



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**"Ανάλυση και συγκριτική μελέτη τεχνολογιών  
δικτύων αισθητήρων για έξυπνες πόλεις και σπίτια"**

**"Analysis and comparative study of sensor network  
technologies for smart cities and home"**

ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ:

ΧΑΛΚΙΟΠΟΥΛΟΥ ΦΩΤΕΙΝΗ (2254)

ΤΣΟΥΚΑΛΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (1602)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ ΣΩΤΗΡΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2021

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Ζούμε σε μια εποχή τεχνολογικής επανάστασης όπου οι περισσότεροι από εμάς μπορούμε να αντιληφθούν τη σημασία των αισθητήρων στη ζωή μας. Καθώς η τεχνολογία διαρκώς εξελίσσεται οι αισθητήρες μέρα με τη μέρα μπαίνουν πιο αισθητά και πιο ενεργά στην καθημερινότητα ενός μέσου ανθρώπου κάνοντας την πιο άνετη και πιο ασφαλή τόσο εντός σπιτιού όσο και εκτός.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε αρχικά με την κατηγοριοποίηση των αισθητήρων και την συγκριτική αξιολόγηση των ενδεικτικών κατηγοριών.

Στη συνέχεια θα γίνει προσπάθεια μελέτης και καταγραφής εφαρμογών έξυπνων πόλεων και έξυπνων σπιτιών με αναφορά στην χρονική τους εξέλιξη τα τελευταία χρόνια και προβλέψεις για εφαρμογές του μέλλοντος.

Θα ακολουθήσει ο σχεδιασμός των εφαρμογών που θα μπορούσαν με μικρές παρεμβάσεις και με χαμηλό κόστος να ενσωματωθούν σε ένα συμβατικό σπίτι και τέλος η επιλογή αισθητήρων και πρακτική εφαρμογή τους σε συμβατικό σπίτι.

Κύριος στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση και η συγκριτική μελέτη των τεχνολογιών δικτύων αισθητήρων για έξυπνες πόλεις και έξυπνα σπίτια, με αναφορές στην χρονική τους εξέλιξη στα τελευταία χρόνια αλλά και στο άμεσο μέλλον.

## **ABSTRACT**

We live in an age of technological revolution where most of us can realize the importance of sensors in our lives. As technology is constantly evolving, sensors are becoming more and more active in the daily life of the average person, making it more comfortable and safer both indoors and outdoors.

In this thesis we will first deal with the categorization of sensors and the comparative evaluation of indicative categories.

Then an attempt will be made to study and record applications of smart cities and smart homes with reference to their time evolution in recent years and forecasts for future applications.

This will be followed by the design of applications that could with small interventions and at low cost be integrated into a conventional house and finally the selection of sensors and their practical application in a conventional house.

The main purpose of this thesis is the analysis and comparative study of sensor network technologies for smart cities and smart homes, with references to their time evolution in recent years and in the near future.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ABSTRACT.....	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	4
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ</b>	
1.1 Ιστορική αναδρομή αισθητήρων.....	6
1.2 Περιγραφή αισθητήρων.....	7
1.3 Κατηγορίες αισθητήρων.....	18
1.4 Έξυπνοι αισθητήρες.....	26
1.5 Χαρακτηριστικά λειτουργίας έξυπνων αισθητήρων.....	30
1.6 Καινοτομίες έξυπνων αισθητήρων στο παρόν.....	32
1.7 Εφαρμογές έξυπνων αισθητήρων.....	35
1.8 Προκλήσεις μελλοντικής εξέλιξης έξυπνων αισθητήρων.....	36
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ (WSN)</b>	
2.1 Τι είναι τα ασύρματα δίκτυα.....	39
2.2 Πλεονεκτήματα ασύρματης δικτύωσης.....	39
2.3 Σύντομη ιστορία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων.....	40
2.4 Περιγραφή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων.....	42
2.5 Διαφοροποίηση των WSN σε σχέση με τα υπόλοιπα δίκτυα.....	44
2.6 Κατηγοριοποίηση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων.....	46
2.7 Τοπολογία ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων.....	48
2.8 Αρχιτεκτονική ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων.....	51
2.9 Πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στα WSR.....	55
2.10 Εφαρμογές ασύρματων δικτύων αισθητήρων.....	58
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΣΠΙΤΙ</b>	
3.1 Ορισμός και περιγραφή.....	63
3.2 Συσκευές και αισθητήρες για έξυπνο σπίτι.....	66
3.3 Σενάρια εφαρμογής σε έξυπνο σπίτι.....	74
3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έξυπνου σπιτιού.....	82
3.5 Κόστος κατασκευής έξυπνου σπιτιού.....	85

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ

4.1 Ορισμός και χαρακτηριστικά της έξυπνης πόλης.....	87
4.2 Τα τρία επίπεδα «ευφυΐας» της έξυπνης πόλης.....	93
4.3 Το έξυπνο δίκτυο (smart grid).....	96
4.4 Έξυπνη πόλη βασισμένη σε αισθητήρες μέσω IoT.....	99
4.5 Υποδείγματα έξυπνων πόλεων.....	107
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	130
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	131

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

## 1.1 Ιστορική αναδρομή αισθητήρων

Η σημασία των αισθητήρων για τον άνθρωπο είναι μεγάλη. Οι πρώτοι αισθητήρες εμφανίστηκαν μαζί με τα έμβια όντα και αποτέλεσαν αναπόσπαστο τμήμα τους.

Το μάτι και το αυτί είναι χαρακτηριστικά παραδείγματα: το πρώτο ανιχνεύει τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και το δεύτερο τον ήχο, δηλαδή ένα κύμα πίεσης.

Με το πέρασμα των χρόνων ο άνθρωπος συνειδητοποιεί ότι χρειάζεται όργανα μέτρησης για να αντιμετωπίσει καθημερινά πρακτικά προβλήματα, όπως τη μέτρηση του μήκους, του βάρους ή του όγκου. Για το λόγο αυτό άρχισε να χρησιμοποιεί συστήματα μέτρησης.

Ενδεικτικά αναφέρουμε, ότι το πρώτο θερμόμετρο εμφανίζεται το 1585, ενώ το πρώτο βαρόμετρο το 1643. Η αρχή λειτουργίας του πρώτου θερμομέτρου βασιζόταν στη μεταβολή των διαστάσεων των σωμάτων με την θερμοκρασία, ενώ του βαρομέτρου στην μεταβολή της στάθμης ενός ρευστού ανάλογα με την ασκούμενη σε αυτό πίεση.

Οι πρώτοι αισθητήρες και τα όργανα μέτρησης ήταν μηχανικά. Η συστηματική μελέτη του ηλεκτρισμού οδήγησε στην ανάπτυξη νέων αισθητήρων ηλεκτρικών, των οποίων η έξοδος ήταν ένα αναλογικό σήμα. Η ανάπτυξη των ημιαγωγών είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία αισθητήρων ημιαγωγών αλλά και ψηφιακών οργάνων μέτρησης.

Για να συνειδητοποιήσει κάποιος λοιπόν τη ραγδαία εξέλιξη στον τομέα των αισθητήρων αρκεί να θυμηθεί, ότι τα αυτοκίνητα παραγωγής της δεκαετίας του '60 και του '70 περιλάμβαναν δύο μόνο απλούς ηλεκτρικούς αισθητήρες: έναν για την μέτρηση της θερμοκρασίας του ψυκτικού υγρού και έναν δεύτερο για την μέτρηση της στάθμης του καυσίμου.

Αντίθετα, τα σύγχρονα αυτοκίνητα διαθέτουν πολλαπλάσιους αισθητήρες (αρκετοί από τους οποίους φαίνονται στο παρακάτω σχήμα) που χρησιμοποιούνται:

- Για τη μέτρηση της πίεσης των ελαστικών
- Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα εισαγωγής
- Για την ανίχνευση βροχής
- Για τη μέτρηση της φωτεινότητας του περιβάλλοντος
- Για την ανάγκη ενεργοποίησης των ζωνών ασφαλείας και των αερόσακων

- Για την ανάγκη ενεργοποίησης του συστήματος αντιμπλοκαρίσματος των τροχών και για πληθώρα άλλων αναγκών.

Σημαντική ώθηση στην εξέλιξη των αισθητήρων ήταν η ανάγκη αντιμετώπισης των προβλημάτων της σύγχρονης έρευνας στις θετικές επιστήμες, καθώς και της εξέλιξης της τεχνολογίας. Οι μελλοντικοί εξελιγμένοι αισθητήρες αναμένονται να προκύψουν από την έρευνα στη νανοτεχνολογία και στη βιοτεχνολογία.

Ενδεικτικά αναφέρονται οι αισθητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούνται στη διαστημική τεχνολογία και στη Φυσική των Σωματιδίων.

## 1.2 Περιγραφή αισθητήρων

Την μετατροπή του φυσικού μεγέθους στο αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα αναλαμβάνει μια μονάδα που ονομάζεται αισθητήρας (sensor). Σήμερα έχουν αναπτυχθεί αισθητήρες για πολύ μεγάλο αριθμό φυσικών μεγεθών και με διαρκείς ερευνητικές προσπάθειες προκύπτουν νέοι αισθητήρες για μεγέθη για τα οποία δεν υπήρχαν τέτοιοι, όπως επίσης βελτιώνονται διαρκώς οι υπάρχοντες αισθητήρες και οι αντίστοιχες ηλεκτρονικές διατάξεις που συνιστούν το σύστημα μέτρησης.

Επακόλουθο της ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας των αναλογικών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων ήταν η ραγδαία ανάπτυξη των ψηφιακών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων (hardware) και του αντίστοιχου λογισμικού (software). Εξαιτίας των σημαντικών πλεονεκτημάτων που παρέχουν τα ψηφιακά ηλεκτρονικά συστήματα, το μεγαλύτερο μέρος των συστημάτων μέτρησης σήμερα βασίζεται σε ψηφιακά ηλεκτρονικά (CPUs, μικροεπεξεργαστές, μικροελεγκτές, PCs, κλπ).

Τα ψηφιακά συστήματα προσφέρουν εξαιρετική ακρίβεια, πολύ μεγάλες δυνατότητες επεξεργασίας του σήματος (σύνθετους αλγορίθμους φιλτραρίσματος και μετατροπής, στατιστική ανάλυση, κλπ.), δυνατότητα μεταφοράς της μέτρησης σε πολύ μεγάλες αποστάσεις (σε οποιοδήποτε σημείο της γης ή ακόμα και σε διαστημικές αποστάσεις), απεικόνιση με μεγάλη ανάλυση (πχ. πολλά δεκαδικά ψηφία) χωρίς να επεμβαίνει η υποκειμενικότητα του παρατηρητή, και αναλλοίωτη στο χρόνο αποθήκευση των μετρήσεων.

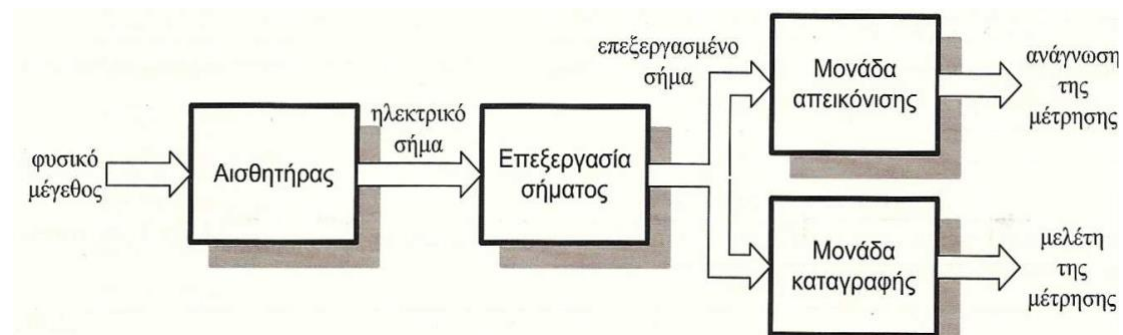
Επίσης, το λογισμικό επαναπρογραμματίζεται εύκολα για την προσαρμογή του συστήματος μέτρησης σε νέες απαιτήσεις. Επιπλέον, η ύπαρξη μονάδας επεξεργασίας δίνει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης με το σύστημα μέτρησης και του συστήματος αυτόματου ελέγχου, το οποίο αναφέρθηκε παραπάνω.

Αυτό αποτελεί κανόνα πλέον στη βιομηχανία, αλλά και σε συσκευές καθημερινής χρήσης (πχ. στα σύγχρονα φωτοτυπικά μηχανήματα μετράται με κατάλληλους αισθητήρες η ποιότητα του πρωτότυπου εγγράφου και ρυθμίζονται ανάλογα οι διαδικασίες για την παραγωγή του καλύτερου δυνατού αντιγράφου).

Το ηλεκτρικό σήμα σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή από το σύστημα προσαρμογής μεταδίδεται στο σταθμό επεξεργασίας. Η μετάδοση γίνεται είτε ενσύρματα, με διάφορα είδη αγωγών ανάλογα με τη μορφή του σήματος, είτε ασύρματα.

Χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος μέτρησης είναι:

- Μεγάλη ευαισθησία
- Μικρή κατανάλωση ισχύος
- Μεγάλη ταχύτητα απόκρισης
- Εύκολη μετάδοση του σήματος εξόδου σε απόσταση
- Υψηλή αξιοπιστία

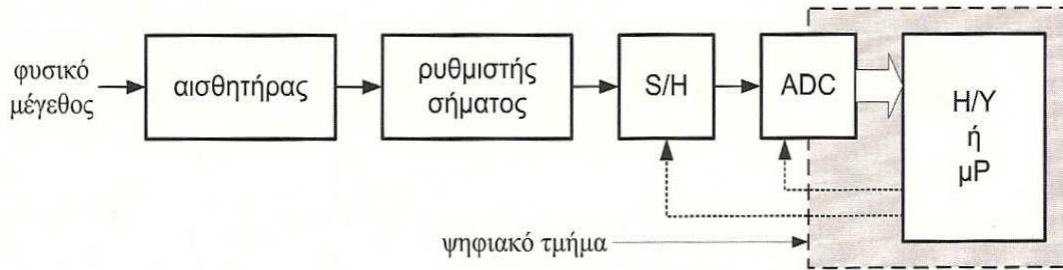


Σχήμα 1.1: Η δομή ενός συστήματος μέτρησης.

Στο σύστημα αυτό ο χρήστης έχει τη δυνατότητα, είτε να παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο τη μέτρηση, είτε να επεξεργάζεται σε μελλοντικό χρόνο τις μετρήσεις που έχουν καταγραφεί για εξαγωγή στατιστικών στοιχείων, συμπερασμάτων, κλπ.

Παρόλο που σε μερικές περιπτώσεις αυτού του είδους η απεικόνιση και η καταγραφή επαρκούν για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής, σε πολλές άλλες περιπτώσεις η εκμετάλλευση της ψηφιακής τεχνολογίας που είναι διαθέσιμη σήμερα δίνει ασύγκριτα περισσότερα πλεονεκτήματα.



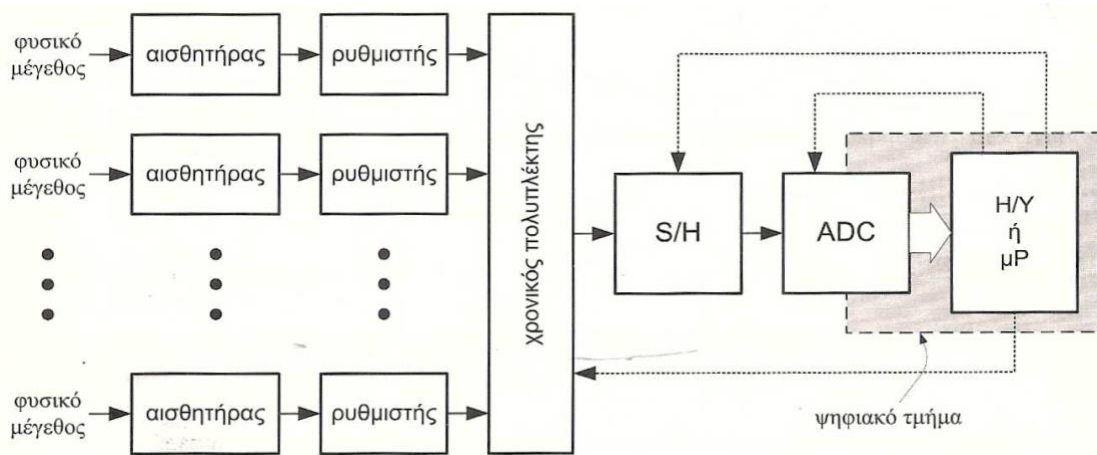


Σχήμα 1.2: Η δομή ενός ψηφιακού συστήματος μέτρησης.

Η μονάδα δειγματοληψίας και συγκράτησης (sample and hold, S/H) και ο μετατροπέας του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D converter, ADC) εξασφαλίζουν την μετατροπή του σήματος σε ψηφιακή μορφή με το επιθυμητό μήκος ψηφιακής λέξης (8 bit, 10 bit, 12 bit κλπ.).

Το σύστημα ελέγχεται από έναν H/Y ή ένα μικροεπεξεργαστή (μP), ο οποίος μπορεί να απεικονίζει τις μετρήσεις στην οθόνη, να τις επεξεργάζεται με κάποιον αλγόριθμο και να τις αποθηκεύει, είτε σε μνήμες (RAM, EEPROM, Flash κλπ.), είτε σε άλλα μέσα (σκληρό δίσκο, δισκέτες, CD-ROM, DVD κλπ.), αλλά και να τις μεταδίδει σε μεγάλες αποστάσεις μέσω του κατάλληλου δικτύου (LAN, Internet, κλπ).

Ένα άλλο μεγάλο πλεονέκτημα των ψηφιακών συστημάτων μέτρησης είναι και η δυνατότητα ταυτόχρονης μέτρησης πολλών μεγεθών, αξιοποιώντας το ίδιο ψηφιακό τμήμα του συστήματος. Ένα τέτοιο σύστημα παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 1.3: Η δομή ενός ψηφιακού συστήματος μέτρησης πολλών μεγεθών ταυτόχρονα.

Ο χρονικός πολυπλέκτης, ο οποίος ελέγχεται από H/Y, επιλέγει ποιο από τα φυσικά μεγέθη που παρακολουθεί το σύστημα θα μετρηθεί σε κάθε χρονική στιγμή. Έτσι,

μπορούν να μετρώνται ταυτόχρονα πολλά μεγέθη, να υφίστανται επεξεργασία και να αποθηκεύονται στον ίδιο Η/Υ ή και να μεταδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις.

Η ταυτόχρονη μέτρηση των μεγεθών δίνει επίσης τη δυνατότητα: (α) για συσχετισμό διαφορετικών φυσικών μεγεθών και των αντίστοιχων φαινομένων που μετρώνται και (β) για την έμμεση μέτρηση μεγεθών τα οποία δεν μπορούν να μετρηθούν άμεσα.

Τα ολοκληρωμένα συστήματα μέτρησης φυσικών μεγεθών τα οποία εμπεριέχουν τον αισθητήρα (ή τους αισθητήρες), όσο και τις ηλεκτρονικές και μηχανικές διατάξεις που απαιτούνται για τη λειτουργία του συστήματος μέτρησης αναφέρονται και ως μετρητές (meters).

### **Στατικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων**

Στατικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων ονομάζονται κάποιες παράμετροι που χαρακτηρίζουν τους αισθητήρες. Τα χαρακτηριστικά αυτά επιτρέπουν, (α) την αξιολόγηση της ποιότητας του αισθητήρα και (β) επιτρέπουν την επιλογή του κατάλληλου αισθητήρα για τη συγκεκριμένη εφαρμογή μέτρησης.

Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να επεκταθούν και στα ηλεκτρονικά κυκλώματα που συνδέονται στην έξοδο του αισθητήρα για να επεξεργαστούν το σήμα του αισθητήρα(πχ. ενίσχυση, φιλτράρισμα, περιορισμός θορύβου, κλπ.). Σε αυτήν την περίπτωση το σήμα εισόδου είναι το σήμα εξόδου του αισθητήρα.

#### Ακρίβεια

Ο όρος ακρίβεια (accuracy) 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, γεγονός το οποίο μπορεί να διορθωθεί με βαθμονόμηση (διακρίβωση) του αισθητήρα.

#### Πιστότητα

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. Η πιστότητα δίνεται συνήθως «ως ποσοστό επί του εύρους λειτουργίας του αισθητήρα».

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.

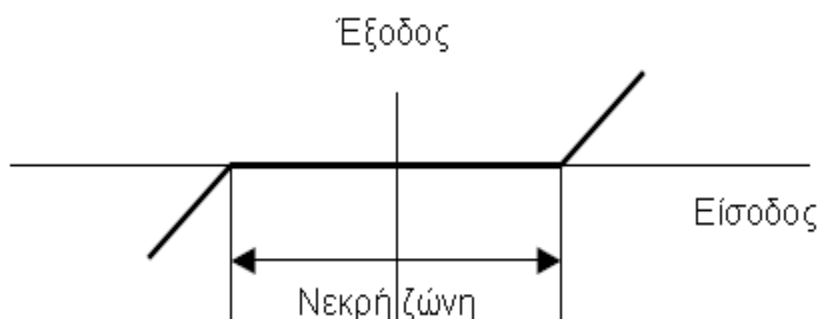
### Βαθμονόμηση

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.

### Νεκρή ζώνη

Νεκρή ζώνη (dead-zone, dead-band), αποκαλείται η περιοχή μετρήσεων(συνήθως γύρω από το μηδέν) για την οποία ο αισθητήρας δεν αποκρίνεται στις μεταβολές της μετρούμενης ποσότητας.



Σχήμα 1.4: Νεκρή ζώνη.

### Διαστάσεις

Οι διαστάσεις ενός αισθητήρα ή συστήματος μέτρησης είναι το μέτρο του φυσικού του μεγέθους και αναγράφονται σχεδόν πάντοτε στις προδιαγραφές του.

### Ολίσθηση

Ολίσθηση (drift) είναι η αργή μεταβολή του σήματος εξόδου του αισθητήρα, ενώ το μετρούμενο φυσικό μέγεθος παραμένει σταθερό. Μπορεί να οφείλεται σε παράγοντες, όπως η θερμοκρασία λειτουργίας, υγρασία κλπ.

Η μακροχρόνια ολίσθηση (long term drift) είναι η μεταβολή των χαρακτηριστικών του αισθητήρα με την πάροδο μεγάλου χρονικού διαστήματος και μπορεί να οφείλεται σε παράγοντες, όπως η διάβρωση τμημάτων του αισθητήρα, η ρύπανση του αισθητήρα, η γήρανση των υλικών κατασκευής κλπ.

### Σφάλμα

Το σφάλμα ισούται με τη διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη τιμή και την πραγματική τιμή μίας ποσότητας. Τα σφάλματα μπορούν συχνά να εκφράζονται επί τοις εκατό (%), οπότε τότε αντιπροσωπεύουν την ακρίβεια του συστήματος.

### Υστέρηση

Η υστέρηση προκαλεί διαφορές στην έξοδο που δίνει ένας αισθητήρας, όταν η κατεύθυνση μεταβολής της εισόδου αντιστραφεί. Με τον τρόπο αυτό παράγεται σφάλμα και επηρεάζεται η ακρίβεια της συσκευής.

Η γραφική παράσταση του παρακάτω σχήματος δείχνει τη διαφορά που υπάρχει στην έξοδο του αισθητήρα, όταν η μετρούμενη ποσότητα αυξάνεται ή μειώνεται. Αυτό το γεγονός ονομάζεται υστέρηση του συστήματος.

Δεν εμφανίζουν υστέρηση όλοι οι αισθητήρες και τα συστήματα μέτρησης. Η υστέρηση προκαλείται από διάφορους παράγοντες, ειδικότερα τη μηχανική τάση και την τριβή.



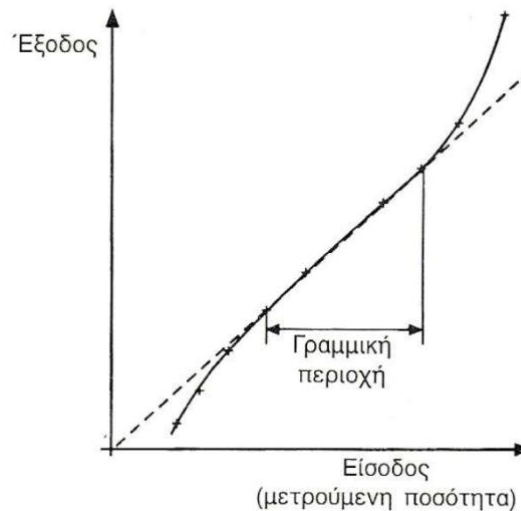
Σχήμα 1.5: Γραφική παράσταση του φαινομένου της υστέρησης.

### Καθυστέρηση

Καθυστέρηση (lag) ονομάζεται η καθυστέρηση της αλλαγής της τιμής εξόδου ενός αισθητήρα ως προς την αλλαγή της εισόδου του. Μετριέται σε δευτερόλεπτα ή συνθηθέστερα σε κλάσματα του δευτερολέπτου. Σε μερικές εφαρμογές, όπως είναι ο έλεγχος η καθυστέρηση μπορεί να επηρεάζει αποφασιστικά την απόδοση.

### Γραμμικότητα

Η γραμμικότητα (linearity) ενός αισθητήρα αποτελεί το βαθμό στον οποίο η γραφική παράσταση της εξόδου ως προς την είσοδο του αισθητήρα προσεγγίζει μία ευθεία γραμμή. Ένας αισθητήρας μπορεί να είναι γραμμικός σε μία περιοχή τιμών εισόδου όπως απεικονίζεται στο σχήμα 1.6. Επίσης, η γραμμικότητα μπορεί να εκφράζεται ως προς το μέγιστο βαθμό απόκλισης από την ευθεία γραμμή σε όλο το εύρος τιμών εισόδου και τότε αναφέρεται ως ποσοστό επί του εύρους λειτουργίας.



Σχήμα 1.6: Γραμμικότητα.

### 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.

### Επαναληψιμότητα

Η επαναληψιμότητα μίας συσκευής είναι ο βαθμός στον οποίο αυτή παράγει το ίδιο αποτέλεσμα, όταν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές τροφοδοτείται με ακριβώς την ίδια είσοδο. Στα αγγλικά αποδίδεται με τη λέξη «precision», η οποία συχνά συγχέεται με την καθημερινή έννοια της ακρίβειας (accuracy).

Εντούτοις, στην ορολογία των συστημάτων μέτρησης ένας αισθητήρας μπορεί να έχει υψηλή επαναληψιμότητα και να δίνει παρόμοια έξοδο όταν μετρά πολλές φορές μία συγκεκριμένη είσοδο, αλλά, εάν υπάρχει σημαντικό σφάλμα στην έξοδο τότε η έξοδος δεν είναι ακριβής.

### 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.

### Διακριτική ικανότητα

Η διακριτική ικανότητα (resolution) με την οποία μία συσκευή ή ένας αισθητήρας ανιχνεύει ή εμφανίζει μία τιμή αναφέρεται στην μικρότερη είσοδο ή αλλαγή εισόδου που μπορεί αυτός να ανιχνεύσει. Εκφράζεται συνήθως ως προς το μικρότερο διάστημα που μπορεί να ανιχνευθεί ή μετρηθεί. Όσο μεγαλύτερη είναι η διακριτική ικανότητα ενός ενδείκτη, τόσο μικρότερο είναι το βήμα που μπορεί ο αισθητήρας να μετρήσει.

### 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.

### Στατικό σφάλμα

Το στατικό σφάλμα (static error) είναι ένα σταθερό σφάλμα που υπεισέρχεται καθ' όλο το εύρος τιμών εισόδου μίας συσκευής. Εάν αυτό το σφάλμα είναι γνωστό, τότε μπορεί να αντισταθμιστεί χωρίς να υπάρξει υποβάθμιση της ακρίβειας του συστήματος.

### Ανοχή

Η ανοχή (tolerance) μίας συσκευής είναι το μέγιστο ποσό σφάλματος που μπορεί να υπάρξει κατά τη διάρκεια λειτουργίας της. Ανάλογα με τη φύση της συσκευής μπορεί συχνά να αναφέρεται η ανοχή αντί της ακρίβειας στις προδιαγραφές.

## Ευαισθησία

Η ευαισθησία (sensitivity) εκφράζει τη σχέση ανάμεσα στην αλλαγή της εξόδου και την αντίστοιχη αλλαγή της εισόδου, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Η ευαισθησία ενός αισθητήρα είναι ίση με τη διαφορά των τιμών εξόδου προς τη διαφορά των αντίστοιχων τιμών της εισόδου, δηλαδή της μετρούμενης ποσότητας.

Άρα είναι:

$$\text{Ευαισθησία} = \frac{\text{μέγιστη τιμή εξόδου} - \text{ελάχιστη τιμή εξόδου}}{\text{μέγιστη τιμή εισόδου} - \text{ελάχιστη τιμή εισόδου}}$$

Οι μονάδες στις οποίες μετριέται η ευαισθησία ορίζονται από την παραπάνω εξίσωση και επομένως διαφέρουν ανάλογα με τη φύση του αισθητήρα και τη μετρούμενη ποσότητα. Για παράδειγμα, υπάρχουν αισθητήρες που μετρούν μικρές αποστάσεις όπου κινείται κάποιο αντικείμενο και παρέχουν τάση. Στην περίπτωση αυτή η ευαισθησία θα εκφράζεται σε volt ανά mm.

Εάν η σχέση ανάμεσα στη μετρούμενη ποσότητα και την έξοδο είναι γραμμική, η ευαισθησία μπορεί να εκφράζεται ως προς το όλο εύρος. Εάν δεν είναι γραμμική, τότε η ευαισθησία της συσκευής θα διαφέρει από περιοχή και θα αναφέρεται ως προς συγκεκριμένες περιοχές τιμών εισόδου.

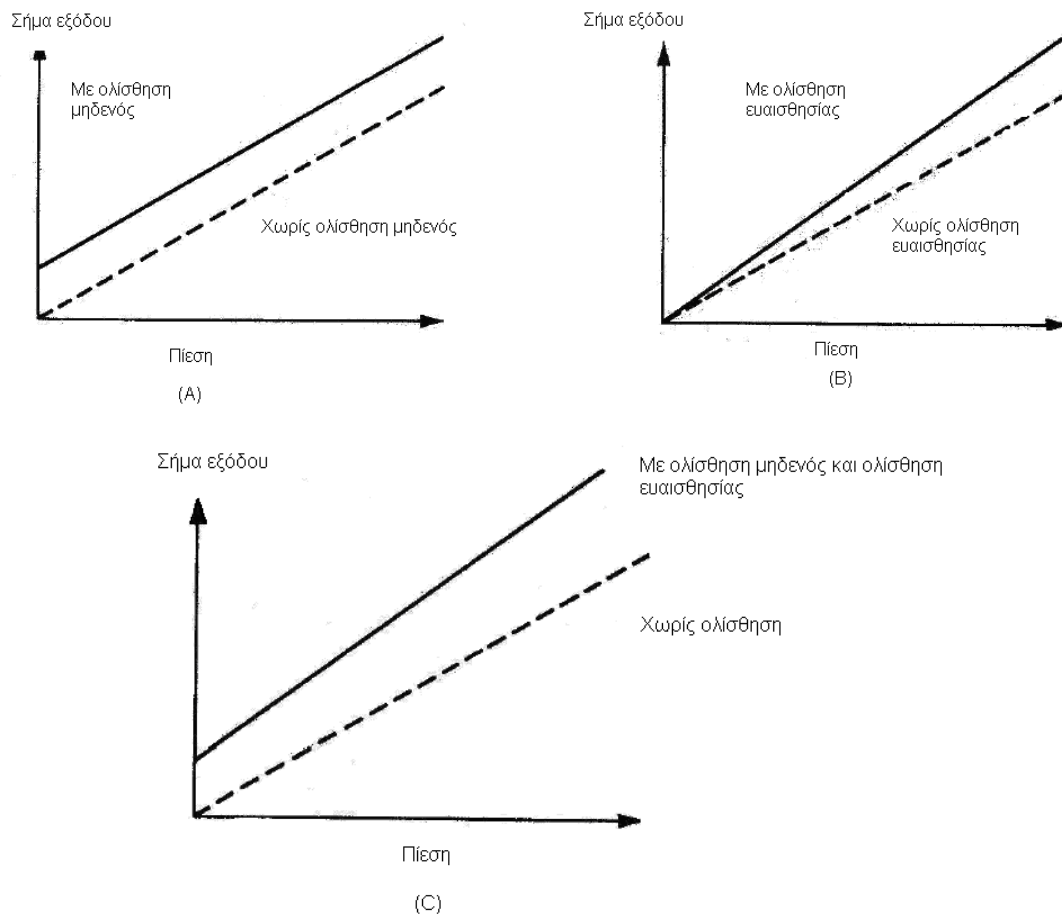
## Ευαισθησία στη διαταραχή

Η βαθμονόμηση και τα χαρακτηριστικά ενός αισθητήρα ισχύουν, όταν αυτό λειτουργεί εντός συγκεκριμένου εύρους περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η σχετική υγρασία κ.λ.π. Το εύρος καθορίζεται από τον κατασκευαστή του αισθητήρα.

Μεταβολή κάποιας από τις παραμέτρους αυτές ενδέχεται να μεταβάλλει κάποιο από τα στατικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα. Η μεταβολή αυτή ορίζεται ως η ευαισθησία στη διαταραχή. Τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα που μεταβάλλονται είναι κυρίως δύο και είναι γνωστά ως ολίσθηση του μηδενός (zero drift) και 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.

Μετριέται συνήθως σε °C-1 στην περίπτωση (π.χ. βολτόμετρου το οποίο έχει επηρεαστεί από τη μεταβολή της θερμοκρασίας). Αν ένας αισθητήρας επηρεάζεται από

περισσότερες από μία περιβαλλοντικές παραμέτρους, τότε αυτός χαρακτηρίζεται από αντίστοιχες σε αριθμό ολισθήσεις του μηδενός. Χαρακτηριστική ολίσθηση μηδενός αισθητήρα πίεσης, φαίνεται στο Σχήμα 1.7.



Σχήμα 1.7: α) Ολίσθηση μηδενός, β) Ολίσθηση ευαισθησίας και γ) Συνδυασμένη επίδραση των δύο ολισθήσεων.

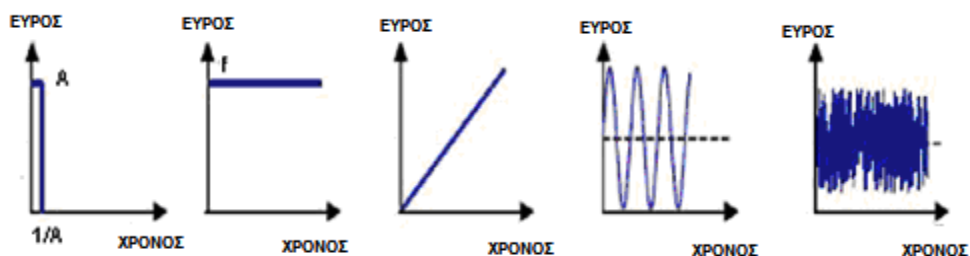
### Δυναμικά χαρακτηριστικά αισθητήρων

Η απόκριση ενός αισθητήρα σε ένα μεταβαλλόμενο σήμα εισόδου είναι διαφορετική από την απόκριση του σε ένα σταθερό ή αργά μεταβαλλόμενο σήμα εισόδου.

Η απόκριση χαρακτηρίζεται από μια δυναμική συμπεριφορά που δε μπορεί να περιγράψει ικανοποιητικά από τα στατικά χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι λόγοι αυτής της διαφοροποίησης είναι ότι οι αισθητήρες περιλαμβάνουν στοιχεία που συσσωρεύουν ενέργεια όπως μάζες, πυκνωτές, επαγωγικά ή θερμικά στοιχεία κ. α.



Τα δυναμικά χαρακτηριστικά ενός αισθητήρα προσδιορίζονται εξετάζοντας την απόκριση του σε διάφορες κυματομορφές του σήματος εισόδου. Αυτές μπορεί να είναι κυματομορφές ώθησης, βήματος, γραμμικές, ημιτονοειδείς ή θορύβου.



Σχήμα 1.8: Κυματομορφές ώθησης, βήματος, γραμμικές, ημιτονοειδείς ή θορύβου.

Χαρακτηριστικά	Ιδανική τιμή
Απόκριση	Γραμμική
Αρχική τιμή εξόδου	Μηδέν
Χρόνος απόκρισης	Μηδέν
Εύρος συχνοτήτων	Άπειρο
Χρόνος ως το 90 %	Μηδέν
Ένδειξη πλήρους κλίμακας	Βαθμονομημένη μέγιστη έξοδος
Περιοχή λειτουργίας	Άπειρη
Ευαισθησία	Υψηλή και σταθερή
Διακριτική ικανότητα	Άπειρη

Πίνακας 1.1: Επιθυμητά χαρακτηριστικά αισθητήρα.

Τα ιδανικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένας αισθητήρας αναγράφονται συνοπτικά στον πίνακα 1.1, σ' ένα όμως πραγματικό αισθητήρα η συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά του διαφέρουν αρκετά. Οι αιτίες είναι τόσο τα κατασκευαστικά προβλήματα που προκύπτουν όσο και οι περιβαλλοντικοί παράγοντες, που επηρεάζουν τη λειτουργία του, επιπλέον αν ο αισθητήρας συνοδεύεται από κάποιο ηλεκτρονικό κύκλωμα, τότε αυτό το κύκλωμα μπορεί επίσης να επιβάλλει περιορισμούς στην λειτουργία του.

## 1.3 Κατηγορίες αισθητήρων

### 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.

### Αισθητήρες Laser

#### 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.

### 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.

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.

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

### 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.

### **Αισθητήρες Πίεσεως**

Η πίεση και η μηχανική τάση έχουν τον ίδιο βασικό ορισμό, καθώς αποτελούν μέτρα της δύναμης που ασκείται πάνω σε μία επιφάνεια.

Επομένως μετρούνται και τα δύο με τις ίδιες μονάδες, που είναι «νιούτον ανά τετραγωνικό μέτρο(Nm<sup>2</sup>)». Η λέξη πίεση αποτελεί ένα γενικό όρο και γενικά είναι μία μορφή μηχανικής τάσης. Όταν αναλύουμε τη δύναμη που παράγεται από ένα ρευστό, για παράδειγμα τον αέρα ή κάποιο υγρό, χρησιμοποιούμε συνήθως τη λέξη «πίεση». Η δύναμη που προκαλείται από ένα στερεό αντικείμενο ή ασκείται σε ένα στερεό αντικείμενο, αναφέρεται ως μηχανική τάση.

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.

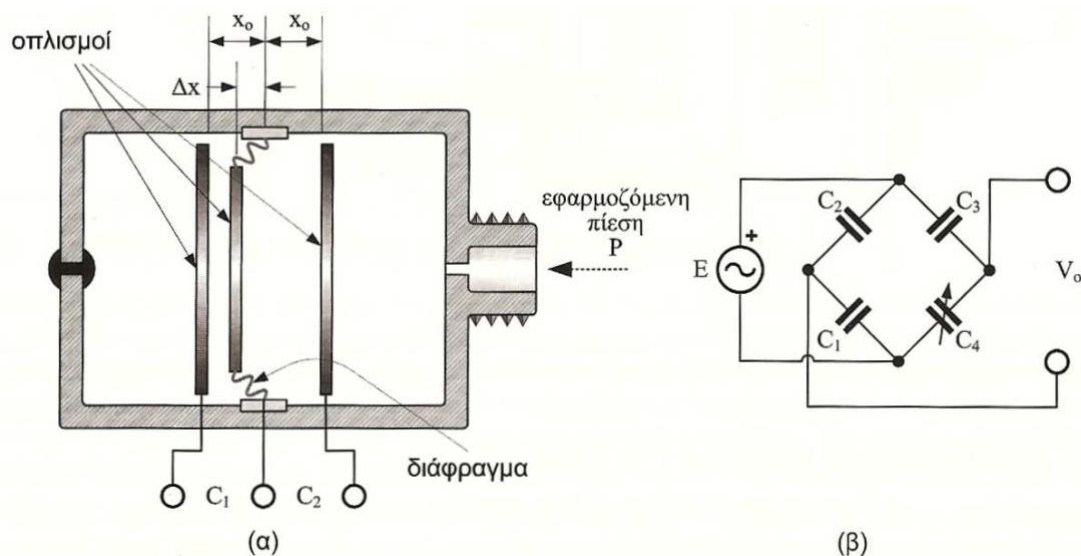
### Ελαστικοί αισθητήρες πίεσης

Οι ελαστικοί αισθητήρες πίεσης (elastic pressure sensors) ονομάζονται έτσι, επειδή κάποιο τμήμα τους μπορεί να καμφθεί, να τεντωθεί ή παροδικά να παραμορφωθεί, όταν εφαρμόζεται σε αυτό μία πίεση. Οι ελαστικοί αισθητήρες πίεσης αρχικά μετατρέπουν την πίεση σε μετατόπιση. Ένας μετρητής πίεσης με σωλήνα Bourdon μπορεί να χρησιμοποιηθεί γι' αυτή τη μέτρηση.

Μερικοί αισθητήρες πίεσης ονομάζονται με βάση, τη μέθοδο που χρησιμοποιούν για να μετρούν αυτήν την μετατόπιση, όπως οι πιεζοηλεκτρικοί και οι χωρητικοί αισθητήρες πίεσης.

### Χωρητικοί Αισθητήρες Πίεσης

Η κατασκευή ενός χωρητικού αισθητήρα απόλυτης πίεσης απεικονίζεται στο σχήμα 1.9. Το διάφραγμα βρίσκεται ανάμεσα σε δύο οπλισμούς, οπότε το διάφραγμα και κάθε οπλισμός 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.

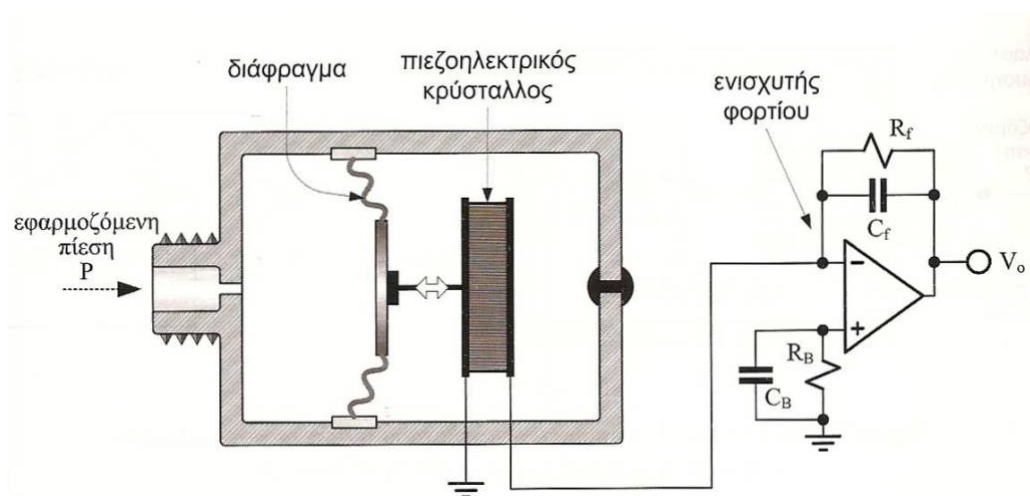


Σχήμα 1.9: Χωρητικός αισθητήρας απόλυτης πίεσης : (α) Η κατασκευή και (β) Η γέφυρα μέτρησης.

### 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 1.10.

Όταν εφαρμόζεται η μετρούμενη πίεση προκαλείται μετατόπιση του διαφράγματος. Για τη μέτρηση αυτής της μετατόπισης χρησιμοποιείται ένας πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος.



Σχήμα 1.10: Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας απόλυτης πίεσης με τον αντίστοιχο ενισχυτή φορτίου.

### Αισθητήρες Θερμοκρασίας

Θερμοκρασία ονομάζεται ο βαθμός κατά τον οποίο ένα σώμα, ουσία ή μέσο είναι θερμό σε σύγκριση με κάποιο άλλο. Όταν μετράμε τη θερμοκρασία συγκρίνουμε το βαθμό θερμότητας με κάποιο άλλο συγκεκριμένο σημείο αναφοράς χρησιμοποιώντας κάποιες θερμοκρασιακές κλίμακες.

