μειωθεί μερικώς (μερική ελεύθερη ψύξη), όποτε οι εξωτερικές συνθήκες αέρα το επιτρέπουν. Η ενεργειακή εξοικονόμηση κόστους μπορεί να είναι πολύ σημαντική, ανάλογα με το φορτίο εξοικονομητών και τις ώρες λειτουργίας.

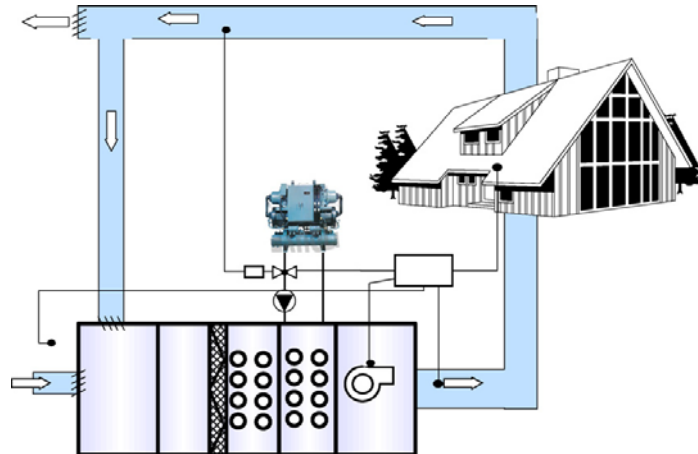
Air-side εξοικονομητές: εκμεταλλεύονται το δροσερό υπαίθριο αέρα για να βοηθήσουν είτε τη μηχανική ψύξη ή, εάν ο εξωτερικός αέρας είναι αρκετά δροσερός, παρέχουν πλήρη ψύξη. Σε ένα σύστημα ολικού κλιματισμού, ο υπαίθριος αέρας χρησιμοποιείται ως αέρας ανεφοδιασμού. Ένας air-side εξοικονομητής αποτελείται από το υπαίθριο, την εξάτμιση, την εκκένωση, και την αναδιανομή αγωγών και διατάξεων απόσβεσης στη διαχειριζόμενη μονάδα αέρα ή τη συσκευασμένη μονάδα, καθώς και ένα σύστημα ελέγχου για να τους ενεργοποιεί. Ο έλεγχος εξοικονομητών αέρα μπορεί να υποδιαιρεθεί στην ενθαλπία, βασισμένη στη διαφορική ενθαλπία, στη σταθερή ενθαλπία, και στους ηλεκτρονικούς ελέγχους εξοικονομητών ενθαλπίας και επίσης στον σταθερό ξηρό βολβό βασισμένο στη θερμοκρασία και στο διαφορικό ξηρό βολβό έλεγχου εξοικονομητών. Ενθαλπία είναι το άθροισμα της εσωτερικής ενέργειας ενός σώματος και του γινομένου της εξωτερικής πίεσης επί του όγκου που καταλαμβάνει μια ουσία. Το γινόμενο εκφράζει την ενέργεια που απαιτείται για να εκτοπίσει το σώμα το περιβάλλον του και να καταλάβει τη θέση στην οποία βρίσκεται.[Bulut H. κ.α., 2010]

2.6.2 Έλεγχοι-Πειράματα

Διαθέσιμες μελέτες έδειξαν ότι σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας θα μπορούσε να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας την ελεύθερη ψύξη κάτω από διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες. Έρευνες του Olsen κ.α., [Olsen E.L., Qinyan Y.C., 2003] έδειξαν ότι χαμηλής ενέργειας συστήματα ψύξης που μεγιστοποιούν την ελεύθερη ψύξη από τον εξωτερικό αέρα, έχουν την καλύτερη ενεργειακή απόδοση υπό τις ήπιες συνθήκες του βρετανικού κλίματος. Ο Budaiwi διερεύνησε την ενεργειακή απόδοση του κύκλου εξοικονόμησης, κάτω από τρεις κλιματολογικές συνθήκες στη Σαουδική Αραβία, και παρουσίασε σημαντικά αποτελέσματα για τους σχεδιαστές και χειριστές HVAC, που επιδιώκουν την ενεργειακή απόδοση στα κτήρια μέσω του κύκλου εξοικονόμησης.[Bulut H. κ.α., 2010]

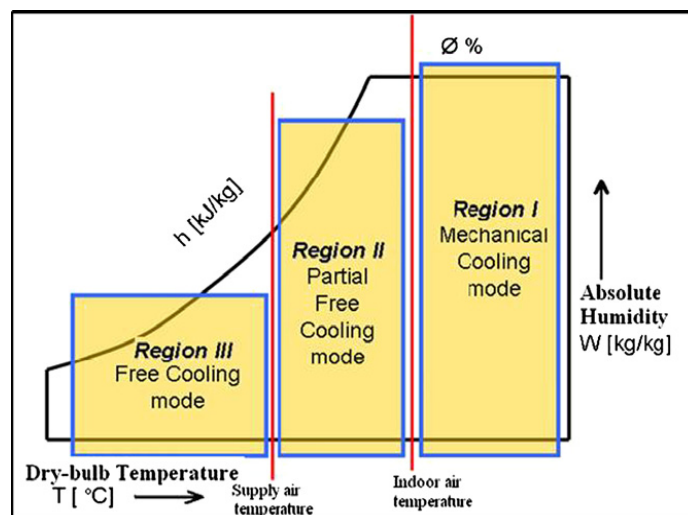
Οι μέθοδοι ελέγχου και εφαρμογές που καθορίζουν το σύνολο των σημείων και τη στρατηγική ελέγχου για έναν εξοικονομητή που συστήνονται για να μεγιστοποιηθεί η εξοικονόμηση ενέργειας είναι πολλές [ASHRAE]. Ο έλεγχος του εξοικονομητή ενθαλπίας παράγει την λιγότερη ολική κατανάλωση ενέργειας. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του Wacker δείχνουν ότι ο εξοικονομητής ενθαλπίας σώζει 5-50% περισσότερη ενέργεια συμπεριεστών σε σύγκριση με τον εξοικονομητή με τον ξηρό βολβό με το καθορισμένο σημείο μεταστροφής στους 24°C σε έξι διαφορετικές πόλεις των ΗΠΑ[Wacker PC.]. Συγκρίνοντας την ενθαλπία του υπαίθριου αέρα με αυτήν του αναδιανεμημένου αέρα, απαιτείται μέτρηση των υγρών βολβών θερμοκρασίας ή των ξηρών βολβών θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας. Στην πραγματική πρακτική, οι αισθητήρες υγρασίας μπορούν να καταδείξουν μεγάλα λάθη (μερικές φορές μέχρι και 10%) και έχουν εκτενείς απαιτήσεις συντήρησης. Οι αισθητήρες ψύξης είναι ευαίσθητοι και ακριβοί και προκαλούν δυσκολίες συντήρησης. Παρά την ανωτερότητα του εξοικονομητή ενθαλπίας, η εφαρμογή του σε μεγάλο βαθμό εμποδίζεται από την μέχρι στιγμής εμφανώς αναξιόπιστη μέτρηση της σχετικής υγρασίας του εξωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα. Επομένως, είναι απλούστερο και καταλληλότερο να χρησιμοποιούνται μόνο αισθητήρες θερμοκρασίας και για την σύγκριση της θερμοκρασίας του υπαίθριου αέρα με τη θερμοκρασία του αναδιανεμημένου αέρα, αντί της μέτρησης και της σύγκρισης των ενθαλπιών. Αυτή η μέθοδος ελέγχου ονομάζεται έλεγχος εξοικονομητών θερμοκρασίας. [Bulut H. κ.α., 2010]

Εξωτερικές καιρικές ζώνες που χρησιμοποιούν τον έλεγχο εξοικονομητή θερμοκρασίας παρουσιάζονται στην Εικόνα 10. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 10, στο σταθερό εξοικονομητή θερμοκρασίας με ξηρό βολβό, το ψυχομετρικό διάγραμμα μπορεί να σπάσει σε τρεις περιοχές με την επιλογή μιας κατάλληλης θερμοκρασίας αέρα ανεφοδιασμού (τυπικά μεταξύ 13 και 18°C) και εσωτερικής θερμοκρασίας (τυπικά το καθορισμένο σημείο είναι 24 °C). Όταν η θερμοκρασία του υπαίθριου αέρα είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα (περιοχή 1: μηχανικός τρόπος ψύξης), οι υπαίθριοι και οι αποσβεστήρες εξάτμισης θα είναι στο ελάχιστό τους άνοιγμα και η μηχανική ψύξη είναι απαραίτητη. Όταν η υπαίθρια θερμοκρασία αέρα βρίσκεται στην περιοχή 2 (μερικώς



Εικόνα 9: Σχηματική απεικόνιση ενός τυπικού συστήματος ολικού κλιματισμού.[Bulut H. κ.α., 2010]

ελεύθερη ψύξη), οριοθετείται από την εσωτερική θερμοκρασία και την παροχή αέρα ξηρού βολβού, 100% του υπαίθριου αέρα χρησιμοποιείται λόγω του ότι η εξωτερική θερμοκρασία ξηρού βολβού είναι μικρότερη από την εσωτερική θερμοκρασία και η μηχανική ψύξη απαιτείται. Αλλά, οι ώρες λειτουργίας του συστήματος ψύξης είναι λιγότερες από αυτές της περιοχής 1. Στην περιοχή 3 (ελεύθερη ψύξη), δεδομένου ότι η εξωτερική



Εικόνα 10: Οι περιοχές ελέγχου ενός σταθερού εξοικονομητή θερμοκρασίας ξηρού βολβού σε ψυχομετρικό γράφημα.[Bulut H. κ.α., 2010]

θερμοκρασία του αέρα είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία του αέρα της προσφοράς, δεν υπάρχει ανάγκη για μηχανική ψύξη και η ελεύθερη χωρητικότητα του εξωτερικού αέρα χρησιμοποιείται άμεσα. Κατά τον ελεύθερο τρόπο ψύξης, ο υπαίθριος αέρας και ο αέρας αναμειγνύονται για την επίτευξη επιθυμητής θερμοκρασίας του αέρα της προσφοράς και το σύστημα ψύξης είναι εκτός λειτουργίας. [Bulut H. κ.α., 2010]

2.7 Έξυπνο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για ψύξη και θέρμανση

Η ενεργειακή χρήση του συστήματος της θέρμανσης, του εξαερισμού και του κλιματισμού (HVAC) έχει γίνει το κύριο μέρος της γενικής κατανάλωσης ενέργειας στα κτήρια πόλεων, η οποία παίρνει το μεγάλο ποσοστό της αστικής κατανάλωσης ενέργειας.

Εκτός από την μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, οι ψυκτικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στα συστήματα HVAC μπορούν επίσης να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στο περιβάλλον. Όλα αυτά τα προβλήματα έχουν φέρει νέα πρόκληση για την ενέργεια και την διαχείριση του περιβάλλοντος στη λειτουργία και την ανάπτυξη των πόλεων, κάτι που καθιστά την επιλογή των πηγών ψύξης/ θέρμανσης κρίσιμη για το σχεδιασμό του συστήματος HVAC των κτηρίων πόλεων, το οποίο θα στοχεύει στην επιλογή του βέλτιστου σχεδίου από όλα τα εφικτά σχέδια.

Το Έξυπνο Σύστημα Υποστήριξης Απόφασης (IDSS), ενσωμάτωσε τους τρόπους υποστήριξης απόφασης της ποιοτικής ανάλυσης ενός έμπειρου συστήματος και τους τρόπους υποστήριξης απόφασης της ποσοτικής ανάλυσης του συστήματος και ήταν διαθέσιμο για την διαχείριση της ενέργειας των οικοδομών, των υποδομών και για την πρόβλεψη της ενεργειακής απόδοσης κατά τη λειτουργία των HVAC συστημάτων, κ.λπ. Το ευφρές μοντέλο συστημάτων υποστήριξης απόφασης (IDSS) του κλιματισμού για την επιλογή πηγών ψύξης/ θέρμανσης των κτηρίων στις πόλεις αναπτύχθηκε με τους περιεκτικούς δείκτες αποδοτικότητας ενεργειακής χρήσης και προστασίας του περιβάλλοντος συγχρόνως. Τα μοντέλα IDSS χρησιμοποιούν τη γλώσσα προγραμματισμού C. Η γλώσσα προγραμματισμού C ελέγχθηκε για να έχει μικρό πυρήνα και ισχυρή ικανότητα στην επεξεργασία καταλόγων

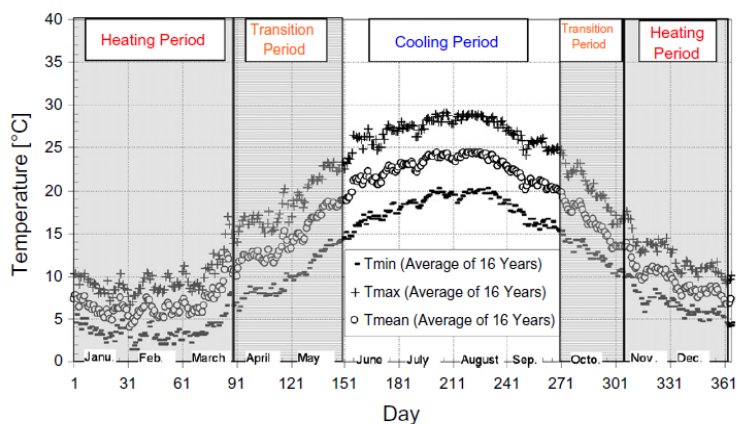
και την οδήγηση στοιχείων, η οποία χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς στην επιλογή σχεδίου των πηγών ψύξης/θέρμανσης για ένα αστικό κτήριο γραφείων.[Ying L.κ.α., 2009]

2.8 Case Studies

2.8.1 Case Study στην Istanbul

2.8.1.1 Ανάλυση της υπαίθριας θερμοκρασίας αέρα

Η λεπτομερής ανάλυση των εξωτερικών κλιματικών συνθηκών είναι αναγκαίες για να εκτιμηθεί και να αξιολογηθεί η δυνατότητα ελεύθερη ψύξης. Σε αυτήν την μελέτη, η εποχή ψύξης για την Istanbul καθορίστηκε με τη χρήση μακροπρόθεσμων μετρήσεων της μέση ημερήσια θερμοκρασία με ξηρό βολβό. Η Εικόνα 11 παρουσιάζει τη διακύμανση των ημερήσιων δεδομένων ελάχιστης, μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας ξηρού βολβού για όλο το χρόνο για την Istanbul. Αυτά τα δεδομένα θερμοκρασίας ξηρού βολβού λαμβάνονται από τα μέσα 16 ετών (1981-1996), τα οποία απαρτίζουν τα μακροπρόθεσμα στοιχεία των μετρήσεων. Όπως φαίνεται από την Εικόνα 11, επιλέγοντας τη μέση ημερήσια θερμοκρασία 20 βαθμών Κελσίου (ο μέσος όρος των μέγιστων θερμοκρασιών είναι περίπου 24°C), ως θερμοκρασία βάσης, η εποχή ψύξης αρχίζει το μήνα Ιούνιο (152^η ημέρα), και τελειώνει το μήνα Σεπτέμβριο (273^η ημέρα). Εάν οι καθημερινές μέσες θερμοκρασίες είναι μεταξύ 13°C και 20°C, η περίοδος αυτή είναι αποδεκτή ως μεταβατική περίοδος. Κατά συνέπεια, οι μήνες Απρίλιος, Μάιος και Οκτώβριος μπορούν να αντιμετωπίζονται σαν οι μήνες μετάβασης για την Istanbul.[Bulut H. κ.α., 2010]



Εικόνα 11: Μεταβολή των ακραίων και μέσων θερμοκρασιών όλου του χρόνου και κατά τις περιόδους θέρμανσης και ψύξης και τις μεταβατικές περιόδους για την Istanbul. [Bulut H. κ.α., 2010]

2.8.1.2 Μέθοδος Bin

Στη μελέτη αυτή, τα δεδομένα αποθήκευσης για τη θερμοκρασία ξηρού βολβού χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του δυναμικού της ελεύθερης ψύξης. Η μέθοδος αποθήκευσης(bin) απαιτεί τα καιρικά δεδομένα αποθήκευσης. Η μέθοδος Bin στηρίζεται στην ιδέα ότι όλες οι ώρες ενός μήνα, μιας εποχής ή ετησίως, όταν εμφανίζεται ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα θερμοκρασίας (bin), μπορούν να ομαδοποιηθούν και οι υπολογισμοί της ενέργειας μπορούν να γίνουν για αυτές τις ώρες με τον εξοπλισμό που λειτουργεί βάσει αυτών των ιδιαίτερων συνθηκών. Οι στιγμιαίες ενεργειακές απαιτήσεις υπολογίζονται σε διαφορετικές τιμές από την εξωτερική θερμοκρασία ξηρού βολβού ($T_{o,i}$) και στη συνέχεια πολλαπλασιάζονται με τον αντίστοιχο αριθμό των ωρών ($N_{bin,i}$) στο διάστημα θερμοκρασιών (bin) με επίκεντρο αυτή τη θερμοκρασία. Το αποτέλεσμα είναι η κατανάλωση ενέργειας $Q_{bin,i}$ στην αντίστοιχη αποθήκευση:

$$Q_{bin,i} = N_{bin,i} * (K_{tot}/\eta) * (T_b - T_{o,i})$$

όπου K_{tot} και το η είναι, αντίστοιχα, ο συνολικός συντελεστής απώλειας θερμότητας του κτηρίου, και η αποδοτικότητα του συστήματος HVAC. Το σημείο ισορροπίας της θερμοκρασίας, T_b είναι η αξία της εξωτερικής θερμοκρασίας πάνω ή κάτω από το οποίο θέρμανση ή ψύξη είναι απαραίτητη.[Bulut H κ.α., 2010]

Η μέθοδος bin μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό και της θέρμανσης και της ψύξης των ενεργειακών αναγκών. Από την παρένθεση στην πιο πάνω εξίσωση έχουμε ένα δείκτη που δηλώνει ότι μόνο οι θετικές τιμές πρόκειται να μετρηθούν για τη θέρμανση και για την ψύξη, μόνο οι αρνητικές τιμές πρέπει να εξεταστούν. Η εξίσωση δίνει μόνο τις λογικές ενεργειακές ανάγκες. Οι λανθάνουσες ενεργειακές ανάγκες μπορούν επίσης να είναι υπολογίσιμες εάν η μέση συμπίπτουσα θερμοκρασία των υγρών βολβών σε κάθε ένα bin θερμοκρασίας είναι γνωστή. Οι τιμές $Q_{bin,i}$ που υπολογίζονται χωριστά για κάθε διάστημα θερμοκρασίας (bin), αθροίζονται για να ευρεθεί το σύνολο της κατανάλωσης ενέργειας:

$$Q_{tot} = \text{Sum}(Q_{bin,i})$$

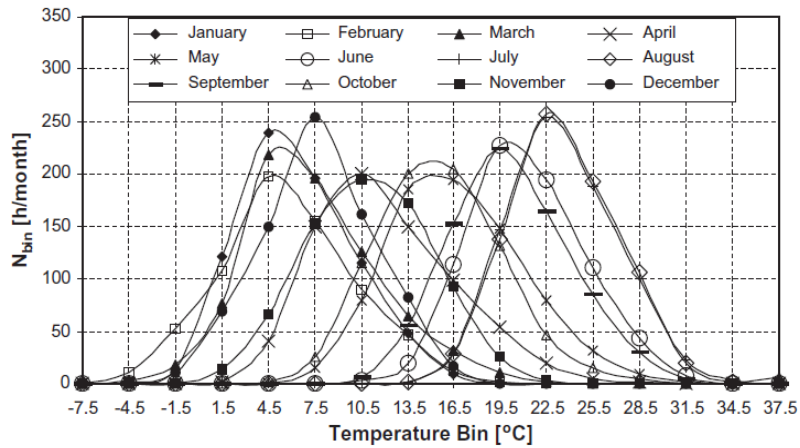
όπου το μ είναι ο συνολικός αριθμός των διαστημάτων θερμοκρασίας (bin).

Αυτή η διαδικασία μπορεί να εκτελεσθεί είτε με μηνιαία είτε με ετήσια στοιχεία. Μπορεί να υπολογίσει την απόδοση μερικού φορτίου του εξοπλισμού θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού καθώς επίσης και την ποικίλη απόδοση των συστημάτων αντλιών θερμότητας και του αρχικού εξοπλισμού HVAC. Δεδομένου ότι η επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος για την απόδοση του εξοπλισμού λαμβάνεται υπόψη, η ακρίβεια των ενεργειακών υπολογισμών βελτιώνεται σημαντικά σε σύγκριση με άλλες μεθόδους. Η μέθοδος bin μπορεί να υπολογίσει την απόδοση μερικού φορτίου του εξοπλισμού HVAC και έχει χρησιμοποιηθεί ειδικά για την ανάλυση των συστημάτων αντλιών θερμότητας. Επιπλέον, με την εκτέλεση χωριστών υπολογισμών για διαφορετικές χρονικές περιόδους, οι διακυμάνσεις των εσωτερικών φορτίων με το χρόνο, τα πρότυπα κατοχής και λειτουργίας των χρονοδιαγράμματα των συστημάτων HVAC μπορούν να εξεταστούν.

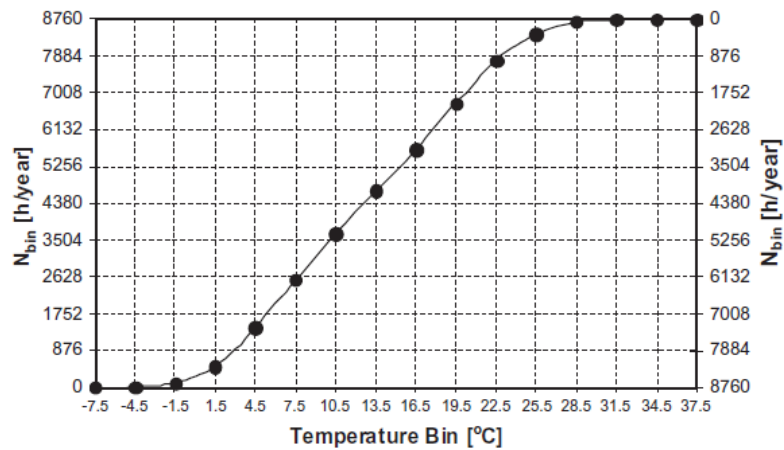
Στην μελέτη αυτή, τα στοιχεία αποθήκευσης για τη θερμοκρασία με ξηρό βολβό από -9°C σε 39°C με 3°C προσαυξήσεις υπολογίστηκε σε έξι ημερήσιες 4-ωρες διάρκειες (1-4, 5-8, 9-12, 13-16, 17-20 και 21-24 ώρες) για την Istanbul. Τα στοιχεία bin καθορίστηκαν χρησιμοποιώντας τις ωριαίες θερμοκρασίες με ξηρό βολβό που μετρήθηκαν από την Γενική Διεύθυνση Κρατικών Μετεωρολογικών υποθέσεων (τουρκικά αρχικά DMI) στην Istanbul κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 16 ετών (μεταξύ 1983 και 1998). Μηνιαία στοιχεία bin για την ψύξη και τη μεταβατική περίοδο δίνονται στον Πίνακα 1 σε 4-ωρες περιόδους. Η μικρότερη θερμοκρασία αποθήκευσης που παρατηρείται στην Istanbul είναι -4.5°C (-6°C / -3°C) με 11 ώρες το Φεβρουάριο, ενώ η μέγιστο θερμοκρασία που παρατηρήθηκε είναι 34.5°C (33°C / 36°C) με 3 ώρες τον Ιούλιο. Οι ετήσιες τιμές N_{bin} για έξι διαφορετικές χρονικές περιόδους της ημέρας παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα, η μέγιστη ετήσια συνολική τιμή N_{bin} είναι 1144 ώρες μέσα σε 7.5°C (6°C / 9°C) διάστημα θερμοκρασίας.

Η Εικόνα 12 παρουσιάζει τη κατανομή των μηνιαίων συνολικών τιμών N_{bin} για την Istanbul. Οι περίοδοι θέρμανσης και ψύξης μπορούν επίσης να υπολογιστούν από το διάγραμμα αυτό. Όπως φαίνεται από την Εικόνα 12, οι χειμωνιάτικοι μήνες βρίσκονται τη αριστερή πλευρά και οι θερινοί μήνες είναι στη δεξιά πλευρά της γραφικής παράστασης. Η εποχή της μετάβασης παραμένει στη μέση της γραφικής παράστασης. Η αθροιστική κατανομή των ετήσιων στοιχείων bin για την Istanbul παρουσιάζεται στην Εικόνα 13. Από

την Εικόνα 13, μπορεί κανείς να πάρει περίπου τον αριθμό των ωρών για την εποχή θέρμανσης ή την εποχή ψύξης επιλέγοντας μιας θερμοκρασίας βάσης. Για παράδειγμα, μπορεί εύκολα να καθοριστεί ότι η περίοδος θέρμανσης είναι 6200 ώρες για θερμοκρασία βάσης 18°C και η περίοδος ψύξης είναι 980 ώρες για θερμοκρασία βάσης 22°C[Bulut Η. κ.α., 2001].



Εικόνα 12: Κατανομή των μηνιαίων συνολικών τιμών N_{bin} για την Istanbul. [Bulut Η. κ.α., 2001]



Εικόνα 13: Αθροιστική κατανομή των ετήσιων στοιχείων bin για την Istanbul[Bulut Η. κ.α., 2001]

Πίνακας 1: Μηνιαίες τιμές συνολικών N_{bin} (ώρες / μήνα) για την Istanbul.

