

000000



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Σχεδίαση και μοντελοποίηση συστήματος συναγερμού και πυρανίχνευσης»



Τών φοιτητών: Πράτανος Γρηγόριος-Πιπεράς Γρηγόριος
Αρ. Μητρώου: 513151-515121

Επιβλέπων
Ονοματεπώνυμο: Κιοσκερίδης Ιορδάνης

Βαθμίδα: καθηγητής

Ημερομηνία: Σεπτέμβριος 2025

Τίτλος Π.Ε. Σχεδίαση και μοντελοποίηση συστήματος συναγερμού και πυρανίχνευσης»

Κωδικός Π.Ε. 22285

Όνοματεπώνυμο φοιτητήτων: Πράτανος Γρηγόριος, Πιπεράς Γρηγόριος

Όνοματεπώνυμο εισηγητή: Κιοσκερίδης Ιορδάνης

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε 08-10-2024

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. 15-09-2025

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία των φοιτητών Πράτανος γρηγόριος και Πιπεράς Γρηγόριος που την εκπόνησαν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	8
1.1 Γενικά Χαρακτηριστικά των Πυρκαγιών.....	8
1.2 Όροι για την Έναρξη και τη Διάδοση μιας Πυρκαγιάς.....	8
1.3 Πώς Γεννιέται η Πυρκαγιά: Μηχανισμοί και Θερμοκρασίες	9
1.4 Εισαγωγή στα Συστήματα Πυρανίχνευσης και Συναγερμού.....	9
1.5 Σχέση Πυρανίχνευσης - Πυρόσβεσης - Πυρασφάλειας.....	10
1.6 Βασικές Έννοιες: Καύση και Πυρκαγιά.....	10
1.7 Ιστορική Αναδρομή της Τεχνολογίας Συναγερμού και Πυρανίχνευσης	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΥΡΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ	12
2.1 Κεντρική Μονάδα Ελέγχου (Κ.Μ.Ε.).....	12
2.2 Ανιχνευτές και Αισθητήρες.....	13
2.3 Συσκευές Σήμανσης και Επικοινωνίας	15
2.4 Καλωδίωση και Συνδεσμολογία	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΑΓΕΡΜΩΝ.....	20
3.1 Αρχές Πυρόσβεσης	20
3.2 Επιστημονική Θεώρηση της Ανάπτυξης της Φωτιάς	20
3.3 Συστήματα Συναγερμού	21
3.4 Παθητικοί Υπέρυθροι Ανιχνευτές (PIR)	24
3.5 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα (PIR):	26
3.6 Μικροκυματικοί Ανιχνευτές Κίνησης (Radar).....	27
3.7 Ανιχνευτές Διπλής Τεχνολογίας (PIR & Μικροκύματα).....	28
3.8 Εξωτερικοί Ανιχνευτές Κίνησης.....	30
3.9 Υπέρυθρες Δέσμες (Ενεργοί Περιμετρικοί Αισθητήρες)	31
3.10 Άλλοι Αισθητήρες Συναγερμού (Θραύσης & Κραδασμών).....	33
3.11 Συνδεσμολογία και Προδιαγραφές Εγκατάστασης.....	34
3.12 Νομοθεσία, Πρότυπα και Πιστοποιήσεις.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Σχεδίαση και Μεθοδολογίες Συστήματος	37
4.1 Σχεδιασμός Συστήματος Συναγερμού και Πυρανίχνευσης.....	37
4.2 Διαδικασία Σχεδιασμού	37
4.3 Επιλογή Τύπου Συστήματος	39

4.4 Ενσωμάτωση σε Τυπικές Οικίες ή Κτίρια	40
4.5 Μοντελοποίηση του Συστήματος	41
4.6 Εργαλεία Λογισμικού και Υπολογιστικές Προσεγγίσεις.....	42
4.7 Αξιολόγηση Κινδύνου και Πρωτόκολλα Πυρασφάλειας.....	43
4.8 Συστήματα Αντίδρασης σε Περίπτωση Συναγερμού	44
4.9 Μοντελοποίηση Εκκένωσης.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Αισθητήρες σεLPWAN και IOT	48
5.1 Ευφυείς εφαρμογές και υπηρεσίες.....	49
5.2 Απαιτήσεις εφαρμογής.....	50
5.3 Ασύρματη πρόσβαση.....	51
5.4 Χαρακτηριστικά LPWAN	53
5.5 Κάλυψη.....	54
5.6 Η αναγνώριση τοποθεσίας.....	54
5.7 Ασφάλεια και προστασία προσωπικών δεδομένων	55
5.8 Χωρητικότητα.....	55
5.9 Κόστος.....	55
5.10 Λειτουργίες χαμηλής ισχύος	56
5.11 Πρόσθετες ειδικές απαιτήσεις.....	56
5.12 Συνοπτικοί στόχοι και προσδοκίες LPWAN.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Σύστημα εντοπισμού φλόγας/πυρκαγιάς	58
6.1 Οπτικοί ανιχνευτές φλόγας.....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Συστήματα Συναγερμού και Πυρανίχνευσης.....	63
7.1 Εισαγωγή	63
7.2 Ιστορικό & Κίνητρο	63
7.3 Δήλωση Προβλήματος	63
7.4 Σκοπός και Στόχοι	64
7.5 Θεωρητικό Υπόβαθρο, Περιγραφή Υλικών & Αρχές Λειτουργίας.....	64
7.6 Αρχιτεκτονική Συστήματος & Λογική Λειτουργίας	67
7.7 Κατάσταση & State-Machine.....	67
7.8 Φιλτράρισμα Σημάτων & Συνδιαμός αισθητηρίων	68
7.9 Σχεδιαστικές Επιλογές — Ενεργειακή Διαχείριση & Αξιοπιστία	68
7.10 Αξιοπιστία, Ψευδείς Συναγερμοί & Μέτρα Μείωσης.....	68

7.11 Κανονισμοί, Ασφάλεια & Ηθικά Ζητήματα	68
7.12 Συνοπτικό Σχήμα Δοκιμών που έγιναν	69
7.13 Συμπέρασμα	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Μεθοδολογία	70
8.1 Εισαγωγή.....	70
8.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	70
8.3 Επιλογή Υλικών	70
8.4 Σχεδίαση Συστήματος	71
8.5 Κυκλωματική Διασύνδεση	71
8.6 Λογισμικό Συστήματος	72
8.7 Διαδικασία Δοκιμών	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Αποτελέσματα και Ανάλυση Δοκιμών Συστήματος Συναγερμού και Πυρανίχνευσης	74
9.1 Εισαγωγή.....	74
9.2 Προδιαγραφές Συστήματος.....	74
9.3 Δοκιμές Αισθητήρων	75
9.4 Δοκιμές Ολοκληρωμένου Συστήματος	76
9.5 Συμπεράσματα	76
9.6 Μελλοντικές Εξελίξεις.....	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: Κατασκευή	78
10.1 Υλικά και Εξοπλισμός για την Υλοποίηση.....	78
10.2 PIR HC-SR501	78
10.3 Λειτουργία Συστήματος	79
10.4 Πλεονεκτήματα του Συστήματος με PIR HC-SR501	79
10.5 ArduinoUNOR3 ATmega328P	80
10.6 PCF8574 I ² C Expander.....	81
10.7 Προγραμματισμός του Συστήματος	82
10.8 Κυκλωματικό Διάγραμμα	82
10.9 Διάγραμμα Ροής Κώδικα.....	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: Επίλογος - Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις.....	85
11.1 Σύνοψη της Εργασίας	85
11.2 Κύρια Συμπεράσματα.....	85

11.3 Προκλήσεις και Περιορισμοί.....	86
11.4 Μελλοντικές Επεκτάσεις και Βελτιώσεις.....	86
11.5 Τελικά Συμπεράσματα	87
Βιβλιογραφία	88

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

1.1 Γενικά Χαρακτηριστικά των Πυρκαγιών

Για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών, συνήθως ακολουθείται διπλή στρατηγική: προληπτικά μέτρα και κατασταλτικές ενέργειες[2]. Τα προληπτικά αφορούν τις προβλέψεις που επιβάλλονται από τη νομοθεσία και περιλαμβάνουν συστήματα πυρανίχνευσης, φωτεινή και ηχητική ειδοποίηση, διαχωρισμό χώρων ώστε να αποτρέπεται η εξάπλωση της φωτιάς κ.λπ. Στόχος είναι να αποφύγουμε ή να εμποδίσουμε την εκδήλωση της πυρκαγιάς, προσαρμόζοντας κάθε χώρο στις ανάλογες απαιτήσεις ασφαλείας.

Από την άλλη πλευρά, οι κατασταλτικές πρακτικές εμπλέκουν όλα τα μέτρα που εφαρμόζονται αφού ξεσπάσει η πυρκαγιά, με σκοπό τον περιορισμό και την κατάσβεσή της, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις επιπτώσεις σε ανθρώπους, υλικά αγαθά και φυσικό περιβάλλον[5]. Παραδείγματα τέτοιων ενεργειών είναι η αξιοποίηση φορητών ή μόνιμων συστημάτων πυρόσβεσης, η οργάνωση ομάδων επέμβασης (π.χ. σε βιομηχανίες, ξενοδοχεία, νοσοκομεία) και η τακτική εκπαίδευση του προσωπικού σε σχέδια εκτάκτου ανάγκης.

1.2 Όροι για την Έναρξη και τη Διάδοση μιας Πυρκαγιάς

Μια πυρκαγιά γεννιέται και εξαπλώνεται μόνο αν συνυπάρχουν τρεις καίριοι παράγοντες[12]:

1. **Οξυγόνο (ατμοσφαιρικός αέρας):** Στην ατμόσφαιρα το οξυγόνο βρίσκεται σε ποσοστό περίπου 21%. Είναι γνωστό πως η μείωση της περιεκτικότητάς του σε επίπεδα κάτω του 15% δεν ευνοεί τη διατήρηση της καύσης, με αποτέλεσμα η φωτιά να σβήνει.
2. **Καύσιμο υλικό:** Διακρίνεται σε στερεά (όπως ξύλο, χαρτί, κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα), υγρά (π.χ. βενζίνη, οινόπνευμα, λάδια) και αέρια (υδρογόνο, ασετυλίνη, υγραέριο κ.λπ.). Πρέπει να σημειωθεί ότι στερεά και υγρά καύσιμα δεν καίγονται στην πραγματικότητα απευθείας στην επιφάνειά τους, αλλά αρχικά εξαερώνονται υπό υψηλή θερμοκρασία, οπότε καίγεται το παραγόμενο αέριο.
3. **Θερμότητα:** Είναι το ενεργειακό στοιχείο που αυξάνει τη θερμοκρασία του καυσίμου, ενεργοποιώντας τη διαδικασία οξειδωσης. Η θερμότητα σχετίζεται με τη μετάδοση ενέργειας μεταξύ σωμάτων λόγω διαφοράς στη θερμοκρασία τους.

Η ταυτόχρονη ύπαρξη αέρα, καυσίμου και μιας πηγής θερμότητας δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες για την έναρξη της πυρκαγιάς. Αυτή η τριάδα συχνά περιγράφεται ως “τρίγωνο της καύσης” [41]. Στην πράξη, ωστόσο, υπάρχει και ένας επιπλέον παράγοντας (ελεύθερες ρίζες στην αέρια φάση), που

διαμορφώνει το “τετράεδρο της πυρκαγιάς” και εξηγεί πώς η φλόγα μπορεί να διατηρηθεί και να επεκταθεί.

1.3 Πώς Γεννιέται η Πυρκαγιά: Μηχανισμοί και Θερμοκρασίες

- **Θερμοκρασία ανάφλεξης:** Κάθε υλικό διαθέτει μια χαρακτηριστική “θερμοκρασία ανάφλεξης”, δηλαδή το ελάχιστο όριο θερμοκρασίας που χρειάζεται για να ξεκινήσει η καύση του σε ατμοσφαιρικό αέρα [3]. Πριν ένα σώμα εκδηλώσει φλόγα, οφείλει να θερμανθεί επαρκώς ώστε να φτάσει σε αυτήν την τιμή.
- **Θερμοκρασία καύσης:** Η απλή επίτευξη της θερμοκρασίας ανάφλεξης δεν αρκεί πάντα για να αρχίσει μια πυρκαγιά· συχνά χρειάζεται περαιτέρω ενέργεια από εξωτερική πηγή, σε συνδυασμό με τις κατάλληλες συνθήκες, ώστε να προχωρήσει η καύση. Όταν το υλικό ζεσταθεί κι άλλο, ξεπερνώντας και μια δεύτερη κρίσιμη τιμή θερμοκρασίας, τότε η πυρκαγιά μπορεί να αυτοσυντηρηθεί, καθώς συνεχίζεται η απελευθέρωση θερμότητας και αερίων που τροφοδοτούν την καύση.

Σύμφωνα με έρευνες, το καθιερωμένο “τρίγωνο της φωτιάς” (καύσιμο, οξυγόνο, θερμότητα) συμπληρώνεται από μια τέταρτη συνιστώσα: τις αλυσιδωτές αντιδράσεις (ελεύθερες ρίζες), που επιδρούν κυρίως στην αέρια φάση της καύσης [49]. Έτσι προκύπτει η έννοια του “τετραέδρου της πυρκαγιάς”, η οποία εξηγεί λεπτομερέστερα τον μηχανισμό της φλόγας και τον τρόπο που οι αντιδράσεις μπορούν να συνεχίσουν αλυσιδωτά.

