



**ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε**

**ΠΜΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ & ΔΙΚΤΥΩΝ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ**

**ΑΝΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ**

**ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ/ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ**

Μαρία Μάρη

Επιβλέπων: Γρηγόριος Δουμένης

Επιβλέπων: Σταύρος Αδάμ

Επίκουρος καθηγητής

Επίκουρος καθηγητής

Άρτα, Μάρτιος, 2019



**ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε**

**ΠΜΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ & ΔΙΚΤΥΩΝ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ**

**ΑΝΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ**

**ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ/ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ**

Μαρία Μάρη

Επιβλέπων: Γρηγόριος Δουμένης

Επιβλέπων: Σταύρος Αδάμ

Επίκουρος καθηγητής

Επίκουρος καθηγητής

Άρτα, Μάρτιος, 2019

**INVESTIGATION AND EVALUATION OF  
TEMPERATURE/HUMIDITY SENSORS' INACCURACY  
IN BUILDING MANAGEMENT SYSTEMS**

**Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή**

Άρτα, 19/03/2019

## **ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ**

1. Επιβλέπων καθηγητής  
Γρηγόριος Δουμένης  
Επίκουρος καθηγητής

2. Επιβλέπων καθηγητής  
Σταύρος Αδάμ,  
Επίκουρος καθηγητής

3. Μέλος επιτροπής  
Κωνσταντίνος Αγγέλης,  
Καθηγητής

Ο Διευθυντής του ΠΜΣ  
Χρυσόστομος Στύλιος,  
Καθηγητής

Υπογραφή

© Μάρη, Μαρία, 2019.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

### **Δήλωση μη λογοκλοπής**

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Μάρη, Μαρία

Υπογραφή

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστώ τους επιβλέποντες καθηγητές μου Κ. Δουμένη Γρηγόριο και Κ.Αδάμ Σταύρο για την βοήθεια τους και την καθοδήγησή τους σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που απασχολούν τη σημερινή κοινωνία είναι η διαχείριση της ενέργειας. Οι ανάγκες για ενεργειακή κατανάλωση συνεχώς αυξάνονται ενώ παράλληλα υπάρχει συνεχής μείωση των φυσικών πόρων ενέργειας. Πρωτεύοντα ρόλο στην κατανάλωση ενέργειας κατέχουν οι κτιριακές εγκαταστάσεις. Ο τομέας της εξοικονόμησης ενέργειας στις κτιριακές εγκαταστάσεις αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις της επιστημονικής κοινότητας. Τα κτίρια καθώς και ο τρόπος με τον οποίο αυτά λειτουργούν και συνεπώς καταναλώνουν ενέργεια μπορεί να συμβάλουν αποτελεσματικά στην επίλυση αυτού του σημαντικού ζητήματος. Η ενεργειακή αυτονομία και η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας στις κτιριακές εγκαταστάσεις είναι παράγοντες που έστρεψαν τους επιστήμονες των εμπλεκόμενων κλάδων στη δημιουργία αλλά και την προσπάθεια της βελτιστοποίησης της απόδοσης του έξυπνου κτιρίου. Μεγάλο μερίδιο ευθύνης στην κατανάλωση ενέργειας στις κτιριακές εγκαταστάσεις όπως είναι φυσικό έχουν τα συστήματα θέρμανσης εξαερισμού και ψύξης. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των hvac συστημάτων είναι ο τρόπος με τον οποίο αυτά λειτουργούν, δηλαδή πόσο “έξυπνα” είναι. Σημαντικό ρόλο στον τρόπο λειτουργίας αυτών των συστημάτων καλούνται να επωμιστούν τα αισθητήρια τους. Οι ικανότητες και ο τρόπος με τον οποίο, οι αισθητήρες, ανταποκρίνονται στα ερεθίσματα, τεχνητά ή φυσικά, μπορούν να καθορίσουν τη σωστή λειτουργία των hvac συστημάτων και κατά συνέπεια να συμβάλουν στην εξοικονόμηση της ενέργειας μέσω των έξυπνων κτιρίων. Η επιλογή των κατάλληλων αισθητηρίων ή η μετατροπή των αισθητηρίων σε κατάλληλους είναι ίσως το σημείο αναφοράς για την επίλυση του προβλήματος. Αυτή η πρόκληση ήταν που δημιούργησε την ιδέα της παρούσας έρευνας που ασχολείται κυρίως, με τη μελέτη της συμπεριφοράς των αισθητηρίων, τη διερεύνηση και αξιολόγηση της ανακρίβειας τους και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας τους, τον τρόπο απόκρισης τους δηλαδή στα ερεθίσματα που αφορούν τη θερμοκρασία και την υγρασία σε συστήματα διαχείρισης κτιριακών εγκαταστάσεων.

Λέξεις-κλειδιά: Ενέργεια, συστήματα θέρμανσης εξαερισμού και ψύξης, έξυπνο κτίριο, αισθητήρες.



## ABSTRACT

One of the more important questions that occupy the modern society is the management of energy. The needs for energy consumption are continuously increased while at the same time continuous reduction of natural resources of energy is taking place. The buildings installations possess the first role in the consumption of energy. The sector of energy saving in the building installations constitutes one of the biggest challenges for scientific community. The buildings, as well as the way with which these function and, consequently, consume energy, can contribute effectively to the resolution of this important issue. The energy autonomy and the minimization of consumption of energy in building installations are factors that turned the scientists of involved branch into the creation and also the effort of optimization of output of intelligent building. The systems of heating of ventilation and refrigeration have, as expected, a big share of responsibility in the consumption of energy in the building installations. A basic characteristic of hvac systems is the way with which they function, that is to say how “intelligent” is. Sensors are called to shoulder an important role in that way of operation. The faculties and the way with which, the sensors, correspond in the stimuli, either artificial or natural, can determine the correct operation of hvac systems and, in consequence, contribute to the saving of energy via intelligent buildings. Selecting suitable sensors or transforming sensors into suitable ones, is perhaps the point of report on the resolution of the problem. This challenge was that created the idea of the present research that mainly deals with the study of sensory behavior, the investigation and evaluation of their inaccuracy and the drawing of useful conclusions concerning their way of operation, their way of response, that is to say in the stimuli that concern the temperature and the humidity in systems of management of building installations.

**Keywords:** Energy, hvac, intelligent building, sensors.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>VII</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IX</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ</b> .....	<b>X</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	<b>XIV</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	<b>XV</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>XVIII</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Ενέργεια.....	1
1.2 Κατανάλωση ενέργειας-Παραγωγή ενέργειας.....	1
1.3 Κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα .....	4
1.4 Κοινοτική οδηγία.....	5
1.5 Κατανάλωση ενέργειας και Τεχνολογία της πληροφορίας και των επικοινωνιών(ΤΠΕ).....	8
1.6 Μελέτες για την προβλεπόμενη και την πραγματική κατανάλωση ενέργειας.....	9
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΞΕΥΠΝΑ ΚΤΙΡΙΑ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ....</b>	<b>13</b>
2.1 Ξευπνα κτίρια .....	13
2.1.1 Ερμηνεία βάσει της απόδοσης του κτιρίου .....	14
2.1.2 Ερμηνεία βάσει των υπηρεσιών που παρέχονται .....	14
2.1.3 Ερμηνείες βάσει του συστήματος που χρησιμοποιείται. ....	15
2.2 Τι είναι το έξυπνο κτίριο .....	15
2.3 Οφέλη των έξυπνων κτιρίων .....	16

2.4 Τεχνολογίες.....	16
2.5 Εξοικονόμηση ενέργειας και Έξυπνα κτίρια.....	19
2.5.1 Μέθοδοι ενεργειακής εξοικονόμησης στα έξυπνα κτίρια.....	20
2.6 Έξυπνα κτίρια και ΙΟΤ(internet of things) .....	20
2.6.1 Cloud Computing.....	21
2.6.2 Μικρό-υπηρεσίες .....	22
2.7 Πολιτικές της ΕΕ για τα έξυπνα κτίρια. ....	23

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ (HVAC)**

.....	25
3.1 HVAC .....	25
3.1.1 Διαδικασίες που περιλαμβάνουν τα HVAC συστήματα.....	26
3.1.2 Σχεδιασμός του συστήματος HVAC.....	26
3.2 Αποκεντρωμένος και καταναμημένος έλεγχος θερμοκρασίας μέσω συστημάτων HVAC σε ενεργειακά αποδοτικά κτίρια .....	28
3.2.1 Οφέλη .....	29
3.3 Στρατηγικές έλεγχου για συστήματα HVAC .....	30
3.3.1 Γενετικός Σχεδιασμός για HVAC συστήματα .....	31
3.4 Διαδρομή ροής του αέρα σε HVAC συστήματα.....	32
3.5 Στρατηγικές έλεγχου των συστημάτων HVAC.....	34
3.5 θερμική άνεση .....	34
3.6 Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας.....	36
3.7 Ποιότητα αέρα εσωτερικού χώρου .....	37

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ .....**

39	39
4.1 Ορισμός .....	39
4.2 Ιστορική αναδρομή.....	39
4.3 Επεξεργασία σημάτων αισθητήρα .....	41
4.4 Είδη αισθητήρων.....	43

4.4.1 Αισθητήρες θερμοκρασίας.....	43
4.4.2 Αισθητήρες ρεύματος .....	45
4.4.3 Αισθητήρες πίεσης και βάρους .....	45
4.4.4 Αισθητήρες θέσης .....	46
4.4.5 Αισθητήρες χωρητικότητας .....	48
4.4.6 Αισθητήρες υγρασίας.....	48
4.4.7 Επαγωγικοί αισθητήρες .....	49
4.4.8 Αισθητήρες φωτός .....	50
4.4.9 Οπτικοί αισθητήρες .....	51
<b>4.5 Στατικά χαρακτηριστικά αισθητήρων .....</b>	<b>51</b>
4.5.1 Accuracy .....	51
4.5.2 Precision .....	51
4.5.3 Repeatability .....	52
4.5.4 Reproducibility .....	52
4.5.5 Stability.....	53
4.5.6 Error .....	53
4.5.7 Noise .....	53
4.5.8 Drift .....	53
4.5.9 Resolution .....	54
4.5.10 Minimum Detectable Signal: .....	54
4.5.11 Calibration Curve.....	54
4.5.12 Sensitivity .....	55
4.5.13 Linearity.....	56
4.5.14 Selectivity .....	56
4.5.15 Hysteresis.....	56
4.5.16 Measurement Range.....	57
4.5.17 Response and Recovery Time.....	57
4.5.18 Μορφή εξόδου (Output Format).....	57
<b>4.6 Δυναμικά χαρακτηριστικά αισθητήρων .....</b>	<b>58</b>
4.6.1 Συστήματα μηδενικής τάξης.....	60
4.6.2 Συστήματα πρώτης τάξης .....	60
4.6.3 Συστήματα δεύτερης τάξης.....	61
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</b>	
<b>ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ/ΥΓΡΑΣΙΑΣ.....</b>	<b>63</b>
<b>5.1 Γενικά .....</b>	<b>63</b>
<b>5.2 Εισαγωγή.....</b>	<b>63</b>

<b>5.3 Χαρακτηριστικά αισθητήρων. ....</b>	<b>66</b>
5.3.1 DS18B20.....	66
5.3.2 DHT22 .....	68
5.3.3 DHT11 .....	69

<b>5.4 Συμπεράσματα .....</b>	<b>72</b>
-------------------------------	-----------

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ..... 73**

<b>6.1 Αισθητήρες DS18B20 .....</b>	<b>73</b>
-------------------------------------	-----------

<b>6.2 Αισθητήρας DHT22.....</b>	<b>78</b>
----------------------------------	-----------

<b>6.3 Αισθητήρες DHT11 .....</b>	<b>82</b>
-----------------------------------	-----------

6.3.1 Σύγκριση DHT11 και DHT22 αισθητήρων .....	82
---	----

6.3.2 Σύγκριση DHT11 id_1 και μέσης τιμής DS18B20 αισθητήρων.....	84
---	----

<b>6.4 Συμπεράσματα μελέτης αισθητήρων μέσω της μεταξύ τους σύγκρισης. ....</b>	<b>84</b>
---	-----------

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ. .... 86**

<b>7.1 Εισαγωγή.....</b>	<b>86</b>
--------------------------	-----------

<b>7.2 Αισθητήρες DHT11 .....</b>	<b>87</b>
-----------------------------------	-----------

<b>7.3 Αισθητήρας DHT22.....</b>	<b>90</b>
----------------------------------	-----------

<b>7.4 Συμπεράσματα .....</b>	<b>92</b>
-------------------------------	-----------

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... 94**

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1:Αποδεκτές τιμές θερμοκρασίας και Υγρασίας(T.E.E)[ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - Υ.Π.ΕΝ (2017) ‘ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017’].....	37
Πίνακας 2:Ταυτότητες αισθητηρίων.....	65
Πίνακας 3:Σύνολο μετρήσεων.....	66
Πίνακας 4:Σύγκριση DS18B20 excel.....	75
Πίνακας 5: Σύγκριση ακραίων τιμών DS18B20 excel.....	77
Πίνακας 6:Σύνολο τιμών υγρασίας.....	87

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1:Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας [ <a href="https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf">https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf</a> ] ..	1
Εικόνα 2:Συνολική παραγωγή ενέργειας 1990- 2016[ <a href="https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html">https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html</a> ] ..	2
Εικόνα 3: Συνολική κατανάλωση ενέργειας[ <a href="https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html">https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html</a> ] ..	3
Εικόνα 4: Έξυπνα κτίρια [ <a href="http://www.010.gr/data.php?timitat1=3460&amp;timitat2=64636&amp;timitat3=0&amp;timitat4=0&amp;timitat5=0&amp;timitat6=0&amp;timitat7=0">http://www.010.gr/data.php?timitat1=3460&amp;timitat2=64636&amp;timitat3=0&amp;timitat4=0&amp;timitat5=0&amp;timitat6=0&amp;timitat7=0</a> ] ..	13
Εικόνα 5:Διαδικασία γενετικής σχεδίασης[Berquist J., Tessier A., O'Brien W., Attar R., & Khan A.(2017) ‘An Investigation of Generative Design for Heating, Ventilation, and Air-Conditioning’] ..	32
Εικόνα 6: Διαδρομή ροής αέρα[Feng L., Mears L.,(2015) ‘ANALYSIS OF HVAC ENERGY IN AUTOMOTIVE PAINT SHOP’] ..	33
Εικόνα 7: Αύξηση δυνατοτήτων αισθητηρίων[McGrath M., Scanail C.(2013) ‘Sensor Technologies’, Healthcare wellness and Environmental Applications, Intel Labs Europe] ..	40
Εικόνα 8: Θερμοκρασία άκρων καλωδίου[Rowe M.,( 2013) Sensor basics: Types, functions and applications] ..	44
Εικόνα 9:Κύκλωμα αισθητήρων ρεύματος[Rowe M.,( 2013) Sensor basics: Types, functions and applications] ..	45
Εικόνα 10: Αισθητήρες πίεσης και βάρους[Καλόμοιρος Ι, Μπουλταδάκης Σ, Πεταλάς Ι ,Έλεγχος Κυκλωμάτων και μετρήσεων με H/Y.] ..	46
Εικόνα 11: Αισθητήρες θέσης[ Rowe M.,( 2013) Sensor basics: Types, functions and applications] ..	47
Εικόνα 12: Αισθητήρες χωρητικότητας[Rowe M.,( 2013) Sensor basics: Types, functions and applications] ..	48
Εικόνα 13: Επαγωγικός αισθητήρας[Rowe M.,( 2013) Sensor basics: Types, functions and applications] ..	50
Εικόνα 14: Διαφορά τιμών ορισμού ακρίβειας[Kalantar-zadeh K.,(2013) Sensors: An Introductory Course, DOI10.1007/978-1-4614-5052-8_3 Springer Science+Business Media New York] ..	52

Εικόνα 15: Μεταβολή ευαισθησίας ανάλογα με την καμπύλη βαθμονόμησης[Kalantar-zadeh.K,(2013) Sensors: An Introductory Course, DOI10.1007/978-1-4614-5052-8_3 Springer Science+Business Media New York] .....	55
Εικόνα 16: Έξοδος-είσοδο σε συστήματα με υστέρηση[Kalantar-zadeh.K,(2013) Sensors: An Introductory Course, DOI10.1007/978-1-4614-5052-8_3 Springer Science+Business Media New York] .....	56
Εικόνα 17: Ηλεκτρική έξοδος σημάτων [Fraden.J,(2010) Handbook of Modern Sensors, Physics, Designs, and Applications Springer New York Heidelberg Dordrecht London].....	58
Εικόνα 18: Σύστημα μηδενικής τάξης[Kalantar-zadeh.K,(2013) Sensors: An Introductory Course, DOI10.1007/978-1-4614-5052-8_3 Springer Science+Business Media New York] .....	60
Εικόνα 19: Σύστημα πρώτης τάξης[Kalantar-zadeh.K,(2013) Sensors: An Introductory Course, DOI10.1007/978-1-4614-5052-8_3 Springer Science+Business Media New York] .....	61
Εικόνα 20: Σύστημα δεύτερης τάξης[Kalantar-zadeh.K,(2013) Sensors: An Introductory Course, DOI10.1007/978-1-4614-5052-8_3 Springer Science+Business Media New York] .....	62
Εικόνα 21: Πίνακες βάσης δεδομένων .....	63
Εικόνα 22: Διάταξη αισθητήρων συλλογής δεδομένων .....	64
Εικόνα 23: Αδιάβροχος αισθητήρας DS18B20[ <a href="https://grobotronics.com/ds18b20-el.html">https://grobotronics.com/ds18b20-el.html</a> ].....	67
Εικόνα 24: Στατικά χαρακτηριστικά DS18B20[Maxim Integrated Products. Inc,(2015) “datasheet”] .....	67
Εικόνα 25: DHT22[Thomas Liu , Aosong Electronics Co.,Ltd “datasheet”].....	68
Εικόνα 26: Στατικά χαρακτηριστικά DHT22[Thomas Liu , Aosong Electronics Co.,Ltd “datasheet”].....	69
Εικόνα 27: DHT11[DHT11 Humidity & Temperature Sensor] .....	70
Εικόνα 28: Στατικά χαρακτηριστικά DHT11[DHT11 Humidity & Temperature Sensor] .....	70
Εικόνα 29: Στατικά χαρακτηριστικά DHT11[DHT11 Humidity & Temperature Sensor] .....	71
Εικόνα 30: Σύγκριση DS18B20.....	74
Εικόνα 31:Σύγκριση DS18B20 spss .....	75



Εικόνα 32: Σύγκριση ακραίων τιμών DS18B20.....	76
Εικόνα 33: Σύγκριση DS18B20 ακραίες τιμές spss .....	77
Εικόνα 34:Σύγκριση διαφορών των τιμών DS18B20.....	78
Εικόνα 35:Διαφορά μεταξύ DHT22 και ΜΕΣΗΣ ΤΙΜΗΣ .....	79
Εικόνα 36: DHT22 ΚΑΙ DS18B20(ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ) .....	80
Εικόνα 37:DHT22 ΚΑΙ DS18B20(ΑΚΡΑΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ).....	80
Εικόνα 38:DHT22 ΚΑΙ ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ DS18B20(ΑΚΡΑΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ) .....	81
Εικόνα 39:DHT22 ΚΑΙ ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ(ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ) .....	81
Εικόνα 40:DHT22-DHT11 .....	82
Εικόνα 41: Απόκλιση DHT11id_1 .....	83
Εικόνα 42:Αποδεκτές τιμές υγρασίας βάση προτύπου ASHRAE.....	87
Εικόνα 43:Τιμές υγρασίας DHT11 αισθητήρων(24 ώρες) .....	88
Εικόνα 44:Συμπεριφορά DHT11 σε ημερομηνίες με κανονικές μεταβολές θερμοκρασίας.....	88
Εικόνα 45:Σύνολο τιμών υγρασίας DHT11 για όλες τις ημερομηνίες με έντονες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.....	89
Εικόνα 46:Απόκλιση μεταξύ των DHT11 αισθητήρων.....	90
Εικόνα 47: DHT11_ID1- DHT11_ID2-DHT22_ID8(24 ώρες) .....	91
Εικόνα 48:DHT11_ID1-DHT11_ID2-DHT22_ID8(όλες οι ημερομηνίες που έχουν σταθερές μεταβολές θερμοκρασίας).....	91
Εικόνα 49:Συμπεριφορά αισθητήρων για τις ημερομηνίες με ακραίες μεταβολές θερμοκρασίας.....	92

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατανάλωση ενέργειας καθώς και οι τρόποι διαχείρισης της, αποτελούν ένα από τα κυριότερα ζητήματα ενασχόλησης της ενεργειακής πολιτικής όλων των αναπτυγμένων και μη κρατών. Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι πλέον ζήτημα υψίστης σημασίας για τη βιωσιμότητα των φυσικών μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και για την κάλυψη των ενεργειακών δεσμεύσεων των κρατών. Ένα μεγάλο και συνεχώς αυξανόμενο ποσοστό ενέργειας καταναλώνεται από τα κτίρια.

Δημιουργήθηκε έτσι από πολύ νωρίς η ανάγκη για σχεδίαση κτιρίων τα οποία θα έπρεπε να είναι ενεργειακά αυτόνομα και παράλληλα οικονομικά στην κατανάλωση ενέργειας. Τα “έξυπνα” κτίρια αποτέλεσαν μία από τις λύσεις του προβλήματος της εξοικονόμησης ενέργειας. Υπήρξαν πολλές προσεγγίσεις στον ορισμό της έννοιας “έξυπνο κτίριο”. Οι μεταβαλλόμενες όμως συνθήκες και η συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας στον τομέα αλλάζουν συνεχώς την αντίληψη για το τι ακριβώς είναι το “έξυπνο κτίριο”.

Βασικό και αδιαμφισβήτητο ένα από τα σημαντικότερα μέρη του έξυπνου κτιρίου είναι τα συστήματα ψύξης θέρμανσης και εξαερισμού(hvac). Μεγάλο ποσοστό της ενέργειας που καταναλώνεται σε ένα κτίριο, καταναλώνεται για ψύξη θέρμανση και εξαερισμό. Σημαντικό λοιπόν στοιχείο για την επίλυση του ζητήματος της εξοικονόμησης ενέργειας είναι η βέλτιστη χρήση και παράλληλα η μέγιστη οικονομία στη χρήση των hvac συστημάτων.

Τα hvac συστήματα αποτελούν μέρος του “οργανισμού” του έξυπνου κτιρίου. Η σωστή λειτουργία των hvac συστημάτων εξαρτάται άμεσα από τα αισθητήρια όργανα που είναι ενσωματωμένα σε αυτά τα συστήματα. Για κάθε σύστημα πρέπει να επιλεγεί εκείνο το αισθητήριο που θα μεγιστοποιήσει την απόδοση του συστήματος. Οι αισθητήρες ανάλογα με τα στατικά και δυναμικά χαρακτηριστικά τους έχουν διαφορετικές δυνατότητες και περιορισμούς. Η μοντελοποίηση των αισθητήρων βάσει των δυναμικών χαρακτηριστικών τους αποτελεί σημαντικό ζήτημα. Η επιλογή επίσης, του κατάλληλου αισθητήρα κατέχει πολύ σημαντικό ρόλο στη λειτουργία των hvac συστημάτων αλλά και στο οικονομικό κόστος αυτών.

Η βελτιστοποίηση της λειτουργίας ενός αισθητήρα χαμηλού κόστους είναι ένα ζήτημα υψηλής σπουδαιότητας. Στις μαζικές χρήσεις αισθητήρων που αφορούν τα συστήματα ψύξης θέρμανσης και εξαερισμού, το οικονομικό κόστος των

συστημάτων μπορεί να μειωθεί κατακόρυφα με τη χρήση οικονομικότερων αισθητήρων. Στα τελευταία κεφάλαια της παρούσας διπλωματικής εργασίας γίνεται εκτενής μελέτη της συμπεριφοράς των αισθητήριων σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιακών διακυμάνσεων και συγκρίνονται μεταξύ τους αισθητήρια όργανα ίδιου, αλλά και διαφορετικών τύπων. Οι αισθητήρες των οποίων η συμπεριφορά μελετήθηκε είναι τύπου DS18B20, DHT22 και αισθητήρες τύπου DHT11.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Διαχείριση ενέργειας

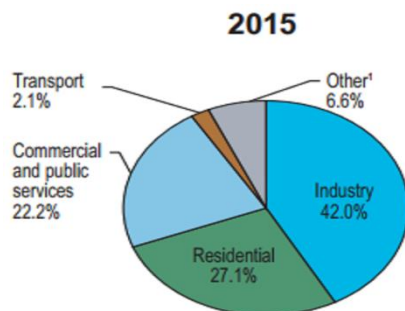
## 1.1 Ενέργεια

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει παγκόσμια κρίση στον τομέα της ενέργειας. Η ραγδαία αύξηση των αναγκών για κατανάλωση ενέργειας, καθώς και η ταυτόχρονη μείωση των φυσικών πόρων, έχουν προβληματίσει έντονα την σύγχρονη παγκόσμια κοινωνία. Το μεγαλύτερο μέρος των ενεργειακών αναγκών καλύπτεται από ενέργεια που παράγεται από ορυκτούς πόρους όπως είναι το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και ο λιγνίτης.<sup>[1]</sup> Οι ορυκτοί πόροι παραγωγής ενέργειας μειώνονται αισθητά και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση των τιμών τους. Πέραν όμως του οικονομικού το σημαντικότερο κόστος είναι το κόστος για το περιβάλλον και αφορά στην εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα που δημιουργείται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων. Η καύση συνεπάγεται την έκλυση διοξειδίου του άνθρακα στην οποία οφείλεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Για την επίλυση αυτών των προβλημάτων η παγκόσμια κοινότητα στράφηκε σε δύο κατευθύνσεις. Η πρώτη είναι η παραγωγή ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ( Α.Π.Ε.) όπως η αιολική ή η ηλιακή ενέργεια. Ενώ η δεύτερη λύση αφορά στον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας με μια πληθώρα τεχνικών.<sup>[1]</sup>

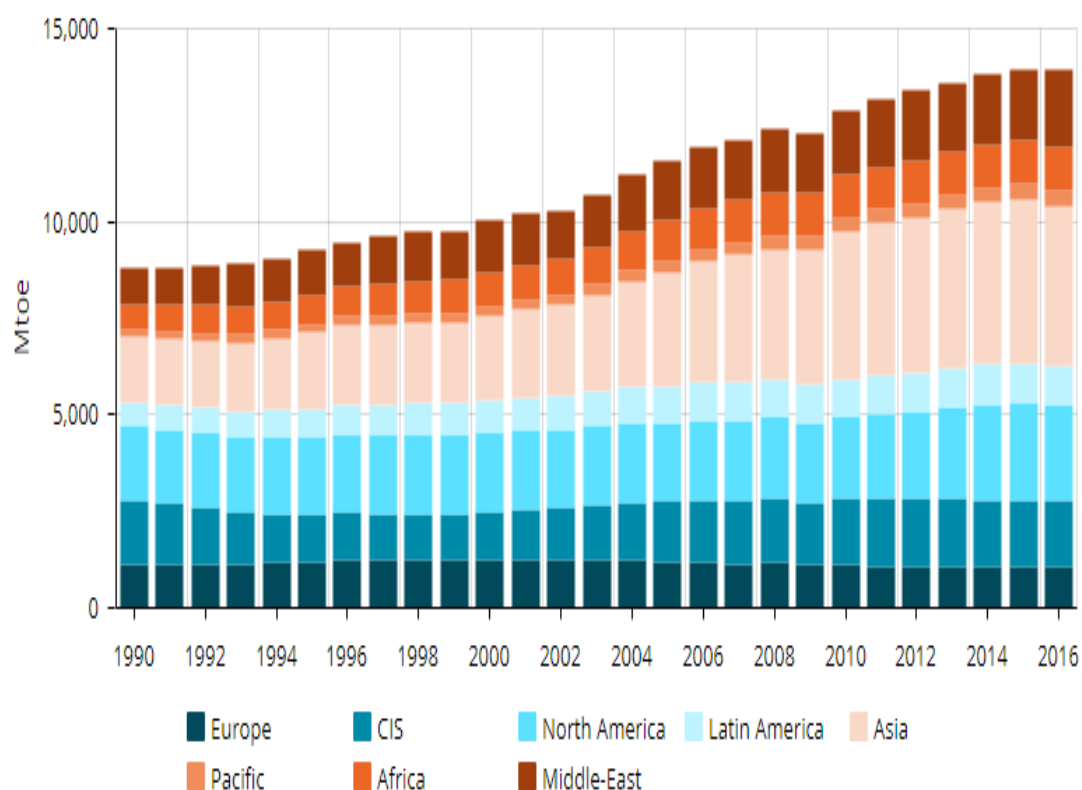
## 1.2 Κατανάλωση ενέργειας-Παραγωγή ενέργειας

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως σύμφωνα με τον διεθνή οργανισμό ενέργειας (international energy agency) για το έτος 2015 ακολουθεί στην εικόνα 1. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό 42% καταναλώνεται για βιομηχανική χρήση, το 27.1% για οικιακή χρήση, το 22.2% για εμπορικές και δημόσιες υπηρεσίες, το 2.1% στις μεταφορές και το υπόλοιπο 6.6% για άλλες χρήσεις.<sup>[2]</sup>



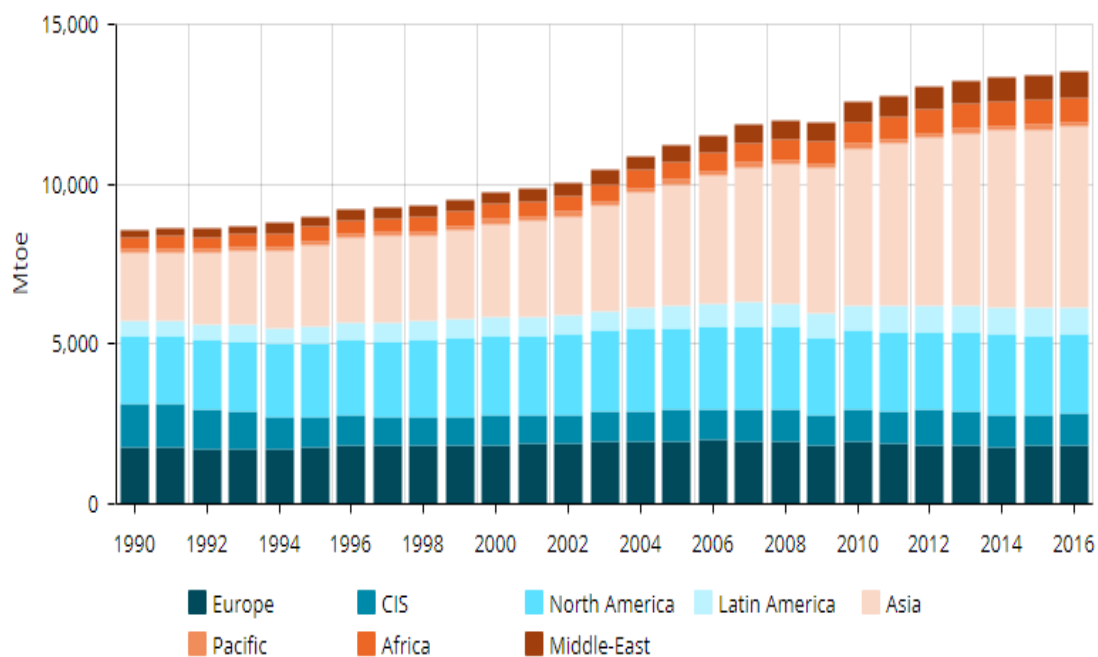
Εικόνα 1: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας  
[<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf>]

Σύμφωνα με τα στοιχεία της enerdata η συνολική παραγωγή ενέργειας για τα έτη από 1990 έως 2016 που ακολουθεί στην εικόνα 2 , δείχνει πως η παγκόσμια παραγωγή ενέργειας μειώθηκε το 2016 (-0,4%) για πρώτη φορά μετά το 2009. Η ελάττωση της παραγωγής ενέργειας με χρήση των τριών πηγών ενέργειας από ορυκτά καύσιμα στις ΗΠΑ, έφερε μείωση στις τιμές των βασικών προϊόντων και οδήγησε στην τάση για παραγωγή και χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η Κίνα συνέβαλε επίσης σημαντικά στην τάση αυτή με αισθητή πτώση της παραγωγής ενέργειας από άνθρακα σε μια προσπάθεια να απομακρύνει τον άνθρακα από την οικονομία της. Η τάση της συρρίκνωσης της παραγωγής ενέργειας με χρήση ορυκτών καυσίμων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης ενισχύθηκε εξαιτίας της εξάντλησης των πόρων πετρελαίου και φυσικού αερίου και της πολιτικής για το κλίμα που τελικά συνεπάγεται την έξοδο του άνθρακα από την αγορά. Οι μεγάλες χώρες εξαγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου (Ρωσία, Σαουδική Αραβία, Ιράν μετά τη λήξη των διεθνών κυρώσεων), καθώς και οι ταχέως αναπτυσσόμενες χώρες (Ινδία και Τουρκία) ήταν οι κύριοι συντελεστές της αύξησης της παραγωγής ενέργειας το 2016.<sup>[3]</sup>



Εικόνα 2:Συνολική παραγωγή ενέργειας 1990-2016[<https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>]

Από την άλλη πλευρά η συνολική κατανάλωση ενέργειας που ακολουθεί στην εικόνα 3 δείχνει ελαφριά ανάκαμψη στην κατανάλωση ενέργειας το 2016 (1% έναντι 0,5% το 2015) Αν και η Κίνα, ο μεγαλύτερος καταναλωτής ενέργειας παγκοσμίως από το 2009, σημείωσε ανάκαμψη της ανάπτυξης της το 2016, εντούτοις η κατανάλωση ενέργειας ελαττώθηκε σημαντικά τα τελευταία τρία χρόνια σε σχέση με την τάση για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας που παρατηρήθηκε κατά την περίοδο 2000-2013. Η ανεπαρκής οικονομική ανάπτυξη και η μετάβαση σε μια λιγότερο βιομηχανική οικονομία σε συνδυασμό με την ισχυρή αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και την προθυμία της κυβέρνησης να αποκεντροποιήσει την οικονομία, μείωσε την κατανάλωση άνθρακα και εξηγεί τις πρόσφατες εξελίξεις. Η κατανάλωση ενέργειας ήταν αμετάβλητη στις ΗΠΑ το 2016 λόγω της βαθιάς πτώσης της χρήσης άνθρακα, η οποία αντισταθμίζεται από αύξηση της κατανάλωσης πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η Ινδία συνέχισε να υποστηρίζει την παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας και αντιπροσωπεύει το ένα τέταρτο της παγκόσμιας αύξησης το 2016. Σημαντικές τάσεις ανόδου έχουν καταγραφεί στην Τουρκία και στις ασιατικές χώρες όπως η Ινδονησία, η Μαλαισία και η Νότια Κορέα. Αντιθέτως, η κατανάλωση ενέργειας μειώθηκε στη Λατινική Αμερική, στη Βραζιλία, την Κολομβία και το Μεξικό, ενώ η Ευρωπαϊκή Ένωση παρέμεινε σταθερή.<sup>[3]</sup>



Εικόνα 3: Συνολική κατανάλωση ενέργειας [<https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>]

### 1.3 Κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ) ο λιγνίτης είναι η σημαντικότερη εγχώρια ενεργειακή πηγή, συνεισφέροντας το 53.15% της εγχώριας παραγωγής για το 2011, που ήταν και η τελευταία φορά που αφιερώθηκε έκθεση από το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA) για την Ελλάδα. Το φυσικό αέριο συνεισφέρει το 28.3%.<sup>[4]</sup>

Επειδή η χρονική διάρκεια ζωής των ήδη γνωστών εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων λιγνίτη δεν υπερβαίνει τα 35 χρόνια, έχει διατυπωθεί η άποψη ότι θα πρέπει να μπουν στο ελληνικό ισοζύγιο ηλεκτρισμού νέα καύσιμα, όπως ο λιθάνθρακας, ώστε να παραταθεί η διαθεσιμότητα και η χρήση του λιγνίτη σε μεγαλύτερο βάθος χρόνου. Στα πλεονεκτήματα του άνθρακα είναι ότι, ενώ το φυσικό αέριο θα είναι διαθέσιμο για τα επόμενα 50 – 60 χρόνια, ο άνθρακας θα είναι διαθέσιμος τουλάχιστον για 200 χρόνια ακόμη. Ωστόσο, η μελλοντική αξιοποίηση του άνθρακα θα εξαρτηθεί από τη δυνατότητα των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων άνθρακα να υιοθετήσουν, με χαμηλό κόστος, καθαρές και αποδοτικές τεχνολογίες καύσης, ώστε να προσαρμοστούν στο αυστηρό πλαίσιο των περιβαλλοντικών απαιτήσεων του «Πρωτοκόλλου του Κιότο» και των αυστηρών Ευρωπαϊκών προδιαγραφών για νέες εγκαταστάσεις καύσης.<sup>[4]</sup>

Η Ελλάδα εφαρμόζει επί του παρόντος συνολικές μεταρρυθμίσεις στον ενεργειακό τομέα για τη δημιουργία ανταγωνιστικών αγορών ενέργειας. Μπορεί να χρησιμοποιήσει την οικονομική ανάκαμψη ως ευκαιρία για να προχωρήσει σε μακροπρόθεσμα αποτελέσματα μείωσης των εκπομπών ακολουθώντας πρωτοβουλίες που υποστηρίζουν τη βιώσιμη αύξηση της αποδοτικότητας και αυξάνοντας το μερίδιο του φυσικού αερίου και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα. Βασικό μέρος αυτής της διαδικασίας θα είναι η ανάπτυξη ενός εθνικού σχεδίου για την ενέργεια και το κλίμα για το 2030 και μετά, καθώς και η ενσωμάτωση των στόχων για το κλίμα στον ολοκληρωμένο ενεργειακό προγραμματισμό.

Η χώρα έχει δει μια εντυπωσιακή αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και υπέρβαση των στόχων που έχουν τεθεί για τις ηλιακές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις. Η ενισχυμένη εκμετάλλευση του δυναμικού ανανεώσιμης ενέργειας θα μπορούσε να οδηγήσει σε

ένα πιο ισορροπημένο ενεργειακό μείγμα και να συμβάλει στην αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας.<sup>[4]</sup>

Ταυτόχρονα η ανάδειξη της προστασίας του περιβάλλοντος ως στόχος υψηλής προτεραιότητας για την ελληνική πολιτεία, οδηγεί σε προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, θέτοντας στόχο την αύξηση συμμετοχής τους στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο 34% μέχρι το 2020. Στο ίδιο πλαίσιο δίνεται έμφαση στην επιτάχυνση της διεύθυνσης του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο.<sup>[4]</sup>

## **1.4 Κοινοτική οδηγία**

Η φιλόδοξη ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης μπορούν να μειώσουν το 90% των εκπομπών άνθρακα που σχετίζονται με την ενέργεια μέχρι το 2050. Για να γίνει αυτό, το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα πρέπει να αυξηθεί από 15% του πρωτογενούς ενεργειακού εφοδιασμού το 2015 σε 65% το 2050. Αυτό, ωστόσο, θα απαιτήσει μαζική στροφή και αύξηση των επενδύσεων στον τομέα της ενέργειας<sup>[5]</sup>

Από το σύνολο της πρωτογενούς ενέργειας που καταναλώνεται σε παγκόσμιο επίπεδο μόνο το 32% αποτελεί το τμήμα που χρησιμοποιείται, ενώ το υπόλοιπο 68% σπαταλάται υπό μορφή απωλειών.<sup>[6]</sup>

Τα κτίρια ευθύνονται για το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Ο τομέας αυτός διευρύνεται, πράγμα που μετά βεβαιότητας θα αυξήσει την ενεργειακή κατανάλωση. Συνεπώς, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και η χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στον κτιριακό τομέα αποτελούν σημαντικά μέτρα που απαιτούνται για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Από κοινού με την αυξημένη χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, τα μέτρα για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στην Ένωση θα της επέτρεπαν τη συμμόρφωση προς το πρωτόκολλο του Κιότο της σύμβασης πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή UNFCCC, καθώς και την εκπλήρωση τόσο της μακροπρόθεσμης δέσμευσής της για τη διατήρηση της ανόδου της θερμοκρασίας της γης κάτω από τους 2°C όσο και της δέσμευσής της να μειώσει έως το 2020 τις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 20 % τουλάχιστον κάτω από τα επίπεδα του 1990 και κατά 30 % σε περίπτωση που θα επιτευχθεί διεθνής συμφωνία. Η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και η αυξημένη χρήση ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές θα διαδραματίσουν επίσης σημαντικό ρόλο στην προώθηση της



ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού και της τεχνολογικής ανάπτυξης καθώς και στη δημιουργία ευκαιριών απασχόλησης και περιφερειακής ανάπτυξης, ιδίως στις αγροτικές περιοχές.<sup>[7][8]</sup>

Ενώ τα νέα κτίρια, γενικά, απαιτούν λιγότερο από 3-5 λίτρα πετρελαίου θέρμανσης ανά τετραγωνικό μέτρο το έτος, τα παλαιότερα κτίρια κατά μέσο όρο απαιτούν 25 λίτρα κατ' έτος. Κάποια ενεργοβόρα κτίρια, μάλιστα, απαιτούν ακόμη και 60 λίτρα/m<sup>2</sup>/έτος. Εξάλλου, περίπου το 35% των κτιρίων της ΕΕ έχουν ηλικία μεγαλύτερη των 50 ετών.<sup>[6]</sup>

Το 2010 η ΕΕ, μέσω της οδηγίας 2010/31/ΕΕ , εκδίδει την αναδιατύπωση της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και εισάγει την έννοια του «κτιρίου σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας», υποχρεώνει τα κράτη μέλη να καταθέσουν εθνικά σχέδια αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας και θέτει ως στόχο από τις 31 Δεκεμβρίου 2020 όλα τα νέα κτίρια να αποτελούν κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας, ενώ τα νέα κτίρια που στεγάζουν δημόσιες αρχές ή είναι ιδιοκτησίας τους να αποτελούν και αυτά κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας μετά τις 31 Δεκεμβρίου 2018.<sup>[6][8]</sup>

Στις 30 Νοεμβρίου 2016 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε το πακέτο προτάσεων «Καθαρή Ενέργεια για Όλους τους Ευρωπαίους», γνωστό αλλιώς και ως «Χειμερινό Πακέτο» (WinterPackage), με θέσεις και προτάσεις που αφορούν την ενέργεια .

