

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ  
ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ  
ΜΕΣΩ ΒΕΜΣ**

Δικαίος Ιωάννης

Επιβλέποντες: Δρ. Ιωάννης Λεκάκης  
Αντώνιος Μαϊτός

Πειραιάς, Έτος 2019



ΔΕΛΤΙΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ			
<i>Κωδικός Εργασίας</i>	Ο/ΑΑ-ΥΥΥΥ	<i>Ακαδ. έτος</i>	2018-2019
<i>Τίτλος Εργασίας</i>	Παρακολούθηση και έλεγχος μικροκλίματος εργαστηριακής αίθουσας μέσω BEMS		
<i>Φοιτητ-ές / -ριες</i>	Δικαίος Ιωάννης		
<i>Τμήμα</i>	Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε.		
<i>Επιβλ. Καθ.</i>	Λεκάκης Ιωάννης		
<i>Ημερομηνία</i>	04-03-2019		
<i>Λέξειςκλειδιά</i>	Κτιριακοί Αυτοματισμοί, Ενέργεια, Αισθητήρες		
<p><b>Περίληψη:</b></p> <p><i>Η πτυχιακή αυτή έχει σκοπό την εγκατάσταση τοπικού συστήματος διαχείρισης ενέργειας (ΣΔΕ) και ελέγχου μικροκλίματος σε εργαστηριακή αίθουσα στη ΣΤΕΦ.</i></p> <p><i>Στόχος είναι η αξιόπιστη μέτρηση των εσωτερικών συνθηκών και ο έλεγχος μιας τερματικής διάταξης αερισμού εντός της εργαστηριακής αίθουσας χρησιμοποιώντας τους ενσωματωμένους αλγόριθμους ελέγχου του ΣΔΕ.</i></p> <p><i>Η τοπική διάταξη διαθέσιμη στο εργαστήριο ήταν οι ανεμιστήρες, οι οποίοι συνδέθηκαν με το ΣΔΕ, το οποίο ρυθμίστηκε με σκοπό τη διατήρηση της θερμοκρασίας του εργαστηρίου στα επιθυμητά επίπεδα και τη λειτουργία των ανεμιστήρων μόνο όταν είναι απαραίτητη. Η λειτουργία του συστήματος αυτού υπήρξε επιτυχής.</i></p>			

PROJECT INFORMATION SHEET			
<i>Code number</i>	O/I-JJ-YYYY	<i>Academic year</i>	2018-2019
<i>Title</i>	Implementation of a BEMS in a laboratory classroom		
<i>Students</i>	Dikaios Ioannis		
<i>Department</i>	Mechanical Engineering		
<i>Advisor</i>	Lekakis Ioannis		
<i>Date</i>	03-04-2019		
<i>Keywords</i>	Building Automations, Energy, Sensors		
<p><b>Abstract:</b></p> <p><i>The purpose of this thesis is the implementation of a digital controller for energy management and microclimate control in a laboratory classroom.</i></p> <p><i>The objectives are:</i></p> <p><i>the data acquisition of the classroom temperature conditions, and the control of the ventilation terminal devices in order to maintain a set point air temperature within the laboratory.</i></p> <p><i>This energy management system using the real-time measurements (in time series form) together with appropriate software for data analysis and control of the ventilation fans performed well.</i></p>			



## Δήλωση ακαδημαϊκής ακεραιότητας

(*Declaration of academic integrity*)

Ο υπογράφων υπεύθυνα δηλώνει ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο «Εδώ γράφεται ο τίτλος της εργασίας» είναι προϊόν δικής μου δουλειάς και ότι όλες οι πηγές που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη σύνταξη της αναφέρονται πλήρως.

Ιωάννης Δικαίος\_\_\_\_\_



## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον Δρ. Ιωάννη Λεκάκη για όλες τις συμβουλές που μου έδωσε όλα αυτά τα χρόνια στη σχολή και κυρίως για την ευκαιρία να εκπονήσω τη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία και να διευρύνω τους ορίζοντές μου. Επίσης ευχαριστώ τον κύριο Αντώνιο Μαϊτό για όλες τις υποδείξεις του και τις συμβουλές που μου έδωσε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Σύντομη Παρουσίαση και Ιστορικό των Συστημάτων Διαχείρισης Ενέργειας.....	9
1.1	Εισαγωγή	9
1.2	Ορισμός των B.E.M.S.	9
1.3	Λειτουργία των B.E.M.S.	9
1.3.1	Κεντρικός Σταθμός Επιτήρησης και Ελέγχου	11
1.3.2	Απομακρυσμένα κέντρα ελέγχου	11
1.3.3	Όργανα λήψεως πληροφοριών και εκτέλεσης εντολών	13
1.4	Πρωτόκολλα επικοινωνίας	14
1.4.1	BACnet	15
1.4.2	Modbus	17
1.5	Ιστορικό των BEMS	18
1.6	Πλεονεκτήματα των BEMS	20
1.7	Μειονεκτήματα των BEMS	21
1.8	Επιμέρους προβλήματα/αδυναμίας των BEMS	21
2	Βασικές λειτουργίες των BEMS και εφαρμογές στον κλιματισμό κτιρίων.....	23
2.1	Εισαγωγή	23
2.2	Εφαρμογή σε συστήματα Θ.Ψ.Κ.	26
2.2.1	Θέρμανση	26
2.2.2	Κλιματισμός-Αερισμός	27
3	Αισθητήρια για BEMS.....	31
3.1	Γενικά για τα αισθητήρια	31
3.2	Αισθητήρια για συστήματα HVAC	32
3.2.1	Αισθητήρια θερμοκρασίας	32
3.2.2	Θερμοζεύγη	33
3.2.3	Θερμοηλεκτρικές αντιστάσεις	35
3.2.4	Θερμίστορες	37
3.2.5	Πρεσσοστάτες	38
3.2.6	Μανόμετρα	38
3.2.7	Ροόμετρα	39
3.2.8	Αισθητήρια λειτουργίας	39
3.3	Προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα BEMS σε σχέση με τους αισθητήρες	40
4	Εγκατάσταση του BEMS στο εργαστήριο .....	41
4.1	Σκοπός της εγκατάστασης	41
4.2	Δομή συστήματος	42

4.3	Κεντρικός σταθμός ελέγχου και επιτήρησης	43
4.4	Λογισμικό διεπαφής	43
4.5	ΚΟΒΡΑAssistant	48
4.6	Λογισμικό ΚΟΒΡΑ Architect	53
4.7	Ποιες είναι οι λειτουργίες του συστήματος	53
5	Επιτήρηση και έλεγχος συνθηκών με το BEMS.....	56
5.1	Μετρήσεις με το BEMS	56
5.2	Διεξαγωγή μετρήσεων	56
5.3	Αποτελέσματα και Σχολιασμός	60
5.4	Συμπεράσματα – προτάσεις	61
	Βιβλιογραφικές αναφορές.....	62
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	65

# **1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

## **1.1 Εισαγωγή**

Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια, η χρήση περισσότερων Η/Μ εξοπλισμών στα κτίρια και η ανάγκη για τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας οδήγησαν στην ανάπτυξη των Building Energy Management Systems (BEMS). Οι βασικοί σκοποί των BEMS είναι:

- Ο εξορθολογισμός της χρήσης και της επιτήρησης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού
- Η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας και
- Η διατήρηση των επιθυμητών εσωτερικών συνθηκών εντός ενός κτιρίου ή σε ένα συγκρότημα κτιρίων.

## **1.2 Ορισμός των B.E.M.S.**

Ως BEMS (Building and Energy Management System) ορίζεται ένα ηλεκτρικό σύστημα ελέγχου και επιτήρησης που έχει τη δυνατότητα επικοινωνίας δεδομένων μεταξύ των σημείων ελέγχου και τον σταθμό επιτήρησης και ελέγχου του χειριστή (IEA, Annexes 16&17).

## **1.3 Λειτουργία των B.E.M.S.**

Το BEMS αποτελείται από το υλικό μέρος και κατάλληλο λογισμικό. Το υλικό μέρος(hardware) περιλαμβάνει τουλάχιστον μία ή περισσότερες μονάδες εισόδου και εξόδου σημάτων, έναν ή περισσότερους ψηφιακούς ελεγκτές (με μικροεπεξεργαστή), καλώδια μεταφοράς σήματος και τροφοδοσίας, αισθητήρια και ενεργοποιητές. Το λογισμικό υποσύστημα(software)ενός BEMS, περιέχει το λειτουργικό πρόγραμμα του συστήματος (συνήθως μία υλοποίηση UNIX), πρωτόκολλα επικοινωνίας, αλγόριθμους ελέγχου και επιτήρησης και φυσικά τη διεπαφή με το χρήστη.



Εικόνα1 Ελεγκτής BAS Eagle Hawk της εταιρίας Central Line<sup>1</sup>

Ένας ελεγκτής αποτελεί κομμάτι της βασικής διάταξης ενός BEMS.

Το σύστημα συνήθως επιβλέπει, ελέγχει και διαχειρίζεται τον κλιματισμό, αερισμό, θέρμανση και τον φωτισμό σε ένα κτήριο. Αυτό επιτυγχάνεται λαμβάνοντας μετρήσεις από αισθητήρες και αποστέλλοντας εντολές σε διασυνδεδεμένους ενεργοποιητές. Το BEMSεπεξεργάζεται τις ληφθείσες μετρήσεις με κατάλληλους αλγόριθμους, ούτως ώστε να αποστείλει την κατάλληλη εντολή στους ενεργοποιητές.

Θεμελιώδες χαρακτηριστικό του συστήματος είναι η ενοποίηση του ελέγχου διαφορετικών ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων μέσω κατάλληλων πρωτόκολλων επικοινωνίας, με σκοπό την αλληλοεπίδραση με αισθητήρια, ενεργοποιητές και ελεγκτές των ΗΜ συστημάτων. Έτσι σε ένα μεγάλο κτίριο με πολλά διαφορετικά συστήματα και υποσυστήματα το BEMSασκεί ιεραρχικά ανώτερο έλεγχο διευκολύνοντας την επιτήρηση αλλά και τον έλεγχό τους.

Στόχος του BEMSείναι ενώ διαχειρίζεται διάφορα κτηριακά συστήματα, να διασφαλίζει την ομαλή λειτουργία της εγκατάστασης όπως επίσης την θερμική άνεση και την ασφάλεια των ενοίκων του κτηρίου (Dorsey, 2013).

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια και η υιοθέτηση ανοιχτών πρωτοκόλλων, έχει οδηγήσει στο να γίνουν τα BEMS αποτελεσματικότερα καθώς και φτηνότερα, ανοίγοντας δρόμο στην πιο συχνή εφαρμογή τους. Σημαντικό ρόλο επίσης στην εφαρμογή τους αποτελεί η στροφή των ανθρώπων στα λεγόμενα πράσινα κτήρια σε μια προσπάθεια μείωσης της περιβαλλοντικής μόλυνσης και της καταναλισκόμενης ενέργειας.

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα BEMS αποτελείται από:

- Τον κεντρικό ψηφιακό ελεγκτή DDC, ο οποίος προγραμματίζεται ώστε να λειτουργεί επιτελικά ελέγχοντας την εγκατάσταση.
- Έναν Κεντρικό Σταθμό Επιτήρησης που είναι το σημείο επιτήρησης και ελέγχου από τους διαχειριστές. Οι λειτουργίες επιτήρησης και

<sup>1</sup> [http://products.centralline.com/en/ecatdata/pg\\_cleaglehawk.html](http://products.centralline.com/en/ecatdata/pg_cleaglehawk.html)



ελέγχου μπορούν να γίνονται είτε τοπικά είτε απομακρυσμένα, χρησιμοποιώντας κατάλληλα πρωτόκολλα επικοινωνίας.

- Πρωτόκολλα επικοινωνίας δικτύων αυτοματισμού και κτιριακών διατάξεων.
- Αισθητήρες και ενεργοποιητές.
- Απομακρυσμένα Κέντρα Ελέγχου τα οποία συλλέγουν και επεξεργάζονται τα σήματα που στέλνονται από τους αισθητήρες και προς τα όργανα ελέγχου. Είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους αλλά και με τον Κεντρικό Σταθμό Ελέγχου και διαθέτουν οπωσδήποτε μονάδες εισόδου και εξόδου σημάτων (I/O modules).

### **1.3.1 Κεντρικός Σταθμός Επιτήρησης και Ελέγχου**

Είναι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής που δίνει τη δυνατότητα στον χειριστή του να ελέγχει και να επιτηρεί όλο το σύστημα. Δέχεται πληροφορίες από τα απομακρυσμένα κέντρα ελέγχου τις οποίες ο χειριστής μπορεί να επεξεργαστεί μέσα από λογισμικά που είναι εγκατεστημένα στον υπολογιστή καθώς επίσης να λάβει αναφορές για το αν λειτουργεί σωστά το σύστημα. Ο τρόπος επικοινωνίας του κεντρικού σταθμού με τα απομακρυσμένα κέντρα ελέγχου γίνεται συνήθως μέσω δικτύου Ethernet.

### **1.3.2 Απομακρυσμένα κέντρα ελέγχου**

Τα επιμέρους υποσυστήματα ενός Απομακρυσμένου Κέντρου Ελέγχου αναλυτικά είναι τα εξής

#### **1.3.2.1 Μονάδες εισόδου/εξόδου (I/O units)**

Τα απομακρυσμένα κέντρα ελέγχου διαθέτουν μονάδες εισόδου και εξόδου για να μπορούν να λαμβάνουν και να στέλνουν σήματα.

Οι περιφερειακές συσκευές όπως οι αισθητήρες, ενεργοποιητές, βαλβίδες, λειτουργούν με χρήση αναλογικού σήματος (ΑΟ/ΑΙ) και ψηφιακού σήματος (ΔΟ/ΔΙ), γι' αυτό τον λόγο είναι απαραίτητη η ύπαρξη αναλογικοψηφιακών και ψηφιοαναλογικών μετατροπών.

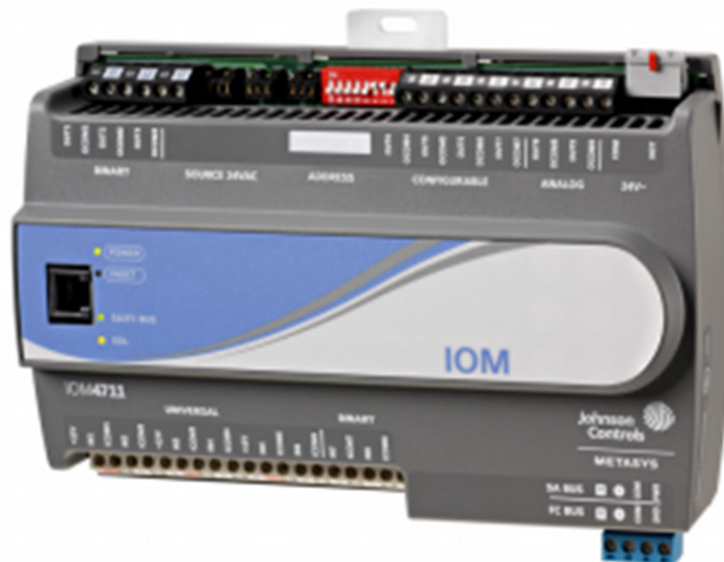
Η μετατροπή ενός αναλογικού σήματος σε διακριτές ψηφιακές τιμές είναι αναγκαία για την εφαρμογή ενός ψηφιακού υπολογιστή σε βιομηχανικά οργανικά συστήματα. Αντίθετα με τις αναλογικές συνεχείς τιμές, οι ψηφιακές είναι διακριτές, με αποτέλεσμα να χρειάζεται η μετατροπή τους στη κοντινότερη τιμή μεταξύ μιας αναλογικής τιμής και της αντίστοιχης ψηφιακής της (Wang,2010).

Ο αναλογικοψηφιακός μετατροπέας μετατρέπει την τιμή μιας αναλογικής τάσης σε ένα δυαδικό αριθμό μέσω μιας διαδικασίας, η οποία ονομάζεται κβαντοποίηση. Η μετατροπή είναι διακριτή, και πραγματοποιείται σε έναν αριθμό κάθε φορά (Figliola,2014).

Ο ψηφιοαναλογικός μετατροπέας είναι μια ψηφιακή συσκευή μήκους Μ-ψηφίων, που μετατρέπει μια δυαδική λέξη σε αναλογική τάση. Μια πιθανή

διάταξη χρησιμοποιεί έναν καταχωρητή μήκους M-bit με ένα κύκλωμα τύπου σκάλας αντιστάσεων και έναν τελεστικό ενισχυτή, όπως εικονίζεται στην Εικόνα 2. Το κύκλωμα αποτελείται από M σταθμισμένους δυαδικούς αντιστάτες, με ένα κοινό σημείο άθροισης (Figliola,2014).

Έχοντας λάβει και επεξεργαστεί τις μετρήσεις, το απομακρυσμένο κέντρο ελέγχου για να στείλει το σήμα ελέγχου μιας βαλβίδας ή συσκευής χρειάζεται να μετατρέψει το σήμα από ψηφιακό σε αναλογικό.



Εικόνα 1.3 Ελεγκτής τύπου Compact της εταιρείας Jonson Controls με ενσωματωμένο ψηφιακό-αναλογικό μετατροπέα<sup>2</sup>

### 1.3.2.2 Μικροεπεξεργαστής

Ο μικροεπεξεργαστής ή αλλιώς κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) είναι το κύριο μέρος, τόσο για τον συμβατικό μικροϋπολογιστή όσο και για το κεντρικό σύστημα του κτηριακού αυτοματισμού (Wang,2010). Ουσιαστικά είναι ο «εγκέφαλος» ενός μικροϋπολογιστή.

Τα βασικά μέρη τα οποία συναποτελούν έναν μικροεπεξεργαστή είναι: η αριθμητική και λογική μονάδα (ALU), οι καταχωρητές και η μονάδα ελέγχου.

- Αριθμητική και λογική μονάδα (ALU): Εκτελεί αριθμητικές (πρόσθεση, πολλαπλασιασμός κ.α.) και λογικές (π.χ. επιλογή και σύγκριση δεδομένων) πράξεις.
- Καταχωρητές: Μικρά κελιά μνήμης στο εσωτερικό του επεξεργαστή, που χρησιμοποιούνται για την προσωρινή αποθήκευση δεδομένων, καθώς αυτά υφίστανται επεξεργασία (Wikipedia).

<sup>2</sup>[http://cgproducts.johnsoncontrols.com/CAT\\_PDF/1900349.PDF?x=79](http://cgproducts.johnsoncontrols.com/CAT_PDF/1900349.PDF?x=79)

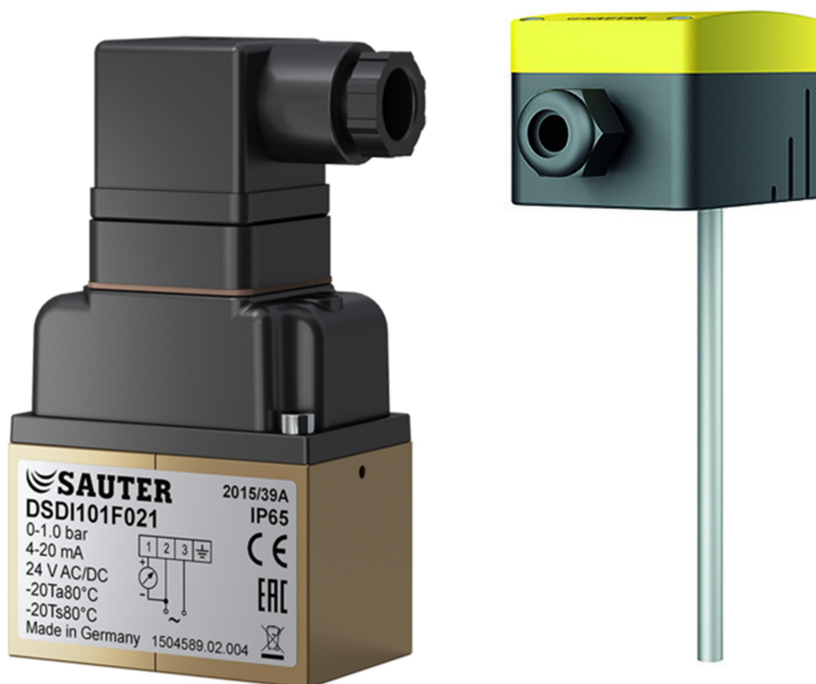
- Μονάδα ελέγχου: Ελέγχει τη ροή δεδομένων από και προς την ALU, τους καταχωρητές, τη μνήμη και τις περιφερειακές μονάδες εισόδου-εξόδου (Wikipedia).

Οι μικροεπεξεργαστές είναι καλωδιωμένοι με όλους τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές (actuators), συνήθως με τάση τροφοδοσίας 24VDC.

### 1.3.3 Όργανα λήψεως πληροφοριών και εκτέλεσης εντολών

Ως όργανα λήψεως πληροφοριών συνήθως αναφερόμαστε στους αισθητήρες οι οποίοι στέλνουν πληροφορίες στα απομακρυσμένα κέντρα ελέγχου. Κάποιοι από τους βασικούς αισθητήρες που χρησιμοποιούμε στα BEMS είναι οι αισθητήρες θερμοκρασίας αέρα, σχετικής υγρασίας, ακτινοβολίας, κίνησης, διαφορικής πίεσης κ.λ.π.

Σαν όργανα εκτέλεσης εντολών έχουμε τους ενεργοποιητές οι οποίοι λαμβάνουν πληροφορίες από τα απομακρυσμένα κέντρα ελέγχου προκειμένου να εκτελέσουν τις λειτουργίες για τις οποίες είναι προγραμματισμένοι. Τέτοιοι ενεργοποιητές είναι βαλβίδες, διακόπτες κ.λ.π.



Εικόνα 3 Μεταδότης διαφορικής πίεσης (αριστερά), Αισθητήρας θερμοκρασίας αγωγού (δεξιά).<sup>3</sup>

Περισσότερα για τα όργανα λήψεως πληροφοριών και εκτέλεσης εντολών παρουσιάζονται στο τρίτο κεφάλαιο.

<sup>3</sup><http://www.sauter-controls.com/fileadmin/documents/ebooks/sba/en/sensor-catalogue/index.html#>

## 1.4 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας δεδομένων είναι μια ομάδα κανόνων διακυβέρνησης στην ανταλλαγή δεδομένων σε ένα υπολογιστικό δίκτυο που καλύπτει τα πάντα, από τη σύνδεση που θα χρησιμοποιηθεί μέχρι το πώς θα διαμορφωθεί ένα ιδιαίτερο αίτημα ή εντολή με πρότυπο τρόπο (Wang,2010).

Ανοιχτό πρωτόκολλο είναι εκείνο το οποίο είναι δημοσιοποιημένο στο κοινό και παρέχει στους χρήστες πληροφορίες και τα έγγραφα που είναι απαραίτητα για την εφαρμογή του. Το πρότυπο πρωτόκολλο είναι ουσιαστικά ένα ανοιχτό πρωτόκολλο το οποίο όμως έχει υιοθετηθεί και εγκριθεί από εθελοντικούς πρότυπους οργανισμούς ή κάποιον κρατικό οργανισμό (Panke,2002). Μερικά από αυτά τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στα BEMS είναι: το BACnet, Modbus κ.α.

Όλα τα επιμέρους υποσυστήματα ενός BEMS, από έναν αισθητήρα ως τον κεντρικό σταθμό ελέγχου θα πρέπει να είναι συνδεδεμένα και να καταχωρείται η πληροφορία στο ίδιο δίκτυο, το οποίο θα μπορεί να εξασφαλίσει την σωστή λειτουργία του συστήματός μας καθώς και τη συμβατότητα όλων των επιμέρους συστημάτων και υποδικτύων ενός BEMS με το δίκτυο(Ξαρχάκος,2013).

Το μεγαλύτερο πρόβλημα στην ζητούμενη διαλειτουργικότητα, είναι η χρήση υποσυστημάτων με διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας. Έτσι είναι απαραίτητη η χρήση μιας πύλης(gateway) η οποία μετατρέπει ένα πρωτόκολλο σε ένα άλλο και καθιστά δυνατή την επικοινωνία μεταξύ των υποσυστημάτων με διαφορετικά πρωτόκολλα. Όμως η δημιουργία μιας τέτοιας πύλης δεν είναι εύκολη και ο κατασκευαστής της θα πρέπει να γνωρίζει πολύ καλά τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δύο πρωτόκολλων που θα επικοινωνούν μεταξύ τους. Συνέπεια των ανωτέρω είναι το υψηλό κόστος τέτοιων πυλών. Επίσης η χρήση τους επιβραδύνει την απόκριση που έχει ένα BAS/BEMS λόγω του χρόνου που απαιτείται για τη μετατροπή.



Εικόνα 4 Πύλη μετατροπής από LonWorks σε BACnet<sup>4</sup>

Στις μέρες μας με τη ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας υπάρχουν νέες μέθοδοι και λύσεις σε αυτό το πρόβλημα. Ένα δίκτυο κτηριακών αυτοματισμών μπορεί να χωριστεί σε τρία επίπεδα: επίπεδο διαχείρισης, επίπεδο αυτοματισμού και επίπεδο πεδίου. Είναι δυνατή η επιτυχής ενσωμάτωση και διαλειτουργικότητα του συστήματος και στα τρία επίπεδα. Αυτό παρέχει δύο δυνατούς τρόπους λύσης του προβλήματος της ενσωμάτωσης και διαλειτουργικότητας του συστήματος. Ο ένας τρόπος είναι η εφαρμογή του ίδιου ανοιχτού πρωτοκόλλου επικοινωνίας και στα τρία επίπεδα.

Ο δεύτερος τρόπος επίτευξης της ενσωμάτωσης και διαλειτουργικότητας είναι με την εφαρμογή πρότυπων πρωτοκόλλων επικοινωνίας σε ένα ανώτερο επίπεδο (π.χ. επίπεδο διαχείρισης) ώστε να μη χρειαστεί να αντιμετωπιστούν οι διαφορές στα χαμηλότερα επίπεδα (Wang,2010).

