



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

## ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΓΕΩΡΓΙΟΥ Π. ΑΛΕΒΙΖΟΥ

**Επιβλέπων :** Μαρία – Παρασκευή Ιωαννίδου

Καθηγήτρια

Αθήνα, Ιούλιος 2013





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

## ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΓΕΩΡΓΙΟΥ Π. ΑΛΕΒΙΖΟΥ

**Επιβλέπων :** Μαρία – Παρασκευή Ιωαννίδου  
Καθηγήτρια

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 9<sup>η</sup> Ιουλίου 2013.

.....  
Μαρία – Παρασκευή Ιωαννίδου  
Καθηγήτρια

.....  
Νικόλαος Θεοδώρου  
Καθηγητής

.....  
Παναγιώτης Τσαραμπάρης  
Λέκτορας

Αθήνα, Ιούλιος 2013

.....  
Γεώργιος Π. Αλεβίζος

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

Copyright © Γεώργιος Αλεβίζος, 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Μαρία – Παρασκευή Ιωαννίδου, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π. που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα και με καθοδήγησε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διπλωματούχο Ηλεκτρολόγο Μηχανικό Ευθύμιο Καραλή, καθώς οι υποδείξεις και η βοήθειά του ήταν απαραίτητες για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ τους ΑΝεξάρτητους Αριστερούς Φοιτητές Ηλεκτρολόγους, γιατί κατάφεραν το πέραςμα απ' το ελληνικό πανεπιστήμιο να μη σου διδάσκει τον επιστημονισμό και την προσμονή της καριέρας, αλλά τη συντροφικότητα, την αλληλεγγύη, τον αγώνα για μια καλύτερη κοινωνία. Για όσα ζήσαμε αυτά τα χρόνια, μα περισσότερο για το ότι μου έδωσαν αυτόν τον τρόπο να βλέπω τα πράγματα. Το πραγματικό μάθημα εξακολουθεί να γίνεται στους δρόμους, και εκεί θα τα ξαναπούμε.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται το πρόβλημα της εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια. Το συγκεκριμένο ζήτημα αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες στο συνολικότερο ενεργειακό πρόβλημα του πλανήτη, καθώς τόσο από τη μεριά της οικολογικής διαχείρισης, όσο και από αυτή της λελογισμένης κατανάλωσής της, αυτή τη στιγμή η καλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια αποτελεί προτεραιότητα.

Αρχικά παρουσιάζονται οι πτυχές του ίδιου του ενεργειακού προβλήματος. Η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας, ιδιαίτερα στον κτιριακό τομέα, και ειδικότερα και στην Ελλάδα (λόγω συγκεκριμένων ιδιοτεροτήτων του κτιριακού της αποθέματος) δημιουργεί την ανάγκη ανάπτυξης πληθώρας μεθόδων εξοικονόμησης. Αυτές θα μπορούσαν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: τις μόνιμες και κατασκευαστικές διορθώσεις, αυτές που αφορούν δηλαδή τον ίδιο τον κορμό του σπιτιού και το επαναφέρουν στις σύγχρονες προδιαγραφές για την κατασκευή κτιρίων (πχ θερμομονώσεις, αντικαταστάσεις θέρμανσης) και στους αυτοματισμούς ελέγχου των λειτουργιών που καταναλώνουν ενέργεια. Σε ότι αφορά το πρώτο κομμάτι, μπορούμε κι εκεί να δούμε δύο κατηγορίες: τη διόρθωση των ήδη υπάρχοντων κτιρίων, είτε την κατασκευή καινούριων σύμφωνα με μια πιο οικολογική λειτουργία: τη δημιουργία δηλαδή του «πράσινου» σπιτιού, σπιτιού φιλικού στο περιβάλλον.

Το βασικότερο σημείο, ωστόσο, που όλες οι αναλύσεις στέκονται γύρω απ' την εξοικονόμηση ενέργειας είναι ο αυτοματισμός όλων των λειτουργιών ενός κτιρίου, η δημιουργία του λεγόμενου «έξυπνου» σπιτιού. Αυτό προϋποθέτει την ανάπτυξη συγκεκριμένων συστημάτων ελέγχου, που να μπορούν αυτόματα να καθορίζουν τη λειτουργία τους ανάλογα με την αλλαγή του περιβάλλοντος και γενικά των εξωτερικών συνθηκών, αλλά και να δικτυώνονται μεταξύ τους. Μια σειρά τεχνολογιών για τη δημιουργία τέτοιων συστημάτων παρουσιάζονται συνοπτικά.

Βασικά στοιχεία στην ανάπτυξη των συστημάτων ελέγχου αποτελούν οι αισθητήρες. Είναι τα στοιχεία εκείνα που επιτρέπουν την αλληλεπίδραση με το εξωτερικό περιβάλλον, αυτά που καθορίζουν την αρχή λειτουργίας ενός συστήματος ελέγχου. Τα είδη των αισθητήρων αναπτύσσονται στη συνέχεια της εργασίας, παρατηρώντας ότι ποικίλλουν ανάλογα με τη λειτουργία τους και τη συγκεκριμένη χρήση τους.

Εξίσου βασικό κομμάτι αποτελούν οι μικροεπεξεργαστές. Στην πραγματικότητα, αυτοί περιλαμβάνουν τόσο το κομμάτι της πιο εύκολης εκτέλεσης των ενεργειών ελέγχου ενός συστήματος ελέγχου αλλά και το κομμάτι της δικτύωσης των διαφορετικών συστημάτων ελέγχου ενός κτιρίου. Γι' αυτό το λόγο, παρουσιάζεται η λειτουργία και η δομή τους, καθώς και οι μικροελεγκτές, κατηγορία μικροεπεξεργαστών με ειδική εφαρμογή στα συστήματα ελέγχου.

Τέλος, παρουσιάζεται η πειραματική διάταξή μας, ένα σύστημα ελέγχου παραθύρων (με εφαρμογή και σε άλλες λειτουργίες ωστόσο) που βάσει αισθητήρων και του μικροελεγκτή Arduino ελέγχει τη θερμοκρασία και ανάλογα ανοίγει ή κλείνει τα παράθυρα. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να εξοικονομεί ενέργεια για τη θέρμανση του σπιτιού, ή να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες εφαρμογές (κλιματισμός κτλ).

Λέξεις Κλειδιά: εξοικονόμηση ενέργειας, κτίρια, αυτοματισμός, έλεγχος, μικροεπεξεργαστές, αισθητήρες

## ABSTRACT

In the present paper we study the problem of conservation of energy. This problem is one of the most important factors of the whole energy problem, because both ecological management and more efficient energy consumption refer to it, establishing as a priority for us.

In the first place, I present the facet of the energy problem. The increased consumption of energy, especially in buildings and particularly in Greece (due to specific characteristics of its buildings and their construction) increases the demand for several methods of energy conservation. These methods could be easily sorted to two categories: the permanent and constructive methods, who concern the main body of the building (for example insulation, replacement of heating) and the control systems for all the energy functions. Also, we can see there are two types of permanent methods: those who fix a present building, and the construction of new buildings with better ecological behaviour, such as the construction of “green” buildings, which are buildings friendly to the environment.

The most basic part according to energy conservation is the automation of all the functions of a building, which leads us to the construction of the “smart” house. This involves the development of specific control systems, who can automatically set their functions according to the environmental conditions, and also communicating between them using a sort of network. I present several technologies of creating such control systems.

A basic part of development of control systems are sensors. Sensors are those elements who allow the communication of systems with the environment and set their function. In this paper, I present all the types of sensors, mentioning that they diversify due to their function and specific use.

A great part of control systems are microprocessors. Actually, microprocessors offer an easier way of performing the activities of a control system and the bonnection between the different systems. I present their function and their configuration, presenting microcontrollers too, as they are used very often in control systems in buildings and I use one in the experiment of this paper.

The last part of this paper presents my experiment. It is a system that controls opening and closing windows (and can be used in several other operations too). Using sensors and the microcontroller Arduino, it controls temperature and opens or closes the window. In this way, we can conserve energy for heating, or using this systems in other operation (air-conditioning etc).

Keywords:

energy saving , buildings, automation, control, microprocessors, sensors



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.2 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ	12
1.3 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	14
1.4 ΟΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ	21
1.5 ΤΟ "ΠΡΑΣΙΝΟ" ΣΠΙΤΙ	24

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΕ ΣΠΙΤΙΑ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΣΠΙΤΙ	35
2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ	37
2.2.1. ΜΟΡΦΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	38
2.2.2. ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΚΚΙΝΗΣΗ	44
2.2.3. ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	45
2.2.4. ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ	47

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

3.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	51
3.1.1. ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	52
3.1.2. ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	58
3.2. ΕΙΔΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	58
3.2.1. ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΙ, ΧΩΡΗΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	58
3.2.2. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ LASER	59
3.2.3. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΠΙΕΣΕΩΣ	60
3.2.4. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	62
3.2.5. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΣΤΑΘΜΗΣ	63
3.2.6. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ	65
3.2.7. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	65
3.2.8. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ	65
3.3. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	66
3.3.1. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΕΠΑΦΗΣ	66
3.3.1.1. ΘΕΡΜΟΖΕΥΓΗ	66
3.3.1.2. ΑΝΤΙΣΤΑΤΕΣ	68
3.3.1.3. ΘΕΡΜΙΣΤΟΡΣ	69
3.3.1.4. ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	72
3.3.1.5. ΚΡΥΟΓΕΝΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	72
3.3.1.6. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	73
3.4.2. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΕΞ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΣ	73

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : ΜΙΚΡΟΠΕΞΕΡΓΑΣΤΕΣ

4.1. ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ	75
4.1.1. ΧΡΗΣΙΜΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ	76
4.1.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΒΑΣΕΙ ΑΡΙΘΜΟΥ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ	76

4.2. ΜΙΚΡΟΠΕΞΕΡΓΑΣΤΕΣ	77
4.2.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΜΙΚΡΟΠΕΞΕΡΓΑΣΤΕΣ	77
4.2.2. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΛΟΓΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ	79
4.2.3. ΜΟΝΑΔΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	81
4.2.4. ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΕΣ	82
4.2.5. ΔΙΑΥΛΟΙ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ/ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ/ΕΛΕΓΧΟΥ	83
4.2.6. ΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ	85
4.3. ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΕΣ	87
4.3.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΕΣ	87
4.3.2. ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΕΣ ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΜΙΚΡΟΠΕΞΕΡΓΑΣΤΕΣ	88
4.3.3. ΕΙΔΗ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΩΝ	88
4.3.4. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ VON NEUMANN	89
4.3.5. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ HARVARD	89
4.3.6. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ CISC	90
4.3.7. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ RISC	90
4.3.8. ΒΑΣΙΚΗ ΔΟΜΗ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ	90
4.3.9. ΤΑ ΒΑΣΙΚΟΤΕΡΑ ΕΙΔΗ ΜΝΗΜΗΣ	92
4.3.10. ΔΙΑΥΛΟΣ	93
4.3.11. ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΙΣΟΔΟΥ/ΕΞΟΔΟΥ (I/O)	93
4.3.12. ΣΕΙΡΙΑΚΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ	93
4.3.13. ΜΟΝΑΔΑ ΧΡΟΝΙΣΜΟΥ (TIMER)	94
4.3.14. ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΑΠΟ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ ΣΕ ΨΗΦΙΑΚΟ (ADC)	94
4.3.15. ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΟΠΤΕΙΑΣ ΧΡΟΝΙΣΜΟΥ (WATCHDOG TIMER)	94
4.3.16. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΩΝ	95

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

5.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	97
5.2. ΤΟ ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ LM35	97
5.3. Ο ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ ARDUINO	99
5.3.1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ARDUINO	99
5.3.2. ΓΙΑΤΙ ARDUINO?	100
5.3.3. ΤΟ HARDWARE ΤΟΥ ARDUINO	101
5.3.4. ΟΙ ΑΚΡΟΔΕΚΤΕΣ ΤΟΥ ARDUINO	101
5.3.5. ΜΝΗΜΗ	102
5.3.6. ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ	102
5.3.7. ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ	103
5.3.8. ΑΥΤΟΜΑΤΗ SOFTWARE ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	103
5.3.9. USB ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΥΠΕΡΤΑΣΗ	104
5.3.10. ΠΕΡΙΒΑΛΟΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	104
5.4. Η ΓΕΦΥΡΑ H-BRIDGE L293D	104
5.5. ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	106
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	 111

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

### 1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις μέρες μας, οποιαδήποτε κουβέντα γύρω απ' το ζήτημα της ενέργειας, αντικειμενικά καταλήγει να περιστρέφεται γύρω από δύο βασικά ζητήματα: το πρόβλημα της εξοικονόμησης και διαχείρισής της, καθώς και την οικολογική χρήση της. Έπειτα από δεκαετίες που τα τεχνολογικά επιτεύγματα άνοιγαν νέους δρόμους στην αξιοποίηση των ενεργειακών αποθεμάτων, τα τελευταία χρόνια το ενεργειακό πρόβλημα, μαζί με το πρόβλημα της ρύπανσης του περιβάλλοντος, έχουν αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία και η επίλυσή τους έχει γίνει επιτακτική σε παγκόσμιο επίπεδο.

Βασικό κριτήριο αυτής της συζήτησης αποτελεί η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας και πιο ορθολογικής χρήσης της χωρίς να μειώνουμε τα επίπεδα διαβίωσής μας. Ας μην ξεχνάμε ότι πλέον όλες οι όψεις της καθημερινότητάς μας στηρίζονται στην κατανάλωση ενέργειας, και η χρήση ολοένα και περισσότερων νέων εφαρμογών (η καθημία στηριζόμενη και σε διαφορετικές μορφές ενέργειας) έκανε τη ζωή μας πιο άνετη και μια σειρά από εργασίες πολύ πιο εύκολες. Ωστόσο, σήμερα μπορούμε να πούμε πως οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας είναι σημαντικές σε όλους τους τομείς, όπως στις μεταφορές, τη γεωργία, τη βιομηχανία, στα κτίρια του οικιακού ή τριτογενή τομέα, στον ενεργειακό τομέα (π.χ. στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής) κλπ. Εκμεταλλευόμενοι νέα συστήματα υψηλής τεχνολογίας βελτιωμένων αποδόσεων, τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), τον καλύτερο σχεδιασμό συστημάτων, τους αυτοματισμούς κ.α., μπορούμε να πετύχουμε και τους δύο στόχους, δηλαδή μείωση της κατανάλωσης ενέργειας με ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος.

Προφανώς, ένα μεγάλο κομμάτι της εξοικονόμησης ενέργειας αφορά την καλύτερη χρήση των συμβατικών καυσίμων. Πρώτα απ' όλα, η ρύπανση του περιβάλλοντος συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με τη χρήση τους, κάτι που έχει αναλυθεί πάρα πολλές φορές. Επίσης, η συνεχής εκμετάλευσή τους σε όλους τους τομείς έχει ήδη διεγείρει ερωτήματα γύρω απ' τα αποθέματα που υπάρχουν και τη διαθεσιμότητα καυσίμων τα επόμενα χρόνια. Μπορεί οι προβλέψεις να διαφέρουν, αλλά είναι δεδομένο ότι η συνέχιση της ίδιας αλόγιστης χρήσης τους θα καταλήξει στην εξάντλησή τους.

Ωστόσο, στην παρούσα διπλωματική δε θα αναλύσουμε τόσο το ζήτημα των καυσίμων (όπως συνήθως αναλύεται απ' την οικολογική και την οικονομική σκοπιά εδώ και πολλά χρόνια), όσο γενικά της εξοικονόμησης ενέργειας όποια μορφή και αν έχει αυτή. Δηλαδή τόσο της καλύτερης χρήσης των συμβατικών καυσίμων (αναλογικά και με το περιβάλλον) αλλά και οποιουδήποτε άλλου φυσικού πόρου για να επιτύχουμε το καλύτερο και πιο αποδοτικό αποτέλεσμα.

Στα πλαίσια αυτά, θα δούμε κάποιες βασικές ορίζουσες του προβλήματος σε

ότι αφορά την προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια. Ήδη τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη τεχνολογικών ευρημάτων γύρω απ' το λεγόμενο «έξυπνο σπίτι», δηλαδή κτίριο με αυτοματοποιημένα συστήματα εξοικονόμησης και διαχείρισης ενέργειας, είναι αλματώδης δείχνοντας πως στον κτιριακό τομέα οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας παραμένουν πολύ μεγάλες. Αρχικά θα δούμε γενικά στοιχεία γύρω από την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων στην Ελλάδα, κάποιες μόνιμες κατασκευαστικές μεθόδους εξοικονόμησης και έπειτα θα μπούμε στο ζήτημα των αυτοματοποιημένων λύσεων και των συστημάτων ελέγχου.

## 1.2. Κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια

Στα κτίρια, πρώτος στόχος μας είναι οι εσωτερικοί χώροι να πληρούν τις απαιτούμενες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας, αερισμού, επίπεδα φωτισμού, χρωμάτων, θορύβων ή άλλων ενοχλήσεων και ποιότητας αέρα. Στόχος μας είναι η επίτευξη των επιθυμητών επιπέδων για όλες αυτές τις παραμέτρους, έτσι ώστε ο χρήστης των χώρων αυτών να βρίσκεται σε ένα περιβάλλον που προσφέρει τις κατάλληλες συνθήκες διαβίωσης ή εργασίας, με ορθολογική χρήση ενέργειας. Ένα καλό εσωτερικό περιβάλλον σημαίνει θερμική άνεση, οπτική άνεση, ακουστική άνεση, μέσα σε ένα υγιεινό περιβάλλον, δηλαδή με την κατάλληλη ποιότητα αέρα όπως αυτό γίνεται αισθητό μέσω του δέρματος (θερμοκρασία, υγρασία, κίνηση αέρα), τα μάτια (επίπεδα φωτισμού και θερμοκρασιακές μεταβολές), αυτιά (ατμοσφαιρική πίεση, θόρυβοι), και μύτη (θερμοκρασία, υγρασία και ποιότητα αέρα). Ας δούμε λίγο τον κάθε παράγοντα από αυτούς:

### • **Θερμική Άνεση**

Η θερμική άνεση συνδέεται κυρίως με τον έλεγχο της θερμοκρασίας (χειμώνα, καλοκαίρι) και τον έλεγχο της υγρασίας του αέρα (κυρίως ύγρανση τον χειμώνα και αφύγρανση το καλοκαίρι).

### • **Οπτική Άνεση**

Ο φωτισμός άρχισε επίσης να αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον, ιδιαίτερα με την κατασκευή νέων μεγάλων κτιρίων, την αύξηση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας και τις υψηλότερες απαιτήσεις για την ποιότητα εσωτερικού φωτισμού. Νέου τύπου λαμπτήρες με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, υψηλότερες αποδόσεις και καλύτερη ποιότητα φωτισμού, μπορούν να μειώσουν σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας και να βελτιώσουν την ποιότητα του τεχνητού φωτισμού. Ο συνδυασμός φυσικού φωτισμού και ενεργειακά αποδοτικού τεχνικού φωτισμού, μπορεί να επιτύχει τα απαιτούμενα επίπεδα οπτικής άνεσης.

### • **Ακουστική Άνεση**

Η ακουστική άνεση, σε σχέση με τους εξωτερικούς θορύβους, ιδιαίτερα στις

μεγάλες πόλεις, είναι μια παράμετρος άμεσα συνδεδεμένη με την δυνατότητα εργασίας ή άνετης διαβίωσης σε εσωτερικούς χώρους. Άλλες πηγές θορύβου μπορεί να προέρχονται από εσωτερικές πηγές λόγω της λειτουργίας μηχανημάτων. Υψηλά επίπεδα θορύβου προκαλούν δυσφορία, μειώνουν την απόδοση του εργαζόμενου ή μειώνουν την ανθρώπινη ευεξία στο χώρο της κατοικίας.

#### • Ποιότητα Αέρα

Ο αερισμός των κτιρίων, για τον έλεγχο της εσωτερικής ποιότητας του αέρα, είναι επίσης ιδιαίτερα σημαντικός. Το σύνδρομο των “άρρωστων κτιρίων”, αποτελεί ένα θέμα πολύ μεγάλης σημασίας, ιδιαίτερα λόγω των νέων δεδομένων σχετικά με τις επιπτώσεις της ποιότητας του αέρα στον άνθρωπο, την χρήση νέων υλικών και ουσιών που αποτελούν πηγές ρύπων, την επιβαρυσμένη ποιότητα του εξωτερικού αέρα ιδιαίτερα στις μεγάλες αστικές πόλεις και της αρχιτεκτονικής των νέων “σφραγισμένων” κτιρίων.

Μεγάλη αξία έχει να παρατηρήσουμε το ποσοστό της ενέργειας που καταναλώνεται στα κτίρια σε σχέση με άλλους τομείς. Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια αντιπροσωπεύει περίπου 40% της παραγόμενης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) και στην Ελλάδα περίπου 34% το 2005. Η καύση υγρών καυσίμων, όπως το πετρέλαιο, σε κεντρικές μονάδες θέρμανσης, η χρησιμοποίηση ηλεκτρικής ενέργειας για κεντρικές κλιματιστικές μονάδες, μικρά και αυτόνομα κλιματιστικά, και τον φωτισμό, επιδεινώνουν το ενεργειακό πρόβλημα και επιβαρύνουν την ατμοσφαιρική ρύπανση. Το 40% των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα προέρχεται από την ενέργεια που καταναλώνεται στα κτίρια.

Στην Ευρώπη, η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια εμφανίζεται στις χώρες με το μεγαλύτερο κτιριακό απόθεμα (Γερμανία, Γαλλία, Αγγλία, Ιταλία και Ισπανία). Το ποσοστό της καταναλισκόμενης ενέργειας στα κτίρια προς τη συνολική κατανάλωση κυμαίνεται από 20% έως 60%.

Υπάρχουν όμως και λύσεις για το πρόβλημα. Αυτό που απαιτείται είναι η εφαρμογή της υπάρχουσας τεχνολογίας στα νέα κτίρια, αλλά ιδιαίτερα στο υπάρχον κτιριακό απόθεμα. Ο κατάλληλος (βιοκλιματικός) σχεδιασμός των κτιρίων για την ελαχιστοποίηση των φορτίων κλιματισμού και γενικότερα των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων άρα και της χρήσης συμβατικών μορφών ενέργειας, σε συνδυασμό με τα νέα υλικά και ενεργειακά αποδοτικά ηλεκτρομηχανολογικά (Η/Μ) συστήματα, τον σωστό έλεγχο για την τήρηση των επερχόμενων νομοθετικών ρυθμίσεων για την ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων κλπ. Σε όλες όμως τις περιπτώσεις θα πρέπει να εξασφαλίζονται οι συνθήκες άνεσης και ποιότητας εσωτερικού αέρα. Ταυτόχρονα, η θερμική θωράκιση των κτιρίων, δηλαδή η σωστή θερμομόνωσή τους, αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα εξοικονόμησης ενέργειας.

Προφανώς, οφείλουμε να σημειώσουμε την διαφορά ανάμεσα στα παλιά και στα νέα κτίρια, δηλαδή στο κτιριακό απόθεμα και στις νέες κατασκευές. Έτσι κι αλλιώς, οι παλιές τεχνολογίες κατασκευές δεν καλύπτουν τις ανάγκες των ενοίκων

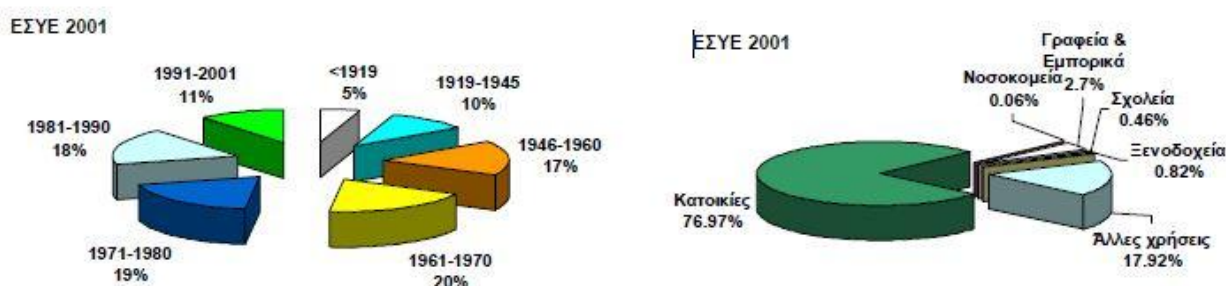
αλλά και εκτός από αυτό, συνήθως καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια σε σχέση με πρόσφατες. Την ίδια στιγμή, οι απαιτήσεις των ενοίκων – χρηστών των κτιρίων, παράλληλα προφανώς με την άνοδο του βιοτικού επιπέδου ή με νέες τεχνολογικές πατέντες που βελτιώνουν το επίπεδο των ανέσεων οδηγούν σε μεγάλη αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας στις παλιές κατασκευές. Έτσι κι αλλιώς, η αξία του δομημένου περιβάλλοντος (κατασκευές) αντιπροσωπεύει το 50% και πλέον του εθνικού των χωρών εντός της ΕΕ, επομένως καταλαβαίνουμε πως η καλύτερη διαχείριση ενέργειας αποκτά τεράστια σημασία.

Προφανώς, οι παλιές κατασκευές είναι αντικειμενικά πολύ περισσότερες σε σχέση με τις νέες. Άρα, πρώτη ανάγκη είναι η βελτίωση της κατανάλωσης και διαχείρισης ενέργειας στο υπάρχον κτιριακό απόθεμα. Μερικά κράτη μέλη της ΕΕ στη βόρεια Ευρώπη έχουν εφαρμόσει ήδη διάφορα μέτρα, συμπεριλαμβανομένων αυστηρότερων κατασκευαστικών προδιαγραφών, κανονισμών θερμομόνωσης, ελάχιστων ενεργειακών απαιτήσεων, ακόμη και φορολόγησης ή κατάλληλων επιχορηγήσεων, και έχουν κατορθώσει με επιτυχία να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση. Τα νέα Ευρωπαϊκά κτίρια είναι ενεργειακά πιο αποδοτικά.

Παραδείγματα από την Γερμανία και την Δανία τεκμηριώνουν ότι είναι εφικτό να μειωθεί σημαντικά η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια, με την ήδη υπάρχουσα τεχνολογία και Η/Μ συστήματα και εγκαταστάσεις.

### 1.3. Η ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

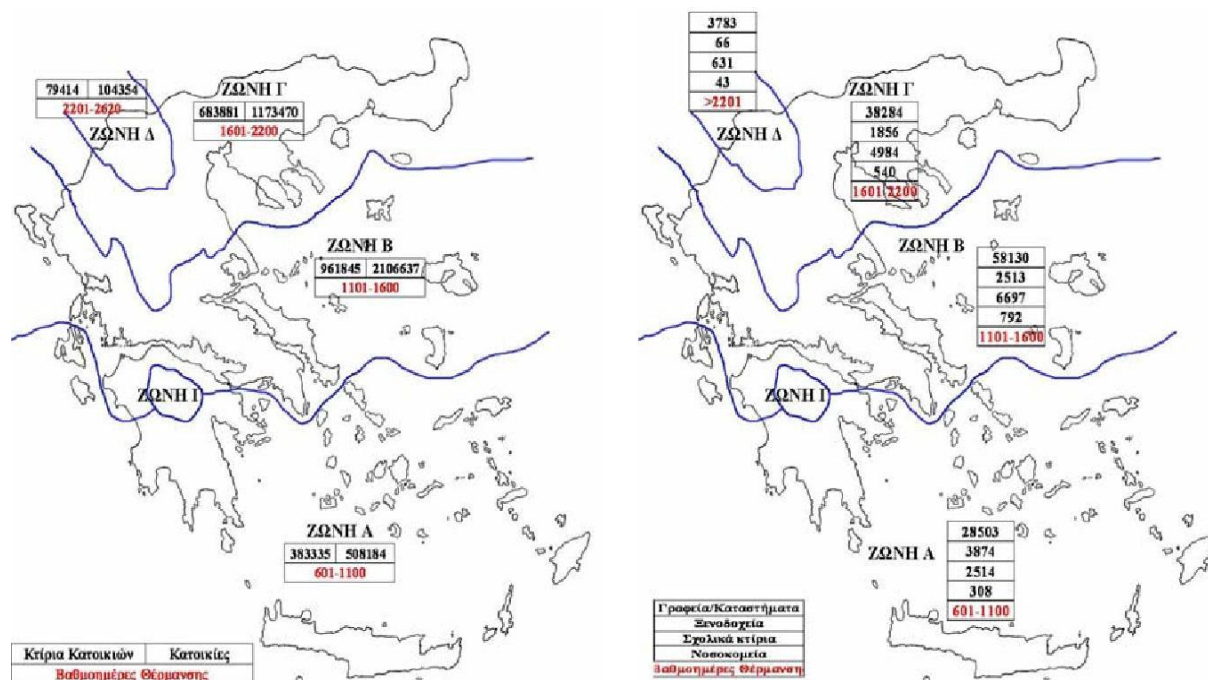
Σε ότι αφορά την Ελλάδα, πρώτα απ' όλα χρειάζεται να δούμε τα χαρακτηριστικά του κτιριακού αποθέματος, με βασικότερο την παλαιότητα. Σύμφωνα με τη καταγραφή των ελληνικών κτιρίων, το 71% κατασκευάστηκε πριν από το 1980, δεν διαθέτει θερμομόνωση και παρουσιάζει χαμηλή ενεργειακή απόδοση, ενώ παράλληλα στην πλειοψηφία τους διαθέτουν παλιές Η/Μ εγκαταστάσεις. Σε ότι αφορά τη χρήση τους, το 77% των ελληνικών κτιρίων αντιστοιχεί σε κτίρια κατοικιών και το 23% σε κτίρια του τριτογενή τομέα. Παρακάτω παρατηρούμε μια κατανομή των ελληνικών κτιρίων τόσο σε ότι αφορά τη χρονολογία κατασκευής όσο και την χρήση τους.



Πίνακας 1.1: Κατανομή των ελληνικών κτιρίων σύμφωνα με τη χρονολογία κατασκευής (αριστερά) και τη χρήση τους (δεξιά).

Παρακάτω βλέπουμε μια εκτίμηση του ελληνικού κτιριακού αποθέματος ανά τελική χρήση, ανά χρονική περίοδο κατασκευής και κλιματική ζώνη, για τα υφιστάμενα κτίρια αλλά και τα νέα έως το 2010. Τα κτίρια επίσης έχουν διαχωριστεί

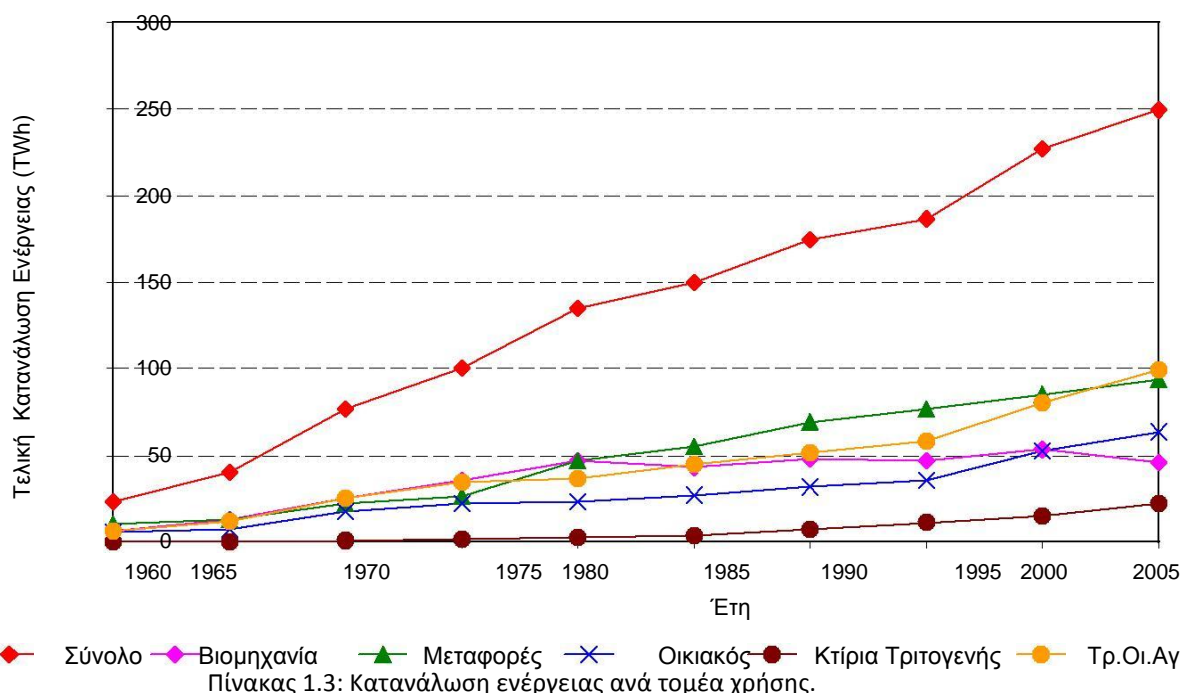
ανάλογα με την ποιότητα του κτιριακού κελύφους (θερμομόνωση, διπλά τζάμια, κλπ) και το είδος των Η/Μ εγκαταστάσεων τους (κεντρική θέρμανση, ψύξη, θερμοστάτες, ηλιακοί συλλέκτες, κλπ). Για τον οικιακό τομέα, έγινε περαιτέρω διαχωρισμός σε πολυκατοικίες και μονοκατοικίες, ενώ τα ξενοδοχεία διαχωρίστηκαν σε ετήσιας και θερινής λειτουργίας μονάδες.



Πίνακας 1.2: Κτιριακό απόθεμα σύμφωνα με τη χρήση, την περίοδο κατασκευής αλλά και το κλίμα.

Πέρα απ' την κατανομή των ελληνικών κτιρίων σε σχέση με τη χρονολογία κατασκευής ή τη συγκεκριμένη χρήση, που έχει προφανώς μεγάλη σημασία όπως θα δούμε και παρακάτω, βασικό ζητούμενο είναι και η κατανάλωση ενέργειας αυτή καθαυτή. Εκεί, λοιπόν, παρατηρούμε ότι το 2005 τα ελληνικά κτίρια κατανάλωσαν 85923 GWh, δηλαδή το 34% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας της Ελλάδας. Στην εσωτερική κατανομή αυτής της κατανάλωσης, οι 63407 GWh καταναλώθηκαν στα κτίρια κατοικιών και οι 22516 GWh στα κτίρια του τριτογενή (εκτός γεωργικών χρήσεων).

Παράλληλα, η κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα έχει συνεχή άνοδο, με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης της 3% για την εικοσαετία 1985-2005. Ωστόσο, η αντίστοιχη τιμή για τα ελληνικά κτίρια είναι αρκετά ανώτερη, στο 4,5%. Αυτός ο ρυθμός αύξησης δεν συμβαδίζει με τους στόχους της Ελλάδας για τη μείωση των ρύπων στα πλαίσια των δεσμεύσεων της συμφωνίας του Κυότο. Γι' αυτό θα πρέπει να εφαρμοστούν άμεσα Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΜΕΕ) σε όλους του τομείς και ιδιαίτερα στα κτίρια. Παρακάτω ένας πίνακας σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα (βιομηχανία, μεταφορές, οικιακός κτλ).



Παρατηρούμε ότι η κατανάλωση ενέργειας στα ελληνικά κτίρια είναι περίπου 34% το 2005, από 20% το 1980. Ταυτόχρονα μετά απ' το 2000 υπερβαίνει την κατανάλωση ενέργειας στον τομέα της βιομηχανίας. Παράλληλα, το 40% των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα προέρχεται από την ενέργεια που καταναλώνεται στα κτίρια.

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών στην ετήσια έκθεση 2007 για την πρόβλεψη εκπομπών αερίων ρύπων θερμοκηπίου ο κτιριακός τομέας έχει την υψηλότερη συνεισφορά στην κατανομή ρύπων.

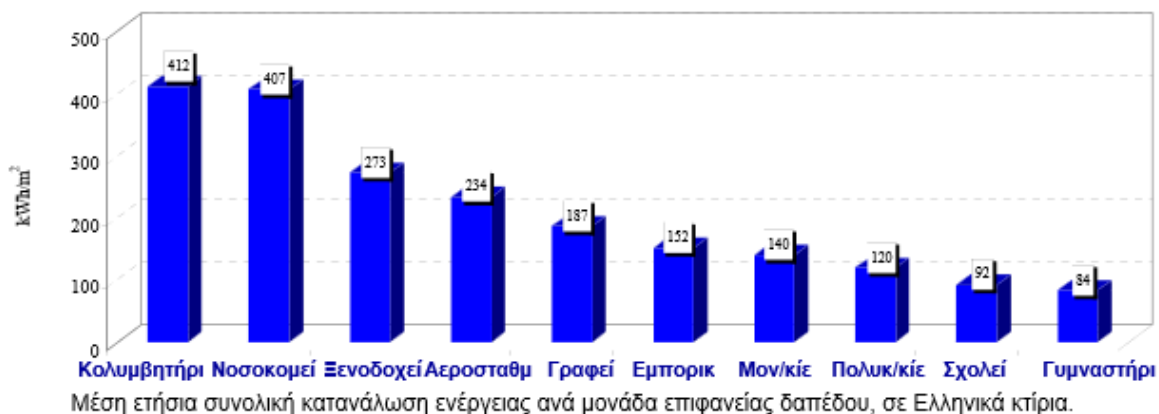
#### Κατανομή ρύπων CO<sub>2</sub>eq (%)

Τελική χρήση	1990	1995	2000	2005	2010 *	2015 *	2020 *
Κτιριακός τομέας	34%	37%	41%	44%	42%	43%	44%
Μεταφορές	19%	21%	20%	21%	20%	21%	22%
Βιομηχανία	39%	34%	31%	28%	31%	29%	27%
Λοιπές χρήσεις	8%	8%	8%	7%	7%	7%	7%

Πίνακας 1.5: Κατανομή ρύπων ανά τομέα.

Παρακάτω παρατηρούμε μας ενεργειακές καταναλώσεις μεταξύ των κτιρίων. Κριτήριό μας είναι η κατανάλωση ενέργειας ανάγεται ανά μονάδα επιφάνειας του κτιρίου (kWh/m<sup>2</sup>).



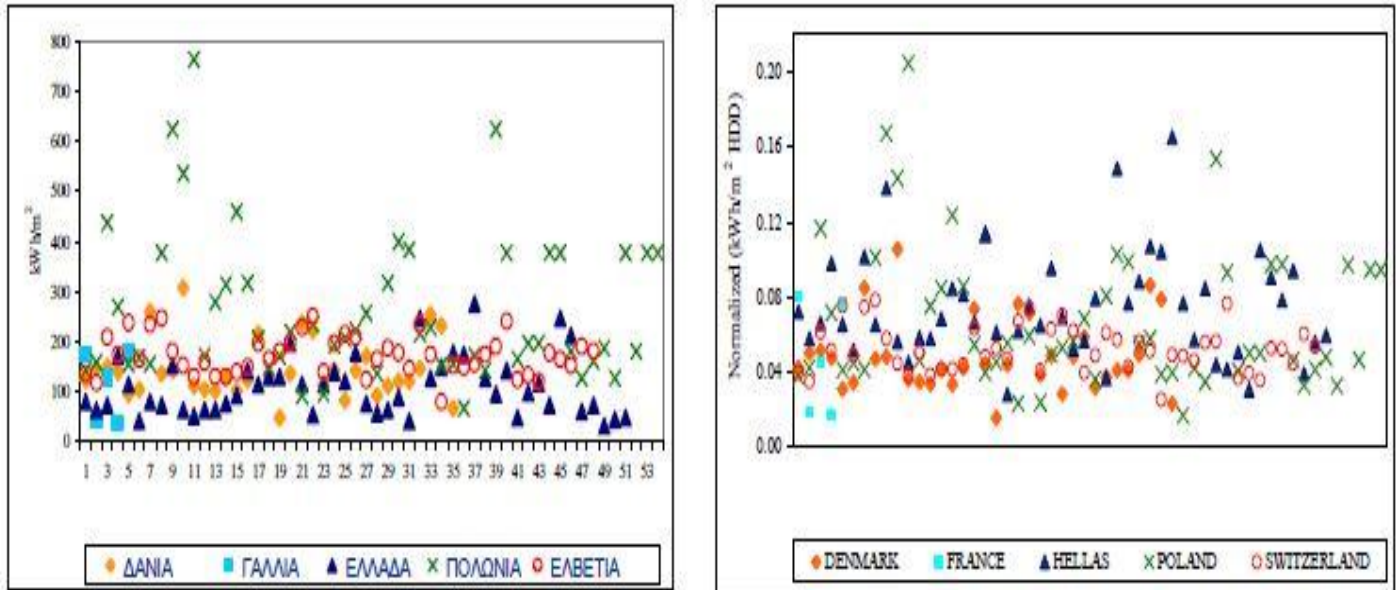


Πίνακας 1. 6: Ενεργειακές καταναλώσεις ανά είδος κτιρίων.

Σε ότι αφορά τα στοιχεία αυτά και την ερμηνεία όμως, όμως, πρέπει να είμαστε προσεκτικοί και να υπολογίσουμε πέρα απ' τα αριθμητικά αποτελέσματα. Δηλαδή, οι απαιτήσεις των κτιρίων είναι καθοριστικός παράγοντας στο κατά πόσον είναι ενεργοβόρα ή όχι. Για παράδειγμα, τα σχολεία δεν είναι απαραίτητο ότι αποτελούν τα καλύτερα ενεργειακά κτίρια, γιατί πρέπει να λάβουμε υπόψη τη περίοδο λειτουργίας και όμως όμως Η/Μ εγκαταστάσεις. Πέρα απ' αυτό, οφείλουμε να λαμβάνουμε υπόψιν και την όμως εσωτερικές συνθήκες και το κατά πόσο πληρούνται αυτές (αυτά που αναφέραμε στην αρχή του κεφαλαίου). Πχ, Ένα κτίριο μπορεί να έχει ακόμη και μηδέν κατανάλωση ενέργειας εάν δεν θερμαίνεται, δεν κλιματίζεται, δεν φωτίζεται με τεχνητό φωτισμό και δεν λειτουργούν οποιεσδήποτε ηλεκτρικές συσκευές. Το ακραίο αυτό παράδειγμα απλώς όμως υπενθυμίζει ότι η σύγκριση όμως καλής ή κακής ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων πρέπει να γίνεται σε συνάρτηση με την επίτευξη των εσωτερικών συνθηκών άνεσης. Η εξοικονόμηση ενέργειας δεν σημαίνει ότι πρέπει να θυσιάσουμε όμως συνθήκες άνεσης. Ένα κτίριο που δεν έχει κλιματισμό προφανώς θα έχει μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, αλλά μπορεί να μην ικανοποιεί όμως συνθήκες θερμικής άνεσης των χρηστών.

Παρόλα αυτά, παρατηρώντας τα στοιχεία αυτά, βλέπουμε ότι η κατανομή όμως καταναλισκόμενης ενέργειας για όμως διαφορετικές όμως στα κτίρια του οικιακού και του τριτογενή τομέα (γραφεία) αναδεικνύει ότι η θέρμανση αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό. Με την πάροδο του χρόνου και την αυξανόμενη χρήση του κλιματισμού, τα αντίστοιχα ποσοστά θα διαφοροποιηθούν. Στον οικιακό τομέα, η βασική πηγή ενέργειας είναι η ηλεκτρική κατά 46%, το πετρέλαιο κατά 23%, το υγραέριο κατά 22% και οι όμως πηγές κατά 9%. Σε ότι αφορά την κατανάλωση, η θέρμανση καλύπτει το 61% όμως συνολικής κατανάλωσης, το μαγείρεμα το 13%, η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης το 10%, η διατήρηση των τροφίμων το 5%, ο φωτισμός το 3%, ο δροσισμός το 2% και οι υπόλοιπες όμως το 6%. Το πετρέλαιο αποτελεί την βασική πηγή ενέργειας για θέρμανση αντιπροσωπεύοντας το 33%, η ηλεκτρική ενέργεια το 29%, ο άνθρακας το 24%, το υγραέριο το 4% και οι δευτερεύουσες πηγές το 10%. Προφανώς, η θέρμανση αφορά και μια σειρά από παράγοντες, όμως το κλίμα και την περιοχή, το μέγεθος του κτιρίου, τον τύπο και την κατάσταση του μηχανολογικού εξοπλισμού κτλ. Σαν γενικό συμπέρασμα, όμως, ειδικά για το κομμάτι αυτό, μπορούμε να πούμε

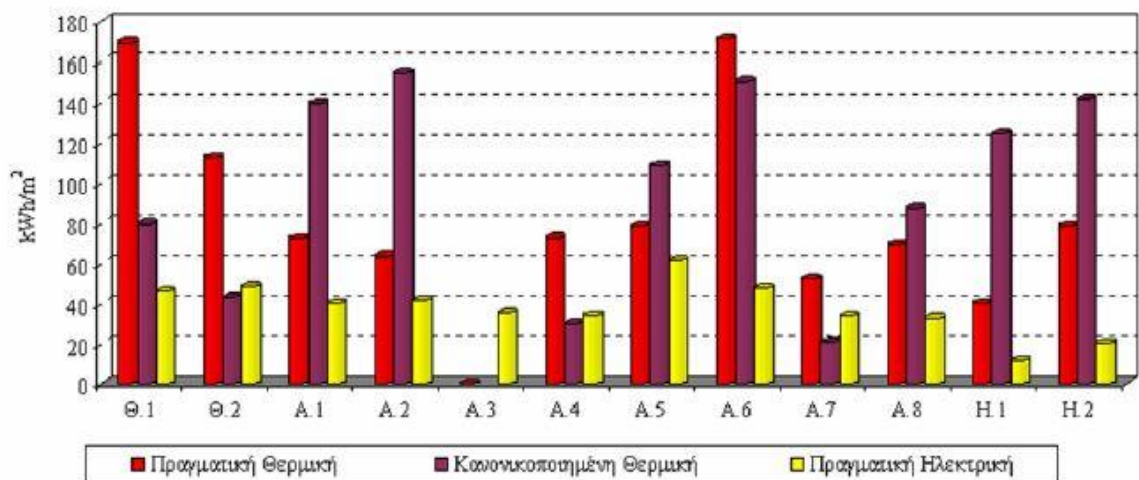
ότι τα ελληνικά κτίρια υπερκαταναλώνουν ενέργεια για θέρμανση, αφού δεν είναι σωστά θερμομονωμένα.



Πίνακας 1.7: Καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας (αριστερά) και οι αντίστοιχες τιμές κανονικοποιημένες (δεξιά) ώστε να λαμβάνουμε υπόψιν τις διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες κάθε περιοχή.

Η μεγάλη διασπορά των τιμών της καταναλισκόμενης θερμικής ενέργειας (από πραγματικές καταναλώσεις σε πολυκατοικίες) ανά μονάδα επιφάνειας, αναδεικνύει το πρόβλημα της σπατάλης ενέργειας.