Για το λόγο αυτό η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανακοίνωσε νέα και καινοτόμα μέτρα που αφορούν την ενεργειακή απόδοση. Τα μέτρα αυτά αναπτύσσονται σε τέσσερις βασικούς άξονες:

Καθορισμός του πλαισίου για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων.

Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των προϊόντων (οικολογικός σχεδιασμός) και ενίσχυση των επιπέδων των καταναλωτών (σημάνσεις ενεργειακής απόδοσης).

Προτάσεις για έξυπνες χρηματοδοτήσεις για τα έξυπνα κτίρια.

Εκτός από τις αναγκαίες αναθεωρήσεις για να ανταποκριθούν τα κράτη μέλη στο νέο δεσμευτικό πλέον στόχο του 30% για το 2030 μία από τις κύριες αλλαγές που

εισάγονται είναι η επέκταση των εξοικονομήσεων ενέργειας. Με τη νέα οδηγία τίθενται σε αντιπαραβολή εναλλακτικά μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας με τα «καθεστώτα επιβολής της υποχρέωσης ενεργειακής απόδοσης» (Energy Efficiency Obligation Schemes).<sup>[6][8]</sup>

Μέσω της αναθεώρησης της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων εισάγονται στοχευμένες τροποποιήσεις προκειμένου να διασφαλιστεί η ενθάρρυνση της χρήσης των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών και των έξυπνων τεχνολογιών για την αποδοτική λειτουργία των κτιρίων στο χρόνο, εκσυγχρονίζονται και διαγράφονται προβλέψεις που δεν έχουν αποδώσει τα αναμενόμενα αποτελέσματα, και ενδυναμώνεται η σύνδεση μεταξύ της επίτευξης υψηλότερων ρυθμών ανακαίνισης, χρηματοδότησης και ενεργειακών πιστοποιητικών.<sup>[6][8]</sup>

Οι μείζονες αλλαγές που εισάγονται στη νέα οδηγία είναι οι εξής:

Ενσωμάτωση των προβλέψεων για μακροπρόθεσμες στρατηγικές ανακαίνισης, με το βλέμμα στην επίτευξη ενός κτιριακού αποθέματος σχεδόν μηδενικών ρύπων έως το 2050.

Παροχή καθαρότερων προδιαγραφών για μελέτες σκοπιμότητας πριν από τη λειτουργική παραλαβή των κτιρίων.

Εκσυγχρονισμός των προβλέψεων για επιθεωρήσεις των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού, καθώς θα ενισχύεται η χρήση κτιριακών αυτοματισμών και ελέγχου για να εξασφαλιστεί η συνεχής υψηλή απόδοση του κτιρίου.

Προώθηση της κινητικότητας (e-mobility), η οποία θα ενισχύει την εγκατάσταση σημείων επαναφόρτισης για τα ηλεκτρικά οχήματα σε σημεία που είναι απαραίτητο (π.χ. σε ιδιωτικούς χώρους).

Ορισμός του «έξυπνου κτιρίου», που θα εισάγει ένα δείκτη «ευφυΐας», ο οποίος θα αξιολογεί την τεχνολογική δυνατότητα του κτιρίου να αλληλεπιδρά με τους χρήστες και το δίκτυο.

Συγκερασμός της ενεργειακής πολιτικής και της χρηματοδότησης μέσω της χρήσης των πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης.

Διάθεση περισσότερων και πιο ουσιαδών δεδομένων κτιρίων στους παράγοντες της αγοράς, με τη συλλογή δεδομένων ετησίας κατανάλωσης και πιο ισχυρών πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης.<sup>[6][8]</sup>

## 1.5 Κατανάλωση ενέργειας και Τεχνολογία της πληροφορίας και των επικοινωνιών(ΤΠΕ)

Η κατανάλωση ενέργειας από την επέκταση της χρήσης της τεχνολογίας των πληροφοριών και των επικοινωνιών (ΤΠΕ), καθιστά την πρωτογενή ενέργεια μη βιώσιμη σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα. Επίσης, καθιστά και βέβαιο το γεγονός του μεγάλου αρνητικού αντίκτυπου στις μελλοντικές κλιματικές αλλαγές. Ωστόσο, οι συσκευές ΤΠΕ έχουν τη δυνατότητα να συμβάλουν σημαντικά στη μείωση των εκπομπών του CO<sup>2</sup> καθώς και στην αύξηση της αποδοτικότητας των ενεργειακών πόρων σε πολλούς τομείς, όπως:

**Μεταφορά:** μέσω της έξυπνης μεταφοράς και της προηγμένης βοήθειας οδηγού καθώς και τα συστήματα αυτο-οδήγησης των οχημάτων

**Θέρμανση:** μέσω του έξυπνου ελέγχου των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης ενός κτιρίου, και

**την κατασκευή:** μέσω του ψηφιακού αυτοματισμού που βασίζεται σε έξυπνους αυτόνομους αισθητήρες.

Για να διευθετηθεί το ζήτημα που αφορά την ενεργειακή βιωσιμότητα των ΤΠΕ και την πλήρη αξιοποίηση του δυναμικού τους στην αποτελεσματική χρήση των πόρων, θα πρέπει να υπάρχει άρτια συνεργασία μιας πολυεπιστημονικής κοινότητας στον τομέα των συσκευών ΤΠΕ, των μικροαρχιτεκτονικών επιστημών στον τομέα της εξαιρετικά μεγάλης κλίμακας ολοκλήρωσης (ultralarge-scale integration ULSI), στην υψηλή απόδοση υπολογιστικών συστημάτων (high-performance computing HPC), στη συγκομιδή ενέργειας, στην αποθήκευση ενέργειας, στο σχεδιασμό συστήματος, στα ενσωματωμένα συστήματα, στην αποδοτική ηλεκτρονική, στη στατική ανάλυση και τον υπολογισμό. <sup>[9]</sup>

Η εξάρτηση της κοινωνίας από τη χρήση των συσκευών της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) αυξάνεται συνεχώς. Η διάδοση του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, των κοινωνικών μέσων και εφαρμογών, η άμεση χρήση των κινητών συσκευών, η ανάλυση δεδομένων και η προηγμένη υπολογιστική για την επίλυση μεγάλων προκλήσεων, έχει μεταβαλλόμενο αντίκτυπο στην κοινωνία. Ωστόσο, η επέκταση της χρήσης ΤΠΕ απαιτεί αύξηση στην ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζεται για να επιτευχθεί. Αυτό συνεπάγεται μετασχηματισμούς της ενέργειας που οδηγούν σε απώλεια ενέργειας με τη μορφή θερμότητας. Υπάρχουν

πολλά μοντέλα για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τις ΤΠΕ. Παρόλα αυτά, μια επικρατέστερη εκτίμηση αυτή τη στιγμή είναι πως το 4% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και άνω του 2% του συνόλου των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα είναι αποτέλεσμα της χρήσης των ΤΠΕ. Αν η ψυχαγωγία, τα τηλέφωνα, η τηλεόραση και τα μέσα ενημέρωσης που δεν έχουν προσμετρηθεί ως ΤΠΕ προστεθούν τότε αυτοί οι αριθμοί κατανάλωσης θα γίνουν τουλάχιστον διπλάσιοι.<sup>[9]</sup>

Μελέτες στον τομέα αυτό έχουν δείξει ότι το μερίδιο της παγκόσμιας χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας από τις ΤΠΕ έως το 2030 θα φτάσει στο 21% και στη χειρότερη περίπτωση στο 51%. Σύμφωνα με το δεύτερο σενάριο η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα από τη χρήση ΤΠΕ θα φτάσει στο 23%.<sup>[10]</sup>

## **1.6 Μελέτες για την προβλεπόμενη και την πραγματική κατανάλωση ενέργειας**

Ο αντίκτυπος της συμπεριφοράς των χρηστών στα κτίρια είναι ένα από τα ζητήματα που απασχολούν έντονα τον ερευνητικό τομέα δεδομένης της ανάγκης αντιμετώπισης των προκλήσεων της κλιματικής αλλαγής. Πολλές μελέτες έχουν διερευνήσει τον αντίκτυπο που έχει η συμπεριφορά των χρηστών στην κατανάλωση ενέργειας σε κτίρια, με αποτέλεσμα την ανάγκη να μειωθεί το χάσμα μεταξύ της προβλεπόμενης και της πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας. Ενεργητική και παθητική ενεργειακή συμπεριφορά των χρηστών (συμπεριλαμβανομένων: άνοιγμα παραθύρου, χρήση ηλιακής σκίασης και περσίδες, ρύθμιση θέσεων HVAC, χρήση ζεστού νερού κλπ.) δεν λαμβάνονται πλήρως υπόψη από τα εργαλεία ανάλυσης για την κατανάλωση ενέργειας. Έτσι, υπάρχει μια εγγενής ζήτηση για νέα μοντέλα ενεργειακής κατανάλωσης. Ερευνητές και σχεδιαστές προσπαθούν να βελτιώσουν τα εργαλεία υπολογισμού κατανάλωσης ενέργειας των κτιρίων εξετάζοντας την ενεργειακή συμπεριφορά των χρηστών. Η κύρια πρόκληση είναι η πολυπλοκότητα και η δυναμική φύση της ενεργειακής συμπεριφοράς των χρηστών, οι οποίες επηρεάζονται από διάφορους εσωτερικούς, εξωτερικούς και άλλους παράγοντες. Επομένως, τα κίνητρα και τους λόγους, καθώς και τους διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν τις αποφάσεις των χρηστών όσον αφορά την αλληλεπίδραση με τα οικοδομικά συστήματα μαζί με τις επιπτώσεις των ενεργειών τους στη συνολική κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων, πρέπει να μελετήσει μια προεπιστημονική

προσέγγιση, ώστε να ενσωματωθούν παράγοντες από την κοινωνιολογία, την ψυχολογία, την οικονομία, τη μηχανική και το σχεδιασμό προοπτικών στη σχεδίαση ενός ακριβούς μοντέλου διαχείρισης κτιριακών εγκαταστάσεων. Σύμφωνα με μελέτες έχει διαπιστωθεί ότι:

Περίπου το 75% των ερευνών, στις οποίες μελετήθηκε άμεσα ο αντίκτυπος της συμπεριφοράς των χρηστών στην κατανάλωση ενέργειας κτιρίου, έχουν επικεντρωθεί σε κτίρια κατοικιών και γραφείων (44% και 31% αντίστοιχα); λιγότερος αριθμός μελετών έχει αναλύσει εμπορικά και εκπαιδευτικά κτίρια, ενώ, μερικοί τύποι κτιρίων όπως εκθεσιακοί χώροι, εγκαταστάσεις αναψυχής και υγειονομικής περίθαλψης δεν έχουν μελετηθεί ιδιαίτερα και απαιτούν περαιτέρω ανάλυση.

Η πλειοψηφία των ερευνών επικεντρώνεται σε μεμονωμένα κτίρια και οι επιπτώσεις στην αστική κλίμακα δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς, σχηματίζοντας ένα ιδιαίτερο ενδιαφέροντος κομμάτι για μελλοντική έρευνα. Ομοίως, δεν έχει ερευνηθεί, ο αντίκτυπος του εσωτερικού σχεδιασμού όσον αφορά τη διάταξη του χώρου, τα φωτιστικά και τα φωτιστικά εξαρτήματα σε σενάρια δράσης των χρηστών, θερμικές αντιλήψεις και κατά συνέπεια στην ενεργειακή τους συμπεριφορά, και απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση.

Όσον αφορά τις παραμέτρους (φυσιολογικές, ψυχολογικές και προσωπικές) που επηρεάζουν τις ενεργειακές συμπεριφορές των κατοίκων, έχουν ληφθεί υπόψη σε πολλές μελέτες (περίπου το 30% των μελετών). Οι πιο πρόσφατες μεθοδολογίες συμπεριφοράς προτείνουν την εξέταση όχι μόνο του ατόμου και των προσωπικών χαρακτηριστικών των χρηστών, αλλά και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του κοινωνικού τους γίγνεσθαι. Ωστόσο, μόνο το 10% των ερευνών επικεντρώθηκε εξίσου στους κοινωνικούς όσο και στους προσωπικούς (κοινωνικό-προσωπικούς) παράγοντες. Ως εκ τούτου, οι συγγραφείς πιστεύουν ότι οι διεπιστημονικές προσεγγίσεις είναι απαραίτητο να λάβουν υπόψη τους τις κοινωνικό-προσωπικές παραμέτρους μέσω ψυχολογικών γνωστικών συμπεριφορικών μεθόδων οι οποίες θα μπορούσαν να δώσουν νέες γνώσεις στον ερευνητικό τομέα.

Οι διάφοροι τύποι αλληλεπίδρασης των ενοίκων με τα συστήματα των κτιρίων όπως η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, χρήση ανεμιστήρων (ή κλιματισμού) και η χρήση των κουφωμάτων του κτιρίου (παράθυρα και πόρτες), έχουν διερευνηθεί. Ωστόσο, ορισμένες περιοχές, όπως η χρήση του ζεστού νερού,

που έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην κατανάλωση ενέργειας σε ορισμένους τύπους κτιρίων (π.χ. κατοικίες) έχουν λάβει ελάχιστη προσοχή, αλλά θεωρούνται ότι έχουν σημαντική επίπτωση στην κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον, μελλοντικές έρευνες που θα αφορούν τη σχέση μεταξύ των διαφορετικών ενεργειακών συμπεριφορών των κατοίκων, θα δημιουργήσουν πιο ρεαλιστικές υποθέσεις στην οικοδόμηση ενεργειακών προβλέψεων.

- Ένας μεγάλος αριθμός μελετών περιέχει λεπτομερείς μεθοδολογίες που βασίζονται στα εξής:
- μελέτη περίπτωσης και πειραμάτων,
- χρήση διαφορετικών τύπων ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων που συλλέγονται πριν και μετά,
- παρακολούθηση των χρηστών (χρησιμοποιώντας αισθητήρες ή παρατήρηση),
- μετρήσεις πεδίου
- ερωτηματολόγια,
- ανάλυση δεδομένων και
- προσομοιώσεις.

Τα ευρήματα αυτών των μελετών έδωσαν μια σαφέστερη εικόνα για την κατανόηση των επιπτώσεων των συμπεριφορών των χρηστών στην κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια. Ωστόσο, τα ευρήματα, επί του παρόντος, δεν έχουν ακόμη προσφέρει σημαντικές βελτιώσεις στην πρόβλεψη των ενεργειακών συμπεριφορών στα κτίρια. Ιδιαίτερα, η μετάφραση και ενσωμάτωση των πορισμάτων αυτών των μελετών στα εργαλεία οικοδόμησης της ενέργειας μέσω της προσομοίωσης για τη μείωση του χάσματος μεταξύ προβλεπόμενης και πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια εξακολουθεί να αποτελεί σημαντική ερευνητική πρόκληση στον τομέα αυτό.<sup>[11]</sup>

Συμφώνα με τα παραπάνω γίνεται ξεκάθαρα αντιληπτό ότι είναι απαραίτητη η αναπροσαρμογή του τρόπου σκέψης καθώς και της συμπεριφοράς της σημερινής κοινωνίας, ώστε να βελτιωθούν οι συνθήκες διαβίωσης των χρηστών αλλά και η βιωσιμότητα του πλανήτη. Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 1.4 τα κτίρια είναι

εκείνα στα οποία σπαταλάτε το 40% της συνολικής ενέργειας. Είναι συνεπώς αναμενόμενο η επιστημονική κοινότητα να στραφεί στην ενεργειακή εξοικονόμηση μέσω των κτιρίων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία της ιδέας των έξυπνων κτιρίων, τα οποία αποτελούν αντικείμενο του δεύτερου κεφαλαίου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Έξυπνα κτίρια και εξοικονόμηση ενέργειας.

### 2.1 Έξυπνα κτίρια



Εικόνα 4: Έξυπνα κτίρια

[<http://www.010.gr/data.php?tomicat1=3460&tomicat2=64636&tomicat3=0&tomicat4=0&tomicat5=0&tomicat6=0&tomicat7=0>]

Η έννοια των έξυπνων κτιρίων έχει έρθει στο προσκήνιο τις τελευταίες δυο με τρεις δεκαετίες. Ο ρυθμός μεταβολής της τεχνολογίας όμως την περίοδο αυτή είναι ταχύτερος από οποιαδήποτε άλλη χρονική στιγμή στην ιστορία του ανθρώπου. Οι μεταβολές στον τρόπο ζωής, οι ανάγκες των ανθρώπων καθώς και οι κλιματικές αλλαγές έχουν δημιουργήσει την ανάγκη των έξυπνων κτιρίων και οι τεχνολογίες ανάπτυξης αυτών λαμβάνουν όλο και περισσότερη προσοχή. Έχουν γίνει προσπάθειες να αποδοθεί επακριβής ορισμός για το τι είναι το έξυπνο κτίριο. Η βιομηχανία κατασκευής κτιρίων και η τεχνολογία των επικοινωνιών αναπτύσσεται και μαζί της μοιραία αλλάζει και ο τρόπος με τον οποίο προσεγγίζουμε την έννοια του Έξυπνου Κτιρίου.

Είναι δύσκολο να διαμορφώσουμε μια μοναδική αντίληψη για το τι είναι το Έξυπνο Κτίριο και δεν υπάρχει ένας ενιαίος ορισμός που να είναι παγκοσμίως αποδεκτός. Παρόλα αυτά οι προσεγγίσεις που έχουν γίνει για τη διαμόρφωση μιας συνολικής περιγραφής οδήγησαν στον καθορισμό τριών κατηγοριών, στις οποίες βασίζονται οι όποιες προσπάθειες απόδοσης μιας ερμηνείας, και οι οποίες παρατίθενται παρακάτω:



1. Ερμηνείες βασισμένες στην απόδοση
2. Ερμηνείες βασισμένες στις υπηρεσίες που παρέχονται
3. Ερμηνείες βασισμένες στο σύστημα που χρησιμοποιείται

### **2.1.1 Ερμηνεία βάσει της απόδοσης του κτιρίου**

Η Ερμηνεία που είναι βασισμένη στην απόδοση του κτιρίου καθορίζει τα ευφυή κτίρια δηλώνοντας ποιες επιδόσεις πρέπει αυτά να έχουν. Ο τυπικός ορισμός αυτής της ερμηνείας έχει δοθεί από τον οργανισμό της Ευρωπαϊκής Ομάδας Έξυπνων Κτιρίων (European Intelligent Building Group- EIBG) ο οποίος το ορίζει ως ένα κτίριο που πρέπει να προσφέρει στους χρήστες του το πιο αποδοτικό περιβάλλον ενώ ταυτόχρονα είναι ικανό το ίδιο το κτίριο να χρησιμοποιεί και να διαχειρίζεται αποτελεσματικά τους πόρους του και να μειώνει το κόστος των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού .

Ένας άλλος ορισμός που είναι βασισμένος στην απόδοση έχει δοθεί από το Ινστιτούτο Έξυπνων Κτιρίων (Intelligent Building Institute-IBI) που βρίσκεται στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Η ερμηνεία αυτή ορίζει ότι ένα Έξυπνο Κτίριο προσφέρει ένα υψηλά αποδοτικό, άνετο και βολικό περιβάλλον ικανοποιώντας ταυτόχρονα τέσσερις βασικές απαιτήσεις: τη δομή, το σύστημα, τις υπηρεσίες, και τη διαχείριση βελτιστοποιώντας τη μεταξύ τους επικοινωνία.

Οι ορισμοί βάσει της απόδοσης του κτιρίου επικεντρώνονται στην απόδοση του κτιρίου και στις απαιτήσεις των χρηστών περισσότερο από ότι στις τεχνολογίες ή στις παροχές υπηρεσιών. Σύμφωνα με αυτή την κατηγορία του ορισμού οι εμπνευστές και οι σχεδιαστές των κτιρίων θα πρέπει να καταλάβουν ακριβώς τι είδους κτίρια θέλουν και ταυτόχρονα πώς θα μπορέσουν να ικανοποιούν τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών. Ένα ευφυές κτίριο θα πρέπει να προσαρμόζετε γρήγορα μετά από κάθε εξωτερική ή εσωτερική αλλαγή και ταυτόχρονα να καταλαβαίνει τις μεταβαλλόμενες ανάγκες των χρηστών.<sup>[11]</sup>

### **2.1.2 Ερμηνεία βάσει των υπηρεσιών που παρέχονται.**

Ο ορισμός που είναι βασισμένος στις υπηρεσίες που παρέχονται περιγράφει τα έξυπνα κτίρια από την πλευρά των υπηρεσιών καθώς και της ποιότητας των υπηρεσιών. Το Ιαπωνικό Ινστιτούτο Έξυπνων Κτιρίων (Japanese Intelligent Building Institute- JIBI) παρέχει τον εξής ορισμό για το έξυπνο κτίριο: Έξυπνο Κτίριο είναι

ένα κτίριο το οποίο προσφέρει τη λειτουργία των υπηρεσιών επικοινωνίας, των αυτοματισμών γραφείου και κτιρίου και παράλληλα είναι βολικό για έξυπνες ενέργειες. Τα βασικά χαρακτηριστικά του έξυπνου κτιρίου που επιβεβαιώνουν την παραπάνω θεωρία είναι τα παρακάτω:

Εξυπηρετούν ως σταθμοί λήψης και μεταφοράς δεδομένων και υποστήριξης αποτελεσματικής διαχείρισης.

Εξασφαλίζουν την ικανοποίηση και την άνεση των χρηστών.

Δημιουργούν ελκυστικές υπηρεσίες διαχείρισης σε χαμηλότερο κόστος με την ορθολογική διαχείριση.

Παρέχουν γρήγορες, ευέλικτες και οικονομικές λύσεις στα μεταβαλλόμενα κοινωνιολογικά περιβάλλοντα, στις ποικίλες και πολύπλοκες εργασιακές απαιτήσεις και στην ενεργό επιχειρηματική στρατηγική.<sup>[11]</sup>

### **2.1.3 Ερμηνείες βάσει του συστήματος που χρησιμοποιείται.**

Ο ορισμός που βασίζεται στο σύστημα του έξυπνου κτιρίου ορίζει τις τεχνολογίες καθώς και το τεχνολογικό σύστημα που πρέπει να εμπεριέχουν. Ένας τυπικός ορισμός δίνεται από το Κινέζικο Πρότυπο Σχεδιασμού Έξυπνων Κτιρίων (Chinese Intelligent Building Design Standard) . Ορίζει ότι Έξυπνο είναι εκείνο το κτίριο το οποίο παρέχει συστήματα δικτύων και επικοινωνιών, κτιριακό αυτοματισμό, αυτοματισμό γραφείου καθώς και τη βέλτιστη σύνθεση αυτών ώστε να ενσωματώνουν τη δομή , το σύστημα, τις υπηρεσίες και τη διαχείριση των υπηρεσιών προκειμένου το κτίριο να παρέχει υψηλή άνεση, απόδοση, ευκολία και ασφάλεια των χρηστών.<sup>[11]</sup>

## **2.2 Τι είναι το έξυπνο κτίριο**

Ένα έξυπνο κτίριο είναι εξαιρετικά αποδοτικό ενεργειακά και καλύπτει την πολύ χαμηλή ενεργειακή του ζήτηση σε μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, επιτόπιου ή περιφερειακού συστήματος.

Ένα έξυπνο κτίριο

1) Σταθεροποιεί και οδηγεί σε ταχύτερη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στο ενεργειακό σύστημα μέσω της αποθήκευσης ενέργειας και της ευελιξίας από πλευράς ζήτησης.

2)Εξουσιοδοτεί τους χρήστες και τους επιβάτες του να ελέγχουν τις ενεργειακές ροές.

3)Αναγνωρίζει και αντιδρά στις ανάγκες των χρηστών και των επιβατών όσον αφορά την άνεση, την υγεία, την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, την ασφάλεια καθώς και τις επιχειρησιακές απαιτήσεις.<sup>[12]</sup>

### **2.3 Οφέλη των έξυπνων κτιρίων**

Τα έξυπνα κτίρια επιτρέπουν και εξασφαλίζουν ένα υγιές και άνετο περιβάλλον διαβίωσης και εργασίας για τους χρήστες τους. Για να θεωρείται έξυπνο, ένα κτίριο θα πρέπει να εμπεριέχει λειτουργίες που περιλαμβάνουν αυτοματοποίηση και φιλικό προς τον χρήστη έλεγχο. Η «έξυπνη» κατάσταση ενός κτιρίου εξαρτάται από την ικανότητα των λειτουργιών του και τη διαλειτουργικότητα των διαφόρων συνιστωσών του.

Η κατανόηση και η προώθηση των πλεονεκτημάτων των έξυπνων κτιρίων για τους χρήστες και τους κατοίκους, το ενεργειακό σύστημα, τις αγορές ενέργειας, την οικονομία και την κοινωνία στο σύνολό της πρέπει να είναι ο βασικός στόχος της εισαγωγής του δείκτη ευφυΐας. Το ευρύ φάσμα των πλεονεκτημάτων για τα παραπάνω μέρη περιλαμβάνει:

- την εξοικονόμηση κόστους,
- το βέλτιστο περιβάλλον κτιρίων για τους κατοίκους,
- τη μειωμένη πίεση στις αγορές ενέργειας,
- την αυξημένη ασφάλεια του εφοδιασμού,
- τη μείωση της ζήτησης πρόσθετης δυναμικότητας,
- τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής.

### **2.4 Τεχνολογίες**

Ορισμένες έξυπνες τεχνολογίες που μπορούν να βελτιώσουν τις εργασίες κατασκευής των κτιρίων και να βοηθήσουν τα κτίρια να παρέχουν τα μέγιστα οφέλη είναι οι εξής:

**HVAC.** Τα συστήματα έξυπνης θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC) χρησιμοποιούν πολλαπλούς αισθητήρες για παρακολούθηση και έλεγχο. Το λογισμικό ερμηνεύει πληροφορίες από διάφορα σημεία αισθητήρων για να βελτιστοποιήσει τη λειτουργία του συστήματος HVAC ενώ παράλληλα βελτιώνει την άνεση των χρηστών. Οι έξυπνοι ρυθμιστές HVAC μπορούν να περιορίσουν την κατανάλωση ενέργειας σε κενές ζώνες, να ανιχνεύσουν και να εντοπίσουν σφάλματα και να μειώσουν τη χρήση του HVAC, ιδιαίτερα σε περιόδους μέγιστης ζήτησης ενέργειας. <sup>[13][14]</sup>

**Φωτισμός.** Ο έξυπνος φωτισμός αποτελείται από προηγμένα χειριστήρια που ενσωματώνουν το φως της ημέρας και προηγμένες λειτουργίες κατοχύρωσης και εξασθένησης, για την εξάλειψη των υπερπλήρων χώρων. Τα φωτιστικά ελέγχου φωτισμού Luminaire αναπτύσσονται γρήγορα και κερδίζουν την αναγνώριση της αγοράς. Τα προγράμματα απόκρισης από την πλευρά της ζήτησης παρέχουν κίνητρα για βαθμιαίο και συνεχή έλεγχο της εξασθένησης. Τα έξυπνα συστήματα φωτισμού μπορούν να ελέγχονται ασύρματα και προγραμματίζονται από συστήματα διαχείρισης φωτισμού. Τα ασύρματα χειριστήρια διευκολύνουν την εκ νέου εγκατάσταση, ενώ οι πλατφόρμες διαχείρισης φωτισμού επιτρέπουν στους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε ελέγχους μέσω διαδικτυακών πινάκων ελέγχου. <sup>[13][14]</sup>

**Βύσματα φόρτισης.** Τα βύσματα σύνδεσης περιλαμβάνουν εκατοντάδες τύπους φορητών συσκευών γραφείων και διαφόρων εξοπλισμών σε κτίρια. Στα υπάρχοντα κτίρια, τα έξυπνα χειριστήρια φορτίου βύσματος αποτελούνται από αυτόματα ελεγχόμενες θήκες και ταινίες ισχύος που βασίζονται στον προγραμματισμό χρόνου, στην ανίχνευση κίνησης ή στην ανίχνευση φορτίου για να διακόψουν εντελώς τη χρήση του εξοπλισμού που δεν χρησιμοποιείται. Ορισμένες έξυπνες ταινίες δύναμης μπορούν να ανιχνεύσουν το πρωτεύον φορτίο, όπως έναν υπολογιστή, και να λειτουργήσουν αντίστοιχα τις περιφερειακές συσκευές. Για κεντρικό έλεγχο, τα προγράμματα φόρτισης βύσματος μπορούν να προγραμματιστούν σε συστήματα διαχείρισης φωτισμού και διαχείρισης κτιρίων (building management systems BMS). <sup>[13][14]</sup>

**Σκίαση παραθύρου.** Τα έξυπνα συστήματα παραθύρων διαχειρίζονται την ποσότητα ηλιακής θερμότητας και το φως της ημέρας που εισέρχεται στο κτίριο. Τα συστήματα αποτελούνται από παθητικά και ενεργητικά τζάμια παραθύρων και φιλμ που ανταποκρίνονται σε αλλαγές στο ηλιακό φως ή τη θερμοκρασία. Επίσης έχουν

αυτόματα ελεγχόμενες αποχρώσεις που προγραμματίζονται να λειτουργούν σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας για τον έλεγχο των επιπέδων φωτισμού και της ηλιακής θερμότητας. Στις κατασκευές, οι έξυπνες τεχνολογίες σκίασης έχουν το μεγαλύτερο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια με μονωμένα παράθυρα. [13][14]

**Αυτοματοποιημένη βελτιστοποίηση συστήματος.** Ενώ ένα παραδοσιακό σύστημα αυτοματισμού κτιρίων (building automation system BAS) βασίζεται σε προκαθορισμένα χρονοδιαγράμματα και σημεία ρύθμισης για εργασίες κατασκευής, η αυτοματοποιημένη βελτιστοποίηση συστήματος (automated system optimization ASO) βασίζεται σε ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο. Η ASO χρησιμοποιεί τις ΤΠΕ για τη συλλογή και ανάλυση λειτουργικών δεδομένων και δεδομένων ενεργειακών επιδόσεων των κτιριακών συστημάτων και για την πρόβλεψη αλλαγών στις λειτουργίες που βασίζονται σε εξωτερικούς παράγοντες όπως τα πρότυπα απόδοσης, οι καιρικές συνθήκες και τα ποσοστά χρησιμότητας. Η παρακολούθηση απομακρυσμένων κτιρίων με βάση το σύννεφο αυξάνει τη δημοτικότητα της. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στους κατασκευαστές κτιρίων (ή στους προμηθευτές ενεργειακών υπηρεσιών τρίτων κατασκευαστών) να παρακολουθούν την απόδοση των κτιρίων μέσω πλατφόρμων διαχείρισης ενέργειας μέσω του διαδικτύου. [13][14]

**Ανθρώπινη λειτουργία.** Οι χειριστές μπορούν να διασυνδέονται με ένα έξυπνο κτίριο μέσω των ταμπλό ηλεκτρονικών υπολογιστών με φιλικές προς το χρήστη διαδραστικές επιδείξεις των εργασιών κατασκευής και της χρήσης ενέργειας. Οι πίνακες ελέγχου επιτρέπουν στον υπεύθυνο του κτιρίου να αναλύει κεντρικά όλα τα δεδομένα κτιρίων και να λαμβάνει ειδοποιήσεις σχετικά με βλάβες που εντοπίζονται από την ASO. Το επιχειρησιακό προσωπικό, συμπεριλαμβανομένων των ειδικών πληροφορικής, θα εφαρμόσει εκπαίδευση σε θέματα διαχείρισης δικτύων, ανάλυσης δεδομένων και έξυπνης τεχνολογίας. Όσο για τους χρήστες του κτιρίου, μπορούν να χρησιμοποιούν κινητές εφαρμογές για τον έλεγχο ορισμένων λειτουργιών του χώρου εργασίας, όπως ο φωτισμός. Οι εφαρμογές μπορούν επίσης να εμφανίζουν την κατανάλωση ενέργειας των χρηστών και να προτείνουν τρόπους μείωσης της κατανάλωσης. [13][14]

**Καταναεμημένοι ενεργειακοί πόροι:** Οι καταναεμημένοι ενεργειακοί πόροι (Distributed energy resources DER) αποτελούνται πρωτίστως από συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας που τοποθετούνται στο σημείο χρήσης ή

κοντά στο σημείο χρήσης και παρέχουν ισχύ ανεξάρτητη από το δίκτυο. Παραδείγματα DER που περιλαμβάνουν συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ενέργειας, είναι οι ηλιακές φωτοβολταϊκές και άλλες ανανεώσιμες πηγές, καθώς και η αποθήκευση με μπαταρία και θερμική ενέργεια. Οι DER βασίζονται σε συσκευές επικοινωνιών και ελέγχου για την επίτευξη της ενεργειακής αποστολής τους. Η προσθήκη ενός έξυπνου μετατροπέα στο DER δίνει έξυπνη λειτουργικότητα. Οι έξυπνοι μετατροπείς είναι ελεγχόμενοι από το λογισμικό και βοηθούν στη διαχείριση της παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας επιτόπου. Επιτρέπουν τη συνεχή αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των DER και του ηλεκτρικού δικτύου και μπορούν να ανταποκριθούν άμεσα στα σήματα φορτίου, στα ποσοστά ηλεκτρικής ενέργειας, στα συμβάντα απόκρισης ζήτησης και στις διακοπές λειτουργίας.<sup>[13][14]</sup>

## **2.5 Εξοικονόμηση ενέργειας και Έξυπνα κτίρια**

Το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Επιδόσεων Κτιρίων (BPIE) στη νέα έκθεσή του «Άνοιγμα της πόρτας για έξυπνα κτίρια» εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να αλλάξει η νομοθεσία της ΕΕ, προκειμένου να ενσωματωθούν τα ευφυή κτίρια στην Ευρώπη. Η έκθεση συστήνει τη διαδικασία αναδιατύπωσης σημαντικών οδηγιών σχετικά με την ενεργειακή απόδοση στα κτίρια.

Ένα πιο αποδοτικό και έξυπνο οικοδομικό απόθεμα αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο ενός ενεργειακού συστήματος χωρίς άνθρακα. Η ενοποίηση των καταναμημένων ενεργειακών πόρων, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της αποθήκευσης και η αυξανόμενη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια θα οδηγήσουν στην ανάγκη για αυξημένη ευελιξία, ικανότητες απόκρισης στη ζήτηση και ενίσχυση των ικανοτήτων των καταναλωτών για την περαιτέρω ανάπτυξη ενός οικονομικά προσιτού, αξιόπιστου και χωρίς άνθρακα ενεργειακού συστήματος. Τα κτίρια έχουν τη δυνατότητα να είναι στην πρώτη γραμμή της παροχής ευελιξίας στο ενεργειακό σύστημα, μέσω της βελτίωσης της παραγωγής ενέργειας, του ελέγχου, της αποθήκευσης και της απόκρισης στη ζήτηση.

Τα πλαίσια της αγοράς και η ρύθμιση πρέπει να επιτρέπουν στα κτίρια να συνδέονται και να αλληλεπιδρούν με το ενεργειακό σύστημα. Μέχρι σήμερα, αυτό δεν συμβαίνει πάντοτε σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ). Για παράδειγμα, πολλά κράτη μέλη της ΕΕ δεν επιτρέπουν σε κτίρια κατοικιών να συμμετέχουν σε δραστηριότητες ζήτησης-απόκρισης, καθυστερώντας έτσι την καινοτομία και την

ανάπτυξη στον τομέα αυτό. Χωρίς ένα μελλοντικό νομοθετικό πλαίσιο, η ΕΕ κινδυνεύει να χάσει και άλλες αγορές όσον αφορά την ανταγωνιστικότητα και την καινοτομία. Οι τρέχουσες πολιτικές δεν έχουν φιλοδοξίες να ενθαρρύνουν τα κτίρια να διαδραματίσουν το ρόλο τους ως μικροενισχυτές ενέργειας.<sup>[15]</sup>

### **2.5.1 Μέθοδοι ενεργειακής εξοικονόμησης στα έξυπνα κτίρια**

Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους, είναι δυνατόν να σχεδιαστούν βέλτιστες στρατηγικές για την εξοικονόμηση ενέργειας λαμβάνοντας υπόψη τόσο την εξέλιξη των επηρεαζόμενων παραμέτρων όσο και την συνέπεια της εξέλιξης της ενεργειακής κατανάλωσης στο στοχευόμενο κτίριο. Ως εκ τούτου, η προσέγγιση που προτείνεται για το σχεδιασμό των βέλτιστων στρατηγικών εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια είναι οι εξής:

1. Ανάλυση του προφίλ κατανάλωσης ενέργειας που σχετίζεται με κάθε υπηρεσία που παρέχεται στο κτίριο. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατόν να εντοπιστούν μεταβλητές που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας.

2. Ανάλυση της σχέσης μεταξύ της εξέλιξης τέτοιων μεταβλητών και της ενέργειας που καταναλώνεται. Έτσι, είναι δυνατόν να αναδειχθούν οι μεταβλητές με τις πιο σχετικές επιπτώσεις στην κατανάλωση ενέργειας.

3. Παροχή προτύπων της συμπεριφοράς των προσδιορισμένων μεταβλητών καθώς και του βαθμού αβεβαιότητάς τους. Παράλληλα να συμπεριληφθούν ως είσοδοι του μοντέλου τέτοιου είδους συμπεριφορές καθώς και τα συναφή δεδομένα αντίχρευσης.

4. Εφαρμογή ενός μοντέλου πρόβλεψης που να μπορεί να εκτιμήσει την εξέλιξη της ενεργειακής κατανάλωσης που δίνεται σε ένα τέτοιο σύνολο εισροών.

5. Σχεδιασμός βέλτιστων στρατηγικών ελέγχου για την εξοικονόμηση ενέργειας με βάση την εκτιμώμενη εξέλιξη της ενεργειακής κατανάλωσης.<sup>[16]</sup>

### **2.6 Έξυπνα κτίρια και IOT(internet of things)**

Το IoT έχει γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής του σημερινού ανθρώπου και θα συνεχίζει να παίζει καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη της πορείας του . Προς το παρόν, ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών είναι μεγαλύτερος από 22 δισεκατομμύρια, που είναι σχεδόν τρεις φορές μεγαλύτερος από τον αριθμό των κατοίκων της Γης.<sup>[17]</sup> Ωστόσο, το πρόβλημα είναι ότι οι περισσότερες συσκευές είναι

ασύμβατες μεταξύ τους, και ορισμένες από αυτές χρησιμοποιούνται για άλλους σκοπούς και όχι για το IOT. Αρκεί να σκεφτούμε τι είδους πληροφορία μπορεί να πάρουμε από έναν ιχνηλάτη γυμναστικής. Χρησιμοποιώντας το επιταχυνσιόμετρο και το γυροσκόπιο μπορούμε να λάβουμε πληροφορίες σχετικά με το αν ένα άτομο τη συγκεκριμένη στιγμή τρέχει ή απλά περπατάει, τρώει ή κολυμπάει. Ωστόσο, το πιο σημαντικό μέρος είναι η ικανότητα εργασίας με αυτές τις πληροφορίες. Με βάση τα δεδομένα του αισθητήρα από τον καρδιακό ρυθμό είναι δυνατό να ληφθεί ένα χαρακτηριστικό σχετικά με την κατάσταση της υγείας του ανθρώπου και αν απαιτείται, να προταθούν διάφορες θεραπείες. Επίσης, αυτές οι πληροφορίες είναι πολύ χρήσιμες στην ιατρική- ο γιατρός θα μπορεί να αξιολογήσει τις ασθένειες με βάση προηγούμενα δεδομένα. Για παράδειγμα, τότε η ασθένεια εντοπίστηκε για πρώτη φορά, πόσο συχνά τα συμπτώματα εκδηλώθηκαν και ου το καθ' εξής.<sup>[17]</sup>

### **2.6.1 Cloud Computing**

Το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλους σχεδόν τους τομείς της ανθρώπινης ζωής. Η σπουδαιότητα του και η χρησιμότητα του είναι μεγάλη στον τομέα των έξυπνων κτιρίων και στην αλληλεπίδραση του ανθρώπου με τις κτιριακές εγκαταστάσεις. Έχουν υπάρξει πολλές διαφορετικές μελέτες για το θέμα, οι οποίες χρησιμοποιούν διαφορετικά είδη αισθητήρων, πλαισίων-δομών και, μερικές φορές, και ρομπότ. Η δημιουργία μιας ενιαίας και απλής πλατφόρμας που να μπορεί να επικοινωνήσει με όλους τους τύπους αισθητήρων και ρομπότ είναι ένα πολύ σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση της ανάπτυξης των Έξυπνων κτιρίων. Πρέπει να σημειωθεί ότι είναι αδύνατον να χρησιμοποιούνται μεγάλες υπολογιστικές δυνάμεις για την επεξεργασία των στοιχείων και την τέλεση των υπολογισμών σε κάθε έξυπνο κτίριο. Σε αυτή την περίπτωση, υπάρχει ανάγκη για Cloud Computing (CC) όπου ο υπολογισμός θα θεωρείται ως "δημόσια υπηρεσία". Με παρόμοια έννοια, όπως αυτή των σύγχρονων δικτύων παροχής ενέργειας και νερού, οι χρήστες των σύννεφων (cloud) δεν χρειάζεται να κατέχουν τα μέσα παραγωγής ή διανομής (δηλαδή την ενέργεια, τις γεννήτριες, τις πηγές νερού και τα δίκτυα διανομής), απλά πρέπει να συνδεθούν με την υπηρεσία σύννεφο και να αφήσουν την απομακρυσμένη διαχείριση υπολογισμών, αποθήκευσης και πόρων κώδικα με ένα διαφανή τρόπο (χωρίς να γνωρίζει τον τόπο διαμονής ή το τις ιδιαιτερότητες αυτών) να κάνει όλη τη δουλειά με υψηλή αξιοπιστία.