Month	Time	Temperature bin (°C)															
		-9/-6	-6/-3	-3/0	0/3	3/6	6/9	9/12	12/15	15/18	18/21	21/24	24/27	27/30	30/33	33/36	36/39
January	1-4	0	0	4	26	43	29	17	4	1	0	0	0	0	0	0	0
	5-8	0	0	4	29	40	31	16	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	9-12	0	0	1	16	37	36	21	11	2	0	0	0	0	0	0	0
	13-16	0	0	1	11	34	36	23	15	4	0	0	0	0	0	0	0
	17-20	0	0	2	17	42	34	20	8	1	0	0	0	0	0	0	0
	21-24	0	1	2	22	44	30	18	6	1	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	1	14	121	240	196	115	48	9	0	0	0	0	0	0	0	
February	1-4	0	2	11	23	39	22	12	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	5-8	0	2	11	25	39	20	12	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	9-12	0	2	6	15	26	32	17	11	3	0	0	0	0	0	0	0
	13-16	0	1	6	13	21	30	19	15	6	1	0	0	0	0	0	0
	17-20	0	2	8	15	33	27	15	10	2	0	0	0	0	0	0	0
	21-24	0	2	10	17	39	24	14	5	1	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	11	52	108	197	155	89	47	12	1	0	0	0	0	0	0	
March	1-4	0	1	4	20	45	30	18	5	1	0	0	0	0	0	0	0
	5-8	0	1	4	20	44	30	18	6	1	0	0	0	0	0	0	0
	9-12	0	0	3	7	27	38	24	15	8	2	0	0	0	0	0	0
	13-16	0	0	2	6	21	35	26	14	13	6	1	0	0	0	0	0
	17-20	0	1	2	9	36	33	20	14	7	2	0	0	0	0	0	0
	21-24	0	0	3	14	46	30	19	10	2	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	3	18	76	219	196	125	64	32	10	1	0	0	0	0	0	
April	1-4	0	0	0	1	14	37	39	22	6	1	0	0	0	0	0	0
	5-8	0	0	0	1	11	34	41	22	8	3	0	0	0	0	0	0
	9-12	0	0	0	0	3	16	29	28	25	14	4	1	0	0	0	0
	13-16	0	0	0	0	2	12	22	24	27	20	9	3	1	0	0	0
	17-20	0	0	0	0	4	19	32	26	22	11	5	1	0	0	0	0
	21-24	0	0	0	0	7	31	38	27	11	5	1	0	0	0	0	0
Total	0	0	0	2	41	149	201	149	99	54	19	5	1	0	0	0	
May	1-4	0	0	0	0	0	7	26	47	32	10	2	0	0	0	0	0
	5-8	0	0	0	0	0	4	21	42	35	16	5	1	0	0	0	0
	9-12	0	0	0	0	0	0	4	20	32	36	21	9	2	0	0	0
	13-16	0	0	0	0	0	0	3	13	25	34	29	14	5	1	0	0
	17-20	0	0	0	0	0	1	8	24	33	31	18	7	2	0	0	0
	21-24	0	0	0	0	0	3	17	40	38	21	4	1	0	0	0	0
Total	0	0	0	0	0	15	79	186	195	148	79	32	9	1	0	0	
June	1-4	0	0	0	0	0	0	1	9	48	50	11	1	0	0	0	0
	5-8	0	0	0	0	0	0	1	6	28	54	26	5	0	0	0	0
	9-12	0	0	0	0	0	0	0	1	4	24	46	34	10	1	0	0
	13-16	0	0	0	0	0	0	0	1	2	12	38	39	23	5	0	0
	17-20	0	0	0	0	0	0	0	1	5	31	45	27	10	1	0	0
	21-24	0	0	0	0	0	0	1	2	26	57	29	5	0	0	0	0
Total	0	0	0	0	0	0	3	20	113	228	195	111	43	7	0	0	
July	1-4	0	0	0	0	0	0	0	1	13	57	49	4	0	0	0	0
	5-8	0	0	0	0	0	0	0	0	8	39	57	19	1	0	0	0
	9-12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	24	57	32	5	0	0
	13-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	12	44	48	14	2	0
	17-20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	42	50	18	4	1	0
	21-24	0	0	0	0	0	0	0	0	5	33	71	14	1	0	0	0
Total	0	0	0	0	0	0	0	1	28	146	255	188	100	23	3	0	
August	1-4	0	0	0	0	0	0	0	1	13	50	55	5	0	0	0	0
	5-8	0	0	0	0	0	0	0	0	10	38	56	19	1	0	0	0
	9-12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	21	58	34	5	0	0
	13-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	10	42	54	13	1	0
	17-20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9	42	54	16	2	0	0
	21-24	0	0	0	0	0	0	0	0	4	31	73	15	1	0	0	0
Total	0	0	0	0	0	0	0	1	29	137	257	193	106	20	1	0	
September	1-4	0	0	0	0	0	0	3	19	46	42	9	1	0	0	0	0
	5-8	0	0	0	0	0	0	3	17	41	43	15	1	0	0	0	0
	9-12	0	0	0	0	0	0	0	1	8	26	45	31	8	1	0	0
	13-16	0	0	0	0	0	0	0	1	5	19	38	35	19	3	0	0
	17-20	0	0	0	0	0	0	0	5	17	43	37	15	3	0	0	0

	21-24	0	0	0	0	0	0	0	12	35	51	20	2	0	0	0	0
	Total	0	0	0	0	0	0	6	55	152	224	164	85	30	4	0	0
October	1-4	0	0	0	0	0	7	30	44	30	12	1	0	0	0	0	0
	5-8	0	0	0	0	1	6	29	43	31	11	3	0	0	0	0	0
	9-12	0	0	0	0	0	2	11	20	36	36	13	5	1	0	0	0
	13-16	0	0	0	0	0	2	8	18	30	37	18	8	3	0	0	0
	17-20	0	0	0	0	0	3	14	33	41	22	9	2	0	0	0	0
	21-24	0	0	0	0	0	6	23	42	37	13	3	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	0	1	26	115	200	205	131	47	15	4	0	0	0
November	1-4	0	0	0	4	15	31	34	27	8	1	0	0	0	0	0	0
	5-8	0	0	0	4	15	30	34	28	8	1	0	0	0	0	0	0
	9-12	0	0	0	1	7	21	30	29	24	7	1	0	0	0	0	0
	13-16	0	0	0	1	5	17	28	30	25	12	2	0	0	0	0	0
	17-20	0	0	0	1	10	26	34	29	17	3	0	0	0	0	0	0
	21-24	0	0	0	2	14	28	35	29	10	2	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	13	66	153	195	172	92	26	3	0	0	0	0	0
December	1-4	0	0	3	14	30	42	23	10	2	0	0	0	0	0	0	0
	5-8	0	0	3	16	29	43	23	9	1	0	0	0	0	0	0	0
	9-12	0	0	1	9	20	44	29	18	3	0	0	0	0	0	0	0
	13-16	0	0	1	7	19	38	33	19	7	0	0	0	0	0	0	0
	17-20	0	0	1	10	24	45	28	14	2	0	0	0	0	0	0	0
	21-24	0	0	2	13	27	42	26	12	2	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	11	69	149	254	162	82	17	0	0	0	0	0	0	0

Πηγή: Bulut H. κ.α., 2001

Πίνακας 2: Ετήσιες συνολικές τιμές N_{bin} (ώρες / έτος) για έξι ξεχωριστές χρονικές περιόδους της ημέρας για την Istanbul.

Time	Temperature bin (°C)															
	-9/-6	-6/-3	-3/0	0/3	3/6	6/9	9/12	12/15	15/18	18/21	21/24	24/27	27/30	30/33	33/36	36/39
1-4	0	3	22	88	186	205	203	192	200	223	127	11	0	0	0	0
5-8	0	3	22	95	179	198	198	180	171	205	162	45	2	0	0	0
9-12	0	2	11	48	120	189	165	154	147	155	175	195	87	12	0	0
13-16	0	1	10	38	102	170	162	150	144	149	157	185	153	36	3	0
17-20	0	3	13	52	149	188	171	164	149	160	198	156	49	7	1	0
21-24	0	3	17	68	177	194	191	185	172	213	201	37	2	0	0	0
Total	0	15	95	389	913	1144	1090	1025	983	1105	1020	629	293	55	4	0

Πηγή: Bulut H. κ.α., 2001

Ο προσδιορισμός και η ανάλυση της ελεύθερης δυνατότητας ψύξης για το σύστημα ολικού κλιματισμού HVAC πραγματοποιείται υπό τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες στην Istanbul, στην Τουρκία. Διαπιστώθηκε από την ανάλυση των δεδομένων(η οποία δεν αναφέρεται) ότι υπάρχει δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός

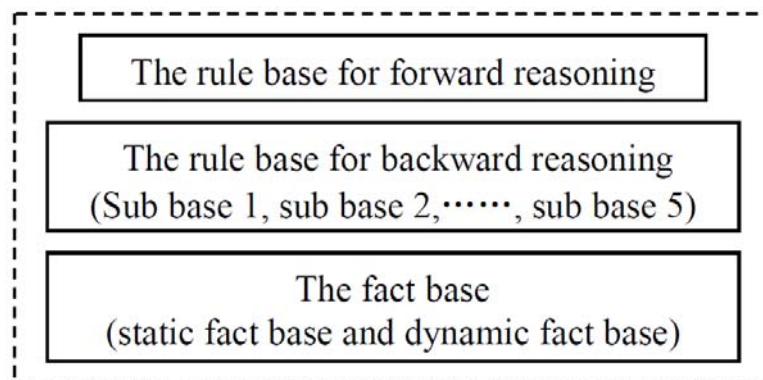
σημαντικού μεριδίου του έτους ειδικά στους μεταβατικούς μήνες. Η δυνατότητα ελεύθερης ψύξης ποικίλλει ανάλογα με τη θερμοκρασία του αέρα και τους μήνες. Καθορίζεται ότι οι μήνες μεταβάσεων (Απρίλιος, Μάιος, Σεπτέμβριος και Οκτώβριος) έχουν την υψηλότερη δυνατότητα. Από τον Ιούνιο μέχρι τον Αύγουστο, η υψηλή υπαίθρια θερμοκρασία αέρα κάνει το σύστημα μη αποτελεσματικό για την ελεύθερη ψύξη, εκτός από την υψηλή παροχή θερμοκρασίας αέρα. Σαν αύξηση της παροχής στη θερμοκρασία αέρα, η μεγαλύτερη δυνατότητα για την εξοικονόμηση ενέργειας από τον κύκλο εξοικονόμησης μπορεί να πραγματοποιηθεί. Ο κύκλος εξοικονόμησης είναι μια αποδεδειγμένη μέθοδος που επιτρέπει πολλές ώρες ελεύθερη ψύξη σε πολλές εφαρμογές με χαμηλότερο λειτουργικό κόστος. Επομένως, τα συστήματα HVAC που έχουν μια επιλογή ελεύθερης ψύξης θα πρέπει να είναι προτιμητέοι, εάν το κλίμα είναι ευνοϊκό. Προκειμένου να βρεθεί το ακριβές όφελος από τον κύκλο εξοικονόμησης, μια οικονομική αξιολόγηση, συμπεριλαμβανομένης και της ανάλυσης του κόστους και η λεπτομερής ανάλυση καιρικών δεδομένων θα πρέπει να πραγματοποιηθούν. Η δυνατότητα ελεύθερη ψύξης από τις άλλες περιοχές θα πρέπει επίσης να καθορισθεί.[Bulut H. κ.α., 2001]

2.8.2 Case Study στη Κίνα - Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για ψύξη και θέρμανση

Δομή της Βάσης Γνώσεων: Η περιοχή γνώσης για την επιλογή των πηγών ψύξης/θέρμανσης περιλαμβάνεται κυρίως στη γνώση της τακτικότητας με ορισμένη ιεραρχική ειδικότητα. Οι κανόνες παραγωγής είχαν υιοθετηθεί για την αντιπροσώπευση της γνώσης, ενώ οι κανόνες ταξινόμησης και τακτοποίησης είχαν υιοθετηθεί σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του προβλήματος μέσω του οποίου η ιεραρχική ειδικότητα της γνώσης θα μπορούσε να παρουσιαστεί. Η Εικόνα 14 επεξηγεί τη βασική δομή της βάσης γνώσεων.

Η επιλογή των πηγών ψύξης/θέρμανσης του μοντέλου IDSS ήταν πραγματοποιημένη με τη γλώσσα C. Το κύριο καθήκον του μοντέλου IDSS ήταν να ασχοληθεί με τα σύμβολα που ενήργησε ως φορέας της γνώσης με τη βοήθεια των ισχυρών συμβολοσειρών λειτουργίας της γλώσσας C. Κάθε ένα από τα σύμβολα κωδικοποιήθηκε ως κύτταρο καταλόγων υποδειγμένο στο κύτταρο συμβόλων ως δείκτης, έτσι ώστε οι βασικές δομές συμβόλων του ατόμου (άτομο συμβόλων, αριθμητικό άτομο, το άτομο σειράς ή το άτομο

λειτουργίας), το διαστιγμένο ζευγάρι και ο κατάλογος να μπορούσαν να καθοριστούν. Οι διαδικασίες λειτουργίας που περιλαμβάνονται στην επεξεργασία καταλόγων εκτελέστηκαν με τον κατάλογο χαρτογράφησης λειτουργίας που θα μπορούσε να ληφθεί ως κλήση στοιχείων ή λειτουργία που απαιτεί την οδήγηση στοιχείων. Η εισαγωγή και η παραγωγή καταλόγων έγινε με τη φόρτωση και τις λειτουργίες εκτύπωσης που χτίζονται ειδικά για να κάνουν τις μετατροπές μεταξύ της εσωτερικής μορφής και της εξωτερικής μορφής (σειρά χαρακτήρα) του καταλόγου. Προκειμένου να επιτευχθεί ένα στοιχείο που οδηγεί στην επίλυση του προβλήματος, τα στοιχεία που αποθηκεύτηκαν στα αρχεία στοιχείων φορτώθηκαν χρησιμοποιώντας τη λειτουργία φόρτωσης και κατόπιν αξιολογήθηκαν για ένα χρονικό διάστημα πριν αρχίσει η διαδικασία για τον αντίστοιχο συλλογισμό. Ο προορισμός της παραγωγής καταλόγων είναι είτε αρχεία κειμένων είτε περιοχή απομόνωσης των σειρών. [Ying L. κ.α., 2009]



Εικόνα 14: Δομή της Βάσης Γνώσεων. [Ying L. κ.α., 2009]

Οι κανόνες στη βάση κανόνων αντιπροσωπεύθηκαν στον κατάλογο μορφών όπως για παράδειγμα, ο κανόνας No.6 ως εξής:

```

(RULE rule_6 ((= Have boiler installed with capacity rich in
summer?[y/n]^ n )
(= Have steam supplied or waste heat utilized?[y/n]^ y )
(= Have temporary load or frequent varying daily load?
  
```

[y/n]^ n)

((:=Cooling/heating sources scheme 2^ Indirect-fired
absorption chillers/heaters with oil fired boiler)1.0))

Ο κανόνας, οι εγκαταστάσεις και τα συμπεράσματα αποθηκεύτηκαν στους χαρακτηριστικούς καταλόγους έτσι ώστε να μπορούν να καλεστούν άμεσα έξω για να εξυπηρετήσουν τη διαδικασία συλλογισμού εάν είναι απαραίτητο. Η σειρά γεγονότων που τέθηκαν για το συλλογισμό και που παρήχθησαν στη διαδικασία συμπεράσματος θα μπορούσε επίσης να περιγραφεί στη μορφή καταλόγων όπως παραδείγματος χάριν, ένα γεγονός που παράγεται ως αποτέλεσμα συλλογισμού πρόωθησης μπορεί να αντιπροσωπευθεί ως εξής:

(FACT (Cooling/heating sources scheme 1^ air source heat
pump units 1.0)

(Cooling/heating sources scheme 2^ Direct-fired
absorption chillers/heaters 1.0)

(Cooling/heating sources scheme 3^ Water-cooled
centrifugal chillers with oil fired boiler 1.0)

(Cooling/heating sources scheme 4^ Modular water
chillers 1.0))

Η μηχανή συμπεράσματος του μοντέλου IDSS πραγματοποιήθηκε με τον επαναλαμβανόμενο αλγόριθμο που χρησιμοποιεί η γλώσσα C για να περιγράψει επαναλαμβανόμενες διαδικασίες του συλλογισμού πρόωθησης ενώ ένα δεντροδιάγραμμα συμπεράσματος μπόρεσε να φτιαχτεί για να δώσει πληροφορίες για τη δυνατότητα εξήγησης του συστήματος.

Στο στάδιο του συλλογισμού προώθησης, οι κανόνες στη βάση κανόνων αναφέρθηκαν βασισμένοι στα βασικά γεγονότα με τα συμπεράσματά τους που εκτελέστηκαν μόλις συναντήθηκαν οι εγκαταστάσεις. Προκειμένου να αποφευχθεί η παραγωγή της αλυσίδας συμπεράσματος, μια στρατηγική ελέγχου υιοθετήθηκε: ότι κάθε κανόνας θα μπορούσε μόνο να αναφερθεί επιτυχώς σε ένα χρονικό διάστημα πριν ακυρωθεί από τη βάση κανόνων. Η μέθοδος προσδιορισμού κύκλων χρησιμοποιήθηκε ως στρατηγική ελέγχου για να εξασφαλίσει το τέρμα του προς τα πίσω διαλογισμού υπό κάποιο συγκεκριμένο όρο.

Το μοντέλο IDSS εφαρμόστηκε σε ένα πρακτικό HVAC πρόγραμμα ενός σχολικού κτηρίου στο κέντρο της πόλης Nanjing για επιλογή πηγών ψύξης/θέρμανσης και για να καταδείξει τη δυνατότητα πραγματοποίησης του μηχανισμού αντιπροσώπευσης και του συμπεράσματος γνώσης. Το κτήριο με 20 μοχλούς χρησιμοποιούταν κυρίως σαν χώρος γραφείων και επιστημονικής έρευνας, και είχε συνολική έκταση 22000m², καθώς επίσης το κατ' εκτίμηση φορτίο ψύξης που χρειαζόταν ήταν 3×10⁶ Kcal/h.

Το προτεινόμενο σχέδιο από το σύστημα αναθεωρήθηκε από μια ομάδα εμπειρογνομόνων HVAC συστημάτων έτσι ώστε να είναι λογικό για την εφαρμογή. Οι ερωτήσεις που υποβλήθηκαν από το πρόγραμμα ήταν πιθανά σχετικές ενώ οι κανόνες στη βάση κανόνων οργανώθηκαν και τακτοποιήθηκαν κατάλληλα για την αναφερθούν στη διαδικασία συλλογισμού. Έγιναν επίσης δοκιμές για να συγκρίνουν τα αποτελέσματα του μοντέλου με τα υπάρχοντα παραδείγματα επιλογής πηγών ψύξης/θέρμανσης που ερευνήθηκαν από τις έρευνες συστημάτων HVAC στο Nanjing και τη Σαγγάη. Το μοντέλο θα μπορούσε να υποβάλει ερωτήσεις σύμφωνα με την πραγματική κατάσταση των διαφόρων σχεδίων και θα μπορούσε να δίνει προσοχή στις απόψεις των χρηστών κάτω από συνθήκες εσφαλμένης εισόδου για να σταματήσει τη λειτουργία του συστήματος και να το τοποθετεί σε κατάσταση ασφάλειας. Από αυτά προκύπτει ότι το συμπέρασμα που συνάγεται από το μοντέλο IDSS, διαμορφώνεται επίσης καλά και με την πρακτική επιλογή. [Ying L. κ.α., 2009]

Τέλος σε αυτό το κεφάλαιο είδαμε ότι υπάρχουν πολλά συστήματα που μπορούν να βοηθήσουν στη δημιουργία καλύτερων συνθηκών άνεσης στο εσωτερικό των κτηρίων, με

ταυτόχρονη χρήση όσο το δυνατό λιγότερης ενέργειας, τα οποία μπορεί να είναι είτε παθητικά συστήματα που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια, είτε συστήματα τα οποία λειτουργούν με μηχανικά μέσα.

Η εγκατάσταση όλων των παραπάνω συστημάτων αυξάνει ελαφρά το συνολικό κόστος κατασκευής του κτηρίου, το οποίο όμως μπορεί να αποσβεθεί μέσω της χρησιμότητας των συστημάτων αυτών που βοηθούν στην περιορισμένη χρήση μονάδων συμβατικής θέρμανσης και των κλιματιστικών μονάδων.

3 Ενεργειακή Διαχείριση Κτηρίων

3.1 Εισαγωγή

Η χρήση της ενέργειας αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα του λειτουργικού κόστους ενός κτηρίου και διαδραματίζει πρωταρχικό ρόλο στην επίτευξη του επιπέδου άνεσης των ενοίκων.[13] Η πρόκληση που αντιμετωπίζουν τα συστήματα αυτά είναι να επιτευχθεί η βιώσιμη ανάπτυξη, διατηρώντας την υψηλής ενέργειας κατανάλωση όπως απαιτείται από τα πρότυπα διαβίωσης και άνεσης μέσα αναπτυγμένες χώρες. Για να υπάρξουν όμως αλλαγές στα σχέδια κατανάλωσης και να μειωθεί η ενεργειακή κατανάλωση των κτηρίων δεν πρέπει να γίνονται επεμβάσεις μόνο στο τεχνολογικό μέτωπο (δηλ., διαδικασίες παραγωγής, ηλεκτρικές εξοπλισμός, και συσκευές), αλλά και στο συμπεριφοριστικό μέτωπο (δηλ., συμπεριφορές λειτουργίας εξοπλισμού και απαιτήσεις ποιότητας ζωής).[Koulouga T.C. κ.α. 2008]

Το 1990, ο τομέας κτήριο ήταν αρμόδιος για την κατανάλωση περίπου του ενός τρίτου της παγκόσμιας ενέργειας και για τη σχετική εκπομπή άνθρακα [Watson, Zinyowera, και Moss, 2006]. Μέχρι το 2000, η ενέργεια κατανάλωσης των κτηρίων αυξήθηκε κατά 15%, με βάση τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (οι χώρες κατανάλωναν 1.189 Mtoe (εκατομμύρια τόνοι σε αντίτιμο πετρελαίου)).

Μετά από την αναθεώρηση της ενεργειακής πολιτικής των χωρών της Διεθνούς Υπηρεσίας Ενέργειας [ΔΥΕ, 2002], οι χώρες μέλη επιδίωξαν να δημιουργήσουν όρους, με βάση τους οποίους ο τομέας της ενέργειας των οικονομιών τους, να έχει την πληρέστερη πιθανή συμβολή στη βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη και την ευημερία του πληθυσμού τους και του περιβάλλοντος τους, με βάση τους κοινούς στόχους του ΔΥΕ που υιοθετήθηκαν το 1993. Συνεπώς, η ενεργειακή νομοθεσία οικοδόμησης στην ΕΕ καθορίστηκε στην Οδηγία του Συμβουλίου 93/76/EEC [ΕΟΚ, 1993], στην Οδηγία 2002/91/EC [ΕΕ, 2002] και στην Πράσινη Βίβλο [Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2001]. Αυτή η νομοθεσία δίνει έμφαση στην προτεραιότητα που αναγνωρίζεται από την ΕΕ για να μειώσει την κατανάλωση

ενέργειας στον τομέα των κτηρίων, για την επίτευξη των στόχων των διεθνών συμφωνιών (πρωτόκολλο του Κιότο και προσεχείς υποχρεώσεις) καθώς επίσης και για τη μείωση της ενέργειας εξάρτησης, και ως εκ τούτου για την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης. Έτσι το θέμα της διαχείρισης της ενέργειας στα κτήρια γίνεται σύνθετο και αναπτύχθηκαν πολλές μεθοδολογίες και εργαλεία για την αντιμετώπισή του.[Doukas H. κ.α, 2006]

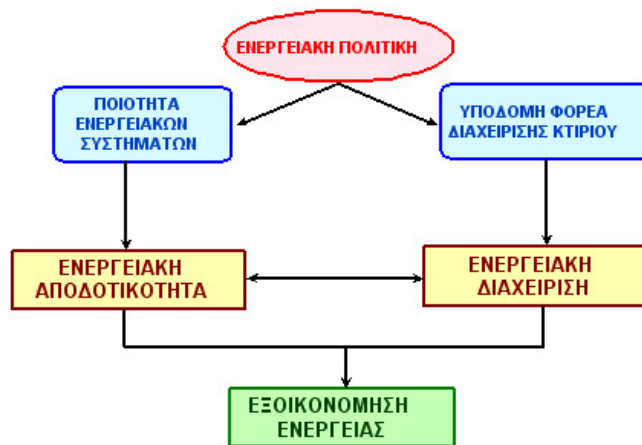
Υπολογίζεται ότι τα κτήρια στην Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) καταναλώνουν το 40-45% της ενέργειας της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας [Eurostat, Energy balance sheets, 2005], τα δύο τρίτα της οποίας χρησιμοποιείται στις κατοικίες. Στην τρέχουσα δεκαετία, η ζήτηση ενέργειας των τριτογενών και κατοικημένων τομέων αυξάνει 1.2% και 1.0% ετησίως, αντίστοιχα [European Commission Directorate General for Energy and Transport, 2003]. Κατά συνέπεια, η ενεργειακή χρήση στους παραπάνω τομείς της ΕΕ είναι αρμόδια για περίπου 50% των εκπομπών αερίου θερμοκηπίων (GHG) [EEA, 2004]. Για το λόγο αυτό, οι προσπάθειες στρέφονται στην ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών για ενεργειακά αποδοτικά κτήρια, με την ικανοποίηση των λειτουργικών αναγκών με το ελάχιστο πιθανό ενεργειακό κόστος και τις ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.[Doukas H. κ.α, 2006]

Επιπλέον, σύμφωνα με τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν από τους Watson, Zinyowera, και Moss [2006], τα κατοικημένα κτήρια αναμένεται να αποτελέσουν ένα ουσιαστικό μέρος της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στα κτήρια (περίπου το 60% της ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε παγκόσμια από τα κτήρια το 2010, που αναμένεται να πέσει στο 55% μέχρι το 2050). Με βάση αυτές τις εκτιμήσεις, συγκεκριμένα τα σενάρια δείχνουν ότι τα κατοικημένα κτήρια θα χρησιμοποιήσουν ενέργεια που παράγει 1.5 Gt εκπομπές άνθρακα μέσα στο 2010, 1.6 Gt το 2020, και 2.1 Gt το 2050. Αποδοτικά μέτρα μέσω των επιστροφών χρημάτων στον καταναλωτή 5 ετών ή λιγότερων έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν μείωση των παγκόσμιων εκπομπών άνθρακα των κατοικημένων και εμπορικών κτηρίων της τάξεως 20% μέχρι το 2010, 25% μέχρι το 2020, και μέχρι 40% μέχρι το 2050. Οι περισσότερες από αυτές τις μειώσεις θα είναι εφικτές μόνο σε νέα εμπορικά κτήρια, καθώς η τοποθέτηση σε υπάρχοντα κτήρια είναι δαπανηρή. Τέλος σύμφωνα με τους Olofsson, Meier, και Lamberts [2004], το Πρότυπο ASHRAE 90.1 [2001] είναι ένα καλά χρησιμοποιημένο πρότυπο για τη μέτρηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτηρίων στο στάδιο σχεδιασμού. Η ενεργειακή εκτίμηση ενός κατοικημένου κτηρίου είναι πιο περίπλοκη, επειδή

η επιρροή τουλάχιστον των κατόχων πρέπει να υπολογιστεί με κάποιο τρόπο. Μόνο οι προσεγγίσεις προσομοίωσης δεν μπορούν να εξετάσουν ακόμη περιφερειακά σημαντικές πτυχές της κατασκευής, της λειτουργίας και της συντήρησης της. Επομένως, για τη διαχείριση εξοικονόμησης ενέργειας στα υπάρχοντα κτήρια πρέπει να υιοθετηθούν κατάλληλες στρατηγικές, ακόμη καλύτερες από αυτές που χρησιμοποιούνται για τα νέα κτήρια.[Kouloura T.C. κ.α. 2008]