#### 1.4.1 BACnet

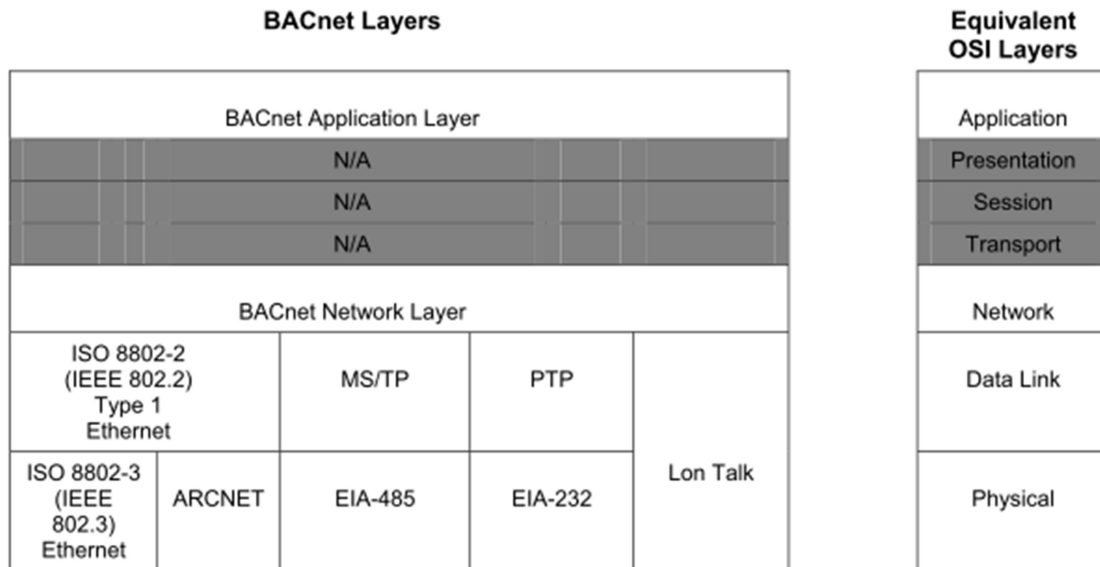
Το BACnet είναι ένα ανοιχτό πρωτόκολλο το οποίο επικοινωνεί και με τα τρία επίπεδα του συστήματος. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας δεδομένων για κτιριακούς αυτοματισμούς και δίκτυα ελέγχου

Αυτό που καθιστά το BACnet ιδιαίτερο είναι διότι αποτελεί το μόνο ανοιχτό πρωτόκολλο το οποίο σχεδιάστηκε αρχικά για τους κτηριακούς αυτοματισμούς.

Το BACnet αναπτύχθηκε υπό την αιγίδα της ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). Ξεκίνησε σαν ένα αμερικάνικο πρότυπο και πλέον αποτελεί ευρωπαϊκό, ISO (International Organization of Standardization) παγκόσμιο και εθνικό

<sup>4</sup>[https://www.csimn.com/CSI\\_pages/BB2-7020.html](https://www.csimn.com/CSI_pages/BB2-7020.html)

πρότυπο σε περισσότερες από 30 χώρες. Για να πετύχει διαλειτουργικότητα σε ένα ευρύ φάσμα εξοπλισμού το BACnet διακρίνεται σε τρία τμήματα (Wang,2010).



Εικόνα 5 Τα επίπεδα του BACnet και τα αντίστοιχα του OSI.<sup>5</sup>

Σύμφωνα με τους Αλεξόπουλο και Λαγογιάννη (2016) το OSI (Open System Interconnection) Basic Reference Model (ISO 7498) αποτελεί ένα παγκόσμιο πρότυπο το οποίο καθορίζει ένα μοντέλο για την ανάπτυξη προτύπων για πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ υπολογιστών από διαφορετικούς κατασκευαστές. Το πρότυπο OSI είναι ένα αφηρημένο μοντέλο σχεδίασης δικτυακής επικοινωνίας που διαχωρίζει τις αναγκαίες λειτουργίες σε επτά διακριτά επίπεδα. Σε κάθε επίπεδο συνυπάρχουν και μπορούν να επιλεγούν ένα ή περισσότερα πρωτόκολλα τυποποίησης, τα οποία πρέπει να τηρούνται με αυστηρότητα. Έτσι εξασφαλίζεται διαλειτουργικότητα και ανοιχτή διασύνδεση συστημάτων. Τα επίπεδα ιεράρχησης ξεκινώντας από το ανώτερο (έβδομο) προς το κατώτερο (πρώτο) ορίζονται ως εξής:

- Στο 7<sup>ο</sup> επίπεδο ευρίσκονται οι μηχανογραφικές εφαρμογές με τα εργαλεία που παράγουν και χρησιμοποιούν τα προς ανταλλαγή δεδομένα.
- Το 6<sup>ο</sup> επίπεδο εξασφαλίζει ότι τα δεδομένα έχουν κωδικοποιηθεί με συμφωνημένο και κοινό για όλους τρόπο ή αλλιώς τα μεταφράζει.
- Το 5<sup>ο</sup> επίπεδο οργανώνει τον διάλογο σε συνόδους με αρχή και τέλος και διευθετεί τρόπους αλληλοαναγνώρισης των επικοινωνούντων.
- Το 4<sup>ο</sup> επίπεδο προετοιμάζει τα δεδομένα για μετάδοση οργανώνοντάς τα σε αριθμημένα μπλοκ.

<sup>5</sup> Siemens, “BACnet Application Guide for Consulting Engineers,” Jan-2012.

- Το 3<sup>ο</sup> επίπεδο διασπά τα μπλοκ σε μικρότερα πακέτα και φροντίζει για τη δρομολόγησή τους στο δίκτυο, δίνοντας κατάλληλες διευθύνσεις και μαρκάροντας τα πακέτα με τις διευθύνσεις αποστολέα και παραλήπτη.
- Το 2<sup>ο</sup> επίπεδο τυποποιεί τις επιμέρους point to point ζεύξεις ώστε να εξασφαλίζεται η χωρίς σφάλματα μετάδοση με επανεκπομπή ή διόρθωση.
- Τέλος το 1<sup>ο</sup> επίπεδο τυποποιεί τα θέματα μετάδοσης στα φυσικά μέσα όπως interfaces, συνδέσμους, ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Διαμορφώσεις, πολύπλεξη, συσκευές μετάδοσης κ.λ.π.

#### 1.4.2 Modbus

Το Modbus αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα πρωτόκολλα στη βιομηχανία των αυτοματισμών. Υποστηρίζει σειριακά πρωτόκολλα όπως το RS232/422/485 και Ethernet τα οποία επιτρέπουν σε βιομηχανικές συσκευές σαν τα PLC, HMIs και τους μετρητές να χρησιμοποιούν το Modbus ως μέθοδο επικοινωνίας. Το Modbus αναπτύχθηκε στα μέσα του 1970 ως ένα αρχικό πρωτόκολλο για τη σύνδεση τερματικών με προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLCs) τύπου Modicon χρησιμοποιώντας τη τεχνική master-slave (Wang, 2010).

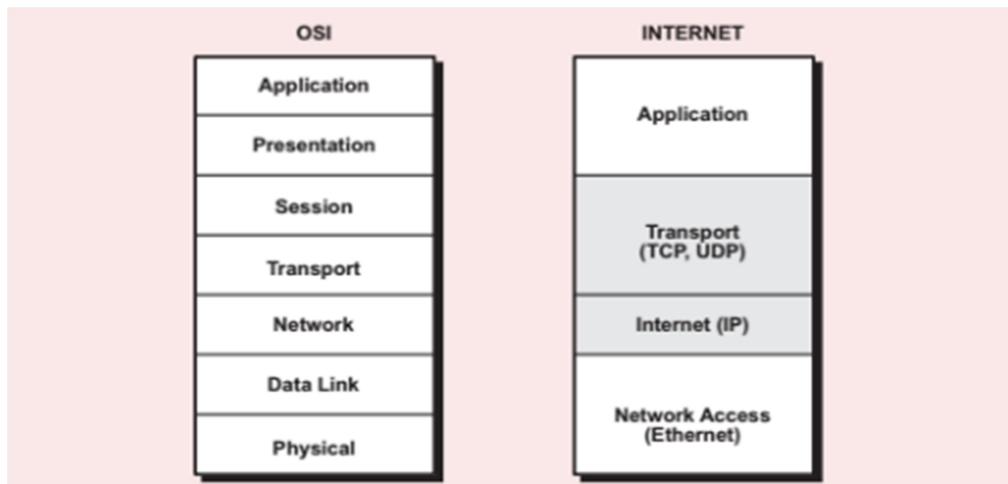
Η σειριακή επικοινωνία επιτρέπει μέσα από μία σειριακή θύρα την αποστολή και τη λήψη πληροφοριών ένα bit κάθε φορά. Είναι πιο αργή από τη παράλληλη επικοινωνία όπου μεταδίδει ένα byte με τη μία, όμως είναι πιο απλή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγαλύτερες αποστάσεις (White Papers, National Instruments<sup>6</sup>). Οι τυποποιημένες ταχύτητες στις οποίες λειτουργεί είναι: 9.6, 19.2, 45.45, 93.75, 187.5, 500 Kbps, και 1.5, 3.0, 6.0, 12.0 Mbps (Wang, 2010).

Το πρωτόκολλο αυτό εμφανίζεται με διάφορους τύπους όπως ASCII, RTU και Modbus/TCP. Το Modbus/TCP είναι πιο σύγχρονο και επιτρέπει στο πρωτόκολλο Modbus ASCII/RTU να χρησιμοποιηθεί σε δίκτυα βασισμένα σε TCP/IP.

Το TCP/IP είναι συνδυασμός των πρωτοκόλλων TCP που είναι πρωτόκολλο τετάρτου επιπέδου και του IP που είναι τρίτου επιπέδου. Επισημαίνεται ότι το TCP/IP είναι κατάλληλο τόσο σε δίκτυα WAN όσο και σε LAN. Το TCP/IP ακολουθεί το ιεραρχικό μοντέλο του Ιντερνέτ, που αναπτύχθηκε παράλληλα, αλλά έχει λιγότερα επίπεδα από το μοντέλο OSI.

---

<sup>6</sup><http://www.ni.com/white-paper/11390/en/>



Εικόνα 6 Σύγκριση επιπέδων OSI και Ίντερνετ.<sup>7</sup>

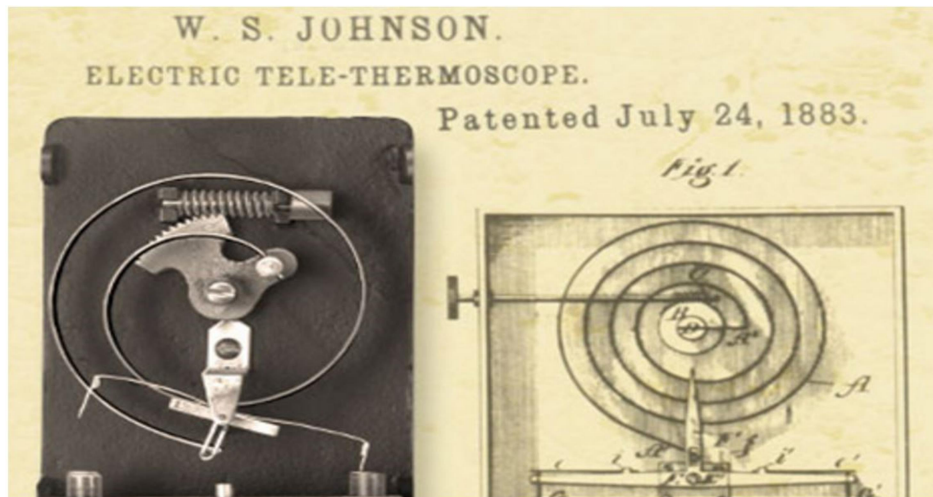
Οι συσκευές με το Modbus επικοινωνούν όπως αναφέρθηκε χρησιμοποιώντας τη σχέση master-slave όπου μόνο μια συσκευή (master) μπορεί να εισάγει συναλλαγές. Οι υπόλοιπες συσκευές (slave) ανταποκρίνονται με το να προμηθεύουν τα ζητούμενα δεδομένα στην επιτελική συσκευή ή εκτελώντας την ενέργεια που ζητήθηκε. Υποτελής είναι κάθε περιφερειακή συσκευή η οποία επεξεργάζεται πληροφορίες και στέλνει το αποτέλεσμα στην επιτελική συσκευή μέσω του Modbus (Wang, 2010).

## 1.5 Ιστορικό των BEMS

Το 1883 ο Warren Johnson (σημερινή Johnson Controls) κατέθεσε την πατέντα για το ηλεκτρικό τηλε-θερμοσκόπιο το οποίο είναι συσκευή για τον έλεγχο της θερμοκρασίας σε ένα κτήριο και πρόγονος του σημερινού θερμοστάτη.

<sup>7</sup> Α. Αλεξόπουλος and Γ. Λαγογιάννης, *Τηλεπικοινωνίες και δίκτυα υπολογιστών*, 10th ed. Αθήνα, 2016.





Εικόνα 7 Electric tele-thermoscope<sup>8</sup>

Τα πρώτα συστήματα κτιριακών αυτοματισμών ξεκίνησαν να κάνουν την εμφάνισή τους στις αρχές του 1940 όπου ο χρήστης από ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου και επίβλεψης μπορούσε να διαβάσει τους αισθητήρες των επιμέρους συστημάτων και να ξεκινάει-σταματάει τα επιμέρους συστήματα χωρίς να πηγαίνει στο καθένα ξεχωριστά. Αξίζει να σημειωθεί πως ο αριθμός των συνδεδεμένων αισθητηρίων ήταν πολύ περιορισμένος σε σχέση με τα σημερινά δεδομένα. Επίσης το 1953 η εταιρία Honeywell παρουσίασε τον στρογγυλό θερμοστάτη T-86.



Εικόνα 8 T-86 Στρογγυλός θερμοστάτης.<sup>9</sup>

Το 1960 περίπου έκαναν την εμφάνισή τους συστήματα κτιριακών αυτοματισμών με δυνατότητα σύνδεσης με Ηλεκτρονικό Υπολογιστή. Το σύστημα αυτό επέτρεπε τη λειτουργία των συμβατών συσκευών βάσει προγράμματος, αυτόματη επαναφορά των αναλογικών εξόδων, ειδοποίηση προς το χρήστη σε περίπτωση που κάποια τιμή ήταν εκτός ορίων και αναφορές. Βέβαια το κόστος των συστημάτων αυτών ήταν αρκετά μεγάλο

<sup>8</sup><http://www.johnsoncontrols.com/about-us/history>

<sup>9</sup><https://www.honeywell.com/who-we-are/our-history>

και πιο δύσκολη η χρήση τους. Αξίζει να σημειωθεί επίσης πως η εταιρεία Honeywell ξεκίνησε να δουλεύει πάνω σε συστήματα πυρόσβεσης και συναγεμίων το 1957.

Μέσα στο 1970 το κόστος των συστημάτων άρχισε να μειώνεται καθώς αναπτυσσόταν περισσότερο η τεχνολογία. Αυτό οδήγησε σε αύξηση χρήσης μικροϋπολογιστών, προγραμματιζόμενων ελεγκτών(PLC) και των κεντρικών μονάδων επεξεργασίας στα συστήματα κτιριακών αυτοματισμών. Επίσης άρχισαν να αναπτύσσονται πακέτα εφαρμογών για διαχείριση ενέργειας. Παρόλα αυτά το κόστος του λογισμικού ήταν μεγάλο καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις χρειαζόταν εξειδικευμένο προγραμματιστή.

Τα επόμενα χρόνια το κόστος των μικροεπεξεργαστών αλλά και των κυκλωμάτων συνέχισε να μειώνεται αλλά το κυρίως πρόβλημα ήταν ότι οι κατασκευαστές χρησιμοποιούσαν διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας με αποτέλεσμα τα διαφορετικά συστήματα να μην είναι συμβατά μεταξύ τους. Έτσι από το 1980 ξεκίνησε μια προσπάθεια ανάπτυξης συγκεκριμένων προδιαγραφών προκειμένου να λυθεί αυτό το πρόβλημα.

Μέχρι τα μέσα του 1990 τα ανοιχτά πρωτόκολλα και η ανάπτυξη τεχνολογιών βάσει προδιαγραφών είχε ξεκινήσει να είναι ευρέως αποδεκτή.

Σήμερα τα συστήματα αυτά μπορούν να αλληλεπιδρούν χωρίς μεγάλη δυσκολία, το κόστος των συστημάτων έχει μειωθεί αρκετά, έχει αυξηθεί η εφαρμογή τους καθώς και η εξειδίκευσή τους ανάλογα με τις ανάγκες των καταναλωτών.

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε μερικά από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που θα συναντήσουμε κατά την εγκατάσταση ενός συστήματος BEMS.

## 1.6 Πλεονεκτήματα των BEMS

Τα βασικά πλεονεκτήματα των κτιριακών συστημάτων διαχείρισης ενέργειας είναι:

- **Βέλτιστη οικονομία ενέργειας σε συνδυασμό με σωστή χρήση του εξοπλισμού.** Με σωστό προγραμματισμό λειτουργίας τα BEMS μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην μείωση της ενέργειας που καταναλώνει ο εξοπλισμός μας. Αυτό επιτυγχάνεται με προγραμματισμό του BEMS για το κάθε επιτηρούμενο Η/Μ σύστημα, όπως η παύση λειτουργίας αχρείαστου εξοπλισμού για τις μέρες ή ώρες που στο κτήριο δεν υπάρχουν εργαζόμενοι. Ο προγραμματισμός αυτός μπορεί να περιλαμβάνει αργίες, σαββατοκύριακα κ.α. καθώς και να επηρεάζει τον εξοπλισμό ολόκληρου του κτηρίου ή μέρος αυτού ανάλογα με το πρόγραμμα λειτουργίας.

Επίσης ανάλογα με την περίοδο του χρόνου αλλά και τις κλιματολογικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής μπορεί να επιλεγεί η μερική παύση λειτουργίας του εξοπλισμού.

- **Βελτιστοποίηση χρονικής λειτουργίας εξοπλισμού.** Ένα σύστημα BEMS διαθέτει τη δυνατότητα λαμβάνοντας μετρήσεις από κατάλληλους αισθητήρες να υπολογίσει το βέλτιστο χρόνο εκκίνησης του εξοπλισμού κλιματισμού, ώστε να δημιουργήσει τις απαιτούμενες συνθήκες εντός του κτηρίου. Όμοια, το BEMS υπολογίζοντας το βέλτιστο χρόνο παύσης μπορεί να σταματήσει τη λειτουργία όλου ή μέρους του εξοπλισμού πριν αδειάσει το κτήριο, χωρίς να μεταβληθούν αισθητά οι συνθήκες θερμοκλής άνεσης εντός του κτηρίου.
- **Ενοποίηση συστημάτων.** Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιτηρεί και να ελέγχει ένα ή όλα τα συστήματα από μία θέση είτε εντός είτε εκτός του κτηρίου κάνοντας πιο εύκολη τη διαχείρισή τους.
- **Προστασία του χώρου και του εξοπλισμού.** Το σύστημα δίνει τη δυνατότητα σε περίπτωση βλάβης στη λειτουργία του να σταλεί προειδοποιητικό μήνυμα στον διαχειριστή και αν χρειαστεί να γίνει παύση της λειτουργίας του. Ειδοποιώντας το διαχειριστή εξοικονομεί χρόνο στον εντοπισμό του προβλήματος.

## 1.7 Μειονεκτήματα των BEMS

- **Το κόστος του εξοπλισμού,** κάνει την εφαρμογή των συστημάτων αυτών για οικιακή χρήση αρκετά δύσκολη, παρόλα αυτά με την ανάπτυξη της τεχνολογίας γίνεται προσπάθεια παραγωγής μικρότερων συστημάτων για οικιακή χρήση. Σε μεγάλα και σύγχρονα κτήρια γίνεται απόσβεση της εγκατάστασης σε εύλογο χρονικό διάστημα.
- **Η δυσπιστία των καταναλωτών** σε νέες τεχνολογίες που δεν είναι αρκετά διαδεδομένες ακόμα είναι συχνό φαινόμενο, κάνοντας την εξάπλωση του συστήματος πιο δύσκολη.
- **Απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό** για την εγκατάσταση, τη συντήρηση αλλά και τη λειτουργία του συστήματος.
- **Υπάρχει δυσκολία εφαρμογής σε παλιά κτήρια** λόγω υποδομών και εγκαταστάσεων μη συμβατών με το σύστημα. Καθιστούν την εγκατάστασή τους ακόμα πιο δύσκολη καθώς αυξάνεται το κόστος λόγω των αλλαγών που χρειάζονται στον χώρο.

## 1.8 Επιμέρους προβλήματα/αδυναμίας των BEMS

Σύμφωνα με τους Karagiannis et al. η επιλογή της κατασκευής ενός συστήματος με επιμέρους εξαρτήματα από διαφορετικούς κατασκευαστές,

τα ανοιχτά πρωτόκολλα, η πρόσβαση σε ένα BEMS μέσω διαδικτύου και η ελλιπής προστασία από κυβερνοεπιθέσεις (cyber attacks) καθιστούν τα BEMS ευάλωτα. Τα συστήματα αυτά όσο περισσότερο εκτίθενται στο διαδίκτυο αυξάνεται η αποτελεσματικότητά τους και η ευχρηστία τους αλλά παράλληλα αυξάνονται και οι επιθέσεις σε αυτά.

Ως απειλή σύμφωνα με το ISO/IECFIDIS 27005:2008 ορίζεται οποιοδήποτε πιθανό περιστατικό το οποίο θα έχει αρνητικές επιπτώσεις σε ένα σύστημα ή οργανισμό. Οι απειλές αυτές μπορούν να είναι είτε εσωτερικές είτε εξωτερικές. Εσωτερικές είναι αυτές όπου αυτός που θέλει να προκαλέσει το πρόβλημα έχει φυσική πρόσβαση στο σύστημα ή στο δίκτυο που βρίσκεται συνδεδεμένο το σύστημα. Εξωτερική απειλή είναι όταν δεν υπάρχει φυσική πρόσβαση στο σύστημα ή στο δίκτυο του συστήματος και η πρόσβαση αποκτάται μέσα από hacking. Το ότι συνήθως δεν δίνεται βάση στην ασφάλεια των BEMS από επιθέσεις τα καθιστά ευάλωτα σημεία για ένα εταιρικό δίκτυο.

Η πολιτική ασφαλείας στα BEMS άρχισε εξετάζεται τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο λόγω της αύξησης των επιθέσεων. Τα αρχικά BEMS είχαν σχεδιαστεί να είναι απομονωμένα από το διαδίκτυο. Η είσοδός τους σε αυτό αύξησε σημαντικά τους κινδύνους.

Η αύξηση της αγοράς και του ανταγωνισμού έχει ως αποτέλεσμα οι αισθητήρες, οι ελεγκτές κτλπ μέρη του συστήματος να είναι από διαφορετικούς κατασκευαστές για τη μείωση του κόστους αλλά και την προσαρμογή του συστήματος στις εκάστοτε ανάγκες. Αυτό κάνει το υλικό μέρος του συστήματος αδύναμο σε επιθέσεις, καθώς ενώ μπορεί το κάθε κομμάτι να έχει δοκιμαστεί ξεχωριστά από τον κατασκευαστή του ως προς την ασφάλειά του δεν σημαίνει πως θα είναι το ίδιο ασφαλές όταν θα λειτουργεί με μέρη εξοπλισμού από διαφορετικούς κατασκευαστές.

Το λογισμικό μέρος κινδυνεύει από τη μη εγκατάσταση των τελευταίων ενημερώσεων του που γίνονται πολλές φορές για τη διόρθωση γνωστών σφαλμάτων και ευπαθών σημείων του συστήματος. Επίσης η αύξηση της χρήσης των ανοιχτών προγραμμάτων ή διαφορετικών προγραμμάτων από αυτό που προτείνει ο κατασκευαστής είναι σημαντικός παράγοντας για την ασφάλεια του συστήματος.

Η αρχιτεκτονική τοπολογία του δικτύου που βρίσκεται το σύστημά μας είναι επίσης πολλή σημαντική καθώς οι περισσότερες επιθέσεις είναι μέσω δικτύου. Ο απομακρυσμένος έλεγχος και επίβλεψη των BEMS μπορεί να κάνουν τη χρήση του συστήματος πιο εύκολη αλλά θα πρέπει να γίνονται πάντα κάτω από ασφαλείς συνθήκες (π.χ. firewalls ή virtual private networks).

Συνοψίζοντας, σε αυτό το κεφάλαιο ορίστηκε τι είναι ένα σύστημα BEMS, από τι αποτελείται ένα ολοκληρωμένο σύστημα, καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα μιας τέτοιας εγκατάστασης.

## **2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ BEMS ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ ΚΤΙΡΙΩΝ**

### **2.1 Εισαγωγή**

Τα συστήματα Θ.Ψ.Κ. (θέρμανση-ψύξη-κλιματισμός) αποτελούν ένα βασικό εξοπλισμό για τη διατήρηση των κατάλληλων θερμικών συνθηκών ενός κατοικούμενου χώρου. Ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση του μυαλού κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες (Παπαδόπουλος,2006). Η θερμική άνεση είναι μια σχετικά υποκειμενική κατάσταση, που επηρεάζεται από σειρά παραμέτρων και συνθηκών, οι σημαντικότερες των οποίων είναι οι ακόλουθες (Κ.Εν.Α.Κ,20701-2010):

- Η θερμοκρασία του αέρα.
- Η μέση θερμοκρασία «ακτινοβολίας» των επιφανειών που περιβάλλουν έναν χώρο, όπως αυτή διαμορφώνεται από τη θερμοκρασία των επιφανειών, τα υλικά τους, την εγκατεστημένη ενεργή ηλεκτρική ισχύ εξοπλισμού και τον πληθυσμό.
- Η σχετική υγρασία του αέρα.
- Η ένδυση των χρηστών.
- Η δραστηριότητα των χρηστών.
- Η ταχύτητα των εσωτερικών ρευμάτων αέρα.

Επίσης η καθαρότητα του αέρα έχει σημαντικό ρόλο για την υγεία των ανθρώπων που βρίσκονται στον χώρο. Η σωστή επιλογή των συστημάτων Θ.Ψ.Κ. αλλά και η σωστή διαχείριση και συντήρησή τους είναι πολύ σημαντική για οποιοδήποτε κτήριο.