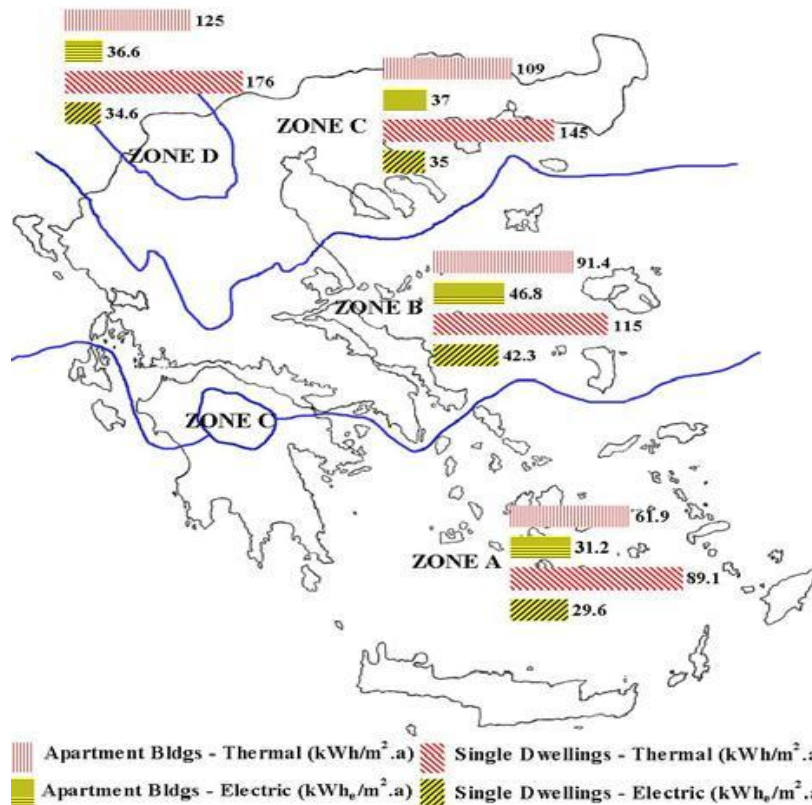
Εδώ πρέπει λοιπόν να υπογραμμίσουμε ότι η επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης σ' ένα κτίριο δεν σημαίνει απαραίτητα και αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας ή γενικά μεγάλη τιμή της. Στον παρακάτω πίνακα έχουμε ένα ενδεικτικό παράδειγμα. Το κτίριο Θ.2 διαθέτει θερμομόνωση και σύστημα αντιστάθμισης, ενώ το κτίριο Η.1 διαθέτει μερική θερμομόνωση. Τα στοιχεία προέρχονται από επιθεωρήσεις πολυκατοικιών στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος Investimmo.



Πίνακας 1.8: Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα θερμαινόμενης επιφάνειας και επικρατούσες συνθήκες θερμικής άνεσης

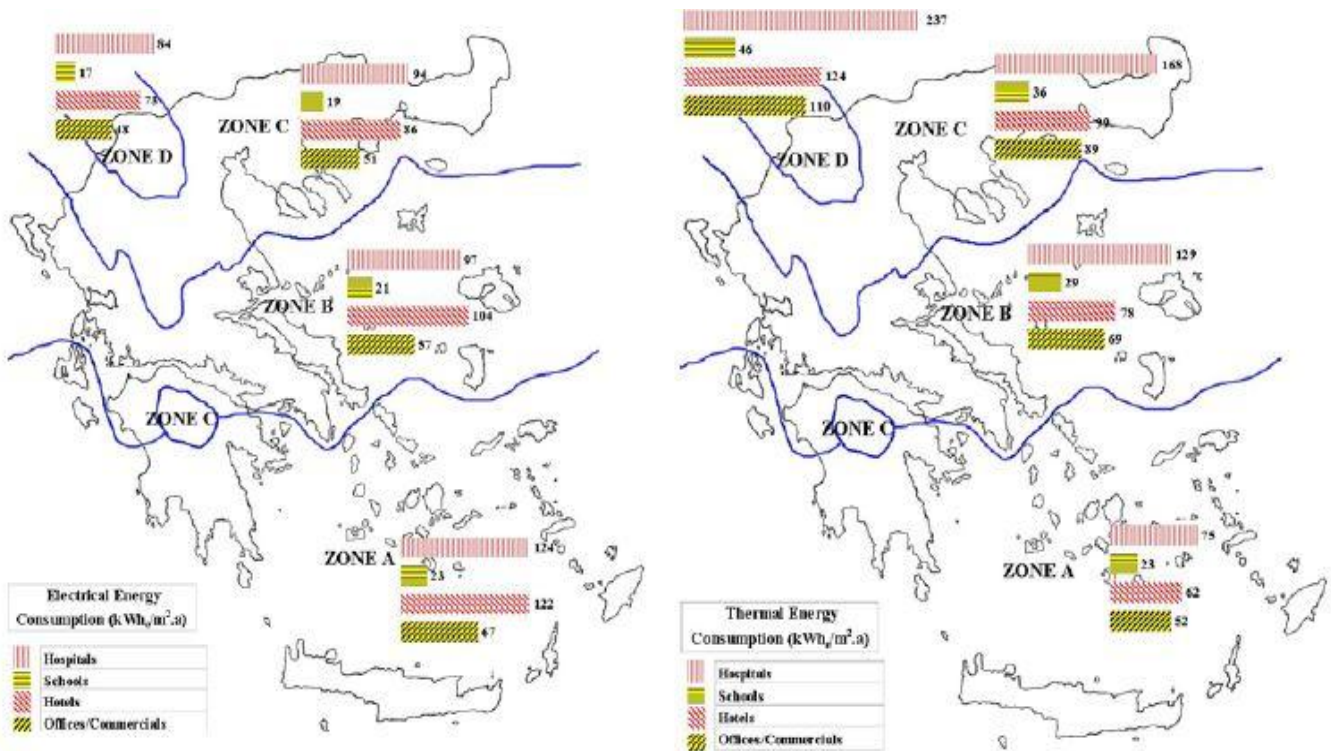
Ένα μεγάλο ποσοστό των κτιρίων της χώρας δεν έχουν θερμομόνωση. Αιτία για αυτό είναι ότι ο Ελληνικός Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων (ΚΘΚ) τέθηκε σε ισχύ μόλις το 1979, καθορίζοντας τα μέγιστα όρια για τη θερμοπερατότητα των διαφόρων στοιχείων (τοιίχοι, οροφή, παράθυρα) και του κελύφους του κτιρίου. Σαν αποτέλεσμα, ένα μεγάλο ποσοστό των κτιρίων δεν έχουν θερμομόνωση. Ακόμα, κατά τη διάρκεια της πρώτης δεκαετίας της εφαρμογής του ΚΘΚ (1980-1990), η πλειοψηφία των κτιρίων δεν είχαν πλήρη θερμομόνωση και μόνο οι πρόσφατες κατασκευές έχουν θερμομόνωση του φέροντα οργανισμού για την αποφυγή των θερμογεφυρών.

Η τυπική ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση σε κτίρια κατοικιών πριν το 1980 είναι περίπου 140 kWh/m<sup>2</sup> σε μονοκατοικίες και 96 kWh/m<sup>2</sup> σε πολυκατοικίες, ενώ για τα νεότερα κτίρια υπολογίζεται σε 92-123 kWh/m<sup>2</sup> και 75-94 kWh/m<sup>2</sup>, αντίστοιχα. Παρακάτω βλέπουμε μια προσπάθεια αποτύπωσης του Ελληνικού



κτιριακού αποθέματος που εκπονήθηκε από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών με τη χρηματοδότηση του ΥΠΕΧΩΔΕ.

Πίνακας 1.9: Ελληνικό κτιριακό απόθεμα ανάλογα με μονοκατοικίες και πολυκατοικίες



Πίνακας 1.10: Κτιριακό απόθεμα τριτογενή τομέα

Μέση ετήσια ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup> .a)												
	Γραφεία - Καταστήματα			Ξενοδοχεία			Σχολικά κτίρια			Νοσοκομεία		
Κλιματική ζώνη	1980	2001	2010	1980	2001	2010	1980	2001	2010	1980	2001	2010
Ελλάδα σύνολο	42	56	71	70	110	130	20	20	21	90	99	107
Ζώνη Α	48	67	88	77	122	145	23	23	24	102	124	139
Ζώνη Β	43	57	72	66	104	123	21	21	22	92	97	102
Ζώνη Γ	39	51	64	54	86	102	18	19	20	82	94	104
Ζώνη Δ	36	48	63	46	73	87	17	17	18	77	84	91
Μέση ετήσια ειδική κατανάλωση θερμικής ενέργειας (kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> .a)												
	Γραφεία - Καταστήματα			Ξενοδοχεία			Σχολικά κτίρια			Νοσοκομεία		
Κλιματική ζώνη	1980	2001	2010	1980	2001	2010	1980	2001	2010	1980	2001	2010
Ελλάδα σύνολο	93	75	70	90	80	75	32	31	31	145	134	129
Ζώνη Α	67	52	48	71	62	58	24	23	23	96	75	69
Ζώνη Β	85	69	65	90	78	73	29	29	28	136	129	126
Ζώνη Γ	107	89	83	113	99	92	37	36	36	188	168	160
Ζώνη Δ	134	110	103	142	124	115	46	46	45	252	237	231
Μέση ετήσια ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup> .a)						Μέση ετήσια ειδική κατανάλωση θερμικής ενέργειας (kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> .a)						
	Μονοκατοικίες			Διαμερίσματα			Μονοκατοικίες			Διαμερίσματα		
Κλιματική ζώνη	1980	2001	2010	1980	2001	2010	1980	2001	2010	1980	2001	2010
Ελλάδα σύνολο	27.6	38.7	37.5	28.1	40.6	39.2	140	123	92	96	95	75
Ζώνη Α	22.5	29.6	27.3	24.6	31.2	28.5	94	89	67	65	62	52
Ζώνη Β	28.3	42.3	41.7	31.5	46.8	45.8	134	115	88	94	91	71
Ζώνη Γ	24.1	35.0	33.7	25.8	37.0	35.4	159	145	108	111	109	90
Ζώνη Δ	25.4	34.6	32.6	28.1	36.6	34.2	187	176	129	130	125	115

Πίνακας 1.11: Μέση ετήσια κατανάλωση θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας.

#### 1.4. ΟΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ

Μελετώντας τις δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια ουσιαστικά πρέπει να παρατηρήσουμε τι διαφορά θα κάνει η εφαρμογή μιας σειράς μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, γνωστών και ως ΜΕΕ. Στη συγκεκριμένη διαδικασία, βλέπουμε λοιπόν για κάθε μέτρο τη συνεισφορά του στη μείωση των ρύπων, Για την εκτίμηση του δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας, μελετήθηκε η εφαρμογή διαφόρων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας (ΜΕΕ) και μείωσης ρύπων, το κόστος των διαφόρων επεμβάσεων, καθώς και η πρόταση και αξιολόγηση διαφόρων οικονομικών κινήτρων για την υλοποίηση των προτάσεων. Το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας είναι σημαντικό αφού, σύμφωνα με προγενέστερα στοιχεία, επί του συνολικού αριθμού των πολυκατοικιών διαθέτει θερμομόνωση μόνο το 5,1% στις τοιχοποιίες, 1,5% στο δάπεδο, 12,7% στην πλοκή, 30,4% στην οροφή, 2,1% διαθέτει διπλά τζάμια και 4,2% έχει θερμομόνωση των σωληνώσεων θέρμανσης.

Κάθε ΜΕΕ εφαρμόστηκε σε καθορισμένο ποσοστό κτιρίων, με βασικό κριτήριο, το είδος και την υφιστάμενη κατάσταση των κτιρίων, καθώς και την δυνατότητα υλοποίησής του κάθε ΜΕΕ. Στη συνέχεια αναφέρονται οι παραδοχές και το ποσοστό (%) εξοικονόμησης ενέργειας ανά ΜΕΕ για τις διαφορετικές χρήσεις κτιρίων: Μονοκατοικίες (Μ) και Πολυκατοικίες (Π), Γραφεία-Καταστήματα (Γ/Κ), Ξενοδοχεία (Ξ), Σχολεία (Σ), και Νοσοκομεία (Ν).

Μ.Ε.Ε	Παραδοχές εφαρμογής μέτρων	Εξοικονόμηση ενέργειας (%)
#1: Προσθήκη θερμομόνωσης εξωτερικών τοίχων	Σχεδόν όλα τα κτίρια προ-1980 είναι αμόνωτα. Γ/Κ: Εφαρμογή μόνο στο (15%) των αμόνωτων κτιρίων που έχουν κεντρική θέρμανση. Ξ, Σ, Ν: Εφαρμογή σε όλα τα αμόνωτα κτίρια προ-1980. Μ-Π: Σε όλα τα αμόνωτα κτίρια προ- 1980 και στο 10% των κτιρίων της περιόδου 1980-2001.	Γ/Κ, Σ: 28-34% της θερμικής ενέργειας (Θ.Ε) και 4% της ηλεκτ. ενέργειας για ψύξη (Η.Ε.Ψ) Ξ: 38-44% της Θ.Ε και 5% της Η.Ε.Ψ. Ν: 34-40% της Θ.Ε και 4% της Η.Ε.Ψ. Μ-Π: 33-60% της θερμικής ενέργειας.
#2: Προσθήκη θερμομόνωση οροφής	Γ/Κ, Ξ, Σ & Ν: Εφαρμογή σε όλα τα κτίρια προ-1980 και δεν διαθέτουν μόνωση οροφής. Μ-Π: Στο 70% των αμόνωτων κτιρίων προ- 1980 και στο 10% του 1980-2001.	Γ/Κ, Σ: 4-7% της Θ.Ε και 2% της Η.Ε.Ψ. Ξ, Ν: 5-8% της Θ.Ε και 2% της Η.Ε.Ψ. Μ-Π: 2-14% της θερμικής ενέργειας.
#3: Εγκατάσταση διπλών υαλοστασίων	Γ/Κ: Εφαρμογή στο 15% των κτιρίων (με κεντρική θέρμανση) προ-1980 και στο 50% του 1980-2001. Ξ, Σ & Ν: Εφαρμογή σε όλα τα κτίρια (με κεντρική θέρμανση) προ-1980 και στο 50%-70% του 1980-2001. Μ-Π: Εφαρμογή σε όλα τα κτίρια προ-1985 και στο 10% του 1985-2001.	Γ/Κ, Σ: 10-12% της θερμικής ενέργειας. Ξ: 15-28% της θερμικής ενέργειας. Ν: 15-28% της θερμικής ενέργειας. Μ-Π: 14-20% της θερμικής ενέργειας.
#4: Συντήρηση κεντρικών θερμάνσεων	Γ/Κ, Ξ, Σ, Ν & Μ-Π: Εφαρμογή σε όλα τα υφιστάμενα κτίρια, που χρειάζονται σύμφωνα με τους εθνικούς κανονισμούς, ετήσια συντήρηση.	Γ/Κ, Ξ, Σ, Ν: 11% της θερμικής ενέργειας για θέρμανση χώρων. Μ-Π: 10-12% της θερμικής ενέργειας.
#5: Εγκατάσταση νέων κεντρικών θερμάνσεων	Γ/Κ, Ξ, Σ, Ν & Μ-Π: Εφαρμογή σε όλα τα κτίρια με παλιό σύστημα κεντρικής θέρμανσης.	Γ/Κ, Ξ, Σ, Ν & Μ-Π: 15-17% της θερμικής ενέργειας για θέρμανση χώρων.
#6: Εγκατάσταση κεντρικών θερμάνσεων Φ.Α.	Γ/Κ, Ξ, Ν & Μ-Π: Εφαρμογή σε 15% των κτιρίων με παλιά συστήματα κεντρικής θέρμανσης, στις κλιματικές ζώνες Β και Γ, όπου το Φ.Α. είναι διαθέσιμο.	Γ/Κ, Ξ, Ν & Μ-Π: 19-21% της θερμικής ενέργειας για θέρμανση χώρων.
#7: Θερμοστάτες αντιστάθμισης	Γ/Κ, Ξ, Σ, Ν & Μ-Π: Εφαρμογή σε όλα τα κτίρια με κεντρική θέρμανση που δεν έχουν θερμοστάτες αντιστάθμισης, σύμφωνα με τους εθνικούς	Γ/Κ, Ξ, Σ, Ν: 5% της θερμικής ενέργειας για θέρμανση χώρων. Μ-Π: 2-3% της Θ.Ε. για θέρμανση χώρων.

	κανονισμούς.	
#8: Θερμοστάτες χώρων	Γ/Κ, Ξ, Σ, Ν & Μ-Π: Εφαρμογή σε όλα τα κτίρια με κεντρική θέρμανση και δυνατότητα θερμοστάτη χώρου.	Γ/Κ, Ξ, Σ & Ν: 5% της Θ.Ε για Θ.Χ. Μ-Π: 2-3% της Θ.Ε. για θέρμανση χώρων.
#9: Εξωτερική σκίαση	Γ/Κ, Ξ, Σ, & Ν: Εφαρμογή στο 60% των κλιματιζόμενων κτιρίων, προ-2001. Μ-Π: Στο 50% των κλιματιζόμενων κτιρίων, θεωρώντας ότι κλιματίζεται μόνο το 20% των χώρων τους.	Γ/Κ, Ξ, Σ, Ν & Μ-Π: 10-20% της ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη.
#10: Εγκατάσταση ανεμιστήρων οροφής	Γ/Κ, Ξ & Ν: Εφαρμογή στο 50% των κλιματιζόμενων κτιρίων με κάλυψη του 50-70% της επιφάνειάς τους. Σ: Εφαρμογή σε όλα κλιματιζόμενα κτίρια με κάλυψη του 80% της επιφάνειάς τους. Μ-Π: Εφαρμογή σε όλα τα κλιματιζόμενα κτίρια με κάλυψη του 20% της επιφάνειάς τους.	Γ/Κ, Ξ, Σ, Ν & Μ-Π: 60% της ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη.
#11: Εφαρμογή νυχτερινού αερισμού	Γ/Κ: Εφαρμογή στο 10% των κλιματιζόμενων κτιρίων. Ετήσια κατανάλωση ενέργειας 0.45 kWh/m <sup>3</sup> , για 5 ACH και 5 ώρες την ημέρα.	Γ/Κ: 15-20% της ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη.
#12: Εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών για ζεστό νερό χρήσης (ZNX)	Γ/Κ: Εφαρμογή στο 20% των κτιρίων που δεν διαθέτουν ηλιακούς συλλέκτες. Ξ, Σ & Ν: Εφαρμογή στο 50% των κτιρίων που δεν διαθέτουν ηλιακούς συλλέκτες.	Γ/Κ: 35-50% της ηλεκ. ενέργειας για ZNX Ξ: 65-80% της ηλεκ. ενέργειας για ZNX Σ: 25-40% της ηλεκ. ενέργειας για ZNX Ν: 55-70% της ηλεκ. ενέργειας για ZNX
Μ-Π: Σε όλα τα κτίρια που δεν έχουν ηλιακούς συλλέκτες.	Μ-Π: Σε όλα τα κτίρια που δεν έχουν ηλιακούς συλλέκτες.	Μ-Π: 50-80% της ηλεκ. ενέργειας για ZNX
#13: Τοποθέτηση λαμπτήρων υψηλής απόδοσης	Γ/Κ, Ξ, Σ & Ν: Εφαρμογή σε όλα τα κτίρια που δεν διαθέτουν λαμπτήρες υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Μ-Π: Σε όλα τα κτίρια που δεν έχουν Λ.Υ.Ε.Α.	Γ/Κ, Ξ, Σ & Ν, Μ-Π: 60% της ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό
#14: Εγκατάσταση BMS	Γ/Κ: Για το 20% των κλιματιζόμενων κτιρίων του 1980-2001 και του 50% των κτιρίων του 2001-2010. Ξ, Ν: Για το 10% των κλιματιζόμενων κτιρίων προ-1980, το 30% των κτιρίων του 1980-2001 και το 50% των κτιρίων του 2001-2010.	Γ/Κ, Ξ & Ν: 30% της ηλεκτρικής ενέργειας και 20% της θερμικής ενέργειας
#15: Αεροστεγάνωση	Μ-Π: Σε όλα τα αμόνωτα κτίρια προ- 1990 και στο 10% των κτιρίων της δεκαετίας του '90.	Μ-Π: 16-21% της θερμικής ενέργειας για την θέρμανση των χώρων.
#16: Τοποθέτηση υψηλής απόδοσης κλιματιστικά	Μ-Π: Εφαρμογή στο 50% των κλιματιζόμενων κτιρίων που εκτιμήθηκε ότι έχουν παλιά συστήματα κλιματισμού. Αντικατάσταση με νέα υψηλής απόδοσης.	Μ-Π: 65-75% της ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη.

Πίνακας 1.12: Εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας

Από την εφαρμογή των μέτρων, υπολογίστηκε σε κάθε περίπτωση η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας ανά τελική χρήση κτιρίου. Για τους κατοικίες τα πιο αποδοτικά μέτρα κατά σειρά, είναι η θερμομόνωση των εξωτερικών τοίχων, η αεροστεγάνωση των ανοιγμάτων, η τοποθέτηση διπλών υαλοστασίων και η συστηματική συντήρηση του συστήματος θέρμανσης. Για τα κτίρια του τριτογενή τομέα τα πιο αποδοτικά μέτρα είναι η θερμομόνωση των εξωτερικών τοίχων για τα σχολικά κτίρια και νοσοκομεία, ενώ για τα ξενοδοχεία και γραφεία/καταστήματα είναι η εγκατάσταση συστήματος διαχείρισης ενέργειας στο κτίριο (BMS).

Στον πίνακα παρουσιάζονται οι εκτιμώμενες μειώσεις εκπομπών CO<sub>2</sub> από την εφαρμογή των ΜΕΕ στα ελληνικά κτίρια το 2010. Οι κατοικίες παρουσιάζουν το μεγαλύτερο δυναμικό μείωσης εκπομπών CO<sub>2</sub>, λόγω του μεγάλου ποσοστού

συμμετοχής τους στο κτιριακό απόθεμα.

Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΜΕΕ)	Μείωση ρύπων CO <sub>2</sub> σε (kt) από τα κτίρια				
	Γραφεία / Καταστήματα	Ξενοδοχεία	Σχολικά κτίρια	Ξενοδοχεία	Κατοικίες
#1. Θερμομόνωση εξωτερικών τοίχων	54.1	48.7	54.0	52.8	3573.6
#2. Θερμομόνωση οροφής	10.9	12.0	9.5	10.5	549.6
#3. Διπλά υαλοστάσια	46.9	21.1	21.6	26.6	1539.2
#4. Συντήρηση κεντρικών θερμάνσεων	137.5	59.5	23.4	34.8	951.4
#5. Αντικατάσταση των παλιών κεντρικών θερμάνσεων με νέες πετρελαίου	49.2	23.1	23.5	29.6	438.6
#6. Αντικατάσταση των παλιών κεντρικών θερμάνσεων με νέες φυσικού αερίου	16.4	5.4	--	18.7	144.0
#7. Θερμοστάτες Αντιστάθμισης	26.0	5.7	9.0	7.5	156.8
#8. Θερμοστάτες Χώρων	18.4	2.6	6.3	5.3	146.9
#9. Εξωτερική σκίαση	49.6	21.1	21.6	26.6	78.2
#10. Ανεμιστήρες οροφής	488.5	292.9	28.3	38.8	93.0
#11: Νυχτερινός αερισμός	53.9	--	--	--	--
#12: Ηλιακοί συλλέκτες για ΖΝΧ	15.3	133.4	1.5	45.9	2709.7
#13: Λαμπτήρες υψηλής ενεργειακής απόδοσης	713.1	369.0	148.2	106.2	817.3
#14: BMS – Σύστημα Διαχείρισης Κτιρίων	815.1	423.5	--	59.7	
#15: Αεροστεγάνωση Ανοιγμάτων	--	--	--	--	1712.2
#16: Εγκατάσταση νέων κλιματιστικών	--	--	--	--	240.9

Πίνακας 1.13: Μείωση ρύπων CO<sub>2</sub> σε (kt) για τα Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΜΕΕ) για τα ελληνικά κτίρια το 2010.

Προφανώς, για να μπορέσουμε περαιτέρω να αξιολογήσουμε κάθε ΜΕΕ για να καταλήξουμε στα προτιμότερα οφείλουμε να δούμε το κόστος συγκριτικά με το κέρδος που θα έχουμε. Μια διαδικασία που αφορά κάθε φορά και τους συγκεκριμένους στόχους που μπορεί να έχουμε, τους πόρους που μπορούμε να διαθέσουμε, το κοινωνικό και περιβαλλοντικό κέρδος (και κόστος αντίστοιχα) και όχι μόνο τα ιδιωτικό κτλ. Επομένως, είναι μια πολυσύνθετη διαδικασία.

Ωστόσο, παρατηρούμε ότι η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας στα ελληνικά κτίρια είναι σημαντική, και μάλιστα ως επί το πλείστον μπορεί να εφαρμοστεί χωρίς μεγάλη οικονομική υποστήριξη, αφού τα περισσότερα ΜΕΕ είναι οικονομικά βιώσιμα. Ιδιαίτερα στη σημερινή περίοδο, που το ενεργειακό κόστος (πετρέλαιο, ρεύμα) αυξάνεται συνέχεια.

Το μεγαλύτερο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας παρουσιάζεται στα κτίρια των κατοικιών, όπου κάποια από τα προτεινόμενα ΜΕΕ θα μπορούσαν να εφαρμοστούν από τους ιδιοκτήτες χωρίς ιδιαίτερες δαπάνες, όπως η συχνή συντήρηση και έλεγχος των Η/Μ συστημάτων (λέβητες, κλιματιστικά), η αεροστεγάνωση των ανοιγμάτων, η εγκατάσταση θερμοστατών, η αντικατάσταση των λαμπτήρων με ενεργειακούς κλπ. Με αντίστοιχες χαμηλές δαπάνες τα μέτρα αυτά μπορούν να εφαρμοστούν και στα κτίρια του τριτογενή τομέα. Τέλος, η θερμομόνωση των υφιστάμενων παλιών κτιρίων είναι το πιο ενεργειακά αποδοτικό ΜΕΕ για τις κατοικίες, νοσοκομεία και ξενοδοχεία και το δεύτερο σε σειρά ενεργειακά αποδοτικό ΜΕΕ για τα γραφεία/καταστήματα και σχολεία.

### 1.5. «ΠΡΑΣΙΝΟ» ΣΠΙΤΙ

Πέρα από τα διορθωτικά μέτρα για την καλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας στο ήδη υπάρχον κτιριακό απόθεμα, υπάρχει και το κομμάτι του σχεδιασμού ενός νέου κτιρίου προκειμένου να πετύχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα σε ότι αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας, η κατασκευή του λεγόμενου «πράσινου» σπιτιού. Δηλαδή σπιτιού φιλικού προς το περιβάλλον, με όλες τις δυνατότητες και προβλέψεις οικολογικής και χαμηλής ταυτόχρονα ενεργειακής κατανάλωσης, μέσα από τις κατάλληλες τεχνολογίες κλιματισμού, διαχείρισης της ηλιακής ακτινοβολίας, ψύξης, αερισμού κτλ, όπως και τα κατάλληλα –πλέον- αυτοματοποιημένα συστήματα (ένα τέτοιο θα δούμε και στην εργασία αυτή),

Πρώτα απ' όλα, η κατασκευή ενός «φιλικού» – «πράσινου» κτιρίου δεν σημαίνει μόνο χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση για να εξασφαλιστεί η επιθυμητή ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος, αλλά παράλληλα και χρήση υλικών που έχουν τις μικρότερες δυνατές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Δυστυχώς, οι δυο αυτές απαιτήσεις δεν είναι πάντα εύκολο να ικανοποιούνται ταυτόχρονα. Για παράδειγμα, η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας διπλά τζάμια με πλαστικά κουφώματα, κατά την διάρκεια της ζωής ενός κτιρίου, θα μπορούσε να αντισταθμιστεί από την αξία του πρόσθετου CO<sub>2</sub> που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κατά την διάρκεια παραγωγής των πλαστικών κουφωμάτων. Στην περίπτωση που θα χρησιμοποιηθούν ξύλινα κουφώματα, πρέπει να συνυπολογιστεί ενέργεια που θα καταναλωθεί για την εισαγωγή/μεταφορά του ξύλου, ή την αντικατάστασή του λόγω του μικρότερου κύκλου ζωής που έχει. Για το ξύλο, γίνονται προσπάθειες η χρήση του να μην έχει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον με την καταστροφή δασών. Στην Αγγλία, για παράδειγμα, εφαρμόζεται ένα πρόγραμμα πιστοποίησης του ξύλου που χρησιμοποιείται στις οικοδομές, ώστε να χαρακτηρίζεται περιβαλλοντικά φιλικό, απαιτώντας την χρήση πρώτης ύλης που προέρχονται από αναδάσωση. Η διάθεση τέτοιου είδους ξύλου δεν καλύπτει όμως τις ανάγκες της αγοράς, με αποτέλεσμα το κόστος του να είναι συγκριτικά υψηλό.

Σημαντικό είναι εδώ να σημειώσουμε ότι αξιολογώντας την ενέργεια που εμπεριέχουν τα διάφορα υλικά οφείλουμε να προσμετράμε και το είδος της πρωτογενούς ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή του εκάστοτε υλικού. Αν δούμε το αλουμίνιο, μπορεί να έχει μια ενεργοβόρα παραγωγική διαδικασία, ωστόσο το μεγαλύτερο κομμάτι της ενέργειας προέρχεται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς (άρα αντισταθμίζει το μέγεθος της σπατάλης ενέργειας). Ακόμα, η δυνατότητα ανακύκλωσης του υλικού επίσης παίζει σημαντικό ρόλο.

Ωστόσο, το ζήτημα των υλικών είναι αυτό που έχει τη μικρότερη σημασία. Το βασικό είναι ο σωστός βιοκλιματικός σχεδιασμός των κτιρίων, δηλαδή η προσπάθεια να πετύχουμε το καλύτερο δυνατό ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου. Για να δούμε πιο αναλυτικά το συγκεκριμένο σημείο να ορίσουμε πρώτα τις βασικές έννοιες της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου.

Κάθε εσωτερικός χώρος κερδίζει θερμότητα (θερμικό κέρδος) και χάνει (θερμική απώλεια) ανάλογα με τις εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες. Αισθητό φορτίο ονομάζουμε τη διαφορά των θερμικών κερδών και απωλειών, και



αναπαριστά τη θερμότητα που χάνει η κερδίζει ο εσωτερικός αέρας. Προφανώς με μεγαλύτερα θερμικά κέρδη η θερμοκρασία αυξάνεται, ενώ με απώλειες μειώνεται. Μέσω των κλιματιστικών μονάδων μειώνουμε (αισθητό ψυκτικό φορτίο) ή προσθέτουμε (αισθητό θερμικό φορτίο) θερμότητα. Προφανώς, μια κλιματιστική μονάδα πρέπει να μπορεί να καλύψει και τα δύο φορτία για το χειμώνα και το καλοκαίρι.

Ταυτόχρονα, μια κλιματιστική μονάδα πρέπει να μπορεί να ελέγχει και την υγρασία του αέρα, δηλαδή να καλύψει τις ανάγκες του κτιρίου για αφύγρανση (λανθάνον ψυκτικό φορτίο) ή ύγρανση (λανθάνον θερμικό φορτίο).

Τα ψυκτικά φορτία προέρχονται από:

- Εξωτερικές πηγές

Το καλοκαίρι, η ηλιακή ακτινοβολία αυξάνει το ψυκτικό φορτίο και για αυτό είναι απαραίτητος ο εξωτερικός σκιασμός των παραθύρων ή άλλων γυάλινων επιφανειών (πχ τέντες) ή εσωτερικός εάν δεν υπάρχει άλλη λύση. Η θερμομόνωση των τοίχων και της οροφής, περιορίζει τα θερμικά κέρδη του χώρου που κλιματίζεται. Το χρώμα μιας επιφάνειας (πχ ενός τοίχου) επηρεάζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που θα απορροφηθεί από την επιφάνεια και τη θερμοκρασία που θα φτάσει.

- Εσωτερικές πηγές

Τα εσωτερικά φορτία προέρχονται από το φωτισμό, τους ανθρώπους και τις συσκευές ή τα μηχανήματα, τα οποία αυξάνουν τη θερμοκρασία του αέρα με τη θερμότητα που αποβάλλουν (αισθητό ψυκτικό φορτίο). Σε ορισμένες περιπτώσεις (πχ μέρος της αποδιδόμενης θερμότητας από τους ανθρώπους) αυξάνεται και η υγρασία (λανθάνον ψυκτικό φορτίο).

Το καλοκαίρι, τα εσωτερικά θερμικά κέρδη αυξάνουν το ψυκτικό φορτίο. Τα θερμικά φορτία από τον φωτισμό μπορούν να μειωθούν χρησιμοποιώντας ενεργειακούς λαμπτήρες, που εκπέμπουν λιγότερη θερμότητα από τους κοινούς λαμπτήρες πυρακτώσεως, ενώ παράλληλα εξοικονομούν ηλεκτρική ενέργεια. Οι νέες συσκευές γραφείου (πχ εκτυπωτές, ηλεκτρονικοί υπολογιστές) έχουν αυτοματοποιημένη λειτουργία έτσι ώστε να κλείνουν μόνες τους, εφόσον δεν χρησιμοποιούνται, μειώνοντας έτσι τη θερμότητα που αποδίδουν στον χώρο και καταναλώνοντας λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια.

- Αερισμό

Τα φορτία αερισμού προέρχονται από το φρέσκο αέρα που απαιτείται για τον αερισμό των χώρων και την είσοδο του ζεστού εξωτερικού αέρα μέσα από τις χαραμάδες των ανοιγμάτων (πχ παράθυρα, πόρτες). Ο ζεστός αέρας αυξάνει το αισθητό ψυκτικό φορτίο, ενώ αν έχει υψηλή υγρασία αυξάνεται και το λανθάνον ψυκτικό φορτίο.

Η αεροστεγανότητα των ανοιγμάτων περιορίζει τα θερμικά κέρδη και συνεπώς

μειώνει το ψυκτικό φορτίο. Χρειάζεται όμως περιοδικά να γίνεται καλός αερισμός του εσωτερικού χώρου, ιδιαίτερα όταν δεν υπάρχει κάποιο μηχανικό σύστημα αερισμού, για να διασφαλίζεται η ανανέωση και η ποιότητα του εσωτερικού αέρα.

Ο αέρας το καλοκαίρι χρειάζεται αφύγρανση γιατί:

- η υψηλή υγρασία επηρεάζει τις συνθήκες θερμικής άνεσης (περιορίζεται η εξάτμιση του ιδρώτα από το ανθρώπινο σώμα, με συνέπεια ο άνθρωπος να αισθάνεται δυσαρέσκεια, ακόμη και εάν η θερμοκρασία του αέρα είναι σε ικανοποιητικά επίπεδα),
- περιορίζει την ανάπτυξη μικροοργανισμών (η μείωση της σχετικής υγρασίας, σε επίπεδα ασφαλείας, δηλαδή κάτω από 70%, περιορίζει την ανάπτυξη μικροοργανισμών και μυκήτων).

Τα αποδεκτά όρια σχετικής υγρασίας είναι μεταξύ 45%-60%.

Το χειμώνα, η κλιματιστική μονάδα λειτουργεί για να καλύψει το θερμικό φορτίο, δηλαδή τη διαφορά μεταξύ των θερμικών κερδών (ποσά θερμότητας που προστίθενται στο χώρο) και των θερμικών απωλειών (ποσά θερμότητας που αφαιρούνται από το χώρο), και να αυξήσει την εσωτερική θερμοκρασία του αέρα (θέρμανση).

Τα θερμικά κέρδη μπορεί να προέρχονται από:

- Εξωτερικές πηγές

Τα εξωτερικά θερμικά κέρδη προέρχονται από την ηλιακή ακτινοβολία που πιθανώς εισέρχεται στον χώρο από τα τζάμια (διαφανείς επιφάνειες). Η ηλιακή ενέργεια προσφέρει δωρεάν θέρμανση και μειώνει το θερμικό φορτίο.

- Εσωτερικές πηγές

Τα εσωτερικά θερμικά κέρδη στα κτίρια προέρχονται, όπως ήδη αναφέρθηκε, από το φωτισμό, τους ανθρώπους και τις συσκευές ή τα μηχανήματα, τα οποία αυξάνουν τη θερμοκρασία του αέρα με τη θερμότητα που αποβάλλουν. Τα εσωτερικά κέρδη συνεισφέρουν στη μείωση του θερμικού φορτίου.

Οι θερμικές απώλειες μπορεί να προέρχονται από:

- Τοίχους & Τζάμια

Η μετάδοση θερμότητας μεταξύ των εσωτερικών χώρων και του εξωτερικού περιβάλλοντος (πχ τον αέρα, το έδαφος και τους μη θερμαινόμενους χώρους) γίνεται μέσα από τους τοίχους (αδιαφανείς επιφάνειες) και τα τζάμια (διαφανείς επιφάνειες) λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού αέρα. Η καλή θερμομόνωση των τοίχων περιορίζει τις θερμικές απώλειες.

Οι απώλειες θερμότητας είναι πολύ μεγαλύτερες μέσα από το μονό (απλό) γυαλί από τις αντίστοιχες μέσα από ένα καλά θερμομονωμένο τείχος. Τα διπλά τζάμια μειώνουν τις θερμικές απώλειες από τα παράθυρα.

Τα γυάλινα κτίρια αντιμετωπίζουν τεράστια προβλήματα για τον έλεγχο των ηλιακών κερδών. Ανάλογα τον υαλοπίνακα μπορεί να αντιμετωπίζουν και μεγάλες θερμικές απώλειες. Επιπλέον προβλήματα παρουσιάζονται με τις συνθήκες θερμικής άνεσης, αφού η θερμοκρασία των επιφανειών στους υαλοπίνακες, είναι πολύ υψηλή. Στα θερμογραφήματα (δεξιά των φωτογραφιών), τα σκούρα χρώματα αντιπροσωπεύουν χαμηλές θερμοκρασίες (περίοδος καλοκαιριού και οι χώροι ψύχονται) και τα άσπρα χρώματα υψηλές θερμοκρασίες.

### Αερισμό

Τα φορτία αερισμού προέρχονται από την είσοδο του κρύου εξωτερικού αέρα μέσα από τις χαραμάδες των ανοιγμάτων (πχ παράθυρα, πόρτες) και το φρέσκο αέρα που απαιτείται για τον αερισμό των χώρων. Ο κρύος αέρας αυξάνει το αισθητό θερμικό φορτίο, ενώ αν έχει χαμηλή υγρασία αυξάνεται και το λανθάνον θερμικό φορτίο.

Η αεροστεγανότητα των ανοιγμάτων περιορίζει τις απώλειες θερμότητας και συνεπώς μειώνει το θερμικό φορτίο. Χρειάζεται όμως περιοδικά να γίνεται καλός αερισμός του εσωτερικού χώρου, ιδιαίτερα όταν δεν υπάρχει κάποιο μηχανικό σύστημα αερισμού, για να διασφαλίζεται η ανανέωση και η ποιότητα του εσωτερικού αέρα.

Ο αέρας το χειμώνα μπορεί να χρειαστεί ύγρανση γιατί η χαμηλή υγρασία:

- επηρεάζει τις συνθήκες θερμικής άνεσης (ξεραίνεται ο αέρας και επίσης κρυώνουμε περισσότερο ακόμη και εάν η θερμοκρασία του αέρα είναι σε ικανοποιητικά επίπεδα),
- περιορίζει τα ηλεκτροστατικά φαινόμενα (πχ από διάφορα συνθετικά υλικά). Για το λόγο αυτό, πρέπει η σχετική υγρασία να διατηρείται σε τιμές μεγαλύτερες από 40%.

Η ύγρανση του αέρα γίνεται σε κεντρικές κλιματιστικές μονάδες. Η ύγρανση του αέρα με τοπικές μονάδες, δηλαδή μέσα στους κλιματιζόμενους χώρους, γίνεται συνήθως με μικρές αυτόνομες ηλεκτρικές συσκευές που εξατμίζουν νερό (υγραντήρες). Τα αποδεκτά όρια σχετικής υγρασίας είναι μεταξύ 40%-70%.

Εν κατακλείδι, μπορούμε να δούμε βασικές λειτουργίες που βοηθούν στη δημιουργία καλύτερων συνθηκών διαβίωσης μειώνοντας παράλληλα την κατανάλωση ενέργειας. Το καλοκαίρι για τον έλεγχο των εσωτερικών συνθηκών και για την επίτευξη των συνθηκών θερμικής άνεσης απαιτείται δροσισμός (η χρήση τεχνικών ή παθητικών και υβριδικών συστημάτων) ή ψύξη (με τη χρήση μηχανικών συστημάτων που συνήθως καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια). Ο έλεγχος της υγρασίας (αφύγρανση) είναι επίσης ιδιαίτερα σημαντικός το καλοκαίρι και αντιπροσωπεύει ένα μεγάλο ποσοστό των ψυκτικών φορτίων.

Ο κλιματισμός είναι μια έννοια που συνήθως χρησιμοποιείται, λανθασμένα όμως, σε σχέση με τον έλεγχο των εσωτερικών συνθηκών μόνο το καλοκαίρι. Ο κλιματισμός είναι η διαδικασία ελέγχου και ρύθμισης στα επιθυμητά επίπεδα, της θερμοκρασίας του αέρα, της υγρασίας του αέρα, της ποιότητας του αέρα και της κυκλοφορίας του αέρα σε εσωτερικούς χώρους κτιρίων ή άλλων κλειστών χώρων (πχ μέσα μεταφοράς ή αποθήκευσης και συντήρησης προϊόντων κ.α.), ανεξάρτητα από τις συνθήκες που επικρατούν στο εξωτερικό περιβάλλον.

Οι προτεινόμενες εσωτερικές συνθήκες για κλιματιζόμενα κτίρια, σύμφωνα με τη Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΤΟΤΕΕ) 2423/86, παρουσιάζονται στον πίνακα. Ανάλογα με τη χρήση των χώρων, οι συνθήκες είναι διαφορετικές, ενώ για χρήσεις όπου υπάρχουν άλλες συγκεκριμένες απαιτήσεις, υπερισχύουν αυτών που δίνονται στον πίνακα

Είδος χώρου	Χειμώνας	Καλοκαίρι	
	Θερμοκρασία (°C)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική υγρασία (%)
<b>ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ</b>			
Υπνοδωμάτια, καθιστικά, κουζίνες	20	26	55 - 50
Λουτρά	22	--	--
Προθάλαμοι, διάδρομοι	15	28	--
<b>ΣΧΟΛΕΙΑ</b>			
Αίθουσες διδασκαλίας	18	25 – 26	50
Γραφεία, βιβλιοθήκη	20	25 – 26	45 - 50
Λουτρά, αποδυτήρια	22	--	--
Ιατρεία	24	--	--
<b>ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑ</b>			
Δωμάτια	20	26	55 - 50
Λουτρά	22	--	--
<b>ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑ</b>			
Θάλαμοι ασθενών	22	26	55 - 50
Λουτρά	22	--	--
Χειρουργεία	20 - 35	ειδικός κλιματισμός	
Αίθουσες διημερεύσεως, διάδρομοι	18	--	--

Πίνακας 16: Επιθυμητές εσωτερικές συνθήκες.

### Μείωση Θερμικών Φορτίων

Το χειμώνα το σύστημα θέρμανσης (για παράδειγμα ένας καυστήρας ή ένα κλιματιστικό) καταναλώνει ενέργεια (καύσιμα ή ηλεκτρική ενέργεια) για να ζεστάνει τον αέρα των εσωτερικών χώρων. Το σύστημα θέρμανσης πρέπει να καλύψει τις απώλειες θερμότητας για να επιτύχει την επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία. Βασική προϋπόθεση για την ορθολογική λειτουργία οποιουδήποτε συστήματος θέρμανσης είναι η μείωση των απωλειών θερμότητας μέσα από το κέλυφος του κτιρίου, δηλαδή τους τοίχους, τα ανοίγματα (παράθυρα και πόρτες), τις οροφές και τις πυλωτές.

Η θερμομόνωση του κελύφους ενός κτιρίου επιτυγχάνεται με την θερμομόνωση και την επιλογή υλικών με μικρό συντελεστή θερμοπερατότητας (ή συντελεστής U-value, μετράτε σε  $W/m^2K$ ), μειώνοντας έτσι τις θερμικές απώλειες του κτιρίου κατά την διάρκεια του χειμώνα, και κατά ένα ποσοστό τα θερμικά κέρδη το καλοκαίρι. Επίσης περιορίζονται τα ρεύματα αέρα και τα προβλήματα με τη θερμική δυσαρέσκεια που προκαλούν οι κρύες επιφάνειες. Μειώνοντας τα θερμικά φορτία μειώνεται η απαιτούμενη θερμική ισχύς, δηλαδή μπορεί να εγκατασταθεί ένα μικρότερο σύστημα θέρμανσης (συνεπώς μικρότερο αρχικό κόστος εξοπλισμού), το σύστημα λειτουργεί πιο αποδοτικά, με συνέπεια να καταναλώνεται λιγότερο πετρέλαιο ή ρεύμα, εξοικονομώντας έτσι χρήματα. Σε σωστά θερμομονωμένα κτίρια, η κατανάλωση θερμικής ενέργειας μπορεί να είναι 20-40% μικρότερη από την ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου χωρίς θερμομόνωση.

Επιπλέον μείωση των φορτίων προκύπτει με την μείωση της διείσδυσης του κρύου αέρα με την σωστή αεροστεγανότητα των ανοιγμάτων (πχ παράθυρα, πόρτες). Η ανεμοπροστασία των ανοιγμάτων και του κτιρίου γενικότερα, μειώνει περαιτέρω τις θερμικές απώλειες από το κέλυφος του κτιρίου, αφού μειώνεται ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας με μεταφορά από τις επιφάνειες και η ανεμοπίεση στα ανοίγματα.

Επιπλέον, η σωστή συντήρηση και η ρύθμιση του συστήματος παραγωγής θερμότητας, η μείωση των απωλειών του δικτύου διανομής (πχ θερμομόνωση σωλήνων) και ο έλεγχος των συστημάτων απόδοσης της θερμότητας, βελτιώνει την απόδοση θερμότητας. Η χρήση αυτοματισμών και θερμοστατικού ελέγχου, μειώνει την κατανάλωση ενέργειας και βελτιώνει τις συνθήκες θερμικής άνεσης.

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση των εσωτερικών χώρων στα κτίρια και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, μπορεί να μειώσει σημαντικά την συνολική κατανάλωση ενέργειας ενός κτιρίου. Κάθε μέρα η ηλιακή ενέργεια που δέχεται η γη είναι περίπου 1 εκατ. TWh που ισοδυναμεί με την δυναμικά συνολική αποθηκευμένη ενέργεια των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου. Το πρόβλημα προκύπτει από την αδυναμία μας να συλλέξουμε και να εκμεταλλευτούμε πλήρως την διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια έτσι ώστε να καλυφθούν οι απαιτήσεις για θέρμανση των κτιρίων, την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, αλλά και παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας για διάφορες άλλες ανάγκες. Μια στέγη με νότιο προσανατολισμό και οι τοίχοι ενός κτιρίου  $100 m^2$  απορροφούν κάθε μέρα κατά μέσο όρο  $3 kWh/m^2$ . Επίσης, η ηλιακή ακτινοβολία που περνά μέσα από νότια προσανατολισμένα διπλά παράθυρα συνεισφέρει σημαντικά στη θέρμανση των χώρων τον χειμώνα.

### **Παθητικά Ηλιακά Συστήματα**

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα προσφέρουν μεγάλες δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας για την θέρμανση εσωτερικών χώρων (πχ κτίρια, θερμοκήπια) και για τον φυσικό φωτισμό εσωτερικών χώρων.