Η Ενεργειακή Διαχείριση του κτηρίου, 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 κτήρια ευχάριστη με την ελάχιστη δυνατή ενεργειακή κατανάλωση, και συνετή χρήση του ενεργειακού εξοπλισμού. Οι δράσεις αυτές έχουν ως κριτήρια την οικονομική αποδοτικότητα και αύξηση του κέρδους των διαφόρων φορέων διαχείρισης κτηρίων από την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, την διατήρηση ή βελτίωση της ασφάλειας και ποιότητας ζωής και παροχής υπηρεσιών στα κτήρια, την διατήρηση ή βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος και τον έλεγχο 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. Τα βασικά στάδια της διαχείρισης της ενέργειας είναι: η ενεργειακή επιθεώρηση, η ενεργειακή παρακολούθηση, η σωστή συντήρηση του εξοπλισμού, καθώς και η λήψη μέτρων για εξοικονόμηση της ενέργειας που καταναλώνεται.[13]



Εικόνα 15: Ενεργειακή Πολιτική.[13]

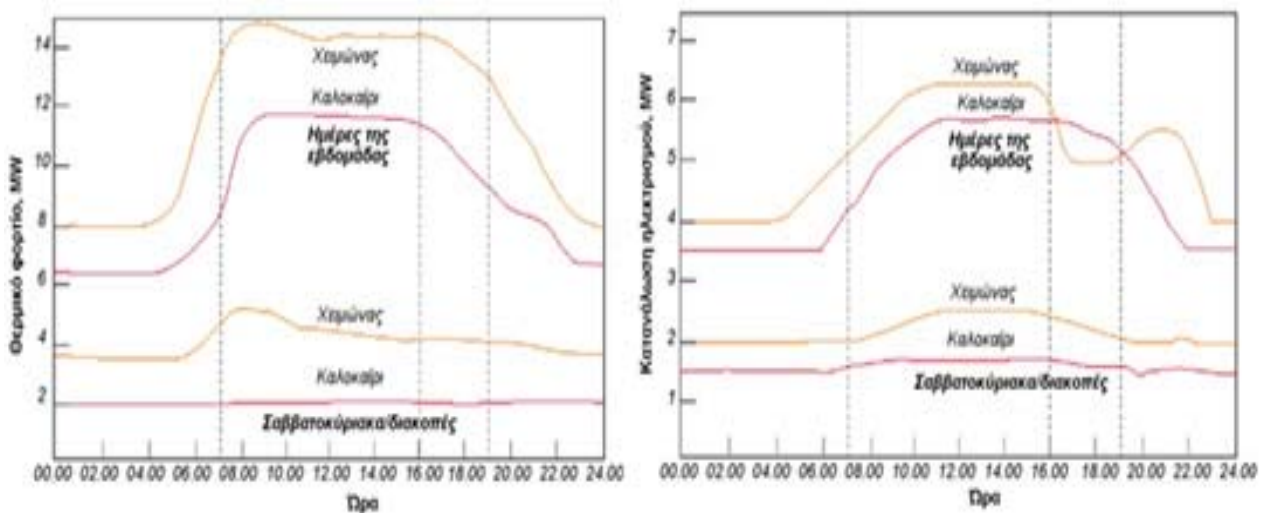
3.1.1 Πρόγραμμα Ενεργειακής Διαχείρισης

Ένα δομημένο πρόγραμμα Ενεργειακής Διαχείρισης (Ε.Δ.) ενός κτηρίου ή συγκροτήματος κτηρίων πρέπει να περιλαμβάνει:

- Εκτεταμένους ελέγχους, καταγραφές και μετρήσεις στο κέλυφος και τις ενεργειακές κτηριακές εγκαταστάσεις, που αποσκοπούν στη γνώση του ποσού, των περιοχών και της διαχρονικής εξέλιξης της ενεργειακής κατανάλωσης και καταλήγουν στον προσδιορισμό δόκιμων δυνατοτήτων εξοικονόμησης ενέργειας.
- Προσδιορισμό κατάλληλων στόχων ενεργειακής κατανάλωσης.
- Μελέτες τεχνοοικονομικής σκοπιμότητας για την εφαρμογή συγκεκριμένων δυνατοτήτων εξοικονόμησης ενέργειας, όπου θα διερευνάται η επιλογή νέων ενεργειακών τεχνολογιών (π.χ. συμπαραγωγή με χρήση φυσικού αερίου, κεντρικά συστήματα αυτομάτου ελέγχου και ενεργειακής διαχείρισης, νέες τεχνολογίες αξιοποίησης δυναμικού Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας κ.α.).
- Δημιουργία αρχείου ενεργειακών καταναλώσεων και συνεχής ενημέρωσή του.
- Σύνταξη ενεργειακών εκθέσεων-αναφορών, σε τακτά χρονικά διαστήματα, προς τον φορέα διοίκησης-διαχείρισης.

- Έλεγχο της εφαρμογής ενός προγράμματος ορθολογικής λειτουργίας και συντήρησης των κτηριακών ενεργειακών εγκαταστάσεων (θέρμανσης, κλιματισμού, φωτισμού, ζεστού νερού χρήση) και συσκευών.
- Ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του χρήστη του κτηρίου σχετικά με τους στόχους του προγράμματος Ε.Δ. και σχετικά με την συμμετοχή του σε αυτό.
- Εκπαίδευση του τεχνικού προσωπικού και συνεργατών που εμπλέκονται στη λειτουργία και τη συντήρηση του κτηρίου και των εγκαταστάσεών του.
- Διαδικασίες εξεύρεσης τρόπων χρηματοδότησης ενεργειακών έργων.
- Επίβλεψη κατασκευής ενεργειακών εφαρμογών και συνεχής παρακολούθηση της απόδοσής τους μετά την κατασκευή με σκοπό την αξιολόγηση της ωφελιμότητάς τους.

Η αντικατάσταση ολόκληρων συστημάτων είναι η πιο δαπανηρή δράση και θα πρέπει να αποφεύγεται (εκτός εάν είναι απολύτως απαραίτητη), καθώς πέρα από το κόστος που συνεπάγεται, μπορούν να ανακύψουν και άλλα προβλήματα.[13]



Εικόνα 16: Διάγραμμα κατανάλωσης Θερμικού Φορτίου και Ηλεκτρισμού.[13]

3.2 Συστήματα Προσέγγισης

Η προσέγγιση συστημάτων χρησιμοποιείται για να ενισχύσει την ολική ενεργειακή απόδοση ενός υπάρχοντος κτηρίου εξετάζοντας το ως «κοινωνικοτεχνικό» σύστημα, σύμφωνα με τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης. Μέσα σε αυτά τα πλαίσια, ένα πλαίσιο αναπτύσσεται που θα μπορούσε να είναι εκτενώς χρησιμοποιημένο για τη διαχείριση της ενέργειας των υπαρχόντων κτηρίων καθώς επίσης και νέων οικοδομημάτων. Η «μεθοδολογία συστημάτων» αυτού του πλαισίου σπάζει μέσω του περιορισμένου πεδίου της εφαρμοσμένης μηχανικής ανάλυσης και προκύπτει ως το μόνο διαθέσιμο εργαλείο για να εφαρμόσει τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης.

Τα υπάρχοντα προβλήματα που προκαλεί η ύπαρξη λιγοστών πόρων ενέργειας και η διαχείριση της βιώσιμης ενέργειας, τα οποία συνδέονται με άλλα προβλήματα όπως η ρύπανση και οι επιδεινούμενες συνθήκες διαβίωσης στις οικίες, μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά με τις λύσεις που προκύπτουν από την εφαρμογή των συστημάτων σκέψης.[Kouloura T.C. κ.α. 2008]

Ερευνητές εστίασαν την προσοχή τους στον τομέα αυτό και πολλοί πρότειναν διάφορες λύσεις. Ο Chow[2006] είπε ότι η προσοχή πρέπει να στραφεί στις πρόσθετες ενέργειες που πρέπει να γίνουν κατά την οικοδόμηση των κτηρίων. Τέτοιες είναι τα συγκεντρωμένα ηλιακά water-heating συστήματα και ανέπτυξε ένα αξιολογικό πρότυπο που θα μπορούσε χρησιμοποιείται στις πολιτικές αναλύσεις, αλλά η ιδιαίτερη τεχνική του φύση μπορεί να αποθαρρύνει τους τελικούς χρήστες από τη χρησιμοποίησή του. Ο Vicente [1998], αναφερόμενος στην άυλη σύνδεση μεταξύ των ενεργειών των ανθρώπων και των προκυπτουσών συνεπειών στην κατανάλωση ενέργειας στον τομέα των κτηρίων, τόνισε την ανάγκη να μετρηθεί πώς οι κάτοχοι επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας.[Kouloura T.C. κ.α. 2008]

Υποστηρίζεται ότι η προσέγγιση συστημάτων είναι μια ισχυρή «στρατηγική» για τη διαχείριση της ενέργειας στα υπάρχοντα κτήρια επειδή έχει εφαρμοστεί επιτυχώς σε ποικίλα

σοβαρά προβλήματα. Το κύριο πλεονέκτημά της είναι ότι εξετάζει ολοκληρωτικά το κτήριο και το περιβάλλον στο οποίο λειτουργεί, εξετάζοντας όλους τους παράγοντες που μπορούν να έχουν επιπτώσεις στη ενεργειακή αποδοτικότητα του και αξιολογούν τις πιθανές επεμβάσεις και τα αποτελέσματά τους όχι μόνο από οικονομικής, τεχνικής και ενεργειακής άποψης, αλλά και από μια περιβαλλοντική, κοινωνική, και οικονομική προοπτική. Αυτή η προσέγγιση εναρμονίζεται με τον καθορισμό της αρχής της βιωσιμότητας που προτάθηκε από τους Pearce, Barbier, και Markyanda [1990], σύμφωνα με την οποία η βιώσιμη ανάπτυξη αντιμετωπίζεται ως διάλυση διάφορων επιθυμητών κοινωνικών στόχων.[Kouloura T.C. κ.α. 2008]

3.2.1 Βιώσιμη Ανάπτυξη μέσω Συστημάτων Προσέγγισης

Όλο και περισσότερο γίνεται αποδεκτό ότι το χάσμα, μεταξύ της τεχνικής προόδου και της κατανόησης των κοινωνικοοικονομικών πτυχών και της συμπεριφοράς αγοράς, είναι ένας από τους λόγους για την ανεπαρκή εφαρμογή των καλύτερων διαθέσιμων λύσεων για την επίτευξη της βιωσιμότητας της ικανότητας υποστήριξης σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένου και του τομέα της ενέργειας [2ο Ευρωπαϊκό Συμπόσιο, 2004]. Για να καλυφτεί αυτό το κενό, τα συστήματα σκέψεων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να συνδέσουν πτυχές όπως ενέργεια-αποδοτικότητα, προστασία του περιβάλλοντος, μείωση δαπανών και κοινωνική αποδοχή. Σύμφωνα με την Daly [1993] τη δεύτερη αρχή βιώσιμης ανάπτυξης, η τεχνολογική καινοτομία είναι ένας σοβαρός παράγοντας στη μείωση του οικολογικού αντίκτυπου της ανθρωπότητας, αλλά οι κοινωνικές, οι θεσμικές και οι οργανωτικές καινοτομίες είναι εξίσου σημαντικός παράγοντας. Πράγματι, πιο ισορροπημένα συστήματα προσέγγισης, τα οποία ενσωματώνουν την καινοτομία σε όλα τα μέτωπα, είναι πιθανό να είναι αποτελεσματικότερα για την ικανοποίηση των βασικών αναγκών, καθώς θα αυξάνονται και οι πόροι.[Kouloura T.C. κ.α. 2008]

«Ένα ‘σύστημα’ ορίζεται ως ένα σύνολο αλληλεπιδρώντων στοιχείων εκθέτοντας μια γενική συμπεριφορά πέρα από τις συμπεριφορές των μεμονωμένων μέρων του»[Calvano και John, 2004]. «Ένα ‘σύστημα εφαρμοσμένης μηχανικής’ ορίζεται ως ένα σύστημα που σχεδιάστηκε από ανθρώπους για κάποιο σκοπό»[Magee και de Weck, 2002]. «Το σημείο της θεωρίας συστημάτων είναι να περιγραφούν οι οντότητες ως συστήματα, ειδικά σε ένα

διεπιστημονικό επίπεδο»[Mulej, 2004]. Σύμφωνα με τους Sage και Lynch [1998], η εφαρμοσμένη μηχανική συστημάτων μπορεί να θεωρηθεί ως μια διαδικασία με βάση την προσπάθεια που περιλαμβάνει μια σειρά από δραστηριότητες που:

- θα βοηθήσουν στον καθορισμό ενός συστήματος που θα είναι αξιόπιστο, υψηλής ποιότητας, και οικονομικώς αποδοτικότερο μέσα στις ανάγκες των χρηστών
- θα μετατρέψει το προκύπτον σύνολο απαιτήσεων και προδιαγραφών σε ένα σύστημα μέσα από διάφορες προσπάθειες ανάπτυξης και
- θα προβλέπει την επέκταση του συστήματος σε ένα λειτουργικό περιβάλλον.

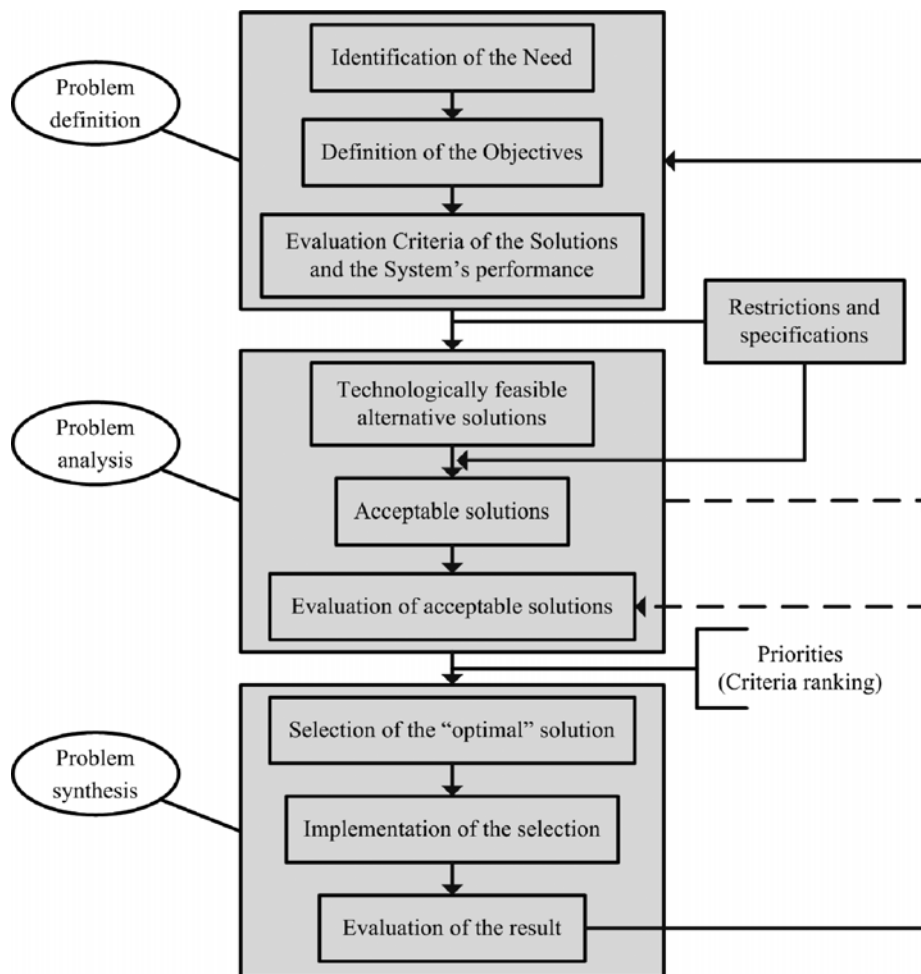
Η ενεργειακή απόδοση ενός κτηρίου, που αντιμετωπίζεται ως ένα το πλήρες σύστημα, καθορίζεται από την ανταπόκριση του κτηρίου στο εξωτερικό περιβάλλον και τις εσωτερικές συνθήκες. Η απόδοση εξαρτάται από πολλές εξωγενείς μεταβλητές και μπορούν να βελτιωθούν με την εφαρμογή των μέτρων (επεμβάσεις). Ο καθορισμός ενός αποδοτικότερου σχεδίου επεμβάσεων, γίνεται ένα σύνθετο πρόβλημα, αν λάβουμε υπόψη τον πολύ μεγάλο αριθμό των πιθανών επεμβάσεων που μπορούν να συνδυαστούν για να επιτύχουν το στόχο της βιώσιμης διαχείρισης της ενέργειας σε ένα κτήριο.[Kouloura T.C. κ.α. 2008]

3.3 Συστήματα BEMS

Υπάρχουν τρεις βασικοί παράγοντες που καθορίζουν τις συνθήκες άνεσης στα κτήρια: η θερμική άνεση, η οπτική άνεση και η εσωτερική ατμοσφαιρική ποιότητα. Συνήθως η θερμική άνεση καθορίζεται από το δείκτη PMV (Predictive Mean Vote), ο οποίος εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την υγρασία, την μέση ακτινοβολία θερμοκρασία και την ταχύτητα αέρα. Ο δείκτης PMV ποικίλλει στην κλίμακα από -3 έως +3, ενώ το PMV κυμαίνεται μεταξύ -0.5 και +0.5, και μέχρι και το 90% των κατοίκων είναι ικανοποιημένοι. Η οπτική άνεση, που καθορίζεται συνήθως από το επίπεδο φωτισμού, μετριέται σε lux, ενώ άλλες παράμετροι όπως το έντονο φως είναι υποκειμενικές και είναι δύσκολο να μετρηθούν. Η ποιότητα του εσωτερικού αέρα επηρεάζεται κυρίως από τη συγκέντρωση των ρύπων στο χώρο ελέγχου. Μπορεί να υποδειχθεί από τη συγκέντρωση του CO₂ στο κτήριο η παρουσία των κατοίκων και των διάφορων πηγών ρύπανσης στο κτήριο, ως η συγκέντρωση CO₂ που την αντιπροσωπεύει.

Από την άλλη πλευρά, η κατανάλωση ενέργειας συνδέεται άμεσα με το λειτουργικό κόστος. Κατά συνέπεια,, ένας σημαντικός στόχος για το σχεδιασμό ενός ευφυούς συστήματος ελέγχου για το περιβάλλον ενός κτηρίου είναι να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση της συνολικής ενέργειας[Wang Z. κ.α., 2010]. Η έρευνα σχετικά με τα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας στα Κτήρια (BEMS) έχει ως στόχο τη βελτίωση των συνθηκών άνεσης περιβάλλοντος στα κτήρια, ελαχιστοποιώντας παράλληλα την κατανάλωση ενέργειας. Δεδομένου ότι οι χρήστες είναι αναπόσπαστο και δυναμικό τμήμα του κτηρίου, οι προτιμήσεις τους, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό του συστήματος ελέγχου. Η στρατηγική ελέγχου ενός BEMS έχει τους ακόλουθους στόχους ελέγχου:

- Υψηλό επίπεδο άνεσης - μαθαίνει τις προτιμήσεις από τους χρήστες, και παρέχει ένα υψηλό επίπεδο άνεσης (θερμικός, οπτικός και ατμοσφαιρική ποιότητα)
- Η εξοικονόμηση ενέργειας - ελαχιστοποιεί την κατανάλωση ενέργειας για τις λειτουργίες του κτηρίου.
- Ελέγχει τους ακόλουθους ενεργοποιητές που θα συμβάλουν στη συντήρηση των συνθηκών άνεσης:
 - Βοηθητική θέρμανση/σύστημα ψύξης που βελτιώνει τη θερμική άνεση
 - Σύστημα εξαερισμού που βοηθά στο να διατηρείται το υψηλό επίπεδο ατμοσφαιρικής ποιότητας και
 - Ηλεκτρικά συστήματα φωτισμού.[Caudana B. κ.α., 1994]



Εικόνα 17: Συστημάτων Προσέγγιση σε τεχνικές λύσεις [Panayiotakopoulos, 2004].

3.4 Συστήματα BEAMES

Η οικοδομική βιομηχανία είναι ιδιαίτερα συντηρητική στην εισαγωγή εργαλείων πληροφορικής, κατά το σχεδιασμό, τη συντήρηση και το λειτουργικό επίπεδο, τα οποία μπορούν να γίνουν μια ευκαιρία για τον εκσυγχρονισμό της.

Πολλές επιστημονικές οργανώσεις, και βιομηχανικές ενώσεις υποστηρίζουν ότι για τα μελλοντικά κτήρια, οι πλέον πιθανές τάσεις της τεχνολογικής ανάπτυξης στον τομέα των κτηρίων είναι οι εφαρμογές πληροφορικής, για βελτίωση σπιτιών και γραφείων. Η μελλοντική δραστηριότητα οικοδόμησης, που πραγματοποιείται στα πλαίσια της Διεθνούς

Υπηρεσίας Ενέργειας (για την εφαρμογή της συμφωνίας στη διαχείριση της ενέργειας στα κτήρια) εξετάζει ερευνητικούς στόχους σε πολλούς νέους επιστημονικούς τομείς, όπου η χρήση προηγμένων, «έξυπνων» πληροφοριακών εργαλείων είναι ουσιαστική. Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει έναν κατάλογο αυτών των προηγμένων θεμάτων που εφαρμόζονται στα κτήρια.

Η εφαρμογή των αυτοματοποιημένων υπολογιστικών τεχνικών διαδίδεται παγκόσμιος, γύρω από σχεδόν όλες τις πτυχές της ανθρώπινης δραστηριότητας, συμπεριλαμβανόμενης και της χρήσης της ενέργειας στα κτήρια. Το μεγαλύτερο μέρος των επιστημονικών και τεχνικών βελτιώσεων εμφανίζονται στους τομείς των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού, στον έλεγχο και τον κανονισμό των συσκευών σπιτιών και γραφείων.

Σήμερα, τα περισσότερα ενημερωμένα κτήρια, ελέγχονται από κτηριακά συστήματα διαχείρισης ενέργειας (BEMS) που έχουν αρκετές λειτουργικές παραμέτρους, οι οποίες αφορούν όχι μόνο τη διαχείριση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, αλλά επίσης παρέχουν βέλτιστο έλεγχο των συσκευών και των αυτοματοποιημένων κτηρίων και, γενικότερα, για τον προγραμματισμό περισσότερο σημαντικών δραστηριοτήτων όπως η συντήρηση και η ασφάλεια.

Επιπλέον, αυτά τα BEMS γίνονται όλο και περισσότερο σημαντικά συστατικά των νέων σχεδίων των τεχνικών οικοδόμησης, βασισμένα στις βιοκλιματικές ή ηλιακές παθητικές έννοιες. Ο βαθμός πολυπλοκότητας των συστημάτων οικοδόμησης, τα οποία προβλέπουν τις διαφορές πορείας ροής του αέρα, σύμφωνα με τους εξωτερικούς κλιματολογικούς όρους, καθιστά απαραίτητη την εγκατάσταση ευφυών συσκευών, που να μπορούν να εξασφαλίσουν τη λειτουργία συστημάτων οικοδόμησης με έναν αυτοματοποιημένο τρόπο.[Caudana B. κ.α., 1994]

Πίνακας 3: Προηγμένες τεχνικές για συστήματα και τεχνολογίες για τα μελλοντικά κτήρια.

Εφαρμοσμένη μηχανική συστημάτων:

- χτίζοντας βάση δεδομένων προϊόντων
- ενεργειακής αυτοματοποίησης συστημάτων οικοδόμησης και μοντέλα
- πολλών λειτουργιών στοιχεία
- προδιαγραφές διεπαφών
- τεχνολογίες αισθητήρων και ανιχνευτών
- προηγμένα ηλεκτρικά συστήματα εγκαταστάσεων.

Λειτουργικές τεχνολογίες:

- προηγμένες έννοιες ελέγχου (συγκεχυμένη λογική, νευρικά δίκτυα, βέλτιστος προφητικός έλεγχος, τεχνικές προσδιορισμού, κ.λπ.)
- λειτουργικές απαιτήσεις μεταξύ ανθρώπου-μηχανής
- ανίχνευση ελαττωμάτων μέσω αυτόματης αποκατάστασης
- πολλαπλών χρήσεων ενεργειακά συστήματα διαχείρισης οικοδόμησης
- τεχνολογίες τηλεχειρισμού και παρακολούθησης.

Προηγμένες έννοιες:

- νέες ενεργειακές μετατροπές και έννοιες, όπως το κύτταρο καυσίμου, το PV, η βιοενέργεια, κ.λπ.
 - "έξυπνα" συστατικά οικοδόμησης και
 - νέα διαστημικά συστήματα και στρατηγικές ρύθμιση
 - συνδυασμός των νέων εξαρτημάτων εξοικονόμησης ενέργειας με τις νέες έννοιες της μετατροπής ενέργειας
 - ανάγκες, προσδοκίες και αποδοχή των νέων τεχνολογιών από τους χρήστες.
-

Πηγή: Caudana B. κ.α., 1994

Από πλευράς ζήτησης ενέργειας, η εκτενής εφαρμογή των νέων μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας μπορεί να παρέχει τις γρήγορες και οικονομικώς αποδοτικές βελτιώσεις σε επείγοντα περιβαλλοντικά προβλήματα. Στην πραγματικότητα, η μεγαλύτερη ανησυχία για τους περιβαλλοντικούς κινδύνους ασφάλειας παράγει όλο και περισσότερο αυστηρούς κανόνες. Αυτό το γεγονός, μαζί με την ανάγκη να ληφθεί υπόψη ένας μεγάλος αριθμός τεχνικών αποτελεσμάτων, θα κάνει την εκτενή χρήση των ευφυών μέσων (ECOs) για κάθε

δραστηριότητα, από το στάδιο σχεδίου μέχρι τη λειτουργία και τη διάθεση ή στάδιο ανακύκλωσης, όλο και περισσότερο απαραίτητη. Η χρήση των προσαρμοστικών ευφυών συσκευών θα στοχεύσει, όχι μόνο στη βελτίωση της μεμονωμένης ευημερίας, από πλευράς των αυξανόμενων επιπέδων άνεσης και ασφάλειας, της καλύτερης εσωτερικής ατμοσφαιρικής ποιότητας, των μειωμένων δαπανών για τους ενεργειακούς λογαριασμούς, κ.λπ., αλλά και στην αντιμετώπιση των κοινωνικών στόχων ή των περιορισμών, όπως η μείωση των εκπομπών κατανάλωσης ενέργειας και καυσίμων προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, τη ρύπανση, τη βέλτιστη διαχείριση της διάθεσης απορριμμάτων και νερού, κ.λπ.[Caudana B. κ.α., 1994]

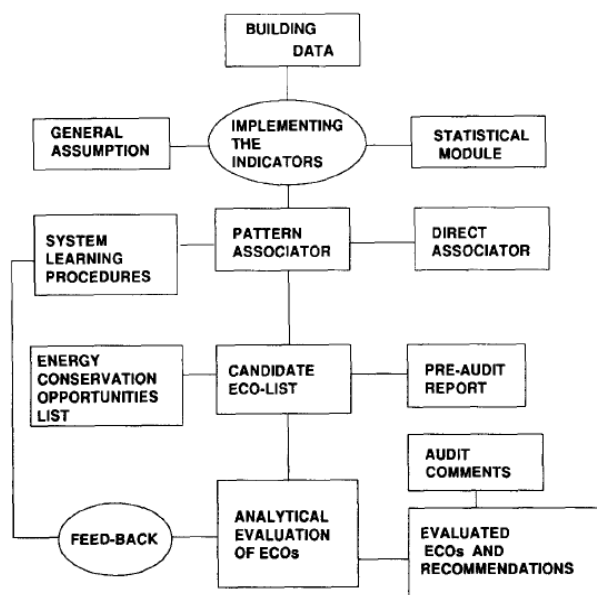
3.4.1 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα των συστημάτων BEAMES

Τα συστήματα BEAMES είναι ένα πρόγραμμα επίδειξης, που εστιάζει στην ανάπτυξη ενός λογισμικού, το οποίο να γνωρίζει τον ενεργειακό - λογιστικό έλεγχο στα κτήρια. Η λέξη «λογιστικός» χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί ο έλεγχος της ενέργειας ως έννοια, δηλαδή όχι μόνο της κατανάλωσης ενέργειας ενός κτηρίου, αλλά και του τρόπου διατήρησης της, συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας που απαιτείται για συντήρηση. Το πρόγραμμα αντιπροσωπεύει μια ουσιαστική βελτίωση όσον αφορά τις υπάρχουσες μεθόδους έλεγχου, δεδομένου ότι το καθιστά πιθανό να προσδιοριστούν τα πιθανά ECOs που θα τοποθετηθούν στην προκαταρκτική φάση.