1.4 Εισαγωγή στα Συστήματα Πυρανίχνευσης και Συναγερμού

Τα συστήματα πυρανίχνευσης και συναγερμού αναπτύσσονται με κεντρικό στόχο την έγκαιρη ανίχνευση και ειδοποίηση σε περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς. Η ζήτησή τους έχει αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες, χάρη και στην όλο και πιο αυστηρή νομοθεσία που απαιτεί μηχανισμούς πρόληψης για την προστασία κτιρίων, βιομηχανικών εγκαταστάσεων και άλλων υποδομών [1].

Σε γενικές γραμμές, ένα σύστημα πυρανίχνευσης απαρτίζεται από:

- Μια **Κεντρική Μονάδα Ελέγχου (Κ.Μ.Ε.)** που επεξεργάζεται τα σήματα.
- Ένα **δίκτυο ανιχνευτών**, τοποθετημένο σε διάφορα σημεία ενός χώρου, οι οποίοι ανιχνεύουν αλλαγές στο περιβάλλον (καπνό, θερμότητα, φλόγες ή αέρια).
- Συσκευές **ειδοποίησης** (σειρήνες, φάροι, μπουτόν, τηλεφωνικοί ειδοποιητές) που ενημερώνουν άμεσα τους χρήστες ή/και τις πυροσβεστικές αρχές.

Τα συστήματα συναγερμού και πυρανίχνευσης διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα **συμβατικά** (ζωνικά) και τα **διευθυνσιοδοτούμενα** (addressable) [53]. Στα συμβατικά συστήματα, οι ανιχνευτές ομαδοποιούνται σε ζώνες· μια ζώνη μπορεί να περιλαμβάνει ολόκληρο όροφο ή πτέρυγα ενός κτιρίου. Στα διευθυνσιοδοτούμενα συστήματα, κάθε ανιχνευτής έχει ξεχωριστή διεύθυνση (address), δίνοντας στον κεντρικό πίνακα τη δυνατότητα ακριβούς εντοπισμού της περιοχής κινδύνου.

1.5 Σχέση Πυρανίχνευσης - Πυρόσβεσης - Πυρασφάλειας

Η έννοια της πυρανίχνευσης εντάσσεται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο που περιλαμβάνει την **πυρασφάλεια** και την **πυρόσβεση**. Πιο συγκεκριμένα:

- **Πυρασφάλεια:** Συνδυασμός προληπτικών και κατασταλτικών μέτρων για την προστασία ανθρώπων και αγαθών από πιθανή πυρκαγιά [18]. Εντάσσονται εδώ όλες οι νομοθετικές ρυθμίσεις, τα σχέδια εκκένωσης κτιρίων, η εκπαίδευση του προσωπικού σε θέματα αντιμετώπισης έκτακτων περιστατικών κ.λπ.
- **Πυρανίχνευση:** Το στάδιο της έγκαιρης ανίχνευσης. Βασίζεται σε αυτοματοποιημένες ή/και χειροκίνητες μεθόδους ειδοποίησης για ενδείξεις πυρκαγιάς (καπνός, αύξηση θερμοκρασίας κ.ά.) [13].
Πυρόσβεση: Η κατασταλτική επέμβαση μετά τον εντοπισμό της φωτιάς. Περιλαμβάνει συστήματα αυτόματης κατάσβεσης (sprinklers, αέρια κατασβεστικά) και φορητά μέσα (πυροσβεστήρες, πυροσβεστικές φωλιές). Με άλλα λόγια, πυρόσβεση είναι ο μηχανισμός που μειώνει ή εξαλείφει τη φωτιά μετά την ενεργοποίηση του συναγερμού.

Ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα πυρασφάλειας συνεκτιμά όλα τα παραπάνω στάδια [34]. Η εγκατάσταση ενός αποτελεσματικού συστήματος πυρανίχνευσης είναι ωστόσο το πρώτο βήμα: δίνει χρόνο στους ανθρώπους να εκκενώσουν έναν χώρο, να κινητοποιηθούν οι πυροσβεστικές δυνάμεις και να περιοριστεί τυχόν καταστροφή.

1.6 Βασικές Έννοιες: Καύση και Πυρκαγιά

Στον χώρο της πυρανίχνευσης, η κατανόηση της φύσης της καύσης αποτελεί σημαντικό υπόβαθρο για τον σωστό σχεδιασμό συστημάτων. Αξίζει να δοθούν κάποιοι βασικοί όροι:

- **Καύση:** Η χημική αντίδραση (συνήθως ταχείας οξειδωσης) μεταξύ ενός καυσίμου και του οξυγόνου, που εκλύει θερμότητα και φως [12].
Τετράεδρο της Φωτιάς: Τα τέσσερα δομικά στοιχεία που απαιτούνται για να διατηρηθεί μια φωτιά: *καύσιμο, οξυγόνο, θερμότητα και αλυσιδωτές αντιδράσεις καύσης*. Σε προγενέστερους ορισμούς το «Τρίγωνο της Φωτιάς» περιελάμβανε μόνο καύσιμο, οξυγόνο και

θερμότητα, όμως προστέθηκαν οι αλυσιδωτές αντιδράσεις διότι εξηγούν τη ραγδαία εξάπλωση της πυρκαγιάς σε συγκεκριμένες συνθήκες[11].

- **Φωτιά vs Πυρκαγιά:** Συχνά οι όροι αυτοί χρησιμοποιούνται ως συνώνυμοι. Εντούτοις, σε επίπεδο πυρασφάλειας, η λέξη «φωτιά» μπορεί να θεωρηθεί και σαν ελεγχόμενη καύση (π.χ. σε μια σόμπα), ενώ η «πυρκαγιά» αναφέρεται στην ανεξέλεγκτη καύση. Ένας σπινθήρας σε ένα καλώδιο μπορεί να εξελιχθεί σε πυρκαγιά υπό κατάλληλες συνθήκες (ύπαρξη καύσιμης ύλης και οξυγόνου), αν δεν αντιμετωπιστεί έγκαιρα.

1.7 Ιστορική Αναδρομή της Τεχνολογίας Συναγερμού και Πυρανίχνευσης

Η εξέλιξη της πυρανίχνευσης ξεκίνησε από απλές χειροκίνητες μεθόδους (π.χ. γκονγκ ή σφυρίχτρες) και, στη συνέχεια, από την ηλεκτρική τεχνολογία του 19ου αιώνα, όπου χρησιμοποιούνταν θερμικοί διακόπτες που λιώνουν σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και κλείνουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα ειδοποίησης [21]. Σταδιακά, καθώς η βιομηχανία ηλεκτρονικών εξελίχθηκε:

- **1950-1960:** Αναπτύχθηκαν ηλεκτρικά συστήματα συναγερμού, όπου αισθητήρες θερμοκρασίας (θερμικοί ανιχνευτές) και απλοί ανιχνευτές ιονισμού άρχισαν να εγκαθίστανται σε σημαντικά κτίρια. Ωστόσο, η αξιοπιστία συχνά ήταν αμφισβητήσιμη και οι ψευδείς συναγερμοί δεν ήταν σπάνιοι.
- **1970-1980:** Απογειώθηκε η τεχνολογία των ημιαγωγών και εμφανίστηκαν πιο εξελιγμένοι ανιχνευτές καπνού, κυρίως ιονισμού. Δόθηκε επίσης μεγαλύτερη έμφαση στην τυποποίηση πρότυπων (BS, EN, UL), επιταχύνοντας την παγκοσμιοποίηση των απαιτήσεων ασφάλειας.
- **1990-2000:** Εμφανίστηκαν τα πρώτα διευθυνσιοδοτούμενα συστήματα (Addressable Systems), παρέχοντας τη δυνατότητα ακριβούς εντοπισμού κάθε αισθητήρα. Η τεχνολογία των οπτικών ανιχνευτών καπνού (φωτοηλεκτρικοί) βελτίωσε τον χρόνο απόκρισης [33]. **2000 – σήμερα:** Δικτύωση και έξυπνες λειτουργίες διαχείρισης κτιρίων (BMS – Building Management Systems). Πλέον συναντούμε ασύρματες διατάξεις, αισθητήρες με αλγόριθμους ανάλυσης μεταβλητών περιβάλλοντος (multisensor), ακόμα και συστήματα IoT που ειδοποιούν τον χρήστη μέσω κινητού τηλεφώνου ή cloud service [46].

Η διαρκής βελτίωση των συστημάτων ανίχνευσης και συναγερμού οδήγησε σε πιο αξιόπιστα δίκτυα έγκαιρης προειδοποίησης. Πολλά κτίρια διαθέτουν πλέον αυτόματες ειδοποιήσεις στις πυροσβεστικές αρχές, ενώ η σύγχρονη νομοθεσία θέτει όλο και αυστηρότερες προδιαγραφές σε κτιριακά έργα [15].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΥΡΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ

Για να κατανοήσει κανείς βαθύτερα ένα σύστημα πυρανίχνευσης, είναι χρήσιμο να αναλυθούν τα βασικά δομικά στοιχεία που το αποτελούν. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα δούμε αναλυτικά την Κεντρική Μονάδα Ελέγχου (Κ.Μ.Ε.), τις κατηγορίες ανιχνευτών και αισθητήρων, καθώς και τις συσκευές σήμανσης (οπτική και ηχητική), οι οποίες διασφαλίζουν ότι θα δοθεί έγκαιρη και σαφής ειδοποίηση σε περίπτωση φωτιάς.

2.1 Κεντρική Μονάδα Ελέγχου (Κ.Μ.Ε.)

Η Κεντρική Μονάδα Ελέγχου, γνωστή και ως πίνακας πυρανίχνευσης, παίζει τον ρόλο «εγκεφάλου» του συστήματος [9]. Τα βασικά της στοιχεία είναι:

1. Τροφοδοσία και Εφεδρικές Πηγές Ενέργειας

- Ο πίνακας συνδέεται με το δίκτυο 220/230 V (ή την εκάστοτε τάση δικτύου), παρέχοντας συνεχή τάση σε όλους τους ανιχνευτές και τις συσκευές ειδοποίησης.
- Εσωτερικές επαναφορτιζόμενες μπαταρίες (συνήθως μολύβδου ή τεχνολογίας AGM) φροντίζουν για αυτόνομη λειτουργία 24+ ωρών σε κατάσταση ηρεμίας και επιπλέον 30 λεπτών τουλάχιστον σε κατάσταση συναγερμού.
- Υπάρχει ειδικός φορτιστής για να διατηρεί τις μπαταρίες μόνιμως σε καλή κατάσταση.

2. Κύκλωμα Ελέγχου Ζωνών ή Διευθύνσεων

- Σε **συμβατικούς πίνακες**, η προστατευόμενη έκταση χωρίζεται σε ζώνες· κάθε ζώνη συνδέεται μέσω καλωδίων με τους ανιχνευτές που βρίσκονται στην περιοχή της. Σε συναγερμό, ο πίνακας υποδεικνύει ποια ζώνη «χτύπησε».
- Σε **διευθυνσιοδοτούμενους πίνακες**, αντί για ζώνες, χρησιμοποιούνται βρόχοι (loops). Κάθε ανιχνευτής διαθέτει μια μοναδική διεύθυνση στον βρόχο, επιτρέποντας τον εντοπισμό του ακριβούς σημείου φωτιάς. Συνήθως, υπάρχουν απομονωτές βραχυκυκλώματος που προστατεύουν τον βρόχο από σφάλματα καλωδίωσης [47].

3. Συσκευές Σήμανσης Σφάλματος και Συναγερμού

- Το πάνελ (interface) φέρει ενδεικτικές λυχνίες (LEDs) για “Power”, “Fault”, “Fire Alarm” κ.λπ. ή πιο σύγχρονη οθόνη LCD. Εμφανίζει

πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία του συστήματος και τη ζώνη ή τη διεύθυνση που ανίχνευσε κάποιο πρόβλημα.

- Η δυνατότητα χειροκίνητης ενεργοποίησης ή επαναφοράς (Reset) του συστήματος πραγματοποιείται μέσω κλειδιού, κουμπιών ή κωδικού.

4. Έξοδοι για Ειδοποίηση

- Ο πίνακας συνήθως διαθέτει μία ή περισσότερες εξόδους για τις σειρήνες συναγερμού (Sounder Circuits). Αυτές ενεργοποιούνται όταν ένας ή περισσότεροι ανιχνευτές δώσουν σήμα φωτιάς.
- Μπορεί να υπάρχει σύνδεση με τηλεφωνικές γραμμές, GSM modules ή IP επικοινωνία, ώστε να ειδοποιείται αυτόματα η πυροσβεστική υπηρεσία ή κάποιο κέντρο παρακολούθησης [14].