Οι βασικές αρχές λειτουργίας τους είναι σχετικά απλές. Βασίζονται στην εκμετάλλευση των φυσικών φαινομένων μετάδοσης θερμότητας και ακτινοβολίας

που παρατηρούνται από την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω σε διαφανείς επιφάνειες τις οποίες διαπερνά εξασφαλίζοντας σε εσωτερικούς χώρους φυσικό φωτισμό και θέρμανση (αφού απορροφηθεί η μικρού μήκους ηλιακή ακτινοβολία και μετατραπεί σε μεγάλου μήκους θερμική ακτινοβολία). Παγιδεύοντας ή κατάλληλα αποθηκεύοντας την θερμότητα της ηλιακής ενέργειας, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που επιτυγχάνονται (κοντά στα επίπεδα θερμικής άνεσης του ανθρώπου), μειώνεται το θερμικό φορτίο και έχουμε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

Για να λειτουργήσουν σωστά τα παθητικά ηλιακά συστήματα, προϋποθέτουν :

- Σωστή τοποθέτηση των επιφανειών (προσανατολισμός, σχήμα κτιρίου για την συλλογή και εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας μεγιστοποιώντας τα ηλιακά κέρδη)
- Κατάλληλο εξωτερικό κέλυφος (ιδιότητες επιφανειών, μέγεθος διαφανών επιφανειών, δομικά υλικά με κατάλληλη θερμοχωρητικότητα για την αποθήκευση της συλλεγόμενης θερμότητας, οπτικές ιδιότητες διαφανών επιφανειών)
- Ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών μέσω του κελύφους του χώρου ή των υλικών που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της θερμότητας
- Κατάλληλη διάταξη εσωτερικών χώρων για την συλλογή, αποθήκευση και διανομή της θερμότητας.

Εξαιτίας της περιοδικότητας στην διαθεσιμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας (κατά την διάρκεια της ημέρας και του έτους) τα παθητικά συστήματα συνήθως συνδυάζουν με κάποιο άμεσο ή έμμεσο τρόπο την αποθήκευση θερμότητας. Εάν δεν υπάρχει τρόπος αποθήκευσης, τότε τα ηλιακά κέρδη μπορεί να καλύψουν σε ικανοποιητικό βαθμό το θερμικό φορτίο (τις ανάγκες για θέρμανση) τις περιόδους ηλιοφάνειας αλλά όταν δεν υπάρχει πλέον διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία ή τα επίπεδα της ακτινοβολίας είναι χαμηλά, ανάλογα με τις απώλειες του χώρου η παγιδευμένη θερμότητα τελικά θα χαθεί (ακολουθώντας την φυσική ροή της θερμότητας από τις υψηλές θερμοκρασίες προς τις χαμηλές).

Επιπλέον, πολλές φορές υπάρχει πλεόνασμα ηλιακών κερδών όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι υψηλή κατά την διάρκεια της ημέρας, υπερκαλύπτοντας το θερμικό φορτίο σε περιόδους υψηλής διαθεσιμότητας ηλιακής ενέργειας. Εάν δεν υπάρχει κατάλληλη αποθήκευση τότε τα υψηλά ηλιακά κέρδη θα προκαλέσουν υπερθέρμανση (υψηλές θερμοκρασίες) και δεν θα υπάρχει δυνατότητα κάλυψης κάποιου έστω ποσοστού των θερμικών φορτίων όταν δεν υπάρχει διαθέσιμη η ηλιακή ενέργεια. Η αποθήκευση ηλιακής ενέργειας γίνεται σε υλικά με υψηλή θερμοχωρητικότητα, τα οποία μπορεί ήδη να χρησιμοποιούνται σαν δομικά υλικά ή έχουν προστεθεί σε κατάλληλες θέσεις και ποσότητες ώστε να λειτουργούν σαν αποθηκευτικό μέσο.

Αυτό που πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα είναι ότι οι τελικές αποφάσεις για την κατασκευή του κελύφους, την επιλογή υλικών και γενικότερα οι σχεδιαστικές επιλογές, πρέπει να γίνουν αφού ληφθεί υπόψη και η θερμική συμπεριφορά την περίοδο του καλοκαιριού.

Από την μια πλευρά στόχος είναι η μείωση του θερμικού φορτίου (μεγιστοποίηση των ηλιακών κερδών) αλλά τελικά απαιτείται η δυνατότητα ελέγχου και πιθανώς προσαρμογής για την περίοδο του καλοκαιριού (ελαχιστοποίηση των

ηλιακών κερδών) και αντίστροφα. Η σωστή μελέτη και αξιολόγηση όλων των προβλημάτων σε σχέση με τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες, λειτουργία, υπάρχουσα κατάσταση ή άλλες ιδιαιτερότητες για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή, θα έχει σαν αποτέλεσμα την εναρμόνιση των διαφόρων τεχνικών ώστε να βρεθεί η αποδοτικότερη λύση για να εξισορροπείται η συνολική λειτουργία για όλη την διάρκεια του έτους. Η εφαρμογή έτοιμων λύσεων, αν και αρχικά φαίνεται πρακτικά εύκολο, πιθανώς θα οδηγήσει σε άστοχες εφαρμογές με ουσιαστικά προβλήματα.

#### Κατηγορίες Παθητικών Συστημάτων

Τα παθητικά συστήματα ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους, ταξινομούνται σε:

- Συστήματα με άμεσο ηλιακό κέρδος. Ο εσωτερικός χώρος θερμαίνεται άμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται από τα διαφανή ανοίγματα στους :
  - τοίχους ή την
  - οροφή.

Η θερμική μάζα που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της θερμότητας, πρέπει να είναι εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία που περνά μέσα στον χώρο (πχ τοίχοι, δάπεδο). Η αποθηκευμένη θερμότητα αποδίδεται σταδιακά στον χώρο με μεταφορά (όταν η εσωτερική θερμοκρασία του αέρα είναι μικρότερη από την θερμοκρασία των επιφανειών), καθώς επίσης και με ακτινοβολία. Οι επιφάνειες του κτιρίου πρέπει να είναι καλά θερμομονωμένες, έτσι ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες.

Η αποτελεσματικότητα του παθητικού συστήματος εξαρτάται από:

- τον προσανατολισμό των διαφανών επιφανειών (μέχρι 25° απόκλιση από το νότο, δέχονται το 90% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που πέφτει σε ένα τελείως νότιο άνοιγμα),
- την κλίση της επιφάνειας, το μέγεθος της επιφάνειας (σε σχέση με τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής και την γενικότερη κατασκευή του κτιρίου), και
- το υλικό κατασκευής της θερμικής μάζας.

- Συστήματα με έμμεσο ηλιακό κέρδος. Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας γίνεται με έμμεσο τρόπο, μέσω του αποθηκευτικού συστήματος. Τα συστήματα αυτά διακρίνονται:

- στις επιφάνειες συλλέκτες ή θερμικής αποθήκευσης, και
- τους προσαρτημένους ηλιακούς χώρους ή θερμοκήπια.

#### Το φαινόμενο της αστικής νησίδας

Με την αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειών σε γειτονιές, περιοχές ή και ολόκληρη την πόλη, επηρεάζεται και η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα. Το φαινόμενο αυτό, γνωστό σαν αστική νησίδα, μπορεί να αυξήσει τη θερμοκρασία μια πόλης κατά 1-5°C. Η αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στις πόλεις έχει σαν αποτέλεσμα και την αύξηση της ρύπανσης και της κατανάλωσης ενέργειας για κλιματισμό. Το φαινόμενο αυτό επηρεάζεται άμεσα από την έντονη οικοδομική δραστηριότητα που παρατηρείται στις πόλεις και τον περιορισμό των ελεύθερων

χώρων και του πρασίνου. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει σε ορισμένες στις ΗΠΑ, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας το καλοκαίρι αυξάνει σχεδόν κατά 2% για κάθε 0,5°C που αυξάνεται η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία.

Οι αστικές νησίδες δημιουργούνται όταν η ανάπτυξη μιας πόλης μεταβάλλει το αστικό περιβάλλον καλύπτοντας τους ελεύθερους χώρους, το φυσικό έδαφος και τους χώρους πρασίνου, με κτίρια ή άλλες κατασκευές, δρόμους με άσφαλτο ή πλατείες με διάφορα υλικά που καλύπτουν το φυσικό έδαφος. Προφανώς, το φαινόμενο της αστικής νησίδας, έχει θετικές επιπτώσεις στην θερμική συμπεριφορά των κτιρίων τον χειμώνα, αφού η θερμοκρασία στα αστικά κέντρα διατηρείται σε υψηλότερα σχετικά επίπεδα απ'ότι στα προάστια ή τις εξοχικές περιοχές.

Τα δέντρα και η βλάστηση προσφέρουν σκιά και μαζί με το φυσικό έδαφος απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία και μειώνουν την θερμοκρασία του αέρα με την εξατμισοδιαπνοή. Σε αντίθεση, τα αστικά κέντρα έχουν συνήθως πολύ μικρό ποσοστό δέντρων, ελεύθερων χώρων και φυσικών επιφανειών, με συνέπεια τα δομικά υλικά των κτιρίων και των άλλων σκληρών επιφανειών σε δρόμους, πεζοδρόμια, πλατείες κ.α., να παραμένουν εκτεθειμένα στην ηλιακή ακτινοβολία, αποθηκεύοντας θερμότητα κατά την διάρκεια της ημέρας η οποία στην συνέχεια αποδίδεται στο περιβάλλον, εκπέμποντας υπέρυθη ακτινοβολία, αυξάνοντας την θερμοκρασία του αέρα και διατηρώντας την υψηλότερα καθ' όλη την διάρκεια του 24ωρου σε σχέση με τα προάστια ή τις μη αστικές περιοχές που διαθέτουν αρκετό πράσινο. Αυτό έχει σαν συνέπεια την εκτεταμένη χρήση κλιματιστικών στις πόλεις, έτσι ώστε να επιτευχθούν συνθήκες θερμικής άνεσης μέσα στα κτίρια. Όμως η χρήση κλιματιστικών σημαίνει αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει στις ΗΠΑ, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας το καλοκαίρι αυξάνει σχεδόν κατά 2% για κάθε 0,5°C που αυξάνεται η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία. Επιπλέον, τα κλιματιστικά καταναλώνουν ακόμη περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι υψηλότερη, αφού μειώνεται η απόδοσή τους.

### **Τρόποι αντιμετώπισης**

Το μεγαλύτερο ποσοστό από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται από τις επιφάνειες των κτιρίων, όπως το μπετόν και τα άλλα υλικά, και την άσφαλτο των δρόμων, ακτινοβολείται πίσω στο περιβάλλον σαν θερμική ενέργεια. Τα φαινόμενα αυτά μπορούν να περιοριστούν με την χρήση υλικών με υψηλό συντελεστή ανάκλασης, με χαμηλό συντελεστή εκπομπής στην μεγάλη μήκους θερμική ακτινοβολία, και κυρίως με την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη χρήση φυτών και δέντρων στους ελεύθερους χώρους αλλά και το ίδιο το κτίριο. Το πράσινο των φυτών και των δέντρων αποκόπτει και απορροφά ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας και επίσης βελτιώνουν την ποιότητα του αέρα.



## Παθητικός - Υβριδικός Δροσισμός

Οι τεχνικές και τα συστήματα δροσισμού που για την λειτουργία τους δεν απαιτούν την κατανάλωση άλλων μορφών ενέργειας, παρά μόνο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είναι γνωστά σαν παθητικά (φυσικά) συστήματα δροσισμού. Στην περίπτωση που για την χρήση κάποιων παθητικών συστημάτων ή τεχνικών παράλληλα καταναλώνεται μια μικρή ποσότητα ενέργειας, όπως για παράδειγμα, για την λειτουργία ανεμιστήρων, κυκλοφορητών ή αντλιών, τα συστήματα αυτά είναι γνωστά σαν υβριδικά συστήματα δροσισμού.

Από τις πλέον επιτυχημένες τεχνικές παθητικού δροσισμού, είναι ο σκιασμός του κτιρίου, ο φυσικός αερισμός των εσωτερικών χώρων, η βελτίωση του μικροκλίματος, το χρώμα των εξωτερικών επιφανειών, η θερμική μάζα. Το κέλυφος των κτιρίων επηρεάζει το θερμικό ισοζύγιο των κτιρίων. Το ποσοστό και το είδος των ανοιγμάτων και τα υλικά κατασκευής των αδιαφανών επιφανειών, καθορίζουν τις θερμικές απώλειες τον χειμώνα και τα θερμικά κέρδη το καλοκαίρι. Η βασικότερη παράμετρος για την μείωση των ψυκτικών φορτίων είναι ο σκιασμός των διαφανών επιφανειών.

Ο φυσικός αερισμός, δηλαδή η φυσική κυκλοφορία του αέρα, είναι από τις βασικές τεχνικές φυσικού δροσισμού και επίτευξης των συνθηκών θερμικής άνεσης και ανανέωσης του εσωτερικού αέρα, σε φυσικά αεριζόμενα κτίρια. Η κυκλοφορία του αέρα μέσα στο χώρο πρέπει να μελετηθεί σωστά, με την κατάλληλη διαστασιολόγηση και τοποθέτηση των ανοιγμάτων, ώστε να έχει ουσιαστικά αποτελέσματα. Ο διαμπερής αερισμός είναι ο πλέον αποτελεσματικός. Ο φυσικός αερισμός είναι επίσης απαραίτητος σε φυσικά αεριζόμενα κτίρια, για την βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, εξασφαλίζοντας τις απαιτούμενες ποσότητες φρέσκου (νωπού) αέρα. Δυστυχώς όμως, ο φυσικός αερισμός δεν είναι πάντα εφικτός κατά την διάρκεια της ημέρας, αφού στα κτίρια που βρίσκονται σε αστικές περιοχές, συνήθως οι εξωτερικές ατμοσφαιρικές συνθήκες χαρακτηρίζονται από υψηλές θερμοκρασίες και υψηλά ποσοστά ρύπανσης.

Ο νυκτερινός φυσικός αερισμός προσφέρει επίσης σημαντικά πλεονεκτήματα με τον αερισμό των χώρων το βράδυ, εφόσον το επιτρέπουν οι εξωτερικές ατμοσφαιρικές συνθήκες και εξασφαλίζεται η ασφάλεια του κτιρίου. Συνήθως, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες του εξωτερικού αέρα το βράδυ, επιτρέπουν την σταδιακή αφαίρεση της θερμότητας που έχει παγιδευτεί μέσα στο κτίριο κατά την διάρκεια της ημέρας, έτσι ώστε η λειτουργία του κτιρίου την επόμενη μέρα να αρχίσει με καλύτερες, πιο ευχάριστες εσωτερικές συνθήκες.

Το κατάλληλο εξωτερικό μικροκλίμα μπορεί να βελτιώσει τις συνθήκες άνεσης και την αποδοτικότητα του φυσικού αερισμού. Με διάφορες επεμβάσεις και εκμεταλλευόμενοι τις φυσικές διεργασίες από την εξατμισοδιαπνοή των φυτών, μπορεί να βελτιωθεί το μικροκλίμα, ανάλογα με τον διαθέσιμο χώρο. Τα φυλλοβόλα δέντρα, οι θάμνοι, το γρασίδι και άλλα φυτά μειώνουν την θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα και συνεπώς βελτιώνουν την αποδοτικότητα του φυσικού αερισμού. Επιπλέον, τα φυτά και τα δέντρα, βελτιώνουν την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, αφού κατακρατούν την σκόνη και άλλα σωματίδια. Λειτουργούν, δηλαδή, όπως τα φίλτρα των κλιματιστικών συσκευών, αν και πρέπει να ληφθούν υπόψη οι επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα την περίοδο της Άνοιξης,

όπως για παράδειγμα, λόγω της γύρης που απελευθερώνουν ορισμένα φυτά και δέντρα. Σε μεγάλη κλίμακα, η βελτίωση του μικροκλίματος περιορίζει το φαινόμενο της αστικής νησίδας.

Συγκεκριμένες μορφές παθητικού δροσισμού είναι οι εξής:

- Ηλιοπροστασία – Σκιασμός: Οι διαθέσιμοι τύποι σκιάστρων προσφέρουν μια μεγάλη ποικιλία εναλλακτικών λύσεων, που μπορούν να ενσωματωθούν στην οποιαδήποτε αρχιτεκτονική κτιρίου, διατηρώντας την αισθητική και την ιδιαιτερότητα του κάθε κτιρίου. Ο κατάλληλος σκιασμός βελτιώνει τις εσωτερικές συνθήκες άνεσης και μειώνει τα εξωτερικά ψυκτικά φορτία, βελτιώνοντας την απόδοση των εγκαταστάσεων κλιματισμού, που πιθανών λειτουργούν σε ένα κτίριο.
- Πράσινες όψεις: Ο όρος πράσινες όψεις (ή κρεμαστοί κήποι) χρησιμοποιείται για να περιγράψει την χρήση φυτών πάνω ή σε μικρή απόσταση από την όψη ενός κτιρίου. Τα φυτά μπορούν να φυτευτούν στο έδαφος ή σε γλάστρες (στο έδαφος, σε μπαλκόνια, σε οριζόντιους προβόλους πάνω από παράθυρα κ.α.). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι φυλλοβόλων αναρριχόμενων φυτών ή δέντρων. Με την πάροδο του χρόνου, δημιουργείται ένα ζωντανό προστατευτικό κέλυφος, πρακτικά σε όλο το ύψος του κτιρίου (μέχρι περίπου 8 ορόφους), καλύπτοντας όλη την επιφάνεια της όψης. Όπως είναι αναμενόμενο, τα φυτά ή τα δέντρα, προσφέρουν φυσική ηλιοπροστασία στις αδιαφανείς επιφάνειες του κτιρίου, αλλά και στις διαφανείς επιφάνειες, στην περίπτωση των δέντρων ή των κρεμαστών κήπων. Επιπλέον, μειώνεται η θερμοκρασία του αέρα λόγω της εξατμισοδιαπνοής, δημιουργώντας ένα καλύτερο μικροκλίμα, και βελτιώνεται η ποιότητα του αέρα.
- Πράσινα Δώματα: Οι οροφές και τα δώματα των κτιρίων δεν μπορούν να σκιαστούν με τα διάφορα συστήματα που συνήθως σκιάζονται οι όψεις και οι διαφανείς επιφάνειες. Ουσιαστικά, οι μόνοι τρόποι είναι η κάλυψη του δώματος με υλικά που έχουν υψηλό συντελεστή ανάκλασης, έτσι ώστε να ανακλάται η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, ή με γρασίδι και άλλου τύπου φυτά για την δημιουργία κήπων (πράσινα δώματα).
- Θερμική μάζα: Η θερμική μάζα του κτιρίου απορροφά θερμότητα κατά την διάρκεια της ημέρας την οποία αποδίδει σταδιακά, μειώνοντας έτσι τα μέγιστα ψυκτικά φορτία. Επιπλέον, η χρονική υστέρηση της μετάδοσης θερμότητας επιτρέπει, με τον συνδυασμό άλλων τεχνικών, όπως για παράδειγμα του νυχτερινού φυσικού αερισμού, την μεταφορά της θερμότητας από τους εσωτερικούς χώρους προς το εξωτερικό περιβάλλον, τις περιόδους που η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

## ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΕ ΣΠΙΤΙΑ

Όσα είδαμε έως τώρα αφορούν παρεμβάσεις στο υπάρχον κτιριακό απόθεμα ή παρεμβάσεις μόνιμου χαρακτήρα σε νέα κτίρια. Ωστόσο, πλέον η τελευταία προσπάθεια στο αντικείμενο της καλύτερης εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια αποτελούν οι αυτοματισμοί, δηλαδή η δυνατότητα να ελέγχουμε αυτόματα μία σειρά από λειτουργίες του σπιτιού (θέρμανση, κλιματισμό, φωτισμό κτλ) με αυτόματο τρόπο μέσα από συστήματα ελέγχου που εξασφαλίζουν την άνεση και την ασφάλεια των κατοίκων. Αυτό ακριβώς ονομάζουμε «έξυπνο σπίτι», δηλαδή ένα κτίριο όπου οι ηλεκτρικές του εγκαταστάσεις είναι ρυθμισμένες ώστε μέσω της αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον να μεταβάλλουν τη λειτουργία τους.

Τα έξυπνα συστήματα μπορούν να ελέγχουν εκτός από τις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, τις μηχανολογικές εγκαταστάσεις αλλά και οικιακές συσκευές και συσκευές πολυμέσων (multimedia) δημιουργώντας ένα ενοποιημένο σύστημα. Στις τελευταίες εντάσσονται οι συσκευές τηλεπικοινωνιών, τα ηχοσυστήματα αλλά και οι τηλεοράσεις του σπιτιού. Συνδυάζοντας όλες αυτές τις ανεξάρτητες, αρχικά, εγκαταστάσεις σε μία κοινή βάση αποκτάται πλήρης έλεγχος της οικίας ο οποίος μπορεί να διεξαχθεί ακόμα και από μακριά.

### 2.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΣΠΙΤΙ

Ένα χαρακτηριστικό των έξυπνων σπιτιών είναι ότι τα ίδια περιφερειακά χρησιμοποιούνται για πολλές χρήσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι οι αισθητήρες παρουσίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο του φωτισμού και του συστήματος θέρμανσης αλλά χρησιμεύουν και για το σύστημα του συναγερμού. Ένα άλλο παράδειγμα αφορά στις οθόνες των τηλεοράσεων, οι οποίες μπορούν να προβάλουν και την εικόνα της θυροτηλεόρασης.

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τον αποτελεσματικό συντονισμό των συστημάτων αφορούν στη διευκόλυνση της καθημερινότητας των χρηστών. Η βελτίωση της ποιότητας ζωής των ενοίκων, έπειτα από κατάλληλο προγραμματισμό του συστήματος, συνοδεύεται από εξοικονόμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας και κατ' επέκταση και από εξοικονόμηση χρημάτων. Επίσης, τα έξυπνα συστήματα είναι δυνατό να εξασφαλίσουν ασφαλέστερες συνθήκες διαβίωσης. Κάποια ενδεικτικά παραδείγματα σχετικά με τους τρόπους που επιτυγχάνονται αυτοί οι στόχοι είναι τα εξής:

- **ποιότητα ζωής:** Ο ένοικος, μέσω οποιουδήποτε τονικού τηλεφώνου, σταθερού ή κινητού ή μέσω του internet, μπορεί να χειριστεί τις κύριες λειτουργίες της κατοικίας κατά τη διάρκεια απουσίας του. Έτσι, έχει τη δυνατότητα να ανάψει το θερμοσίφωνα λίγο πριν φτάσει σπίτι του και να ρυθμίσει τη θερμοκρασία του σπιτιού. Επίσης, μπορεί να προγραμματίσει αυτοματοποιημένο πότισμα κατά τη διάρκεια μακράς απουσίας.

- **εξοικονόμηση ενέργειας:** Η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται με τον αυτόματο έλεγχο των θερμοαντικίων σωμάτων. Εφόσον η θερμοκρασία δωματίου φτάσει σε κάποιο επιθυμητό επίπεδο, τα θερμοαντικά σώματα απενεργοποιούνται αυτόματα. Ένας άλλος τρόπος για την αποφυγή άσκοπης κατανάλωσης ενέργειας είναι η απενεργοποίηση της θέρμανσης όταν είναι ανοιχτά τα παράθυρα.
- **ασφάλεια:** Τα σύγχρονα συστήματα προσφέρουν τη δυνατότητα παρακολούθησης της κατοικίας. Έτσι, ο ιδιοκτήτης έχει τη δυνατότητα, όχι μόνο να παρακολουθεί από όλες τις τηλεοράσεις του σπιτιού την εικόνα που καταγράφουν οι κάμερες, αλλά και ενημερώνεται για την κατάσταση της οικίας κατά την απουσία του μέσω φωτογραφιών στο κινητό του. Σε περίπτωση που ενεργοποιηθούν οι αισθητήρες συναγερμού λόγω παραβίασης, υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης καταγραφής εικόνων. Επιπλέον, ο ιδιοκτήτης μπορεί να ενημερώνεται αν προκύψει κάτι έκτακτο όπως πυρκαγιά ή διαρροή νερού κατά την απουσία του.

Τα σύγχρονα συστήματα που εφαρμόζονται στις έξυπνες κατοικίες, εξασφαλίζουν για τους ενοίκους πάρα πολλές διευκολύνσεις. Οι παροχές αυτές πολλαπλασιάζονται καθώς, εκτός από τις βασικές, υπάρχει η δυνατότητα ο ιδιοκτήτης να προγραμματίσει το σύστημα και να δημιουργήσει δικά του σενάρια, προκειμένου να καλύπτονται πλήρως οι ανάγκες των ενοίκων. Τα σενάρια που μπορούν να εφαρμοστούν είναι πρακτικά άπειρα. Κάποια παραδείγματα, όσον αφορά στις συνήθεις λειτουργίες των έξυπνων σπιτιών, παρουσιάζονται ενδεικτικά παρακάτω.

1. **Φωτισμός:** Αυτοματοποιημένος φωτισμός που αυξομειώνεται κατά τη διάρκεια της μέρας, προκατασκευασμένα σενάρια φωτισμού, αυτόματη ενεργοποίηση-απενεργοποίηση των φώτων κτλ.
2. **Ασφάλεια:** Προστασία από βραχυκυκλώματα, πλυμμές, πυρκαγιά ή οποιαδήποτε βλάβη. Σε αυτήν την περίπτωση, το «έξυπνο σπίτι» λειτουργεί σαν σύνολο συναγερμών.
3. **Έλεγχος θέρμανσης, κλιματισμού, αερισμού:** Δυνατότητα προρυθμισμένης (ή και ρύθμισης από μακριά) θερμοκρασία για την κατοικία. Αντίστοιχα και για τον κλιματισμό-αερισμό, ενώ επίσης δυνατότητα αυτόματης ενεργοποίησης συστήματος εξαερισμού όταν υπάρχει υψηλή συγκέντρωση αερίων – καπνού στο χώρο. Αντίστοιχα η θέρμανση μπορεί να κλείνει αν υπάρξει ανοιχτό παράθυρο ή όποτε θεωρείται περιττή.
4. **Έλεγχος ηλεκτρικών περσίδων και τεντών:** Θα μπορούσε να εντάσσεται στην προηγούμενη ενότητα, ωστόσο αποτελεί μεγάλο αυτοτελές κομμάτι των συστημάτων ελέγχου ενός σπιτιού. Οι τέντες, οι περσίδες, τα παράθυρα μπορούν να ανοιγοκλείνουν ανάλογα με τη θερμοκρασία, το φως, ακόμα και τον αέρα ρυθμίζοντας απόλυτα τις συνθήκες διαβίωσης.
5. **Πολυμέσα:** Δυνατότητα διασύνδεσης τηλεοπτικών συσκευών-ηχοσυστημάτων-τηλεφωνικών συσκευών μεταξύ τους είτε με άλλες συσκευές σε όλο το σπίτι.

Γενικά, σ' ένα «έξυπνο σπίτι» μπορούμε να ρυθμίσουμε απόλυτα τις συνθήκες διαβίωσης ώστε σ' ένα αυτοματοποιημένο περιβάλλον να λειτουργούν όλα τα συστήματα αυτόματα, αρμονικά μεταξύ τους προσφέροντάς μας το κατάλληλο περιβάλλον. Το βασικότερο, ωστόσο, είναι ότι μπορούμε να ελέγξουμε πλήρως την κατανάλωση ενέργειας, εξοικονομώντας το μέγιστο καθώς η λειτουργία των συσκευών, της θέρμανσης, του κλιματισμού και των υπολοίπων λειτουργιών καθορίζεται απόλυτα απ' το χρόνο που μας είναι αναγκαίο.

## 2.2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ

Βλέποντας τη χρησιμότητα των αυτοματοποιημένων συστημάτων αλλά και την ευρύτητα της χρήσης τους για τα κτίρια, έχει νόημα να μελετήσουμε παραπάνω το ζήτημα των συστημάτων ελέγχου σε κτίρια. Ουσιαστικά, κάθε μία από τις παραπάνω εφαρμογές βασίζεται σε συστήματα ελέγχου, που ανάλογα με τα εκάστοτε δεδομένα διαμορφώνουν τη λειτουργία τους. Συνολικά, η δυνατότητά μας με αυτόν τον τρόπο να αυτοματοποιήσουμε όλες τις λειτουργίες που προσφέρουν άνεση, σωστές συνθήκες διαβίωσης και ασφάλεια σε ένα κτίριο καταλήγει στην μεγαλύτερη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας και σ' ένα σπίτι φιλικό προς το περιβάλλον αλλά και πιο οικονομικό.

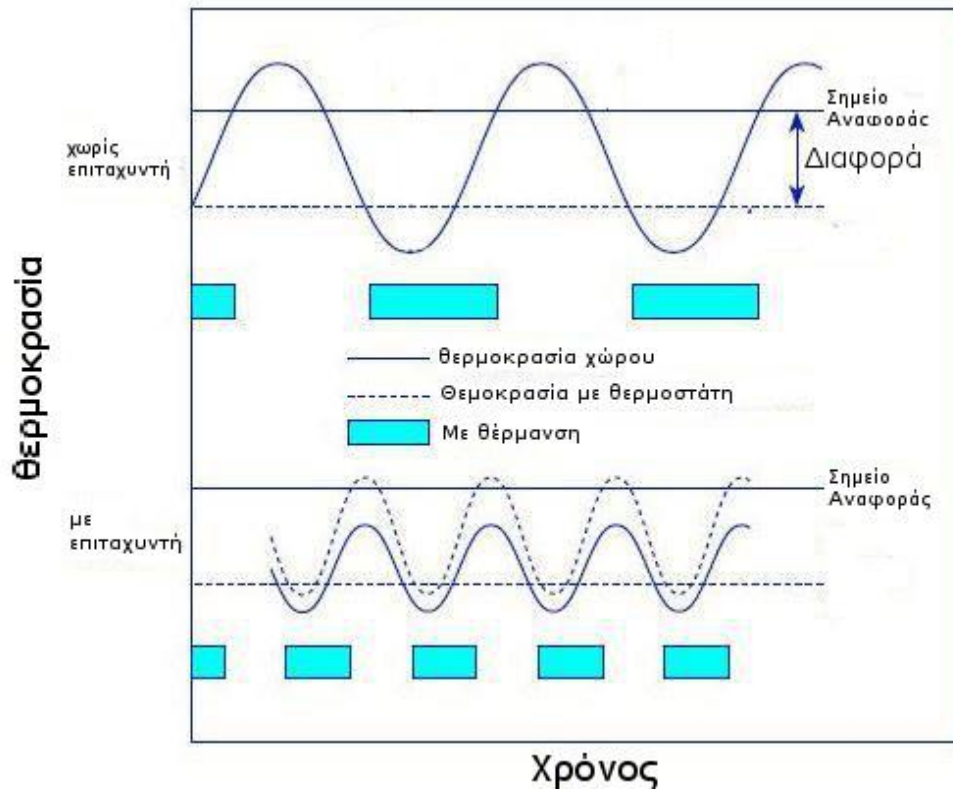
Ουσιαστικά, όταν μιλάμε για συστήματα ελέγχου αναφερόμαστε σε συστήματα που αποτελούνται από τουλάχιστον από 3 στοιχεία: έναν αισθητήρα, έναν ελεγκτή και μια συσκευή ελέγχου. Ο αισθητήρας ανιχνεύει την τιμή της μεταβλητής που μετράμε, ο ελεγκτής χρησιμοποιεί τη συγκεκριμένη τιμή για να υπολογίσει και να στείλει το σήμα στη συσκευή ελέγχου, που ανάλογα με το σήμα αυτό καθορίζει τη λειτουργία του συστήματος. Επί της ουσίας, για τα περισσότερα συστήματα ελέγχου που είναι συστήματα κλειστού βρόχου, ο ελεγκτής ελέγχει τη συμπεριφορά της μεταβλητής την οποία ο αισθητήρας μετράει. Επομένως μεταβάλλει αντίστοιχα τη λειτουργία του συστήματος, η οποία επηρεάζει αντίστοιχα τη νέα είσοδο που θα πάρει ο ελεγκτής, δημιουργώντας ένα σύστημα που λειτουργεί με ανατροφοδότηση. Παράδειγμα το ενδεικτικό σχήμα 1, το οποίο δείχνει ένα σύστημα διατήρησης θερμοκρασίας σε ένα δωμάτιο. Όσο χαμηλότερη τιμή θερμοκρασίας ανιχνεύεται, τόσο περισσότερο λειτουργεί η θέρμανση του δωματίου, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του δωματίου τελικά. Η αύξηση αυτή ανιχνεύεται και πάλι από τον αισθητήρα και μεταφέρεται στον ελεγκτή, που αλλάζει αντίστοιχα το σήμα του. Ένα τέτοιο σύστημα προφανώς είναι μόνιμα ελεγχόμενο, αλλά εδώ να σημειώσουμε ότι κακός σχεδιασμός μπορεί να καταλήξει στην πλήρη αδυναμία ελέγχου του. Αντίστοιχα, συστήματα ανοικτού βρόχου είναι αυτά που λειτουργούν χωρίς ανατροφοδότηση, καθώς η αλλαγή λειτουργίας της συσκευής ελέγχου δεν καταλήγει σε αλλαγή της μεταβλητής που μετράει ο αισθητήρας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ένας ισοσταθμιστής θερμοκρασίας, όπου ένας εξωτερικός αισθητήρας θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για να καθορίζει τη ροή θερμότητας σ' ένα σύστημα θέρμανσης ενός κτιρίου. Το σύστημα δεν έχει κανένα τρόπο να «μάθει» ποια η θερμοκρασία εσωτερικά του κτιρίου και αν επιτεύχθηκε η ιδανική.

Ουσιαστικά, ένας βρόχος ελέγχου έχει περισσότερες από μία εισόδους και περισσότερες από μία εξόδους. Προφανώς τέτοια συστήματα μπορούν να συνδεθούν και να δημιουργηθούν ακολουθίες ελέγχου. Μια απλή περιγραφή των συστημάτων ελέγχου είναι ότι η είσοδος και η έξοδος ενός ελεγκτή είναι μια μεταβλητή όπως η θερμοκρασία που ανάλογα με την τιμή της επηρεάζεται η λειτουργία του. Ωστόσο, οι ακολουθίες ελέγχου, ένα σημαντικό κομμάτι των συστημάτων ελέγχου σήμερα, είναι ένα σύνολο σύνθετων πλεγμάτων διαφορετικών συστημάτων, καθώς εξετάζονται διάφορες μεταβλητές από διάφορα συστήματα. Τέλος, οι περισσότερες εισοδοί και εξοδοί είναι δυαδικές (on/off) απ' τη φύση τους, καθώς συνήθως μιλάμε για μια τιμή μιας μεταβλητής που πρέπει ή δεν πρέπει να ξεπεραστεί και ανάλογα στέλνει σήμα η συσκευή ελέγχου. Προφανώς, υπάρχουν πολλές διαφορετικές μορφές ελέγχου, και ο τρόπος με τον οποίο κάθε σύστημα αντιδρά στην αλλαγή της τιμής της μετρούμενης μεταβλητής εξαρτάται απ' τη συγκεκριμένη μορφή ελέγχου.

### 2.2.1 Μορφές Ελέγχου

#### **1. Έλεγχος 2 θέσεων (on-off)**

Σε αυτήν την περίπτωση, η συσκευή ελέγχου δίνει είτε μέγιστο είτε ελάχιστο αποτέλεσμα, ουσιαστικά λειτουργεί ή όχι. Έστω ένα τέτοιο σύστημα για ένα σύστημα θέρμανσης. Στόχος είναι να ελέγξουμε τη θερμοκρασία σ' ένα σημείο αναφοράς. Είναι αναγκαίο, για λόγους που θα εξηγήσουμε, να υπάρχει μια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της λειτουργίας on και off της συσκευής ελέγχου. Έτσι, με τη θέρμανση να λειτουργεί, η θερμοκρασία ανεβαίνει μέχρι να ξεπεράσει το σημείο αναφοράς. Τότε η θέρμανση κλείνει και παραμένει κλειστή μέχρις ότου η διαφορά θερμοκρασίας ξεπεράσει το χαμηλότερο επίπεδο. Τότε ξαναοίγει και επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ανώτερου και του κατώτερου ορίου λέγεται διαφορικό διάκενο ή απλά διαφορά. Μέσα στο διάκενο αυτό η λειτουργία θα είναι είτε on είτε off, ανάλογα με την τελευταία εντολή της συσκευής ελέγχου. Το σημείο αναφοράς είναι συνήθως το ανώτερο όριο του διαφορικού διακένου, αν και νεότερες συμβάσεις το θέτουν στη μέση του. Η θερμοκρασία δωματίου συνεχίζει να αυξάνεται για ένα μικρό χρονικό διάστημα αφού το σύστημα θέρμανσης έχει κλείσει, για διάφορους τεχνικούς παράγοντες. Ένα σύστημα ελέγχου 2 θέσεων καταλήγει σε μια θερμοκρασία που παίρνει τιμές γύρω απ' το σημείο αναφοράς (από λίγο χαμηλότερες έως λίγο υψηλότερες) και μια μέση θερμοκρασία λίγο πάνω απ' αυτό. Το εύρος αυτής της απόκλισης των τιμών της θερμοκρασίας μπορεί να μειωθεί μειώνοντας το διαφορικό διάκενο μέσω βοηθητικών στοιχείων στο σύστημα, έχοντας όμως κόστος στη συχνότητα της αυξομείωσης της τιμής της θερμοκρασίας. Η απόκλιση κορυφής-κορυφής (στην παράσταση της θερμοκρασίας) είναι η διαφορά του ελεγκτή ή λειτουργική διαφορά, ενώ η διαφορά που γίνεται εμφανής μέσω του θερμοστάτη είναι η μηχανική διαφορά.



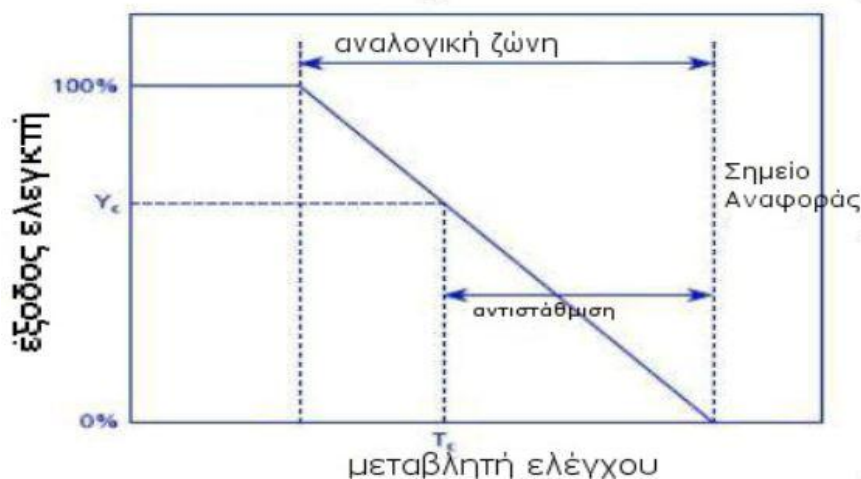
Σχήμα 2.1: Συμπεριφορά συστήματος ελέγχου on-off

Κλασικό παράδειγμα ελέγχου 2 θέσεων αποτελεί ο συνηθισμένος θερμοστάτης δωματίου. Η εσωτερική (και άρα μόνιμη, λόγω μηχανικών λόγων) διαφορά του θερμοστάτη είναι ενός τάξης των 3 K, η οποία μειώνεται με την χρήση ενός επιταχυντή θέρμανσης στον θερμοστάτη. Ενόσ χαμηλής έντασης θερμαντήρας στο εσωτερικό του θερμοστάτη (συνδεδεμένος παράλληλα με το φορτίο και καταλήγοντας στο σύστημα θέρμανσης) αυξάνει τη θερμοκρασία που «αντιλαμβάνεται» ο θερμοστάτης, κλείνοντας νωρίτερα. Με αυτόν τον τρόπο, αυξάνεται η συχνότητα ενός αυξομείωσης ενός τιμής ενός θερμοκρασίας, μειώνοντας τη λειτουργική διαφορά. Ουσιαστικά, η επίδραση του επιταχυντή είναι να μειώσει τη θερμοκρασία δωματίου που επιτύχαμε μέσω του θερμοστάτη λίγο πιο κάτω απ' τη θερμοκρασία αναφοράς.

## 2. Αναλογικός Έλεγχος (proportional control)

Ο αναλογικός έλεγχος προϋποθέτει μια συνεχή μεταβλητή έξοδο απ' τη συσκευή ελέγχου. Το σύστημα ελέγχου παράγει μια έξοδο που είναι αναλογική στο σήμα σφάλματος, πχ η διαφορά ανάμεσα στην τιμή ενός μεταβλητής που ελέγχουμε και στο σημείο αναφοράς. Για να μπορέσει ο ελεγκτής να παράξει την κατάλληλη έξοδο, είναι απαραίτητο να υπάρξει μια αντιστάθμιση ενός ελεγχόμενης μεταβλητής και του σημείου αναφοράς. Στο σχήμα 2.2 φαίνεται η λειτουργία ενός αναλογικού ελεγκτή ενός συστήματος θέρμανσης. Η έξοδος του ελέγχου αυξάνει από 0 έως 100% όσο η είσοδος πέφτει απ το σημείο αναφοράς. Φαίνεται πως σε συνθήκες σταθερής κατάστασης η τιμή ισορροπίας του σημείου ελέγχου θα είναι

κάτω απ' το σημείο αναφοράς και ότι η αντιστάθμιση θα αυξάνει με το φορτίο, δηλαδή σε πιο κρύο καιρό όταν θερμική φόρτιση θα είναι μεγαλύτερη. Για συστήματα ψύξης, αντίστοιχα, η τιμή ισορροπίας θα είναι πάνω απ' το σημείο αναφοράς.



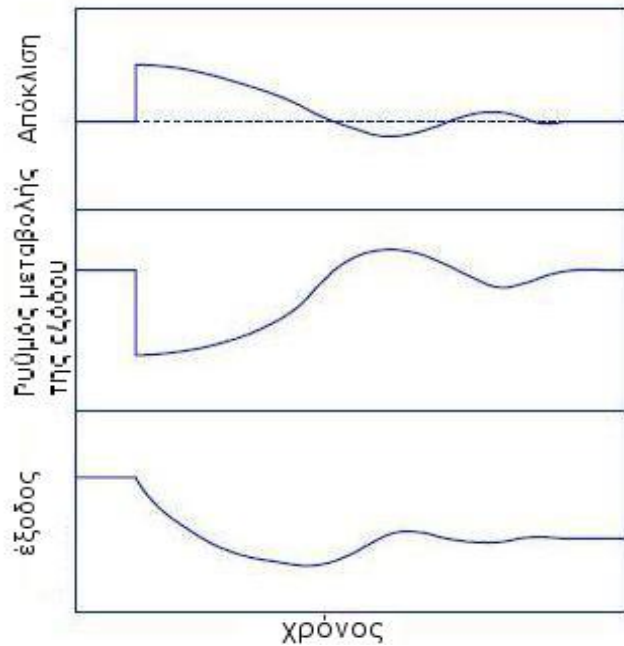
Σχήμα 2.2: Λειτουργία αναλογικού ελεγκτή

Η αναλογική ζώνη μπορεί να εκφραστεί σε μονάδες της φυσικής ποσότητας που ελέγχουμε. Αν, για παράδειγμα, ο ελεγκτής έχει ένα εύρος κλίμακας από 0 έως 80 C και ένα αναλογικό εύρος ζώνης 20 K, η αναλογική ζώνη είναι 25%. Το κέρδος του αναλογικού ελεγκτή είναι ανάλογο της αναλογικής ζώνης, εκφραζόμενα σε φυσικά μεγέθη.

### 3. Ακέραιος Έλεγχος (integral control)

Ο ακέραιος έλεγχος δεν είναι μια μορφή ελέγχου που συναντάμε συνήθως μόνη της, αλλά σε συνδυασμό με τον αναλογικό στον αναλογικό-ακέραιο έλεγχο (PI controller). Στην αυθεντική του μορφή παράγει ένα ρυθμό μεταβολής της εξόδου του ελεγκτή αναλογικά με την απόκλιση απ' το σημείο αναφοράς. Όταν η ελεγχόμενη μεταβλητή είναι στο σημείο αναφοράς, ο ρυθμός μεταβολής της εξόδου είναι μηδέν. Το σύστημα τότε θα έπρεπε κανονικά να ρυθμιστεί σε μια σταθερή συνθήκη, με σταθερή έξοδο και μηδενική αντιστάθμιση. Στο σχήμα 2.3. φαίνονται οι τιμές αυτής της μορφής ελέγχου.





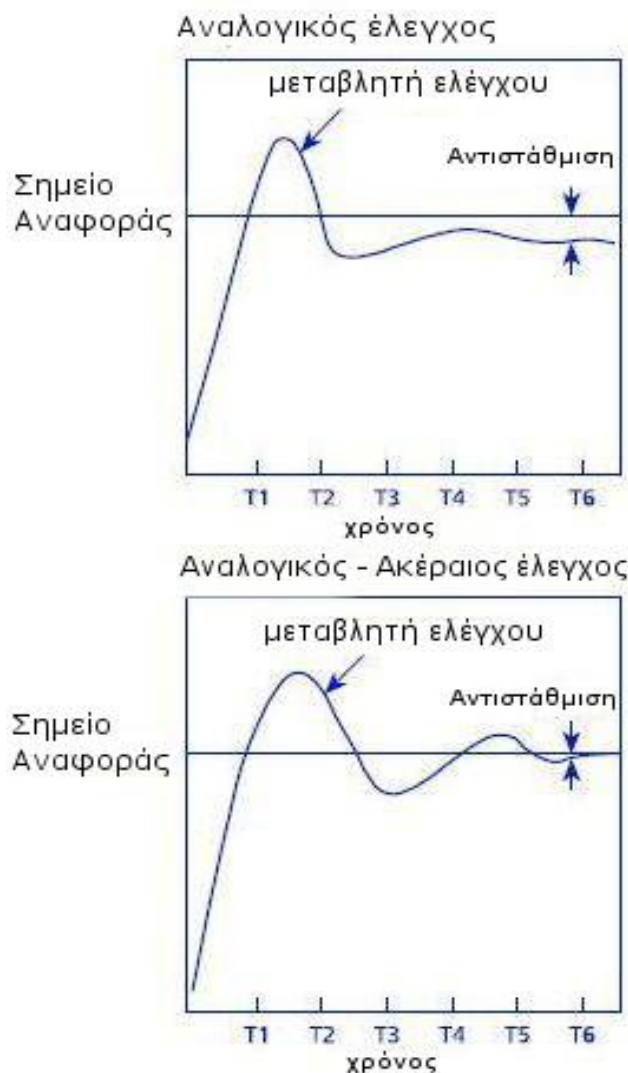
Σχήμα 2.3: έξοδος, ρυθμός μεταβολής και απόκλιση

Όταν ο ακέραιος έλεγχος χρησιμοποιείται μόνος του, πρέπει να χρησιμοποιείται σε συστήματα με σταθερές μικρής διάρκειας και γρήγορες μεταβολές. Δεν ταιριάζει σε συστήματα με αργές αποκρίσεις ή μεγάλες καθυστερήσεις. Μια κλασική συσκευή ελέγχου είναι μια βαλβίδα ελεγχόμενη από έναν ενεργοποιητή μεταβλητής ταχύτητας, που δίνει τους απαραίτητους ρυθμούς μεταβολής του ελέγχου.