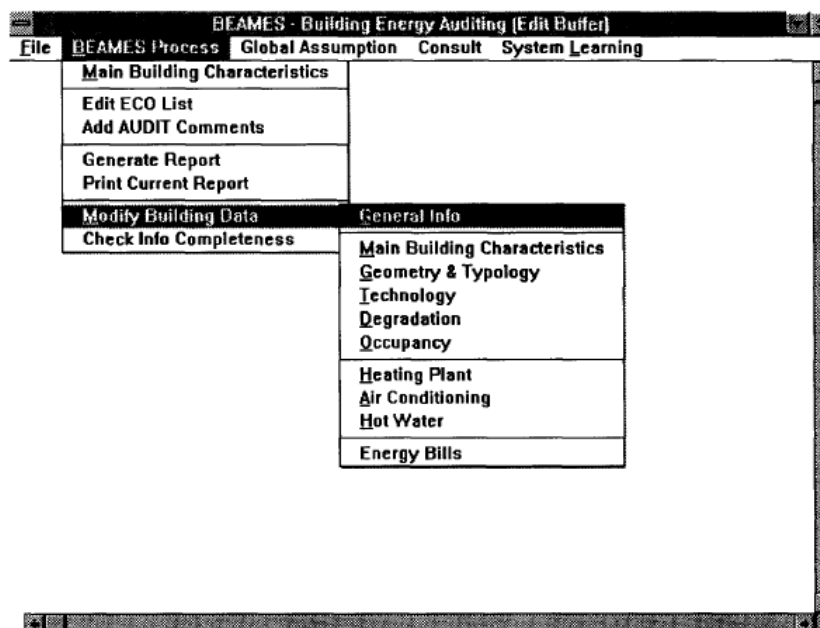
Τα συμβατικά σχέδια ενεργειακού ελέγχου στα κτήρια, συνήθως χρησιμοποιούν ένα μεγάλο θερμικό ποσό και φυσικά και γεωμετρικά στοιχεία προκειμένου να είναι σε θέση να προσδιορίσουν, μέσω μαθηματικής προσομοίωσης, την ενέργεια που ρέει στο κτήριο, τα επίπεδα κατανάλωσης και τη δυνατότητα εξοικονόμησης. Όμως επειδή αυτή η προσέγγιση δεν παρέχει οποιαδήποτε ένδειξη του πιθανού ECO που τέθηκε, ούτε του τύπου των μετρήσεων του λογιστικού ελέγχου που απαιτήθηκαν κατά τη διάρκεια της επίσκεψης στο εργοτάξιο, ο ελεγκτής δεν μπορεί να προγραμματίσει κατάλληλα την επίσκεψη εκ των προτέρων ή να αξιολογήσει το κόστος του και να είναι σίγουρος για την πληρότητα του λογιστικού ελέγχου.

Το πρόγραμμα BEAMES χρησιμοποιεί την «προηγμένη διαχείριση συστήματος», η οποία συμπεριφέρεται και λειτουργεί όπως ένας ειδικευμένος άνθρωπος. Διαμορφώνεται από διαφορετικές λειτουργικές ενότητες ή «αντικείμενα» συνδεδεμένα με ένα μοντέλο λογικής δομής(Εικόνα 18). Στον αρχικό λογιστικό έλεγχο, έρχεται αντιμέτωπο μόνο με μικρής ποσότητας πληροφορίες, οι οποίες μπορούν να παρασχεθούν επίσης από κάποιο μη τεχνικό προσωπικό (όπως ο ιδιοκτήτης του κτηρίου) και συλλέγονται (Εικόνα 19). Έπειτα το σύστημα BEAMES αναπτύσσει ένα προκαταρκτικό συμπεράσματα και ενδείξεις για τις επόμενες φάσεις του λογιστικού έλεγχου. Η φάση προ-λογιστικού ελέγχου επιτρέπει στον ελεγκτή να γνωρίζει το απαραίτητο επίπεδο πολυπλοκότητας (και κόστους) από το λογιστικό έλεγχο και παρέχει και ένα κατάλογο για υποψήφια ECOs, στον οποίο ο ελεγκτής μπορεί να στρέψει την προσοχή του και να σχεδιάσει με βάση αυτές τις κατάλληλες μετρήσεις (Εικόνα 20).

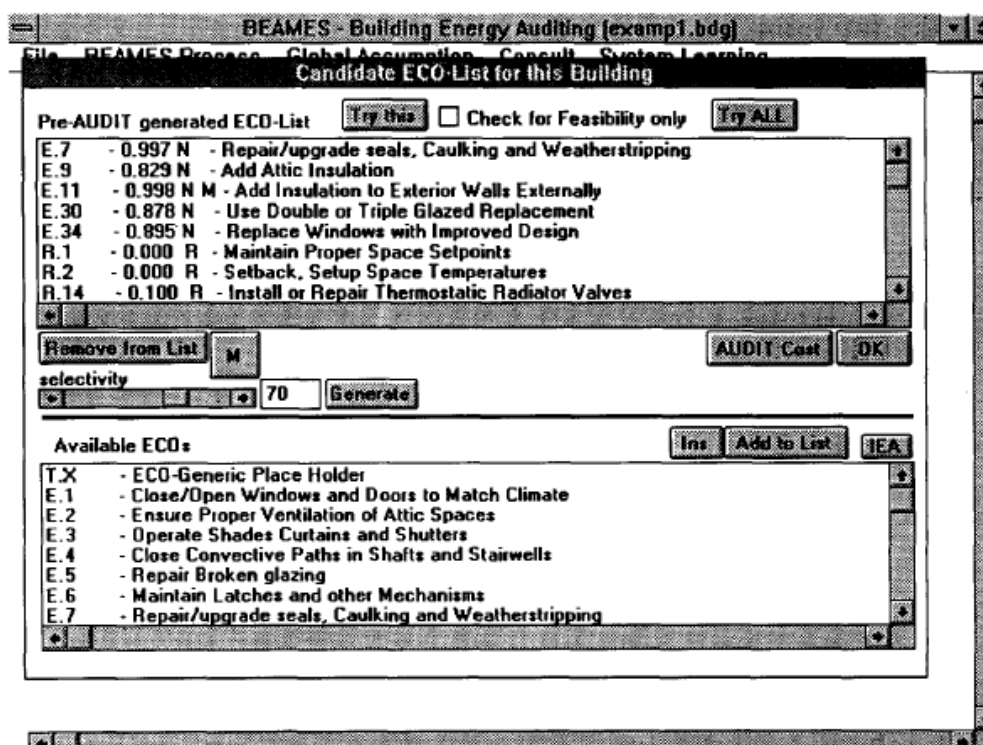
Για να το επιτύχει αυτό χρειάζεται τη βοήθεια ενός νευρικού δικτύου που θα εξετάζει τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου κτηρίου και θα συγκρίνει αυτές τις πληροφορίες με αυτές που ενσωματώνονται σε μια στατιστική ενότητα. Αυτή η ενότητα περιέχει τα τεχνικά στοιχεία και τις παραμέτρους ενός αποθέματος δειγμάτων κτηρίων και αυτά τα στοιχεία παρέχουν τη βασική γνώση για το σχεδιασμό του νευρικού δικτύου.[Caudana B. κ.α., 1994]



Εικόνα 18: Μοντέλο Λογικής Δομής συστήματος BEAMES[Caudana B. κ.α., 1994]



Εικόνα 19: Μενού για την εισαγωγή δεδομένων.[Caudana B. κ.α., 1994]



Εικόνα 20: Παράδειγμα εξόδου στη φάση του αρχικού έλεγχου με τον κατάλογο των πιθανών ευκαιριών για διατήρησης της ενέργειας του κτηρίου μετά από έρευνα στο πάνω μέρος της οθόνης ενός συστήματος BEAMES.[Caudana B. κ.α., 1994]

Μόλις τα πιθανά ECOs για το συγκεκριμένο κτήριο προσδιοριστούν στη φάση του προ-λογιστικού ελέγχου, το σύστημα BEAMES παρέχει καθοδηγημένη βοήθεια για:

(α) τεχνικές μέτρησης

(β) διαδικασίες λογιστικού ελέγχου και

(γ) τεχνικές αξιολόγησης ή ανάλυσης λαμβάνοντας υπόψη στρατηγικές επιλογές της εφαρμογής. [Caudana B. κ.α., 1994]

3.4.2 Η Νευρική έννοια δικτύωσης και η εφαρμογή τους σε BEAMES

Τα νευρικά δίκτυα (NN), είναι τεχνητά συστήματα τα οποία βασίζονται σε λειτουργικές αρχές παρόμοιες με εκείνες του ανθρώπινου εγκέφαλου. Αυτά τα μοντέλα αποτελούνται από πολλά απλά νεύρα, όπως στοιχεία επεξεργασίας, αποκαλούμενα «units»(μονάδες), τα οποία αλληλεπιδρούν το ένα με το άλλο με τη βοήθεια σταθμισμένων συνδέσεων. Κάθε μονάδα έχει ένα «state»(κατάσταση) ή ένα «επίπεδο δραστηριότητας» καθορισμένο από την εισαγωγή που παραλαμβάνεται από άλλες μονάδες του δικτύου. Τα βάρη διαμορφώνουν την ανάλογη σημασία από το εισερχόμενο σήμα σε κάθε μονάδα, κωδικοποιώντας κατά συνέπεια τις σχέσεις του επιπέδου state ορισμένων μονάδων.

Ένα νευρικό δίκτυο μπορεί να εξεταστεί, γενικά, όπως ένα σύνολο συνδεδεμένων μονάδων ικανών να συνδέσουν ένα φαινόμενο εισαγωγής σε ένα αποτέλεσμα παραγωγής. Οι σχέσεις εισαγωγής / παραγωγής μπορούν να είναι όχι μόνο γραμμικές σχέσεις αλλά οποιοδήποτε είδους.

Το δίκτυο έχει ένα αρχικό τρόπο εκμάθησης, κατά τον οποίο μια εισαγωγή δίνεται στο δίκτυο μαζί με την αντίστοιχη παραγωγή, και τα βάρη καθορίζονται έτσι ώστε το δίκτυο να είναι «εκπαιδευμένο» για να παραγάγει την επιθυμητή παραγωγή όταν βλέπει κάτι παρόμοιο με την εισαγωγή κατάρτισης.

Ένας γενικός αλγόριθμος, αποκαλούμενος «back-propagation», έχει γραφτεί για να «εκπαιδεύσει» το δίκτυο με τη βοήθεια του ενός αρκετά μεγάλου συνόλου «περιπτώσεων κατάρτισης». Αυτός ο αλγόριθμος εκτελεί μια βαθμιαία διόρθωση των βαρών, χρησιμοποιώντας ανατροφοδότηση των πληροφοριών του λάθους μεταξύ του αναδημιουργημένου state και της δεδομένης κατάστασης της κατάρτισης του συνόλου. Αυτή η τοπολογία δικτύων έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στην αντιπροσώπευση πολλών κατηγοριών διαφορετικών προβλημάτων.

Ανάλογα με την αρχιτεκτονική του δικτύου και τις υποθέσεις σχετικά με τη λειτουργία του, συγκλίνοντες αλγόριθμοι μπορούν να υπάρξουν. Βάσει της γνώση του state ενός μειωμένου αριθμού (υποσύνολο) των μονάδων, αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν να υπολογίσουν μια σταθερή διαμόρφωση από τα βάρη με τη βοήθεια των οποίων το διαθέσιμο σύνολο των state και το πλήρες δίκτυο μπορούν να αναδημιουργηθούν με την καλύτερη δυνατή προσέγγιση. Αυτοί οι αλγόριθμοι «εκμάθησης» μπορούν να προσδιορίσουν το νευρικό δίκτυο με έναν προσεγγιστικό τρόπο. Η ακρίβεια βελτιώνεται καθώς ο αριθμός εκπαίδευσης περιπτώσεων αυξάνεται και, με αυτόν και η γνώση του δικτύου.

Ένα νευρικό δίκτυο, του οποίου τα βάρη έχουν ρυθμιστεί στο πώς να «μαθαίνει» να αντιπροσωπεύει τις υπόλοιπες πληροφορίες μιας πεπερασμένης συλλογής αντικειμένων είναι σε θέση, δίνοντας του ένα κομμάτι τους, να παρεμβάλει ομαλά το ελλείπον μέρος από τη μερική διαθέσιμη πληροφορία στα αντικείμενα που δεν ανήκουν στο σύνολο εκπαίδευσης, αλλά υποθέτοντας ότι έχει κάποια σχέση με αυτό. Από αυτή την άποψη, τα νευρικά συστήματα μπορούν να θεωρηθούν ως γενικευμένα μοντέλα που προσαρμόζονται σε έναν συγκεκριμένο πρόβλημα με τη βοήθεια τεχνικών «καλής εφαρμογής», και είναι ικανά να «ανακαλύψουν» δομές πληροφοριών που κρύβονται στα διαθέσιμα σύνολα στοιχείων.

Το νευρικό σύστημα έχει χρησιμοποιηθεί μέσα σε συστήματα BEAMES, για την επίλυση προβλημάτων που απορρέουν από ένα λεπτομερές σύνολο στοιχείων, από τα μάλλον ελλιπή διαθέσιμα δεδομένα εισαγωγής, στο στάδιο του προ-λογιστικού ελέγχου, ως συμβολή του δικτύου (π.χ. θερμαινόμενος όγκος, έτος κατασκευής, τον τύπο του λέβητα και την ηλικία, τον αριθμό των οικιστικών μονάδων, κ.λπ.). Αυτά τα επιμέρους χαρακτηριστικά του κτηρίου

τροφοδοτούν το νευρικό δίκτυο για να επιτύχει ως παραγωγή, όχι μόνο ως πιθανό ECO(π.χ. μόνωση των εξωτερικών τοίχων, ρύθμιση του ποσοστού καύσης των λεβήτων, κ.λπ.), αλλά και τη διάσπαση της ενεργειακής κατανάλωσης σε διάφορες τελικές χρήσεις, διαστάσεις τμημάτων του κτηρίου, κ.λπ. Αυτό το πρόβλημα κωδικοποιείται ως ένα τυπικό νευρικό δίκτυο τριών στρωμάτων που τροφοδοτείται προς τα εμπρός (στρώμα εισαγωγής, κρυφό στρώμα, στρώμα παραγωγής), που εκπαιδεύονται με τον αλγόριθμο «back-propagation». Στην πραγματικότητα, το νευρικό σχέδιο δικτύων συνεργασίας (NNPA) που χρησιμοποιείται σε συστήματα BEAMES, επεξεργάζεται τα αποτελέσματα της παραγωγής βάσει μιας στατιστικής γνώσης των προηγούμενων λεπτομερών λογιστικών ελέγχων σε κτήρια, που πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν σε πραγματικά κτήρια.

Ένας πεπειραμένος ελεγκτής πρέπει, κάθε φορά μετά από εξέταση, να επιβεβαιώνει ότι οι πληροφορίες που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της λειτουργίας του NNPA είναι λογικές και σημαντικές για το κτήριο. Όσο περισσότερο προχωρά η δραστηριότητα του λογιστικού ελέγχου, είναι δυνατό να ενημερωθεί η στατιστική βάση που χρησιμοποιείται από το νευρικό σύστημα με την προσθήκη όλων των λογιστικών ελέγχων που έχουν διενεργηθεί και κρίθηκαν αξιόπιστοι. Κατά συνέπεια, τα συστήματα BEAMES δεν λειτουργούν μόνο ως εργαλείο κατάρτισης για ελεγκτές, αλλά και ως διαδικασία αυτοδιδασκαλίας που του επιτρέπει να συμπεριλάβει στη γνώση του όλες τις τεχνικές βελτιώσεις που έχουν εμφανιστεί μέχρι τώρα.[Caudana B. κ.α., 1994]

3.5 Σχεδιασμός έξυπνων συστημάτων ελέγχου multi-agent για έξυπνα και βιώσιμα κτήρια

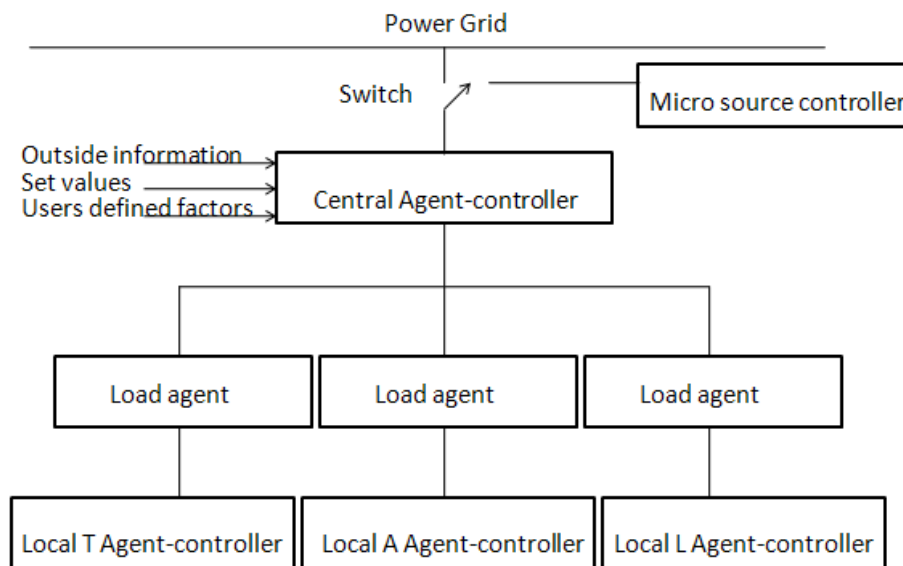
Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι το επίπεδο άνεσης περιβάλλοντος του κτηρίου και η κατανάλωση ενέργειας σε ένα κτήριο έρχονται πάντα σε σύγκρουση η μια με την άλλη, έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια έτσι ώστε αυτό το πρόβλημα να εξαλειφθεί. Εντούτοις εξακολουθεί να είναι ακόμα πολύπλοκο πρόβλημα, το οποίο πρέπει να λυθεί. Οι σχεδιαστές χρησιμοποίησαν τους ελεγκτές PID (Proportional-Integral-Derivative Controllers) προκειμένου να ξεπεραστεί το πρόβλημα της υπερύψωσης της θερμοκρασίας. Παρόλα αυτά υπάρχουν μερικά μειονεκτήματα μέσα στις προσεγγίσεις: (α) χρειάζονται ένα πρότυπο του

κτηρίου, (β) δεν είναι φιλικό προς το χρήστη και (γ) υπάρχουν δυσκολίες στην παρακολούθηση και τον έλεγχο των παραμέτρων, οι οποίες προκαλούνται από τα μη γραμμικά χαρακτηριστικά. Οι ευφυείς μέθοδοι εφαρμόστηκαν στα συστήματα ελέγχου των κτηρίων έτσι ώστε να ξεπεραστούν οι δυσκολίες αυτές. Για παράδειγμα, οι συγκεχυμένοι ελεγκτές έχουν χρησιμοποιηθεί στα ευφυή συστήματα κτηρίων και ξεπεράστηκαν τα προβλήματα που προέρχονταν από τα μη γραμμικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των παραμέτρων όπως το PMV. Οι γενετικοί αλγόριθμοι έχουν χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση των συγκεχυμένων ελεγκτών. Άλλες μέθοδοι όπως τα νευρικά δίκτυα και τα υβριδικά συστήματα εφαρμόστηκαν επίσης σε αυτόν τον τομέα. Ένα multi-agent σύστημα ελέγχου έχει σχεδιαστεί για να διαχειριστεί τις προτιμήσεις των χρηστών και την κατανάλωση ενέργειας, όπου η νοημοσύνη είναι ενσωματωμένη στους agents και εξελίσσεται μέσω των επικοινωνιών inter-agent.

Τα συστήματα multi-agent είναι ευφυή συστήματα ελέγχου που εφαρμόζονται για να σχεδιάσουν ένα σύστημα ελέγχου για τα έξυπνα και βιώσιμα κτήρια. Τα έξυπνα και βιώσιμα κτήρια απαιτούν τις συγκρούσεις μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας και του εσωτερικού επιπέδου άνεσης, καθώς και οι προτιμήσεις των χρηστών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να εκτιμούνται στο σχεδιασμό συστημάτων ελέγχου. Η ιεραρχική αρχιτεκτονική ελέγχου εισάγεται και χρησιμοποιείται για να σχεδιαστεί ένα τέτοιο σύστημα ελέγχου, το οποίο θα περιλαμβάνει έναν κεντρικό agent-controller και πολλαπλά τοπικά agent-controllers. Ο κεντρικός agent-controller συντονίζει τους τοπικούς agent-controllers για την επίτευξη της μέγιστης άνεσης του χρήστη σε δύο διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας. Ο τοπικός agent-based έλεγχος απασχολεί πολλούς συγκεχυμένους λογικούς ελεγκτές να ικανοποιήσουν διαφορετικές ανάγκες άνεσης.

Το σύστημα ελέγχου χρησιμοποιεί ιεραρχική δομή ελέγχου, και κατατάσσει το σύνολο του συστήματος των agents σε δύο επίπεδα: στους agents χαμηλότερων επιπέδων που καλούνται τοπικοί agent-controllers, και στους agents υψηλότερου επιπέδου που καλούνται κεντρικός agent-controller. Για τον κεντρικό agent-controller, ο κυριότερος στόχος του είναι να διατηρήσει την ισορροπία μεταξύ της παροχής των ηλεκτρικών συστημάτων και των απαιτήσεων των πελατών. Επομένως, βρίσκεται μεταξύ του ηλεκτρικού πλέγματος και των τοπικών ελεγκτών. Ο κεντρικός agent-controller χρησιμοποιεί επίσης

εξωτερικές πληροφορίες όπως η κατάσταση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, τα ζητήματα του περιβάλλοντος, καθώς και τις προτιμήσεις των χρηστών. Οι πολλαπλοί τοπικοί agent-controllers χρησιμοποιούνται για να ελεγχτεί η θερμοκρασία, η συγκέντρωση του CO₂ και το επίπεδο φωτισμού. Για αυτόν το λόγο ένα σήμα παράγεται από τον κεντρικό agent-controller που θα καθορίσει τη δραστηριότητα των τοπικών.[Wang Z. κ.α., 2010]



Εικόνα 21: Δομή του συστήματος ελέγχου multi-agent.[Wang Z. κ.α., 2010]

3.5.1 Μαθηματικό Μοντέλο για Agent-Controllers

3.5.1.1 Κεντρικός agent-controller

Η διαμόρφωση του κεντρικού ελεγκτή είναι απεικονισμένη στην Εικόνα 21. Το μαθηματικό πρότυπο του κεντρικού ελεγκτή περιγράφεται ως εξής:

$$Comf = \omega_1[1 - D(T)] + \omega_2[1 - D(W)] + \omega_3[1 - D(L)] \quad (1)$$

$$P_T(k+1) = P_T(k) + \alpha \quad (2)$$

$$P_W(k+1) = P_W(k) + \beta \quad (3)$$

$$P_L(k+1) = P_L(k) + \gamma \quad (4)$$

$$P_T(k) + P_W(k) + P_L(k) = P_{in}(k) \quad (5)$$

$$P_{in}(k) \leq P_{MAX}(k) \quad (6)$$

Όπου: Το Comf ορίζεται ως το γενικό επίπεδο άνεσης, το οποίο είναι το σταθμισμένο άθροισμα τριών λειτουργιών δυσφορίας.