Φυσικά, το cloud computing έχει επίσης ορισμένους περιορισμούς. Για παράδειγμα, δεν συνδέεται αποτελεσματικά με τον φυσικό κόσμο με τον ίδιο τρόπο που ένας ρομποτικός παράγοντας μπορεί να συνδεθεί. Γι' αυτό προκύπτει η ανάγκη δημιουργίας μιας προβολής υπηρεσίας ενός Ανθρώπινου-ρομπότ σύννεφου, στην περίπτωση μας ένα σύννεφο ανθρώπινου αισθητήρα. Η περαιτέρω φάση ανάπτυξης του συστήματος για τα έξυπνα κτίρια είναι να δημιουργηθεί ένα σύστημα αλληλεπίδρασης μεταξύ αισθητήρων, ρομπότ, κτιρίων και ανθρώπων. Για τα συστήματα ανθρώπων-μηχανών δημιουργούνται πρότυπα και χρησιμοποιούνται ως βάση αλληλεπίδρασης με ρομπότ, και παρέχουν ευκολότερη και γρηγορότερη σύνδεση με νέες συσκευές σε σύγκριση με τα παλαιότερα. Στην πραγματικότητα, η σύνδεση και περαιτέρω η εργασία με νέες συσκευές επηρεάζει σημαντικά το επίπεδο απόδοσης. Η δημιουργία πλατφόρμας σύνδεσης και λειτουργίας συσκευών διαφόρων τύπων είναι απαραίτητη για την κατασκευή του σωστού δικτύου.<sup>[17]</sup>

### **2.6.2 Μικρό-υπηρεσίες**

Οι μικρουπηρεσίες είναι πολύ χρήσιμες για το IoT. Η αρχιτεκτονική λογισμικού των Μικρο υπηρεσιών, των οποίων η δημοτικότητα αυξάνεται τώρα λόγω του αυξανόμενου ενδιαφέροντος για παράλληλους υπολογισμούς, είναι μια προσέγγιση για υπηρεσίες προσανατολισμένες στην ανάπτυξη. Σχεδιασμένη και κατασκευασμένη για την αρχιτεκτονική Μικρο υπηρεσιών, η γλώσσα προγραμματισμού Jolie αναπτύχθηκε για να εφαρμοστεί άμεσα σε ένα παράδειγμα προσανατολισμένο στις υπηρεσίες, χαρακτηριστικό που τη διακρίνει από τις άλλες δημοφιλείς γλώσσες προγραμματισμού όπως η C, η Java, ή η Python. Αυτό σημαίνει ότι η γλώσσα περιέχει χαρακτηριστικά που είναι μοναδικά σε αυτή την προσέγγιση, όπως η παράσταση παραδείγματος των δομικών στοιχείων. Σε αντικειμενοστραφείς γλώσσες, υπάρχουν συνήθως κλάσεις ή λειτουργίες. Στη Jolie τα δομικά στοιχεία της είναι τα ίδια υπηρεσίες. Η γλώσσα προγραμματισμού Jolie δημιουργήθηκε για να μεγιστοποιήσει τη χρήση των μικρο υπηρεσιών του αρχιτεκτονικού στυλ. Στη Jolie, οι μικρο υπηρεσίες είναι πολίτες πρώτης τάξης: κάθε μικρο υπηρεσία μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί, να ενορχηστρωθεί και να συλλειτουργήσει με άλλες. Αυτή η προσέγγιση φέρνει την απλότητα στη διαχείριση των στοιχείων, μειώνοντας το κόστος ανάπτυξης και συντήρησης και ταυτόχρονα υποστηρίζει κατανεμημένες αναπτύξεις.

Την ανάπτυξη της Jolie ακολούθησε μια σημαντική τυποποιημένη προσπάθεια στις γλώσσες της ροής εργασιών, της σύνθεσης των υπηρεσιών και το σχέδιο EE SENSORIA έχει παρουσιάσει επιτυχώς μία πληθώρα μοντέλων για τη λογική σχετικά με τη σύνθεση των υπηρεσιών. Από τη μαθηματική πλευρά, η λειτουργία της Jolie έχει στηριχτεί σε διαφορετικές διεργασίες όπως η CCS και ο π-λογισμός. Από μια πρακτική άποψη, ωστόσο, η Jolie είναι απόγονος προτύπων υπολογισμού με βάση την υπηρεσία, για παράδειγμα, της WS-BPEL. Με θεωρητικές και πρακτικές επιρροές, η Jolie είναι ο κατάλληλος υποψήφιος για την εφαρμογή των πρόσφατων τεχνικών ερευνών, όπως, προσαρμογή χρόνου εκτέλεσης, web με γνώση της διαδικασίας εφαρμογών ή την ορθότητα ανά κατασκευή σε ταυτόχρονα λογισμικά.<sup>[17]</sup>

## **2.7 Πολιτικές της ΕΕ για τα έξυπνα κτίρια.**

Ένας από τους μεγαλύτερους φραγμούς στην επανάσταση και τη διαδεδομένη διείσδυση έξυπνων κτιρίων σε ολόκληρη την ΕΕ είναι το νομοθετικό της πλαίσιο. Η υφιστάμενη νομοθεσία πρέπει να αναθεωρηθεί και να επαναπροσδιοριστεί προκειμένου μελλοντικά να υποστηριχθούν τα χαρακτηριστικά της έξυπνης τεχνολογίας και να προβλεφθεί ένα μελλοντικό ευφύες οικοδομικό απόθεμα στην Ευρώπη. Αυτό σημαίνει ότι τα κτίρια υψηλής ενεργειακής απόδοσης οδηγούν σε ταχύτερη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στο ενεργειακό σύστημα, ενισχύουν τους χρήστες τους και αντιδρούν στις ανάγκες τους όσον αφορά την άνεση, την υγεία, την ποιότητα και την ασφάλεια του εσωτερικού αέρα.<sup>[18]</sup>

Ενώ η πολιτική για την Καθαρή Ενέργεια για Όλους τους Ευρωπαίους κάνει ορισμένα βήματα προς τη σωστή κατεύθυνση, αρκετά από τα προτεινόμενα μέτρα πρέπει να διευκρινιστούν και άλλα πρέπει να προστεθούν ώστε το πακέτο να εκπληρώσει το σκοπό του. Η έκθεση «Άνοιγμα της πόρτας για έξυπνα κτίρια» συνδέει την απαιτούμενη στήριξη με τη σχετική νομοθεσία που είτε υπάρχει σήμερα είτε έχει προταθεί πρόσφατα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.<sup>[18]</sup>

Οι πολιτικές της ΕΕ θα πρέπει να διασφαλίζουν ότι τα κτίρια μπορούν να αναλάβουν ηγετικό ρόλο στη μετάβαση στην ενέργεια, εξασφαλίζοντας παράλληλα υψηλές επιδόσεις, δυναμική λειτουργικότητα μεταξύ των συνιστωσών ενός κτιρίου και των χρηστών του και ανταπόκριση των κτιρίων στην αλληλεπίδραση με το ενεργειακό σύστημα γύρω τους.

Η ηγετική θέση της Ευρώπης στον τομέα της καινοτομίας και της τεχνολογίας θα μπορούσε να αποκτήσει την απαραίτητη υποστήριξη μέσω αυτής της μετατροπής του κτιρίου, που θα ωφελήσει τόσο την οικονομία όσο και τους ευρωπαίους πολίτες, παρέχοντας υγιέστερους τόπους διαβίωσης και εργασίας, καθώς και καινοτομία και θέσεις εργασίας στον κατασκευαστικό τομέα. Η καινοτομία στον τομέα των τεχνολογιών των πληροφοριών και των επικοινωνιών (ΤΠΕ) και της καθαρής ενέργειας προχωρεί με ταχύ ρυθμό. Εάν η ΕΕ δεν επιτύχει την προσαρμογή και την αναβάθμιση του ισχύοντος νομοθετικού πλαισίου, υπάρχει κίνδυνος όχι μόνο να παρεμποδίσει την ανάπτυξη, αλλά και να εμποδίσει τη χρήση των τεχνολογιών που θα είναι σύντομα απαραίτητες.

Στις 30 Νοεμβρίου 2016, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε σημαντικά στοιχεία της ευρωπαϊκής νομοθεσίας για την ενέργεια στη δέσμη «Καθαρή ενέργεια για όλους». Το πακέτο καλύπτει την ενεργειακή απόδοση, την ανανεώσιμη ενέργεια, την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, τους καταναλωτές και τους κανόνες διακυβέρνησης της Ενεργειακής Ένωσης. Επί του παρόντος, η πρόταση βρίσκεται υπό διαπραγμάτευση μεταξύ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου. Το αποτέλεσμα θα είναι μια ευκαιρία ώστε να προωθηθεί η ΕΕ προς ένα μελλοντικό, αποτελεσματικό και βιώσιμο απόθεμα κτιρίων.<sup>[18]</sup>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Θέρμανση εξαερισμός και κλιματισμός (HVAC)

### 3.1 HVAC

Το HVAC αποτελεί συντόμευση για τη θέρμανση, τον εξαερισμό και τον κλιματισμό. Το σύστημα χρησιμοποιείται για την παροχή υπηρεσιών θέρμανσης και ψύξης στα κτίρια. Τα συστήματα HVAC έχουν γίνει απαιτούμενα βιομηχανικά πρότυπα για την κατασκευή νέων κτιρίων. Στα συστήματα υπολογιστών και ειδικά στα κέντρα δεδομένων των επιχειρήσεων, τα συστήματα HVAC ελέγχουν το περιβάλλον (θερμοκρασία, υγρασία, ροή αέρα και φιλτράρισμα αέρα) και πρέπει να σχεδιάζονται και να λειτουργούν μαζί με άλλα στοιχεία κέντρου δεδομένων όπως το υπολογιστικό υλικό, την καλωδίωση, την πυροπροστασία, τα συστήματα φυσικής ασφάλειας και την ενέργεια. Η επιλογή ενός HVAC συστήματος είναι ένα σημαντικό βήμα στο σχεδιασμό ενός κέντρου δεδομένων.<sup>[19]</sup> Πριν από τη δημιουργία αυτού του συστήματος, τα τρία στοιχεία χωριζόταν σε τρεις ή και περισσότερες συσκευές.<sup>[20]</sup>

Ο εξοπλισμός θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC) εκτελεί θέρμανση και ψύξη για οικιακά, εμπορικά ή βιομηχανικά κτίρια. Το σύστημα HVAC μπορεί επίσης να είναι υπεύθυνο για την παροχή φρέσκου υπαίθριου αέρα για την αραίωση εσωτερικών ατμοσφαιρικών ρύπων, όπως οσμές από τους χρήστες, πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) που εκπέμπονται από εσωτερική επίπλωση, χημικά που χρησιμοποιούνται για καθαρισμό κλπ. Ένα σωστά σχεδιασμένο σύστημα θα παρέχει ένα άνετο εσωτερικό περιβάλλον και ταυτόχρονα σωστή συντήρηση αυτού.<sup>[21]</sup> Το HVAC συνεπώς αναφέρεται στα διαφορετικά συστήματα, μηχανές και τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε εσωτερικούς χώρους όπως σπίτια, γραφεία, διαδρόμους και συστήματα μεταφοράς που χρειάζονται περιβαλλοντική ρύθμιση για τη βελτίωση της άνεσης. Για παράδειγμα, οι τεχνικοί HVAC θα προσληφθούν για να δημιουργήσουν το ιδανικό περιβάλλον σε ένα μετρό ή λεωφορείο. Θα προσληφθούν επίσης για την επισκευή και εγκατάσταση συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού σε ένα νέο σπίτι που χτίζεται ή για τη ρύθμιση του επιπέδου υγρασίας ενός γραφείου.<sup>[22]</sup>

Τέλος, τα συστήματα αυτά συνεργάζονται με αισθητήρες για παρακολούθηση και πλήρη έλεγχο. Το λογισμικό ερμηνεύει πληροφορίες από τα διάφορα σημεία των αισθητήρων για να βελτιστοποιήσει τη λειτουργία του συστήματος HVAC ενώ βελτιώνει την άνεση των χρηστών. Οι έξυπνοι ρυθμιστές HVAC μπορούν να

περιορίσουν την κατανάλωση ενέργειας σε κενές ζώνες, να ανιχνεύσουν και να εντοπίσουν σφάλματα και να μειώσουν τη χρήση του HVAC, ιδιαίτερα σε περιόδους μέγιστης ζήτησης ενέργειας.<sup>[23]</sup>

### **3.1.1 Διαδικασίες που περιλαμβάνουν τα HVAC συστήματα.**

Σήμερα, τα συστήματα HVAC θεωρούνται μέρος του συστήματος που ονομάζεται σύστημα κλιματισμού, το οποίο φροντίζει για τον απόλυτο έλεγχο της θερμοκρασίας και της υγρασίας στον αέρα (ατμόσφαιρα), την παροχή εξωτερικού αέρα για εξαερισμό, το φιλτράρισμα των αερομεταφερόμενων σωματιδίων και την κίνηση του αέρα στο χώρο. Παρόλα αυτά, ο όρος με τον οποίο χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία είναι HVAC και περιλαμβάνει τις εξής διαδικασίες:

- Θέρμανση - προσθήκη θερμικής ενέργειας (θερμότητας) στον αέρα με σκοπό τη διατήρηση της θερμοκρασίας της ζώνης
- Ψύξη - αφαίρεση της θερμικής ενέργειας από τον αέρα με σκοπό τη διατήρηση της θερμοκρασίας της ζώνης.
- Υγρασία - προσθήκη υγρασίας στον αέρα με σκοπό τη διατήρηση της υγρασίας της ζώνης.
- Αφυγραντική - αφαίρεση της υγρασίας από τον αέρα με σκοπό τη διατήρηση της υγρασίας της ζώνης.
- Εξαερισμός - αντικατάσταση του εσωτερικού αέρα με καθαρό αέρα από το εξωτερικό με σκοπό τη διατήρηση της ποιότητας του καθαρού αέρα της ζώνης.
- Καθαρισμός αφαίρεση -σκόνης και άλλων σωματιδίων με σκοπό τη διατήρηση της ποιότητας του αέρα της ζώνης.
- Μετακίνηση αέρα - κυκλοφορία και ανάμιξη αέρα με σκοπό τη διατήρηση της θερμοκρασίας, της υγρασίας της ζώνης και την ποιότητα του αέρα.<sup>[24]</sup>

### **3.1.2 Σχεδιασμός του συστήματος HVAC**

Ο έλεγχος εξαερισμού βασίζεται στη βασική αρχή του αέρα που ανεβαίνει προς τα πάνω αφού θερμανθεί από τις μηχανές και τους ανθρώπους. Ο αέρας που θα υψωθεί τότε μετακινείται προς τα έξω από την εξάτμιση που είναι τοποθετημένη σε

ύψος. Αυτή η διαδικασία απαιτεί χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και παρέχει αποτελεσματική κυκλοφορία αέρα - η οποία είναι σε αρμονία με τη βιωσιμότητά της - αλλά χρειάζεται μια είσοδο προετοιμασμένου αέρα από έξω. Ο συνδυασμός των συστημάτων διανομής αέρα με πρόσβαση στο δάπεδο θα μπορούσε να αποτελέσει ένα επιπλέον πλεονέκτημα.

Οι εξωτερικές μονάδες προθέρμανσης αέρα ενσωματώνουν συστήματα τραπεζών αποσκοπώντας σε συλλογικές λύσεις, με τέτοιο συντονισμό ώστε να παρέχουν τα μέγιστα πλεονεκτήματα. Χρησιμοποιείται μια διάτρητη μεταλλική πλάκα για να δημιουργηθεί ένα μη-χαλαρωτικό τοίχωμα Trombe το οποίο χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του αέρα από το εξωτερικό ή για τη δημιουργία σκίασης εξωτερικού τοιχώματος. Η έκθεση στη νότια κατεύθυνση είναι η βέλτιστη δυνατή για αυτό το προϊόν. Είναι αποδοτικό ως προς το κόστος καθώς το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης θερμότητας είναι επαναχρησιμοποιήσιμο με συστήματα απλού αερίου και όχι με λέβητες ή πηνία επαναθέρμανσης, γεγονός που σημαίνει χαμηλότερο κόστος και καλύτερη απόδοση.

Αντλίες θερμότητας: Η γεωθερμική θερμότητα χρησιμοποιεί την περιλαμβανόμενη θερμότητα της γης ή του υδάτινου σώματος για να ενισχύσει την απόδοση ενός κανονικού μηχανισμού αντλίας θερμότητας μειώνοντας το εύρος της θερμοκρασίας του βρόγχου. Η δομή αυτού του πεδίου του βρόγχου και η επιλογή του υδάτινου συστήματος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι πιο οικονομικά σήμερα. Το βασικό κόστος δημιουργείται κατά τη μετατροπή και την παροχή σύνδεσης στο δίκτυο χρησιμότητάς του.

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα είναι οι καλύτερες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας. Η θερμότητά τους μπορεί να είναι χρήσιμη τόσο στις βιομηχανικές όσο και στις οικιακές ανάγκες για ζεστό νερό και θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την ταχύτερη λειτουργία του κλιματιστικού. Τα υγρά αφυγραντικά κλιματιστικά και οι απορροφητικοί ψύκτες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αφαίρεση της λανθάνουσας θερμότητας και για την παροχή αέρα σε ένα κτίριο.

Το ενσωματωμένο φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από υλικά στέγης όπως μεταλλικές πλάκες και πλακάκια, διάφορα υλικά υαλοπινάκων, όπως φεγγίτες που δρουν σαν υποστρώματα για ηλιακά κύτταρα, και επομένως μειώνουν την

ανάγκη για συνηθισμένα συστήματα πλαισίωσης που με τη σειρά τους μειώνουν το συνολικό κόστος. Η ψύξη των ηλιακών κυττάρων τοποθετεί την κυψέλη έτσι ώστε να χρησιμοποιεί τη φυσική μετατόπιση του κτιρίου ή την προσαρμοσμένη ανακούφισή του, μειώνοντας τη θερμοκρασία του κυττάρου, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην αποδοτικότητα της μετατροπής του.

Βιώσιμη μέθοδος θέρμανσης και ψύξης είναι επίσης η χρήση θερμοκρασίας νερού σε μεγάλες ακτινοβολούμενες επιφάνειες που χρησιμοποιούν υψηλή θερμοκρασία για ψύξη και χαμηλή για θέρμανση. Λιγότερη ενέργεια απαιτείται για να διατηρηθεί μια μέση θερμοκρασία σε νερό (18-28 ° C) πιο κοντά στην άνετη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτά τα συστήματα είναι ενσωματωμένα στη δομή του κτιρίου, δημιουργώντας μια ομαλή πρόσοψη για το κτίριο και ταυτόχρονα μία ευέλικτη εσωτερική αρχιτεκτονική.<sup>[25]</sup>

### **3.2 Αποκεντρωμένος και κατανεμημένος έλεγχος θερμοκρασίας μέσω συστημάτων HVAC σε ενεργειακά αποδοτικά κτίρια**

Τα κτίρια ευθύνονται για το 40% της κατανάλωσης ενέργειας, το 70% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και ως αποτέλεσμα έχουν το ποσοστό του 30% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Συνεπώς τα Συστήματα θέρμανσης αερισμού και κλιματισμού (HVAC) στα κτίρια αντιπροσωπεύουν το 40% της κατανάλωσης ενέργειας. Επομένως, αυτές οι μετρήσεις καθιστούν αναγκαία την ύπαρξη HVAC συστημάτων με μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση με σκοπό τη βελτίωση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές ελέγχου για τα συστήματα HVAC, συμπεριλαμβανομένων του προγραμματισμού κέρδους, του βέλτιστου ελέγχου, του δυναμικού ελέγχου, του μη γραμμικού προσαρμοστικού ελέγχου, του μοντέλου πρόβλεψης ελέγχου (MPC), του ευφυούς ελέγχου βασισμένου σε τεχνητό νευρωνικό δίκτυο, της ασαφούς λογικής, τον γενετικό αλγόριθμο, και ούτω καθεξής. Σε σύγκριση με την παραδοσιακή ενεργοποίηση / απενεργοποίηση και τον ελεγκτή αναλογικού ολοκληρωμένου παραγωγού (PID), αυτές οι τεχνικές είναι περισσότερο ισχυρές και ενεργειακά αποδοτικότερες. Ωστόσο, οι περισσότερες από αυτές απαιτούν κεντρική λειτουργία με μεγάλα φορτία αίσθησης, επικοινωνίας και υπολογισμού, οδηγώντας σε πολύ υψηλότερο κόστος εφαρμογής σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα. Από την άλλη πλευρά, η έξυπνη ανίχνευση, η επικοινωνία, ο υπολογισμός, και οι τεχνολογίες

ενεργοποίησης τόνωσαν την εμφάνιση του κατανεμημένου / αποκεντρωμένου ελέγχου στα συστήματα δικτύων, συμπεριλαμβανομένων του έξυπνου δικτύου, των έξυπνων κτιρίων, των κινητών ρομπότ και των ευφυών συστημάτων μεταφοράς.<sup>[26]</sup>

### 3.2.1 Οφέλη

Χρησιμοποιώντας ένα σύννεφο που συνδέει την αρχιτεκτονική IoT, η κατανάλωση ενέργειας /HVAC και η παροχή υπηρεσιών οδηγούνται και μπορούν να παραδοθούν στις περιοχές του κτιρίου που είναι ή θα είναι κατειλημμένες

Διαφορετικά δωμάτια και χώροι σε ένα κτίριο μπορούν να συμμετάσχουν στην απόρριψη φορτίων και τη μετατόπιση σε οποιαδήποτε βαθμό. Αυτό το εξαιρετικά ευέλικτο μοντέλο μετατόπισης φορτίου και απολύμανσης, χρησιμοποιεί κατανεμημένη ευφυΐα και μια αρχιτεκτονική IoT. Ο πελάτης μπορεί να έχει ένα δωμάτιο που δεν μπορεί να συμμετέχει άμεσα δίπλα σε ένα που να μπορεί. Διανέμοντας ένα επίπεδο ελέγχου στο χαμηλότερο επίπεδο ενός κτιρίου θα μπορεί να κάνει διαχωρισμό φορτίου σε πραγματικό χρόνο και διαχείριση της πραγματικής ζήτησης.

Αυτή η αρχιτεκτονική υποστηρίζει την ολοκλήρωση με συστήματα HVAC σε επίπεδο συννέφων και σε τοπικά επίπεδα παρέχοντας API για την κατοχή και άλλα δεδομένα (προβλεπόμενα και σε πραγματικό χρόνο) και στα δύο επίπεδα.

Το μοντέλο συστήματος παρέχει στους χρήστες πρόσθετες δυνατότητες πέραν της βελτιστοποίησης προτύπων χρήσης. Για παράδειγμα, προσθέτοντας άλλες μεθόδους ανίχνευσης και ενσωματώνοντας άλλες web πληροφορίες που βασίζονται στο σύννεφο μπορούν να ενισχύσουν περαιτέρω το σύστημα HVAC για να συμβάλουν στη διατήρηση της ενέργειας.

Το ευέλικτο μοντέλο συστήματος δεν συνδέεται απαραίτητα με συγκεκριμένες υποδομές, αλλά μπορεί εύκολα να προστεθεί σε υπάρχοντα κτίρια ή νέες κατασκευές.

Τα δεδομένα και οι γνώσεις που έχουν αποκτηθεί είναι χρήσιμες για όλα τα υποσυστήματα κτιρίων, υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης και ταυτόχρονα το σύστημα μπορεί εύκολα να επεκταθεί και να ενσωματωθεί σε κάποιο άλλο.<sup>[27]</sup>



### 3.3 Στρατηγικές ελέγχου για συστήματα HVAC

Ο έλεγχος HVAC έχει διερευνηθεί εκτενώς τόσο από τους ερευνητές όσο και από τους επαγγελματίες. Η συνήθης πρακτική δεν απαιτεί συντονισμό μεταξύ του ελέγχου HVAC, των περσίδων και του ελέγχου φωτισμού. Παρ' όλα αυτά, έχει αποδειχθεί ότι ο συντονισμός αυτών μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά ενεργειακά οφέλη.

Το πρόβλημα ελέγχου HVAC διαιρείται συνήθως σε μια ιεραρχική σειρά δύο προβλημάτων: προγραμματισμός HVAC και ρύθμιση HVAC.

**Ο προγραμματισμός HVAC** σημαίνει ότι πρέπει να αποφασιστεί πόσο, πότε και με ποιον τρόπο πρέπει να λειτουργούν τα διάφορα υποσυστήματα HVAC, πότε δηλαδή πρέπει να είναι ενεργοποιημένα ή απενεργοποιημένα και ποιες θα είναι οι τιμές που θα αντιστοιχιστούν στα σημεία ρύθμισης των υποσυστημάτων δηλαδή στη θερμοκρασία και στα επίπεδα CO<sub>2</sub> των θερμικών ζωνών.

**Η ρύθμιση HVAC** σημαίνει την απόρριψη των διαταραχών, έτσι ώστε οι πραγματικές συνθήκες στο χτισμένο περιβάλλον να ακολουθούν προσεκτικά τις τιμές ρύθμισης που καθορίζονται από τον αλγόριθμο προγραμματισμού. Το τμήμα ρύθμισης εκτελείται συνήθως με τη βοήθεια χαμηλού επιπέδου Αναλογικά-Ολοκληρωμένου παράγωγου (Proportional-Integral Derivative (PID)) ελεγκτών, οι οποίοι γενικά παρέχουν ικανοποιητική παρακολούθηση δεδομένου ότι οι μεταβολές στη θερμοκρασία και τη δυναμική του CO<sub>2</sub> είναι αργές .

Το τμήμα προγραμματισμού είναι ενδιαφέρον από πλευράς ερευνητικών προοπτικών όπου οι τρέχουσες έρευνες αιχμής και η κοινή πρακτική διαφέρουν. Μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τις υπάρχουσες στρατηγικές προγραμματισμού ως εξής:

**Στρατηγικές βασισμένες σε κανόνες:** οι είσοδοι ελέγχου υπολογίζονται μέσω κανόνων του τύπου “if” συνθήκη “then” ενέργεια’ όπου η δήλωση κατάστασης συνήθως περιλαμβάνει τα κατώτατα όρια και άλλες αριθμητικές τιμές που παίζουν το ρόλο των παραμέτρων ελέγχου.

Τα μοντέλα που είναι βασισμένα σε κανόνες μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες:

**Ανοιχτού βρόγχου(open-loop)**, οι οποίοι δεν χρησιμοποιούν πληροφορίες για να αλλάξουν τα προγραμματισμένα αποτελέσματα .

**Αντιδραστικές**, οι οποίες χρησιμοποιούν πληροφορίες σχετικά με τις τρέχουσες και τις προηγούμενες καταστάσεις του συστήματος ώστε να αλλάξουν τα αποτελέσματα προγραμματισμού.

**Πρόβλεψης**, τα οποία αλλάζουν τα αποτελέσματα προγραμματισμού σε περίπτωση πρόβλεψης αλλαγής της χρήσης του κτιρίου.

Οι προσεγγίσεις πρόβλεψης είναι οι πιο ισχυρές. Το κύριο μειονέκτημα τους είναι ότι συνδέονται με ένα μεγαλύτερο σύνολο κανόνων και παραμέτρων, και αυτό αυξάνει τη δυσκολία στον συντονισμό

**Στρατηγικές βασισμένες σε μοντέλα πρόβλεψης:** η στρατηγική ελέγχου προσδιορίζεται με το συνδυασμό ενός κατάλληλου μοντέλου του κτιρίου με προβλέψεις για τις διαταραχές ώστε να διευκολύνουν την αναζήτηση για την καθοδήγηση της εισόδου στην τροχιά του συστήματος πρόβλεψης με σκοπό να ελαχιστοποιηθούν συγκεκριμένες δυσλειτουργίες. Η κατηγορία αυτή μπορεί να χωριστεί σε:

**Στρατηγικές προσανατολισμένες προς τον έλεγχο**, όπου η μοντελοποίηση της δυναμικής είναι συνήθως το μαύρο κουτί, και ενδεχομένως εκπαιδευμένο χρησιμοποιώντας κάποια διαδικασία ταυτοποίησης του συστήματος.

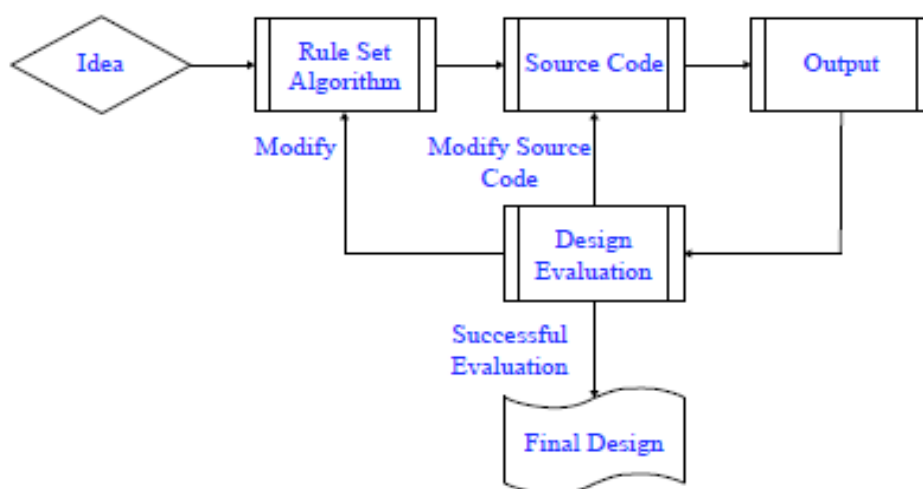
**Στρατηγικές προσανατολισμένες στην εκμάθηση μηχανών**, όπου τα μοντέλα είναι συνήθως μη-παραμετρικά και έχουν ως γνώμονα τα δεδομένα που έμαθαν για παράδειγμα μέσω κατάλληλων νευρωνικών δικτύων.

Παρατηρείτε ότι οι αξιολογήσεις στρατηγικών πρόβλεψης που βασίζονται σε μοντέλα έξυπνων κτιρίων δείχνουν σταθερά αυξημένες επιδόσεις σε σχέση με τις στρατηγικές μη προγνωστικού ελέγχου. Η τρέχουσα τάση φαίνεται να προσθέτει σε αυτές τις στρατηγικές πρόβλεψης την ευρωστία όσον αφορά τις αβεβαιότητες των προβλέψεων.<sup>[28]</sup>

### **3.3.1 Γενετικός Σχεδιασμός για HVAC συστήματα**

Η Γενετική Σχεδίαση(Generative Design GD) είναι μια μέθοδος που μιμείται την ανθρώπινη προσέγγιση στο σχεδιασμό μέσω μιας αλγοριθμικής μεθοδολογίας. Ο σχεδιασμός αρχίζει με ένα σύνολο ιδεών που αναπτύχθηκαν σε ένα σχέδιο. Κατά τη

διάρκεια της διαδικασίας ανάπτυξης, τα σχέδια αξιολογούνται και βελτιώνονται, με την προσθήκη νέων παραμέτρων σχεδιασμού και περιορισμών, και έτσι μπορεί να δημιουργηθεί μια νέα επανάληψη του σχεδιασμού. Ξεκινάει λοιπόν η GD με ένα αρχικό σχέδιο ή ιδέα, το οποίο στη συνέχεια αναπτύσσεται σε μία ρύθμιση κανόνων. Το σύνολο κανόνων μετατρέπεται σε πηγαίο κώδικα που δημιουργεί πολλαπλές λύσεις σχεδιασμού. Με τα ολοκληρωμένα σχέδια, ο σχεδιαστής μπορεί είτε να αλλάξει τον πηγαίο κώδικα είτε τον αρχικό κανόνα ανάλογα με τον τρόπο αξιολόγησης των αποτελεσμάτων. Το σχήμα παρακάτω δείχνει τη διαδικασία GD.<sup>[29]</sup>

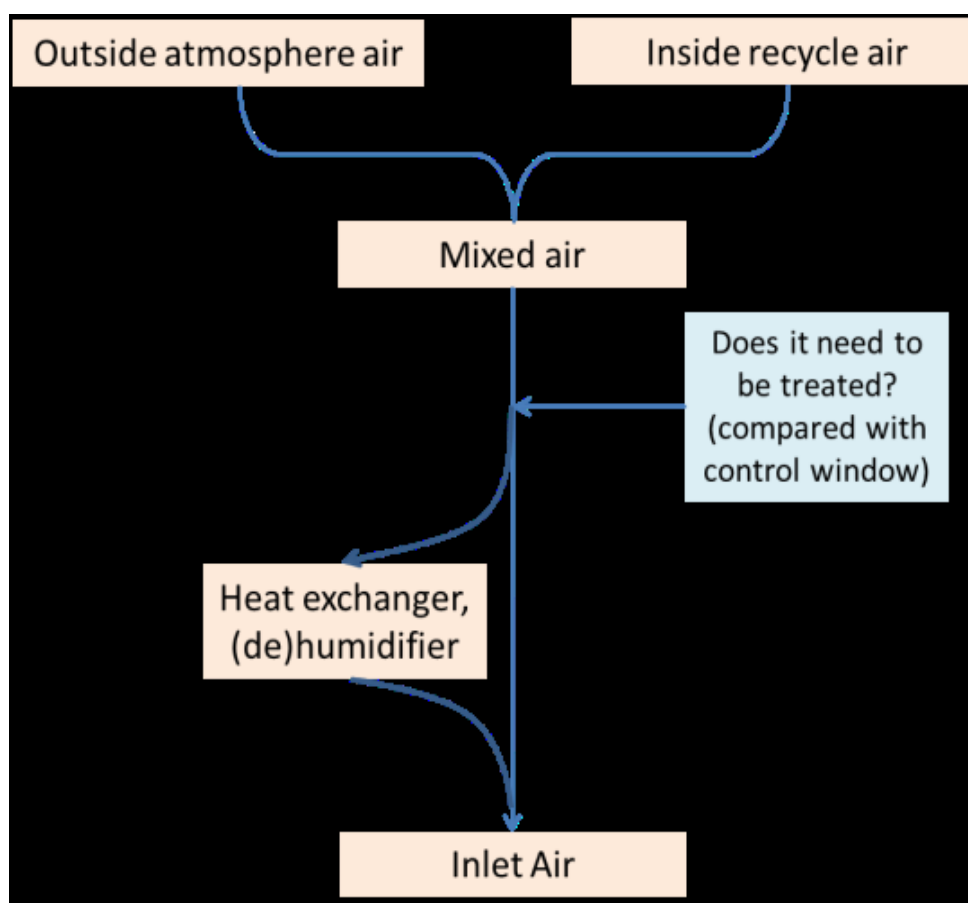


Εικόνα 5: Διαδικασία γενετικής σχεδίασης [Berquist I.J, Tessier A, O'Brien W, Attar R, & Khan A (2017) 'An Investigation of Generative Design for Heating, Ventilation, and Air-Conditioning']

### 3.4 Διαδρομή ροής του αέρα σε HVAC συστήματα

Μια από τις πιο σημαντικές και πιο απαραίτητες διαδικασίες που περιλαμβάνουν τα HVAC συστήματα κυρίως σε εργοστάσια με εκπομπές βλαβερές για την υγεία είναι τα συστήματα ανακύκλωσης του αέρα. Η ροή του αέρα και πώς αυτή στέλνεται στη μονάδα του air condition και τελικά πώς αυτός διαχέεται στο χώρο του κτιρίου είναι υψίστης σημασίας ζήτημα. Πριν ο αέρας διοχετευθεί στο χώρο θα πρέπει πρώτα να φιλτραρισθεί στη μονάδα του air condition. Συνήθως ο φρέσκος αέρας φιλτράρεται με σκοπό να απομακρυνθούν σωματίδια ώστε να αποτραπούν από το να προξενήσουν βλάβη στους ανεμιστήρες και έτσι να επηρεάσουν αργότερα τη λειτουργία του. Στη συνέχεια όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα θα αναμιχτεί με τον ανακυκλωμένο αέρα του κτιρίου. Σε αυτό το σημείο θα περάσει από τον έλεγχο των αισθητήρων ώστε να μετρηθεί η θερμοκρασία η ατμοσφαιρική πίεση και η υγρασία του νέου μίγματος. Στη συνέχεια σε σύγκριση με το σημείο ρύθμισης και

το παράθυρο ελέγχου της ανοχής περιβάλλοντος, ο μικτός αέρας είτε θα περάσει απευθείας ως αέρας εισόδου είτε θα υποστεί επεξεργασία σε μετατροπέα θερμότητας και υγραντήρα ή αφυγραντήρα. Ο μετατροπέας θερμότητας μπορεί να πραγματοποιήσει θέρμανση και ψύξη. Ανάλογα με τη θερμοκρασία του μίγματος θα αποφασιστεί ποια διεργασία θα τελεστεί. Όταν ο αέρας είναι πολύ ξηρός θα περάσει μέσα από ένα υγρό τοίχος με αποτέλεσμα να υγρανθεί. Ο αέρας με τη χαμηλή υγρασία θα απορροφήσει την υγρασία που υστερείται από το υγρό τοίχος που θα περάσει και έτσι θα τελειοποιήσει το ποσοστό του νερού που θα πρέπει να περιέχει. Από την άλλη πλευρά αν ο αέρας έχει περισσότερη υγρασία από αυτή που έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς θα πρέπει να περάσει από διεργασία αφύγρανσης. Επειδή ο αέρας με χαμηλή θερμοκρασία έχει χαμηλότερο σημείο κορεσμού του ατμού, όταν η θερμοκρασία πέφτει κάτω από το σημείο κορεσμού του ατμού, το υγρό του αέρα θα συμπυκνωθεί ως νερό.<sup>[30]</sup>



Εικόνα 6: Διαδρομή ροής αέρα[Feng,L,Mears.L,(2015) ‘ANALYSIS OF HVAC ENERGY IN AUTOMOTIVE PAINT SHOP’]

### 3.5 Στρατηγικές έλεγχου των συστημάτων HVAC

Οι στρατηγικές έλεγχου αναπτύσσονται σε τέσσερις κατηγορίες.

Η πρώτη κατηγορία αφορά το συμβατικό έλεγχο και αποτελεί την κλασική προσέγγιση (Feedforward και Έλεγχος ανάδρασης, On-Off, PID κ.λπ.). Ονομάζεται επίσης και συμβατική στρατηγική έλεγχου. Αυτή η προσέγγιση είναι που χαρακτηρίζεται από τη χρήση μεθόδων με πολλές δεκαετίες πρακτικής υλοποίησης, ιδίως έλεγχου ανατροφοδότησης και PID (Proportional-Integral- Derivative, αναλογικά ενσωματωμένα παράγωγα ).

Η δεύτερη κατηγορία (Advanced Control I) χαρακτηρίζεται από πολλαπλούς ελέγχους Εξόδων και Εισόδων. Ονομάζετε επίσης και τεχνική πρόβλεψης ελέγχου και βασίζεται στην πρόβλεψη της δυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος στο μέλλον και προσαρμογής της απόκρισης του ελεγκτή. Συνήθως αυτό σημαίνει κάποια παραλλαγή του Μοντέλου πρόβλεψης ελέγχου (MPC, Model Predictive Control), όπου η πρόβλεψη εκτελείται με βάση το μοντέλο που έχει οριστεί για το κτίριο. Αυτά τα είδη μεθόδων μπορούν να επιτύχουν πολύ καλά αποτελέσματα, αλλά συχνά έχουν προβλήματα εξαιτίας της πολύπλοκης εφαρμογής τους.

Η Τρίτη κατηγορία (Advanced Control II) περιλαμβάνει διάφορους τύπους υλοποιήσεων βιομηχανικών εφαρμογών. Οι μέθοδοι της κατηγορίας αυτής βασίζονται στην ασαφή λογική( Fuzzy Logic) και χρησιμοποιούνται αρκετά συχνά για τον έλεγχο HVAC συστημάτων λόγω της πολύ απλής εφαρμογής του ελεγκτή.

Η τέταρτη κατηγορία (Advanced Control III) αποτελείται από διαφορετικές τεχνικές υβριδικών, εξειδικευμένων υπολογισμών.<sup>[24]</sup>

### 3.5 θερμική άνεση

Τα HVAC συστήματα χρησιμοποιούνται με σκοπό να παρέχουν θερμική άνεση στους χρήστες. Η θερμική άνεση ορίζεται ως η κατάσταση του νου που εκφράζει την ικανοποίησή του χρήστη από το θερμικό περιβάλλον. Είναι δηλαδή 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.<sup>[31]</sup>

Η ικανοποίηση είναι διανοητική ή συναισθηματική και προέρχεται από την ευκολία που νιώθει ένα άτομο σε μία συγκεκριμένη κατάσταση. Η θερμική άνεση

αξιολογείται με υποκειμενική αξιολόγηση. Η επίτευξη της κατάστασης της θερμικής άνεσης για τους χρήστες των κτιρίων είναι ένας από τους σημαντικούς στόχους των μηχανικών σχεδιασμού HVAC συστημάτων. Οι περισσότεροι άνθρωποι αισθάνονται άνετα σε θερμοκρασία δωματίου, δηλαδή σε εύρος θερμοκρασιών γύρω στους 20-22°C. Αυτή η θερμοκρασία όμως μπορεί να διαφέρει από άτομο σε άτομο και ταυτόχρονα εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως το επίπεδο δραστηριότητας, ο ρουχισμός και η υγρασία που υπάρχει στο χώρο.

Η θερμική ουδετερότητα επιτυγχάνεται όταν η θερμότητα που παράγεται από τον άνθρωπο αφήνεται να διαλυθεί, διατηρώντας έτσι μια θερμική ισορροπία με το περιβάλλον. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση είναι εκείνοι που καθορίζουν την αύξηση και την απώλεια θερμότητας. Οι ψυχολογικές παράμετροι, όπως οι μεμονωμένες προσδοκίες, επηρεάζουν επίσης την θερμική άνεση.

Παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική άνεση είναι:

### **1. Φυσικές παράμετροι**

1.1 Θερμοκρασία του αέρα

1.2 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών

1.3 Η υγρασία και η σχετική υγρασία του αέρα

1.4 Η ταχύτητα του εσωτερικού αέρα [m/s]

1.5 Χωροταξική κατανομή των παραπάνω μεγεθών

### **2. Βιολογικές παράμετροι όπως:**

2.1 Το φύλλο των χρηστών του χώρου

2.2 Η ηλικία των χρηστών του χώρου

2.3 Οι συνήθειες των χρηστών του χώρου

### **3 Εξωτερικές παράμετροι.**

3.1 Το είδος των δραστηριοτήτων των χρηστών του χώρου

3.2 Ο τύπος του ρουχισμού των χρηστών του χώρου.<sup>[31]</sup>

Η θερμική άνεση είναι δύσκολο να επιτευχθεί επακριβώς και για το σύνολο των χρηστών του χώρου εφόσον όπως αναφέρθηκε παραπάνω υπάρχουν και

παράμετροι υποκειμενικοί που την επηρεάζουν. Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις που προσδιορίζουν τη ζώνη άνεσης και τα ανώτατα και κατώτατα όρια αυτής.