#### 4. Αναλογικός - ακέραιος έλεγχος (proportional-integral control)

Προσθέτοντας ακέραιο έλεγχο σ' έναν αναλογικό ελεγκτή αντισταθμίζουμε το σφάλμα φόρτισης. Αυτή είναι πιθανότατα και η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη μορφή σε συστήματα ελέγχου θέρμανσης, εξαερισμού, κλιματισμού (HVAC) και όταν είναι σωστά τοποθετημένη μπορεί να παρέχει σταθερό έλεγχο ακόμα και με μηδενική απόκλιση. Ο ελεγκτής ενσωματώνει σταδιακά την απόκλιση απ' το σημείο αναφοράς και χρησιμοποιεί την τιμή αυτή για να προσαρμόσει την έξοδο του ελέγχου ώστε να έχει την ελεγχόμενη τιμή πίσω προς το σημείο αναφοράς. Η αναλογική ζώνη μπορεί έτσι να αυξηθεί για να δώσει σταθερό έλεγχο, και η απόκλιση φόρτισης που θα μπορούσε αλλιώς να υπάρξει εξαλείφεται σταδιακά απ' τον ακέραιο έλεγχο. Η ακέραια ρύθμιση χαρακτηρίζεται απ' τον χρόνο ακέραιας ενέργειας, που είναι ο χρόνος που χρειάζεται στο ακέραιο κομμάτι της εξίσωσης της εξόδου ελέγχου να ταιριάζει με την αλλαγή της εξόδου λόγω του αναλογικού κομματιού. Οι περισσότεροι αναλογικοί-ακέραιοι ελεγκτές είναι διαδραστικοί, όπου το ακέραιο κέρδος πολλαπλασιάζεται εσωτερικά με το αναλογικό κέρδος. Αυτό συμβαίνει γιατί η αναλογική ζώνη μπορεί να ρυθμιστεί χωρίς να επηρεάζει τον ακέραιο χρόνο. Ένας μη διαδραστικός ελεγκτής έχει ανεξάρτητα ρυθμιζόμενα κέρδη για τις αναλογικές και τις ακέραιες ενέργειες, οπότε ρυθμίζοντας το αναλογικό

κέρδος μεταβάλλει τον χρόνο των ακέραιο ενεργειών. Επίσης, ένας μεγάλος ακέραιος χρόνος αυξάνει τα σφάλματα φόρτισης σταθερής κατάστασης, στο όριο του άπειρου ακέραιου χρόνου ένας αναλογικός-ακέραιος ελεγκτής γίνεται απλώς ένας αναλογικός ελεγκτής. Τέλος, αν ο ακέραιος χρόνος μειωθεί σε μια τιμή περίπου όσο και ο σταθερός χρόνος του συστήματος ελέγχου, θα καταλήξουμε σε αστάθεια.



Σχήμα 2.4. Αναλογικός (proportional) και αναλογικός-ακέραιος (proportional-integral) έλεγχος

## 5. Ψηφιακός έλεγχος (digital control)

Οι ελεγκτές με μικροεπεξεργαστές λειτουργούν δειγματοληπώντας τιμές απ' την ελεγχόμενη μεταβλητή σε διακριτές χρονικές στιγμές. Τότε, ο μικροεπεξεργαστής υπολογίζει την απαιτούμενη έξοδο του ελεγκτή. Για το μεγαλύτερο κομμάτι, η επεξεργασία είναι ίδια με τον αναλογικό έλεγχο όπως περιγράφηκε παραπάνω. Ο ελεγκτής μπορεί να αποθηκεύει προηγούμενες τιμές της ελεγχόμενης μεταβλητής, που είναι απαραίτητες για να υπολογίσει το παράγωγο

και το ακέραιο κομμάτι. Μια διαφορά ανάμεσα στους αναλογικούς και ψηφιακούς ελεγκτές αφορά την επίδραση του ρυθμού δειγματοληψίας. Η συχνότητα της δειγματοληψίας περιορίζεται απ' την ταχύτητα του επεξεργαστή και οποιαδήποτε πολυπλοκότητα της εισόδου του ελεγκτή, όπως και η δυνατότητα του δικτύου να μεταδώσει τακτικά μηνύματα. Αν ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι πολύ χαμηλός, το σύστημα μπορεί να καταλήξει σε αστάθεια αν ο ελεγκτής αναβάλλει τις κατάλληλες λειτουργίες ελέγχου. Όπου υπάρχει πολύ γρήγορος ρυθμός δειγματοληψίας, κάποιοι ελεγκτές αναβαθμίζουν την έξοδο σε μεσοδιαστήματα (μεταξύ των αλλαγών της) που είναι μεγαλύτερα απ' τα διαστήματα δειγματοληψίας. Κάποιοι ελεγκτές επιτρέπουν τα διαστήματα αυτά (ανάμεσα σε αλλαγές της εξόδου) να ρυθμίζοντας ανεξάρτητα απ' τα διαστήματα δειγματοληψίας του ελεγκτή.

## 6. Έλεγχος αλληλοεπικάλυψης

Για κάποιες εφαρμογές είναι ένα πλεονέκτημα να μπορέσουμε να χωρίσουμε τον ελεγκτή σε δύο υποσυστήματα: ένα υποελεγκτή που ελέγχει ένα ενδιάμεσο κομμάτι του ελεγχόμενου συστήματος, και έναν κεντρικό ελεγκτή που ρυθμίζει το σημείο αναφοράς του βρόχου του υποελεγκτή. Μια κλασική εφαρμογή είναι για τον έλεγχο θερμοκρασίας ενός μεγάλου χώρου, που ο κεντρικός ελεγκτής ελέγχει το σημείο αναφοράς της θερμοκρασίας αέρα σαν μια συνάρτηση της θερμοκρασίας χώρου, και ένας υποελεγκτής ελέγχει τη θερμοκρασία του αέρα μεταβάλλοντας τη θέρμανση.

Στη κλασική του μορφή, ο υποελεγκτής παρέχει έλεγχο της θερμοκρασίας αέρα έναντι σε μεταβολές της θερμοκρασίας (πχ λόγω του εισερχόμενου αέρα). Ο κεντρικός ελεγκτής επαναφέρει το σημείο αναφοράς μέσω της θερμοκρασίας του χώρου χρησιμοποιώντας αναλογικό-ακέραιο έλεγχο. Εδώ χρειάζεται να προσέξουμε για να αποφύγουμε την αστάθεια αν και οι δύο βρόχοι χρησιμοποιούν ακέραιες λειτουργίες. Ένας ξεκάθαρος όρος για αυτό το σύστημα ελέγχου είναι ο έλεγχος αλληλοεπικάλυψης (επίσης γνωστός και ως έλεγχος επαναφοράς – reset control).

## 7. Χρονικές καθυστερήσεις

Σε οποιοδήποτε βρόχο με ανατροφοδότηση, η απόκριση του συστήματος, όπως γίνεται αντιληπτή από την έξοδο του αισθητήρα του συστήματος, δεν συμβαίνει ακαριαία με την αλλαγή της εξόδου ελέγχου. Υπάρχουν 2 τύποι καθυστερήσεων. Η καθυστέρηση μεταφοράς, περιγράφει τον χρόνο που παίρνει για τη θέρμανση ή οποιαδήποτε άλλη λειτουργία να ενεργοποιηθεί (να «ταξιδέψει» από την πηγή στο σημείο όπου μεταφέρεται στο χώρο). Σε μεγάλες εγκαταστάσεις, οι αποστάσεις μπορεί να είναι πολύ μεγάλες και η συγκεκριμένη διαδικασία μπορεί να πάρει ακόμα και μερικά λεπτά. Ο δεύτερος τύπος καθυστέρησης, αφορά το χρόνο που χρειάζεται για να αυξηθείς τη θερμοκρασία ενός στοιχείο ανάλογα με τη θερμική του χωρητικότητα. Αν δούμε ένα απλό σύστημα θέρμανσης, θα δούμε ότι όταν ο ελεγκτής δίνει να ανοίξει η βαλβίδα, ζεστό νερό φεύγει προς τους σωλήνες θέρμανσης και απαιτείται ένας χρόνος προκειμένου να τους φτάσει. Συμβαίνουν

μια σειρά από μεταφορές: το πρώτο νερό στους σωλήνες θέρμανσης, από εκεί στο καλοριφέρ, μετά στο κυλινδρικό υλικό και από εκεί στον αισθητήρα.

Όλες οι καθυστερήσεις συμβάλλουν σε προβλήματα ελέγχου. Ο ακέραιος έλεγχος είναι ακατάλληλος για συστήματα με σημαντικό «νεκρό» χρόνο, αφού ο ελεγκτής θα συνεχίζει να αλλάζει την έξοδό του κατά τη διάρκεια του χρόνου αυτού. Εκεί ο αναλογικός-ακέραιος έλεγχος ταιριάζει περισσότερο. Ο αναλογικός έλεγχος, με ευρεία αναλογική ζώνη, προσφέρει ένα σταθερό έλεγχο, και η ακέραια λειτουργία, με μεγάλο ακέραιο χρόνο, απομακρύνει την πιθανότητα σφάλματος φόρτισης.

## 8. Λογικός έλεγχος

Η χρήση μικροεπεξεργαστή βασισμένου σε όλες αυτές τις μορφές ελέγχου προσφέρει τεράστιες δυνατότητες, αφού κάθε τακτική ελέγχου μπορεί να προγραμματιστεί. Πρακτικά, οι ίδιοι οι ψηφιακοί ελεγκτές είναι βασισμένοι στις μορφές ελέγχου που παρουσιάστηκαν πιο πάνω. Εν πάσει περιπτώσει, οι ελεγκτές χρησιμοποιούν έναν αριθμό λογικών ελεγκτικών λειτουργιών για να βελτιώσουν συνολικά την λειτουργία του συστήματος ελέγχου. Τέτοιες λειτουργίες είναι:

- Μνήμη-σύγκριση: Η είσοδος αλλάζει βάσει μιας τιμής που είναι μεγαλύτερη από μια προηγούμενη μέτρηση. Χρησιμοποιείται για να σταματήσει το σύστημα ελέγχου να αποκρίνεται σε μικρές μεταβολές της ελεγχόμενης μεταβλητής.
- Εύρεση μέσου όρου: Μέσω αυτής της λειτουργίας το σύστημά μας βρίσκει τον μέσο όρο μιας σειράς εισόδων. Λόγω αυτού, μπορεί να αγνοεί ακραίες τιμές (που μπορεί να οφείλονται σε σφάλματα μέτρησης κτλ)
- Λογικές πράξεις: Παρέχουν όλο το σύνολο της άλγεβρας Boole, δηλαδή πύλες AND, NOT, OR και XOR. Χρησιμοποιούνται για να αποφεύγουν «λογικά» σφάλματα πχ να απαγορεύουν τη χρήση συστήματος θέρμανσης όταν τα παράθυρα είναι ανοιχτά.

Προφανώς υπάρχουν και άλλες πάρα πολλές λειτουργίες, προκειμένου να καλύψουν τις περισσότερες απαιτήσεις ελέγχου. Παρόλα αυτά, για συγκεκριμένες περιπτώσεις, μπορεί κάποιος να γράψει συγκεκριμένη τακτική ελέγχου χρησιμοποιώντας γλώσσες προγραμματισμού όπως BASIC ή C.

### 2.2.2. Βέλτιστη εκκίνηση

Μια απ' τις πιο σημαντικές λειτουργίες ενός συστήματος ελέγχου κτιρίου είναι ο χρονικό έλεγχος, το να διασφαλίσουμε δηλαδή ότι το σύστημα δεν θα λειτουργεί όταν δεν χρειάζεται. Αν συγκρίνουμε την ελεγχόμενη θέρμανση ή κλιματισμό ενός κτιρίου σε σχέση με τις αντίστοιχες συνεχόμενες λειτουργίες, θα διαπιστώσουμε ότι έχουμε πολύ μεγάλο ενεργειακό κέρδος. Αυτό ωστόσο δεν είναι απόλυτο για όλες τις κατασκευές, οφείλεται σε μια σειρά από παράγοντες: πχ σε κτίρια που θερμαίνονται εύκολα τα κέρδη είναι μεγαλύτερα.

Απλός έλεγχος ενός χρονομετρητή μπορεί να είναι αποτελεσματικός και κατάλληλος για συστήματα θέρμανσης με έξοδο περίπου στα 30kW. Για μεγαλύτερες αποδόσεις, απαιτείται ένας ελεγκτής βέλτιστης εκκίνησης. Γιατί συμβαίνει αυτό; Μ' έναν απλό χρονομετρητή που αλλάζει απ' την κεντρική λειτουργία στη λειτουργία διαμονής έχουμε μια ικανοποιητική θερμοκρασία όταν αλλάζουμε για την τελευταία. Αυτό μπορεί να συμβαίνει στις περιόδους που έχουμε ψυχρό καιρό, αλλά σε πιο ήπιο κλίμα μας δίνει μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση απ' την αναγκαία. Αντίστοιχα, σε περιπτώσεις όπου το σπίτι έχει μείνει άδειο για ένα διάστημα επίσης χρειάζεται διαφορετική διαδικασία θέρμανσης. Ο ελεγκτής βέλτιστης εκκίνησης υπολογίζει την τελευταία αλλαγή βάσει ενός εύρους συνθηκών, αντιμετωπίζοντας τα παραπάνω προβλήματα. Η κυρίαρχη λειτουργία του είναι να υπολογίζει την τελευταία χρονική αλλαγή, προσμετρώντας μια ελάχιστη θερμοκρασία για το κτίριο (10 βαθμούς Κελσίου), προστασία απ' το ψύχος και την υγρασία κτλ.

Επίσης, μια λειτουργία βέλτιστης διακοπής είναι κατάλληλη για τις περιπτώσεις που η θέρμανση ή ο κλιματισμός πρέπει να μεταβληθούν πριν το τέλος της περιόδου διαμονής και πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι η θερμοκρασία του χώρου δεν θα ξεφύγει απ' τα προκαθορισμένα όρια στο τέλος της περιόδου αυτής. Ωστόσο, η βέλτιστη διακοπή έχει λιγότερα κέρδη απ' την αντίστοιχη εκκίνηση, γι' αυτό και χρησιμοποιείται λιγότερο.

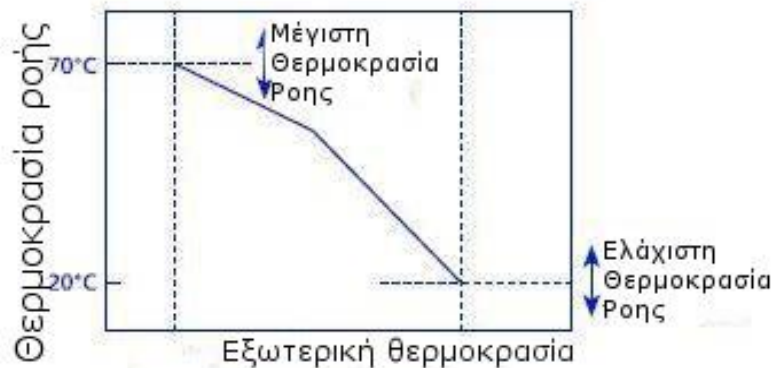
### 2.2.3. Αντιστάθμιση σύμφωνα με τις καιρικές συνθήκες

Συνήθως, ένα σύστημα θέρμανσης ενός κτιρίου έχει σχεδιαστεί για να παρέχει θέρμανση σε μια προκαθορισμένη μέρα σε σχέση με τις καιρικές συνθήκες, ουσιαστικά υπάρχει ένα επιπρόσθετο όριο που επιτρέπεται να παρέχεται επιπλέον ενέργεια απ' το συνηθισμένο. Η χωρητικότητα του συστήματος θέρμανσης είναι επομένως μεγαλύτερη απ' αυτό που απαιτείται εκτός απ' την ψυχρότερη περίπτωση. Για κτίρια θερμαινόμενα από ένα συμβατικό σύστημα, η λειτουργία σ' ένα ήπιο καιρό με την θερμοκρασία ροής στην μεγαλύτερη τιμή όπως έχει σχεδιαστεί, τυπικά στους 80 C, μπορεί να καταλήξει σε προβλήματα ελέγχου, με υψηλές αλλαγές θερμοκρασίας, όπως και στο σπατάλημα ζέστης απ' το κύκλωμα του ζεστού νερού. Για κτίρια μεγαλύτερα απ' τα σπίτια ή τα μικρότερα εμπορικά, απαιτείται αντιστάθμιση σύμφωνα με τις καιρικές συνθήκες, για να αντισταθμίσουμε την θερμοκρασία ροής εντός του κυκλώματος με την εξωτερική θερμοκρασία.

Ο έλεγχος της αντιστάθμισης επιτρέπει σε όλο το κτίριο να μπορεί να ελεγχθεί σαν μια μονάδα, ή σαν ένας περιορισμένος αριθμός ζωνών, περιορίζοντας την ανάγκη να παρέχουμε ένα μεγάλο αριθμό από διαφορετικούς ελέγχους θερμοκρασίας χώρου. Επίσης περιορίζουμε το χάσιμο θέρμανσης σε μια σειρά από περιπτώσεις, πχ αν τα παράθυρα είναι ανοιχτά. Αν χρησιμοποιείται ως η μοναδική μορφή ελέγχου θερμοκρασίας, απαιτεί την ρύθμιση της εστίας θέρμανσης του κτιρίου (καλοριφέρ κτλ) ώστε να ταιριάζει απόλυτα με τις απαιτήσεις του κτιρίου,

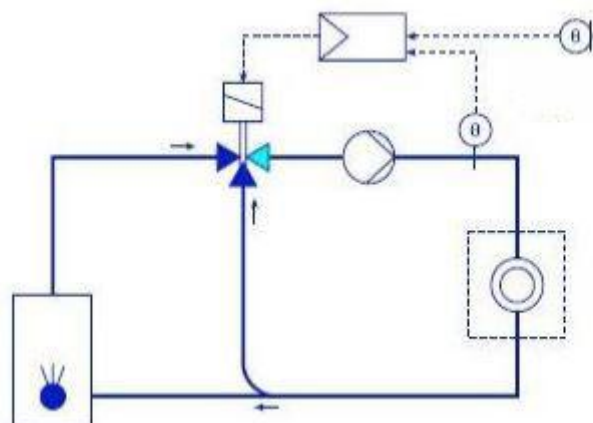
κάτι που είναι σχεδόν απίθανο να γίνει προκαταβολικά, οπότε θα χρειάζονται επιπλέον «προμήθειες».

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τα χαρακτηριστικά μιας τέτοια αντιστάθμισης. Ο ελεγκτής διαμορφώνει την αντιστάθμιση της μικρότερης (minimum flow temperature) και της μεγαλύτερης θερμοκρασίας ροής (maximum flow temperature) και την κλίση της χαρακτηριστικής καμπύλης.



Σχήμα 2.5.: Λειτουργία αντιστάθμισης σύμφωνα με τις καιρικές συνθήκες

Το παρακάτω σχήμα δείχνει μια συνηθισμένη μέθοδο που χρησιμοποιείται σε μικρότερα κτίρια για να παρέχει αντισταθμισμένη θερμοκρασία ροής. Νερό απ' τον βραστήρα (boiler) αναμιγνύεται με κρύο νερό απ' το δευτερεύον κύκλωμα (στο σημείο του κυκλώματος που έχει 3 εισόδους). Ο αισθητήρας θερμοκρασίας ανταποκρίνεται γρήγορα σε αλλαγές θερμοκρασίας στο κύκλωμα. Προφανώς, για μεγαλύτερα κτίρια ή για πιο ειδικές απαιτήσεις, χρειάζονται πιο σύνθετες κατασκευές.



Σχήμα 2.6.: Κύκλωμα ελέγχου θερμοκρασίας

Αυτή η απλή μορφή καιρικής αντιστάθμισής είναι παράδειγμα ελέγχου

ανοιχτού βρόχου, δηλαδή δεν υπάρχει ανατροφοδότηση απ' τη θερμοκρασία που πετύχαμε να έχουμε και αυτή εξαρτάται απ' τις αρχικές ρυθμίσεις μας. Επομένως, η ρύθμιση της χαρακτηριστικής καμπύλης θα πρέπει να επανεξετάζεται όποτε υπάρχει αλλαγή της χρήσης του κτιρίου, κάτι που μπορεί να επηρεάσει το επίπεδο του κέρδους ή να θέλει περαιτέρω τροποποιήσεις.

#### 2.2.4. Σταθερότητα και συντονισμός

Η σταθερότητα ενός συστήματος ελέγχου αφορά την απόκρισή του σε μια οποιαδήποτε ασυνήθιστη μεταβολή ή ενόχληση. Τέτοια μπορεί να είναι μια αλλαγή στη φόρτιση, αύξηση στο ηλιακό κέρδος μέσω ενός ανοιχτού παραθύρου κτλ. Τα HVAC συστήματα απαιτείται να αντιδρούν σε τέτοιες αλλαγές, προκειμένου να φέρνουν την τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής πίσω στο επιθυμητό επίπεδο. Για πρακτικούς λόγους, η σταθερότητα ενός συστήματος συνήθως θεωρείται σε σχέση με την αντίδρασή του σε μια απότομη αλλαγή στο σημείο αναφοράς (set point):

- Σταθερή: έπειτα απ' την αλλαγή στο σημείο αναφοράς, η ελεγχόμενη μεταβλητή γρήγορα ή αργά καταλήγει σε μια νέα σταθερή τιμή.
- Μη σταθερή: Το σύστημα δεν επιτυγχάνει να σταθεροποιηθεί σε μια νέα τιμή έπειτα απ' τη μεταβολή. Εδώ υπάρχουν 2 περιπτώσεις μη ασταθούς απόκρισης:
  1. Ταλαντευόμενη: η ελεγχόμενη μεταβλητή συνεχίζει να ταλαντεύεται ψάχνοντας το σημείο αναφοράς.
  2. Μη ταλαντευόμενη: η ελεγχόμενη μεταβλητή συνεχίζει να αυξάνεται ή να μειώνεται μέχρι να φτάσει σε μια οριακή τιμή.

Μη ταλαντευόμενη αστάθεια είναι ασυνήθιστο να προκύψει σε ένα HVAC σύστημα εκτός και αν έχουμε σχεδιαστικό λάθος. Πχ, το να μπερδέψουμε τη σύνδεση των αισθητήρων θερμοκρασίας ενός δωματίου θα δημιουργήσει αστάθεια: η αύξηση στο Α δωμάτιο θα μειώσει τη θέρμανση στο δωμάτιο Β, τότε ο αισθητήρας στο δωμάτιο Β θα «ζητάει» μεγαλύτερη θέρμανση που όμως θα καταλήγει στο δωμάτιο Α. Αστάθεια επίσης μπορεί να προκύψει απ' την παρέμβαση των κατοίκων. Αν ένα παράθυρο ανοίξει επειδή το δωμάτιο είναι πολύ ζεστό και αυτό καταλήξει στο να μπει κρύος αέρας στο δωμάτιο επηρεάζοντας έναν κακά εγκατεστημένο θερμοστάτη, τότε η θέρμανση στο δωμάτιο θα αυξηθεί.

Ο on-off έλεγχος αναπόφευκτα παράγει μια ταλαντευόμενη τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής. Αν το αναλογικό εύρος ενός αναλογικού ελεγκτή μειωθεί κάτω από μια οριακή τιμή, το σύστημα οδηγείται σε ταλάντωση. Παρατηρώντας τις επιδράσεις της ταλάντωσης, πρέπει αναγκαστικά να ξεχωρίσουμε μεταβολές στην

ελεγχόμενη μεταβλητή λόγω αλλαγής θέσης της συσκευής και της σχετικής εξόδου του συστήματος. Η έξοδος σε ένα on-off σύστημα μεταβάλλεται απ' το 0 στο 100%. Εν πάσει περιπτώσει, η μεταβολή στην ελεγχόμενη μεταβλητή μπορεί να είναι μόνο ένα κλάσμα του βαθμού σε έναν θερμοστάτη με επιταχυντή. Πάντως, μια μεγάλη μεταβολή στην έξοδο του συστήματος δεν καταδεικνύει αναγκαστικά μη ικανοποιητικές συνθήκες ελέγχου.

Επί της ουσίας, κάποια μεταβολή στην έξοδο, όπως και κάποια μετατόπιση της συσκευής ελέγχου είναι αναπόφευκτη όσο το σύστημα αποκρίνεται σε μικρές αλλαγές που συμβαίνουν στο εσωτερικό του κτιρίου. Αξίζει να παρατηρήσουμε τη λειτουργία των συσκευών ελέγχου όταν ένα HVAC σύστημα λειτουργεί σε μια σταθερή μορφή. Κάθε μετατόπιση θα είναι αργή και με μικρή μεταβολή. Παρότι είναι δύσκολο να μορφοποιήσουμε τέτοιες αλλαγές για να γενική χρήση, μπορούμε να πούμε ότι θα πρέπει να εξετάζουμε την σταθερότητα ενός συστήματος αν μια συσκευή ελέγχου έχει μεταβολή μεγαλύτερη του 2% του συνολικού της εύρους ή μετατοπίζεται περισσότερο από 20% σε περίοδο 10 λεπτών.

Οι παρακάτω παράγοντες οφείλουν να ληφθούν υπόψιν για να εξασφαλίσουν ένα σταθερό σύστημα ελέγχου:

- Επικοινωνία μεταξύ των βρόχων ελέγχου: Ένα HVAC σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει πολλούς βρόχους ελέγχου, των οποίων η λειτουργία συνδέεται μεταξύ τους. Πχ, ένα δίκτυο από πομπούς θερμότητας ελεγχόμενων από βαλβίδες 2 εισόδων, τροφοδοτούμενων από ένα δευτερεύον κύκλωμα. Κάθε βαλβίδα ελέγχεται από βρόχο ελέγχου που διατηρεί μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Η κίνηση μιας βαλβίδας έπειτα απ' την αλλαγή της φόρτισης θα μεταβάλλει την πίεση που «βλέπουν» τα υπόλοιπα κυκλώματα, αλλάζοντας τη ροή στο κύκλωμα, επομένως αλλάζοντας την ελεγχόμενη μεταβλητή. Αυτό αντίστοιχα θα αλλάξει την πίεση που «βλέπει» η βαλβίδα.

Ιδιαίτερη σημασία έχει ότι σε κάθε σύστημα ανατροφοδότησης ο αισθητήρας πρέπει να μετράει την απόκριση της ελεγχόμενης μεταβλητής ανάλογα με τον συγκεκριμένο βρόχο που ανήκει και όχι τους υπολοίπους. Οι επιδράσεις του να εναλλάσσουμε τη σύνδεση των αισθητήρων σε διπλανά δωμάτια είναι προφανές παράδειγμα (το είδαμε και πιο πάνω).

- Σταθερή λειτουργία σε όλες τις συνθήκες: Ένα HVAC σύστημα είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί μέσα σ' ένα μεγάλο εύρος συνθηκών. Προφανώς, κυρίως σχεδιάζεται γύρω απ' τις ιδανικές συνθήκες, όπου αποδίδει στο μέγιστο. Για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, το σύστημα λειτουργεί σε συνθήκες διαφορετικές απ' τις ιδανικές. Πχ, σ' ένα VAV (Variable air volume) σύστημα: ο αέρας που τροφοδοτείται ψύχεται ανάλογα με την θερμοκρασία αέρα που επιδιώκουμε. Αν η ροή αέρα είναι στο μισό απ' αυτήν που περιγράφουν οι ιδανικές συνθήκες, η αλλαγή στη βαλβίδα για να αλλάξει και τη θερμοκρασία του αέρα θα είναι περίπου στο μισό απ' αυτήν που απαιτείται στην πλήρη ροή, δηλαδή το κέρδος του συστήματος έχει διπλασιαστεί. Προφανώς, υπάρχει ο κίνδυνος της αστάθειας αν ο βρόχος ελέγχου συντονιστεί στις ιδανικές συνθήκες. Εδώ, για να είμαστε σίγουροι για τη σταθερότητα του συστήματος, οφείλουμε να το συντονίσουμε σε συνθήκες τέτοιες ώστε να παράγεται μεγάλο κέρδος.



- Επίδραση της περιόδου δειγματοληψίας: Όπως είδαμε, τα ψηφιακά συστήματα ελέγχου μετρούν την ελεγχόμενη μεταβλητή σε διαστήματα χρόνου. Αν αυτά τα διαστήματα είναι πολύ σύντομα απαιτείται ένα μεγάλο πλήθος δεδομένων χωρίς ανάλογη χρησιμότητα. Αντίστοιχα, σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν έχουμε πολύ αραιά διαστήματα δεν μπορούμε να εντοπίσουμε αλλαγές στον χώρο στον κατάλληλο χρόνο για να λειτουργήσει το σύστημά μας. Η σωστή περίοδος δειγματοληψίας μπορεί να επιλεγεί χρησιμοποιώντας το θεώρημα Shannon, σύμφωνα με το οποίο ένα σήμα το οποίο δεν περιέχει μέρη με συχνότητα μεγαλύτερη απ' την  $f_{max}$ , μπορεί να κατασκευαστεί από δείγματα που παίρνουμε με συχνότητα τουλάχιστον διπλάσια απ' την  $f_{max}$ . Πρακτικά, αυτό που χρησιμοποιείται είναι η δειγματοληψία με συχνότητες δεκαπλάσιες της θεωρητικής τιμής.

- Σωστός συγχρονισμός των ελεγκτών:

Η συμπεριφορά ενός βρόχου ελέγχου μέσα σε μεταβαλλόμενες συνθήκες επηρεάζεται απ' τις ρυθμίσεις ελέγχου. Λανθασμένες ρυθμίσεις των παραμέτρων μπορούν να οδηγήσουν σε ασταθή συμπεριφορά και τελικά σε μεγάλες αποκλίσεις της εξόδου ή σε αργές αποκρίσεις και απόκλιση απ' το επιθυμητό σημείο αναφοράς. Επομένως, η βέλτιστη απόδοση ενός ελεγκτή εξαρτάται στις σωστές ρυθμίσεις των παραμέτρων αυτών. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις αποκρίσεων για ν' αναπαραστήσουν τα αποδεκτά όρια της συμπεριφοράς του ελεγκτή:

1. Έπειτα από μια μεταβολή, η απόκριση του συστήματος χάνει τη νέα τιμή ισορροπίας και έρχεται σε ισορροπία έπειτα από μια σειρά ταλαντώσεων. Το πλάτος του πρώτου κύματος (που αποτυγχάνει στη νέα τιμή ισορροπίας) είναι τετραπλάσιο του δεύτερου.

2. Το σύστημα βρίσκει με τον πιο γρήγορο τρόπο τη νέα τιμή ισορροπίας, χωρίς καμία αποτυχία.

Οι τιμές των παραμέτρων βρίσκονται εύκολα μέσα από ελέγχους του βρόχου. Υπάρχουν δύο συνηθισμένες τεχνικές, η κυκλική μέθοδος κλειστού βρόχου (τεστ ταλαντώσεων) και η μέθοδος αντίδρασης καμπύλης ανοιχτού βρόχου (προσωρινή απόκριση). Και οι δύο απαιτούν να έχουμε καταγράψει τη συμπεριφορά του βρόχου, και τότε υπολογίζουμε τις παραμέτρους ανάλογα με τις αποκρίσεις. Εδώ να ξεκαθαριστεί ότι οι τιμές αυτές των παραμέτρων είναι πρότυπες τιμές. Απ' τη στιγμή που το κέρδος του συστήματος μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας, αντίστοιχα μεταβάλλεται και η συμπεριφορά του βρόχου ελέγχου. Για να βεβαιώσουμε σταθερή λειτουργία κάτω απ' όλες τις συνθήκες, ο συγχρονισμός πρέπει να γίνεται κάτω από συνθήκες μεγάλου κέρδους.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

## ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Όλα τα συστήματα ελέγχου που είδαμε βασίζουν τη λειτουργία τους σε αισθητήρες. Καλό είναι επομένως να αναλύσουμε λίγο τη λειτουργία τους, απ' τη στιγμή που αποτελούν το βασικότερο ίσως κομμάτι τους, καθώς όσο πολύπλοκα και εξεζητημένα να είναι τα υπολογιστικά συστήματα και το λογισμικό που χρησιμοποιούμε δεν μπορούν να αντιληφθούν ή να διορθώσουν λανθασμένες μετρήσεις από τους αισθητήρες – είτε λόγω κακής ποιότητας είτε λόγω κακής τοποθέτησης ή χρήσης. Παρακάτω αναλύουμε τόσο γενικά τη λειτουργία τους, όσο και ειδικά τη χρήση τους σε συστήματα ελέγχου για την εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια.

### 3.1. Γενικά για τους αισθητήρες

Όταν αναφερόμαστε στους αισθητήρες ουσιαστικά μιλάμε για συστήματα μέτρησης. Η ανάγκη του προσδιορισμού διαφόρων φυσικών μεγεθών ήταν αυτή που δημιούργησε και την ανάγκη δημιουργίας και ανάπτυξης τους. Αρχικά, λοιπόν, ας ορίσουμε βασικές έννοιες σε αυτή τη διαδικασία. Μέτρηση ονομάζουμε τον προσδιορισμό ενός μεγέθους ή ποσού με βάση πάντα ένα μέγεθος αναφοράς του ίδιου τύπου, που το ονομάζουμε μονάδα μέτρησης. Για την πραγματοποίηση αυτής της διαδικασίας χρησιμοποιούνται οι κατάλληλες διατάξεις, τα συστήματα μέτρησης. Προφανώς, οι μετρήσεις των φυσικών και χημικών φαινομένων αποτελούν βασικό κομμάτι της ζωής του ανθρώπου, γι' αυτό και από πολύ παλιά ο άνθρωπος προσπαθούσε να βρει τα πιο αποδοτικά και αποτελεσματικά συστήματα μέτρησης προκειμένου να διευκολύνεται σε μια σειρά από δραστηριότητές του.

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και της βιομηχανίας, οι μετρήσεις εκτός από την έκφραση του μεγέθους μιας ποσότητας άρχισαν να χρησιμοποιούνται ευρέως στα λεγόμενα συστήματα αυτόματου ελέγχου (automatic control systems). Στα συστήματα αυτά μετράται ένα μέγεθος, η μέτρηση συγκρίνεται με μια επιθυμητή τιμή και στη συνέχεια η διαφορά τους χρησιμοποιείται για να ελέγξει μια διαδικασία, έτσι ώστε το μετρούμενο μέγεθος να συμπέσει τελικά με την επιθυμητή τιμή. Στις μέρες μας δεν υπάρχει καμία βιομηχανική μονάδα χωρίς συστήματα αυτόματου ελέγχου, μέρος των οποίων είναι τα συστήματα μέτρησης.

Παλιότερα, πολλά συστήματα μέτρησης βασιζόταν σε χειροκίνητες, μηχανικές ή άλλες διαδικασίες για την πραγματοποίηση της μέτρησης (πχ. η μέτρηση των διαστάσεων ενός αντικειμένου με χάρακα, η μέτρηση του βάρους ενός αντικειμένου με ζυγό ισορροπίας και χρήση πρότυπων βαρών, η μέτρηση της θερμοκρασίας με θερμόμετρο υδραργύρου, κλπ.). Με την έκρηξη όμως της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών, η συντριπτική πλειοψηφία των μετρήσεων βασίζεται πλέον στην μετατροπή ενός φυσικού μεγέθους (πχ. θερμοκρασία, πίεση, κλπ.) στο αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα (συνήθως τάση). Ο λόγος είναι ότι το ηλεκτρικό σήμα είναι εύκολο να ενισχυθεί (στην περίπτωση μέτρησης μικρών μεγεθών), να φιλτραρισθεί (στην περίπτωση που επιδρούν διαταραχές στη μέτρηση του

μεγέθους), να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις (στην περίπτωση που η λήψη της μέτρησης πρέπει να γίνει σε απομακρυσμένο σημείο), να απεικονιστεί εύκολα και ευανάγνωστα, καθώς και να αποθηκευτεί για μελλοντική επεξεργασία και χρήση.

Αισθητήρες ονομάζουμε τις διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την του κάθε μετρούμενου φυσικού μεγέθους σε ηλεκτρικό σήμα. Το ηλεκτρικό αυτό σήμα μπορεί να είναι είτε τάση είτε ρεύμα (ανάλογα με τη λειτουργία του εκάστοτε αισθητήρα). Κλασικά παραδείγματα που φυσικών μεγεθών που μετρώνται με τη βοήθεια αισθητήρων είναι η θερμοκρασία, η θέση και η μετατόπιση ενός φυσικού αντικείμενου, η στάθμη υγρών, η ταχύτητα και η επιτάχυνση ενός κινούμενου αντικείμενου, η τάση, το ρεύμα, η ακτινοβολία κτλ.

Ιδιαίτερη σημασία οφείλουμε να δώσουμε στους «έξυπνους αισθητήρες», τη χρήση των οποίων άλλωστε εξετάζουμε και περισσότερο όταν αναφερόμαστε σε συστήματα ελέγχου.

Ωστόσο, ας παρατηρήσουμε πρώτα κάποια γενικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων.

### **3.1.1. Στατικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων**

Τα στατικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων αναφέρονται στην κατάσταση κατά την οποία έχει επέλθει ισορροπία μεταξύ αισθητήρα και μετρούμενου μεγέθους. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο πρέπει το μετρούμενο μέγεθος είτε να είναι σταθερό, είτε να μεταβάλλεται πολύ αργά σε σχέση με τη δυνατότητα του αισθητήρα να αντιληφθεί τη μεταβολή αυτή.

### **Πιστότητα**

Με τον όρο πιστότητα αποδίδεται ο αγγλικός όρος *accuracy*. Η πιστότητα δε σχετίζεται με τον αριθμό των δεκαδικών ψηφίων με τον οποίο μπορεί να γίνει η μέτρηση, αλλά με το κατά πόσο το αποτέλεσμα που δίνει ο αισθητήρας πλησιάζει την φυσική πραγματικότητα, μέσα σε ένα λογικό εύρος τιμών [10]. Η πιστότητα δίνεται συνήθως ως ποσοστό επί του εύρους λειτουργίας του αισθητήρα. Αν, για παράδειγμα, ένας αισθητήρας πίεσης, περιοχής λειτουργίας 0 — 10 *bar* έχει πιστότητα  $\pm 1.0\%$  της πλήρους κλίμακας, τότε η μέγιστη αβεβαιότητα του αισθητήρα θα είναι ίση με 0,1 *bar*. Αυτό σημαίνει ότι όταν ο αισθητήρας δίνει ως αποτέλεσμα 1 *bar*, τότε η μέγιστη αναμενόμενη αβεβαιότητα θα είναι ίση με το 10% της τιμής αυτής. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει το εύρος λειτουργίας των αισθητήρων να είναι όσο το δυνατόν εγγύτερα στο εύρος των μετρούμενων τιμών, ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή πιστότητα των μετρήσεων. Αν δηλαδή έχουμε μία εφαρμογή στην οποία οι πιέσεις μεταβάλλονται στο διάστημα 0 — 1 *bar* είναι λάθος να επιλέξουμε αισθητήρα περιοχής λειτουργίας 0 — 10 *bar*.

### **Ακρίβεια, επαναληψιμότητα, αναπαραγωγιμότητα**

Ο όρος ακρίβεια (*precision*) εκφράζει τον βαθμό ελευθερίας του αισθητήρα από τυχαία σφάλματα. Αν πάρουμε μεγάλο αριθμό μετρήσεων από έναν ακριβή αισθητήρα, τότε η μεταξύ τους διασπορά θα είναι μικρή. Η ακρίβεια συγχέεται

συχνά με την πιστότητα. Η μεγάλη ακρίβεια δεν σημαίνει κατ' ανάγκην και μεγάλη πιστότητα. Ένας ακριβής αισθητήρας μπορεί να έχει κακή πιστότητα. Κακής πιστότητας μετρήσεις από έναν ακριβή αισθητήρα, σημαίνει ότι η μετρήσεις έχουν συστηματικό σφάλμα (bias), γεγονός το οποίο μπορεί να διορθωθεί με βαθμονόμηση (διακρίβωση) του αισθητήρα.

Οι όροι επαναληψιμότητα και αναπαραγωγιμότητα είναι ταυτόσημοι, χρησιμοποιούνται όμως ο καθένας σε διαφορετικές περιπτώσεις. Και οι δύο αναφέρονται στο πόσο κοντά είναι τα αποτελέσματα ενός αισθητήρα που μετρά το ίδιο σταθερό μέγεθος, ή μόνον επαναληψιμότητα όταν οι συνθήκες μέτρησης είναι σταθερές, η δε αναπαραγωγιμότητα, όταν οι συνθήκες μέτρησης μεταβάλλονται.

### Βαθμονόμηση

Η βαθμονόμηση (calibration) είναι η διαδικασία καθορισμού της συνάρτησης μεταφοράς ενός αισθητήρα ή γενικότερα ενός συστήματος μέτρησης. Η γνώση της συνάρτησης μεταφοράς του αισθητήρα είναι απαραίτητη κατά τη διαδικασία των μετρήσεων, έτσι ώστε μετρώντας την τιμή του ηλεκτρικού σήματος εξόδου που παράγει ο αισθητήρας να υπολογίζεται μέσω της συνάρτησης μεταφοράς και η αντίστοιχη τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης εφαρμόζονται γνωστές τιμές του μετρούμενου φυσικού μεγέθους στον αισθητήρα και μετρώνται οι αντίστοιχες τιμές του ηλεκτρικού σήματος εξόδου του. Η ακρίβεια με την οποία έχει καθοριστεί η συνάρτηση μεταφοράς του αισθητήρα επηρεάζει σημαντικά την ακρίβεια των μετρήσεων, που λαμβάνονται κατά τη χρήση του αισθητήρα σε ένα σύστημα μέτρησης.

### **Ανοχή**

Η ανοχή συνδέεται στενά με την πιστότητα και ορίζει το μέγιστο αναμενόμενο σφάλμα μιάς τιμής. Δεν πρόκειται για στατικό χαρακτηριστικό ενός αισθητήρα, αλλά το αναφέρουμε, γιατί πολλές φορές η πιστότητα δίνεται ως ανοχή.

### **Εύρος**

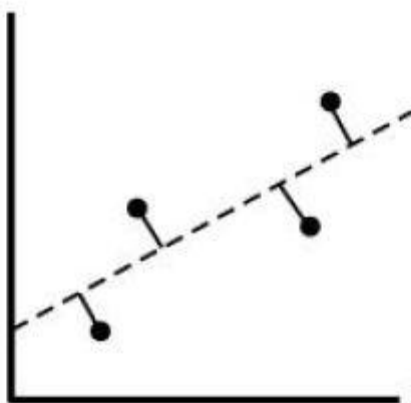
Με τον όρο εύρος αναφερόμαστε στην ελάχιστη και την μέγιστη τιμή του φυσικού μεγέθους που μπορεί να μετρήσει ένας αισθητήρας.

### **Συστηματικό σφάλμα**

Ως συστηματικό σφάλμα (bias) είναι ένα σταθερό σφάλμα, το ίδιο για όλο το εύρος του αισθητήρα, το οποίο συνήθως μπορεί να μηδενιστεί μέσω βαθμονόμησης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα συστηματικού σφάλματος εμφανίζεται στις οικιακές ζυγαριές, οι οποίες μπορεί να δείχνουν μή μηδενική ένδειξη, ακόμη και χωρίς φορτίο. Αυτή η μή μηδενική ένδειξη αποτελεί το συστηματικό σφάλμα το οποίο πρέπει να αφαιρέσουμε από την ένδειξη που παίρνουμε κατά τη μέτρηση ώστε να προκύψει η πραγματική τιμή.

## Γραμμική απόκριση

Είναι γενικά επιθυμητό η απόκριση ενός αισθητήρα να μεταβάλλεται γραμμικά με το μετρούμενο μέγεθος. Τα σημεία του Σχήματος 1.1 απεικονίζουν την σχέση μεταξύ σήματος εισόδου (οριζόντιος άξονας) και εξόδου (κατακόρυφος άξονας) ενός αισθητήρα. Η γραμμή μεταξύ των σημείων χαράσσεται εφαρμόζοντας την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Η μή-γραμμικότητα εκφράζεται ως η μέγιστη απόκλιση μεταξύ των σημείων και της γραμμής. Η μή-γραμμικότητα εκφράζεται συνήθως ως η απόκλιση του εύρους του αισθητήρα.



Σχήμα 3.1: Χαρακτηριστικά εξόδου κινητήρα

## Ευαισθησία στη μέτρηση

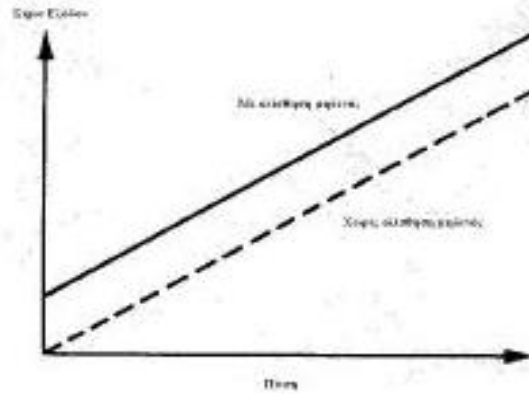
Πρόκειται για το λόγο ενός μεταβολής στην ένδειξη του αισθητήρα, ενός τη μεταβολή του φυσικού μεγέθους που την προκάλεσε. Από τον ορισμό αυτό προκύπτει ότι η *ευαισθησία* ισούται με την εφαπτομένη ενός γραφικής παράστασης του Σχήματος 1.1.

## Ευαισθησία στη διαταραχή

Η βαθμονόμηση και τα χαρακτηριστικά ενός αισθητήρα ισχύουν όταν αυτό λειτουργεί εντός συγκεκριμένου εύρους περιβαλλοντικών συνθηκών παραμέτρων ενός η θερμοκρασία, η πίεση, η σχετική υγρασία κ.λ.π. Το εύρος καθορίζεται από τον κατασκευαστή του αισθητήρα. Μεταβολή κάποιας από ενός παραμέτρους αυτές ενδέχεται να μεταβάλλει κάποια από τα στατικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα. Κυρίως, τα χαρακτηριστικά του που μεταβάλλονται είναι η ολίσθηση του μηδενός (zero drift) και η ολίσθηση ευαισθησίας (sensitivity drift).