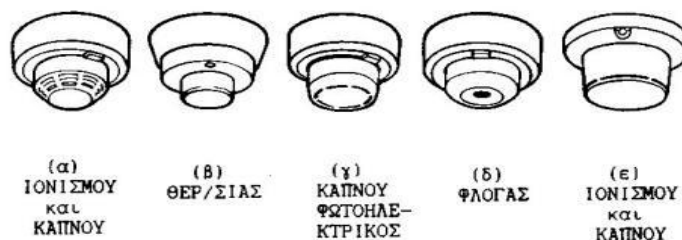
5. Δυνατότητα Επέκτασης ή Δικτύωσης

- Πολλά σύγχρονα συστήματα πυρανίχνευσης μπορούν να διασυνδεθούν σε ένα δίκτυο, επιτρέποντας, σε μεγάλα κτιριακά συγκροτήματα, την ύπαρξη πολλαπλών πινάκων που λειτουργούν συνεργατικά [29].
- Επίσης, προσφέρουν λειτουργίες αμφίδρομης επικοινωνίας με ένα κεντρικό σύστημα BMS (Building Management System), το οποίο αναλαμβάνει πιο ολοκληρωμένες λύσεις διαχείρισης κτιρίου.

Η Κ.Μ.Ε. πρέπει να τοποθετείται σε σημείο εύκολα προσβάσιμο από εκπαιδευμένο προσωπικό, συνήθως κοντά σε κύρια είσοδο ή σε ένα κεντρικό control room. Επιβάλλεται χώρος χωρίς κίνδυνο πλημμύρας, με κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας, ώστε να διασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία του συστήματος.

2.2 Ανιχνευτές και Αισθητήρες

Τα συστήματα πυρανίχνευσης βασίζονται σχεδόν αποκλειστικά στην αξιόπιστη λειτουργία των αισθητήρων. Καθένας από αυτούς ανιχνεύει διαφορετικά φαινόμενα που συνοδεύουν ή προμηνύουν την εκδήλωση φωτιάς [35].



Εικόνα 2.1: Ανιχνευτές Καπνού

Ανιχνευτές Καπνού

- **Οπτικοί (Φωτοηλεκτρικοί) Ανιχνευτές:** Διαθέτουν έναν θάλαμο με πομπό και δέκτη υπέρυθρης ακτινοβολίας, τοποθετημένους σε γωνία. Υπό φυσιολογικές συνθήκες, ο δέκτης δεν λαμβάνει φως. Όταν σωματίδια καπνού εισέλθουν στον θάλαμο, ανακλούν την ακτινοβολία στον δέκτη, ενεργοποιώντας έτσι το σήμα συναγερμού. Είναι ιδανικοί για φωτιές που δημιουργούν εμφανή καπνό [52].
- **Ιονισμού:** Χρησιμοποιούν μια ραδιενεργή ουσία (συνήθως Αμερικάνιο-241) σε εξαιρετικά μικρή ποσότητα. Ο καπνός διακόπτει τη ροή των ιόντων μέσα στον θάλαμο, δίνοντας σήμα συναγερμού. Λόγω αυστηρών περιορισμών σε αρκετές χώρες (και περιβαλλοντικών ανησυχιών), τείνουν να αντικαθίστανται από τους οπτικούς ανιχνευτές.

Οι ανιχνευτές καπνού συνήθως επιτυγχάνουν πιο γρήγορη απόκριση σε σχέση με αυτούς της θερμότητας, ειδικά σε φωτιές που ξεκινούν με αρκετό καπνό πριν εκδηλωθεί έντονη φλόγα.

Ανιχνευτές Θερμότητας

- **Θερμικοί Σταθερού Ορίου (Fixed Temperature):** Ενεργοποιούνται όταν η θερμοκρασία στο περιβάλλον ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο όριο, π.χ. 60°C ή 90°C. Χρησιμοποιούνται συχνά σε χώρους μαγειρείων, λεβητοστάσια ή άλλους χώρους όπου η παρουσία καπνού είναι συχνή αλλά δεν συνδέεται απαραίτητα με πυρκαγιά [5]. **Θερμοδιαφορικοί (Rate-of-Rise):** Λαμβάνουν υπόψη τον ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας. Αν η θερμοκρασία αυξηθεί απότομα εντός σύντομου χρονικού διαστήματος, ο ανιχνευτής δίνει συναγερμό. Είναι πιο ευαίσθητοι σε απότομες αυξήσεις θερμότητας και μπορούν να ανιχνεύσουν έγκαιρα φωτιές «ταχείας ανάπτυξης» [48].

Ανιχνευτές Φλόγας

Βασίζονται στη λήψη συγκεκριμένων φασματικών ακτινοβολιών που εκπέμπονται από φλόγες. Μπορεί να έχουν ένα ή περισσότερα στοιχεία (αισθητήρες υπεριώδους ή υπέρυθρου φάσματος) και συχνά χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, χώρους δεξαμενών καυσίμων, διυλιστήρια ή σε υπόστεγα αεροσκαφών [43].

Ανιχνευτές Αερίων

Σε ορισμένες εγκαταστάσεις (π.χ. κουζίνες, εργαστήρια, βιομηχανίες χημικών), υπάρχει ανάγκη παρακολούθησης για διαρροή εκρηκτικών ή τοξικών αερίων (π.χ. προπάνιο, βουτάνιο, μεθάνιο, CO). Αυτοί οι ανιχνευτές συνδέονται σε πίνακες πυρανίχνευσης αλλά και σε συστήματα εξαερισμού για αυτόματο κλείσιμο βαλβίδων αερίου σε περίπτωση ανίχνευσης διαρροής [40].

Συνδυαστικοί (Multisensor) Ανιχνευτές

Είναι πιο σύγχρονη τεχνολογία, συνδυάζοντας συνήθως αισθητήρα θερμότητας και οπτικό αισθητήρα καπνού στο ίδιο περίβλημα. Η πολλαπλή πληροφορία αυξάνει την ακρίβεια και μειώνει τους ψευδείς συναγερμούς [1].

2.3 Συσκευές Σήμανσης και Επικοινωνίας

Ανάλογα με τον βαθμό κινδύνου και τις ανάγκες του χρήστη, εγκαθίστανται οι κατάλληλες συσκευές ειδοποίησης:

- **Σειρήνες Πυρανίχνευσης:** Παράγουν ιδιαίτερο ηχητικό μοτίβο (διακοπτόμενο σήμα ή συνδυασμό τόνων) ώστε να μην μπερδεύονται με άλλους συναγερμούς (π.χ. διάρρηξης). Η ένταση (dB) θα πρέπει να είναι αρκετή για να ακούγεται σε όλο τον προστατευόμενο χώρο [53].
- **Κουδούνι Πυρασφάλειας:** Ένα παραδοσιακό κουδούνι κόκκινου χρώματος, που χρησιμεύει και αυτό για ηχητική ειδοποίηση — σε ορισμένες εγκαταστάσεις χρησιμοποιείται παράλληλα με τις σειρήνες.
- **Φάροι Πυρασφάλειας** (οπτικές ενδείξεις): Για χώρους με υψηλό θόρυβο ή όπου υπάρχουν άτομα με προβλήματα ακοής. Συνήθως κόκκινοι αναβοσβήνοντες φάροι (LED ή Xenon).
- **Χειροκίνητος Αναγγελτήρας (Μπουτόν):** Ο χρήστης πατάει το μπουτόν συναγερμού σε περίπτωση που δει καπνό ή φλόγα. Βρίσκεται σε εμφανές σημείο και συνήθως προστατεύεται με ανακλινόμενο διαφανές κάλυμμα για να μην πατηθεί τυχαία.
- **Απομακρυσμένα LEDs ή Φωτεινοί Επαναλήπτες:** Δείχνουν αν ένας ανιχνευτής ενεργοποιήθηκε μέσα σε δωμάτιο (π.χ. ξενοδοχεία, νοσοκομεία). Βοηθούν σημαντικά στην έρευνα του αρμόδιου προσωπικού [25].
- **Αυτόματοι Τηλεφωνικοί Ειδοποιητές / GSM Dialers:** Σε συμβάν φωτιάς, το σύστημα καλεί αυτόματα συγκεκριμένο τηλεφωνικό αριθμό (κέντρο 24ωρης παρακολούθησης ή Πυροσβεστική). Πλέον συχνά χρησιμοποιείται GSM/4G δίκτυο ή και σύνδεση internet (IP modules) [38].



Εικόνα 2.2: GSM Dialers



Εικόνα 2.3: Σειρινα Πυρασφαλειας



Εικόνα 2.4: Κουδουни Πυρασφαλειας



Εικόνα 2.5: οπτικός ειδοποιητής πυρανίχνευσης



Εικόνα 2.6: χειροκίνητος αναγγελτήρας πυρκαγιάς



Εικόνα 2.7: απομακρυσμένο LED ανιχνευτή πυρανίχνευσης

2.4 Καλωδίωση και Συνδεσμολογία

Αν και η επικοινωνία μεταξύ πινάκων και ανιχνευτών μπορεί να γίνει ασύρματα (σε κάποιες εφαρμογές), η κλασική ενσύρματη καλωδίωση παραμένει το πιο διαδεδομένο μοντέλο εγκατάστασης:

- **Καλώδια Ανθεκτικά στη Φωτιά:** Σταθερή ποιότητα καλωδίων (π.χ. με μόνωση που αντέχει σε υψηλή θερμοκρασία για ορισμένο χρόνο, όπως ΝΗΧΗ FE 180/E30).
- **Διευθυνσιοδοτούμενος Βρόχος:** Σε αυτά τα συστήματα, ένα μονό ζεύγος καλωδίων δημιουργεί loop, ξεκινώντας και επιστρέφοντας στον πίνακα. Οι ανιχνευτές “κρέμονται” πάνω στον βρόχο και επικοινωνούν ψηφιακά με τον πίνακα, αναφέροντας κατάσταση και δεδομένα.
- **Συμβατικά Κυκλώματα Ζωνών:** Κάθε ζώνη έχει δικό της ανεξάρτητο καλώδιο (2 ή 4 αγωγών). Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το μέγιστο μήκος και η μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση τάσης για σωστή λειτουργία.
- **Καλώδια Σειρήνων:** Συνήθως χωριστές γραμμές απευθείας από τον πίνακα προς τις σειρήνες πυρανίχνευσης. Σε μεγάλα κτίρια μπορεί να χρειαστούν ενισχυτές για πολλές σειρήνες [36].

Ανεξάρτητα από τον τύπο συστήματος, ισχύει ο κανόνας: τα καλώδια πυρανίχνευσης να οδεύουν χωριστά από καλώδια ισχυρών ρευμάτων ή άλλα καλώδια συναγερού (διαρρήξεων), ώστε να ελαχιστοποιούνται οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και τα σφάλματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΑΓΕΡΜΩΝ

Αφού έγινε μια περιγραφή των κύριων μερών ενός συστήματος πυρανίχνευσης και συναγερμού, σε αυτό το κεφάλαιο θα επικεντρωθούμε σε δύο επιμέρους θεματικές: (α) τις αρχές της πυρόσβεσης και (β) την επιστημονική θεώρηση της ανάπτυξης της φωτιάς. Με αυτόν τον τρόπο, θα μπορούμε να κατανοήσουμε βαθύτερα τη σπουδαιότητα και τον ρόλο της έγκαιρης ανίχνευσης πυρκαγιάς.

3.1 Αρχές Πυρόσβεσης

Η πυρόσβεση περιλαμβάνει όλα τα μέσα και τις μεθόδους που εφαρμόζονται αφότου ξεκινήσει μια πυρκαγιά, για να περιοριστεί ή να σβηστεί. Σε πολλές εγκαταστάσεις, εκτός από την εγκατάσταση ανιχνευτών, τοποθετούνται και συστήματα αυτόματης κατάσβεσης (sprinklers με νερό ή αφρό, αέρια κατασβεστικά). Υπάρχουν τέσσερις κλασικές προσεγγίσεις :

1. **Αφαίρεση Οξυγόνου:** Αν μειωθεί η περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο κάτω από περίπου 15%, οι περισσότερες φωτιές δεν μπορούν να συντηρηθούν. Αποτυπώνεται στην πρακτική χρήση CO₂ ή άλλων αδρανών αερίων, που «πνίγουν» τη φωτιά.
2. **Απομάκρυνση Καυσίμου:** Διαχωρισμός καυσίμων υλικών από την εστία της φωτιάς ή εξειδικευμένα διαφράγματα (πυροδιαμερίσματα). Χρήσιμο σε αποθήκες όπου μπορεί να μετακινηθούν εύφλεκτα υλικά από την εστία.
3. **Μείωση Θερμοκρασίας:** Ψεκασμός νερού ή αφρού απομακρύνει τη θερμότητα από το κέντρο της φωτιάς (π.χ. sprinklers οροφής). Η μείωση της θερμότητας εμποδίζει τη συνέχιση της καύσης [19].
4. **Διακοπή Αλυσιδωτής Αντίδρασης:** Ορισμένα κατασβεστικά (π.χ. καθαρά αέρια, FM200, NOVEC 1230) δρουν χημικά στους ελεύθερους ριζικούς δεσμούς, τερματίζοντας την αλυσίδα της καύσης [21].

Αυτόματες μέθοδοι πυρόσβεσης συνδυάζονται συχνά με τα συστήματα πυρανίχνευσης: μόλις δοθεί σήμα από έναν αισθητήρα, ενεργοποιούνται ηλεκτροβάνες ή αντλίες νερού. Στη βιομηχανία, μπορούν να κλείσουν γραμμές καυσίμων ή να σταματήσουν ταινιόδρομοι παραγωγής.