Οι πιο βασικοί λόγοι που καθιστούν τόσο αναγκαία την σωστή επιλογή των συστημάτων Θ.Ψ.Κ. είναι (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, 2005):

- Τα συστήματα αυτά συχνά απαιτούν σημαντικό χώρο δαπέδου ή κτιριακό όγκο για την εγκατάσταση του εξοπλισμού και των διατάξεων διανομής τα οποία είναι ζητήματα που πρέπει να διευθετούνται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού.
- Αποτελούν ένα σημαντικό στοιχείο του προϋπολογισμού για πολυάριθμους συνήθεις κτιριακούς τύπους. Η κακή επιλογή του συστήματος κατά τη φάση του σχεδιασμού μπορεί, όχι μόνο να αυξήσει το αρχικό κόστος εγκατάστασης, αλλά και να επιβαρύνει το κόστος λειτουργίας του.
- Η επιτυχία ή αποτυχία επίτευξης της ζητούμενης θερμικής άνεσης σχετίζεται συνήθως άμεσα με την επιτυχία ή αποτυχία των συστημάτων HVAC των κτιρίων.

- Η διατήρηση των κατάλληλων θερμικών συνθηκών μέσω της λειτουργίας ενός συστήματος HVAC, αποτελεί μία σημαντική παράμετρο για την κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου.

Στο κεφάλαιο αυτό θα μιλήσουμε για τα σημεία ελέγχου που μπορούμε να έχουμε στα συστήματα Θ.Ψ.Κ. μέσω ενός συστήματος BEMS.

Σύμφωνα με την τεχνική οδηγία 20701-2017 του Κ.Εν.Α.Κ ο σωστός σχεδιασμός των τεχνικών συστημάτων Θ.Ψ.Κ. πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη:

- Τη χρήση του κτηρίου
- Το προφίλ λειτουργίας
- Τους εσωτερικούς χώρους του κτηρίου που έχουν διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας και απαιτήσεις για θέρμανση, ψύξη και αερισμό
- Τη θέση του κτηρίου
- Τη δυνατότητα αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Τα διαθέσιμα στην αγορά συστήματα παραγωγής Θ.Ψ.Κ. με υψηλό βαθμό απόδοσης
- Την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κάθε συστήματος

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος Θ.Ψ.Κ. θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την πραγματικότητα και να προβλέπει την κάλυψη μερικών φορτίων με το υψηλότερο δυνατό βαθμό απόδοσης λειτουργίας, ανάλογα με τη χρήση του κτηρίου, το ωράριο λειτουργίας και τη διακύμανση των θερμικών αναγκών του κτηρίου.

Το BEMS μέσω αισθητηρίων και ενεργοποιητών μπορεί να ελέγχει και να επιβλέπει ένα σύστημα Θ.Ψ.Κ. ρυθμίζοντας τη λειτουργία του συστήματος κλιματισμού, βάσει των χρονοπρογραμμάτων και ρυθμίσεων/αλγορίθμων ελέγχου που διαθέτει. Για τα αισθητήρια και τους ενεργοποιητές που χρησιμοποιεί ένα BEMS θα υπάρξει εκτενέστερη αναφορά στο τέταρτο κεφάλαιο.

Ο έλεγχος που κάνει το BEMS στα συστήματα Θ.Ψ.Κ. είναι ιεραρχικός. Θα μπορούσε να λεχθεί ότι σε ένα BEMS, οι κανόνες λειτουργίας που διαθέτει κάθε ιεραρχικά ανώτερο επίπεδο αυτοματισμού εμπεριέχει μεγαλύτερη εμπειρία από το κατώτερο επίπεδο. Τα επίπεδα του ιεραρχικού ελέγχου είναι τα εξής τρία από το ιεραρχικά ανώτερο προς το κατώτερο (εικόνα 9):

- Το επίπεδο διαχείρισης (Management-level) το οποίο περιλαμβάνει επεξεργαστές (H/Y ή μικροϋπολογιστές). Χρησιμοποιείται για συνολικό έλεγχο, επίβλεψη και εκτίμηση του συστήματος. Οι αλλαγές στο επίπεδο αυτό επηρεάζουν όλο το σύστημα.
- Το επίπεδο συστήματος (System-level controllers) το οποίο περιλαμβάνει ελεγκτές αυτοματισμού, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι (συνήθως με πύλες και με ελεγκτές κατώτερου επιπέδου).

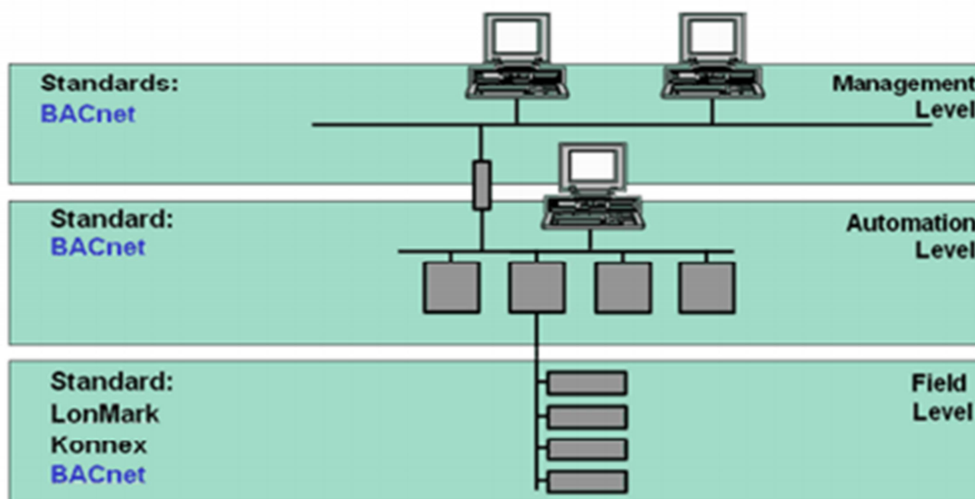
- Το επίπεδο ζώνης (Zone-level controllers and intelligent sensors and actuators) το οποίο περιλαμβάνει ελεγκτές που είναι συνδεδεμένοι με αισθητήρες και ενεργοποιητές αλλά επίσης μπορεί να συνδέεται απευθείας με έξυπνους αισθητήρες και ενεργοποιητές.

Το επίπεδο διαχείρισης όπως αναφέραμε είναι το ανώτερο επίπεδο στην ιεραρχία και ελέγχει και διαχειρίζεται όλα τα υποσυστήματα. Οι βασικές λειτουργίες του επεξεργαστή στο επίπεδο αυτό είναι η συλλογή, η αποθήκευση και η επεξεργασία των δεδομένων όπως η ενέργεια που καταναλώνεται, τα λειτουργικά έξοδα κ.α. Σε αυτό το επίπεδο το λογισμικό δημιουργεί αναφορές οι οποίες χρησιμεύουν ως εργαλεία μακροχρόνιας διαχείρισης και συντήρησης της εγκατάστασης.

Το επίπεδο διαχείρισης περιλαμβάνει όπως είπαμε επεξεργαστές τους οποίους χρησιμοποιεί αυτός που διαχειρίζεται το BEMS σε καθημερινή βάση. Ο επεξεργαστής μπορεί να έχει εγκατεστημένες διάφορες εφαρμογές όπως για παράδειγμα ασφάλεια συστήματος που να περιορίζει τη πρόσβαση και τη διαχείριση σε εξουσιοδοτημένο άτομο, βασικό έλεγχο και διεπαφή με τα διάφορα υποσυστήματα (π.χ. Θ.Ψ.Κ.).

Οι ελεγκτές στο επίπεδο συστήματος συνήθως βρίσκουν εφαρμογή σε κεντρικά συστήματα όπως ένα λεβητοστάσιο. Οι ελεγκτές σε αυτό το επίπεδο έχουν άμεση αλληλεπίδραση με τον ελεγχόμενο εξοπλισμό μέσα από αισθητήρια και ενεργοποιητές ή έμμεση μέσα από διεπαφές.

Οι ελεγκτές στο επίπεδο ζώνης είναι βασισμένοι σε μικροεπεξεργαστές που παρέχουν άμεσο αναλογικό έλεγχο (direct digital control) στον εξοπλισμό που βρίσκεται σε αυτό το επίπεδο π.χ. αντλίες θερμότητας. Η διεπαφή των αισθητήρων και των ενεργοποιητών με τον εξοπλισμό είναι άμεση σε αυτό το επίπεδο (Honeywell,1997).



Εικόνα 9 Βασικά πρωτόκολλα και αρχιτεκτονική τριών επιπέδων.<sup>10</sup>

<sup>10</sup><http://www.tecnolab.ws/pdf/Buses,%20Protocols%20and%20Systems%20for%20Home%20and%20Building%20Automation.pdf>

## **2.2 Εφαρμογή σε συστήματα Θ.Ψ.Κ.**

Όπως αναφέραμε ένα σύστημα BEMS μπορεί να επιβλέπει και να διαχειρίζεται ένα σύστημα θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού είτε μεμονωμένα είτε σαν σύνολο. Όσο καλύτερος είναι ο έλεγχος που κάνει το BEMS, σε συνδυασμό με τη σωστή εγκατάσταση και διαχείρισή του, τόσο πιο αποδοτικά θα είναι τα αποτελέσματα. Οι βασικές λειτουργίες και πληροφορίες που μπορεί να προσφέρει το BEMS προς τον διαχειριστή που ασκεί τον έλεγχο είναι:

- Αυστηρό χρονοπρογραμματισμό της καθημερινής λειτουργίας των συστημάτων κλιματισμού με δυνατότητα παρατάσεων, αργιών κ.τ.λ.π.
- Σωστή διαχείριση και προγραμματισμό των διαφορετικών λειτουργιών των συστημάτων ελέγχου.
- Περικοπή φορτίων που δεν χρειάζονται και επιβαρύνουν το ενεργειακό κόστος.
- Προβολή των ενεργειακών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και γρήγορη επεξεργασία αυτών.
- Συνεχή επίβλεψη των ενεργειακών παραμέτρων και αποθήκευση των παραμέτρων αυτών για περαιτέρω επεξεργασία. Άμεση αποστολή των ενεργειακών αναφορών στα αρμόδια τμήματα(Σισμανίδης,2011).
- Συγκέντρωση και δημιουργία αναφορών για τις βλάβες των συστημάτων (alarming).
- Διαχείριση των διατάξεων κλιματισμού τοπικά αλλά και απομακρυσμένα με κατανοητά γραφικά σχήματα, χρησιμοποιώντας κατάλληλα σχεδιασμένο λογισμικό διεπαφών.

Στη συνέχεια θα μιλήσουμε γενικά για τα συστήματα ΘΨΚ και τα σημεία που ελέγχει σε αυτά το BEMS.

### **2.2.1 Θέρμανση**

Τα συστήματα θέρμανσης ενός χώρου συνήθως στηρίζονται σε μια κεντρικά τοποθετημένη μονάδα παραγωγής στην οποία αυξάνεται η θερμοκρασία του μέσου που χρησιμοποιείται για τη διανομή της θερμότητας στους χώρους που πρέπει να θερμανθούν ή στέλνεται σε μια κεντρική κλιματιστική μονάδα. Ένα κεντρικό σύστημα θέρμανσης αποτελείται κυρίως από μια μονάδα παραγωγής, ένα δίκτυο αγωγών διανομής και τερματικές συσκευές απόδοσης της θερμότητας στον χώρο.

Μία τυπική εφαρμογή ελέγχου διάταξης από ένα σύστημα BEMS, αποτελεί ο έλεγχος ενός λέβητα. Ο λέβητας τροφοδοτείται με νερό το οποίο



θερμαίνεται και στη συνέχεια μέσα από το δίκτυο αγωγών κατευθύνεται προς τις συσκευές απόδοσης θερμότητας (π.χ. καλοριφέρ, fan-coils κτλπ).

Ένα απομακρυσμένο κέντρο ελέγχου (ΑΚΕ) τοποθετημένο συνήθως στο λεβητοστάσιο, επιτηρεί τον λέβητα με τη βοήθεια αισθητήρων και ενεργοποιητών. Αξίζει να σημειωθεί πως ανάλογα με τον έλεγχο που απαιτείται για τον λέβητα μπορούν να προστεθούν και άλλα σημεία ελέγχου. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο τα ΑΚΕ διαθέτουν μονάδες I/O εισόδου (INPUT) και εξόδου (OUTPUT). Στις μονάδες I/O συνδέονται ηλεκτρολογικά οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές που στέλνουν και λαμβάνουν πληροφορίες από τον λέβητα.

Τα αισθητήρια θερμοκρασίας στέλνουν αναλογικά σήματα στο BEMS, μέσω του A.K.E. και των μονάδων I/O, ενώ οι ενεργοποιητές (ο διακόπτης on/off και η τρίοδη βαλβίδα) λαμβάνουν ψηφιακό σήμα από το BEMS. Ο έλεγχος μέσω της τριόδης βαλβίδας γίνεται έτσι ώστε ανάλογα με τη θερμοκρασία του αισθητηρίου στον θερμαινόμενο χώρο να γίνεται ανάμιξη του νερού προσαγωγής με το νερό επιστροφής με σκοπό την επίτευξη της θερμοκρασίας στόχου για το χώρο ελέγχου. Τα αισθητήρια θερμοκρασίας στην προσαγωγή, στην επιστροφή και στην έξοδο των καυσαερίων ενός λέβητα, χρειάζονται για να μπορούμε να επιτηρούμε τη λειτουργία του αλλά και την απόδοσή του.

### **2.2.2 Κλιματισμός-Αερισμός**

Τα βασικά μέρη ενός συστήματος κλιματισμού-αερισμού μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες: στην πηγή, το μέσο μεταφοράς, το μέσο διανομής και το στοιχείο ελέγχου. Πηγή είναι τα μέσα που παρέχουν θέρμανση και ψύξη όπως π.χ. ο λέβητας, πύργος ψύξης κτλπ. Τα μέσα μεταφοράς είναι αυτά που μεταφέρουν τη θερμότητα ή τη ψύξη από τη πηγή στον χώρο που χρειάζεται κλιματισμό και περιλαμβάνουν ανεμιστήρες, σωληνώσεις, αντλίες κ.α. Τα μέσα διανομής είναι αυτά που μεταδίδουν τη θερμότητα ή την ψύξη στον κλιματιζόμενο χώρο π.χ. Fan-Coils. Τα στοιχεία ελέγχου ρυθμίζουν τη λειτουργία του εξοπλισμού και του συστήματος ώστε να παρέχουν άνεση, επεξεργασία, ασφάλεια και ενεργειακή απόδοση (ASHRAE,2007).

Τα συστήματα κλιματισμού μπορούν να χωριστούν στις εξής κατηγορίες ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας που κάνουν στον αέρα:

- Συστήματα αερισμού-εξαερισμού, τα οποία εξασφαλίζουν την ανανέωση του αέρα ενός χώρου.
- Συστήματα μερικού κλιματισμού, τα οποία εκτός από την ανανέωση του αέρα, παρέχουν και μια μερική επεξεργασία που περιλαμβάνει κυρίως τον καθαρισμό και τη θέρμανση του αέρα.
- Συστήματα πλήρους κλιματισμού, τα οποία εξασφαλίζουν τη διατήρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας ενός κλειστού χώρου μέσα σε προκαθορισμένα όρια και περιλαμβάνουν διατάξεις για τον

καθαρισμό, τη θέρμανση, την ψύξη, την ύγρανση, την αφύγρανση και την ανανέωση του αέρα καθώς και τοπικές ή κεντρικές διατάξεις αυτόματης ρύθμισης της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ανανέωσης του αέρα.

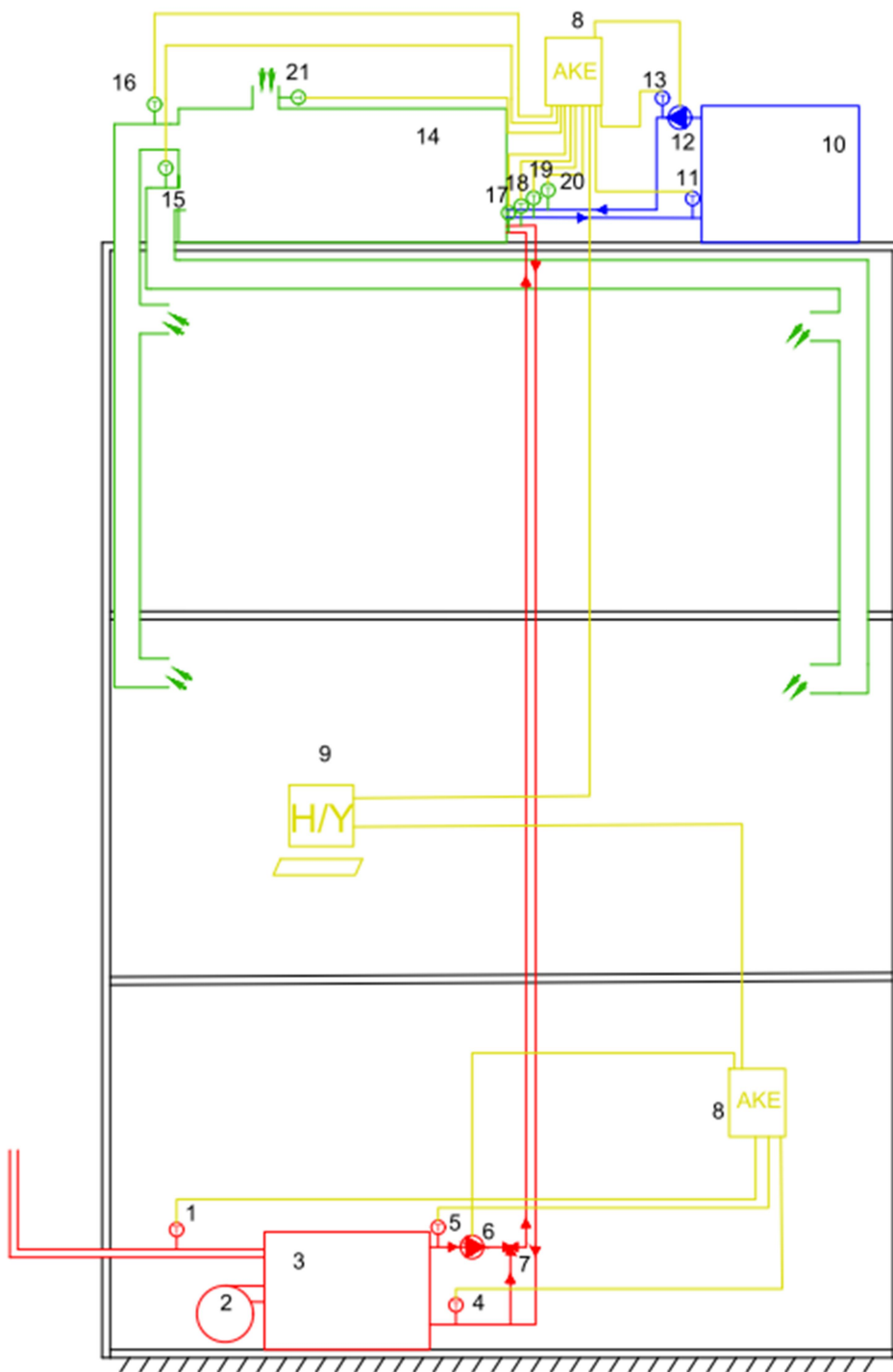
Επίσης με κριτήριο τη θέση των συσκευών κλιματισμού ως προς τον κλιματιζόμενο χώρο αλλά και την έκταση εφαρμογής του συστήματος, υπάρχουν οι εξής τρεις βασικές κατηγορίες συστημάτων:

- Κεντρικά συστήματα κλιματισμού
- Ημικεντρικά συστήματα κλιματισμού
- Τοπικά συστήματα κλιματισμού

Και με κριτήριο το μέσο με το οποίο μεταφέρεται η ενέργεια στους κλιματιζόμενους χώρους υπάρχουν οι εξής κατηγορίες συστημάτων κλιματισμού:

- Συστήματα κλιματισμού μόνο με αέρα
- Συστήματα κλιματισμού μόνο με νερό
- Συστήματα κλιματισμού αέρα-νερού
- Συστήματα κλιματισμού απευθείας εκτόνωσης

Στην εικόνα 10 έχει σχεδιαστεί ένα σκαρίφημα για τα βασικά σημεία ελέγχου ενός BEMS σε συστήματα ΘΨΚ. Στο σκαρίφημα καταδεικνύεται ένας ενδεικτικός αριθμός σημείων ενώ μια πραγματική εγκατάσταση μπορεί να διαθέτει πολύ περισσότερα σημεία ελέγχου, όπως για παράδειγμα στον διαφορικό πρεσοστάτη της ψυκτικής μονάδας.



Εικόνα 10 Βασικά σημεία ελέγχου ενός BEMS σε συστήματα ΘΨΚ (όπου η επεξήγηση της αρίθμησης γίνεται στον Πίνακα 1).

Πίνακας 1

A/A	Επεξήγηση αρίθμησης εικόνας 10
1	Αισθητήριο θερμοκρασίας καυσαερίων
2	Καυστήρας
3	Λέβητας
4	Αισθητήριο θερμοκρασίας νερού επιστροφής
5	Αισθητήριο θερμοκρασίας νερού προσαγωγής
6	Κυκλοφορητής
7	Τρίοδη βαλβίδα ανάμιξης
8	Απομακρυσμένο Κέντρο Ελέγχου
9	Ηλεκτρονικός Υπολογιστής
10	Σύστημα ψύξης
11	Αισθητήριο θερμοκρασίας επιστροφής νερού ψύξης
12	Κυκλοφορητής
13	Αισθητήριο θερμοκρασίας προσαγωγής νερού ψύξης
14	Κεντρική κλιματιστική μονάδα
15	Αισθητήριο θερμοκρασίας αέρα προσαγωγής
16	Αισθητήριο θερμοκρασίας αέρα επιστροφής
17	Αισθητήριο θερμοκρασίας προσαγωγής νερού θέρμανσης στην ΚΚΜ
18	Αισθητήριο θερμοκρασίας επιστροφής νερού θέρμανσης από την ΚΚΜ
19	Αισθητήριο θερμοκρασίας επιστροφής νερού ψύξης από την ΚΚΜ
20	Αισθητήριο θερμοκρασίας προσαγωγής νερού ψύξης στην ΚΚΜ
21	Αισθητήριο θερμοκρασίας αέρα προσαγωγής στην ΚΚΜ

## 3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΓΙΑ BEMS

### 3.1 Γενικά για τα αισθητήρια

Τα αισθητήρια είναι αναπόσπαστο κομμάτι της λειτουργίας των BEMS, χωρίς αυτά δε μπορούν να προσαρμόζονται στις ανάγκες του εκάστοτε χώρου καθώς από αυτά λαμβάνει τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζεται για να προσαρμόσει ανάλογα τα συστήματα που ελέγχει. Τα συνήθη αισθητήρια που χρησιμοποιούνται στα BEMS είναι (Nakahara, 1991):

- Θερμοκρασίας
- Σχετικής υγρασίας
- Απόλυτης υγρασίας
- Ενθαλπίας
- Πίεσης
- Στάθμης (Level)
- Ροής και ρυθμού ροής
- Ταχύτητας
- Αερίων
- Σωματιδίων σκόνης (Dust particles)
- Ηλιακής ακτινοβολίας
- Ηλεκτρικής Ενέργειας (βολτόμετρα, αμπερόμετρα κ.α.)
- Κατεύθυνσης ανέμου
- Διακόπτες, ρελέ (switches)
- Διαρροής νερού

Αισθητήρας είναι η συσκευή εκείνη που μετατρέπει τη μετρήσιμη ποσότητα σε ανιχνεύσιμη μορφή σήματος π.χ. ηλεκτρική, μηχανική, οπτική κ.τ.λ. (Λεκάκης, 2008). Αυτή η μορφή σήματος μεταφέρεται είτε ως ψηφιακό είτε ως αναλογικό σήμα στα Α.Κ.Ε. Το ψηφιακό σήμα μπορεί να έχει μία από τις δύο προκαθορισμένες τιμές που χρησιμοποιούνται για να επιβλέπουν μια συνθήκη με δύο θέσεις όπως το on-off ή το high-low. Το αναλογικό σήμα έχει ένα εύρος τιμών το οποίο διαφοροποιείται αναλογικά με τη μετρούμενη συνθήκη την οποία μετράμε και χρησιμοποιείται για να μετρήσουμε π.χ. θερμοκρασία, πίεση, ροή, σχετική υγρασία κ.α.

Στις μέρες μας παρόλο που υπάρχουν πολλά και διαφορετικά είδη αισθητήρων τα οποία στηρίζονται σε διαφορετικές αρχές λειτουργίας, παρουσιάζουν τα παρακάτω βασικά χαρακτηριστικά (Λεκάκης, 2008):

- Αβεβαιότητα. Η αληθινή (πραγματική) τιμή κατά τη διαδικασία των μετρήσεων δεν είναι σχεδόν ποτέ γνωστή. Το μόνο που είναι εφικτό είναι η εκτίμηση της πραγματικής τιμής, γι' αυτό το λόγο συνήθως μιλάμε και για εκτίμηση του σφάλματος, που ονομάζεται αβεβαιότητα.