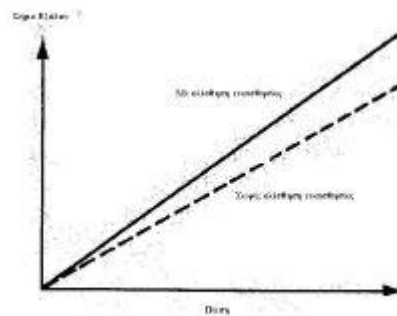
Η ολίσθηση του μηδενός είναι το μη μηδενικό σήμα εξόδου του αισθητήρα όταν το σήμα εισόδου είναι μηδέν, λόγω μεταβολής των περιβαλλοντικών συνθηκών. Η μονάδα μέτρησής του είναι η μονάδα που μετρά ο αισθητήρας ανά το βαθμό μεταβολής του φυσικού μεγέθους που άλλαξε στο περιβάλλον πχ. στην περίπτωση

βολτομέτρου και αλλαγής θερμοκρασίας είναι V ανά βαθμό Κελσίου. Αν ενός αισθητήρας επηρεάζεται από περισσότερες από μια παραμέτρους ενός περιβάλλοντος, τότε έχει αντίστοιχες ολισθήσεις του μηδενός, μια για κάθε παράμετρο. Παρακάτω βλέπουμε τη χαρακτηριστική ολίσθηση μηδενός ενός αισθητήρα πίεσης. (διακεκομμένη γραμμή χωρίς ολίσθηση)



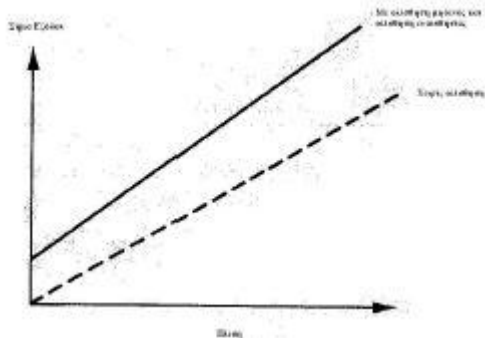
Σχήμα 3.2.: Επίδραση ολίσθησης μηδενός αισθητήρα πίεσης

Η ολίσθηση ευαισθησίας ορίζεται ως το ποσό μεταβολής ενός ευαισθησίας ενός αισθητήρα λόγω μεταβολής των περιβαλλοντικών συνθηκών. Εκφράζεται μέσω των συντελεστών ολίσθησης ευαισθησίας, οι οποίοι εκφράζουν το μέγεθος ενός ολίσθησης ανά μονάδα μεταβολής ενός περιβαλλοντικής παραμέτρου που την προκάλεσε. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την επίδραση ενός ολίσθησης ευαισθησίας στα χαρακτηριστικά εξόδου ενός αισθητήρα. (διακεκομμένη γραμμή χωρίς ολίσθηση)



Σχήμα 3.3.: Επίδραση ολίσθησης ευαισθησίας

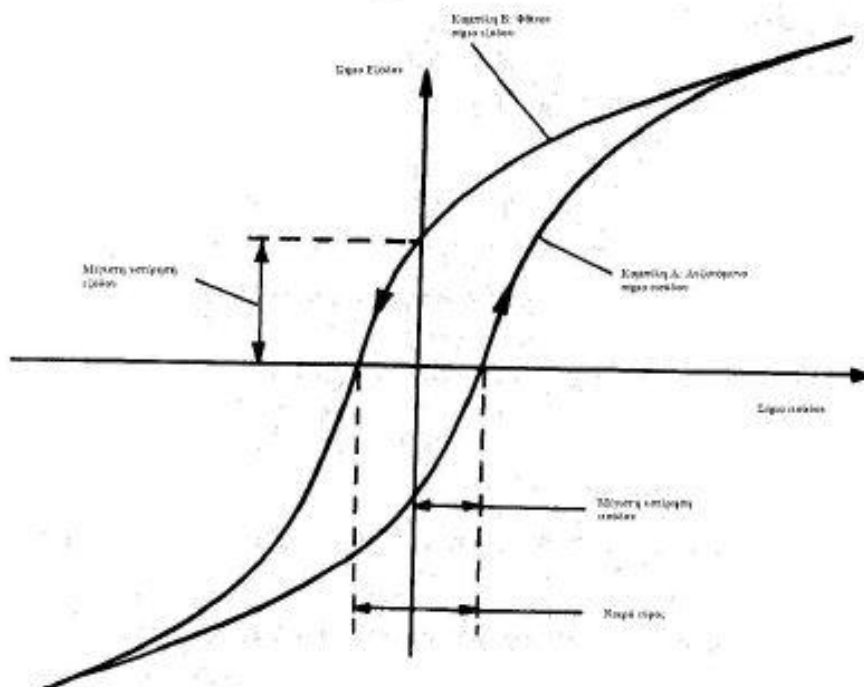
Εδώ παρατηρούμε την συνδυασμένη επίδραση της ολίσθησης τόσο πίεσης όσο και ευαισθησίας στην έξοδο ενός αισθητήρα. (διακεκομμένη γραμμή χωρίς ολισθήσεις)



Σχήμα 3.4.: Επίδραση ολισθήσης μηδενός και ευαισθησίας

### Υστέρηση

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το σήμα εξόδου ενός αισθητήρα ο οποίος παρουσιάζει υστέρηση. Αν η τιμή του σήματος εισόδου μεταβάλλεται σταθερά, ξεκινώντας από αρνητικές τιμές, το σήμα εξόδου περιγράφεται από την καμπύλη Α. Αν κατόπιν το σήμα εξόδου μειώνεται σταδιακά, τότε το σήμα εξόδου περιγράφεται από την καμπύλη Β. Η μή ταύτιση των δύο καμπυλών «φορτίσεως - εκφορτίσεως» είναι γνωστή ως υστέρηση. Η υστέρηση εκφράζεται μέσω της μέγιστης υστέρησης εισόδου και της μέγιστης υστέρησης εξόδου.

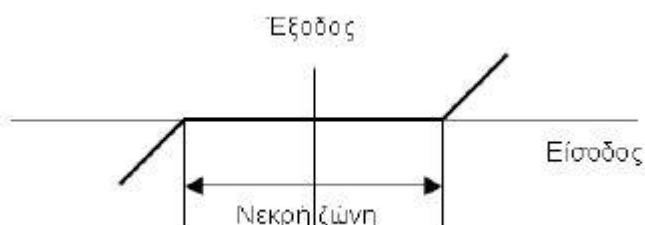


Σχήμα 3.5.: Έξοδος αισθητήρα με υστέρηση



## .Νεκρό εύρος

Ως νεκρό εύρος (dead space) ορίζεται το εύρος του σήματος εισόδου, για το οποίο το σήμα εξόδου είναι μηδενικό. Όπως βλέπουμε και στο σχήμα, κάθε αισθητήρας ο οποίος εμφανίζει υστέρηση εμφανίζει και νεκρό εύρος. Παρ' όλα αυτά ακόμη και αισθητήρες οι οποίοι δεν εμφανίζουν σημαντική υστέρηση, μπορεί να εμφανίζουν νεκρό εύρος.



Σχήμα 3.6.: Νεκρό εύρος αισθητήρα

## Κατώφλι

Αν το σήμα εισόδου ενός αισθητήρα αυξάνεται σταδιακά ξεκινώντας από μηδενική τιμή, αυτό θα πρέπει να λάβει μία ορισμένη - μη μηδενική- τιμή πριν ο αισθητήρας δώσει κάποιο μη μηδενικό σήμα εξόδου. Αυτή η ελάχιστη τιμή του σήματος εισόδου, ονομάζεται κατώφλι του αισθητήρα. Το κατώφλι άλλοτε δίνεται ως απόλυτη τιμή και άλλοτε ως ποσοστό του εύρους εξόδου του αισθητήρα.

## Διακριτική ικανότητα

Ως διακριτική ικανότητα ενός αισθητήρα ορίζεται η απαιτούμενη ελάχιστη μεταβολή του σήματος εισόδου, ώστε να προκληθεί μεταβολή στο σήμα εξόδου του αισθητήρα.

## Χρόνος λειτουργίας

Ο χρόνος λειτουργίας (operating life) ενός αισθητήρα αποτελεί ένδειξη του χρόνου κατά τον οποίο αυτός αναμένεται να λειτουργεί στα πλαίσια των προδιαγραφών του. Εκφράζεται σε μονάδες χρόνου ή με τον αριθμό των λειτουργιών ή των κύκλων λειτουργίας που μπορεί να διεκπεραιώσει με επιτυχία.

## Εύρος

Το εύρος λειτουργίας (operating range) μίας συσκευής ισούται με τα όρια, στα οποία μπορεί η συσκευή να λειτουργεί αξιόπιστα. Το εύρος λειτουργίας ενός αισθητήρα εκφράζεται συνήθως με την ελάχιστη και μέγιστη τιμή που είναι ικανός να μετρά. Άλλες έννοιες του εύρους που αναγράφονται συχνά στις προδιαγραφές είναι το «θερμοκρασιακό εύρος», δηλαδή η περιοχή θερμοκρασιών στην οποία μπορεί να λειτουργεί ο αισθητήρας. Συχνά αναφέρονται επίσης το εύρος τιμών πίεσης και το εύρος τιμών υγρασίας.

### **Απόκριση**

Η απόκριση (response) μίας συσκευής ισούται με το χρόνο που απαιτεί η συσκευή για να λάβει την τελική τιμή εξόδου της για μια δεδομένη είσοδο. Μπορεί να εκφραστεί σε δευτερόλεπτα ή κλάσματα του δευτερολέπτου, ή κάποιες φορές ως ποσοστό επί της τελικής τιμής εξόδου.

Για παράδειγμα, εάν οι προδιαγραφές ορίζουν ότι ο χρόνος απόκρισης 95% είναι 3 sec αυτό σημαίνει, ότι η συσκευή χρειάζεται 3 sec για να λάβει η έξοδος της το 95% της τελικής τιμής.

### **Ευστάθεια**

Η ευστάθεια (stability) αποτελεί το μέτρο της μεταβολής της εξόδου μίας συσκευής, όταν η είσοδος και οι συνθήκες παραμένουν σταθερά, κατά τη διάρκεια μίας μεγάλης χρονικής περιόδου.

### **3.1.2. Δυναμικά χαρακτηριστικά**

Εκτός από τα στατικά χαρακτηριστικά τα οποία αναφέρονται στην περίπτωση όπου έχει επέλθει ισορροπία μεταξύ σήματος εισόδου και αισθητήρα (δηλαδή όταν πλέον τα σήματα εισόδου εξόδου δεν μεταβάλλονται με το χρόνο), κάθε αισθητήρας διαθέτει και δυναμικά χαρακτηριστικά. Τα δυναμικά χαρακτηριστικά περιγράφουν τη συμπεριφορά του αισθητήρα μεταξύ της στιγμής κατά την οποία το σήμα εισόδου μεταβάλλεται έως τη στιγμή κατά την οποία το σήμα εξόδου θα σταθεροποιηθεί εκ νέου. Τα δυναμικά χαρακτηριστικά ισχύουν, όπως και τα στατικά, εντός συγκεκριμένου εύρους συνθηκών λειτουργίας του αισθητήρα. Αν ο αισθητήρας βρεθεί να λειτουργεί εκτός αυτού του εύρους, τότε τα δυναμικά χαρακτηριστικά αναμένεται να μεταβληθούν.

## **3.2. Είδη αισθητήρων**

Οι αισθητήρες χωρίζονται σε μια σειρά από διαφορετικές κατηγορίες. Η ταξινόμησή τους γίνεται είτε σύμφωνα με το μέγεθος που μετρούν (πχ. θερμοκρασία, πίεση) είτε σε σχέση με τη λειτουργία τους. Οι διαφορετικές κατηγορίες, λοιπόν, είναι οι εξής:

### **3.2.1. Επαγωγικοί, χωρητικοί και μαγνητικοί αισθητήρες**

Οι επαγωγικοί αισθητήρες εκμεταλλεύονται το φυσικό φαινόμενο της μεταβολής του συντελεστή ποιότητας σε ένα κύκλωμα συντονισμού, η οποία οφείλεται σε απώλειες δινορευμάτων σε αγώγιμα υλικά. Αυτή η αρχή επιτρέπει την χωρίς επαφή ανίχνευση όλων των αγώγιμων υλικών (μεταλλικά αντικείμενα, γραφίτης κλπ).

Οι χωρητικοί αισθητήρες υπολογίζουν την μεταβολή της χωρητικότητας, που οφείλεται στην εισαγωγή ενός αντικειμένου σε ρόλο διηλεκτρικό στο ηλεκτρικό πεδίο ενός πυκνωτή. Οι χωρητικοί αισθητήρες προσέγγισης, αντίθετα με τους

επαγωγικούς, δεν ανιχνεύουν μόνο αγώγιμα υλικά, όπως πχ τα μέταλλα, αλλά λόγω της αρχής λειτουργίας τους ανιχνεύουν επίσης και μη αγώγιμα υλικά, όπως κεραμικά, ξύλο, πλαστικό, γυαλί, υγρά κτλ.

Οι μαγνητικοί αισθητήρες ανιχνεύουν χωρίς επαφή μαγνητικά αντικείμενα. Παρόλο που χρησιμοποιούνται με τον ίδιο τρόπο όπως και οι επαγωγικοί, η αρχή λειτουργίας τους επιτρέπει την ανίχνευση σε μεγάλες αποστάσεις ακόμα και από μικρούς διακόπτες. Οι μαγνητικοί αισθητήρες βοήθησαν στο να αναλυθούν και να ελεγχθούν εκατοντάδες παράγοντες για αρκετές δεκαετίες. Οι υπολογιστές έχουν απεριόριστη μνήμη χάρη στη χρήση μαγνητικών αισθητήρων στους μαγνητικούς σκληρούς δίσκους και στις δισκέτες εγγραφής. Τα αεροπλάνα πετούν με υψηλότερα στάνταρ ασφάλειας εξαιτίας της υψηλής σταθερότητας των διακοπών χωρίς επαφή οι οποίοι έχουν μαγνητικούς αισθητήρες. Οι βιομηχανίες έχουν υψηλή παραγωγικότητα εξαιτίας της υψηλής σταθερότητας και του χαμηλού κόστους των μαγνητικών αισθητήρων .

Υπάρχουν πολλοί τρόποι να ανιχνεύσεις το μαγνητικό πεδίο, οι περισσότεροι από αυτούς βασίζονται στην στενή σχέση μεταξύ των μαγνητικών και ηλεκτρικών φαινομένων. Ένα κοινό στοιχείο όλων των εφαρμογών είναι ότι οι μαγνητικοί αισθητήρες εξασφαλίζουν μία αξιόπιστη τεχνολογία συγκρινόμενοι με άλλες τεχνολογίες αισθητήρων.

### 3.2.2. Αισθητήρες Laser

Οι αισθητήρες Laser χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Αισθητήρες - Φωτοκύτταρα

Τα φωτοκύτταρα έχουν έναν πολύ σημαντικό ρόλο σε εφαρμογές αυτοματισμού, επειδή επιτρέπουν την ανίχνευση αντικειμένων με ακρίβεια σε μεγάλες αποστάσεις. Όπου υπάρχει περιορισμός χώρου ή και υψηλές θερμοκρασίες, η χρήση των οπτικών ινών επιτρέπει την υλοποίηση ιδιαίτερα αποτελεσματικών συστημάτων ανίχνευσης. Η βασική αρχή πάνω στην οποία στηρίζεται η λειτουργία των φωτοκύτταρων είναι η εξής: ένας δέκτης λαμβάνει το εκπεμπόμενο φως (ορατό ή μη ορατό, υπέρυθρο) και το μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα.[9]

Οι αισθητήρες laser αποτελούν τη λύση σε αμέτρητες βιομηχανικές εφαρμογές ειδικά, όταν το μέγεθος του προς ανίχνευση αντικειμένου είναι πολύ μικρό ή όταν αυτό βρίσκεται σε πολύ μεγάλη απόσταση. Η μέτρηση ροής υγρών είναι απαραίτητη σε πολλές βιομηχανίες. Η ροή διακρίνεται σε ροή ανοιχτού καναλιού και σε ροή κλειστού αγωγού. Τα περισσότερα όργανα μετράνε την ροή έμμεσα και διαχωρίζονται σε αυτά που μετράνε ταχύτητα και σε αυτά που μετράνε πίεση ή στάθμη.

- Αισθητήρες Laser Υπερήχων

Οι αισθητήρες ροής υπερήχων *doppler* (φαινόμενο Doppler) μετρούν τη ροή εξωτερικά του αγωγού μέσω δετού αισθητήρα. Εκπέμπουν συνεχώς υπέρηχους στα 640 kHz που διασχίζουν τα τοιχώματα του σωλήνα και το τρεχούμενο υγρό. Ο ήχος

ανακλάται πίσω στον αισθητήρα από σωματίδια ή φυσαλίδες που υπάρχουν στο υγρό. Για παράδειγμα, αν το υγρό ρέει, η ηχώ επιστρέφει σε διαφορετική συχνότητα ανάλογη της ταχύτητας ροής. Οι μετρητές ροής doppler μετρούν διαρκώς αυτές τις μεταβολές συχνότητας για να υπολογίσουν τη ροή. Το «φαινόμενο doppler» παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1842 από έναν Αυστριακό φυσικό, τον Christian Doppler. Η τεχνική doppler εφαρμόζεται μόνο σε υγρά που περιέχουν σωματίδια ή φυσαλίδες που αντανακλούν το σήμα.

Υπάρχουν ορισμένα «δύσκολα» υγρά που μπορεί να προκαλέσουν ζημιά στους κανονικούς μετρητές ροής: παχύρρευστα, κατακάθια, λήμματα, στυλβωτικά, διαβρωτικά χημικά κλπ. Επιπλέον, λόγω της εξωτερικής εγκατάστασης του αισθητήρα δεν προκαλείται πτώση της πίεσης ή παρεμπόδιση του υγρού. Για καλύτερα αποτελέσματα οι αισθητήρες doppler πρέπει να τοποθετούνται μακριά από αναταράξεις και διαταραχές της ροής, όπως γωνίες σωληνώσεων και μακριά από εξαρτήματα επιτάχυνσης της ροής, όπως πχ βαλβίδες ελέγχου και αντλίες. Η τυπική ακρίβεια είναι  $\pm 2\%$  της πλήρους κλίμακας. Το σύστημα περιλαμβάνει ένα δετό αισθητήρα, καλώδιο σύνδεσης και μονάδα ελέγχου, που μπορεί να τοποθετηθεί σε μια βολική θέση (εντός 150 m). Οι αισθητήρες αυτού του είδους θεωρούνται εξαιρετικά ασφαλείς για εφαρμογές σε επικίνδυνες περιοχές.

- Αισθητήρες Laser Θερμιδομετρικοί

Σε πολλούς τομείς της βιομηχανικής παραγωγής τα υγρά και τα αέρια παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στον ποιοτικό έλεγχο και στην ασφάλεια λειτουργίας. Οι ηλεκτρονικοί επιτηρητές ροής που βασίζονται στη θερμιδομετρική αρχή είναι οι πλέον κατάλληλοι για την ορθή επιτήρηση ροής. Οι ηλεκτρονικοί επιτηρητές ροής βασίζονται στην αρχή της θερμικής αγωγιμότητας. Ο επιτηρητής ροής αποτελείται από έναν αισθητήρα, ο οποίος μετατρέπει το φυσικό μέγεθος σε ένα ηλεκτρικό σήμα και ένα ελεγκτή που μετατρέπει τα σήματα του αισθητήρα σε δυαδικό σήμα εξόδου. Ο αισθητήρας τοποθετείται εντός του μέσου σε επαφή με αυτό.

### **3.2.3. Αισθητήρες Πίεσεως**

Οι αισθητήρες που μετρούν την πίεση, η οποία ασκείται σε υγρά ή αέρια, ονομάζονται αισθητήρες πίεσεως. Ένας μετατροπέας πίεσεως ανιχνεύει ενέργεια με την μορφή πίεσης και τη μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα (ρεύμα ή τάση). Η σχέση ανάμεσα στην πραγματική ηλεκτρική έξοδο και στην θεωρητική κλίμακα της πίεσης του οργάνου ορίζεται ως η ακρίβεια του μετατροπέα ή μεταδότη. Η πίεση είναι μια σημαντική παράμετρος στις βιομηχανικές εφαρμογές, στην διαχείριση συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού, όπως επίσης και σε μετεωρολογικούς σταθμούς.

Οι αισθητήρες πίεσης είναι απ' τους πιο πολυχρησιμοποιημένους αισθητήρες γι' αυτό και υπάρχουν διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τις συγκεκριμένες αρχές που διέπουν τη λειτουργία τους. Αυτές είναι:

- Ποτενσιομετρικοί αισθητήρες πίεσης

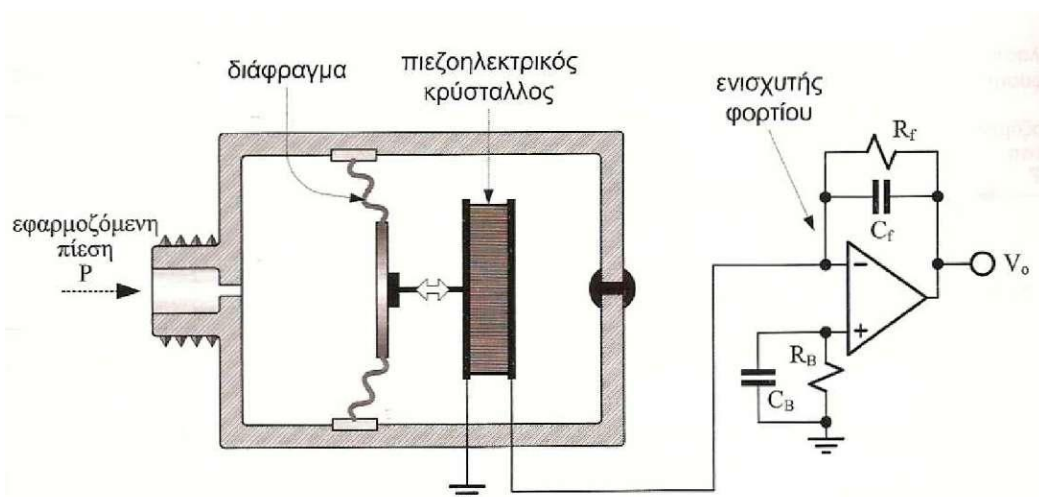
Χρησιμοποιούν μηχανική διάταξη, η παραμόρφωση της οποίας κινεί το δρομέα ενός ποτενσιομέτρου. Για να λειτουργεί αξιόπιστα πρέπει ο δρομέας να συνδέεται με τη μηχανική διάταξη αρκετά ισχυρά, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται σφάλματα υστέρησης και επαναληψιμότητας. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές περιορισμένων απαιτήσεων, όπως π.χ. για τη μέτρηση της πίεσης του λιπαντικού του κινητήρα των αυτοκινήτων.

- Επαγωγικοί αισθητήρες πίεσης

Η μηχανική κίνηση μετακινεί τον σπλισμό ενός ηλεκτρομαγνήτη. Απαιτούν εξωτερική διέγερση εναλλασσομένου ρεύματος. Αντί για ηλεκτρομαγνήτη χρησιμοποιείται και ο λεγόμενος γραμμικός μεταβαλλόμενος διαφορικός μετασχηματιστής, του οποίου ο σπλισμός μετακινούμενος μεταβάλλει την επαγωγική ζεύξη πρωτεύοντος - δευτερεύοντος. Η απόκριση αυτών των αισθητήρων είναι σχετικά αργή.

- Χωρητικοί αισθητήρες πίεσης

Η κατασκευή ενός χωρητικού αισθητήρα απόλυτης πίεσης απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Το διάφραγμα βρίσκεται ανάμεσα σε δύο σπλισμούς, οπότε το διάφραγμα και κάθε σπλισμός σχηματίζουν έναν πυκνωτή. Οι δύο πυκνωτές συνδέονται σε γέφυρα, όπως φαίνεται στο σχήμα, η οποία ισορροπεί όταν η εφαρμοζόμενη πίεση είναι μηδέν. Η κίνηση του διαφράγματος εξαιτίας της εφαρμοζόμενης πίεσης μεταβάλλει τη χωρητικότητα των πυκνωτών, η ισορροπία της γέφυρας διαταράσσεται και συνακόλουθα αναπτύσσεται τάση ανάλογη της πίεσης. Η μεταβολή της χωρητικότητας μπορεί να είναι γραμμική ή μή και είναι της



τάξης μερικών pF (pikoFarad) για συνολική χωρητικότητα της τάξης των 50 - 100 pF.

Σχήμα 3.7. Αισθητήρας πίεσης

- Πιεζοηλεκτρικοί Αισθητήρες Πίεσης

Λόγω των δυναμικών χαρακτηριστικών λειτουργίας των πιεζοηλεκτρικών υλικών, οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες πίεσης χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση δυναμικών φαινομένων πίεσης (πχ. λόγω εκρήξεων, δονήσεων σε κινητήρες κλπ.). Η κατασκευή ενός πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα απόλυτης πίεσης παρουσιάζεται στο σχήμα 2.4.2. Όταν εφαρμόζεται η μετρούμενη πίεση προκαλείται μετατόπιση του διαφράγματος. Για τη μέτρηση αυτής της μετατόπισης χρησιμοποιείται ένας πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος.

Όταν χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικοί αισθητήρες μετατόπισης, η μέθοδος ανίχνευσης της αλλαγής πίεσης χρησιμοποιεί ένα διάφραγμα. Ολοκληρώνοντας οι ελαστικοί αισθητήρες πίεσης μετρούν την πίεση διαφορετικά.

- Αισθητήρες παραμόρφωσης

Η μέτρηση της πίεσης είναι δυνατή και με αισθητήρες παραμόρφωσης (strain). Πρόκειται για διάταξη της οποίας η ηλεκτρική αντίσταση εξαρτάται την παραμόρφωση την οποία υφίσταται. Για παράδειγμα, ο πιεζοαντιστατικός (piezoresistive) αισθητήρας παραμόρφωσης είναι ένας ημιαγωγός, του οποίου η ηλεκτρική αντίσταση μεταβάλλεται - μη γραμμικά - με την παραμόρφωση.

- Πιεζοηλεκτρικοί ολοκληρωμένοι ημιαγωγοί

Ως μηχανική διάταξη μέτρησης της πίεσης χρησιμοποιείται διάφραγμα, πάνω στο οποίο τοποθετούνται τέσσερις πιεζοαντιστάτες, δύο για τη μέτρηση των εφαπτομενικών και οι άλλοι δύο για τη μέτρηση των ακτινικών παραμορφώσεων, που αναπτύσσονται όταν ασκηθεί πίεση στο διάφραγμα. Οι τέσσερις αντιστάτες συνδέονται ως γέφυρα.

Τα κυκλώματα ενίσχυσης, αντιστάθμισης θερμοκρασίας και βαθμονόμησης, μπορούν να ενσωματωθούν στο ίδιο ολοκληρωμένο στοιχείο. Οι αισθητήρες μπορούν να κατασκευασθούν για ευρεία περιοχή πιέσεων, μεταβάλλοντας κατάλληλα το πάχος του διαφράγματος, ενώ για πολύ χαμηλές πιέσεις τη διάμετρό του. Χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση όλων των πιέσεων (απόλυτης, διαφορικής και σχετικής). Λόγω των μικρών του διαστάσεων έχει ταχεία απόκριση και χρησιμοποιείται για δυναμική μέτρηση της πίεσης.

### **3.2.4. Αισθητήρες Θερμοκρασίας**

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας καλύπτουν ένα πολύ μεγάλο κομμάτι της χρήσης των αισθητήρων στη σημερινή εποχή, ιδιαίτερα σε ότι αφορά τις πρακτικές εξοικονόμησης ενέργειας σε σπίτια (και αυτό γιατί μια σειρά από ενεργειακές λειτουργίες των κτιρίων έχουν να κάνουν με τη θερμοκρασία). Μπορούμε να τους χωρίσουμε σε δύο κατηγορίες, τους αισθητήρες επαφής και αυτούς εξ αποστάσεως.

- Αισθητήρες Θερμοκρασίας με επαφή

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας καλύπτουν ένα πολύ μεγάλο κομμάτι της χρήσης των αισθητήρων στη σημερινή εποχή, ιδιαίτερα σε ότι αφορά τις πρακτικές

εξοικονόμησης ενέργειας σε σπίτια (και αυτό γιατί μια σειρά από ενεργειακές λειτουργίες των κτιρίων έχουν να κάνουν με τη θερμοκρασία). Μπορούμε να τους χωρίσουμε σε δύο κατηγορίες, τους αισθητήρες επαφής και αυτούς εξ αποστάσεως. Τα θερμόμετρα επαφής μετρούν ερχόμενα σε επαφή με το σύστημα του οποίου ζητείται η θερμοκρασία, δηλαδή μετρούν ουσιαστικά τη δική τους θερμοκρασία. Αντίθετα, τα εξ αποστάσεως μετρούν τη θερμική ακτινοβολία του συστήματος και εμμέσως υπολογίζουν τη θερμοκρασία. Το είδος του αισθητήρα που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το εύρος διακύμανσης της προς μέτρηση θερμοκρασίας, την απαιτούμενη ακρίβεια (precision) και πιστότητα (accuracy), το περιβάλλον στο οποίο θα τοποθετηθεί ο αισθητήρας - αν δηλαδή θα υποστεί μηχανικές ή άλλες καταπονήσεις - κ.λ.π. Η δυσκολία ή ευκολία της μέτρησης εξαρτάται από την τιμή της θερμοκρασίας, το μέσο του οποίου θέλουμε να προσδιορίσουμε τη θερμοκρασία, καθώς και από τις απαιτήσεις για ακρίβεια και πιστότητα. Αισθητήρες επαφής είναι:

- τα θερμοζεύγη,
- οι αντιστάτες (λευκοχρύσου ή νικελίου),
- τα θερμίστορς,
- τα ολοκληρωμένα θερμόμετρα,
- οι αισθητήρες οπτικών ινών,
- οι κρυογενικοί αισθητήρες.

- Αισθητήρες Θερμοκρασίας χωρίς επαφή (Υπερύθρων)

Σε πολλές βιομηχανίες, οι διεργασίες λαμβάνουν χώρα κάτω από πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Ο σωστός αυτοματισμός και ο ποιοτικός έλεγχος απαιτεί ασφαλή ανίχνευση και επιτήρηση των θερμοκρασιών από απόσταση. Οι υπέρυθροι αισθητήρες θερμότητας απορροφούν τη θερμική ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρικό σήμα.

Το πλεονέκτημα της έλλειψης μηχανικής επαφής μεταξύ του αισθητήρα και του αντικείμενου καθιστά τους υπέρυθρους αισθητήρες ιδανικούς για εφαρμογές επιτήρησης θερμοκρασίας, όπως πχ. κινούμενα αντικείμενα σε χώρους με δύσκολη πρόσβαση, αγωγίμα ή κολλώδη υλικά σε διαβρωτικά μέσα, όπου αφενός απαιτούνται μικροί χρόνοι απόκρισης και αφετέρου είναι επικίνδυνη η απ' ευθείας επαφή. Τη λειτουργία των αισθητήρων θερμοκρασίας θα τη δούμε λίγο πιο αναλυτικά παρακάτω.

### **3.2.5. Αισθητήρες Στάθμης**

Η μέτρηση στάθμης αποτελεί ένα σημαντικό μέρος των διαδικασιών ελέγχου και χρησιμοποιείται σε πολλές βιομηχανίες. Τέτοιες βιομηχανίες παρέχουν αισθητήρες για μέτρηση στάθμης σημείου/σημείων και συνεχούς μετρήσεως.

Οι αισθητήρες στάθμης σημείου/σημείων χρησιμοποιούνται γενικά για έλεγχο υψηλής/χαμηλής στάθμης, ελάχιστου και μέγιστου ύψους στάθμης ή για ενεργοποίηση

συναγερμού. Οι αισθητήρες στάθμης συνεχούς μέτρησης χρησιμοποιούνται για μέτρηση της στάθμης εντός ορισμένων ορίων και εξασφαλίζουν συνεχή επιτήρηση στάθμης.[9]

#### - Αισθητήρες Στάθμης Σημείων

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούμε για έλεγχο σημείων είναι χωρίς κινούμενα μέρη και δίνουν λύσεις σε πολλές εφαρμογές.

Παραδείγματα αισθητήρων Στάθμης Σημείων είναι : -I- Προσέγγισης χωρητικοί

-I- Χωρητικότητας

-I- Φωτοκύτταρων

-I- Υπερήχων

-I- Λείζερ

Υπερύθρων

- Αισθητήρες Συνεχής Στάθμης Παραδείγματα αισθητήρων Συνεχής Στάθμης είναι:

Χωρητικότητας

Υπερήχων

Πίεσης

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούμε για συνεχή μέτρηση στάθμης είναι χωρίς κινούμενα μέρη και δίνουν μια αναλογική έξοδο που αντιστοιχεί με το περιεχόμενο της δεξαμενής. Οι αισθητήρες υπερήχων τοποθετούνται στην κορυφή της δεξαμενής ή σε κάποια θέση πάνω από το υπό μέτρηση υλικό. Ο αισθητήρας μεταδίδει συνεχώς ηχητικούς παλμούς υψηλής συχνότητας (τυπικά 42 kHz), οι οποίοι ανακλώνται στην επιφάνεια του υλικού και κατόπιν επιστρέφουν στον αισθητήρα. Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα του οργάνου μετράνε τον χρόνο που μεσολαβεί από την εκπομπή μέχρι τη λήψη του ηχητικού σήματος. Με αναφορά την ταχύτητα του ήχου στον αέρα, η ακριβής απόσταση της επιφάνειας του υγρού από τον αισθητήρα μπορεί να μετρηθεί με μεγάλη ακρίβεια ( $\pm 0.25\%$  της μέγιστης κλίμακας).

Καθώς η ταχύτητα του ήχου επηρεάζεται από την θερμοκρασία του αέρα, οι αισθητήρες στάθμης υπερήχων διαθέτουν έναν ενσωματωμένο αισθητήρα θερμοκρασίας. Επίσης γίνεται αυτόματη αντιστάθμιση των μετρήσεων στάθμης/απόστασης σε όλη την κλίμακα θερμοκρασίας του αισθητήρα. Ο αισθητήρας πρέπει να τοποθετείται έτσι ώστε να «βλέπει» απ' ευθείας στην επιφάνεια του υλικού και μακριά από σκάλες, σωλήνες και άλλα εμπόδια. Συνίσταται μια απόσταση 30 cm από το πλευρικό τοίχωμα για κάθε 3 m βάθους. Η ανεπιθύμητη ηχώ από αναδευτήρες (που κινούνται κάτω από τον αισθητήρα) από αναταραχές και κύματα φιλτράρονται και αγνοούνται από το όργανο. Υπάρχουν διάφοροι τύποι από απλούς μεταδότες στάθμης 4-20mA μέχρι έξυπνα συστήματα επιτήρησης, ελέγχου και καταγραφής.



### **3.2.6. Αισθητήρες Υγρασίας**

Η υγρασία είναι μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους, που μετρούνται μαζί με την θερμοκρασία. Η υγρασία είναι στην πράξη μόρια νερού στον αέρα και πολλές χημικές αντιδράσεις, διαδικασίες ξήρανσης, μετεωρολογικές παράμετροι ακόμα και οι συνθήκες εργασίας μέσα στα γραφεία επηρεάζονται από αυτήν. Πρέπει να διακρίνουμε την απόλυτη από την σχετική υγρασία του αέρα.

Η απόλυτη υγρασία είναι το βάρος του περιεχομένου του νερού στον αέρα, δηλαδή η πυκνότητα του νερού. Η μονάδα μέτρησης είναι gr/m<sup>3</sup>. Η σχετική υγρασία δείχνει το ποσοστό της μέγιστης δυνατής ποσότητας υδρατμού στον αέρα με αναφορά την θερμοκρασία τη στιγμή της μέτρησης. Η μέτρηση γίνεται επί τοις εκατό (%). Υπάρχουν διάφοροι τρόποι μέτρησης της σχετικής υγρασίας.

### **3.2.7. Αισθητήρες ταχύτητας**

Η διατήρηση της ροής του αέρα σε επιθυμητό επίπεδο είναι κρίσιμη σε ορισμένες εφαρμογές, ειδικά σε συστήματα κλιματισμού, θέρμανσης και εξαερισμού. Η ταχύτητα αέρα (διανυόμενη απόσταση ανά μονάδα χρόνου) εκφράζεται συνήθως σε πόδια ανά λεπτό ή σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/sec). Ο όγκος του αέρα μπορεί να προσδιοριστεί πολλαπλασιάζοντας την ταχύτητα του αέρα με την επιφάνεια της εγκάρσιας τομής ενός αγωγού. Συνήθως μετριέται σε κυβικά πόδια ανά λεπτό (cfm) ή κυβικά μέτρα ανά ώρα (m<sup>3</sup>/h). [9]

### **3.2.8. Αισθητήρες Ανίχνευσης Αερίων**

Η καθημερινή χρήση του αερίου (φυσικού ή υγραερίου) για μαγείρεμα, θέρμανση, ζεστό νερό, αλλά και η χρήση διαφόρων αερίων και των παραγώγων τους στη βιομηχανία δημιουργεί την ανάγκη ανίχνευσης των πιθανών διαρροών, που μπορεί να προκληθούν, είτε από το σύστημα διανομής, είτε ακόμη και από τις ίδιες τις συσκευές αερίου.

#### **• Τύποι Ανιχνευτών**

Υπάρχουν πολλοί τύποι ανιχνευτών. Οι διαφορές συνίστανται συνήθως στην μέθοδο ανίχνευσης, που έχει σχέση με τον τύπο του αισθητήρα (gas sensor) και στην κατηγορία του περιβάλλοντος, όπου λειτουργούν (π.χ. αντιεκρηκτικού τύπου).

• **Τύποι Αισθητήρα (GAS SENSOR)** Οι πιο συνηθισμένοι τύποι αισθητήρα είναι:

» α. Καταλυτικοί με πυρακτωμένο στοιχείο (Hot-wire catalytic type).

Χρησιμοποιούνται πολύ συχνά, κυρίως για ανίχνευση εκρηκτικών αερίων. » β.

Ηλεκτροχημικοί (Electrochemical type).

Χρησιμοποιούνται πιο σπάνια και κυρίως για ανίχνευση τοξικών αερίων σε πολύ χαμηλή συγκέντρωση.

» γ. Υπέρυθροι (IR). Χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση τοξικών αερίων σε χαμηλή συγκέντρωση.

### 3.3. Αισθητήρες Θερμοκρασίας

Όπως είδαμε και παραπάνω, οι αισθητήρες θερμοκρασίας χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τους αισθητήρες επαφής και αυτούς χωρίς επαφή. Πρώτα θα εξετάσουμε τα βασικά είδη και τη λειτουργία των αισθητήρων επαφής, που άλλωστε έχουν και πολλές υποκατηγορίες, όπως τα θερμοζεύγη, τους αντιστάτες, τα θερμίστορς κτλ.

#### 3.3.1. Αισθητήρες Επαφής

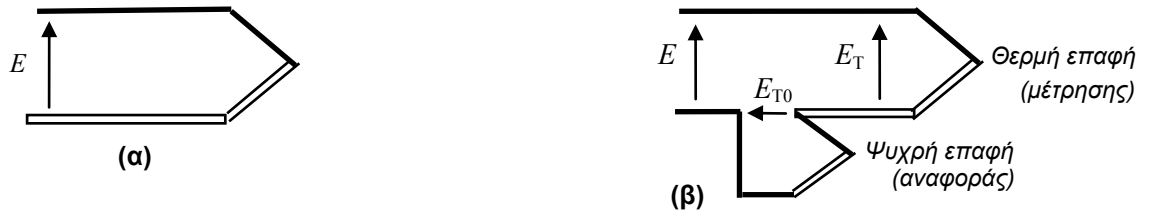
##### 3.3.1.1. Θερμοζεύγη

Πρόκειται για το συνδυασμό δύο αγωγών από διαφορετικό υλικό — το οποίο μπορεί να είναι μέταλλο, ημιαγωγός ή αμέταλλο — ενωμένων ο ένας με τον άλλο στο ένα τους άκρο. Το σημείο της ένωσης ονομάζεται *επαφή μέτρησης*, ενώ τα ελεύθερα άκρα αποτελούν την *επαφή αναφοράς*.

Η απλή κατασκευή και χρήση των θερμοζευγών καθώς και η αξιοπιστία τους, τα έκαναν τους πιο διαδεδομένους αισθητήρες σε πρακτικές εφαρμογές που έχουν συνήθεις απαιτήσεις σε ακρίβεια. Ωστόσο, όσο αυξάνονται οι απαιτήσεις χάνεται και το στοιχείο της απλότητας στη χρήση, ενώ η αξιοπιστία δεν είναι τόσο εγγυημένη.

Η λειτουργία των θερμοζευγών στηρίζεται στο φαινόμενο του θερμοηλεκτρισμού (thermoelectricity), ή αλλιώς φαινόμενο Seebeck (Seebeck effect). Ειδικότερα, όταν δύο διαφορετικά μέταλλα ενώνονται σε ένα σημείο, τότε στο σημείο αυτό αναπτύσσεται μία τάση, η οποία λέγεται θερμοηλεκτρική τάση ή δυναμικό επαφής (contact potential) και οφείλεται στο διαφορετικό έργο εξόδου των μετάλλων. Έτσι, ανάμεσα στα ελεύθερα άκρα των συνδεδεμένων μεταλλικών συρμάτων [βλέπε Σχήμα 3.8] αναπτύσσεται μία τάση  $E$ . Η τάση αυτή όμως εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Έτσι, εάν τα δύο μεταλλικά σύρματα ενωθούν σε δύο σημεία που ευρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία, θα δημιουργηθούν δύο θερμοηλεκτρικές τάσεις διαφορετικής τιμής. Η διαφορά των δύο τιμών είναι ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας των δύο σημείων.

Η δομή ενός θερμοζεύγους εικονίζεται στο Σχήμα 3.9. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν δύο σημεία επαφής: Το άνω σημείο, που ονομάζεται θερμή επαφή (hot junction), τοποθετείται στο αντικείμενο, του οποίου τη θερμοκρασία  $T$  θέλουμε να μετρήσουμε, και αναπτύσσεται σε αυτό μία θερμοηλεκτρική τάση  $E_T$ . Το άλλο σημείο (η κάτω επαφή του σχήματος) ονομάζεται *επαφή αναφοράς* (reference junction) ή *ψυχρή επαφή* (cold junction) και τοποθετείται σε ένα χώρο σταθερής θερμοκρασίας (π.χ. σε θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_0$ ). Στα άκρα του αναπτύσσεται μία θερμοηλεκτρική τάση  $E_{T_0}$ . Λόγω της τοποθέτησης των μεταλλικών συρμάτων, οι τάσεις  $E_T$  και  $E_{T_0}$  έχουν αντίθετη πολικότητα, και έτσι στα άκρα του θερμοζεύγους αναπτύσσεται η διαφορά τους,  $E = E_T - E_{T_0}$ .



Σχήμα 3.8 και 3.9

Η θερμοηλεκτρική τάση  $E$  δεν είναι ευθέως ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας ( $T - T_0$ ) αλλά σε συγκεκριμένες, στενές περιοχές θερμοκρασιών  $T$  μπορεί να θεωρηθεί χωρίς σφάλμα ότι είναι ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας. Συνήθως ανατρέχουμε σε πίνακες, οι οποίοι αναγράφουν τη διαφορά τάσης  $E$  που αντιστοιχεί σε ποικίλες διαφορές θερμοκρασίας ( $T - T_0$ ) για ποικίλες θερμοκρασίες αναφοράς  $T_0$ .

### Είδη θερμοζευγών

Τα θερμοζεύγη κατασκευάζονται από επιλεγμένα μέταλλα ή κράματα μετάλλων, τα οποία αναπτύσσουν όχι υψηλή απόλυτη τιμή θερμοηλεκτρικής τάσης αλλά θερμοηλεκτρική τάση που μεταβάλλεται ισχυρά με τη θερμοκρασία. Ονομάζονται από τα ονόματα των δύο μετάλλων ή κραμάτων, και αναφέρεται πρώτο το μέταλλο που γίνεται θετικότερο (και άρα αποτελεί το θετικό πόλο της θερμοηλεκτρικής τάσης). Το καλώδιο που καλύπτει το αρνητικό μέταλλο έχει πάντοτε κόκκινο χρώμα.

Τα πιο διαδεδομένα είδη θερμοζευγών είναι τα ακόλουθα [5]:

#### 1. Σιδήρου - Κωνσταντάνης (*iron-constantan*) ή Τύπου J

Οι ακροδέκτες έχουν χρώματα λευκό και κόκκινο. Αναπτύσσει θερμοηλεκτρική τάση περίπου  $50 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ . Το καλώδιο σιδήρου είναι μαγνητικό. Οι επαφές γίνονται με συγκόλληση ή ηλεκτροσυγκόλληση χρησιμοποιώντας συνηθισμένα μέσα συγκόλλησης (η κωνσταντάνη είναι κράμα χαλκού/νικελίου).

#### 2. Νικελίου/Χρωμίου - Νικελίου/Αλουμινίου (*chromel-alumel*) ή Τύπου K

Οι ακροδέκτες έχουν χρώματα κίτρινο και κόκκινο. Αναπτύσσει θερμοηλεκτρική τάση περίπου  $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ . Το καλώδιο από το κράμα alumel (νικελίου/αλουμινίου) είναι μαγνητικό. Οι επαφές γίνονται με συγκόλληση ή ηλεκτροσυγκόλληση και απαιτούνται ειδικά μέσα συγκόλλησης (άργυρος, ρέοντα υγρά). Το θερμοζεύγος αυτό δημιουργεί ηλεκτρικά σήματα όταν τα καλώδιά του κάμπτονται και έτσι δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε δονούμενα συστήματα, εκτός και αν χρησιμοποιείται κάποιο σύστημα αντιστάθμισης της μηχανικής τάσης.

#### 3. Χαλκού - Κωνσταντάνης (*copper-constantan*) ή Τύπου T

Οι ακροδέκτες έχουν χρώματα μπλε και κόκκινο. Αναπτύσσει θερμοηλεκτρική τάση περίπου  $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ . Κανένα καλώδιο δεν είναι μαγνητικό. Οι επαφές γίνονται με συγκόλληση ή ηλεκτροσυγκόλληση χρησιμοποιώντας συνηθισμένα μέσα συγκόλλησης. Το θερμοζεύγος αυτό εμφανίζει σφάλματα στην αγωγή του ρεύματος

επειδή ο χαλκός έχει υψηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και δε θα πρέπει να χρησιμοποιείται, εκτός εάν μεγάλα μήκη καλωδίου (100 έως 200 φορές η διάμετρος) τίθενται σε περιβάλλον σταθερής θερμοκρασίας

Τα είδη των θερμοζευγών που διατίθενται σήμερα στο εμπόριο αναγράφονται στον Πίνακα 2-1.

**Πίνακας 3.10** Είδη θερμοζευγών και περιοχές λειτουργίας τους

Είδος Θερμοζεύγους	Θετικό άκρο (+)	Αρνητικό άκρο (-)	Περιοχή Λειτουργίας
<b>B</b>	Λευκόχρυσος 30% Ρόδιο	Λευκόχρυσος 6% Ρόδιο	1370 – 1700 °C
<b>C</b>	W5Re (Βολφράμιο 5% Ρήνιο)	W26Re (Βολφράμιο 26% Ρήνιο)	1650 – 2315 °C
<b>E</b>	Chromel	Κονσταντάνη	95 – 900 °C
<b>J</b>	Σίδηρος	Κονσταντάνη	95 – 760 °C
<b>K</b>	Chromel	Alumel	95 – 1260 °C
<b>N</b>	Nicrosil	Nisil	650 – 1260 °C
<b>R</b>	Λευκόχρυσος 13% Ρόδιο	Λευκόχρυσος	870 – 1450 °C
<b>S</b>	Λευκόχρυσος 10% Ρόδιο	Λευκόχρυσος	980 – 1450 °C
<b>T</b>	Χαλκός	Κονσταντάνη	-200 – 350 °C

Τα θερμοζεύγη χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές που εκτείνονται από βιομηχανικές και επιστημονικές έως ιατρικές. Έτσι, χρησιμοποιούνται σε διάφορα περιβάλλοντα, όπως σε κλιβάνους, θαλάμους ψύξης, πυρηνικούς αντιδραστήρες αλλά και εγχειρήσεις για την παρακολούθηση της εσωτερικής θερμοκρασίας οργάνων. Αυτό συμβαίνει επειδή το θερμοζεύγος συνίσταται στην ουσία σε μία επαφή δύο μετάλλων, που μπορεί να λάβει μικροσκοπικές διαστάσεις και να κατευθυνθεί με τη βοήθεια δύο ευλύγιστων καλωδίων σε οποιοδήποτε σημείο μας ενδιαφέρει. Γι' αυτό αποτελούν μία από τις πρώτες επιλογές για τη μέτρηση θερμοκρασιών.

### 3.3.1.2. Αντιστάτες

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των μετάλλων είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας. Άρα η μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης μπορεί να οδηγήσει στον προσδιορισμό της θερμοκρασίας. Θεωρητικά αντιστάτες — θερμόμετρα μπορούν να κατασκευαστούν από πληθώρα υλικών. Επειδή όμως η συνάρτηση μεταξύ ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και θερμοκρασίας δεν είναι η ίδια για όλα τα υλικά, στη θερμομετρία χρησιμοποιούνται, κατά φθίνουσα σημασία, ο λευκόχρυσος, το νικέλιο και ο χαλκός.

Οι αντιστάτες λευκόχρυσου (Platinum Resistance Thermometers ή PRTs), είναι ίσως οι καλύτεροι αισθητήρες επαφής. Σε διάφορες μορφές τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετρήσεις θερμοκρασίας από 14 K έως 960 °C, με ακρίβεια η οποία προσεγγίζει το 1 mK. Ο ίδιος αισθητήρας μπορεί να χρησιμοποιείται σε

διάφορες περιοχές θερμοκρασιών χωρίς να εμφανίζει φαινόμενα υστέρησης. Τα χαρακτηριστικά του παραμένουν ιδιαίτερα σταθερά, ακόμη και μετά από πολλούς κύκλους χρήσης. Υπάρχουν διάφορες μορφές PRTs, ξεκινώντας από τον πρότυπο αισθητήρα της Διεθνούς Θερμομετρικής Κλίμακας, μέχρι PRTs βιομηχανικών εφαρμογών, οι οποίοι είναι ιδιαίτερος ανθεκτικοί και με ακρίβεια της τάξης μεγέθους του δεκάτου του βαθμού. Το χαμηλό κόστος καθώς και η πολύ καλή ακρίβεια των PRTs τους έχει κάνει τους πιο διαδεδομένους αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας. Σε εφαρμογές δε υψηλών απαιτήσεων ακριβείας, χρησιμοποιούνται κατ' αποκλειστικότητα.