Το D(T) είναι η συνάρτηση δυσφορίας λόγω της θερμοκρασίας.

$$D(T) = \left(\frac{e_T}{T_{set}} \right)^2 \quad (7)$$

D(W) είναι η συνάρτηση δυσφορίας λόγω της συγκέντρωσης των εκπομπών CO₂

$$D(W) = \left(\frac{e_W}{W_{set}} \right)^2 \quad (8)$$

D(L) είναι η συνάρτηση δυσφορίας λόγω του φωτισμού

$$D(L) = \left(\frac{e_L}{L_{set}} \right)^2 \quad (9)$$

ω_1 , ω_2 και ω_3 είναι οι συντελεστές βαρύτητας (ορίζονται από το χρήστη):

$$\omega_1, \omega_2, \omega_3 \in [0,1] \text{ και } \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$$

$\mathbf{P}(\mathbf{k})$ είναι η συνολική ζήτηση ισχύος των υπαρχουσών on-line συσκευών P_D

$$P_T(k) = \sum_{i=1}^{N1} P_{TD} ; \quad (10)$$

$$P_W(k) = \sum_{i=1}^{N2} P_{WD} ; \quad (11)$$

$$P_L(k) = \sum_{i=1}^{N3} P_{LD} ; \quad (12)$$

P_{in} είναι η πραγματική δύναμη από το ηλεκτρικό δίκτυο
 P_{max} είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να παρέχεται από το ηλεκτρικό δίκτυο
 α , β και γ είναι προσαυξήσεις, οι οποίες είναι όλες πολύ μικροί αριθμοί και μπορεί να είναι θετικές ή αρνητικές

Εάν $\varepsilon > 0$, τότε α , β και γ είναι θετικά, αν $\varepsilon < 0$, τότε α , β και γ είναι αρνητικά
 \mathbf{k} είναι ο δείκτης επανάληψης.[Wang Z. κ.α., 2010]

3.5.1.2 Τοπικοί agent-controllers

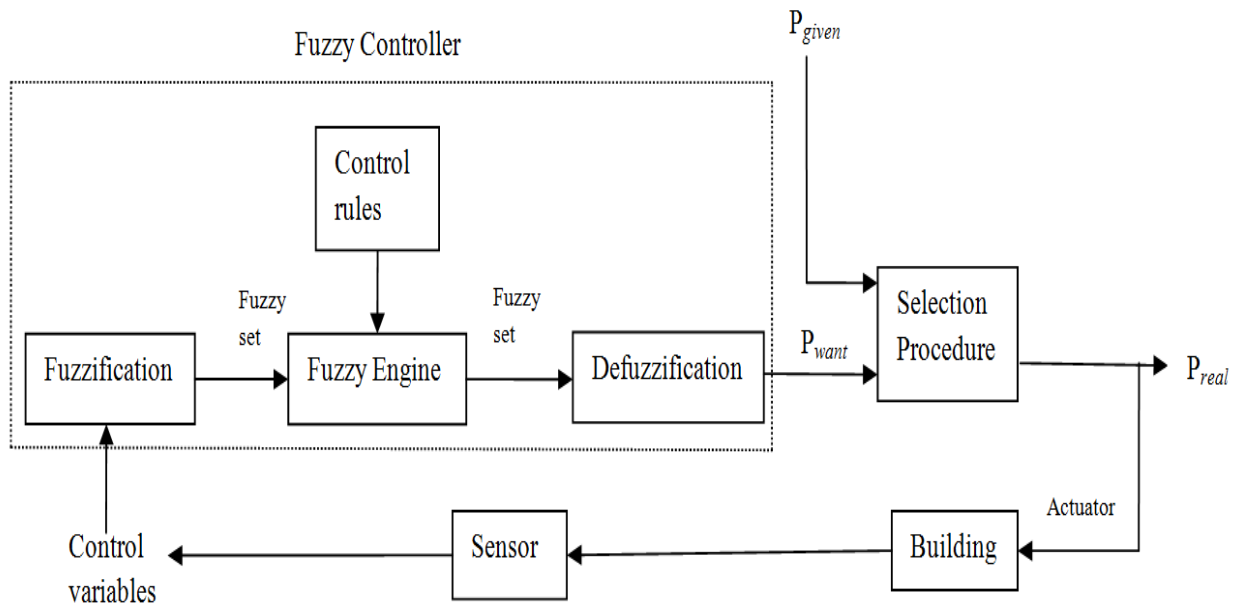
Τρεις τοπικοί agent-controllers σχεδιάζονται για να ελέγξουν τους διαφορετικούς ενεργοποιητές που βοηθούν το κτήριο για να διατηρήσει το υψηλό επίπεδο άνεσης. Ο έλεγχος ανατροφοδότησης χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό του ελεγκτή φωτισμού. Οι συγκεκριμένοι ελεγκτές εφαρμόζονται για τους ελεγκτές θέρμανσης/ψύξης και ο ελεγκτής εξαερισμού για την υπέρβαση των μη γραμμικών δυσκολιών στη διαδικασία ελέγχου. Η βασική δομή αυτών των τοπικών agent-controllers παρουσιάζεται στην Εικόνα 22, όπου:

P_{given} είναι η δεδομένη δύναμη από τον κεντρικό agent-controller και

P_{real} είναι η πραγματική κατανάλωση ενέργειας κατά τη διαδικασία ελέγχου.

Οι μεταβλητές ελέγχου αναφέρονται στη θερμοκρασία, στη συγκέντρωση του CO_2 .

Οι ενεργοποιητές αναφέρονται σε βοηθητική θέρμανση / ψύξη, ανεμιστήρα για τη θέρμανση / ψύξη, ελεγκτής εξαερισμού.

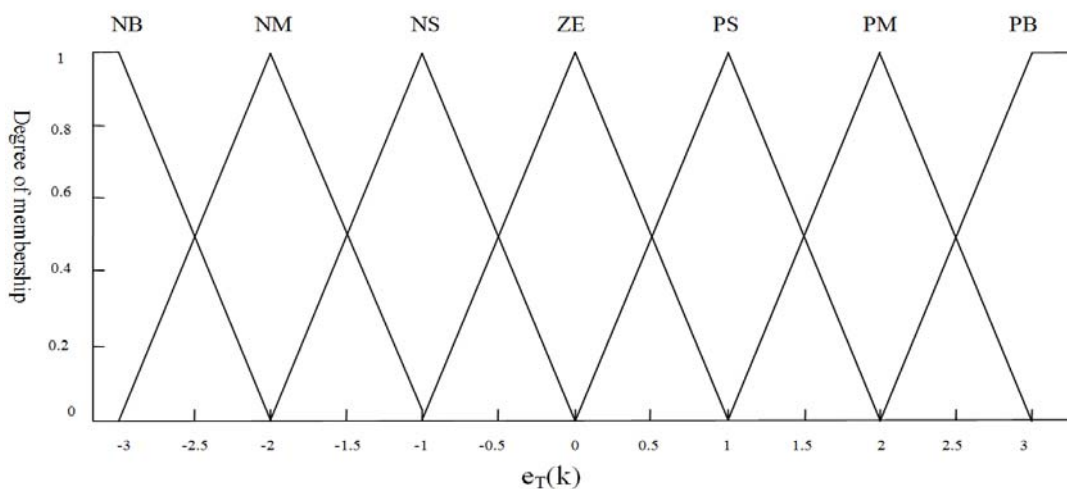


Εικόνα 22: Δομή των τοπικών agent-controllers.[Wang Z. κ.α., 2010]

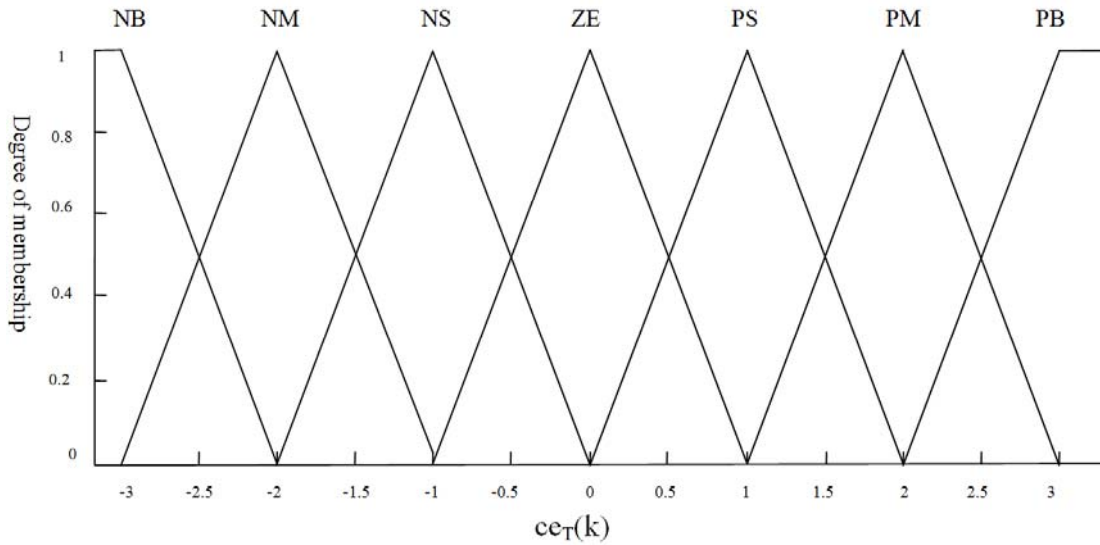
Ο συγκεκριμένος ελεγκτής χρησιμοποιεί τις μεταβλητές ελέγχου, οι οποίες προέρχονται από τους αισθητήρες ως εισροές για τον υπολογισμό του επιθυμητού P_{want} . Η διαδικασία επιλογής χρησιμοποιείται για να συγκρίνει τις αποδόσεις του συγκεκριμένου ελεγκτή με τη δεδομένη κατανάλωση ενέργειας έτσι ώστε να αποκτήσει την πραγματική δύναμη που χρησιμοποιείται από τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του περιβάλλοντος του κτηρίου.[Wang Z. κ.α., 2010]

3.5.1.2.1 Ελεγκτής θέρμανσης/ψύξης

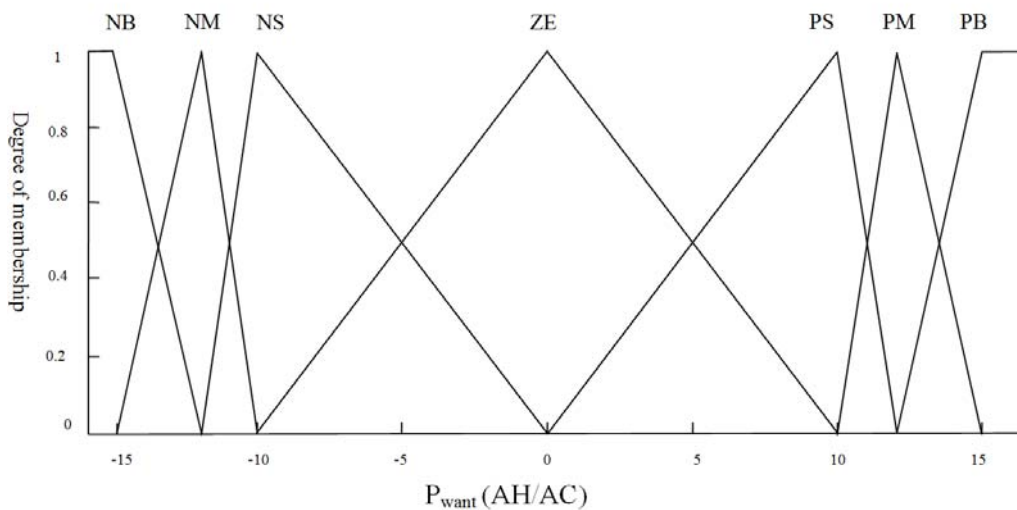
Η θερμοκρασία δεικτών χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της θερμικής άνεσης σε ένα περιβάλλον κτηρίου. Οι ενεργοποιητές του ελεγκτή είναι οι βοηθητικοί θέρμανσης και οι βοηθητικοί ψύξης (AH / AC) του συστήματος. Ένας συγκεκριμένος ελεγκτής P_D είναι σχεδιασμένος για τον έλεγχο του υποσυστήματος. Οι εισαγωγές του συγκεκριμένου ελεγκτή είναι το παρόν σφάλμα $e(k)$ και η αλλαγή της σήμανσης του σφάλματος $ce(k)$, η παραγωγή του συγκεκριμένου ελεγκτή είναι η επιθυμητή κατανάλωση ισχύος P_{want} . Το παρόν σφάλμα $e(k)$ είναι η διαφορά μεταξύ των επιθυμητών προτιμήσεων των χρηστών και των παρούσων μεταβλητών τιμών. Η αλλαγή της σήμανσης του σφάλματος $ce(k)$ αντιπροσωπεύει διαφορά μεταξύ των προηγούμενων και των παρόντων λαθών. Οι συναρτήσεις ένταξης στοιχείων για αυτόν τον συγκεκριμένο ελεγκτή P_D φαίνονται στην Εικόνα 23 και στην Εικόνα 24, αντίστοιχα, και οι συναρτήσεις ένταξης της παραγωγής περιγράφεται στην Εικόνα 25.



Εικόνα 23: Σύνθεση συνάρτησης για $e(k)$ της θερμοκρασίας.[Wang Z. κ.α., 2010]



Εικόνα 24: Σύνθεση συνάρτησης των μεταβλητών για τη σήμανση $ce(k)$ της θερμοκρασίας.[Wang Z. κ.α., 2010]



Εικόνα 25: Σύνθεση συνάρτησης του $P_{want} (AH / AC)$. [Wang Z. κ.α., 2010]

Οι σύνθετες συναρτήσεις των εισαγωγών και των αποτελεσμάτων περιλαμβάνουν τις ακόλουθες τιμές: Μεγάλη Αρνητική (NB), Μέση Αρνητική (NM), Μικρή Αρνητική (NS), Μηδενική (ZE), Μικρή θετική (PS), Μέση Θετική (PM) και Μεγάλη Θετική (PB). Στα αποτελέσματα αυτού του συγκεκριμένου ελεγκτή, η τιμή $P_{want} < 0$ δείχνει ότι το σύστημα θέρμανσης λειτουργεί, ενώ η τιμή $P_{want} > 0$ δείχνει ότι το σύστημα ψύξης λειτουργεί, και η

απαραίτητη ισχύς είναι $|P_{want}|$. Οι συγκεκριμένοι κανόνες ελέγχου για την παραγωγή AH/AC παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Ένας χαρακτηριστικός κανόνας είναι: Εάν $e(k) = NS$ και $ce(k) = ZE$ τότε $P_{want} = PS$. Δηλαδή όταν η αξία λάθους είναι NS και η αλλαγή του λάθους είναι ZE, τότε το βοηθητικό σύστημα ψύξης πρέπει να ενεργοποιηθεί με τη PS κατανάλωση ισχύος. [Wang Z. κ.α., 2010]

Πίνακας 4: Κανόνες συγκεκριμένου ελέγχου για AH / AC σύστημα.

		P_{want}						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
$ce(k)$	NB	NB	NS	PS	PB	PB	PB	PB
	NM	NB	NM	ZE	PM	PM	PB	PB
	NS	NB	NM	NS	PS	PM	PB	PB
	ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
	PS	NB	NB	NM	NS	PS	PM	PB
	PM	NB	NB	NM	NM	ZE	PM	PB
	PB	NB	NB	NB	NB	NS	PS	PB

Πηγή: Wang Z. κ.α., 2010

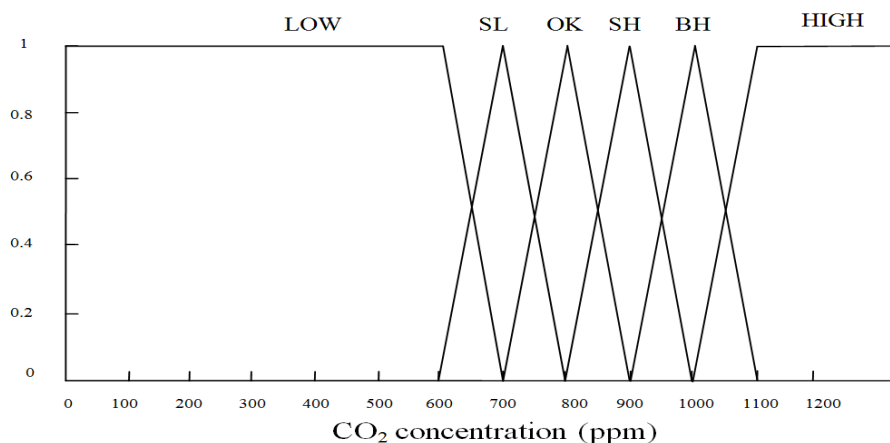
Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα των ελεγκτών είναι η δύναμη του συστήματος AH και AC. Κατά συνέπεια, η παραγωγή P είναι η συνολική δύναμη και για τα δύο συστήματα. Στο περιβάλλον του κτηρίου, η αλλαγή από PMV έχει την ακόλουθη σχέση με τη δύναμη παραγωγής:

$$\Delta PMV = 0.1P_{AH} - 0.1P_{AC} \quad (13)$$

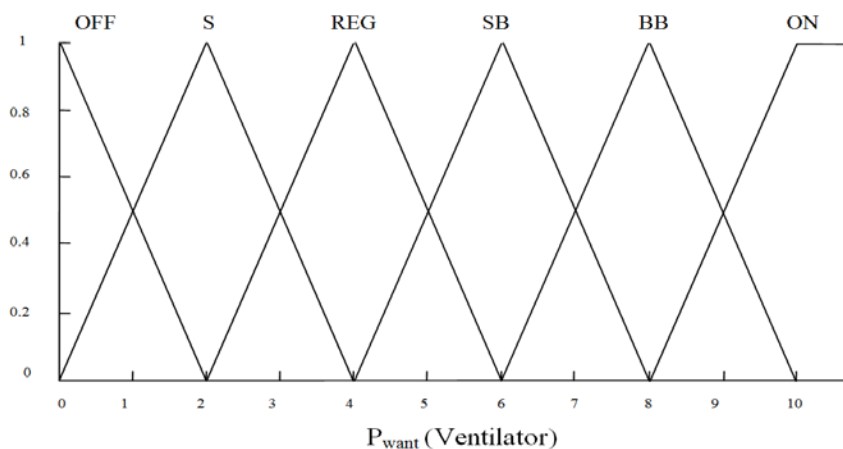
3.5.1.2.2 Ελεγκτής εξαιρισμού

Συνήθως, η συγκέντρωση του CO₂ που διατηρείται κάτω από 800ppm κάνει τους ανθρώπους να αισθανθούν άνετα. Αλλά εάν η δεδομένη ενεργειακή κατανάλωση είναι χαμηλή, τότε η συγκέντρωση 1000ppm είναι αποδεκτή από τους περισσότερους ανθρώπους.

Ένας συγκεκριμένος ελεγκτής χρησιμοποιείται στον έλεγχο του συστήματος εξαερισμού. Η εισαγωγή αυτού του συγκεκριμένου ελεγκτή είναι η συγκέντρωση του CO₂ και η έξοδος είναι η επιθυμητή κατανάλωση ενέργειας στον εξαεριστήρα. Η σύνθετη συνάρτηση για τις μεταβλητές της συγκέντρωσης του CO₂ και η δύναμη για τον εξαεριστήρα παρουσιάζονται στις Εικόνες 26 και 27, αντίστοιχα. Η σύνθετη συνάρτηση για τη συγκέντρωση του CO₂ περιλαμβάνει τις ακόλουθες τιμές: Χαμηλή (LOW), Μικρή Χαμηλή (SL), Εντάξει (OK), Μικρή Υψηλή (SH), Μεγάλη Υψηλή (BH) και Υψηλή (High), οι οποίες αντιπροσωπεύουν τα διαφορετικά επίπεδα συγκέντρωσης του CO₂. Η σύνθετη συνάρτηση για την επιθυμητή δύναμη που χρησιμοποιείται στον εξαεριστήρα περιλαμβάνει τις ακόλουθες τιμές: Κλειστή (OFF), Μικρή (S), Κανονική (REG), Χαμηλή Μεγάλη (SB), Υψηλή Μεγάλη (BB) και Ανοικτή (ON), οι οποίες αντιπροσωπεύουν τα διαφορετικά επίπεδα επιθυμητής κατανάλωσης ισχύος.



Εικόνα 26: Σύνθετη συνάρτηση για τις μεταβλητές της συγκέντρωσης του CO₂. [Wang Z. κ.α., 2010]



Εικόνα 27: Σύνθετη συνάρτηση για την επιθυμητή δύναμη για τον εξαεριστήρα. [Wang Z. κ.α., 2010]

Οι συγκεκριμένοι κανόνες ελέγχου για την σύστημα παραγωγή του συστήματος εξαερισμού παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5**. [Wang Z. κ.α., 2010]

		CO ₂ Concentration					
		LOW	SL	OK	SH	BH	HIGH
P _{want}		OFF	S	REG	SB	BB	ON

Στο περιβάλλον του κτηρίου, η αλλαγή της συγκέντρωσης του CO₂ έχει την ακόλουθη σχέση με την αλλαγή δύναμης εισόδου:

$$\Delta CO_2 = 10\Delta P \quad (14)$$

όπου ΔP είναι η διαφορά μεταξύ της ισχύος εισόδου και εξόδου του συγκεκριμένου ελεγκτή. [Wang Z. κ.α., 2010]

3.5.1.2.3 Ελεγκτής φωτισμού

Το επίπεδο φωτισμού που κάνει τους ανθρώπους να αισθανθούν άνετα τίθεται στα 800 lux. Οι διαφορές μεταξύ του πραγματικού επιπέδου φωτισμού και του επιθυμητού επιπέδου χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν την αναγκαία δύναμη. Η υπολογισμένη δύναμη συγκρίνεται με τη δεδομένη δύναμη και η μικρότερη επιλέγεται. Η σχέση μεταξύ της αλλαγής δύναμης του συστήματος φωτισμού και της αντίστοιχης αλλαγής φωτισμού μπορούν να εκφραστούν από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\Delta lux = 0.01\Delta P \quad (15)$$

Η δύναμη εξόδου μπορεί να ληφθεί ως εξής [Wang Z. κ.α., 2010]:

$$P_{output} = \min \{ P + \Delta P, P_{expect} \} \quad (16)$$

3.6 Ευφυή συστήματα διαχείρισης ενέργειας στα κτήρια που χρησιμοποιούν σύνολα κανόνων

Η υψηλή κατανάλωση ενέργειας των κτηρίων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, όπως προαναφέρθηκε στην εισαγωγή του κεφαλαίου οδήγησε στην ανάπτυξη των ενεργειακών συστημάτων διαχείρισης στα κτήρια (BEMS), δεδομένου ότι αυτά τα συστήματα μπορούν να συμβάλουν στη συνεχή διαχείριση της ενέργειας και επομένως να επιτύχουν εξοικονόμηση κόστους και ενέργειας. Τα BEMS εφαρμόζονται γενικά στον έλεγχο των ενεργών συστημάτων, δηλ. θέρμανση, εξαερισμός, και συστήματα κλιματισμού (HVAC), και έχουν επίσης καθοριστικό ρόλο στους χρόνους λειτουργίας τους. Εξαιτίας των πιο πάνω προσπαθειών, η απόδοση των BEMS συσχετίζεται άμεσα με το ποσό ενέργειας που καταναλώνεται στα κτήρια και των άνεση των χρηστών των κτηρίων.[Doukas H. κ.α, 2006]

Η πρόσφατη ανάπτυξη των BEMS οφείλετε στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών, των τηλεπικοινωνιών και στην τεχνολογία των πληροφοριών. Σε αυτό το πλαίσιο, διάφορες σύγχρονες τεχνικές και μέθοδοι έχουν προταθεί για τη βελτίωση των ελέγχων των συγκεκριμένων συστημάτων, όπως τεχνικές περισσότερο αυτοματοποιημένες για τον έλεγχο των συστημάτων αυτών, όπως οι γενετικοί αλγόριθμοι και τα νευρικά δίκτυα που έχουν προταθεί για τη βελτιστοποίηση ελέγχου των συγκεκριμένων συστημάτων HVAC, σταθμισμένοι γλωσσικοί συγκεκριμένοι κανόνες, εμπειρικά πρότυπα και βελτιστοποίηση των μοντέλων προσομοίωσης [Fong K.F. κ.α., 2006] για τη βελτιστοποίηση του ελέγχου συστημάτων των κτηρίων και για την εσωτερική διαχείριση των συνθηκών ολοκληρωμένα συστήματα έλεγχου που χρησιμοποιούν τους γενετικούς αλγορίθμους, βελτιστοποιημένους συγκεκριμένους ελεγκτές, κ.α. έχουν αναπτυχθεί, εφαρμοστεί και έχει εξεταστεί.

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ένα έξυπνο μοντέλο υποστήριξης απόφασης που χρησιμοποιεί σύνολα κανόνων, βασισμένο σε ένα χαρακτηριστικό ενεργειακό σύστημα

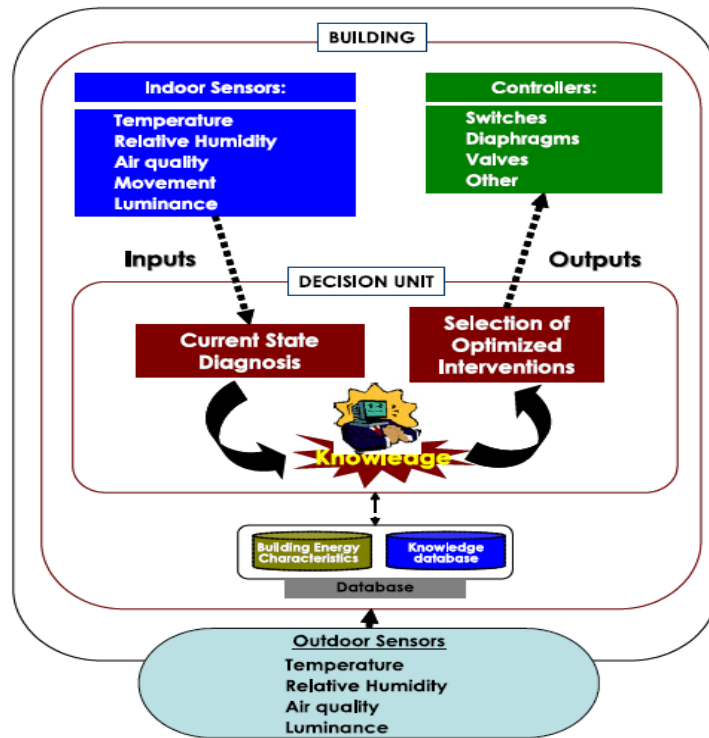
διαχείρισης κτηρίου. Θα παρουσιαστεί ο αντίκτυπος του μοντέλου στην κατανάλωση ενέργειας και την εσωτερική ποιότητα ενός χαρακτηριστικού κτηρίου γραφείων στην Ελλάδα καθώς το μοντέλο μπορεί να ελέγξει πώς τα στοιχεία λειτουργίας του κτηρίου παρεκκλίνουν από τα καθορισμένα και επιπλέον υπολογίζει τις εσωτερικές συνθήκες στο κτήριο και βελτιστοποιεί την ενεργειακή λειτουργία του. Σε αυτά τα πλαίσια, η ενσωματωμένη υποστήριξη απόφασης του μοντέλου μπορεί να συμβάλει στη διαχείριση των καθημερινών ενεργειακών διαδικασιών ενός χαρακτηριστικού κτηρίου, σχετικών με την κατανάλωση ενέργειας, μέσω της ενσωμάτωσης των ακόλουθων απαιτήσεων με τον καλύτερο δυνατό τρόπο: (α) την εγγύηση των επιθυμητών επιπέδων της ποιότητας διαβίωσης σε όλα τα δωμάτια του κτηρίου και (β) την ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας. Οι μέθοδοι και οι τεχνικές συνόλου κανόνων μπορούν να αντιπροσωπεύσουν μια πολύ αποδοτική προσέγγιση για την ενσωμάτωση περισσότερης νοημοσύνης στα BEMS. [Doukas H. κ.α, 2006]

3.6.1 Μεθοδολογία συστημάτων διαχείρισης ενέργειας που χρησιμοποιούν σύνολα κανόνων

Η υποδομή του μοντέλου υποστήριξης απόφασης είναι βασισμένη στα χαρακτηριστικά μιας χαρακτηριστικής λογικής BEMS. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 28, η φιλοσοφία του μοντέλου είναι βασισμένη στη γενική έννοια ενός μοντέλου με την ικανότητα να προσαρμόζεται στις ιδιαίτερες ανάγκες κάθε κτηρίου, υπό την προϋπόθεση ότι η κατάλληλη «χαρτογράφηση» των περιοχών του κτηρίου και των στοιχείων του έχει καταρτιστεί. Το τρέχον μοντέλο περιλαμβάνει τα ακόλουθα εξαρτήματα: εσωτερικούς αισθητήρες, υπαίθριους αισθητήρες, ελεγκτές, μονάδα απόφασης, και βάση δεδομένων. [Doukas H. κ.α, 2006]

Μονάδα απόφασης: Μια μονάδα υποστήριξης απόφασης πραγματικού χρόνου με τις εξής δυνατότητες:

- Αλληλεπίδραση με τους αισθητήρες για τη διάγνωση της κατάστασης του κτηρίου και, επομένως, τη διαμόρφωση του προφίλ της ενέργειας του κτηρίου.
- Ενσωμάτωση των ειδικών και των ευφών τεχνικών του συστήματος, ώστε να γίνει η κατάλληλη επιλογή της παρεμβάσεις, ανάλογα με τις ανάγκες του κτηρίου.
- Επικοινωνία με τους ελεγκτές του κτηρίου για την εφαρμογή της απόφασης.