- Ακρίβεια είναι η απόκλιση της ένδειξης του οργάνου από την πραγματική τιμή του μετρούμενου μεγέθους.
- Επαναληψιμότητα είναι η ικανότητα ενός συστήματος μέτρησης να δίνει το ίδιο αποτέλεσμα κατά την επανειλημμένη αλλά ανεξάρτητη εφαρμογή της ίδιας εισόδου.
- Ο όρος αναπαραγωγικότητα, όταν αναφέρεται στις προδιαγραφές ενός οργάνου, αναφέρεται στο κατά πόσο συμφωνούν τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από πανομοιότυπες δοκιμές οι οποίες γίνονται υπό παρόμοιες συνθήκες μέτρησης.
- Ανοχή, ορίζεται ως το μέγιστο επιτρεπτό σφάλμα μιας τιμής.
- Εύρος, με αυτόν τον όρο αναφερόμαστε στην διαφορά μεγίστης μείον ελαχίστης των τιμών εισόδου και εξόδου, αντιστοίχως.
- Συστηματικό σφάλμα, είναι το μέρος εκείνο του σφάλματος που παραμένει σταθερό σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις μιας συγκεκριμένης τιμής εισόδου. Είναι η απόκλιση της πραγματικής τιμής από τη μέση τιμή του δείγματος.
- Τυχαίο σφάλμα, το μέρος εκείνο του σφάλματος που μεταβάλλεται τυχαία σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις μιας συγκεκριμένης τιμής εισόδου. Είναι η απόκλιση της μετρούμενης τιμής από τη μέση τιμή του δείγματος και εκφράζεται με τη διασπορά των μετρήσεων γύρω από τη μετρούμενη μέση τιμή.
- Σφάλμα Γραμμικότητας, είναι η μέτρηση της απόκλισης της καμπύλης βαθμονόμησης από την ευθεία γραμμή. Εκφράζεται ως ποσοστό του εύρους τιμών εξόδου του οργάνου.
- Υστέρηση, ορίζεται ως η διαφορά της εξόδου των αισθητήρων για δεδομένη τιμή εισόδου  $x$ , για μονοτονικά αυξανόμενη και μειούμενη είσοδο  $x$ .
- Μηδενική Μετατόπιση, είναι η έξοδος ενός μετατροπέα, για μηδενική τιμή εισόδου του μετρούμενου μεγέθους, σε τυπικές συνθήκες περιβάλλοντος εάν αυτό δεν καθορίζεται.
- Περιοχή τιμών εισόδου, ορίζεται ως το σύνολο των τιμών της μεταβλητής εισόδου.
- Διακριτική ικανότητα, ορίζεται ως το ελάχιστο ποσό μεταβολής του μετρούμενου μεγέθους του οργάνου που οδηγεί σε ευδιάκριτη αλλαγή της εξόδου.

## 3.2 Αισθητήρια για συστήματα HVAC

### 3.2.1 Αισθητήρια θερμοκρασίας

Τα τρία πιο γνωστά και συχνά χρησιμοποιούμενα αισθητήρια θερμοκρασίας είναι τα θερμοζεύγη, οι θερμοηλεκτρικές αντιστάσεις και τα θερμίστορς τα οποία είναι αισθητήρια επαφής. Τα αισθητήρια επαφής μετράνε τη δική τους θερμοκρασία. Για να μετρήσουμε τη θερμοκρασία του αντικειμένου θα πρέπει, ο αισθητήρας και το αντικείμενο να

βρίσκονται σε θερμική ισορροπία, δηλαδή, να μην υπάρχει μεταφορά θερμότητας μεταξύ τους (Jones, 2010).

### 3.2.2 Θερμοζεύγη

Τα θερμοζεύγη είναι ο συνδυασμός δύο αγωγών από διαφορετικό υλικό το οποίο μπορεί να είναι μέταλλο, ημιαγωγό ή αμέταλλο. Το ένα τους άκρο είναι ενωμένο και το σημείο της ένωσης ονομάζεται επαφή μέτρησης, ενώ το άλλο άκρο αποτελεί την επαφή αναφοράς. Η επαφή αναφοράς ονομάζεται συχνά και ψυχρή επαφή παρόλο που για να λειτουργήσει το θερμοζεύγος αρκεί να υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας στα δύο άκρα και όχι να έχει η επαφή μέτρησης μεγαλύτερη θερμοκρασία από την επαφή αναφοράς (Αργυρίου, 2004). Γενικά αποτελούν ένα εξαιρετικά διαδεδομένο είδος ανιχνευτών θερμοκρασίας, υψηλής ακρίβειας και χαμηλού κόστους για απλές εφαρμογές.

Η αρχή λειτουργίας των θερμοζευγών στηρίζεται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο ή αλλιώς φαινόμενο Seebeck, το οποίο ανακαλύφθηκε το 1821. Ο T. Seebeck παρατήρησε ότι όταν δύο αγωγοί από διαφορετικά μέταλλα ενωθούν στις άκρες τους σχηματίζοντας κλειστό κύκλωμα, που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, εφ' όσον οι δύο επαφές βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, θα πρέπει οι επαφές μέτρησης και αναφοράς να βρίσκονται η κάθε μία σε ισόθερμο περιβάλλον, διαφορετικής θερμοκρασίας. Η εμφανιζόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) μεταξύ των ακροδεκτών επαφής αναφοράς ονομάζεται τάση Seebeck. Η τάση Seebeck αυξάνει όσο αυξάνει η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο επαφών. (Αργυρίου, 2004).

Τα θερμοζεύγη κατασκευάζονται από επιλεγμένα μέταλλα ή κράματα μετάλλων, τα οποία αναπτύσσουν όχι υψηλή απόλυτη τιμή θερμοηλεκτρικής τάσης αλλά θερμοηλεκτρική διαφοράς τάσης που μεταβάλλεται σημαντικά με τη διαφορά θερμοκρασίας. Παίρνουν το όνομα τους από τα ονόματα των δύο μετάλλων ή κραμάτων, και αναφέρεται πρώτο το μέταλλο που γίνεται θετικότερο, δηλαδή αυτό που αποτελεί το θετικό πόλο της θερμοηλεκτρικής τάσης. Το καλώδιο που καλύπτει το αρνητικό μέταλλο έχει πάντοτε κόκκινο χρώμα.

### Τύποι θερμοζευγών

Σύμβολο	Είδος	Περιοχή λειτουργίας (°C)	Μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία (°C)	Μέγιστο σχετικό σφάλμα (%)
T	Χαλκός / κονσταντάν (99,9% Cu / 55% Cu + 45% Ni)	-250 έως 400	500	±0,4
E	Χρωμιοκίελο / κονσταντάν (-90% Ni + 10% Cr 155% Cu + 45% Ni)	-200 έως 850	1100	±0,5
J	Σιδηρός / κονσταντάν (99,9% Fe / 55% Cu + 45% Ni)	-200 έως 850	1100	±0,4
K	Χρωμιοκίελο / Αλουμέλ (90% Ni + 10% Cr / 95% Ni + 2% Al + 2% Mn + 1% Si)	-200 έως 1100	1300	±0,75
R	Λευκόχρυσος / Λευκόχρυσος, ρόδιο (13%) (100% Pt / 87% Pt + 13% Rh)	0-1400	1650	±0,5
S	Λευκόχρυσος / Λευκόχρυσος, ρόδιο (10%) (100% Pt / 90% + 10% Rh)	0-1400	1650	±0,5
B	Λευκόχρυσος, ρόδιο / Λευκόχρυσος, ρόδιο (94% Pt + 6% Rh / 70% Pt + 30% Rh)	0-1500	1700	±0,5

Εικόνα 11 Κοινά είδη θερμοζευγών και περιοχές λειτουργίας τους<sup>11</sup>

Τα πιο διαδεδομένα είδη θερμοζευγών είναι τα εξής:

- Σιδήρου-Κονσταντάνης ή τύπου J, οι ακροδέκτες του έχουν χρώματα λευκό και κόκκινο. Αναπτύσσει θερμοηλεκτρική τάση περίπου 50  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ . Το καλώδιο σιδήρου είναι μαγνητικό. Οι επαφές γίνονται με συγκόλληση ή ηλεκτροσυγκόλληση χρησιμοποιώντας συνηθισμένα μέσα συγκόλλησης (η κονσταντάνη είναι κράμα χαλκού/νικελίου).
- Νικελίου/Χρωμίου – Νικελίου/Αλουμινίου ή τύπου K, οι ακροδέκτες έχουν χρώματα κίτρινο και κόκκινο. Αναπτύσσει θερμοηλεκτρική τάση περίπου 40  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ . Το καλώδιο από κράμα νικελίου/αλουμινίου είναι μαγνητικό. Οι επαφές γίνονται με συγκόλληση ή ηλεκτροσυγκόλληση και απαιτούνται ειδικά μέσα συγκόλλησης (άργυρος, ρέοντα υγρά). Το θερμοζεύγος αυτό δημιουργεί ηλεκτρικά σήματα όταν τα καλώδια του κάμπτονται και έτσι δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε δονούμενα συστήματα, εκτός αν χρησιμοποιείται κάποιο σύστημα αντιστάθμισης της μηχανικής τάσης.
- Χαλκού-Κονσταντάνης ή τύπου T, οι ακροδέκτες έχουν χρώματα μπλε και κόκκινο. Αναπτύσσει θερμοηλεκτρική τάση περίπου 40  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ . Κανένα καλώδιο δεν είναι μαγνητικό. Οι επαφές γίνονται με συγκόλληση ή ηλεκτροσυγκόλληση χρησιμοποιώντας συνηθισμένα μέσα συγκόλλησης. Το θερμοζεύγος αυτό εμφανίζει σφάλματα στην αγωγή του ρεύματος επειδή ο χαλκός έχει υψηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και δε θα πρέπει να χρησιμοποιείται, εκτός εάν μεγάλα μήκη καλωδίου τίθενται σε περιβάλλον σταθερής θερμοκρασίας.

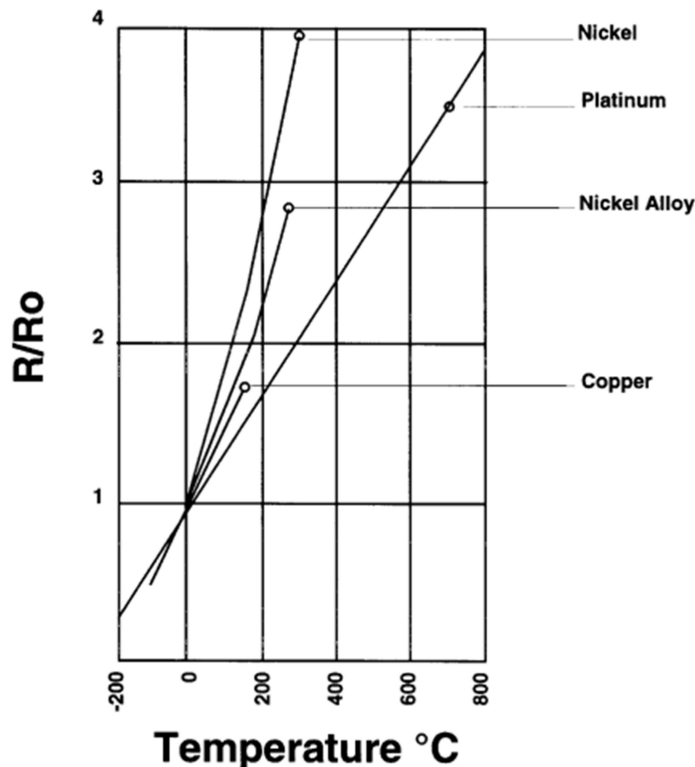
<sup>11</sup>[https://eclass.teiimt.gr/modules/document/file.php/PTD112/7\\_8ERMOKRASIA.pdf](https://eclass.teiimt.gr/modules/document/file.php/PTD112/7_8ERMOKRASIA.pdf). [Accessed: 1 March 2019]



### 3.2.3 Θερμοηλεκτρικές αντιστάσεις

Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνει και η ηλεκτρική αντίσταση των μετάλλων. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να κατασκευαστεί διάταξη μέτρησης της θερμοκρασίας, μετρώντας την ηλεκτρική αντίσταση ενός πρότυπου μετάλλου καθώς μεταβάλλεται η θερμοκρασία του. Σε αυτή τη διάταξη στηρίζεται και η λειτουργία των θερμοηλεκτρικών αντιστάσεων ή αλλιώς RTDs. Εξαρτώνται από την απόλυτη τιμή της θερμοκρασίας και όχι από τη θερμοκρασιακή μεταβολή, άρα δεν υπάρχει ανάγκη από θερμοκρασία αναφοράς.

Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μέταλλα στη κατασκευή των RTDs είναι ο λευκόχρυσος, ο χαλκός και το νικέλιο. Το κάθε μέταλλο έχει διαφορετική ευαισθησία, ακρίβεια και εύρος θερμοκρασιακής μεταβολής. Στην εικόνα 11 παρατηρούμε πως ο λευκόχρυσος έχει την πιο σταθερή σχέση θερμοκρασίας-αντίστασης και το μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασίας. Το νικέλιο έχει πιο περιορισμένο εύρος θερμοκρασίας και η ποσότητα μεταβολής της αντίστασης για τους βαθμούς μεταβολής της θερμοκρασίας γίνεται εντονότερα μη γραμμική για θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 300°C. Ο χαλκός έχει σαφώς γραμμική σχέση θερμοκρασίας-αντίστασης, παρόλα αυτά επειδή οξειδώνεται σε μέτριες θερμοκρασίες δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θερμοκρασίες παραπάνω από 150°C.

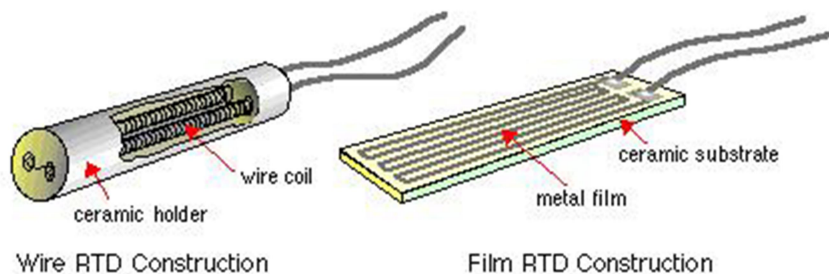


Εικόνα 12 Η ευαισθησία των πιο κοινών μετάλλων για την κατασκευή RTDs<sup>12</sup>

<sup>12</sup> J. Webster, *The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook*. CRCPressLLC, 1999.

Ο λευκόχρυσος είναι το καλύτερο μέταλλο για την κατασκευή των RTDs για τρεις λόγους. Έχει καλή γραμμική σχέση θερμοκρασίας-αντίστασης, αυτή η σχέση έχει μεγάλη επαναληψιμότητα στο εύρος θερμοκρασίας που μπορεί να μετρήσει και επίσης διαθέτει το μεγαλύτερο εύρος μέτρησης της θερμοκρασίας σε σχέση με τα άλλα μέταλλα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των RTDs. Μπορεί να μην έχει την μεγαλύτερη ευαισθησία σαν μέταλλο αλλά τα χαρακτηριστικά του παραμένουν ιδιαίτερα σταθερά, ακόμη και μετά από πολλούς κύκλους χρήσης. Οι αντιστάτες λευκόχρυσου ή αλλιώς PRTs (Platinum Resistance Thermometers) έχουν χαμηλό κόστος και πολύ καλή ακρίβεια με αποτέλεσμα να είναι από τους πιο διαδεδομένους αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας.

Οι PRTs κατασκευάζονται σε διάφορες μορφές αλλά, οι δύο πιο βασικές είναι, από σύρμα πλατίνας και λεπτών υμενίων.



Εικόνα 13 PRT από σύρμα πλατίνας (αριστερά) και λεπτών υμενίων (δεξιά)<sup>13</sup>

Οι αισθητήρες σύρματος αποτελούνται από πολύ λεπτό ελικοειδές σύρμα πλατίνας τοποθετημένο στο εσωτερικό κεραμικού σωληνίσκου, ώστε να προστατεύεται και να στηρίζεται. Το σύρμα μπορεί να είναι ενωμένο με το σωληνίσκο. Οι αισθητήρες σύρματος είναι κατά κανόνα ακριβέστεροι από αυτούς των λεπτών υμενίων, επειδή και η καθαρότητα του μετάλλου ελέγχεται καλύτερα και δεν αναπτύσσονται σφάλματα λόγω διάτμησης. Είναι όμως ακριβότεροι.

Οι αισθητήρες υμενίου αποτελούνται από ένα λεπτό μεταλλικό υμένιο το οποίο εναποτίθεται σε κεραμικό ή υαλώδες υπόστρωμα. Είναι λιγότερο ακριβείς σε σχέση με τους αισθητήρες σύρματος. Είναι όμως σχετικά φθηνοί, διατίθενται σε μικρά μεγέθη και αντέχουν περισσότερο σε μηχανικές καταπονήσεις.

Επειδή οι αισθητήρες αυτοί είναι γενικά ευαίσθητοι για τη χρήση τους, εισάγονται συνήθως σε κάποια προστατευτική διάταξη ή θήκη.

<sup>13</sup>Α. Αργυρίου, “Αισθητήρες Ημιαγωγών, Αισθητήρες Θερμικοί, Μηχανικοί, Μαγνητικοί, Αισθητήρες Ακτινοβολίας και Χημικοί Αισθητήρες,” Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Φυσικής, Πάτρα, 2004

### 3.2.4 Θερμίστορες

Τα θερμίστορες είναι αντιστάσεις, των οποίων η τιμή μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία, αλλά εμφανίζουν μεγάλη ευαισθησία. Η κατασκευή τους γίνεται από οξειδία μετάλλων της σειράς του σιδήρου, όπως το χρώμιο, το μαγγάνιο, ο σίδηρος, το κοβάλτιο και το νικέλιο. Η αντίστασή τους μεταβάλλεται σημαντικά με τη θερμοκρασία αλλά έχουν υψηλά όρια ανοχής, με αποτέλεσμα οι μετρήσεις θερμοκρασίας να μην έχουν την ακρίβεια άλλων μεθόδων.

Υπάρχουν δύο είδη θερμίστορες, τα NTC (negative temperature coefficient) και τα PTC (positive temperature coefficient). Στα NTC η αντίσταση μειώνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, ενώ στα PTC η αντίσταση αυξάνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία.

Ως προσέγγιση πρώτης τάξης, η μεταβολή της αντίστασης ενός θερμίστορα μπορεί να εκφραστεί ως:

$$R - R_0 = k(T - T_0),$$

όπου το  $k$  ονομάζεται θερμοκρασιακός συντελεστής. Ένας θερμίστορας μπορεί να έχει θετικό θερμοκρασιακό συντελεστή (PTC) ή αρνητικό θερμοκρασιακό συντελεστή (NTC).

Τα θερμίστορες NTC εμφανίζουν μεγάλες μεταβολές αντίστασης όταν υφίστανται μικρές μεταβολές θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση θερμοκρασιών μεταξύ  $-100$  και  $300$  °C. Η μεταβολή της αντίστασης τους καθορίζεται από το πηλίκο της αντίστασης στους  $25$  °C προς την αντίσταση στους  $125$  °C και είναι ανάλογα με το μοντέλο, της τάξης του 20 έως 40. Δηλαδή, η αντίσταση σε θερμοκρασία  $125$  °C γίνεται από 20 έως 40 φορές μικρότερη της αντίστασης σε θερμοκρασία δωματίου. Σήμερα διατίθενται θερμίστορες με διάφορες τιμές αντίστασης, από  $500$  Ω έως  $10$  MΩ σε θερμοκρασία δωματίου. Τα θερμίστορες NTC κατασκευάζονται σε μορφή ράβδου, δίσκου ή κάψουλας. Επίσης τα θερμίστορες εμφανίζουν φαινόμενο αναθέρμανσης, δηλαδή η θερμοκρασία τους αυξάνει όταν διαρρέονται από ρεύμα, το οποίο είναι της τάξης του ενός βαθμού Κελσίου ανά  $7$  mW ηλεκτρικής ισχύος στο εσωτερικό τους.

Τα θερμίστορες τύπου PTC έχουν αντίσταση που αυξάνει με τη θερμοκρασία και ειδικότερα μεταπίπτουν από μία κατάσταση χαμηλής αντίστασης σε μία κατάσταση υψηλής αντίστασης όταν η θερμοκρασία ανέλθει σε μία συγκεκριμένη τιμή. Χρησιμοποιούνται ευρέως ως περιοριστές ρεύματος σε θερμοκρασίας μεταξύ  $50$  και  $250$  °C. Οι τιμές της αντίστασης των θερμίστορες PTC κυμαίνονται από  $0.5$  Ω έως  $20$  kΩ σε θερμοκρασία δωματίου. Επειδή η αύξηση της αντίστασης γίνεται απότομα, τα θερμίστορες αυτά δεν ενδείκνυνται για τη μέτρηση συνεχών τιμών θερμοκρασίας αλλά για τη διακοπή της τροφοδοσίας κυκλωμάτων. Οι συνηθέστερες εφαρμογές των θερμίστορες PTC είναι η μέτρηση ροής

ρευστών, η χρονική καθυστέρηση και η προστασία μπαταριών από υπερφόρτιση (Καλόμοιρος, 2006).

### 3.2.5 Πρεσοστάτες

Οι πρεσοστάτες ή πιεσοστάτες χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ή τη ρύθμιση μιας πίεσης σε ένα υδραυλικό δίκτυο ή δίκτυο αέρα. Ο τρόπος λειτουργίας του είναι πως όταν η πίεση ή η πτώση της πίεσης φτάσει την τιμή που έχουμε θέσει ως ανώτερη ή κατώτερη, η ηλεκτρική επαφή του πιεσοστάτη αλλάζει κατάσταση. Τα κύρια μέρη του πιεσοστάτη είναι το αισθητήριο πίεσης, ο διακόπτης, ο μηχανισμός ρύθμισης πίεσης και η βάση ή πλαίσιο που συγκρατεί τα εξαρτήματά του. Οι διαφορικοί πιεσοστάτες χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση της καθαρότητας του φίλτρου σε μία ΚΚΜ.



Εικόνα 14 Αισθητήριο διαφορικής πίεσης<sup>14</sup>

### 3.2.6 Μανόμετρα

Μανόμετρα ονομάζονται τα όργανα που χρησιμοποιούμε για τη μέτρηση της υδροστατικής πίεσης, τα οποία στηρίζονται στην αρχή της εξισορρόπησης της μετρούμενης πίεσης με στήλη υγρού σε ισορροπία.

Το διαφορικό μανόμετρο προσδιορίζει τη διαφορά πιέσεων μεταξύ δύο σημείων. Η διαφορά του με το απλό μανόμετρο είναι πως το απλό μανόμετρο μετράει την πίεση ενός δοχείου συγκρίνοντας την με την ατμοσφαιρική πίεση, ενώ το διαφορικό μανόμετρο συγκρίνει την πίεση δύο διαφορετικών δοχείων.

<sup>14</sup><https://mall.industry.siemens.com/mall/en/nz/Catalog/Products/10209028> [Accessed: 1 March 2019]

### 3.2.7 Ροόμετρα

Τα ροόμετρα είναι μια μηχανική ή ηλεκτρομηχανική διάταξη η οποία έχει ως σκοπό τη μέτρηση της ροής ενός ρευστού σε έναν αγωγό. Δηλαδή στόχος τους είναι η ποσοτική μέτρηση του ρευστού σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 15 Ροόμετρο<sup>15</sup>

### 3.2.8 Αισθητήρια λειτουργίας

#### 3.2.8.1 Ηλεκτρονόμος

Ο ηλεκτρονόμος (relay) είναι ένας ηλεκτρικός διακόπτης που ανοίγει και κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα υπό τον έλεγχο ενός άλλου ηλεκτρικού κυκλώματος. Συνήθως ένας ηλεκτρονόμος αποτελείται από περισσότερες από μία ελεγχόμενες επαφές. Οι επαφές χωρίζονται σε κύριες και βοηθητικές. Οι κύριες διαρρέονται συχνά από ισχυρότερα ρεύματα και έτσι είναι αυτές που διακόπτουν το κύριο κύκλωμα. Ο ρόλος των βοηθητικών επαφών είναι να βοηθούν στον έλεγχο των αυτοματισμών, π.χ. να βοηθούν στην ενεργοποίηση-απενεργοποίηση βοηθητικών κυκλωμάτων όπως ενδεικτικές λυχνίες.

Η λειτουργία του ηλεκτρονόμου στηρίζεται στο ότι όταν ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει το πηνίο του ηλεκτρονόμου, το παραγόμενο μαγνητικό πεδίο έλκει έναν οπλισμό που είναι μηχανικά συνδεδεμένος σε μια κινούμενη επαφή. Έτσι, η κινούμενη επαφή είτε συνδέεται με μια σταθερή επαφή είτε αποσυνδέεται από τη σταθερή επαφή. Μόλις το ηλεκτρικό ρεύμα στο πηνίο διακοπεί, ο οπλισμός επιστρέφει στη θέση ηρεμίας του εξαιτίας μιας δύναμης επαναφοράς, που είναι ίση με το ήμισυ της μαγνητικής. Η δύναμη επαναφοράς παρέχεται από ένα ελατήριο, αλλά και η βαρύτητα χρησιμοποιείται συχνά σε βιομηχανικούς εκκινητές μηχανών.

---

<sup>15</sup><https://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/en/process-instrumentation/flowmeasurement/electromagnetic/sensors/Pages/sitrans-f-m-mag-3100.aspx> [Accessed: 1 March 2019]

### **3.3 Προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα BEMS σε σχέση με τους αισθητήρες**

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που υπάρχει σε σχέση με τους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε σύζευξη με τα BEMS είναι το ενδεχόμενο να μην παρέχουν αξιόπιστη μέτρηση.

Για τον εντοπισμό σφαλμάτων των αισθητήρων υπάρχουν διάφορες τεχνολογικές διαδικασίες. Ο επιστημονικός όρος για αυτές τις διαδικασίες είναι fault detection and diagnosis (FDD) και υπάρχει αρκετό πλήθος μηχανικών που ασχολείται στον συγκεκριμένο τομέα.

Για να μπορέσει το BEMS να αποδώσει όσο το δυνατόν καλύτερα είναι πολύ σημαντικό οι μετρήσεις που δέχεται από τους αισθητήρες να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβείς. Το BEMS αποθηκεύει τις μετρήσεις από τους αισθητήρες και αυτές οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν διαθέσιμες σε ένα σύστημα FDD για να ελέγχει αν υπάρχουν σφάλματα ή όχι.

Η συμβατική μέθοδος για τον έλεγχο σφαλμάτων σε αισθητήρια είναι ο έλεγχος της συνοχής των περιττών μετρήσεων, η εκτίμηση των αναμενόμενων τιμών από τις μετρήσεις και ο εντοπισμός, απομόνωση και προσδιορισμός του τύπου σφάλματος στην έξοδο του καναλιού μέτρησης (Kolokotsa, 2006).

Για τον εντοπισμό των σφαλμάτων υπάρχουν πάρα πολλά μοντέλα και στατιστικές μέθοδοι όπως για παράδειγμα η μέθοδος του να παράγει εκτιμώμενες τιμές για τις τιμές του φαινομένου που μετράει ο αισθητήρας βασισμένες σε μετρήσεις που έχουν γίνει από άλλους αισθητήρες για το ίδιο φαινόμενο, και με βάση τις τιμές αυτές να εκτιμά τις τιμές που περιέχουν σφάλματα.