### 3.6 Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας

Στην Ελλάδα ο οργανισμός που προσδιορίζει τις τιμές της θερμοκρασίας που θα πρέπει να έχει ένα κτίριο ώστε να θεωρείτε ενεργειακά αποδοτικό και ταυτόχρονα να παρέχει θερμική άνεση στους χρήστες είναι το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι τιμές της θερμοκρασίας και της υγρασίας που πρέπει να έχουν οι αντίστοιχοι χώροι ώστε να παρέχουν θερμική άνεση.<sup>[32]</sup>

Χρήσεις κτηρίων ή θερμαινών ζωνών	Θερμοκρασία [°C]		Σχετική υγρασία [%]	
	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος
Θέατρο, κινηματογράφος	20	26	35	50
Χώρος συναντιών	20	26	35	50
Χώρος εκθέσεων, μουσείο	20	23	35	50
Χώρος συνεδρίων, αμφιθέατρο, αίθουσα δικαστηρίων	20	26	35	45
Τράπεζα	20	26	35	45
Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων	20	26	35	50
Κλειστό γυμναστήριο, κλειστό καλυμπητήριο	18	25	35	45
Διαδρόμοι και άλλοι κοινόχρηστοι βοηθητικοί χώροι	18	26	35	50
Λουτρό (κοινόχρηστο)	22	26	40	50
Νηπιαγωγείο	20	26	35	45
Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμια εκπαίδευση	20	26	35	45
Τριτοβάθμια εκπαίδευση, αίθουσα διδασκαλίας	20	26	35	45
Φρονιτήριο, ωδείο	20	26	35	45
Νοσοκομείο, κλινική	22	26	35	50
Αίθουσα ασθενών (δωμάτιο)	22	25	35	50
Χειρουργείο (τακτικό)	18	20	35	55
Εξωτερική κλινική	20	26	35	50
Αίθουσες αναμονής	20	26	35	50
Αγροτικό κτίριο, υγειονομικός σταθμός, κέντρο υγείας, κλινική	22	26	35	50
Ψυχιατρείο, ίδρυμα απόρων με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρονίως πασχόντων, ελκος ευημερίας, βρεφοκομείο	22	26	40	45
Βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός	20	26	40	45
Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή	20	26	40	45
Αστυνομική διεύθυνση	20	26	35	45

Χρήστες κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Θερμοκρασία [°C]		Σχετική υγρασία [%]	
	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος
Εμπορικό κέντρο, αγορά και υπεραγορά	19	25	35	45
Κατάστημα, φαρμακείο,	20	26	35	45
Ινστιτούτο γυμναστικής	20	26	35	45
Κουρείο, κομμωτήριο	20	26	35	45
Γραφείο	20	26	35	45
Βιβλιοθήκη	20	26	35	50

Πίνακας 1: Αποδεκτές τιμές θερμοκρασίας και Υγρασίας (T.E.E) [ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - Υ.Π.ΕΝ (2017) ‘ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017’]

### 3.7 Ποιότητα αέρα εσωτερικού χώρου

Όταν παρουσιάζεται πρόβλημα με την ποιότητα του αέρα εσωτερικού χώρου, μπορούν να παρουσιαστούν προβλήματα στην υγεία των ατόμων που τον χρησιμοποιούν. Τέτοια προβλήματα μπορεί να είναι πονοκέφαλοι, κόπωση, δυσκολία στην αναπνοή, ρινική συμφόρηση, βήχας, φτέρνισμα, ερεθισμός του δέρματος, ζαλάδα, ναυτία και κοκκίνισμα στα μάτια, τη μύτη και τον λαιμό.

Γενικά, οι χρήστες ενός χώρου που δεν έχει καλή ποιότητα εσωτερικού αέρα παρουσιάζουν αυτά τα συμπτώματα μέσα σε λίγες ώρες από την είσοδο τους στο χώρο και αισθάνονται καλύτερα μετά την έξοδό τους από το κτίριο. Είναι γεγονός ότι δεν επηρεάζονται όλοι οι χρήστες στον ίδιο βαθμό από τα προβλήματα που αφορούν την ποιότητα αέρα εσωτερικού χώρου. Οι πιο ευαίσθητοι ή οι πιο εκτεθειμένοι χρήστες μπορεί να παρουσιάζουν σχετικά συμπτώματα νωρίτερα. Κάποια άτομα μπορεί να μην είναι ευαίσθητα στα προβλήματα που αφορούν την ποιότητα εσωτερικού αέρα κατά τα πρώτα χρόνια της διαμονής τους, αλλά είναι πιθανόν η έκθεσή τους σε συγκεκριμένη βλαβερή ουσία, να τα καταστήσει πιο επιρρεπή σε προβλήματα υγείας όταν τα προβλήματα που αφορούν την ποιότητα του αέρα σε έναν χώρο παρουσιάζουν έξαρση. Οι επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία περιλαμβάνουν την εμφάνιση αλλεργιών στους χρήστες καθώς και μια σειρά συνδρόμων όπως αυτό του συνδρόμου του άρρωστου κτιρίου (Sick Building Syndrome), του συνδρόμου ασθενειών που σχετίζονται με το κτίριο (Building Related Illnesses) και του πιο σπάνιου συνδρόμου πολλαπλής χημικής ευαισθησίας (Multiple Chemical Sensitivity Syndrome).



Τα κυριότερα προβλήματα που αφορούν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα εμφανίζονται ως αποτέλεσμα των ακόλουθων παραμέτρων:

- Ανεπαρκής παροχή εξωτερικού αέρα για θέρμανση, εξαερισμό και συστήματα κλιματισμού (ΘΕΚ) (Heating, Ventilation, Air Conditioning, HVAC).
- Κακός σχεδιασμός, ελλιπής συντήρηση, ανεπαρκής καθαρισμός, προβληματική λειτουργία των συστημάτων κλιματισμού.
- Ρύποι που βρίσκονται στον εξωτερικό αέρα που εισέρχεται στο κτίριο.
- Εκπομπές από πηγές στο εσωτερικό του κτιρίου, όπως έκλυση αερίων από τα οικοδομικά υλικά, τα έπιπλα καθώς και από άλλον εξοπλισμό.
- Ελλιπής έλεγχος της θερμοκρασίας και της υγρασίας του εσωτερικού του κτιρίου.<sup>[33]</sup>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Αισθητήρες**

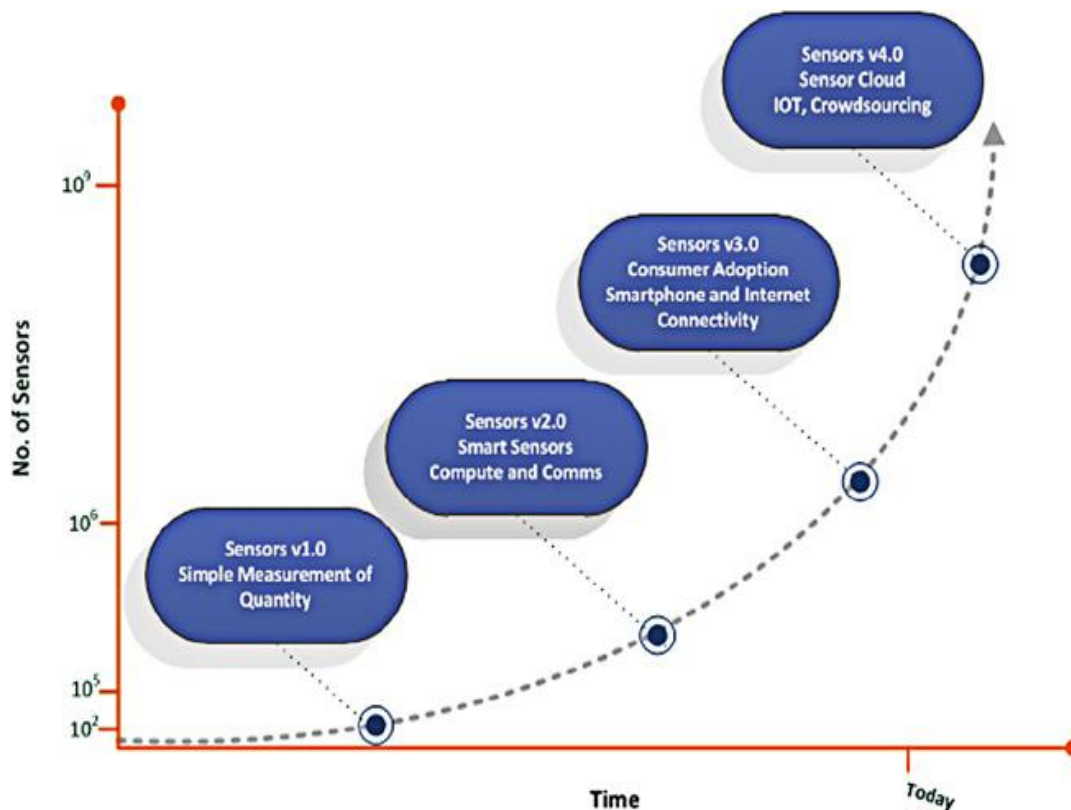
### **4.1 Ορισμός**

Σε ένα hvac σύστημα το πρωτεύοντα ρόλο κατέχουν οι αισθητήρες. Ένας αισθητήρας είναι μια συσκευή που ανιχνεύει και ανταποκρίνεται σε κάποιο είδος εισόδου από το φυσικό περιβάλλον. Η συγκεκριμένη είσοδος μπορεί να είναι το φως, η θερμότητα, η κίνηση, η υγρασία, η πίεση, ή οποιοδήποτε άλλο στοιχείο από ένα μεγάλο αριθμό άλλων περιβαλλοντικών φαινομένων. Η έξοδος είναι γενικά ένα σήμα το οποίο παρουσιάζεται σε οθόνη αναγνώσιμη από τον άνθρωπο στη θέση του αισθητήρα ή μεταδίδεται ηλεκτρονικά μέσω ενός δικτύου για ανάγνωση και περαιτέρω επεξεργασία.

Αισθητήρας, συνεπώς, ονομάζεται η συσκευή που παράγει ένα μετρήσιμο σήμα σε κάθε μεταβολή ή μη στην τιμή ενός μεγέθους. Το αναλογικό συνεχές σήμα που παράγεται από τον αισθητήρα μετατρέπεται από έναν Αναλογικό σε Ψηφιακό Μετατροπέα (A-D Converter) και στη συνέχεια μεταβαίνει σε έναν επεξεργαστή για περαιτέρω επεξεργασία. Ο αισθητήρας μπορεί να τροφοδοτείται από την πηγή τροφοδοσίας του ίδιου του κόμβου μπορεί όμως και να έχει δική του τροφοδοσία. Στην πρώτη περίπτωση, επειδή ο αισθητήρας τροφοδοτείται από την πηγή τροφοδοσίας του κόμβου και συνεπώς έχει περιορισμένη τροφοδοσία, θα πρέπει να έχει μικρό μέγεθος και να καταναλώνει εξαιρετικά χαμηλή ενέργεια.

### **4.2 Ιστορική αναδρομή**

Η εμφάνιση του πρώτου θερμοστάτη το 1883 θεωρείται από ορισμένους ότι είναι ο πρώτος σύγχρονος αισθητήρας. Αμέτρητες μορφές αισθητήρων έχουν προκύψει από τότε, βασισμένες σε ποικίλες αρχές. Οι πρώτοι αισθητήρες ήταν απλές συσκευές, που μετρούσαν μια ποσότητα ενδιαφέροντος και παρήγαγαν κάποια μορφή μηχανικού, ηλεκτρικού ή οπτικού σήματος εξόδου. Τα τελευταία δεκαπέντε περίπου χρόνια, ο υπολογισμός, οι ευρύτερες επικοινωνίες, η συνδεσιμότητα με τον Παγκόσμιο Ιστό, οι έξυπνες κινητές συσκευές και η ενσωμάτωση στο σύννεφο έχουν προστεθεί στις δυνατότητες των αισθητήρων, όπως φαίνεται στην εικόνα 7.



Εικόνα 7: Αύξηση δυνατοτήτων αισθητηρίων[McGrath.M,Scanail.C(2013) ‘Sensor Technologies’, Healthcare wellness and Environmental Applications, Intel Labs Europe]

Η ανάπτυξη των αισθητήρων με βάση MEMS(Microelectromechanical systems) οδήγησε στη διαθεσιμότητα μικρών, με ακρίβεια τιμών αισθητήρων, σε σημείο που καθιστούσε εφικτή την ενσωμάτωσή τους σε μια ευρεία ποικιλία συσκευών που κυμαίνονται από αθλητικά ρολόγια έως ηλεκτρονικές συσκευές για αυτοκίνητα. Τα MEMS έχουν καταστεί βασικό δομικό στοιχείο για πολλούς τομείς εφαρμογής. Το 1959, ο Richard Feynman έδωσε μια διορατική διάλεξη στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Καλιφόρνιας με τον τίτλο "Υπάρχει άφθονος χώρος στο κάτω μέρος"<sup>[34]</sup>. Σε αυτή τη διάλεξη περιέγραψε τις βασικές έννοιες και τεχνικές για τις συσκευές MEMS. Ωστόσο, στις δεκαετίες του 1990, οι κρατικές υπηρεσίες των ΗΠΑ ξεκίνησαν μεγάλα προγράμματα που οδήγησαν σε ραγδαία επιτάχυνση της ανάπτυξης των αισθητήρων MEMS. Χρησιμοποιώντας τεχνικές κατασκευής ημιαγωγών, το πρώτο επιταχυνσιόμετρο επιφανειακής μικροσκοπικής επιφάνειας (ADXL50) πωλήθηκε εμπορικά από την Analog Devices το 1992. Η συνέχεια ήρθε το 1998 με τα γυροσκόπια με βάση MEMS από τη Bosch για εμπορικές εφαρμογές στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Τις τελευταίες δεκαετίες η εξέλιξη των αισθητήρων επηρεάστηκε έντονα από τις τεχνολογίες ΤΠΕ, την ολοκλήρωση των

μικροελεγκτών, των ασύρματων επικοινωνιών και της μόνιμης αποθήκευσης δεδομένων. Αυτές οι τεχνολογίες έχουν υποστηρίξει την ανάπτυξη συστημάτων αισθητήρων με κοινές αρχιτεκτονικές. Ο υπολογισμός, η αποθήκευση και οι επικοινωνίες είναι λειτουργίες που χρησιμοποιούνται για την εξυπηρέτηση πολλών αισθητήρων με κοινή συνδεσιμότητα. Συλλογικά αυτές οι βελτιώσεις είναι που παράγουν έξυπνους αισθητήρες και που επιτρέπουν την παροχή έξυπνων λύσεων αισθητήρων με βασικά χαρακτηριστικά όπως ψηφιακό σήμα επεξεργασίας και ασύρματη ροή δεδομένων. Στον τομέα της υγείας και της ευεξίας, εμφανίστηκαν ασύρματοι αισθητήρες που φοριούνται στο σώμα περίπου το 1995. Αυτά τα δίκτυα - που συνήθως αναφέρονται ως ασύρματα δίκτυα σώματος (WBAN) - συλλέγουν πολλά δεδομένα, μετρούν τα φυσιολογικά σήματα ενδιαφέροντος και τα θέτουν στη διάθεση μιας υπολογιστικής συσκευής ασύρματα.

Όσον αφορά την εξέλιξη των αισθητήρων υπάρχει σαφής μετάβαση από περιορισμένη και εξειδικευμένη χρήση αισθητήρων σε γενικότερη χρήση στο ευρύ κοινό. Τα εμπορικά προϊόντα αισθητήρων μπορούν να βρεθούν με μεγαλύτερη συχνότητα σε καταστήματα, σε κοινόχρηστους χώρους, καθώς και σε δημόσια και ιδιωτικά κτίρια. Η χρήση των αισθητήρων αυξάνεται ραγδαία στις εφαρμογές αθλητισμού και ευεξίας, με τους κορυφαίους του είδους να τροφοδοτούν την ανάπτυξη δημιουργώντας ολοένα και πιο ανταγωνιστικά προϊόντα. Η διαθεσιμότητα χαμηλού κόστους, ακριβών και αξιόπιστων αισθητήρων κίνησης έχουν δημιουργήσει μια ποικιλία εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων αυτών που στοχεύουν στην υγεία και στους τομείς ευεξίας. Τεχνολογίες όπως οι αισθητήρες μπορούν να μας δώσουν τα εργαλεία για την αντιμετώπιση πολλών από τις σημαντικές παγκόσμιες προκλήσεις του 21ου αιώνα. Οι αισθητήρες παίζουν καθοριστικό ρόλο σε πολλές σύγχρονες βιομηχανικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της επεξεργασίας τροφίμων και της καθημερινής παρακολούθησης δραστηριοτήτων όπως οι μεταφορές, η ποιότητα του αέρα, η ιατρική και πολλά άλλα.<sup>[34]</sup>

### **4.3 Επεξεργασία σημάτων αισθητήρα**

Μετά την λήψη σημάτων από έναν αισθητήρα, αυτά τα σήματα πρέπει να υποστούν επεξεργασία. Η αποδεκτή και ακριβής επεξεργασία αυτών των σημάτων απαιτεί:

(α) πλήρη γνώση όσον αφορά τη λειτουργία των αισθητήρων και τη φύση των σημάτων,

(β) την εκ των υστέρων γνώση όσον αφορά τα λαμβανόμενα σήματα, και

(γ) πληροφορίες σχετικά με τα δυναμικά και τα στατικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ανίχνευσης.

(α) Για να είναι δυνατή η ορθή χρήση των πληροφοριών των σημάτων, η λειτουργία των αισθητήρων και η φύση των σημάτων που παράγουν πρέπει να είναι απόλυτα κατανοητά. Έχοντας αυτή τη γνώση, είμαστε σε θέση να επιλέξουμε τα σωστά εργαλεία για την απόκτηση δεδομένων από τον αισθητήρα. Για παράδειγμα, εάν η έξοδος του αισθητήρα είναι τάση, χρησιμοποιούμε κυκλώματα αναλογικού προς ψηφιακό και δειγματοληψία, καθώς και κύκλωμα που να μεταφέρει τα ψηφία στον υπολογιστή. Εάν ένας αισθητήρας παράγει ένα χρονικό διάστημα που το σήμα ποικίλει και οι πληροφορίες είναι ενσωματωμένες στις συχνότητες που δίνει, τότε είναι απαραίτητος ο μετρητής συχνότητας και ενδεχομένως ένας αναλυτής συχνότητας. Αν η έξοδος του αισθητήρα είναι μια αλλαγή στο χρώμα, τότε είναι απαραίτητο ένα φασματόμετρο.

(β) Η εκ των υστέρων γνώση (εκ των υστέρων γνώση ή αιτιολόγηση εξαρτάται από εμπειρία ή εμπειρικά στοιχεία) σχετικά με τα λαμβανόμενα σήματα είναι σημαντική προκειμένου να διασφαλιστεί ότι τα δεδομένα θα ερμηνευθούν σωστά και ότι η σωστή συσκευή χρησιμοποιείται στη διαδικασία μέτρησης. Πρέπει να έχουμε γνώση εκ των προτέρων για αυτό που αναμένεται από τον αισθητήρα και το σύστημα. Για παράδειγμα, ακόμα και κατά τη διάρκεια μιας απλής ένδειξης τάσης DC, αν η είσοδος DC έχει αναμιχθεί με σήματα AC (μπορεί να συμβεί συχνά λόγω της επίδρασης ανεπιθύμητων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων), η μετρούμενη τιμή μπορεί να διαφέρει σημαντικά από το πραγματικό μέγεθος

Σε αυτό το σύστημα, η παρουσία ανεπιθύμητων σημάτων AC μπορεί να παράγει μη ρεαλιστικές και χωρίς νόημα μετρήσεις. Εάν γνώση σχετικά με την παρουσία της AC τάσης ήταν διαθέσιμη, μια διαδικασία φιλτραρίσματος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά ακόμη και πριν από την τροφοδότηση των ερεθισμάτων στο σύστημα ανίχνευσης (π.χ., ηλεκτρομαγνητική θωράκιση ή φίλτρο για την αφαίρεση σημάτων AC). Έχοντας γνώση σχετικά με τα χαρακτηριστικά των συστημάτων ανίχνευσης μας επιτρέπεται επίσης να εξαγάγουμε

ουσιαστικά συμπεράσματα με ελάχιστα σφάλματα. Για παράδειγμα, μπορούμε να αποφύγουμε λάθος αναγνώσεις αν γνωρίζουμε ότι ένας αισθητήρας αερίου χρειάζεται 5 λεπτά για να ανταποκριθεί σε ένα αέριο στόχο και όχι σε 5 δευτερόλεπτα

(γ) Τα χαρακτηριστικά ενός αισθητήρα μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, στατικά και δυναμικά. Η κατανόηση των συμπεριφορών των δυναμικών και στατικών χαρακτηριστικών είναι επιτακτική ανάγκη για τη σωστή χαρτογράφηση των αποτελεσμάτων σε σχέση με την είσοδο ενός συστήματος(μέτρηση).<sup>[35]</sup>

## 4.4 Είδη αισθητήρων

Ενώ οι εφαρμογές των αισθητήρων και των συναφών αλγορίθμων τους έχουν πολλαπλασιαστεί, οι βασικές αρχές των κύριων τύπων αισθητήρων και ο τρόπος λειτουργίας τους δεν έχουν μεταβληθεί. Μία κατηγοριοποίηση των τύπων των αισθητήρων ακολουθεί παρακάτω.

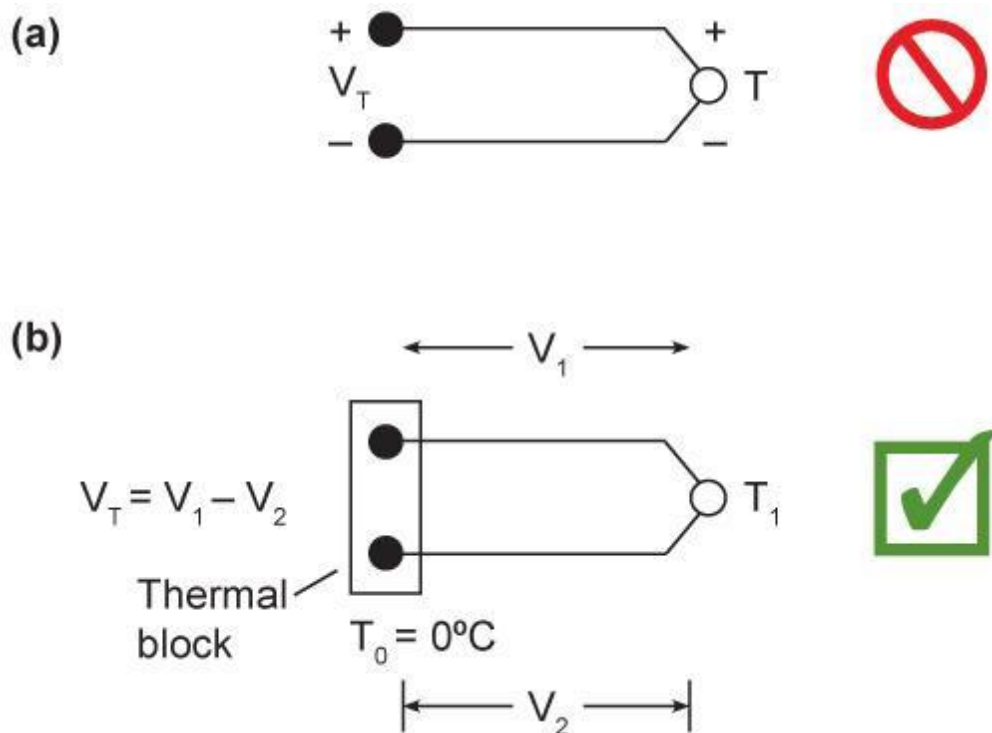
### 4.4.1 Αισθητήρες θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία είναι η συνηθέστερη όλων των φυσικών μετρήσεων. Έχουμε μέτρηση θερμοκρασίας και μονάδες ελέγχου θερμοκρασίας, που ονομάζονται θερμοστάτες, στα οικιακά μας συστήματα θέρμανσης (ψυγεία, κλιματιστικά, και τους φούρνους, κλπ). Οι αισθητήρες θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται στις πλακέτες κυκλωμάτων, ως μέρος των θερμικών δοκιμών, σε βιομηχανικά χειριστήρια και σε χειριστήρια χώρου όπως σε εργαστήρια βαθμονόμησης και κέντρα δεδομένων. Αν και υπάρχουν πολλοί τύποι αισθητήρων θερμοκρασίας, οι περισσότεροι είναι παθητικοί μηχανισμοί: Θερμοστοιχεία, RTD (ανιχνευτές θερμοκρασίας με αντίσταση) και θερμίστορ.

Τα θερμοστοιχεία (T/Cs) είναι ο πιο κοινός τύπος αισθητήρα επειδή δεν απαιτούν σήμα διέγερσης. Αποτελούνται από δύο σύρματα, ανόμοια μέταλλα ενωμένα στο σημείο μέτρησης. Βασισμένα στο φαινόμενο Seebeck, τα T/Cs λειτουργούν με βάση το σκεπτικό ότι κάθε μέταλλο αναπτύσσει διαφορετική τάση σε όλο το μήκος του με βάση τον τύπο του μετάλλου και τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των άκρων του σύρματος. Χρησιμοποιώντας δύο μέταλλα, έχουμε δύο διαφορετικές τάσεις  $V_1$  και  $V_2$ . Η διαφορά ( $V_T$ ) αντιπροσωπεύει θερμοκρασία. Σημειώνεται ότι δεν υπάρχει τάση στην διασταύρωση θερμοστοιχείου, που φαίνεται ως  $T$  στην εικόνα 8. Αυτό είναι ένα συνηθισμένο λάθος. Συχνά θεωρείται πως ένα

θερμοστοιχείο αναπτύσσει μια τάση κατά μήκος της διασταύρωσης. Αυτή η άποψη είναι εσφαλμένη. Η τάση αναπτύσσεται σε όλο το μήκος κάθε σύρματος.

Τα θερμοστοιχεία ορίζονται με γράμματα. Για παράδειγμα, ένας Τύπος-J T / C έχει σίδηρο και σταθερό καλώδιο (με κράματα χαλκού-νικελίου). Το μεγαλύτερο μέρος του θερμοστοιχείου (καλωδίου) είναι χρωματικά κωδικοποιημένο. Τα θερμοστοιχεία απαιτούν τα μακριά άκρα του καλωδίου να βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία και αυτή η θερμοκρασία πρέπει να είναι γνωστή. Έτσι, τα όργανα που χρησιμοποιούν θερμοστοιχεία θα έχουν ένα ισοθερμικό μπλοκ με ενσωματωμένο αισθητήρα για τη μέτρηση της θερμοκρασίας σε αυτό το σημείο. Αυτό ονομάζεται αντιστάθμιση ψυχρής διασταύρωσης. Με το ένα άκρο των συρμάτων σε μια ίση και γνωστή θερμοκρασία, ένα κύκλωμα μπορεί να μετρήσει την  $V_T$  και να υπολογίσει την άγνωστη θερμοκρασία. Οι καμπύλες θερμοστοιχείων είναι μη γραμμικές και συνεπώς απαιτούν γραμμικοποίηση. Αυτό μπορεί να γίνει με το υλικό του λογισμικού, και κυρίως στο λογισμικό με τα ψηφιακά όργανα μέσω μιας εξίσωσης.<sup>[36]</sup>



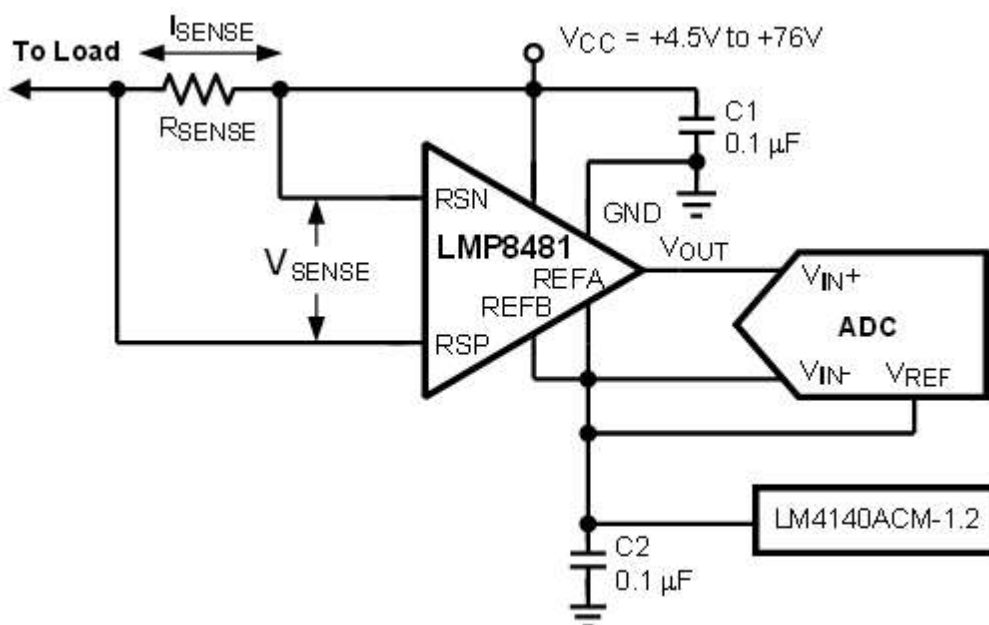
Εικόνα 8: Θερμοκρασία άκρων καλωδίου[Rowe.M,( 2013) Sensor basics: Types, functions and applications]

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας αισθητήρες τύπου DHT11 και DHT22. Είναι αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας που διαθέτουν μια βαθμονομημένη ψηφιακή έξοδο

σήματος με το συγκρότημα αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας. Η τεχνολογία τους εξασφαλίζει υψηλή αξιοπιστία και εξαιρετική μακροχρόνια σταθερότητα.

#### 4.4.2 Αισθητήρες ρεύματος

Η θερμοκρασία μπορεί να είναι η πιο δημοφιλής φυσική μέτρηση μεταξύ των ηλεκτρικών μηχανών, αλλά ηλεκτρικές μετρήσεις, όπως το ρεύμα, μπορεί να βρίσκονται στην κορυφή της λίστας. Οι αισθητήρες ρεύματος καλύπτουν το εύρος από το απλό στο σύνθετο. Στην πιο βασική του μορφή, ένας αισθητήρας ρεύματος είναι απλώς ένας αντιστάτης. Συχνά οι αισθητήρες ανίχνευσης ρεύματος έχουν χαμηλές τιμές - συνήθως  $1\Omega$  ή λιγότερο ανάλογα με την εφαρμογή. Είναι τοποθετημένοι σε ένα κύκλωμα και μετράνε την τάση σε όλη την αντίσταση για να υπολογιστεί το ρεύμα, όπως ορίζει ο νόμος του Ohm.<sup>[36][37]</sup>



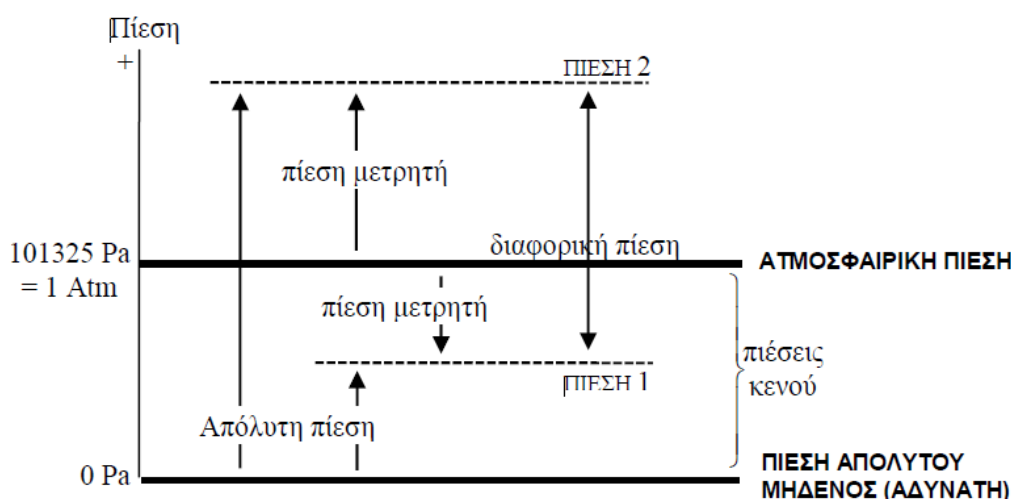
Εικόνα 9:Κύκλωμα αισθητήρων ρεύματος[Rowe.M,( 2013) Sensor basics: Types, functions and applications]

#### 4.4.3 Αισθητήρες πίεσης και βάρους

Τα βιομηχανικά και κατασκευαστικά συστήματα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τους αισθητήρες πίεσης και τους μετρητές πίεσης για τον έλεγχο και τη μέτρηση των αερίων και της στάθμης τους. Οι αισθητήρες πίεσης, που χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση της πίεσης του αέρα, του αερίου ή του υγρού, συχνά σχεδιάζονται με τη χρήση πιεζοηλεκτρικών αισθητήρων ή αισθητήρων χαλαζία. Οι αναλογικές έξοδοι τους μπορεί να είναι είτε τάση, της τάξεως 1-5V, είτε ρεύμα, της τάξεως 4-20mA. Οι έξοδοι μπορούν να παραστήσουν την πίεση σε



μονάδες ράβδων,  $\text{kg} / \text{cm}^2$  ή PSI. Οι αισθητήρες σχεδιάζονται για να μετρούν είτε την απόλυτη πίεση, σε σχέση με το κενό, είτε τη διαφορική πίεση, την πίεση μεταξύ δυο σημείων ή την πίεση μετρητή που είναι η πίεση σε σχέση με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες(εικόνα 10). Ενώ μπορεί να υπάρχει η αντίληψη για τους αισθητήρες πίεσης ότι χρησιμοποιούνται κυρίως για βιομηχανική χρήση, παρόλα αυτά άλλες μετρήσεις πίεσης μπορούν να πραγματοποιούνται σε αυτοκινητοβιομηχανίες, εργονομικές και άλλες εφαρμογές. Για παράδειγμα, εύκαμπτοι αισθητήρες πίεσης, οι οποίοι λειτουργούν πολύ περισσότερο σαν μετρητές πίεσης, χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό προϊόντων όπως τα στρώματα και τα στρώματα στα καθίσματα των αυτοκινήτων.<sup>[37]</sup>



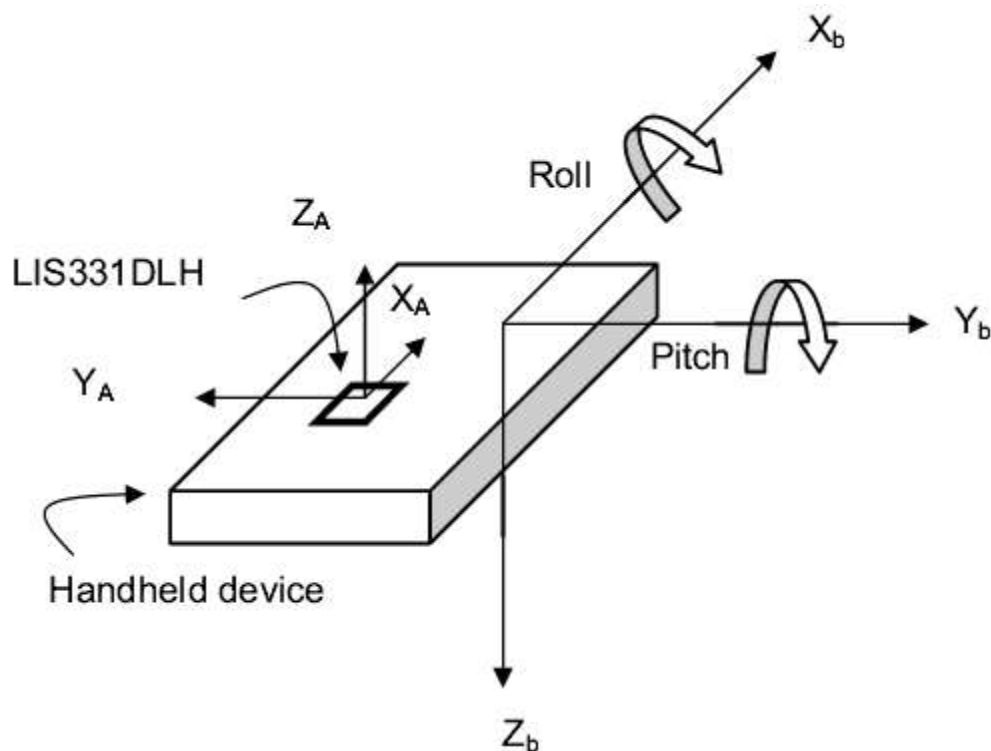
Εικόνα 10: Αισθητήρες πίεσης και βάρους[Καλόμοιρος,Ι, Μπουλταδάκης,Σ, Πεταλάς,Ι ,Έλεγχος Κυκλωμάτων και μετρήσεων με Η/Υ.]

#### 4.4.4 Αισθητήρες θέσης

Οι αισθητήρες θέσης αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για ανίχνευση κίνησης σε βιομηχανικά συστήματα, αεροσκάφη, πλοία και άλλα μεγάλα συστήματα. Επιταχυνσιόμετρα, τα οποία μετρούν την κίνηση σε τρεις άξονες, χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση των κραδασμών σε μηχανές για προληπτική συντήρηση ή σε φτερά αεροσκάφους για δοκιμή. Τότε οι αισθητήρες έγιναν μικρές και αρκετά φθηνές συσκευές για να χρησιμοποιηθούν στα καταναλωτικά προϊόντα.

Τα επιταχυνσιόμετρα έχουν συνήθως εσωτερικές πιεζοηλεκτρικές συσκευές που παράγουν τάση σε απάντηση στην ανίχνευση κίνησης. Οι συσκευές MEMS ανταποκρίνονται επίσης στην κίνηση. Συνήθως χρειάζεται ένας op-amp για την προετοιμασία του σήματος πριν ψηφιοποιηθεί στην έξοδο του αισθητήρα, αν και

πολλοί διαθέτουν κυκλώματα ρύθμισης σήματος ενσωματωμένα στη συσκευασία και παράγουν σήματα αρκετά μεγάλα για άμεση διασύνδεση με ψηφιοποιητές. Στην πραγματικότητα, ένα επιταχυνσιόμετρο ανταποκρίνεται σε μια δύναμη που ασκείται στον αισθητήρα προς την αντίθετη κατεύθυνση. Τα επιταχυνσιόμετρα ανιχνεύουν γραμμική κίνηση. Οι αισθητήρες γυροσκοπίου επιτρέπουν να μετράται η περιστροφική κίνηση ενώ οι μονάδες μέτρησης αδρανείας (IMUs) συνδυάζουν επιταχυνσιόμετρα και γυροσκόπια.