Εικόνα 28: Η φιλοσοφία του μοντέλου.[Doukas H. κ.α, 2006]

Βάση δεδομένων: Περιλαμβάνει τη βάση δεδομένων για τα ενεργειακά χαρακτηριστικά του κτηρίου και τη βάση γνώσης δεδομένων, όπου όλες οι ουσιαστικές πληροφορίες καταγράφονται (πληροφορίες, οι οποίες αποτελούν τη γνώση και τη νοημοσύνη του μοντέλου). Η ακολουθούμενη διαδικασία παρουσιάζεται από ένα διάγραμμα λογικής ροής (Εικόνα 29).

Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία καθορίζεται ως εξής:

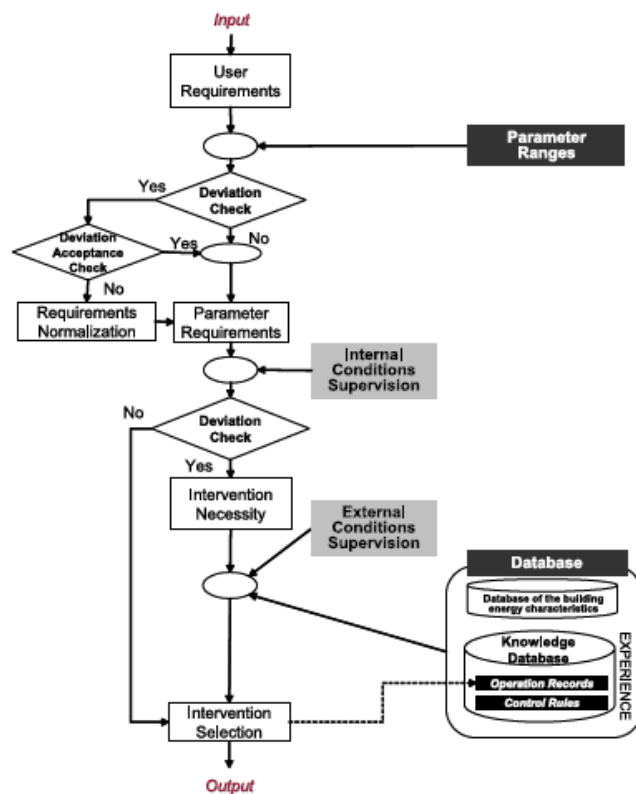
Απαιτήσεις χρηστών: Οι χρήστες μέσα στο κτήριο καθορίζουν τις απαιτήσεις τους για τις εσωτερικές συνθήκες που θέτουν τις τιμές των παραμέτρων ελέγχου (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ατμοσφαιρική ποιότητα και φωτεινότητα).

Απαιτήσεις παραμέτρων: Οι απαιτήσεις των χρηστών συγκρίνονται με τις καθορισμένες σειρές των παραμέτρων. Για κάθε τύπο δωματίων, οι τιμές των συγκεκριμένων παραμέτρων

ήταν καθορισμένες, έτσι ώστε να δημιουργούν άνετους εσωτερικούς χώρους με βάση το ASHRAE [ASHRAE, 2003] και το ISO-1994 που καθορίζει τις τιμές για τις συνθήκες θερμικής άνεσης [ISO, Dec.1994] και την ποιότητα του εσωτερικού αέρα για τους χρήστες [ISO, Apr.2006], καθώς επίσης και για το φωτισμό των χώρων εργασίας [ISO, Jun.2002]

Ανάγκη επέμβασης: Μετά από τον προσδιορισμό των απαιτήσεων του χρήστη, η καταγραφή των υπάρχουσών εσωτερικών συνθηκών μέσω των κατάλληλων αισθητήρων και της απόκλισης μεταξύ τους υπολογίζονται.

Τέλος, οι αποφάσεις του μοντέλου είναι μια ακολουθία σημάτων και εντολών στους ελεγκτές και τους ενεργοποιητές για την εφαρμογή της παραγωγής του μοντέλου. Το πρότυπο έχει τη δυνατότητα διαμορφώσει (με τη βοήθεια των κανόνων) τις ευφείς επεμβάσεις προκειμένου να εξασφαλιστούν η θερμική άνεση και η εξοικονόμηση ενέργειας. [Doukas H. κ.α, 2006]



Εικόνα 29: Η διαδικασία του μοντέλου. [Doukas H. κ.α, 2006]

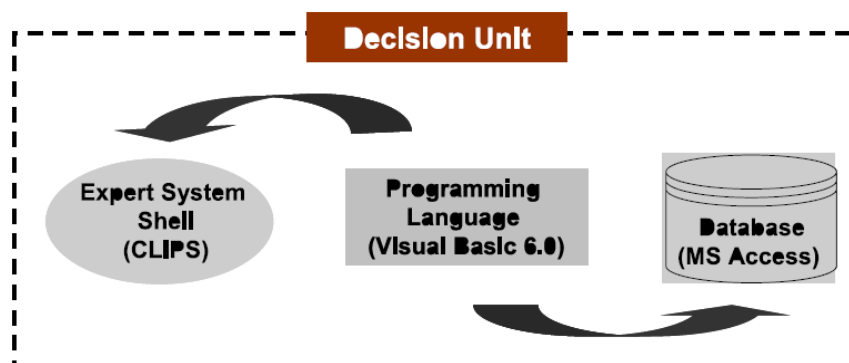
3.6.2 Ανάπτυξη μοντέλου

3.6.2.1 Αρχιτεκτονική μοντέλου

Η μονάδα υποστήριξης απόφασης εφαρμόστηκε με τα ακόλουθα εργαλεία λογισμικού και εφαρμογές:

- «MS Access»: χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη της βάσης δεδομένων για τα ενεργειακά χαρακτηριστικά του κτηρίου και για την ανάπτυξη της βάσης γνώσης δεδομένων.
- «Visual Basic 6.0»: ήταν η γλώσσα προγραμματισμού που παρείχε την αλληλοσύνδεση, μεταξύ της βάσης δεδομένων, των αισθητήρων και των ελεγκτών του κτηρίου.
- «Clips»: συγκεκριμένα η έκδοση 6.2 της άνοιξης του 2002, ενσωματώθηκαν στο πρότυπο, για να παρέχουν την επεξεργασία των κανόνων και του συμπεράσματος του μοντέλου στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Οι γλώσσες προγραμματισμού «Visual Basic 6.0» και «MS Access» επιλέχτηκαν δεδομένου ότι οι εφαρμογές τους είναι ευρέως γνωστές και λειτουργούν με χαμηλές απαιτήσεις hardware. Ειδικά όσον αφορά ανάπτυξη των βάσεων δεδομένων, τα αποθηκευμένα ενεργειακά χαρακτηριστικά του κτηρίου και η βάση γνώσης δεδομένων είναι πλήρως δυναμικές, επιτρέποντας στα διοικητικά μοντέλα να καθορίσουν νέα κτήρια, τύπους δωματίων και κανόνων.



Εικόνα 30: Η αρχιτεκτονική της μονάδας απόφασης.[Doukas H. κ.α, 2006]

Επιπλέον, η γλώσσα «Clips», που είναι ένα έμπειρο σύστημα τύπου κοχύλι, έχει γίνει ευρέως αποδεκτή σε όλες τις κυβερνητικές οργανώσεις, στη βιομηχανία και ακαδημαϊκά λόγω της επεκτασιμότητας της, των ικανοτήτων της και του χαμηλότερου κόστους της. Σε αυτό το πλαίσιο, η γλώσσα «Clips» χρησιμοποιήθηκε στο εν λόγω μοντέλο για να παρέχει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον για την ανάπτυξη ενός κανόνα βασισμένου στην εμπειρία του συστήματος, μειώνοντας κατά συνέπεια την προσπάθεια και το κόστος που περιλαμβάνονται στην ανάπτυξη ενός τέτοιου έμπειρου συστήματος.[Doukas H. κ.α, 2006]

3.6.2.2 Ανάπτυξη των συνόλων κανόνα

Ο στόχος του σχεδίου μονάδων υποστήριξης απόφασης ήταν να χρησιμοποιηθούν τα σύνολα κανόνα από τα στοιχεία που καταγράφηκαν από τη λειτουργία των συστημάτων BEMS. Σε αυτό το πλαίσιο, ένα τυπικό κτήριο διαμορφώθηκε και τα σημεία ελέγχου καθορίστηκαν για τις συνθήκες των εσωτερικών χώρων και τα ηλεκτρομηχανικά μέρη του κτηρίου και τις παραμέτρους.

Οι παράμετροι ήταν ταξινομημένες ως εξής:

1. Εισαγωγή: Το πρώτο σύνολο περιλαμβάνει τις παραμέτρους που αφορούν τις συνθήκες των εσωτερικών χώρων και τον προγραμματισμό του χρόνου.
2. Έξοδος: Το δεύτερο σύνολο παραμέτρων αφορά παραμέτρους των ελεγκτών του μοντέλου και ενεργοποιητές.
3. Υποστήριξη: Αυτό το σύνολο παραμέτρων καταχωρεί την ευκολία ή τη δυσκολία του ελέγχου του δωματίου.

Σε αυτό το πλαίσιο, ένα σύνολο κανόνων έχει δημιουργηθεί, καλύπτοντας όλα τα πιθανά αιτήματα ενός χαρακτηριστικού κτηρίου. Αυτοί οι κανόνες, που συνδυάζουν τις παραμέτρους εισαγωγής και εξόδου, έχουν την ακόλουθη κατηγοριοποίηση:

- Εσωτερικές συνθήκες άνεσης.
- Ενεργειακή απόδοση του κτηρίου.
- Συμβατότητα της μονάδας υποστήριξης αποφάσεων.

Το πρώτο σύνολο κανόνων εξασφαλίζει εσωτερικές συνθήκες άνεσης για τους χώρους του κτηρίου και μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες τέσσερις υποκατηγορίες:

Εσωτερική θερμοκρασία/σχετική υγρασία: Περιλαμβάνει τους κανόνες για την επίβλεψη και τη διατήρηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας σε προκαθορισμένα επίπεδα.

Ατμοσφαιρική ποιότητα: Ενσωματώνει τους κανόνες για τον έλεγχο της εσωτερικής ατμοσφαιρικής ποιότητας (μέσω των αισθητήρων συγκέντρωσης του CO₂) και της κατάλληλης ρύθμισης για να προκαθορίσει τα επίπεδα για το συγκεκριμένο χώρο.

Φωτεινότητα: Περιλαμβάνει τους κανόνες για τον έλεγχο των επιπέδων φωτεινότητας (μέσω των αισθητήρων) καθώς επίσης και των απαραίτητων ρυθμίσεων στις συσκευές φωτισμού, σε προκαθορισμένα επίπεδα.

Μετακίνηση: Ενσωματώνει τους κανόνες για τον έλεγχο της μετακίνησης μέσα στα δωμάτια του κτηρίου(μέσω των αισθητήρων μετακίνησης) και τις κατάλληλες τροποποιήσεις λειτουργίας των ηλεκτρομηχανικών συστατικών, σύμφωνα με την παρουσία ή όχι των ανθρώπων στο κτήριο.

Το δεύτερο βασικό σύνολο κανόνων περιλαμβάνει τους κανόνες σχετικά με τη ενεργειακή αποδοτικότητα ενός τυπικού κτηρίου. Αυτή η κατηγορία αποτελείται από τις ακόλουθες υποκατηγορίες:

Εναρξη/τελείωμα της βελτιστοποίησης: Οι κανόνες για το πρότυπο που αρχίζει και που τελειώνει, σύμφωνα με τον τύπο και τις ώρες απασχόλησης δωματίων, συμπεριλαμβανομένης της προ-θέρμανσης και της ομαλής μείωσης της δύναμης για την εξοικονόμηση ενέργειας.

Διαδικαστική ιεραρχία: Κανόνες σχετικά με την ιεραρχία επέμβασης για τη ρύθμιση θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ατμοσφαιρικής ποιότητας και φωτεινότητας για τη βέλτιστη λειτουργία.

Βελτιστοποίηση διαχείρισης της ενέργειας: Κανόνες που ελέγχουν την κατανάλωση ενέργειας κάθε δωματίου. Ο κύριος στόχος των κανόνων αυτών ήταν να βρεθούν οι περίοδοι της υψηλής κατανάλωσης κατά τη λειτουργία του κτηρίου.

Με βάση τα παραπάνω σύνολα κανόνων, τα διαδικαστικά βήματα μονάδων απόφασης είναι τα ακόλουθα:

Έναρξη συστημάτων: Οι κανόνες καθορίζουν τις σειρές για τις μεταβλητές εισαγωγής για τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και την ατμοσφαιρική ποιότητα που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την άνεση και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Ανάγκη επέμβασης: Οι κανόνες καθορίζουν τα κατάλληλα κατώτατα όρια για τις επεμβάσεις στη θέρμανση, την ψύξη, την υδάτωση, την αφυδάτωση, τον εξαερισμό και το φωτισμό.

Απόκλιση των εσωτερικών προϋποθέσεων: Οι κανόνες προσδιορίζουν τις αποκλίσεις μεταξύ των απαιτήσεων των χρηστών και των υπάρχουσών συνθηκών των δωματίων για όλες τις παραμέτρους ελέγχου.

Επιλογή επέμβασης: Οι κανόνες καθορίζουν την επιλογή των ενεργειών προκειμένου να καλυφθεί η επέμβαση που απαιτείται. Αυτές οι ενέργειες περιλαμβάνουν το άναμμα/κλείσιμο των τμημάτων των κτηρίων και καθορίζουν τα εξαρτημάτων που θα χρησιμοποιηθούν για να ρυθμιστούν οι εσωτερικές συνθήκες.

Προσδιορισμός έντασης επέμβασης: Οι κανόνες καθορίζουν πόσο έντονες θα είναι οι επεμβάσεις, σύμφωνα με κάθε ένα δείκτη για το κάθε δωμάτιο και την απόκλιση των ελεγκτών των ηλεκτρομηχανικών εξαρτημάτων.[Doukas H. κ.α, 2006]

3.7 Σχεδιασμός συστημάτων για εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια βασισμένος σε multi-agent σύστημα

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα εξεταστεί μια αρχιτεκτονική συστημάτων ελέγχου του εξοπλισμού του κτηρίου βασισμένη στο σύστημα multi-agent. Οι agents που χρησιμοποιήθηκαν είναι: agent περιβάλλοντος, agent δωματίων, προσωπικός agent και διοικητικός agent. Αυτό το multi-agent σύστημα ελέγχει αυτόματα τα υποσυστήματα του ευφυούς κτηρίου και όταν το κρίνει απαραίτητο τα γυρνάει σε λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας.

Μέχρι τώρα, το έξυπνο κτήριο μπορεί αυτόνομα να διαχειριστεί κυρίως το περιβάλλον του κτηρίου ελέγχοντας τις παραμέτρους των εσωτερικών συνθηκών. Οι στόχοι που πρέπει να επιτύχει ένα έξυπνο κτήριο είναι η άνεση των χρηστών και η ενεργειακή αποδοτικότητα του κτηρίου. Παρόλα αυτά σε ένα έξυπνο κτήριο, η κατάσταση της ύπαρξης

ή μη χρηστών στο κτήριο δεν έχει ακόμα εξεταστεί και ο ηλεκτρικός εξοπλισμός είναι ακόμα σε λειτουργία, έστω και όταν δεν υπάρχει καθένας στο κτήριο. Έτσι οδηγεί στην περιττή κατανάλωση ισχύος και η επίδραση στην εξοικονόμηση ενέργειας είναι αρνητική. Χάρη στη δυνατότητα της εκμάθησης του συστήματος multi-agent, η αλληλεπίδραση, ο συντονισμός και ακόμη και η συνεργασία για τη διεκπεραίωση ενός στόχου, το σύστημα multi-agent προσφέρει ένα νέο μέσο για την εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα κτήριο. Οι προσωπικοί agents αντιπροσωπεύουν τα πρόσωπα στο κτήριο προκειμένου να διατηρηθούν οι προτιμήσεις τους σχετικά με τη θερμοκρασία, την ένταση φωτός κ.λπ. Οι agents περιβάλλοντος συλλέγουν τις διάφορες περιβαλλοντικές παραμέτρους. Οι agents δωματίων λαμβάνουν τις πληροφορίες από τους πράκτορες περιβάλλοντος και τις στέλνουν στο διοικητικό agent. Ο διοικητικός agent συλλέγει τις πληροφορίες που φορτώνονται από όλους τους agents δωματίων με τη χρήση της τεχνικής τήξης πληροφοριών για να γίνει κατανοητή η κατάσταση των ανθρώπων που υπάρχουν στο κτήριο. Η εξοικονόμηση ενέργειας γίνεται με τον έλεγχο των υποσυστημάτων του έξυπνου κτηρίου για να μπει σε κατάσταση εξοικονόμησης ενέργειας όταν ο διοικητικός agent δεν επιβεβαιώσει την παρουσία κάποιου ατόμου στο κτήριο.[Zhang L. κ.α., 2010]

3.8 Case Studies – Εφαρμογές – Πειράματα

3.8.1 Εφαρμογή συστημάτων MAS στα έξυπνα κτήρια

Το σύστημα multi-agent (MAS) είναι ένα διανεμημένο σύστημα που είναι αποτελούμενο από διάφορους agents και είναι η περαιτέρω ανάπτυξη της διανεμημένης τεχνητής νοημοσύνης.

Το πρώτο MAS που εφαρμόστηκε σε ένα έξυπνο κτήριο, προτάθηκε από τον Brooks του MIT εργαστηρίου τεχνητής νοημοσύνης το 1997, και έδωσε τη δομή του συστήματος ελέγχου MAS. Αργότερα, οι Davidsson και Boman περιέγραψαν το σύστημα ελέγχου του περιβάλλοντος του κτηρίου που αποτελείται από μια συλλογή agents λογισμικού, οι οποίοι παρακολουθούσαν και έλεγχαν ένα κτήριο γραφείων. Το σύστημα χρησιμοποιεί τα

υπάρχοντα ηλεκτροφόρα καλώδια για την επικοινωνία μεταξύ των agents και των ηλεκτρικών συσκευών του κτηρίου, δηλ., τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές για τα φώτα, τη θέρμανση, τον εξαερισμό, κ.λπ. Ο στόχος τους είναι να επιτευχθεί τόσο η εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και η ικανοποίηση πελατών μέσω των υπηρεσιών προστιθεμένης αξίας. Για να καταστήσει πιθανή η αυτόματη ανίχνευση κάθε προσώπου σε ποιο δωμάτιο βρίσκεται σε οποιοδήποτε η στιγμή για το MAS, καθώς και η προσαρμογή των συνθηκών δωματίου σύμφωνα με τις προτιμήσεις του, τοποθετείται ένα εσωτερικό σύστημα βασισμένο σε bluetooth. Κάθε συσκευή στο σύστημα συνδέεται μέσω των κόμβων με το σύστημα LonWorks, που επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφοριών μέσω του ηλεκτρικού δικτύου. Μια ακόμη βελτίωση των συστημάτων MAS είναι ότι οι ευφυείς αυτόνομοι agents χρησιμοποιούν ασύρματο δίκτυο για να λάβουν τις παραμέτρους του περιβάλλοντος για να εξοικονομήσουν ενέργεια. Ένα άλλο χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι ότι συνδυάζοντας ένα δίκτυο Ethernet με την τεχνολογία των agents στα έξυπνα κτήρια μπορεί να αξιοποιήσει στο μέγιστο τα δεδομένα των αισθητήρων.

Χάρη στην αλληλεπίδραση μεταξύ των agents, του συντονισμού ακόμη και της συνεργασίας για ένα στόχο, κάνει την βελτιστοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας για κάθε υποσύστημα στο κτήριο ευκολότερη. Με την αλληλεπίδραση με κάθε agent δωματίου, ειδικά των agents δωματίων που τοποθετούνται στην είσοδο για τον υπολογισμό του αριθμού των ανθρώπων μέσα και έξω από το κτήριο, ο διοικητικός agent μπορεί να καταλάβει πόσοι άνθρωποι είναι στο κτήριο και να ελέγχει τα υποσυστήματα του κτηρίου έτσι ώστε να μπαίνουν σε κατάσταση εξοικονόμησης ενέργειας όταν δεν υπάρχει κανένας στο κτήριο.

Συλλογή πληροφοριών για την ανάλυση της ύπαρξης προσώπων στο κτήριο: Σε πολλά κτήρια, ο ηλεκτρικός εξοπλισμός (ο ανελκυστήρας, το κλιματιστικό κλπ.) είναι ακόμα σε λειτουργία ακόμα και όταν δεν υπάρχει κανένας σε ολόκληρο το κτήριο. Έτσι σπαταλείται ενέργεια και αυτό το φαινόμενο πρέπει να αποφευχθεί. Με βάση την αλληλεπίδραση και τη συνεργασία στο σύστημα multi-agent, ο διοικητικός agent μπορεί να αποκτήσει ικανοποιητικές πληροφορίες ολόκληρου του κτηρίου και σύμφωνα με αυτές τις πληροφορίες που μπορεί να καταλάβει πόσοι άνθρωποι υπάρχουν στο κτήριο κάθε στιγμή. Όταν επιβεβαιώσει τελικά ότι δεν υπάρχει κανένα πρόσωπο σε ολόκληρο το κτήριο αυτόματα

διακόπτει τον ηλεκτρικό εξοπλισμό και έτσι ώστε μπορούμε να σώσουμε την ενέργεια και να αποφύγουμε την περιττή κατανάλωση ισχύος.

Η τεχνική συλλογής πληροφοριών ενσωματώνει τις πληροφορίες από τρεις πτυχές: τις πληροφορίες των προσωπικών agent, πληροφορίες που ανιχνεύονται από τους υπέρυθρους αισθητήρες και τους agents δωματίων που χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν τον αριθμό ανθρώπων στο κτήριο. Εάν όλοι οι agents περιβάλλοντος δεν λαμβάνουν καμία πληροφορία από προσωπικό agent ή εάν όλοι οι υπέρυθροι αισθητήρες δεν ανιχνεύουν καμία υπέρυθρη ενέργεια από την ακτινοβολία σωμάτων, ή εάν ο agent δωματίου μετρά τον αριθμό ανθρώπων που μπαίνουν σε ίσο με τον αριθμό που βγαίνουν, αυτό δείχνει ότι δεν υπάρχει κανένα πρόσωπο στο κτήριο. Εάν υπάρχουν τουλάχιστον δύο από τις τρεις πληροφορίες δείχνουν ότι δεν υπάρχει κανένα πρόσωπο στο κτήριο και αν δεκαπέντε λεπτά αργότερα, τα μηνύματα αυτά υπάρχουν ακόμα, ο διοικητικός agent επιβεβαιώνει τελικά δεν υπάρχει κανένα πρόσωπο στο κτήριο.

Όταν ο διοικητικός agent επιβεβαιώνει δεν υπάρχει κανένας στο κτήριο, μπορεί επίσης να ελέγξει άλλα υποσυστήματα όπως το σύστημα HVAC και το σύστημα φωτισμού για να είναι σε κατάσταση εξοικονόμησης ενέργειας σύμφωνα με την πραγματική ανάγκη των υποσυστημάτων. Με την ανάπτυξη των συστημάτων MAS, πρέπει να αποδίδει τη μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα έξυπνο κτήριο.[Zhang L. κ.α., 2010]

3.8.2 Συστήματα Προσέγγισης - Case Study

Το προτεινόμενο σχέδιο επέμβασης περιλαμβάνει τις εγκεκριμένες παρεμβάσεις σύμφωνα με τα αιεφορικά κριτήρια. Με την εφαρμογή αυτού του σχεδίου είναι πιθανό να πληρούνται οι προβλεπόμενοι στόχοι και να επιτυγχάνεται η διαχείριση αιεφόρου ενέργειας του συστήματος.