Η θερμοδυναμική κλίμακα Κέλβιν χρησιμοποιεί το απόλυτο μηδέν ως σημείο αναφοράς. Η κλίμακα Κελσίου χρησιμοποιεί ως πρώτο σημείο αναφοράς το σημείο πήξης του νερού (0 °C) και ως δεύτερο σημείο αναφοράς το σημείο βρασμού του νερού (100 °C). Η θερμοκρασία είναι ένα από τα συνηθέστερα μετρούμενα φυσικά μεγέθη.

Για το λόγο αυτό ο αριθμός των αισθητήριων και των τρόπων μέτρησης είναι ένας μακρύς δρόμος. Η μέτρηση της θερμοκρασίας μπορεί να γίνει με αισθητήρες επαφής και υπερέθρων.

### Αισθητήρες Θερμοκρασίας με επαφή

Σε εφαρμογές μέτρησης θερμοκρασίας συναντάμε συνήθως θερμοζεύγη επαφής και θερμοαντιστάσεις (RTD). Στα RTD η αγωγιμότητα αυξάνεται όσο αυξάνεται και η θερμοκρασία. Ο θετικός αυτός συντελεστής ονομάζεται «Άλφα» και εξαρτάται από το υλικό που είναι κατασκευασμένο το RTD. Για παράδειγμα, ο χαλκός έχει συντελεστή 0,0038, η πλατίνα 0,0039, το βολφράμιο 0,0045 και το νικέλιο 0,0067.

Η καρδιά ενός τυπικού RTD είναι ένα αισθητήριο στοιχείο κατασκευασμένο από μία συρμάτινη πλατίνα περιτριγυρισμένη από ένα κεραμικό πηνίο.

Το στοιχείο αυτό προσεχτικά τοποθετημένο και ακινητοποιημένο ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος καταστροφής και καταπόνησης. Επίσης η βάση του είναι από ανοξείδωτο ατσάλι με τέτοιο τρόπο, ώστε να παρέχει καλή μεταφορά θερμοκρασίας και προστασία από την υγρασία.

Εξαιτίας της μεγάλης ηλεκτρικής εξόδου, το RTD παρέχει ακρίβεια στην είσοδο σε καταγραφικά, ελεγκτές, σαρωτές και υπολογιστές. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα του είναι το μέγεθός του, αφού δεν ξεπερνάει το μέγεθος της μύτης ενός μολυβιού. Στα πλεονεκτήματα συγκαταλέγονται η αποδοτικότητα και η γραμμικότητά του και γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται περισσότερο από κάθε άλλο αισθητήρα.

Ο πίνακας που ακολουθεί αναφέρεται στις θερμοκρασίες και στις αντίστοιχες τιμές της αντίστασης του RTD.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (F)	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ω)
0	93,01
32	100
100	114,68
200	135,97
300	156,90
400	177,47
500	197,70
600	217,56
700	237,06
800	256,21
900	274,99

Πίνακας 1.2: Αναφορά θερμοκρασιών και αντίστοιχων τιμών αντιστάσεων RTD.

#### 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 αντικειμένου 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.

#### **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.

#### 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:

- Προσέγγισης χωρητικοί
- Χωρητικότητας
- Φωτοκύτταρων
- Υπερήχων
- 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.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι από απλούς μεταδότες στάθμης 4-20mA μέχρι έξυπνα συστήματα επιτήρησης, ελέγχου και καταγραφής.



### **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  $g/m^3$ .

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.

### **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 (διανύμενη 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 ( $m^3/h$ ).

### **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. αντιακρηκτικού τύπου).

#### Τύποι Αισθητήρα (GAS SENSOR)

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι αισθητήρα είναι:

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

Χρησιμοποιούνται πολύ συχνά, κυρίως για ανίχνευση εκρηκτικών αερίων.

- Ηλεκτροχημικοί (Electrochemical type).

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

- Υπέρυθροι (IR).

Χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση τοξικών αερίων σε χαμηλή συγκέντρωση.

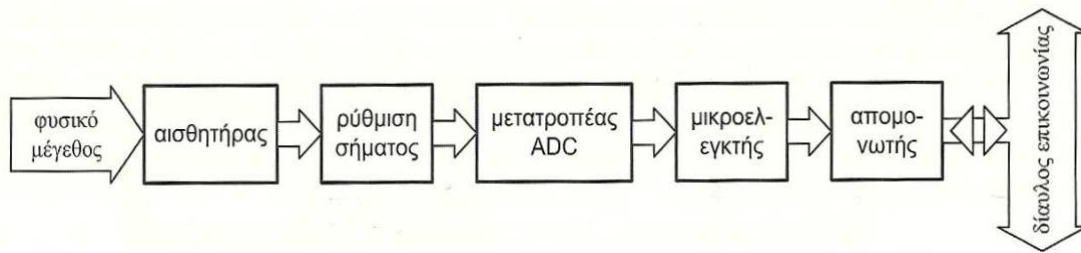
## 1.4 Έξυπνοι αισθητήρες

Ο «έξυπνος αισθητήρας (smart sensor)» είναι η συσκευή πάνω στην οποία έχει ολοκληρωθεί τουλάχιστον ένα αισθητήριο στοιχείο και ένα κύκλωμα επεξεργασίας σήματος. Ο όρος έξυπνος (smart) διατηρείται για να δηλώσει την επιμέρους ή την ολοκληρωτική ενσωμάτωση της κύριας μονάδας επεξεργασίας, η οποία προσθέτει ευφυΐα.

Υπάρχει μία μικρή σύγχυση στον πρακτικό αυτό ορισμό, διότι όλοι οι έξυπνοι αισθητήρες πρέπει να είναι ολοκληρωμένοι και ευφυείς, ενώ κάθε αισθητήρας που έχει σημαντική ευφυΐα αλλά δεν είναι πλήρως ενσωματωμένος μπορεί να ονομαστεί ευφυΐας αισθητήρας (intelligent sensor).

Εξίσου, ο ορισμός που προτάθηκε από τους Breckenbridge και Husson λαμβάνει κατά κάποιο τρόπο υπόψη την δουλειά, που έχει γίνει στην τεχνητή νοημοσύνη και έχει ως εξής: «Ο έξυπνος αισθητήρας από μόνος του έχει μία λειτουργία επεξεργασίας δεδομένων, όπως και μία λειτουργία αυτόματης βαθμονόμησης ή αυτόματης αντιστάθμισης, κατά την οποία ο αισθητήρας ανιχνεύει και εξαλείφει τις μη κανονικές ή τις ακραίες τιμές. Ενσωματώνει έναν αλγόριθμο, ο οποίος είναι δυνατό να τροποποιηθεί και να έχει ένα συγκεκριμένο βαθμό λειτουργιών μνήμης.»

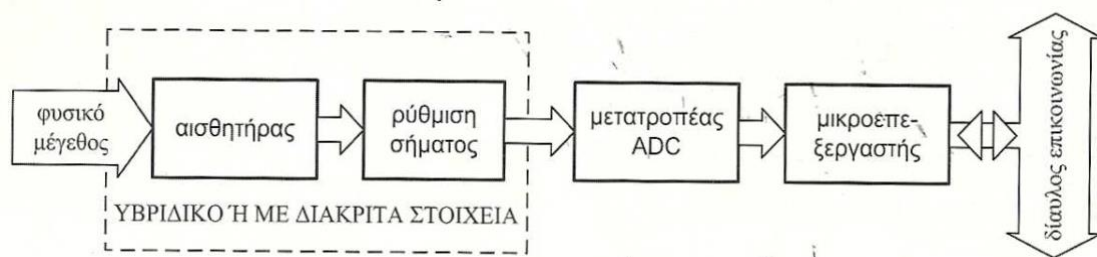
Οι μέθοδοι σχεδιασμού διατάξεων αισθητήρων έχουν εξελιχθεί χρονικά σε διάφορα στάδια. Οι αισθητήρες «1ης γενιάς» συνδέονται με στοιχειώδη (ή καθόλου) ηλεκτρονικά κυκλώματα ενίσχυσης και επεξεργασίας του σήματος τους, ενώ οι αισθητήρες «2ης γενιάς» αποτελούν τμήμα αναλογικών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στα οποία η ρύθμιση και η επεξεργασία του σήματος του αισθητήρα γίνεται μακριά από τον αισθητήρα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.10.



Σχήμα 1.10: Παραστατικό διάγραμμα ενός αισθητήρα 2ης γενιάς.

Στους αισθητήρες «3ης γενιάς», ο αισθητήρας και η μονάδα ρύθμισης του σήματος του αισθητήρα αποτελούνται, είτε από διακριτά στοιχεία (ολοκληρωμένα κυκλώματα και παθητικά στοιχεία) στο ίδιο άρθρωμα (module), είτε κατασκευάζονται σε υβριδικά ολοκληρωμένα κυκλώματα.

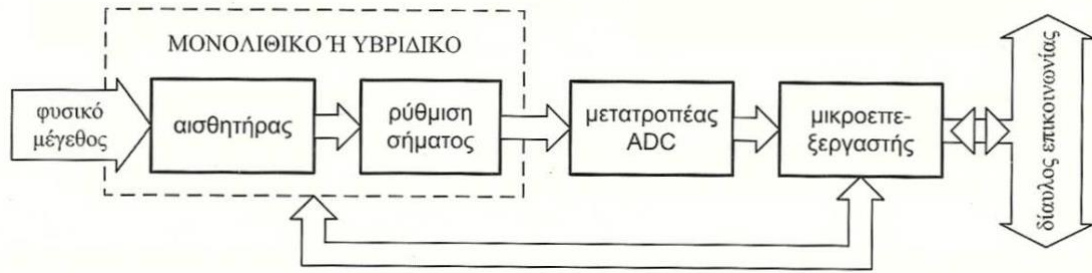
Η μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και η επεξεργασία των μετρήσεων γίνονται από μετατροπέα A/D και μικροεπεξεργαστή, που βρίσκονται εκτός της διάταξης του αισθητήρα. Το λειτουργικό διάγραμμα ενός αισθητήρα «3ης γενιάς» φαίνεται στο σχήμα 1.11.



Σχήμα 1.11: Σχήμα 3.1.2 Λειτουργικό διάγραμμα αισθητήρα 3ης γενιάς.

Στους αισθητήρες «4ης γενιάς», ο αισθητήρας και τα κυκλώματα ρύθμισης του σήματος του αισθητήρα κατασκευάζονται στο ίδιο μονολιθικό ή υβριδικό ολοκληρωμένο κύκλωμα, ενώ ο μετατροπέας A/D και τα ψηφιακά κυκλώματα επεξεργασίας και επικοινωνίας υλοποιούνται με διακριτά στοιχεία και βρίσκονται εκτός της διάταξης του αισθητήρα.

Η διάταξη του αισθητήρα παράγει αναλογική έξοδο και μπορεί να έχει αμφίδρομη διασύνδεση με το μικροεπεξεργαστή, καθώς και δυνατότητες αυτοελέγχου (self-testing). Το λειτουργικό διάγραμμα ενός αισθητήρα «4ης γενιάς» παρουσιάζεται στο σχήμα 1.12.



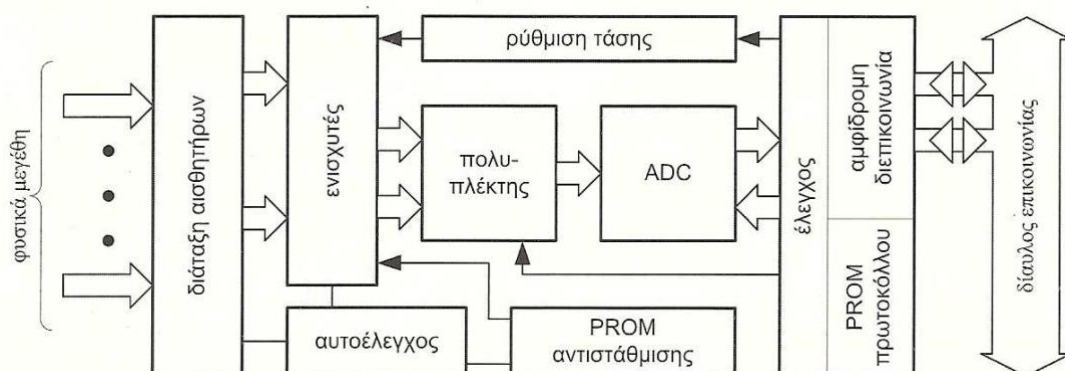
Σχήμα 1.12: Λειτουργικό διάγραμμα αισθητήρα 4ης γενιάς.

Στους αισθητήρες «5ης γενιάς», ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό βρίσκεται στο ίδιο μονολιθικό ή υβριδικό ολοκληρωμένο κύκλωμα με τον αισθητήρα και το ρυθμιστή του σήματος του αισθητήρα.

Ανάλογα με τη σχεδίαση τους, αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να παράγουν ψηφιακή έξοδο με δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας με μικροελεγκτή ή Η/Υ ή να υποστηρίζουν το κατάλληλο πρωτόκολλο για την επικοινωνία με το σύστημα υποδοχής (πχ. Η/Υ, μικροελεγκτής, κλπ.) μέσω συστήματος διαύλου πεδίου (CAN, Foundation Fieldbus κλπ.) ή μέσω ασύρματου δικτύου.

Επίσης, περιλαμβάνουν δυνατότητες: (α) μέτρησης σημάτων από πολλούς αισθητήρες, (β) αυτοελέγχου (ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων των μετρήσεων) και (γ) αντιστάθμισης παραγόντων που επηρεάζουν τη λειτουργία του αισθητήρα (πχ. θερμοκρασία, υγρασία, κλπ).

Όλες οι παραπάνω λειτουργίες υλοποιούνται με κυκλώματα που αποτελούν τις διατάξεις ρύθμισης και επεξεργασίας του σήματος του αισθητήρα και κατασκευάζονται στο ίδιο μονολιθικό ή υβριδικό ολοκληρωμένο κύκλωμα με τον αισθητήρα. Το λειτουργικό διάγραμμα ενός αισθητήρα «5ης γενιάς» φαίνεται στο σχήμα 1.13.



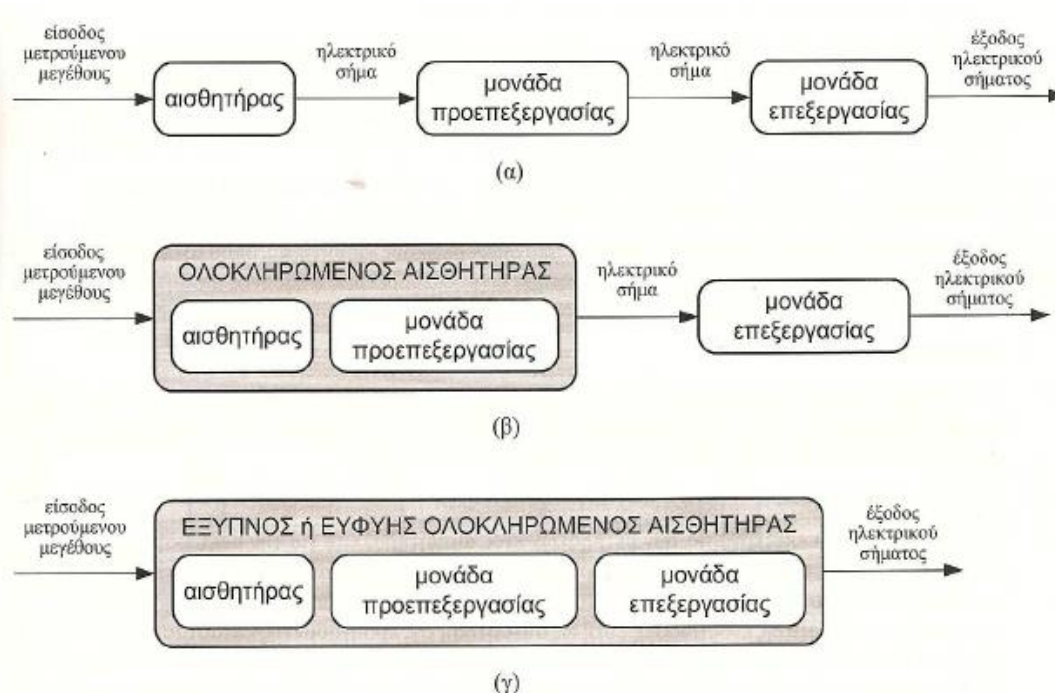
Σχήμα 1.13: Αισθητήρας 5ης γενιάς που έχει κατασκευαστεί με τεχνολογία VLSI.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι διατάξεις μέτρησης με αισθητήρες μπορούν να ταξινομηθούν σε σχέση με τον τρόπο κατασκευής τους, στις ακόλουθες κατηγορίες:

**1.** Ο αισθητήρας, η μονάδα προεπεξεργασίας, που πραγματοποιεί τη ρύθμιση του σήματος του αισθητήρα (πχ. ενίσχυση, φιλτράρισμα κλπ.) και η μονάδα επεξεργασίας, που υπολογίζει το μετρούμενο μέγεθος σύμφωνα με τις μετρήσεις που παρέχει ο αισθητήρας αποτελούνται από διακριτά κυκλώματα, σχήμα 1.14(α). Όλοι οι αισθητήρες «1ης και 2ης γενιάς», καθώς και μερικοί από τους αισθητήρες «3ης γενιάς» ανήκουν σε αυτή την κατηγορία.

**2.** Ο αισθητήρας και η μονάδα προεπεξεργασίας κατασκευάζονται πάνω στο ίδιο μονολιθικό ή υβριδικό ολοκληρωμένο κύκλωμα και αποτελούν έναν ολοκληρωμένο αισθητήρα, σχήμα 1.14(β). Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν μερικοί από τους αισθητήρες «3ης γενιάς» και όλοι οι αισθητήρες «4ης γενιάς».

**3.** Τόσο ο αισθητήρας, όσο και οι μονάδες προεπεξεργασίας και επεξεργασίας περιλαμβάνονται στο ίδιο υβριδικό ή μονολιθικό ολοκληρωμένο κύκλωμα και αποτελούν έναν έξυπνο ή ευφυή ολοκληρωμένο αισθητήρα (smart sensor), σχήμα 1.14(γ). Οι αισθητήρες «5ης γενιάς» ανήκουν σε αυτή την κατηγορία.



Σχήμα 1.14: Ταξινόμηση διατάξεων αισθητήρων σε σχέση με τον τρόπο κατασκευής τους: (α) Σύστημα αισθητήρα με διακριτά κυκλώματα προεπεξεργασίας και επεξεργασίας, (β) Ολοκληρωμένος αισθητήρας και (γ) Έξυπνος αισθητήρας.

## 1.5 Χαρακτηριστικά λειτουργίας έξυπνων αισθητήρων

Σε έναν έξυπνο αισθητήρα, εκτός από τον υπολογισμό του μετρούμενου μεγέθους, η μονάδα επεξεργασίας πραγματοποιεί λειτουργίες όπως:

- αυτοέλεγχο,
- πολυανίχνευση (multisensing),
- αυτόματη βαθμονόμηση (auto-calibration),
- επικοινωνία με αναλογικούς και ψηφιακούς διαύλους επικοινωνίας (πχ. 4-20 mA, RS232, κλπ.),
- έλεγχο ενεργοποιητών, κλπ.

Ανάλογα με την εφαρμογή, η έξοδος ενός έξυπνου αισθητήρα μπορεί να είναι αναλογική ή ψηφιακή. Έτσι, ο αισθητήρας μετασχηματίζεται από ένα απλό παθητικό εξάρτημα σε ένα ολοκληρωμένο περιφερειακό υποσύστημα μιας διάταξης μέτρησης και ελέγχου. Η ανάπτυξη των έξυπνων αισθητήρων συμβάλλει στη μείωση του μεγέθους και του κόστους των συστημάτων μέτρησης, καθώς η ρύθμιση και η επεξεργασία του σήματος του αισθητήρα γίνονται εσωτερικά σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, χωρίς να απαιτούνται εξωτερικές ηλεκτρονικές διατάξεις και καλωδιώσεις. Επιπλέον σημαντικές λειτουργίες οι οποίες εκτελούνται σε μία διάταξη έξυπνου αισθητήρα είναι οι ακόλουθες:

### α. Έλεγχος της διέγερσης του αισθητήρα (sensor excitation)

Παράδειγμα εφαρμογής αυτής της λειτουργίας είναι η μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας μιας γέφυρας Wheatstone, η οποία αποτελείται από ημιαγωγικούς πιεζοαντιστάτες, με σκοπό την αντιστάθμιση της μεταβολής της ευαισθησίας τους με τη θερμοκρασία. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις είναι επιθυμητό να διακόπτεται η παροχή τροφοδοσίας στον αισθητήρα για εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας (πχ. όταν η διάταξη μέτρησης τροφοδοτείται από συσσωρευτή).

### β. Ενίσχυση του σήματος το οποίο παράγει ο αισθητήρας

Στην περίπτωση πολλών αναλογικών εισόδων από διαφορετικούς αισθητήρες, όπου το απαιτούμενο κέρδος για την ενίσχυση του σήματος κάθε αισθητήρα είναι διαφορετικό, ο έξυπνος αισθητήρας μπορεί να περιλαμβάνει αναλογικό πολυπλέκτη και ενισχυτή προγραμματιζόμενου κέρδους.

### γ. Μετατροπή A/D

Ο μετατροπέας απόκτησης δεδομένων σε ψηφιακό (A/D) αποτελεί βασική μονάδα των ψηφιακών συστημάτων και χρησιμοποιείται για την παραγωγή της ψηφιακής αναπαράστασης της επιθυμητής στιγμιαίας τιμής ενός αναλογικού σήματος εισόδου (τάση ή ρεύμα), ώστε να είναι κατάλληλη για περαιτέρω ψηφιακή επεξεργασία. Συγκρίνει το αναλογικό σήμα εισόδου με ένα αναλογικό σήμα αναφοράς (τάση ή ρεύμα) και η ψηφιακή λέξη η οποία παράγεται εκφράζει το ποσοστό της τιμής του σήματος εισόδου ως προς το σήμα αναφοράς. Επιτρέπει επίσης την εφαρμογή αλγορίθμων ψηφιακής επεξεργασίας σήματος μέτρησης μέσα στο ολοκληρωμένο κύκλωμα του έξυπνου αισθητήρα.

Με αυτό τον τρόπο γίνεται η διασύνδεση του έξυπνου αισθητήρα με ψηφιακά συστήματα συλλογής δεδομένων και με συστήματα διαύλου πεδίου.

#### δ. Επεξεργασία σήματος

Για την βελτίωση της ποιότητας των μετρήσεων (πχ. φιλτράρισμα, αύξηση γραμμικότητας, αντιστάθμιση θερμοκρασίας κλπ.) ή για τον υπολογισμό ενός μεγέθους ως συνάρτηση των μετρήσεων διαφορετικών αισθητήρων, απαιτείται επεξεργασία των μετρήσεων του αισθητήρα. Σε έναν έξυπνο αισθητήρα η διαδικασία της επεξεργασίας σήματος μπορεί να υλοποιείται με αναλογικά ή ψηφιακά κυκλώματα περιλαμβάνοντας σημαντικές λειτουργίες όπως η αυτόματη βαθμονόμηση.

Η διαδικασία της βαθμονόμησης του αισθητήρα πραγματοποιείται από κατάλληλα αναλογικά ή ψηφιακά κυκλώματα, τα οποία έχουν κατασκευαστεί μέσα στο ολοκληρωμένο κύκλωμα του έξυπνου αισθητήρα.

Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αυτόματη βαθμονόμηση (auto-calibration).

Η δυνατότητα αυτή συμβάλλει στην ταχύτερη βαθμονόμηση των έξυπνων αισθητήρων κατά τη βιομηχανική και με χαμηλότερο κόστος παραγωγή τους. Ο έξυπνος αισθητήρας μπορεί να εφαρμόσει αυτή τη διαδικασία σε ένα σύστημα μέτρησης σε τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε να μειώσει την επίδραση της ολίσθησης των χαρακτηριστικών λειτουργίας του πάνω στην ακρίβεια των μετρήσεων.

Το σήμα βαθμονόμησης XREF, το οποίο παράγεται εσωτερικά στο ολοκληρωμένο κύκλωμα του έξυπνου αισθητήρα με τη βοήθεια ενός ενεργοποιητή χρησιμοποιείται ως διέγερση του αισθητήρα ταυτόχρονα με την εξωτερική διέγερση XEXT, η οποία μετράται από τον έξυπνο αισθητήρα. Η απόκριση η οποία οφείλεται στην εσωτερικά παραγόμενη διέγερση YREF, διαχωρίζεται από την απόκριση YEXT, η οποία

οφείλεται στη μετρούμενη διέγερση ΧΕΧΤ. Στη συνέχεια, το παραγόμενο σήμα YREF συγκρίνεται με γνωστό σήμα αναφοράς.

## **1.6 Εφαρμογές έξυπνων αισθητήρων**

### Περιβαλλοντικές εφαρμογές

Όσον αφορά το τομέα του περιβάλλοντος η εφαρμογή των αισθητήρων μπορεί να είναι άμεση. Άλλωστε η προστασία του περιβάλλοντος από διάφορες καταστροφές αποτελεί ένα μείζον θέμα και ίσως ένα από τα κυριότερα προβλήματα της εποχής μας και κάθε είδους τεχνολογία η οποία αποσκοπεί στην επίλυση του, έστω και μερικά, είναι ευπρόσδεκτη να προσφέρει πιθανές λύσεις.

Οι αισθητήρες, διασκορπισμένοι σε κατάλληλα σημεία σε ένα δάσος, θα μπορούσαν να φανούν πολύ χρήσιμοι στην ανίχνευση εστιών πυρκαγιάς και στην έγκαιρη ενημέρωση των υπευθύνων, όπως και στη πιθανή καταγραφή και τον εντοπισμό των δραστών. Άμεσο αποτέλεσμα αυτής της κίνησης θα ήταν η κινητοποίηση και κατά συνέπεια η αποφυγή των εκτεταμένων ζημιών και η διάσωση πολλών περιουσιών από τις φλόγες.

Επιπλέον, οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη παρακολούθηση της άγριας ζωής. Πιο συγκεκριμένα, στο νησί Great Duck κοντά την ακτή του Maine των ΗΠΑ, οι επιστήμονες χρησιμοποιούν ένα πρότυπο δίκτυο αισθητήρων για να ελέγχουν τις δυσπρόσιτες φωλιές των θαλάσσιων πουλιών.

Κόμβοι – αισθητήρες όπου δεν ξεπερνούν σε μέγεθος ένα μικρό νόμισμα, τοποθετούνται στις σπηλιές όπου βρίσκονται οι φωλιές και ελέγχουν συνεχώς μεγέθη όπως η φωτεινότητα, η θερμοκρασία και η βαρομετρική πίεση. Οι μετρήσεις αυτές μεταδίδονται σε τοπικούς υπολογιστές των επιστημονικών εγκαταστάσεων και κατόπιν, σε πραγματικό χρόνο, στο εργαστήριο για την επεξεργασία και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Με αυτό το τρόπο οι βιολόγοι έχουν τη δυνατότητα να συλλέξουν τις πληροφορίες τις οποίες θέλουν για την παρατήρηση των πουλιών και την προστασία του βιότοπου, με την ελάχιστη δυνατή ανθρώπινη παρέμβαση.

Επιπλέον παράδειγμα αποτελεί το σύστημα το οποίο έχει δημιουργήσει το πανεπιστήμιο του Princeton, το λεγόμενο “Zebnet” για τη παρακολούθηση της μετανάστευσης, της συνύπαρξης με άλλα είδη και της νυχτερινής συμπεριφοράς των πληθυσμών ζέμπρας στην Αφρική.



Επιπροσθέτως, τα δίκτυα αισθητήρων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο πλημμυρών, αλλά και σε πολλές άλλες εφαρμογές, όπως σε διαστημικές αποστολές για τη συλλογή πληροφοριών από πλανήτες, για τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, στον τομέα της μετεωρολογίας για την μελέτη και πρόβλεψη δεδομένων κλπ.



Σχήμα 1.15: Κόμβος – Αισθητήρας για παρακολούθηση θερμοκρασίας, υγρασίας κτλ.

#### Εφαρμογές στον έλεγχο τεχνικών κατασκευών

Οι κατασκευές (κτήρια, γέφυρες κτλ) υπόκεινται σε μακροπρόθεσμες καταπονήσεις που φθείρουν την ακεραιότητά τους λόγω εκτεταμένης λειτουργικής ζωής, διαβρώσεων, τριβών μεταξύ τους και σεισμικών δυνάμεων.

Είναι πολύ σημαντικό να επεκτείνεται η ενεργή ζωή των υποδομών μέσω της συστηματικής συλλογής ποιοτικών πληροφοριών σε τακτά χρονικά διάστημα για τη τρέχουσα κατάστασή τους.

Έτσι με τη τοποθέτηση των αισθητήρων σε στρατηγικές θέσεις στις κατασκευές είναι δυνατόν να καταγράφεται οποιαδήποτε ανωμαλία η οποία μπορεί να σημαίνει πρόβλημα στην ακεραιότητα της κατασκευής.

Οι πληροφορίες αυτές μεταδίδονται σε τοπικούς υπολογιστές και έπειτα στο τμήμα διαχείρισης και ανάλυσης στοιχείων. Με αυτό το τρόπο, οι μηχανικοί θα μπορούν να πραγματοποιούν προληπτικές επισκευές βασιζόμενοι περισσότερο σε μετρήσεις απόδοσης και λιγότερο σε προγραμματισμένες συντηρήσεις και θα προβαίνουν σε επισκευές που θα κρατήσουν τη γέφυρα ασφαλή σε περίπτωση σεισμού ή άλλης φυσικής καταστροφής.

#### Εφαρμογές στο χώρο της υγείας

Στον τομέα της υγείας η εφαρμογή των δικτύων αισθητήρων είναι πολλαπλή και μπορεί να βοηθήσει σε σημαντικά προβλήματα.

Ενδεικτικά αναφέρεται πως με τη βοήθεια των αισθητήρων, οι οποίοι τοποθετούνται σε διάφορα σημεία στο σώμα του ασθενή, ο γιατρός μπορεί να συλλέξει πληροφορίες για διάφορα θέματα, όπως πχ. για συμπτώματα ασθενειών πριν αυτά γίνουν αντιληπτά εμφανώς, ενώ είναι δυνατός και ο έλεγχος και η παρακολούθηση ηλικιωμένων ή ατόμων με ειδικές ανάγκες. Παράλληλα, είναι δυνατή η παρακολούθηση διαφόρων παραμέτρων σε ασθενείς.

Για παράδειγμα, μπορεί ένας αισθητήρας να μεταδίδει πληροφορίες οι οποίες αφορούν τη παρακολούθηση των παλμών της καρδιάς, ένας άλλος για τη πίεση του αίματος κλπ. Ομοίως και οι γιατροί θα μπορούν να φέρουν πάνω τους αισθητήρες, οι οποίοι θα επιτρέπουν σε συναδέλφους τους να τους εντοπίζουν μέσα στο νοσοκομείο σε περίπτωση ανάγκης.

Τέλος, οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό αλλεργιών στους ασθενείς με αποτέλεσμα να περιορίζονται οι πιθανότητες να λάβουν ακατάλληλη φαρμακευτική αγωγή.

#### Οικιακές εφαρμογές

Στην καθημερινή ζωή η εφαρμογή των δικτύων αισθητήρων μπορεί να φανεί εξίσου χρήσιμη. Τοποθετημένοι μέσα σε διάφορες οικιακές συσκευές, οι αισθητήρες μπορούν να συμβάλλουν στην οργάνωση της χρήσης τους από τους ιδιοκτήτες μέσω του διαδικτύου ή ακόμα και μέσω δορυφόρου για απομακρυσμένες περιοχές χωρίς επίγειες υποδομές δημιουργώντας έτσι τις βάσεις για την είσοδο του αυτοματισμού και του αυτόματου ελέγχου στη ζωή του σπιτιού.

Πέρα από τις οικιακές συσκευές, οι αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν και σε διάφορα μέρη του σπιτιού, όπως έπιπλα. Επικοινωνώντας μεταξύ τους αλλά και με έναν κεντρικό εξυπηρετητή του κάθε δωματίου, μπορούν να συμβάλλουν στην άρτια οργάνωση της λειτουργίας του σπιτιού και να δίνουν πολύτιμες πληροφορίες υλοποιώντας στη πράξη μορφές έξυπνου σπιτιού.

#### Λοιπές εφαρμογές

Εκτός από τις παραπάνω ομαδοποιημένες εφαρμογές, υπάρχουν πολλές άλλες περιπτώσεις όπου θα μπορούσαν να φανούν χρήσιμα τα δίκτυα αισθητήρων.

Σε μεγάλα κτήρια εταιριών, ένα δίκτυο αισθητήρων θα μπορούσε να ελέγχει και να καθορίζει με μεγάλη ακρίβεια την θερμοκρασία των δωματίων όντας συνδεδεμένο με το σύστημα κλιματισμού. Μάλιστα, σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, έχει υπολογιστεί ότι ένα τέτοιο σύστημα θα μπορούσε να μειώσει τη κατανάλωση ενεργείας λόγω κλιματισμού κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό.

Σε μουσεία, με τη χρήση των αισθητήρων μπορεί να είναι δυνατή η αμεσότερη επαφή με τα εκθέματα. Με την τοποθέτηση τέτοιων αισθητήρων στα εκθέματα, αυτά αποκτούν την δυνατότητα να ανταποκρίνονται στις αντιδράσεις (ομιλία, άγγιγμα) των ανθρώπων, καθώς ουσιαστικά ελέγχονται από έναν κεντρικό κόμβο ο οποίος χειρίζεται κάποιος υπεύθυνος του μουσείου. Τέτοια συστήματα έχουν ήδη αρχίσει να εμφανίζονται, όπως για παράδειγμα στο San Francisco Exploratorium.

Πολλές πολυεθνικές εταιρίες όπως η British Petroleum (BP) συνειδητοποίησαν τις τεράστιες προοπτικές των ΑΙΑ τεχνολογιών και έχουν επενδύσει στην ανάπτυξη τους σε μεγάλο εύρος. Σε μια πειραματική εφαρμογή μετρούσαν κατά τη διάρκεια πειραμάτων γεώτρησης τους τις μη φυσιολογικές δονήσεις και προειδοποιούν τους μηχανικούς για πιθανή επερχόμενη βλάβη του εξοπλισμού της εταιρίας.

Επίσης η εταιρία στοχεύει στη χρήση των ΑΙΑ στην εξ'αποστάσεως παρακολούθηση του επιπέδου πληρότητας των δεξαμενών υγραερίου. Με τη χρήση υπερηχητικού αισθητήρα στο πάτο της δεξαμενής μετράνε τη πληρότητα της και έπειτα εκπέμπεται σήμα μέσω δορυφόρου χαμηλής τροχιάς σε ένα σταθμό βάσης με αποτέλεσμα να ενημερώνονται οι πελάτες και η ίδια η εταιρία πριν τελειώσουν τα αποθέματά τους.

Η μείωση της εγκληματικότητας θα μπορούσε επίσης να βοηθηθεί από την καινούρια αυτή τεχνολογία. Για παράδειγμα αισθητήρες σε αυτοκίνητα θα μπορούσαν να δίνουν τη δυνατότητα ελέγχου και έγκαιρης αντίδρασης σε περίπτωση προσπάθειας κλοπής τους.

Γενικότερα, είναι σαφές ότι οι εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων είναι πάρα πολλές και πρόκειται για καινούρια τεχνολογία η οποία έχει πολλά ακόμα να προσφέρει στην ανθρωπότητα.

## **1.7 Καινοτομίες έξυπνων αισθητήρων στο παρόν**

Σήμερα, τα πληροφοριακά συστήματα επεξεργασίας στοιχείων χρειάζονται αισθητήρες για να αποκτήσουν τις φυσικές, μηχανικές και χημικές πληροφορίες, ώστε να είναι σε θέση να λειτουργήσουν.

Για την εκτεταμένη χρήση των αισθητήρων σε βιομηχανικά εργαλεία παραγωγής και των προτιμήσεων των καταναλωτών, όπως τα ευφυή αυτοκίνητα και τα έξυπνα σπίτια, η αξιοπιστία των αισθητήρων πρέπει να βελτιωθεί και να μειωθεί το κόστος δραματικά. Η βελτίωση της αξιοπιστίας, σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους, μπορεί να επιτευχθεί μόνο με έξυπνα συστήματα αισθητήρων.

Εξελίξεις στην ενσωμάτωση των αισθητήρων με ηλεκτρονικά κυκλώματα για την παραγωγή έξυπνων αισθητήρων και των ευφυών συστημάτων αισθητήρων αυξάνονται ως έρευνα στον τομέα αυτό, ο οποίος εξακολουθεί να επεκτείνεται. Μέσα σε αυτό το περιβάλλον, στην Ελλάδα έχει αναπτυχθεί πλέον μια μικρή κοινότητα βιομηχανιών και ερευνητικών κέντρων, τα οποία σχεδιάζουν, αναπτύσσουν και εξάγουν τέτοια τεχνολογία σε όλο τον κόσμο, παίζοντας όλο και πιο σημαντικό ρόλο. Η τεχνολογία αυτή στηρίζεται στην ύπαρξη και κατασκευή κυκλωμάτων με τσιπάκια και στη χρήση των έξυπνων αισθητήρων και στο μέλλον τους.

Στον τομέα λοιπόν των έξυπνων συστημάτων, μεταξύ άλλων παρουσιάστηκε η κατασκευή ενός μικροκυκλώματος το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στην ανίχνευση της πίεσης των ματιών για εφαρμογές στην οφθαλμολογία, καθώς και υπέρ-ακριβείς αισθητήρες ανίχνευσης αερίων, όπως το μεθάνιο, το αιθάνιο, το οξειδίο του αζώτου κ.ά., τα οποία αναμένεται να βρουν εφαρμογή σε συστήματα ασφαλείας στη βιομηχανία όπως και σε συστήματα ελέγχου της μόλυνσης του ατμοσφαιρικού αέρα. Δεν προχωράει μόνο η έρευνα με πολύ γρήγορους ρυθμούς αλλά και η υιοθέτηση των καινοτομιών αυτών από τη βιομηχανία.

## **1.8 Προκλήσεις μελλοντικής εξέλιξης έξυπνων αισθητήρων**

Η εξελισσόμενη νανοτεχνολογία υπόσχεται νέα εποχή στο σχεδιασμό και την κατασκευή αισθητήρων αξιόπιστων και σε μεγέθη της τάξεως μερικών νανομέτρων. Επόμενη εξέλιξη προς μελέτη είναι η βιοσυμβατότητα καθώς πολλοί αισθητήρες εμφυτεύονται στο ανθρώπινο σώμα σε συνάρτηση με ένα άλλο βασικό κεφάλαιο των ασύρματων αισθητήρων, την ενεργειακή κατανάλωση και το χρόνο ζωής.

Στις αρχές του 21ου αιώνα, το διαδίκτυο και οι τεχνολογίες ασύρματων επικοινωνιών διευκολύνουν την άμεση πρόσβαση σε πληροφορίες ξεπερνώντας φραγμούς απόστασης και χρόνου. Σε αυτήν τη νέα εποχή συστήματα αισθητήρων από τα γνωστά μας μικρόφωνα ως τις έξυπνες κεραιές και από τα μικροεπιταχυνόμετρα και τους

βίοισθητήρες ως τις κάμερες απεικόνισης αρχίζουν να έχουν σημαντική απήχηση τόσο στη βιομηχανία, όσο και στην καθημερινή μας ζωή.

Στο μέλλον, η ενσωμάτωση των έξυπνων αισθητήρων στις τηλεπικοινωνίες και την πληροφορική θα διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο σε πληθώρα σημαντικών εφαρμογών, όπως:

- παρακολούθηση περιβάλλοντος,
- δημόσια ασφάλεια και διάσωση,
- έλεγχος των υποδομών και των κατασκευών,
- ιατρική και βιολογία.

Θα γνωρίζουμε και θα μπορούμε ανά πάσα στιγμή να εντοπίσουμε όλα τα υπάρχοντα μας, η κλοπή του αυτοκινήτου μας θα είναι κάτι το ασυνήθιστο, καθώς κάθε τι πολύτιμο το οποίο θα φεύγει από το χώρο μας θα ελέγχεται κατά την έξοδό του και θα ειδοποιείται το κινητό μας τηλέφωνο.

Επίσης, το σπίτι και το γραφείο θα αντιλαμβάνονται την παρουσία μας, ακόμη και την πορεία μας από δωμάτιο σε δωμάτιο. Ο φωτισμός, η θέρμανση και οι άλλες ανέσεις θα ρυθμίζονται αναλόγως. Εάν ψάχνουμε για ένα δωμάτιο συσκέψεων, θα γνωρίζουμε το κοντινότερο το οποίο είναι διαθέσιμο.

Ένα ίχνος έξυπνης σκόνης σε κάθε ένα από τα δάχτυλα μας θα διαβιβάζει συνεχώς την κίνηση των άκρων στον υπολογιστή μας, ο οποίος θα καταλαβαίνει όταν δακτυλογραφούμε, δείχνουμε, χειρονομούμε ή παίζουμε κιθάρα στον αέρα. Τα νήπια δεν θα κινδυνεύουν να πνιγούν χωρίς να στέλνεται ένα μήνυμα συναγερμού στους γονείς τους.

Από την άλλη το αυτοκίνητό μας θα γνωρίζει με ακρίβεια την κίνηση στον αγαπημένο μας δρόμο για το σπίτι, θα μπορεί να μας προτείνει εναλλακτικές και πιο σύντομες διαδρομές και θα μας ενημερώνει για το πόση ώρα θα μας πάρει όπως και θα πληροφορεί τον ή τη σύζυγό μας αν το επιθυμούμε.

Στο μέλλον λοιπόν οποιοδήποτε χρήσιμο αντικείμενο θα ενσωματώνει ένα σύνολο αισθητήρων για να μας ενημερώνει, (π.χ. αν η πίεση του δεξιού λάστιχου είναι χαμηλή, αν η γέφυρα η οποία βρίσκεται μπροστά μας είναι εκτός λειτουργίας, αν το γάλα στο ψυγείο έχει χαλάσει). Δεν θα υπάρχουν απρόβλεπτες ασθένειες. Μοσχεύματα αισθητήρων θα ελέγχουν όλα τα σημαντικά συστήματα στο ανθρώπινο σώμα και θα παρέχουν έγκαιρες προειδοποιήσεις για μια επικείμενη γρίπη ή θα σώζουν τη ζωή μας αναγνωρίζοντας τα πρώτα στάδια του καρκίνου.

Έτσι, μικροσκοπικοί αισθητήρες θα βρίσκονται παντού και θα αισθάνονται ουσιαστικά τα πάντα. Παίρνοντας ενέργεια από δωρεάν πηγές όπως:

- το φως του ήλιου,
- μικρές δονήσεις,
- θερμικές εναλλαγές
- παρασιτικές ραδιοσυχνότητες,

Αυτοί οι αισθητήριοι κόκκοι θα είναι αθάνατες, αυτόρκης υπολογιστικές μηχανές με αισθήσεις και αντίληψη και με δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας.

Επομένως, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι μια ανερχόμενη τεχνολογία με στόχο την παρακολούθηση και τον έλεγχο του φυσικού κόσμου χρησιμοποιώντας μια διάταξη πυκνής κατανομής αισθητήριων κόμβων με δυνατότητες τοπικής επεξεργασίας της πληροφορίας και της ασύρματης επικοινωνίας.

Είναι μια τεχνολογία η οποία θα μπορούσε να αποδειχθεί τόσο σημαντική όσο το διαδίκτυο, γιατί ακριβώς όπως το διαδίκτυο επιτρέπει στους υπολογιστές να ανακαλύψουν την ψηφιακή πληροφορία οπουδήποτε και αν είναι αποθηκευμένη, έτσι και τα δίκτυα αισθητήρων θα επεκτείνουν τη δυνατότητα των ανθρώπων να αλληλεπιδρούν με το φυσικό κόσμο.