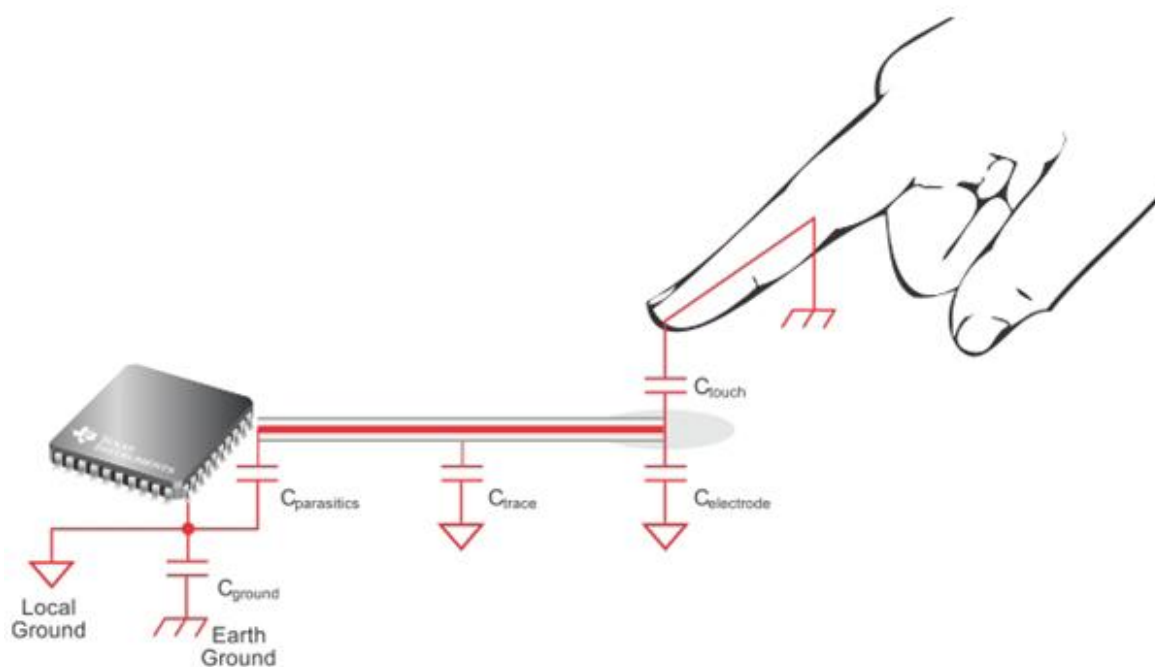
Εικόνα 11: Αισθητήρες θέσης[ Rowe.M,( 2013) Sensor basics: Types, functions and applications]

Τα επιταχυνσιόμετρα χρησιμοποιούνται σε φορητές συσκευές και σε άλλες εφαρμογές που χρειάζονται αίσθηση κυκλοφορίας. Οι εφαρμογές αισθητήρα κίνησης περιλαμβάνουν την επιτάχυνση, ανίχνευση και μέτρηση κραδασμών. Αυτοί οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό στη ρομποτική. Παραδοσιακά τα επιταχυνσιόμετρα και οι αισθητήρες γυροσκοπίων χρησιμοποιήθηκαν στη δοκιμή, τη μέτρηση και τον έλεγχο εφαρμογών που παράγουν αναλογικές εξόδους. Άλλοι αισθητήρες, ιδιαίτερα εκείνοι που βασίζονται σε MEMS, παράγουν ψηφιακές εξόδους για άμεση διασύνδεση με μικροελεγκτές. Πολλές εφαρμογές ρομποτικής χρησιμοποιούν επιταχυνσιόμετρα, γυροσκόπια και μονάδες IMU ήδη συναρμολογημένες στις πλακέτες κυκλωμάτων που έχουν σχεδιαστεί για να

λειτουργούν με μικροελεγκτές, συμπεριλαμβανομένων του ανοιχτού κώδικα του Arduino και του BeagleBone.<sup>[36]</sup>

#### 4.4.5 Αισθητήρες χωρητικότητας

Η αίσθηση χωρητικότητας πήρε ένα εντελώς νέο νόημα με τις οθόνες αφής, ειδικά με το iPhone και το iPad. Η χωρητική ανίχνευση ξεκίνησε πολύ πριν το iPhone, αφού είχε χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση των επιπέδων ρευστού, της υγρασίας και των ιδιοτήτων των υλικών. Οι χωρητικοί αισθητήρες είναι συνήθως κατασκευασμένοι από διάφορα στρώματα υλικών, συχνά σε μια πλακέτα κυκλωμάτων. Σε εφαρμογές οθόνης αφής ή κουμπιού, ένας αισθητήρας IC δεν ανιχνεύει την απόλυτη χωρητικότητα αλλά μια αλλαγή σε χωρητικότητα, υποδεικνύοντας τη θέση του δακτύλου. Επειδή αυτές οι οθόνες βασίζονται στην αλλαγή χωρητικότητας με βάση το δέρμα, δεν λειτουργούν με τα νύχια. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει ισοδύναμο κύκλωμα για οθόνη αφής.<sup>[36]</sup>



Εικόνα 12: Αισθητήρες χωρητικότητας[Rowe.M,( 2013) Sensor basics: Types, functions and applications]

#### 4.4.6 Αισθητήρες υγρασίας

Πολλές περιβαλλοντικές δοκιμές που διεξάγονται ως μέρος των χαρακτηριστικών του προϊόντος βασίζονται σε δοκιμές πάνω σε μια περιοχή υγρασίας. Αυτό γίνεται γιατί μετά την κατασκευή τους τα προϊόντα (αισθητήρες) θα πρέπει να δουλεύουν σε περιοχές με διαφορετικές αλλά και ιδιόμορφες

κλιματολογικές συνθήκες. Οι μετρήσεις υγρασίας χρησιμοποιούνται επίσης σε εφαρμογές όπως η αεροπορία, ο καιρός και η επιστήμη εφαρμογών. Οι οικιακές συσκευές έχουν γίνει πιο έξυπνες. Οι αισθητήρες υγρασίας έχουν βρει το δρόμο τους, χρησιμοποιούνται σε όλα τα λευκά προϊόντα όπως τα ψυγεία.<sup>[36]</sup>

#### 4.4.7 Επαγωγικοί αισθητήρες

Η Επαγωγή είναι η βάση για πολλές εφαρμογές ανίχνευσης. Οι επαγωγικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό στις μηχανικές εφαρμογές για την αναγνώριση της εγγύτητας ενός μεταλλικού αντικειμένου. Η ιδέα ενός επαγωγικού αισθητήρα είναι εύκολη: διεγείρει τον επαγωγέα με σήμα AC, το οποίο δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο. Όταν ένα μεταλλικό αντικείμενο πλησιάζει τον αισθητήρα εγγύτητας, τα ρεύματα δίνης από το μαγνητικό πεδίο του επαγωγέα ρέουν προς τον στόχο. Αυτό προκαλεί φορτίο στο επαγωγικό κύκλωμα του αισθητήρα. Τα κυκλώματα στον αισθητήρα ανιχνεύουν το μειωμένο πλάτος, που παράγει μια χαμηλότερη τάση εξόδου σε ένα γραμμικό αισθητήρα εγγύτητας. Σε ένα διακόπτη προσέγγισης, η υπέρβαση ενός ορίου επηρεάζει τον διακόπτη.

Όταν ο διακόπτης αλλάξει κατάσταση, μπορεί να προκαλέσει πολλά. Για παράδειγμα, ο διακόπτης θα μπορούσε να χρησιμοποιείται ως μια σύνδεση για την αφαίρεση της ισχύος, αποτρέποντας μια επικίνδυνη κατάσταση από το να συμβεί. Οι διακόπτες μπορεί να συνδεθούν με μετρητές που παρακολουθούν πόσες φορές ένα μεταλλικό αντικείμενο περνάει μια δεδομένη θέση. Ένας μικροελεγκτής θα μπορούσε, για παράδειγμα, να χρησιμοποιεί τους παλμούς για να μετρήσει τις περιστροφές σε μια μηχανή όπου οι παλμοί δημιουργούνται από δόντια οδοντωτών τροχών που περνούν κοντά στον αισθητήρα. Οι διακόπτες μπορεί να έχουν δύο, τρία ή τέσσερα καλώδια εξόδου. Δύο καλώδια παρέχουν έξοδο NO ή NC. Τρία καλώδια παρέχουν ένα μέσο για σύνδεση σε μια πηγή, φόρτιση και γραμμή επιστροφής. Τέσσερα καλώδια παρέχουν δύο διακόπτες, NO και NC, και επιπλέον τις γραμμές πηγής και επιστροφής. Πολλοί επαγωγικοί αισθητήρες προσέγγισης έχουν σωληνοειδές σχήμα, όπως ο τύπος που φαίνεται στην εικόνα 13.



Εικόνα 13: Επαγωγικός αισθητήρας[Rowe.M,( 2013) Sensor basics: Types, functions and applications]

Το σχήμα επιτρέπει να τοποθετηθεί ο αισθητήρας σε μια πλάκα ή σε ένα βραχίονα. Άλλοι περιλαμβάνουν επίπεδες συσκευασίες για τοποθέτηση σε επίπεδη επιφάνεια. Οι αναλογικοί αισθητήρες προσέγγισης επιτρέπουν να εντοπιστεί η απόσταση που έχει ένα μεταλλικό αντικείμενο από τον αισθητήρα. Η έξοδος, γραμμική σε ένα δεδομένο εύρος, μπορεί να είναι ρεύμα ή τάση, ανάλογα με το μοντέλο. Αναλογικές έξοδοι είναι διαθέσιμες σε τρισδιάστατες μορφές για γραμμές πηγής, φορτίου και επιστροφής.<sup>[36]</sup>

#### 4.4.8 Αισθητήρες φωτός

Υπάρχουν πολλοί τρόποι ανίχνευσης του φωτός με τη χρήση ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Κάθε κινητό και ψηφιακή φωτογραφική μηχανή διαθέτει μια διάταξη ανίχνευσης φωτός για τη λήψη φωτογραφιών. Οι μηχανικοί χρησιμοποιούν άλλα εξαρτήματα ευαίσθητα στο φως όπως φωτοαντιστάσεις, φωτοδιόδους και ολοκληρωμένους φωτοανιχνευτές σε όλα τα είδη εφαρμογών. Οι Φωτοδιόδοι είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι ως ανιχνευτές φωτός σε δίκτυα οπτικών ινών. Με την πάροδο των ετών, οι μηχανικοί έχουν συνεισφέρει πολλά κυκλώματα στις ιδέες σχεδίασης EDN που χρησιμοποιούν φωτοευαίσθητες συσκευές. Οι φωτοαποστολές χρησιμοποιούνται όταν χρειάζεται μια αναλογική αντίσταση να ανταποκριθεί σε ένα επίπεδο φωτός. Οι φωτοδιόδοι είναι ψηφιακές και αναλογικές συσκευές. Οι ψηφιακές συσκευές, ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται όταν αισθάνονται ένα δεδομένο επίπεδο φωτός. Οι αναλογικές συσκευές παράγουν μια αναλογική ποσότητα με βάση την ποσότητα φωτός που έλαβαν. Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές που χρησιμοποιούν κυκλώματα για τον έλεγχο των διακοπών και των καθυστερήσεων.<sup>[36][37]</sup>

#### **4.4.9 Οπτικοί αισθητήρες**

Οι οπτικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε πολλές ερευνητικές και εμπορικές εφαρμογές σήμερα. Αυτοί οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για πολλούς λόγους, ορισμένοι εκ των οποίων είναι ο έλεγχος της ποιότητας και των διαδικασιών, των ιατρικών τεχνολογιών, της μετρολογίας, της απεικόνισης και του απομακρυσμένου ελέγχου.<sup>[38]</sup>

#### **4.5 Στατικά χαρακτηριστικά αισθητήρων**

Οι αισθητήρες διαφοροποιούνται σύμφωνα με τα στατικά και τα δυναμικά χαρακτηριστικά τους. Τα στατικά χαρακτηριστικά είναι εκείνα που μπορούν να μετρηθούν αφού όλα τα μεταβατικά αποτελέσματα έχουν σταθεροποιηθεί στις τελικές ή σταθερές τιμές τους. Τα στατικά χαρακτηριστικά σχετίζονται με ζητήματα όπως ο τρόπος με τον οποίο αλλάζει η έξοδος ενός αισθητήρα ως απόκριση σε μια αλλαγή εισόδου, πόσο επιλεκτικός είναι ο αισθητήρας, πώς οι εξωτερικές ή εσωτερικές παρεμβολές μπορούν να επηρεάσουν την ανταπόκρισή του, και πόσο σταθερή είναι η λειτουργία ενός συστήματος ανίχνευσης.

Τα σημαντικότερα στατικά χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

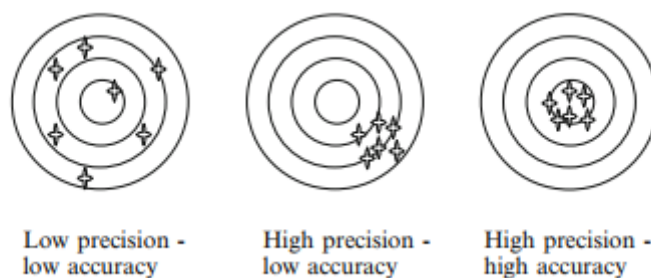
##### **4.5.1 Accuracy**

Η ακρίβεια ενός συστήματος ανίχνευσης αντιπροσωπεύει την ορθότητα της απόδοσής του σε σύγκριση με την πραγματική τιμή μίας μέτρησης. Για να αξιολογηθεί η ακρίβεια, είτε το σύστημα συγκρίνεται με ένα τυποποιημένο μέγεθος ή τα αποτελέσματα συγκρίνονται με ένα σύστημα μέτρησης με ανώτερη ακρίβεια. Για παράδειγμα, λαμβάνοντας υπόψη ένα σύστημα ανίχνευσης θερμοκρασίας, όταν η πραγματική θερμοκρασία είναι 20,0 °C, το σύστημα είναι πιο ακριβές, αν δείχνει 20,1 °C αντί 21,0 °C.<sup>[35]</sup>

##### **4.5.2 Precision**

Η ακρίβεια σε αυτή την περίπτωση αντιπροσωπεύει την ικανότητα ενός αισθητήριου συστήματος να δίνει την ίδια ένδειξη όταν μετράται επανειλημμένα το ίδιο μέγεθος υπό τις ίδιες συνθήκες. Η ακρίβεια είναι μια στατιστική παράμετρος και μπορεί να εκτιμηθεί με την τυπική απόκλιση (ή διακύμανση) ενός συνόλου αναγνώσεων του συστήματος για παρόμοιες εισόδους. Για παράδειγμα, ένα σύστημα ανίχνευσης θερμοκρασίας είναι ακριβές, αν στο περιβάλλον η θερμοκρασία είναι 21,0°C και δείχνει 21,9, 22,0, ή 22,1°C σε τρεις διαφορετικές συνεχείς μετρήσεις. Δεν

θεωρείται ακριβές, αν δείχνει 21,5, 21,0, και 20,5 °C αν και οι μετρηθείσες τιμές είναι πιο κοντά στην πραγματική θερμοκρασία. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η διαφορά μεταξύ των δύο τιμών που ορίζουν την ακρίβεια.<sup>[35][39][40]</sup>



Εικόνα 14: Διαφορά τιμών ορισμού ακρίβειας[Kalantar-zadeh.K,(2013) Sensors: An Introductory Course, DOI10.1007/978-1-4614-5052-8\_3 Springer Science+Business Media New York]

#### 4.5.3 Repeatability

Επαναληψιμότητα: Όταν όλες οι συνθήκες λειτουργίας και περιβάλλοντος παραμένουν σταθερές, η επαναληψιμότητα δείχνει την ικανότητα του συστήματος ανίχνευσης να παράγει την ίδια απόκριση για διαδοχικές μετρήσεις. Η επαναληψιμότητα συνδέεται στενά με την ακρίβεια. Τόσο μακροπρόθεσμα όσο και βραχυπρόθεσμα οι εκτιμήσεις επαναληψιμότητας μπορούν να είναι σημαντικές για ένα σύστημα ανίχνευσης. Για σύστημα ανίχνευσης θερμοκρασίας, όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος παραμένει σταθερή σε 21,0°C, εάν το σύστημα εμφανίζει 21,0, 21,1 και 21,0°C σε διαστήματα 1 λεπτού και δείχνει 22,0, 22,1 και 22,2ο C μετά από 1 ώρα, σε παρόμοια διαστήματα 1 λεπτού τότε, το σύστημα έχει καλή βραχυπρόθεσμη και κακή μακροπρόθεσμη επαναληψιμότητα.<sup>[35][40]</sup>

#### 4.5.4 Reproducibility

Η αναπαραγωγιμότητα είναι η ικανότητα του συστήματος ανίχνευσης να παράγει τις ίδιες απαντήσεις εφόσον οι συνθήκες μέτρησης τροποποιηθούν. Για παράδειγμα, αν ένα σύστημα ανίχνευσης θερμοκρασίας εμφανίζει παρόμοιες αποκρίσεις, σε μεγάλο χρονικό διάστημα, ή όταν οι μετρήσεις εκτελούνται από διαφορετικούς χειριστές, ή σε διαφορετικά εργαστήρια, τότε το σύστημα είναι αναπαραγωγίμο.<sup>[35][39][40]</sup>

#### 4.5.5 Stability

Η σταθερότητα είναι η ικανότητα του συστήματος ανίχνευσης να παράγει την ίδια τιμή εξόδου όταν μετράται η ίδια μετρούμενη τιμή για μια μεγάλη χρονική περίοδο.<sup>[40]</sup>

#### 4.5.6 Error

Σφάλμα είναι η διαφορά μεταξύ της πραγματικής τιμής μιας μέτρησης και της τιμής που παράγεται από το σύστημα ανίχνευσης. Σφάλμα μπορεί να προκληθεί από μια ποικιλία εσωτερικών και εξωτερικών πηγών που συνδέονται στενά με την ακρίβεια. Η ακρίβεια μπορεί να σχετίζεται με απόλυτο ή σχετικό σφάλμα όπως:

Απόλυτο σφάλμα= έξοδος-πραγματική τιμή

$$\text{Σχετικό σφάλμα} = \frac{\text{έξοδος} - \text{πραγματικ ή τιμή}}{\text{πραγματικ ή τιμή}}$$

Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα ανίχνευσης θερμοκρασίας, αν η θερμοκρασία είναι 21°C και η θερμοκρασία που το σύστημα δείχνει είναι 21,1°C, τότε τα απόλυτα και τα σχετικά σφάλματα είναι ίσα με 0,1°C (21,1 °C -21 °C) και 0,0047°C((21,1 °C -21 °C)/21 °C), αντίστοιχα. Τα σφάλματα παράγονται από διακυμάνσεις στο σήμα εξόδου και μπορεί να είναι συστηματικά (π.χ. μετατόπιση ή παρεμβολές από άλλα συστήματα) ή τυχαία (π.χ. τυχαίος θόρυβος).<sup>[35]</sup>

#### 4.5.7 Noise

Οι ανεπιθύμητες διακυμάνσεις στο σήμα εξόδου του συστήματος ανίχνευσης, όταν η μετρούμενη τιμή μας δεν μεταβάλλεται, αναφέρεται ως θόρυβος. Η τιμή τυπικής απόκλισης της έντασης του θορύβου είναι ένας σημαντικός παράγοντας στις μετρήσεις. Η μέση τιμή του σήματος διαιρούμενη με αυτή την τιμή(τυπική απόκλιση) δίνει ένα καλό σημείο αναφοράς, για το πόσο εύκολα μπορούν οι πληροφορίες να εξαχθούν. Ως αποτέλεσμα, ο λόγος σήματος προς θόρυβο (S / N) είναι ένας κοινώς χρησιμοποιούμενος τύπος στις εφαρμογές αισθητήρων. Ο θόρυβος μπορεί να προκαλείται από εσωτερικές ή εξωτερικές πηγές.<sup>[35][40]</sup>

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Μέση τιμή σήματος}}{\text{τυπική απόκλιση θορύβου}}$$

#### 4.5.8 Drift

Η παραμόρφωση συμβαίνει όταν παρατηρείται σταδιακή αλλαγή στην έξοδο του συστήματος ανίχνευσης, ενώ τα μετρήσιμα μεγέθη παραμένουν σταθερά. Το drift



είναι η ανεπιθύμητη αλλαγή που δεν σχετίζεται με την αλλαγή στη μετρήσιμη τιμή. Θεωρείται συστηματικό σφάλμα, το οποίο μπορεί να αποδίδεται σε παρεμβατικές παραμέτρους όπως η μηχανική αστάθεια ή η αστάθεια της θερμοκρασίας, ή ακόμη και σε κάποια δυσλειτουργία των υλικών του αισθητήρα. Είναι πολύ κοινό να εκτιμάται η μετατόπιση σε σχέση με τη γραμμή αναφοράς του αισθητήρα. Γραμμή αναφοράς είναι η τιμή της εξόδου, όταν ο αισθητήρας δεν εκτίθεται σε ερέθισμα. Λογικά για έναν αισθητήρα χωρίς drift η γραμμή αναφοράς πρέπει να παραμείνει σταθερή. Για παράδειγμα, σε έναν ημιαγωγό αισθητήρα αερίου, μια σταδιακή αλλαγή της θερμοκρασίας μπορεί να αλλάξει τη γραμμή αναφοράς. Επιπλέον, σταδιακή διάχυση του μετάλλου του ηλεκτροδίου σε υπόστρωμα ή ευαίσθητο στρώμα, μπορεί σταδιακά να αλλάξει την αγωγιμότητα του ευαίσθητου στοιχείου, το οποίο επιδεινώνει την τιμή της γραμμής αναφοράς και προκαλεί μετατόπιση

#### **4.5.9 Resolution**

Η ευαισθησία στην ανάλυση, (ή η διάκριση) είναι η ελάχιστη αλλαγή της μέτρησης που μπορεί να παράγει ανιχνεύσιμη μεταβολή στο σήμα εξόδου. Η ευαισθησία στην ανάλυση είναι πολύ ευάλωτη σε οποιοδήποτε μορφή θορύβου στο σήμα. Ένα σύστημα ανίχνευσης θερμοκρασίας με τέσσερα ψηφία έχει υψηλότερη ανάλυση από ένα σύστημα ανίχνευσης με τρία ψηφία. Όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 21°C, το υψηλότερο σύστημα ανάλυσης (τέσσερα ψηφία) είναι 21,00°C ενώ το χαμηλότερο σύστημα ανάλυσης (τρία ψηφία) είναι 21,0°C. Προφανώς, το σύστημα χαμηλότερης ανάλυσης δεν μπορεί να επιλύσει μια διαφορά με οποιοδήποτε τιμές μεταξύ 21.01°C και 21.03°C.<sup>[35][40]</sup>

#### **4.5.10 Minimum Detectable Signal:**

Σε ένα σύστημα ανίχνευσης, το ελάχιστο ανιχνεύσιμο σήμα (MDS) είναι το ελάχιστο σήμα που μπορεί να παρατηρηθεί, όταν ληφθούν υπόψη όλοι οι παρεμβατικοί παράγοντες. Όταν η αύξηση εκτιμάται από το μηδέν, η τιμή αναφέρεται γενικά ως όριο ή όριο ανίχνευσης. Αν οι παρεμβολές είναι μεγάλες σε σχέση με την είσοδο, θα καταστήσουν αδύνατο το να εξαχθεί ένα σαφές αποτέλεσμα.<sup>[35]</sup>

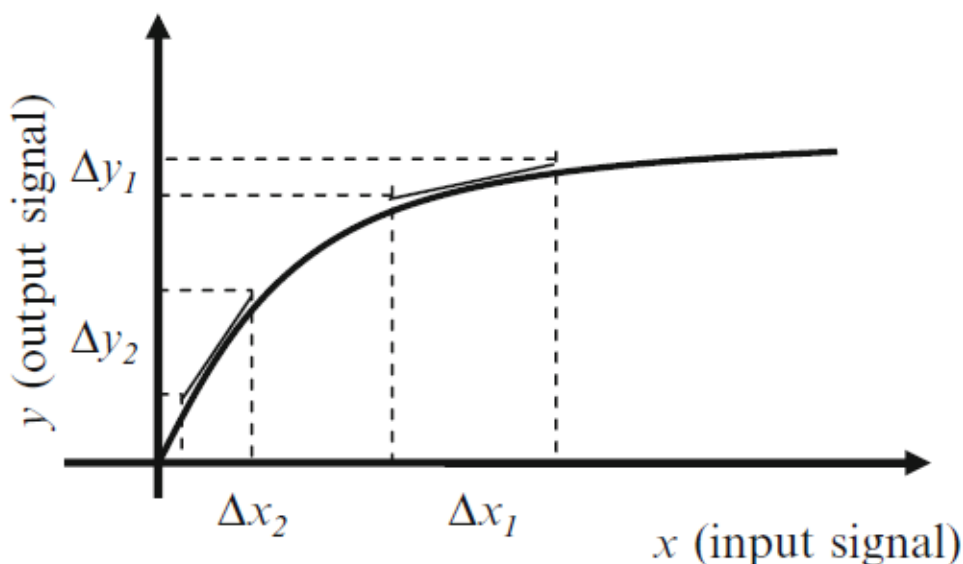
#### **4.5.11 Calibration Curve**

Ένα σύστημα ανίχνευσης πρέπει να συγκριθεί με ένα γνωστό μέγεθος ώστε να διασφαλίζεται ότι η ανίχνευση οδηγεί σε σωστές εξόδους. Η σχέση μεταξύ των

μεταβλητών που μετρούνται ( $x$ ) και η μεταβλητή σήματος που παράγεται από το σύστημα ( $y$ ) ονομάζεται καμπύλη βαθμονόμησης.<sup>[35][40]</sup>

#### 4.5.12 Sensitivity

Η ευαισθησία είναι ο λόγος μεταξύ της σταδιακής αλλαγής στην έξοδο του αισθητήρα ( $Dy$ ) και της σταδιακής αλλαγής της μέτρησης στην είσοδο ( $Dx$ ). Η κλίση της βαθμονόμησης η καμπύλη  $y = f(x)$ , μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ευαισθησίας. Όπως φαίνεται στο σχήμα, η ευαισθησία μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα με την καμπύλη βαθμονόμησης. Στην εικόνα 15, η ευαισθησία για τις χαμηλότερες τιμές της μέτρησης ( $Dy_1 / Dx_1$ ) είναι μεγαλύτερη από την ευαισθησία για το τμήμα της καμπύλης ( $Dy_2 / Dx_2$ ). Ένας ιδανικός αισθητήρας έχει μια μεγάλη και κατά προτίμηση σταθερή ευαισθησία στο εύρος λειτουργίας του. Φαίνεται επίσης ότι ο αισθητήρας τελικά φτάνει στον κορεσμό, μια κατάσταση στην οποία δεν μπορεί πλέον να ανταποκριθεί σε άλλες αλλαγές. Για παράδειγμα, σε ένα ηλεκτρονικό σύστημα ανίχνευσης θερμοκρασίας, αν η τάση εξόδου αυξάνεται κατά 1V, όταν η θερμοκρασία αλλάζει κατά 0,1°C, τότε η ευαισθησία θα είναι 10 V / C<sup>[35]</sup>



Εικόνα 15: Μεταβολή ευαισθησίας ανάλογα με την καμπύλη βαθμονόμησης[Kalantar-zadeh.K,(2013) Sensors: An Introductory Course, DOI10.1007/978-1-4614-5052-8\_3 Springer Science+Business Media New York]

#### 4.5.13 Linearity

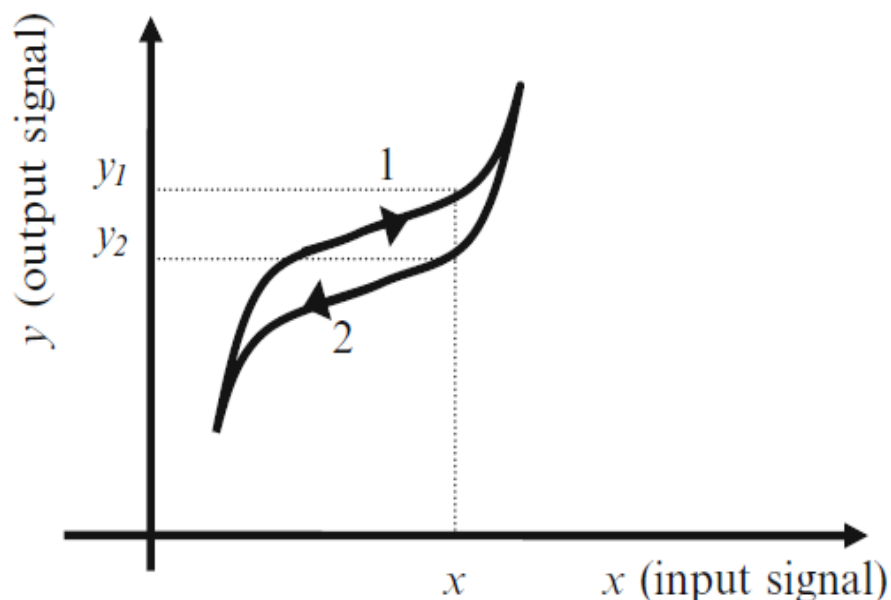
Γραμμικότητα: Η εγγύτητα της καμπύλης βαθμονόμησης σε μια συγκεκριμένη ευθεία δείχνει τη γραμμικότητα ενός αισθητήρα. Ο βαθμός ομοιότητάς του με μια ευθεία γραμμή περιγράφει πόσο γραμμικό είναι το σύστημα.<sup>[35]</sup>

#### 4.5.14 Selectivity

Η επιλεκτικότητα είναι η ικανότητα του συστήματος ανίχνευσης να μετρά μία τιμή στόχου με την παρουσία άλλων παρεμβολών. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας οξυγόνου που δεν δείχνει καμία απόκριση σε άλλα είδη αερίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα ή το οξείδιο του αζώτου, θεωρείται πολύ επιλεκτικός αισθητήρας.<sup>[35][40]</sup>

#### 4.5.15 Hysteresis

Η υστέρηση είναι η διαφορά μεταξύ των μετρήσεων εξόδου για το ίδιο μέγεθος, ανάλογα με την τροχιά που ακολουθείται από τον αισθητήρα. Η υστέρηση μπορεί να προκαλέσει ψευδείς και ανακριβείς ενδείξεις. Στην εικόνα 16 παρουσιάζει τη σχέση μεταξύ εξόδου και εισόδου ενός συστήματος με υστέρηση. Όπως φαίνεται, ανάλογα με το αν ακολουθηθεί η διαδρομή 1 ή 2, θα πάρουμε δύο διαφορετικές εξόδους, για την ίδια είσοδο.<sup>[35][40]</sup>



Εικόνα 16: Έξοδος-είσοδο σε συστήματα με υστέρηση[Kalantar-zadeh.K,(2013) Sensors: An Introductory Course, DOI10.1007/978-1-4614-5052-8\_3 Springer Science+Business Media New York]

#### **4.5.16 Measurement Range**

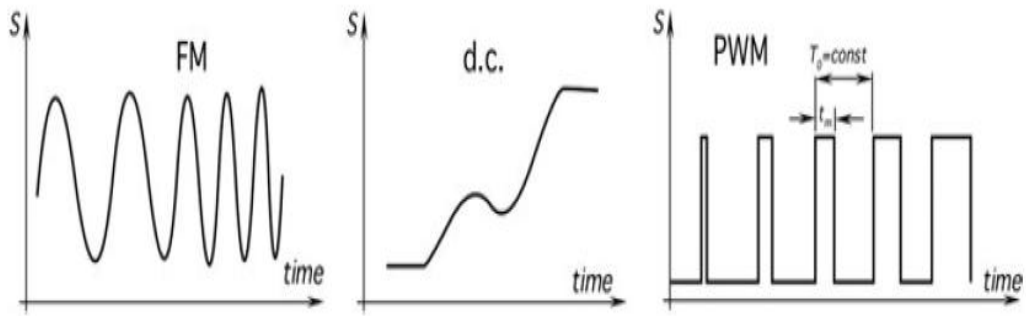
Εύρος μέτρησης: οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των μετρήσεων που μπορούν να ληφθούν από έναν αισθητήρα ονομάζονται περιοχή μέτρησης, ονομάζονται επίσης δυναμική εύρους ή εύρος. Αυτό το εύρος έχει ως αποτέλεσμα μια αξιόπιστη και ακριβή έξοδο για τον αισθητήρα. Όλα τα συστήματα ανίχνευσης έχουν σχεδιαστεί για να εκτελούν πάνω από ένα καθορισμένο εύρος. Τα σήματα εκτός αυτού του εύρους μπορεί να είναι ακατανόητα, να προκαλούν υπερβολικά μεγάλες ανακρίβειες και μπορεί ακόμη και να προκαλέσουν μη αναστρέψιμη βλάβη στον αισθητήρα. Γενικά, η κλίμακα μέτρησης ενός συστήματος ανίχνευσης προσδιορίζεται στις τεχνικές προδιαγραφές του συνοδευτικού του φύλλου. Για παράδειγμα, εάν η περιοχή μέτρησης ενός αισθητήρα θερμοκρασίας είναι μεταξύ 100 και 800 °C, η έκθεση σε θερμοκρασίες εκτός αυτού του εύρους μπορεί να προκαλέσει βλάβη ή να δημιουργήσει ανακριβείς αναγνώσεις.<sup>[35][40]</sup>

#### **4.5.17 Response and Recovery Time**

Χρόνος απόκρισης και ανάκτησης: Όταν ένα σύστημα ανίχνευσης εκτίθεται σε μία μέτρηση, ο χρόνος που χρειάζεται για να φτάσει σε μία σταθερή τιμή είναι ο χρόνος απόκρισης. Γενικά εκφράζεται ως ο χρόνος κατά τον οποίο η έξοδος φθάνει ένα ορισμένο ποσοστό (για παράδειγμα, το 95%) της τελικής αξίας της, σε απάντηση σε μια βαθμιαία αλλαγή της εισόδου. Ο "χρόνος ανάκτησης" ορίζεται αντιστρόφως.<sup>[35]</sup>

#### **4.5.18 Μορφή εξόδου (Output Format)**

Η μορφή εξόδου είναι το σύνολο των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών εξόδου που παράγεται από τον αισθητήρα μόνο ή μαζί με το κύκλωμα διέγερσης. Τα χαρακτηριστικά που μπορεί να περιλαμβάνει είναι τάση, ρεύμα, φόρτιση, συχνότητα, πλάτος, φάση, πολικότητα, μορφή σήματος, χρονική καθυστέρηση και ψηφιακό κώδικα. Η εικόνα 17 δείχνει παραδείγματα της ηλεκτρικής εξόδου σημάτων υπό μορφή ρεύματος ή τάσης. Ένας κατασκευαστής αισθητήρων θα πρέπει να παρέχει επαρκείς πληροφορίες σχετικά με τη μορφή εξόδου για την αποδοτική εφαρμογή του αισθητήρα.<sup>[35][39][40]</sup>



Εικόνα 17: Ηλεκτρική έξοδος σημάτων [Fraden.J,(2010) Handbook of Modern Sensors, Physics, Designs, and Applications Springer New York Heidelberg Dordrecht London]

#### 4.6 Δυναμικά χαρακτηριστικά αισθητήρων

Ένα σύστημα αισθητήρων σε μια δυναμική μεταβολή των μετρούμενων τιμών μπορεί να έχει διαφορετικά αποτελέσματα από ότι όταν μετράει σταθερές τιμές. Στις μεταβαλλόμενες τιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν δυναμικά χαρακτηριστικά για την περιγραφή των ιδιοτήτων του συστήματος ανίχνευσης. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ορίσουν της ακρίβεια του σήματος εξόδου για μεταβαλλόμενες χρονικές τιμές. Αυτά τα χαρακτηριστικά ασχολούνται με ζητήματα όπως ο ρυθμός με τον οποίο αλλάζει η απόκριση σε μια μεταβολή μέτρου και τον τρόπο με τον οποίο συμβαίνουν αυτές οι αλλαγές.

Ο λόγος για την παρουσία δυναμικών χαρακτηριστικών είναι η ύπαρξη ενεργειακών αποθηκευτικών στοιχείων σε ένα σύστημα ανίχνευσης. Ο λόγος για αυτή τη δυναμική συμπεριφορά είναι η παρουσία εξαρτημάτων που συσσωρεύουν ενέργεια όπως μάζες, πυκνωτές, επαγωγικά ή θερμικά στοιχεία κ.α. Μπορούν να παραχθούν ηλεκτρονικά στοιχεία όπως η αυτεπαγωγή και η χωρητικότητα, μηχανικά στοιχεία όπως η δόνηση, οι διαδρομές και η μάζα ή και θερμικά στοιχεία με θερμική ικανότητα. Η πιο κοινή μέθοδος αξιολόγησης των δυναμικών χαρακτηριστικών είναι ο καθορισμός του μαθηματικού μοντέλου ενός συστήματος και της εξαγωγής της σχέσης μεταξύ του σήματος εισόδου και του σήματος εξόδου. Κατά συνέπεια, ένα τέτοιο μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση της απόκρισης σε κυματομορφές μεταβλητής εισόδου, όπως ο παλμός, η βαθμίδα, η ράμπα, η ημιτονοειδής και τα σήματα λευκού θορύβου.

Κατά τη μοντελοποίηση ενός συστήματος, η αρχική απλούστευση είναι πάντα ένα σημαντικό βήμα. Τα απλούστερα και πιο μελετημένα συστήματα ανίχνευσης είναι γραμμικά αμετάβλητα συστήματα (LTI). Οι ιδιότητες αυτών των συστημάτων δεν αλλάζουν με το χρόνο, επομένως είναι αμετάβλητες, και θα πρέπει να ικανοποιούν τις ιδιότητες της υπέρθεσης (προσθήκη δύο διαφορετικών εισόδων παράγει την προσθήκη των μεμονωμένων εξόδων τους) και της κλιμάκωσης (όταν η είσοδος είναι ενισχυμένη, η έξοδος ενισχύεται επίσης από την ίδια ποσότητα), συνεπώς είναι γραμμική.

Για να μελετήσουμε τα δυναμικά χαρακτηριστικά κρίνεται αναγκαίο να επιλέξουμε έναν αισθητήρα ως προς την συνάρτηση μεταφοράς του. Για αυτό το λόγο υποθέτουμε ότι έχουμε έναν γραμμικό αισθητήρα ο οποίος μάλιστα έχει ιδιότητες που δεν μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου.

Η σχέση σήματος εισόδου και εξόδου περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση :

$$\alpha_n \frac{d^n q_0}{dt^n} + \alpha_{n-1} \frac{d^{n-1} q_0}{dt^{n-1}} + \dots + \alpha_1 \frac{d^1 q_0}{dt^1} + \alpha_0 q_0 =$$

$$b_m \frac{d^m q_i}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} q_i}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{d^1 q_i}{dt^1} + b_0 q_i$$

όπου  $q_i$  είναι το σήμα εισόδου και  $q_0$  το σήμα εξόδου και  $\alpha_0, \dots, \alpha_n, b_0, \dots, b_m$  σταθερές. Αν περιοριστούμε στην περίπτωση κατά την οποία το σήμα εισόδου είναι κλιμακωτή συνάρτηση τότε η εξίσωση λαμβάνει την ακόλουθη απλούστερη μορφή.

$$\alpha_n \frac{d^n q_0}{dt^n} + \alpha_{n-1} \frac{d^{n-1} q_0}{dt^{n-1}} + \dots + \alpha_1 \frac{d^1 q_0}{dt^1} + \alpha_0 q_0 = b_0 q_i$$

Αυτή η μορφή μπορεί να απλοποιηθεί περισσότερο για τις ακόλουθες 3 περιπτώσεις:

Συστήματα μηδενικής τάξης

Συστήματα πρώτης τάξης

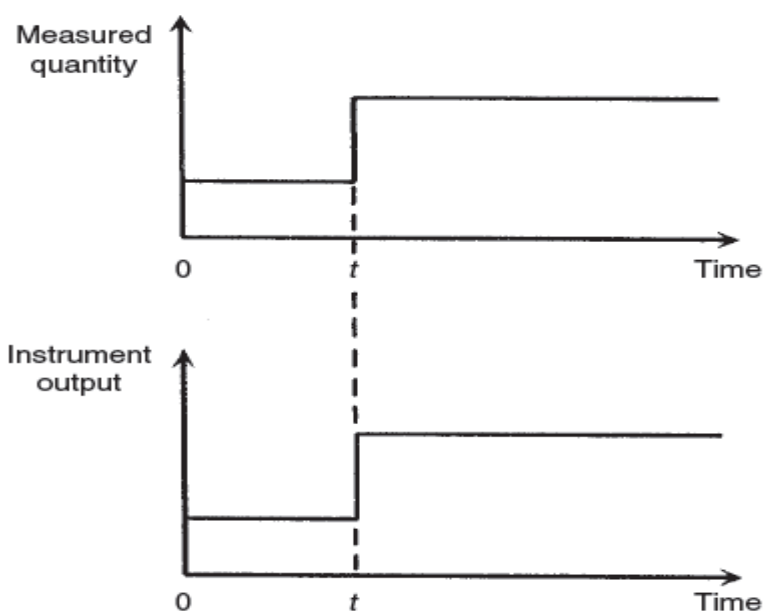
Συστήματα δεύτερης τάξης

#### 4.6.1 Συστήματα μηδενικής τάξης

Εάν όλοι οι συντελεστές από  $a_1$  έως  $a_n$  εκτός από το  $a_0$  είναι μηδενικοί, τότε η παραπάνω συνάρτηση γίνεται:  $\alpha_0 q_0 = b_0 q_i$  ή  $q_0 = \frac{b_0}{a_0} q_i$  όπου  $K = \frac{b_0}{a_0}$

Συνεπώς:  $q_0 = K q_i$  όπου  $K$  είναι σταθερά που αφορά την ευαισθησία.

Οποιοδήποτε σύστημα συμπεριφέρεται βάσει αυτής της εξίσωσης δηλαδή είναι ένα τέλειο σύστημα μηδενικής τάξης, η έξοδος του δείχνει απόκριση χωρίς καθυστέρηση στο σήμα εισόδου. Ακολουθεί απεικόνιση της συμπεριφοράς ενός συστήματος μηδενικής τάξης.



Εικόνα 18: Σύστημα μηδενικής τάξης[Kalantar-zadeh.K,(2013) Sensors: An Introductory Course, DOI10.1007/978-1-4614-5052-8\_3 Springer Science+Business Media New York]

Όπως φαίνεται στο σχήμα η αλλαγή στη μετρούμενη ποσότητα στη μονάδα του χρόνου  $t$  εμφανίζεται ακριβώς στην ίδια μονάδα του χρόνου στην έξοδο του οργάνου. <sup>[35][40][41]</sup>

#### 4.6.2 Συστήματα πρώτης τάξης

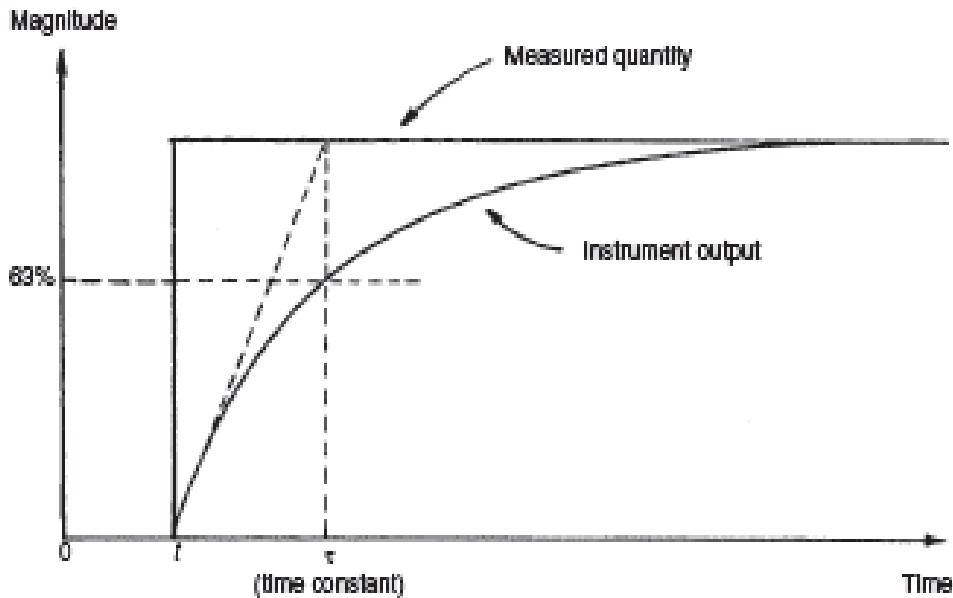
Είναι τα συστήματα στα οποία μια σειρά πολυπλοκότητας μπορεί να εισαχθεί όταν η παραγωγή πλησιάζει την τελική της αξία σταδιακά.

Εάν όλοι οι συντελεστές  $a_2$  έως  $a_n$  είναι μηδενικοί τότε η εξίσωση παίρνει την ακόλουθη μορφή:  $\alpha_1 \frac{dq_0}{dt} + \alpha_0 q_0 = b_0 q_i$

Ορίζοντας τον τελεστή  $D = \frac{d}{dt}$  η εξίσωση γίνεται:  $\alpha_1 D q_0 + \alpha_0 q_0 = b_0 q_i$

$$q_0(\alpha_1 D + \alpha_0) = b_0 q_i \text{ ισούται } q_0 = \frac{b_0 q_i}{1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_0} D} \text{ αν η ευαισθησία } K = \frac{b_0}{\alpha_0} \text{ και}$$

$\tau = \frac{\alpha_1}{\alpha_0}$  η σταθερά του χρόνου τότε η τελική μορφή της εξίσωσης είναι:  $q_0 = \frac{K q_i}{1 + \tau D}$



Εικόνα 19: Σύστημα πρώτης τάξης [Kalantar-zadeh.K,(2013) Sensors: An Introductory Course, DOI10.1007/978-1-4614-5052-8\_3 Springer Science+Business Media New York]

Εάν η εξίσωση λυθεί αναλυτικά η ποσότητα εξόδου  $q_0$  στην απόκριση ενός βήματος αλλαγής  $q_i$  σε χρόνο  $t$  διαφέρει σε συμπεριφορά όπως φαίνεται στο σχήμα.