Η προσέγγιση συστημάτων, η οποία περιγράφεται στην Εικόνα 17 όπως εφαρμόζεται στα τεχνικά προγράμματα, υιοθετείται για να βελτιώσει την ενεργειακή κατάσταση ενός κτηρίου. Σύμφωνα με αυτή τη μεθοδολογία, η φάση καθορισμού προβλήματος ασχολείται με

ταυτοποίηση του υπό εξέταση συστήματος (σύστημα αναφοράς), των συνιστωσών της (υποσυστήματα), καθώς και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους. Το σύστημα αναφοράς και τα παράλληλα συστήματά του λειτουργούν, σε ένα ιεραρχικά ευρύτερο περιβάλλον που αναφέρεται ως υπερσύστημα. Όλα αυτά τα συστήματα, αποτελούν τις πιθανές περιοχές για τη λήψη μέτρων να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα. Οι ποσοτικοί στόχοι που συμβάλλουν προς ικανοποίηση μιας ανάγκης καθορίζονται και έπειτα και τα κριτήρια αποκλεισμού και αξιολόγησης ορίζονται για να αξιολογήσουν τις εναλλακτικές λύσεις. Τα στοιχεία και οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη διευκρινίζουν το πεδίο της ανάλυσης.[Kouloura T.C. κ.α. 2008]

Στη φάση ανάλυσης για τις επεμβάσεις που είναι τεχνολογικά μη εφικτές, δίνονται εναλλακτικές λύσεις (πιθανές επεμβάσεις), οι οποίες πρέπει να είναι λεπτομερείς και συμμορφούμενες στα κριτήρια αποκλεισμού τόσο από τεχνική άποψη και αποβάλλονται από την περαιτέρω εξέταση και οι παραμένουσες (αποδεκτές λύσεις) αξιολογούνται σύμφωνα με τα κριτήρια αξιολόγησης. Καταλήγοντας στη «βέλτιστη» λύση, η οποία εφαρμόζεται στο πρόβλημα στη φάση σύνθεσης, τα αποτελέσματα των ενεργειών λαμβάνονται για να εξεταστεί εάν η ανάγκη ικανοποιείται. Σύμφωνα με αυτήν την περιγραφή των συστημάτων προσέγγισης, το σύστημα είναι, όπως αναφέρει ο Rapoport [1953], «ένα μέρος του κόσμου, ο οποίος είναι αρκετά καθορισμένος με σαφήνεια για να είναι το αντικείμενο μιας έρευνας».[Kouloura T.C. κ.α. 2008]

3.8.3 Case Study Συστημάτων ελέγχου multi-agent - Αποτελέσματα Προσομοίωσης

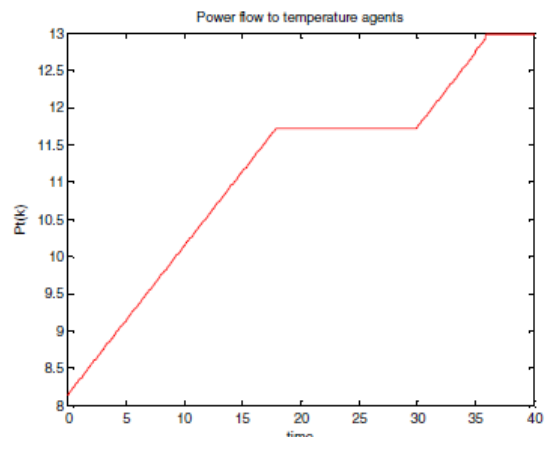
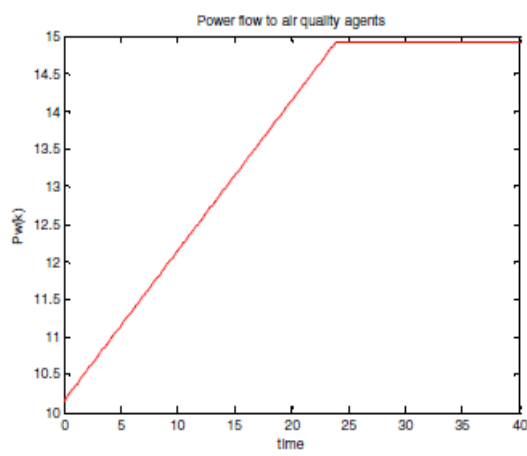
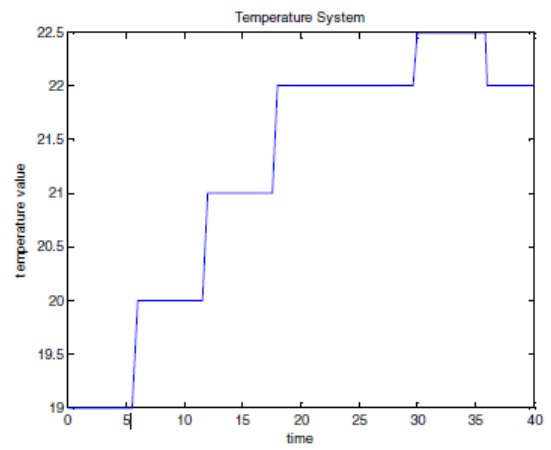
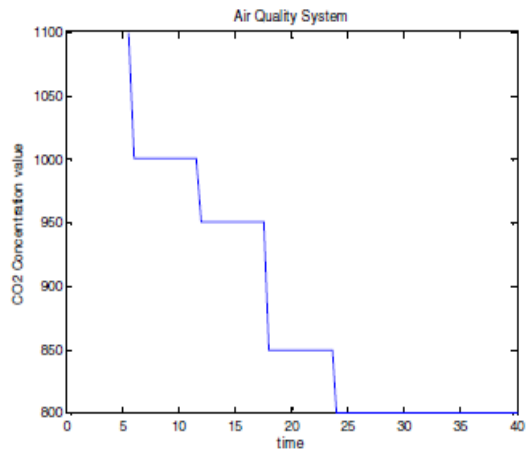
Το πρόγραμμα Matlab-Simulink χρησιμοποιείται για την κατασκευή του μοντέλου του συστήματος ελέγχου. Οι αρχικές τιμές καθορίζονται ως εξής: $P_T(0) = 8W$, $P_L(0) = 10W$, και $P_W(0) = 10W$. Κάθε αύξηση ορίζεται ως 0.02, και το σύνολο των σημείων είναι καθορισμένο $T_{set} = 22$, $L_{set} = 800$, $W_{set} = 800$. Η βασική ιδέα για το κεντρικό σχεδιασμό των ελεγκτών είναι ότι όταν δεν μπορούν να επιτύχουν οι τοπικοί ελεγκτές την καθορισμένη τιμή, ο κεντρικός ελεγκτής θα τους παράσχει τη μεγαλύτερη δύναμη για την γρήγορη επίτευξη της επιθυμητής τιμής. Για τον ελεγκτή θερμοκρασίας, η θερμοκρασία εξόδου και το $P_T(k)$ παρουσιάζονται στην Εικόνα 31. Η Εικόνα 32 δείχνει τη συγκέντρωση του CO_2 και την ισχύ κατανάλωσης $P_W(k)$.

Για το σύστημα φωτισμού, η διαχείριση της δύναμης ροής από τον κεντρικό ελεγκτή χρησιμοποιείται για να ελέγξει όλα τα φώτα και κανένας συγκεκριμένος έλεγχος δεν χρησιμοποιείται. Το φως που παράγεται πρέπει πάντα να διατηρείται στο διευκρινισμένο επίπεδο. Η Εικόνα 33 παρουσιάζει το εξωτερικό φως περιβάλλοντος, τη $P_L(k)$ και το επίπεδο φωτισμού. Μπορούμε να δούμε ότι το επίπεδο φωτισμού διατηρείται στα υψηλότερα επίπεδα άνεσης εξαιρετικά καλά.

Το γενικό επίπεδο άνεσης μπορεί επίσης να εξεταστεί. Κατ' αρχάς, υποθέστε ότι κάθε στόχος του σχεδίου είναι ίσης σημασίας, το οποίο σημαίνει ότι $\omega_1=\omega_2=\omega_3=1/3$. Το γενικό επίπεδο άνεσης παρουσιάζεται στην Εικόνα 34.

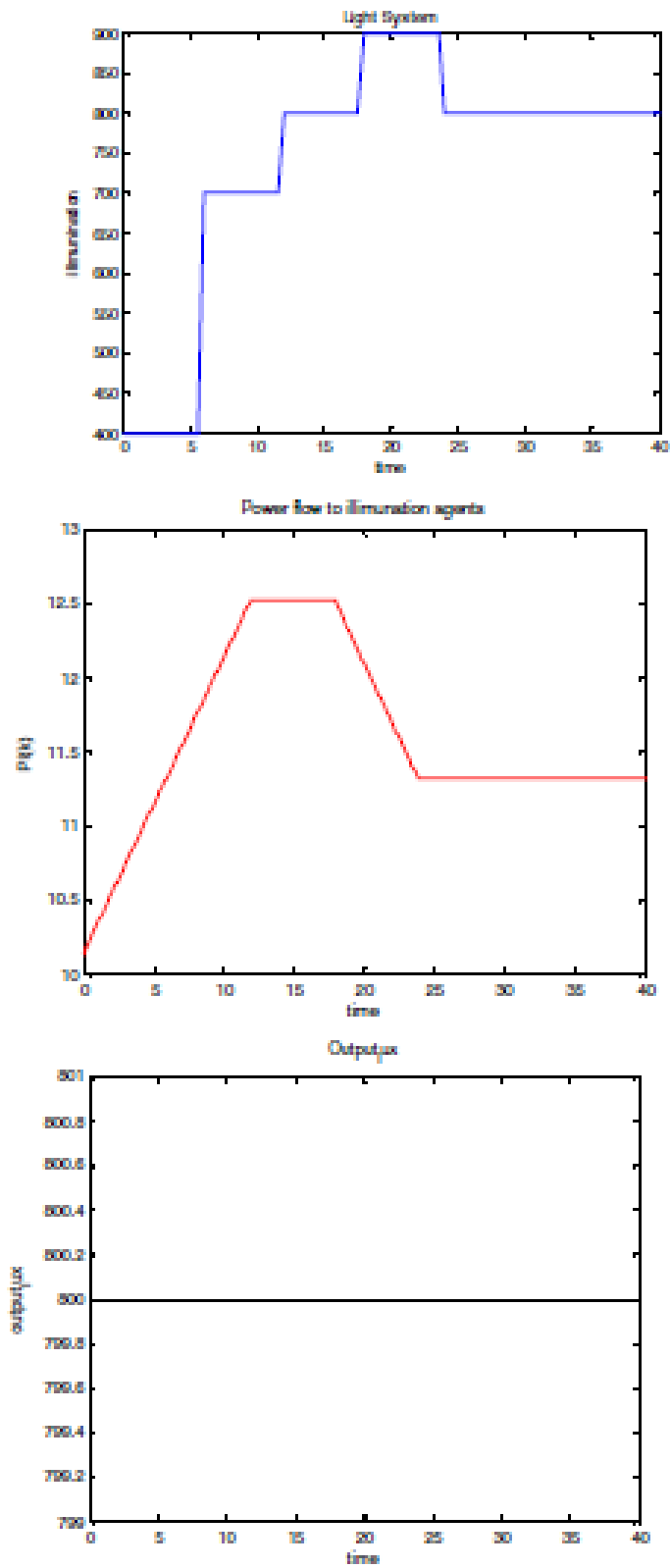
Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, η τιμή άνεσης συγκλίνει στο 1 με την αυξανόμενη δύναμη που διέρχεται από τους τρεις τοπικούς agent-controllers. Όταν οι σημαντικοί συντελεστές επαναρυθμίζονται ως $\omega_1=1/2$, $\omega_2=1/2$, $\omega_3=0$, η γενική άνεση αλλάζει όπως φαίνεται στην Εικόνα 35. Μπορούμε να δούμε ότι οι διαφορετικοί συνδυασμοί των συντελεστών κάνουν τη σημαντική διαφορά στις γενικές τιμές άνεσης.

Ένα έξυπνο και βιώσιμο κτήριο μπορεί όχι μόνο να λειτουργήσει όταν είναι συνδεδεμένο με ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά λειτουργεί επίσης και μέσω ενός απομονωμένου τρόπου διαμόρφωσης. Για παράδειγμα, με την παρουσία των ελαττωμάτων των συστημάτων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ή οι απαράδεκτα υψηλές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής, το κτήριο μπορεί να αποσυνδεθεί από το κύριο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και να λειτουργεί σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Σε αυτό το σενάριο, το κτήριο μπορεί να τροφοδοτείται από *microsources*. Στην περίπτωση αυτή, τα *microsources* γενικά αντιπροσωπεύουν την ηλεκτροπαραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ή / και συστήματα μπαταριών και υποθέτουμε ότι η συνολική ισχύς από τα *microsource* είναι $P_{ολικό}=30W$. Η δύναμη που αποστέλλεται στους τοπικούς agent-controllers είναι $P=10W$ και η υπόλοιπη δύναμη τροφοδοτεί το φορτίο. Για αυτή την κατάσταση έκτακτης ανάγκης, το αποτέλεσμα προσομοίωσης φαίνεται στην Εικόνα 36. Μπορούμε να δούμε ότι κατά τη στιγμή του 30^{ου} δευτερολέπτου, όταν το σύστημα ελέγχου είναι ενεργοποιημένο σε λειτουργία έκτακτης ανάγκης, το συνολικό επίπεδο άνεσης καθίσταται χαμηλότερη, λόγω της ανεπάρκειας της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος από τα *microsources*.

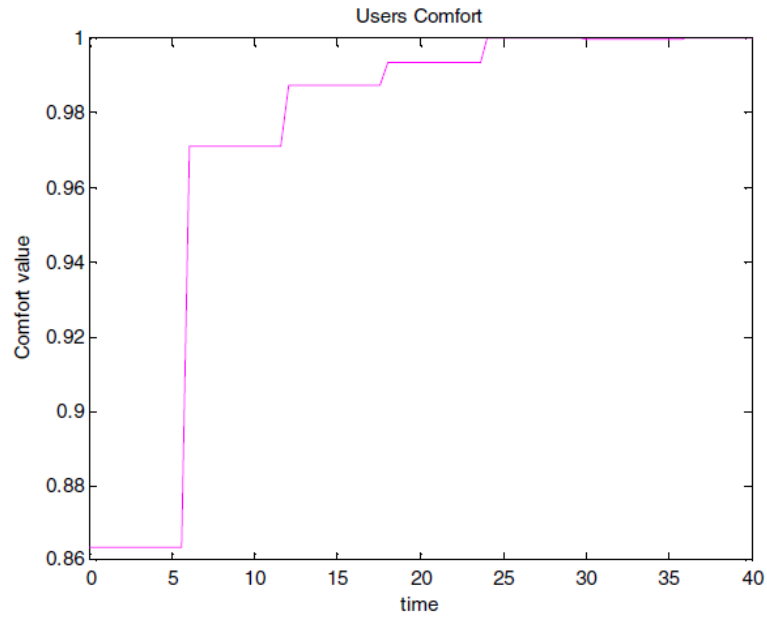


Εικόνα 31: Τιμή Θερμοκρασίας (από αισθητήρες) και $P_T(k)$. [Zhang L. κ.α., 2010]

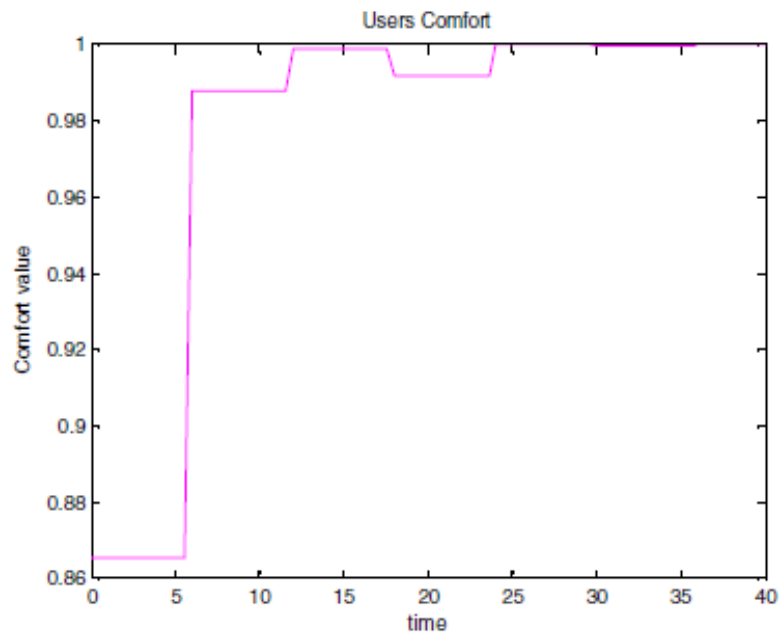
Εικόνα 32: Συγκέντρωση CO_2 (από αισθητήρες) και $P_W(k)$. [Zhang L. κ.α., 2010]



Εικόνα 33: Φως περιβάλλοντος (από αισθητήρες), κατανάλωση ενέργειας $P_L(k)$ και επίπεδο φωτισμού. [Zhang L. κ.α., 2010]

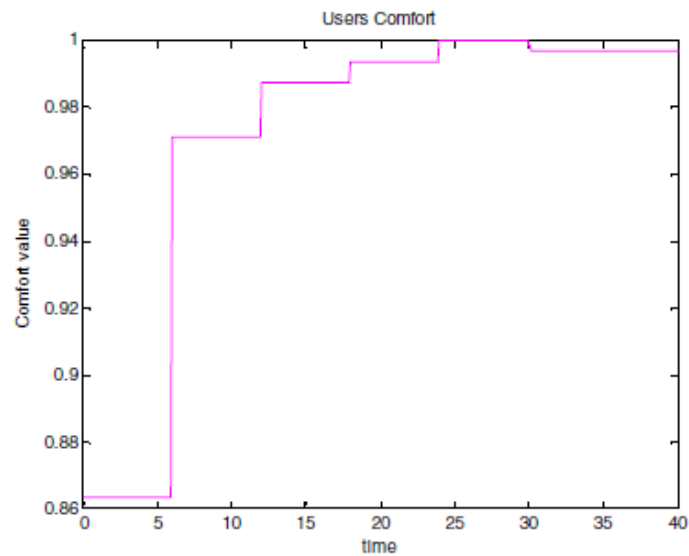


Εικόνα 34: Επίπεδο άνεσης με ίσο ω . [Zhang L. κ.α., 2010]

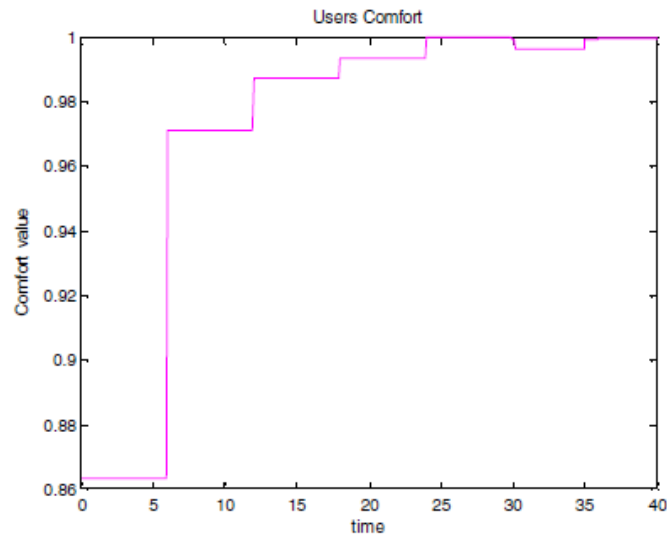


Εικόνα 35: Επίπεδο άνεσης με τιμές συντελεστών $\omega_1 = 1/2$, $\omega_2 = 1/2$, $\omega_3 = 0$. [Zhang L. κ.α., 2010]

Μετά το 35 δευτερόλεπτο, οι agents φορτίου αρχίζουν να εργάζονται προκειμένου να πέσουν ορισμένες ποσότητες φορτίων έτσι ώστε να παρέχεται αρκετή ενέργεια για να τον τοπικό agent-controller. Λόγω της αποκοπής φορτίου που ενεργοποιείται από τους agents του φορτίου, η συνολική άνεση επανέρχεται στο υψηλότερο επίπεδο. Η Εικόνα 37 απεικονίζει την τιμή άνεσης με τους agents του φορτίου.[Zhang L. κ.α., 2010]



Εικόνα 36: Εναλλαγή από την κανονική λειτουργία σε λειτουργία έκτακτης ανάγκης κατά τη στιγμή του 30^{ου} δευτερόλεπτου.[Zhang L. κ.α., 2010]



Εικόνα 37: Χρήση απόρριψης φορτίου κατά τη στιγμή του 35^{ου} δευτερολέπτου.[Zhang L. κ.α., 2010]

3.8.4 Πειραματική αξιολόγηση συστημάτων διαχείρισης ενέργειας στα κτήρια που χρησιμοποιούν σύνολα κανόνων

Η χρήση της ενέργειας στα κτήρια όπως τα δημόσια και ιδιωτικά κτήρια, τα σχολεία, τα νοσοκομεία, τα ξενοδοχεία και οι αθλητικές εγκαταστάσεις, αποτελούν το 30% της συνολικής εθνικής ζήτησης ενέργειας και συμβάλλουν περίπου στο 40% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην Ελλάδα [RAE, 2004]. Η θέρμανση και η ψύξη των κτηρίων καταναλώνει το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που χρησιμοποιείται σε οικιστικές χρήσεις. Λαμβάνοντας υπόψη αυτά, μπορεί να θεωρηθεί ότι το έξυπνο σύστημα διαχείρισης ενέργειας στα κτήρια BEMS μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απωλειών των κτηρίων στην Ελλάδα.

Σε αυτό το πλαίσιο, το πρόγραμμα «Νοημοσύνη Κτηρίων : εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια μέσω Ευφυούς Ελέγχου και Επικοινωνιών (ESBi2C)», εφαρμόστηκε στην Ελλάδα, που στόχευε να αναπτύξει ένα έξυπνο BEMS βασισμένο στην κατάσταση αυτοματοποίησης του κτηρίου και στην τεχνολογία δικτύωσης που συνδέεται με προηγμένες τεχνικές πολλαπλών στόχων βελτιστοποίησης. Το παρουσιασμένο μοντέλο εφαρμόστηκε σε μια από τις εγκαταστάσεις του ανάδοχου προγράμματος, δηλαδή στα κτήρια γραφείων της εταιρίας «ZENON S.A.» στην Αθήνα, Ελλάδα.

Το συγκεκριμένο κτήριο, που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή του μοντέλου αποτελείται από τρία (3) πατώματα και μια συνολική επιφάνεια 485.22m². Οι ζήτησεις ενέργειας του κτηρίου είναι πλήρως καλυμμένες από ηλεκτρική ενέργεια και μόνο. Πιο συγκεκριμένα, τα φορτία ενέργειας του κτηρίου αποτελούνται από τα εξής:

- Φωτισμός (μέσα και έξω από στο κτήριο).
- Υδραυλικός ανελκυστήρας.
- Κεντρικό σύστημα HVAC.
- Υπολογιστές και εξοπλισμός γραφείων (εκτυπωτές, fax).
- Δωμάτιο κεντρικών υπολογιστών (συμπεριλαμβανομένου του τηλεφωνικού κέντρου, των κεντρικών υπολογιστών, των δρομολογητών και του δικτυακού εξοπλισμού).
- Ηλεκτρικές αντλίες που χρησιμοποιούνται για να αποστραγγίσουν το βρόχινο νερό.

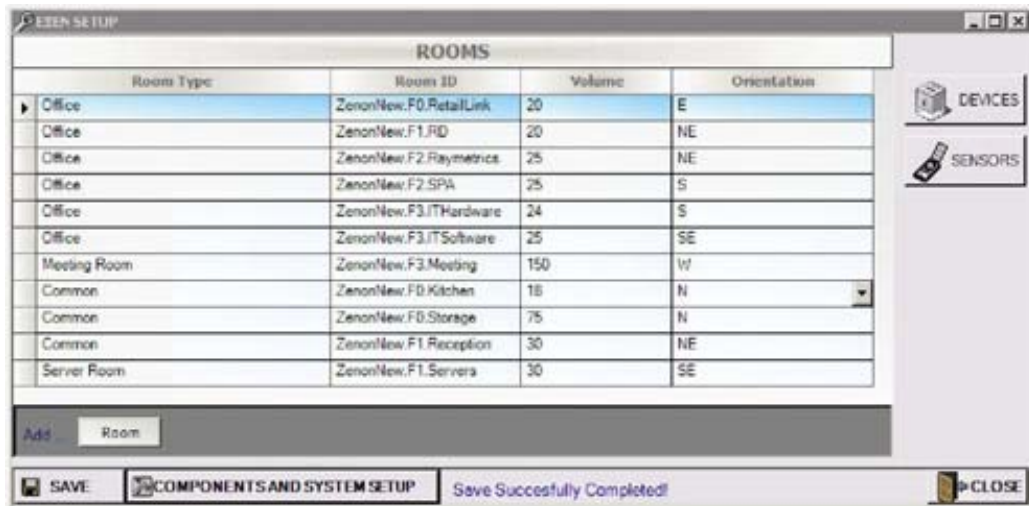
Το κτήριο είναι εξοπλισμένο με ένα τυπικό BEMS, με τα ακόλουθα εξαρτήματα:

- Χωριστοί μικροελεγκτές, αισθητήρες και ενεργοποιητές για τη φωτεινότητα, τη θερμοκρασία και για έλεγχο της ατμοσφαιρικής ποιότητας.
- Κεντρικό σύστημα HVAC με τους τοπικούς ελεγκτές για κάθε δωμάτιο στο κτήριο και τον κεντρικό με υπολογιστή έλεγχο.
- Σύστημα διανομής αέρα του συστήματος HVAC, το οποίο μπορεί χαρακτηρίζεται ως τοπικό, ανάλογα με τη ροή του αέρα. Οι ροές εισάγονται χωρίς οποιαδήποτε προηγούμενη θέρμανση ή ψύξη, ενώ κατόπιν προσαρμόζονται στην κατάλληλη θερμοκρασία μέσω της χρήσης εσωτερικών μονάδων. Επιπλέον, η ροή του εισερχόμενου αέρα μπορεί να χαρακτηριστεί συνήθως ως μεταβλητή, λόγω της ύπαρξης των κλιμάκων στους εξαεριστήρες των εσωτερικών μονάδων. Ο εισερχόμενος αέρας δεν προέρχεται από μια κεντρική διοικητική μονάδα αέρα αλλά από μια σωλήνωση, που εισάγει τον υπαίθριο αέρα στο σύστημα.
- Αισθητήρες για τον έλεγχο παρουσίας χρηστών (μετακίνηση ή όχι στις περιοχές της κατασκευής).
- Συσκευές κατανάλωσης ενέργειας.
- Χωριστό κεντρικό διοικητικό λογισμικό ελέγχου για τα δωμάτια.

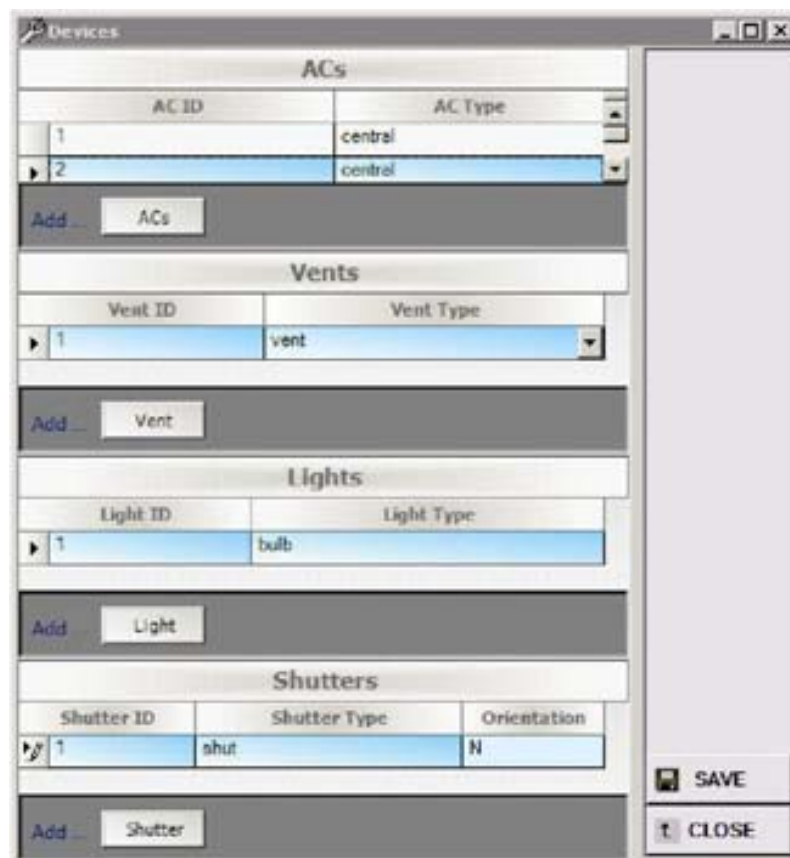
Η κατάλληλη «χαρτογράφηση» των περιοχών του κτηρίου και των στοιχείων του διαμορφώθηκαν από το παρουσιασμένο μοντέλο, όπως φαίνεται στις Εικόνες 38 και 39.

Ο εξοπλισμός και οι αισθητήρες κάθε δωματίου διαμορφώνονται μέσω των κουμπιών «DEVICES» και «SENSORS». Η οθόνη που φαίνεται στην Εικόνα 39 χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό και την ρύθμιση των συσκευών σε κάθε δωμάτιο του κτηρίου. Οι τύποι του κάθε στοιχείου που ορίζεται πριν από τον εξοπλισμό προστίθεται στα δωμάτια.