#### Το μέλλον με το διαδίκτυο

- Sensing everywhere, δηλαδή δυνατότητα τοποθέτησης αισθητήρων παντού.
- Integrating Radio in Silicon Everywhere, δηλαδή σύνδεση παντού και πάντα.
- Χαμηλού κόστους ασύρματη σύνδεση.
- Χιλιάδες μικροσκοπικοί αισθητήρες με δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας, οι οποίοι θα ενσωματώνονται σε δρόμους, αγροκτήματα, νοσοκομεία, εργοστάσια, κτίρια γραφείων, ενδύματα, πισίνες, κρεβάτια μωρών, οχήματα, ακόμη και σε ιατρικούς επιδέσμους.
- Μια πανταχού παρούσα υπολογιστική ισχύς στην οποία οι ενδιαφερόμενοι σε όλο τον κόσμο θα μπορούν να έχουν πρόσβαση μέσω του διαδικτύου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ (WSN)

### 2.1 Τι είναι τα ασύρματα δίκτυα

Ως ασύρματο δίκτυο χαρακτηρίζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, συνήθως, τηλεφωνικό ή δίκτυο υπολογιστών, το οποίο χρησιμοποιεί, ραδιοκύματα ως φορείς πληροφορίας. Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, με συχνότητα φέροντος η οποία εξαρτάται κάθε φορά από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που απαιτείται να υποστηρίξει το δίκτυο. Η ασύρματη επικοινωνία, σε αντίθεση με την ενσύρματη, δεν χρησιμοποιεί ως μέσο μετάδοσης κάποιον τύπο καλωδίου. Σε παλαιότερες εποχές τα τηλεφωνικά δίκτυα ήταν αναλογικά, αλλά σήμερα όλα τα ασύρματα δίκτυα βασίζονται σε ψηφιακή τεχνολογία και, επομένως, κατά μία έννοια, είναι ουσιαστικά δίκτυα υπολογιστών. (Θεολόγου 2009)

Στα ασύρματα δίκτυα εντάσσονται τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, οι δορυφορικές επικοινωνίες, τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WWAN), τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WMAN), τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) και τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN). Η τηλεόραση και το ραδιόφωνο αν και ως τηλεπικοινωνιακά μέσα είναι εκ φύσεως ασύρματα στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν συμπεριλαμβάνονται στα ασύρματα δίκτυα, καθώς η μετάδοση γίνεται προς πάσα κατεύθυνση χωρίς να υπάρχει κάποιο δομημένο «δίκτυο» τηλεπικοινωνιακών κόμβων (συσκευών) με τη συνήθη έννοια. Επιπλέον, τα μεταφερόμενα δεδομένα συνήθως είναι αναλογικά και, επομένως, δεν μπορούν να θεωρηθούν δίκτυα υπολογιστών. (Goldsmith 2005)

### 2.2 Πλεονεκτήματα ασύρματης δικτύωσης

Τα πλεονεκτήματα ασύρματων δικτύων είναι βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα. Ενδεικτικά αναφέρονται τα ακόλουθα (Omeni et.al 2007).:

Ευκολία χρήσης: Σήμερα, όλοι οι φορητοί υπολογιστές και πολλά κινητά τηλέφωνα είναι εξοπλισμένα με τεχνολογία WiFi που απαιτείται για απευθείας σύνδεση σε ένα ασύρματο δίκτυο LAN. Οι εργαζόμενοι μπορούν να συνδέονται με ασφάλεια στους πόρους του δικτύου σας από οπουδήποτε εντός της εμβέλειας κάλυψης του δικτύου. Η περιοχή κάλυψης είναι κατά κανόνα οι εγκαταστάσεις της επιχείρησής σας, ωστόσο μπορεί να επεκτείνεται και σε περισσότερα κτήρια.

Φορητότητα: Οι εργαζόμενοι μπορούν να παραμένουν συνδεδεμένοι στο δίκτυο, ακόμα και όταν δεν βρίσκονται στο γραφείο τους. Οι συμμετέχοντες σε συσκέψεις μπορούν να έχουν πρόσβαση σε έγγραφα και εφαρμογές. Οι πωλητές μπορούν να εντοπίζουν στο δίκτυο σημαντικές λεπτομέρειες από οποιαδήποτε τοποθεσία.

Παραγωγικότητα: Η πρόσβαση στις πληροφορίες και στις βασικές εφαρμογές της εταιρείας σας υποστηρίζει το προσωπικό κατά τη διεκπεραίωση των εργασιών και ενθαρρύνει τη συνεργασία. Οι επισκέπτες (όπως πελάτες, συνεργάτες ή προμηθευτές) μπορούν να έχουν πρόσβαση υψηλής ασφαλείας στο Internet και στα επιχειρηματικά δεδομένα τους. (Θεολόγου 2009)

Εύκολη ρύθμιση: Εφόσον δεν απαιτείται η τοποθέτηση καλωδίων σε ένα χώρο, η εγκατάσταση μπορεί να ολοκληρωθεί γρήγορα και οικονομικά. Τα ασύρματα δίκτυα LAN διευκολύνουν επίσης τη συνδεσιμότητα δικτύου σε δυσπρόσιτους χώρους, όπως οι αποθήκες ή οι εγκαταστάσεις εργοστασιακής παραγωγής.

Δυνατότητα κλιμάκωσης: Καθώς οι επιχειρηματικές δραστηριότητές σας αναπτύσσονται, ενδεχομένως να απαιτείται άμεση επέκταση του δικτύου σας. Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν κατά κανόνα να επεκταθούν με τον υπάρχοντα εξοπλισμό, ενώ ένα ενσύρματο δίκτυο ενδέχεται να απαιτεί επιπλέον καλωδίωση.

Ασφάλεια: Ο έλεγχος και η διαχείριση της πρόσβασης στο ασύρματο δίκτυό σας είναι μέγιστης σημασίας για την επιτυχία του. Οι εξελιγμένες δυνατότητες της τεχνολογίας WiFi προσφέρουν ισχυρή προστασία, ώστε τα δεδομένα σας να είναι εύκολα προσβάσιμα μόνο από τους χρήστες στους οποίους επιτρέπετε την πρόσβαση.

Κόστος: Μπορεί να αποδειχθεί οικονομικότερη η λειτουργία ενός ασύρματου δικτύου LAN, το οποίο εξαλείφει ή μειώνει το κόστος καλωδίωσης σε περιπτώσεις μετακόμισης, αναδιάταξης ή επέκτασης γραφείων. (Θεολόγου 2009)

### **2.3 Σύντομη ιστορία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων**

Όπως και για πολλές άλλες τεχνολογίες, ο στρατός υπήρξε η κινητήρια δύναμη πίσω από την ανάπτυξη των ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Για παράδειγμα, το 1978, το Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) διοργάνωσε το Distributed Sensor Nets Workshop (DAR 1978) δίνοντας έμφαση σε ερευνητικές προκλήσεις δικτύου αισθητήρων, όπως οι τεχνολογίες δικτύωσης, τεχνικές επεξεργασίας σήματος και καταναμημένων αλγορίθμων. Το DARPA λειτουργούσε επίσης το πρόγραμμα καταναμημένων δικτύων αισθητήρων (DSN) στις αρχές του 1980, το οποίο στη



συνέχεια το ακολούθησε το πρόγραμμα των τεχνολογιών των πληροφοριών των αισθητήρων (SensIT).

Σε συνεργασία με το Κέντρο Διάδοσης Επιστημών Rockwell, το Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια στο Λος Άντζελες πρότεινε την έννοια του Ασύρματου Δικτύου Ολοκληρωμένων Αισθητήρων ή WINS. Ένα από τα αποτελέσματα του έργου WINS ήταν το Low Power Wireless Integrated Microsensor (LWIM), που παράχθηκε το 1996. Αυτό το έξυπνο σύστημα ανίχνευσης βασίστηκε σε ένα τσιπ CMOS, με την ενσωμάτωση πολλαπλών αισθητήρων, κυκλωμάτων διασύνδεσης, ψηφιακά κυκλώματα επεξεργασίας σήματος, ασύρματη επικοινωνία και μικροελεγκτή σε ένα μόνο τσιπ.

Το έργο Smart Dust στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια στο Μπέρκλεϋ επικεντρώθηκε στο σχεδιασμό των εξαιρετικά μικρών κόμβων αισθητήρων που ονομάζονται κόκκοι. Ο στόχος αυτού του προγράμματος ήταν να καταδείξει ότι ένα πλήρες σύστημα αισθητήρων μπορεί να ενσωματωθεί σε μικροσκοπικές συσκευές, ενδεχομένως, στο μέγεθος ενός κόκκου άμμου ή ακόμα και στο μέγεθος σωματιδίου σκόνης.

Το έργο PicoRadio από το Berkeley Wireless Research Center (BWRC) επικεντρώνεται στην ανάπτυξη συσκευών αισθητήρων χαμηλής ισχύος, των οποίων η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι τόσο μικρή ώστε να μπορεί να τροφοδοτήσει τις λειτουργίες του από πηγές του περιβάλλοντος, όπως η ηλιακή ή η ενέργεια δόνησης. Τα MIT μAMPS (micro-Adaptive Multidomain Power-aware Sensors) επικεντρώνονται σε μηχανήματα χαμηλής ισχύος υπολογιστών και λογισμικού για κόμβους αισθητήρων, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης μικροελεγκτών, ικανών για δυναμική κλιμάκωση και τεχνικών για αναδιάρθρωση αλγορίθμων επεξεργασίας δεδομένων και για μείωση των απαιτήσεων ισχύος στο επίπεδο λογισμικού.

Αν και αυτές οι προηγούμενες προσπάθειες προέρχονται κυρίως από ακαδημαϊκά ιδρύματα, κατά την τελευταία δεκαετία μια σειρά από εμπορικές προσπάθειες έχουν εμφανιστεί επίσης, (πολλές με βάση κάποια από τις ακαδημαϊκές προσπάθειες που περιγράφονται παραπάνω), συμπεριλαμβανομένων των εταιρειών, όπως η Crossbow, Sensoria, Worldsens, Dust Networks και Ember Corporation.

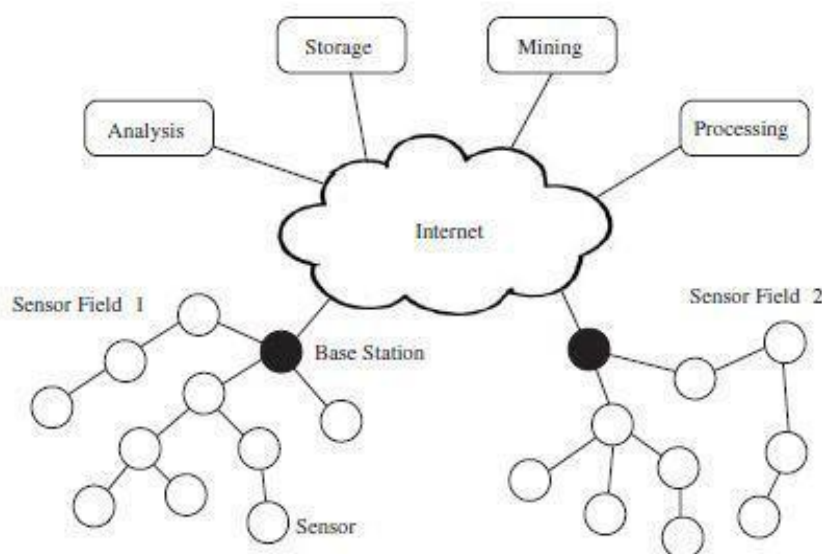
Οι εταιρείες αυτές παρέχουν τη δυνατότητα για αγορά συσκευών αισθητήρων, οι οποίες είναι έτοιμες για εγκατάσταση σε μια ποικιλία σεναρίων μαζί με διάφορα εργαλεία διαχείρισης για τον προγραμματισμό, τη συντήρηση, και την απεικόνιση των δεδομένων του αισθητήρα. (Dargie & Poellabauer, 2010)

## 2.4 Περιγραφή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Ενώ πολλοί αισθητήρες συνδέονται με τους ελεγκτές και τους σταθμούς επεξεργασίας άμεσα (π.χ. χρησιμοποιώντας τοπικά δίκτυα), ένας αυξανόμενος αριθμός των αισθητήρων κοινοποιεί τα δεδομένα που συλλέγονται ασύρματα σε ένα κεντρικό σταθμό επεξεργασίας. Αυτό είναι σημαντικό διότι πολλές εφαρμογές δικτύου απαιτούν εκατοντάδες ή χιλιάδες κόμβους αισθητήρων και συχνά αναπτύσσονται σε απομακρυσμένες και δυσπρόσιτες περιοχές.

Ως εκ τούτου, ένας ασύρματος αισθητήρας δεν έχει μόνο ένα στοιχείο ανίχνευσης, αλλά και επί πλέον δυνατότητες επεξεργασίας, επικοινωνίας και αποθήκευσης. Με αυτές τις βελτιώσεις ένας κόμβος αισθητήρα είναι συχνά υπεύθυνος όχι μόνο για τη συλλογή δεδομένων, αλλά και για τη ανάλυση, συσχέτιση και συγχώνευση των δικών του δεδομένων με δεδομένα από άλλους κόμβους.

Όταν πολλοί αισθητήρες παρακολουθούν συνεργατικά μεγάλα φυσικά περιβάλλοντα, αποτελούν ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN). Οι κόμβοι επικοινωνούν όχι μόνο μεταξύ τους, αλλά επίσης με ένα σταθμό-βάση χρησιμοποιώντας την ασύρματη επικοινωνία τους, ώστε να μεταφέρουν τα δεδομένα τους για απομακρυσμένη επεξεργασία, απεικόνιση, ανάλυση και αποθήκευση. Για παράδειγμα, το παρακάτω σχήμα δείχνει δύο πεδία αισθητήρων παρακολούθησης σε δύο διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές και τη σύνδεση με το Internet, χρησιμοποιώντας τους σταθμούς βάσης τους.



Σχήμα 2.1: Τυπικό ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.

Οι δυνατότητες των κόμβων αισθητήρων σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων μπορούν να ποικίλουν ευρέως, δηλαδή, ένας απλός κόμβος μπορεί να παρακολουθεί ένα μόνο φυσικό φαινόμενο, ενώ πιο πολύπλοκες συσκευές μπορεί να συνδυάζουν πολλές διαφορετικές τεχνικές ανίχνευσης (π.χ., ακουστικά, οπτικά, μαγνητικά). Μπορούν επίσης να διαφέρουν ως προς τις ικανότητες επικοινωνίας τους, για παράδειγμα, με τη χρήση τεχνολογιών υπερήχων, υπέρυθρων ή ραδιοσυχνοτήτων. Ενώ απλοί αισθητήρες μπορούν μόνο να συλλέγουν και να διαβιβάζουν πληροφορίες σχετικά με το παρατηρούμενο περιβάλλον, πιο ισχυρές συσκευές (δηλαδή, συσκευές με μεγάλη επεξεργασία, ενέργεια και χώρο αποθήκευσης) μπορούν επίσης να εκτελέσουν εκτεταμένες λειτουργίες επεξεργασίας και συνάθροισης.

Τέτοιες συσκευές συχνά υιοθετούν πρόσθετες ευθύνες σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, για παράδειγμα, μπορούν να σχηματίσουν μια ραχοκοκαλιά επικοινωνίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλες συσκευές αισθητήρων με περιορισμένους πόρους για να φτάσουν στο σταθμό βάσης. Τέλος, ορισμένες συσκευές μπορεί να έχουν πρόσβαση σε πρόσθετες τεχνολογίες που υποστηρίζουν, για παράδειγμα, GPS δέκτες, επιτρέποντάς τους να καθορίζουν με ακρίβεια τη θέση τους. Ωστόσο, αυτά τα συστήματα συχνά καταναλώνουν πάρα πολύ ενέργεια για να είναι εφικτά για κόμβους χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος. (Dargie & Poellabauer, 2010).

## **2.5 Διαφοροποίηση των WSN σε σχέση με τα υπόλοιπα δίκτυα**

Παρόλο που τα WSN αποτελούν δίκτυα υπολογιστικών συσκευών, διαφέρουν από τα παραδοσιακά δίκτυα δεδομένων για τους εξής λόγους (Πίνακας 2.1.):

**α)** Παρουσιάζουν σε σχέση με τα κλασικά δίκτυα σημαντικούς περιορισμούς στην υπολογιστική ισχύ, στην ενέργεια, την αποθήκευση και το εύρος ζώνης.

Στα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα οι λειτουργίες της δρομολόγησης και της διαχείρισης κινητικότητας εκτελούνται με σκοπό τη βελτιστοποίηση του QoS και της αποτελεσματικότητας του εύρους ζώνης η κατανάλωση ενέργειας συνιστά δευτερεύουσα απαίτηση, καθώς η πηγή ενέργειας μπορεί να αντικατασταθεί ή να επαναφορτιστεί οποιαδήποτε στιγμή.

Ωστόσο, τα WSN αποτελούνται από κόμβους που έχουν σχεδιαστεί για εφαρμογή σε περιβάλλον λειτουργίας χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Συνεπώς, μια παρεχόμενη

υπηρεσία της δρομολόγησης αποτελεί η βελτιστοποίηση της χρήσης της ενέργειας, με σκοπό τη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής του δικτύου.

**β)** Στα παραδοσιακά δίκτυα οι χρήστες συνδέονται με ένα κόμβο (ή ένα σύνολο κόμβων) και απαιτούν κάποια υπηρεσία από κάποιο άλλο κόμβο.

Αυτό το επικοινωνιακό μοντέλο μεταξύ δύο οντοτήτων αποτελεί την πλειοψηφία της συνήθους κίνησης δικτύου και το δίκτυο συνιστά ένα μέσο για τη σύνδεσή τους. Αλλά και το μοντέλο αλληλεπίδρασης είναι ευθύ, από την άποψη πως ο χρήστης αλληλεπιδρά άμεσα με το χρήστη ή την υπηρεσία στο άλλο άκρο επικοινωνίας.

Από την άλλη πλευρά, τα WSN προσεγγίζουν περισσότερο καταναμημένα συστήματα, παρά τα τυπικά δίκτυα. Οι κόμβοι συνεργάζονται για την παραγωγή των αποτελεσμάτων, ενώ ο χρήστης σπάνια ενδιαφέρεται για τα αποτελέσματα μεμονωμένων κόμβων. Αντιθέτως, αναζητά παραμέτρους μιας συνολικής, δυναμικής φυσικής διαδικασίας.

Συνεπώς, δεν υπάρχουν σαφείς κόμβοι-πηγές ή προορισμοί βασιζόμενοι στις επιθυμίες του χρήστη, μόνο οι χρήστες και το συνολικό δίκτυο. Κατά συνέπεια, το δίκτυο δεν παρέχει σύνδεση μεταξύ διαφορετικών τμημάτων, αλλά υπηρεσίες πληροφοριών στους χρήστες.

**γ)** Συνήθως οι κόμβοι ενός WSN είναι στατικοί μετά την τοποθέτησή τους, με εξαίρεση πιθανότητα ένα μικρό αριθμό κινούμενων κόμβων.

**δ)** Οι κόμβοι ενός WSN αποστέλλουν δεδομένα χαμηλού ρυθμού, με εμφανές το φαινόμενο του πλεονασμού.

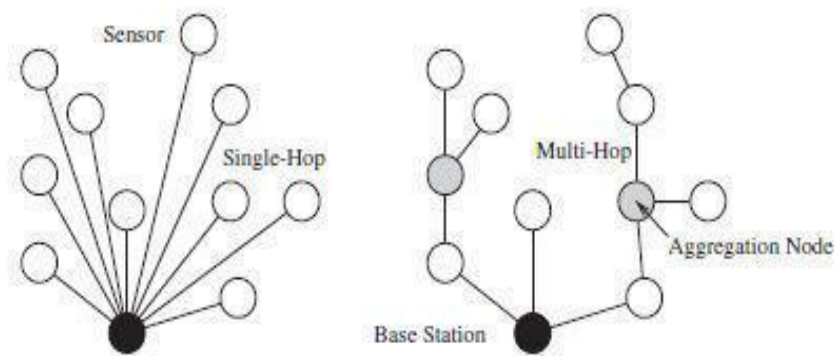
	<b>WSN</b>	<b>Ασύρματα Ad Hoc Δίκτυα</b>
<u>Αριθμός Κόμβων</u>	Μεγάλος: εκατοντάδες έως χιλιάδες κόμβοι ή και περισσότεροι	Μικρός μέχρι μέσος
<u>Πυκνότητα κόμβων</u>	Υψηλή	Σχετικά χαμηλή
<u>Πλεονασμός δεδομένων</u>	Υψηλός	Περιορισμένος
<u>Τροφοδότηση ισχύος</u>	Μη επαναφορτιζόμενη, λειτουργία Αναντικατάστατες μπαταρίες	Επαναφορτιζόμενη λειτουργία και αντικατάσταση μπαταριών
<u>Ρυθμός δεδομένων</u>	Χαμηλός: 1-100 kbps	Υψηλός
<u>Κινητικότητα των κόμβων</u>	Χαμηλή	Πιθανότητα υψηλή κινητικότητα

<u>Κατεύθυνση της ροής δεδομένων</u>	Κυρίως μονοκατευθυντήρια ροή: ασύρματοι κόμβοι → sink	Δικατευθυντήρια: από άκρο σε άκρο
<u>Προώθηση πακέτων</u>	Πολλοί κόμβοι σε έναν : κατεύθυνση προσανατολισμένη στα δεδομένα (data centric)	Από άκρο σε άκρο: κατεύθυνση προσανατολισμένη στη διεύθυνση (address centric)
<u>Φύση αίτησης</u>	Βασισμένη στην κατάσταση (attribute based)	Βασισμένη στον κόμβο
<u>Μετάδοση αιτήσεων</u>	Πολύ –εκπομπή (broadcast)	Πολύ - εκπομπή ή hop by hop
<u>Διευθυνσιοδότηση</u>	Έλλειψη γενικού ( identification)	Χρήση γενικού identification (global id)
<u>Ενεργό Duty Cycle</u>	Χαμηλό έως και 1 %	Υψηλό

Πίνακας 2.1: Διαφοροποίηση των WSN από τα ad hoc WN.

## 2.6 Κατηγοριοποίηση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν γενικά να ταξινομηθούν σε κατηγορίες με βάση πολλά σημαντικά κριτήρια. Σύμφωνα με την απόσταση των αισθητήρων κόμβων στο σταθμό βάσης τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορεί να είναι single-hop (επίσης γνωστή ως μη μεταδιδόμενα) ή multi-hop (μεταδιδόμενα) συστήματα.



Σχήμα 2.2: Μη μεταδιδόμενο single-hop και μεταδιδόμενο multi-hop σύστημα.

Σε ένα single-hop δίκτυο ασύρματων αισθητήρων όλοι οι κόμβοι μεταδίδουν τα δεδομένα απευθείας στο σταθμό βάσης, ενώ σε ένα multi-hop σύστημα, κάποιοι κόμβοι μπορούν να μεταδώσουν τα δεδομένα τους στο σταθμό βάσης μόνο μέσω ενδιάμεσων κόμβων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι ενδιάμεσοι κόμβοι εκτελούν την λειτουργία δρομολόγησης και αναμετάδοσης των δεδομένων κατά μήκος της διαδρομής. Επίσης, η συσσώρευση δεδομένων είναι μια προαιρετική λειτουργία για τους εν λόγω ενδιάμεσους κόμβους. Τα δίκτυα single-hop έχουν πολύ πιο απλή δομή και έλεγχο και ταιριάζουν με εφαρμογές μικρών περιοχών ανίχνευσης. Τα δίκτυα multi-hop παρέχουν ευρύτερο φάσμα εφαρμογών με κόστος τη μεγαλύτερη πολυπλοκότητα.

Με βάση την πυκνότητα του κόμβου αισθητήρα και τα δεδομένα εξάρτησης, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να ταξινομηθούν ως συναθροίσμα και μη συναθροίσμα. Σε μη συναθροίσμα συστήματα όλα τα δεδομένα από κάθε κόμβο θα αποσταλούν στον προορισμό όπως είναι. Το υπολογιστικό φορτίο σε ενδιάμεσους κόμβους είναι σχετικά μικρό και το σύστημα μπορεί να φτάσει σε υψηλή ακρίβεια. Ωστόσο, το συνολικό φορτίο της κυκλοφορίας σε ολόκληρο το σύστημα μπορεί να αυξηθεί γρήγορα με τη μεγέθυνση του δικτύου.

Περισσότερη ενέργεια θα καταναλώνεται για τις επικοινωνίες και περισσότερες συγκρούσεις ή συμφόρηση θα παρουσιαστεί, με αποτέλεσμα τη δημιουργία high latency. Κατά συνέπεια, το σχέδιο της μη συνάθροισης είναι κατάλληλο για συστήματα που έχουν λιγότερη πυκνότητα στους κόμβους, επαρκή χωρητικότητα, και υψηλή απαίτηση από τους τελικούς χρήστες για εξαιρετικά υψηλή ακρίβεια.

Ενώ σε πυκνά κατανομημένα δίκτυα, ένας κόμβος αισθητήρας βρίσκεται συνήθως κοντά σε γειτονικούς κόμβους του. Έτσι, οι πληροφορίες από πολλαπλές πηγές θα μπορούσαν να συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό και συναθροιστικές λειτουργίες μπορούν να εκτελεστούν σε ενδιάμεσους κόμβους για την εξάλειψη του πλεονασμού δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό, το κυκλοφοριακό φορτίο του συστήματος θα μπορούσε να μειωθεί σημαντικά και θα μπορούσε να ληφθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας λόγω αυτής της επικοινωνίας.

Ωστόσο, οι ενδιάμεσοι κόμβοι θα εκτελούν υπολογιστικές λειτουργίες, οι οποίες μπορεί να απαιτούν μεγαλύτερο μέγεθος στη μνήμη τους. Ως εκ τούτου, το σύστημα συνάθροισης είναι μια κατάλληλη επιλογή σε συστήματα μεγάλης κλίμακας με μαζικούς και πυκνούς κατανομημένους κόμβους αισθητήρων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τελικοί χρήστες ενδιαφέρονται μόνο για τη συλλογική πληροφοριών με μέτρια ακρίβεια.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να είναι ντετερμινιστικά ή δυναμικά ανάλογα με τη διανομή των κόμβων αισθητήρων. Σε ντετερμινιστικά συστήματα, οι θέσεις των κόμβων αισθητήρων είναι σταθερές ή προσχεδιασμένες. Ο έλεγχος του συστήματος αυτού είναι απλούστερος και η εφαρμογή του είναι ευκολότερη. Ωστόσο, το σχέδιο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε περιορισμένα είδη συστημάτων, όπου η πληροφορία της τοποθέτησης των κόμβων αισθητήρων θα μπορούσε να ληφθεί και να σχεδιαστεί εκ των προτέρων.

Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις οι θέσεις των κόμβων-αισθητήρων δεν είναι διαθέσιμοι, όπως αυτών που έπεσαν τυχαία σε απομακρυσμένες περιοχές. Έτσι, οι κόμβοι αισθητήρων πρέπει να εργάζονται με ένα καταναμημένο δυναμικό τρόπο. Αυτό το δυναμικό σχέδιο είναι πιο επεκτάσιμο και ευέλικτο αλλά απαιτεί περισσότερους πολύπλοκους αλγόριθμους ελέγχου.

Επιπλέον, με βάση το σχέδιο ελέγχου, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να είναι αυτορρυθμιζόμενα ή μη αυτορρυθμιζόμενα. Στον δεύτερο μηχανισμό, οι κόμβοι αισθητήρων δεν είναι σε θέση να οργανωθούν μόνοι τους, αλλά βασίζονται σε ένα κεντρικό ελεγκτή για να προσφέρουν και να συλλέγουν πληροφορίες από αυτούς. Το σχήμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε δίκτυα μικρής κλίμακας. Ωστόσο, στα περισσότερα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων οι κόμβοι αισθητήρων μπορούν αυτόνομα να καθιερώσουν και να διατηρήσουν την σύνδεση από μόνοι τους και σε συνεργασία να εκπληρώσουν ανιχνευτικά και ελεγκτικά καθήκοντα. Αυτό το αυτορρυθμιζόμενο σύστημα ταιριάζει καλύτερα σε συστήματα μεγάλης κλίμακας για να εκτελεί περίπλοκες εργασίες παρακολούθησης και συλλογής, όπως και διάδοσης πληροφοριών.

Αν και το αυτορρυθμιζόμενο συστήματα είναι πιο περίπλοκο από ότι το μη αυτορρυθμιζόμενο, είναι πιο πρακτικό για την ανάπτυξη στον πραγματικό κόσμο, ειδικά όταν το μέγεθος του δικτύου γίνεται πολύ μεγάλο. Ωστόσο, εγείρονται πολλές προκλήσεις και ανοιχτά ζητήματα που πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω. (Ilyas & Mahgoub, 2005)

## **2.7 Τοπολογία ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων**

Οι κόμβοι – αισθητήρες που απαρτίζουν ένα WSN χωρίζονται σε πηγές (sources) και αποδέκτες (sinks). Ως πηγή θεωρείται κάθε συσκευή που συμμετέχει στο δίκτυο παρέχοντας πληροφορίες, ενώ αποδέκτης η συσκευή που ζητά πληροφορίες. Συνεπώς,

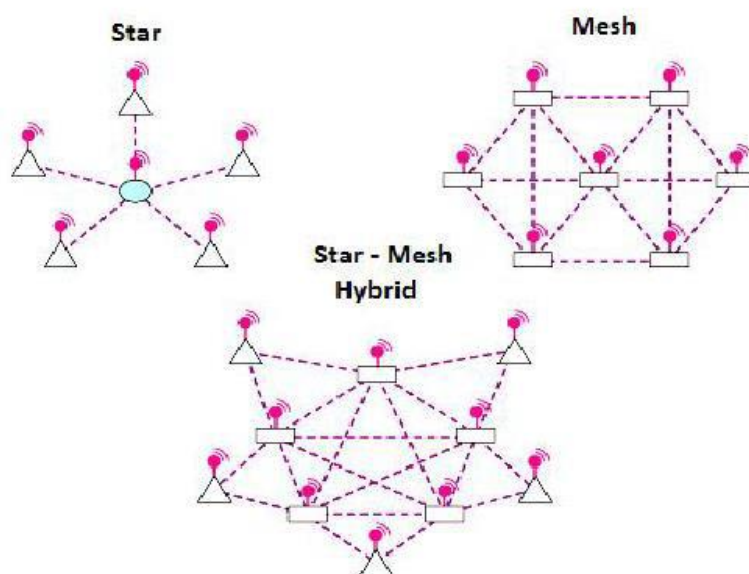
σε κάθε WSN όλοι οι κόμβοι αποτελούν πηγές, ενώ υπάρχουν τρεις εναλλακτικές όσον αφορά τον αποδέκτη. Μία περίπτωση είναι ο αποδέκτης να είναι ένας κόμβος του δικτύου, όπως οι υπόλοιποι, ενώ μία άλλη περίπτωση είναι ο αποδέκτης να είναι μία οντότητα που είναι εκτός του δικτύου των αισθητήρων, όπως για παράδειγμα ένας φορητός υπολογιστής, ο οποίος αλληλεπιδρά με το δίκτυο αναζητώντας πληροφορίες όταν είναι απαραίτητο. Η τρίτη περίπτωση είναι ο αποδέκτης να έχει το ρόλο μιας διεξόδου (gateway), ο οποίος προωθεί τις πληροφορίες σε ένα μεγαλύτερο δίκτυο.

Οι κόμβοι του WSN, πηγές και αποδέκτες, μπορούν να συνδυαστούν για το σχηματισμό τριών ειδών τοπολογίας:

Τοπολογία star, η οποία αποτελείται από ένα κεντρικό αποδέκτη και περιφερειακούς κόμβους - πηγές τοποθετημένους γύρω του.

Τοπολογία peer-to-peer (mesh), όπου ένας κόμβος-πηγή έχει τη δυνατότητα να επικοινωνήσει με κάθε γείτονά του, σε αντίθεση με την τοπολογία αστέρα. Εδώ, όλοι οι κόμβοι μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους ακόμη και αν δε βρίσκονται εντός εμβέλειας, χρησιμοποιώντας multi-hop μηνύματα και να υπάρχουν περισσότεροι του ενός αποδέκτες.

Τοπολογία star - mesh (υβριδική - hybrid), όπου ο κεντρικός αποδέκτης υπάρχει, αλλά το δίκτυο εξαπλώνεται σε μορφή δέντρου, όπου τα κλαδιά του είναι κόμβοι - πηγές που παίζουν το ρόλο τοπικών συντονιστών και κόμβοι - φύλλα (end - points) που λειτουργούν όπως στην τοπολογία αστέρα. Ακόμη, το δίκτυο έχει σαφή ιεράρχηση των κόμβων σε αντίθεση με την τοπολογία peer-to-peer όπου το δίκτυο είναι ομότιμο. (Εικόνα 2.3)





Σχήμα 2.3:Είδη τοπολογιών Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων.

Είναι προφανές λοιπόν ότι η ύπαρξη ενός μεγάλου αριθμού κόμβων-αισθητήρων με δύσκολη την πρόσβαση και παρακολούθησή τους απαιτεί τον έλεγχο της τοπολογίας. Η τοπολογία βέβαια εξαρτάται από μη ελεγχόμενους παράγοντες, όπως ο θόρυβος, οι παρεμβολές και ο καιρός, αλλά και από ελεγχόμενους παράγοντες, όπως η ενέργεια εκπομπής και η κατευθυντικότητα της κεραίας. Η πυκνότητα ενός δικτύου αισθητήρων μπορεί να φθάνει και τους 20 κόμβους ανά κυβικό μέτρο, κάτι που σίγουρα δυσκολεύει ακόμα περισσότερο τη διαχείριση της τοπολογίας.

Έτσι, η διατήρηση της τοπολογίας του δικτύου αισθητήρων εξετάζεται σε τρεις φάσεις:

#### Φάση πριν την εγκατάσταση

Οι αισθητήριοι κόμβοι μπορούν είτε να διασπαρθούν μαζικά είτε να τοποθετηθούν ένας-ένας στο χώρο. Μπορούν να εγκατασταθούν με τους εξής τρόπους:

- Να πεταχτούν από ένα αεροπλάνο
- Να βρίσκονται σε ένα βλήμα πυροβολικού το οποίο εκρήγνυται και τους διασπείρει στην περιοχή
- Να ριφθούν με ένα καταπέλτη π.χ. από το κατάστρωμα ενός πλοίου
- Να τοποθετηθούν ένας –ένας από ένα άνθρωπο ή ένα ρομπότ

Αν και ο μεγάλος αριθμός των αισθητήρων καθώς και η χωρίς παρακολούθηση εγκατάστασή τους συνήθως περιλαμβάνει την τοποθέτησή τους σύμφωνα με ένα προσεχτικά μελετημένο σχέδιο, η αρχική εγκατάσταση πρέπει να πληροί κάποια κριτήρια:

- Μείωση του κόστους εγκατάστασης
- Εξαφάνιση της ανάγκης για οποιαδήποτε προ-οργάνωση ή προ-σχεδιασμό
- Αύξηση της ευελιξίας τοποθέτησης
- Προώθηση της αυτό-οργάνωσης και της αντοχής σε σφάλματα

#### Φάση μετά την εγκατάσταση

Μετά την εξάπλωση, οι αλλαγές στην τοπολογία οφείλονται σε αλλαγές στους αισθητήριους κόμβους, όπως:

- Θέση
- Δυνατότητα επικοινωνίας
- Διαθέσιμη ενέργεια

- Δυσλειτουργία
- Λεπτομέρειες στο σκοπό για τον οποίο εγκαταστάθηκαν

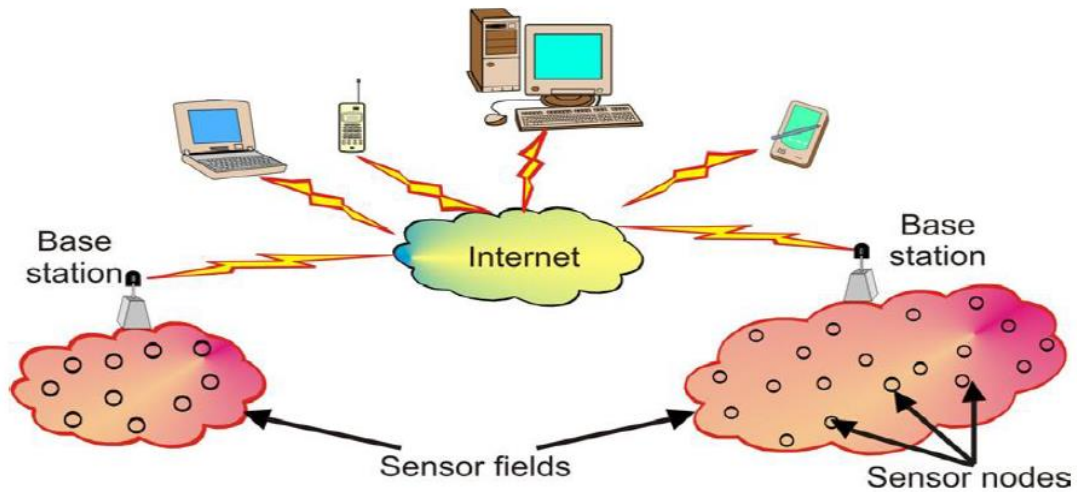
Οι αισθητήριοι κόμβοι μπορούν να εγκατασταθούν και στατικά. Οι αποτυχίες είναι ένα σύνηθες φαινόμενο λόγω έλλειψης ενέργειας ή καταστροφής. Είναι επίσης πιθανό να έχουμε δίκτυα αισθητήρων των οποίων οι κόμβοι συνεχώς κινούνται. Εκτός από τα προβλήματα τα οποία είναι φυσικό να αντιμετωπίζουν εξαιτίας των χαρακτηριστικών τους είναι δυνατόν ακόμα να έχουμε και δολιοφθορές. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι οι τοπολογίες των δικτύων αισθητήρων να υπόκεινται σε συχνές αλλαγές.

#### Φάση τοποθέτησης επιπλέον κόμβων

Επιπλέον κόμβοι είναι δυνατόν να εγκατασταθούν οποιαδήποτε χρονική στιγμή για να αντικαταστήσουν τους κόμβους που παρουσιάζουν δυσλειτουργίες ή λόγω αλλαγών στον αρχικό σκοπό για τον οποίο εγκαταστάθηκαν. Η πρόσθεση νέων κόμβων στο δίκτυο δημιουργεί την ανάγκη για επαναδιοργάνωση. Προκειμένου να αντιμετωπίσουμε τις συχνές αλλαγές στην τοπολογία ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων, το οποίο αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κόμβων με μεγάλους περιορισμούς στην κατανάλωση ενέργειας χρειαζόμαστε ειδικά σχεδιασμένα πρωτόκολλα δρομολόγησης.

## **2.8 Αρχιτεκτονική ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων**

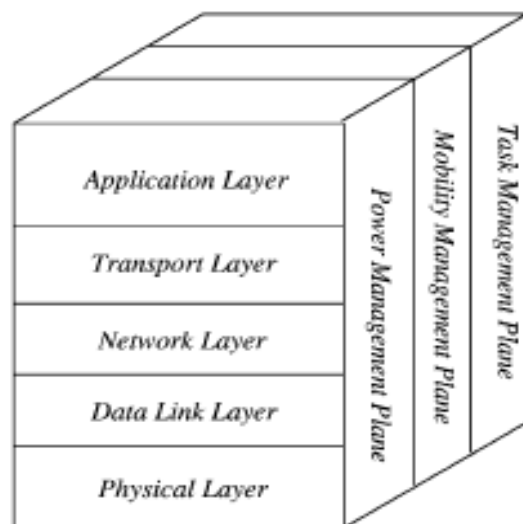
Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό αισθητήρων κατανομημένων ομοιόμορφα σε περιορισμένη γεωγραφική περιοχή. Οι κόμβοι-αισθητήρες (sensor nodes) διασπείρονται στο πεδίο παρατήρησης (sensor field) με τον τρόπο που φαίνεται στο σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.4: Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων.

Κάθε ένας από τους διασκορπισμένους κόμβους έχει την ικανότητα να συλλέγει δεδομένα και να τα δρομολογεί στο κέντρο συλλογής, σε έναν κόμβο-πηγή (base station ή sink). Τα δεδομένα δρομολογούνται στο κέντρο συλλογής μέσω μονοπατιών πολλαπλών βημάτων multi hop routing), τα οποία όμως δεν είναι προκαθορισμένα και σταθερά. Το κέντρο συλλογής είναι δυνατόν να επικοινωνεί με τον κόμβο διαχείρισης της εφαρμογής (task manager node) μέσω του Διαδικτύου ή μέσω δορυφόρου.

Οι Akyildiz και λοιποί πρότειναν ένα πλαίσιο σε στρώσεις WSN, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5: Η στοίβα πρωτοκόλλου των δικτύων αισθητήρων.

Ένα τέτοιο πρότυπο χωρίζει ένα WSN σε πέντε στρώματα από κάτω προς τα πάνω, τα οποία είναι:

### Φυσικό στρώμα (physical layer)

Το φυσικό επίπεδο είναι υπεύθυνο για την επιλογή της συχνότητας, την δημιουργία του φέροντος, την ανίχνευση του σήματος, την διαμόρφωση και την κρυπτογράφηση των δεδομένων. Βασικός παράγοντας στο σχεδιασμό του επιπέδου παραμένει η ενέργεια που καταναλώνεται στην επικοινωνία.

Βέβαια εξαιτίας της πυκνής χωρικά ανάπτυξης των αισθητήρων και της δυνατότητας επικοινωνίας μέσω πολλαπλών κόμβων (multi-hop communication) έχουμε σημαντική εξοικονόμηση στην ενέργεια αλλά και μικρές απώλειες στο σήμα, άρα δυνατότητα για μικρότερη εκπεμπόμενη ενέργεια.

Ακόμα το όλο πεδίο είναι ανεξερεύνητο και μερικά θέματα που μπορούν να αναφερθούν είναι η επιλογή της διαμόρφωσης που βοηθά στη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Επίσης άλλο θέμα αφορά την επιλογή της συχνότητας. Φαίνεται ότι η χρήση μιας ευρείας συχνότητας (Ultra Wide Band) βοηθά στην αντιμετώπιση των απωλειών και στην εξοικονόμηση της ενέργειας.

### Στρώμα ζεύξης δεδομένων (data link layer)

Το στρώμα αυτό είναι υπεύθυνο για την πολυπλεξία των δεδομένων, την ανίχνευση των πλαισίων δεδομένων, την πρόσβαση στο μέσο και τον έλεγχο λαθών.

### Στρώμα Δικτύου (network layer)

Φροντίζει για τη δρομολόγηση και τη συνάθροιση των δεδομένων που παρέχει το επίπεδο μεταφοράς. Αποτελεί περιοχή μεγάλου ερευνητικού ενδιαφέροντος. Μοιράζεται ορισμένα κοινά στοιχεία με το αντίστοιχο επίπεδο στα ad hoc δίκτυα, αλλά έχει μεγαλύτερες απαιτήσεις όσον αφορά στην επεκτασιμότητα, την ενεργειακή απόδοση και την εστίαση στα δεδομένα, οι οποίες χρειάζονται νέες λύσεις.

Επιπλέον, υπάρχουν τα παραδοσιακά ζητήματα δρομολόγησης και σύγκλισης, καθώς και το ζήτημα της συμβατικής γεωγραφικής δρομολόγησης. Λόγω της απαίτησης ειδικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης προκειμένου η πληροφορία από το φαινόμενο να φτάσει στους τελικούς χρήστες, τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δεν επαρκούν και απαιτείται η χρήση άλλων.

Οι αρχές σύμφωνα με τις οποίες πρέπει να σχεδιάζεται το στρώμα δικτύου ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων είναι:

- Αποτελεσματική χρήση της ενέργειας.
- Τα δίκτυα αισθητήρων είναι συνήθως δεδομένο-κεντρικά.
- Ο συγκερασμός των δεδομένων είναι χρήσιμος όταν δεν εμποδίζει την συνεργατική προσπάθεια των ασύρματων κόμβων.

- Ένα ιδανικό δίκτυο αισθητήρων έχει διευθυνσιοδότηση βασισμένη σε χαρακτηριστικά και γνώση της θέσης.