#### 4.6.3 Συστήματα δεύτερης τάξης

Η απόκριση ενός συστήματος μπορεί να είναι πιο περίπλοκη. Η απόκριση σε μια βαθμωτή συνάρτηση μπορεί να ταλαντεύεται πριν φτάσει στην τελική της τιμή. Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι υπερβολικό ή υποβιβασμένο. Τέτοιες αποκρίσεις μπορούν να περιγραφούν καλύτερα από ένα σύστημα δεύτερης τάξης.<sup>[35][40][41]</sup>

$\alpha_2 \frac{d^2 q_0}{dt^2} + \alpha_1 \frac{dq_0}{dt} + \alpha_0 q_0 = b_0 q_i$  Ορίζοντας τον τελεστή  $D = \frac{d}{dt}$  η εξίσωση γίνεται:  $\alpha_2 D^2 q_0 + \alpha_1 D q_0 + \alpha_0 q_0 = b_0 q_i$

$$q_0 = \frac{b_0 q_i}{\alpha_0 + \alpha_1 D + \alpha_2 D^2} \text{ όπου:}$$

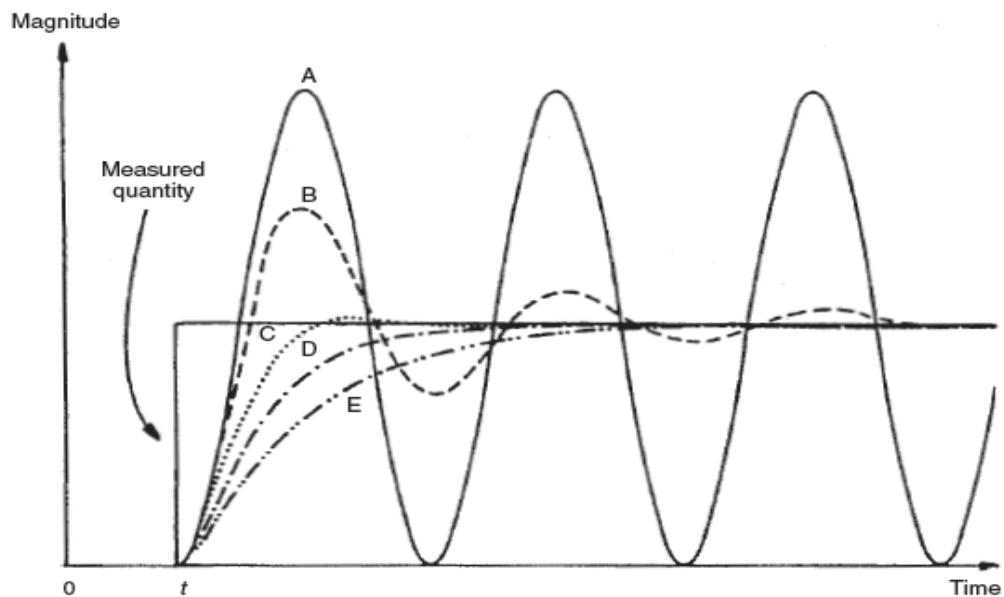
$$\text{στατική ευαισθησία } K = \frac{b_0}{\alpha_0},$$



μη αποσβεσμένη φυσική συχνότητα  $\omega = \frac{\alpha_0}{\alpha_2}$  και

λόγος απόσβεσης  $\xi = \frac{\alpha_1}{2\alpha_0\alpha_2}$  συνεπώς η παραπάνω εξίσωση παίρνει τη μορφή:  $\frac{q_0}{q_i} = \frac{K}{\frac{D^2}{\omega^2} + \frac{2\xi D}{\omega} + 1}$  η μορφή του σήματος εξόδου του αισθητήρα εξαρτάται από

την τιμή του λόγου απόσβεσης. Με μια αναλυτική επίλυση της εξισώσεως, το σχήμα του βήματος απόκρισης εξαρτάται από την τιμή  $\xi$ . Η απόκριση ενός οργάνου δεύτερης τάξεως για τις ποικίλες τιμές του  $\xi$  που ακολουθούν μετά από ένα βήμα αλλαγής στην τιμή της μετρούμενης ποσότητας σε χρόνο  $t$ , φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Όταν ο λόγος απόσβεσης είναι  $\xi=0$ , το αποτέλεσμα είναι η γραφική παράσταση Α. Στην περίπτωση που ο λόγος απόσβεσης  $\xi=0,2$  το αποτέλεσμα είναι η γραφική παράσταση Β. Για  $\xi=0,707$  ισχύει η καμπύλη C. Για  $\xi=1$  ισχύει η D και τέλος για  $\xi=1,5$  ισχύει η E.



Εικόνα 20: Σύστημα δεύτερης τάξης[Kalantar-zadeh.K,(2013) Sensors: An Introductory Course, DOI10.1007/978-1-4614-5052-8\_3 Springer Science+Business Media New York]

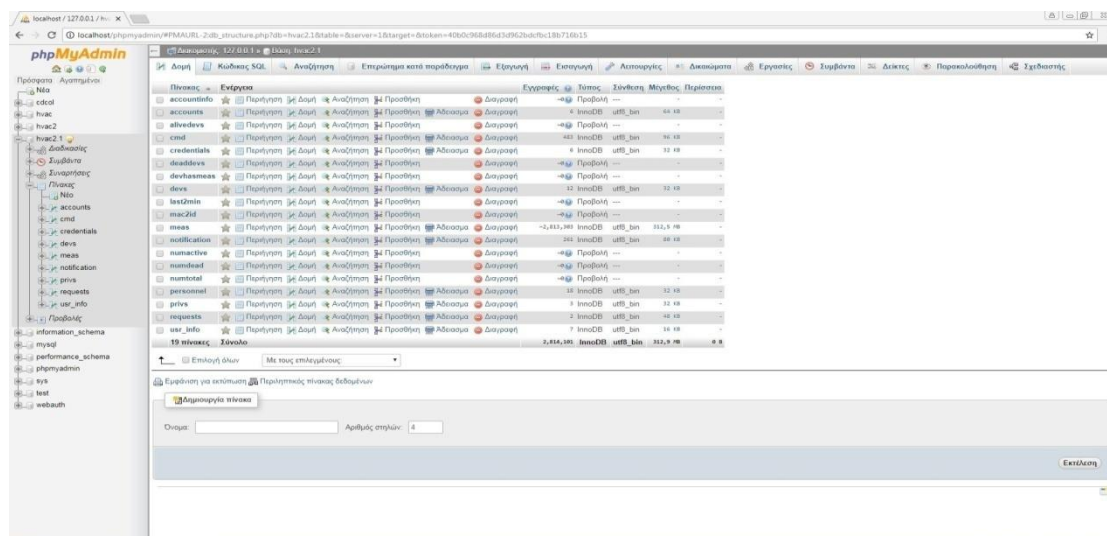
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Σύστημα πειραματικής συλλογής δεδομένων αισθητήρων θερμοκρασίας/υγρασίας.

## 5.1 Γενικά

Το θέμα που γίνεται ξεκάθαρα αντιληπτό από τα προηγούμενα κεφάλαια είναι πως ένα πολύ σημαντικό μερίδιο ευθύνης στην εξοικονόμηση ενέργειας καθώς και στην εύρυθμη λειτουργία των έξυπνων κτιρίων έχει η σωστή χρήση των αισθητήρων. Το οικονομικό κόστος όμως συγκεκριμένων αισθητήρων υψηλής ακρίβειας αποτελεί ίσως ανασταλτικό παράγοντα στη μαζική τους χρήση σε συστήματα ψύξης θέρμανσης. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της πειραματικής διάταξης και των αισθητήριων που χρησιμοποιήθηκαν ώστε να ληφθούν οι τιμές των μετρήσεων των αισθητήρων που επεξεργάστηκαν με σκοπό την ανάλυση της συμπεριφοράς των αισθητήρων χαμηλότερου κόστους.

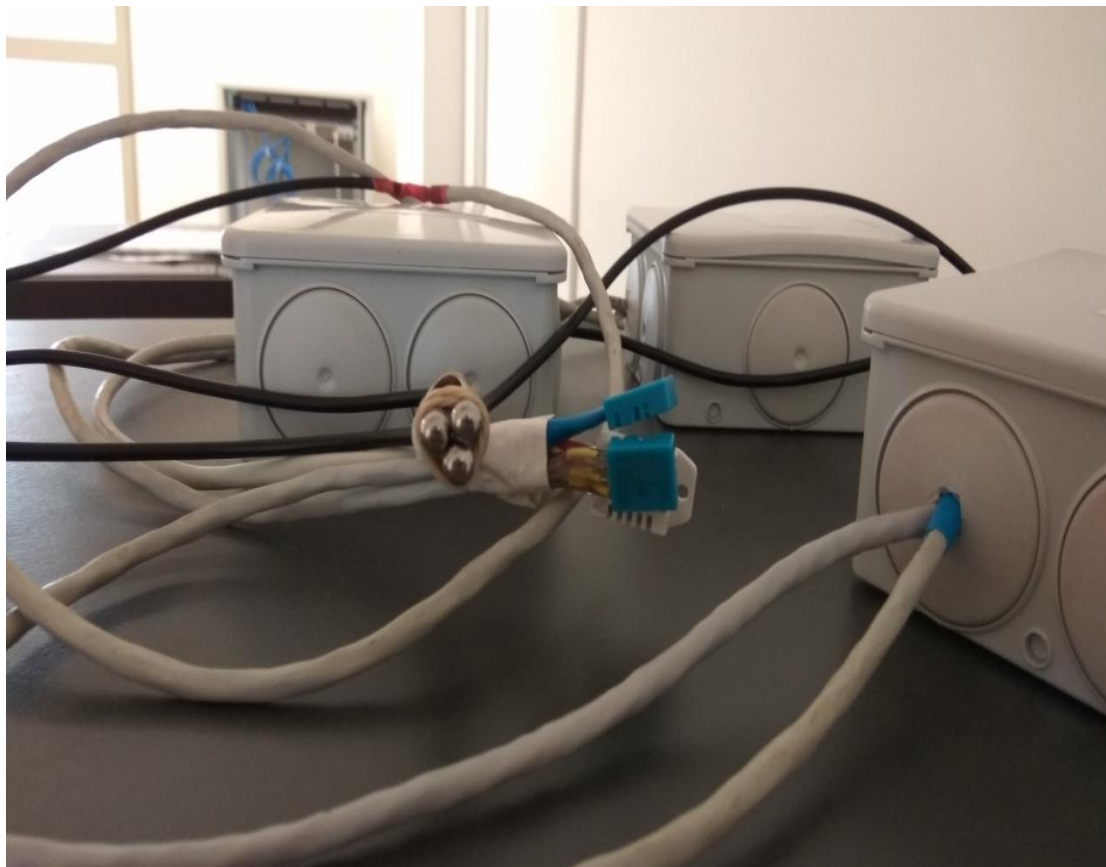
## 5.2 Εισαγωγή

Για την επίλυση του ζητήματος εκτός από τους DHT11 και DHT22 αισθητήρες έχουν χρησιμοποιηθεί και αισθητήρες τύπου DS18B20. Τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων θα αναλυθούν στις παρακάτω ενότητες. Οι τιμές των μετρήσεων των αισθητήρων εισάγονται σε βάση δεδομένων και μέσω του λογισμικού vSphere που δίνει τη δυνατότητα απομακρυσμένης διαχείρισης μπορούν να ληφθούν τα δεδομένα μέσα από τη βάση δεδομένων οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Παρακάτω ακολουθεί εικόνα των πινάκων της βάσης, στη συνέχεια με χρήση ερωτημάτων οι τιμές διαθέσιμες για επεξεργασία με τη μορφή CSV αρχείων.



Εικόνα 21: Πίνακες βάσης δεδομένων

Συγκεκριμένα οι διαθέσιμοι αισθητήρες είναι οι εξής: τρεις αισθητήρες τύπου DS18B20 δύο αισθητήρες τύπου DHT11 και ένας αισθητήρας τύπου DHT22. Οι αισθητήρες τοποθετούνται ο ένας δίπλα στον άλλο με σκοπό να αντλούν κοινά ερεθίσματα, σε συγκεκριμένο σημείο σε εργαστήριο του Τ.Ε.Ι Ηπείρου του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής.



Εικόνα 22: Διάταξη αισθητήρων συλλογής δεδομένων

Ο διαχωρισμός των αισθητήρων έχει γίνει σε 3 πακέτα, κάθε ένα εκ των οποίων αποτελείται από 2 αισθητήρια που τρέχουν ακριβώς τον ίδιο κώδικα. Το πρώτο πακέτο αισθητήρων αποτελείται από ένα αισθητήρα τύπου DS18B20 και ένα DHT11 με ταυτότητα `id_1` ένα δεύτερο πακέτο αποτελείται από δύο αισθητήρες όμοιους με αυτούς του πρώτου και ταυτότητα διάκρισης `id_2`. Η τρίτη ομάδα αισθητηρίων είναι ένας αισθητήρας DS18B20 με έναν τύπου DHT22 με `id_8`. Ακολουθεί πίνακας των αισθητηρίων και της ταυτότητας αυτών:

Ταυτότητα	Αισθητήρας1	Αισθητήρας2
Id_1	DS18B20	DHT11
Id_2	DS18B20	DHT11
Id_8	DS18B20	DHT22

Πίνακας 2:Ταυτότητες αισθητηρίων

Οι μετρήσεις λαμβάνονται περίπου κάθε 62 δευτερόλεπτα. Τα διαφορετικά χαρακτηριστικά όμως των διαφορετικών τύπων αισθητήρων που έχουν χρησιμοποιηθεί δίνουν μία απόκλιση της ακριβούς χρονικής στιγμής που έγινε η λήψη της τιμής των δεδομένων. Αφού έγινε η λήψη των στοιχείων από τη βάση δεδομένων, από ένα σύνολο οκτώ μηνών, στη συνέχεια μετά από αξιολόγηση τους, τα δεδομένα που επεξεργάστηκαν αφορούν 66 ημέρες. Η αξιολόγηση των διαθέσιμων δεδομένων στηρίχτηκε στον αριθμό των μετρήσεων των αισθητήρων ανά ημέρα αλλά και στις τιμές των θερμοκρασιών. Τα δεδομένα προς επεξεργασία χωρίστηκαν αρχικά σε δύο κατηγορίες, μια αυτή των δεδομένων που οι θερμοκρασίες δεν είχαν απότομες αλλαγές από μέτρηση σε μέτρηση και μία δεύτερη αυτή των δεδομένων που οι τιμές τους έδιναν πολύ απότομες αλλαγές. Κάθε αισθητήρας λαμβάνει μέτρηση ανά 62 δευτερόλεπτα περίπου. Συνεπώς το σύνολο των μετρήσεων του κάθε αισθητήρα ανέρχεται περίπου στις 1339 μετρήσεις ανά ημέρα. Στον παρακάτω πίνακα ακολουθεί το σύνολο των μετρήσεων που έχουν επεξεργαστεί ανά αισθητήριο, αρχικά για τις κανονικές μεταβολές της θερμοκρασίας στη συνέχεια για τις ακραίες μεταβολές καθώς και οι μετρήσεις της υγρασίας και τέλος οι συνολικές μετρήσεις ανά αισθητήριο, καθώς και τα αθροίσματα των μετρήσεων.

ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ	ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ (θερμοκρασία)	Υγρασία	ΑΚΡΑΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ (θερμοκρασία)	Υγρασία	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
DS18B20id_1	80.058	-	8.298	-	88.356
DS18B20id_2	79.653	-	8.256	-	87.909
DS18B20id_8	79.975	-	8.290	-	88.265
DHT11id_1	80.058	80.058	8.298	8.298	176.712
DHT11id_2	79.653	79.653	8.256	8.256	175.818
DHT22id_8	79.975	79.975	8.290	8.290	176.530
ΣΥΝΟΛΟ	479.372	239.686	49.688	24.844	793.590

Πίνακας 3:Σύνολο μετρήσεων

Από το σύνολο των μετρήσεων, αφαιρέθηκαν όσες δεν αντιστοιχούν σε πλήρη μέτρηση δηλαδή σε σετ με τιμές από όλους τους αισθητήρες. Η αναλυτική επεξεργασία αυτών των στοιχείων της θερμοκρασίας και της υγρασίας όπως φαίνεται στο επόμενο κεφάλαιο οδήγησε στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τους αισθητήρες.

### 5.3 Χαρακτηριστικά αισθητήρων.

Κάθε αισθητήρας ανάλογα με τον τύπο του έχει διαφορετικά στατικά και δυναμικά χαρακτηριστικά για τα οποία έγινε εκτενής αναφορά στο τέταρτο κεφάλαιο. Κάθε τύπος αισθητήρα συνοδεύεται από το φύλλο δεδομένων που περιγράφει τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες του συγκεκριμένου αισθητήρα. Παρακάτω ακολουθεί περιγραφή των στατικών χαρακτηριστικών των DS18B20, DHT22 και των DHT11 αισθητήρων, ώστε να γίνει κατανοητή η συμπεριφορά των αισθητήρων και οι διαφοροποιήσεις τους στην απόδοση των μετρούμενων τιμών.

#### 5.3.1 DS18B20

Ο αισθητήρας DS18B20 είναι αισθητήρας θερμοκρασίας υψηλής ακρίβειας χρησιμοποιείται κυρίως για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του ψυκτικού υγρού σε συστήματα ψύξης-θέρμανσης, γι αυτό το λόγο ο συγκεκριμένος αισθητήρας είναι αδιάβροχος.



Εικόνα 23: Αδιάβροχος αισθητήρας DS18B20[<https://grobotronics.com/ds18b20-el.html>]

Στην περίπτωση μας οι αισθητήρες αυτοί εξαιτίας της υψηλής ακρίβειας τους χρησιμοποιούνται ώστε να μετρήσουν θερμοκρασία ατμόσφαιρας του εργαστηρίου. Οι τιμές θερμοκρασίας που θα δώσουν οι DS18B20 αισθητήρες θα χρησιμοποιηθούν ως τιμές αναφοράς για την μελέτη των υπόλοιπων αισθητηρίων. Το datasheet του αισθητήρα μας δίνει τα παρακάτω χαρακτηριστικά.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	$V_{DD}$	Local power (Note 1)	+3.0		+5.5	V
Pullup Supply Voltage	$V_{PU}$	Parasite power	+3.0		+5.5	V
		Local power	+3.0		$V_{DD}$	
Thermometer Error	$t_{ERR}$	-10°C to +85°C			±0.5	°C
		-55°C to +125°C			±2	
Input Logic-Low	$V_{IL}$	(Notes 1, 4, 5)	-0.3		+0.8	V
Input Logic-High	$V_{IH}$	Local power	+2.2		The lower of 5.5 or $V_{DD} + 0.3$	V
		Parasite power	+3.0			
Sink Current	$I_L$	$V_{IO} = 0.4V$	4.0			mA
Standby Current	$I_{DDS}$	(Notes 7, 8)		750	1000	nA
Active Current	$I_{DD}$	$V_{DD} = 5V$ (Note 9)		1	1.5	mA
DQ Input Current	$I_{DQ}$	(Note 10)		5		μA
Drift		(Note 11)		±0.2		°C

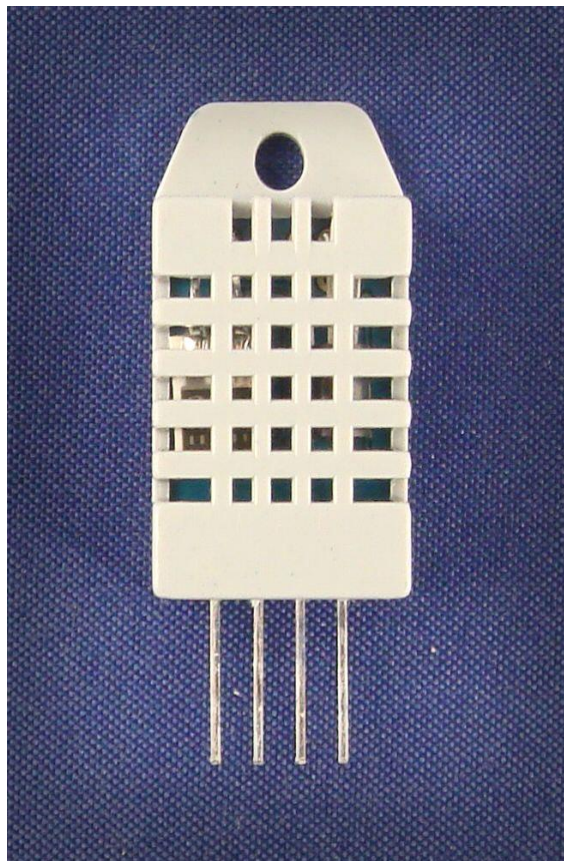
Εικόνα 24: Στατικά χαρακτηριστικά DS18B20[Maxim Integrated Products. Inc,(2015) “datasheet”]

Σύμφωνα με το φύλλο δεδομένων του αισθητήρα DS18B20 η τροφοδοσία κυμαίνεται μεταξύ 3.0V έως 5.5V DC. Το εύρος θερμοκρασίας που μετράει είναι από -55°C έως +125°C με ακρίβεια ±2°C, στην περίπτωση όμως των θερμοκρασιών που

αποτελούν και σημείο ενδιαφέροντος για την παρούσα έρευνα, για θερμοκρασίες από  $-10^{\circ}\text{C}$  έως  $+55^{\circ}\text{C}$  η ακρίβεια του είναι  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  Η μέτρηση δηλαδή που αντιπροσωπεύει την ορθότητα της απόδοσής του αισθητήρα σε σύγκριση με την πραγματική τιμή της μέτρησης για την περίπτωση της παρούσας έρευνας είναι  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . Ένα επίσης σημαντικό χαρακτηριστικό του αισθητήρα είναι το drift, δηλαδή η παραμόρφωση, που ορίζεται ως η ανεπιθύμητη αλλαγή στο σήμα εξόδου που δεν σχετίζεται με την αλλαγή στη μετρήσιμη τιμή, η αλλαγή δηλαδή στην τιμή της εξόδου του αισθητήρα ενώ η μετρήσιμη τιμή δεν μεταβάλλεται. Το drift του DS18B20 είναι  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ .<sup>[42]</sup>

### 5.3.2 DHT22

Ο DHT22 είναι ένας αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας υψηλής ακρίβειας. Η ακρίβεια και η ταχύτητα απόκρισης του συγκεκριμένου αισθητήρα τον κάνει κατάλληλο για χρήση σε συστήματα ψύξης θέρμανσης.



Εικόνα 25: DHT22[Thomas Liu , Aosong Electronics Co.,Ltd “datasheet”]

Το datasheet του DHT22 μας δίνει τα παρακάτω χαρακτηριστικά τα οποία και αναλύονται εκτενέστερα.

Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +2%RH(Max +-5%RH); temperature <+-0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH; temperature +-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+0.3%RH
Long-term Stability	+0.5%RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

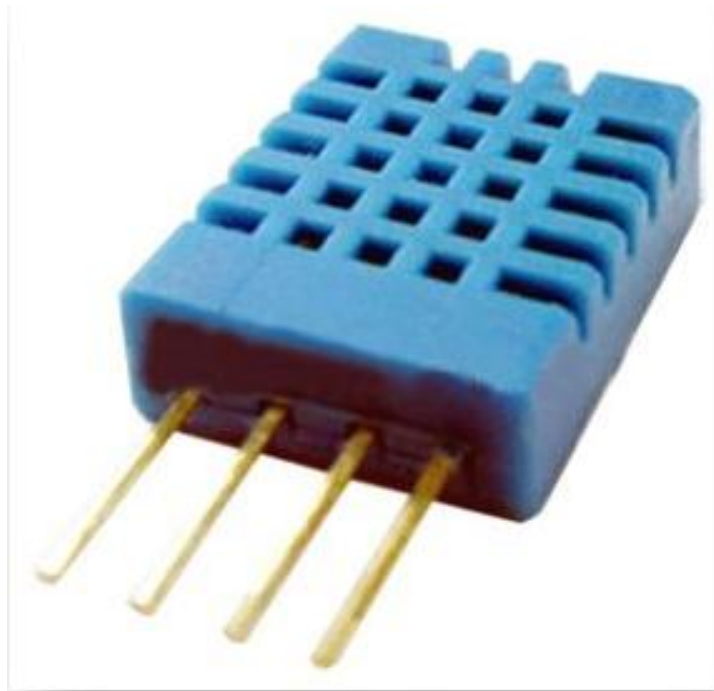
Εικόνα 26: Στατικά χαρακτηριστικά DHT22[Thomas Liu , Aosong Electronics Co.,Ltd “datasheet”]

Σύμφωνα με το φύλλο δεδομένων του αισθητήρα DHT22 η τροφοδοσία κυμαίνεται μεταξύ 3.3V έως 6V DC. Το εύρος της υγρασίας που μετράει είναι από 0-100% RH με ακρίβεια(accuracy) σχετικής υγρασίας  $\pm 2\%RH$ . Το εύρος θερμοκρασίας που μετράει είναι από  $-40^{\circ}C$  έως  $+80^{\circ}C$  με ακρίβεια  $\pm 0.5^{\circ}C$ . Η ευαισθησία στην ανάλυση(resolution or sensitivity), ή η διάκριση που ορίζεται ως η ελάχιστη αλλαγή της μέτρησης που μπορεί να παράγει ανιχνεύσιμη μεταβολή στο σήμα εξόδου, στην περίπτωση της υγρασίας είναι 0.1%RH και στην περίπτωση της θερμοκρασίας είναι  $0.1^{\circ}C$ . Όταν όλες οι συνθήκες λειτουργίας και περιβάλλοντος παραμένουν σταθερές, η επαναληψιμότητα(repeatability) που δείχνει την ικανότητα του συστήματος ανίχνευσης να παράγει την ίδια απόκριση για διαδοχικές μετρήσεις στην περίπτωση της υγρασίας είναι  $\pm 1\%RH$  και για την περίπτωση της θερμοκρασίας είναι  $\pm 0.2^{\circ}C$ . Τέλος η περίοδος ανίχνευσης (sensing period) του αισθητήρα είναι τα 2s<sup>[43]</sup>

### 5.3.3 DHT11

Ο DHT11 είναι ένας αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας και είναι από τους πιο οικονομικούς αισθητήρες σε αυτό τον τομέα. Η τροφοδοσία κυμαίνεται μεταξύ 3.0V έως 5.0V DC. Είναι συμβατός με τις περισσότερες αναπτυξιακές πλακέτες, όπως Arduino, Raspberry.





Εικόνα 27: DHT11[DHT11 Humidity & Temperature Sensor]

Το datasheet του αισθητήρα μας δίνει τα παρακάτω χαρακτηριστικά για τα οποία ακολουθεί ανάλυση.

Item	Measurement Range	Humidity Accuracy	Temperature Accuracy	Resolution	Package
DHT11	20-90%RH 0-50 °C	±5%RH	±2°C	1	4 Pin Single Row

Εικόνα 28: Στατικά χαρακτηριστικά DHT11[DHT11 Humidity & Temperature Sensor]

Όπως φαίνεται από το φύλλο δεδομένων του αισθητήρα τα γενικά χαρακτηριστικά του είναι ότι η ακρίβεια του για τιμές υγρασίας από 20-90%RH είναι ίση με  $\pm 5\%RH$  και για θερμοκρασίες από 0-50°C η ακρίβεια του κυμαίνεται στους  $\pm 2^\circ C$ . Ακολουθεί πίνακας με μεγαλύτερη ανάλυση για τις ελάχιστες, τυπικές αλλά και μέγιστες αποκλίσεις που μπορεί να δώσει ο συγκεκριμένος αισθητήρας.

Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
<b>Humidity</b>				
<b>Resolution</b>		1%RH	1%RH	1%RH
<b>Repeatability</b>			8 Bit	
<b>Accuracy</b>	25°C		± 1%RH	
	0-50°C		± 4%RH	± 5%RH
<b>Interchangeability</b>	Fully Interchangeable			
<b>Measurement Range</b>	0°C	30%RH		90%RH
	25°C	20%RH		90%RH
	50°C	20%RH		80%RH
<b>Response Time (Seconds)</b>	1/e(63%)25°C, 1m/s Air	6 S	10 S	15 S
<b>Hysteresis</b>			± 1%RH	
<b>Long-Term Stability</b>	Typical		± 1%RH/year	
<b>Temperature</b>				
<b>Resolution</b>		1°C	1°C	1°C
		8 Bit	8 Bit	8 Bit
<b>Repeatability</b>			± 1°C	
<b>Accuracy</b>		± 1°C		± 2°C
<b>Measurement Range</b>		0°C		50°C
<b>Response Time (Seconds)</b>	1/e(63%)	6 S		30 S

Εικόνα 29: Στατικά χαρακτηριστικά DHT11[DHT11 Humidity & Temperature Sensor]

Ο αισθητήρας χρησιμοποιείται για την μέτρηση της υγρασίας και της θερμοκρασίας του χώρου με ψηφιακή έξοδο. Η ελάχιστη αλλαγή της μέτρησης που μπορεί να παράγει ανιχνεύσιμη μεταβολή στο σήμα εξόδου για την υγρασία είναι 1%RH. Η επαναληψιμότητα του είναι ±1%RH. Η ακρίβεια του στην απόδοση της πραγματικής υγρασίας για την περίπτωση που η θερμοκρασία κυμαίνεται στους 25°C στην μέση-τυπική κατάσταση είναι ίση με ±4%RH ενώ στην περίπτωση θερμοκρασιών από 0-50 °C η μέγιστη απόκλιση μπορεί να είναι ±5%RH. Ο χρόνος απόκρισης κυμαίνεται από 6-15s σε ότι αφορά την υγρασία. Τέλος, η υστέρηση που είναι η διαφορά μεταξύ των μετρήσεων εξόδου για το ίδιο μέγεθος, ανάλογα με την τροχιά που ακολουθείται από τον αισθητήρα σε τυπικές καταστάσεις μπορεί να είναι ίση με ±1%RH. Στην περίπτωση που οι DHT11 αισθητήρες καλούνται να δώσουν τιμές θερμοκρασίας η ευαισθησία στην ανάλυση(resolution) είναι ίση με ±1°C για όλες τις καταστάσεις. Η επαναληψιμότητα(repeatability) στην τυπική κατάσταση είναι ίση με ±1°C. Η ακρίβεια κυμαίνεται από ±1°C έως ±2°C και τέλος, ο χρόνος απόκρισης βρίσκεται ανάμεσα στα 6 έως 30s.<sup>[44]</sup>

## 5.4 Συμπεράσματα

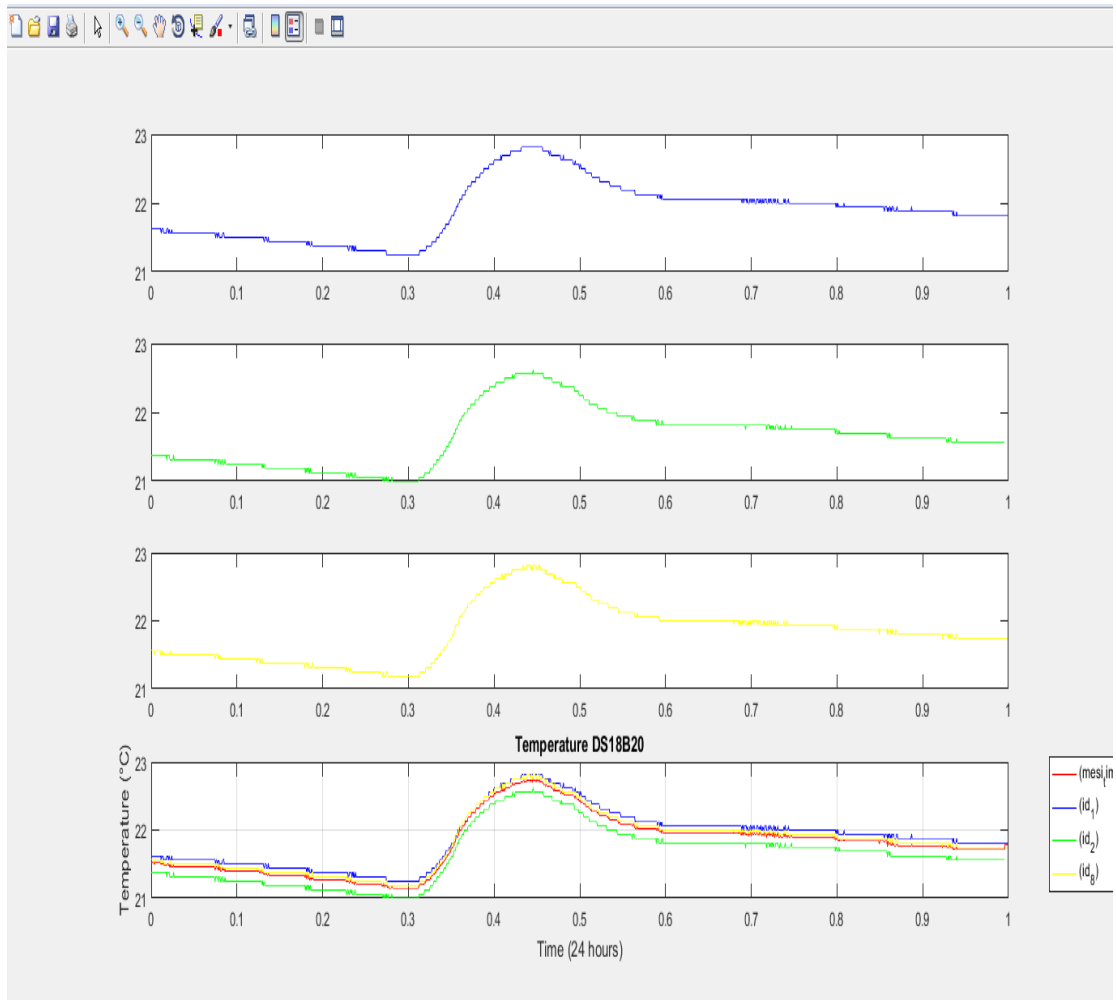
Στο κεφάλαιο αυτό έγινε εκτενής αναφορά στην πειραματική διάταξη και κυρίως στα χαρακτηριστικά των αισθητήρων που έχουν χρησιμοποιηθεί. Από την ανάλυση των χαρακτηριστικών γίνεται ξεκάθαρα αντιληπτό, όπως ορίζει το φύλλο οδηγιών, πως οι αισθητήρες DS18B20 είναι αισθητήρες υψηλής ακρίβειας. Οι τιμές των μετρήσεων που δίνουν αυτοί οι αισθητήρες θα πρέπει να είναι πολύ κοντά στις πραγματικές τιμές. Το γεγονός ότι είναι διαθέσιμοι τρεις αισθητήρες τύπου DS18B20 δίνει τη δυνατότητα αρχικά να γίνει σύγκριση μεταξύ των τριών αυτών αισθητήρων με σκοπό να αποδειχθούν οι αξιώσεις που δίνονται στο φύλλο οδηγιών και στη συνέχεια να ληφθεί η μέση τιμή αυτών και να χρησιμοποιηθεί ως τιμή βάσης ή ως πραγματική τιμή θερμοκρασίας για την εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά τους άλλους τύπους αισθητήρων που έχουν χρησιμοποιηθεί.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:Μελέτη της συμπεριφοράς αισθητήρων θερμοκρασίας σε πραγματικές συνθήκες.**

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει παρουσίαση της συμπεριφοράς των αισθητήρων σε κανονικές αλλά και ακραίες μεταβολές της θερμοκρασίας. Με αυτό τον τρόπο θα εξαχθούν συμπεράσματα αρχικά για το αν η λειτουργία των αισθητήρων κάτω από πραγματικές συνθήκες έχει όμοια χαρακτηριστικά με εκείνα που τους αποδίδονται βάση του φύλλου οδηγιών τους και στη συνέχεια να συγκριθούν οι διαφορετικοί τύποι αισθητήρων μεταξύ τους.

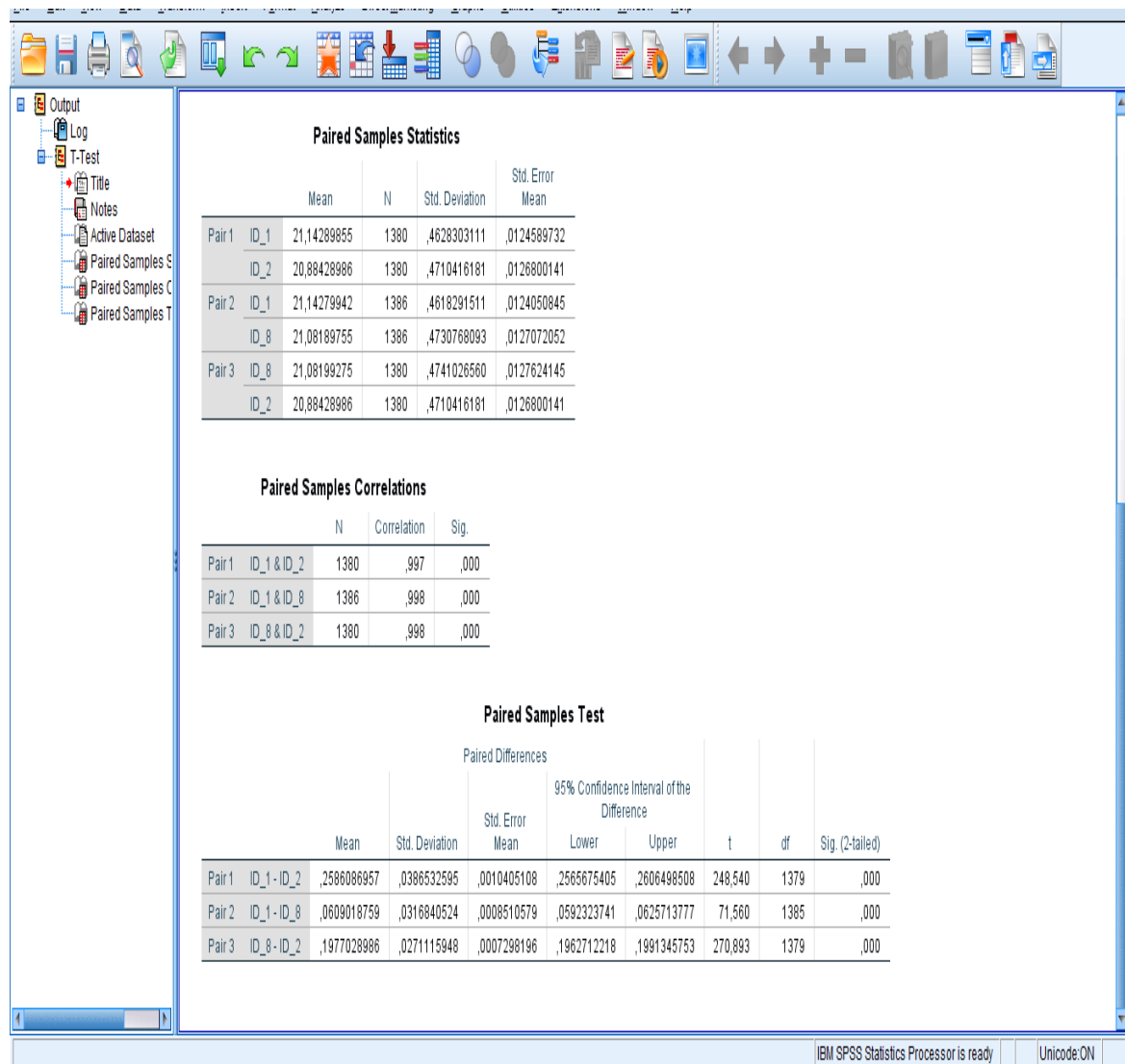
### **6.1 Αισθητήρες DS18B20**

Οι DS18B20 αισθητήρες αποστέλλουν μετρήσεις ανά 62 δευτερόλεπτα περίπου συνεπώς αποστέλλουν 1339 μετρήσεις ανά ημέρα για τις 66 ημέρες όπως αναφέρθηκε αναλυτικότερα στο κεφάλαιο 5.Η ενδεικτική τιμή του αισθητήρα είναι περίπου 4,50€. Ενώ ο αισθητήρας συνήθως χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του ψυκτικού υγρού στη συγκεκριμένη περίπτωση εξαιτίας της ακρίβειας του, η μετρούμενη τιμή αφορά τη θερμοκρασία του χώρου. Αρχικά έγινε σύγκριση των μετρούμενων τιμών των DS18B20 για θερμοκρασίες χωρίς έντονες διακυμάνσεις από λεπτό σε λεπτό. Στο γράφημα που ακολουθεί απεικονίζονται οι τιμές του κάθε αισθητήρα ξεχωριστά αλλά και των τριών μαζί με τη μέση τιμή, στο τελευταίο μέρος. Οι άξονες του χρόνου στο παρακάτω γράφημα αλλά και σε όλα τα γραφήματα είναι κανονικοποιημένοι ως προς το εικοσιτετράωρο.



Εικόνα 30: Σύγκριση DS18B20

Έχει γίνει σύγκριση των τιμών που έδωσαν οι αισθητήρες στο excel αλλά και στο εργαλείο spss με τη βοήθεια του εργαλείου ανάλυσης Paired-samples T test για όλες τις ημερομηνίες και έχει αποδειχθεί όπως φαίνεται παρακάτω πως η μέγιστη διαφορά των μετρήσιμων τιμών και για τις θερμοκρασίες που έχουν έντονες διακυμάνσεις και για εκείνες που δεν έχουν έντονες διακυμάνσεις είναι  $\pm 0.32^{\circ}\text{C}$  πολύ χαμηλότερη δηλαδή από τους  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  ακρίβειας που αναγράφεται στο φύλλο οδηγιών.