Σε αυτό το στάδιο δημιουργήθηκε μια πλήρως ενημερωμένη περιγραφή της δομής του κτηρίου, συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών προδιαγραφών για κάθε εξάρτημα. Μετά από αυτό, το μοντέλο εφαρμόστηκε, εξετάστηκε και βελτιστοποιήθηκε στο κτήριο για ένα χρονικό διάστημα περίπου ενός έτους. Η εφαρμογή ήταν πραγματικά είναι αναγκαία για τη μικρορύθμιση του μοντέλου, καθώς και για την απόφαση της λειτουργίας της σε ένα πραγματικό κτήριο καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του.



Εικόνα 38: Προδιαγραφές τύπων δοματίων.[Doukas Η. κ.α., 2006]



Εικόνα 39: Προδιαγραφές τύπου αισθητήρα.[Doukas Η. κ.α., 2006]

Τα αποτελέσματα εφαρμογής από τη λειτουργία του μοντέλου από τον Οκτώβριο του 2004 έως τον Οκτώβριο του 2005 ταξινομήθηκαν σύμφωνα με τη διαχείριση των

εσωτερικών συνθηκών άνεσης (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ατμοσφαιρική ποιότητα και φωτεινότητα) και την κατανάλωση ενέργειας. Τα αποτελέσματα για κάθε κατηγορία παρουσιάζονται πιο κάτω:

Θερμοκρασία - σχετική υγρασία - ποιότητα αέρα: Οι μετρήσεις των συνθηκών των δωματίων έδειξαν ότι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ποιότητας ήταν μέσα στα σχετικά πλαίσια και κυμαίνονταν ποικίλος σύμφωνα με τις απαιτήσεις χρηστών. Καταστάσεις δυσφορίας δεν εμφανίστηκαν σχεδόν ποτέ κάτι που οφείλεται ιδιαίτερα στον αποτελεσματικό έλεγχο της σχετικής υγρασίας και της ατμοσφαιρικής ποιότητας. Οι διαδικασίες προθέρμανσης και κλεισίματος των συσκευών συνέβαλαν στην ενεργειακή άνεση και το καλοκαίρι και το χειμώνα. Ειδικά το χειμώνα, ο εξωτερικός αέρας δεν χρησιμοποιήθηκε ποτέ για θέρμανση αλλά, ο έλεγχος παραθυρόφυλλων επέτρεψε στο φως των ηλιαχτίδων να βελτιώσει τις διαδικασίες θέρμανσης.

Φωτεινότητα: Τα επίπεδα φωτεινότητας μέσα στα δωμάτια της κατασκευής εξασφάλισαν επίσης άνετες συνθήκες. Επιπλέον, ένας ικανοποιητικός έλεγχος των παραθυρόφυλλων και των φώτων πραγματοποιήθηκε. Μερικές φορές, η προτεραιότητα για την εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της λειτουργίας HVAC στα κλειστά παραθυρόφυλλα κατά τη διάρκεια των θερινών, πολύ καυτών ηλιόλουστων ημερών, αποδείχθηκαν περισσότερο ενεργειακά αποδοτικές.

Εξοικονόμηση ενέργειας: Τα συνολικά στοιχεία λειτουργίας της κατανάλωσης ενέργειας του κτηρίου σε σύγκριση με αυτά του προηγούμενου χρόνου, αποκάλυψαν μια σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 10% περίπου. Η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του κτηρίου μειώθηκε από τα 106.5MWh (Οκτώβριος 2003 - Οκτώβριος 2004) στα 95MWh (Οκτώβριος 2004 - Οκτώβριος 2005). Επίσης η εξέταση των συλληφθέντων πληροφοριών έδειξε ότι η εξοικονόμηση ενέργειας ήταν υψηλότερη κατά τη διάρκεια των θερμών ημερών, γεγονός που οφειλόταν κυρίως στη βελτιστοποιημένη χρησιμοποίηση του ηλεκτρομηχανικού εξοπλισμού και της αποφυγής των HVAC και των φορτίων φωτισμού στα άδεια δωμάτια του κτηρίου.

Το μοντέλο, το οποίο χρησιμοποίησε ένα έμπειρο σύστημα βασισμένο στη γνώση για να ελέγξει τα λειτουργικά στοιχεία του κτηρίου, να πραγματοποιήσει τη διάγνωση των εσωτερικών συνθηκών και να βελτιστοποιήσει την ενεργειακή λειτουργία του, μείωσε την κατανάλωση ενέργειας στα ικανοποιητικά επίπεδα. Τα πρόσθετα και όχι τόσο περίπλοκα

μέτρα μπορούν να διαμορφωθούν ώστε να μειωθεί περισσότερο η κατανάλωση ενέργειας χωρίς διακινδύνευση της υγείας των χρηστών. Ειδικότερα, για το συγκεκριμένο υπό εξέταση κτήριο, μερικά βιώσιμα μέτρα είναι τα ακόλουθα:

- Αντικατάσταση των υπαρχόντων λαμπτήρων χαμηλής αποδοτικότητας με τους αποδοτικότερους λαμπτήρες φθορίου στις περιοχές δημόσιας χρήσης.
- Εγκατάσταση των θερμομονωτικών κουρτινών στα γραφεία με έναν νότιο προσανατολισμό, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας, ειδικά τη θερινή περίοδο.
- Εγκατάσταση κινητήρων για την αυτοματοποίηση των υπαρχουσών σκιών στις περιοχές των γραφείων.
- Εγκατάσταση μεταβλητών ταχύτητας VSD στους ανεμιστήρες και τις αντλίες.
[Doukas H. κ.α., 2006]

Κλείνοντας καταλήγουμε όπως προαναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου στο ότι η Ενεργειακή Διαχείριση του κτηρίου, είναι και πρέπει να είναι μια συστηματική, οργανωμένη και συνεχής δραστηριότητα που αποτελείται από ένα προγραμματισμένο σύνολο διοικητικών, τεχνικών και οικονομικών δράσεων που στοχεύουν στην εξασφάλιση συνθηκών που να κάνουν την παραμονή των χρηστών στα κτήρια άνετη με την ελάχιστη δυνατή ενεργειακή κατανάλωση, και συνετή χρήση του ενεργειακού εξοπλισμού. Οι δράσεις αυτές έχουν ως κριτήρια την οικονομική αποδοτικότητα και αύξηση του κέρδους των διαφόρων φορέων διαχείρισης κτηρίων από την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, την διατήρηση ή βελτίωση της ασφάλειας και ποιότητας ζωής στα κτήρια, την διατήρηση ή βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος και τον έλεγχο του συνολικού λειτουργικού ενεργειακού κόστους και όχι απλά της καταναλισκόμενης ποσότητας καυσίμων.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ / ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ενεργειακή διαχείριση μπορεί να επιτευχθεί κατ' αρχήν μέσω του βιοκλιματικού σχεδιασμού των κτηρίων, ο οποίος βοηθάει τα κτήρια να μπορούν να εκμεταλλεύονται τις φυσικές πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ενέργεια, ο αέρας κλπ. με αποτέλεσμα να εξοικονομούν άλλων ειδών ενέργειες, όπως ηλεκτρική ενέργεια για φωτισμό, θέρμανση/ψύξη κλπ.

Η βελτιστοποίηση της ενεργειακής διαχείρισης τεχνικά μπορεί να επιτευχθεί μέσω επεμβάσεων λειτουργικού εξορθολογισμού με την βελτιστοποίηση των εκκινήσεων και των διακοπών λειτουργίας του εξοπλισμού, την διακοπή της λειτουργίας του εξοπλισμού στις χρονικές περιόδους χαμηλής ζήτησης και, κατά συνέπεια, χαμηλής απόδοσης και του καθορισμού του σημείου λειτουργίας σύμφωνα με άλλα στοιχεία όπως χρονοδιάγραμμα, εξωτερική θερμοκρασία κλπ.

Ανάλογα με το ύψος του διαθέσιμου κεφαλαίου επένδυσης και ανάλογα με τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις σε υφιστάμενα κτήρια μπορούν να επιτευχθούν διάφορα επίπεδα εξοικονόμησης ενέργειας. Η διακοπή λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού όταν δεν είναι απαραίτητα και η κινητοποίηση των ενοίκων για αποδοτική χρήση της ενέργειας είναι χαμηλού ή και μηδενικού κόστους μέτρα που μπορούν να εφαρμοστούν στα κτήρια. Οι βελτιώσεις στο σχεδιασμό κάποιου νέου κτηρίου, η εισαγωγή συστημάτων ελέγχου, κεντρικών συστημάτων θέρμανσης, συστήματα κεντρικής ενεργειακής διαχείρισης κλπ., οι βελτιώσεις στο φωτισμό, οι βελτιώσεις στον κλιματισμό / εξαερισμό, η χρήση συστημάτων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, της αιολικής ενέργειας και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ή ακόμα η χρήση συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας είναι μέτρα με κάποιο σημαντικό κόστος επένδυσης.

Όταν εξετάζονται μέτρα αυτού του είδους, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ενεργειακά και τα περιβαλλοντικά οφέλη που μπορούν να κατορθωθούν, η συντήρηση και το απαιτούμενο επίπεδο τεχνικών γνώσεων και το διαθέσιμο κεφάλαιο και ο χρόνος απόσβεσης.

Όταν εντοπισθούν πιθανές δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας, θα πρέπει να δρομολογηθεί ένα κατάλληλο σχέδιο δράσης το οποίο θα επιτρέπει την καλύτερη οργάνωση των ενεργειών που πρέπει να γίνουν στο κτήριο.

Από ένα τυπικό πρόγραμμα δράσης ενεργειακής διαχείρισης πρέπει να απαιτείται μια προκαταρκτική επιθεώρηση της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου έτσι ώστε να εκτιμηθεί η υφιστάμενη κατάσταση. Ακολούθως πρέπει να εξετάζεται η απόδοση των απλών μέτρων εξοικονόμησης και της σωστής συντήρησης, έτσι ώστε να είναι πιθανόν να αποφευχθούν πιο δαπανηρές δράσεις. Τέλος αν είναι απαραίτητο θα πρέπει να εκτελούνται μέτρα αυξημένου κόστους, τα οποία θα πρέπει να είναι οικονομικώς βιώσιμα.

Επίσης η διαθεσιμότητα και η χρήση προηγμένων εργαλείων πληροφορικής, όπως στα συστήματα BEAMES, συμβάλλουν στον εκσυγχρονισμό του σχεδιασμού των κτηρίων και των τεχνικών της κατασκευής. Οι γνώσεις αυτών των τεχνικών και των εργαλείων πρέπει να αποθηκεύονται σε διάφορα μέσα όπως CD, βίντεο, κλπ έτσι ώστε να μπορέσει να κυριαρχήσει το τεράστιο ποσό των γνώσεων που απαιτούνται για την αντιμετώπιση αποφάσεων πολυκριτηρίων και περιορισμών. Επίσης η χρήση των συστημάτων αυτών μπορεί να παρέχει τις γρήγορες και οικονομικώς αποδοτικές βελτιώσεις σε επείγοντα περιβαλλοντικά προβλήματα, που θα στοχεύουν στη βελτίωση της ευημερίας των κτηρίων, από πλευράς ασφάλειας, καλύτερης εσωτερικής ατμοσφαιρικής ποιότητας, μειωμένων δαπανών για τους ενεργειακούς λογαριασμούς και στην αντιμετώπιση των κοινωνικών στόχων ή των περιορισμών, όπως η μείωση των εκπομπών κατανάλωσης ενέργειας και καυσίμων προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, τη ρύπανση, τη βέλτιστη διαχείριση της διάθεσης απορριμμάτων και νερού, κ.λπ.

Τα νευρικά δίκτυα, που χρησιμοποιούνται μέσα στα συστήματα BEAMES μπορούν να θεωρηθούν ως γενικευμένα μοντέλα, τα οποία προσαρμόζονται σε έναν συγκεκριμένο πρόβλημα μέσω της ικανότητας τους να «μαθαίνουν» πώς να παρεμβάλλουν ομαλά το ελλείπον μέρος από τη μερική πληροφορία που τους δίνεται και κατά συνέπεια να βοηθούν τα συστήματα BEAMES να λειτουργούν ως εργαλεία αυτοδιδασκαλίας που τους επιτρέπει

να αναπτύσσονται και να βελτιώνονται συνεχώς συμπεριλαμβάνοντας στη γνώση τους όλες τις εξελίξεις που εμφανίζονται συνεχώς.

Επιπρόσθετα η ανάπτυξη των συστημάτων MAS αποτελεί ένα πολύ καλό σύστημα για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων. Μέσω της συλλογής πληροφοριών, γίνεται σωστή διαχείριση της ενέργειας, επειδή το σύστημα μπορεί να καταλάβει την ύπαρξη ή μη προσώπων στο κτήριο, ούτως ώστε να θέτονται σε λειτουργία τα υποσυστήματα των agents. Με τη λειτουργία των υποσυστημάτων και ανάλογα με τις πληροφορίες που συλλέχτηκαν, τα συστήματα κλιματισμού, φωτισμού κλπ. μεταπίπτουν από την κατάσταση κανονικής λειτουργίας σε κατάσταση λειτουργίας εξοικονόμησης ενέργειας. Έτσι το πρόβλημα της περιττής κατανάλωσης ισχύος στην περίπτωση καμίας παρουσίας στο κτήριο μειώνεται σημαντικά.

Επιπλέον τα συστήματα προσέγγισης μπορούν εύκολα να αξιοποιηθούν για την ανάλυση ενός υφιστάμενου κτηρίου και για τον εντοπισμό στοιχείων του που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας. Τα συστήματα αυτά πλεονεκτούν σε σχέση με άλλα που επικεντρώνονται κυρίως σε τεχνικά θέματα μόνο, γιατί επιτρέπουν στον αναλυτή να καθορίσει όχι μόνο την τεχνική, αλλά και τις οργανωτικές διαδικασίες που μπορούν να επιδέχονται παρεμβάσεις για την εξοικονόμηση ενέργειας καθώς και το ότι ενσωματώνουν τις αρχές της βιωσιμότητας και της αειφορίας με τρόπο κατάλληλο και μεθοδικό.

Τα συστήματα BEMS είναι σε θέση να παρακολουθούν και να ελέγχουν πολλές από τις δραστηριότητες και τις υπηρεσίες που συνδέονται με το κτήριο και ο ρόλος τους είναι σημαντικός για την καλή λειτουργία των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, που μπορούν να συμβάλουν στη συνεχή ενεργειακή διαχείριση των καθημερινών εργασιών ενός τυπικού κτηρίου με στόχο τη διατήρηση των συνθηκών άνεσης των χρηστών και την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας και κόστους.

Τα συστήματα επιτρέπουν την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτήρια, με τη μετατροπή της ενέργειας του κτηρίου που καταναλώνεται σε κανόνες και

τελικά σε ηλεκτρονικές εντολές για τους ενεργοποιητές και τελικά την υποστήριξη μιας απόφασης του συστήματος. Ειδικότερα, ένα αξιόπιστο ενεργειακό προφίλ μπορεί να δημιουργηθεί από το σύστημα, χρησιμοποιώντας εξειδικευμένες γνώσεις, και οι «λάθος αποφάσεις» μπορούν να εντοπιστούν και να εξαλειφθούν, μέσω της έξυπνης παρακολούθησης και του βελτιστοποιημένου ελέγχου εκκίνησης / διακοπής του κλιματισμού και του φωτισμού.

Με βάση τα αποτελέσματα της εφαρμογής των παραπάνω συστημάτων, μπορεί να θεωρηθεί ότι η λειτουργία του μοντέλου ήταν ικανοποιητική, δεδομένου ότι συνέβαλε στην βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα του κτηρίου, ενώ παράλληλα διασφαλίστηκε πιθανή εξοικονόμηση ενέργειας. Επιπλέον, η διασύνδεσή τους χαρακτηρίστηκε ως πολύ φιλική και εύκολη, με βάση τα σχόλια των χρηστών. Επιπρόσθετα, η ανοικτή αρχιτεκτονική του επιτρέπει την εύκολη και συνεχή ενημέρωση και την απεριόριστη επεκτασιμότητα τους. Επίσης, ο σχεδιασμός του μοντέλου επιτρέπει την εφαρμογή του σε ένα μεγάλο αριθμό κατηγοριών κτηρίων, ούτως ώστε να διασφαλίσει την ευελιξία του. Τέλος, με βάση την τρέχουσα μελέτη, φαίνεται σαφώς ότι η γνώση των εμπειρογνομόνων διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της ενεργειακής διαχείρισης των κτηρίων, δεδομένου ότι παρέχει τη δυνατότητα να διαμορφώνουν, με τη βοήθεια των κανόνων, ευφυείς παρεμβάσεις.

Από την εφαρμογή των συστημάτων ελεύθερης ψύξης στην Istanbul διαπιστώνεται ότι υπάρχει δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας κατά τη διάρκεια μιας σημαντικής περιόδου του έτους, ιδίως τους μήνες μετάβασης. Οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας με τη βοήθεια των συστημάτων ελεύθερης ψύξης ποικίλλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία του αέρα και τους μήνες. Όταν η θερμοκρασία του αέρα της προσφοράς είναι αυξημένη, ο κύκλος εξοικονόμησης μπορεί να παρέχει μεγαλύτερη δυνατότητα για εξοικονόμηση ενέργειας, ο οποίος μια δοκιμασμένη μέθοδος που επιτρέπει πολλές ώρες ελεύθερης ψύξης σε πολλές εφαρμογές με χαμηλότερο κόστος λειτουργίας.

Ακόμα το μοντέλο IDSS είναι χρήσιμο για την αστική προστασία του περιβάλλοντος και την αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας σε κτήρια, εξαιτίας της γνώσης και της οργάνωσης της βάσης γνώσεων. Μέσω του μοντέλου αυτού μπορεί να επιτευχθεί

ικανοποιητική υποστήριξη λήψης αποφάσεων των εγκαταστάσεων κλιματισμού ψύξης/θέρμανσης και της επιλογής πηγών για συστήματα HVAC με ισχυρή ικανότητα χειρισμού.

Τέλος κάποια συστήματα διαχείρισης ενέργειας μπορούν να λειτουργούν μέσω μιας εντολής που μπορεί να αποστέλλεται από το κινητό τηλέφωνο ή μέσω email για την καλύτερη και αποδοτικότερη λειτουργία των συστημάτων διαχείρισης ενέργειας στα κτήρια και εξοικονόμηση ενέργειας. Σε περίπτωση που ξεχάσουμε κάποια συσκευή ανοιχτή στο σπίτι και φύγουμε, π.χ. φώτα, τηλεόραση, θερμοσίφωνα, κεντρική θέρμανση, σύστημα κλιματισμού κλπ., να μπορούμε μέσω αυτής της υπηρεσίας να τα κλείνουμε όπου και αν βρισκόμαστε. Το σύστημα αυτό δίνει στο χρήστη πλήρη έλεγχο γεγονότων και καταστάσεων που συμβαίνουν στο κτήριο. Μπορεί ακόμα να μετρά κάποιες παραμέτρους των κτηρίων μέσω αισθητήρων, όπως για παράδειγμα τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία του κτηρίου κλπ., και να αποστέλλονται ειδοποιήσεις στο χρήστη για την κατάσταση που επικρατεί ούτως ώστε να μπορεί να την χειριστεί ανάλογα με τις ανάγκες του, π.χ. να τεθούν σε λειτουργία ηλεκτρικές συσκευές σε οποιοδήποτε σημείο του σπιτιού (φώτα, συστήματα συναγερμού, θερμοσίφωνα, ηλεκτρικά καλοριφέρ - σώματα κλπ). επιπλέον με τη μέτρηση της εξωτερικής θερμοκρασίας μπορούν να λειτουργήσουν τέντες και τα ρολά κλπ., έτσι ώστε να κρατήσουμε τις εσωτερικές συνθήκες στο κτήριο σε επίπεδα άνεσης για τους χρήστες. Μέσω αυτών των συστημάτων θα υπάρχει η δυνατότητα να αντισταθμίσουμε την θέρμανση βάση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και την φωτεινότητα του χώρου με την εξωτερική φωτεινότητα φέρνοντας τα φωτιστικά σε επιθυμητό επίπεδο και να ελέγχουμε τον αερισμό και κλιματισμό δημιουργώντας συνθήκες άνεσης και ταυτόχρονα εξοικονομώντας ενέργεια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ / ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας) (1987). Εθνικό Συντονιστικό Κέντρο στους τομείς ΑΠΕ/ΟΧΕ/ΕΞΕ [1987].

Ασημακοπούλου Ελένη, Σιούλη Αλεξάνδρα (2003). “Ο βιοκλιματικός παράγοντας στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική των Κυκλάδων: (τα παραδείγματα της Άνδρου, Τήνου, Κέας)” Διάλεξη. Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Σ. Κωστούλα (2001). “Η Συμβολή της Ελληνικής Παραδοσιακής Αρχιτεκτονικής στο Σύγχρονο Βιοκλιματικό Σχέδιο στην Ελλάδα”, δημοσίευση στο 2ο Διεπιστημονικό Συνέδριο του Μετσοβίου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας (ΜΕ.Κ.Δ.Ε) του Ε.Μ.Π. στο Μέτσοβο.

Π. Α. Μιχελής (1981). “Το ελληνικό λαϊκό σπίτι”, Φροντιστηριακές Εργασίες Α'. Εκδ. Ε.Μ.Π. Αθήνα.

Π. Τζελέπης (1997). “Λαϊκή Ελληνική Αρχιτεκτονική”, Εκδ. Θεμέλιο. Αθήνα.

Κ. Τσίππρας (2000). “Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτηρίων”, Αθήνα: Π-Systems International SA.

ASHRAE, ASHRAE-fundamental-handbook, American society of heating, Refrigerating and air-conditioning engineers. Atlanta; (2001).

ASHRAE (2001). “Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential”, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2001.

G. Brundtland, (1987). “Our common future: The World Commission on Environment and Development”, Oxford University Press, Oxford.

Husamettin Bulut, Mehmet Azmi Aktacir (2010). “Determination of free cooling potential: A case study for _Istanbul, Turkey”, *ScienceDirect*, 0306-2619.

Bulut H., Buyukalaca O., Yilmaz T. Bin weather data for Turkey. *Appl Energy* 2001;70(2):135–55.

Caudana B., Conti F., Helcke G. and Pagani R., (1994). “A PROTOTYPE EXPERT SYSTEM FOR LARGE SCALE ENERGY AUDITING IN BUILDINGS”, *Pergamon*, 0031-3203(94)00151-0.

Commission of the European Communities, (2001). “Towards a European strategy for the security of energy supply,” Green Paper, Office for Official Publications, Luxemburg, COM (2000), 769 final.

Daly H. (1993). “Postscript: Some common misunderstandings and further issues concerning a steady-state economy,” *Valuing the Earth: Economics, ecology, ethics*, H.E. Daly and K.N. Townsend (Editors), The MIT Press, Cambridge, pp. 365–382.

Doukas H., Patlitzianas K.D., Iatropoulos K., Psarras J. (2006). “Intelligent building energy management system using rule sets”, *Building and Environment*, 42 (2007) 3562–3569.

EEC (1993). Council Directive 93/76/EEC, “To limit Carbon Dioxide Emissions by improving of Energy Efficiency,” OJ L 237, 22.9.1993.

EU, Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council (2002). “On the Energy Performance of Buildings,” OJ L 1, 4.1.2003.

European Environment Agency (EEA) (2004).”Annual European community greenhouse gas inventory”, EEA report 1990–2002.

European Commission Directorate General for Energy and Transport (2003). “European energy and transport trends to 2030”.

Eurostat (2005). “Energy balance sheets. Data 2002–2003”, Luxemburg: Eurostat.

2nd European Symposium (2004). “Steps towards a 2000 watt per capita society—The White Paper on R&D”, Zurich.

International Energy Agency (IEA), (2002). Energy Policies of IEA Countries 2002 Review, OECD/IEA, Paris.

The International Organization for Standardization (ISO) (Dec. 1994), “Moderate thermal environments—determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort”, 2nd ed. ISO 7730:1994.

The International Organization for Standardization (ISO) (Apr. 2006).”Building environment design—indoor air quality—methods of expressing the quality of indoor air for human occupancy”. *ISO/DIS* 16814.

The International Organization for Standardization (ISO) (Jun. 2002). “Lighting of work places—part 1: indoor”, *ISO/CIE* 8995-1:2002.

Kouloura T.C., Genikomsakis K.N., and Protopapas A.L. (2008). “Energy Management in Buildings: A Systems Approach“, *Inc. Syst Eng.*, 11: 263–275.

Ying L., Guoyun L., Mei X., Xiang W. (2009). “Intelligent Decision Support System for Cooling/Heating Sources Selection of City Buildings Based on Environment and Energy Management”, *USST*, 978-1-4244-4639-1/09.

Regulating Authority for Energy (RAE) (2004).”The energy system in Greece”.

Wacker PC. (1989). “Economizer savings study”, *ASHRAE* 95:47–51.

Wang Z., Yang R. and Wang L. (2010). ‘Multi-agent Intelligent Controller Design for Smart and Sustainable Buildings’, *Department of Electrical Engineering and Computer Science University of Toledo*, 978-1-4244-5883-7/10.

Zhang L., Zhang G., Shen B., Xie X., Yan Q. (2010). “Building Energy Saving Design Based on Multi- Agent System”, *Shandong Jianzhu University Jinan*, 978-1-4244-5046-6/10.

[1]http://www.spitia.gr/greek/meleti_efarmogi/bioclimate/bioclimate.htm

[2]<http://katsimigas.wordpress.com/bioklimatismos/>

[3] Διεπιστημονικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Ερευνών (Δ.Ι.Π.Ε.) & ΥΠΕΧΩΔΕ. Οικολογική Δόμηση. Ελληνικά Γράμματα, Αθήνα, 2000.

[4]http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/bioklimatikos_sxediasmos.htm

[6]<http://www.mgavrielatos.gr/SolarSicc.htm>

[7]<http://www.mgavrielatos.gr/Floor.htm>

[8]<http://www.koubarakis.gr/pdf/home-solar-collectors.pdf>

[9]http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/pathitika_iliaka_systimata.htm

[10]http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/pathitika_iliaka_systimata_ameso_kerdos.htm

[11]http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/pathitika_iliaka_systimata_emmeso_kerdos_ilia_kos_xoros.htm

[12]http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/pathitika_iliaka_systimata_emmeso_kerdos_ilia_koi_toixoi.htm

[13] ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας), Εθνικό Συντονιστικό Κέντρο στους τομείς ΑΠΕ/ΟΧΕ/ΕΞΕ [1987]

[14] ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας), Εθνικό Συντονιστικό Κέντρο στους τομείς ΑΠΕ/ΟΧΕ/ΕΞΕ [1987], http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermans/energeiaki_diaxeirisi_metra_exikonon.htm

[15]Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας [ΚΑΠΕ]

[16]Ευώνυμος Οικολογική Βιβλιοθήκη: Οικολογικά Κτίρια σε Αειφόρες Πόλεις.