3.2 Επιστημονική Θεώρηση της Ανάπτυξης της Φωτιάς

Το πώς εξαπλώνεται μια φωτιά εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, π.χ. τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου, την παρουσία αερορευσμάτων, την ποσότητα και το είδος του καυσίμου (ξύλο, πλαστικά, υφάσματα, χημικά κ.ά.). Συνήθως διακρίνονται τα παρακάτω στάδια [37]:

1. **Στάδιο Έναρξης (Ignition Phase):** Συνήθως μικρή τοπική εστία, που σχηματίζεται π.χ. από βραχυκύκλωμα, θερμή επιφάνεια ή τσιγάρο. Αν δεν εντοπιστεί έγκαιρα, η θερμότητα και ο καπνός τείνουν να συσσωρευτούν τοπικά.
2. **Στάδιο Ανάπτυξης (Growth Phase):** Η φωτιά επεκτείνεται, ο καπνός ανεβαίνει προς την οροφή και αρχίζει να πληροί σιγά σιγά τον χώρο. Οι ανιχνευτές καπνού ενεργοποιούνται σε αυτό το σημείο, συνήθως γρηγορότερα από τους ανιχνευτές θερμότητας.
3. **Flashover (Ολική Ανάφλεξη):** Σε κλειστούς χώρους, η συσσώρευση θερμότητας και οι αναθυμιάσεις μπορεί να φτάσουν σε σημείο όπου όλος ο αέρας του δωματίου εμπλουτίζεται με καύσιμα αέρια και φτάνει σε θερμοκρασία ανάφλεξης. Αυτό οδηγεί σε σχεδόν ταυτόχρονη ανάφλεξη όλου του περιεχομένου[16].
4. **Στάδιο Ωρίμανσης (Fully Developed Fire):** Η θερμοκρασία μπορεί να ξεπεράσει τους 1000°C. Η φωτιά διαδίδεται ραγδαία σε όλο τον όγκο του χώρου, ενώ αναζητά εξόδους οξυγόνου (άνοιγμα παραθύρων, αεραγωγών).
5. **Στάδιο Ύφεσης (Decay Phase):** Όταν το καύσιμο ή το οξυγόνο εξαντληθεί, η φωτιά αρχίζει να μειώνει την ένταση της. Σαφώς, αν η φωτιά αφεθεί μέχρι αυτό το στάδιο, οι ζημιές μπορεί να είναι τεράστιες.

Η γρήγορη αντίδραση που προσφέρουν τα συστήματα ανίχνευσης (ειδικά οι φωτοηλεκτρικοί αισθητήρες καπνού) μπορεί να δώσει πολύτιμο χρόνο προτού η φωτιά φτάσει στο στάδιο του flashover. Με άλλα λόγια, κάθε δευτερόλεπτο που κερδίζεται στο στάδιο έναρξης μπορεί να αποτρέψει μια καταστροφική εξέλιξη στο στάδιο της ολικής ανάφλεξης.

3.3 Συστήματα Συναγερμού

Οι **συστήματα συναγερμού** διαρρήξεων (συναγερμοί ασφαλείας) αποτελούνται από ένα σύνολο αισθητήρων και διατάξεων που στοχεύουν στην έγκαιρη ανίχνευση μη εξουσιοδοτημένης εισόδου σε έναν χώρο και στην ενεργοποίηση προειδοποιητικών σημάτων (σειρήνες, ειδοποιήσεις) προς αποτροπή ή αντιμετώπιση της εισβολής. Σε αντίθεση με τους ανιχνευτές πυρκαγιάς, οι οποίοι αντιδρούν σε φυσικοχημικά φαινόμενα (καπνό, θερμότητα κ.λπ.), οι αισθητήρες συναγερμού ασφαλείας εστιάζουν σε φυσικές ενέργειες που σχετίζονται με παραβίαση, όπως το άνοιγμα μιας θύρας ή παραθύρου, η κίνηση ενός ανθρώπου σε προστατευόμενο χώρο ή η θραύση ενός υαλοπίνακα. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κύριες τεχνολογίες αισθητήρων συναγερμού, οι αρχές λειτουργίας τους, τα είδη τους, οι προδιαγραφές τους,

καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους. Θα αναφερθούν επίσης ενδεικτικά προϊόντα της αγοράς και τυπικά σενάρια εγκατάστασης σε οικίες, επαγγελματικούς χώρους και εξωτερικούς χώρους, σύμφωνα και με τα σχετικά πρότυπα (π.χ. Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 50131 για συναγερμούς) [20].

Μαγνητικές Επαφές (Επαφές Παγίδευσης)



Εικόνα 3.1: Alarm sensor IO 102-54

Τυπική μαγνητική επαφή συναγερμού αποτελούμενη από δύο μέρη (αισθητήρας με καλώδια και μαγνήτης). Όταν η πόρτα ή το παράθυρο είναι κλειστό, ο μαγνήτης συγκρατεί τον εσωτερικό διακόπτη σε επαφή (κύκλωμα κλειστό). Με το άνοιγμα, ο μαγνήτης απομακρύνεται και ο διακόπτης ανοίγει το κύκλωμα, προκαλώντας συναγερμό.

Οι **μαγνητικές επαφές** είναι οι πιο απλοί και διαδεδομένοι αισθητήρες περιμετρικής προστασίας σε συστήματα συναγερμού. Αποτελούνται από δύο μέρη: ένα μικρό **μαγνήτη** και έναν **επαφέα με καλαμάκι (reed switch)** μέσα σε κάψουλα. Το ένα μέρος τοποθετείται στο σταθερό πλαίσιο (π.χ. κάσα πόρτας/παραθύρου) και το άλλο στο κινούμενο μέρος (φύλλο πόρτας ή παράθυρου). Όταν η θύρα ή το παράθυρο είναι κλειστό, ο μαγνήτης διατηρεί τον εσωτερικό μεταλλικό διακόπτη (καλάμι) σε κατάσταση επαφής (είτε κλειστό είτε ανοιχτό κύκλωμα ανάλογα με τον σχεδιασμό). Με το άνοιγμα της θύρας/παραθύρου, ο μαγνήτης απομακρύνεται και ο διακόπτης αλλάζει κατάσταση – σε τυπικές εφαρμογές ο διακόπτης **ήταν κλειστός (NC)** και ανοίγει όταν φύγει ο μαγνήτης, διακόπτοντας το ηλεκτρικό κύκλωμα. Η μεταβολή αυτή ανιχνεύεται από την κεντρική μονάδα του συναγερμού ως παραβίαση της ζώνης

. Οι αισθητήρες αυτοί συνδέονται συνήθως ενσύρματα σε εισόδους ζωνών του πίνακα (ή σε πομπούς αν πρόκειται για ασύρματα συστήματα) και όταν ανοίξει το κύκλωμα στέλνεται σήμα συναγερμού. Εναλλακτικά, υπάρχουν και μαγνητικές επαφές **κανονικά ανοικτές (NO)** που κλείνουν το κύκλωμα όταν απομακρυνθεί ο μαγνήτης, αν και οι περισσότερες εγκαταστάσεις υλοποιούνται με NC για λόγους ασφάλειας (αν κοπεί το καλώδιο, ο συναγερμός θα ενεργοποιηθεί) [51].

Είδη και χαρακτηριστικά: Οι μαγνητικές επαφές διατίθενται σε διάφορους τύπους και μορφολογίες. Οι κύριες κατηγορίες είναι οι **επιφανειακές** επαφές και οι **χωνευτές** (εντοιχισμένες) επαφές. Οι επιφανειακές επαφές βιδώνονται εμφανώς στην κάσα και στο φύλλο, και είναι δημοφιλείς σε βιομηχανικούς ή επαγγελματικούς χώρους όπου η αισθητική είναι δευτερεύουσα. Αντίθετα, οι χωνευτές επαφές τοποθετούνται μέσα στο ξύλο/αλουμίνιο της πόρτας ή του παραθύρου (τρύπα στην κάσα και στο φύλλο) και καθίστανται σχεδόν άορατες, προτιμώμενες σε οικίες για αισθητικούς λόγους. Από πλευράς λειτουργίας, υπάρχουν επαφές απλές και **υψηλής ασφαλείας**. Στις δεύτερες, μπορεί να χρησιμοποιείται διπλός διακόπτης reed με αντιστάσεις τερματισμού (EOL) ή και **αντιμαγνητική προστασία** (π.χ. ένας δεύτερος μαγνήτης αντίθετης πόλωσης) ώστε να μην μπορούν εύκολα να παρακαμφθούν με εξωτερικό μαγνήτη από εισβολέα. Οι περισσότερες επαφές είναι σχεδιασμένες για να λειτουργούν σε ζώνες **κανονικώς κλειστές (NC)** και περιλαμβάνουν τερματικές αντιστάσεις σύμφωνα με τις προδιαγραφές Grade 2 ή Grade 3 του προτύπου EN 50131 (οι αντιστάσεις επιτρέπουν στην κεντρική μονάδα να ανιχνεύσει όχι μόνο άνοιγμα ζώνης αλλά και βραχυκύκλωμα ή παραβίαση καλωδίωσης). Τυπικά χαρακτηριστικά μιας μαγνητικής επαφής είναι η **μέγιστη απόσταση επαφής** (gap) – συνήθως 1-2 cm για να παραμένει κλειστό το κύκλωμα – καθώς και η **διάταξη καλωδίωσης** (2 καλώδια για απλή επαφή ή 4 καλώδια αν έχει ζεύγος tamper/αντίσταση). Οι συσκευές αυτές είναι παθητικές (δεν απαιτούν τροφοδοσία) και η αξιοπιστία τους είναι υψηλή, με μεγάλο χρόνο ζωής καθώς δεν περιλαμβάνουν ηλεκτρονικά μέρη[52]. **Παραδείγματα προϊόντων:** Στην αγορά διατίθενται πολλά μοντέλα μαγνητικών επαφών από κατασκευαστές όπως η Honeywell, η Siemens, η Bosch, κ.ά. Για παράδειγμα, η εταιρεία CQR Security προσφέρει τη σειρά DR σε επιφανειακές επαφές Grade 2, ενώ η εταιρεία UTC/Interlogix (GE Security) παρήγαγε τη δημοφιλή επαφή 1082 Series για εντοιχισμένη τοποθέτηση. Στην ελληνική αγορά, κοινές είναι οι επαφές τύπου "παγίδα" λευκού ή καφέ χρώματος για κουφώματα, καθώς και ειδικές επαφές ρολού (για γκαραζόπορτες ή ρολά βιτρινών) που ανιχνεύουν την ανύψωση του ρολού [51].

Τυπικές εφαρμογές: Οι μαγνητικές επαφές εγκαθίστανται κυρίως σε **πόρτες εισόδου, μπαλκονόπορτες** και ευάλωτα **παράθυρα**. Σε ένα τυπικό σπίτι, όλες οι εξωτερικές πόρτες φέρουν επαφή, ώστε οποιοδήποτε άνοιγμα να προκαλεί συναγερμό. Σε επαγγελματικούς χώρους, μαγνητικές επαφές τοποθετούνται σε

πόρτες, σε θυρίδες, ακόμα και σε κρίσιμα σημεία όπως πόρτες server rooms. Υπάρχουν και ειδικές επαφές για **καταπακτές** ή **σκάλες κινδύνου**. Σπάνια χρησιμοποιούνται σε εσωτερικές πόρτες, παρά μόνο σε ελεγχόμενες περιοχές όπου απαιτείται ανίχνευση πρόσβασης

Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα: Οι μαγνητικές επαφές προσφέρουν σειρά από πλεονεκτήματα, αλλά και ορισμένους περιορισμούς:

- **Πλεονεκτήματα:** Εξαιρετικά απλός και αξιόπιστος αισθητήρας με χαμηλό κόστος. Δεν απαιτεί τροφοδοσία (στην ενσύρματη μορφή του) και έχει **μηδενική κατανάλωση** ρεύματος. Έχει **άμεση απόκριση** (εντοπίζει αμέσως το άνοιγμα) και πολύ χαμηλή πιθανότητα ψευδοσυναγερμών εφόσον εγκατασταθεί σωστά. Η διάρκεια ζωής του είναι μεγάλη (τα καλάμια reed μπορούν να αντέξουν χιλιάδες κύκλους ανοίγματος/κλεισίματος). Είναι **διακριτικός** (ειδικά οι χωνευτοί) και δύσκολο να παραβιαστεί χωρίς να ενεργοποιηθεί (λόγω NC λογικής). Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλες εφαρμογές, π.χ. ανίχνευση ανοίγματος ντουλαπιών όπλων, χρηματοκιβωτίων κ.λπ [54].
- **Μειονεκτήματα:** **Περιορισμένη κάλυψη** – προστατεύει μόνο το συγκεκριμένο σημείο (πόρτα/παράθυρο) και δεν ανιχνεύει κίνηση εντός του χώρου. Δεν θα ενεργοποιηθεί αν ο εισβολέας καταφέρει να εισέλθει από αλλού (π.χ. σπάσει ένα τζάμι και περάσει χωρίς να ανοίξει το πλαίσιο, εκτός αν συνδυαστεί με άλλους αισθητήρες θραύσης). Μπορεί να **παρακαμφθεί** εάν ο εισβολέας έχει πρόσβαση πριν οπλίσει ο συναγερμός (π.χ. αφήνοντας ανοιχτή μια χαραμάδα στην πόρτα) ή σε σπάνιες περιπτώσεις με ισχυρό εξωτερικό μαγνήτη (εάν η επαφή δεν είναι προστατευόμενη). Επίσης, απαιτεί **σωστή ευθυγράμμιση** κατά την εγκατάσταση – αν ο μαγνήτης δεν ευθυγραμμίζεται με τον αισθητήρα ή απέχει περισσότερο από την επιτρεπτή απόσταση, μπορεί να δίνει σφάλματα (ή να μην ενεργοποιείται). Τέλος, οι ασύρματες εκδοχές του αισθητήρα απαιτούν **τακτική αλλαγή μπαταρίας** και είναι ελαφρώς μεγαλύτερες σε μέγεθος [55].