## 4 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΒΕΜS ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

Στο εργαστήριο Μετρήσεων Τεχνικών Μεγεθών (MTM, Αίθουσα Β021), εγκαταστάθηκε ένα σύστημα ΒΕΜS. Το σύστημα ονομάζεται ΚΟΒRΑ και κατασκευάστηκε στην Δημοκρατία της Τσεχίας. Δημιουργός του συστήματος είναι η επιχείρηση ADP, η οποία δραστηριοποιείται κυρίως στα έξυπνα κτίρια και σε συστήματα μέτρησης και ελέγχου αυτών. Η εταιρία αυτή ανέπτυξε το ΚΟΒRΑ σε συνεργασία με το τσέχικο τεχνικό πανεπιστήμιο της Πράγας (CTU). Στόχος της εταιρείας είναι η βέλτιστη χρήση της ενέργειας για τις ανάγκες του κτηρίου.

Μερικά από αυτά που προσφέρει το σύστημα είναι:

- Ενοποίηση των συστημάτων ελέγχου.
- 1. Ζωνικό έλεγχο σε κάθε χώρο ή δωμάτιο ξεχωριστά που καθίσταται εύκολος με τη δημιουργία διακριτών χρονοπρογραμμάτων. Το σύστημα δίνει τη δυνατότητα καθορισμού διαφορετικών θερμοκρασιών για κάθε ζώνη. Επίσης, μπορεί να καθορισθεί θερμοκρασιακός στόχος για τις ώρες που υπάρχουν άνθρωποι στο κτήριο, έτερος στόχος για τις βραδινές ώρες και άλλος θερμοκρασιακός στόχος για την περίπτωση που το κτήριο είναι κενό, κανείς στο κτήριο.
- Διαχείριση όλων των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας στο κτήριο.
- Ατομικός έλεγχος στο σύστημα μέσα από διακόπτες ή απομακρυσμένο έλεγχο από το κινητό ή το tablet μέσω εφαρμογής.
- Προσομοίωση της παρουσίας ανθρώπων στο κτήριο.
- Αποθήκευση όλων των μετρήσεων και εύκολη πρόσβαση σε αυτές.

Ο αναγνώστης μπορεί να αναζητήσει περισσότερες πληροφορίες στην ιστοσελίδα της εταιρείας ([www.ikobra.com](http://www.ikobra.com)).

### 4.1 Σκοπός της εγκατάστασης

Σκοπός της εγκατάστασης είναι ο έλεγχος της θερμικής άνεσης στο χώρο, για την επίτευξη της οποίας στα πλαίσια της πτυχιακής αυτής εργασίας, μη έχοντας άλλη δυνατότητα στην παρούσα φάση, επετεύχθη με τους ανεμιστήρες του εργαστηρίου με σύνδεση με το σύστημα ΚΟΒRΑ. Το σύστημα λαμβάνει τις τιμές θερμοκρασίας από τους αισθητήρες που είναι συνδεδεμένοι σε αυτό και κατόπιν επεξεργασίας των μετρήσεων αυτών δίνει εντολή στους ανεμιστήρες προκειμένου να αυξάνεται η ταχύτητα του αέρα στο χώρο για τη βελτίωση της θερμικής άνεσης.

## 4.2 Δομή συστήματος

Το σύστημα KOBRA είναι συνδεδεμένο με H/Y για να είναι πιο εύκολη η πρόσβαση στο σύστημα, ο έλεγχος και η επιτήρησή του. Το KOBRA σύστημα του Εργαστηρίου περιλαμβάνει:

- Έναν ηλεκτρονόμο για τη λειτουργία on/off του συστήματος.
- Έναν μετασχηματιστή τάσης. Ο μετασχηματιστής αυτός έχει είσοδο 100-240VAC και έξοδο 24V και 2.5A.
- Έναν μικροεπεξεργαστή F4 με εγκατεστημένο λειτουργικό σύστημα Linux. Ο μικροεπεξεργαστής είναι προσβάσιμος μέσω θύρας USB, διαθέτει κάρτα SD, σύνδεση LAN και θύρα επέκταση του συστήματος αν χρειαστεί.
- Δύο ηλεκτρονόμους με έξοδο 24VDC για να δίνουν την εντολή on/off στην κλιματιστική μονάδα.
- Δύο μονάδες I/O T6 της εταιρείας KOBRA.
- Έξι αισθητήρια θερμοκρασίας αέρα, δύο αισθητήρια θερμοκρασίας για σωλήνες, ένα αισθητήριο θερμοκρασίας-υγρασίας TR01 και μια θερμοηλεκτρική βαλβίδα. Από αυτά θα χρησιμοποιηθούν τα έξι αισθητήρια θερμοκρασίας αέρα. Τα αισθητήρια θερμοκρασίας είναι τύπου KTY81/210, PTC αισθητήρια.

Ο έλεγχος της βαθμονόμησης των αισθητηρίων θερμοκρασίας για σφάλματα έγινε με σύστημα Dry-Well της εταιρείας Fluke στην περιοχή 10°C-55°C για σταθερές θερμοκρασίες με βήμα 5°C. Για τη διαδικασία χωρίστηκαν τα αισθητήρια σε τρία σετ των δύο αισθητηρίων και υποβλήθηκαν σε αυτή ανά σετ.

Το όργανο βαθμονόμησης τύπου DRY-WELL έχει εύρος μετρήσεων από τους -25°C έως 140°C και διακριτική ικανότητα θερμοκρασίας 0.1°C. Ο πρότυπος αισθητήρας που χρησιμοποιεί είναι RTD από πλατίνα. Η ακρίβειά του είναι  $\pm 0.25^\circ\text{C}$  και  $\pm 1.0^\circ\text{C}$  και η σταθερότητά του είναι  $\pm 0.02^\circ\text{C}$  στους -25°C και  $\pm 0.04^\circ\text{C}$  στους 140°C.

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης του πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις για να λειτουργήσει με ασφάλεια:

- Η θερμοκρασία να κυμαίνεται από 5 έως 45°C.
- Η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος να κυμαίνεται από 15 έως 50%.
- Η πίεση να κυμαίνεται από 75kPa μέχρι 106kPa.
- Η τάση του δικτύου να είναι  $\pm 10\%$  της ονομαστικής τιμής (115VAC, 1.3A ή 230VAC, 0.7A).
- Οι δονήσεις στο περιβάλλον των μετρήσεων πρέπει να είναι μηδαμινές.
- Το υψόμετρο λιγότερο από 2.000 μέτρα.

Οι συνθήκες στο Εργαστήριο είναι εντός των ορίων λειτουργίας με ασφάλεια του συστήματος.



Για κάθε σετ μετρήσεων, δόθηκε χρόνος 10 λεπτών για σταθεροποίηση του dry-well και χρόνος για την σταθεροποίηση των αισθητήρων.

Πίνακας 2

T(°C)	K1(°C)	K2(°C)	K3(°C)	K4(°C)	K5(°C)	K6(°C)
10,0	10,5	10,4	10,4	10,4	10,5	10,5
15,0	15,4	15,3	15,3	15,3	15,4	15,4
20,0	20,2	20,2	20,3	20,3	20,4	20,3
25,0	25,3	25,2	25,2	25,2	25,4	25,3
30,0	30,1	30,1	30,1	30,2	30,3	30,2
35,0	35,0	35,1	35,0	35,1	35,2	35,1
40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,2	40,0
45,0	44,9	44,9	44,9	45,0	45,2	44,9
50,0	49,8	50,0	49,8	50,0	50,2	49,9
55,0	54,9	55,0	54,8	54,9	55,1	54,8

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται οι τιμές θερμοκρασίας του DryWell (T) σε σύγκριση με τις τιμές των αισθητηρίων K1 έως K6. Παρατηρείται ότι το σφάλμα στις μετρήσεις των αισθητηρίων είναι  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , το οποίο είναι εντός των αποδεκτών ορίων.

### 4.3 Κεντρικός σταθμός ελέγχου και επιτήρησης

Ένα σύστημα BEMS και στη συγκεκριμένη περίπτωση το KOBRA μπορεί να λειτουργήσει και αυτόνομα. Για ευκολία πρόσβασης του χρήστη στο BEMS το σύστημα συνδέεται με κεντρικό σταθμό ελέγχου και επιτήρησης. Αυτός ο σταθμός συνήθως είναι ένας Η/Υ με σύγχρονες τεχνικές προδιαγραφές. Με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού ο χρήστης αποκτά πρόσβαση στη δικτυακή διεπαφή του KOBRA.

Εκτός από τη διεπαφή κάθε BEMS έχει προγράμματα τα οποία επιτρέπουν στο χρήστη τον προγραμματισμό των ψηφιακών ελεγκτών και την οπτικοποίηση της επιτήρησης. Για το KOBRA αυτά τα προγράμματα είναι το KOBRA Architect (προγραμματισμός) και το KOBRA Assistant.

### 4.4 Λογισμικό διεπαφής

Για τη δικτυακή διεπαφή, το KOBRA διασυνδέθηκε με τον mini Η/Υ τύπου NUC με λειτουργικό LINUX.

Διευθυνσιοδοτώντας τον Η/Υ με τις κατάλληλες IP διευθύνσεις και χρησιμοποιώντας φυλλομετρητή, αποκτήθηκε πρόσβαση στον εξυπηρετητή ιστοσελίδων (webserver). Οι κεντρικές σελίδες του εξυπηρετητή ιστοσελίδων φαίνονται στις εικόνες 16 και 17, αντίστοιχα.

The screenshot shows the iKobra control interface. At the top left is the logo 'koora'. In the top right corner, there is a 'Stop' button. The main title is 'iKobra'. Below the title, there are two tabs: 'Cooling act.' and 'Heating act.'. Underneath, it displays 'Outside Temperature' as 28.2°C. A separator line with three dots follows. Below that is a table of temperature data for various zones.

Zone	Humidity	Target Temp	Current Temp
T01_1	43 %	22.0°C	25.8°C
T6_50_K1		22.0°C	26.7°C
T6_50_K2		22.0°C	32.4°C
T6_50_K3		22.0°C	27.4°C
T6_50_K4		22.0°C	27.0°C
T6_51_K1		22.0°C	27.2°C
T6_51_K2		22.0°C	27.0°C
T6_51_K3_Pipe		22.0°C	27.0°C
T6_51_K4_Pipe		22.0°C	27.5°C

Εικόνα 16 Κεντρική σελίδα διεπαφής

The screenshot shows the iKobra control interface with system status and control options. It lists 'OČ Radiators' with an 'Operate' button, 'OČ Cooling' with a 'Stand' button, and two zones, '50\_Q2' and '50\_Q1', both with 'Automated' status and 'Act.' buttons.

OČ Radiators	Operate
OČ Cooling	Stand
50_Q2	Automated Act.
50_Q1	Automated Act.

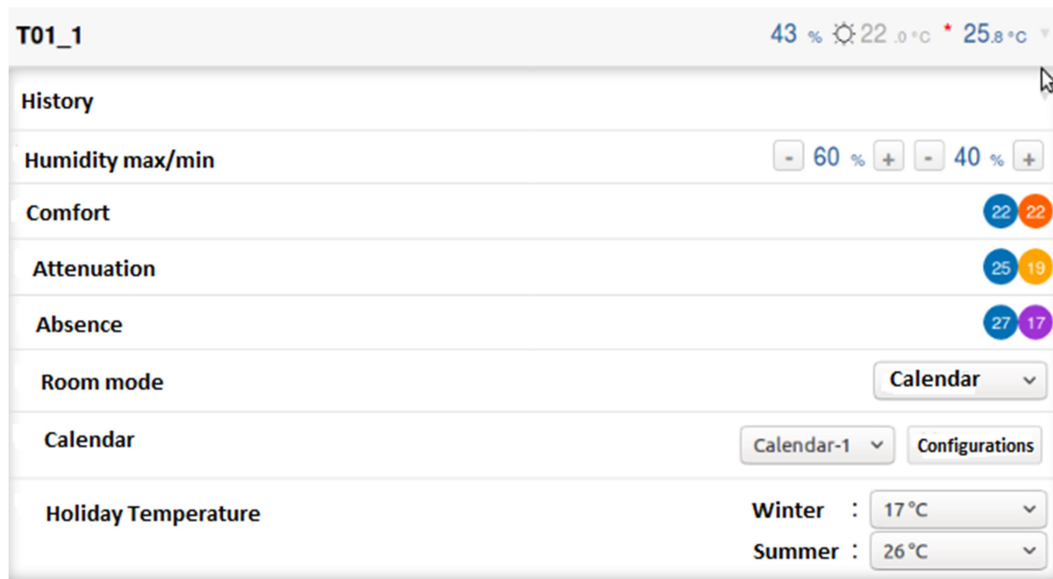
Εικόνα 17 Κεντρική σελίδα διεπαφής

Από τις σελίδες αυτές ο χρήστης μπορεί να παρακολουθεί τις τιμές των αισθητηρίων, να θέσει το σύστημα σε λειτουργία ψύξης, θέρμανσης και αργιών. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα να ενεργοποιήσει τους ηλεκτρονόμους, να τους απενεργοποιήσει ή να τους θέσει σε αυτόματη λειτουργία.

<b>Building</b>	<input type="checkbox"/> Cooling act. <input checked="" type="checkbox"/> Heating act.
<b>Heating</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Cooling</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Holiday</b>	<input type="checkbox"/>
<b>Time of Arrival</b>	01.01.2016 13:00 ▾
	2016    February ▾    12. Fri. ▾    17:00 ▾ <input type="button" value="Save and activate"/>
<b>System Time</b>	09.06.2017 12:39 ▾
	2016    February ▾    12. Fri. ▾    17 ▾    :30 ▾ <input type="button" value="Save"/>
<b>Holiday temperature for all rooms</b>	Heating : 17 °C ▾ Cooling : 26 °C ▾
<b>History</b>	▾
<b>Outside Temperature</b>	28.2 °C

Εικόνα 18 Το παράθυρο του κτιρίου

Εκτός από την επιλογή ενεργοποίησης των ρυθμίσεων θέρμανσης ή ψύξης, ο χρήστης μπορεί επίσης να θέσει το σύστημα σε λειτουργία διακοπών. Άλλες επιλογές που δίνει στον χρήστη είναι να επέμβει στην ημερομηνία άφιξης από τις διακοπές, στην ημερομηνία του συστήματος καθώς και στη θερμοκρασία των χώρων για την επιλογή της ρύθμισης διακοπών. Στο ιστορικό δείχνει ένα διάγραμμα της εξωτερικής θερμοκρασίας με επιλογές για μία μέρα, δύο μέρες, της εβδομάδας, του μήνα, για μισό χρόνο και έναν χρόνο καθώς επίσης και την επιλογή εξαγωγής των μετρήσεων αυτών.

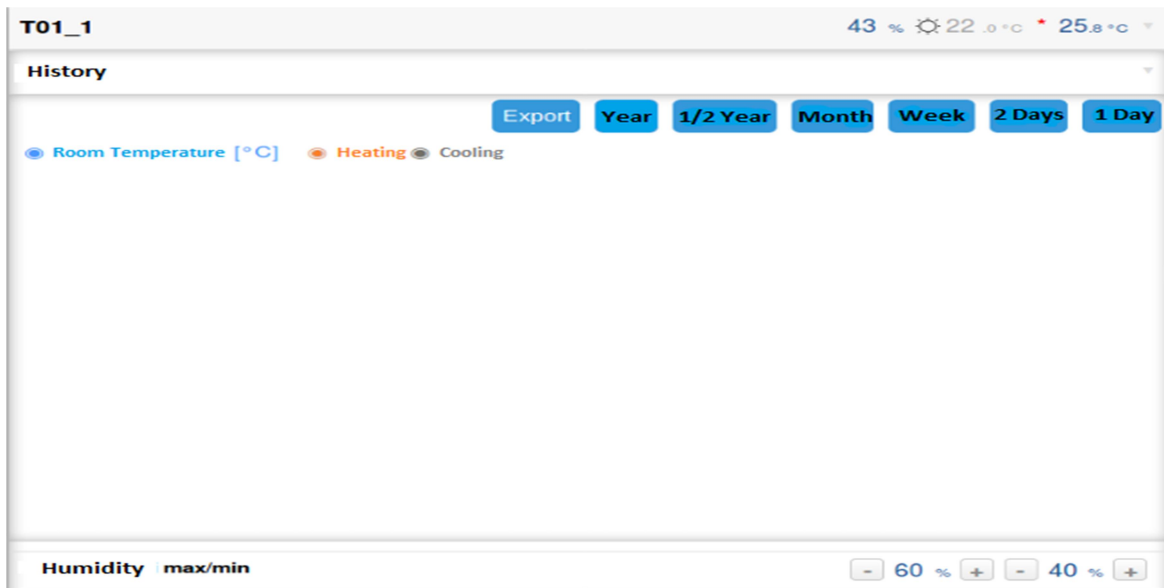


Εικόνα 19 Το παράθυρο επιλογών των αισθητηρίων

Το παράθυρο των αισθητηρίων είναι παρόμοιο για όλα τα αισθητήρια με τη μόνη διαφορά σε αυτό μέτρησης της υγρασίας που επιτρέπει να θέσεις μέγιστη και ελάχιστη επιθυμητή υγρασία στο χώρο. Τα αισθητήρια παίζουν και το ρόλο του θερμοστάτη στον κάθε χώρο, καθώς ανάλογα με τη θερμοκρασία και τις ρυθμίσεις που έχει πραγματοποιήσει ο χρήστης σε αυτά δίνει ανάλογη εντολή στο BEMS.

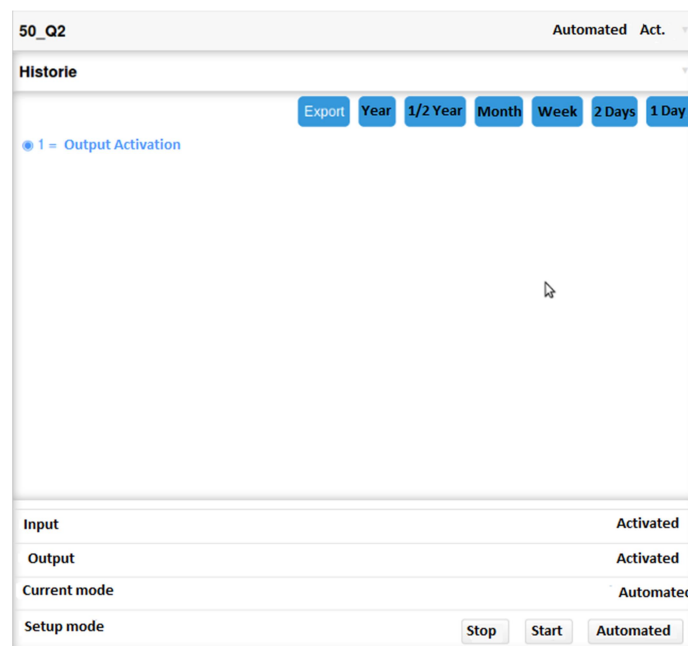
Επίσης υπάρχουν τρία σεντ θερμοκρασιών όπου το κάθε σεντ έχει μια θερμοκρασία για τους καλοκαιρινούς μήνες και μία για τους χειμερινούς. Το πρώτο σεντ είναι για όταν υπάρχουν άνθρωποι στο κτήριο με θερμοκρασία που έχει τεθεί για θερμική άνεση. Το δεύτερο είναι για όταν μπορεί να μειωθεί το επίπεδο άνεσης γιατί δεν επηρεάζει τους κατοίκους του χώρου π.χ. η βραδινή θερμοκρασία σε ένα σπίτι. Το τρίτο σεντ αφορά την επιθυμητή θερμοκρασία χώρου όταν δεν υπάρχει κανένας στο κτήριο, π.χ. η βραδινή θερμοκρασία σε γραφεία.

Στο Room mode ο χρήστης μπορεί να υποδείξει στο σύστημα από που να πάρει αυτά τα σεντ θερμοκρασιών. Επιλέγοντας το ημερολόγιο δίνει τη δυνατότητα επιλογής σε ένα από τα 32 θερμοκρασιακά ημερολόγια που έχουν δημιουργηθεί. Τέλος ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τη θερμοκρασία διακοπών για τον χειμώνα και το καλοκαίρι.



Εικόνα 20 Παράθυρο ιστορικού του αισθητήρα

Το παράθυρο του ιστορικού θερμοκρασίας του αισθητήρα είναι παρόμοιο με αυτό της εξωτερικής θερμοκρασίας με τη διαφορά πως εδώ μας δείχνει και τη θερμοκρασία που λειτουργεί η θέρμανση και η ψύξη.



Εικόνα 21 Παράθυρο επιλογών ηλεκτρονόμου

Σε αυτή την εικόνα φαίνονται οι επιλογές για τον ηλεκτρονόμο καθώς και το ιστορικό λειτουργίας του. Με το Stop/Start μπορεί να τεθεί σε λειτουργία χειροκίνητα, να παύσει η λειτουργία του ή να μπει στην αυτόματη λειτουργία όπου διατηρεί με την εντολή άνοιξε/κλείσε, στο μηχάνημα που είναι συνδεδεμένος, τη θερμοκρασία που έχει επιλέξει ο χρήστης στο ημερολόγιο του κάθε χώρου.

Calendar name	Calendar-1
Comfort	- 22.0 °C Heat. +
Attenuation	- 19.0 °C Heat. +
Absence	- 17.0 °C Heat. +
Temperature settings	Heating
Calendar settings	Save
<b>Mon.</b> 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 	
Tue - as Monday	As Monday
Wed - as Monday	As Monday
Thu - as Monday	As Monday
Fri - as Monday	As Monday

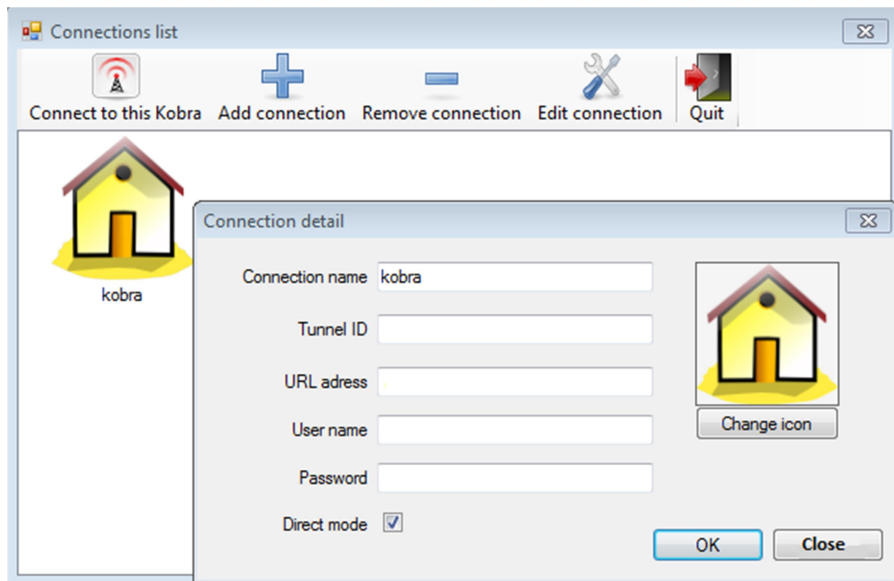
Εικόνα 22 Παράθυρο επιλογών για τα ημερολόγια.

Στην εικόνα 22 παρουσιάζεται το παράθυρο με τα ημερολόγια με τα οποία υλοποιείται ο χρονοπρογραμματισμός. Υπάρχουν συνολικά 32 ημερολόγια στα οποία μπορεί ο χρήστης να φτιάξει 32 διαφορετικά θερμοκρασιακά προφίλ.

Υπάρχει η δυνατότητα σε αυτό το παράθυρο να γίνει αλλαγή στο όνομα του ημερολογίου. Επίσης να τεθούν θερμοκρασίες για τα σετ που αναφέρθηκαν νωρίτερα. Εκτός από αυτά στο κάθε ημερολόγιο μπορούν να επιλεγούν οι ημέρες και οι ώρες που θα είναι σε λειτουργία το κάθε θερμοκρασιακό σετ. Για τις καθημερινές εφόσον το πρόγραμμα που τηρείται στο κτήριο είναι το ίδιο μπορεί να δημιουργηθεί το πρόγραμμα της Δευτέρας και να επιλεγούν οι άλλες μέρες να ακολουθούν αυτό το πρόγραμμα.

#### 4.5 KOBRA Assistant

Το KOBRA Assistant είναι η εφαρμογή που κάνει πιο εύκολη την επιτήρηση του KOBRA. Επίσης δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να αλλάξει κάποιες παραμέτρους όπως τη θερμοκρασία για τη ρύθμιση διακοπών.