#### Στρώμα Μεταφοράς (transport layer)

Το επίπεδο μεταφοράς είναι αναγκαίο να υπάρχει όταν το σύστημα πρόκειται να είναι προσβάσιμο μέσω του Διαδικτύου ή άλλων εξωτερικών δικτύων. Βέβαια αυτό είναι μάλλον σύνηθες να συμβαίνει αφού τα δίκτυα αισθητήρων εγκαθίστανται προκειμένου να παρακολουθήσουν γεγονότα και να μεταδώσουν πληροφορίες.

Στη σημερινή εποχή που επικρατεί η ιδέα της «δικτύωσης παντού», μια πληροφορία η οποία δεν μπορεί να μεταδοθεί έγκαιρα σε οποιονδήποτε ενδιαφερόμενο, θεωρείται παρωχημένη και χωρίς αξία. Συνεπώς η ανάγκη σύνδεσης ενός δικτύου ασύρματων αισθητήρων με άλλα δίκτυα είναι επιβεβλημένη.

Το πρωτόκολλο TCP όπως είναι σχεδιασμένο μπορεί να ταιριάζει με τα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων, με κάποια αλλαγή όπως είναι ο τερματισμός του πρωτοκόλλου στους κόμβους «δεξαμενές» (sink nodes) όπου θα τερματίζεται και η σύνδεση TCP. Από εκεί και πέρα κάποιο ειδικό πρωτόκολλο μεταφοράς μπορεί να αναλάβει τη διακίνηση της πληροφορίας μεταξύ των ασύρματων κόμβων και του κόμβου δεξαμενή (sink node).

Αυτή η διαφοροποίηση είναι αναγκαία λόγω των χαρακτηριστικών των δικτύων αισθητήρων, καθώς και στο διαφορετικό τρόπο διευθυνσιοδότησης βασισμένο στα χαρακτηριστικά της πληροφορίας και όχι σε συγκεκριμένους αισθητήρες.

#### Στρώμα Εφαρμογής (application layer)

Το στρώμα εφαρμογής παραμένει ένας υπό εξερεύνηση τομέας για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Με βάση τα δεδομένα αίσθησης και τη λειτουργία για την οποία προορίζεται ο κάθε κόμβος, μπορούν να αναπτυχθούν και να ενσωματωθούν διαφορετικοί τύποι λογισμικού εφαρμογών.

#### Επίπεδο διαχείρισης ενέργειας (power management plane)

Βοηθά τον κόμβο αισθητήρα να διαχειριστεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την ενέργεια που διαθέτει. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας μπορεί να κλείσει τον δέκτη του όταν λάβει ένα μήνυμα από έναν γειτονικό κόμβο.

Επίσης, όταν το επίπεδο ενέργειάς του είναι χαμηλό ο κόμβος μπορεί να ενημερώσει τους γειτονικούς του κόμβους ότι δεν μπορεί να συμμετάσχει σε διαδρομές δρομολόγησης. Η ενέργεια που απομένει στον κόμβο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συγκέντρωση δεδομένων.

### Επίπεδο διαχείρισης κινητικότητας (mobility management plane)

Ανιχνεύει και σημειώνει την κίνηση των κόμβων αισθητήρων έτσι ώστε να διατηρείται πάντα μια διαδρομή προς τον χρήστη και οι κόμβοι να γνωρίζουν τους γειτονικούς τους κόμβους. Γνωρίζοντας οι κόμβοι τους γείτονές τους μπορούν να κάνουν ρυθμίσεις στην ενέργειά τους και τα καθήκοντά τους.

### Επίπεδο διαχείρισης έργου (task management plane)

Ρυθμίζει και σχεδιάζει τα καθήκοντα συγκέντρωσης δεδομένων του κάθε κόμβου για μια συγκεκριμένη περιοχή. Δε χρειάζεται όλοι οι κόμβοι σε μια περιοχή να συγκεντρώνουν δεδομένα ταυτόχρονα, αλλά κάποιιοι από αυτούς μπορούν να πραγματοποιούν πιο συχνά τη συγκεκριμένη διαδικασία ανάλογα με τα επίπεδα ενέργειάς τους.

Έτσι, οι κόμβοι μπορούν να συνεργάζονται εξοικονομώντας ενέργεια, να δρομολογούν δεδομένα στο δίκτυο αισθητήρων και να μοιράζονται πληροφορίες και πόρους. Χωρίς το επίπεδο αυτό κάθε κόμβος θα δούλευε μεμονωμένα και έτσι ο χρόνος ζωής του δικτύου θα ήταν μικρότερος λόγω της μεγαλύτερης κατανάλωσης ενέργειας.

## **2.9 Πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στα WSR**

Αρχικά αξίζει να τονίσουμε ότι το πρωτόκολλο Zigbee καθορίζει τα ανώτερα επίπεδα της στοίβας των πρωτοκόλλων, σχεδιασμένο για την υποστήριξη των κατώτερων στρωμάτων που καθορίζονται από το IEEE 802.15.4.

Τα πρότυπα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στα WSN είναι τα εξής:

### WirelessHart

Το WirelessHart standard παρέχει ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας για μετρήσεις διεργασιών και εφαρμογές ελέγχου στηρίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4 για λειτουργία χαμηλής ισχύος 2.4GHz και είναι συμβατό με όλες τις υπάρχουσες συσκευές, εργαλεία, συστήματα. Διαθέτει αξιοπιστία, ασφάλεια και ενεργειακή αποδοτικότητα

### 6LoWPAN

Επιτρέπει την IPv6 επικοινωνία πακέτων σε ένα IEEE 802.15.4 δίκτυο. Το πρότυπο αυτό παρέχει όλα τα πλεονεκτήματα της IP επικοινωνίας και διαχείρισης. Δεδομένου πως το μέγεθος των IP πακέτων είναι μεγαλύτερο από αυτό ενός IEEE 802.15.4 πλαισίου, χρησιμοποιείται ένα επίπεδο προσαρμογής.

### IEEE 802.15.3

Αποτελεί ένα standard φυσικού επιπέδου και MAC υποεπιπέδου για δεδομένα ψηλού ρυθμού σε ένα WPAN. Υποστηρίζει πραγματικού χρόνου ροή δεδομένων video και μουσικής. Λειτουργεί στα 2.4 GHz, με ταχύτητες δεδομένων που κυμαίνονται από 11 έως 55 Mbps.

### Wibree

Το wibree συνιστά τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας, σχεδιασμένη για χαμηλή κατανάλωση ισχύος μετάδοση περιορισμένου βεληνεκούς και χαμηλού κόστους συσκευές. Επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ μικρών συσκευών τροφοδοτούμενων με μπαταρία και Bluetooth συσκευών. Λειτουργεί στην περιοχή συχνοτήτων 2.4 GHz, παρέχοντας ρυθμό δεδομένων 1Mbps για αποστάσεις 5-10m.

### IEEE 802.15

Το IEEE 802.15 αποτελεί την 15η ομάδα εργασίας του IEEE 802 η οποία εξειδικεύεται στα WPANs. Τα κυριότερα έργα της ομάδας εργασίας είναι το 802.15.1 ή όπως είναι πιο γνωστό ως Bluetooth, και το 802.15.4 ή Zigbee.

Τα δύο αυτά πρωτόκολλα είναι προσανατολισμένα για διαφορετικές εφαρμογές. Στον πίνακα που ακολουθεί έχουν συμπεριληφθεί οι κυριότερες ασύρματες τεχνολογίες για τα δίκτυα WPAN και μπορεί να γίνει μια ενδεικτική σύγκριση μεταξύ των χαρακτηριστικών τους.

Το Zigbee ανήκει στην κατηγορία των χαμηλής ταχύτητας ασύρματων δικτύων καθώς η ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων μπορεί να φτάσει έως τα 250Kbps. Η τεχνολογία που χρησιμοποιεί παρομοιάζεται με αυτή του Bluetooth, αλλά θεωρείται συμπληρωματική αυτής. Ουσιαστικά όμως πρόκειται για δύο διαφορετικές τεχνολογίες που είναι προσανατολισμένες σε διαφορετικές εφαρμογές.

Το πρωτόκολλο 802.15.4 είναι προσανατολισμένο στον έλεγχο και την αυτοματοποίηση, ενώ το 802.15.1 επικεντρώνεται στη διασύνδεση μεταξύ φορητών συσκευών όπως οι φορητοί υπολογιστές, τα κινητά τηλέφωνα και γενικότερα λειτουργεί σαν αντικατάσταση μια καλωδιακής σύνδεσης μεταξύ περιφερειακών.

Το Zigbee χρησιμοποιεί χαμηλά επίπεδα ενέργειας για τη μετάδοση της πληροφορίας και αποστέλλει τα δεδομένα σε μικρά πακέτα, ενώ το Bluetooth έχει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης, υψηλότερες απαιτήσεις σε ισχύ και μεταδίδει την πληροφορία σε μεγαλύτερα πακέτα. Τα δίκτυα με το πρωτόκολλο Zigbee μπορούν να υποστηρίξουν μεγάλο αριθμό συσκευών και μεγαλύτερες αποστάσεις σε σύγκριση με το Bluetooth.

Λόγω αυτών των λειτουργικών διαφορών, οι τεχνολογίες αυτές δεν έχουν τη δυνατότητα να επεκταθούν σε άλλες εφαρμογές.

Για παράδειγμα, μια συσκευή που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο Bluetooth είναι αναγκαίο να επαναφορτίζεται συχνά, ενώ μια συσκευή με το πρωτόκολλο Zigbee μπορεί να λειτουργήσει για μήνες χωρίς την αντικατάσταση των μπαταριών. Επιπλέον, το Zigbee έχει πολύ χαμηλούς χρόνους απόκρισης και είναι ιδανικό για χρήση σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπου χρειάζεται άμεση δράση, σε αντίθεση με το Bluetooth για το οποίο απαιτούνται μεγαλύτεροι χρόνοι για τη δημιουργία της ζεύξης. Επομένως, η χρήση των δύο αυτών πρωτοκόλλων μπορεί να είναι παράλληλη σε ένα WPAN εφόσον προσανατολίζονται σε διαφορετικές εφαρμογές το κάθε ένα.

Τα χαρακτηριστικά ασύρματων πρωτοκόλλων για δίκτυα WPAN φαίνονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

	<b>ZigBee</b>	<b>802.11 (Wi-Fi)</b>	<b>Blue tooth</b>	<b>UWB</b>	<b>Wireless USB</b>	<b>IR Wireless</b>
<u>Data Rate</u>	20, 40, και 250 Kbps	11 & 54 Mbps	1 Mbps	100-500 Mbps	62.5 Kbps	20-40 Kbps 115 Kbps 4 & 16 Mbps
<u>Εμβέλεια</u>	10-100 μέτρα	50-100 μέτρα	10 μέτρα	<10 μέτρα	10 μέτρα	<10 μέτρα (οπτική επαφή)
<u>Τοπολογία δικτύου</u>	Ad-hoc, peer to peer, star, ή mesh	Point to hub	Ad-hoc, πολύ μικρά δίκτυα	Point to point	Point to point	Point to point
<u>Συχνότητα λειτουργίας</u>	868MHz (Ευρώπη) 900-928MHz (B.A), 2,4GHz (παγκόσμια)	2,4 και 5 GHz	2,4GHz	3,1-10,6 GHz	2,4GHz	800-900 nm
<u>Πολυπλοκότητα</u>	Χαμηλή	Υψηλή	Υψηλή	Μέση	Χαμηλή	Χαμηλή
<u>Κατανάλωση ισχύος</u>	Πολύ χαμηλή (στόχος η χαμηλή κατανάλωση)	Υψηλή	Μέση	Χαμηλή	Χαμηλή	Χαμηλή



<u>Ασφάλεια</u>	128AES και application layer security		64, 128bit encryption			
<u>Άλλες πληροφορίες</u>	Οι συσκευές μπορούν να ενταχθούν στο δίκτυο σε λιγότερο από 30ns	Οι συσκευές συνδέονται σε 3-5 sec	Η σύνδεση μιας συσκευής απαιτεί έως 10 sec			
<u>Τυπικές εφαρμογές</u>	Βιομηχανικός έλεγχος, δίκτυα αισθητήρων, αυτοματισμοί κτιρίων, οικιακοί αυτοματισμοί, παιχνίδια	Wireless LAN ευρυζωνική σύνδεση στο internet	Ασύρματα δίκτυα μεταξύ συσκευών όπως τηλέφωνα, PDA, laptops, ακουστικά	Μετάδοση βίντεο υπηρεσίες οικιακής ψυχαγωγίας	Σύνδεση περιφερειακών υπολογιστών	Τηλεχειρισμο, PC, PDA, τηλέφωνα

Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά ασύρματων πρωτοκόλλων για δίκτυα WPAN.

## 2.10 Εφαρμογές ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι σε θέση να παρακολουθούν ένα ευρύ φάσμα φυσικών συνθηκών όπως:

- Θερμοκρασία
- Υγρασία
- Φως
- Πίεση
- Την κίνηση του αντικειμένου
- Τη σύνθεση του εδάφους
- Το επίπεδο του θορύβου
- Την παρουσία ενός συγκεκριμένου αντικειμένου
- Τα χαρακτηριστικά ενός αντικειμένου όπως βάρος, μέγεθος, ταχύτητα κίνησης, κατεύθυνση και την τελευταία του θέση.

Λόγω της αξιοπιστίας των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, την οργάνωση, την ευελιξία και την ευκολία ανάπτυξης, οι υπάρχουσες και πιθανές εφαρμογές τους ποικίλλουν ευρέως. Επίσης, μπορούν να εφαρμοστούν σχεδόν σε οποιοδήποτε

περιβάλλον, ιδιαίτερα σε εκείνα στα οποία τα συμβατικά ενσύρματα συστήματα αισθητήρων είναι αδύνατον να εγκατασταθούν ή δεν είναι διαθέσιμα, όπως σε αφιλόξενα εδάφη, πεδία μαχών, στο διάστημα ή στα βάθη των ωκεανών.

### **Στρατιωτικές εφαρμογές**

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων γίνονται αναπόσπαστο μέρος της στρατιωτικής διοίκησης, του ελέγχου, των επικοινωνιών, της πληροφορικής, της ευφυΐας, της επιτήρησης, της αναγνώρισης και των συστημάτων στόχευσης. Στο πεδίο της μάχης, μια προβλέψιμη τάση είναι ότι οι στόχοι θα γίνουν μικρότεροι και λιγότερο αναγνωρίσιμοι / ανιχνεύσιμοι, θα έχουν μεγαλύτερη κινητικότητα και συνήθως θα κινούνται σε εχθρικό έδαφος.

Για να εξερευνήσουν τη θέση και τη δύναμη των αντίθετων δυνάμεων, μια πολλά υποσχόμενη λύση βρίσκεται στις πυκνές συστοιχίες αισθητήρων που θα τοποθετούνται κοντά στους επιδιωκόμενους στόχους, λόγω της ικανότητάς τους να μην χρειάζονται τον άνθρωπο, να είναι εύκολα στην εγκατάσταση, στην αυτό-οργάνωση και να έχουν ανοχή σε σφάλματα. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να παρέχουν εξαιρετικά περιττή και συνεργατική ανίχνευση δεδομένων χωρίς την υποστήριξη των φιλικών δυνάμεων.

Επίσης, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να τοποθετηθούν σε μη επανδρωμένα ρομποτικά οχήματα, άρματα μάχης, μαχητικά αεροσκάφη, υποβρύχια, πυραύλους και τορπίλες για να ορίζουν την διαδρομή τους γύρω από εμπόδια, να τους καθοδηγούν προς την ακριβή θέση και να μπορούν να συντονιστούν το ένα με το άλλο για να εκπληρώσουν πιο αποτελεσματικές επιθέσεις ή άμυνες. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την τηλεπισκόπηση πυρηνικών, βιολογικών και χημικών όπλων, την ανίχνευση πιθανών τρομοκρατικών επιθέσεων και αναγνώρισης.

Προφανώς, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων θα κατέχουν σημαντικό ρόλο στα στρατιωτικά καθήκοντα και θα κάνουν μελλοντικές επιθέσεις και άμυνες πιο έξυπνες, με λιγότερη ανθρώπινη παρέμβαση. (Ilyas & Mahgoub, 2005)

### **Βιομηχανικές εφαρμογές**

Τα δίκτυα των ενσύρματων αισθητήρων έχουν χρησιμοποιηθεί από καιρό σε βιομηχανικούς τομείς, όπως η βιομηχανική ανίχνευση και εφαρμογές ελέγχου, η

οικοδόμηση αυτοματισμού και του ελέγχου πρόσβασης. Ωστόσο, το κόστος που συνδέεται με την ανάπτυξη των ενσύρματων αισθητήρων περιορίζει τη δυνατότητα εφαρμογής αυτών των συστημάτων.

Επιπλέον, ακόμη και αν ένα σύστημα αισθητήρων είχε αναπτυχθεί σε μια βιομηχανική εγκατάσταση, η αναβάθμιση του συστήματος αυτού θα κόστιζε σχεδόν όσο ένα νέο σύστημα. Μαζί με τα συστήματα παρακολούθησης από αισθητήρες, χειροκίνητη παρακολούθηση επίσης έχει χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανικές εφαρμογές για την προληπτική συντήρηση. Η χειροκίνητη παρακολούθηση γενικά χρησιμοποιείται από έμπειρο προσωπικό με τη χρήση φορητών αναλυτών που συλλέγουν δεδομένα από μια κεντρική τοποθεσία για ανάλυση.

Ενώ τα συστήματα αισθητήρων επιβαρύνονται με υψηλό κόστος εγκατάστασης, τα χειροκίνητα συστήματα έχουν περιορισμένη ακρίβεια και απαιτούν προσωπικό. Αντί αυτού, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για αυτά τα συστήματα λόγω της ευκολίας στην τοποθέτησή τους, της διακριτικότητας και της υψηλής ακρίβειας που παρέχονται μέσω μονάδων ασύρματης επικοινωνίας που τροφοδοτούνται από μπαταρία.

### **Εμπορικές Εφαρμογές**

Μερικές από τις εμπορικές εφαρμογές παρακολουθούν την φθορά του υλικού, διαχειρίζονται τα αποθέματα, παρακολουθούν την ποιότητα των προϊόντων, κατασκευάζουν έξυπνους χώρους σε γραφεία, κάνουν περιβαλλοντικό έλεγχο του κτιρίου, ελέγχουν και καθοδηγούν ρομπότ για τα αυτόματα περιβάλλοντα παραγωγής, κάνουν διαδραστικά παιχνίδια, κάνουν διαδραστικά μουσεία, ελέγχουν την διαδικασία και τον αυτοματισμό σε εργοστάσια, παρακολουθούν πληγμένες περιοχές, παρακολουθούν έξυπνες κατασκευές με ενσωματωμένους κόμβους αισθητήρων, κάνουν διαγνωστικά μηχανών, ελέγχουν τοπικά τους ενεργοποιητές, ανιχνεύουν και παρακολουθούν κλοπές αυτοκινήτων, εντοπίζουν και ανιχνεύουν οχήματα. (Akyildiz & Vuran, 2010)

### **Εφαρμογές στην ιατρική φροντίδα**

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι πολύ χρήσιμα για την παροχή άμεσης και αποτελεσματικής φροντίδας στον τομέα της υγείας και θα οδηγήσουν σε ένα πιο υγιεινό περιβάλλον για τον άνθρωπο.

Ορισμένες χρήσεις των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στον συγκεκριμένο τομέα περιλαμβάνουν:

#### Απομακρυσμένη παρακολούθηση του ιού.

Πολλές περιοχές που μαστίζονται από ασθένειες είναι φτωχές και δεν έχουν αξιόπιστη επικοινωνία.

Η διάδοση μεγάλων αριθμών ασύρματων αισθητήρων σε τέτοιες περιοχές θα μπορέσει να βοηθήσει να μαζευτούν και να διαβιβαστούν κρίσιμες επίγειες πληροφορίες, όπως το περιστατικό της νόσου και τα χαρακτηριστικά του μολυσμένου πληθυσμού, να προσδιορίσει τα χαρακτηριστικά της περιοχής και να παρακολουθήσει τις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως είναι η ποσότητα της βροχόπτωσης και της υγρασίας, που υποστηρίζουν τον πολλαπλασιασμό των εντόμων που μεταφέρουν τους ιούς.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν, επίσης, να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση και την πρόβλεψη της εξάπλωσης ορισμένων μολυσματικών ασθενειών, όπως η ελονοσία. Ένα πρόγραμμα που ονομάζεται Health Improvements through Space Technologies and Resources (HI-STAR) προτείνει την ανάπτυξη ενός παγκόσμιου συστήματος πληροφόρησης για την ελονοσία. Με βάση την συγκέντρωση του αέρα και των επίγειων δεδομένων μέσω ασύρματων αισθητήρων και με την ενσωμάτωση και ανάλυση επιδημιολογικών πληροφοριών, το σύστημα αυτό μπορεί να δημιουργήσει "χάρτες κινδύνου" για την ελονοσία και να παρέχει έγκαιρες προειδοποιήσεις για τα κρούσματα ελονοσίας.

Οι επίσημοι υπάλληλοι της υγείας θα μπορούσαν επίσης να διαθέσουν περιορισμένους πόρους για την πρόληψη και θεραπεία ασθενειών σε παγκόσμια κλίμακα.

#### Ολοκληρωμένη παρακολούθηση των ασθενών.

Η χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων για την παρακολούθηση των ασθενών είναι ένα βολικό και αποτελεσματικό μέτρο για την αποφυγή της εξάπλωσης ορισμένων μολυσματικών ασθενειών.

Σύμφωνα με μια συζήτηση, τον Απρίλιο του 2003, στη Canadian Broadcast Corporation (CBC), μερικοί άνθρωποι που έσπασαν την καραντίνα στο Τορόντο κατά τη διάρκεια της περιόδου του σοβαρού αναπνευστικού συνδρόμου (SARS) την άνοιξη του 2003, θα ήταν υποχρεωμένοι να φορούν μια ελαφριά συσκευή με ένα ασύρματο αισθητήρα στους αστραγάλους τους.

Αυτή η συσκευή θα μπορούσε να παρακολουθεί τις κινήσεις τους και να τις αναφέρει στις αρμόδιες αρχές. Επιπλέον, οι ηλικιωμένοι πολίτες χωρίς επαρκή φροντίδα θα

μπορούσαν να έχουν ασύρματους αισθητήρες που συνδέονταν με ιατρικές συσκευές για τη μέτρηση των ρυθμών της καρδιάς τους, την αρτηριακή τους πίεση, κλπ.

Σε μη κανονικές συνθήκες, μια αυτόματη ειδοποίηση υπενθυμίζει στους φορείς να καλέσουν τον γιατρό τους ή μια αυτόματη ειδοποίηση αποστέλλεται απευθείας σε κέντρα έκτακτης ανάγκης. Επιπλέον, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ιατρικές στατιστικές που απαιτούν συλλογή δεδομένων από ένα μεγάλο αριθμό ανθρώπων ή την παρακολούθηση ορισμένων ασθενών για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Παραπάνω εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στο χώρο της υγείας είναι η παρακολούθηση του επιπέδου γλυκόζης για ασθενείς με διαβήτη, παρακολούθηση των οργάνων που προορίζονται για μεταμόσχευση, την ανίχνευση καρκίνου σε άτομα υψηλού κινδύνου καθώς και για γενική παρακολούθηση της υγείας.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν στη διαχείριση και τη διανομή των φαρμάκων. (Ilyas & Mahgoub, 2005)

#### **Εφαρμογές στο σπίτι- «Έξυπνο» Σπίτι**

Οι εφαρμογές που μπορούν να έχουν τα WSNs σε περιβάλλοντα σπιτιού είναι πρακτικά απεριόριστες. Ενδεικτικά μερικές είναι ο αυτοματισμός διάφορων οικιακών συσκευών με την εμφύτευση μικροσκοπικών έξυπνων κόμβων αισθητήρων και των ενεργοποιητών οι οποίοι θα τους δίνουν τη δυνατότητα να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους αλλά και να συνδέονται με εξωτερικά δίκτυα όπως το διαδίκτυο.

Έτσι ένα «έξυπνο» ψυγείο, αφού προηγουμένως έχει ενημερωθεί για τις προτιμήσεις του ιδιοκτήτη του, θα μπορεί να παραγγέλνει τα τρόφιμα που εντοπίζει ότι λείπουν, η ηλεκτρική σκούπα θα καθαρίζει αυτόνομα τις ώρες που δεν βρίσκεται κανείς στο σπίτι και ο χρήστης θα μπορεί μέσω του διαδικτύου να δίνει εντολές σε διάφορες συσκευές (π.χ. το σύστημα κλιματισμού) αλλά και να ενημερώνεται για την κατάσταση αυτών, είτε αυτόματα είτε κατά βούληση.(Verdone 2008)

Επίσης, τα WSNs σε οικιακά περιβάλλοντα θα μπορούν να προσαρμόζονται στις ανάγκες των χρηστών και να δρουν ανάλογα. Για παράδειγμα, όταν ο χρήστης επιστρέφει το βράδυ στο σπίτι τα φώτα θα ανάβουν αυτόματα ενώ ταυτόχρονα, αν ο ίδιος το επιθυμεί τηλεόραση ή οποιαδήποτε άλλη συσκευή ήχου θα ενεργοποιείται στο κανάλι της επιλογής του.

Το βράδυ, κατά την είσοδο του σε επιλεγμένα δωμάτια το WSN θα ανάβει αυτόματα το φως και μετέπειτα θα έχει τη δυνατότητα να το σβήνει, όταν διαπιστώνει ότι δεν βρίσκεται πλέον κανείς στο δωμάτιο. Επίσης το WSN θα μπορεί να ελέγχει το επίπεδο

φωτισμού και θέρμανσης, για την επίτευξη της μεγίστης δυνατής οικονομίας και άνεσης και επιπλέον θα επιτηρεί τη στάθμη του πετρελαίου της κεντρικής θέρμανσης, έτσι ώστε να ειδοποιεί άμεσα για αναπλήρωση όταν αυτό κριθεί απαραίτητο. (Batalin 2005)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΣΠΙΤΙ

### 3.1 Ορισμός και περιγραφή

Το προσωπικό ή εργασιακό περιβάλλον που περικλείει ένα σύνολο τεχνολογικών εφαρμογών με κοινό παρανομαστή την αυτοματοποίηση και τον έλεγχο των επιμέρους τμημάτων του, μπορεί να θεωρηθεί ως ορισμός του έξυπνου σπιτιού.

Ο βαθμός αυτοματοποίησης καθώς και ο βαθμός στον οποίο εφαρμόζεται αυτός ο έλεγχος ποικίλει, αφού είναι παράγοντας πολλών παραμέτρων. Οι παράμετροι μπορεί να είναι το κόστος, οι προσωπικές επιθυμίες του ιδιοκτήτη και ο τύπος του κτιρίου στο οποίο θα εγκατασταθεί η τεχνολογία.

Το έξυπνο σπίτι μας παρέχει έναν απλοποιημένο και αναβαθμισμένο τρόπο ζωής εξασφαλίζοντας μείωση των πάγιων εξόδων και των ρυπογόνων εκπομπών στο περιβάλλον. Με την πάροδο των χρόνων το κόστος των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών και συστημάτων μειώνεται έτσι ώστε οι αυτοματισμοί οικίας ή το έξυπνο σπίτι γίνονται πλέον πολύ προσιτά σε όλους. Γενικά η εύκολη εγκατάσταση, η ελάχιστη συντήρηση, η αθόρυβη λειτουργία τους, η εξοικονόμηση ενέργειας, η άνεση και ο προσωπικός έλεγχος επί του οικιακού περιβάλλοντος αποτελούν τα κυριότερα πλεονεκτήματα της αυτοματοποίησης χώρων.

Η τεχνολογία έξυπνων σπιτιών πρέπει να πληροί ορισμένες προϋποθέσεις, όπως:

- η διασφάλιση της ανθρώπινης ζωής και περιουσίας
- η διαχείριση της τεχνολογίας
- η επικοινωνία με το εξωτερικό περιβάλλον
- η συμβολή στην απλούστευση της καθημερινής ζωής του χρήστη.

Ένα έξυπνο σπίτι ελέγχει όλες του τις λειτουργίες, εντός και εκτός σπιτιού, από ένα μόνο σημείο διαχείρισης. Με την χρήση της τεχνολογίας ο ιδιοκτήτης ενός σπιτιού μπορεί να το μετατρέψει σε ένα έξυπνο σπίτι, το οποίο αναγνωρίζει ταχύτατα τις ανάγκες του και προσαρμόζεται αναλόγως αλλά και σε ένα πλήρως ελεγχόμενο σπίτι το οποίο μπορεί να διαχειρίζεται από οποιοδήποτε σημείο του κόσμου.

Ένας κεντρικός υπολογιστής (server) ενώνει, σε ένα δίκτυο, συσκευές σε όλα τα δωμάτια του σπιτιού, ελέγχει τη λειτουργία τους, δίνει εντολές και διευκολύνει τους ενοίκους σε δραστηριότητες κάθε είδους, λιγότερο ή περισσότερο σημαντικές. Δηλαδή, ελέγχει όλα τα συστήματα κλιματισμού, φωτισμού και ασφαλείας. Ο ιδιοκτήτης μπορεί να έχει πρόσβαση στο συγκεκριμένο server, μέσω διαδικτύου, του κινητού, της κεντρικής μονάδας ή του προσωπικού ψηφιακού βοηθού (PDA).

- Οι κάμερες των συστημάτων ασφαλείας τίθενται σε λειτουργία από το γραφείο ή το δρόμο.
- Στην κουζίνα υπάρχει μία οθόνη που λειτουργεί με το άγγιγμα, μέσω της οποίας ελέγχονται όλες οι ηλεκτρικές συσκευές.
- Το ψυγείο ενημερώνεται (μέσω bar code των προϊόντων) για τις ελλείψεις.
- Με ένα τηλεχειριστήριο ο ιδιοκτήτης ελέγχει τη λειτουργία της τηλεόρασης, στερεοφωνικού, του DVD κ.α.
- Ένα ρολόι στέλνει στην καφετιέρα σήμα να αρχίσει να φτιάχνει καφέ.
- Όταν κάποιος σηκώνεται τη νύχτα από το κρεβάτι, το σύστημα αυτοματισμού θ' ανάψει ήπια το φωτισμό του δωματίου. Παράλληλα θ' ανάψει το φως του διαδρόμου και του λουτρού ή του WC. Όταν επιστρέψει στο δωμάτιο και σβήσει το φως, το σύστημα θα σβήσει αυτόματα.
- Στα δωμάτια υπάρχουν οθόνες αφής που ελέγχουν συσκευές σε άλλα δωμάτια, όπως το πλυντήριο ρούχων ή πιάτων.
- Η τηλεόραση προσφέρει ταινίες κατά παραγγελία και δυνατότητα τηλεθέασης όχι μόνο από ένα, αλλά από πολλά δωμάτια του σπιτιού.
- Τα φώτα μέσα στο σπίτι και έξω από αυτό ανάβουν και σβήνουν στην επιθυμητή ένταση από απόσταση.
- Ο ένοικος μπορεί να διακόψει την παροχή ρεύματος σε κάποιες ή όλες τις πρίζες, προκειμένου να προστατεύσει άλλα άτομα (π.χ., μικρά παιδιά) από κίνδυνο ηλεκτροπληξίας.
- Η κατοικία εφοδιάζεται με βασικές λειτουργίες συναγερμού. Εάν παραβιαστούν τα παράθυρα ή οι πόρτες ή εντοπιστεί ανεπιθύμητη παρουσία ατόμου, ενεργοποιείται η σειρήνα, ενώ παράλληλα ειδοποιείστε τηλεφωνικώς. Εάν φεύγουμε από την κατοικία και ενεργοποιούμε το συναγερμό, το σύστημα αυτοματισμού θα σβήσει τα φώτα, θα κλείσει την ηλεκτρική κουζίνα ή το θερμοσίφωνα, εάν έχουν ξεχαστεί αναμμένα, θα μαζέψει όλες τις ηλεκτρικές τέντες κ.λπ.
- Εάν κάτι έκτακτο συμβαίνει στην κατοικία π.χ., πυρκαγιά ή κάποια βλάβη κατά την απουσία του ιδιοκτήτη άμεση πληροφόρηση από το σύστημα αυτοματισμού.



- Εάν ο ήλιος «καίει» το πάτωμα, το σύστημα θα κατεβάσει την ηλεκτρική τέντα. Εάν, όμως, ο άνεμος απειλεί να σχίσει την τέντα, τότε θα τη μαζέψει και θα κατεβάσει το ρολό για να προστατέψει το πάτωμα.
- Σε περίπτωση διακοπών είναι δυνατόν να υπάρχουν συγκεκριμένες ώρες ποτίσματος, αλλά και να ληφθούν υπ' όψη άλλοι παράγοντες, όπως εάν βρέχει, να μην εκτελεστεί το πότισμα, ή εάν έχουμε υψηλότερη θερμοκρασία να παραταθεί ο χρόνος ποτίσματος.
- Δημιουργία σεναρίων τα οποία μπορούν να ενεργοποιούνται ή να ακυρώνονται κατά βούληση.

Κάποιες από τις αναφερθείσες δυνατότητες φαίνονται και στην εικόνα 3.1. Γενικά οι λειτουργίες που μπορεί να ενσωματώνει ένα «έξυπνο» σπίτι αφορούν στο σύνολο των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (διασκέδαση, εργασία, καθημερινές ασχολίες), αφού το μοναδικό ουσιαστικό όριο είναι η ίδια η φαντασία μας.



Σχήμα 3.1: Λειτουργίες ενός έξυπνου σπιτιού.

### 3.2 Συσσκευές και αισθητήρες για έξυπνο σπίτι

#### E – Dreams Z41 Lite

Έγχρωμη οθόνη αφής χωρητικής τεχνολογίας 4,1" που επιτρέπει κεντρικό έλεγχο στο δίκτυο.



Σχήμα 3.2: E – Dreams Z41 Lite.

Η οθόνη μπορεί να συνδεθεί με τις παρακάτω συσκευές:

- Θερμοστάτη για έλεγχο θέρμανσης ή ψύξης με εξοικονόμηση ενέργειας έως 30%.
- Ενεργειακό μετρητή ρεύματος με γραφήματα και ιστορικό ημέρας, εβδομάδας, μήνα.
- Ανιχνευτή κίνησης και φωτισμού.
- Αισθητήρα θερμοκρασίας περιβάλλοντος ή ζεστού νερού χρήσης.
- Χρονοδιακόπτες/εντολές φωτισμού, ηλεκτρικής αντίστασης θερμοσίφωνα/boiler, διαχείριση ενεργοβόρων φορτίων.
- Χρονοδιακόπτη ποτίσματος.
- Αυτόματη αλλαγή ρυθμίσεων θερμοστατών (εβδομαδιαίος προγραμματισμός).
- Σύνδεση με οποιονδήποτε συναγερμό.

Τέτοιου είδους οθόνες λειτουργούν σαν τερματικοί σταθμοί. Έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες ενώ μπορούν να επεκταθούν και με εξωτερικούς είτε για να καλύψουν περισσότερους χώρους είτε γιατί δεν υπάρχουν προ-εγκατεστημένοι. Επίσης υπάρχει η

δυνατότητα για διαφορετικού είδους σύνδεση (ασύρματη – ενσύρματη) με τους απομακρυσμένους αισθητήρες,

Επίσης μπορεί να αποτελέσει μία ολοκληρωμένη λύση για τον έλεγχο όλων των αισθητήρων σε ένα σπίτι και να δημιουργήσει πύλη επικοινωνίας μέσω Internet για απομακρυσμένο έλεγχο μέσω Smart Phone και υπολογιστή.

### **WeMo Switch + Motion Kit**

Το πακέτο περιλαμβάνει:

- WeMo Switch
- WeMo Motion
- Quick Install Guide



Σχήμα 3.3: WeMo Switch + Motion Kit.

Το WeMo Switch and WeMo Motion Kit της Belkin μας δίνει τη δυνατότητα ασύρματου ελέγχου των ηλεκτρικών συσκευών του σπιτιού, ενεργοποιώντας και απενεργοποιώντας τες όταν εντοπίζει κάποια κίνηση.

Ο αισθητήρας (Motion Kit) τοποθετείται σε κάποια πρίζα και μπορεί να εντοπίσει κίνηση μέχρι και σε 3 μέτρα απόσταση. Μόλις συμβεί αυτό θα στείλει σήμα (μέσω δικτύου Wi-Fi) στο διακόπτη (Switch) και αυτός θα ενεργοποιήσει ή απενεργοποιήσει την ελεγχόμενη συσκευή.

Με τη βοήθεια της αντίστοιχης εφαρμογής στο smartphone μπορούμε να προγραμματίσουμε τα φώτα να ανάβουν όταν μπαίνουμε σπίτι και να σβήνουν όταν

φεύγουμε ή μια καφετιέρα να ετοιμάσει καφέ μόλις σηκωθούμε απ' το κρεβάτι, και πολλές άλλες λειτουργίες.

Το WeMo kit είναι επεκτάσιμο, επιτρέποντάς μας να ελέγχουμε όσο μεγάλο ή μικρό μέρος του σπιτιού επιθυμούμε, απλά προσθέτοντας διακόπτες στις συσκευές που θέλουμε να ελέγξουμε.

Επιπλέον, πολλοί διακόπτες μπορούν να συνδεθούν σε έναν αισθητήρα ελέγχοντας ταυτόχρονα πολλές συσκευές. Με αυτό τον τρόπο έχουμε τη δυνατότητα να αξιοποιήσουμε υπάρχουσες ηλεκτρικές συσκευές και να τις κάνουμε “έξυπνες”.



Σχήμα 3.4: Εφαρμογή WeMo Switch.

Επί της ουσίας οι συσκευές επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω Wi-Fi και παράλληλα δημιουργούν μια επιπλέον σύνδεση Wi-Fi με το Modem/Router του σπιτιού ώστε να επιτευχθεί η επικοινωνία με τον υπολογιστή ή και το κινητό όταν βρισκόμαστε εκτός σπιτιού.

### **RemoteLock 6000i WiFi Door Lock**



Σχήμα 3.5: RemoteLock 6000i WiFi Door Lock.

Το RemoteLock ACS είναι ένα σύστημα ελέγχου βασισμένο σε cloud-computing εφαρμογή που περιέχει κλειδαριές με ενσωματωμένο Wi-Fi προσφέροντας μια ολοκληρωμένη λύση προστασίας.

Χρησιμοποιώντας το αντίστοιχο περιβάλλον και εκμεταλλευόμενοι το Wi-Fi της κάθε κλειδαριάς μπορούμε να ελέγξουμε όλες της πόρτες ενός «Εξυπνου Σπιτιού», τόσο τις εξωτερικές όσο και τις εσωτερικές, μέσω της online εφαρμογής.



Σχήμα 3.6: Interface του RemoteLock ACS.

Κάθε κλειδαριά μπορεί να ανοίξει με τρεις τρόπους. Με τη χρήση της online εφαρμογής, την χρήση κωδικού (υποστηρίζει μέχρι 200 μόνιμους κωδικούς) και με κλειδί. Υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας προσωρινών κωδικών (μέχρι 10) για επισκέπτες, με συγκεκριμένη ημερομηνία λήξης, μέσω υπολογιστή ή κινητού. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα αποστολής ειδοποιήσεων κάθε φορά που ανοίγει η πόρτα ενημερώνοντας τον ιδιοκτήτη ποιος και πότε την χρησιμοποίησε, ενώ κρατάει και ιστορικό προσβάσεων.

Λειτουργεί με μπαταρία γεγονός που κάνει πιο εύκολη την εγκατάστασή της αφού δεν χρειάζεται επιπλέον καλωδίωση. Γίνεται απλά αντικατάσταση της προϋπάρχουσας παραδοσιακής κλειδαριάς.

### **Ecobee Smart Wi-Fi Thermostat**



Σχήμα 3.7: Ecobee Smart Wi-Fi Thermostat.

Όλοι οι παραδοσιακοί θερμοστάτες ρυθμίζουν την θερμοκρασία του σπιτιού ανάλογα με την θερμοκρασία του δωματίου στο οποίο είναι τοποθετημένοι. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το μόνο δωμάτιο που πραγματικά έχει την θερμοκρασία που επιθυμούμε να είναι αυτό με το θερμοστάτη ενώ όλα τα υπόλοιπα έχουν διαφορετική.

Το πρόβλημα αυτό λύνεται με τη χρήση των έξυπνων θερμοστατών όπως ο Ecobee Smart Wi-Fi Thermostat.

Οι ασύρματοι αισθητήρες (ecobee Remote Sensors) μετράνε τη θερμοκρασία σε κάθε δωμάτιο, ενώ παράλληλα ελέγχουν και την παρουσία ανθρώπων σε αυτό, και

επικοινωνώντας μέσω Wi-Fi με το θερμοστάτη ρυθμίζουν ανάλογα κάθε φορά τη θερμοκρασία.

Ο έλεγχος του θερμοστάτη μπορεί επίσης να γίνει, με την αντίστοιχη εφαρμογή, από το κινητό, το tablet ή και τον υπολογιστή. Κάθε θερμοστάτης υποστηρίζει μέχρι και 32 ασύρματους αισθητήρες.



Σχήμα 3.8: Έλεγχος θερμοστάτη από διαφορετικές συσκευές.

Μέσω της εφαρμογής δίνεται επίσης η δυνατότητα προβολής πληροφοριών από τον κάθε αισθητήρα ξεχωριστά, όπως τρέχουσα και επιθυμητή θερμοκρασία δωματίου, καθώς επίσης και προβολή της πρόβλεψης του καιρού για τις επόμενες 4 μέρες.