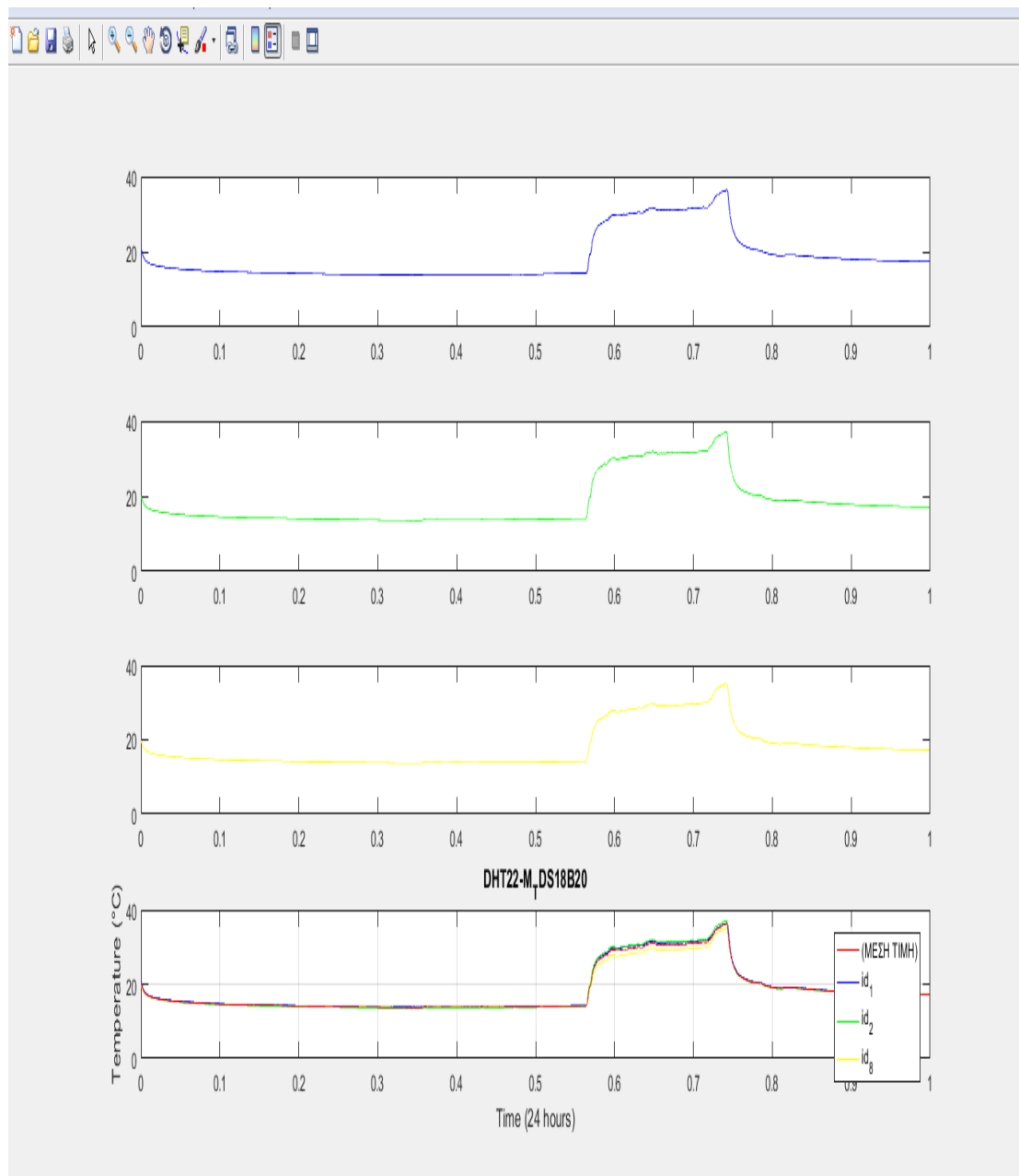
Εικόνα 31: Σύγκριση DS18B20 spss

	DS18B20(id_1-id_2)	DS18B20(id_1-id_8)	DS18B20(id_8-id_2)
max	0,32	0,13	0,26
min	0,12	-0,07	0,12

Πίνακας 4: Σύγκριση DS18B20 excel

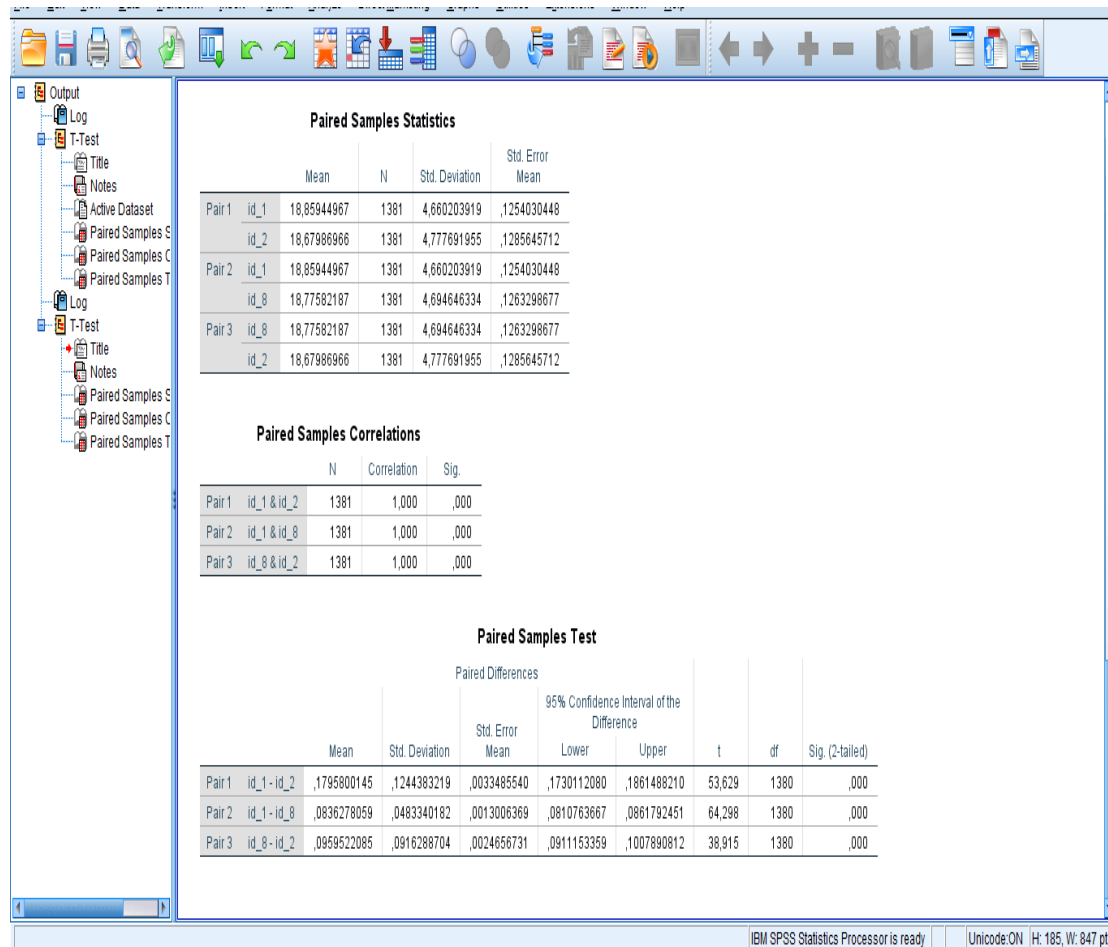
Μετά από σύγκριση όλων των διαθέσιμων στοιχείων αποδεικνύεται ότι οι αισθητήρες έχουν συγκεκριμένη συμπεριφορά σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Αναλυτικότερα ο αισθητήρας DS18B20 με id\_1 δίνει κατά κανόνα τιμές θερμοκρασιών υψηλότερες από τους άλλους δύο DS18B20 αισθητήρες. Οι τιμές που δίνει δεν ξεφεύγουν ποτέ από το σύνολο των αποδεκτών τιμών,  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  από τους άλλους δύο DS18B20 αισθητήρες. Επίσης ο αισθητήρας με id\_2 δίνει πάντα τιμές χαμηλότερες έναντι των άλλων δύο αισθητήρων χωρίς να ξεφεύγουν και αυτές από το σύνολο των αποδεκτών τιμών. Τέλος, ο αισθητήρας με id\_8 δίνει πάντα τιμές

ανάμεσα των άλλων δύο. Κοντά στις τιμές αυτές του αισθητήρα με id\_8 βρίσκεται και η μέση τιμή, όπως απεικονίζεται στο γράφημα η κόκκινη καμπύλη. Η κατάσταση αυτή των αισθητήρων μας επιτρέπει να τους χαρακτηρίσουμε σταθερούς ως προς τη συμπεριφορά τους. Η συγκεκριμένη συμπεριφορά εξακολουθεί να στηρίζεται από τους DS18B20 αισθητήρες και στις περιπτώσεις που οι τιμές της θερμοκρασίας παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις. Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται μια ημερομηνία κατά την οποία οι μεταβολές της θερμοκρασίας παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις, από 12°C έως 36°C.



Εικόνα 32: Σύγκριση ακραίων τιμών DS18B20

Ακολουθεί η σύγκριση των τιμών για τις ακραίες διακυμάνσεις στο spss αλλά και στο excel.



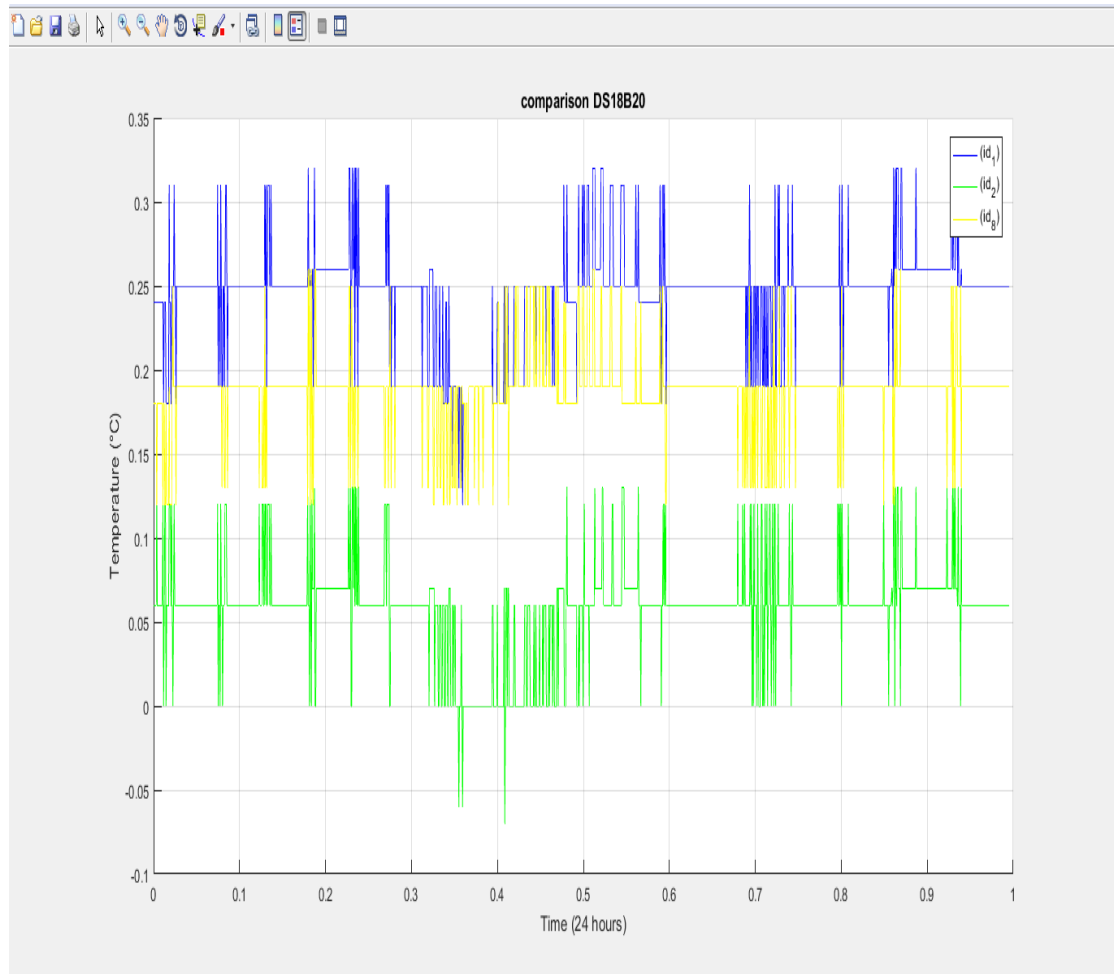
Εικόνα 33: Σύγκριση DS18B20 ακραίες τιμές spss

	DS18B20(id_1-id_2)	DS18B20(id_1-id_8)	DS18B20(id_8-id_2)
min	-0,07	-0,20	-0,10
max	0,19	0,11	0,06

Πίνακας 5: Σύγκριση ακραίων τιμών DS18B20 excel

Στη συνέχεια απεικονίστηκαν μέσα από καμπύλες στο matlab και οι διαφορές ανάμεσα στις εξαγόμενες από τους DS18B20 αισθητήρες τιμές. Συγκεκριμένα στην μπλε καμπύλη φαίνεται η διαφορά των τιμών ανάμεσα στους αισθητήρες με id\_1 και id\_2, στην κίτρινη η διαφορά ανάμεσα στους αισθητήρες με id\_8 και id\_2, και τέλος στην πράσινη η διαφορά ανάμεσα στους αισθητήρες με id\_1 και id\_8. Στο παρακάτω plot παρουσιάζεται μία από τις ημερομηνίες καθώς για όλες της ημερομηνίες οι καμπύλες διαφορών έχουν την ίδια συμπεριφορά.



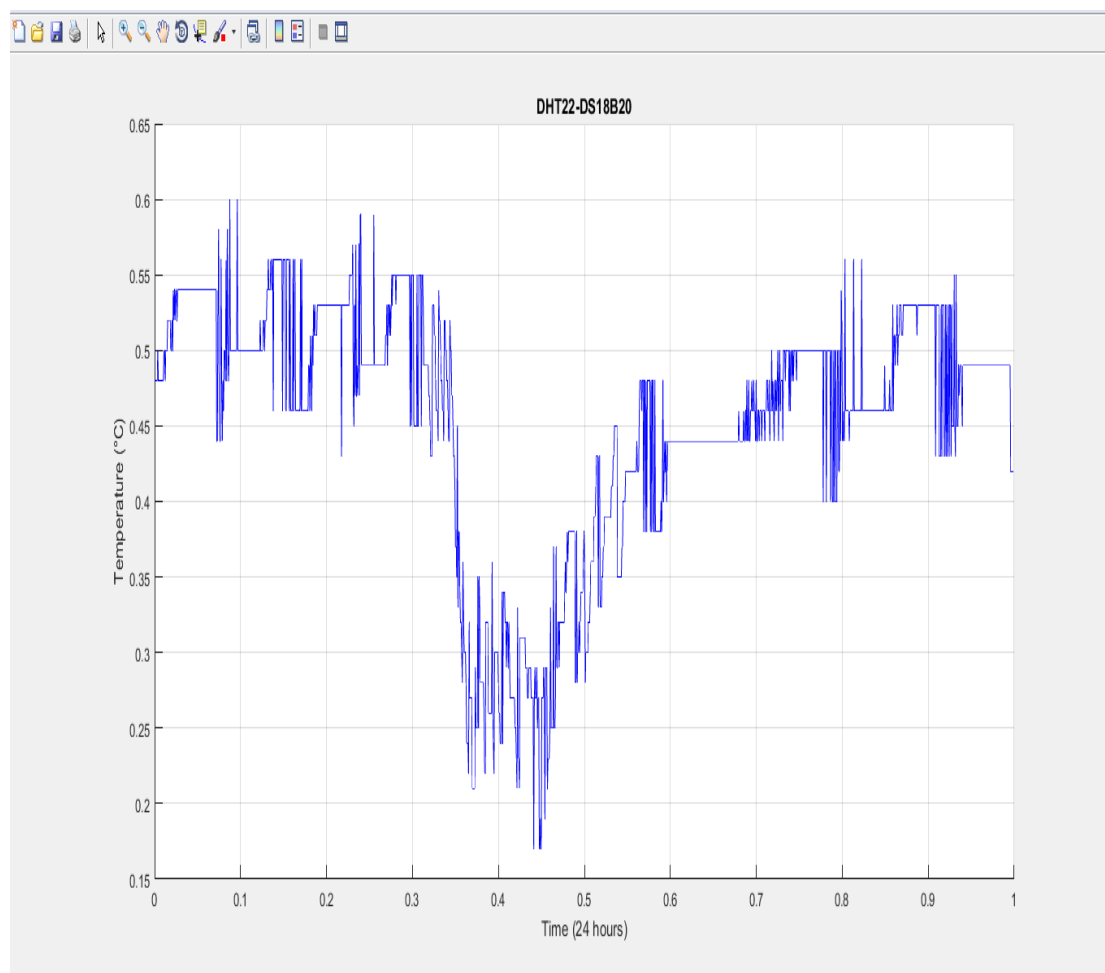


Εικόνα 34: Σύγκριση διαφορών των τιμών DS18B20

## 6.2 Αισθητήρας DHT22

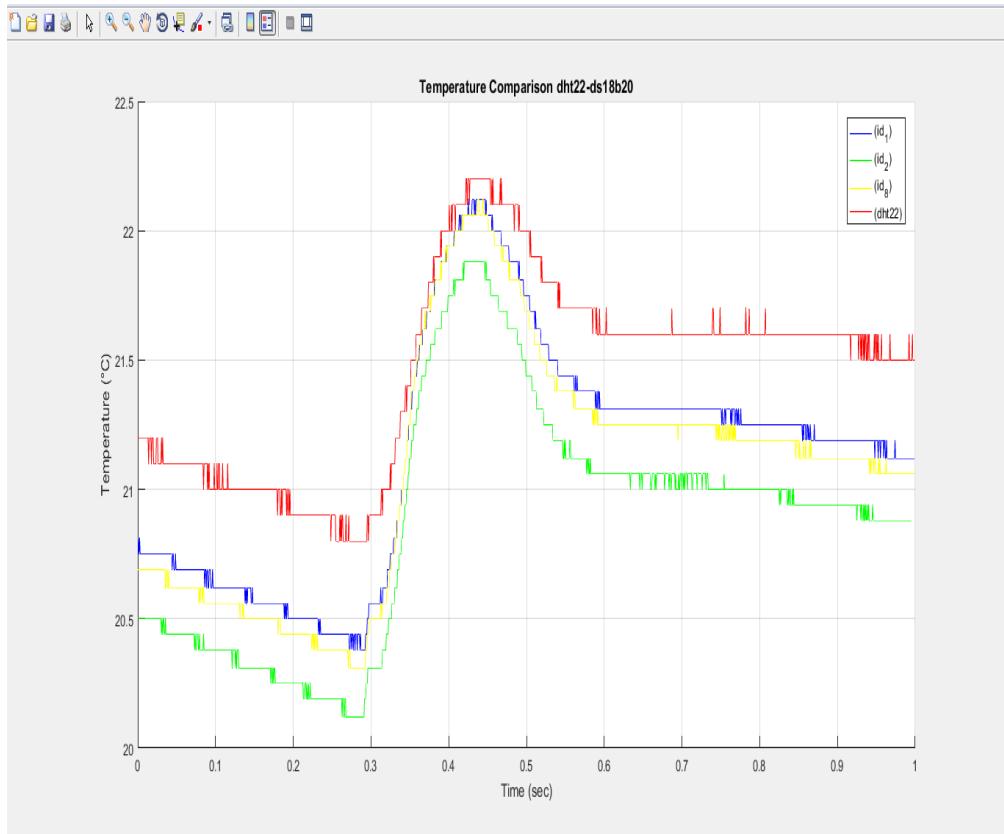
Ο αισθητήρας DHT22 όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι ένας αισθητήρας υψηλής ακρίβειας, τα στατικά χαρακτηριστικά του οποίου αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Η ακρίβεια (accuracy) του αισθητήρα είναι  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  όση και η ακρίβεια για τους DS18B20 συνοπολογίζοντας και την παραμόρφωση (drift) του DS18B20  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  καθώς και τα στατικά χαρακτηριστικά της ευαισθησίας  $0.1^{\circ}\text{C}$  και της επαναληψιμότητας  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  για τον DHT22 η μέγιστη δυνατή απόκλιση στις μετρούμενες τιμές ανάμεσα στον DHT22 και στον DS18B20(id\_2) τον αισθητήρα δηλαδή που έδωσε τις χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας, μπορεί να είναι μέχρι  $\pm 1.49^{\circ}\text{C}$ . Έγινε η σύγκριση σε όλα τα διαθέσιμα δεδομένα με σκοπό να αποδειχθεί η ορθή λειτουργία του DHT22 αλλά και να γίνει ένας επιπλέον έλεγχος για τους DS18B20 και τα αποτελέσματα όπως φαίνονται ενδεικτικά για μία ημερομηνία στο

παρακάτω γράφημα δεν ξεπερνούν τον  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Συνεπώς εξάγεται το συμπέρασμα ότι και ο DHT22 αισθητήρας λειτουργεί σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που ορίζονται στο φύλλο οδηγιών.



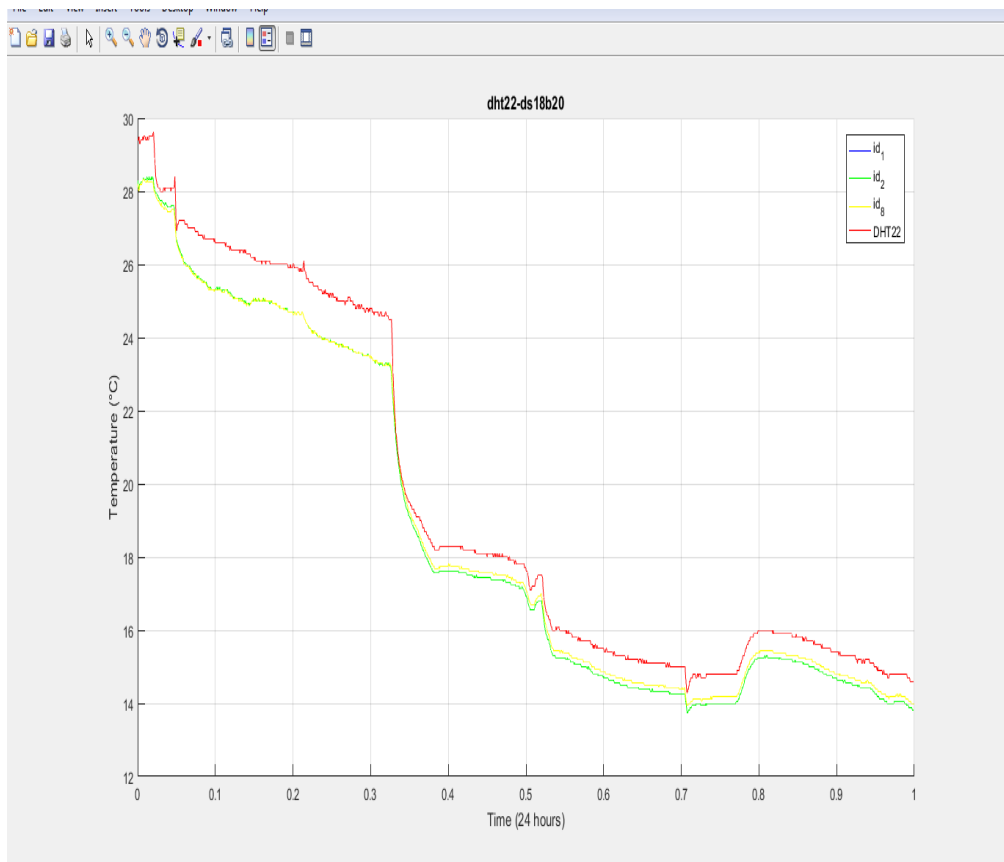
Εικόνα 35: Διαφορά μεταξύ DHT22 και ΜΕΣΗΣ ΤΙΜΗΣ

Σημαντικό είναι επίσης να σημειωθεί πως και ο συγκεκριμένος αισθητήρας έχει σταθερή θέση όσον αφορά την καμπύλη του σε σχέση με τη μέση τιμή των DS18B20 καθώς και με κάθε έναν DS18B20 ξεχωριστά. Ακολουθούν γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν τη σχέση αυτή. Οι τιμές που δίνει ο DHT22 είναι πάντα λίγο υψηλότερες, μικρότερες όμως των  $1.49^{\circ}\text{C}$ , από τις τιμές που δίνουν οι DS18B20 αισθητήρες. Στη δεύτερη παράσταση απεικονίζεται η σχέση μεταξύ του DHT22 και της μέσης τιμής που έχει αποφασιστεί ότι θα είναι και η τιμή αναφοράς, σε ακραίες αλλά και σε κανονικές μεταβολές της θερμοκρασίας.

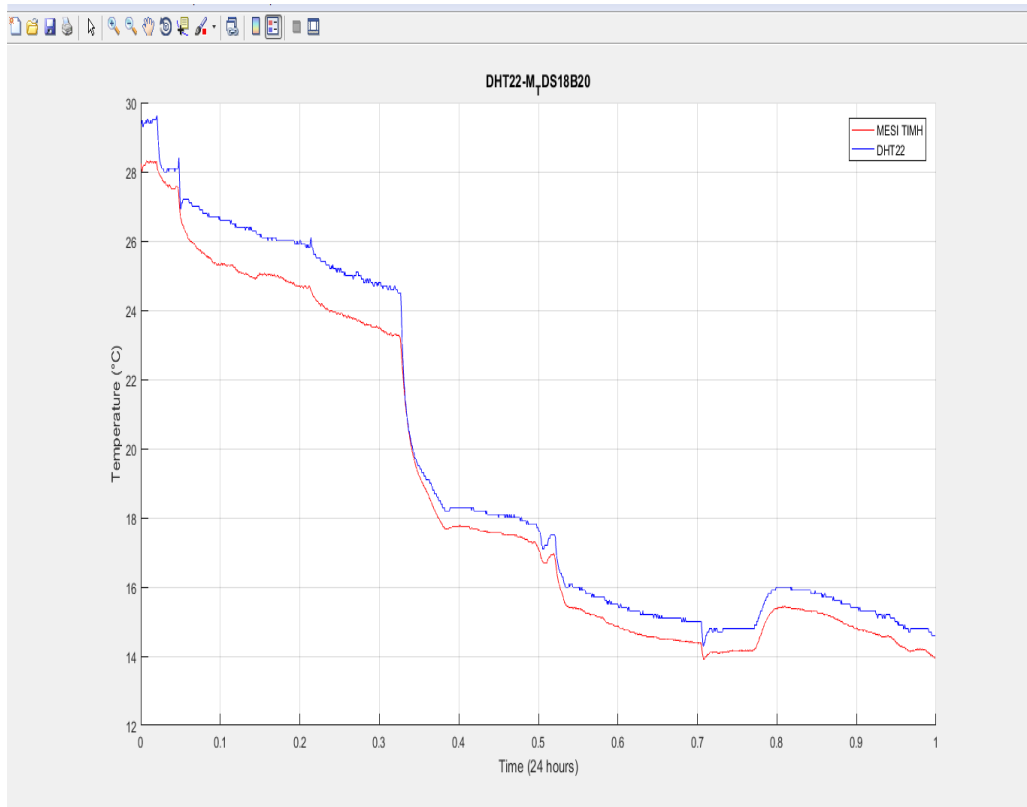


•

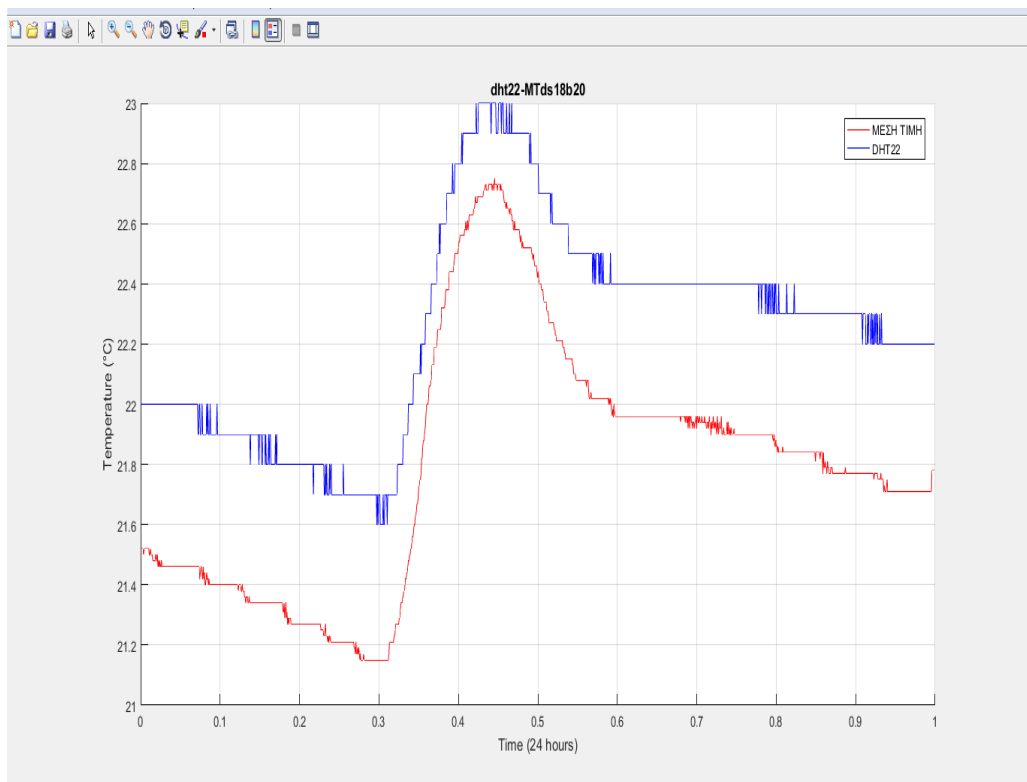
Εικόνα 36: DHT22 ΚΑΙ DS18B20(ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ)



Εικόνα 37: DHT22 ΚΑΙ DS18B20(ΑΚΡΑΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ)



Εικόνα 38: DHT22 ΚΑΙ ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ DS18B20 (ΑΚΡΑΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ)



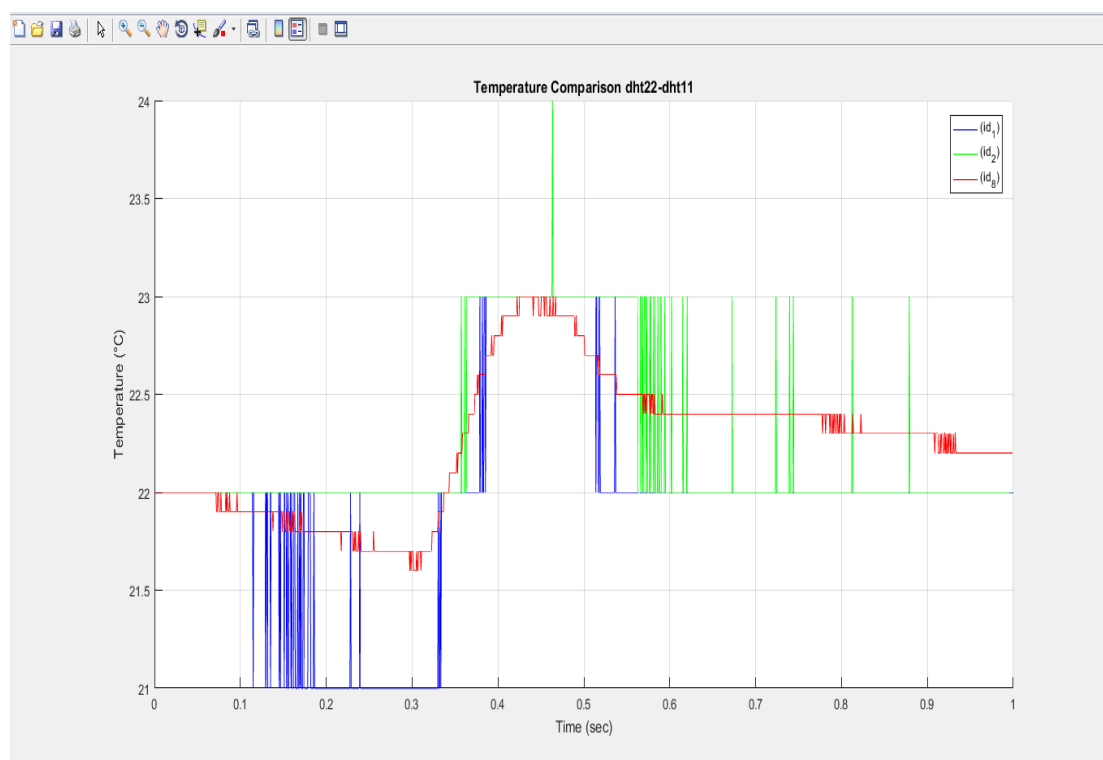
Εικόνα 39: DHT22 ΚΑΙ ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ)

## 6.3 Αισθητήρες DHT11

Οι αισθητήρες DHT11 είναι οικονομικότεροι των αισθητήρων DHT22 και σκοπός είναι να μελετηθεί η συμπεριφορά τους ώστε να αντικαταστήσουν τους πιο ακριβούς DHT22 αισθητήρες. Στη διάθεση μας υπάρχουν δύο DHT11 αισθητήρες ένας με ταυτότητα αναγνώρισης id\_1 και ένας με id\_2.

### 6.3.1 Σύγκριση DHT11 και DHT22 αισθητήρων

Αρχικά κρίθηκε σκόπιμο να γίνει σύγκριση των μετρούμενων τιμών των αισθητήρων DHT11 με τις μετρούμενες τιμές του DHT22 που χρησιμοποιούνται ευρέως σε συστήματα ψύξης θέρμανσης. Παρατηρήθηκε πως η συμπεριφορά του ενός DHT11 αισθητήρα, αυτού με id\_1, δεν είναι σταθερή. Αναλυτικότερα υπάρχουν ημερομηνίες κατά τις οποίες οι αισθητήρες μας δίνουν την ακόλουθη γραφική παράσταση.

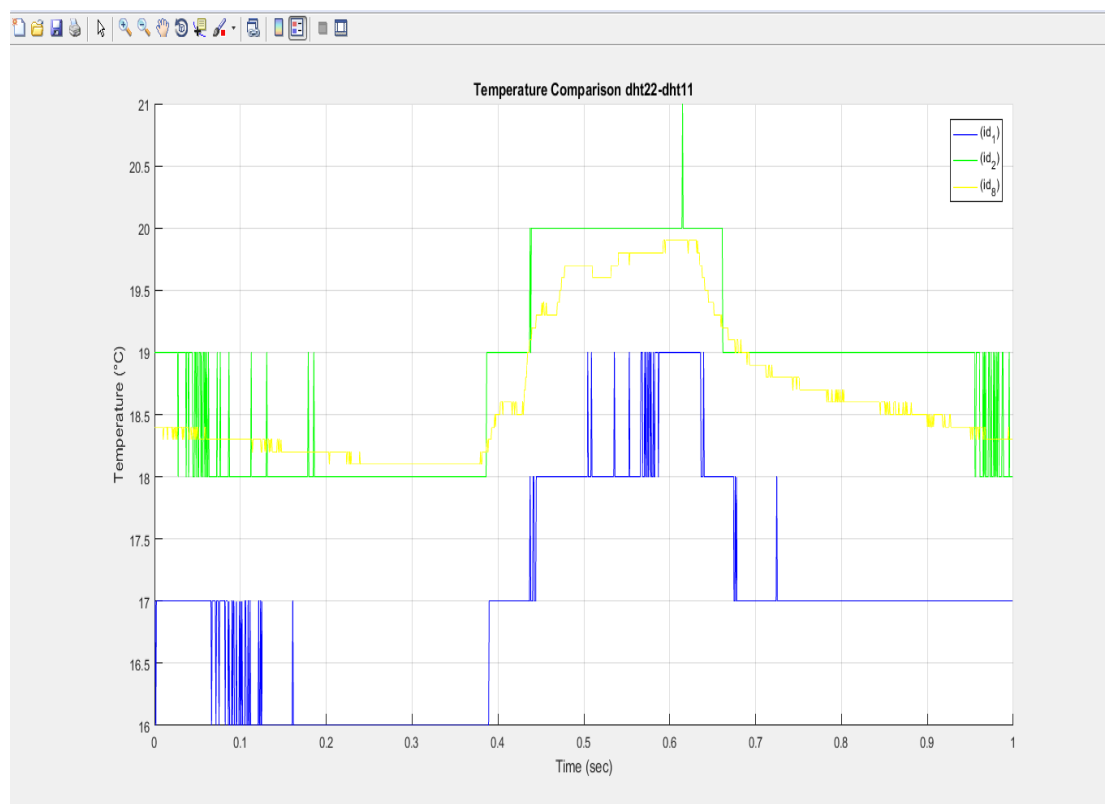


Εικόνα 40:DHT22-DHT11

Όπως φαίνεται στις καμπύλες και γνωρίζοντας ότι οι αισθητήρες DHT11 μπορούν να δώσουν ως ελάχιστη μεταβολή αυτή του 1°C οι αισθητήρες DHT11 λειτουργούν ικανοποιητικά σε σχέση με τον DHT22. Δίνουν δηλαδή τιμές με διαφορές μικρότερες η ίσες του 1°C από τις τιμές που δίνει ο DHT22 και ταυτόχρονα

μεταξύ των DHT11 αισθητήρων υπάρχουν αποκλίσεις της τάξεως του  $1^{\circ}\text{C}$  . Αυτό συμβαίνει για τις 31 από τις 66 ημερομηνίες των μετρήσεων. Οι 30 ημερομηνίες αφορούν ημερομηνίες μη έντονων διακυμάνσεων και η μία αφορά ημερομηνία έντονων διακυμάνσεων.

Οι υπόλοιπες 35 ημέρες μετρήσεων δίνουν μια μικρή αλλαγή στη συμπεριφορά του DHT11 με id\_1. Συγκεκριμένα ενώ ο αισθητήρας DHT11 με id\_2 συνεχίζει να δίνει τιμές κοντά στον DHT22 με μέγιστες αποκλίσεις αυτές του  $1^{\circ}\text{C}$ , ο DHT11 με id\_1 αισθητήρας άρχισε να δίνει τιμές συνήθως  $2^{\circ}\text{C}$  κάτω από τον DHT11 με id\_2 αλλά και τον DHT22. Αξίζει να σημειωθεί πως η μορφή της καμπύλης που εξάγει ο DHT11 με id\_1 εξακολουθεί να είναι ίδια με τη μορφή της καμπύλης των άλλων δύο DHT αισθητήρων, που σημαίνει πως αντιδρά παράλληλα με τους άλλους δύο αισθητήρες στις οποιοσδήποτε μεταβολές της θερμοκρασίας, δηλαδή του αισθητήρα DHT11 με id\_2 και του DHT22. Με τον DHT22 οι όποιες διαφοροποιήσεις στην καμπύλη οφείλονται στο γεγονός, του στατικού χαρακτηριστικού, της ευαισθησίας, που διαφέρει μεταξύ των αισθητήρων. Ακολουθεί μια ημερομηνία που περιγράφει τη συμπεριφορά αυτή του DHT11id\_1



Εικόνα 41: Απόκλιση DHT11id\_1

### **6.3.2 Σύγκριση DHT11 id\_1 και μέσης τιμής DS18B20 αισθητήρων.**

Η συμπεριφορά αυτή του συγκεκριμένου αισθητήρα έφερε προβληματισμό και αποφασίστηκε να διερευνηθούν τα πιθανά αίτια αυτής. Για το λόγο αυτό έγινε μια εκτενέστερη μελέτη, ώστε να ελεγχθεί αν η συγκεκριμένη συμπεριφορά οφείλεται σε συγκεκριμένες μεταβολές θερμοκρασιών ή ακόμη και σε συγκεκριμένες τιμές θερμοκρασίας. Έγινε σύγκριση λοιπόν όλων των μετρήσεων του DHT11 id\_1 αισθητήρα με τη μέση τιμή των DS18B20. Το αποτέλεσμα ήταν ότι ο αισθητήρας διατηρούσε αυτή τη συμπεριφορά δηλαδή τους  $-2^{\circ}\text{C}$  σε διάφορες τιμές θερμοκρασίας, για τις ίδιες τιμές θερμοκρασίας όμως άλλων ημερομηνιών συμφωνούσε με τους υπόλοιπους αισθητήρες. Παρατηρήθηκε επίσης και το γεγονός ότι κράταγε τη μία ή την άλλη συμπεριφορά, δηλαδή απόκλιση  $+2^{\circ}\text{C}$  ή πολύ κοντά στη μέση τιμή για συνεχόμενες ημέρες.

### **6.4 Συμπεράσματα μελέτης αισθητήρων μέσω της μεταξύ τους σύγκρισης.**

Αφού έγινε η επεξεργασία των τιμών όλων των αισθητήρων εξήχθη το συμπέρασμα ότι οι DHT11 αισθητήρες παρουσιάζουν μία μικρή αστάθεια στη συμπεριφορά τους χωρίς συγκεκριμένη αιτία. Η αστάθεια αυτή των αισθητήρων δεν ξεφεύγει από τα όρια που δίνει το φύλλο οδηγιών τους ακόμη και στις ακραίες μεταβολές της θερμοκρασίας. Συγκεκριμένα αφού αρχικά έγινε σύγκριση των δεδομένων των DS18B20 αισθητήρων μεταξύ τους μέσα από τις τιμές των μετρήσεων που έδωσε ο κάθε ένας από τους τρεις αποδείχτηκε τελικά πως όποια και αν είναι η μεταβολή της θερμοκρασίας οι τρεις αισθητήρες ανταποκρίνονται ταυτόχρονα, δηλαδή και οι τρεις αισθητήρες αντιδρούν ταυτόχρονα σε μείωση ή άνοδο της εξαγόμενης τιμής. Επίσης μέσα από τη σύγκριση που έγινε ανάμεσα στις τιμές αυτών των αισθητήρων φάνηκε πως η μέγιστη διαφορά στις τιμές που έδωσαν ήταν  $0,32^{\circ}\text{C}$ , δηλαδή μικρότερη από τους  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  που δίνει το datasheet. Τέλος όσον αφορά τους DS18B20 ο καθένας τους ακολουθεί μια σταθερή συμπεριφορά σε σχέση με τους υπόλοιπους DS18B20 αλλά και με τη μέση τιμή αυτών. Στη συνέχεια έγινε επεξεργασία των δεδομένων των DHT αισθητήρων και έγινε γρήγορα ξεκάθαρο πως ένας εκ των δύο DHT11 αισθητήρων παρουσιάζει μία μικρή αστάθεια στη συμπεριφορά. Δηλαδή, παρόλο που και στις 66 ημέρες που έχουν υποστεί επεξεργασία η καμπύλη που μας δίνουν οι μετρήσεις του dht11 με id\_1 είναι όμοια με τη μορφή της καμπύλης που μας δίνουν οι άλλοι αισθητήρες μόνο για τις 30 ημέρες.