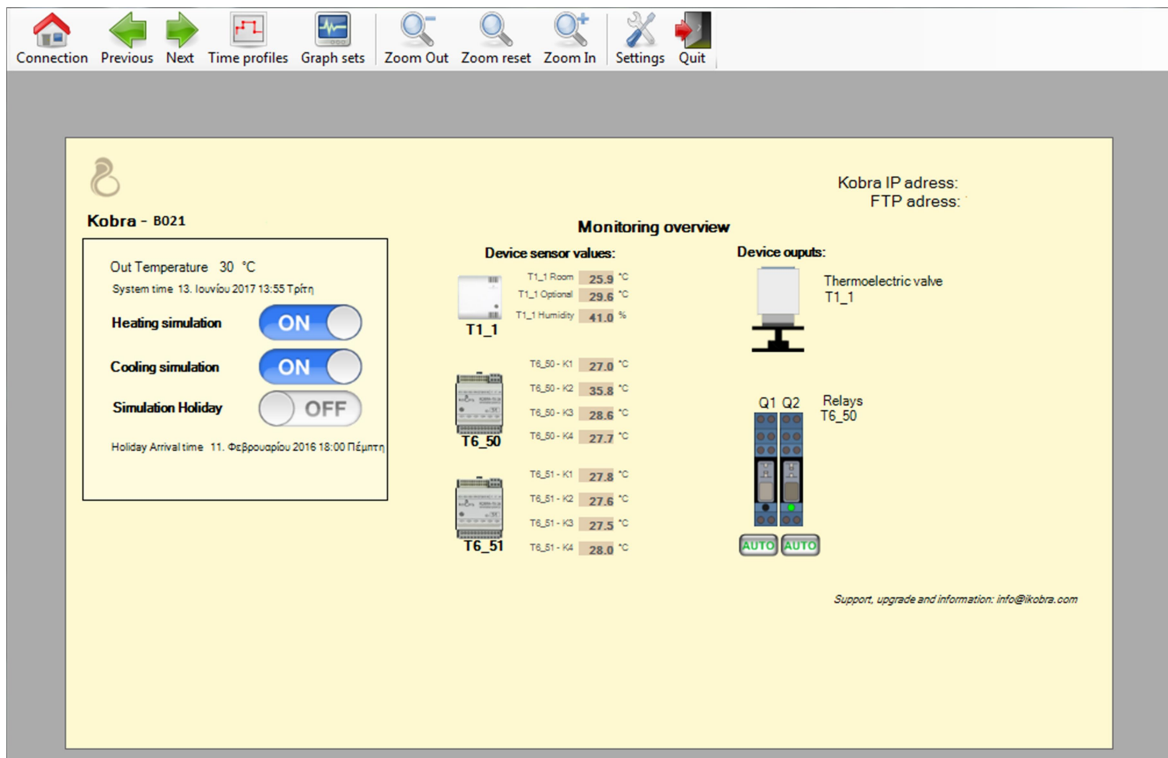
Εικόνα 23 Παράθυρο σύνδεσης στο KOBRA Assistant

Η παραπάνω εικόνα είναι το παράθυρο όταν ανοίγει ο χρήστης την εφαρμογή Assistant. Μπορούν να υπάρχουν παραπάνω από ένα συστήματα KOBRA και να συνδέεται ο χρήστης στο καθένα ξεχωριστά από αυτό το παράθυρο.

Το παράθυρο επιτήρησης δείχνει τις τιμές των αισθητηρίων τη δεδομένη στιγμή και το αν είναι σε λειτουργία η θερμοηλεκτρική βαλβίδα και οι ηλεκτρονόμοι. Μεταξύ άλλων, δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να ενεργοποιήσει την προσομοίωση θέρμανσης, ψύξης και της λειτουργίας διακοπών. Πατώντας στο κουμπί κάτω από τους ηλεκτρονόμους ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να τους ανοίξει, να τους κλείσει ή να τους θέσει στην αυτόματη λειτουργία.

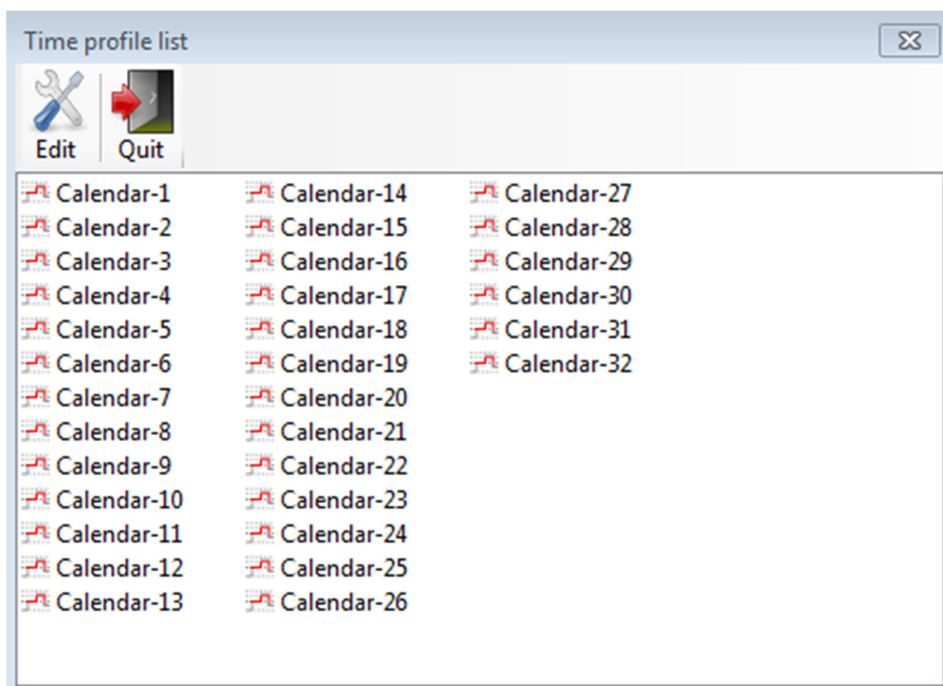
Σε περίπτωση που ο χρήστης θέλει να κάνει σύγκριση μεταξύ διαγραμμάτων μπορεί να φτιάξει ένα σετ στην επιλογή Graph sets και εκεί να προσθέσει τα διαγράμματα που θέλει.

Στην επιλογή Time Profiles παρουσιάζονται όλα τα θερμοκρασιακά ημερολόγια και ο χρήστης επιλέγοντας κάποιο από αυτά και πατώντας Edit μπορεί να το προσαρμόσει στις ανάγκες του εκάστοτε χώρου.



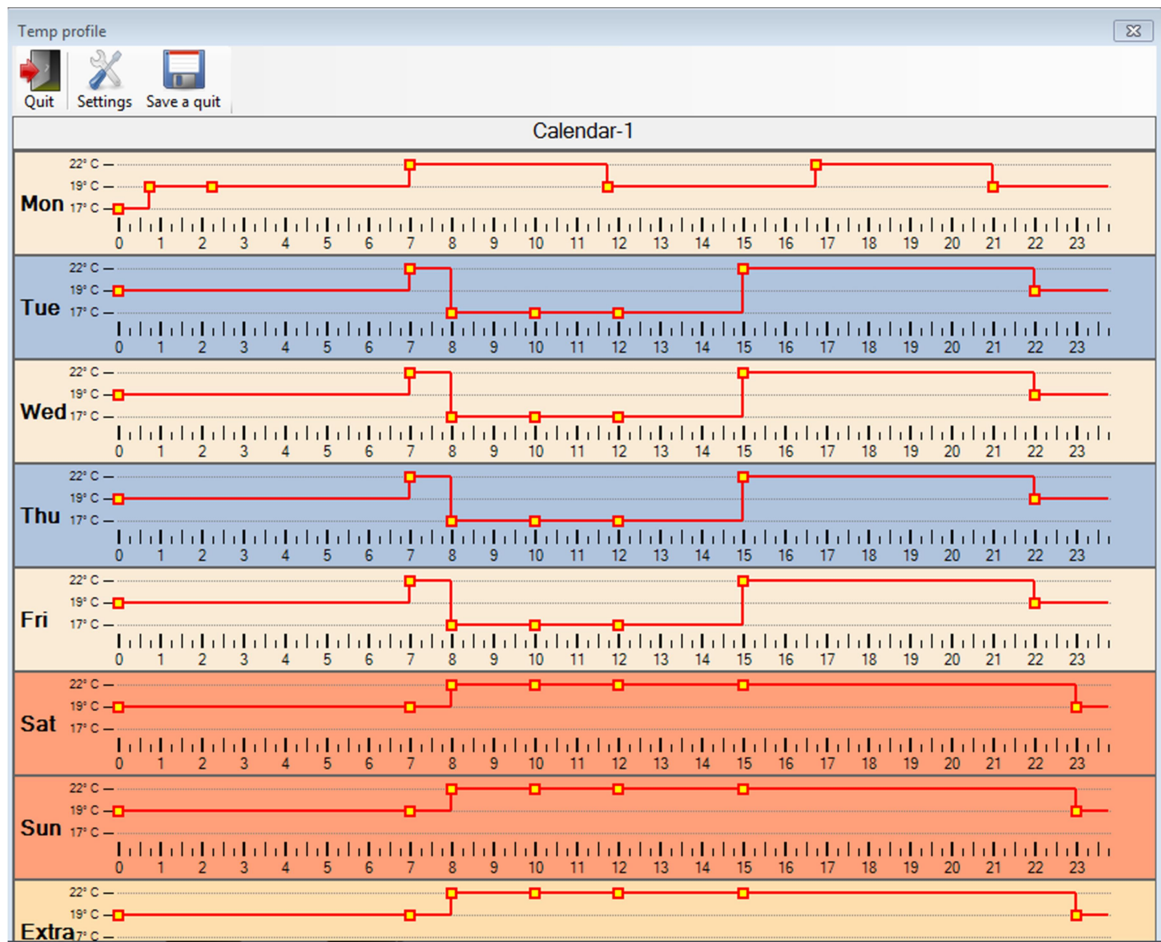
Εικόνα 24 Παράθυρο επιτήρησης

Μετακινώντας τα κίτρινα τετράγωνα που φαίνονται στην εικόνα 26 μπορούν να πραγματοποιηθούν γρήγορες αλλαγές στα ημερολόγια. Να παρατηρηθεί πως υπάρχει η επιλογή για 17°C, 19°C και 22°C. Η αλλαγή στις θερμοκρασίες αυτές μπορεί να γίνει από τις ρυθμίσεις για θέρμανση, ψύξη όπως και η αλλαγή στο όνομα του ημερολογίου.



Εικόνα 25 Τα θερμοκρασιακά ημερολόγια





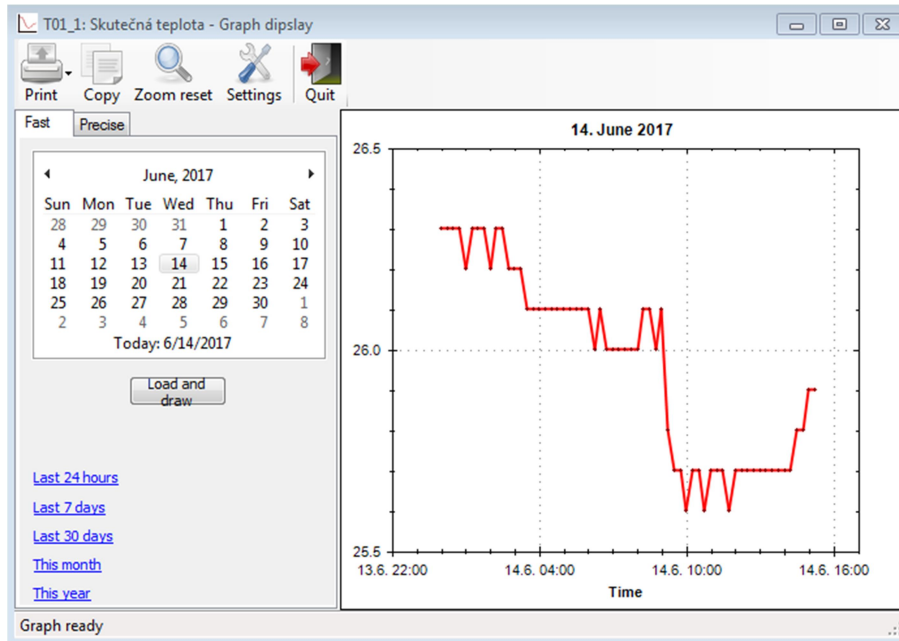
Εικόνα 26 Επεξεργασία των θερμοκρασιακών ημερολογίων

	Heating	Cooling
☀	22 °C	22 °C
☾	19 °C	25 °C
—	17 °C	27 °C

Εικόνα 27 Ρυθμίσεις θερμοκρασιακών ημερολογίων

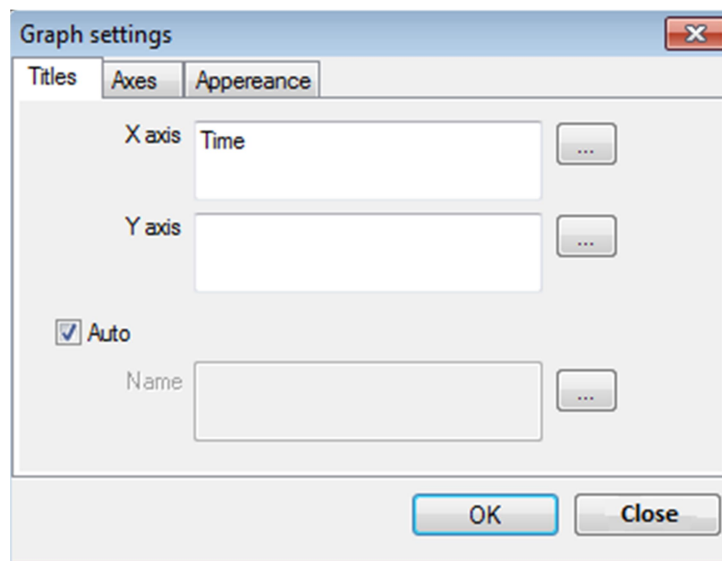
Πατώντας σε κάποιο αισθητήριο, ηλεκτρονόμο ή τη θερμοηλεκτρική βαλβίδα ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δει τα γραφήματα λειτουργίας τους. Για τη θερμοηλεκτρική βαλβίδα για παράδειγμα το γράφημα θα δείχνει τις ώρες που ήταν ανοιχτή ή κλειστή.

Ο χρήστης έχει την επιλογή να δει το γράφημα με τις μετρήσεις των τελευταίων 24 ωρών, 7 και 30 ημερών καθώς και του μήνα ή του χρόνου. Στο ημερολόγιο μπορεί να επιλέξει κανείς συγκεκριμένη μέρα για να δει τις μετρήσεις της. Επιπλέον υπάρχει και η δυνατότητα της μεγέθυνσης.

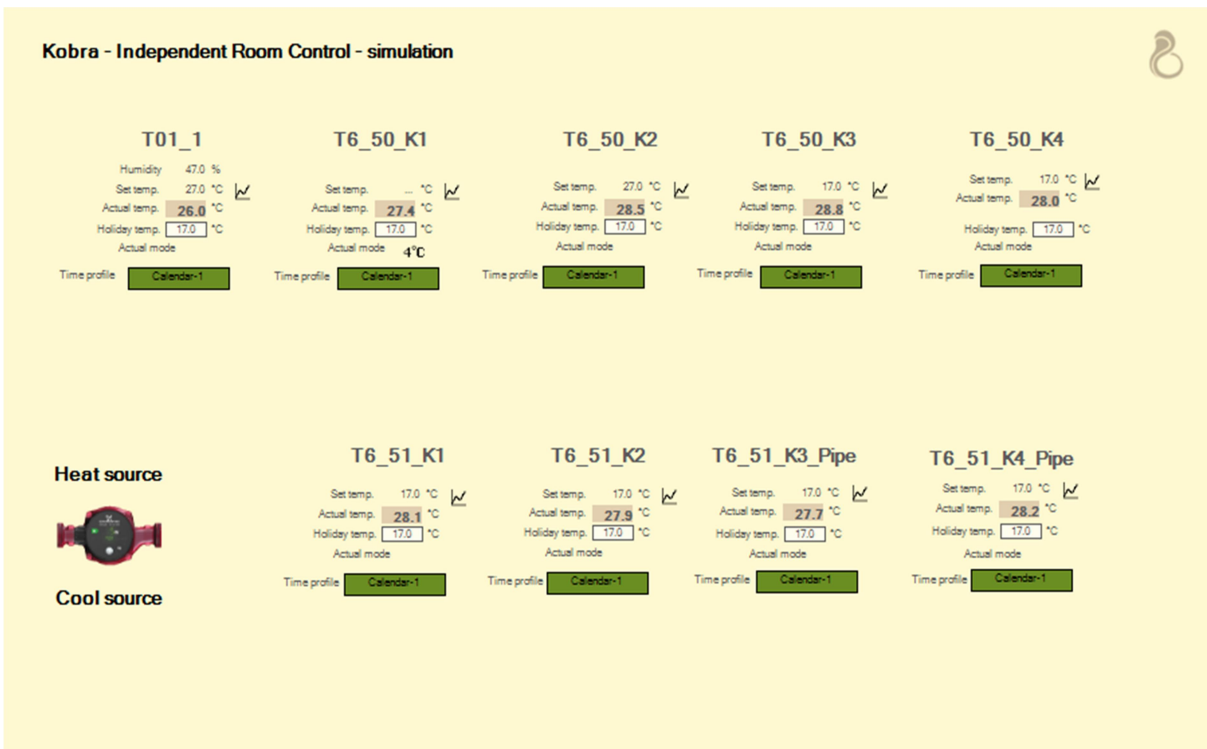


Εικόνα 28 Γράφημα θερμοκρασίας αισθητηρίου

Στην επιλογή Precise ο χρήστης μπορεί να δει τις μετρήσεις για ένα συγκεκριμένο σύνολο ημερών. Επιπρόσθετα στις ρυθμίσεις ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τους τίτλους των αξόνων καθώς και την πυκνότητα των αξονικών γραμμών και το χρώμα του γραφήματος.



Εικόνα 29 Ρυθμίσεις γραφημάτων



Εικόνα 30 Παράθυρο ελέγχου

Σε αυτό το παράθυρο ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αλλάξει την τιμή για τη θερμοκρασία της ρύθμισης διακοπών. Ακόμα πατώντας στο Time profile να διαλέξει ένα από τα θερμοκρασιακά ημερολόγια για τον κάθε αισθητήρα. Όπως αναφέρθηκε οι αισθητήρες λειτουργούν και σαν θερμοστάτες. Έτσι εκτός από την επιθυμητή θερμοκρασία για τον κάθε αισθητήρα ο χρήστης βλέπει και την πραγματική θερμοκρασία που μετράει εκείνη την ώρα ο αισθητήρας.

#### 4.6 Λογισμικό KOBRA Architect

Το KOBRA Architect είναι το πρόγραμμα διαμόρφωσης του KOBRA. Με τη βοήθεια του λογισμικού αυτού είναι δυνατός ο προγραμματισμός λειτουργιών ελεγχόμενων από το BEMS. Επιπροσθέτως με το Architect χρησιμοποιώντας είτε κάποιο από τους προεγκατεστημένους αλγόριθμους ελέγχου (τύπου block) ο χρήστης μπορεί να διαμορφώσει στο πρόγραμμα πολλαπλά σενάρια ελέγχου που θα εκτελεί το BEMS.

#### 4.7 Ποιες είναι οι λειτουργίες του συστήματος

Συνοψίζοντας, το KOBRA μέσα από την δικτυακή διεπαφή του και τα δύο προγράμματα μπορεί να ελέγχει τις συνθήκες που έχουμε ορίσει σε κάθε χώρο με τα αντιστοιχούντα αισθητήρια. Μέσα από τους ηλεκτρονόμους δίνει εντολή άνοιξε-κλείσε στο σύστημα που είναι συνδεδεμένο μαζί του προκειμένου να πετύχει τις επιθυμητές μετρήσεις που έχει ορίσει ο χρήστης.

Μέσα από τη δικτυακή διεπαφή ή το Assistant δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να επιτηρεί τη λειτουργία του συστήματος με εύκολο και απλό τρόπο. Επίσης να μπορεί να επέμβει σε απλές παραμέτρους όπως την επιλογή της επιθυμητής θερμοκρασίας για τον εκάστοτε χώρο και τη χειροκίνητη λειτουργία των ηλεκτρονόμων.

Μέσα από γραφήματα και τη σύγκριση αυτών ο χρήστης μπορεί ανά πάσα στιγμή να δει και να συγκρίνει παλιότερες μετρήσεις.

Kobra Architekt

File Úpravy Load and draw Projekt Sestavení Nástroje nápověda

MR21\_A.COM2 CPU\_2\_ZRAM\_15

Kobra IP address: 192.168.1.3:8002  
FTP address: 192.168.1.3:21

### Kobra - B021

#### Monitoring overview

Out Temperature ... °C

System time ...

**Heating simulation**  OFF

**Cooling simulation**  OFF

**Simulation Holiday**  OFF

Holiday Arrival time ...

**Device sensor values:**

**T1\_1**

- T1\_1 Room ... °C
- T1\_1 Optional ... °C
- T1\_1 Humidity ... %

**T6\_50**

- T6\_50 - K1 ... °C
- T6\_50 - K2 ... °C
- T6\_50 - K3 ... °C
- T6\_50 - K4 ... °C

**T6\_51**

- T6\_51 - K1 ... °C
- T6\_51 - K2 ... °C
- T6\_51 - K3 ... °C
- T6\_51 - K4 ... °C

**Device outputs:**

Thermoelectric valve  
T1\_1

Relays  
T6\_50

Q1 Q2

AUTO AUTO

ONOFFAUTO\_50\_Q1 ONOFFAUTO\_50\_Q2

Support, upgrade and information: [info@ikobra.com](mailto:info@ikobra.com)  
Last update: 1.12.2015

**Global variables (Globální proměnné):**

Name	Value
TR06_ADDRESS	56
TR03_ADDRESS	33
TR02_ADDRESS	48
TR01_ADDRESS	16
ROOM_ADDRESS	15
ROLL_ADDRESS	2

**Inspector (Inspektor objektů):**

- 1-Overview
  - CPU
  - Display\_228
  - Display\_230
  - Display\_29
  - Display\_33
  - Display\_34
  - Display\_35
  - Display\_36

SKT | 002 | Size: 1200x700 | Zoom: 100% | X: 557 ; Y: 561 | Text\_69 - x: 920 ; y: 60

Εικόνα 31 Οθόνη σχεδίασης του συστήματος ελέγχου μέσω του KOBRA Architect

## **5 ΕΠΙΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΜΕ ΤΟ BEMS**

### **5.1 Μετρήσεις με το BEMS**

Οι μετρήσεις έγιναν στον χώρο της εργαστηριακής αίθουσας B021 για το χρονικό διάστημα 27-3-18 έως 31-3-18. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν τρία αισθητήρια που είναι συνδεδεμένα με το BEMS. Τα αισθητήρια αυτά βρίσκονταν από το έδαφος 1m, 2m και 2,5m αντιστοίχως. Το BEMS εκτός από τα τρία αισθητήρια θερμοκρασίας ήταν συνδεδεμένο και με τους ανεμιστήρες της αίθουσας. Σκοπός των μετρήσεων αυτών είναι να εξεταστεί αν το BEMS ελέγχοντας τους ανεμιστήρες της αίθουσας μπορεί να κατεβάζει τη θερμοκρασία στα επιθυμητά επίπεδα καθώς και να παρατηρήσουμε τη λειτουργία του σε μία απλοϊκή εφαρμογή.

### **5.2 Διεξαγωγή μετρήσεων**

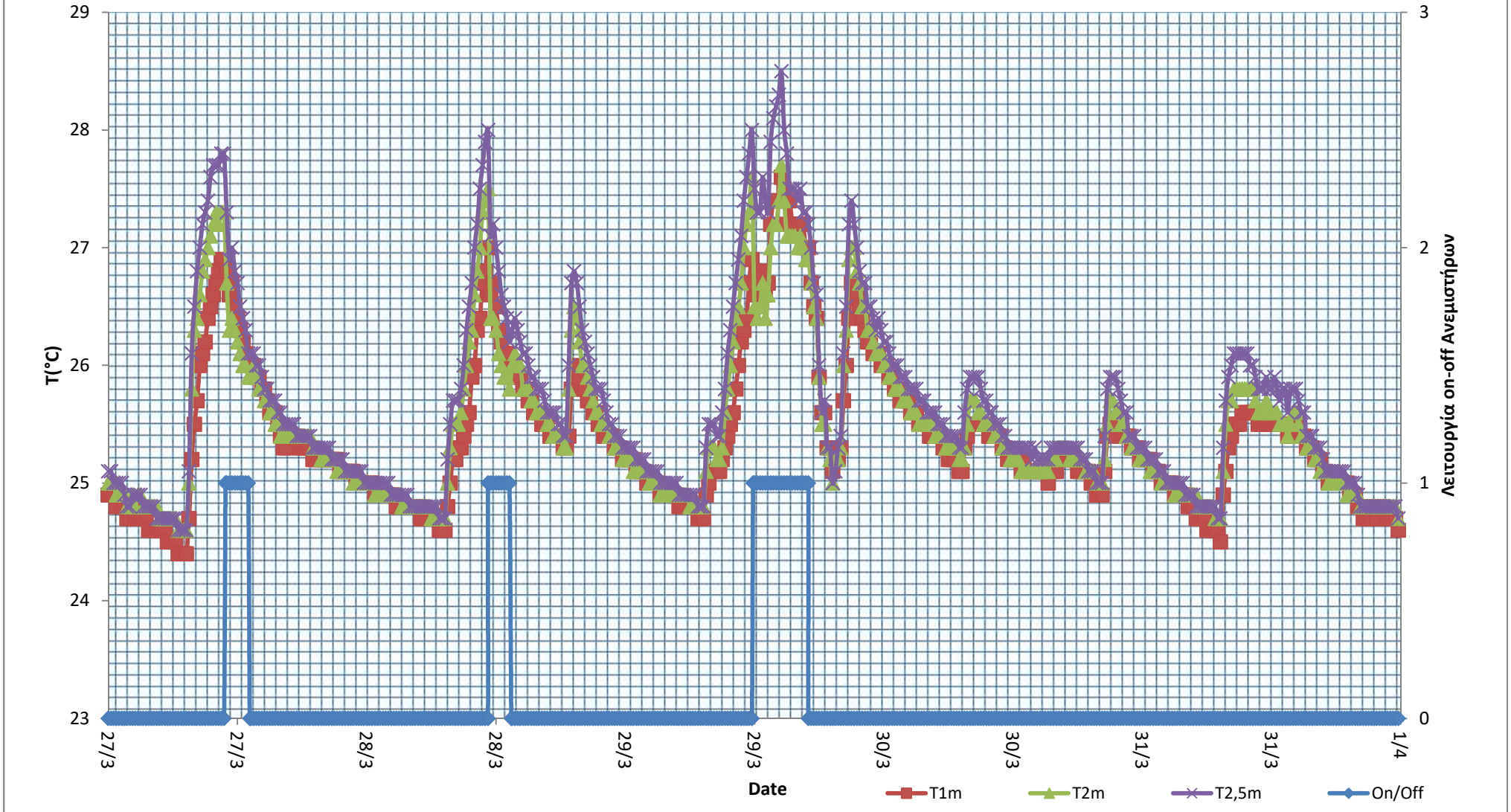
Η εξαγωγή των μετρήσεων θερμοκρασίας των αισθητηρίων έγινε μέσω της διαδικτυακής διεπαφής του BEMS. Εκτός από τις μετρήσεις θερμοκρασίας έγινε εξαγωγή και των μετρήσεων ένδειξης on/off των ανεμιστήρων. Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις αυτές δημιουργήθηκαν τρία (3) γραφήματα θερμοκρασίας - χρόνου που αφορούν το χρονικό διάστημα 27-3-18 έως 31-3-18, την Τρίτη 27-3-18 και Πέμπτη 29-3-18.