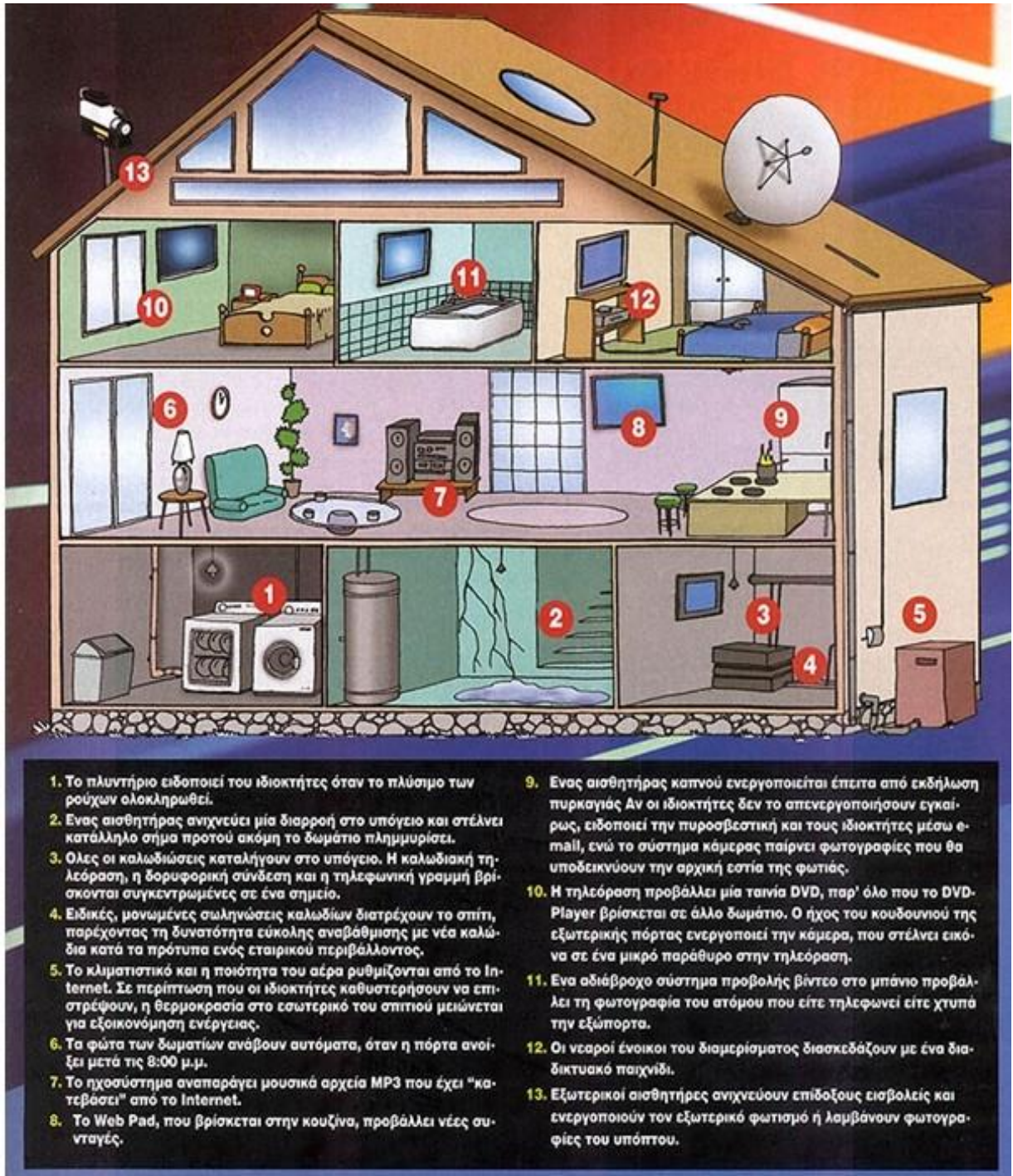
Ενδεικτικά παραδείγματα συσκευών αισθητήρων και τερματικών σταθμών:

Συσκευή Δικτύωσης	Τεχνολογία			Ρόλος	
	BlueTooth	Wi-Fi	ZigBee	Router	Sensor
<b>Sunny Beam</b>	✓			✓	
<b>Flux Bluetooth LED light bulbs</b>	✓				✓
<b>Best Smart Speaker</b>	✓				✓
<b>Nordic-powered Bluetooth Smart controllers</b>	✓			✓	
<b>Dexatek SA-7113 Qube</b>	✓			✓	
<b>D-Link Water Sensor</b>		✓			✓
<b>D-Link Motion Sensor</b>		✓			✓
<b>D-Link Smart Plug</b>		✓			✓

<b>D-Link Audio Extender</b>		✓		✓	
<b>E – Dreams Z41 Lite</b>		✓		✓	
<b>WeMo Switch + Motion Kit</b>		✓			✓
<b>RemoteLock 6000i WiFi Door Lock</b>		✓			✓
<b>Ecobee Smart Wi-Fi Thermostat</b>		✓			✓
<b>Proteus DX Wi-Fi door sensor</b>		✓			✓
<b>Proteus AMBIO temperature and humidity</b>		✓			✓
<b>Smoke &amp; Carbon Monoxide Alarm</b>		✓			✓
<b>The Luminode</b>		✓			✓
<b>Automated Craft Beer Home Brewery</b>		✓			✓
<b>The Pearl Thermostat</b>			✓		✓
<b>PIR Motion Detector</b>			✓		✓
<b>WS-15ZBS ZigBee water sensor</b>			✓		✓
<b>Carbon Monoxide Detector</b>			✓		✓
<b>Room Sensor</b>			✓		✓
<b>Load Control power measurement</b>			✓	✓	
<b>Window Sensor</b>			✓		✓
<b>Water Leak Sensor</b>			✓		✓
<b>Area Controller</b>			✓	✓	
<b>Jasmine 993</b>			✓	✓	
<b>LG Smart Bulb</b>			✓		✓
<b>Kwikset SmartCode</b>			✓		✓
<b>ZigBee HA Wireless Switch</b>			✓		✓
<b>Z-Stack Home</b>			✓	✓	
<b>Firefighter Smoke Listener</b>			✓		✓
<b>ZLL Remote</b>			✓	✓	
<b>CEIVA Share IHD</b>			✓	✓	

Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε πως με τη χρήση ορισμένων από τους παραπάνω αισθητήρες μπορούμε να έχουμε μία ολοκληρωμένη δικτύωση από αισθητήρες σε μία κατοικία.





Σχήμα 3.9: Ολοκληρωμένο έξυπνο σπίτι.

Μπορούμε εύκολα να ομαδοποιήσουμε τους παραπάνω αισθητήρες σε 4 ομάδες:

- 1) Ασφάλειας (κάμερες, αισθητήρες κίνησης, διαρροές, πυρασφάλεια κλπ)
- 2) Δουλειές του σπιτιού (πλυντήριο, μαγείρεμα κλπ)
- 3) Ψυχαγωγίας
- 4) Άνεσης (θερμοκρασία, φωτισμός κλπ)

### 3.3 Σενάρια εφαρμογής σε έξυπνο σπίτι

Με τον όρο σενάρια εννοούμε το σύνολο των λειτουργιών που έχει επιλέξει ο ιδιοκτήτης προς αυτοματοποίηση με σκοπό την πλήρη εκμετάλλευση του εξοπλισμού και την παροχή άνεσης, ασφάλειας και επικοινωνίας ακόμα και όταν ο ίδιος θα είναι απών. Τα σενάρια αυτά μπορούν να έχουν ένα κωδικό όνομα και τις ιδιότητες που επιθυμεί κάθε χρήστης.

Ενδεικτικά, κάποια συνηθισμένα σενάρια είναι τα εξής:

**ΗΜΕΡΑ:** Με το σενάριο αυτό υπάρχει δυνατότητα να πραγματοποιηθούν όλες οι ανάγκες ενός σπιτιού κάθε πρωί. Παραδείγματος χάριν, μόλις η αφύπνιση ενεργοποιηθεί, οι ένοικοι θα έχουν στην διάθεση τους ζεστό νερό, ζεστό καφέ, η αγαπημένη τους μουσική μπορεί να ηχεί από το ραδιόφωνο ακόμα και να ενημερώνονται στους δέκτες τους για τα νέα της ημέρας, τα οποία το Διαδίκτυο έχει συλλέξει από το προηγούμενο βράδυ. Τέλος μέσα από το σενάριο αυτό είναι δυνατόν να ενεργοποιηθεί το σύστημα συναγερμού για ασφάλεια σε πόρτες και παράθυρα ενώ παράλληλα μέσα οι ένοικοι θα απολαμβάνουν την βολή του σπιτιού τους.

**ΝΥΧΤΑ:** Μέσα από την ενεργοποίηση του συγκεκριμένου σεναρίου ρυθμίζονται τα φώτα, ώστε να είναι σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο, καθώς επίσης ενεργοποιείται και το σύστημα συναγερμού σε χώρους όπως το υπόγειο, έτσι ώστε οι ένοικοι να μπορούν να κινούνται ελεύθερα στο υπόλοιπο σπίτι. Επίσης μέσα από το σενάριο αυτό, αν κατά την διάρκεια της νύχτας εντοπισθεί κίνηση στο χώρο το σύστημα διευκολύνει τον ένοικο, ανοίγοντας του το φως σε χαμηλή ένταση, σε χώρους όπως κουζίνα, λουτρό κτλ. Φυσικά μόλις ο ιδιοκτήτης επιστρέψει στο κρεβάτι του, το φως σβήνει αυτόματα. Τέλος με την επιλογή αυτού του σεναρίου, μπορούμε να ρυθμίσουμε την θερμοκρασία του χώρου μας κατά την διάρκεια της νύχτας ακόμα και μεμονωμένα σε κάθε δωμάτιο.

**ΦΕΥΓΩ:** Με το σενάριο αυτό εκτελούνται όλες οι απαιτούμενες ενέργειες που θα έπρεπε να κάνει κανονικά ένας οποιοσδήποτε ένοικος, δηλαδή κλείνει ξεχασμένα φώτα, κατεβάζει ρολά, σηκώνει τέντες, κλείνει ξεχασμένα κλιματιστικά για εξοικονόμηση ενέργειας και διατηρεί την επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό μέχρι την επιστροφή του ιδιοκτήτη.

**ΕΡΧΟΜΑΙ:** Με το συγκεκριμένο σενάριο ενεργοποιείται η θέρμανση και ο κλιματισμός, ανάβει ο θερμοσίφωνας για την παροχή ζεστού νερού στο σπίτι όταν ο ένοικος θα επιστρέψει και ανάβουν τα φώτα σε επιλεγμένους χώρους, εκείνους που ο ιδιοκτήτης θα χρησιμοποιήσει όταν θα επιστρέψει σπίτι.

**ΔΙΑΚΟΠΕΣ:** Το σενάριο αυτό είναι παρεμφερές του σεναρίου “ΦΕΥΓΩ” με την προσθήκη όμως περισσότερων ενεργειών. Όταν ο ένοικος επιλέξει το σενάριο αυτό, κλείνει η θέρμανση για εξοικονόμηση ενέργειας ενώ ανάβουν φώτα και διάφοροι άλλοι μηχανισμοί για να δίνεται η εντύπωση πως το σπίτι κατοικείται χωρίς καμία αλλαγή. Επίσης εκτελούνται και όλες οι απαραίτητες διαδικασίες σε εξωτερικούς χώρους του σπιτιού, όπως πότισμα του κήπου. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως μέσα από το σενάριο αυτό ο ιδιοκτήτης λαμβάνει μέσω του ηλεκτρονικού του ταχυδρομείου αναφορές σχετικά με την κατάσταση της οικείας του και μπορεί να αντιμετωπίσει οποιαδήποτε δυσλειτουργία ακόμα και από μακριά.

**HOME CINEMA:** Μέσα από την επιλογή του σεναρίου αυτού, ο ένοικος μπορεί να μετατρέψει το σπίτι του σε μια άκρως καλά εξοπλισμένη αίθουσα κινηματογράφου ή αντίστοιχα ενός χώρου συναυλίας. Δηλαδή η αγαπημένη του ταινία παίζει ενώ ρυθμίζονται αυτόματα ο αντίστοιχος ήχος και φωτισμός. Επιπροσθέτως σε περίπτωση ενός πάρτι, ο ένοικος επιλέγει το αγαπημένο του μουσικό πρόγραμμα μετατρέποντας το σπίτι του σε χώρο συναυλίας.

**ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ:** Με το συγκεκριμένο σενάριο ο ιδιοκτήτης ενημερώνεται για την κατάσταση της οικείας του, τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν, την εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία, πιθανές δυσλειτουργίες που θα προκύψουν κτλ.

**ΠΑΡΑΒΙΑΣΗ:** Σε περίπτωση που ενεργοποιηθεί το σύστημα παραβίασης, κλειστό κύκλωμα κάμερας ενημερώνει τον ιδιοκτήτη με σχετικές αναφορές από την πράξη αυτή ενώ ταυτόχρονα γίνεται τηλεφωνική κλήση σε συγγενικό πρόσωπο ή στις αστυνομικές αρχές για το συμβάν αυτό.

Όλα όσα αναφέραμε γίνονται κάτω από την εποπτεία του διαχειριστή και ανά πάσα ώρα και στιγμή μπορεί να ενημερώνεται για το τι γίνεται στο σπίτι ου. Η εφαρμογή στέλνει πάντα ειδοποιήσεις για την λειτουργικότητα της κάθε συσκευής αλλά και του σεναρίου που έχει ορίσει ο κάθε διαχειριστής.

Σε αυτό το σημείο θα κάνουμε μια αναφορά στην υπηρεσία που προσφέρει η Cosmote. Η υπηρεσία ονομάζεται Cosmote Smart Home και αυτή την στιγμή διατίθεται στην αγορά ύστερα από πιλοτικές δοκιμές όπου και έγινε έλεγχος στο κατά πόσο σωστά δουλεύει. Εδώ υπάρχει η απαραίτητη Home Gateway όπου συνδέονται οι συσκευές και γίνεται η διαχείριση τους. Όπως θα δούμε και στις παρακάτω εικόνες μπορεί να γίνει απομακρυσμένος έλεγχος των συσκευών και ως εκ τούτου ολόκληρου του σπιτιού.

Το Cosmote Smart Home αποτελείται από τα εξής:



Σχήμα 3.10: Smart Home Gateway (Σύνδεση και διαχείριση όλων των έξυπνων συσκευών).



Σχήμα 3.11: Μαγνητική Επαφή συναγεραμού.

Η παρούσα συσκευή μπορεί να κουμπώσει πάνω από την κεντρική είσοδο του σπιτιού και να στέλνει μέσω email ή ειδοποίηση στην εφαρμογή ότι η πόρτα μόλις άνοιξε.





Σχήμα 3.12: Εφαρμογή μαγνητικής επαφής συναγερμού.

Στην συνέχεια έχουμε τον αισθητήρα κίνησης μέσω του οποίου μπορούμε να υλοποιήσουμε όλα τα σενάρια που αναφέραμε παραπάνω.



Σχήμα 3.13: Motion Detector.

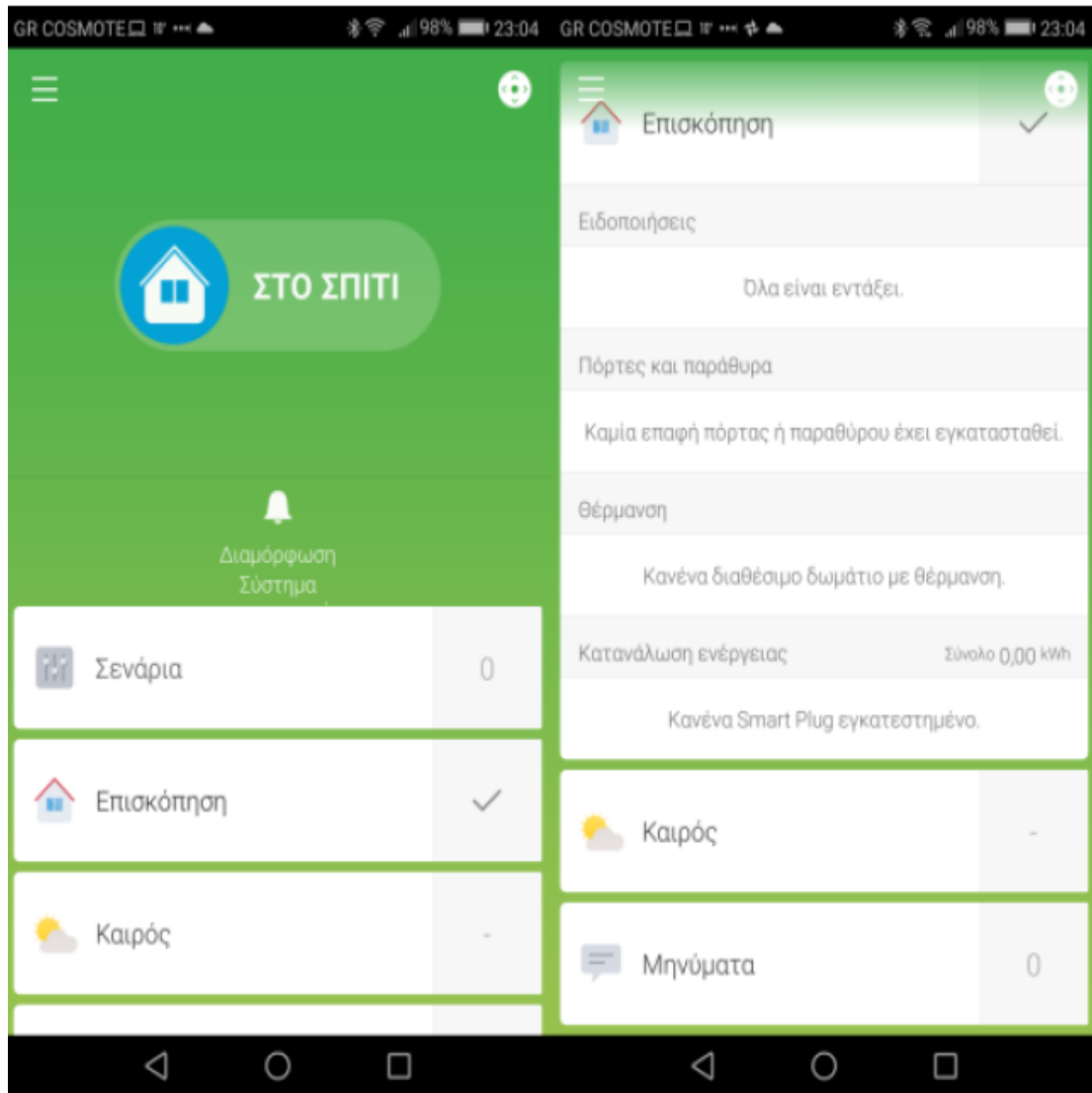
Τέλος έχουμε την έξυπνη πρίζα με την οποία μπορούμε απομακρυσμένα ή μέσω κάποιου σενάριο να ανοίγουμε και να κλείνουμε ηλεκτρικές συσκευές οι οποίες δεν είναι έξυπνες.



Σχήμα 3.14: Smart Plug.

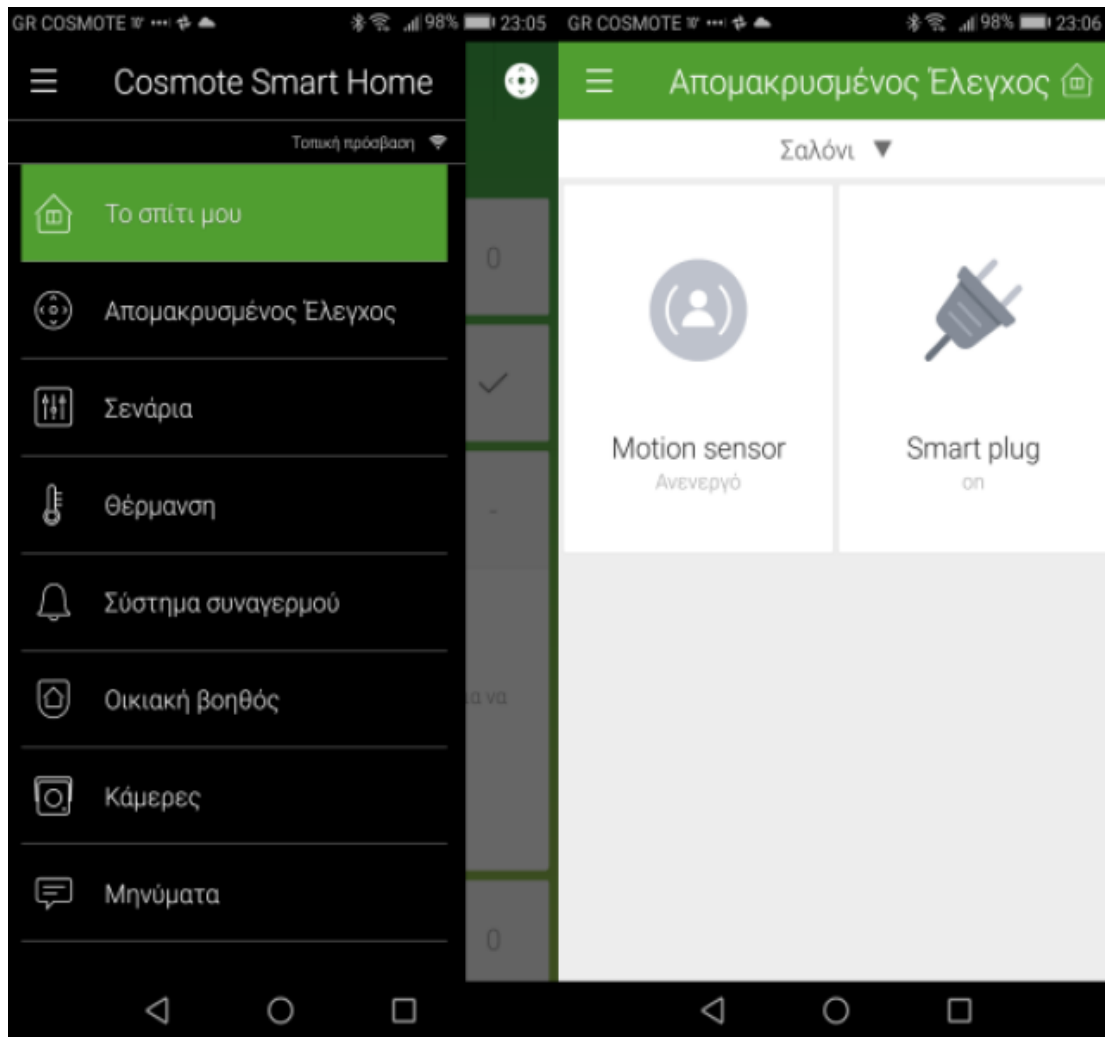


Σχήμα 3.15: Home Gateway.



Σχήμα 3.16: Είσοδος στην εφαρμογή Smart Home.

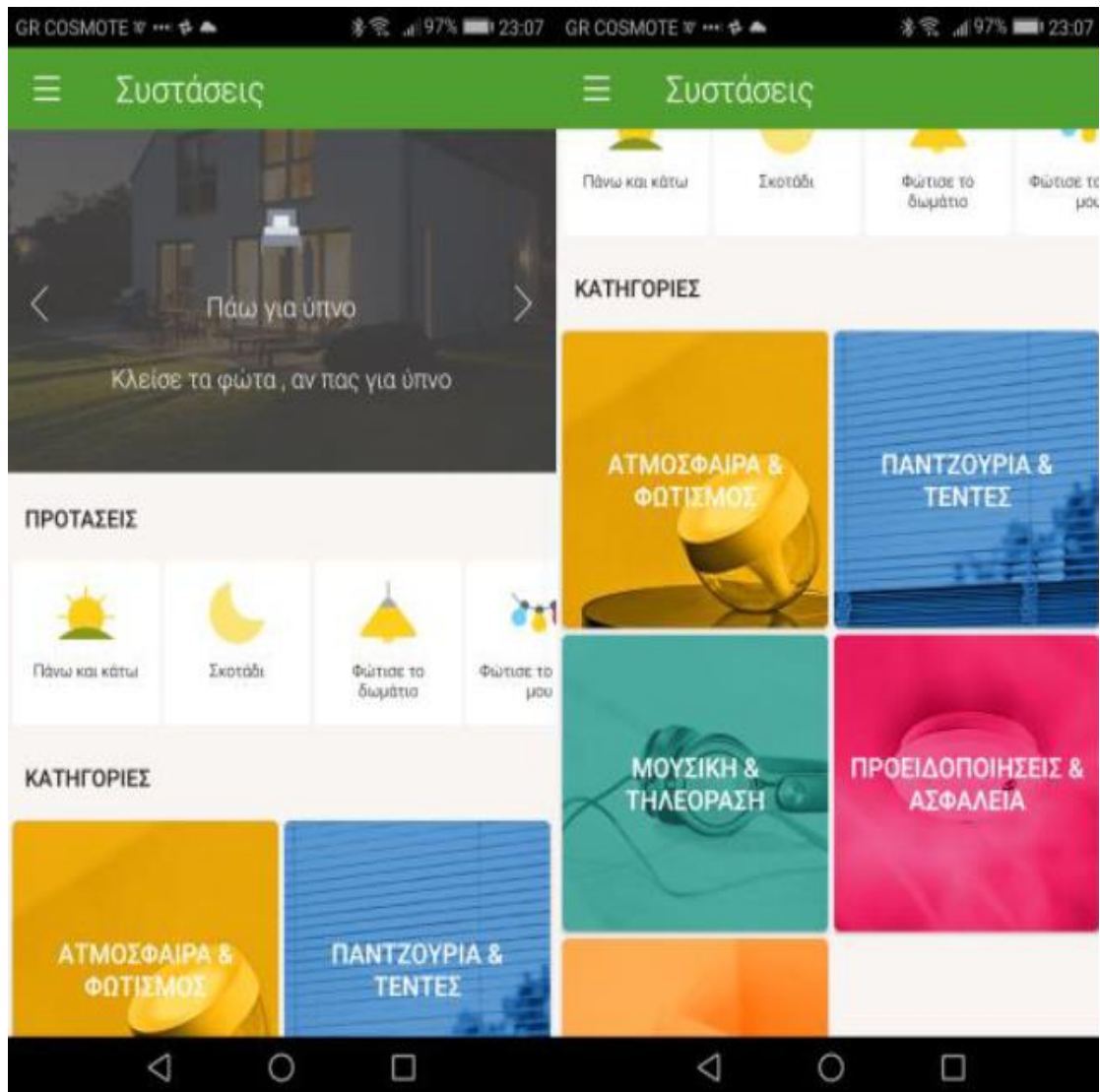
Σε αυτό το σημείο έχουμε κατεβάσει την εφαρμογή και έχουμε εισέλθει στο menu. Παρατηρούμαι ότι υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας σεναρίων με βάση το εξοπλισμό έχουμε αλλά και με βάση τις ανάγκες μας. Μπορούμε να βάλουμε τον καιρό με βάση την τοποθεσία μας και τέλος να κάνουμε ολική επισκόπηση των συσκευών.



Σχήμα 3.17: Δυνατότητες και απομακρυσμένος έλεγχος.

Παρατηρούμε ότι έχουμε δυνατότητα όπως τα για σενάρια , θέρμανση, σύστημα συναγερμού, οικιακή βοηθός , κάμερα και μηνύματα. Τέλος μπορούμε να φτιάξουμε τις δικές συστάσεις οι οποίες να έχουν να κάνουν με δικούς μας κανόνες.





Σχήμα 3.17: Δημιουργία συστάσεων.

Επιπλέον σενάρια χρήσης του έξυπνου σπιτιού και με την συνεισφορά του Cosmote Smart Home.

- 1) Σημαντικό είναι το γεγονός ότι έχουμε την δυνατότητα να ορίσουμε κανόνες λειτουργίας του έξυπνου σπιτιού κάτι που κάνει τις λειτουργίες ακόμα πιο αυτοματοποιημένες. Αυτό βοηθάει στο ότι το κάποια πράγματα θα τα ορίσουμε μια φορά και θα γίνονται μέχρι να τα αλλάξουμε εμείς χειροκίνητα ή αν προκύψει κάποια βλάβη.

Ένα σενάριο είναι αυτό με τον προγραμματισμό του θερμοστάτη και τον κλιματισμών. Όταν η θερμοκρασία πέφτει ή ανεβαίνει από κάποιους βαθμούς κελσίου που έχουμε ορίσει εμείς τότε ο θερμοστάτης θα δίνει την εντολή και θα ανοίγουν τα κλιματιστικά στο ψυχρό ή στο ζεστό ανάλογα την περίσταση και τι κανόνα έχουμε ορίσει.

- 2) Κάτι παρόμοιο με το παραπάνω σε περίπτωση που δεν έχουμε κλιματιστικά ο θερμοστάτης θα μπορεί να δώσει εντολή στα παράθυρα να ανοίξουν ή να κλείσουνε.
- 3) Μετά το πέρας κάποιες ώρες τα φώτα θα ανάβουν αλλά και θα κλείνουν όταν τελειώσει ο περιορισμός.
- 4) Η κάμερα μπορεί να είναι online συνέχεια αλλά μπορεί να δίνει feedback ανα τακτά χρονικά διαστήματα.
- 5) Όταν υπάρχει κίνηση ο αισθητήρας κίνησης δίνει σήμα στην κάμερα να στοχεύει εκεί όπου υπάρχει κίνηση και ενεργοποιεί τα Smart Led να φωτίσουν τον χώρο. Σε αυτό το σημείο στέλνεται μήνυμα στο διαχειριστή μέσω της εφαρμογής που έχει για να διαχειρίζεται τις συσκευές έτσι ώστε να γνωρίζει ποιος είναι στον χώρο.

Ο διαχειριστής έχει την δυνατότητα να κλειδώσει την πόρτα. Σε περίπτωση που έχει τα παιδιά του στο σπίτι και δεν γνωρίζει το άτομο που βλέπει στην κάμερα μπορεί να ενεργοποιήσει την σειρήνα. Η σειρήνα ενεργοποιείται μόλις πάει κάποιος πάει να ανοίξει την πόρτα και στέλνει μήνυμά στον ιδιοκτήτη και γίνεται καταγραφή ώρας και μέρας.

- 6) Ένα ακόμα σενάριο που κάνει ακόμα πιο ελκυστική την χρήση του έξυπνου σπιτιού είναι το γεγονός ότι υπάρχει η δυνατότητα σε περίπτωση που υπάρχει γκαράζ όταν πλησιάζει το αυτοκίνητο και ο αισθητήρας αναγνωρίσει ότι τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα είναι πιο πάνω από το επιτρεπτό όριο τότε να ανοίγει την πόρτα για να εισέρχεται το όχημα.

### **3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έξυπνου σπιτιού**

#### Γενικά πλεονεκτήματα διαβίωσης στο έξυπνο σπίτι είναι:

Το έξυπνο σπίτι, όπως είναι πλέον κατανοητό, μπορεί να κάνει τη ζωή των ενοίκων του πιο εύκολη και αποτελεσματική. Επιπλέον, οι νέες τάσεις και τα τεχνολογικά επιτεύγματα που εφαρμόζονται στο έξυπνο σπίτι μπορούν να έχουν σημαντικές και αξιόλογες περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις. Όπως έχει ήδη ειπωθεί, έξυπνο θεωρείται ένα σπίτι που έχει ως χαρακτηριστικά ηλεκτρονικές και τεχνολογικές καινοτομίες σχεδιασμένες ώστε να ελέγχουν και να αυτοματοποιούν τις διάφορες λειτουργίες της οικίας.

Η μουσική καθώς και άλλα μέσα ψυχαγωγίας μπορούν να ελεγχθούν από ένα μόνο κουμπί ενώ το σπίτι μπορεί να παρακολουθείται μέσω κινητού τηλεφώνου ή διαδικτύου ενώ οι ένοικοι βρίσκονται μακριά. Στην ανάλυση των πλεονεκτημάτων του έξυπνου σπιτιού που ακολουθεί φαίνεται πως στην ουσία τα ίδια τα χαρακτηριστικά του αποτελούν και τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου χώρου διαβίωσης.

- Ευκολία: Η ευκολία είναι ένας από τους κυριότερους λόγους για αυτούς που επιλέγουν να κατασκευάσουν ή να αγοράσουν ένα έξυπνο σπίτι. Το έξυπνο σπίτι εστιάζει σε μηχανισμούς και συστήματα που αυτοματοποιούν και ρυθμίζουν τις ηλεκτρικές συσκευές, τα επίπεδα του κλίματος και της θερμοκρασίας καθώς και άλλες πλευρές της ζωής. Ο έλεγχος μπορεί να καθοριστεί έτσι ώστε οι λειτουργίες να γίνονται αυτόματα σύμφωνα με έναν χρονοδιακόπτη ή ανιχνευτή κινήσεων. Οι λειτουργίες που ελέγχονται από οθόνες αφής και κινητά τηλέφωνα καθιστούν το άνοιγμα των φώτων, την προσαρμογή της θερμοκρασίας των δωματίων και την αναπαραγωγή μουσικής σύμφωνα με τη διάθεση των ενοίκων τόσο απλή όσο το πάτημα ενός κουμπιού.
- Ασφάλεια: Στο έξυπνο σπίτι η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να προσαρμόζει αυτόματα την τάση της στις διάφορες συσκευές και μηχανήματα του χώρου. Επιπλέον, σε αντίθεση με τα συμβατικά ηλεκτρολογικά συστήματα στο εσωτερικό των σπιτιών, το ηλεκτρολογικό σύστημα του έξυπνου σπιτιού παρέχει ενέργεια μόνο στις πρίζες που έχουν συνδεδεμένες συσκευές αλλά και είναι ανοιχτές. Τέλος, ανιχνευτές εντοπίζουν τις διαρροές νερού και αερίου όπως και τα πρώτα σημάδια καπνού και ειδοποιούν άμεσα τους ενοίκους. Ακόμα πιο σημαντικό, το σπίτι επικοινωνεί με το τοπικό αστυνομικό τμήμα ή την ιδιωτική εταιρεία ασφάλειας σε περίπτωση προσπάθειας παραβίασης του χώρου.
- Οικονομία: Το έξυπνο σπίτι έχει τη δυνατότητα να ρυθμίσει την χρήση της παροχής νερού, ηλεκτρισμού κτλ προς όφελος των ενοίκων εξασφαλίζοντας τους με τον τρόπο αυτό χαμηλότερους λογαριασμούς. Αυτό μπορεί να γίνει, για παράδειγμα, προσαρμόζοντας τις παροχές έτσι ώστε να λειτουργούν στο μέγιστο τις ώρες μη αιχμής. Επιπλέον, η μικρότερη σπατάλη σημαίνει πως οι καταναλωτές δε θα χρεώνονται για συσκευές και μηχανήματα που βρίσκονται διαρκώς σε λειτουργία χωρίς να χρησιμοποιούνται.

Γενικά μειονεκτήματα διαβίωσης στο έξυπνο σπίτι είναι:

Τα έξυπνα σπίτια χρησιμοποιούν κορυφαίες καινοτομίες όπως προηγμένα στοιχεία φωτισμού και συστήματα ασφαλείας προκειμένου να εξασφαλίσουν την άνεση και την ευκολία κινήσεων των ενοίκων τους στην καθημερινότητά τους. Καθώς τα έξυπνα σπίτια γίνονται όλο και πιο δημοφιλή και τα νέα τεχνολογικά επιτεύγματα χρησιμοποιούνται ευρέως, η διαμονή σε ένα τέτοιο χώρο έχει τα πλεονεκτήματά της. Ωστόσο, υπάρχουν πολλοί παράγοντες που κάνουν τους ιδιοκτήτες σπιτιών διστακτικούς με την αγορά ενός έξυπνου σπιτιού.

- Κόστος (γενικά): Η εγκατάσταση χαρακτηριστικών τελευταίας τεχνολογίας στο εσωτερικό ενός σπιτιού συνεπάγεται και τη μεγαλύτερη αγοραστική αξία της ιδιοκτησίας. Το κόστος αγοράς ενός σπιτιού που κάνει τη ζωή πιο άνετη κι εύκολη είναι υψηλό γιατί η τεχνολογία που χρησιμοποιείται είναι σχετικά καινούρια. Ασύρματες κάμερες και αισθητήρες φωτός, μία κεντρική οθόνη αφής και αυτοματοποιημένα συστήματα είναι μερικά από τα σίγουρα χαρακτηριστικά του νέου τύπου σπιτιού. Τα έξοδα παραμονής, συντήρησης και επισκευής τέτοιων τεχνολογιών μπορούν να είναι κι αυτά υψηλά.
- Εξοικείωση με την τεχνολογία: Η κατοχή ενός έξυπνου σπιτιού σημαίνει ότι οι ένοικοι θα πρέπει να μάθουν πώς να το χρησιμοποιούν. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά σπίτια, η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα έξυπνα σπίτια απαιτεί την προσαρμογή των ενοίκων σε καινοτομίες όπως τα συστήματα ασφαλείας, οι μονάδες αέρα και το τηλεχειριστήριο που ελέγχει όλο το σπίτι. Για μια οικογένεια που είναι εξοικειωμένη με την τεχνολογία, η άνεση που μπορεί να παρέχει το έξυπνο σπίτι θα επιτευχθεί νωρίτερα, ενώ άλλοι θα χρειαστούν περισσότερο χρόνο μέχρι να διαβάσουν τα εγχειρίδια και να μάθουν τους τρόπους με τους οποίους θα μπορέσουν να επωφεληθούν από τις ευκολίες του χώρου.
- Σύστημα επιτήρησης με βίντεο: Η επιτήρηση του χώρου με βίντεο μπορεί να είναι ένα εξαιρετικό εργαλείο για την εξασφάλιση υψηλής ασφάλειας και αποτροπής του εγκλήματος, αλλά όταν η τεχνολογία βρεθεί σε λάθος χέρια τότε προκύπτουν θέματα προστασίας της ιδιωτικής ζωής. Οι αισθητήρες ασφαλείας στις πόρτες και τους τοίχους ενός έξυπνου σπιτιού χρησιμοποιούν ασύρματη τεχνολογία για να μεταφέρουν σήματα σε μία κεντρική μονάδα ελέγχου που ειδοποιεί τους υπεύθυνους έκτακτης ανάγκης για οποιαδήποτε ύποπτη δραστηριότητα. Όσα καταγράφονται από το σύστημα επιτήρησης

μεταφέρονται επίσης ασύρματα σε κάποιο μέρος του σπιτιού που μπορεί να παρακολουθηθεί. Αν όμως όλα όσα έχουν καταγραφεί από το βίντεο και τους αισθητήρες πέσουν σε λάθος χέρια, τότε το έξυπνο σπίτι μπορεί να αρχίσει να παρακολουθείται από αυτούς που κατάφεραν να αποκτήσουν παράνομη πρόσβαση σε αυτό.

### **3.5 Κόστος κατασκευής έξυπνου σπιτιού**

Η ιδέα κατοχής ενός Smart Home με προηγμένη τεχνολογία, σύγχρονο εξοπλισμό και γενικότερα τεχνολογικά επιτεύγματα τελευταίας τεχνολογίας θεωρείται από πολλούς ως υπερβολική πολυτέλεια ή απλά ένα άπιαστο όνειρο.

Στην πραγματικότητα όμως αυτή η σκέψη αποδεικνύεται εντελώς εσφαλμένη, αφού μελέτες έχουν δείξει πως ένας συμβατικός εξοπλισμός είναι δυνατόν να κοστίζει περισσότερο από έναν ηλεκτρομαγνητικό εξοπλισμό. Ένας βασικός παράγοντας προσδιορισμού του συνολικού κόστους είναι η κατάσταση της οικείας. Είναι γνωστό πως μία ολοκληρωμένη κατοικία συγκριτικά με ένα υπό κατασκευή κτίριο θα κοστίζει περισσότερο αν μετατραπεί σε Smart Home.

Αυτό συμβαίνει διότι απαιτείται πρόσθετο κόστος για καινούρια καλωδίωση, καινούρια διαμόρφωση κτλ. Ανεξάρτητα όμως από την κατάσταση του κτιρίου, το κόστος που αποσβάζεται σε βάθος χρόνου από τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας είναι αρκετά σημαντικό και σαφώς μικρότερο έναντι του κόστους από τον συμβατικό εξοπλισμό. Το κόστος των αυτοματισμών αποτελεί ένα καίριο δίλλημα για καθέναν που επιθυμεί την αυτοματοποίηση.

Η πιο αποτελεσματική λύση για τις υπό κατασκευή οικίες είναι οι εμπειριστατωμένες μελέτες. Αρμόδιες εταιρείες και μηχανικοί αναλαμβάνουν μέσα από ένα ολοκληρωμένο project, να προσδιορίσουν το τελικό κόστος κατασκευής. Όμως, όπως ξέρουμε, το «έξυπνο σπίτι» αντανάκλα την εξέλιξη της τεχνολογίας με σημαντικές μελλοντικές επεκτάσεις.

Το κόστος του «έξυπνου σπιτιού» προκύπτει βάσει των αναγκών του ιδιοκτήτη αφού κάθε ένοικος επιθυμεί να καλύψει τις δικές του συγκεκριμένες ανάγκες. Τέτοιες ενέργειες μπορεί να είναι: σύστημα ασφαλείας, ρολά-τέντες, φωτισμός, θερμοκρασία, αυτόματο πότισμα, δυνατότητες ψυχαγωγίας, θυροτηλέφωνο κτλ.

Κατασκευάζοντας μια οικία, θα επιλέξουμε κάποιες από τις παραπάνω λειτουργίες. Είτε επιλέξουμε, λοιπόν, συμβατικό εξοπλισμό είτε Smart Home, η λογική παραμένει

ίδια. Με απλά λόγια συμπεραίνουμε πως το «έξυπνο σπίτι» δεν προδιαγράφει κάποια ακριβή λύση αλλά απαιτεί εξορθολογισμό για σωστή διαχείριση, οργάνωση και αξιοποίηση των πόρων. Οδηγούμαστε δηλαδή στο συμπέρασμα πως το τελικό κόστος του «έξυπνου σπιτιού» προκύπτει βάσει των δικών μας απαιτήσεων και των κριτηρίων που επιθυμούμε για το δικό μας χώρο. Με εύχρηστη αξιοποίηση του αυτοματισμού μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση σε ποσοστό έως και 35%.

Τέλος, σχετικά με το κόστος κατασκευής ενός «έξυπνου σπιτιού» θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε πως ο συμβατικός εξοπλισμός κοστίζει ακριβότερα από τον βιοκλιματικό. Τα υλικά βέβαια είναι ίδια και στις δύο μεθόδους με τη διαφορά ότι στο βιοκλιματικό εξοπλισμό χρησιμοποιούνται οικολογικά υλικά, φιλικά προς το περιβάλλον. Όμως και στις 2 περιπτώσεις το κλειδί επιτυχίας είναι η θερμομόνωση. Η θερμομόνωση (μπετόν και τούβλο) υποχρεωτικά από τον νόμο θα πρέπει να καλύπτει όλο το κτίριο.

Όμως, πολλοί εργολάβοι, θεωρώντας το περιττή σπατάλη, κάνουν περικοπή στα υλικά θερμομόνωσης. Αφενός πετυχαίνουν μικρή μείωση του κόστους κατασκευής, αφετέρου όμως χάνουν σημαντικά από το πραγματικό κόστος του κτιρίου, αφού η ενέργεια που δαπανάται είναι πολύ υψηλότερη. Είναι αποδεδειγμένο πως με σωστή θερμομόνωση του κτιρίου μπορεί να επιτευχθεί έως και 40 % κέρδος.

Τέλος, σημαντικό κλειδί στην εξοικονόμηση ενέργειας είναι πως μπορεί να πραγματοποιηθεί και με τη χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, όπως παθητικά ηλιακά συστήματα, λέβητα βιομάζας, μικρή ανεμογεννήτρια κτλ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ

### 4.1 Ορισμός και χαρακτηριστικά της έξυπνης πόλης

Όταν χρησιμοποιούμε τον όρο «έξυπνη πόλη» αναφερόμαστε σε μια πόλη τόσο προηγμένη τεχνολογικά ώστε να μπορεί συνεχώς να βελτιώνει την επικοινωνία των πολιτών της και την ποιότητα της καθημερινής τους ζωής.

Με την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την κυκλοφορία των ανθρώπων στους δρόμους μέχρι και την ανάλυση των επίπεδων θορύβου και ρύπανσης, μια έξυπνη πόλη είναι σε θέση να κατανοήσει το περιβάλλον της και αμέσως να πραγματοποιεί αλλαγές για την επίλυση ζητημάτων και την αποτελεσματική διαχείριση των φυσικών πόρων της. Μεταφορές και επικοινωνιακές δομές σε μια έξυπνη πόλη ενσωματώνονται μαζί σε ένα σύστημα συστημάτων με τελικό σκοπό τη βελτίωση της ζωής των ανθρώπων.

Θεμελιώδεις συνιστώσες των έξυπνων πόλεων αποτελούν:

- Το σύστημα καινοτομίας (τοπικό/περιφερειακό), το οποίο καθοδηγεί την ανάπτυξη γνώσεων και τεχνολογιών στους οργανισμούς της περιοχής (επιχειρήσεις, πανεπιστήμια, τεχνολογικά κέντρα, κ.α.)
- Οι ψηφιακές εφαρμογές διαχείρισης πληροφορίας και γνώσεων, που διευκολύνουν την πληροφόρηση, την επικοινωνία, τη λήψη αποφάσεων, τη μεταφορά και εφαρμογή τεχνολογιών, τη συνεργασία στην καινοτομία, κ.α.

Συχνά οι «έξυπνες» πόλεις αναφέρονται και με τους όρους «βιώσιμες» πόλεις (sustainable cities) ή «ψηφιακές» πόλεις (digital cities) ή ακόμα και «συνδεδεμένες» πόλεις (connected cities). Η μετατροπή μιας πόλης σε «έξυπνη» εμφανίζεται ως μια στρατηγική για την άμβλυνση των προβλημάτων που δημιουργούνται από την αύξηση του αστικού πληθυσμού και την ταχεία αστικοποίηση.

Ένας τρόπος για να αντιληφθούμε μια «έξυπνη» πόλη είναι ως μια εικόνα μιας βιώσιμης πόλης. Η «έξυπνη» πόλη είναι μια αστική περιοχή στην οποία επικρατούν συνθήκες βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης και υψηλής ποιότητας ζωής. «Έξυπνες» λύσεις για την κυκλοφοριακή αποσυμφόρηση, τα «πράσινα κτίρια», τη σωστή διαχείριση των υδάτων και τις υποδομές «έξυπνων» δικτύων είναι μόνο μερικές από τις τεχνολογίες που βοηθούν τη σημερινή αστικοποίηση να οδηγηθεί προς τη βιωσιμότητα.

Στις βιώσιμες πόλεις, οι αρμόδιοι φορείς αναζητούν τρόπους για να βελτιώσουν τις υποδομές των πόλεων έτσι ώστε να γίνουν πιο φιλικές προς το περιβάλλον, να βελτιώσουν τη ζωή των κατοίκων τους και παράλληλα να μειώσουν τα κόστη. Αναζητούν καινοτόμες τεχνολογίες για βιώσιμες λύσεις σε ενεργειακά αποδοτικά κτίρια, εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού, υποδομές μεταφορών καθώς και στα δημόσια συστήματα ασφαλείας.