Οι αντιστάτες λευκοχρύσου, σε αντιδιαστολή με τα θερμοζεύγη, για να λειτουργήσουν απαιτούν εξωτερική διέγερση. Η διέγερση αυτή μπορεί να είναι είτε ρεύμα είτε τάση, η μέτρηση των οποίων οδηγεί στον υπολογισμό της τιμής της ηλεκτρικής τους αντίστασης και, μέσω μιας διαδικασίας βαθμονόμησης, στη θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό πρέπει για τον υπολογισμό της ακρίβειας μιας μέτρησης θερμοκρασίας, να παίρνουμε υπόψη μας, εκτός από τις αβεβαιότητες του ίδιου του αισθητήρα και τις αβεβαιότητες που σχετίζονται με τα όργανα μέτρησης της αντίστασης.

Η εξάρτηση της αντίστασης από τη θερμοκρασία περιγράφεται από τη σχέση:

$$R(T) = R(0^{\circ}\text{C})(1 + \alpha T) \quad (2.2)$$

όπου  $\alpha$  ο θερμοκός συντελεστής ειδικής αντίστασης (για το λευκόχρυσο  $\alpha = 3,92 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

Γενικά, η αντίσταση του λευκόχρυσου χαρακτηρίζεται από πολύ καλή γραμμικότητα στην μεταβολή της, γεγονός που ερμηνεύει, μεταξύ άλλων, την καταλληλότητα του μετάλλου αυτού στη θερμομετρία. Η μη γραμμική συμπεριφορά των άλλων δύο μετάλλων — περισσότερο του Ni και λιγότερο του Cu, ερμηνεύεται κυρίως από την ύπαρξη προσμίξεων και τις ατέλειες του πλέγματός τους. Εκτός από τη γραμμική συμπεριφορά, για να μπορεί ένα μέταλλο να χρησιμοποιηθεί ως αισθητήρας θερμοκρασίας πρέπει να έχει και άλλες ιδιότητες, όπως αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες, να είναι χημικώς αδρανές και να μπορεί να βρεθεί εύκολα σε χημικώς καθαρή μορφή. Ο λευκόχρυσος ικανοποιεί το σύνολο των απαιτήσεων αυτών.

### 3.3.1.3. Θερμίστορς

Τα θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης παρουσιάζουν μια σημαντική αδυναμία: οι μεταβολές της αντίστασής τους ανάλογα με την αλλαγή της θερμοκρασίας είναι μικρή, και επομένως δεν είναι ιδιαίτερος χρήσιμα όταν θέλουμε να ανιχνεύσουμε μικρές μεταβολές θερμοκρασίας. Για τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιούμε τα θερμίστορς. Τα θερμίστορς είναι επίσης αντιστάσεις, κατασκευασμένα από ημιαγωγά υλικά, συνήθως οξειδία μετάλλων. Η μεταβολή της αντίστασής τους είναι σημαντική για αλλαγές της θερμοκρασίας και επίσης έχουν υψηλά όρια ανοχής, με

αποτέλεσμα οι μετρήσεις τους να μην έχουν την ακρίβεια που έχουν άλλοι αισθητήρες. Παρόλα αυτά, είναι εξαιρετικά διαδεδομένη και οικονομική επιλογή για τη μέτρηση θερμοκρασιών.

Η ειδική αγωγιμότητα ενός ημιαγωγού δίνεται από την σχέση:

$$\sigma = e (n \mu + P \mu_H) \quad (2.6)$$

όπου  $e$  το φορτίο του ηλεκτρονίου,  $n$  και  $p$  οι συγκεντρώσεις των φορέων ηλεκτρονίων και οπών αντιστοίχως,  $\mu$  και  $\mu_H$  οι ευκινησίες των ηλεκτρονίων και οπών αντιστοίχως. Η σχέση (2.6) για την περίπτωση ενδογενούς ημιαγωγού, δηλαδή εκείνου του οποίου οι φορείς είναι τα ηλεκτρόνια των ατόμων του, γράφεται:

$$\sigma = e n_i (\mu_e + \mu_h)$$

Γνωρίζουμε όμως ότι:

$$n_i = B T^3 \exp(-kT)$$

όπου  $B$  σταθερά εξαρτώμενη από το υλικό του κρυστάλλου και  $k$  η σταθερά Boltzmann. Η σχέση (2.8) μας δείχνει ότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας, αυξάνεται η συγκέντρωση των φορέων, άρα και η ειδική αγωγιμότητα (σχέση 2.6). Επομένως η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αντίστασης του θερμίστορ.

Αν το θερμοζεύγος είναι ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος ηλεκτρικός αισθητήρας θερμοκρασίας και το PRT ο πιο σταθερός, το θερμίστορ είναι ο πιο ευαίσθητος. Από τις τρεις κατηγορίες, το θερμίστορ είναι αυτό του οποίου η αντίσταση εξαρτάται περισσότερο από τη θερμοκρασία

Υπάρχουν δύο είδη θερμίστορς, τα *NTC* (*negative temperature coefficient, αρνητικού θερμοκρασιακού συντελεστή*) και τα *PTC* (*positive temperature coefficient, θετικού θερμοκρασιακού συντελεστή*). Στα *NTC* η αντίσταση μειώνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, ενώ στα *PTC* η αντίσταση αυξάνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία. Με βάση τα θερμίστορ έχουν κατασκευαστεί και *κινητοί ανιχνευτές θερμοκρασίας (temperature probes)*.

Τα θερμίστορς *NTC* εμφανίζουν μεγάλες μεταβολές αντίστασης όταν υφίστανται μικρές μεταβολές θερμοκρασίας. Ουσιαστικά, χρησιμοποιούνται για θερμοκρασίες μεταξύ των  $-100$  και των  $300$  βαθμών Κελσίου. Η μεταβολή της αντίστασής του καθορίζεται απ' το πηλίκο της τιμής της αντίστασης στους  $25$  °C με αυτήν στους  $125$  °C και είναι ανάμεσα στο 20 και το 40. Ακόμα, τα θερμίστορς εμφανίζουν υψηλή χρονική σταθερότητα, χαρακτηριστικό είναι ότι η τιμή της αντίστασής τους στους  $100$  °C έχει μεταβληθεί κατά μόλις 0.1 % έπειτα από 1000 ώρες λειτουργίας.

Η εξάρτηση της αντίστασης από τη θερμοκρασία στα θερμίστορς *NTC* έχει τη γενική μορφή:

$$R_T = R_{T_0} e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$$

όπου  $T$  είναι η θερμοκρασία μέτρησης σε βαθμούς Κέλβιν και  $T_0$  μία θερμοκρασία αναφοράς (συνήθως οι 298 K, που αντιπροσωπεύουν τους 25 °C), ενώ  $R_T$  και  $R_{T_0}$  είναι οι τιμές της αντίστασης του θερμίστορ NTC στις παραπάνω θερμοκρασίες. Η παραπάνω σχέση δεν είναι στην πράξη χρήσιμη, επειδή στην ουσία επιθυμούμε να προσδιορίσουμε την τιμή  $T$  και γνωρίζουμε τις άλλες τρεις ποσότητες. Έτσι λύνοντας την εξίσωση ως προς  $T$  προκύπτει ο ακόλουθος τύπος του Steinhart που αναφέρεται στα θερμίστορς NTC:

$$\frac{1}{T} = a + b (\ln R) + c (\ln R)^3$$

Στον τύπο αυτό η θερμοκρασία  $T$  προκύπτει σε βαθμούς Κέλβιν. Οι ποσότητες  $a$ ,  $b$  και  $c$  είναι συντελεστές που αφορούν το συγκεκριμένο θερμίστορ που χρησιμοποιούμε κάθε φορά.

Τα θερμίστορς εμφανίζουν *φαινόμενο αυτοθέρμανσης (self-heating effect)*, δηλαδή η θερμοκρασία τους αυξάνει όταν διαρρέονται από ρεύμα, το οποίο είναι της τάξης του ενός βαθμού Κελσίου (1 °C) ανά 7 mW ηλεκτρικής ισχύος στο εσωτερικό τους.

Η μη γραμμική σχέση της αντίστασης του θερμίστορ NTC με τη θερμοκρασία αποθαρρύνει συχνά τη χρήση των θερμίστορς σε εφαρμογές. Η μη γραμμικότητα μπορεί να αντιμετωπιστεί επιτυχώς κατά την επεξεργασία των μετρήσεων αντίστασης αλλά και από το κύκλωμα λήψης μετρήσεων καθαυτό (χρήση γέφυρας Wheatstone).

Αντίθετα, τα θερμίστορς PTC είναι αυτά που οι τιμές τους αυξάνουν με τη θερμοκρασία. Συγκεκριμένα, σε συγκεκριμένη τιμή της θερμοκρασίας μεταβάλλονται από χαμηλής αντίστασης σε υψηλής. Γι' αυτό το λόγο, η χρήση τους αφορά ευρέως τον περιορισμό του ρεύματος σε θερμοκρασίες μεταξύ 50 και 250 °C. Αντίθετα, δεν προτιμούνται για τη μέτρηση συνεχών τιμών θερμοκρασίας, αλλά περισσότερο για τη διακοπή της τροφοδοσίας κυκλωμάτων, ως διακόπτες δηλαδή. Οι τιμές της αντίστασής τους κυμαίνονται από 0.5 έως 20 kΩ σε κανονική θερμοκρασία.

Γενικά η λειτουργία της απότομης μεταβολής της αντίστασης το σε ποιες εφαρμογές χρησιμοποιούμε τα θερμίστορ PTC. Συνήθως τα συναντάμε σε περίπτωση που θέλουμε να ελέγξουμε τη ροή ρευστών. Εάν ένα θερμίστορ PTC ευρίσκεται σε ακίνητο αέρα ή σε ακίνητο υγρό, αδυνατεί να αποβάλλει πολλή θερμότητα και αυτοθερμαίνεται γρήγορα. Έτσι γρήγορα μεταβαίνει στην κατάσταση υψηλής αντίστασης, στην οποία μπορεί να διακόψει ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα. Έτσι μπορούμε να ελέγξουμε μια διαδικασία ψύξης. Αν τοποθετήσουμε το θερμίστορ στο ψυκτικό υλικό, με τη μείωση της ροής του υλικού (υγρού ή αερίου) η αντίστασή του θα αυξηθεί απότομα, ειδοποιώντας μας για την αλλαγή της ροής.

Ακόμα μια σημαντική λειτουργία του, η δυνατότητα που μας παρέχει να εισάγουμε μια χρονική καθυστέρηση σ' ένα κύκλωμα. Τροφοδοτώντας με συγκεκριμένο ρεύμα το θερμίστορ, μπορούμε να υπολογίσουμε το χρόνο που με τη

θέρμανση που θα έχει θα μεταβεί στην κατάσταση υψηλής αντίστασης. Μπορούμε να σχεδιάσουμε λοιπόν έτσι το κύκλωμά μας ώστε να μπορεί να ενεργοποιείται σε αυτήν την περίπτωση. Τότε, ουσιαστικά έχουμε εισάγει μια συγκεκριμένη χρονική καθυστέρηση. Ωστόσο, είναι σημαντικό να έχει το θερμίστορ PTC τη δυνατότητα να ψυχθεί πλήρως μεταξύ δύο διαδοχικών αυτοθερμάνσεων, αλλιώς η χρονική καθυστέρηση στη δεύτερη περίπτωση θα είναι μικρότερη και το θερμίστορ δε θα λειτουργεί αξιόπιστα.

Τέλος, μια ακόμα εφαρμογή αφορά την υπερφόρτιση των μπαταριών. Όταν οι μπαταρίες φορτίζονται στη μέγιστη χωρητικότητά τους, θερμαίνονται. Έτσι ένα θερμίστορ PTC που ευρίσκεται σε επαφή με μία μπαταρία μπορεί να ανιχνεύσει τότε η μπαταρία φορτίζεται πλήρως. Τότε η αντίστασή του αυξάνει απότομα και μηδενίζεται το ρεύμα που το διαρρέει, με αποτέλεσμα τη διακοπή της τροφοδοσίας της μπαταρίας.

#### **3.3.1.4. Ολοκληρωμένοι αισθητήρες**

Οι ολοκληρωμένοι αισθητήρες θερμοκρασίας κατασκευάζονται επάνω σε ημιαγωγούς, όπως όλα τα σύγχρονα ηλεκτρονικά στοιχεία, π.χ. οι μικροεπεξεργαστές. Τα χαρακτηριστικά τους είναι η γραμμικότητα του σήματος εξόδου, το σχετικά μικρό μέγεθός τους, η περιορισμένη περιοχή λειτουργίας (συνήθως μεταξύ  $-40$  έως  $+120$  °C), το χαμηλό τους κόστος και η καλή ακρίβεια, εφ' όσον βαθμονομηθούν ικανοποιητικά. Σε μερικές περιπτώσεις, οι ολοκληρωμένοι αισθητήρες έχουν κακό θερμικό σχεδιασμό, με αποτέλεσμα ο αισθητήρας - ημιαγωγός να μην έρχεται σε καλή θερμική επαφή με την εξωτερική επιφάνεια του αισθητήρα, άρα και με το σύστημα του οποίου ζητάμε τη θερμοκρασία. Πέρνοντας όλους αυτούς τους περιορισμούς υπόψη μας, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τους ολοκληρωμένους αισθητήρες αποτελεσματικά σε πολλές εφαρμογές.

Η αρχή λειτουργίας των ολοκληρωμένων αισθητήρων βασίζεται στη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και ρεύματος του τρανζίστορ. Αν δύο τρανζίστορ λειτουργούν υπό διαφορετικό, αλλά σταθερό ρεύμα συλλέκτη, τότε η διαφορά δυναμικού μεταξύ βάσης και εκπομπού είναι ανάλογη της απόλυτης θερμοκρασίας του τρανζίστορ. Αυτή η τάση μετράται απ' ευθείας ή μετατρέπεται σε ρεύμα.

Οι ολοκληρωμένοι αισθητήρες θερμοκρασίας είναι ιδανικοί για μετρήσεις στο εσωτερικό διαφόρων συσκευών, ειδικά εφ' όσον χρησιμοποιούνται και άλλα ολοκληρωμένα κυκλώματα.

#### **3.3.1.5. Κρυογενικοί αισθητήρες**

Κρυογενικοί ονομάζονται οι αισθητήρες θερμοκρασίας που μετρούν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Χρησιμοποιούνται κυρίως στη φυσική χαμηλών θερμοκρασιών και σε διαστημικές εφαρμογές. Η αρχή λειτουργίας τους είναι η ίδια



με αυτή των συνήθων αισθητήρων, αλλά τα υλικά κατασκευής τους διαφέρουν. Οι ηλεκτρικές ιδιότητες διαφόρων υλικών μεταβάλλονται ταχέως και μερικές φορές απότομα, όσο η θερμοκρασία τους προσεγγίζει το απόλυτο μηδέν. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε πειράματα φυσικής χαμηλών θερμοκρασιών πρέπει να υπακούουν σε πολύ αυστηρές προδιαγραφές. Δεν πρέπει π.χ. οι αγωγοί των αισθητήρων να μεταδίδουν θερμότητα στο χώρο μέτρησης. Πρέπει επίσης οι αισθητήρες, αναλόγως του είδους του πειράματος, να μην επηρεάζονται από μαγνητικά πεδία ή την πυρηνική ακτινοβολία.

### **3.3.1.6. Αισθητήρες οπτικών ινών**

Οι αισθητήρες οπτικών ινών μετρούν διάφορες παραμέτρους χρησιμοποιώντας λεπτές οπτικές ίνες ως το μόνο μέσο για τη διέγερση και ανάγνωση του αισθητήριου στοιχείου. Οι χρησιμοποιούμενες ίνες είναι οι ίδιες με αυτές των τηλεπικοινωνιών. Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι αισθητήρες που εξετάσαμε στις προηγούμενες ενότητες. Ένα παράδειγμα είναι η μέτρηση της θερμοκρασίας στις περιελίξεις ενός μετασχηματιστή ισχύος υψηλής τάσης. Η τάση μπορεί να φθάνει έως και τα 500 kV, οπότε η χρήση αισθητήρων που επικοινωνούν με μεταλλικούς αγωγούς είναι αδύνατη για λόγους ασφαλείας. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται αισθητήρες οπτικών ινών.

Οι οπτικές ίνες διαθέτουν διάφορα χαρακτηριστικά, τη μεταβολή των οποίων εκμεταλλευόμαστε για να τις χρησιμοποιήσουμε ως αισθητήρες. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι οι μικροκάμψεις (micro bendings), συμβολομετρικά φαινόμενα, η μεταβολή του δείκτη διαθλάσεως, η αλλαγή της πόλωσης, η μεταβολή του μήκους κύματος, τα περιθλαστικά φράγματα καθώς και το φαινόμενο Sagnac το οποίο εφαρμόζεται για την ανίχνευση περιστροφικής κίνησης<sup>1</sup>.

Η θερμοκρασία υπολογίζεται εμμέσα αφού μετρηθούν μεταβολές μήκους κύματος ή διαφορές φάσης και μετατραπούν σε θερμοκρασία, μέσω κατάλληλων ηλεκτρονικών διατάξεων. Επειδή οι οπτικές ίνες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αισθητήρες αυτόνομοι, όπως τα θερμοζεύγη, ή οι αντιστάτες, θα τους εξετάσουμε σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια.

### **3.4.2. Αισθητήρες εξ αποστάσεως**

Το χαρακτηριστικό των αισθητήρων εξ αποστάσεων είναι το γεγονός πως μετρούν τη θερμοκρασία ενός συστήματος χωρίς να έρχονται σε φυσική επαφή με αυτό. Ουσιαστικά, οι αισθητήρες επαφής για να μετρήσουν τη θερμοκρασία ενός συστήματος μετρούν τη δική τους θερμοκρασία, καθώς είναι σε επαφή με το σύστημα αυτό. Αντίθετα, οι αισθητήρες εξ αποστάσεως λειτουργούν ανιχνεύοντας τη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται. Άλλωστε, όλα τα σώματα θερμοκρασίας μεγαλύτερης του μηδενός εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία. Τις περισσότερες φορές

η ακτινοβολία αυτή βρίσκεται στην υπέρυθη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, γι' αυτό και οι αισθητήρες εξ αποστάσεως ονομάζονται και υπέρυθροι.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

## ΜΙΚΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΕΣ

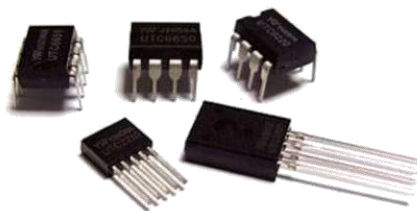
Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε τη χρήση των μικροεπεξεργαστών και μικροελεγκτών, συστημάτων εξαιρετικά χρήσιμων στη λειτουργία των συστημάτων ελέγχου (άλλωστε όπως είδαμε και παραπάνω μία βασική μορφή ελέγχου είναι ο ψηφιακός). Οι μικροεπεξεργαστές έχουν μεγάλο πεδίο εφαρμογής στην εξοικονόμηση ενέργειας καθώς διευκολύνουν τις διαδικασίες ελέγχου που οφείλει να κάνει ένα σύστημα ενός κτιρίου, όπως και τη σύνδεση και μετέπειτα τον αυτοματισμό διαφορετικών συστημάτων ελέγχου ενός κτιρίου. Ουσιαστικά, ειδικά στη δημιουργία ενός «έξυπνου σπιτιού» η χρήση μικροεπεξεργαστών είναι απαραίτητη.

### 4.1. ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Αρχικά, όλα τα ψηφιακά κυκλώματα κατασκευάζονται με ολοκληρωμένα κυκλώματα. Ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα σε σμίκρυνση αποτελούμενο κυρίως από ημιαγώγιμα αλλά και παθητικά στοιχεία όπως τρανζίστορ, δίοδοι, αντιστάσεις, κατασκευασμένο στην επιφάνεια του λεπτού υποστρώματος ενός ημιαγώγιμου υλικού. Το chip τοποθετείται σε ένα κεραμικό ή πλαστικό περίβλημα, ενώνονται και συγκολλούνται οι επαφές του chip με εξωτερικούς ακροδέκτες «pins» για να σχηματιστεί το ολοκληρωμένο κύκλωμα.

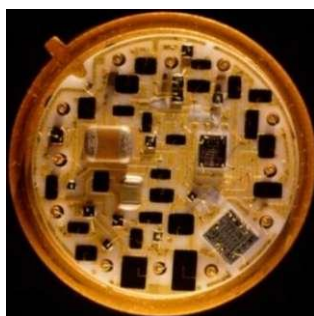
Σύμφωνα με τη διαδικασία κατασκευής και τη δομή τους, διακρίνουμε δύο βασικούς τύπους ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που είναι ριζικά διαφορετικά μεταξύ τους: τα μονολιθικά και τα υβριδικά ολοκληρωμένα κυκλώματα.

Τα μονολιθικά ολοκληρωμένα κυκλώματα είναι μικροκυκλώματα των οποίων τα στοιχεία έχουν πραγματοποιηθεί μέσα σε μια στιβάδα γειτονική στην επιφάνεια ενός ημιαγώγιμου υποστρώματος. Αποτελούν τη βάση της μοντέρνας ηλεκτρονικής.



Εικόνα 4.1: Μονολιθικά ολοκληρωμένα κυκλώματα

Τα υβριδικά είναι ηλεκτρικά κυκλώματα σε σμίκρυνση που αποτελείται από μεμονωμένα ημιαγώγιμα και παθητικά στοιχεία, με τη μορφή διαφόρων υμενίων που αποτίθενται πάνω στην επιφάνεια ενός μονωτικού υποστρώματος ή σε έναν πίνακα κυκλωμάτων.



Εικόνα 4.2: Υβριδικό ολοκληρωμένο κύκλωμα

#### 4.1.1. Χρήσιμα χαρακτηριστικά των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

Επειδή το ολοκληρωμένο κύκλωμα, αντιπροσωπεύει από κατασκευαστική άποψη ένα σύνολο, το οποίο εκπληρώνει μια καθορισμένη λειτουργία και ικανοποιεί καθορισμένες απαιτήσεις, πρέπει να τοποθετηθεί στην κατηγορία των ηλεκτρονικών διατάξεων. Εν τούτοις, αν συγκριθεί με ένα τρανζίστορ ή με μία δίοδο κ.τ.λ., αποτελεί έναν τύπο διάταξης ριζικά καινούριο.

Το πρώτο και κύριο χαρακτηριστικό του ολοκληρωμένου κυκλώματος είναι ότι **πραγματοποιεί, με ανεξάρτητο τρόπο, μια καθορισμένη λειτουργία**, συχνά πολύ πολύπλοκη, ενώ οι στοιχειώδεις ηλεκτρονικές διατάξεις (π.χ. αντιστάτες) δεν είναι ικανές να εκπληρώσουν μια ανάλογη λειτουργία παρά μόνο σε συνεργασία με άλλα ηλεκτρονικά εξαρτήματα.

- Ένα δεύτερο χαρακτηριστικό των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων είναι ότι η **αύξηση της λειτουργικής πολυπλοκότητάς τους σε σχέση με τις θεμελιώδεις διατάξεις** δεν ακολουθείται από υποβάθμιση μιας οποιασδήποτε από τις κύριες παραμέτρους (πιστότητα, κόστος κτλ.). Αντίθετα όλες αυτές οι παράμετροι βρίσκονται βελτιωμένες στα ολοκληρωμένα κυκλώματα.

- Ένα τρίτο χαρακτηριστικό των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων είναι ότι έχουν **προτίμηση στα ενεργά στοιχεία** παρά στα παθητικά, στοιχεία δηλαδή που παράγουν ενέργεια (ενεργητικά π.χ. τρανζίστορ), έναντι αυτών που την αποθηκεύουν (παθητικά π.χ. αντιστάτες). Έτσι, ενδιαφερόμαστε να τοποθετήσουμε στο ίδιο τσιπ έναν, όσο το δυνατόν μεγαλύτερο, αριθμό στοιχείων ελάχιστης επιφάνειας. Η ελάχιστη επιφάνεια είναι χαρακτηριστικό των ενεργών στοιχείων

- Ένα τέταρτο χαρακτηριστικό των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων συνδέεται με το γεγονός ότι **τα γειτονικά στοιχεία δεν απέχουν μεταξύ τους πάνω από 50 με 100μm** και επωφελούμαστε μειώνοντας την επίδραση των θερμικών μεταβολών και της διασποράς των παραμέτρων.

#### 4.1.2. Ταξινόμηση των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων βάσει βαθμού ολοκλήρωσης

«Η λειτουργική πολυπλοκότητα των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων χαρακτηρίζεται, κατά συνθήκη, από τον βαθμό ολοκλήρωσης δηλ. από τον αριθμό στοιχείων (συνήθως τρανζίστορ) που περιέχονται μέσα σε ένα τσιπ.»

- Μικρή κλίμακα ολοκλήρωσης ή **SSI** (Small Scale Integration): περιέχουν έως 10 τρανζίστορ ή λίγες πύλες σε ένα ενιαίο πλαστικό περίβλημα, πχ AND, OR, NOT πύλες.
  - Μεσαίας κλίμακα ολοκλήρωσης ή **MSI** (Medium Scale Integration): μεταξύ 10 και 100 τρανζίστορ ή δεκάδες πύλες σε ένα ενιαίο πακέτο πλαστικό περίβλημα. Εκτελούν ψηφιακές λειτουργίες, όπως πχ αθροιστές, αποκωδικοποιητές, μετρητές, flip-flops και πολυπλέκτες.
  - Μεγάλης κλίμακα ολοκλήρωσης ή **LSI** (Large Scale Integration): μεταξύ 100 και 1.000 τρανζίστορ ή εκατοντάδες από τις πύλες. Πραγματοποιούν ειδικές ψηφιακές λειτουργίες όπως πχ την αριθμητική και λογική μονάδα, I / O συστήματα, μνήμη,.
  - Πολύ μεγάλη κλίμακα ολοκλήρωσης ή **VLSI** (Very-Large Scale Integration): μεταξύ 1.000 και 10.000 τρανζίστορ ή χιλιάδες πύλες. Ικανές για υπολογιστικές εργασίες, όπως επεξεργαστές, μεγάλες συστοιχίες μνήμης και προγραμματιζόμενες διατάξεις λογικής.
- Εξαιρετικά μεγάλη κλίμακα ολοκλήρωσης ή **ULSI** (Ultra-Large Scale Integration): πάνω από 1 εκατομμύριο τρανζίστορ. Χρησιμοποιούνται σε CPU υπολογιστών, GPU, επεξεργαστές βίντεο, μικροελεγκτές, FPGA και πολύπλοκες PIC.

Εκτός από το βαθμό ολοκλήρωσης χρησιμοποιούμε και έναν άλλο όρο, την **πυκνότητα στοιχείων**, δηλ. τον αριθμό των στοιχείων (συνήθως τρανζίστορ) ανά μονάδα επιφάνειας του σιπ. Αυτό το μέγεθος χαρακτηρίζει κυρίως τη στάθμη της τεχνολογίας.

## 4.2. Μικροεπεξεργαστές

### **4.2.1. Γενικά για τους μικροεπεξεργαστές**

Το αποτέλεσμα της εμφάνισης της τεχνολογίας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων ήταν η ενσωμάτωση σε ένα μόνο ολοκληρωμένο κύκλωμα όλης της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας, η οποία βέβαια θα έπρεπε να προγραμματίζεται για να περιέχει τις βασικότερες λειτουργίες ενός ψηφιακού υπολογιστή. Αυτό το κύκλωμα ονομάζεται μικροεπεξεργαστής. Η μνήμη του βρίσκεται σε αρκετά ολοκληρωμένα κυκλώματα περιορισμένων αποθηκευτικών δυνατοτήτων, τα οποία το συνοδεύουν. Επίσης υποστηρίζεται και από μια πλειάδα ολοκληρωμένων κυκλωμάτων για να διασυνδέεται κατάλληλα και με τον εξωτερικό κόσμο και για να εκτελεί τις διαδικασίες χρονισμού και προώθησης δεδομένων στον τελικό τους προορισμό.

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων τις τελευταίες δεκαετίες έδωσε τη δυνατότητα να μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα όλο και πιο πολύπλοκα κυκλώματα. Χαρακτηριστικό είναι ότι ο πρώτος μικροεπεξεργαστής είχε 2 χιλιάδες τρανζίστορς, ενώ τώρα το αντίστοιχο νούμερο φτάνει τα 7 εκατομμύρια τρανζίστορς σε ένα μόνο ολοκληρωμένο κύκλωμα! Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη γρήγορη ανάπτυξη των μικροεπεξεργαστών και την ολοένα και πιο συχνή χρήση τους τόσο σε πολύπλοκες

υπολογιστικές συσκευές όσο και σε απλές οικιακές συσκευές και συστήματα ελέγχου.

Ένας **μικροεπεξεργαστής** («μικρο-» λόγο της απόστασης των τρανζίστορ εντός του IC μετρούμενη σε  $\mu\text{m}$  ή  $1110^{-6} \text{ m}$ ) περιλαμβάνει τις περισσότερες ή όλες τις λειτουργίες μιας κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (CPU) ενός Η/Υ σε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο κύκλωμα. Ένας σύγχρονος μικροεπεξεργαστής αποτελείται από τις ακόλουθες μονάδες.

- **Μονάδα αποκωδικοποίησης εντολών** (Instruction Decoding Unit): Μονάδα που μετατρέπει τα προγράμματα σε εντολές Assembly.
- **Αριθμητική και Λογική Μονάδα** (Arithmetic and Logical Unit, ALU): Η μονάδα στην οποία εκτελούνται μία προς μία οι αριθμητικές ή λογικές πράξεις, όπως υπαγορεύονται από τις εντολές που έχουν δοθεί στον Η/Υ.
- **Καταχωρητές** (Registers): Μικρά κελιά μνήμης στο εσωτερικό του επεξεργαστή, που χρησιμοποιούνται για την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων, καθώς αυτά υφίστανται επεξεργασία. Οι καταχωρητές διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του επεξεργαστή και τον κατασκευαστή, τόσο ως προς την οργάνωση όσο και ως προς τη χωρητικότητά τους.
- **Μονάδα ελέγχου** (Control Unit): Ελέγχει τη ροή δεδομένων από και προς την ALU, τους καταχωρητές, τη μνήμη και τις περιφερειακές μονάδες εισόδου/εξόδου.
- **Μονάδα προσκόμισης** (Fetch Unit): Μεταφέρει τις εντολές από τη μνήμη στον επεξεργαστή.
- **Μονάδα προστασίας** (Protection Unit): Εξασφαλίζει το αποδεκτό της κάθε διεργασίας που εκτελεί ο επεξεργαστής, ώστε να μη τροποποιούνται δεδομένα που δεν πρέπει ή να μην εκτελούνται μη αποδεκτές εντολές, όπως π.χ. διαίρεση αριθμού με το μηδέν. Ο πρώτος μικροεπεξεργαστής έκανε την εμφάνιση του στις αρχές του 1972, σχεδόν τρεις δεκαετίες μετά από τους πρώτους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Η εξέλιξη των μικροεπεξεργαστών θυμίζει πολύ την αντίστοιχη εξέλιξη των μεσαίων υπολογιστών. Όπως δηλαδή οι σχεδιαστές των μεσαίων υπολογιστών μετέφεραν σε αυτούς τις ιδέες τους από τη σχεδίαση μεγάλων συστημάτων, έτσι και οι σχεδιαστές των μικροεπεξεργαστών υιοθέτησαν πολλά στοιχεία της οργάνωσης και της αρχιτεκτονικής των μεσαίων και μεγάλων συστημάτων. Στους μικροεπεξεργαστές της τελευταίας γενιάς άρχισαν ήδη να εφαρμόζονται προχωρημένα στοιχεία αρχιτεκτονικής, με αποτέλεσμα σήμερα να είναι ασαφής ο διαχωρισμός ανάμεσα στους μεσαίους υπολογιστές και σε συστήματα βασισμένα σε μικροεπεξεργαστές.

Χρονολογίες-σταθμοί στην ιστορία των (μικρο)επεξεργαστών μπορούν να θεωρηθούν οι παρακάτω:

- 1971: Η Intel παρουσιάζει τον πρώτο μικροεπεξεργαστή, τον 4004. Έχει δίαυλο δεδομένων πλάτους 4 bit, κατασκευάζεται με 2.300 τρανζίστορ και έχει συχνότητα λειτουργίας 108 kHz. Μέσα στην επόμενη χρονιά εμφανίζεται ο διάδοχος του 8008.

- 1974: Εμφάνιση του 8-bit μικροεπεξεργαστή Intel 8080 ως αποτέλεσμα της εξέλιξης του 8008. Έχει συχνότητα λειτουργίας 2 MHz και η κατασκευή του απαιτεί 6.000 τρανζίστορες. Απάντηση της Zilog με τον Z80 και της Motorola με τον 6800, ο οποίος έχει 4.000 τρανζίστορες και ίδια συχνότητα λειτουργίας με τον 8080.
- 1975: Η Intel αναβαθμίζει τον 8080 σε 8085.
- 1978: Εμφανίζονται οι πρώτοι 16-bit μικροεπεξεργαστές (δηλαδή ο διάυλος δεδομένων τους έχει πλάτος 16 bit). Η Intel παρουσιάζει τον 8086/8088, του οποίου η συχνότητα λειτουργίας έχει ανέβει πλέον στα 10 MHz και η κατασκευή του απαιτεί 29.000 τρανζίστορες. Η Motorola εμφανίζει τον 68000 με συχνότητα λειτουργίας 8 MHz, ο οποίος περιέχει 68.000 τρανζίστορες (από αυτό το γεγονός πήρε και το όνομά του).
- 1982: Εμφανίζεται ο Intel 80286, ο οποίος περιέχει 134.000 τρανζίστορες και έχει συχνότητα λειτουργίας 12,5 MHz. Αντίστοιχα η Motorola εμφανίζει τον 68010.
- 1985: Εμφανίζονται οι πρώτοι 32-bit μικροεπεξεργαστές. Από τη μια ο Intel 80386, ο οποίος περιέχει 275.000 τρανζίστορες και συχνότητα λειτουργίας 33 MHz και από την άλλη ο Motorola 68020 με 200.000 τραν- σίστορες και 16 MHz. Οι εξελίξεις πλέον είναι ραγδαίες.
- 1989: Εμφανίζεται ο 32-bit μικροεπεξεργαστής Intel 80486, ο οποίος έχει 1.200.000 τρανζίστορες και συχνότητα λειτουργίας 50 MHz.
- 1993: Εμφανίζεται ο Intel Pentium, ο οποίος περιέχει 3.100.000 τρανζίστορες και η συχνότητα λειτουργίας του έχει φτάσει στα 166 MHz.
- 1993: Η Digital παρουσιάζει τον πρώτο 64-bit μικροεπεξεργαστή Alpha.
- 1997: Η Intel ανακοινώνει τον Pentium II. Η συχνότητα λειτουργίας του βρίσκεται στα 300 MHz και το ολοκληρωμένο κύκλωμά του αποτελείται από 7.700.000 τρανζίστορες.
- 1999: Η Intel ανακοινώνει τον Pentium III με συχνότητα λειτουργίας 450 MHz (σήμερα έχει φτάσει στο 1.13 GHz). Το ολοκληρωμένο κύκλωμα αποτελείται από 9.500.000 τρανζίστορες.
- Μέχρι σήμερα η εξέλιξη των μικροεπεξεργαστών έχει προχωρήσει πολύ, τόσο στον τομέα της εκτέλεσης παράλληλων λειτουργιών (πολυπύρρηνοι επεξεργαστές) όσο και στην ταχύτητα εκτέλεσης.

#### **4.2.2. Αριθμητική και λογική μονάδα**

Η εκτέλεση των διαφόρων λογικών και αριθμητικών πράξεων, που απαιτούνται από το σύνολο εντολών ενός μικροεπεξεργαστή, πραγματοποιείται σ' αυτό το τμήμα του, που καλείται αριθμητική και λογική μονάδα (ALU).

Ως αριθμητικές πράξεις εννοούμε την πρόσθεση και την αφαίρεση δύο αριθμών, την αύξηση και την ελάττωση ενός αριθμού κατά ένα, το συμπλήρωμα ενός αριθμού ως προς 1 ή ως προς 2.

Οι λογικές πράξεις εφαρμόζονται κατά κύριο λόγο σε δυαδικά δεδομένα και δεν είναι άλλες από τις γνωστές μας ΚΑΙ (AND), Ή (OR) και ΟΧΙ (NOT). Εκτός από αυτές, λογικές πράξεις θεωρούνται και η ολίσθηση ή η περιστροφή ενός αριθμού και η σύγκριση δύο αριθμών.

Η εκτέλεση καθεμιάς από τις πράξεις αυτές μπορεί να υπάρχει είτε αυτούσια ενσωματωμένη μέσα στο μικροεπεξεργαστή με τη μορφή μίας εντολής (π.χ. πρόσθεση) είτε να απαιτεί την εκτέλεση μιας ακολουθίας πολλών εντολών. Είναι ευνόητο ότι πράξεις, όπως είναι ο πολλαπλασιασμός, η διαίρεση, η εύρεση ρίζας, η διαφόριση, ολοκλήρωση και διάφορες άλλες, που απαιτούν πολύπλοκους υπολογισμούς με πολλές μετακινήσεις δεδομένων, το υλικό του μικροεπεξεργαστή δεν είναι σε θέση από μόνο του να τις αντιμετωπίσει. Αντίθετα, επειδή όλες αυτές οι πράξεις αναλύονται σε συνδυασμό βασικών αριθμητικών εντολών (π.χ. η εύρεση ρίζας αριθμού μπορεί να γίνει με διαδοχικές αφαιρέσεις), μπορούν πολύ εύκολα να υλοποιηθούν ως ακολουθία βασικών εντολών, που μπορούν να εκτελεστούν στην αριθμητική και λογική μονάδα. Φυσικά, όταν χρησιμοποιείται το υλικό για να εκτελέσει ακόμα και τις πιο πολύπλοκες πράξεις, η ταχύτητα εκτέλεσής τους είναι πολύ μεγαλύτερη.

Σε πολλές περιπτώσεις οι λογικές και αριθμητικές πράξεις είναι μικροπρογραμματιζόμενες. Ο μικροπρογραμματισμός αποβλέπει στη γρηγορότερη εκτέλεση των πράξεων και στην επίτευξη μεγαλύτερων ταχυτήτων. Με βάση αυτόν, χωριστές μνήμες ελέγχου (control memories) περιέχουν το μικροπρόγραμμα, το οποίο ανταποκρίνεται στις γενικές εντολές του χρήστη και καθοδηγεί την αριθμητική και λογική μονάδα ώστε να εκτελέσει τις απαιτούμενες λειτουργίες.

Τα δεδομένα, πάνω στα οποία θα πρέπει να λειτουργήσει η αριθμητική και λογική μονάδα, είναι αποθηκευμένα στη μνήμη σαν τμήμα της εντολής. Η αποκωδικοποίηση της εντολής καταλήγει στην εκπομπή ενός σήματος από τη μονάδα ελέγχου προς την αριθμητική και λογική μονάδα, ενεργοποιώντας τα κατάλληλα κυκλώματα της μονάδας αυτής. Μετά την εκτέλεση της απαιτούμενης πράξης, η μονάδα ελέγχου προωθεί την επόμενη εντολή, που πρόκειται να εκτελεστεί, και έτσι επαναλαμβάνεται ο κύκλος αυτός, εφόσον βέβαια απαιτείται ξανά η ενεργοποίηση της αριθμητικής μονάδας.

Τα κυκλώματα, τα οποία περιέχονται σε μια αριθμητική και λογική μονάδα διαφέρουν από μικροεπεξεργαστή σε μικροεπεξεργαστή, αλλά συνήθως υπάρχουν τα ακόλουθα κυκλώματα:

1. Ένας αθροιστής (adder) για να εκτελεί τις βασικές αριθμητικές πράξεις.



2. Ένας συγκριτής (comparator), ο οποίος μπορεί να συγκρίνει τους αριθμούς που τοποθετούνται στους καταχωρητές εντέλων.
3. Ένας ολισθητής (shifter), ο οποίος εκτελεί την ολίσθηση ή περιστροφή ενός αριθμού.
4. Μία μονάδα λογικής επεξεργασίας, που εκτελεί λογικές πράξεις πάνω στους αριθμούς, που τοποθετούνται στους καταχωρητές εντέλων.
5. Κάποιοι καταχωρητές για να αποθηκεύονται οι αριθμοί και τα αποτελέσματα των πράξεων (μην ανησυχείτε, για τους καταχωρητές θα μιλήσουμε στην υποενότητα 2.1.3).

Με βάση τα παραπάνω βασικά κυκλώματα μπορούν να υλοποιηθούν και όλες οι υπόλοιπες πράξεις, π.χ. η αφαίρεση δύο αριθμών μπορεί να υλοποιηθεί ως πρόσθεση του πρώτου με το συμπλήρωμα του δεύτερου (επομένως δεν απαιτείται η ύπαρξη ενός αφαιρέτη), ο πολλαπλασιασμός και η διαίρεση απαιτούν διαδοχικές αυξήσεις και ολισθήσεις, ενώ η τετραγωνική ρίζα μπορεί να υλοποιηθεί με διαδοχικές αφαιρέσεις, κ.ο.κ.

#### **4.2.3. Μονάδα ελέγχου**

Όπως είναι ήδη γνωστό, ο μικροεπεξεργαστής λειτουργεί με σειριακό τρόπο ανάλογα με τις υποδείξεις των εντολών του αποθηκευμένου προγράμματος. Αλλά βέβαια το πρόγραμμα από μόνο του δεν είναι αρκετό για να κατευθύνει τη λειτουργία του. Για παράδειγμα ο μικροεπεξεργαστής θα πρέπει να γνωρίζει πού είναι αποθηκευμένη (σε ποια διεύθυνση) μέσα στη μνήμη η πρώτη εκτελέσιμη εντολή του προγράμματος. Θα πρέπει ακολούθως ν' αναπτύξει τα κατάλληλα σήματα ελέγχου, που θα αποσπάσουν την εντολή από τη μνήμη και έπειτα θα πρέπει να εξετάσει το περιεχόμενο της εντολής αυτής για να αποφασίσει για τις ενέργειες, που αυτή απαιτεί.

Η μνήμη, οι μονάδες εισόδου/εξόδου, καθώς και η αριθμητική και λογική μονάδα, θα πρέπει να ενεργοποιηθούν στα κατάλληλα χρονικά διαστήματα ώστε να εκτελέσουν την αποκωδικοποιημένη εντολή με τέτοιο τρόπο ώστε οι λειτουργίες αυτές να μην παρεμβάλλονται μεταξύ τους και να μην δημιουργούν ανεπιθύμητα αποτελέσματα.

Όλες αυτές οι απαιτήσεις οδηγούν στην ανάγκη της παρουσίας της μονάδας ελέγχου (ME). Σε γενικές γραμμές, η μονάδα ελέγχου είναι το κατευθυντήριο κέντρο του μικροεπεξεργαστή και παρέχει τις λειτουργίες χρονισμού, αποκωδικοποίησης και ενεργοποίησης για όλα τα τμήματα του μικροϋπολογιστή. Στο σχήμα 2.3 φαίνεται το λειτουργικό διάγραμμα μιας τυπικής μονάδας ελέγχου.

Η βασική πηγή για όλα τα σήματα ελέγχου, που κατευθύνουν τις συσκευές του συστήματος, είναι το ρολόι. Οι απαιτήσεις για χρονισμό σ' ένα μικροϋπολογιστικό σύστημα ποικίλλουν από σχετικά μεγάλης διάρκειας παλμούς (sees ή msecs) μέχρι

πολύ μικρής διάρκειας (nsecs). Η φύση των σημάτων χρονισμού είναι τέτοια ώστε οι παλμοί να εμφανίζονται και να διαρκούν μόνο για ένα απαιτούμενο χρονικό διάστημα, να επαναλαμβάνονται με μια καθορισμένη ακολουθία ή να εμφανίζονται μετά από απαίτηση.

Είναι γνωστό ότι μια εντολή χωρίζεται σε δύο τμήματα: στον κώδικα λειτουργίας (operation code) και στο έντελο (operand), δηλαδή τη διεύθυνση του δεδομένου, πάνω στο οποίο θα επενεργήσει ο κώδικας λειτουργίας. Ο κώδικας λειτουργίας εξετάζεται από τον αποκωδικοποιητή εντολών για να αποφασίσει ποιες λειτουργίες θα πρέπει να ακολουθήσουν. Για να μπορέσει να εκτελεστεί αυτή η διαδικασία θα πρέπει πρώτα ο κώδικας λειτουργίας της εντολής να μεταφερθεί στον καταχωρητή εντολής της μονάδας ελέγχου. Ο καταχωρητής εντολής χρησιμοποιείται για να διαφυλάσσει τον κώδικα λειτουργίας, ενώ αυτή αποκωδικοποιείται. Ο αποκωδικοποιητής εντολών είναι κατασκευασμένος από πύλες, έτσι ώστε να αναγνωρίζει μόνο συγκεκριμένους συνδυασμούς δυαδικών συμβόλων, αυτούς που αντιστοιχούν σε πραγματικές εντολές. Ένας ξεχωριστός συνδυασμός πυλών χρησιμοποιείται συνήθως για την αναγνώριση κάθε κώδικα λειτουργίας και η έξοδος του αποκωδικοποιητή εντολών είναι ένα ξεχωριστό σήμα, που ενεργοποιεί το κατάλληλο κύκλωμα της γεννήτριας ελέγχου, που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο κώδικα λειτουργίας. Η γεννήτρια ελέγχου αποτελείται επίσης από πύλες, που συνδυάζουν την έξοδο του αποκωδικοποιητή εντολών με τα κυκλώματα χρονισμού έτσι ώστε να κατευθύνονται τα υπόλοιπα τμήματα του μικροϋπολογιστή και να εργοποιούνται πάντα με τη σωστή σειρά λειτουργίας. Θα πρέπει να αναφερθεί επίσης ότι μονάδα ελέγχου συνήθως περιέχει και άλλους ειδικούς καταχωρητές, όπως το μετρητή προγράμματος, τον καταχωρητή κατάστασης επεξεργαστή (processor status word ή PSW) και το δείκτη σωρού (stack pointer), για τους οποίους θα μιλήσουμε στη συνέχεια.

#### 4.2.4. Καταχωρητές

Οι καταχωρητές (registers) χρησιμεύουν για την αποθήκευση προσωρινών αποτελεσμάτων ή δεδομένων, που έχουν σημασία για το μικροεπεξεργαστή. Παρά το γεγονός ότι το πλήθος και το είδος των καταχωρητών είναι διαφορετικό σε κάθε μικροεπεξεργαστή, συνήθως συναντάμε τους παρακάτω:

Συσσωρευτής (accumulator): Βρίσκεται στην αριθμητική και λογική μονάδα και χρησιμοποιείται για να αποθηκεύει (α) τον έναν από τους αριθμούς που απαιτούνται για να εκτελεστεί η πράξη και (β) το αποτέλεσμα της πράξης.

Καταχωρητής γενικού σκοπού (general purpose register): Βρίσκεται στην αριθμητική και λογική μονάδα και χρησιμοποιείται για να αποθηκεύει τον άλλο αριθμό που απαιτείται για να εκτελεστεί μία πράξη, καθώς και ως αποθηκευτικός χώρος για ενδιάμεσα αποτελέσματα. Οι καταχωρητές αυτοί μπορούν να αποθηκεύσουν επίσης τη διεύθυνση της θέσης μνήμης, όπου βρίσκονται οι αριθμοί, ή τη διεύθυνση της θέσης μνήμης, όπου θα αποθηκευτεί το αποτέλεσμα. Σε πολλούς επεξεργαστές η ύπαρξη πολλών καταχωρητών γενικού σκοπού καθιστά περιττή την ύπαρξη του συσσωρευτή.