Στο διάγραμμα 1 παρουσιάζεται η αυξομείωση της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με τον χρόνο για πέντε (5) ημέρες καθώς και η λειτουργία on-off των ανεμιστήρων σε σχέση με το χρόνο. Η λειτουργία on-off των ανεμιστήρων ήταν ελεγχόμενη από το KOBRA το οποίο είχε ρυθμιστεί να δίνει εντολή On όταν η θερμοκρασία στον χώρο του εργαστηρίου ξεπερνούσε τους 26,5 °C και off όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 25,5 °C.

Στο διάγραμμα 2 παρουσιάζεται η αυξομείωση της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο για μία (1) ημέρα (την 27/3/2018), η λειτουργία on-off των ανεμιστήρων σε σχέση με το χρόνο και η εξωτερική θερμοκρασία σε σχέση με το χρόνο. Η λειτουργία on-off των ανεμιστήρων ήταν ελεγχόμενη από το KOBRA το οποίο είχε ρυθμιστεί να δίνει εντολή On όταν η θερμοκρασία στον χώρο του εργαστηρίου ξεπεράσει τους 26,5 °C και off όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 25,5 °C.

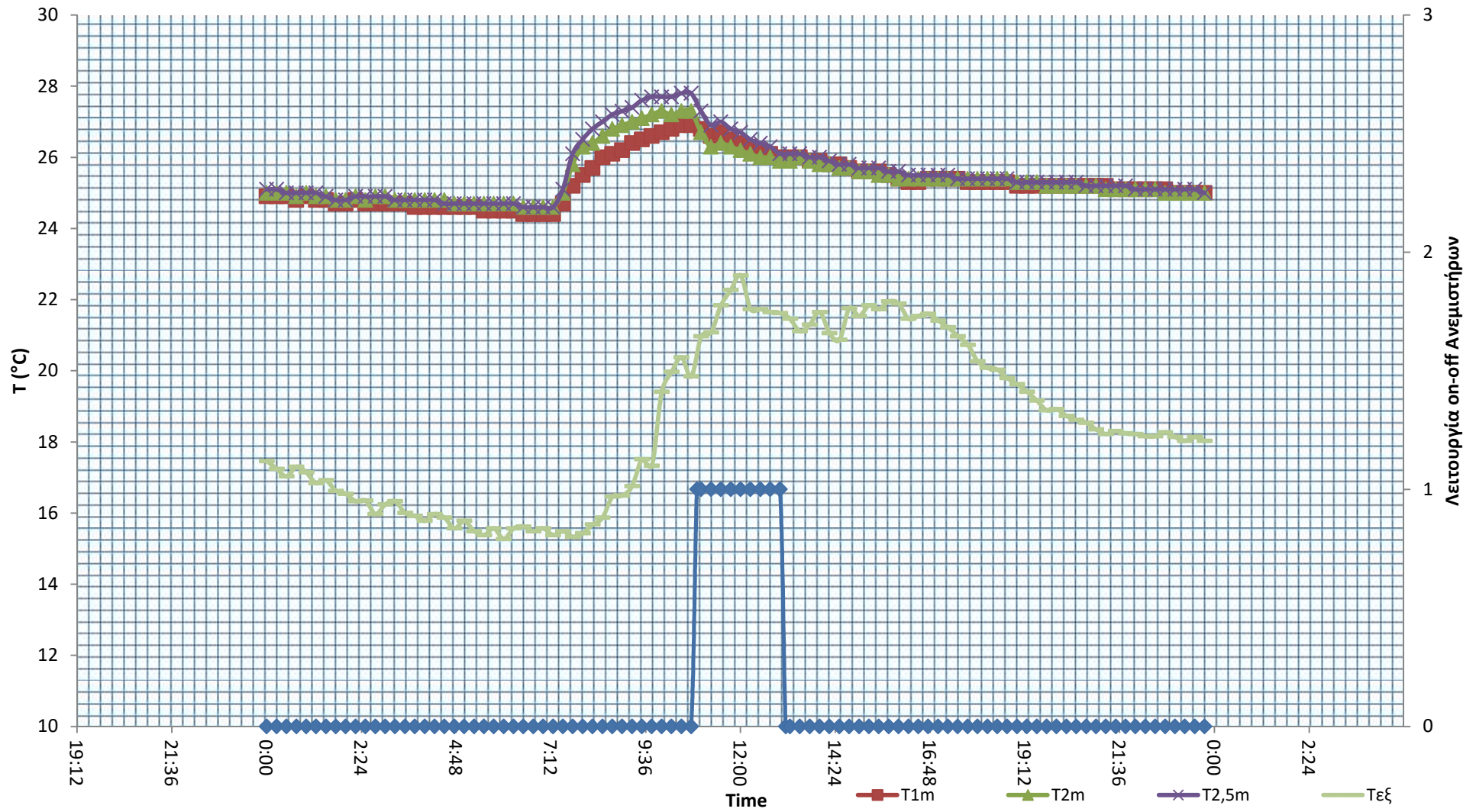


Διάγραμμα Θερμοκρασίας-Χρόνου 5 ημερών



Διάγραμμα 1 Θερμοκρασίας-Χρόνου-Λειτουργίας On/Off Ανεμιστήρων

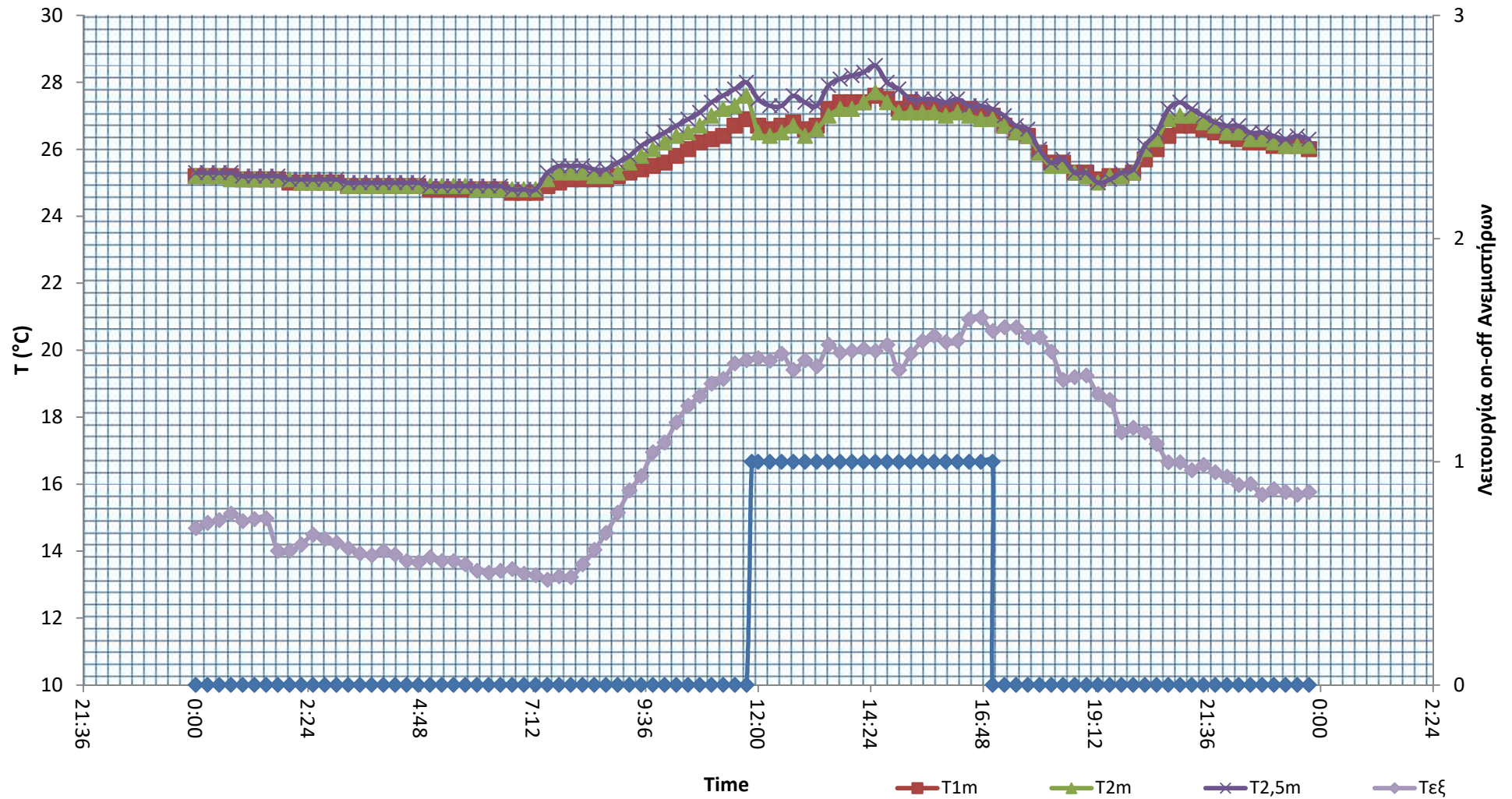
Διάγραμμα Θερμοκρασίας-Χρόνου για τις 27-3-2018



Διάγραμμα 2 Θερμοκρασίας-Χρόνου-Λειτουργίας On/Off Ανεμιστήρων



Διάγραμμα Θερμοκρασίας-Χρόνου για τις 29-3-2018



Διάγραμμα 3 Θερμοκρασίας-Χρόνου-Λειτουργίας On/Off Ανεμιστήρων

Στο διάγραμμα 3 παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο για μία (1) ημέρα (την 29/3/2018), η λειτουργία on-off των ανεμιστήρων σε σχέση με το χρόνο και η εξωτερική θερμοκρασία σε σχέση με το χρόνο.

Η λειτουργία on-off των ανεμιστήρων ήταν ελεγχόμενη από το KOBRA το οποίο είχε ρυθμιστεί να δίνει εντολή On όταν η μέση θερμοκρασία στον χώρο του Εργαστηρίου ξεπεράσει τους 26°C και off όταν η μέση θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 26°C.

Για τον υπολογισμό της χωρικής μέσης στιγμιαίας θερμοκρασίας του αέρα, λαμβάνονται τιμές σε τρεις διαφορετικές υψομετρικές θέσεις από τα αισθητήρια θερμοκρασίας του BEMS

### 5.3 Αποτελέσματα και Σχολιασμός

Στο διάγραμμα των πέντε ημερών (Διάγραμμα 1) παρατηρείται ότι η μέγιστη θερμοκρασία ήταν στις 29/3/18 και ώρα 14:30 όπου τα αισθητήρια  $T_{1m}$ ,  $T_{2m}$  και  $T_{2,5m}$  μέτρησαν θερμοκρασίες 27.6°C, 27.7°C και 28.5°C, αντίστοιχα. Η ελάχιστη θερμοκρασία ήταν στις 27/3/2018 και ώρα 06:30 όπου τα αισθητήρια  $T_{1m}$ ,  $T_{2m}$  και  $T_{2,5m}$  μέτρησαν θερμοκρασία 24.4°C, 24.6°C και 24.6°C αντίστοιχα. Οι θερμοκρασίες αυτές αντιστοιχούν κατά ένα μεγάλο μέρος στις μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες του εξωτερικού περιβάλλοντος. Επίσης οι ανεμιστήρες τέθηκαν σε λειτουργία στις 27, 28 και 29/3/2018 ενώ στις 30 και 31/3/2018 η χωρική μέση στιγμιαία θερμοκρασία δεν ξεπέρασε τους 26.5°C.

Στο διάγραμμα που αφορά τις 27/3/2018 (Διάγραμμα 2) παρατηρείται ότι η μέγιστη θερμοκρασία που μέτρησαν τα αισθητήρια  $T_{1m}$ ,  $T_{2m}$  και  $T_{2,5m}$  ήταν, για το αισθητήριο  $T_{1m}$  στις 10:45 όπου μέτρησε 26.9°C, για το αισθητήριο  $T_{2m}$  στις 10:00 έως τις 10:45 όπου μέτρησε 27.3°C και για το αισθητήριο  $T_{2,5m}$  στις 10:30 έως τις 10:45 όπου μέτρησε 27.8°C. Επίσης οι ανεμιστήρες τέθηκαν σε λειτουργία από τις 10:55 έως τις 13:00 όπου η χωρική μέση στιγμιαία θερμοκρασία ξεπέρασε τους 26 °C.

Στο διάγραμμα που αφορά τις 29/3/2018 (Διάγραμμα 3) παρατηρείται ότι η μέγιστη θερμοκρασία που μέτρησαν τα αισθητήρια  $T_{1m}$ ,  $T_{2m}$  και  $T_{2,5m}$  ήταν, για το αισθητήριο  $T_{1m}$  στις 14:30 όπου μέτρησε 26.9°C, για το αισθητήριο  $T_{2m}$  στις 14:30 όπου μέτρησε 27.7°C και για το αισθητήριο  $T_{2,5m}$  στις 14:30 όπου μέτρησε 28.5°C. Επίσης οι ανεμιστήρες τέθηκαν σε λειτουργία από τις 11:50 έως τις 17:00 όπου η χωρική μέση στιγμιαία θερμοκρασία ξεπέρασε τους 26 °C.

Παρατηρείται ότι το διάγραμμα θερμοκρασίας-χρόνου για τις 29/3/2018 παρουσιάζει μεγαλύτερη θερμοκρασιακή μεταβολή από το διάγραμμα για τις 27/3/2018. Αυτό οφείλεται στο ότι στις 29/3/2018 πραγματοποιούνταν

μαθήματα στην εργαστηριακή αίθουσα και ως επακόλουθο υπήρχαν περισσότεροι άνθρωποι στον χώρο και λειτουργούσε περισσότερος H/M εξοπλισμός (υπολογιστές, projector κτλπ) .

Οι μικρές διαφορές θερμοκρασιών των τριών αισθητήρων οφείλονται στη θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση του χώρου. Αξίζει να σημειώσουμε πως οι μετρήσεις  $T_{1m}$  και  $T_{2m}$  γίνονται σε χαμηλότερο ύψος από εκείνο των ανεμιστήρων της αίθουσας ενώ οι  $T_{2,5m}$  σε υψηλότερη θέση. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τη θέση των αισθητήριων σε σχέση με τους ανεμιστήρες φαίνεται πως το αισθητήριο  $T_{2m}$  είναι αυτό που αποκρίνεται γρηγορότερα στις αλλαγές της ταχύτητας του αέρα και κατ'έκταση τη θερμοκρασιακή μεταβολή όταν λειτουργούν οι ανεμιστήρες ενώ το  $T_{2,5m}$  είναι αυτό που επηρεάζεται το λιγότερο.

#### **5.4 Συμπεράσματα – προτάσεις**

Τα BEMS είναι συστήματα που εστιάζουν κυρίως στην ορθή λειτουργία του H/M εξοπλισμού σε ένα κτίριο ή συγκρότημα κτιρίων διευκολύνοντας τη ζωή των θαμώνων, μειώνοντας τη καταναλισκόμενη ενέργεια και αυτοματοποιώντας τη λειτουργία του H/M εξοπλισμού. Απαραίτητη συνθήκη για να ισχύουν αυτά είναι να γίνει σωστή εγκατάσταση και προγραμματισμός του συστήματος γνωστό και ως commissioning.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το σύστημα KOBRA και αξιοποιώντας συστοιχία ανεμιστήρων που αποτελούσαν το μόνο διαθέσιμο σχετικό H/M εξοπλισμό παρουσιάζουμε μέρος των δυνατοτήτων που προκύπτουν από τη χρήση των τεχνολογιών BEMS. Οι μετρήσεις που έγιναν με τους προαναφερθέντες περιορισμούς είναι σύμφωνες με τις αναμενόμενες από θεωρητικής άποψης.

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι στο μεσοδιάστημα έγινε εγκατάσταση ζεύγους από fan coils το σύστημα KOBRA θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο τους για πιο ολοκληρωμένη θερμοκρασιακή διαχείριση της εργαστηριακής αίθουσας. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα προγραμματισμού του KOBRA ώστε οι λειτουργίες του να ανταποκρίνονται καλύτερα στις επιθυμίες του χρήστη και στη χρήση για την οποία προορίζεται.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

- [1] Α. Αλεξόπουλος and Γ. Λαγογιάννης, Τηλεπικοινωνίες και δίκτυα υπολογιστών, 10th ed. Αθήνα, 2016.
- [2] Α. Αργυρίου, “Αισθητήρες Ημιαγωγών, Αισθητήρες Θερμικοί, Μηχανικοί, Μαγνητικοί, Αισθητήρες Ακτινοβολίας και Χημικοί Αισθητήρες,” Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Φυσικής, Πάτρα, 2004.
- [3] Α. Παπαδόπουλος, “Θερμική Άνεση στα Κτίρια. Νέα Πρότυπα και Βελτίωση Θερμικής Άνεσης στα Κτίρια,” Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ιωάννινα, 2006.
- [4] Βασίλειος Χ. Καπετανίδης, “Εξυπνα Συστήματα Εξοικονόμησης Ενέργειας σε Κτίρια και Βιομηχανίες,” Πτυχιακή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, Αθήνα, 2015.
- [5] Γ. Μιτσηγιώργης, “Σχεδιασμός, Προγραμματισμός και Θέση σε Λειτουργία Συστήματος Διαχείρισης Κτιρίων BMS στα Εργαστήρια Μηχανολόγων Μηχανικών του ΤΕΠΑΚ,” Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Χανιά, 2014.
- [6] Δ. Σισμανίδης, “Μελέτη και Εγκατάσταση Συστήματος Διαχείρισης Κτιρίων (BMS).,” Πτυχιακή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Αθήνα, 2011.
- [7] Ι. Καλόμοιρος, “Συστήματα Συλλογής Πληροφοριών και Μετρήσεων,” Τ.Ε.Ι. Κεντρικής Μακεδονίας, 2006.
- [8] Κ. Α. Π. και Ε. Ε. (ΚΑΠΕ), “Οδηγός Εξοικονόμησης Ενέργειας στα Συστήματα HVAC.”
- [9] Κ. Δαλαβούρας, “Βελτιστοποίηση Απόδοσης Ψυκτικών Συμπιεστών,” Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Αθήνα.
- [10] Κ. Παπακώστας, “Εξοικονόμηση Ενέργειας σε Συστήματα Θέρμανσης και Κλιματισμού,” 2009.
- [11] Κ. Ξαρχάκος and Ν. Μελισσουργός, “Ενεργειακή Διαχείριση Κτιρίων με BEMS,” Πτυχιακή, Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Τεχνολογικού Τομέα Πειραιά, Πειραιάς, 2013.
- [12] Τεχνική Οδηγία 20701-1/2010, “Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές Παραμέτρων για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων και την Έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης.” Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2010.
- [13] Τεχνική Οδηγία 20701-1/2017, “Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές Παραμέτρων για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων και

την Έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης.” Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2017.

- [14] A. Press, *Air Conditioning System Design Manual*, 2nd ed. 2007.
- [15] A. Tanenbaum and D. Wetherall, *Δίκτυα υπολογιστών*, 5th ed. Αθήνα: Κλειδάριθμος, 2011.
- [16] B. Dorsey, “Understanding Building Automation and Control Systems,” no. 6, pp. 14–15, Sep. 2013.
- [17] D. Kolokotsa, A. Pouliezos, and G. Stavrakakis, “Sensor Fault Detection in Building Energy Management Systems,” Technological Educational Institute of Crete, 2006.
- [18] “El.wikipedia.org. (2017). Ηλεκτρονόμος. [online] Available at: <https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρονόμος> [Accessed 29 May 2017].”
- [19] El.wikipedia.org, 2017, “Μικροεπεξεργαστής”, [Online]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Μικροεπεξεργαστής>. [Accessed: 09- Mar- 2017].
- [20] FLUKE Calibration, “9103 Dry-Well Users Guide.” 2013.
- [21] Honeywell, “Engineering Manual of Automatic Control for Commercial Buildings,” Minnesota, 1997.
- [22] “Honeywell History”, Honeywell, 2017. [Online]. Available: <https://www.honeywell.com/who-we-are/our-history>. [Accessed: 09- Mar- 2017].
- [23] J. Webster, *The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook*. CRC Press LLC, 1999.
- [24] K. Karagiannis, D. Chana, and D. Fisk, “Could your Building Catch a Virus? Measuring the Impact of Cyber Security Threats on Building Management Systems,” 2014.
- [25] N. Nakahara, “A Guide to Sensors For BEMS,” Japan, May 1991.
- [26] P. Kyriacou, “Sensors Technology Series: Biomedical Sensors,” in *Biomedical Sensors: Temperature Sensor Technology*, 1st ed., D. P. Jones, Ed. Momentum Press, 2010, pp. 1–39.
- [27] R. Anderson and T. Kugelstadt, “Thermocouple Measurements with ΔΣ ADCs,” Jun. 2005.
- [28] R. Figliola and D. Beasley, *Τεχνικές Μετρήσεις*, 5th ed. Athens: Fountas Books, 2014.
- [29] R. Panke, *Energy Management Systems and Direct Digital Control*. Lilburn: The Fairmont Press, 2002.
- [30] “RS-232, RS-422, RS-485 Serial Communication General Concepts – National Instruments”, Ni.com, 2017. [Online]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/11390/en/>. [Accessed: 09- Mar- 2017]

- [31] Siemens, "BACnet Application Guide for Consulting Engineers," Jan-2012.
- [32] W. Shengwei, Intelligent Buildings and Building Automation. USA: SponPress, 2010.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

(Οι μετρήσεις των παραπάνω διαγραμμάτων σε μορφή πίνακα)

On/Off			
Value	Time	Date	Date
0	23:30:01	3/26/2018	3/26/2018 23:30
0	23:45:01	3/26/2018	3/26/2018 23:45
0	0:00:01	3/27/2018	3/27/2018 0:00
0	0:15:01	3/27/2018	3/27/2018 0:15
0	0:30:01	3/27/2018	3/27/2018 0:30
0	0:45:01	3/27/2018	3/27/2018 0:45
0	1:00:01	3/27/2018	3/27/2018 1:00
0	1:15:01	3/27/2018	3/27/2018 1:15
0	1:30:01	3/27/2018	3/27/2018 1:30
0	1:45:01	3/27/2018	3/27/2018 1:45
0	2:00:01	3/27/2018	3/27/2018 2:00
0	2:15:01	3/27/2018	3/27/2018 2:15
0	2:30:01	3/27/2018	3/27/2018 2:30
0	2:45:00	3/27/2018	3/27/2018 2:45
0	3:00:01	3/27/2018	3/27/2018 3:00
0	3:15:01	3/27/2018	3/27/2018 3:15
0	3:30:01	3/27/2018	3/27/2018 3:30
0	3:45:01	3/27/2018	3/27/2018 3:45

0	4:00:01	3/27/2018	3/27/2018 4:00
0	4:15:01	3/27/2018	3/27/2018 4:15
0	4:30:01	3/27/2018	3/27/2018 4:30
0	4:45:01	3/27/2018	3/27/2018 4:45
0	5:00:01	3/27/2018	3/27/2018 5:00
0	5:15:01	3/27/2018	3/27/2018 5:15
0	5:30:01	3/27/2018	3/27/2018 5:30
0	5:45:01	3/27/2018	3/27/2018 5:45
0	6:00:01	3/27/2018	3/27/2018 6:00
0	6:15:01	3/27/2018	3/27/2018 6:15
0	6:30:01	3/27/2018	3/27/2018 6:30
0	6:45:01	3/27/2018	3/27/2018 6:45
0	7:00:01	3/27/2018	3/27/2018 7:00
0	7:15:01	3/27/2018	3/27/2018 7:15
0	7:30:01	3/27/2018	3/27/2018 7:30
0	7:45:01	3/27/2018	3/27/2018 7:45
0	8:00:01	3/27/2018	3/27/2018 8:00
0	8:15:01	3/27/2018	3/27/2018 8:15
0	8:30:01	3/27/2018	3/27/2018 8:30
0	8:45:01	3/27/2018	3/27/2018 8:45
0	9:00:01	3/27/2018	3/27/2018 9:00



0	9:15:01	3/27/2018	3/27/2018 9:15
0	9:30:01	3/27/2018	3/27/2018 9:30
0	9:45:01	3/27/2018	3/27/2018 9:45
0	10:00:01	3/27/2018	3/27/2018 10:00
0	10:15:01	3/27/2018	3/27/2018 10:15
0	10:30:01	3/27/2018	3/27/2018 10:30
0	10:45:01	3/27/2018	3/27/2018 10:45
1	10:53:44	3/27/2018	3/27/2018 10:53
1	11:00:01	3/27/2018	3/27/2018 11:00
1	11:15:01	3/27/2018	3/27/2018 11:15
1	11:30:01	3/27/2018	3/27/2018 11:30
1	11:45:01	3/27/2018	3/27/2018 11:45
1	12:00:01	3/27/2018	3/27/2018 12:00
1	12:15:01	3/27/2018	3/27/2018 12:15
1	12:30:01	3/27/2018	3/27/2018 12:30
1	12:45:01	3/27/2018	3/27/2018 12:45
1	13:00:00	3/27/2018	3/27/2018 13:00
0	13:08:36	3/27/2018	3/27/2018 13:08
0	13:15:01	3/27/2018	3/27/2018 13:15
0	13:30:01	3/27/2018	3/27/2018 13:30
0	13:45:01	3/27/2018	3/27/2018 13:45
0	14:00:01	3/27/2018	3/27/2018