Σε μια «έξυπνότερη» πόλη γίνεται χρήση της τεχνολογίας που θα της παρέχει τη δυνατότητα να ολοκληρώσει τους παρακάτω στόχους: την ποιότητα ζωής για τους πολίτες και τους επισκέπτες της, την επιχειρηματική ανάπτυξη, καθώς και την οικοδόμηση της οικονομίας της πόλης.

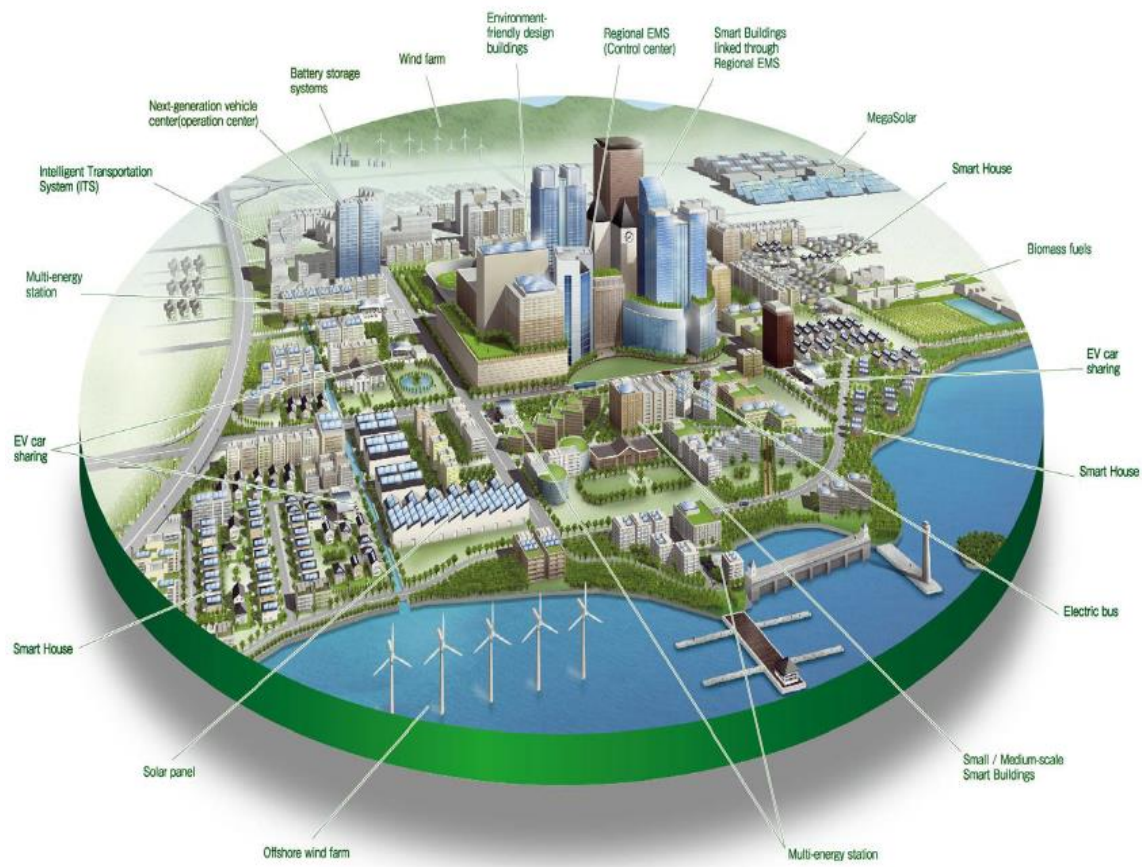
Ένας αυξανόμενος αριθμός πόλεων οδηγείται προς το όραμα μιας «έξυπνης» πόλης προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις της βιώσιμης ανάπτυξης, να αναζωογονηθούν οι οικονομίες τους και να καθιερώσουν τη θέση τους στις βιομηχανίες υψηλής τεχνολογίας και πληροφορικής του μέλλοντος. Οι περισσότεροι από τους πολίτες του κόσμου ζουν σε πόλεις, αλλά αυτό είναι μόνο η αρχή ενός παγκόσμιου κοινωνικού, οικονομικού, περιβαλλοντικού και πολιτικού μετασχηματισμού. Οι «έξυπνες» πόλεις έχουν κερδίσει τη δημοτικότητα μεταξύ των ερευνητών και των επαγγελματιών. Πολλά έργα είναι υπό εκτέλεση στην Ασία, στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη.

#### Χαρακτηριστικά της έξυπνης πόλης

Η «Έξυπνη» πόλη συνδέεται άρρηκτα με την «έξυπνη» χρήση της τεχνολογίας για τη βελτίωση του τρόπου με τον οποίο οι άνθρωποι ζουν, εργάζονται, παίζουν και μαθαίνουν. Μόνο ένας περιορισμένος αριθμός από μελέτες ερεύνησαν και άρχισαν να εξετάζουν συστηματικά τα ζητήματα που συνδέονται με αυτό το νέο αστικό φαινόμενο των «έξυπνων» πόλεων.

Είναι σύνηθες φαινόμενο να χρησιμοποιούνται ως συνώνυμα του όρου «έξυπνη πόλη» οι όροι «ψηφιακή» ή «ευφυής» πόλη. Κατά συνέπεια, έχουν προκύψει πολλές εννοιολογικές παραλλαγές οι οποίες αποκλίνουν από την αρχική σημασία του όρου. Αρκετές εννοιολογικές προσεγγίσεις έχουν προταθεί, εγκριθεί και χρησιμοποιηθεί τόσο σε πρακτικό όσο και σε ακαδημαϊκό επίπεδο.





Σχήμα 4.1: Στοιχεία μία πλήρως αναπτυγμένης έξυπνης πόλης.

Βασικότερα χαρακτηριστικά μιας «έξυπνης» πόλης μπορούν να θεωρηθούν τα παρακάτω:

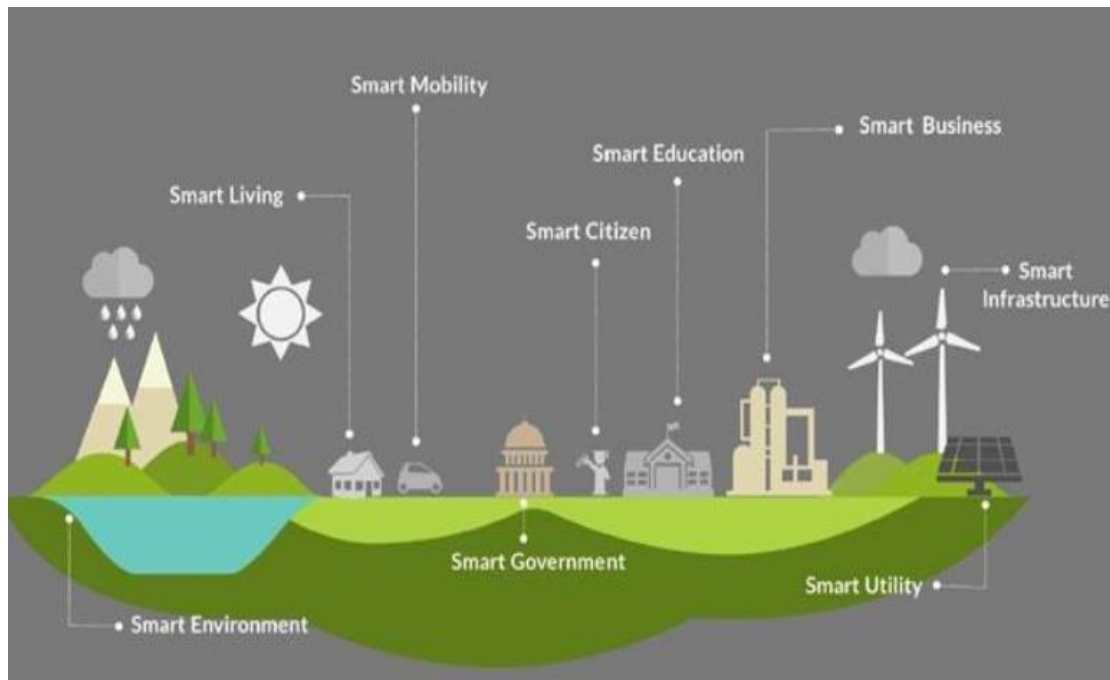
- Αποδοτική λειτουργία σε τομείς όπως η οικονομία, η διακυβέρνηση, η ποιότητα ζωής των ανθρώπων, το περιβάλλον και οι συγκοινωνίες στην οποία διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο οι ενεργοί πολίτες.
- Χρήση αυτοματοποιημένων μηχανισμών έτσι ώστε να παρακολουθούνται και να συνδυάζονται οι συνθήκες που αφορούν τις υποδομές της, συμπεριλαμβανομένων των δρόμων, των γεφυρών, των σηράγγων, των σιδηροδρόμων (επίγειων και υπογείων), των αεροδρομίων, των λιμανιών, των τηλεπικοινωνιών, του νερού, της ενέργειας, ακόμη και των σημαντικών κτιρίων, να βελτιστοποιούνται οι πόροι της, να σχεδιάζονται προληπτικές δραστηριότητες συντήρησής της, και να παρακολουθούνται οι παράμετροι ασφαλείας, ενώ παράλληλα να μεγιστοποιούνται οι παρεχόμενες υπηρεσίες προς τους πολίτες της.

- Διασύνδεση των φυσικών υποδομών της, των πληροφοριακών συστημάτων, της κοινωνικής υποδομής, και της επιχειρηματικότητας για την αύξηση της συλλογικής της «ευφυΐας».
- Πραγματοποίηση ενεργειών με σκοπό να την καταστήσουν πιο βιώσιμη, αποδοτική και δίκαιη.
- Συνδυασμός πληροφοριακών συστημάτων (ICT) και του σημασιολογικού ιστού (Web) με άλλες οργανωτικές και σχεδιαστικές προσπάθειες για την απλοποίηση και επιτάχυνση των γραφειοκρατικών διαδικασιών και τη συμβολή στον προσδιορισμό νέων, καινοτόμων λύσεων για την πολυπλοκότητα της διαχείρισής της πόλης, προκειμένου να βελτιωθεί η βιωσιμότητα.
- Χρήση των τεχνολογιών Smart Computing (π.χ. τα Smartphone apps, το Smart human-computer interaction, το Internet of Things) με σκοπό την αποδοτικότερη διασύνδεση και αποτελεσματικότητα σε τομείς υπηρεσιών, εκπαίδευσης, υγείας, διαχείρισης και μεταφορών.

Είναι γνωστό πως οι «έξυπνες» πόλεις χρησιμοποιούν τεχνολογίες πληροφορικής έτσι ώστε να εξασφαλισθεί πιο αποδοτική χρήση των φυσικών υποδομών (δρόμων, δομικού περιβάλλοντος και άλλων υλικών περιουσιακών στοιχείων) μέσω της τεχνητής νοημοσύνης.

Έχουν εξελιχθεί σε μία ισχυρή ενοποίηση όλων των διαστάσεων της ανθρώπινης νοημοσύνης, της συλλογικής νοημοσύνης, καθώς επίσης και της τεχνητής νοημοσύνης μέσα σε αυτές. Η νοημοσύνη των πόλεων έγκειται στον ολοένα και πιο αποτελεσματικό συνδυασμό των ψηφιακών τηλεπικοινωνιακών δικτύων (νεύρα), της πανταχού ενσωματωμένης ευφυΐας (εγκέφαλοι), των αισθητήρων και των ετικετών (αισθητήρια όργανα), και του λογισμικού (γνώση και γνωστικές ικανότητες).

Παρακάτω θα κάνουμε μια πρώτη προσεγγίσει των προβλημάτων που επιλύει μια έξυπνη πόλη, κατηγοριοποιώντας τα σύμφωνα με συγκεκριμένους τομείς.



Σχήμα 4.2: Η έξυπνη πόλη ως σύστημα έξυπνων συνιστωσών.

Οι κύριοι τομείς στους οποίους επιλύει προβλήματα μια έξυπνη πόλη είναι οι παρακάτω:

- **Μεταφορές:** Ο τομέας των μεταφορών είναι ένας από τους πρώτους τομείς στους οποίους εστιάζει μια έξυπνη πόλη. Χαρακτηριστικά είναι η διαχείριση μαζικής μεταφοράς-σχεδιασμός, η διαχείριση σε πραγματικό χρόνο, οι πληροφορίες πολιτών για λεωφορεία, τρένα, δρόμους και η παρακολούθηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης μέσω αισθητήρων και τηλεσυστημάτων. Η αυτόματη κράτηση θέσεων parking καθώς και οι ενημέρωση για κενές θέσεις είναι κάποιες ακόμη καινοτόμες εφαρμογές.
- **Περιβάλλον:** Διαχείριση αποβλήτων και υδάτινων πόρων (συλλογή πολλών ειδών, επεξεργασία, συνολική διαχείριση).
- **Υγεία:** Ο τομέας της υγείας αποτελεί τον σημαντικότερο τομέα μιας κοινωνίας. Η τηλεδιάγνωση, η τηλεπαρακολούθηση ασθενών, οι «έξυπνες» κάρτες υγείας, το ηλεκτρονικό κλείσιμο ιατρικού ραντεβού και το εκπαιδευτικό υλικό για πρώτες βοήθειες / διάσωση είναι μόλις λίγες από τις καινοτόμες εφαρμογές για τον τομέα της υγείας. Η άριστη διαχείριση του κυκλοφοριακού μια έξυπνης πόλης, ανοίγει διάπλατα το δρόμο για την ταχύτερη μεταφορά ασθενών σε νοσοκομεία και καθώς και τη μείωση των τροχαίων ατυχημάτων.

- Ενέργεια: Στις μέρες μας, η αξία της εξοικονόμησης ενέργειας τείνει να εξισωθεί με την αξία της παραγωγής της. Τα έξυπνα συστήματα των πόλεων υποστηρίζουν σε μεγάλο βαθμό την εξοικονόμηση ενέργειας. Πρόκειται για σύστημα ενεργειακής διαχείρισης για κτίρια και υποδομές, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κατά την παραγωγή (ηλιακή, αιολική, κύματα), αυτό-βιώσιμα ενεργειακά συστήματα για δημόσιες υποδομές καθώς και «έξυπνα» ενεργειακά δίκτυα .
- Υποδομές τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών: συστήματα και εφαρμογές πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών, υποδομές ασύρματου δικτύου (Wi-Fi) για τους πολίτες, σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) , δίκτυα οπτικών ινών, δημοτική ιστοσελίδα / δικτυακή πύλη.
- Τουρισμός / Πολιτισμός / Εκπαίδευση: Τουριστική εφαρμογή για επισκέπτες (στην τοπική γλώσσα και στα Αγγλικά), εφαρμογές που προσφέρουν υπηρεσίες σε τουρίστες (κρατήσεις, παράπονα, πληρωμές, ανταμοιβές), δημόσιες βιβλιοθήκες, μουσεία και άλλοι πολιτιστικοί χώροι απευθείας στο Διαδίκτυο, οργάνωση εκδρομών και λοιπών πολιτιστικών δραστηριοτήτων.
- Συμμετοχή πολιτών στη διακυβέρνηση (ηλεκτρονικό φόρουμ / διάλογος για κάθε σημαντική απόφαση, ηλεκτρονική ψήφος – e-voting, σύστημα διακυβέρνησης, παράπονα και ιδέες για το ηλεκτρονικό σύστημα διαχείρισης μέσω εφαρμογής για κινητά.
- Ανάπτυξη και εργασία: Διευκόλυνση στην παραγωγή έργου σε εκατοντάδες επαγγέλματα που σχετίζονται με τις υπηρεσίες μιας έξυπνης πόλης . Τα ευφυή συστήματα είναι εύκολα στη χρήση και μάλιστα εξοικονομούν μεγάλη ποσότητα εργάσιμου χρόνου για το εργατικό δυναμικό. Επιπρόσθετα τα καινοτόμα και νεοεισαχθέντα τεχνολογικά συστήματα δημιουργούν άμεσα νέες θέσεις εργασίας για τη διαχείρισή τους.
- Ασφάλεια: Συστήματα τηλεπαρακολούθησης σε οδικά δίκτυα αυξημένης παραβατικότητας, διευκόλυνση περιπολικών , πυροσβεστικών οχημάτων αλλά και οχημάτων οδικής βοήθειας . Ο προαναφερθείσες εφαρμογές στον τομέα των Μεταφορών εξοικονομούν πολύτιμο χρόνο και χώρο για τα οχήματα αυτά που με αποτέλεσμα την διασφάλιση της προστασίας των πολιτών.
- Οικονομία: Τελευταίος αναφέρεται ο τομέας της οικονομίας. Ο λόγος είναι απλός και έγκειται στο ότι ο τομέας αυτός περικλείει όλους τους παραπάνω

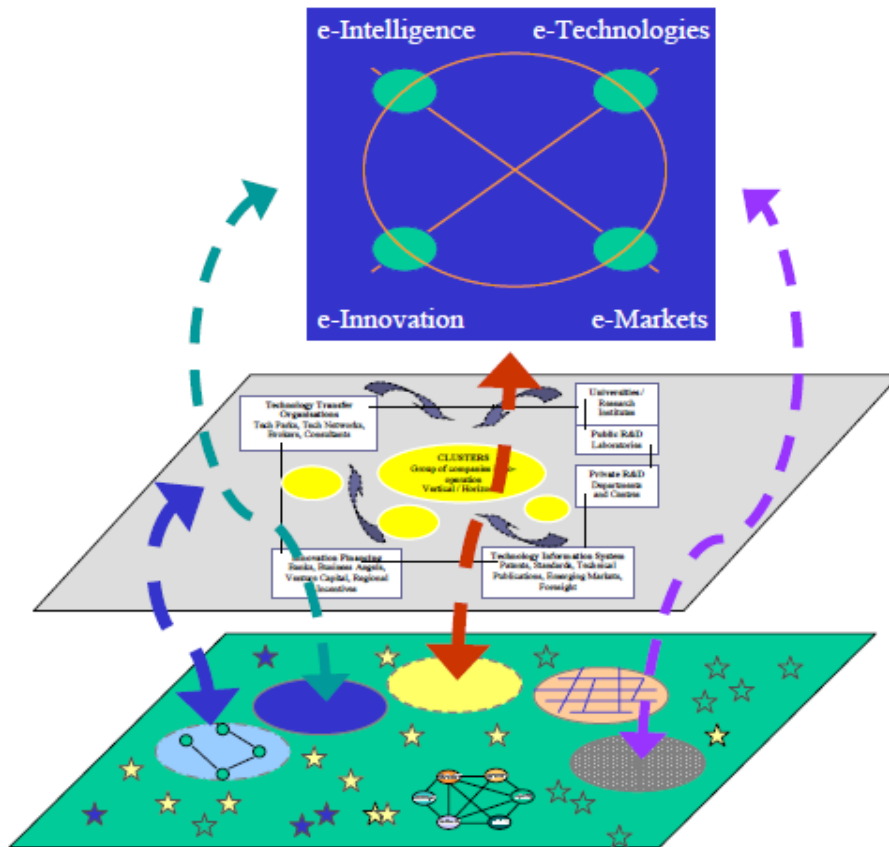
τομείς συνεπώς οι δράσεις μιας έξυπνης πόλης τον επηρεάζουν αδιάλειπτα. Είναι προφανές ότι μια πόλη με ασφαλή οδικά δίκτυα , πλήρως ασφαλείς και ενημερωμένους πολίτες , εξοικονόμηση ενέργειας , ευχάριστα περιβάλλοντα εργασίας και σεβόμενη το περιβάλλον, δεν είναι απλώς μια έξυπνη αλλά αυτομάτως μια υγιής και οικονομικά αναπτυσσόμενη πόλη.

## **4.2 Τα τρία επίπεδα «ευφυΐας» της έξυπνης πόλης**

Η ευφυής πόλη είναι ένα πολυεπίπεδο περιοχικό σύστημα καινοτομίας. Συνθέτει ανθρώπινες ικανότητες και δραστηριότητες έντασης-γνώσεων, θεσμούς τεχνολογικής μάθησης, και ψηφιακούς χώρους επικοινωνίας, ώστε να μεγιστοποιείται η ικανότητα καινοτομίας της περιοχής αναφοράς της. Αποτελεί την πιο εξελιγμένη μορφή περιοχικών συστημάτων καινοτομίας που γνωρίζουμε σήμερα, ένα σύστημα τρίτης γενιάς, μετά τα καινοτόμα clusters και τις μαθησιακές περιφέρειες. Συγκροτείται από την επαλληλία σειράς επιπέδων, σε αντιστοιχία με την εξέλιξη των διεργασιών της καινοτομίας σε φυσικό, θεσμικό, και ψηφιακό χώρο.

Επίπεδο I: Είναι το επίπεδο βάσης και περιλαμβάνει τις δραστηριότητες έντασης-γνώσεων της πόλης. Πρόκειται για δραστηριότητες μεταποίησης και υπηρεσιών που (συνήθως) αυτό-οργανώνονται σε συστάδες και συνοικίες (clusters). Η εγγύτητα στο φυσικό χώρο είναι το άμεσο συνδετικό στοιχείο που ενοποιεί τις επιμέρους μονάδες και οργανισμούς σε ένα ενιαίο σύστημα παραγωγής και καινοτομίας.

Η ικανότητα καινοτομίας βασίζεται στην εξειδίκευση, την ατομική δημιουργικότητα, και τη συνεργασία μέσα στο cluster. Το επίπεδο αυτό συνδέεται άμεσα με τους ανθρώπους της πόλης: την ευφυΐα, εφευρετικότητα και τη δημιουργικότητά τους. Ταυτίζεται με ό τι περιέγραψε ο Richard Florida ως ‘νέα δημιουργική τάξη’, επιστημόνων, καλλιτεχνών, επιχειρηματιών, επενδυτών κινδύνου, και άλλων ταλαντούχων και δημιουργικών ατόμων που συγκεντρώνονται σε μια πόλη και καθορίζουν τη διαδρομή ανάπτυξής της.



Σχήμα 4.3: Τρία επίπεδα μιας έξυπνης πόλης.

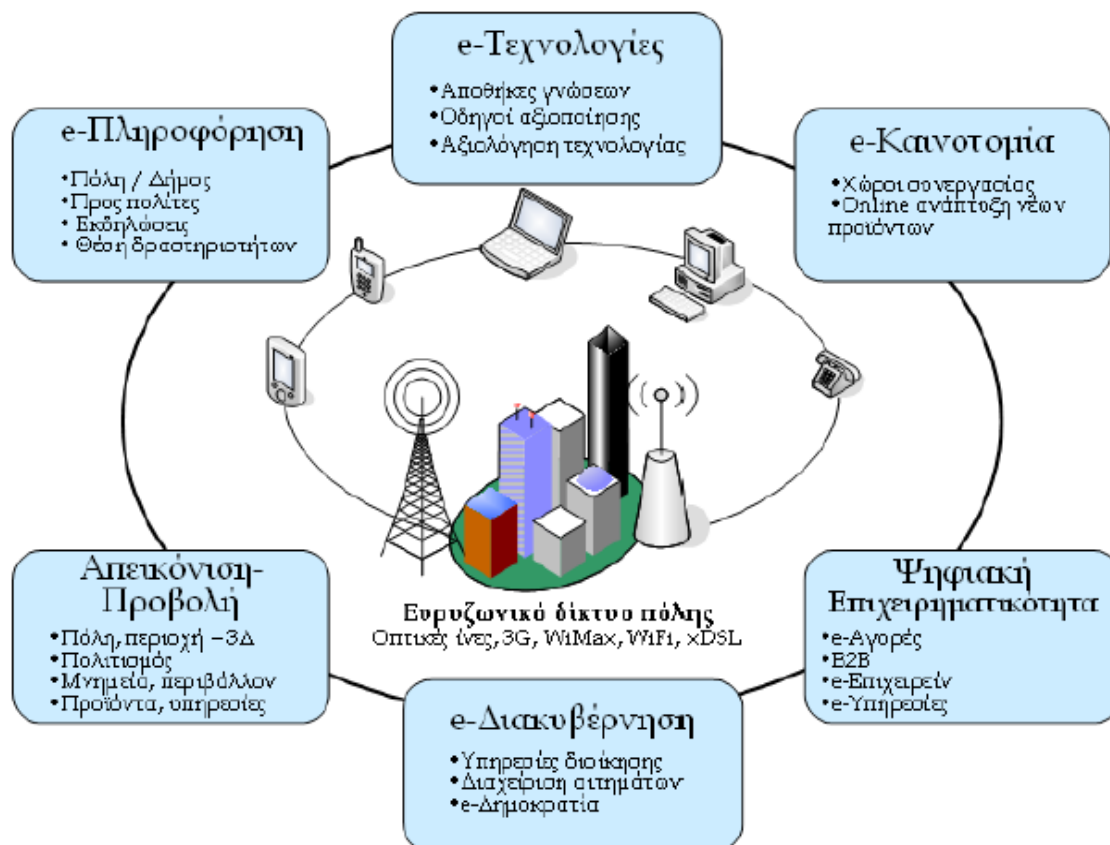
Επίπεδο II: Ένα δεύτερο επίπεδο περιλαμβάνει τους θεσμικούς μηχανισμούς κοινωνικής συνεργασίας για μάθηση και καινοτομία: θεσμοί και μηχανισμοί στρατηγικής πληροφόρησης, συγκριτικής αξιολόγησης, χρηματοδότησης κινδύνου, μεταφοράς τεχνολογίας, συνεργατικής ανάπτυξης νέων προϊόντων.

Το επίπεδο αυτό σχετίζεται με τη συλλογική ευφυΐα του πληθυσμού της πόλης, η οποία απορρέει από τους θεσμούς κοινωνικής συνεργασίας. Είναι η ευφυΐα ενός πληθυσμού, όπως αυτή κωδικοποιείται μέσα σε καθιερωμένες πρακτικές και καθημερινές ρουτίνες εργασίας.

Επίπεδο III: Ένα τρίτο επίπεδο περιλαμβάνει τα ψηφιακά εργαλεία και εφαρμογές υποστήριξης της καινοτομίας, τα οποία δημιουργούν ένα εικονικό περιβάλλον χειρισμού της πληροφορίας και των γνώσεων.

Το επίπεδο αυτό αφορά στο σύστημα τεχνητής ευφυΐας που είναι στη διάθεση του πληθυσμού της πόλης για να υποστηρίξει τόσο τις ατομικές επιλογές του, όσο και τη συλλογική επικοινωνία και συνεργασία. Πρόκειται για το δημόσιο σύστημα ψηφιακής επικοινωνίας, με ψηφιακά δίκτυα και υπηρεσίες, εφαρμογές τεχνητής ευφυΐας,

ψηφιακούς χώρους και εργαλεία επίλυσης προβλημάτων, την επικοινωνία σε εικονικό περιβάλλον, το δημόσιο ψηφιακό περιεχόμενο που είναι στη διάθεση του πληθυσμού της πόλης.



Σχήμα 4.4: Η ψηφιακή διάσταση των έξυπνων πόλεων.

Η έννοια της 'έξυπνης πόλης' και το σχέδιο για την πραγματοποίησή της παραπέμπει και στις τρεις παραπάνω διαστάσεις του φυσικού, θεσμικού, και ψηφιακού χώρου της σύγχρονης πόλης: στους ανθρώπους, στους θεσμούς συνεργασίας, και στα ψηφιακά εργαλεία διαχείρισης γνώσεων και καινοτομίας.

Μιλώντας επομένως κυριολεκτικά και όχι μεταφορικά, ο όρος 'ευφυής πόλη' χαρακτηρίζει ένα οργανισμό (κοινότητα, συνοικία, πόλη, περιφέρεια):

1. Με αναπτυγμένες δραστηριότητες έντασης-γνώσεων, σε σχέση με τις οποίες αυτή μεταβάλλεται, προσαρμόζεται, και εξελίσσεται.
2. Με θεσμούς και εμπεδωμένες ρουτίνες κοινωνικής συνεργασίας για την απόκτηση, προσαρμογή και ανάπτυξη γνώσεων και τεχνογνωσίας.

3. Με αναπτυγμένο σύστημα επικοινωνίας και διαχείρισης γνώσεων, το οποίο επιτρέπει να συγκεντρώνει πληροφορία από το περιβάλλον, να την επεξεργάζεται, να μαθαίνει, και να προσαρμόζει ανάλογα τη δράση της.

4. Με αποδεδειγμένη ικανότητα καινοτομίας, διαχείρισης και επίλυσης προβλημάτων που τίθενται για πρώτη φορά, καθώς η καινοτομία, η διαχείριση της αβεβαιότητας, η επίλυση νέων προβλημάτων, αποτελούν κρίσιμα μέτρα κάθε μορφής ευφυΐας.

### 4.3 Το έξυπνο δίκτυο (smart grid)

Το έξυπνο δίκτυο (Smart Grid) είναι ένα μοντέρνο Ηλεκτρικό Δίκτυο το οποίο χρησιμοποιεί ICT (Information and Communications Technologies) Τεχνολογίες Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων για τη συλλογή πληροφοριών που έχουν να κάνουν με την συμπεριφορά των παρόχων και των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπλέον ένα έξυπνο δίκτυο καθορίζει την ανταπόκρισή του ανάλογα με τις συλλεγόμενες πληροφορίες. Προκειμένου να λειτουργήσει ένα έξυπνο δίκτυο χρειάζονται κατάλληλες μετρητικές διατάξεις, οι οποίες θα συλλέγουν σε πραγματικό χρόνο, τόσο την καταναλισκόμενη, όσο και την αποκεντρωμένα, παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια των βασικών καταναλωτών μίας πόλης, δηλαδή τα κτίρια. Τέτοιες διατάξεις είναι οι έξυπνοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίοι προσφέρουν το λεγόμενο smart metering.

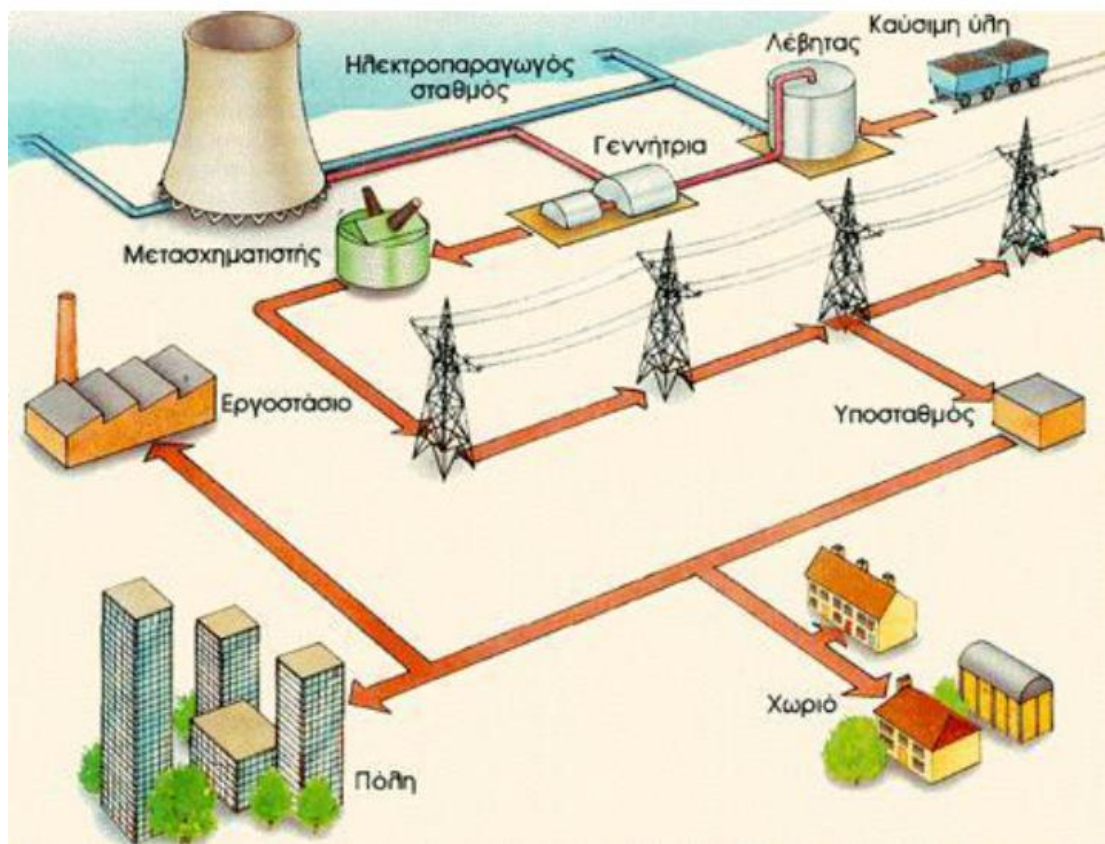
Ο στόχος ενός συστήματος πόλης είναι να συνδυάσει την λειτουργία σε επίπεδο πόλεων με τη συνεργασία μεταξύ διαφορετικών τοπικών συστημάτων για την παρακολούθηση της απόδοσης και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών. Έξυπνες και διαλειτουργικές διεπαφές προστίθενται μεταξύ ξεχωριστών συστημάτων, π.χ. τα συστήματα φωτισμού, το ενεργειακό δίκτυο και τα συστήματα κινητικότητας, προκειμένου να εισαχθούν πληροφορίες από αυτά για την λήψη αποφάσεων από τις υπηρεσίες της πόλης.

Το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) είναι το κλειδί για την αποτελεσματική και σε πραγματικό χρόνο συλλογή των "πρώτων" πληροφοριών από τις διάφορες πηγές που στη συνέχεια εμπλουτίζονται σε πληροφορίες μέσω υπολογισμών και τέλος προωθούνται στις υπηρεσίες λήψης αποφάσεων.

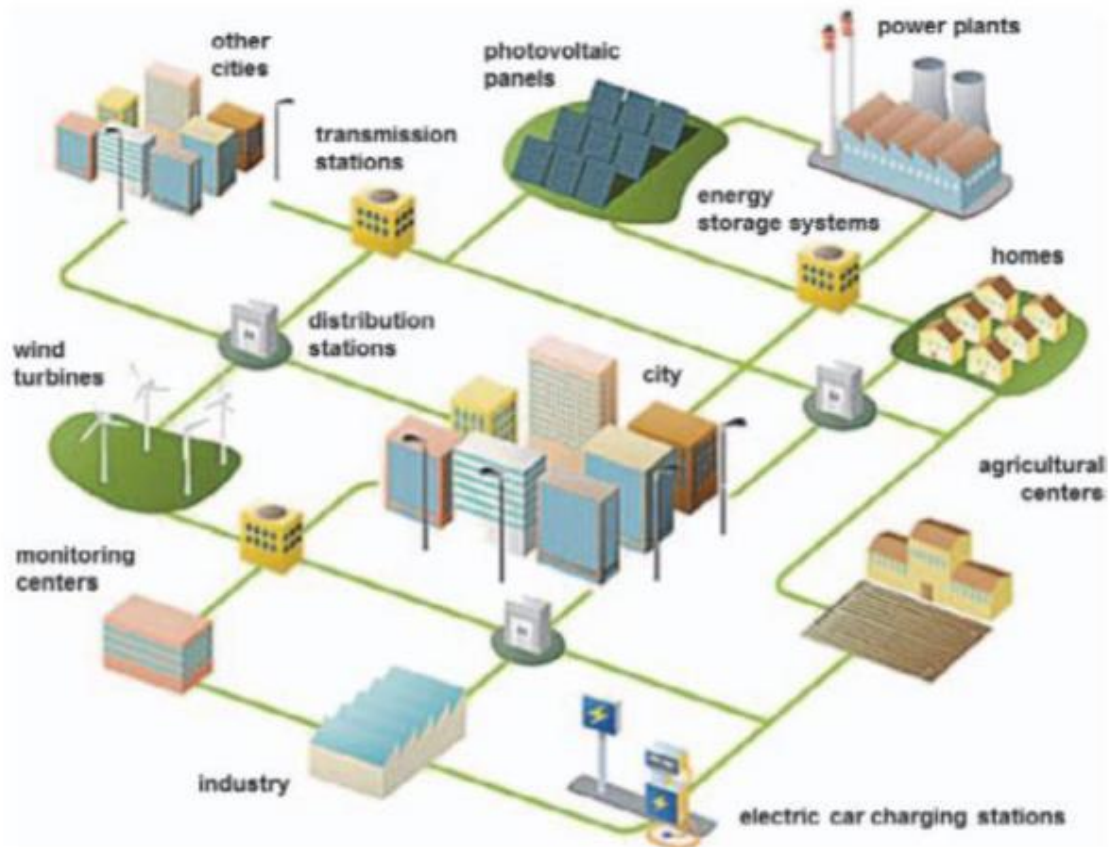


Το σύστημα μέτρησης απόδοσης το μοντέλο μετα-δεδομένων και οι μεθοδολογίες υπολογισμού βασίζονται σε:

- Προσδιορισμό των απαιτούμενων συνόλων δεδομένων για συλλογή βάσει των συγκεκριμένων δεικτών.
- Προσδιορισμός των διαθέσιμων πηγών δεδομένων και της αξιοπιστίας τους, την προσβασιμότητα και τα μοντέλα δεδομένων.
- Καθορισμός του συστήματος συλλογής και μεθοδολογίες υπολογισμού για την απόδοση.
- Μετρήσεις.
- Ενσωμάτωση στο σύστημα πληροφοριών και διασυνδέσεις διαλειτουργικότητας μεταξύ χωριστών συστημάτων, προδιαγραφές εισαγωγής και μεθοδολογία υπολογισμού.
- Ανάπτυξη φιλικών προς το χρήστη διεπαφών και οπτικοποίηση πληροφοριών.



Σχήμα 4.5: Παράδειγμα υφιστάμενου ηλεκτρικού δικτύου.



Σχήμα 4.6: Απεικόνιση του έξυπνου δικτύου.

Επίσης η σωστή διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας είναι η βασική μέθοδος βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας του συστήματος με τεχνικά και οργανωτικά μέτρα, με άμεσο στόχο την μείωση της συμμετοχής της ενέργειας στο συνολικό κόστος παραγωγής (επιχειρήσεις) ή το κόστος διαβίωσης (κατοικίες).

Η διαχείριση ενέργειας στις βιομηχανίες στηρίζεται στο συνεχή έλεγχο της ενεργειακής κατανάλωσης με συστηματικό και οργανωμένο τρόπο, στη σαφή γνώση των ενεργειακών απαιτήσεων, του ανθρώπινου δυναμικού, των προτεραιοτήτων και των οικονομικών μέσων. Αποτελεί μια πειθαρχημένη δραστηριότητα, οργανωμένη και δομημένη προς την πλέον αποδοτική χρήση της ενέργειας, χωρίς να μειωθούν τα παραγωγικά επίπεδα και χωρίς να θυσιαστεί η ποιότητα του προϊόντος, η ασφάλειά του ή τα περιβαλλοντικά του πρότυπα.

Η θεμελιώδης αρχή της διαχείρισης ενέργειας είναι η οικονομική αποτελεσματικότητα. Απαιτεί τόσο τεχνικές όσο και οικονομικές εκτιμήσεις.

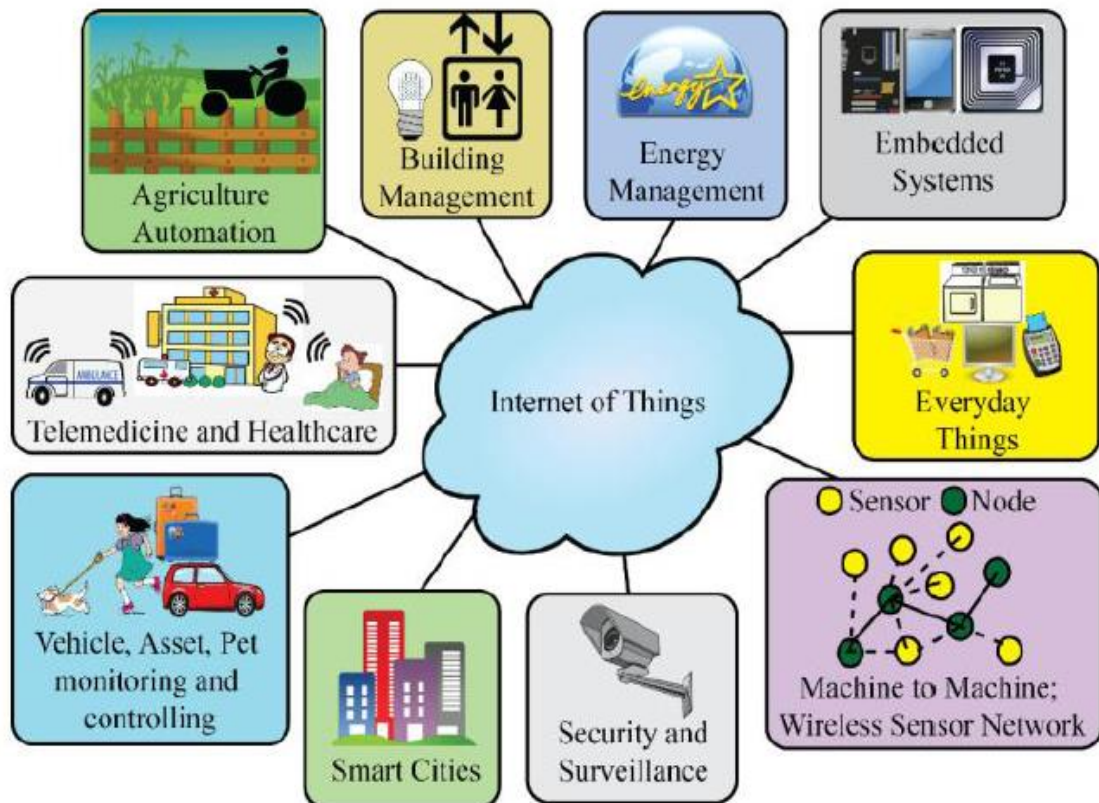
#### 4.4 Έξυπνη πόλη βασισμένη σε αισθητήρες μέσω IoT

Ένας απλός και ευρύς ορισμός του Διαδικτύου των πραγμάτων (Zhang, Yu and Zhai, 2011) και η βασική ιδέα αυτού είναι η διάχυτη παρουσία γύρω μας από μια ποικιλία πραγμάτων ή αντικείμενων - όπως η Radio-Frequency Identification (RFID), αισθητήρες, ενεργοποιητές, κινητά τηλέφωνα, κλπ - τα οποία, μέσω των μοναδικών σχεδίων που θα καλύπτουν, είναι σε θέση να αλληλεπιδράσουν μεταξύ τους και να συνεργάζονται με τους γείτονές τους για να φθάσουν κοινούς στόχους (Compton et al., 2009).

Σύμφωνα με τον Cluster των ευρωπαϊκών ερευνητικών έργων στο Διαδίκτυο των πραγμάτων (Alberti, Singh, 2013) τα «πράγματα» συμμετέχουν ενεργά στην επιχείρηση, στις πληροφορίες και τις κοινωνικές διαδικασίες, όπου αυτά μπορούν να αλληλεπιδρούν και να επικοινωνούν μεταξύ τους και με το περιβάλλον, με την ανταλλαγή δεδομένων και πληροφοριών που ανιχνεύονται από το περιβάλλον, ενώ αντιδρούν αυτόνομα σε πραγματικά / φυσικά παγκόσμια γεγονότα και το επηρεάζουν εκτελώντας τις διαδικασίες που ενεργοποιούν τις δράσεις και τη δημιουργία υπηρεσιών με ή χωρίς άμεση ανθρώπινη παρέμβαση.

Σημαντικό τμήμα των αναγκαίων υποδομών μιας Ευφυούς Πόλης αφορά στη λειτουργία δικτύων πρόσβασης τύπου Internet of Things (IoT) με μεγάλο αριθμό έξυπνων τελικών κόμβων. Οι κόμβοι αυτοί είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρες (sensors) για συλλογή δεδομένων του περιβάλλοντος χώρου και με actuators ενεργοποίησης ορισμένων λειτουργιών.

Τα υποδίκτυα IoT, μέσω ενδιάμεσων ευρυζωνικών δικτύων (Οπτικά Μητροπολιτικά Δίκτυα, Δίκτυα DSL, Ασύρματα Δίκτυα WiFi ή Κινητής Τηλεφωνίας 3G/4G), διασύνδεουν τους τελικούς κόμβους με έξυπνες εφαρμογές, βάσεις πληροφόρησης και το παγκόσμιο Internet.