Καταχωρητής κατάστασης επεξεργαστή (processor status word): Βρίσκεται και αυτός στην αριθμητική και λογική μονάδα. Συνήθως αποτελείται από ένα σύνολο από δυαδικά ψηφία (bits), που ονομάζονται δείκτες (flags) ή σημαίες κατάστασης. Αυτά χρησιμοποιούνται για να δείχνουν στο χρήστη την παρούσα κατάσταση του μικροεπεξεργαστή, καθώς επίσης και χαρακτηριστικά γνωρίσματα των αποτελεσμάτων της προηγούμενης πράξης. Όλοι οι μικροεπεξεργαστές είναι σε θέση μέσω του καταχωρητή κατάστασης να υποδείξουν ένα μηδενικό αποτέλεσμα (zero), ένα αρνητικό αποτέλεσμα (negative), ένα κρατούμενο (carry), μία υπερχείλιση (overflow), κ.λπ.

Καταχωρητής εντολών (instruction register): Βρίσκεται στη μονάδα ελέγχου του μικροεπεξεργαστή και χρησιμοποιείται για να αποθηκεύει τον κώδικα λειτουργίας της εντολής, ενώ αυτή αποκωδικοποιείται για να Μετρητής προγράμματος (program counter): Βρίσκεται και αυτός στη μονάδα ελέγχου και αποθηκεύει τη διεύθυνση της θέσης μνήμης, στην οποία βρίσκεται η επόμενη προς εκτέλεση εντολή, έτσι ώστε να ανακληθεί από τη μνήμη, όταν τελειώσει η εκτέλεση της τρέχουσας εντολής.

Δείκτης σωρού (stack pointer): Όλοι οι μικροεπεξεργαστές χρησιμοποιούν μια περιοχή για αποθήκευση δεδομένων. Η περιοχή αυτή ονομάζεται σωρός (stack). Ο σωρός μπορεί να είναι ένα σύνολο από καταχωρητές μέσα στο μικροεπεξεργαστή είτε ένα τμήμα της κύριας μνήμης (RAM). Ο σωρός χρησιμοποιείται για να αποθηκεύει ενδιάμεσα αποτελέσματα αλλά και πληροφορίες, που αφορούν συνήθως στο μικροεπεξεργαστή. Συνήθως ο σωρός είναι της μορφής Last In First Out (LIFO), όπου η τελευταία πληροφορία, που τοποθετείται στο σωρό, είναι και η πρώτη που θα πρέπει να αποσπαστεί. Ο δείκτης σωρού δείχνει πάντα στην κορυφή του σωρού, η οποία περιέχει την τελευταία πληροφορία, που τοποθετήθηκε στο σωρό.

#### **4.2.5. Οι Δίαυλοι διευθύνσεων/δεδομένων/ελέγχου**

Οι περισσότεροι μικροϋπολογιστές αναπτύσσονται γύρω από ένα δίαυλο (bus). Ο δίαυλος αυτός είναι ένα σύνολο από γραμμές (καλώδια), που συνδέουν τα διάφορα τμήματα του μικροϋπολογιστή. Για παράδειγμα συνδέουν όλα τα σήματα ελέγχου, δεδομένων και διευθύνσεων από το ένα τμήμα του στο άλλο. Η λειτουργία του διαύλου είναι να παρέχει ένα μονοπάτι επικοινωνίας μεταξύ δύο ή περισσότερων τμημάτων του μικροϋπολογιστή. Το τμήμα του μικροεπεξεργαστή, που αποτελεί τη μονάδα ελέγχου, αποφασίζει για το ποιο από τα τμήματα του μικροϋπολογιστή πρόκειται να προωθήσει μια πληροφορία και ποια άλλα τμήματα πρόκειται να χρησιμοποιήσουν την πληροφορία αυτή. Στο σχήμα 1.5 του προηγούμενου κεφαλαίου είδαμε την οργάνωση ενός μικροϋπολογιστικού συστήματος, που αναπτύσσεται γύρω από ένα δίαυλο. Μερικές από τις γραμμές του διαύλου είναι αφιερωμένες μόνο στη μεταφορά διευθύνσεων μνήμης, άλλες στη μεταφορά δεδομένων, ενώ άλλες μεταφέρουν μόνο σήματα ελέγχου. Όλα συνεπώς τα τμήματα του μικροϋπολογιστή, όπως άλλωστε φαίνεται και στο σχήμα 2.5, χρησιμοποιούν αυτές τις γραμμές διευθύνσεων, δεδομένων και ελέγχου, που σχετίζονται άμεσα με τη λειτουργία που εκτελούν.

Ο δίαυλος δεδομένων μεταφέρει είτε εντολές, που πρόκειται να αποκωδικοποιηθούν, είτε πληροφορίες, που πρόκειται να επεξεργαστούν. Είναι ένας δίαυλος διπλής κατεύθυνσης (bidirectional), πράγμα το οποίο σημαίνει ότι μπορεί να μεταφέρει πληροφορίες από το μικροεπεξεργαστή στα άλλα τμήματα του μικροϋπολογιστή σε μία χρονική περίοδο (π.χ. όταν αποθηκεύονται τα αποτελέσματα μιας αριθμητικής πράξης στην κύρια μνήμη), ενώ σε άλλες περιόδους οι πληροφορίες μπορεί να μεταφέρονται από διάφορα τμήματα του μικροϋπολογιστή προς το μικροεπεξεργαστή (π.χ. όταν μεταφέρονται δύο αριθμοί στην αριθμητική και λογική μονάδα για να γίνει μια αριθμητική πράξη). Η κατεύθυνση που θα ακολουθήσουν τα δεδομένα πάνω στο δίαυλο δεδομένων εξαρτάται από τη μονάδα ελέγχου.

Το μήκος της λέξης, την οποία διαχειρίζεται ο μικροεπεξεργαστής, ορίζει και τον αριθμό των γραμμών του διαύλου (ένας μικροεπεξεργαστής με μήκος λέξης 8 bits θα έχει 8 γραμμές διασύνδεσης στο δίαυλο δεδομένων, ενώ ένας μικροεπεξεργαστής με μήκος λέξης 16 bits θα έχει 16 γραμμές δεδομένων).

Ο δίαυλος διευθύνσεων είναι μοναδικής κατεύθυνσης (unidirectional) και μεταφέρει το δυαδικό κώδικα, που αναπαριστά τη διεύθυνση μνήμης, από την οποία θα αποσπασθούν ή στην οποία θα τοποθετηθούν τα δεδομένα. Σε πολλούς μικροεπεξεργαστές ο δίαυλος διευθύνσεων χρησιμοποιείται για να ορίσει, εκτός από την κύρια μνήμη, και ποιες συσκευές εισόδου/εξόδου πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Η μονάδα ελέγχου του μικροεπεξεργαστή υποδεικνύει κάθε φορά αν θα πρέπει ο δυαδικός κώδικας, που μεταφέρει ο δίαυλος διευθύνσεων, να επενεργήσει πάνω σε μία συσκευή εισόδου/εξόδου ή πάνω στη μνήμη. Η μέγιστη ποσότητα μνήμης, που μπορεί να διαχειριστεί ένας μικροεπεξεργαστής, καθορίζει και τον αριθμό των γραμμών διασύνδεσης του διαύλου διευθύνσεων. Μία μνήμη με 65536 (64 K) μονάδες αποθήκευσης χρειάζεται 16 γραμμές ( $2^{16} = 65536$ ) στο δίαυλο δεδομένων.

Ο δίαυλος ελέγχου είναι ένας δίαυλος μοναδικής κατεύθυνσης και μεταφέρει πληροφορίες, που περιγράφουν το είδος της λειτουργίας, που πρόκειται να εκτελεστεί (π.χ. εάν θα γίνει ανάγνωση ή εγγραφή στη μνήμη), ποιες συσκευές θα πρέπει να ανταποκριθούν (π.χ. ανάγνωση από θέση μνήμης ή από μονάδα εισόδου/εξόδου) κ.λπ. Το πλήθος των γραμμών του διαύλου ελέγχου εξαρτάται από τον αριθμό των σημάτων ελέγχου που χρειάζεται ο μικροεπεξεργαστής για τις λειτουργίες του και έχει άμεση σχέση με το σχεδιασμό και τον τρόπο κατασκευής του.

Σε γενικές γραμμές ένα πλήθος πληροφοριών θα πρέπει να ανταλλαγεί μεταξύ του μικροεπεξεργαστή και της μνήμης ή των περιφερειακών συσκευών, έτσι ώστε να αποκατασταθεί μία πλήρης επικοινωνία μεταξύ τους. Οι πληροφορίες, που ανταλλάσσονται μεταξύ των μικροεπεξεργαστών και των άλλων συσκευών, προέρχονται από τη μονάδα ελέγχου και κατευθύνονται προς αυτήν και περιλαμβάνουν ένα συνδυασμό των ακόλουθων:

1. Απαιτήσεις για χρήση του διαύλου δεδομένων, που προέρχονται από τις διάφορες συσκευές συνδεδεμένες στο δίαυλο.

2. Παραχωρήσεις του διαύλου δεδομένων, που γίνονται σύμφωνα με μια προαποφασισμένη προτεραιότητα παροχής σύμφωνα με ειδικό αλγόριθμο ή και με χρήση ειδικών κυκλωμάτων. Αυτό το τμήμα πολλές φορές είναι μέρος του μικροεπεξεργαστή ή μπορεί ακόμα και να αποτελείται από ένα σύνολο από ολοκληρωμένα κυκλώματα.

3. Σήματα διακοπής (interrupt signals), τα οποία υποδεικνύουν ότι διάφορα γεγονότα απαιτούν τάχιση εξυπηρέτηση.

4. Σήματα χρονισμού για να συντονίζουν τη μεταφορά των δεδομένων ή διευθύνσεων πάνω στα αντίστοιχα τμήματα του διαύλου.

5. Σήματα που να υποδεικνύουν την εμφάνιση παρενεργειών ή και την έλλειψη ισχύος.

Η ταξινόμηση αυτών των γραμμών ελέγχου διαφέρει αισθητά από μικροεπεξεργαστή σε μικροεπεξεργαστή, αλλά καθένας είναι απαραίτητο να χρησιμοποιεί τις παραπάνω γραμμές ελέγχου, καθώς επίσης και γραμμές ελέγχου για επιλογή ανάγνωσης ή εγγραφής μνήμης και ανάγνωσης ή εγγραφής συσκευής εισόδου/εξόδου.

Το πώς ενεργοποιούνται τα διάφορα τμήματα ενός μικροϋπολογιστικού συστήματος δίχως να υπάρχουν παρεμβολές από άλλα είναι ένα πρόβλημα αρκετά σύνθετο. Γεγονός είναι πάντως ότι οι διάφορες συσκευές έχουν δικές τους διευθύνσεις και προτεραιότητες και η επιλογή τους γίνεται μέσω συνδυαστικών κυκλωμάτων, που υλοποιούνται με πύλες.

#### **4.2.6. Ο χρονισμός των εντολών**

(Κύκλος εντολής-μηχανής-ρολογιού)

Οι απαιτήσεις για χρονισμό σε ένα μικροϋπολογιστικό σύστημα ποικίλλουν από σχετικά μεγάλης διάρκειας παλμούς μέχρι πολύ μικρής διάρκειας. Η βασική πηγή για όλες τις λειτουργίες του μικροεπεξεργαστή είναι το ρολόι (ή αλλιώς κύκλωμα χρονισμού). Πολλές φορές σε διάφορες διατάξεις μικροεπεξεργαστών το ρολόι είναι ανεξάρτητο του μικροεπεξεργαστή και αυτό γίνεται για να μπορέσει ο κατασκευαστής ή σχεδιαστής να διαλέξει ένα ρολόι με την ακολουθία παλμών που τον ενδιαφέρει παρ' όλα αυτά, ακόμα και όταν το ρολόι είναι ενσωματωμένο στο μικροεπεξεργαστή, δεν σημαίνει ότι ο σχεδιαστής δεν μπορεί να αποφασίζει για την ακολουθία παλμών.

Συνήθως, ο κατασκευαστής δίνει τη δυνατότητα να συνδεθεί ο μικροεπεξεργαστής με ένα κατάλληλο κρύσταλλο (ή κρυσταλλικό ταλαντωτή), RC ή LC κύκλωμα, το οποίο θα του αποδώσει τους απαραίτητους παλμούς. Η ταχύτητα,

με την οποία λειτουργεί ο μικροεπεξεργαστής, εξαρτάται βέβαια από τους παλμούς του ρολογιού. Όλοι οι μικροεπεξεργαστές έχουν μια ανώτατη και μια κατώτατη τιμή για την ακολουθία παλμών, η οποία επιφέρει και ένα όριο για την ανώτατη και κατώτατη ταχύτητά του.

Εκτός από το σήμα ρολογιού, το οποίο συναντάμε σε κάθε μικροεπεξεργαστή, απαιτείται και η ύπαρξη ενός σήματος αρχικοποίησής του. Φανταστείτε τι γίνεται κάθε φορά που δίνουμε τροφοδοσία σε ένα μικροεπεξεργαστή. Οι εσωτερικοί καταχωρητές του περιέχουν απροσδιόριστες τιμές. Ο μετρητής προγράμματος επομένως θα περιέχει μια τυχαία τιμή, η οποία θα αναγκάζει το σύστημα να ξεκινάει την εκτέλεση του προγράμματος από διαφορετική εντολή κάθε φορά. Το πρόβλημα αυτό έρχεται να λύσει το σήμα αρχικοποίησης, το οποίο κάθε φορά που ενεργοποιείται επαναφέρει το μικροεπεξεργαστή σε μία γνωστή αρχική κατάσταση. Στο παράδειγμα 1 μπορείτε να βρείτε πληροφορίες για το χρονισμό του επεξεργαστή Intel 8088.

Ο μικροεπεξεργαστής λειτουργεί εκτελώντας μία σειρά από εντολές του τύπου ανάγνωσης ή εγγραφής, καθεμία από τις οποίες μεταφέρει μια λέξη (η οποία μπορεί να είναι ένα ή δύο bytes) πληροφοριών μεταξύ του μικροεπεξεργαστή και μιας συγκεκριμένης θέσης μνήμης ή μονάδας εισόδου/εξόδου. Αυτές οι εντολές του τύπου ανάγνωσης (read)/εγγραφής (write) είναι το μόνο μέσο επικοινωνίας μεταξύ του μικροεπεξεργαστή και των άλλων συσκευών του μικροϋπολογιστή και είναι αναγκαίες για την εκτέλεση μιας οποιασδήποτε εντολής ή προγράμματος. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο μικροεπεξεργαστής χρησιμοποιεί ένα ρολόι για να συγχρονίζει τις διάφορες λειτουργίες των συσκευών του. Το ρολόι είναι μια γεννήτρια παλμών, που παράγει παλμούς της ίδιας συχνότητας, αλλά με διαφορετικές φάσεις (συνήθως δύο). Κάθε παλμός ονομάζεται κύκλος ρολογιού (clock cycle) και κατά τη διάρκειά του μπορούν να γίνουν στοιχειώδεις λειτουργίες.

Ο χρόνος που απαιτείται για το συνδυασμό των λειτουργιών, που χρειάζονται κατά την εκτέλεση μιας εντολής, λέγεται κύκλος εντολής (instruction cycle). Επειδή μερικές εντολές απαιτούν πολύ περισσότερες λειτουργίες από άλλες, κάθε κύκλος εντολής διαιρείται σε τμήματα, που ονομάζονται κύκλοι μηχανής (machine cycles). Κάθε κύκλος εντολής συνήθως αποτελείται από ένα μέχρι πέντε κύκλους μηχανής. Ο κύκλος μηχανής είναι ο χρόνος που χρειάζεται ο μικροεπεξεργαστής για να εκτελέσει μια βασική λειτουργία, όπως μια λειτουργία τύπου ανάγνωσης/εγγραφής. Σε όλους τους μικροεπεξεργαστές παρατηρούμε τουλάχιστον τους παρακάτω τύπους κύκλων μηχανής:

- κύκλος προσκόμισης ή ανάκλησης εντολής
- κύκλος ανάγνωσης από μνήμη ή μονάδα εισόδου/εξόδου
- κύκλος εγγραφής σε μνήμη ή μονάδα εισόδου/εξόδου
- κύκλος εκτέλεσης εσωτερικής λειτουργίας

Με τη σειρά του ο κάθε κύκλος μηχανής αποτελείται από τρεις έως έξι κύκλους ρολογιού. Ο πρώτος κύκλος μηχανής κάθε εντολής καλείται κύκλο προσκόμισης ή αλλιώς κύκλος ανάκλησης (fetch cycle) και κατά τη διάρκειά του μεταφέρεται η εντολή από τη θέση μνήμης στον καταχωρητή εντολής.

Κατά τη διάρκεια του πρώτου κύκλου ρολογιού του κύκλου προσκόμισης μετακινούνται τα περιεχόμενα του μετρητή προγράμματος στο δίαυλο διευθύνσεων ώστε να μεταφερθεί η εντολή από τη μνήμη. Κατά τη διάρκεια του δεύτερου κύκλου ρολογιού του κύκλου προσκόμισης ο μετρητής προγράμματος αυξάνεται κατάλληλα, ώστε να δείχνει την επόμενη θέση μνήμης που πρόκειται να προσπελαστεί. Ο τρίτος κύκλος ρολογιού του κύκλου προσκόμισης αντιστοιχεί στη μετακίνηση του κώδικα λειτουργίας της εντολής από τη συγκεκριμένη θέση μνήμης στον καταχωρητή εντολής του μικροεπεξεργαστή. Ο τελευταίος κύκλος ρολογιού του κύκλου προσκόμισης αντιστοιχεί σε εσωτερικές λειτουργίες του μικροεπεξεργαστή, όπως μεταφορά πληροφοριών μεταξύ των καταχωρητών του και άλλες. Στο σχήμα 2.6 μπορείτε να δείτε το παράδειγμα μιας εντολής, που αποτελείται από πέντε κύκλους μηχανής και ο M3 κύκλος μηχανής αποτελείται από πέντε κύκλους ρολογιού. Στο παράδειγμα 2 αναλύουμε τον τρόπο, με τον οποίο ένας κύκλος εντολής χωρίζεται σε κύκλους μηχανής.

### 4.3. Μικροελεγκτές

#### **4.3.1. Γενικά για τους μικροελεγκτές**

Ο **μικροελεγκτής** είναι ένας τύπος επεξεργαστή, ουσιαστικά μια παραλλαγή μικροεπεξεργαστή, ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει με ελάχιστα εξωτερικά εξαρτήματα, λόγω των πολλών ενσωματωμένων υποσυστημάτων που διαθέτει. Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε όλα τα ενσωματωμένα συστήματα (embedded systems) ελέγχου χαμηλού και μεσαίου κόστους, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται σε αυτοματισμούς, ηλεκτρονικά καταναλωτικά προϊόντα (από ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές έως παιχνίδια), ηλεκτρικές συσκευές και κάθε είδους αυτοκινούμενα τροχοφόρα οχήματα.

Ο μικροελεγκτής είναι ένα πλήρες υπολογιστικό σύστημα βελτιστοποιημένο για τον έλεγχο hardware (υλικού) και ενσωματώνει μικροεπεξεργαστή, μνήμη και I/O περιφερειακές μονάδες σε μια μονό ψηφίδα πυριτίου. Η ύπαρξη των παραπάνω σε μια και μόνο ψηφίδα πυριτίου σημαίνει ότι η ταχύτητα ενισχύεται, διότι οι I/O περιφερειακές μονάδες απαιτούν λιγότερο χρόνο να διαβάσουν ή να γράψουν από τις εξωτερικές συσκευές. Επίσης ο επεξεργαστής και η μνήμη ανταλλάσσουν δεδομένα γρηγορότερα.

Όμως ένας μικροεπεξεργαστής είναι συνήθως βελτιστοποιημένος για να συντονίζει την ροή των δεδομένων μεταξύ των μονάδων μνήμης και των περιφερικών συσκευών εκτός του περιβάλλοντος του (ψηφίδα πυριτίου). Οι συνδέσεις ενός μικροεπεξεργαστή περιλαμβάνουν τη διευθυνσιοδότηση και τους διαύλους δεδομένων, που του επιτρέπουν να επιλέξει ένα από τα περιφερειακά του και να στείλει ή να ανακτήσετε δεδομένα από αυτά. Επειδή ο επεξεργαστής του μικροελεγκτή και τα περιφερειακά του είναι ενσωματωμένα στην ίδια ψηφίδα

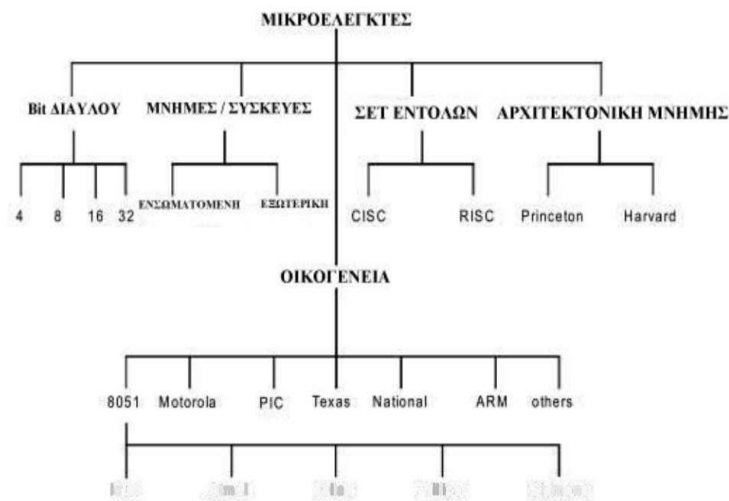
πυριτίου, οι μονάδες που περιέχει είναι αυτόνομες και σπάνια έχουν δομές διαύλων που εκτείνονται έξω από τα αυτούς.

#### 4.3.2. Μικροελεγκτές σε σύγκριση με τους μικροεπεξεργαστές

Ο μικροελεγκτής διαφέρει από έναν μικροεπεξεργαστή σε πολλά σημεία. Πρώτο και το πιο σημαντικό είναι η λειτουργικότητά του. Για έναν μικροεπεξεργαστή, θα πρέπει να του προστεθούν επιπλέον μονάδες όπως π.χ. μνήμη, για να είναι σε θέση για λήψη ή αποστολή δεδομένων. Με λίγα λόγια ο μικροεπεξεργαστής είναι η καρδιά του Η/Υ. Από την άλλη, ο μικροελεγκτής έχει σχεδιαστεί για να είναι όλα αυτά σε ένα. Δεν απαιτούνται άλλα εξωτερικά εξαρτήματα για την πλήρη χρήση του, επειδή όλα τα απαραίτητα περιφερειακά ήδη ενσωματωμένα σε αυτόν.

#### 4.3.3. Είδη μικροελεγκτών

Μικροελεγκτές μπορούν να ταξινομηθούν με βάση το εύρος των διαύλων (σε bit), την αρχιτεκτονική, τη μνήμη και το σετ εντολών.



Intel Almel Dallas Phillips Siemens  
Εικόνα 4.3: Ταξινόμηση μικροελεγκτών

- **Μικροελεγκτές 8, 16 και 32 bit**

Όταν η μονάδα ALU εκτελεί αριθμητικές και λογικές λειτουργίες μιας εντολής, σε έναν 8-bit δίαυλο, ο μικροελεγκτής είναι ένα 8-bit. Ομοίως ισχύει για τους μικροελεγκτές 16 και 32 bit.

- **Ενσωματωμένος μικροελεγκτής**

Όταν ένα σύστημα διαθέτει μονάδα μικροεπεξεργαστή η οποία έχει όλα τα λειτουργικά τμήματα (συμπεριλαμβανομένων μνήμη προγράμματος καθώς και δεδομένων) που είναι τοποθετημένα σε ένα τσιπ, το σύστημα αυτό ονομάζεται ενσωματωμένος μικροελεγκτής.

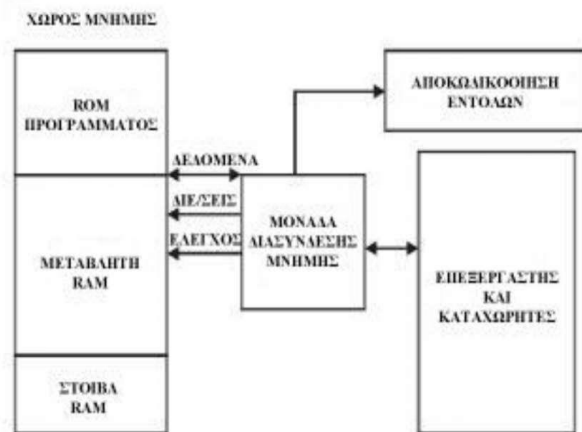


- **Μικροελεγκτής εξωτερικής μνήμης**

Όταν ένα ενσωματωμένο σύστημα διαθέτει μονάδα μικροελεγκτή που δεν έχει όλα τα λειτουργικά τμήματα τοποθετημένα σε ένα τσιπ ονομάζεται μικροελεγκτής εξωτερικής μνήμης. Το σύνολο ή μέρος των μονάδων μνήμης είναι διασυνδεδεμένα εξωτερικά χρησιμοποιώντας ένα κύκλωμα διασύνδεσης που ονομάζεται glue circuit (κύκλωμα συγκόλλησης).

#### 4.3.4. Αρχιτεκτονική Von-Neuman (ή Princeton)

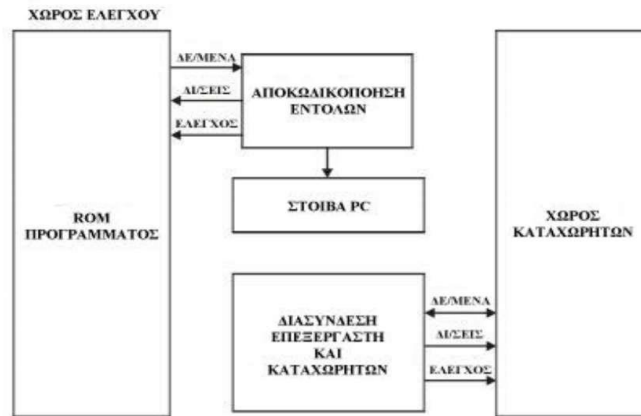
Μικροελεγκτές με βάση την Von-Neuman αρχιτεκτονική έχουν μόνο έναν δίαυλο για «δεδομένα», που χρησιμοποιείται για να μεταφέρει και εντολές και δεδομένα. Οι εντολές του προγράμματος και τα δεδομένα είναι αποθηκευμένα σε κοινή μνήμη. Όταν ο μικροελεγκτής χρησιμοποιεί την κύρια μνήμη, πρώτα εκτελεί αυτή την εντολή, και στη συνέχεια ανακαλεί τα δεδομένα για την εκτέλεση της εντολής. Οι λειτουργίες επειδή είναι ξεχωριστές επιβραδύνουν τη λειτουργία του μικροελεγκτή.



Εικόνα 4.4.: Μπλοκ διάγραμμα αρχιτεκτονικής Von-Neumann

#### 4.3.5. Αρχιτεκτονική Harvard

Μικροελεγκτές με βάση την αρχιτεκτονική Harvard έχουν ξεχωριστό δίαυλο δεδομένων και δίαυλο εντολών. Αυτό επιτρέπει στις εντολές να εκτελούνται παράλληλα. Καθώς μια εντολή «προ- φέρνεται» (pre-fetch), εκτελείται στον δίαυλο δεδομένων. Μόλις η τρέχουσα εντολή εκτελεστεί, η επόμενη εντολή είναι έτοιμη προς εκτέλεση. Το pre-fetch θεωρητικά επιτρέπει την ταχύτερη εκτέλεση των εντολών σε σχέση με την Von-Neuman αρχιτεκτονική αλλά σε βάρος της πολυπλοκότητας (υψηλότερη). Η αρχιτεκτονική Harvard μπορεί να εκτελεί τις εντολές σε λιγότερους κύκλους εντολών (instruction cycles) από την Von-Neuman αρχιτεκτονική.



Εικόνα 4.5.: Μπλοκ διάγραμμα της αρχιτεκτονικής Harvard

#### 4.3.6. Αρχιτεκτονική CISC

Σχεδόν το σύνολο των μικροελεγκτών σήμερα βασίζονται στην τεχνολογία CISC (Complex Instruction Set Computer - Υπολογιστής Σύνθετου Σει Εντολών). Όταν ένα μικροελεγκτής διαθέτει ένα σετ εντολών που υποστηρίζει σύνθετες λειτουργίες για την εκτέλεση αριθμητικών και λογικών εντολών, μεταφοράς δεδομένων και πρόσβασης μνήμης, τότε λέγεται ότι είναι CISC αρχιτεκτονικής.

Τα πλεονεκτήματα της αρχιτεκτονικής CISC είναι ότι πολλές από τις εντολές της λειτουργούν ως μακροεντολές (macros), επιτρέποντας στον προγραμματιστή να χρησιμοποιήσει μια εντολή στη θέση πολλών απλούστερων.

#### 4.3.7. Αρχιτεκτονική RISC

Η τάση της βιομηχανίας για το σχεδιασμό μικροεπεξεργαστών ή RISC (RISC Reduced Instruction Set Computers - Υπολογιστές Απλούστερου Σει Εντολών). Όταν ένας μικροελεγκτής έχει ένα σετ εντολών που υποστηρίζει απλούστερους τρόπους εκτέλεσης αριθμητικών και λογικών εντολών και μεταφοράς δεδομένων, τότε είναι αρχιτεκτονικής RISC.

Τα οφέλη από την απλότητα του σχεδιασμού RISC είναι μικρότερα τσιπ, αισθητή μείωση ο αριθμού pin και πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

#### 4.3.8. Βασική δομή του μικροελεγκτή

Για να είναι εμφανής η λειτουργία και η διασύνδεση των δομικών στοιχείων του μικροελεγκτή, θα αναλυθούν οι βασικές μονάδες του ξεχωριστά. Λεπτές γραμμές που οδηγούν από το κέντρο προς τις πλευρές του μικροελεγκτή αντιπροσωπεύουν καλώδια που συνδέουν εσωτερικές μονάδες με τις ακίδες στο περίβλημα του μικροελεγκτή τις λεγόμενες γραμμές συγκόλλησης.

Για την υλοποίηση μιας εφαρμογής, ένας μικροελεγκτής δεν αρκεί. Εκτός από ένα μικροελεγκτή, χρειαζόμαστε ένα πρόγραμμα που θα εκτελεστεί, καθώς και μερικά ακόμη στοιχεία που συνθέτουν μια λογική διασύνδεσης. Η εικόνα 4.5 που ακολουθεί δείχνει ένα μικροελεγκτή στο εσωτερικό του. Συνήθως ένας μικροελεγκτής ενσωματώνει πάνω στην ψηφίδα πυριτίου τα ακόλουθα:

- Την CPU (ΚΜΕ)
- Μονάδες Μνήμης
- I/O σε παράλληλη συνδεσμολογία

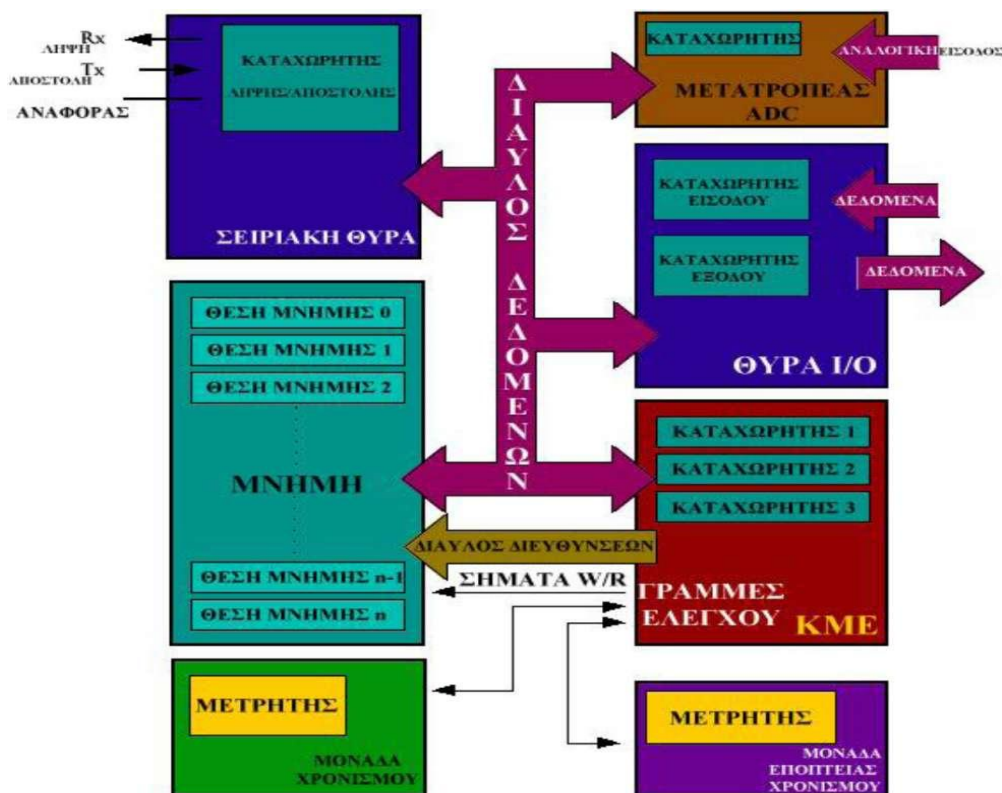
Ο μικροελεγκτής συνδυάζει και άλλες μονάδες , όπως:

- Μονάδα χρονισμού (Timer) που καθιστά δυνατό στον μικροελεγκτή την εκτέλεση εργασιών για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους και στιγμές.
- Σειριακή θύρα I / O για να επιτρέψει τη ροή δεδομένων μεταξύ του μικροελεγκτή και άλλες συσκευές, όπως ένα PC ή ένα άλλο μικροελεγκτή.

•

Μονάδα ADC (Analog-to-Digital Converter - Αναλογικό σε Ψηφιακό Μετατροπέα) ώστε να είναι δυνατό ο μικροελεγκτής να δέχεται είσοδο αναλογικών δεδομένων για επεξεργασία.

- Μονάδες μνήμης διαφόρων ειδών που του επιτρέπουν την αποθήκευση και ανάκληση δεδομένων.
- Διαύλους που επιτρέπουν την αποδοτική μεταφορά δεδομένων μεταξύ της CPU και των υπολοίπων μονάδων.
- Μονάδα εποπτείας χρονισμού (Watchdog Timer) που μας επιτρέπει να ελέγχουμε την σωστή εκτέλεση του προγράμματος.



Εικόνα 4.6: Διάγραμμα μικροελεγκτή

Η μνήμη είναι μέρος του μικροελεγκτή της οποίας η λειτουργία είναι η αποθήκευση δεδομένων. Ο ευκολότερος τρόπος για να την παρουσιάσουμε είναι να την περιγράψουμε ως ένα μεγάλο ντουλάπι με πολλά συρτάρια. Αν υποθέσουμε ότι έχουμε κατασκευάσει τα συρτάρια με τέτοιο τρόπο ώστε να μην μπορούν να συγχέονται, κανένα από τα περιεχόμενά τους στη συνέχεια δεν θα είναι δύσκολα προσβάσιμο. «Αρκεί να είναι γνωστή η ονομασία του κάθε συρταριού και έτσι το περιεχόμενό του θα είναι γνωστό σε μας στα σίγουρα».

Τα στοιχεία της μονάδας μνήμης λειτουργούν ως εξής. Για μια συγκεκριμένη είσοδο παίρνουμε τα περιεχόμενα μιας θέσης μνήμης που έχει την δική της διεύθυνση. Δύο νέες έννοιες μας χρειάζονται: διευθυνσιοδότηση και θέση μνήμης. Η μνήμη αποτελείται από όλες τις πιθανές θέσεις της και η διευθυνσιοδότηση μνήμης δεν είναι τίποτα άλλο, από την επιλογή μιας θέσης από αυτήν.

Αυτό σημαίνει ότι για να επιλέξουμε την επιθυμητή θέση μνήμης, πρέπει να περιμένουμε για το περιεχόμενο αυτής της τοποθεσίας. Εκτός από την ανάγνωση μιας θέσης μνήμης, θα πρέπει επίσης να υπάρχει και η εγγραφή πάνω σε αυτήν τη θέση.

#### **4.3.9. Τα βασικότερα είδη μνήμης:**

- **ROM (μνήμη μόνο για ανάγνωση)**

Η μνήμη μόνο για ανάγνωση (ROM Read Only Memory) είναι ένας τύπος μνήμης που χρησιμοποιείται για να αποθηκεύσει μόνιμα το πρόγραμμα που εκτελείται. Το μέγεθος του προγράμματος που μπορεί να αποθηκευθεί, εξαρτάται από το μέγεθος αυτής της μνήμης. Ανάλογα με τον τύπο του μικροελεγκτή η ROM μπορεί να ενσωματωθεί στο μικροελεγκτή ή να προστεθεί ως εξωτερικό τσιπ.

- **RAM (μνήμη τυχαιάς προσπέλασης)**

Η μνήμη τυχαιάς προσπέλασης (RAM Random Access Memory) είναι ένας τύπος μνήμης που χρησιμοποιείται για την προσωρινή αποθήκευση δεδομένων που δημιουργούνται και χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας των μικροελεγκτών. Το περιεχόμενο αυτής της μνήμης διαγράφεται όταν η παροχή ρεύματος διακόπτεται.

- **EEPROM (ηλεκτρικά διαγράψιμη και προγραμματίσιμη μνήμη μόνο για ανάγνωση)**

Η ηλεκτρικά διαγράψιμη και προγραμματίσιμη μνήμη μόνο για ανάγνωση (EEPROM Electrically Erasable Programmable ROM) είναι ένας ειδικός τύπος μνήμης που δεν περιλαμβάνονται σε όλους τους μικροελεγκτές. Το περιεχόμενό της μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του προγράμματος (παρόμοια με την μνήμη RAM), αλλά παραμένει μόνιμα αποθηκευμένο, ακόμη και μετά την διακοπή της παροχής ρεύματος (παρόμοια με ROM). Συχνά χρησιμοποιείται για την αποθήκευση δεδομένων τα οποία πρέπει να αποθηκεύονται πριν την διακοπή της παροχής ρεύματος

#### 4.3.10. Δίαυλος

Σε τεχνικό επίπεδο, αυτό αντιπροσωπεύεται από μια ομάδα 8, 16 ή περισσότερων καλωδίων. Υπάρχουν δύο τύποι διαύλων: διευθύνσεως και δεδομένων. Στον πρώτο αποτελείται από όσες γραμμές θέλουμε να για να χωρίσουμε σε διευθύνσεις την μνήμη, και στον άλλο όσο είναι το εύρος των δεδομένων, στην περίπτωσή μας 8 bits ή της μιας άλλης γραμμής σύνδεσης. Ο πρώτος χρησιμεύει για τη μεταφορά δεδομένων από μια διεύθυνση μνήμης της CPU, και ο δεύτερος για να συνδεθούν όλες οι υπόλοιπες μονάδες στο εσωτερικό του μικροελεγκτή.

Ο διάυλος όσον αφορά τη λειτουργικότητα την βελτιώνει, αλλά ένα νέο πρόβλημα επίσης έχει εμφανιστεί: έχουμε μια μονάδα που είναι σε θέση να εργαστεί από μόνη της, αλλά δεν έχει καμία επαφή με τον έξω κόσμο, ή μαζί μας! Για την άρση αυτής της ανεπάρκειας, ας προσθέσουμε μια μονάδα η οποία περιέχει αρκετές θέσεις μνήμης εκ των οποίων το ένα άκρο είναι συνδεδεμένο με τον διάυλο δεδομένων και στο άλλο να είναι συνδεδεμένο με τις γραμμές εξόδου του μικροελεγκτή.

#### 4.3.11. Μονάδα εισόδου/εξόδου (I/O)

Αυτές οι θέσεις που έχουμε μόλις προστεθήκαν ονομάζονται «θύρες». Υπάρχουν διάφορων τύπων θύρες: εισόδου, εξόδου ή αμφίδρομες. Κατά την εργασία με θύρες, πρωτίστως είναι απαραίτητο να επιλεχτεί ποια θύρα θα χρησιμοποιηθεί, και στη συνέχεια να σταλούν δεδομένα σε αυτήν ή να πάρουμε δεδομένα απ' αυτή.

Όταν χρησιμοποιείται με αυτό τον τρόπο με μια θύρα αυτή λειτουργεί σαν μια θέση μνήμης. Δεδομένα εγγράφονται σε αυτήν ή διαβάζονται από αυτήν, το γεγονός αυτό παρατηρείται επάνω στις ακίδες του μικροελεγκτή.

#### 4.3.12. Σειριακή επικοινωνία

Εκτός αυτών που έγιναν αναφορά παραπάνω πρέπει να προστεθεί μια μονάδα που να προσφέρει τη δυνατότητα επικοινωνίας με τον έξω κόσμο. Για να λειτουργήσει αυτό, πρέπει να θέσουμε τους κανόνες ανταλλαγής δεδομένων. Οι κανόνες αυτοί ονομάζονται πρωτόκολλο. Πρωτόκολλο είναι αυτό που ορίζεται εκ των προτέρων έτσι ώστε δεν θα υπάρξει καμία παρεξήγηση μεταξύ των πλευρών που επικοινωνούν μεταξύ τους.

Με βάση το πρωτόκολλο μπορεί κάθε bit να παραμείνει στην γραμμή για χρονικό διάστημα το οποίο είναι ίσο με T και στο τέλος, ή μετά το 8<sup>ο</sup> bit, να δοθεί η λογική ποσότητα «1» στη γραμμή η οποία θα σηματοδοτήσει το τέλος της μετάδοσης των δεδομένων. Το πρωτόκολλο αυτό ονομάζεται NRZ (Non-Return to Zero). Τα δεδομένα μετακινούνται από τη μνήμη μέσα από διάυλο προς την τοποθεσία που θα αποσταλούν και στη συνέχεια στη μονάδα που θα τα λάβει σύμφωνα με το πρωτόκολλο.

Πρέπει όμως να έχουμε ξεχωριστές γραμμές για τη λήψη και την αποστολή, για να είναι δυνατή η λήψη και αποστολή δεδομένων την ίδια στιγμή. Η λειτουργία full-duplex επιτρέπει αυτόν τον τρόπο επικοινωνίας και η μονάδα επικοινωνίας που μας το επιτρέπει ονομάζεται σειριακή μονάδα.

#### **4.3.13. Μονάδα χρονισμού (Timer)**

Δεδομένου ότι έχουμε εξηγήσει τη σειριακή επικοινωνία, μπορούμε να λάβουμε, να αποστείλουμε και να επεξεργαστούμε δεδομένα. Ωστόσο, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί, χρειαζόμαστε μια επιπλέον μονάδα. Αυτή είναι η μονάδα χρονισμού η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική, διότι μπορεί να μας παρέχει πληροφορίες για το χρόνο και τη χρονική διάρκεια.

Το στοιχείο στη μονάδα χρονισμού είναι ένας μετρητής που «τρέχει συνεχώς» και στην πραγματικότητα είναι ένας καταχωρητής του οποίου η αριθμητική τιμή αυξάνεται κατά ένα σε ισόποσα διαστήματα, έτσι ώστε με τη ανάγνωση της τιμής του κατά τις περιόδους T1 και T2 και με βάση τη διαφορά τους να μπορούμε να καθορίσουμε πόσο χρονικό διάστημα έχει παρέλθει. Ένα πολύ σημαντικό μέρος της λειτουργίας του μικροελεγκτή.

#### **4.3.14. Μονάδα μετατροπής από αναλογικό σε ψηφιακό (ADC)**

Δεδομένου ότι τα σήματα των περιφερικών συνήθως διαφέρουν ουσιαστικά από αυτά που ο μικροελεγκτής μπορεί να καταλάβει (μηδέν και ένα), θα πρέπει να μετατραπούν σε ένα πρότυπο που μπορεί να «κατανοηθεί» από τον μικροελεγκτή. Το έργο αυτό εκτελείται από μια μονάδα που μετατρέπει την αναλογική τιμή σε ψηφιακή ή Analog-to-Digital Converter (μετατροπέα αναλογικό σε ψηφιακό) γνωστό και ως ADC. Αυτό η μονάδα είναι υπεύθυνη για τη μετατροπή δεδομένων που έχουν αναλογική τιμή σε δυαδικό αριθμό και στη συνέχεια να τα μεταφέρει από στην CPU ώστε η CPU να μπορεί να τα επεξεργαστεί περαιτέρω.

#### **4.3.15. Μονάδα εποπτείας χρονισμού (Watchdog Timer)**

Ένα ακόμα πράγμα που απαιτεί την προσοχή μας είναι η άψογη λειτουργία του μικροελεγκτή καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου λειτουργίας του. Ας υποθέσουμε ότι, ως αποτέλεσμα κάποιας παρέμβασης (το οποίο συχνά συμβαίνει) ο μικροελεγκτής μας σταματά την εκτέλεση του προγράμματος, ή χειρότερα, αρχίζει να μην λειτουργεί σωστά.

Φυσικά, όταν αυτό συμβαίνει με έναν Η/Υ, απλά «πατάμε το κουμπί reset» και θα συνεχίσουμε να δουλεύουμε. Ωστόσο, δεν υπάρχει κουμπί reset που μπορούμε να «πατήσουμε» στον μικροελεγκτή και έτσι να λυθεί το πρόβλημά μας. Για να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο, θα πρέπει να εισαχθεί μια ακόμη μονάδα που ονομάζεται μονάδα εποπτείας χρονισμού. Αυτό η μονάδα είναι στην πραγματικότητα ένα άλλος μετρητής που «τρέχει συνεχώς», όπου το πρόγραμμα πρέπει να γράφει ένα μηδέν κάθε φορά που εκτελείται μια εντολή σωστά. Σε περίπτωση που το πρόγραμμα «κολλήσει», το μηδέν δεν θα γραφτεί και από μόνη της (η μονάδα εποπτείας χρονισμού) θα προκαλέσει «reset» στον μικροελεγκτή κατά την επίτευξη της μέγιστης τιμής της (μετά από πολλές αυξήσεις της τιμής του). Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την εκτέλεση του προγράμματος και πάλι, και αυτή τη φορά σωστά. Αυτό είναι ένα σημαντικό στοιχείο κάθε προγράμματος ώστε να είναι αξιόπιστο, χωρίς την εποπτεία του ανθρώπου.

#### 4.3.16. Προγραμματισμός μικροελεγκτών

Ο προγραμματισμός μπορεί να γίνει σε αρκετές γλώσσες, όπως η Assembly<sup>2</sup>, Basic, C και C++ που είναι από τις πλέον διαδεδομένες γλώσσες. Η Assembly ανήκει σε γλώσσες χαμηλότερου επίπεδου όπου ο προγραμματισμός γίνεται με αργούς ρυθμούς, αλλά καταλαμβάνουν τον ελάχιστο χώρο στη μνήμη και δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα, όπου η ταχύτητα της εκτέλεσης του προγράμματος είναι το ζητούμενο. Προγράμματα σε γλώσσα C++ είναι πιο εύκολο να αναπτυχθούν, πιο εύκολο να γίνουν κατανοητά διότι οι εντολές σε C++ είναι πλησιέστερες στην ανθρώπινη λογική, αλλά είναι πιο αργή η εκτέλεση τους από τα προγράμματα σε Assembly.