3.4 Παθητικοί Υπέρυθροι Ανιχνευτές (PIR)

Οι **ανιχνευτές κίνησης παθητικού υπέρυθρου (Passive Infrared – PIR)** είναι από τους πλέον κοινούς εσωτερικούς αισθητήρες συναγερμού. Έχουν τη δυνατότητα να ανιχνεύουν την κίνηση ανθρώπων ή ζώων σε έναν χώρο μέσω της μεταβολής της υπέρυθρης θερμικής ακτινοβολίας. Κάθε αντικείμενο με θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία – ο ανθρώπινος σώματος λ.χ. εκπέμπει θερμότητα ~37°C. Ο ανιχνευτής PIR **δεν εκπέμπει ο ίδιος κάποιο σήμα** (είναι “παθητικός”), αλλά περιέχει έναν ειδικό αισθητήρα (συνήθως πυροηλεκτρικό στοιχείο) που **λαμβάνει την υπέρυθρη**

ακτινοβολία του περιβάλλοντος. Όταν ένας άνθρωπος (θερμό αντικείμενο) κινείται μπροστά από το φόντο του χώρου (τοίχο, έπιπλα κ.λπ.), η υπέρυθρη ακτινοβολία που λαμβάνει ο αισθητήρας μεταβάλλεται απότομα. Αυτή η απότομη **μεταβολή θερμοκρασίας** στο οπτικό πεδίο του αισθητήρα – π.χ. από θερμοκρασία δωματίου σε θερμοκρασία σώματος και πίσω – ανιχνεύεται ως κίνηση. Το πυροηλεκτρικό στοιχείο παράγει ένα μικρό ηλεκτρικό σήμα όταν μεταβάλλεται η προσπίπτουσα θερμική ακτινοβολία, το οποίο ενισχύεται και επεξεργάζεται από το κύκλωμα του ανιχνευτή ώστε να δημιουργηθεί σήμα συναγερμού [54].

Αρχές σχεδίασης: Οι τυπικοί PIR ανιχνευτές αποτελούνται από το πυροηλεκτρικό αισθητήριο στοιχείο, έναν **φακό Fresnel** ή κάτοπτρο που εστιάζει την υπέρυθρη ακτινοβολία από διαφορετικές ζώνες του χώρου πάνω στον αισθητήρα, και το ηλεκτρονικό κύκλωμα ανίχνευσης. Ο φακός Fresnel διαμορφώνει το οπτικό πεδίο σε πολλαπλές δέσμες/τομείς· όταν ένας θερμός στόχος μετακινείται μεταξύ των τομέων αυτών, το σήμα εμφανίζεται παλμικό. Οι σύγχρονοι ανιχνευτές PIR είναι **ευρέως γωνίας** (π.χ. κάλυψη 90°–110°) με **εμβέλεια** 10–15 μέτρα συνήθως, ενώ υπάρχουν και **“κουρτίνες” υπερύθρων** με στενή δέσμη για προστασία συγκεκριμένων σημείων (π.χ. παρτέρια βιτρίνας ή τοίχους). Επίσης, υπάρχουν **ανιχνευτές οροφής 360°** για τοποθέτηση στο κέντρο χώρου. Σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η **ευαισθησία** και ο αλγόριθμος ανίχνευσης – για αποφυγή ψευδών συναγερμών, οι ανιχνευτές αγνοούν αργές μεταβολές θερμοκρασίας (π.χ. βαθμιαία θέρμανση από καλοριφέρ) και ανιχνεύουν μόνο γρήγορες αλλαγές. Πολλά μοντέλα διαθέτουν ρυθμιστή ευαισθησίας ή και **ψηφιακή επεξεργασία σήματος**, που επιτρέπει διάκριση μεταξύ κίνησης ανθρώπου και μικρών ζώων (*pet immunity*). Για παράδειγμα, ένας PIR με *pet immunity* μπορεί να προγραμματιστεί να μην ενεργοποιείται για μάζα μικρότερη από ~20 κιλά, αποφεύγοντας συναγερμούς από κατοικίδια [55].

Είδη και προδιαγραφές: Οι PIR ανιχνευτές εσωτερικού χώρου ταξινομούνται συχνά ως **Grade 2** κατά EN 50131 (για κατοικίες και τυπικές εφαρμογές). Διαθέτουν συνήθως **ταχύτητα ανίχνευσης** 0.2–3 m/s (εύρος ταχυτήτων κίνησης που μπορούν να ανιχνεύσουν), **ύψος τοποθέτησης** γύρω στα 2–2.5 m για βέλτιστη κάλυψη, και γωνία κάλυψης όπως αναφέρθηκε. Κάποια μοντέλα προδιαγραφών Grade 3 διαθέτουν επιπλέον **anti-masking** – αισθητήρα που αντιλαμβάνεται προσπάθεια κάλυψης/μάσκας του φακού με ταινία ή σπρέι. Όλοι οι PIR χρειάζονται **τροφοδοσία 12V DC** (συνήθως ~10-15 mA κατανάλωση) και διαθέτουν **ρελέ συναγερμού** (NC επαφή που ανοίγει σε συναγερμό) καθώς και **ζεύγος tamper** (διακόπτη προστασίας ανοίγματος του κελύφους). Υπάρχουν και **ασύρματοι PIR** που ενσωματώνουν πομπό RF και τροφοδοτούνται από μπαταρία λιθίου, έχοντας συνήθως διάρκεια μπαταρίας 2-3 χρόνια.

Τυπικές εφαρμογές: Οι ανιχνευτές PIR τοποθετούνται σε εσωτερικούς χώρους για να καλύψουν περιοχές διέλευσης. Συνηθέστερα τοποθετούνται σε **γωνίες**

δωματίων ώστε να επιβλέπουν όλο το χώρο, σε **διαδρόμους** ή αίθρια, και γενικά σε σημεία που ένας εισβολέας θα περνούσε μετά την είσοδό του. Σε ένα σπίτι, PIR μπαίνουν συχνά στο σαλόνι/καθιστικό και σε κεντρικούς διαδρόμους. Σε καταστήματα, καλύπτουν τον κύριο χώρο πωλήσεων μετά το ωράριο. Είναι η **δεύτερη ζώνη άμυνας** μετά τις μαγνητικές επαφές – αν κάποιος παραβιάσει την περίμετρο και μπει, η κίνησή του θα ανιχνευθεί. Δεν χρησιμοποιούνται σε εξωτερικούς χώρους (βλ. παρακάτω εξωτερικούς αισθητήρες) διότι οι περιβαλλοντικές μεταβολές θερμότητας και ο ήλιος θα προκαλούσαν συνεχείς συναγερμούς.



Εικόνα 3.2: Παθητικός Υπέρυθρος Ανιχνευτής (PIR)

3.5 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα (PIR):

- **Πλεονεκτήματα:** Καλύπτουν **μεγάλη περιοχή** με έναν αισθητήρα, σε αντίθεση με τις επαφές που προστατεύουν μόνο ένα άνοιγμα. Είναι σχετικά **οικονομικοί** και η εγκατάστασή τους απλή. Παρέχουν ένα επιπλέον επίπεδο ασφάλειας εντός του χώρου, συλλαμβάνοντας κινήσεις εισβολέων που τυχόν κατάφεραν να μπου παρά την περιμετρική προστασία. Οι σύγχρονοι PIR έχουν **μειωμένα ψευδοσυναγερμούς** χάρη σε βελτιωμένα φίλτρα και διπλά στοιχεία (π.χ. διπλός πυροηλεκτρικός αισθητήρας) και μπορούν να προσαρμοστούν (π.χ. ευαισθησία, λειτουργία σε περιβάλλον με κατοικίδια). Επίσης, **δεν παρακάμπτονται εύκολα** από έναν εισβολέα,

διότι η κίνηση παράγει αναπόφευκτα θερμικό ίχνος – θα έπρεπε να κινηθεί εξαιρετικά αργά ή να έχει θερμική κάλυψη, κάτι μη πρακτικό.

- **Μειονεκτήματα:** Έχουν **ευαισθησία σε περιβάλλον** – πηγές θερμότητας ή ρεύματα αέρα (από κλιματιστικά, τζάκια κ.λπ.) μπορεί να προκαλέσουν ψευδοσυναγεργμούς αν δεν επιλεγεί σωστά η θέση τους. Η **σωστή τοποθέτηση** είναι κρίσιμη: δεν πρέπει να “βλέπουν” απευθείας παράθυρα (ο ήλιος μπορεί να τα ενεργοποιήσει), ούτε να βρίσκονται κοντά σε σώματα θέρμανσης. Επίσης, οι PIR **δεν ανιχνεύουν μέσα από εμπόδια** – ένας τοίχος ή ακόμη και ένα χοντρό γυαλί θα μπλοκάρει την IR ακτινοβολία, οπότε δεν “βλέπουν” πίσω από χωρίσματα. Μπορούν να παραπλανηθούν από **ταχείες αλλαγές θερμοκρασίας** μη ανθρώπινης προέλευσης (π.χ. ένα σύννεφο που αφήνει τον ήλιο να ζεστάνει απότομα έναν χώρο) – γι’ αυτό συχνά απαιτείται συνδυασμός με δεύτερη τεχνολογία (βλ. διπλής τεχνολογίας). Τέλος, καταναλώνουν μικρή αλλά συνεχή ισχύ και σε μεγάλες εγκαταστάσεις ο συνολικός αριθμός PIR μπορεί να επηρεάσει την αυτονομία του συστήματος σε μπαταρία [56].

3.6 Μικροκυματικοί Ανιχνευτές Κίνησης (Radar)

Οι αισθητήρες **ραντάρ μικροκυμάτων** είναι ενεργοί ανιχνευτές κίνησης που λειτουργούν εκπέμποντας ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία υψηλής συχνότητας (συνήθως στην περιοχή των ~10 GHz ή 24 GHz) και ανιχνεύοντας τη μεταβολή της λόγω κίνησης αντικειμένων. Βασίζονται στο **φαινόμενο Doppler**: όταν ένα αντικείμενο κινείται σε σχέση με την κεραία του αισθητήρα, η συχνότητα του ανακλώμενου σήματος μεταβάλλεται ελαφρά. Ο ανιχνευτής εκπέμπει ένα συνεχή κύμα μικροκυμάτων και λαμβάνει την αντήχηση του. Αν δεν υπάρχει κίνηση, η συχνότητα παραμένει σταθερή· αν όμως ένα αντικείμενο (π.χ. ένας άνθρωπος) κινείται, η συχνότητα του ανακλώμενου σήματος μετατοπίζεται (αυξάνεται εάν πλησιάζει, μειώνεται αν απομακρύνεται). Το ηλεκτρονικό κύκλωμα εντοπίζει αυτή τη μεταβολή και ενεργοποιεί συναγεργμό όταν υπερβεί ένα προκαθορισμένο όριο [55].



Εικόνα 3.3: Μικροκυματικός Ανιχνευτής Κίνησης (Radar)

Χαρακτηριστικά και χρήση: Οι μικροκυματικοί ανιχνευτές έχουν την ικανότητα να **καλύπτουν ευρύ πεδίο** και μάλιστα μπορούν να ανιχνεύσουν κίνηση πίσω από λεπτά εμπόδια (π.χ. γυφτοσανίδες, τζάμια) καθώς τα μικροκύματα διαπερνούν ορισμένα υλικά. Ωστόσο, είναι ευαίσθητοι σε **παρεμβολές** και ανακλάσεις: μεταλλικές επιφάνειες μπορούν να δημιουργήσουν ψευδή σήματα ή **στάσιμα κύματα** που δυσκολεύουν την ανίχνευση. Συνήθως, οι αισθητήρες μικροκυμάτων χρησιμοποιούνται σε **συνδυασμό με PIR** (διπλής τεχνολογίας, βλέπε επόμενη ενότητα) ώστε να μειώνονται οι ψευδοσυναγερμοί – απαιτείται και τα δύο συστήματα (PIR & μικροκύματα) να ανιχνεύσουν κίνηση για να σημάνει συναγερμός. Υπάρχουν όμως και **αυτόνομοι μικροκυματικοί ανιχνευτές**, οι οποίοι συχνά καλύπτουν συγκεκριμένες εφαρμογές (π.χ. προστασία **υπόγειων χώρων** πίσω από τοίχους, όπου η IR ανίχνευση δεν θα ήταν πρακτική). Οι παράμετροι τους περιλαμβάνουν την **εμβέλεια** (ρυθμιζόμενη, π.χ. 5–15 m), το **εύρος δέσμης** (ευρεία κάλυψη ή στενή δέσμη ανάλογα με την κεραία) και την **συχνοτική μπάντα** (συχνά X-band ~10.525 GHz ή K-band ~24.125 GHz, με τήρηση κανονισμών τηλεπικοινωνιών). Έχουν επίσης ανάγκη τροφοδοσίας και συχνά ελαφρώς υψηλότερη κατανάλωση από τους PIR [56].

Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα (ραντάρ): Τα μικροκύματα πλεονεκτούν στο ότι **ανιχνεύουν την πραγματική κίνηση** (όχι απλώς θερμική αλλαγή) και μπορούν να καλύψουν χώρους όπου οι PIR δυσκολεύονται, όπως χώρους με θερμικά ανέμους ή εξωτερικούς με θερμοκρασιακές μεταβολές, εφόσον προστατευθούν από καιρικά φαινόμενα. Είναι επίσης **λιγότερο ευαίσθητοι στα ρεύματα αέρα** και μπορούν να τοποθετηθούν ψηλά. Ωστόσο, μειονέκτημά τους είναι η **τάση για ψευδείς συναγερμούς** από **παρεμβολές RF** ή κινήσεις εκτός του επιθυμητού χώρου (π.χ. κίνηση έξω από ένα λεπτό τοίχο μπορεί να ενεργοποιήσει έναν ανιχνευτή μικροκυμάτων μέσα στο δωμάτιο). Επίσης, μπορεί να ενεργοποιηθούν από **αντικείμενα** που κινούνται ή δονήσεις (π.χ. ένας ανεμιστήρας οροφής). Για το λόγο αυτό, σπάνια χρησιμοποιούνται μόνοι τους – ο συνδυασμός με PIR (dual-tech) εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα και των δύο μειώνοντας τις πιθανότητες σφάλματος.

3.7 Ανιχνευτές Διπλής Τεχνολογίας (PIR & Μικροκύματα)

Οι **ανιχνευτές διπλής τεχνολογίας** συνδυάζουν έναν παθητικό ανιχνευτή υπερέυρων (PIR) και έναν ανιχνευτή μικροκυμάτων σε μία μονάδα. Η λογική τους είναι να **αυξήσουν την αξιοπιστία**: απαιτούν **ταυτόχρονη ανίχνευση** κίνησης και από τις δύο τεχνολογίες για να σημάνει συναγερμός. Έτσι, μειώνονται δραματικά οι ψευδείς συναγερμοί – ένα τυχαίο θερμικό φαινόμενο δεν συνοδεύεται από κίνηση Doppler, ή αντίστροφα οι ραδιοπαρεμβολές δεν συνοδεύονται από μεταβολή υπερέυθρου. Μόνο ένας πραγματικός εισβολέας που κινείται παράγει και θερμικό ίχνος και μετατόπιση Doppler, ικανοποιώντας και τους δύο αισθητήρες [57].



Εικόνα 3.4:Ανιχνευτής Διπλής Τεχνολογίας

Χαρακτηριστικά: Οι dual-tech ανιχνευτές είναι ελαφρώς ακριβότεροι και **καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια**, αλλά είναι απαραίτητοι σε **δύσκολα περιβάλλοντα** (χώροι με πιθανούς ψευδοσυναγερμούς). Συχνά χρησιμοποιούνται σε αποθήκες με ρεύματα αέρα, σε χώρους με θερμαντικά σώματα κ.λπ. Συνήθως διαθέτουν ρυθμίσεις για κάθε τεχνολογία (ευαισθησία PIR, εμβέλεια μικροκυμάτων). Η σειρά “TriTech” της Bosch λ.χ. συνδυάζει PIR, μικροκύματα και ανίχνευση μορφής (ψηφιακό αλγόριθμο), ενώ άλλες εταιρείες (π.χ. Digital Security Controls - DSC, Crow, Paradox) διαθέτουν πληθώρα μοντέλων dual-tech. Οι περισσότεροι διπλοί ανιχνευτές είναι και αυτοί **εσωτερικού χώρου** (Grade 2 ή 3), αλλά υπάρχουν και εξωτερικοί dual-tech (βλ. επόμενη ενότητα).

Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα (dual-tech): Το κύριο πλεονέκτημα είναι η **δραστική μείωση ψευδών συναγερμών** – η πιθανότητα ένα μη συμβάν να “ξεγελάσει” και τους δύο αισθητήρες ταυτόχρονα είναι πολύ μικρή. Έτσι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις όπου ένας μεμονωμένος PIR ή μικροκυματικός θα έδινε συχνά σφάλμα. Επίσης παρέχουν **ευελιξία ρύθμισης** (π.χ. δυνατότητα ρύθμισης ώστε σε *χαμηλή ευαισθησία* ο PIR να ενεργοποιεί πάντα αλλά ο μικροκυματικός να φιλτράρει περιττά ερεθίσματα). Από την άλλη, μειονεκτούν σε ότι αν ένας εισβολέας γνωρίζει την παρουσία dual-tech, θα προσπαθήσει να **κινείται πολύ αργά** (να μην ενεργοποιεί μικροκύματα) και με **θερμική κάλυψη** (να μην ενεργοποιεί PIR) – αυτό όμως είναι πρακτικά δύσκολο. Ένα ρεαλιστικότερο μειονέκτημα είναι ότι σε **οριακές καταστάσεις** μπορεί ο αληθινός στόχος να μην ανιχνευθεί εάν δεν “δουν” και οι δύο τεχνολογίες (π.χ. ένας εισβολέας πολύ μικρής θερμικής αντίθεσης στο background ή σχεδόν ακίνητος μπορεί να δώσει σήμα μόνο μικροκυμάτων χωρίς PIR και έτσι να μην ενεργοποιηθεί συναγερμός). Γι’ αυτό οι εγκαταστάτες ρυθμίζουν προσεκτικά την ευαισθησία ώστε να είναι **ελαφρώς πιο ευαίσθητος ο PIR** – έτσι εξασφαλίζεται ότι οτιδήποτε πιάσει το ραντάρ θα έχει πιάσει ήδη και ο PIR [59].

3.8 Εξωτερικοί Ανιχνευτές Κίνησης

Οι **εξωτερικοί ανιχνευτές κίνησης** σχεδιάζονται ειδικά για χρήση σε ανοικτό περιβάλλον, γύρω από την περίμετρο κτιρίων ή σε περιβόλους, ώστε να ανιχνεύουν εισβολείς πριν αυτοί διεισδύσουν στο εσωτερικό. Η εξωτερική ανίχνευση είναι απαιτητική λόγω των καιρικών συνθηκών, της παρουσίας ζώων, πουλιών, φυλλώματος κ.λπ., που μπορούν να προκαλέσουν συναγεμμούς. Για αυτό, σχεδόν πάντα οι εξωτερικοί αισθητήρες είναι **διπλής τεχνολογίας PIR+μικροκυμάτων** ή **πολλαπλής δέσμης υπερέθρων** [56].

Ένας τύπος εξωτερικού ανιχνευτή είναι ο **εξωτερικός PIR** με ειδικό σχεδιασμό: έχει **διπλό ή πολλαπλό πυροηλεκτρικό στοιχείο** και οπτικά που σχηματίζουν πολλές ζώνες (συχνά **δίδυνη PIR** τεχνολογία) και απαιτεί την ταυτόχρονη διακοπή δύο ζωνών για να σημάνει συναγεμμό. Έτσι μειώνονται τα ψευδή από ζώα μικρού ύψους κτλ. Πολλοί εξωτερικοί PIR διαθέτουν **ρυθμιζόμενη ευαισθησία** και **καλυμμα φακού** (περυγία) για να προσαρμόζεται η κάλυψη μόνο στην επιθυμητή περιοχή (π.χ. να “κόβεται” το έδαφος ώστε μικρά ζώα να μην ανιχνεύονται). Επιπλέον, είναι ανθεκτικοί με **βαθμό προστασίας IP65** ή υψηλότερο για νερό/σκόνη. Παραδείγματα τέτοιων αισθητήρων είναι οι Ortex σειρά HX και VX (που έχουν πολλαπλές ζώνες PIR και λογική AND), καθώς και αισθητήρες από την Bosch (Professional Series Outdoor), Crow, Pyronix (Hikvision) κ.ά. Συνήθως καλύπτουν αποστάσεις 12–20 m με γωνία ~90° [57].

Μια άλλη κατηγορία είναι οι **περιμετρικοί ανιχνευτές τύπου κουρτίνας**, που τοποθετούνται εξωτερικά στα ανοίγματα (παράθυρα, μπαλκονόπορτες) και δημιουργούν μια “αόρατη κουρτίνα” υπερέθρων μπροστά από το άνοιγμα. Αυτοί είναι συνήθως **διπλοί PIR στενής δέσμης** τοποθετημένοι στα πλαϊνά του ανοίγματος. Όταν κάποιος περάσει μέσα από την κουρτίνα, οι δύο PIR ενεργοποιούνται ταυτόχρονα και ο συναγεμμός χτυπά. Πλεονέκτημα είναι ότι μπορεί να όπλιζεται το σύστημα περιμετρικά ενώ οι ένοικοι κινούνται μέσα στο σπίτι. Τέτοιοι αισθητήρες (π.χ. Bentel BWALL, Crow SWAN Quad) απαιτούν προσεκτική ευθυγράμμιση και δεν πρέπει να επηρεάζονται από κουρτίνες, φυτά ή κατοικίδια [56].

Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα (εξωτερικών): Το μεγάλο πλεονέκτημα είναι η **πολύ έγκαιρη ανίχνευση** – ο συναγεμμός ηχεί πριν ο εισβολέας φτάσει καν να παραβιάσει πόρτα ή παράθυρο. Έτσι παρέχει χρόνο αντίδρασης και μπορεί να αποτρέψει τη διάρρηξη (ο ήχος του προειδοποιητικού συναγεμμού μπορεί να διώξει τον εισβολέα). Επίσης, προστατεύονται και υπαίθριοι χώροι (αυλές, κήποι) και αντικείμενα σε αυτούς. Από την άλλη, οι εξωτερικοί αισθητήρες έχουν **υψηλό ποσοστό ψευδών συναγεμμών** αν δεν γίνει σωστή μελέτη – ο άνεμος, η βροχή, οι μετακινήσεις ζώων, ακόμη και έντομα που καλύπτουν τους αισθητήρες, μπορεί να προκαλέσουν ενεργοποίηση. Χρειάζονται **τακτική συντήρηση** (καθαρισμός φακών από αράχνες/σκόνη, έλεγχος ευθυγράμμισης). Επίσης, κοστίζουν περισσότερο και ένα *έξυπνο*

περιβάλλον μπορεί να τους καταστήσει λιγότερο αναγκαίους (π.χ. CCTV με analytics). Παρ' όλα αυτά, σε εγκαταστάσεις υψηλής ασφάλειας είναι πολύτιμοι ως πρώτο επίπεδο ανίχνευσης.

3.9 Υπέρυθρες Δέσμες (Ενεργοί Περιμετρικοί Αισθητήρες)

Οι **υπέρυθρες δέσμες** είναι αισθητήρες που αποτελούνται από ζεύγη συσκευών – έναν πομπό και έναν δέκτη – οι οποίοι δημιουργούν μεταξύ τους **αόρατες δέσμες υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR)** κατά μήκος μιας γραμμής. Αν ένα αντικείμενο ή άνθρωπος *διακόψει* τις δέσμες αυτές, το σήμα χάνεται και ενεργοποιείται συναγερμός. Χρησιμοποιούνται κυρίως για **περιμετρική προστασία εξωτερικών χώρων**, σχηματίζοντας ένα “ηλεκτρονικό φράχτη” γύρω από την ιδιοκτησία.



Εικόνα 3.5: LK-80HDF Εξωτερικός ανιχνευτής με διπλής δέσμη IR beam Garrison IP66

Αρχή λειτουργίας: Κάθε ζεύγος περιμετρικών αισθητήρων περιλαμβάνει έναν **Emitter (πομπό IR LED)** και έναν **Receiver (δέκτη φωτοδιόδου)**. Ο πομπός στέλνει μια δέσμη υπέρυθρου φωτός (συνήθως παλμικού για εξάλειψη παρεμβολών από το ηλιακό φως) προς τον δέκτη. Σε κανονική κατάσταση, ο δέκτης λαμβάνει συνεχώς το σήμα. Όταν κάποιος περάσει ανάμεσα, το IR φως μπλοκάρεται και ο δέκτης αντιλαμβάνεται πτώση σήματος – μετά από προκαθορισμένο χρόνο (π.χ. 50 msec για φιλτράρισμα στιγμιαίων εμποδίων) ενεργοποιεί συναγερμό. Πολλά συστήματα χρησιμοποιούν **δύο ή περισσότερες παράλληλες δέσμες** σε κάποιο κατακόρυφο στήλο, και απαιτούν την ταυτόχρονη διακοπή όλων των δεσμών ώστε να αποφευχθούν ψευδοσυναγερμοί από μικρά αντικείμενα (π.χ. ένα πουλί που πετά) – αν μία δέσμη διακοπεί αλλά οι άλλες όχι, δεν σημαίνει συναγερμός. Οι ακτίνες είναι συνήθως **ενεργές στο υπέρυθρο φάσμα (940 nm)** που δεν είναι ορατό στο ανθρώπινο μάτι [54].