Σχήμα 4.7: Το IoT σε μία έξυπνη πόλη.

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) αφορά στη διασύνδεση φυσικών συσκευών, οχημάτων, κτιρίων και άλλων αντικειμένων, με ηλεκτρονικά εξαρτήματα, λογισμικό, αισθητήρες (sensors), ελεγκτές ενεργοποίησης (actuators) και σύνδεση δικτύου που επιτρέπει τη συλλογή και ανταλλαγή δεδομένων.

Σήμερα, οι συσκευές που είναι online αγγίζουν τα 35 δισεκατομμύρια. Τα επόμενα πέντε χρόνια προβλέπεται ότι θα επενδυθούν 10 τρισεκατομμύρια δολάρια στο IoT. Να σημειωθεί πως το σημερινό Internet αποτελεί τη ραχοκοκαλιά του IoT, ωστόσο δεν είναι απαραίτητο οι συσκευές να έχουν απευθείας πρόσβαση σε αυτό.

Οι μετρήσεις από τους αισθητήρες επιτρέπουν τη βέλτιστη διαχείριση πόρων από τους παρόχους υπηρεσιών κοινής ωφέλειας (π.χ. παροχής ύδρευσης, αερίου, θέσεων στάθμευσης) και τους τελικούς χρήστες (π.χ. μέσω κινητών εφαρμογών σε smart phones συνδεδεμένα στο Internet). Παράλληλα, παρέχουν αναγκαίες πληροφορίες στους ελεγκτικούς μηχανισμούς της Περιφέρειας και των Δήμων για παρεχόμενες υπηρεσίες σε πολίτες και παραγωγικούς φορείς, συμπεριλαμβανομένων ειδοποιήσεων και συναγερμών σε περιπτώσεις ανάγκης.

### Αισθητήρες (sensors)

Οι αισθητήρες έχουν κεντρικό ρόλο στη λειτουργία της έξυπνης πόλης. Παρακολουθούνται δείκτες όπως:

- Φωτεινότητα στους δρόμους
- Ασφάλεια
- Κίνηση των οχημάτων στους δόμους
- Κίνηση των πολιτών
- Ποιότητα του αέρα
- Ηχορύπανση
- Θέσεις στάθμευσης



Σχήμα 4.8: Αισθητήρες φωτεινότητας.

Οι αισθητήρες της φωτεινότητας μπορούν να τοποθετηθούν στα σημεία όπου ο Δήμος έχει αναλάβει το φωτισμό της πόλης. Οι αισθητήρες αυτοί καταγράφουν τη φωτεινότητα και κάνουν αποδοτικότερη τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας απαραίτητη για το φωτισμό.

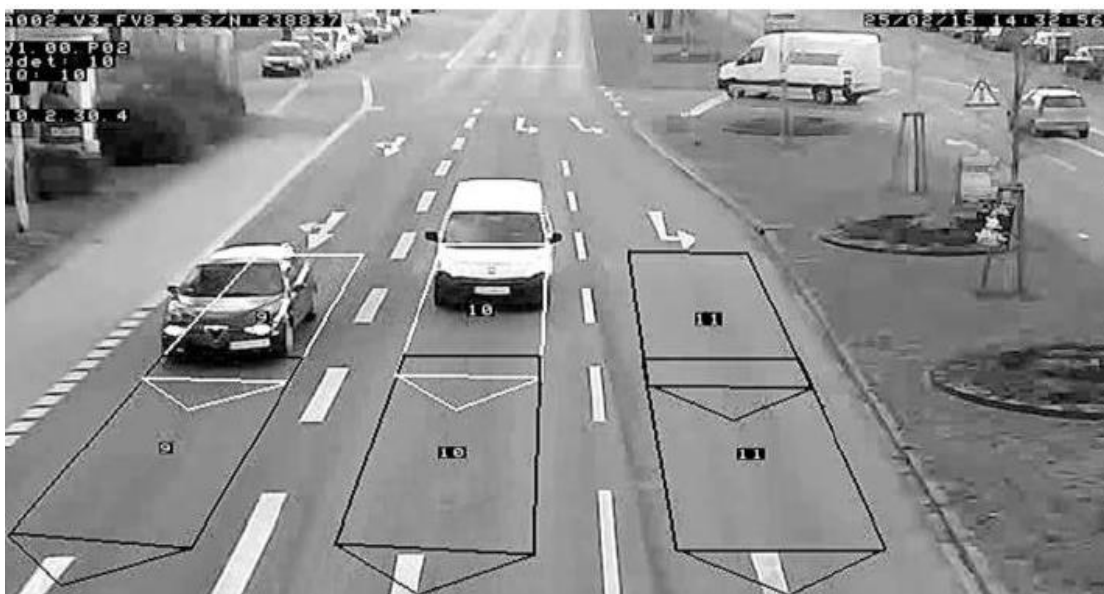
Οι αισθητήρες επιτρέπουν στις λάμπες νέας τεχνολογίας (τύπου LED) να μεταβάλλουν τη φωτεινότητά τους ανάλογα την ώρα της ημέρας, τον καιρό (τη φυσική φωτεινότητα) και την κίνηση των πολιτών και των οχημάτων.





Σχήμα 4.9: Κάμερες ασφαλείας.

Η ασφάλεια των πολιτών διασφαλίζεται με τη χρήση ειδικά τοποθετημένων καμερών. Η κίνηση των οχημάτων στους δρόμους παρακολουθείται από ειδικά τοποθετημένες κάμερες. Οι κάμερες αυτές δίνουν τη δυνατότητα στο κέντρο παρακολούθησης να έχει πλήρη εικόνα της κυκλοφορίας της πόλης. Επιπλέον στην έξυπνη πόλη η ρύθμιση της κυκλοφορίας δεν είναι σταθερή αλλά μεταβαλλόμενη, ανάλογα την κίνηση στους δρόμους.



Σχήμα 4.10: Κάμερες κυκλοφορίας.

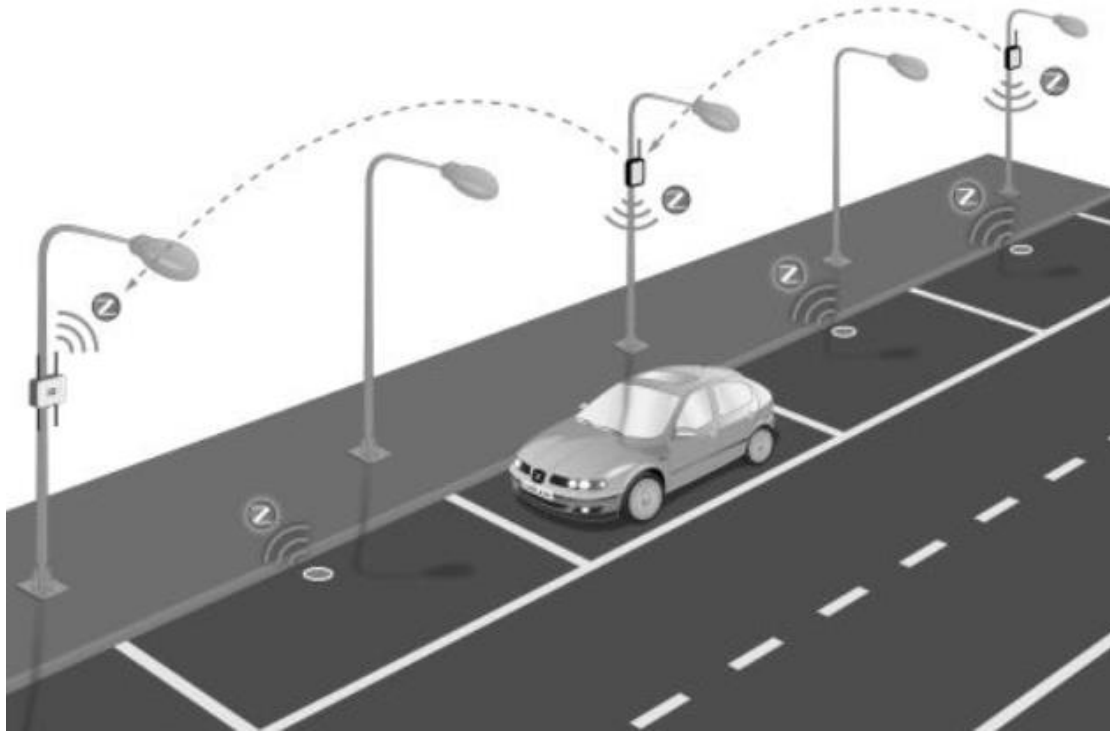
Η ποιότητα του αέρα είναι σημαντικός παράγοντας στην υγεία των πολιτών μιας πόλης. Η παρακολούθησή της από αισθητήρες είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης τόσο σε ατομικό επίπεδο όσο και σε τοπικό. Με τον αναλυτικό χάρτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης ο Δήμος μπορεί να λάβει πιο στοχευμένα και αποτελεσματικά μέτρα.

Η ρύπανση δεν είναι μόνο ατμοσφαιρική αλλά και ηχητική. Για αυτό παρακολουθούνται και τα επίπεδα θορύβου σε διάφορα σημεία της πόλης με τον κατάλληλο εξοπλισμό.



Σχήμα 4.11: Αισθητήρας ήχου (δεξιά) και αέρα (αριστερά).

Στην παρακάτω εικόνα οι αισθητήρες στάθμευσης είναι τοποθετημένοι κάτω από το οδόστρωμα. Σε κοντινή απόσταση βρίσκονται Wi-Fi router τα οποία αναλαμβάνουν την επικοινωνία των αισθητήρων με το κεντρικό σύστημα. Ανά πάσα στιγμή το κεντρικό σύστημα γνωρίζει πόσες και που είναι οι διαθέσιμες θέσεις παρκινγκ. Το σύστημα ενημερώνει τους ψηφιακούς πίνακες και κάνει τις πληροφορίες αυτές ελεύθερα προσβάσιμες από τις υπόλοιπες ψηφιακές εφαρμογές.



Σχήμα 4.12: Αισθητήρες στάθμευσης.

Αντίστοιχους ηλεκτρονικούς πίνακες που δείχνουν πόσες διαθέσιμες θέσεις υπάρχουν, μπορούμε να δούμε σε λειτουργία στην πόλη Σανταντέρ της Ισπανίας.

#### Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks)

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν δομικό στοιχείο του IoT. Εμφανίστηκαν πρόσφατα στο προσκήνιο και έχουν κατακτήσει μεγάλο μερίδιο μιας εκθετικά αυξανόμενης αγοράς, πρωταρχικά για δύο λόγους:

- Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν πολύ μικρές απαιτήσεις κατανάλωσης και αν δεν υπάρχουν απαιτήσεις συνεχούς λειτουργίας (π.χ. ευφείς μετρητές φυσικού αερίου ή νερού) μπορούν να λειτουργούν με μια μπαταρία πολύ περισσότερο από ένα κινητό τηλέφωνο (τυπικά 5 έτη).
- Έγινε εφικτή η φτηνή μαζική παραγωγή μικρών ολοκληρωμένων υπολογιστών που έχουν επεξεργαστές και αισθητήρες, με αποτέλεσμα το κόστος ανά σύστημα να έχει περιοριστεί δραματικά (κάτω από 5 € αν δεν υπάρχουν απαιτήσεις εγκατάστασης σε αντίξοες συνθήκες).

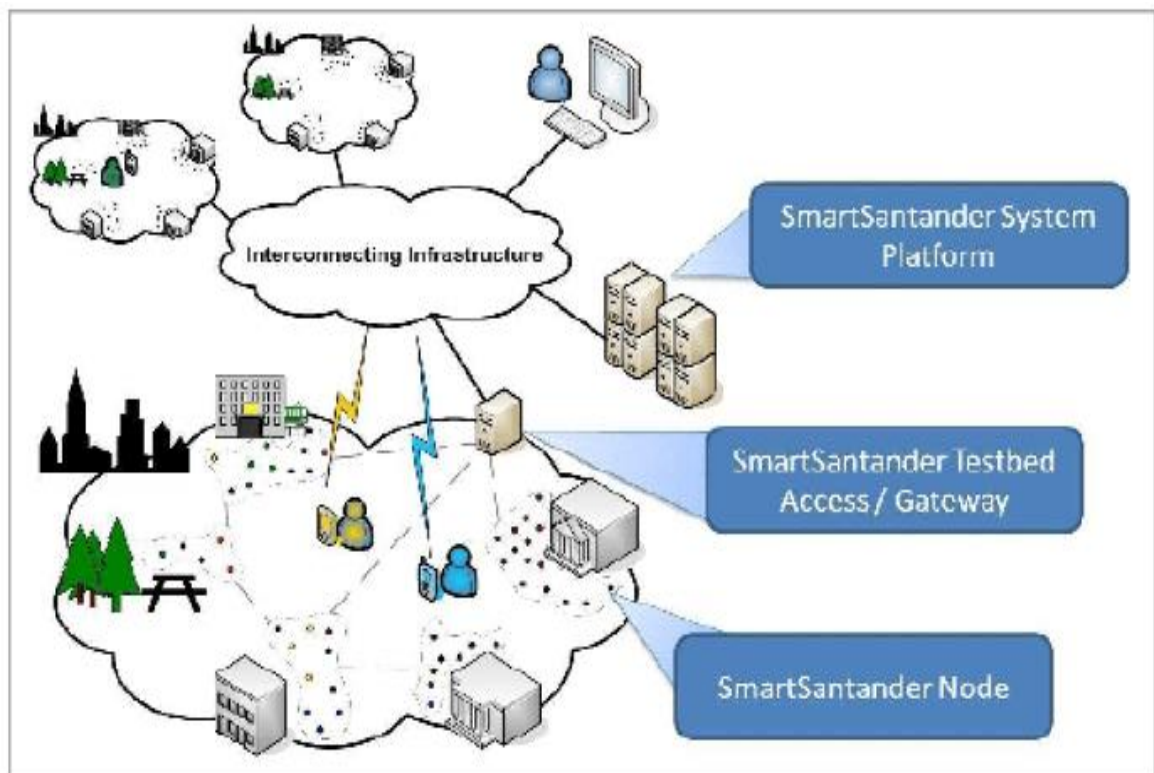
Για την αξιοποίηση της παραπάνω τεχνολογίας χρειάζονται δύο δομικά στοιχεία:



1. Ανοικτό δίκτυο με επιθυμητή τη δυνατότητα διευθύνσεων IP(v6) από τον ευφυή τερματικό κόμβο αισθητήρων έως το σημείο εξυπηρέτησης καταναλωμένων υπολογιστικών εφαρμογών, ώστε να διατηρείται η διαλειτουργικότητα του παραδοσιακού Internet χωρίς ενδιάμεσους σταθμούς. Να σημειωθεί πως έχουν υλοποιηθεί εναλλακτικές ασύρματες τεχνολογίες με κοινά χαρακτηριστικά το χαμηλό κόστος και με ελάχιστες απαιτήσεις σε ενέργεια.
2. Εγκατάσταση – λειτουργία ανοικτών ευφών εφαρμογών στο πλαίσιο του οικοσυστήματος μιας Ευφυούς Πόλης ή περιοχής ή campus με συνεργατικές υπολογιστικές και αποθηκευτικές δομές. Τυπικά παραδείγματα αφορούν σε υπηρεσίες εκτάκτων περιστατικών (υγείας, ασφάλειας πεζών και οδηγών), διαχείρισης κυκλοφορίας, συγκοινωνιών και χώρων στάθμευσης, ελέγχου δημόσιου φωτισμού και περιβαλλοντολογικές μετρήσεις – παρεμβάσεις για την “πράσινη πόλη”, καθώς και σε λειτουργίες ευφών μετρητών ενεργειακής κατανάλωσης (ηλεκτρική ενέργεια – ΑΠΕ, φυσικό αέριο), υδροδότησης, αποχέτευσης, αποκομιδής απορριμμάτων και διαχείρισης βιομηχανικών λημμάτων.

Σημειώτεον πως τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων δεν βασίζονται αποκλειστικά σε παραδοσιακές υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας (GPRS, 3G/4G) ή σε δίκτυα WiFi με αυξημένες απαιτήσεις ενέργειας. Εναλλακτικά, έχουν υλοποιηθεί ad-hoc αρχιτεκτονικές μεγάλης κλιμακωσιμότητας, ενεργειακής αυτονομίας και χαμηλού κόστους όπως Zigbee, Bluetooth, SigFox, LoRa και NB-IoT (Narrow Band IoT).

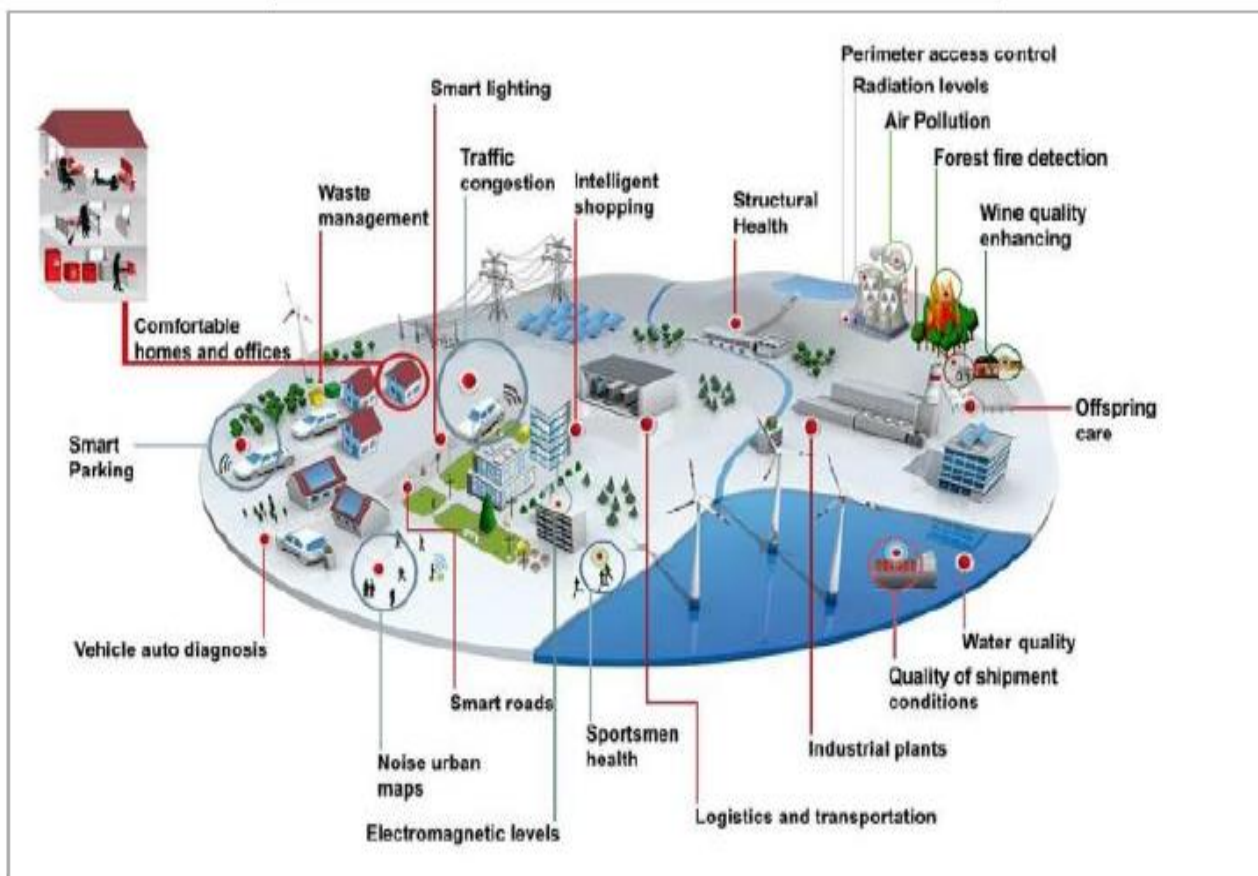
Χαρακτηριστικό παράδειγμα επιτυχημένης υλοποίησης (success story) ευφυούς πόλης βασισμένης σε συνεργατικά δίκτυα IoT αποτελεί το SmartSantander της πόλης Santander της Ισπανίας.



Σχήμα 4.13: Έξυπνη πόλη βασισμένη σε συνεργατικά δίκτυα IoT (Santander Spain).

Όπως φαίνεται στο σχήμα, στην καρδιά της υποδομής λειτουργούν δίκτυα πρόσβασης IoT με πάνω από 12.000 αισθητήρες (sensors) σε αμφίδρομη επικοινωνία με υπολογιστικό νέφος (cloud) εφαρμογών ευφυών πόλεων (Μάγκλαρης Β., 2015).

Ένα πιθανό σχέδιο για το πώς θα μπορούσε να εφαρμοστεί επιτυχώς η τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων σε μια Έξυπνη Πόλη, καλύπτοντας αρκετούς τομείς εφαρμογής και το παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 4.14: Εφαρμογή IoT σε μία έξυπνη πόλη.

## 4.5 Υποδείγματα έξυπνων πόλεων

### Μοντέλα έξυπνης πόλης στην Ευρώπη

Στην Ευρώπη η κατεύθυνση των έξυπνων πόλεων συνίσταται στην εφαρμογή καινοτόμων συστημάτων τα οποία αφορούν την προώθηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας, στην ενίσχυση του πρασίνου στο δημόσιο χώρο, στην προστασία των φυσικών πόρων, στην μείωση των ρυπογόνων παραγόντων υπό όρους ανθεκτικότητας. Η πολιτική αυτή είναι μία εκ των δύο τάσεων που ξεκίνησαν να δημιουργούνται στην πολιτική έξυπνης αστικής ανάπτυξης, δημιουργώντας συνθήκες αειφορίας για τους πολίτες μέσα από έξυπνες οικολογικές και βιώσιμες λύσεις.



Σχήμα 4.15: Οι έξυπνες πόλεις στον Ευρωπαϊκό χάρτη.

Τα έργα εντάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα με τον τομέα που αναφέρονται στοιχειοθετώντας το στρατηγικό σχεδιασμό για την ανάπτυξη κατευθύνσεων και πολιτικών μέσα από μία στοχευμένη μεθοδολογία αναγνώρισης των δυνατοτήτων και των αδυναμιών μίας περιοχής, με σκοπό τη βιώσιμη ανάπτυξή της.

Η πρώτη κατηγορία έργων αναφέρεται σε τομείς όπως παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, θέρμανση, υδροδότηση, έξυπνη διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας και ηλεκτρονική διαχείριση της κατοικίας και των συσκευών της (light house projects).

### **Σανταντέρ (Ισπανία)**

Στην πόλη Σανταντέρ έχουν εγκαταστήσει συστήματα με πάνω από 20.000 αισθητήρες που βοηθούν στην καλύτερη διαχείριση της κυκλοφορίας, στην κατανάλωση ενέργειας, στη διάθεση των απορριμμάτων και στην ποιότητα του αέρα. Το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης ανήλθε στα 8 εκ. ευρώ.

Αυτοί οι αισθητήρες μετρούν διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η φωτεινότητα, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και τα επίπεδα του οδικού θορύβου. Σχεδόν 400 από αυτούς τους κόμβους χρησιμοποιούνται ως αισθητήρες στάθμευσης



παρέχοντας πληροφορίες που είναι προσβάσιμες μέσω εφαρμογών κινητών τηλεφώνων. Στις εισόδους της πόλης έχουν τοποθετηθεί 60 συσκευές καταγραφής που μετρούν τον όγκο της κυκλοφορίας, την οδική συμμόρφωση και την ταχύτητα των οχημάτων. Οι πληροφορίες αυτές δίνουν τη δυνατότητα στους διαχειριστές των υποδομών της πόλης να παρακολουθούν την κυκλοφοριακή ροή και να προσαρμόζουν αναλόγως την λειτουργία των φαναριών και την καθοδήγηση των οδηγών. Έχουν επίσης εφαρμόσει ένα πρόγραμμα ακουστικών αισθητήρων καταγραφής αστικών θορύβων που βοηθούν στον έλεγχο της κυκλοφορίας.

Ένα ακόμα παράδειγμα εφαρμογής των αισθητήρων, είναι το σύστημα συγκομιδής απορριμμάτων. Οι τοπικές αρχές μπορούν να οργανώσουν την συχνότητα των δρομολογίων συγκομιδής, σύμφωνα με την πληρότητα του χώρου των κάδων στις κατά τόπους περιοχές. Μια σειρά αισθητήρων καταγράφουν τον όγκο των απορριμμάτων και τη διαθέσιμη χωρητικότητα.

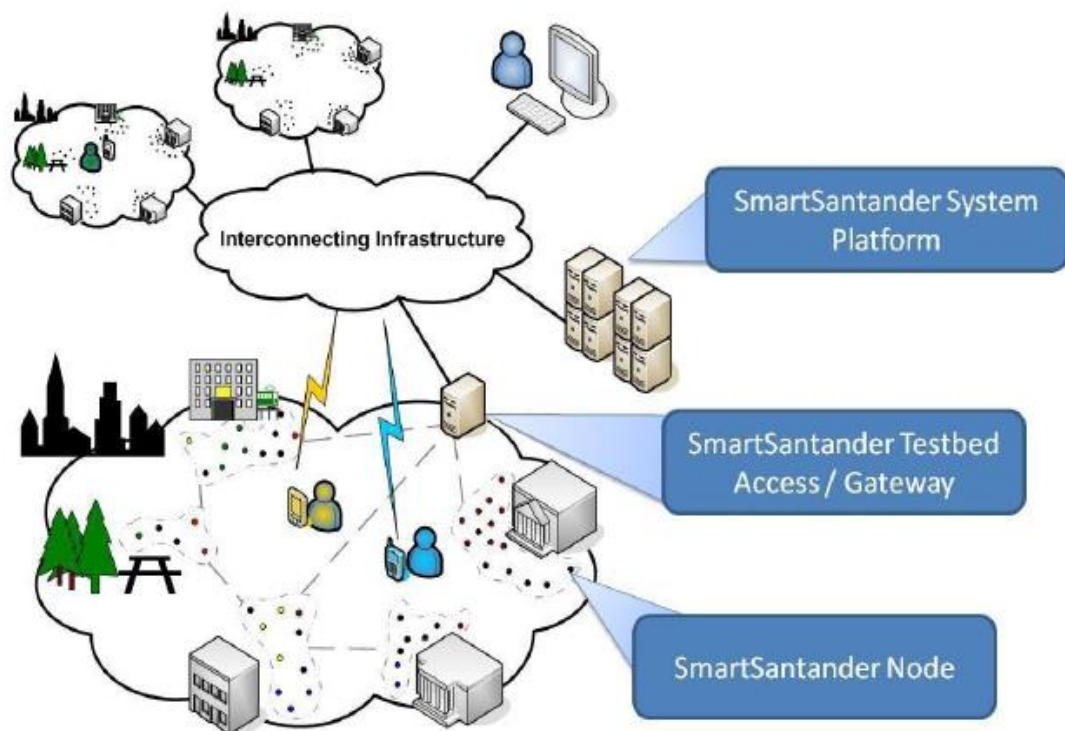
Τα δεδομένα που συλλέγονται από την πληθώρα των αισθητήρων είναι επίσης διαθέσιμα στο κοινό, έτσι ώστε, για παράδειγμα, ο ιδιωτικός τομέας μπορεί να δημιουργήσει εφαρμογές που επιτρέπουν στους πολίτες να κάνουν καλή χρήση των δεδομένων, ενισχύοντας την καινοτομία.



Σχήμα 4.16: Στιγμιότυπα οθόνης του ενεργού χάρτη των αισθητήρων που έχουν εγκατασταθεί στο Σανταντέρ.



Σχήμα 4.17: Τύποι εγκατεστημένων συσκευών και αισθητήρων στο Σανταντέρ.



Σχήμα 4.18: Εικόνα 28 Αρχιτεκτονική Συστήματος «SmartSantander».

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η εφαρμογή «El pulso de la Ciudad» (Ο σφυγμός της πόλης), χάρη στην οποία οι χρήστες μπορούν να λαμβάνουν και να στέλνουν πληροφορίες σχετικά με σημεία ενδιαφέροντος καθώς και γεγονότα στην πόλη.

Οι πληροφορίες που αφορούν σε αξιοθέατα, καταστήματα, δημόσιους χώρους ή είναι χρηστικού χαρακτήρα είναι ως επί τω πλείστον γεωκωδικοποιημένες (με τη χρήση περί των 2.000 κωδικών ταχείας ανταπόκρισης (QR). Παράλληλα, από το 2014 μέχρι σήμερα λειτουργούν: εφαρμογή ηλεκτρονικών πληρωμών κατά τη συναλλαγή με διοικητικούς φορείς, ιστοσελίδα – αποθετήριο ανοιχτών δεδομένων για την περαιτέρω αξιοποίησή τους από πολίτες και επιχειρήσεις και ιστοσελίδα διαφάνειας και λογοδοσίας σχετικά με τις δράσεις του Δήμου.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η πόλη επέλεξε τη συνεργασία με διαφορετικούς παρόχους τεχνολογικών λύσεων, εν αντιθέσει με άλλες έξυπνες πόλεις που διάσυνδεδσαν τις δράσεις τους με συγκεκριμένες εταιρείες ΤΠΕ. Σημαντική συμβολή έχουν και οι ίδιοι οι πολίτες, οι οποίοι αξιοποιώντας εφαρμογές κινητών τηλεφώνων, τροφοδοτούν με στοιχεία τις ανάλογες βάσεις δεδομένων για συμβάντα στην πόλη.

### **Άμστερνταμ (Ολλανδία)**

Η νέα πρωτοβουλία «Amsterdam Smart City» επικεντρώνεται στη λειτουργία της πόλης ως αστικού εργαστηρίου για τη χρήση ανοιχτών δεδομένων, νέων λύσεων κινητικότητας και τελικά βελτιωμένης ποιότητας ζωής για όλους τους κατοίκους και τους επισκέπτες.

Η συνεργασία έχει ήδη υποστηρίξει περισσότερα από 40 σχέδια «έξυπνων πόλεων», που κυμαίνονται από «έξυπνο» χώρο στάθμευσης μέχρι την ανάπτυξη οικιακής αποθήκευσης ενέργειας για ενσωμάτωση με το «έξυπνο» δίκτυο.

Σύμφωνα με το σχέδιο, η επίτευξη των στόχων θα πραγματοποιηθεί μέσω την ενεργοποίησης προγραμμάτων και δράσεων που αφορούν επιχειρήσεις, κατοικίες, σχολεία, δημόσιους χώρους, τα οποία αποτελούν το πεδίο ενσωμάτωσης των ευφών συστημάτων τεχνολογίας. Η αξιολόγηση για την τελική ένταξη στο σχέδιο A.S.C. στηρίζεται σε τρία κριτήρια: τη σκοπιμότητα, το οικονομικό κόστος και το περιβαλλοντικό όφελος.

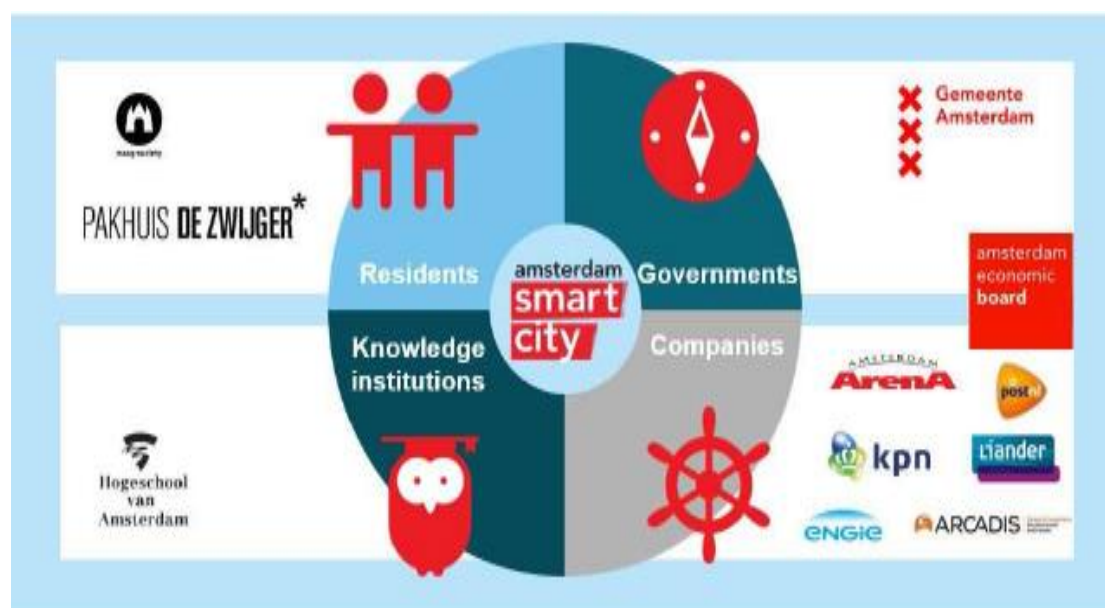
Κατ' αρχάς, η πόλη του Άμστερνταμ έθεσε τους στόχους βιωσιμότητας στο διαρθρωτικό όραμα 2040 και στην Ενεργειακή Στρατηγική 2040. Σε αυτά τα έγγραφα οι Αρχές της πόλης δηλώνουν τις φιλοδοξίες τους:

α) για μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 40% το 2025, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 και β) για μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 75% μέχρι το 2040.

Για να επιτύχουν οι Αρχές της πόλης τους στόχους αυτούς, που είναι στόχοι και της στρατηγικής «Ευρώπη 2020», ξεκίνησαν την πλατφόρμα «Amsterdam Smart City» το 2009, τη μετατροπή, δηλαδή, του μητροπολιτικού Άμστερνταμ σε μια «έξυπνη πόλη», με απώτερο σκοπό τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Το σχέδιο του «Amsterdam Smart City» ενοποιεί την εργασία πάνω από 80 βιομηχανικών και ακαδημαϊκών εταιρών, δοκιμάζοντας νέες τεχνολογίες για την υλοποίηση αυτού του οράματος.

Η φιλοσοφία πάνω στην οποία δομείται το σχέδιο A.S.C., περιλαμβάνει τέσσερις βασικές αρχές:

- 1) Συνεργασία: Συνεργασία σε κάθε πιθανό επίπεδο, με στόχο την επίτευξη βιώσιμων αποτελεσμάτων. Σημαντικό ζήτημα στην ανάπτυξη των διάφορων προγραμμάτων είναι η συμμετοχή των τελικών χρηστών.
- 2) Καινοτόμες τεχνολογίες: Καθοδήγηση από τη χρήση έξυπνων τεχνολογιών με στόχο την ευαισθητοποίηση των κατοίκων της πόλης.
- 3) Οικονομική βιωσιμότητα: Μόνο οι οικονομικά βιώσιμες πρωτοβουλίες θα προωθηθούν για εφαρμογή σε μεγάλη κλίμακα.
- 4) Μετάδοση γνώσης: Η αποκτηθείσα γνώση και εμπειρία, θα μεταδίδεται μέσω διαδικτυακών εφαρμογών.



Σχήμα 4.19: Ιστοσελίδα του Amsterdam Smart City.





Σχήμα 4.20: Οργάνωση δικτύων επικοινωνίας του Amsterdam Smart City.

Η ολλανδική πόλη επενδύει μαζικά σε νέες - φιλικότερες προς το περιβάλλον- υποδομές, που περιλαμβάνουν σταθμούς ανεφοδιασμού για ηλεκτρικά αυτοκίνητα και έξυπνα δίκτυα, ενώ δίνει κίνητρα στους καταναλωτές, για να εγκαταστήσουν φωτοβολταϊκά και μικρές ανεμογεννήτριες. Αναφέρεται συγκεκριμένα ότι:

α) 1.200 νοικοκυριά εγκατέστησαν ένα σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας από την εταιρεία IBM και την εταιρεία Cisco (CSCO), με στόχο την περικοπή του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας.

β) Η χρηματοδότηση από τις ολλανδικές τράπεζες ING και Rabobank για την αγορά αποδοτικότερων συσκευών, από λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας έως αποτελεσματικότερη μόνωση για τη στέγη της κατοικίας τους, έχει γίνει πιο προσιτή.

γ) Στην Utrechtsestraat, μία από τις μεγαλύτερες εμπορικές λεωφόρους στο κέντρο της πρωτεύουσας, τοποθετήθηκαν ηλιακά πάνελ στις στάσεις των λεωφορείων, για να μετατρέψουν τον δρόμο σε «Κλιματική Οδό» που θα προωθεί τις πράσινες τεχνολογίες.

Τα έργα αυτά είναι τα πρώτα βήματα του Άμστερνταμ, προκειμένου να κάνει τις υποδομές του πιο φιλικές προς το περιβάλλον. Άλλα έργα αναμένεται να ακολουθήσουν σύντομα. Αυτά περιλαμβάνουν 300 σταθμούς ενέργειας σε ολόκληρη την πόλη για την επαναφόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων, φωτοβολταϊκά συστήματα, που θα τοποθετηθούν στα ιστορικά σπίτια του 17ου αιώνα του Άμστερνταμ, και ολοκληρωμένα συστήματα που θα επιτρέπουν στα νοικοκυριά να μεταπωλούν την ενέργεια που παράγουν από μικρού μεγέθους ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά συστήματα στο ηλεκτρικό δίκτυο της πόλης με ευνοϊκά κίνητρα.

## **Βαρκελώνη (Ισπανία)**

Το 2011, η Βαρκελώνη ξεκίνησε ένα πρόγραμμα παροχής ασύρματης σύνδεσης wi-fi και έχει εγκαταστήσει wi-fi routers σε όλη την πόλη που παρέχουν δωρεάν πρόσβαση για τους κατοίκους και τους τουρίστες. Υπάρχουν επί του παρόντος πάνω από 590 σημεία πρόσβασης ασύρματης σύνδεσης στην πόλη, με στόχο την δημιουργία 1.500 νέων σημείων πρόσβασης εγκαθιστώντας δρομολογητές σε επισιτιστικά καταστήματα και σε δημόσιες υποδομές.

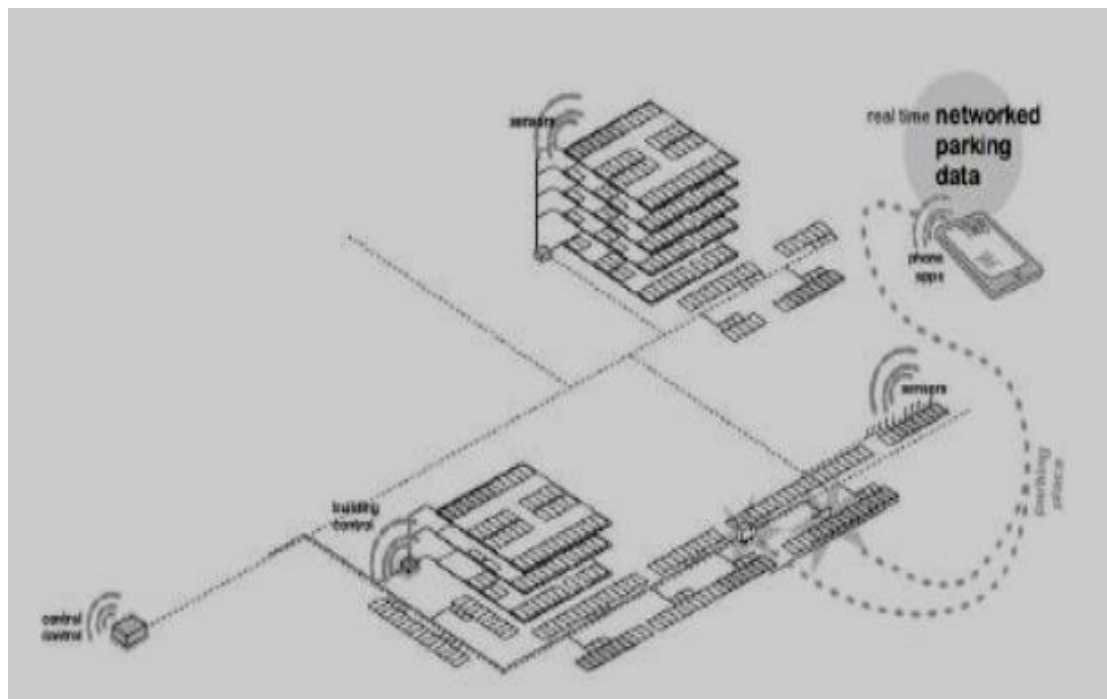
Επίσης, χρησιμοποιούνται έξυπνες τεχνολογίες προκειμένου να διαχειριστούν της ζώνες φωτισμού της πόλης (Smart Light). Η λύση αυτή έχει ως στόχο να αντιμετωπίσει το πρόβλημα του φωτισμού δημόσιων δρόμων όπου χρησιμοποιούνται αναποτελεσματικά μέσα, επιβλαβή για το περιβάλλον. Η προσέγγιση είναι δύο κατευθύνσεων: Πρώτον, οι λάμπες του δρόμου εξοπλίζονται με λαμπτήρες τεχνολογίας LED, η οποία απαιτεί πολύ λιγότερη ενέργεια από τους συμβατικούς και δεύτερον, οι στήλες φωτισμού είναι εξοπλισμένες με αισθητήρες καταγραφής δεδομένων σχετικά με το περιβάλλον (θερμοκρασία, υγρασία, ρύπανση), καθώς και τα επίπεδα του θορύβου και την παρουσία των ανθρώπων.

Οι στήλες επικοινωνούν με μια κεντρική μονάδα (Control Cabinet) που διαχειρίζεται και άλλες υπηρεσίες όπως τις οικιακές καλωδιώσεις οπτικών ινών, την παροχή wifi και τους σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Οι πληροφορίες στη συνέχεια αποστέλλονται σε ένα κέντρο ελέγχου. Σε αυτό το κέντρο είναι εφικτή η παρακολούθηση όλων των δραστηριοτήτων και των υπηρεσιών που λαμβάνουν χώρα σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία (π.χ. ένα δρόμο), η λήψη ειδοποιήσεων και η διαχείρισή τους από αυτό το σημείο. Επίσης, οι αισθητήρες προσαρμόζουν τον φωτισμό ανάλογα με την ώρα της ημέρας και την παρουσία ανθρώπων.



Σχήμα 4.21: The Integral Solution of Urban Infrastructure (SIUR) Project.

Η εισαγωγή ασύρματων αισθητήρων σε χώρους στάθμευσης μπορεί να διευκολύνει την κίνηση της πόλης, δείχνοντας στους οδηγούς αυτοκινήτων, που υπάρχουν δωρεάν θέσεις στάθμευσης. Οι πληροφορίες που συλλέγονται, αποστέλλονται σε ένα κέντρο δεδομένων και διατίθενται σε προσβάσιμη μορφή για τα smart phones, παρέχοντας στους χρήστες δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Με τον τρόπο αυτό, το σύστημα καθοδηγεί τον οδηγό στο πλησιέστερο σημείο στάθμευσης.



Σχήμα 4.22: Smart parking network Barcelona.

Το κτίριο Media-tic φιλοξενεί εταιρείες και ιδρύματα που δραστηριοποιούνται στον τομέα των ΤΠΕ, των μέσων μαζικής ενημέρωσης και τον οπτικοακουστικό τομέα. Έχει σχεδιαστεί ως ένα κομβικό σημείο επικοινωνίας και συνάντησης για αυτές τις επιχειρήσεις. Η πρόσοψη του κτηρίου είναι εντυπωσιακή και ταυτόχρονα λειτουργική. Το ημιδιαφανές και καινοτόμο υλικό κάλυψης (αιθυλενίου τετραφθοροαιθυλενίου) ενεργεί ως εξωτερικό κάλυμμα και ως ένα κινητό αντηλιακό φίλτρο. Η κάλυψη ενεργοποιείται με πνευματικούς μηχανισμούς (πεπιεσμένου αέρα). Αυτοί οι αισθητήρες ρυθμίζουν τα επίπεδα του φυσικού φωτισμού και της θερμοκρασίας αυτόματα και ανεξάρτητα.