			14:00
0	14:15:01	3/27/2018	3/27/2018 14:15
0	14:30:01	3/27/2018	3/27/2018 14:30
0	14:45:01	3/27/2018	3/27/2018 14:45
0	15:00:01	3/27/2018	3/27/2018 15:00
0	15:15:01	3/27/2018	3/27/2018 15:15
0	15:30:01	3/27/2018	3/27/2018 15:30
0	15:45:01	3/27/2018	3/27/2018 15:45
0	16:00:01	3/27/2018	3/27/2018 16:00
0	16:15:01	3/27/2018	3/27/2018 16:15
0	16:30:01	3/27/2018	3/27/2018 16:30
0	16:45:01	3/27/2018	3/27/2018 16:45
0	17:00:01	3/27/2018	3/27/2018 17:00
0	17:15:01	3/27/2018	3/27/2018 17:15
0	17:30:01	3/27/2018	3/27/2018 17:30
0	17:45:01	3/27/2018	3/27/2018 17:45
0	18:00:01	3/27/2018	3/27/2018 18:00
0	18:15:01	3/27/2018	3/27/2018 18:15
0	18:30:01	3/27/2018	3/27/2018 18:30
0	18:45:01	3/27/2018	3/27/2018 18:45
0	19:00:01	3/27/2018	3/27/2018 19:00
0	19:15:01	3/27/2018	3/27/2018

			19:15
0	19:30:01	3/27/2018	3/27/2018 19:30
0	19:45:01	3/27/2018	3/27/2018 19:45
0	20:00:01	3/27/2018	3/27/2018 20:00
0	20:15:01	3/27/2018	3/27/2018 20:15
0	20:30:01	3/27/2018	3/27/2018 20:30
0	20:45:01	3/27/2018	3/27/2018 20:45
0	21:00:01	3/27/2018	3/27/2018 21:00
0	21:15:01	3/27/2018	3/27/2018 21:15
0	21:30:01	3/27/2018	3/27/2018 21:30
0	21:45:01	3/27/2018	3/27/2018 21:45
0	22:00:01	3/27/2018	3/27/2018 22:00
0	22:15:01	3/27/2018	3/27/2018 22:15
0	22:30:01	3/27/2018	3/27/2018 22:30
0	22:45:01	3/27/2018	3/27/2018 22:45
0	23:00:01	3/27/2018	3/27/2018 23:00
0	23:15:01	3/27/2018	3/27/2018 23:15
0	23:30:01	3/27/2018	3/27/2018 23:30
0	23:45:01	3/27/2018	3/27/2018 23:45
0	0:00:01	3/28/2018	3/28/2018 0:00
0	0:15:01	3/28/2018	3/28/2018 0:15
0	0:30:01	3/28/2018	3/28/2018 0:30

0	0:45:01	3/28/2018	3/28/2018 0:45
0	1:00:01	3/28/2018	3/28/2018 1:00
0	1:15:01	3/28/2018	3/28/2018 1:15
0	1:30:01	3/28/2018	3/28/2018 1:30
0	1:45:01	3/28/2018	3/28/2018 1:45
0	2:00:01	3/28/2018	3/28/2018 2:00
0	2:15:01	3/28/2018	3/28/2018 2:15
0	2:30:01	3/28/2018	3/28/2018 2:30
0	2:45:01	3/28/2018	3/28/2018 2:45
0	3:00:01	3/28/2018	3/28/2018 3:00
0	3:15:01	3/28/2018	3/28/2018 3:15
0	3:30:01	3/28/2018	3/28/2018 3:30
0	3:45:01	3/28/2018	3/28/2018 3:45
0	4:00:01	3/28/2018	3/28/2018 4:00
0	4:15:01	3/28/2018	3/28/2018 4:15
0	4:30:01	3/28/2018	3/28/2018 4:30
0	4:45:01	3/28/2018	3/28/2018 4:45
0	5:00:01	3/28/2018	3/28/2018 5:00
0	5:15:01	3/28/2018	3/28/2018 5:15
0	5:30:01	3/28/2018	3/28/2018 5:30
0	5:45:01	3/28/2018	3/28/2018 5:45

0	6:00:01	3/28/2018	3/28/2018 6:00
0	6:15:01	3/28/2018	3/28/2018 6:15
0	6:30:01	3/28/2018	3/28/2018 6:30
0	6:45:01	3/28/2018	3/28/2018 6:45
0	7:00:01	3/28/2018	3/28/2018 7:00
0	7:15:01	3/28/2018	3/28/2018 7:15
0	7:30:01	3/28/2018	3/28/2018 7:30
0	7:45:01	3/28/2018	3/28/2018 7:45
0	8:00:01	3/28/2018	3/28/2018 8:00
0	8:15:01	3/28/2018	3/28/2018 8:15
0	8:30:01	3/28/2018	3/28/2018 8:30
0	8:45:01	3/28/2018	3/28/2018 8:45
0	9:00:01	3/28/2018	3/28/2018 9:00
0	9:15:01	3/28/2018	3/28/2018 9:15
0	9:30:01	3/28/2018	3/28/2018 9:30
0	9:45:01	3/28/2018	3/28/2018 9:45
0	10:00:01	3/28/2018	3/28/2018 10:00
0	10:15:01	3/28/2018	3/28/2018 10:15
0	10:30:01	3/28/2018	3/28/2018 10:30
0	10:45:01	3/28/2018	3/28/2018 10:45
0	11:00:01	3/28/2018	3/28/2018 11:00
0	11:15:01	3/28/2018	3/28/2018

			11:15
1	11:15:18	3/28/2018	3/28/2018 11:15
1	11:30:01	3/28/2018	3/28/2018 11:30
1	11:45:01	3/28/2018	3/28/2018 11:45
1	12:00:01	3/28/2018	3/28/2018 12:00
1	12:15:01	3/28/2018	3/28/2018 12:15
1	12:30:01	3/28/2018	3/28/2018 12:30
1	12:45:00	3/28/2018	3/28/2018 12:45
1	13:00:00	3/28/2018	3/28/2018 13:00
1	13:15:01	3/28/2018	3/28/2018 13:15
0	13:25:01	3/28/2018	3/28/2018 13:25
0	13:30:01	3/28/2018	3/28/2018 13:30
0	13:45:01	3/28/2018	3/28/2018 13:45
0	14:00:01	3/28/2018	3/28/2018 14:00
0	14:15:01	3/28/2018	3/28/2018 14:15
0	14:30:01	3/28/2018	3/28/2018 14:30
0	14:45:01	3/28/2018	3/28/2018 14:45
0	15:00:01	3/28/2018	3/28/2018 15:00
0	15:15:01	3/28/2018	3/28/2018 15:15
0	15:30:01	3/28/2018	3/28/2018 15:30
0	15:45:01	3/28/2018	3/28/2018 15:45
0	16:00:01	3/28/2018	3/28/2018

			16:00
0	16:15:01	3/28/2018	3/28/2018 16:15
0	16:30:01	3/28/2018	3/28/2018 16:30
0	16:45:01	3/28/2018	3/28/2018 16:45
0	17:00:01	3/28/2018	3/28/2018 17:00
0	17:15:01	3/28/2018	3/28/2018 17:15
0	17:30:01	3/28/2018	3/28/2018 17:30
0	17:45:01	3/28/2018	3/28/2018 17:45
0	18:00:01	3/28/2018	3/28/2018 18:00
0	18:15:01	3/28/2018	3/28/2018 18:15
0	18:30:01	3/28/2018	3/28/2018 18:30
0	18:45:01	3/28/2018	3/28/2018 18:45
0	19:00:01	3/28/2018	3/28/2018 19:00
0	19:15:01	3/28/2018	3/28/2018 19:15
0	19:30:01	3/28/2018	3/28/2018 19:30
0	19:45:01	3/28/2018	3/28/2018 19:45
0	20:00:01	3/28/2018	3/28/2018 20:00
0	20:15:01	3/28/2018	3/28/2018 20:15
0	20:30:01	3/28/2018	3/28/2018 20:30
0	20:45:01	3/28/2018	3/28/2018 20:45
0	21:00:01	3/28/2018	3/28/2018 21:00
0	21:15:01	3/28/2018	3/28/2018 21:15

0	21:30:01	3/28/2018	3/28/2018 21:30
0	21:45:01	3/28/2018	3/28/2018 21:45
0	22:00:01	3/28/2018	3/28/2018 22:00
0	22:15:01	3/28/2018	3/28/2018 22:15
0	22:30:01	3/28/2018	3/28/2018 22:30
0	22:45:01	3/28/2018	3/28/2018 22:45
0	23:00:01	3/28/2018	3/28/2018 23:00
0	23:15:01	3/28/2018	3/28/2018 23:15
0	23:30:01	3/28/2018	3/28/2018 23:30
0	23:45:01	3/28/2018	3/28/2018 23:45
0	0:00:01	3/29/2018	3/29/2018 0:00
0	0:15:01	3/29/2018	3/29/2018 0:15
0	0:30:01	3/29/2018	3/29/2018 0:30
0	0:45:01	3/29/2018	3/29/2018 0:45
0	1:00:01	3/29/2018	3/29/2018 1:00
0	1:15:01	3/29/2018	3/29/2018 1:15
0	1:30:01	3/29/2018	3/29/2018 1:30
0	1:45:01	3/29/2018	3/29/2018 1:45
0	2:00:01	3/29/2018	3/29/2018 2:00
0	2:15:01	3/29/2018	3/29/2018 2:15
0	2:30:01	3/29/2018	3/29/2018 2:30



0	2:45:01	3/29/2018	3/29/2018 2:45
0	3:00:01	3/29/2018	3/29/2018 3:00
0	3:15:01	3/29/2018	3/29/2018 3:15
0	3:30:01	3/29/2018	3/29/2018 3:30
0	3:45:01	3/29/2018	3/29/2018 3:45
0	4:00:01	3/29/2018	3/29/2018 4:00
0	4:15:01	3/29/2018	3/29/2018 4:15
0	4:30:01	3/29/2018	3/29/2018 4:30
0	4:45:01	3/29/2018	3/29/2018 4:45
0	5:00:01	3/29/2018	3/29/2018 5:00
0	5:15:01	3/29/2018	3/29/2018 5:15
0	5:30:01	3/29/2018	3/29/2018 5:30
0	5:45:01	3/29/2018	3/29/2018 5:45
0	6:00:01	3/29/2018	3/29/2018 6:00
0	6:15:01	3/29/2018	3/29/2018 6:15
0	6:30:01	3/29/2018	3/29/2018 6:30
0	6:45:01	3/29/2018	3/29/2018 6:45
0	7:00:01	3/29/2018	3/29/2018 7:00
0	7:15:01	3/29/2018	3/29/2018 7:15
0	7:30:01	3/29/2018	3/29/2018 7:30
0	7:45:01	3/29/2018	3/29/2018 7:45
0	8:00:01	3/29/2018	3/29/2018

			8:00
0	8:15:01	3/29/2018	3/29/2018 8:15
0	8:30:01	3/29/2018	3/29/2018 8:30
0	8:45:01	3/29/2018	3/29/2018 8:45
0	9:00:01	3/29/2018	3/29/2018 9:00
0	9:15:01	3/29/2018	3/29/2018 9:15
0	9:30:01	3/29/2018	3/29/2018 9:30
0	9:45:01	3/29/2018	3/29/2018 9:45
0	10:00:01	3/29/2018	3/29/2018 10:00
0	10:15:01	3/29/2018	3/29/2018 10:15
0	10:30:01	3/29/2018	3/29/2018 10:30
0	10:45:01	3/29/2018	3/29/2018 10:45
0	11:00:01	3/29/2018	3/29/2018 11:00
0	11:15:01	3/29/2018	3/29/2018 11:15
0	11:30:01	3/29/2018	3/29/2018 11:30
0	11:45:01	3/29/2018	3/29/2018 11:45
1	11:51:53	3/29/2018	3/29/2018 11:51
1	12:00:01	3/29/2018	3/29/2018 12:00
1	12:15:01	3/29/2018	3/29/2018 12:15
1	12:30:01	3/29/2018	3/29/2018 12:30
1	12:45:01	3/29/2018	3/29/2018 12:45
1	13:00:01	3/29/2018	3/29/2018

			13:00
1	13:15:01	3/29/2018	3/29/2018 13:15
1	13:30:01	3/29/2018	3/29/2018 13:30
1	13:45:01	3/29/2018	3/29/2018 13:45
1	14:00:01	3/29/2018	3/29/2018 14:00
1	14:15:01	3/29/2018	3/29/2018 14:15
1	14:30:01	3/29/2018	3/29/2018 14:30
1	14:45:01	3/29/2018	3/29/2018 14:45
1	15:00:01	3/29/2018	3/29/2018 15:00
1	15:15:00	3/29/2018	3/29/2018 15:15
1	15:30:00	3/29/2018	3/29/2018 15:30
1	15:45:00	3/29/2018	3/29/2018 15:45
1	16:00:00	3/29/2018	3/29/2018 16:00
1	16:15:01	3/29/2018	3/29/2018 16:15
1	16:30:00	3/29/2018	3/29/2018 16:30
1	16:45:00	3/29/2018	3/29/2018 16:45
1	17:00:00	3/29/2018	3/29/2018 17:00
0	17:00:01	3/29/2018	3/29/2018 17:00
0	17:15:01	3/29/2018	3/29/2018 17:15
0	17:30:01	3/29/2018	3/29/2018 17:30
0	17:45:01	3/29/2018	3/29/2018 17:45
0	18:00:01	3/29/2018	3/29/2018 18:00

0	18:15:01	3/29/2018	3/29/2018 18:15
0	18:30:01	3/29/2018	3/29/2018 18:30
0	18:45:01	3/29/2018	3/29/2018 18:45
0	19:00:01	3/29/2018	3/29/2018 19:00
0	19:15:01	3/29/2018	3/29/2018 19:15
0	19:30:01	3/29/2018	3/29/2018 19:30
0	19:45:01	3/29/2018	3/29/2018 19:45
0	20:00:01	3/29/2018	3/29/2018 20:00
0	20:15:01	3/29/2018	3/29/2018 20:15
0	20:30:01	3/29/2018	3/29/2018 20:30
0	20:45:01	3/29/2018	3/29/2018 20:45
0	21:00:01	3/29/2018	3/29/2018 21:00
0	21:15:01	3/29/2018	3/29/2018 21:15
0	21:30:01	3/29/2018	3/29/2018 21:30
0	21:45:01	3/29/2018	3/29/2018 21:45
0	22:00:01	3/29/2018	3/29/2018 22:00
0	22:15:01	3/29/2018	3/29/2018 22:15
0	22:30:01	3/29/2018	3/29/2018 22:30
0	22:45:01	3/29/2018	3/29/2018 22:45
0	23:00:01	3/29/2018	3/29/2018 23:00
0	23:15:01	3/29/2018	3/29/2018 23:15

0	23:30:01	3/29/2018	3/29/2018 23:30
0	23:45:01	3/29/2018	3/29/2018 23:45
0	0:00:01	3/30/2018	3/30/2018 0:00
0	0:15:01	3/30/2018	3/30/2018 0:15
0	0:30:01	3/30/2018	3/30/2018 0:30
0	0:45:01	3/30/2018	3/30/2018 0:45
0	1:00:01	3/30/2018	3/30/2018 1:00
0	1:15:01	3/30/2018	3/30/2018 1:15
0	1:30:01	3/30/2018	3/30/2018 1:30
0	1:45:01	3/30/2018	3/30/2018 1:45
0	2:00:01	3/30/2018	3/30/2018 2:00
0	2:15:01	3/30/2018	3/30/2018 2:15
0	2:30:01	3/30/2018	3/30/2018 2:30
0	2:45:01	3/30/2018	3/30/2018 2:45
0	3:00:01	3/30/2018	3/30/2018 3:00
0	3:15:01	3/30/2018	3/30/2018 3:15
0	3:30:01	3/30/2018	3/30/2018 3:30
0	3:45:01	3/30/2018	3/30/2018 3:45
0	4:00:01	3/30/2018	3/30/2018 4:00
0	4:15:01	3/30/2018	3/30/2018 4:15
0	4:30:01	3/30/2018	3/30/2018 4:30
0	4:45:01	3/30/2018	3/30/2018

			4:45
0	5:00:01	3/30/2018	3/30/2018 5:00
0	5:15:01	3/30/2018	3/30/2018 5:15
0	5:30:01	3/30/2018	3/30/2018 5:30
0	5:45:01	3/30/2018	3/30/2018 5:45
0	6:00:01	3/30/2018	3/30/2018 6:00
0	6:15:01	3/30/2018	3/30/2018 6:15
0	6:30:01	3/30/2018	3/30/2018 6:30
0	6:45:01	3/30/2018	3/30/2018 6:45
0	7:00:01	3/30/2018	3/30/2018 7:00
0	7:15:01	3/30/2018	3/30/2018 7:15
0	7:30:01	3/30/2018	3/30/2018 7:30
0	7:45:01	3/30/2018	3/30/2018 7:45
0	8:00:01	3/30/2018	3/30/2018 8:00
0	8:15:01	3/30/2018	3/30/2018 8:15
0	8:30:01	3/30/2018	3/30/2018 8:30
0	8:45:01	3/30/2018	3/30/2018 8:45
0	9:00:01	3/30/2018	3/30/2018 9:00
0	9:15:01	3/30/2018	3/30/2018 9:15
0	9:30:01	3/30/2018	3/30/2018 9:30
0	9:45:01	3/30/2018	3/30/2018 9:45
0	10:00:01	3/30/2018	3/30/2018

			10:00
0	10:15:01	3/30/2018	3/30/2018 10:15
0	10:30:01	3/30/2018	3/30/2018 10:30
0	10:45:01	3/30/2018	3/30/2018 10:45
0	11:00:01	3/30/2018	3/30/2018 11:00
0	11:15:01	3/30/2018	3/30/2018 11:15
0	11:30:01	3/30/2018	3/30/2018 11:30
0	11:45:01	3/30/2018	3/30/2018 11:45
0	12:00:01	3/30/2018	3/30/2018 12:00
0	12:15:01	3/30/2018	3/30/2018 12:15
0	12:30:01	3/30/2018	3/30/2018 12:30
0	12:45:01	3/30/2018	3/30/2018 12:45
0	13:00:01	3/30/2018	3/30/2018 13:00
0	13:15:01	3/30/2018	3/30/2018 13:15
0	13:30:01	3/30/2018	3/30/2018 13:30
0	13:45:01	3/30/2018	3/30/2018 13:45
0	14:00:01	3/30/2018	3/30/2018 14:00
0	14:15:01	3/30/2018	3/30/2018 14:15
0	14:30:01	3/30/2018	3/30/2018 14:30
0	14:45:01	3/30/2018	3/30/2018 14:45
0	15:00:01	3/30/2018	3/30/2018 15:00
0	15:15:01	3/30/2018	3/30/2018 15:15

0	15:30:01	3/30/2018	3/30/2018 15:30
0	15:45:01	3/30/2018	3/30/2018 15:45
0	16:00:01	3/30/2018	3/30/2018 16:00
0	16:15:01	3/30/2018	3/30/2018 16:15
0	16:30:01	3/30/2018	3/30/2018 16:30
0	16:45:01	3/30/2018	3/30/2018 16:45
0	17:00:01	3/30/2018	3/30/2018 17:00
0	17:15:01	3/30/2018	3/30/2018 17:15
0	17:30:01	3/30/2018	3/30/2018 17:30
0	17:45:01	3/30/2018	3/30/2018 17:45
0	18:00:01	3/30/2018	3/30/2018 18:00
0	18:15:01	3/30/2018	3/30/2018 18:15
0	18:30:01	3/30/2018	3/30/2018 18:30
0	18:45:01	3/30/2018	3/30/2018 18:45
0	19:00:01	3/30/2018	3/30/2018 19:00
0	19:15:01	3/30/2018	3/30/2018 19:15
0	19:30:01	3/30/2018	3/30/2018 19:30
0	19:45:01	3/30/2018	3/30/2018 19:45
0	20:00:01	3/30/2018	3/30/2018 20:00
0	20:15:01	3/30/2018	3/30/2018 20:15
0	20:30:01	3/30/2018	3/30/2018 20:30



0	20:45:01	3/30/2018	3/30/2018 20:45
0	21:00:01	3/30/2018	3/30/2018 21:00
0	21:15:01	3/30/2018	3/30/2018 21:15
0	21:30:01	3/30/2018	3/30/2018 21:30
0	21:45:01	3/30/2018	3/30/2018 21:45
0	22:00:01	3/30/2018	3/30/2018 22:00
0	22:15:01	3/30/2018	3/30/2018 22:15
0	22:30:01	3/30/2018	3/30/2018 22:30
0	22:45:01	3/30/2018	3/30/2018 22:45
0	23:00:01	3/30/2018	3/30/2018 23:00
0	23:15:01	3/30/2018	3/30/2018 23:15
0	23:30:01	3/30/2018	3/30/2018 23:30
0	23:45:01	3/30/2018	3/30/2018 23:45
0	0:00:01	3/31/2018	3/31/2018 0:00
0	0:15:01	3/31/2018	3/31/2018 0:15
0	0:30:01	3/31/2018	3/31/2018 0:30
0	0:45:01	3/31/2018	3/31/2018 0:45
0	1:00:01	3/31/2018	3/31/2018 1:00
0	1:15:01	3/31/2018	3/31/2018 1:15
0	1:30:01	3/31/2018	3/31/2018 1:30
0	1:45:01	3/31/2018	3/31/2018 1:45
0	2:00:01	3/31/2018	3/31/2018

			2:00
0	2:15:01	3/31/2018	3/31/2018 2:15
0	2:30:01	3/31/2018	3/31/2018 2:30
0	2:45:01	3/31/2018	3/31/2018 2:45
0	3:00:01	3/31/2018	3/31/2018 3:00
0	3:15:01	3/31/2018	3/31/2018 3:15
0	3:30:01	3/31/2018	3/31/2018 3:30
0	3:45:01	3/31/2018	3/31/2018 3:45
0	4:00:03	3/31/2018	3/31/2018 4:00
0	4:15:01	3/31/2018	3/31/2018 4:15
0	4:30:01	3/31/2018	3/31/2018 4:30
0	4:45:01	3/31/2018	3/31/2018 4:45
0	5:00:01	3/31/2018	3/31/2018 5:00
0	5:15:01	3/31/2018	3/31/2018 5:15
0	5:30:01	3/31/2018	3/31/2018 5:30
0	5:45:01	3/31/2018	3/31/2018 5:45
0	6:00:01	3/31/2018	3/31/2018 6:00
0	6:15:01	3/31/2018	3/31/2018 6:15
0	6:30:01	3/31/2018	3/31/2018 6:30
0	6:45:01	3/31/2018	3/31/2018 6:45
0	7:00:01	3/31/2018	3/31/2018 7:00
0	7:15:01	3/31/2018	3/31/2018

			7:15
0	7:30:01	3/31/2018	3/31/2018 7:30
0	7:45:01	3/31/2018	3/31/2018 7:45
0	8:00:01	3/31/2018	3/31/2018 8:00
0	8:15:01	3/31/2018	3/31/2018 8:15
0	8:30:01	3/31/2018	3/31/2018 8:30
0	8:45:01	3/31/2018	3/31/2018 8:45
0	9:00:01	3/31/2018	3/31/2018 9:00
0	9:15:01	3/31/2018	3/31/2018 9:15
0	9:30:01	3/31/2018	3/31/2018 9:30
0	9:45:01	3/31/2018	3/31/2018 9:45
0	10:00:01	3/31/2018	3/31/2018 10:00
0	10:15:01	3/31/2018	3/31/2018 10:15
0	10:30:01	3/31/2018	3/31/2018 10:30
0	10:45:01	3/31/2018	3/31/2018 10:45
0	11:00:01	3/31/2018	3/31/2018 11:00
0	11:15:01	3/31/2018	3/31/2018 11:15
0	11:30:01	3/31/2018	3/31/2018 11:30
0	11:45:01	3/31/2018	3/31/2018 11:45
0	12:00:01	3/31/2018	3/31/2018 12:00
0	12:15:01	3/31/2018	3/31/2018 12:15
0	12:30:01	3/31/2018	3/31/2018 12:30

0	12:45:01	3/31/2018	3/31/2018 12:45
0	13:00:01	3/31/2018	3/31/2018 13:00
0	13:15:01	3/31/2018	3/31/2018 13:15
0	13:30:01	3/31/2018	3/31/2018 13:30
0	13:45:01	3/31/2018	3/31/2018 13:45
0	14:00:01	3/31/2018	3/31/2018 14:00
0	14:15:01	3/31/2018	3/31/2018 14:15
0	14:30:01	3/31/2018	3/31/2018 14:30
0	14:45:01	3/31/2018	3/31/2018 14:45
0	15:00:01	3/31/2018	3/31/2018 15:00
0	15:15:01	3/31/2018	3/31/2018 15:15
0	15:30:01	3/31/2018	3/31/2018 15:30
0	15:45:01	3/31/2018	3/31/2018 15:45
0	16:00:01	3/31/2018	3/31/2018 16:00
0	16:15:01	3/31/2018	3/31/2018 16:15
0	16:30:01	3/31/2018	3/31/2018 16:30
0	16:45:01	3/31/2018	3/31/2018 16:45
0	17:00:01	3/31/2018	3/31/2018 17:00
0	17:15:01	3/31/2018	3/31/2018 17:15
0	17:30:01	3/31/2018	3/31/2018 17:30
0	17:45:01	3/31/2018	3/31/2018 17:45

0	18:00:01	3/31/2018	3/31/2018 18:00
0	18:15:01	3/31/2018	3/31/2018 18:15
0	18:30:01	3/31/2018	3/31/2018 18:30
0	18:45:01	3/31/2018	3/31/2018 18:45
0	19:00:01	3/31/2018	3/31/2018 19:00
0	19:15:01	3/31/2018	3/31/2018 19:15
0	19:30:01	3/31/2018	3/31/2018 19:30
0	19:45:01	3/31/2018	3/31/2018 19:45
0	20:00:01	3/31/2018	3/31/2018 20:00
0	20:15:01	3/31/2018	3/31/2018 20:15
0	20:30:01	3/31/2018	3/31/2018 20:30
0	20:45:01	3/31/2018	3/31/2018 20:45
0	21:00:01	3/31/2018	3/31/2018 21:00
0	21:15:01	3/31/2018	3/31/2018 21:15
0	21:30:01	3/31/2018	3/31/2018 21:30

0	21:45:01	3/31/2018	3/31/2018 21:45
0	22:00:01	3/31/2018	3/31/2018 22:00
0	22:15:01	3/31/2018	3/31/2018 22:15
0	22:30:01	3/31/2018	3/31/2018 22:30
0	22:45:01	3/31/2018	3/31/2018 22:45
0	23:00:01	3/31/2018	3/31/2018 23:00
0	23:15:01	3/31/2018	3/31/2018 23:15
0	23:30:01	3/31/2018	3/31/2018 23:30
0	23:45:01	3/31/2018	3/31/2018 23:45