Διατάξεις και εμβέλεια: Οι υπέρυθρες δέσμες διατίθενται με διάφορους αριθμούς δεσμών (συνήθως 2, 3 ή 4) και με **εμβέλεια** από 10–20 μέτρα (για οικιακές εφαρμογές) έως και 100–200 μέτρα (για βιομηχανική περίμετρο, σε ζεύγη στήλες). Ορισμένα συστήματα έρχονται ως **δίδυμες στήλες** που τοποθετούνται αντικριστά σε απόσταση, ενώ άλλα είναι **μονάδες πομπού-δέκτη** που τοποθετούνται σε τοίχους σε ζευγάρια. Σημαντική είναι η **ευθυγράμμιση** κατά την εγκατάσταση: οι δέσμες απαιτούν ο πομπός και ο δέκτης να “βλέπουν” ακριβώς ο ένας τον άλλον. Πολλά προϊόντα διαθέτουν **σκόπευτρο ή LED ένδειξης** για να βοηθούν στην στοίχιση. Επιπλέον, οι δέσμες έχουν **ρυθμιζόμενη ευαισθησία χρόνου** ώστε να μην αντιδρούν σε πολύ μικρής διάρκειας διακοπές (π.χ. ένα φύλλο που πέφτει). Η τροφοδοσία τους είναι συνήθως ενσύρματη 12–24V, αν και υπάρχουν και **ασύρματες beam** με ηλιακή υποβοήθηση για απομακρυσμένα σημεία [55].

Ενδεικτικές εφαρμογές: Οι περιμετρικές δέσμες χρησιμοποιούνται για την προστασία περιφράξεων, τοίχων και γενικά του ορίου μιας ιδιοκτησίας. Μπορούν να τοποθετηθούν κατά μήκος της **περίφραξης ενός οικοπέδου** ή μεταξύ του κτιρίου και του ορίου του οικοπέδου. Επίσης, συχνά εγκαθίστανται σε **ταράτσες** ή περιμετρικά ενός κτιρίου, έτσι ώστε να δημιουργήσουν ένα “πλέγμα” που αν το διασχίσει κάποιος σκαρφαλώνοντας θα ανιχνευθεί. Σε βιτρίνες καταστημάτων, δέσμες μπορούν να καλύπτουν το άνοιγμα της βιτρίνας τη νύχτα. Μία ιδιαίτερη χρήση είναι σε **συστήματα καταμέτρησης** (π.χ. μέτρηση πελατών) – εκεί μια μονή δέσμη σε είσοδο μετρά διακοπές χωρίς να ηχεί συναγερμός, αλλά το σκεπτικό είναι όμοιο [56].

Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα (δέσμες): Ως αισθητήρες περιμέτρου, οι δέσμες μοιράζονται κάποια από τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των εξωτερικών PIR. **Πλεονεκτήματα:** παρέχουν **πρόωρη ανίχνευση** πριν ο εισβολέας φτάσει στο κτίριο. Είναι σχετικά **δυσδιάκριτες** (μικρές στήλες ή κουτιά) και μπορούν να καλύψουν μεγάλα μήκη με αξιοπιστία. Επειδή απαιτούν **διακοπή όλων των δεσμών**, μειώνουν τα σφάλματα από μικρούς παράγοντες (π.χ. ένα πουλί μπορεί να κόψει μία δέσμη αλλά δύσκολα όλες ταυτόχρονα). Επίσης, μπορούν να δημιουργήσουν ζώνες ασφαλείας σε ανοικτούς χώρους όπου άλλοι αισθητήρες δεν είναι πρακτικοί. **Μειονεκτήματα:** **Ευαισθησία σε περιβάλλον:** Η ομίχλη, η έντονη βροχή ή χιονόπτωση μπορούν να αποδυναμώσουν το IR φως και να προκαλέσουν συναγερμό ή να μειώσουν την εμβέλεια. Ο ήλιος κατά λάθος στη γραμμή όδευσης μπορεί να τυφλώσει τον δέκτη (γι’ αυτό συνήθως τοποθετούνται λίγο πιο χαμηλά ή σκιάζονται). Ακόμη, **μικρά ζώα ή αντικείμενα** που κινούνται **ταυτόχρονα** σε όλα τα επίπεδα (π.χ. κλαδιά που πέφτουν) μπορεί να προκαλέσουν σήμα. Οι εγκαταστάτες πρέπει να φροντίσουν να μην υπάρχουν φυλλωσιές ή εμπόδια στην ευθεία πομπού-δέκτη. Επίσης, ένας αποφασισμένος εισβολέας μπορεί να προσπαθήσει να **παρακάμψει τις δέσμες** είτε περνώντας **ανάμεσά τους χωρίς να τις κόψει** (αν η απόσταση μεταξύ των ακτίνων είναι μεγάλη – γι’ αυτό σε κρίσιμες

εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται πολλαπλές δέσμες σε μικρή απόσταση) είτε χρησιμοποιώντας **καθρέφτες** για να ανακατευθύνει τη δέσμη (θεωρητικά δύσκολο στην πράξη λόγω ανάγκης ακριβούς συντονισμού). Τέλος, όπως όλοι οι εξωτερικοί αισθητήρες, απαιτούν **σταθερή βάση** – αν ο στύλος ή το στήριγμα κουνηθεί από αέρα, μπορεί να αποσυγχρονιστεί και να δώσει συναγερμό [55].

3.10 Άλλοι Αισθητήρες Συναγερμού (Θραύσης & Κραδασμών)

Εκτός από τους παραπάνω κύριους τύπους, στα σύγχρονα συστήματα συναγερμού χρησιμοποιούνται και εξειδικευμένοι αισθητήρες για συγκεκριμένες μορφές παραβίασης:

Ανιχνευτές Θραύσης Υαλοπινάκων: Οι αισθητήρες αυτοί (glass-break detectors) έχουν σχεδιαστεί για να αντιληφθούν το **σπάσιμο τζαμιών** σε παράθυρα ή βιτρίνες, που αποτελεί κοινό τρόπο εισόδου διαρρηκτών. Υπάρχουν δύο βασικές τεχνολογίες: (α) **Ακουστικοί ανιχνευτές θραύσης**, που είναι μικρόφωνα ειδικά ρυθμισμένα να “ακούν” τον χαρακτηριστικό ήχο του σπασίματος γυαλιού, και (β) **Αισθητήρες κραδασμού επί υαλοπίνακα** (γνωστοί και ως “κοριοί”), που κολλούν επάνω στο ίδιο το τζάμι και ανιχνεύουν την μηχανική δόνηση/κρούση όταν αυτό σπάσει [56].

Οι ακουστικοί ανιχνευτές θραύσης τοποθετούνται στην οροφή ή σε τοίχο μέσα στο δωμάτιο και μπορούν να καλύψουν έναν συγκεκριμένο χώρο (συνήθως ακτίνα 5-10 μέτρων, ικανή για τζάμια εντός ενός δωματίου). Λειτουργούν ανιχνεύοντας **διπλό ήχο**: αρχικά ένα χαμηλής συχνότητας “κρότο” (τον ήχο πίεσης όταν ραγίζει το γυαλί) και αμέσως μετά το υψηλής συχνότητας θρύψαλο του γυαλιού που σπάει. Ο συνδυασμός αυτός απαιτείται για να ενεργοποιηθεί συναγερμός, έτσι ώστε να αποφεύγονται ψευδείς συναγερμοί από παρεμφερείς θορύβους (π.χ. ένα πιάτο που σπάει ή ήχος από την τηλεόραση). Οι πιο εξελιγμένοι ανιχνευτές έχουν και ψηφιακή ανάλυση φάσματος για μεγαλύτερη αξιοπιστία. Ανιχνευτές όπως οι DSC GlassGuard ή οι Honeywell FG-1625 έχουν ρυθμιζόμενη ευαισθησία και πεδίο κάλυψης ~6 m για τζάμια κανονικού μεγέθους.

Οι αισθητήρες κραδασμού υαλοπινάκων (κοριοί) κολλούνται απευθείας πάνω στο γυαλί ή στο πλαίσιό του. Είναι συνήθως πιεζοηλεκτρικά στοιχεία που παράγουν ηλεκτρικό παλμό όταν το τζάμι δονηθεί ή σπάσει. Πολλά έχουν ρυθμιζόμενη ευαισθησία ώστε να αποφεύγουν συναγερμούς από μικροδονήσεις (π.χ. έντονο θόρυβο ή δονήσεις από διέλευση φορτηγών). Αυτά είναι κατάλληλα για παράθυρα που παραμένουν κλειστά – σε περιπτώσεις που δεν ανοίγονται συχνά, μπορεί κανείς αντί για μαγνητική επαφή να χρησιμοποιήσει μόνο αισθητήρα κραδασμού για την προστασία. Υπάρχουν και **συνδυαστικοί ανιχνευτές** που ενσωματώνουν **διπλή τεχνολογία** θραύσης: π.χ. μια συσκευή κολλημένη στο τζάμι που περιλαμβάνει **μαγνητική επαφή + αισθητήριο κραδασμού**, καλούμενη πολλές φορές “αισθητήριο κραδασμού με

κοριό” – έτσι, αν είτε ανοίξει το παράθυρο είτε σπάσει, θα ανιχνευθεί (μερικά τέτοια έχουν και μικρό μικρόφωνο για τον ήχο).

Αισθητήρες Κραδασμών (κραδασμικοί): Εκτός από τα τζάμια, υπάρχουν και αισθητήρες κραδασμών που τοποθετούνται σε **τοιχούς, πατώματα ή χρηματοκιβώτια**. Αυτοί ανιχνεύουν τα **κρουστικά κύματα** που προκαλεί μια προσπάθεια διάρρηξης – για παράδειγμα, χτυπήματα με σφυρί σε τοίχο ή τρυπάνι σε χρηματοκιβώτιο. Συχνά χρησιμοποιούνται σε χρηματοκιβώτια ή ATMs (αισθητήρες σεισμικοί). Για οικιακή χρήση, πιο κοινή είναι η χρήση μικρών κραδασμικών σε κουφώματα, για ανίχνευση προσπάθειας παραβίασης πριν καν σπάσει κάτι. Οι αισθητήρες αυτοί έχουν συνήθως μια ρύθμιση ευαισθησίας και συχνά ένα πολύχρωμο LED ένδειξης που δείχνει μικρές ή μεγάλες επιθέσεις (ώστε ο τεχνικός να ρυθμίσει κατάλληλα). Παράδειγμα αποτελεί ο ανιχνευτής κραδασμών Crow GBD ή ο Siemens EKD. Πρέπει να τοποθετούνται σφικτά στην επιφάνεια, διότι αν δεν συνδεθούν καλά μηχανικά, δεν θα “νιώσουν” τους κραδασμούς.

Άλλοι αισθητήρες: Υπάρχουν και άλλες ειδικές διατάξεις, όπως οι **υπερηχητικοί ανιχνευτές** που λειτουργούν με εκπομπή ηχητικών κυμάτων υψηλής συχνότητας (20–40 kHz) και ανίχνευση Doppler παρόμοια με τους μικροκυματικούς. Αυτοί είχαν χρησιμοποιηθεί παλαιότερα σε εσωτερικούς χώρους, αλλά εμφάνιζαν πολλά προβλήματα (ευαισθησία σε θόρυβο, σε ρεύματα αέρα, καθώς και σε κατοικίδια που μπορούν να τα ακούσουν). Σήμερα σπάνια χρησιμοποιούνται μόνοι τους. Επίσης, **αισθητήρες υπέρυθρου φράκτη εσωτερικού χώρου** (active IR για εσωτερικά ανοίγματα) μπορούν να θεωρηθούν ενδιάμεση κατηγορία – π.χ. κάποιες **μπάρες IR σε παράθυρα** λειτουργούν όπως οι εξωτερικές δέσμες αλλά για εσωτερική χρήση [56]. Τέλος, στο οικοσύστημα ενός συστήματος ασφαλείας μπορεί να υπάρχουν και **αισθητήρες περιβαλλοντικών κινδύνων** (πλημμύρας, διαρροής αερίου, καπνού), όμως αυτοί εντάσσονται σε επιπλέον υπηρεσίες (fire & safety) και όχι στην κλασική ανίχνευση εισβολέα.

3.11 Συνδεσμολογία και Προδιαγραφές Εγκατάστασης

Η σωστή συνδεσμολογία και μελέτη εγκατάστασης είναι κρίσιμη ώστε οι παραπάνω αισθητήρες να λειτουργούν αξιόπιστα. Στα **ενσύρματα συστήματα**, οι ζώνες συναγερμού είναι συνήθως κυκλώματα **κανονικά κλειστά (NC)** με **τερματικές αντιστάσεις EOL**. Κάθε αισθητήρας (ή ομάδα αισθητήρων σε σειρά) διατηρεί το κύκλωμα κλειστό και όταν ενεργοποιηθεί (ή αποσυνδεθεί/κοπεί) το κύκλωμα ανοίγει και ανιχνεύεται συναγερμός. Οι τερματικές αντιστάσεις (συνήθως 2.2kΩ ή 4.7kΩ) τοποθετούνται στο τελευταίο αισθητήριο της ζώνης ώστε η κεντρική μονάδα να εποπτεύει την ακεραιότητα της γραμμής (αν κοπεί το καλώδιο ή βραχυκυκλωθεί, αναγνωρίζεται ως tamper). Κάθε αισθητήρας διαθέτει και ένα ζεύγος επαφών tamper (διακοπτάκι στο καπάκι) ώστε αν κάποιος επιχειρήσει να παραβιάσει τον ίδιο τον αισθητήρα, να ανοίξει άμεσα

κύκλωμα (tamper alarm). Η καλωδίωση πρέπει να γίνεται με **καλώδιο συναγερμού** (συνήθως πολλαπλών αγωγών), και να τηρούνται οι αποστάσεις από καλώδια ρεύματος για αποφυγή ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών και ψευδών συναγερμών. Σε επαγγελματικές εγκαταστάσεις, οι διαδρομές καλωδίων μπορεί να είναι θωρακισμένες ή απομονωμένες από άλλα δίκτυα για μεγαλύτερη προστασία [55].