Το όραμα που ήταν η βάση για την κατασκευή του κτηρίου είναι ότι «η καθαρότερη ενέργεια είναι η μη κατανάλωση ενέργειας» και χρησιμοποιώντας το μέτρο αυτό, το Media-tic είναι ένα από τα πιο ενεργειακά αποδοτικά κτήρια στην Βαρκελώνη, αποδεικνύοντας ότι τα κτήρια μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Η απαιτούμενη ενέργεια καλύπτεται αποκλειστικά από ηλιακή, με την εγκατάσταση 700 φωτοβολταϊκών πάνελ. Η έξυπνη πρόσοψη εξοικονομεί το 20% τις ενέργειας που απαιτείται για τον κλιματισμό του κτηρίου.

Ελέγχεται από 300 αισθητήρες που κυμαίνονται από αισθητήρες ανίχνευσης ανθρώπινης παρουσίας στο λόμπι και αισθητήρες προσαρμογής τεχνητού φωτισμού ανάλογα με την απόσταση από το παράθυρο. Το κτήριο διαχειρίζεται από ένα ευφυές σύστημα που οδηγεί στην αυτοματοποίηση όλων των λειτουργιών.

Η Βαρκελώνη εισήγαγε πολλές υπηρεσίες ηλεκτρονικής διακυβέρνησης για τη βελτίωση της πρόσβασης, της αποτελεσματικότητας και της διαφάνειας των δημόσιων υπηρεσιών (smart government), συμπεριλαμβανομένων δύο βασικών πρωτοβουλιών, ανοιχτών δεδομένων και σημείων εξυπηρέτησης.

OpenData BCN: Στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας αυτής τίθενται στη διάθεση του κοινού, δημόσια δεδομένα. Η διαδικτυακή πύλη περιέχει περισσότερες από 300 κατηγορίες δεδομένων. Οι πέντε κύριοι τομείς αφορούν γεωγραφικά, πληθυσμιακά, αστικών υπηρεσιών, οικονομικά και διοικητικά δεδομένα.

Quiosc PuntBCN: Η πόλη διατηρεί περίπτερα που εξασφαλίζουν παρουσία των δημοτικών αρχών σε όλη την πόλη. Βρίσκονται σε διάφορα πολυσύχναστα σημεία της πόλης, όπως εμπορικά κέντρα και βιβλιοθήκες, παρέχοντας στους πολίτες τη δυνατότητα να πραγματοποιούν το μεγαλύτερο μέρος των διοικητικών διαδικασιών τους. Οι παρεχόμενες υπηρεσίες είναι επίσης διαθέσιμες και στο διαδίκτυο.

Η παροχή ανοιχτών δεδομένων ενισχύει την επιχειρηματικότητα και την καινοτομία συμμετέχοντας στην δημιουργία νέων εφαρμογών και βελτιώνοντας τις υπάρχουσες υπηρεσίες. Η ύπαρξη των σημείων εξυπηρέτησης εξοικονομεί χρόνο στους συναλλασσόμενους πολίτες και στις επιχειρήσεις αφού ελαχιστοποιούνται οι ανάγκες επίσκεψης στις κεντρικές υπηρεσίες, με τα αντίστοιχα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Επίσης συμβάλλουν στη μείωση του φαινομένου της ψηφιακής διαίρεσης, των πολιτών με περιορισμένες δυνατότητες πρόσβασης σε ηλεκτρονικές υπηρεσίες.

### Μοντέλα έξυπνης πόλης στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, παρά το πρόβλημα της οικονομικής κρίσης των τελευταίων ετών, προσπαθεί να ακολουθήσει τη διεθνή αγορά στον τομέα του IoT. Αρκετοί δήμοι υλοποιούν εφαρμογές, κυρίως στο πλαίσιο της έξυπνης πόλης. Το Πανεπιστήμιο της Ξάνθης, το πρώτο εκπαιδευτικό ίδρυμα που υιοθέτησε λύσεις IoT, επιδίδεται στην υλοποίηση του πιλοτικού έργου «έξυπνη πανεπιστημιούπολη». Επίσης, ιδιώτες επωφελούνται από τα πλεονεκτήματα του IoT και το εντάσσουν στις επιχειρήσεις τους.

### **Τρίκαλα**

Τα Τρίκαλα είναι μια ελληνική αγροτική πόλη, που σήμερα αποτελεί την πρώτη και κορυφαία έξυπνη πόλη της Ελλάδας, όπου οι καινοτομίες έχουν βελτιώσει τη ζωή των κατοίκων παρά την οικονομική κρίση.

Το 2014 και ενώ η χώρα βρισκόταν στο μέσο μιας χρηματοπιστωτικής κρίσης, ο δήμος των Τρικάλων κατάφερε, μέσω συνεργασιών με εταιρίες, όπως η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και εταιρίες, όπως οι Sieben και ParkGuru της Ελλάδας, η πόλη να αποκτήσει τη φήμη ως «πόλη της καινοτομίας». Λίγο αργότερα, απέκτησε τον τίτλο μιας από τις 21 πιο έξυπνες πόλεις στον κόσμο. Συμμετέχοντας σε έργα, που χρηματοδοτούνται από την ΕΕ, προσφέρει θέση για δοκιμές στις τοπικές τεχνολογικές εταιρίες και επιλύει τα όποια οικονομικά της προβλήματα.

Το πρόγραμμα Smart Trikala περιλαμβάνει πλήθος εφαρμογών, όπως «έξυπνος» φωτισμός, παρακολούθηση συστήματος στάθμευσης με αισθητήρες, έλεγχος διαδρομών απορριμματοφόρων, πρόγραμμα Open Mall, παρακολούθηση κυκλοφοριακού, τηλεπρόνοια. Άλλη καινοτόμα εφαρμογή είναι το «Έξυπνο Σπίτι» ή «Σπίτι Ευφυούς Διαβίωσης», το οποίο περιλαμβάνει εφαρμογές, που βελτιώνουν τη ζωή, ιδίως των ατόμων της τρίτης ηλικίας, με αισθητήρες κίνησης, φωτισμού, στάθμης νερού, παραθύρων κ.α., ηλεκτρονική κάρτα υγείας (καταγραφή δεδομένων υγείας),

αυτόματος τρόπος αποστολής στοιχείων καρδιογραφήματος. Το «Έξυπνο Σπίτι» είναι εφαρμογή, που πλέον διατίθεται και εμπορικά από την e-trikala.

### Πιλοτικό πρόγραμμα μεταφορών CityMobil2

Το λεωφορείο χωρίς οδηγό αποτέλεσε παγκόσμια πρωτοτυπία στο πλαίσιο του πιλοτικού Ευρωπαϊκού προγράμματος CityMobil2. Υλοποιήθηκε στο χρονικό διάστημα 1η Σεπτεμβρίου 2015 – 29η Φεβρουαρίου 2016, όπου τρία αυτοματοποιημένα λεωφορεία αστικού τύπου πραγματοποίησαν 1.490 δρομολόγια και μετέφεραν 12.138 επιβάτες.

Στο πρόγραμμα συμμετείχαν επίσης οι πόλεις Μιλάνο-Ιταλία, Λεόν-Ισπανία, Λα Ροσέλ-Γαλλία και Βαντάα-Φινλανδία. Στα Τρίκαλα παρουσιάστηκε μια καινοτομία παγκοσμίου επιπέδου, καθώς το όχημα κυκλοφόρησε μέσα στον αστικό ιστό, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες περιοχές, που δρομολόγησαν τα οχήματα σε προστατευμένο περιβάλλον. Στο Μιλάνο, τα εν λόγω λεωφορεία κινήθηκαν σε παραλιακό πεζόδρομο, ενώ στην πόλη Λα Ροσέλ της Γαλλίας κυκλοφόρησαν σε μεγάλη προκυμαία της περιοχής.

Τα οχήματα παραχωρήθηκαν από τις εταιρείες Robosoft και Induct – εταίροι του προγράμματος – για έξι μήνες εκ περιτροπής σε καθεμιά πόλη, που συμμετείχε. Στο κέντρο έλεγχου, τεχνικοί παρακολουθούσαν την πορεία του και κατέγραφαν τα όποια προβλήματα εμφανίζονταν. Η σύνδεση κέντρου ελέγχου – πιλότου πραγματοποιήθηκε με χρήση οπτικής ίνας. Το όχημα διέθετε επιπλέον και λέιζερ ασφαλείας, που, όταν εντόπιζε στην πορεία του οποιοδήποτε αντικείμενο ή άνθρωπο, το ακινητοποιούσε ακαριαία.

Η αυτόματη οδήγηση είναι μια τεράστια αλλαγή στον τομέα των οδικών μεταφορών που θα έχει πολύ θετικές επιπτώσεις σε θέματα κυκλοφοριακής ασφάλειας, αποδοτικότητας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτών.

### Ευφυείς Μεταφορές

Το Σύστημα Ευφύων Μεταφορών είναι ένα έργο με άμεσο αντίκτυπο στην καθημερινότητα των πολιτών της πόλης των Τρικάλων. Με τη βοήθεια επαγωγικών βρόγχων, διαχειρίζονται τα κυκλοφοριακά δεδομένα της πόλης, παρακολουθούν το στόλο και το δίκτυο των αστικών λεωφορείων και ενημερώνουν τους πολίτες για την κυκλοφοριακή κίνηση. Επιπλέον, οι έξυπνες στάσεις των αστικών λεωφορείων, προσφέρουν ακριβή πληροφόρηση για τα δρομολόγια, το χρόνο αναμονής έως την

άφιξη του κάθε λεωφορείου, με ακρίβεια δευτερολέπτου! Οι Τρικαλινοί πολίτες μπορούν να απολαμβάνουν «καλές πρακτικές» αντίστοιχου μεγέθους Ευρωπαϊκών πόλεων.

#### Σύστημα Έξυπνου Φωτισμού

Στα Τρίκαλα αντικαταστάθηκαν τα υφιστάμενα φωτιστικά συστήματα συμβατικής τεχνολογίας, από νέα φωτιστικά συστήματα τεχνολογίας LED, σε αντιπροσωπευτικό δρόμο του ενδοαστικού οδικού δικτύου (οδός Όθωνος) και επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας μεγαλύτερη από 60%. Επίσης, εγκαταστάθηκε σύστημα ασύρματης διαχείρισης, που παρέχει τη δυνατότητα έγκαιρου εντοπισμού δυσλειτουργιών, «έξυπνου» προγραμματισμού – βάσει εποχής, καιρικών συνθηκών και ώρας – για τη μέγιστη δυνατή ενεργειακή εξοικονόμηση και τη βελτίωση ορατότητας για οδηγούς, ποδηλάτες, πεζούς. Μια συνεργασία των εταιρειών ΚΑΥΚΑΣ, Cisco και Space Hellas.

#### Σύστημα Έξυπνης Στάθμευσης

Η εφαρμογή του Συστήματος Έξυπνης Διαχείρισης Στάθμευσης επιτυγχάνει την εύρεση, την απεικόνιση και τον έλεγχο οριοθετημένων θέσεων στάθμευσης στο κέντρο της πόλης. Εγκαταστάθηκε δίκτυο εξειδικευμένων αισθητήρων στο οδόστρωμα των οδών Όθωνος και Γαριβάδη, ώστε να αντιστοιχεί ένας αισθητήρας για κάθε διακριτή, διαγραμμισμένη θέση στάθμευσης. Ο αισθητήρας τροφοδοτεί τα σημεία ελέγχου του δικτύου (controllers) στέλνοντας τα ανάλογα σήματα, όταν η θέση είναι ή δεν είναι κατειλημμένη.

Επιπλέον, οι πολίτες ενημερώνονται, σε πραγματικό χρόνο, για τη διαθεσιμότητα θέσεων στην επιλεγμένη περιοχή, τόσο μέσω της εφαρμογής στάθμευσης (mobile app) για κινητά τηλέφωνα, όσο και από πινακίδες, που εγκαταστάθηκαν σε κομβικά σημεία της πόλης. Επίσης και στα όργανα ελέγχου της στάθμευσης παρέχεται, ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο για περιπτώσεις παράνομου παρκαρίσματος. Μέσω της εφαρμογής, παρέχεται η δυνατότητα αυτόματης πληρωμής του αντίστοιχου τιμήματος στάθμευσης. Μια συνεργασία των εταιρειών ParkGuru, VivaWallet, Cisco, Space Hellas.

#### Σύστημα παρακολούθησης περιβαλλοντικών συνθηκών

Ειδικές συσκευές περιβαλλοντικών μετρήσεων αποτυπώνουν θερμοκρασία, υγρασία, καθώς και τη συγκέντρωση αέριων ρύπων, αιωρούμενων σωματιδίων και θορύβου,

ώστε να εκτιμηθεί η ποιότητα της ατμόσφαιρας και ο αντίκτυπός της στη δημόσια υγεία.

Επίσης, σε πραγματικό χρόνο, απεικονίζονται τυποποιημένοι δείκτες ποιότητας του περιβάλλοντος, που επιτρέπουν συγκριτική αξιολόγηση (benchmarking), επισημάνσεις (alerts) και την αναγνώριση τάσεων, που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στη λήψη μέτρων. Το σύστημα εγκαταστάθηκε στο κτήριο της Περιφερειακής Ενότητας Τρικάλων. Μια συνεργασία των εταιρειών Space Hellas, Cisco.

#### Έξυπνη και Διασυνδεδεμένη Ψηφιακή Πλατφόρμα

Η πλατφόρμα έξυπνης πόλης Cisco Smart+Connected Digital Platform – CDP είναι ένα ολοκληρωμένο πληροφοριακό σύστημα, που αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα του Internet of Things και διαχειρίζεται τις επιμέρους εφαρμογές εποπτείας και ενημέρωσης, ενώ ταυτόχρονα τροφοδοτεί τρίτα συστήματα, μέσα από ανοιχτά πρωτόκολλα διασύνδεσης (APIs). Η πλατφόρμα συγκεντρώνει, αποθηκεύει, κανονικοποιεί και οπτικοποιεί τα δεδομένα, που παράγονται από τις παραπάνω εφαρμογές και υποδομές και τα διαθέτει προς ανάλυση, σε όποιους ενδιαφέρονται να τα αξιοποιήσουν προς όφελος των πολιτών και των επιχειρήσεων της πόλης. Μια συνεργασία των εταιρειών Cisco, Space Hellas.

#### Συλλογή και ανάλυση δεδομένων

Η εύκολη και γρήγορη διασύνδεση των χρηστών στο δημοτικό ασύρματο δίκτυο επιτυγχάνεται πλέον, μέσω εφαρμογής με διάφορους τρόπους, όπως μέσω λογαριασμών των χρηστών σε πλατφόρμες κοινωνικής δικτύωσης. Η δημοτική αρχή αξιοποιεί τις πληροφορίες από τη χρήση του ασύρματου δικτύου και μέσω την εφαρμογής Marera μπορεί και ενημερώνει τους πολίτες για πολιτιστικές εκδηλώσεις και δρώμενα του Δήμου. Επίσης, σε συνεργασία με τον Εμπορικό Σύλλογο και άλλους ενδιαφερομένους, προωθούνται η επιχειρηματικότητα και η αύξηση της αγοραστικής κίνησης, μέσω στοχευμένων προσφορών ή άλλων προωθητικών ενεργειών. Μια συνεργασία των εταιρειών SiEBEN, Space Hellas.

#### Σύστημα παρακολούθησης λειτουργίας φωτεινών σηματοδοτών της πόλης

Ηλεκτρονικός εξοπλισμός τοποθετείται στο σημείο ελέγχου (controller) των κόμβων, που ελέγχει αδιάκοπα τη λειτουργία του κόμβου, αναφέρει πιθανή βλάβη, ενημερώνει για δυσλειτουργίες λαμπτήρων σηματοδοτών ανά κατεύθυνση και σήμανση (κόκκινο



– πορτοκαλί – πράσινο) και ενημερώνει σε πραγματικό χρόνο το κέντρο ελέγχου ή αποστέλλει μήνυμα sms στον αρμόδιο υπάλληλο.

### Ολοκληρωμένο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)

Ευρείες δυνατότητες Business Intelligence (BI) περιλαμβάνει το Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα, ώστε να παρέχει διαχείριση όλων των επιπέδων, με εργαλεία για λήψη καλά πληροφορημένων αποφάσεων για το Δήμο, αλλά και εύκολη πρόσβαση στα δεδομένα από τον πολίτη. Περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, εφαρμογές Τεχνικών έργων, Πολεοδομικών δεδομένων, Αρχείου Πολεοδομίας, Δημοτικής Περιουσίας, Σήμανσης, Οδοφωτισμού, Φωτεινών σηματοδοτών και σημείων ενδιαφέροντος.

### Έξυπνοι κάδοι και υδρομετρητές

Η εγκατάσταση αισθητήρων στους κάδους απορριμμάτων πραγματοποιεί σε πραγματικό χρόνο την ενημέρωση του κέντρου αποκομιδής για την πληρότητα των κάδων. Στόχος είναι η βελτίωση του δρομολογίου και η αμεσότητα αποκομιδής των απορριμμάτων, ιδιαίτερα από το εμπορικό κέντρο της πόλης.

Οι συμβατικοί υδρομετρητές αντικαθίστανται από «έξυπνους», οι οποίοι με τη χρήση αισθητήρων καταγράφουν την κατανάλωση νερού κάθε νοικοκυριού, σε πραγματικό χρόνο. Η διαδικασία συλλογής δεδομένων εξελίχθηκε από μια χειρωνακτική διαδικασία, στην οποία οι τεχνικοί επισκέπτονται κάθε μετρητή, σε μία γρήγορη και τυποποιημένη εργασία από συστήματα IoT, όπου οι αυτόματοι μετρητές καταγράφουν και αποστέλλουν σε μια κεντρική βάση δεδομένων τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Η απομακρυσμένη παρακολούθηση και διαχείριση των δεδομένων βοηθά στην εξοικονόμηση χρημάτων, αφού απαιτούνται λιγότερες ώρες εργασίας και εξοπλισμός, όπως εταιρικά φορτηγά. Επίσης, είναι εφικτός ο άμεσος εντοπισμός διαρροών, ώστε να αποφεύγεται η σπατάλη του πολύτιμου αγαθού.

### Κέντρο διαχείρισης της «έξυπνης πόλης»

Στο ισόγειο του Δημαρχείου υλοποιήθηκε ένα κέντρο ελέγχου όλων των υπηρεσιών. Εγκαταστάθηκαν οθόνες παρακολούθησης των παρακάτω συστημάτων:

- Η πλατφόρμα Cisco Smart + Connected Digital Platform είναι σχεδιασμένη να αποτυπώνει τα στοιχεία, που συγκεντρώνει σε μία οθόνη προβολής – διαχείρισης.

- GIS, προβάλλει τα χωρικά – χωροταξικά δεδομένα και σημεία ενδιαφέροντος του Δήμου Τρικκαίων.
- Σύστημα παρακολούθησης λειτουργίας φωτεινών σηματοδοτών.
- Σύστημα αποτύπωσης της κίνησης των δημοτικών οχημάτων.
- Οθόνη παρακολούθησης λειτουργίας κόμβων ασυρμάτου δικτύου παροχής δωρεάν internet.
- Σύστημα παρακολούθησης και ρύθμισης ηλεκτροβανών δικτύου ύδρευσης – ΔΕΥΑΤ.
- Καταγραφή αιτημάτων πολιτών και παρακολούθηση της πορείας επίλυσής τους.
- Ανάρτηση ανοιχτών δεδομένων του Δήμου Τρικκαίων.

Μια συνεργασία των εταιρειών Cisco, Space Hellas, ITM Intelligent, e-trikala, Vodafone, ΔΕΥΑΤ, ENGIS by enstruct, ΕΓΚΡΙΤΟΣ GROUP.

Η πλειοψηφία των παραπάνω έργων υλοποιείται με χρήση αισθητήρων, που επικοινωνούν, μέσω LoRa με 2 Gateways: Το πρώτο Gateway συλλέγει πληροφορίες από τους αισθητήρες των parking, των φωτιστικών και ενός αισθητήρα περιβάλλοντος και το δεύτερο Gateway συλλέγει πληροφορίες από τους αισθητήρες των κάδων και των υδρομετρητών.

### Τηλεπρόνοια

Η e-Trikala AE δημιούργησε, σε συνεργασία με το Δήμο Τρικκαίων, ένα ολοκληρωμένο δίκτυο Τηλεπρόνοιας, χρησιμοποιώντας υποδομές τηλεφροντίδας και τηλεϊατρικής, για την παροχή υπηρεσιών υποστήριξης στις ευπαθείς κοινωνικές ομάδες (ηλικιωμένους, άτομα με χρόνιες παθήσεις, άνοια, κατάθλιψη). Το δίκτυο παρακολουθηθεί και εξυπηρετηθεί άτομα με χρόνια καρδιολογική ανεπάρκεια, χρόνια πνευμονολογικά προβλήματα και υπέρταση αλλά και τους φροντιστές ασθενών με ήπια άνοια ή κατάθλιψη.

Σκοπός των παραπάνω υπηρεσιών είναι να μειωθεί το καθημερινό βάρος φροντίδας και να αυξηθεί η ποιότητας ζωής των ασθενών και των φροντιστών τους, να βελτιωθούν τα επίπεδα καθημερινής αυτοβοήθειας, να ενισχυθεί η καθημερινή κοινωνική αλληλεπίδραση και γνωστική ενδυνάμωση. Όμως, σημαντικότερος στόχος είναι να αποφευχθεί η εισαγωγή του ασθενούς σε κάποιο νοσοκομείο ή ίδρυμα και να παραμένει στο σπίτι του κοντά στους οικείους του.

Οι ασθενείς έχουν προμηθευτεί φορητές συσκευές – δηλαδή έξυπνα κινητά τηλέφωνα τρίτης γενιάς – και μικρές και εύχρηστες συσκευές καταγραφής βιολογικών σημάτων (πιεσόμετρο, σακχαρόμετρο, καρδιογράφο), που τοποθετούνται στο σώμα τους. Με το πάτημα ενός κουμπιού καταγράφονται τα βιολογικά σήματα του ασθενούς, τα οποία αυτόματα μεταφέρονται ενσύρματα ή ασύρματα, με τη βοήθεια του “έξυπνου” κινητού τηλεφώνου, στο κέντρο τηλεπρόνοιας ή σε άλλο αποδέκτη επιλογής του (γιατρό, νοσοκομείο...). Η επικοινωνία συσκευής – κέντρο τηλεπρόνοιας απαιτεί μια έξυπνη κάρτα σύνδεσης σε δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, την οποία προμηθεύεται ο ιδιοκτήτης της συσκευής. Οι 40 πρώτες έξυπνες κάρτες σύνδεσης, για την εκκίνηση του προγράμματος, ήταν χορηγία της VODAFONE. Το πρόγραμμα της ΤΗΛΕΠΡΟΝΟΙΑΣ, αρχικά, υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Κοινωνίας της Πληροφορίας, μέσω της e-trikala, και συνεχίζεται έως σήμερα, μέσω Ευρωπαϊκών προγραμμάτων.

#### 5G και γεωργία ακριβείας – smart farming

Τα Τρίκαλα θα αποτελέσουν σύντομα την πρώτη πόλη της Ελλάδας με τεχνολογία 5G, με βάση την προγραμματική συμφωνία, που υπογράφηκε το Μάρτιο 2018 ανάμεσα στον δήμο Τρικκαίων, τη Γενική Γραμματεία Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων του υπουργείου Ψηφιακής Πολιτικής, Τηλεπικοινωνιών και Ενημέρωσης και την e-trikala ΑΕ.

Στο πλαίσιο του νέου προγράμματος, πολλές υπάρχουσες έξυπνες υπηρεσίες θα ενσωματωθούν στην τεχνολογία 5G, για να μετρήσουν τις επιδόσεις τους, συμπεριλαμβανομένων των αισθητήρων IoT, που ασχολούνται με τη μέτρηση των αποβλήτων και τη μέτρηση του νερού, τον έξυπνο φωτισμό, τον έξυπνο χώρο στάθμευσης και τις έξυπνες περιβαλλοντικές μετρήσεις.

Επίσης, η νέα αυτή τεχνολογία θα υποστηρίξει το ολοκληρωμένο πρόγραμμα γεωργίας ακριβείας (smart farming), στο πλαίσιο του «Σχεδίου Ασκληπιός», καλλιέργειας φαρμακευτικών φυτών και βοτάνων. Η «έξυπνη γεωργία» αποτελεί το επόμενο βήμα για τους αγρότες.

Η εφαρμογή του συστήματος γεωργίας ακριβείας, μέσω της νέας τεχνολογίας, που εγκαθίσταται και λειτουργεί ως υπολογιστής, μετρά όλα τα δεδομένα από την καλλιέργεια (υγρασία, θερμοκρασία, άνεμο κ.λπ.) και «αποφασίζει» για διάφορες ενέργειες, όπως, η λίπανση ή το πότισμα. Ο αγρότης ενημερώνεται για τις επόμενες

κινήσεις του συστήματος και μπορεί να παρέμβει αναλόγως. Σήμερα, το smartfarming είναι μικρής κλίμακας και υλοποιείται με Zigbee.

## **Χαλκίδα**

Η Χαλκίδα αποτελεί τον πρώτο Δήμο στην Ελλάδα, όπου εγκαταστάθηκαν πιλοτικά συστήματα «έξυπνης» στάθμευσης (Smart Parking) και «έξυπνου» φωτισμού (Smart Lighting), υποστηριζόμενα από μία ενιαία πλατφόρμα έξυπνης πόλης. Οι δυο εφαρμογές συμβάλουν στη διευκόλυνση εύρεσης θέσης στάθμευσης, στην αποσυμφόρηση της κυκλοφορίας, καθώς και στη μείωση κατανάλωσης ενέργειας στην πόλη.

Στόχος του έργου, που υλοποίησαν από κοινού ο Όμιλος ΟΤΕ, Cisco, ΚΑΥΚΑΣ και ΟΤΣ, ήταν να αποδειχθεί στην πράξη το όφελος, που προκύπτει σε μια πόλη και τους κατοίκους της, από την υιοθέτηση έξυπνων τεχνολογιών.



Σχήμα 4.23: Εικόνα 1: Περιοχή εγκατάστασης πιλοτικών εφαρμογών στη Χαλκίδα.

### Smart Parking

Στο πλαίσιο του έργου εγκαταστάθηκαν, σε κεντρικό σημείο της Χαλκίδας, ειδικοί αισθητήρες έξυπνης στάθμευσης, οι οποίοι μέσω εφαρμογής στο κινητό, που αναπτύχθηκε από την ΟΤΣ, ενημερώνουν τους οδηγούς πού υπάρχουν ελεύθερες θέσεις στάθμευσης και πώς θα φτάσουν εκεί. Σε περίπτωση κάλυψης της επιλεγμένης

θέσης από άλλο οδηγό, τότε γίνεται αυτόματα αναδρομολόγηση στην πλησιέστερη διαθέσιμη θέση.

Τα οφέλη, που προκύπτουν, αφορούν τη μείωση του χρόνου εύρεσης θέσης στάθμευσης, και στη συνέχεια την αποσυμφόρηση της κυκλοφορίας και την εκπομπή ρύπων από τα οχήματα. Επίσης, η Δημοτική Αρχή διαχειρίζεται αποτελεσματικότερα τις θέσεις στάθμευσης, αφού έχει εικόνα, τόσο για το χρόνο στάθμευσης κάθε οχήματος, όσο και για κάθε σταθμευμένο όχημα που παραβιάζει τον κώδικα οδικής κυκλοφορίας.

### Smart Lighting

Τα συστήματα έξυπνου φωτισμού LED, που εγκαταστάθηκαν, προσαρμόζονται, σε πραγματικό χρόνο, σε διαφορετικά επίπεδα έντασης φωτισμού, ανάλογα με την ώρα της ημέρας και την εποχή, επιτυγχάνοντας μείωση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας έως και 60%. Παράλληλα, το αρμόδιο τμήμα του Δήμου, μέσω ειδικής εφαρμογής, διαχειρίζεται ευκολότερα το δίκτυο φωτισμού και έχει συνεχώς εικόνα για την κατάσταση των φωτιστικών σωμάτων.

### Ενιαία πλατφόρμα διαχείρισης έξυπνης πόλης

Τα δεδομένα και των δύο έξυπνων λύσεων συγκεντρώνονται, μέσω των δικτυακών υποδομών του, σε Cloud υποδομές του Ομίλου ΟΤΕ και από εκεί επικοινωνούν με την πλατφόρμα διαχείρισης Smart & Connected Digital Platform, της Cisco. Μέσω της πλατφόρμας είναι δυνατή η αλληλεπίδραση των εφαρμοζόμενων λύσεων, η ενοποιημένη απεικόνιση των αποτελεσμάτων τους και η διαχείρισή τους από εξουσιοδοτημένους εργαζόμενους του Δήμου.

Επιπλέον, το Smart & Connected Digital Platform θα προσφέρει κοινή διαχείριση των παραγόμενων δεδομένων και θα έχει τη δυνατότητα μελλοντικής ενσωμάτωσης νέων λύσεων, που θα λειτουργούν και αυτές σαν ένα και ενιαίο σύνολο.

### Σύστημα μέτρησης περιβαλλοντικών παραμέτρων για καλύτερη ποιότητα ζωής

Το εγκατεστημένο σύστημα μέτρησης περιβαλλοντικών παραμέτρων στην πόλη της Χαλκίδας χρησιμοποιεί αισθητήρες υψηλής ποιότητας για την ανίχνευση επιβλαβών αερίων στην ατμόσφαιρα και τριών τύπων μικροσωματιδίων. Μετρά επίσης θερμοκρασία, υγρασία και ατμοσφαιρική πίεση.

Η Δημοτική Αρχή έχει τη δυνατότητα να σχεδιάσει και να υλοποιήσει δράσεις για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα ζωής των κατοίκων.

### **Ηράκλειο Κρήτης**

Η πόλη του Ηρακλείου Κρήτης έχει αναπτύξει μια στρατηγική έξυπνης πόλης, ώστε να γίνει πιο ανταγωνιστική σε εθνικό, μεσογειακό και ευρωπαϊκό επίπεδο. Η στρατηγική αυτή βασίζεται στους παρακάτω βασικούς άξονες ανταγωνιστικότητας που περιλαμβάνουν:

- τη θέσπιση στρατηγικών στόχων και τη συλλογική διαχείρισή τους,
- την εξειδίκευση της οικονομίας και του εργατικού δυναμικού,
- την ποιότητα ζωής του αστικού περιβάλλοντος,
- τη συνεργασία με τα εκπαιδευτικά ιδρύματα και το ΙΤΕ (Ιδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας – Ινστιτούτο Πληροφορικής)
- την ύπαρξη ισχυρών υποδομών μεταφορών και τηλεπικοινωνιών.

#### Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα RERUM «Αξιόπιστο, ανθεκτικό και ασφαλές Διαδίκτυο των Πραγμάτων για εφαρμογές έξυπνων πόλεων»

Ο Δήμος Ηρακλείου και το ΙΤΕ Ηρακλείου υλοποίησαν το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα RERUM «Αξιόπιστο, ανθεκτικό και ασφαλές Διαδίκτυο των Πραγμάτων για εφαρμογές έξυπνων πόλεων» (REliable, Resilient and secUre IoT for sMart city applications - RERUM) στα πλαίσια του 7ου πλαισίου (7th Framework Programme for Research, technological Development and Demonstration) από τις 01-09-2013 έως 31-08-2016.

Σκοπός του έργου RERUM ήταν η αύξηση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας του IoT, δίνοντας έμφαση σε εφαρμογές «έξυπνων πόλεων».

Ανάμεσα στους στόχους του RERUM ήταν η υλοποίηση τεσσάρων εφαρμογών στην πόλη του Ηρακλείου, με τη συνεργασία του Δήμου Ηρακλείου, της Cyta Hellas και του Ινστιτούτου Πληροφορικής του ΙΤΕ. Η υλοποίηση έγινε σε δυο φάσεις.

Στην πρώτη φάση, αναπτύχθηκε ένα σύστημα μέτρησης της κυκλοφοριακής κίνησης στην πόλη του Ηρακλείου και ένα σύστημα μέτρησης κατανάλωσης ενέργειας συσκευών σε εσωτερικούς χώρους. Σε δεύτερη φάση, υλοποιήθηκαν εφαρμογές για

μέτρηση της ποιότητας περιβάλλοντος και βλαβερών σωματιδίων σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους.

Έξυπνες συσκευές εγκαταστάθηκαν σε 25 λεωφορεία του ΚΤΕΛ για αξιόπιστη και ασφαλή μέτρηση της κυκλοφοριακής κίνησης στο Ηράκλειο. Αναπτύχθηκε η πρωτοποριακή εφαρμογή «RERUM traffic car» για κινητά τηλέφωνα, με λειτουργικό Android. Όλοι οι πολίτες, που μετακινούνται με τα οχήματά τους, βοηθούν στη μέτρηση της κίνησης με τη χρήση του κινητού τηλεφώνου τους. Επίσης, οι χρήστες της εφαρμογής μπορούν να ενημερωθούν, σε πραγματικό χρόνο, για τον κυκλοφοριακό φόρτο στην πόλη και να αποφασίσουν ποια διαδρομή θα ακολουθήσουν. Τα προσωπικά δεδομένα των πολιτών δε χρησιμοποιούνται από την εφαρμογή.

Επιπλέον, για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών σε εσωτερικούς χώρους δημοτικών κτηρίων εγκαταστάθηκαν 25 αισθητήρες μέτρησης ενέργειας. Για τη μέτρηση αέριων ρύπων σε εξωτερικά σημεία του αστικού περιβάλλοντος χρησιμοποιήθηκαν 20 αισθητήρες. Στόχος ήταν η ανίχνευση ενεργοβόρων συσκευών, καθώς και ο σχεδιασμός περιβαλλοντικών παρεμβάσεων, που σε συνδυασμό με συστήματα αυτοματισμού και ΑΠΕ, μπορούν να συντελέσουν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Οι δράσεις αυτές είναι ενταγμένες στην πολιτική του Δήμου Ηρακλείου για αξιοποίηση του IoT, που στοχεύει στη διασύνδεση ενός τεράστιου αριθμού «έξυπνων συσκευών», ώστε η επικοινωνία και η ανταλλαγή δεδομένων και πληροφοριών, μέσω του Διαδικτύου, να γίνεται με ασφάλεια και αξιοπιστία. Στη συνέχεια, θα γίνεται ανάλυση των δεδομένων και διάθεσή τους με «ανοικτό» τρόπο σε οποιονδήποτε θα ήθελε να τα χρησιμοποιήσει για να δημιουργήσει έξυπνες εφαρμογές.

## **Πάτρα**

Η COSMOTE υλοποίησε σε επιλεγμένα σημεία στο κέντρο της Πάτρας, σε συνεργασία με το Δήμο Πατρέων την πρώτη εφαρμογή της τεχνολογίας Narrow-Band Internet of Things (NB-IoT) στην Ελλάδα. Το πιλοτικό έργο, μέσα από την εφαρμογή για υπηρεσίες Έξυπνης Στάθμευσης και Έξυπνου Φωτισμού, αναδεικνύει τις απεριόριστες δυνατότητες του Internet of Things, αλλά και τα επιπλέον οφέλη που προσφέρει η καινοτόμος τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας Narrow-Band.

Στο πλαίσιο της πιλοτικής εφαρμογής του NB-IoT, τοποθετήθηκαν ειδικοί αισθητήρες Έξυπνου Φωτισμού στην οδό Όθωνος-Αμαλίας και αισθητήρες Έξυπνης Στάθμευσης

σε υφιστάμενες θέσεις του Δήμου στην οδό Πατρέως. Οι οδηγοί θα ενημερώνονται άμεσα, μέσω ειδικού mobile application, για τις υπάρχουσες ελεύθερες θέσεις στάθμευσης και πώς θα φτάσουν εκεί. Τα συστήματα Έξυπνου Φωτισμού θα προσαρμόζουν τα επίπεδα έντασης του φωτισμού ανάλογα με την εποχή και την ώρα της ημέρας, εξοικονομώντας ενέργεια.

Η υλοποίηση του έργου πραγματοποιήθηκε με τη συμβολή του Δήμου Πατρέων, που προσδιόρισε τα σημεία εφαρμογής, εξέδωσε τις σχετικές άδειες και παρείχε τεχνική βοήθεια κατά την εγκατάσταση. Επίσης, αξιοποιήθηκαν τεχνολογίες της Huawei, ενώ η OTS παρείχε την εφαρμογή για την Έξυπνη Στάθμευση, η Flashnet διέθεσε τους ελεγκτές Έξυπνου Φωτισμού και η ΚΑΥΚΑΣ φωτιστικά LED. Η COSMOTE κάλυψε το κόστος υλοποίησης, την τεχνική υποστήριξη και τη συντήρηση.

### **Smart University Campus στην Ξάνθη**

Η πρώτη «έξυπνη πανεπιστημιούπολη» υλοποιείται από την Cosmote σε συνεργασία με το Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (Δ.Π.Θ.), το Μάρτιο του 2018 στην Ξάνθη, με χρήση της τεχνολογίας NB-IoT. Το πιλοτικό έργο αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η καινοτόμος τεχνολογία και την υλοποιεί με τέσσερις εφαρμογές, που αναπτύσσονται στο χώρο της πανεπιστημιούπολης:

- Παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα
- Έλεγχος των δεξαμενών καυσίμου
- Μέτρηση της ποιότητας του νερού
- Έξυπνος φωτισμός

Η νέα πιλοτική εφαρμογή NB-IoT, “Smart University Campus”, με τη βοήθεια ειδικού αισθητήρα μέτρησης της ποιότητας ατμόσφαιρας “Air Quality Monitoring”, που τοποθετήθηκε στην πανεπιστημιούπολη του Δ.Π.Θ., μετρά, σε πραγματικό χρόνο, θερμοκρασία, πίεση, υγρασία, καθώς και διάφορα μικροσωματίδια και αέρια. Στόχο έχει τη δυνατότητα καλύτερης σχεδίασης και ανάληψης κατάλληλων δράσεων για την επίτευξη της μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Η εγκατάσταση συσκευής μέτρησης της στάθμης του πετρελαίου θέρμανσης ήταν απαραίτητη για τη λύση “Smart Fuel Tank Management”, που συμβάλλει στην αποτροπή κλοπής καυσίμων, στην αποφυγή υπερκατανάλωσης και την αποτίμηση τιμολογίων. Η εφαρμογή αυτή στηρίζεται στη λύση της ελληνικής εταιρείας Fuelics και υλοποιείται σε συνεργασία με την Ericsson.



Επιπλέον, η εγκατάσταση της λύσης “Water Quality Measurement”, βοηθά στη διασφάλιση της ποιότητας του πόσιμου νερού των φοιτητών της Πανεπιστημιούπολης. Η υλοποίηση του έργου ήταν μια συνεργασία με την ελληνική εταιρεία Wings.

Τέλος, η εγκατάσταση της λύσης “Smart Lighting” αξιοποιεί την τεχνολογία NB-IoT και προσαρμόζει το φωτισμό σε διαφορετικά επίπεδα έντασης ανάλογα με την εποχή και την ώρα της ημέρας, πετυχαίνοντας σημαντική μείωση στην κατανάλωση ενέργειας.

Το πιλοτικό έργο, στο σύνολό του, υλοποιήθηκε με τη συμβολή της θερμοκοιτίδας hub:raum, τον κόμβο καινοτομίας της Deutsche Telekom, ενώ σε όλες τις λύσεις για τη μεταφορά δεδομένων και την επικοινωνία μεταξύ συσκευών αξιοποιείται το δίκτυο NB-IoT COSMOTE.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας σε ένα πρώτο επίπεδο ήταν να μελετήσουμε τους αισθητήρες και τα δίκτυα αισθητήρων από την εφεύρεσή τους μέχρι τις τεχνολογίες αιχμής του σήμερα. Εδώ αναφέρουμε, όπως προκύπτει και από την έρευνά μας, ότι η τεχνολογία κατασκευής και εξέλιξης των αισθητήρων έχει αναπτυχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό τόσο στους ενσύρματους όσο κυρίως στους ασύρματους και κατ'επέκταση και τα ασύρματων δικτύων αισθητήρων.

Το γεγονός αυτό οφείλεται στην διάδοση του διαδικτύου σε περισσότερους χρήστες, στις ανεκτίμητες πληροφορίες που μπορεί να μας μεταδώσει ένας αισθητήρας, την εύκολη τοποθέτηση-εγκατάσταση, την αυτονομία του, το μικρό μέγεθος καθώς και το χαμηλό πλέον κόστος αγοράς του.

Σε ένα δεύτερο επίπεδο μελετήσαμε τα έξυπνα σπίτια και τις έξυπνες πόλεις για να εντοπίσουμε σε αυτές τις δύο σύγχρονες ανθρώπινες ανάγκες για καλύτερη ποιότητα ζωής τον ρόλο που διαδραματίζουν οι αισθητήρες.

Φτάσαμε στο συμπέρασμα πως οι αισθητήρες και τα δίκτυα βρίσκονται πίσω από οποιαδήποτε εφαρμογή και σενάριο, αποτελούν δηλαδή τον δομικό λίθο και του smart home και των smart cities. Αυτό είναι πολύ φυσιολογικό καθώς συλλέγουν, επεξεργάζονται και μεταδίδουν πληροφορίες ταχύτατα.

Επίσης τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν την κύρια υποστηρικτική τεχνολογία για το διαδίκτυο των αντικειμένων (IoT) στο οποίο στηρίζεται κυρίως η έξυπνη πόλη. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν μία ειδική κατηγορία κατανεμημένων και αυτό-οργανωμένων δικτύων τα οποία υπόσχονται να γεφυρώσουν το χάσμα ανάμεσα στον φυσικό και τον ψηφιακό κόσμο.

Όπως όλες οι καινοτόμες τεχνολογίες, έτσι και τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μαζί με τις νέες ευκαιρίες τις οποίες φέρνουν, μπορούν να δημιουργήσουν και κάποιες "άχαρες καταστάσεις" στην κοινωνία και την ιδιωτική μας ζωή.

Τέλος, είναι στο χέρι μας ως ανθρωπότητα να χρησιμοποιήσουμε την κάθε τεχνολογία που ανακαλύπτουμε προς μια εύκολη και ποιοτική ζωή.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. CISCO, “The Internet of Things. How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything,” Available at:  
<http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/>
2. Gardner, J.W., Μικροαισθητήρες – Αρχές και Εφαρμογές. Τζιόλα, 2000.
3. Kyriazis, D.; Varvarigou, T.; Rossi, A.; White, D.; Cooper, J. (4–7 June 2013). "Sustainable smart city IoT applications: Heat and electricity management & Eco-conscious cruise control for public transportation". IEEE International Symposium and Workshops on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks
4. McKinsey Global Institute, Smart Cities: Digital Solutions for a more livable future, 2018.
5. Tanenbaum, A., Δίκτυα υπολογιστών, Κλειδάριθμος, 2003.
6. Αλεξόπουλος, Α., Λαγογιάννης, Γ., Τηλεπικοινωνίες και δίκτυα υπολογιστών, Γιαλός, 2012.
7. Αρσένης, Σ., Σχεδιασμός και υλοποίηση δικτύων – Από μικρά δίκτυα γραφείου μέχρι μεγάλα δίκτυα επιχειρήσεων, Κλειδάριθμος, 2009.
8. Βενιέρης, Ι., Δίκτυα ευρείας ζώνης, Τζιόλας, 2012.
9. Γκενέ, Δ., Μελέτη δικτύων και εφαρμογών για έξυπνες πόλεις (Smart Cities), Διπλωματική εργασία, ΤΕΙ Πελοποννήσου, 2018.
10. Καλαϊτζάκης, Κ., Κουτρούλης, Ε., Ηλεκτρικές μετρήσεις και αισθητήρες: Αρχές λειτουργίας και σχεδιασμός των Ηλεκτρονικών Συστημάτων Μέτρησης, Κλειδάριθμος, 2010.
11. Καλοβρέκτης, Κ., Κατέβας, Ν., Αισθητήρες μέτρησης και ελέγχου, Τζιόλα, 2012.
12. Καραγιαννίδης, Γ., Τηλεπικοινωνιακά συστήματα, Τζιόλα, 2009.
13. Λουτρίδης, Σ., Τεχνολογία μετρήσεων και αισθητήρων, Ίων, 2008.
14. Μαργαρίτη, Σ., Στεργίου, Ε., Τοπικά και αστικά δίκτυα (LAN-MAN), Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 2006.
15. Χουλιάρopoulos, Α., «Ανάπτυξη Δικτύου Αισθητήρων και Πληροφοριακού Συστήματος για τη διαχείριση του «Το έξυπνο Σπίτι»», Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών & Πληροφορικής, 2011.