Οι τιμές είναι πολύ κοντά ή σχεδόν όμοιες με τις τιμές των άλλων αισθητήρων. Τις υπόλοιπες 36 ημέρες οι τιμές απέχουν το μέγιστο επιτρεπτό από τις τιμές των άλλων αισθητήρων. Στη συνέχεια απομονώθηκαν τα δεδομένα του DHT11 id\_1 αισθητήρα και έγινε σύγκριση αυτών των δεδομένων με τη μέση τιμή ξεχωριστά, με σκοπό να διερευνηθεί η αιτία για αυτή τη συμπεριφορά του αισθητήρα. Δεν βρέθηκε κάποιος συγκεκριμένος παράγοντας, όσον αφορά τις τιμές της θερμοκρασίας ή τις μεταβολές, που να δημιουργεί λόγο για αυτή τη συμπεριφορά του αισθητήρα. Παρόλα αυτά όμως ο αισθητήρας δεν έδωσε τιμές που να μη συνάδουν με τα χαρακτηριστικά του που αναφέρονται στο φύλλο δεδομένων του. Λαμβάνοντας υπόψη πως η θερμική άνεση είναι ένας παράγοντας υποκειμενικός, καθώς επίσης και το γεγονός ότι πέρα από τη θερμοκρασία σημαντικός παράγοντας υπολογισμού της θερμικής άνεσης είναι και η υγρασία του χώρου στο επόμενο κεφάλαιο ακολουθεί μελέτη των τιμών της υγρασίας που έδωσαν οι αισθητήρες DHT11 και DHT22 για τις ίδιες ημερομηνίες.

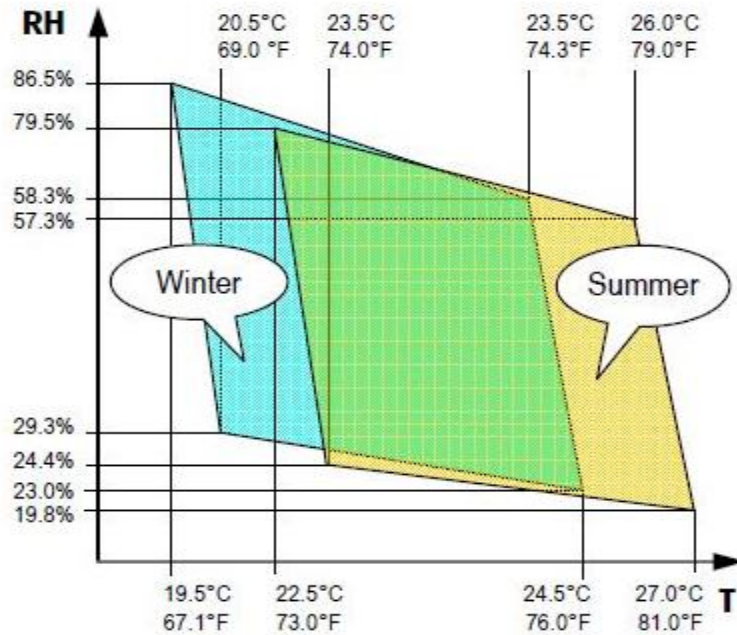


## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:Μελέτη της συμπεριφοράς αισθητήρων υγρασίας σε πραγματικές συνθήκες.**

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει παρουσίαση της συμπεριφοράς όσον αφορά την απόδοση των τιμών της υγρασίας των αισθητήρων σε κανονικές αλλά και ακραίες μεταβολές της θερμοκρασίας. Με αυτό τον τρόπο θα εξαχθούν συμπεράσματα αρχικά για το αν η λειτουργία των αισθητήρων κάτω από πραγματικές συνθήκες έχει όμοια χαρακτηριστικά με εκείνα που τους αποδίδονται βάση του φύλλου οδηγιών και στη συνέχεια θα εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά τη λειτουργία των αισθητήρων στην άντληση τιμών υγρασίας καθώς και για την χρήση των συγκεκριμένων αισθητήρων σε συστήματα ψύξης θέρμανσης.

### **7.1 Εισαγωγή**

Η θερμική άνεση επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες πέραν της θερμοκρασίας του χώρου. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάστηκαν οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση. Συνοπτικά οι παράγοντες μπορούν να χωριστούν σε προσωπικούς και περιβαλλοντικούς. Οι προσωπικοί παράγοντες περιλαμβάνουν την ένδυση και την προσωπική δραστηριότητα και κατάσταση, ενώ οι περιβαλλοντικοί παράγοντες περιλαμβάνουν τη θερμική ακτινοβολία, την ταχύτητα του αέρα, τη θερμοκρασία και την υγρασία. Η ταχύτητα του αέρα και η θερμική ακτινοβολία είναι παράγοντες εξωτερικοί και είναι δύσκολο να μετρηθούν και να ελεγχθούν η υγρασία λοιπόν είναι ένας σημαντικός παράγοντας που μπορεί να μετρηθεί. Σύμφωνα με το πρότυπο της ASHRAE παρουσιάζονται οι τιμές υγρασίας που είναι αποδεκτές ανάλογα με τις θερμοκρασίες και την εποχή του έτους. Όπως φαίνεται στο γράφημα το εύρος των τιμών της υγρασίας που είναι αποδεκτές για την επίτευξη της θερμικής άνεσης ανάλογα με την εποχή του έτους είναι μεγάλο. Αναλυτικότερα οι τιμές της υγρασίας που είναι αποδεκτές για την επίτευξη θερμικής άνεσης έχουν εύρος 0% έως 60% RH. <sup>[45]</sup> Το γεγονός αυτό δίνει τη δυνατότητα χρήσης και αισθητήρων μη υψηλής απόδοσης όσον αφορά τις μετρούμενες τιμές υγρασίας.



Εικόνα 42:Αποδεκτές τιμές υγρασίας βάση προτύπου ASHRAE

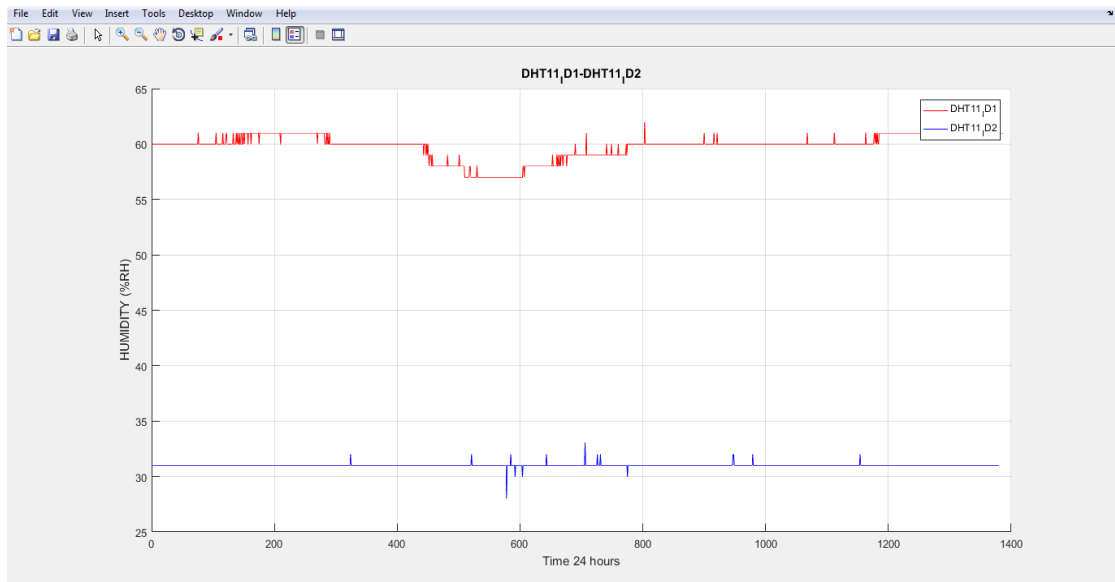
## 7.2 Αισθητήρες DHT11

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5 έγινε λήψη 264.530 τιμών υγρασίας για τις ημερομηνίες κατά τις οποίες επεξεργάστηκαν και οι τιμές της θερμοκρασίας. Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζεται το σύνολο των τιμών της υγρασίας που επεξεργάστηκαν ανά αισθητήρα τόσο για τις ημερομηνίες που η μεταβολή της θερμοκρασίας δεν είχε ακραίες διακυμάνσεις όσο και για τις ημερομηνίες όπου η μεταβολή είχε ακραίες διακυμάνσεις. Στην τελευταία στήλη και γραμμή του πίνακα παρουσιάζετε το σύνολο των μετρήσεων ανά κατηγορία.

ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ	Κανονικές μεταβολές (θερμοκρασίας) Υγρασία	Ακραίες μεταβολές (θερμοκρασίας) Υγρασία	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
DHT11id_1	80.058	8.298	88.356
DHT11id_2	79.653	8.256	87.909
DHT22id_8	79.975	8.290	88.265
ΣΥΝΟΛΟ	239.686	24.844	264530

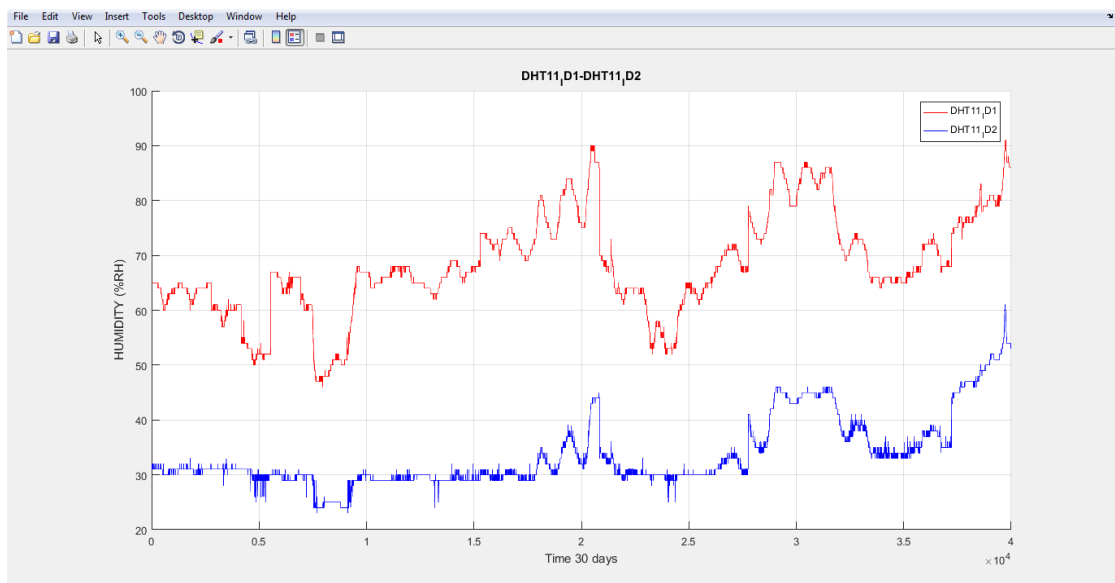
Πίνακας 6:Σύνολο τιμών υγρασίας

Όπως φαίνεται από το φύλλο δεδομένων του αισθητήρα η απόδοση της ακρίβειας του για τιμές υγρασίας από 20-90%RH είναι ίση με  $\pm 5\%RH$ . Συνεπώς οι αποκλίσεις μεταξύ των δύο DHT11 αισθητήρων δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερες από  $\pm 5\%RH$ . Στο παρακάτω plot εικόνα 43 απεικονίζονται οι καμπύλες των δύο DHT11 αισθητήρων για ένα εικοσιτετράωρο.



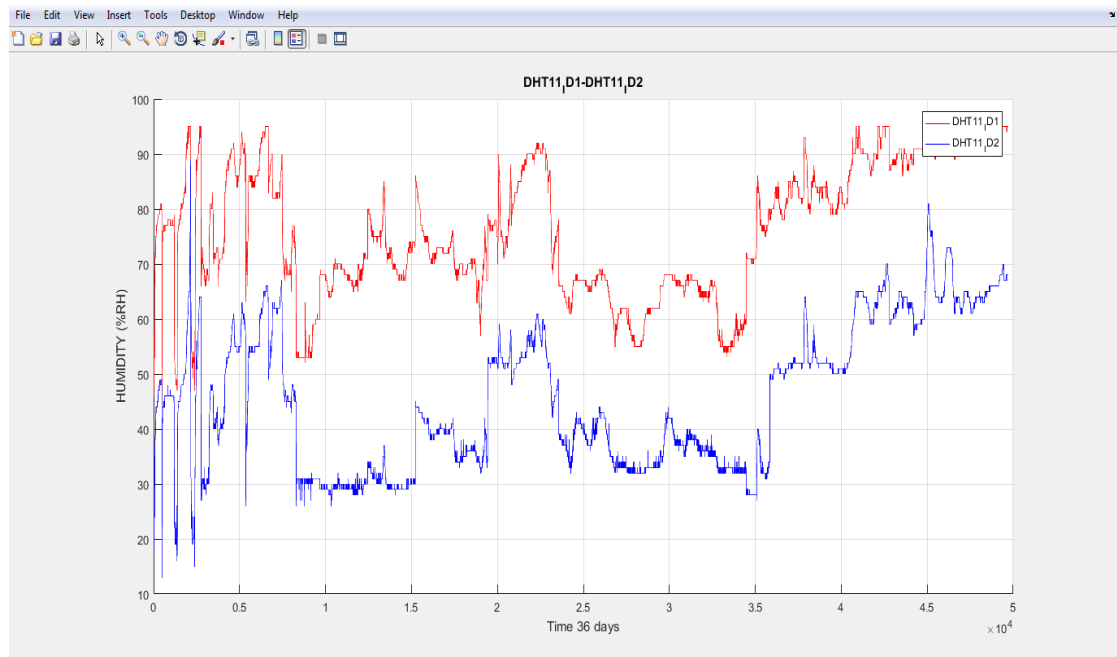
Εικόνα 43:Τιμές υγρασίας DHT11 αισθητήρων(24 ώρες)

Στην εικόνα 44 απεικονίζονται οι αποκλίσεις στις τιμές υγρασίας των δύο DHT11 αισθητήρων για το σύνολο των ημερομηνιών κατά τις οποίες οι θερμοκρασίες δεν είχαν ακραίες μεταβολές μεταξύ τους.



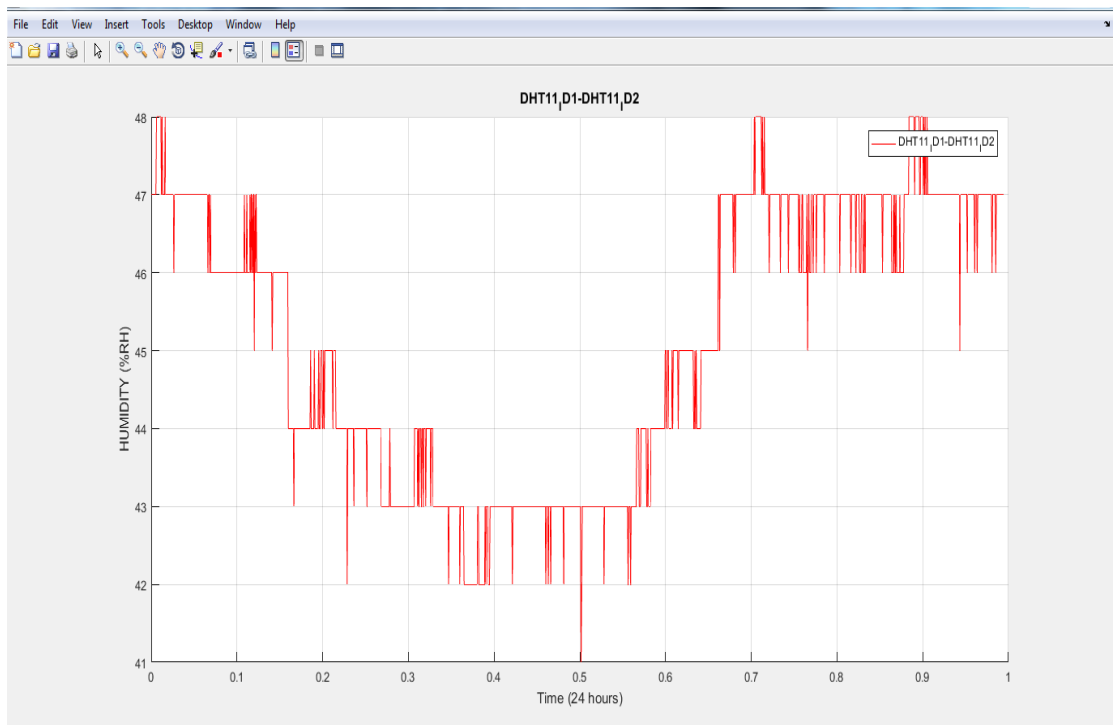
Εικόνα 44:Συμπεριφορά DHT11 σε ημερομηνίες με κανονικές μεταβολές θερμοκρασίας

Στη συνέχεια, εικόνα 45 παρουσιάζεται η συμπεριφορά των DHT11 αισθητήρων σε ημερομηνίες που υπήρχαν έντονες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.



Εικόνα 45:Σύνολο τιμών υγρασίας DHT11 για όλες τις ημερομηνίες με έντονες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας

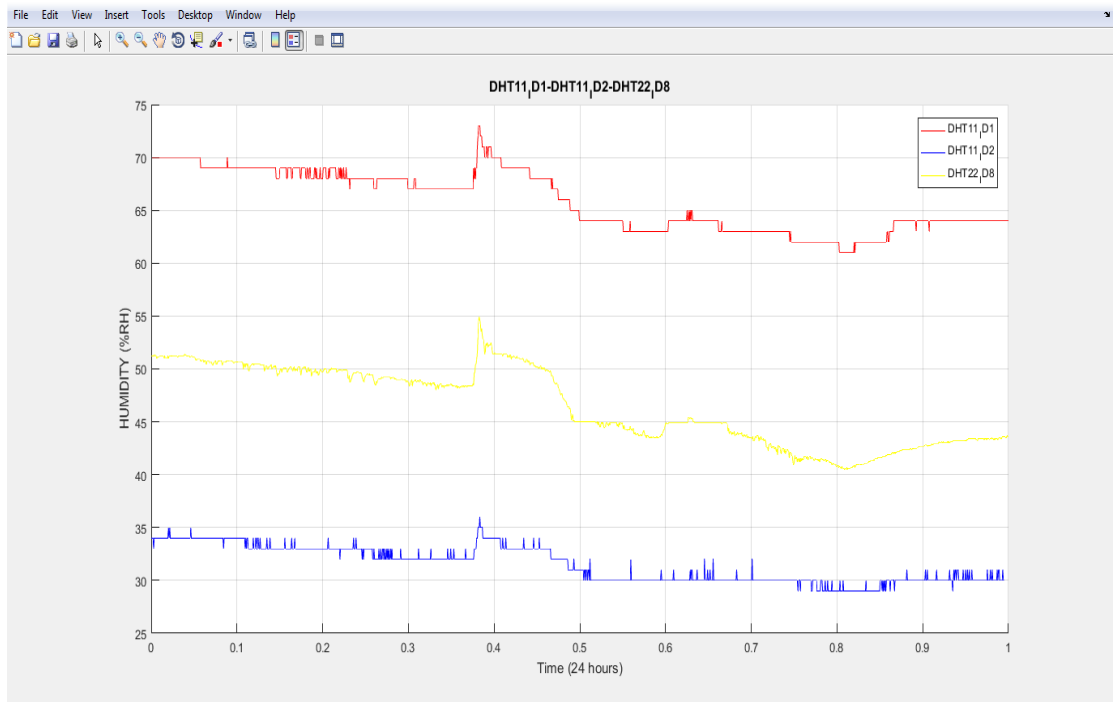
Όπως φαίνεται ξεκάθαρα στην απεικόνιση των καμπυλών στο matlab οι αποκλίσεις στις τιμές που δίνουν οι δύο αισθητήρες DHT11 με id1(κόκκινη καμπύλη) και id2(μπλε καμπύλη) είναι πολύ μεγαλύτερες του  $\pm 5\%RH$ . Αυτό συμβαίνει για το σύνολο των δεδομένων που έχουν επεξεργαστεί. Συμβαίνει όπως φαίνεται και στις καμπύλες, και για τις ημερομηνίες που η θερμοκρασία ακολουθεί κανονικές μεταβολές αλλά και για τις ημερομηνίες που η μεταβολές της θερμοκρασίας παρουσιάζουν απότομες διακυμάνσεις. Επίσης σημαντικό είναι και το γεγονός ότι οι αισθητήρες λειτουργούν σχεδόν παράλληλα σε οποιαδήποτε μεταβολή. Αντιλαμβάνονται και αποδίδουν δηλαδή τη μεταβολή της υγρασίας την ίδια χρονική στιγμή. Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η διαφορά σε RH% μεταξύ των αισθητήρων DHT11 με id1και id2. Αυτή η διαφορά με μικρές αποκλίσεις αφορά το σύνολο των τιμών που έχουν επεξεργαστεί.



Εικόνα 46: Απόκλιση μεταξύ των DHT11 αισθητήρων

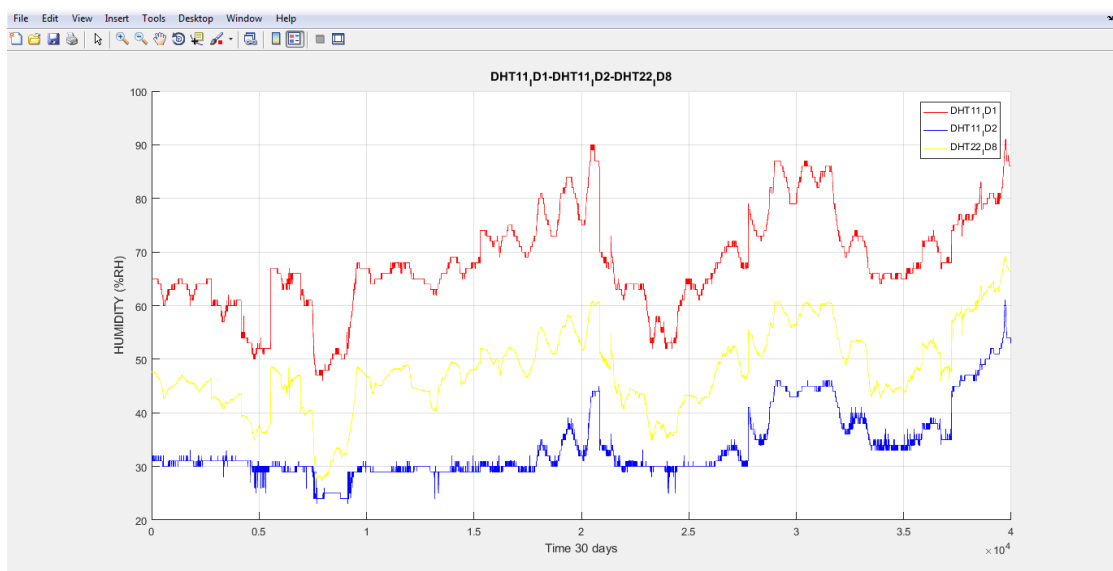
### 7.3 Αισθητήρας DHT22

Ο αισθητήρας DHT22 είναι ο αισθητήρας που χρησιμοποιείτε στα συστήματα ψύξης θέρμανσης. Οι τιμές της υγρασίας που μας έχει δώσει ο αισθητήρας DHT22 βρίσκονται πάντα ανάμεσα στις τιμές που δίνουν οι DHT11 αισθητήρες. Ακολουθεί και αυτός ο αισθητήρας παράλληλη συμπεριφορά με τους δύο αισθητήρες DHT11 σε οποιαδήποτε μεταβολή της θερμοκρασίας. Στο παρακάτω plot απεικονίζετε η συμπεριφορά του DHT22 αισθητήρα σε σχέση με τους δύο DHT11 σε μία τυχαία ημερομηνία. Αναλυτικότερα η κόκκινη καμπύλη απεικονίζει τη συμπεριφορά του DHT11 αισθητήρα με ID1 η μπλε καμπύλη απεικονίζει τη συμπεριφορά του DHT11 με ID2 και τέλος η κίτρινη τη συμπεριφορά του DHT22 με ID8.



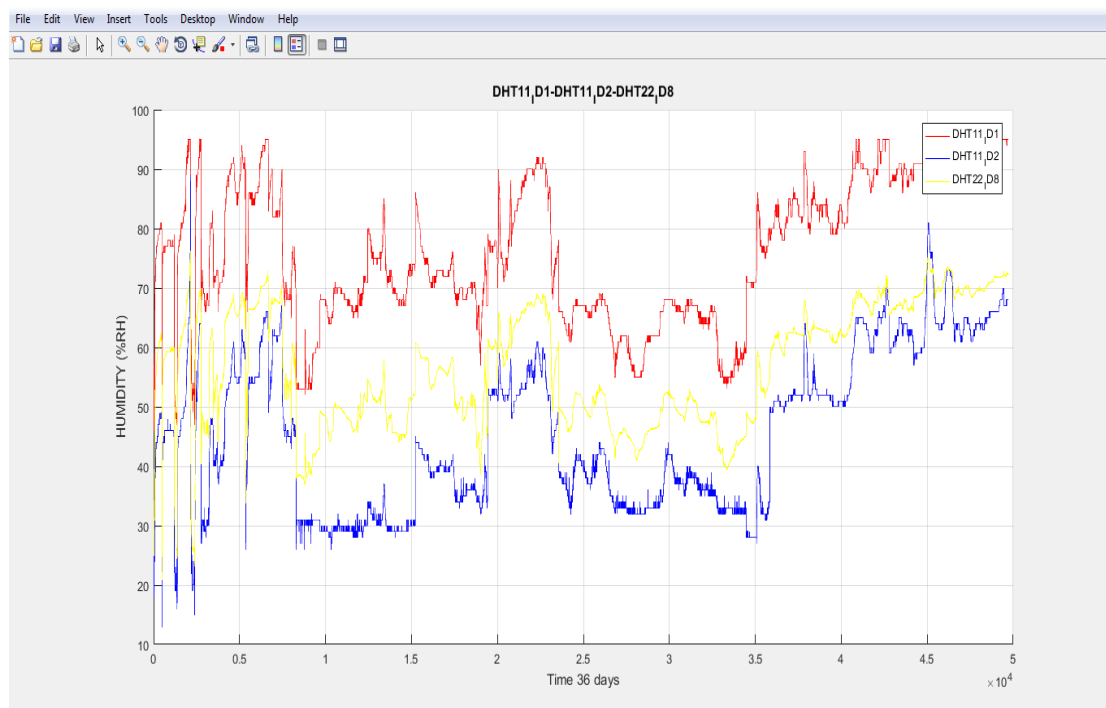
Εικόνα 47: DHT11\_ID1- DHT11\_ID2-DHT22\_ID8(24 ώρες)

Στη συνέχεια στην εικόνα 48 αποδίδεται η συμπεριφορά των τριών αισθητήρων για το σύνολο των ημερομηνιών όπου οι θερμοκρασίες δεν δίνουν απότομες αλλαγές από λεπτό σε λεπτό. Οι έντονες διακυμάνσεις στις καμπύλες οφείλονται στο γεγονός ότι το σύνολο των δεδομένων αφορά μη συνεχόμενα εικοσιτετράωρα.



Εικόνα 48: DHT11\_ID1-DHT11\_ID2-DHT22\_ID8(όλες οι ημερομηνίες που έχουν σταθερές μεταβολές θερμοκρασίας)

Στην εικόνα 49 παρουσιάζεται η συμπεριφορά των τριών αισθητήρων και για τις ημερομηνίες όπου η μεταβολές της θερμοκρασίας εντός του εικοσιτετραώρου παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις.



Εικόνα 49:Συμπεριφορά αισθητήρων για τις ημερομηνίες με ακραίες μεταβολές θερμοκρασίας

## 7.4 Συμπεράσματα

Αφού έγινε συλλογή και επεξεργασία 793.590 δεδομένων που αφορούν θερμοκρασία και υγρασία του χώρου, με τη χρήση έξι αισθητήρων συγκεκριμένα τριών αισθητήρων DS18B20, δύο DHT11 και ενός αισθητήρα DHT22, έχουν εξαχθεί χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά τη λειτουργία των αισθητήρων αυτών αλλά και τη χρήση τους σε συστήματα ψύξης θέρμανσης. Αναλυτικότερα επεξεργάστηκαν διεξοδικά τα στοιχεία θερμοκρασίας των αισθητήρων και αφού έγινε έρευνα για το αν η συμπεριφορά των αισθητήρων σε πραγματικές συνθήκες ανταποκρίνεται με το φύλλο οδηγιών του αισθητήρα ακολούθησαν οι συγκρίσεις των τιμών των αισθητήρων ίδιου τύπου αλλά και διαφορετικών μεταξύ τους τύπων αισθητήρων. Το αποτέλεσμα των συγκρίσεων αυτών είναι πως οι αισθητήρες όσον αφορά τη θερμοκρασία ανταποκρίνονται στα φύλλα οδηγιών τους και οι διαφορές στις μετρούμενες τιμές δεν είναι μεγαλύτερες από αυτές που ορίζουν τα φύλλα οδηγιών τους. Όσον αφορά τη θερμοκρασία οι αισθητήρες DHT11 μπορούν επάξια να αντικαταστήσουν τους DHT22 αισθητήρες. Στη μέτρηση της υγρασίας οι αισθητήρες

DHT11 δεν ακολουθούν τα χαρακτηριστικά που τους αποδίδονται βάση του φύλλου οδηγιών τους. Οι αισθητήρες όμως λειτουργούν παράλληλα και ανταποκρίνονται ταυτόχρονα σε οποιαδήποτε μεταβολή της υγρασίας. Στο σύνολο των δεδομένων και μετά από συγκρίσεις μεταξύ των αισθητήρων τα δεδομένα δείχνουν ότι το λάθος τείνει να είναι σταθερό χωρίς μεγάλες αποκλίσεις. Το χαρακτηριστικό αυτό των αισθητήρων μας δίνει τη δυνατότητα στη δοκιμαστική τους χρήση να γίνει βελτιστοποίηση των τιμών που δίνουν βάση της πραγματικής τιμής της υγρασίας, με αποτέλεσμα η τιμή που θα δίνουν τελικά οι αισθητήρες για την υγρασία του χώρου να είναι όμοια ή πολύ κοντά στην πραγματική τιμή της υγρασίας του χώρου. Εφόσον λοιπόν το εύρος των τιμών που είναι αποδεκτό για την επίτευξη της θερμικής άνεσης σύμφωνα με το πρότυπο της ASHRAE όσον αφορά την υγρασία είναι μεγάλο και οι αισθητήρες θα δίνουν τιμές πολύ κοντά στις πραγματικές που δεν επηρεάζουν τον παράγοντα θερμική άνεση συμπεραίνουμε εν κατακλείδι πως οι αισθητήρες DHT11 μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τη μέτρηση της υγρασίας χωρίς να δημιουργήσουν οποιοδήποτε πρόβλημα. Οι χρήσιμες των αισθητήρων DHT11 σε συστήματα HVAC μπορεί να μειώσει το κόστος των συστημάτων χωρίς να υπάρχει αντίστοιχη πτώση στην ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχουν τα HVAC συστήματα στο χρήστη.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Κέντρο εκπαιδευτικής έρευνας, available at: [http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher5\\_2.html](http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher5_2.html)
- [2]International energy agency (2017) ‘KEY WORLD ENERGY STATISTICS’ available at: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf>
- [3]Enerdata(2017) ‘Global Energy Statistical Yearbook 2017’. Available at: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>
- [4]ΠΥΘΜΙΣΤΙΚΗ ΑΡΧΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ(2018) ‘Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας’availableat: [http://www.rae.gr/site/categories\\_new/consumers/know\\_about/electricity/production.csp](http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/production.csp)
- [5]International Renewable Energy Agency (2017) ‘Accelerating the Global Energy Transition’ available at: [http://www.irena.org/IRENADocuments/COP23\\_Renewable\\_Energy\\_Day.pdf](http://www.irena.org/IRENADocuments/COP23_Renewable_Energy_Day.pdf)
- [6]Δούκας.Χ, Μαλαματένιου.Χ&Γκόνη.Ν(2017) ‘Ευρωπαϊκές πολιτικές εξοικονόμησης ενέργειας και αναβάθμισης κτηρίων’availableat:<https://www.alunet.gr/2017/01/4351v>
- [7]Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου( 2010) ‘ενεργειακή απόδοση των κτιρίων’available at:<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0031>
- [8]International Energy Agency(2011) ‘Energy-efficient Buildings: Heating and Cooling Equipment’ available at:[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/buildings\\_roadmap.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/buildings_roadmap.pdf)
- [9] Fagas.G, Gallagher.J,Gammaitoni.L&Douglas.P,(2017) ‘Energy Concepts for Energy Efficiency and Sustainability’ available at: <https://www.intechopen.com/books/ict-energy-concepts-for-energy-efficiency-and-sustainability>
- [10]Andrae.A, Edler.T(2015) ‘On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030’ available at:<http://www.mdpi.com/2078-1547/6/1/117>
- [11]Delzendeh.E, Wua.S, Leea.A,&Zhou.Y(2017) ‘The impact of occupants’ behaviours on building energy analysis: A researchReview’ available at:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117309061>
- [11] Wang, S. (2010). Intelligent buildings and building automation. London: Spon Press.
- [12] De Groote.M, Volt.J& Bean.F(2017) ‘SMART BUILDINGS DECODED’. Buildings Performance Institute Europe (BPIE).available at: [http://bpie.eu/wp-content/uploads/2017/06/PAPER-Smart-buildings-decoded\\_05.pdf](http://bpie.eu/wp-content/uploads/2017/06/PAPER-Smart-buildings-decoded_05.pdf)
- [13] King.J, Perry.C(2017), ‘Smart Buildings: Using Smart Technology to Save Energy in Existing Buildings’,available at: <http://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2017/02/a1701>.
- [14]BUILDINGS smarter facility management (2015) ‘How Smart Buildings Save Energy’available at:<https://www.buildings.com/article-details/articleid/19537/title/how-smart-buildings-save-energy>
- [15] De Groote.M, Volt.J& Bean.F(2017) ‘SMART BUILDINGS DECODED’. Buildings Performance Institute Europe (BPIE).available at: [http://bpie.eu/wp-content/uploads/2017/06/PAPER-Smart-buildings-decoded\\_05.pdf](http://bpie.eu/wp-content/uploads/2017/06/PAPER-Smart-buildings-decoded_05.pdf)[Accessed 13 February 2018]
- [16] Moreno.M, Dufour.L, Skarmeta.A, Jara.A,Genoud.D ·Ladevie.B,Bezian.J(2015) ‘Big data: the key to energy efficiency in smart buildings’.available at: <https://www.springerprofessional.de/en/big-data-the-key-to-energy-efficiency-in-smart-buildings/5275970>[Accessed 13 February 2018]

- [17] Salikhov.D, Khanda.K, Gusmanov.K, Mazzara.M & .Mavridis.N(2017)' Microservice-based IoT for Smart Buildings', available at: [https://www.researchgate.net/publication/317071842\\_Microservice-Based\\_IoT\\_for\\_Smart\\_Buildings](https://www.researchgate.net/publication/317071842_Microservice-Based_IoT_for_Smart_Buildings) [Accessed 13 February 2018]
- [18] De Groote.M, Volt.J& Bean.F(2018) 'Opening the door to smart buildings in the EU'. Buildings Performance Institute Europe (BPIE)available at: <http://www.globalcement.com/magazine/articles/1056-opening-the-door-to-smart-buildings-in-the-eu>
- [19]TechTarget, HVAC (heating, ventilation, and air conditioning).available at: <http://searchdatacenter.techtarget.com/definition/HVAC>
- [20] BusinessDictionary(2018)'HVAC' available at: <http://www.businessdictionary.com/definition/HVAC.html>
- [21]FLORIDA SOLAR ENERGY CENTER(2007-2014) 'HVAC systems'. Available at: <http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/buildings/commercial/hvac.htm>
- [22] Bob(2018) 'What is HVAC and What Does it Stand For? Meaning and Definition'HVAC training available at:<https://hvactraining101.com/what-does-hvac-mean/>
- [23]King.J, Perry.C(2017) ' Smart Buildings: Using Smart Technology to Save Energy in Existing Buildings' Report A1701 available at: <http://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2017/02/a1701.pdf>
- [24] Belic.F,(2015) 'HVAC Control Methods - A review', available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/ad41/18aa6b372bd11de0645b66a5da096c682c92.pdf>
- [25] Viswambharan.A, Patidar.S,Saxena.K(2014) 'sustainable HVAC systems in Commercial And Residential Buildings' available at: <http://www.ijsrp.org/research-paper-0414/ijsrp-p2892.pdf>
- [26] Zhang.X, Shi.W, Yan.B, Malkawi.A & Li.N,(2017) Decentralized and Distributed Temperature Control via HVAC Systems in Energy Efficient Buildings available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7905980/>
- [27]Keightley.D,(2017) 'Using IoT and Cloud Based Analytics to Maximise HVAC Efficiency and Occupant Comfort and Safety' available at: <http://ecospectral.com/wp-content/uploads/2017/09/AIRAH-Conference-2017-Paper-Using-IoT-and-Cloud-Based-Analytics-to-Maximise-HVAC-Efficiency-and-Occupant-Comfort-and-Safety.pdf>
- [28] Parisio.A, Molinari.M, Varagnolo.D & Johansson.K ,(2017)Energy Management Systems for Intelligent Buildings in Smart Grids.available at: [https://scholar.google.gr/scholar?q=Energy+Management+Systems+for+Intelligent+Buildings+in+Smart+Grids&hl=el&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholar&sa=X&ved=0ahUKEwjmjqHb5aPZAhWJh6YKHXX-CsoQgQMILzAA](https://scholar.google.gr/scholar?q=Energy+Management+Systems+for+Intelligent+Buildings+in+Smart+Grids&hl=el&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar&sa=X&ved=0ahUKEwjmjqHb5aPZAhWJh6YKHXX-CsoQgQMILzAA)
- [29] Berquistl.J,Tessier.A, O'Brien.W, Attar.R, & Khan.A(2017) 'An Investigation of Generative Design for Heating,Ventilation, and Air-Conditioning'available at: [https://scholar.google.gr/scholar?q=An+Investigation+of+Generative+Design+for+Heating,+Ventilation,+and+Air-Conditioning&hl=el&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholar&sa=X&ved=0ahUKEwiZwOC858HZAhVMjqQKHRisCuoQgQMIJDAA](https://scholar.google.gr/scholar?q=An+Investigation+of+Generative+Design+for+Heating,+Ventilation,+and+Air-Conditioning&hl=el&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar&sa=X&ved=0ahUKEwiZwOC858HZAhVMjqQKHRisCuoQgQMIJDAA)
- [30]Feng.L,Mears.L,(2015) 'ANALYSIS OF HVAC ENERGY IN AUTOMOTIVE PAINT SHOP' available at: [https://www.researchgate.net/publication/281065404\\_Analysis\\_of\\_HVAC\\_Energy\\_in\\_Automotive\\_Paint\\_Shop](https://www.researchgate.net/publication/281065404_Analysis_of_HVAC_Energy_in_Automotive_Paint_Shop)
- [31]Παπαδόπουλος.Μ,(2006) 'Θερμική Άνεση στα Κτίρια. Νέα Πρότυπα και Βελτίωση Θερμικής Άνεσης στα Κτίρια' ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ available at: [https://repository.edulll.gr/edulll/bitstream/10795/1497/1/1497\\_01.pdf](https://repository.edulll.gr/edulll/bitstream/10795/1497/1/1497_01.pdf)
- [32] ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - Υ.Π.ΕΝ (2017) 'ΤΕΧΝΙΚΗ

ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017'

available

at:[http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC\\_WORK/GR\\_ENERGEIAS/kenak/files/TOTEE\\_20701-1\\_2017\\_TEE\\_1st\\_Edition.pdf](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/GR_ENERGEIAS/kenak/files/TOTEE_20701-1_2017_TEE_1st_Edition.pdf)

[33] Υπουργό Εργασίας, Πρόνοιας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων (2014) Κώδικας Πρακτικής για την Ποιότητα του Αέρα Εσωτερικού Χώρου .available at:  
[http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dliup.nsf/AA15464D2FE5770FC2257E0A003C76A3/\\$file/POIOTHHTA\\_A\\_AERA.pdf](http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dliup.nsf/AA15464D2FE5770FC2257E0A003C76A3/$file/POIOTHHTA_A_AERA.pdf)

[34] McGrath.M,Scanail.C(2013) 'Sensor Technologies', Healthcare wellness and Environmental Applications, Intel Labs Europe

[35] Kalantar-zadeh.K,(2013) Sensors: An Introductory Course, DOI10.1007/978-1-4614-5052-8\_3 Springer Science+Business Media New York

[36] Rowe.M,( 2013) Sensor basics: Types, functions and applications available at:  
<https://www.edn.com/design/test-and-measurement/4420987/Sensor-basics--Types--function-and-applications>

[37] Καλόμοιρος.Ι, Μπουλταδάκης.Σ, Πεταλάς.Ι, Έλεγχος Κυκλωμάτων και μετρήσεων με Η/Υ.

[38] Ahuja.D,Parande.D(2012) "Optical sensors and their applications" available at:  
<https://pdfs.semanticscholar.org/9d64/240abbe54d7147a56fa5d660f69dcc0a632b.pdf>

[39]Sydenham.P,(2000) "Static and Dynamic Characteristics of Instrumentation."University of South Australia

[40] Fraden.J,(2010) Handbook of Modern Sensors, Physics, Designs, and Applications Springer New York Heidelberg Dordrecht London

[41]Morris.A,(2001) 'Measurement & Instrumentation Principles, Jordan Hill, Oxford''

[42] Maxim Integrated Products. Inc,( 2015) "datasheet" available at:  
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

[43] Thomas Liu , Aosong Electronics Co.,Ltd "datasheet" available at:  
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>

[44] DHT11 Humidity & Temperature Sensor, available at: <https://www.mouser.com/ds/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>

[45] Determining Thermal Comfort Using a Humidity and Temperature Sensor(2014), available at:  
<https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=487>