Μετά που θα αναπτύξουμε το πρόγραμμα, θα μεταφερθεί στον μικροελεγκτή και θα εκτελεστεί. Για να γίνει αυτό πρέπει να προσθέσουμε μερικά ακόμη εξωτερικά εξαρτήματα που απαιτούνται για αυτές τις εργασίες. Πρώτα πρέπει να δώσουμε ενέργεια στον μικροεπεξεργαστή με τη σύνδεσή του σε παροχή ρεύματος (ισχύς που απαιτείται για τη λειτουργία όλων των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων) και ύστερα ο ταλαντωτής ο ρόλος του οποίου είναι παρόμοιος με το ρόλο που η καρδιά παίζει σε ένα ανθρώπινο σώμα. Τα ρολόγια χρονισμού του ταλαντωτή (συχνότητα ταλάντωσης) με βάση τα οποία ο μικροελεγκτής εκτελεί τις εντολές του προγράμματος. Όσο δέχεται ο μικροελεγκτής εντολές, θα αναζητήσει την έναρξη του προγράμματος και θα αρχίσετε να το εκτελεί. Πώς το πρόγραμμα θα λειτουργήσει/αποδώσει εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, η σημαντικότερη των οποίων είναι η δεξιοτεχνία και η εμπειρία του προγραμματιστή.





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 5.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

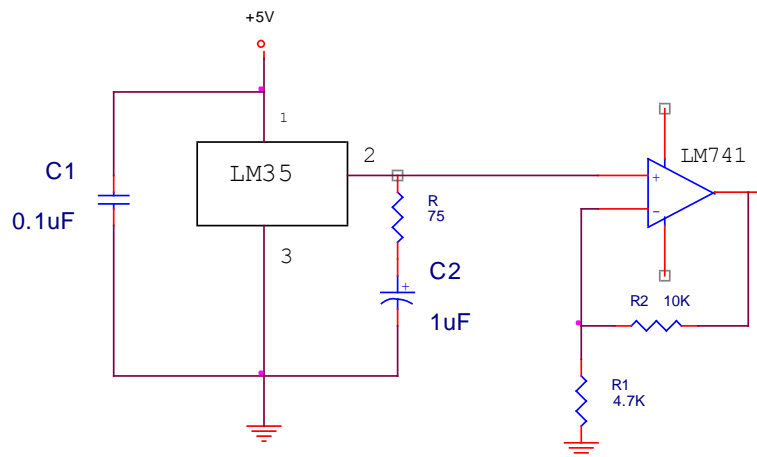
Το κύκλωμα το οποίο δημιουργήσαμε αφορά τον έλεγχο θερμοκρασίας. Μέσω της θερμοκρασίας που αντιλαμβάνονται δύο αισθητήρες, δίνει εντολή για τη λειτουργία ή όχι ενός κινητήρα. Πρακτικά, το συγκεκριμένο κύκλωμα μπορεί να λειτουργήσει για το αυτόματο άνοιγμα – κλείσιμο των παραθύρων, αλλά κατ'επέκταση για οποιαδήποτε λειτουργία θέλουμε να συνδέεται με τη θερμοκρασία. Πχ με πολύ μικρές αλλαγές στις εντολές του μπορεί να αντιστοιχεί σε διαφορετικές τιμές της θερμοκρασίας, σε διαφορετική λειτουργία ανοίγματος ή κλεισίματος του παραθύρου, σε λειτουργία του κλιματισμού κτλ.

Για την υλοποίηση του συγκεκριμένου κυκλώματος χρησιμοποιήσαμε δύο αισθητήρες LM35, μια γέφυρα H-Bridge, τρία LED που αντιστοιχούν στις συγκεκριμένες καταστάσεις του κυκλώματος καθώς και τον μικροελεγκτή Arduino Leonardo. Ας δούμε συγκεκριμένα τα στοιχεία αυτά.

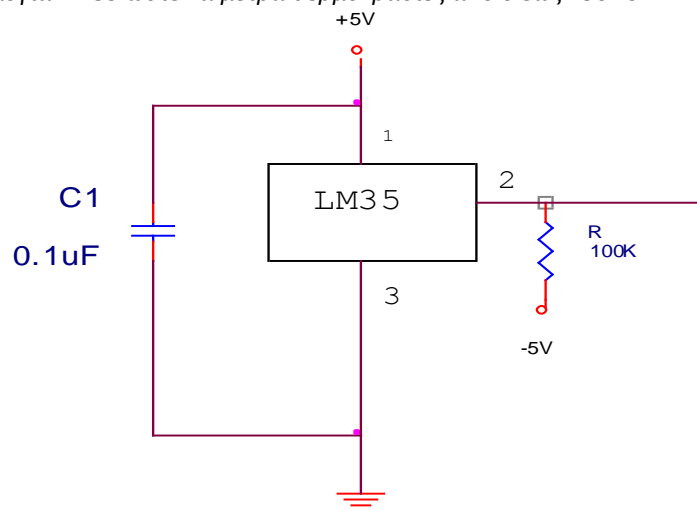
### 5.2 ΤΟ ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ LM35

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα LM35 κατασκευάζεται από την εταιρεία National Semiconductor και είναι από τους πιο διαδεδομένους αισθητήρες θερμοκρασίας. Η λειτουργία του στηρίζεται στις ιδιότητες της επαφής *pn*. Όπως είναι γνωστό, όταν η επαφή *pn* είναι πολωμένη ανάστροφα, τότε το ανάστροφο ρεύμα κόρου είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας της επαφής. Τα ολοκληρωμένα αισθητήρια γενικά εμφανίζουν άριστη γραμμικότητα. Το LM35 μεταβάλλει την έξοδό του κατά 10 mV όταν η θερμοκρασία μεταβάλλεται κατά 1 °C.

Το κύκλωμα LM35 μετρά θερμοκρασίες μεταξύ -55 και +150 °C και αποδίδει έξοδο περίπου 10.0 mV ανά βαθμό Κελσίου. Το ρεύμα που το διαρρέει είναι μόλις 60 μΑ και έτσι το κύκλωμα εμφανίζει εξαιρετικά χαμηλό φαινόμενο αυτοθέρμανσης, περίπου 0.1 °C όταν ευρίσκεται σε ακίνητο αέρα. Μπορεί να τροφοδοτηθεί από ευρεία περιοχή τάσεων, μεταξύ +4 και +30 V. Το κύκλωμα βαθμονομείται εκ κατασκευής και δεν απαιτεί επιπλέον ρυθμίσεις από το χρήστη, με αποτέλεσμα να εμφανίζει ακρίβεια  $\pm 0.25$  °C σε θερμοκρασία δωματίου και  $\pm 0.75$  °C στο θερμοκρασιακό εύρος -55 έως +150 °C. Έχει χαμηλή αντίσταση εξόδου (0.1 Ω για ρεύμα εξόδου 1 mA) και μπορεί να συνδεθεί εύκολα με κυκλώματα διασύνδεσης ή ελέγχου.



Σχ. 5.1. Συνδεσμολογία LM35 ώστε να μετρά θερμοκρασίες από 0 έως 150 °C.



Σχ. 5.2. Συνδεσμολογία του LM35 για μετρήσεις και σε αρνητικές θερμοκρασίες

Στο Σχήμα 2.12(α) εικονίζεται το διάγραμμα βαθμίδας του βασικού κυκλώματος του αισθητήρα LM35, στο οποίο η έξοδος παραμένει ελεύθερη. Ο τελεστικός ενισχυτής μη αντιστροφής στην έξοδο χρησιμεύει ώστε η τάση εξόδου να βρίσκεται στα επιθυμητά όρια (π.χ. στα όρια τάσεων εισόδου μιας βαθμίδα μετατροπέα αναλογικού σύματος σε ψηφιακό). Με τη σύνδεση αυτή ο αισθητήρας τροφοδοτείται με θετική μόνον τάση και έτσι παράγει στην έξοδο θετικές τάσεις, με συνέπεια να μετρά μόνο θετικές θερμοκρασίες, μεταξύ 2 και 150 °C. Εάν η έξοδος συνδεθεί σε αρνητική τάση τροφοδοσίας  $-V_s$  μέσω μίας αντίστασης με τιμή  $R_1 = V_s / (50 \mu A)$ , τότε ο αισθητήρας μπορεί να μετρά θετικές και αρνητικές θερμοκρασίες, μεταξύ  $-55$  και  $+150$  °C [Σχήμα 2.12(β)].

Εκτός από τη σειρά LM35 υπάρχει η σειρά LM45, η οποία περιλαμβάνει αισθητήρες μικρότερου φυσικού μεγέθους και μικρότερων απαιτήσεων τάσης τροφοδοσίας, καθώς και η σειρά LM50, η οποία περιλαμβάνει αισθητήρες που ενδείκνυνται περισσότερο για μετρήσεις χαμηλών θερμοκρασιών (κάτω από 0 °C).

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα LM35 αποτελεί την πληρέστερη λύση στο αντικείμενο της μέτρησης της θερμοκρασίας καθώς εμφανίζει γραμμικότητα και υψηλή

ευαισθησία και είναι κατασκευασμένο για να συνεργάζεται με ηλεκτρονικά συστήματα συλλογής δεδομένων. Από την άλλη πλευρά η χρήση του υπόκειται σε περιορισμούς χώρου και το εύρος θερμοκρασιών που μπορεί να μετρηθεί δεν είναι υψηλό. Έτσι το κύκλωμα LM35 δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο διαδικασιών θέρμανσης που υπερβαίνουν τους 150 °C και σε περιβάλλον ψύξης με θερμοκρασίες της τάξης αυτής του υγρού αζώτου (-200 °C).

Οι θερμοηλεκτρικές αντιστάσεις, τα θερμίστορ και τα θερμοζεύγη εμφανίζουν μη-γραμμική συμπεριφορά [9]. Τα θερμοζεύγη και τα θερμίστορ αποκρίνονται ταχέως, σε αντίθεση με τις θερμοηλεκτρικές αντιστάσεις που αποκρίνονται με βραδύτητα. Τα θερμοζεύγη δεν απαιτούν εξωτερική τροφοδοσία, ενώ οι θερμοηλεκτρικές αντιστάσεις και τα θερμίστορ απαιτούν. Τα θερμοζεύγη μετρούν μεγάλο εύρος θερμοκρασιών ενώ τα θερμίστορ μικρό (έως 300 °C). Πιο υψηλό κόστος έχουν οι θερμοηλεκτρικές αντιστάσεις και πιο μικρό τα θερμοζεύγη.

Τα θερμοζεύγη αποδίδουν στην έξοδο μικρές τάσεις, οι οποίες είναι ευαίσθητες στο θόρυβο. Γενικά εμφανίζουν χαμηλή ευαισθησία και μικρότερη σταθερότητα από τα άλλα είδη αισθητήρων.

Οι θερμοηλεκτρικές αντιστάσεις παρέχουν ενδείξεις υψηλής ακρίβειας και σταθερότητας, αλλά η αντίσταση των καλωδίων σύνδεσής τους τις αλλοιώνει και πρέπει να αντισταθμίζεται.

Τα θερμίστορ τέλος δίνουν εξαιρετικά επαναλήψιμες ενδείξεις, παρέχουν μεγάλη διακριτική ικανότητα και απαιτούν μικρό ρεύμα τροφοδοσίας. Χαρακτηρίζονται, όμως, από έντονη μη γραμμικότητα.

### 5.3. Ο μικροελεγκτής Arduino

#### **5.3.1. Τι είναι το Arduino;**

Το **Arduino** είναι αναπτυξιακή πλακέτα μικροελεγκτή, ανοιχτού τύπου υλικού μονής πλακέτας (open-source hardware single-board microcontroller) όπως και το λογισμικό ανάπτυξης εφαρμογών (IDE).

Είναι παράγωγο της αναπτυξιακής πλατφόρμας Wiring, που μας επιτρέπει να αναπτύξουμε ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο θα ελέγχει συσκευές του φυσικού κόσμου. Είναι ανοιχτού κώδικα το λογισμικό του περιβάλλοντος ανάπτυξης (open source IDE). Η αναπτυξιακή πλακέτα που τον αποτελεί, ενσωματώνει έναν μικροελεγκτή με βασικό στοιχείο τον επεξεργαστή Atmel AVR ATmega328P και I/O system (σύστημα εισόδου-εξόδου). Επίσης συνδέεται με H/Y μέσω θύρας USB για να το προγραμματίσουμε μέσα από ένα απλό περιβάλλον ανάπτυξης.

Το λογισμικό του περιβάλλοντος ανάπτυξης βασίζεται στην γλώσσα προγραμματισμού Wiring και αυτής που χρησιμοποιεί το αναπτυξιακό περιβάλλον του Processing, οι οποίες είναι ανοιχτού κώδικα (open source) και μπορεί κάποιος να τις «κατεβάσει δωρεάν».

Η γλώσσα προγραμματισμού του Arduino είναι παρόμοια με την **C++** με κάποιες απλοποιήσεις και μετατροπές και αποτελεί μια εφαρμογή σε επίπεδο software της

καλωδίωσης που συναντάται στο Arduino. Εξομοιώνει θα λέγαμε απόλυτα το hardware (υλικό) του μικροελεγκτή.

Το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναπτύξουμε διαδραστικά αυτοματοποιημένα αντικείμενα, ικανά να δεχτούν εισόδους από πληθώρα αισθητηρίων οργάνων και διακόπτες, αλλά και να ελέγχουν διάφορα φώτα, κινητήρες και άλλες συσκευές εξόδου του φυσικού κόσμου. Τα Projects στον εν λόγω μικροελεγκτή μπορούν να είναι αυτόνομα (σε επίπεδο hardware) ή να επικοινωνούν με κάποιο software σε κάποιο Ηλεκτρονικό υπολογιστή.

### 5.3.2. Γιατί Arduino; (έναντι άλλων)

Υπάρχει πληθώρα μικροελεγκτών και αναπτυξιακών στο εμπόριο για να ασχοληθεί κάποιος και να παράγει εφαρμογές. Όλα τα εργαλεία που μας παρέχουν αυτές είναι απλοποιημένα καθώς «κρύβουν» τις δύσκολες λεπτομέρειες της αρχιτεκτονικής και επιτρέπουν τον άμεσο προγραμματισμό του μικροελεγκτή, ακόμη και στον αρχάριο χρήστη προσφέροντας τα πάντα σε ένα και μόνο «πακέτο «έτοιμο για χρήση». Το Arduino διαφέρει γιατί απλοποιεί ιδιαίτερα την διαδικασία ανάπτυξης εφαρμογών με μικροελεγκτές, και παρέχει επιπλέον πλεονεκτήματα που ενδείκνυνται για χρήση από δασκάλους, μαθητές, hobbyistes και τα οποία είναι:

- **Χαμηλό κόστος:** οι πλακέτες του Arduino είναι εξαιρετικά φθηνές σε σχέση με άλλες πλατφόρμες μικροελεγκτών. Ειδικά δε με τα schematics (σχηματικά) που βρίσκονται δωρεάν στο Internet μπορεί να κατασκευάσει οποιοσδήποτε την φθηνότερη εκδοχή ενός Arduino.
- **Τρέχει σε διάφορα λειτουργικά συστήματα:** το περιβάλλον προγραμματισμού του Arduino είναι διαθέσιμο για Windows, Macintosh OS X και για λειτουργικά συστήματα Linux. Τα περισσότερα συστήματα ανάπτυξης μικροελεγκτών περιορίζονται στα Windows.
- **Απλό, ξεκάθαρο προγραμματιστικό περιβάλλον:** το περιβάλλον προγραμματισμού ενός Arduino ενδείκνυται για αρχάριους, αλλά είναι ταυτόχρονα και ευέλικτο και για πιο προχωρημένους χρήστες.

**Ανοιχτού λογισμικού και λογισμικού που επεκτείνεται και παραμετροποιείται:** το software του Arduino διανέμεται με την μορφή εργαλείων ανοιχτού λογισμικού και είναι διαθέσιμο προς επέκταση. Η γλώσσα προγραμματισμού του μπορεί να επεκταθεί διαμέσου βιβλιοθηκών της C++ και της AVR C που είναι για τον προγραμματισμό των Atmel μικροελεγκτών, γλώσσα στην οποία επίσης βασίστηκε το λογισμικό του Arduino. Ομοίως μπορεί να προστεθεί κώδικας AVR-C που έχει ήδη γραφτεί, σε πρόγραμμα για Arduino.

**Ανοιχτού υλικού το οποίο μπορεί να επεκταθεί:** το Arduino βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega328P της Atmel. Τα σχηματικά για τα αναπτυξιακή πλακέτα βρίσκονται υπό την άδεια χρήσης Creative Commons, επιτρέποντας σε σχεδιαστές να κατασκευάσουν το δικό τους, εξελίσσοντας το ήδη υπάρχον χωρίς να έχουν νομικά προβλήματα.

### 5.3.3. Το hardware του Arduino

Ο μικροελεγκτής Arduino ενσωματώνει τον επεξεργαστή **ATMEL ATmega328P**, όπως επίσης κι όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα για την τροφοδοσία και την διασύνδεση του μικροελεγκτή με Η/Υ. Τα οποία περιλαμβάνουν **υποσυστήματα μνήμης, εισόδου/εξόδου, γραμμικό ρυθμιστή τάσης, ταλαντωτής κρυστάλλου, bootloader** (μικροκώδικα εκκίνησης υλικού), **προσαρμογέα USB σε FTDI Serial**. Η πλακέτα μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε με τροφοδοτικό των 9Volt, είτε απευθείας από την USB θύρα του Η/Υ.

Τα χαρακτηριστικά εν συντομία:

Μικροελεγκτής ATmega328P

Τάση λειτουργίας 5V

Τάση εισόδου 7-12V

Όρια τάσης 6-20V

Ψηφιακοί ακροδέκτες I/O (εκ των οποίων έξι παρέχουν PWM έξοδο)

Ψηφιακοί ακροδέκτες εισόδου 6 DC ρεύμα ανά I/O ακροδέκτη 40 mA για 3,5 V ακροδέκτη 50 mA

Μνήμη Flash 32 KB (2 KB χρησιμοποιούνται από τον bootloader)

SRAM 2 KB

EEPROM 1 KB

Ταχύτητα ρολογιού 16 MHz

### 5.3.4. Οι ακροδέκτες του Arduino

Ο Arduino έχει **14 ψηφιακούς ακροδέκτες** (pin). Αυτοί μπορούν να τεθούν ως είσοδοι ή ως έξοδοι. Λειτουργούν στα 5 Volt και έχουν την δυνατότητα να παρέχουν ή να δέχονται ένταση της τάξεως των 40mA. Σε κάθε pin υπάρχει εσωτερικά ένας pullup<sup>1</sup> αντιστάτης στα 20-50KΩ. Επιπλέον έχει **5 αναλογικούς ακροδέκτες** εισόδου. Αυτοί μπορούν να «διαβάσουν» αναλογικές τιμές όπως η τάση μιας μπαταρίας και να τις μετατρέψουν σε μια τιμή από το 0 έως το 1023 (10 bit). Η μέτρηση της τάσης γίνεται από προκαθορισμένα επίπεδα από 0 έως 5 Volt. Εκτός αυτών, 6 εκ των 14 ψηφιακών ακροδεκτών οι 3, 5, 6, 9, 10 και 11 έχουν την δυνατότητα να προγραμματιστούν ώστε να λειτουργούν ως αναλογικές έξοδοι.

**Κάποιοι ακροδέκτες έχουν συγκεκριμένες λειτουργίες:**

---

<sup>1</sup> αντιστάσεις που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρονικά κυκλώματα για να διασφαλιστεί ότι η τάση θα παραμείνει στα αναμενόμενα επίπεδα.

- **Σειριακή Λειτουργία:** 0 (RX) and 1 (TX). Χρησιμοποιούνται για λήψη (RX) και εκπομπή (TX) TTL σειριακών δεδομένων. Αυτοί οι ακροδέκτες είναι συνδεδεμένοι με τους αντίστοιχους του μετατροπέα FTDI USB σε TTL.
- **Εξωτερικές Διακοπές (interrupts):** 2 και 3. Αυτοί οι ακροδέκτες μπορούν να ενεργοποιούν διακοπές αν ανιχνευθεί παλμός χαμηλής τάσης.
- **PWM:** 3, 5, 6, 9, 10 και 11. Παρέχουν Έξοδο 8-bit PWM.
- **SPI<sup>2</sup>:** 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Αυτοί οι ακροδέκτες επιτρέπουν επικοινωνία SPI, η οποία και παρέχεται από το hardware.
- **LED:** 13. Στον ακροδέκτη 13 υπάρχει ένα ενσωματωμένο LED. Όταν ο ακροδέκτης έχει τιμή HIGH, το LED φωτοβολεί..

#### Ακροδέκτες για ειδικές λειτουργίες όπως:

- **I<sup>2</sup>C<sup>3</sup>:** 4 (SDA) και 5 (SCL). Υποστηρίζει το πρωτόκολλο I<sup>2</sup>C (TWI) χρησιμοποιώντας βιβλιοθήκες τις γλώσσας προγραμματισμού Wiring.
- **AREF:** Τάσης αναφοράς για την αναλογικές εισόδους.
- **Reset:** Αν τεθεί σε κατάσταση LOW τότε επαννεκινεί τον μικροελεγκτή. Σε αυτή τη γραμμή τοποθετείται ένας διακόπτης.

#### 5.3.5. Μνήμη

Ο ATmega328P έχει 32KB μνήμης flash για την αποθήκευση κώδικα (2 KB εκ των οποίων χρησιμοποιούνται από τον bootloader). Έχει επίσης 2 KB SRAM για την εκτέλεση υπολογισμών και 1 KB μνήμης EEPROM για την μόνιμη αποθήκευση δεδομένων μετά την διακοπή τροφοδοσίας.

#### 5.3.6. Τροφοδοσία

Το αναπτυξιακή πλακέτα Arduino τροφοδοτείται είτε από εξωτερική τροφοδοσία είτε απευθείας από θύρα USB. Η επιλογή της πηγής γίνεται αυτόματα. Ως εξωτερική τροφοδοσία ορίζεται είτε μια μπαταρία, είτε μετασχηματιστής των 9 Volt. Η μπαταρία μπορεί να συνδεθεί στις υποδοχές του Arduino Vin και GND όπου τοποθετούνται ο θετικός πόλος και ο αρνητικός αντίστοιχα. Αν τροφοδοτήσουμε με μετασχηματιστή τοποθετούμε το βύσμα στην υποδοχή που υπάρχει, με τον θετικό πόλο στο κέντρο στο αντίστοιχο βύσμα.

Η πλακέτα μπορεί να λειτουργήσει με εξωτερική πηγή από 6 έως 20 Volt. Αν ωστόσο τροφοδοτηθεί με λιγότερα από 7 Volt τα pin εξόδου 5 Volt δεν θα καταφέρουν να εξάγουν τάση 5 Volt. Αν από την άλλη δώσουμε πάνω από 12 Volt θα υπερθερμανθεί ο σταθεροποιητής τάσης στην πλακέτα και ενδεχόμενος να καταστραφεί. Συνεπώς μια ιδανική τάση είναι τα 9 Volt.

<sup>2</sup> πρότυπο σύγχρονης σειριακής σύνδεσης δεδομένων που υποστηρίζει αμφίδρομη ροή μέσω συστήματος master / slave.

<sup>3</sup> multi-master σειριακός δίαυλος υπολογιστή ενός άκρου που χρησιμοποιείται για να συνδέσει χαμηλής ταχύτητας περιφερειακά με μια άλλη ηλεκτρονική συσκευή.

Οι ακροδέκτες τροφοδοσίας είναι οι εξής:

- **VIN:** ακροδέκτης για μη σταθεροποιημένη τάση. Συνήθως εδώ συνδέεται μια εξωτερική πηγή τροφοδοσίας.
- **5V:** ακροδέκτης σταθεροποιημένης τάσης 5 Volt. Χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του μικροελεγκτή ή άλλων ηλεκτρονικών στοιχείων.
- **3V3:** το ολοκληρωμένο κύκλωμα FTDI που βρίσκεται στην πλακέτα του Arduino παράγει τάση των 3.3V με μέγιστο ρεύμα 50mA.

**GND:** ακροδέκτες γείωσης

### 5.3.7. Επικοινωνία

Το Arduino έχει την δυνατότητα να επικοινωνεί με Η/Υ, ένα άλλο Arduino ή άλλους μικροελεγκτές. Ο ATmega 328P παρέχει σειριακή επικοινωνία ΥrL<sup>4</sup> στα 5 Volt τύπου UART<sup>5</sup>, η οποία είναι διαθέσιμη από τους ακροδέκτες RX 0 (λήψη) και TX 1 (εκπομπή) του. Επιπλέον είναι ενσωματωμένο ένα FTDI<sup>6</sup> FT232RL IC το οποίο παρέχει σειριακή επικοινωνία με Η/Υ για προγραμματισμό μέσω της θύρας USB με την βοήθεια των ανάλογων FTDI drivers. Οι drivers αυτοί περιλαμβάνονται στο software για τον Arduino και παρέχουν μια virtual port (ιδεατή θύρα) επικοινωνίας στον Η/Υ για τους σκοπούς της επικοινωνίας.

### 5.3.8. Αυτόματη software επαναφορά

Αντί να απαιτεί το πάτημα του κουμπιού επαναφοράς (reset) πριν από την αποστολή κώδικα, το Arduino έχει σχεδιαστεί με τρόπο που να επιτρέπει την επαναφορά μέσω λογισμικού (software reset) ενώ είναι συνδεδεμένο σε έναν Η/Υ. Μία από τις γραμμές ελέγχου ροής υλικού του FT232RL συνδέεται με την reset γραμμή του ATmega328P μέσω ενός πυκνωτή 100 nF. Όταν αυτή η γραμμή είναι σε χρήση (χαμηλή), η γραμμή επαναφοράς «πέφτει» για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να προκαλέσει επαναφορά στο τσιπ. Το λογισμικό Arduino χρησιμοποιεί αυτή την δυνατότητα για να μας επιτραπεί να προσθέσουμε κώδικα πατώντας απλά το κουμπί upload στο περιβάλλον ανάπτυξης. Αυτό σημαίνει ότι ο bootloader μπορεί να έχει μικρότερο χρόνο εκκίνησης, όπως μπορεί και η γραμμή ελέγχου ροής υλικού να είναι συντονισμένη με την έναρξη της μεταφόρτωσης (upload).

Είναι προγραμματισμένο να αγνοεί ακατάλληλα δεδομένα (δηλαδή οτιδήποτε εκτός από την αποστολή νέου κώδικα) και θα παρακολουθήσει τα πρώτα byte δεδομένων που του αποστέλλονται και μετά ανοίγει την σύνδεση. Το Arduino περιέχει ένα trace (ίχνος χαλκού) που μπορεί να κοπεί για να απενεργοποιηθεί η λειτουργία αυτόματης επαναφοράς. Οι ακροδέκτες του ίχνους (χαλκού) πρέπει να είναι συγκολλημένοι για να την απενεργοποιήσουμε. Είναι η ένδειξη «RESET-EL». Επίσης είμαστε σε θέση να ακυρώσουμε την επιλογή αυτόματης επαναφοράς με τη σύνδεση ενός 110 ohm αντιστάτη μεταξύ της τροφοδοσίας των 5V και της γραμμής επαναφοράς (reset pin).

<sup>4</sup> κατηγορία ψηφιακών κυκλωμάτων κατασκευασμένα από διπολικά τρανζίστορ και αντιστάσεις.

<sup>5</sup> που μεταφράζει δεδομένα μεταξύ παράλληλης και σειριακής μορφής.

<sup>6</sup> κύκλωμα υπεύθυνο μετατροπή RS-232 ή TTL σειριακή μετάδοση σημάτων σε USB.

### 5.3.9. USB προστασία από υπερτάση

Το Arduino διαθέτει μια ασφάλεια που προκαλεί reset και προστατεύει τις θύρες USB του Η/Υ από τα βραχυκυκλώματα και τις υψηλές τιμές τάσης. Αν και οι περισσότεροι υπολογιστές παρέχουν τέτοια προστασία εσωτερικά, η ασφάλεια αυτή παρέχει ένα επιπλέον επίπεδο προστασίας. Σε περίπτωση που περισσότερο από 500 mA εφαρμοστούν στη θύρα USB, η ασφάλεια θα διακόψει αυτόματα τη σύνδεση μέχρι το βραχυκύκλωμα ή υπερτάση να σταματήσει.

### 5.3.10. Περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών

Το Arduino χρησιμοποιεί ένα ιδιαίτερα απλό σύστημα ανάπτυξης εφαρμογών το Arduino IDE. Μια εφαρμογή με γραφικό περιβάλλον που προσφέρει δυνατότητες επεξεργασίας κώδικα (code editor), compiler (μεταφραστή κώδικα), code uploader (μεταφορά κώδικα στο Arduino) όπως και δυνατότητες διαχείρισης βιβλιοθηκών και αρχείων κώδικα.

Στο Arduino IDE η διαδικασία ανάπτυξης γίνεται αρχικά με την συγγραφή του κώδικα στο ειδικό πεδίο επεξεργασίας και στην συνέχεια αποστέλλεται στο Arduino μέσω της επιλογής upload. Ο ATmega328P παρέχεται preburned με έναν bootloader που μας επιτρέπει να φορτώσουμε τον νέο κώδικα χωρίς τη χρήση εξωτερικού programmer (προγραμματιστή υλικού). Επικοινωνεί

χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο STK 500<sup>7</sup>. Μπορεί επίσης να παρακάμψει τον bootloader και το πρόγραμμα του μικροελεγκτή μέσω της ICSP<sup>8</sup> (In-Circuit Serial Programming).

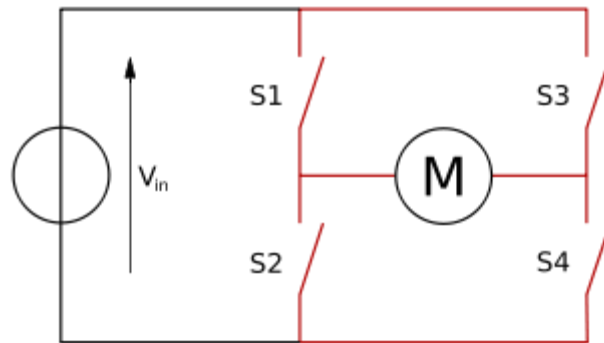
## 5.4. Η γέφυρα H – bridge L293D

Η γέφυρα H-bridge L293D είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που επιτρέπει στην τάση να εφαρμοστεί σε φορτίο σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Ουσιαστικά, αποτελεί ένα σύστημα διακοπών μέσω των οποίων η τάση που δίνουμε μπορεί να εφαρμοστεί σε διαφορετικά σημεία του κυκλώματος. Έχει ευρεία εφαρμογή στη ρομποτική όπως και στα κυκλώματα ελέγχου DC κινητήρων, επιτρέποντάς μας να του κινούμε προς τη μία ή την άλλη κατεύθυνση (όπως και στο παρόν κύκλωμα). Οι γέφυρες αυτές υπάρχουν ως ολοκληρωμένα κυκλώματα, αλλά μπορούν να κατασκευαστούν κιάλας ως κύκλωμα με τα απαραίτητα υλικά.

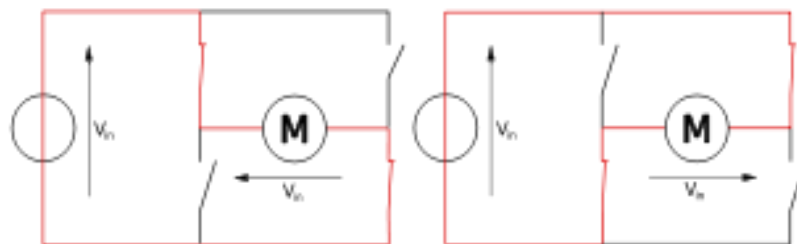
<sup>7</sup> η επικοινωνία μεταξύ της αναπτυξιακής πλακέτας και του υπολογιστή γίνεται μέσω μιας εικονικής RS232 (θύρα COM PC) και παρέχει ρυθμούς διαμεταγωγής δεδομένων έως 115.2kbps, 8 bit δεδομένων, 1 stop bit και χωρίς ιστιμία.

<sup>8</sup> τεχνική όπου μια προγραμματιζόμενη συσκευή προγραμματίζεται εφόσον τοποθετηθεί σε πλακέτα κυκλώματος.





Σχ. 5.3: Το κύκλωμα μιας H-Bridge

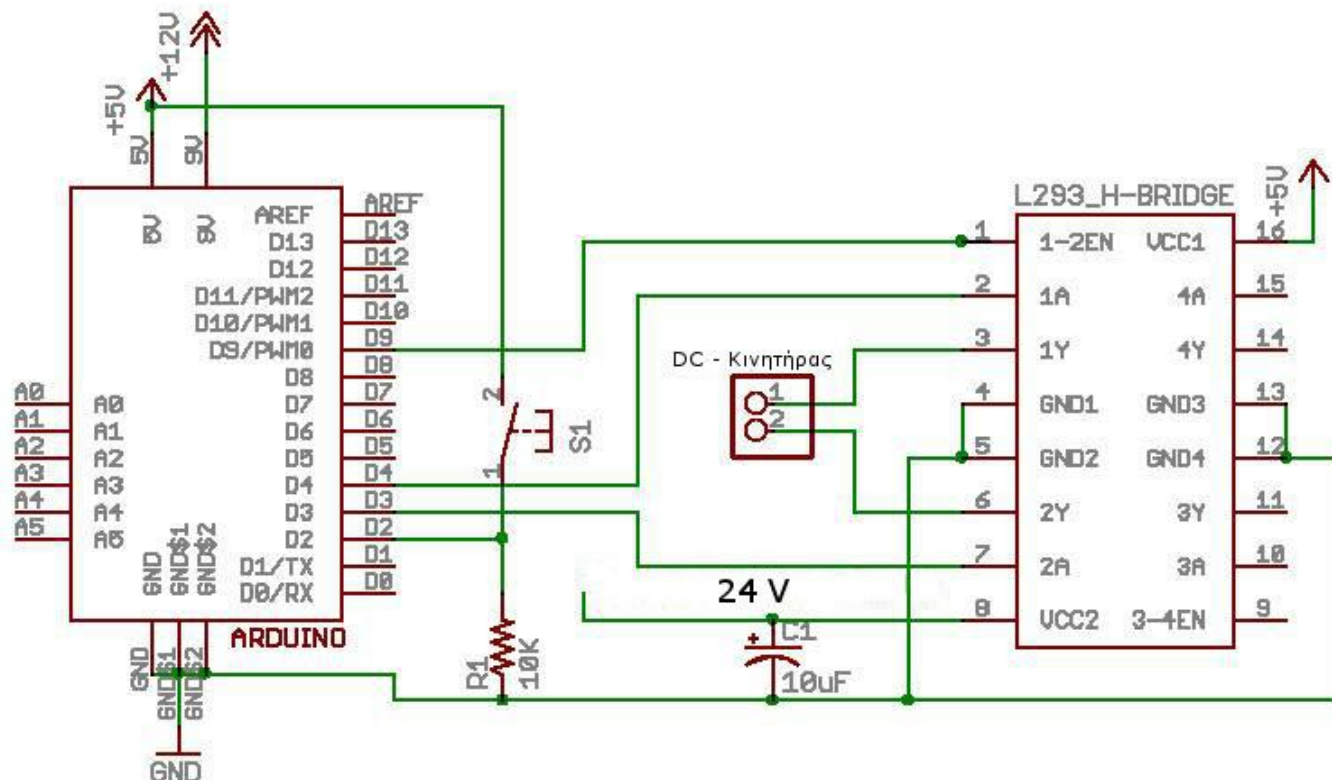


Σχ. 5.4: Οι δύο διαφορετικές καταστάσεις της γέφυρας

Παρατηρούμε ότι όταν οι διακόπτες S1 και S4 κλείσουν ενώ οι S2 και S3 είναι κλειστοί εφαρμόζεται θετική τάση στους ακροδέκτες του κινητήρα, άρα αυτός κινείται με την κανονική φορά. Στην αντίθετη περίπτωση, ο κινητήρας θα κινηθεί με την ανάποδη φορά.

## 5.5. Το κύκλωμα και συμπεράσματα

Το κύκλωμα που υλοποιήθηκε ήταν το παρακάτω:



όπου στο ρόλο των διακοπών S1 χρησιμοποιούμε LED σε συνδυασμό με το Arduino (δηλαδή τα LED απλά μας δείχνουν σε ποια κατάσταση βρισκόμαστε) και η τροφοδοσία στη γέφυρα είναι 24V.

Εισάγουμε στον μικροελεγκτή arduino το παρακάτω πρόγραμμα:

```
*/  
int tempoutPin = 0;           //ο 1ος αισθητήρας (εξωτερικής θερμοκρασίας)  
συνδέεται στη θύρα A0  
int tempinPin = 1;           //ο 2ος αισθητήρας (εσωτερικής θερμοκρασίας)  
στην A1  
float tempIN = 0;            //μεταβλητή για τους μετέπειτα υπολογισμούς  
float tempOUT = 0;           //μεταβλητή για τους μετέπειτα  
υπολογισμούς  
int redLED=5q                //το κόκκινο LED στη θύρα 5  
int blueLED=7;               //το μπλε LED στη θύρα 7  
int greenLED=6;              //το πράσινο LED στη θύρα 6  
long val=0;                  //μεταβλητή για την αποθήκευση της θερμοκρασίας
```

```

int openWINpin = 3;           // το 1ο άκρο της H-bridge για ν' ανοίγει το
παράθυρο
int closeWINpin = 4;        // το 2ο άκρο της H-bridge για να κλείνει το
παράθυρο
int speedPin = 9;           // το άκρο-διακόπτης της H-bridge

void setup()
{
pinMode(redLED, OUTPUT);    //το κόκκινο LED ρυθμίζεται ως έξοδος
pinMode(greenLED, OUTPUT); //το πράσινο LED ρυθμίζεται ως έξοδος
pinMode(blueLED, OUTPUT);  //το μπλε LED ρυθμίζεται ως έξοδος
pinMode(openWINpin, OUTPUT); //το 1ο άκρο της H-bridge ρυθμίζεται
ως έξοδος
pinMode(closeWINpin, OUTPUT); //το 2ο άκρο της H-bridge ρυθμίζεται
ως έξοδος
pinMode(speedPin, OUTPUT);  //το άκρο-διακόπτης ρυθμίζεται ως
έξοδος
pinMode(tempoutPin, INPUT); //ο 1ος αισθητήρας ρυθμίζεται ως
είσοδος
pinMode(tempinPin, INPUT);  //ο 2ος αισθητήρας ρυθμίζεται ως
είσοδος
Serial.begin(9600);         // εντολή που αφορά το τι εμφανίζει ο
υπολογιστής
digitalWrite(speedPin, HIGH); // κλείνει τον διακόπτη της H-bridge
}

void loop ()                 //η επαναληπτική διαδικασία
{

Serial.println("Outdoor Temperature is "); //Τυπώνει "Outdoor Temperature is"
σε κάθε επανάληψη
val = analogRead(tempoutPin); //διαβάζει την τιμή του αισθητήρα
tempOUT = (5.0*val*100.0)/1024.0; // μετατρέπει την τάση σε θερμοκρασία
Serial.println ((long)tempOUT); //τυπώνει τη θερμοκρασία
Serial.println ("Degrees Celsius"); //Τυπώνει "Degrees Celsius" σε κάθε
επανάληψη

Serial.println("Indoor Temperature is "); // Τυπώνει "Indoor Temperature is" σε
κάθε επανάληψη
val = analogRead(tempinPin); // διαβάζει την τιμή του αισθητήρα
tempIN = (5.0*val*100.0)/1024.0; //μετατρέπει την τάση σε
θερμοκρασία
Serial.println ((long)tempIN); // τυπώνει τη θερμοκρασία
Serial.println ("Degrees Celsius"); // Τυπώνει "Degrees Celsius" σε κάθε
επανάληψη

if ((tempOUT >= 18.3) && (tempIN >=18.3)) //Ελέγχει τις δύο θερμοκρασίες
{
digitalWrite (redLED, HIGH); //Το κόκκινο LED ανάβει
digitalWrite (blueLED, LOW); //Το μπλε LED σβηστό
}
}

```

```

digitalWrite (greenLED, LOW);           //Το πράσινο LED σβηστό
digitalWrite(openWINpin, HIGH);         // το 1ο άκρο της γέφυρας τίθεται στο high
digitalWrite(closeWINpin, LOW);        // το 2ο άκρο γέφυρας τίθεται στο low
}
else if ((tempOUT <18.3) && (tempIN <26.6)) //αλλιώς ελέγχει αυτήν την
περίπτωση
digitalWrite (redLED, LOW);             //το LED σβηστό
digitalWrite (blueLED, HIGH);          //το LED ανοιχτό
digitalWrite (greenLED, LOW);          //το LED κλειστό
digitalWrite(openWINpin, LOW);         // ρυθμίζει στο high το 1ο άκρο της
γέφυρας
digitalWrite(closeWINpin, HIGH);       // ρυθμίζει στο low το 2ο άκρο της
γέφυρας
}
else if ((tempOUT < 18.3) && (tempIN >=26.6)) //αλλιώς κάνει αυτόν τον έλεγχο
{
digitalWrite (redLED, LOW);             //το LED σβηστό
digitalWrite (blueLED, LOW);           //το LED σβηστό
digitalWrite (greenLED, HIGH);         //το πράσινο LED ανοίγει
digitalWrite(openWINpin, HIGH);        // το 1ο άκρο ρυθμίζεται στο low
digitalWrite(closeWINpin, LOW);        //το 2ο άκρο ρυθμίζεται στο high
}

delay(5000);                            //περιμένει 5 δευτερόλεπτα
}                                         //Τέλος διαδικασίας, επιστρέφει πάλι στην αρχή της επανάληψης

```

Ουσιαστικά το πρόγραμμα αυτό διακρίνει 3 περιπτώσεις:

- Αν η εξωτερική θερμοκρασία και η εσωτερική είναι μεγαλύτερες των  $18,3^{\circ}\text{C}$  τότε το παράθυρο ανοίγει.
- Αν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη των  $18,3^{\circ}\text{C}$  και η εσωτερική μικρότερη των  $26,6^{\circ}\text{C}$  τότε το παράθυρο κλείνει.
- Αν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη των  $18,3^{\circ}\text{C}$  και η εσωτερική μεγαλύτερη των  $26,6^{\circ}\text{C}$  τότε το παράθυρο ανοίγει και πάλι.

Προφανώς, οι περιπτώσεις αυτές μπορούν να διαμορφωθούν κατάλληλα ανάλογα με τις απαιτήσεις μας. Πχ, θα μπορούσαμε να ανοιγοκλείνουμε το παράθυρο ανάλογα με την διαφορά θερμοκρασίας. Το μόνο που θα άλλαζε θα ήταν η συνθήκη την οποία θα είχαμε. Δηλαδή, ορίζοντας ως diff μια μεταβλητή που θα υπολόγιζε τη διαφορά των tempOUT και tempIN, θα μπορούσαμε αν η diff ξεπερνά μια προκαθορισμένη τιμή να ανοίγουμε και να κλείνουμε το παράθυρο. Επίσης, θα μπορούσαμε τη συγκεκριμένη διαφορά θερμοκρασίας ή απλώς και μόνο τις τιμές που διαβάζουμε για την εξωτερική και την εσωτερική θερμοκρασία να τις συνδέσουμε με την θέρμανση ή τον κλιματισμό, λειτουργώντας εντελώς αυτόματα επομένως το πότε και πόσο θερμαίνουμε το σπίτι μας.

Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι μέσω της συγκεκριμένης εφαρμογής θα έχουμε κέρδη στην εξοικονόμηση ενέργειας. Η αυτόματη λειτουργία των παραθύρων μπορεί να μας βοηθήσει πολύ στη θέρμανση ή όχι (καθώς μπορεί να αυτοματοποιεί τη λειτουργία ανάλογα με τη θερμοκρασία) προστατεύοντάς μας από περιττά κόστη ενέργειας, ενώ εξαιρετικά βασικό είναι ότι με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνουμε και το απαραίτητο και επιθυμητό από εμάς κλίμα στο εσωτερικό του σπιτιού.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Κ. Α. ΜΠΑΛΑΡΑΣ, Α.Γ. ΓΑΓΛΙΑ «ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΩΝ Εφαρμογή Ευρωπαϊκών Μεθοδολογιών και Λογισμικών της Ενεργειακής Αποδοτικότητας Κτιρίων», Αθήνα 2009
- [2] Γαγλία Α.Γ., Κ.Α. Μπαλαράς. Ε. Γεωργοπούλου, Σ. Μοιρασγεντής, Ι. Σαραφίδης, Δ. Λάλας, «Ελληνικά Κτίρια – Δυναμικό Εξοικονόμησης Ενέργειας και Μείωση Ρύπων – Μέτρα Αντιμετώπισης, Δελτίο ΠΣΔΜΗ, Πανελλήνιος Σύλλογος Διπλωματούχων Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων, Αρ. 401, σ. 36-46, Σεπτέμβριος 2007
- [3] Balaras C.A., K. Droutsas, E. Dascalaki, S. Kontoyiannidis, Heating Energy Consumption and Resulting Environmental Impact of European Apartment Buildings, *Energy & Buildings*, 37, 429-442, (2005).
- [4] Γαγλία Α.Γ., «Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων– Κτίριο Αναφοράς». Προσυνεδριακή Εκδήλωση «Εξοικονόμηση & Διαχείριση Ενέργειας στα Κτίρια», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας & Περιφερειακό Τμήμα Νομού Κέρκυρας του ΤΕΕ. Κέρκυρα, Ιούλιος (2009).
- [5] Argiriou A., A. Dimoudi, C.A. Balaras, D. Mantas, E. Dascalaki, I. Tselepidaki, *Passive Cooling of Buildings*, James & James Science Publishers Ltd, (ISBN 1 873936478), pp. 468, London, UK, (1996).
- [6] Ευθυμιόπουλος Η., Κ.Α. Μπαλαράς, Σ. Ψωμάς, Π. Γαβριήλ, Κτίριο & Περιβάλλον, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, p. 149, (ISBN 960-7530-60-8), Αθήνα, (2005).
- [7] Λέφας Κ.Χ. (1992). Αερισμός και Κλιματισμός, Εκδόσεις Φοίβος, Αθήνα.
- [8] Χριστίνα Σ. Τζανετοπούλου «Έξυπνο Σπίτι με χρήση του Προτύπου Konnex και Εξοικονόμηση Ενέργειας», Αθήνα 2010

- [9] “Building control systems”, CIBSE, Butterworth Heinemann
- [10] Wild L J *Commissioning HVAC systems. Division of responsibilities* AG 3/89 (Bracknell: Building Services Research and Information Association) (1989)
- [11] *Thermal environmental conditions for human occupancy* ANSI/ASHRAE Standard 55 (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers) (1992)
- [12] Αθανάσιος Α. Αργυρίου, «Αισθητήρες Ημιαγωγών, Αισθητήρες θερμοί, μηχανικοί, μαγνητικοί, αισθητήρες ακτινοβολίας και χημικοί αισθητήρες», Πάτρα, Οκτώβριος 2004.
- [13] Michalski L., Eckersdorf K., McGee J. *Temperature Measurement*. John Wiley and Sons, 1991.
- [14] Doebelin E.O. *Measurement Systems Application and Design*. McGraw-Hill International Editions, New York, 1990.
- [15] Βερυκοκίδης Μανώλης, Κορνήλιος Νικόλαος, «Πτυχιακή Εργασία έξυπνοι αισθητήρες «smart sensors”, Ηράκλειο 2010
- [16] Γεώργιος Αλεξίου, «Μικροεπεξεργαστές», Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα 2001
- [17] Frank Carden, Robert Henry, Russ Jedlicka, *Telemetry Systems Engineering*, Artech House, Telecommunications Library 2002
- [18] Ελευθεριάδης Μιχαήλ “Εφαρμογές ασύρματης τηλεμετρίας στην αναπτυξιακή πλατφόρμα Arduino”
- [19] [www.teiser.gr/icd/staff/kalomiros/Syllogi\\_Metrisewn/kef2\\_sensors.doc](http://www.teiser.gr/icd/staff/kalomiros/Syllogi_Metrisewn/kef2_sensors.doc)