Στα **ασύρματα συστήματα**, κάθε αισθητήρας διαθέτει πομποδέκτη που επικοινωνεί με τον πίνακα (ή δέκτη) μέσω ραδιοσυχνοτήτων. Συνήθεις συχνότητες στην Ευρώπη είναι τα **433 MHz** ή **868 MHz** (σύμφωνα με ETSI). Οι σύγχρονοι ασύρματοι συναγερμοί χρησιμοποιούν **κρυπτογράφηση** σήματος και έλεγχο επίβλεψης (supervision polling) ανά τακτά διαστήματα για να διασφαλίζεται ότι ο αισθητήρας είναι ενεργός και λειτουργεί. Η εμβέλεια τους είναι τυπικά 50-100 μέτρα σε ανοιχτό πεδίο (λιγότερο εντός κτιρίου). Πλεονέκτημά τους είναι η εύκολη εγκατάσταση χωρίς καλώδια, όμως χρήζουν διαχείρισης μπαταριών και είναι ευάλωτοι σε **παρεμβολές RF** ή σε σκόπιμη προσπάθεια **jammer** (γι' αυτό τα ποιοτικά συστήματα περιλαμβάνουν ανίχνευση jam). Σημειώνεται ότι τα αξιόπιστα ασύρματα συστήματα συμμορφώνονται με το πρότυπο **EN 50131-5-3** (για μέσα μετάδοσης) και μπορούν να καλύψουν απαιτήσεις Grade 2.

Πρότυπα και πιστοποιήσεις: Στην Ευρώπη, τα συστήματα συναγερμού διέπονται από τη σειρά προτύπων **EN 50131**. Το μέρος EN 50131-1 καθορίζει γενικές απαιτήσεις και ταξινόμηση σε **Grade 1 έως 4** (1 = χαμηλότερη ασφάλεια, 4 = υψηλή ασφάλεια για κρίσιμες εγκαταστάσεις). Οι αισθητήρες που περιγράφηκαν συνήθως εμπίπτουν σε Grade 2 (κατοικίες, γραφεία) ή Grade 3 (επαγγελματικοί χώροι υψηλής αξίας). Επιμέρους πρότυπα αφορούν κάθε τύπο συσκευής: π.χ. **EN 50131-2-6** για μαγνητικές επαφές, **EN 50131-2-2** για PIR ανιχνευτές, **EN 50131-2-4** για συνδυαστικούς PIR+μικροκυμάτων, **EN 50131-2-7** για ανιχνευτές θραύσης κ.ο.κ. Αυτά καθορίζουν δοκιμές αντοχής, εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας, ανοχές κ.λπ. Σε άλλες χώρες, υπάρχουν αντίστοιχες προδιαγραφές UL (ΗΠΑ) – π.χ. το UL 639 αφορά ανιχνευτές κίνησης – που πρέπει να πληρούν οι συσκευές για να θεωρούνται αξιόπιστες.

Σημεία προσοχής στη μελέτη/εγκατάσταση: Η ολοκληρωμένη προστασία απαιτεί **συνδυασμό τεχνολογιών**. Οι μελετητές λαμβάνουν υπόψη τη διαρρύθμιση του χώρου και τα πιθανά σενάρια εισβολής. Μια κατοικία επωφελείται από περιμετρική κάλυψη (επαφές στα ανοίγματα, ανιχνευτές θραύσης σε μεγάλα τζάμια) για προστασία όταν οι ένοικοι είναι μέσα και το σύστημα οπλισμένο περιμετρικά, αλλά και εσωτερικούς ανιχνευτές κίνησης για όταν λείπουν όλοι. Σε εξωτερικό χώρο, αν υπάρχει περίφραξη ή αυλή, οι δέσμες ή οι εξωτερικοί ανιχνευτές μπορούν να δώσουν πρώιμη ειδοποίηση – όμως η εγκατάστασή τους απαιτεί **σωστή ζώνη κάλυψης** ώστε να μην “κοιτάζουν” σε δημόσιο δρόμο ή σε γειτονικό οικόπεδο (αποφυγή ξένων κινήσεων). Επιπλέον, όλες οι καλωδιώσεις αισθητήρων πρέπει να είναι **προστατευμένες** (εντός

σπιράλ ή αγωγών) και κρυμμένες ώστε να μην κοπούν εύκολα. Οι κεντρικές μονάδες σύγχρονων συστημάτων υποστηρίζουν και **προγραμματισμούς καθυστέρησης** ή επιλεκτικής όπλισης – π.χ. οι περιμετρικοί αισθητήρες σε λειτουργία “Stay” (νυχτερινή όπλιση) ενώ οι εσωτερικοί όχι [56].

Τελικά, ένα αποδοτικό σύστημα συναγερμού συνδυάζει μαγνητικές παγίδες στις εισόδους, ανιχνευτές κίνησης στους εσωτερικούς χώρους, ειδικούς αισθητήρες για τζάμια όπου χρειάζεται, και περιμετρική ανίχνευση εξωτερικά αν το απαιτεί η ασφάλεια του χώρου. Με τον κατάλληλο σχεδιασμό και εγκατάσταση σύμφωνα με τα πρότυπα, τα σύγχρονα συστήματα μπορούν να επιτύχουν υψηλή αξιοπιστία και ελάχιστους ψευδείς συναγερμούς, προστατεύοντας αποτελεσματικά τόσο κατοικίες όσο και επαγγελματικούς χώρους.

3.12 Νομοθεσία, Πρότυπα και Πιστοποιήσεις

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να τονιστεί και ο ρόλος των κανονισμών που διέπουν τόσο τη σχεδίαση όσο και την εγκατάσταση και συντήρηση των συστημάτων πυρανίχνευσης. Στην Ευρώπη, τα **EN 54 standards** αποτελούν σημαντικό πλαίσιο (π.χ. EN 54-2 για τους πίνακες ελέγχου, EN 54-5 για τους ανιχνευτές θερμότητας, EN 54-7 για τους ανιχνευτές καπνού κ.λπ.). Παράλληλα, υπάρχουν βρετανικά και διεθνή πρότυπα, όπως **BS 5839-1** ή και το αμερικανικό NFPA 72. Στην Ελλάδα, ισχύουν Προεδρικά Διατάγματα (π.χ. Π.Δ. 71/1988, Π.Δ. 3/1981) που ορίζουν τις ελάχιστες απαιτήσεις εγκατάστασης σε διάφορες χρήσεις κτιρίων (π.χ. ξενοδοχειακά, βιομηχανικά, χώροι συνάθροισης κοινού) [39].

Μελέτη Εγκατάστασης

Μια σωστή μελέτη (μελέτη πυρασφάλειας) δεν αφορά μονάχα τη επιλογή των συστημάτων ανίχνευσης· πρέπει να λαμβάνει υπόψη την επικινδυνότητα του χώρου (π.χ. κατηγορίες κινδύνου, είδος υλικών, μέγεθος κτιρίου), τους νόμους και τα πρότυπα που πρέπει να καλυφθούν. Δίνεται συχνά έμφαση στο ότι ο πίνακας πρέπει να είναι σε εύκολα προσβάσιμο σημείο και σε τι αποστάσεις πρέπει να τοποθετούνται οι ανιχνευτές [7].

Δοκιμές και Συντήρηση

Η τακτική επιθεώρηση του συστήματος (π.χ. μία φορά το εξάμηνο ή το έτος) διασφαλίζει ότι δεν έχουν φράξει οι ανιχνευτές από σκόνη, ότι οι μπαταρίες του πίνακα είναι λειτουργικές και ότι οι σειρήνες ή οι φάροι δεν εμφανίζουν βλάβες. Βάσει των προτύπων, υπάρχουν συγκεκριμένες διαδικασίες δοκιμής (ελεγχόμενη διοχέτευση καπνού στον ανιχνευτή, δειγματοληπτικός έλεγχος θερμικών αισθητήρων κ.ο.κ.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Σχεδίαση και Μεθοδολογίες Συστήματος

Η παρούσα ενότητα επικεντρώνεται στον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται, αναπτύσσονται και αξιολογούνται συστήματα συναγερμού και πυρανίχνευσης, καθώς και στα πρωτόκολλα ασφάλειας που συνδέονται με την ολοκληρωμένη διαχείριση κινδύνου. Με σκοπό να προσφέρουμε μια εμπειριστατωμένη εικόνα, το κείμενο αυτό αναλύει τη διαδικασία σχεδιασμού ενός τέτοιου συστήματος, θέτει τις βάσεις για τη μοντελοποίηση και την προσομοίωσή του, ενώ παράλληλα πραγματεύεται τα βήματα για τη διενέργεια αξιολόγησης κινδύνου και την εφαρμογή πρωτοκόλλων πυρασφάλειας σε κατοικίες και λοιπές κτιριακές εγκαταστάσεις [3].

Αντικείμενο αυτής της ανάλυσης αποτελεί η ενσωμάτωση του συστήματος πυρανίχνευσης σε διάφορα είδη κτιρίων, η επισκόπηση των βασικών μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται από μελετητές και εγκαταστάτες, οι κρίσιμες παράμετροι που χρειάζεται να λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό, καθώς και οι διαδικασίες εκκένωσης και οι αρμοδιότητες που αποδίδονται στο προσωπικό ή τους ενοίκους. Το κεφάλαιο προσφέρει όχι μόνο τεχνικές κατευθύνσεις αλλά και ένα θεμέλιο για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του συστήματος, θέτοντας τις βάσεις για μια ασφαλή και βιώσιμη εφαρμογή του στον πραγματικό κόσμο [3].

4.1 Σχεδιασμός Συστήματος Συναγερμού και Πυρανίχνευσης

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος πυρανίχνευσης αποτελεί μια πολυπαραγοντική διαδικασία η οποία πρέπει να ανταποκρίνεται τόσο στα πρότυπα ασφάλειας όσο και στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κτιρίου ή της κατοικίας. Στο πλαίσιο αυτό, οι επιλογές που σχετίζονται με τον τύπο του συστήματος, τη χωροταξική τοποθέτηση των συσκευών ανίχνευσης (ανιχνευτές, κομβία συναγερμού, σειρήνες, φαροί) και τη μέθοδο καλωδίωσης παίζουν κομβικό ρόλο για την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία της εγκατάστασης.

4.2 Διαδικασία Σχεδιασμού

1. Ανάλυση αναγκών και στόχων

Το αρχικό βήμα κάθε μελέτης πυρανίχνευσης περιλαμβάνει την καταγραφή των αναγκών του χώρου και τη θέσπιση των στόχων που πρέπει να καλύψει το σύστημα. Για παράδειγμα, σε μια απλή κατοικία, στόχος μπορεί να είναι ο άμεσος εντοπισμός καπνού, ενώ σε ένα μεγάλο ξενοδοχείο η ανάγκη επεκτείνεται στην ταχεία διάγνωση οποιασδήποτε εστίας φωτιάς, στην άμεση ενεργοποίηση συναγερμού και, ενδεχομένως, στην ενεργοποίηση ειδικών συστημάτων κατάσβεσης [10].

2. Αξιολόγηση των δομικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών του κτιρίου

Η διαμόρφωση του εσωτερικού (δωμάτια, διάδρομοι, χώρος υποδοχής, κλιμακοστάσια), οι επικίνδυνοι χώροι (π.χ. λεβητοστάσιο ή χώροι αποθήκευσης καυσίμων) και οι χωροταξικές απαιτήσεις επηρεάζουν άμεσα τον τρόπο που θα αναπτυχθεί το σχέδιο πυρανίχνευσης. Ιδίως σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις, κρίνεται απαραίτητο να διασφαλιστεί η δημιουργία ζωνών ελέγχου για να περιοριστεί η πιθανή εξάπλωση της φωτιάς και να δοθεί έγκαιρη ειδοποίηση [2].

3. Επιλογή τύπου συστήματος

Τα συστήματα πυρανίχνευσης συνήθως διαχωρίζονται σε συμβατικά (ζωνικά) και διευθυνσιοδοτούμενα. Στα πρώτα, η προστατευόμενη επιφάνεια χωρίζεται σε ζώνες, χωρίς δυνατότητα ακριβούς προσδιορισμού του σημείου συναγερμού, ενώ στα δεύτερα κάθε ανιχνευτής διαθέτει μοναδική «διεύθυνση». Η επιλογή εξαρτάται από το μέγεθος του κτιρίου, τον προϋπολογισμό και τις απαιτήσεις ακρίβειας. Για μια κατοικία ή μικρό κτίριο μπορεί να επαρκέσει ένα συμβατικό σύστημα, ενώ για μεγάλες εγκαταστάσεις (ξενοδοχεία, εμπορικά κέντρα) τα διευθυνσιοδοτούμενα προσφέρουν δυνατότητα εντοπισμού του ακριβούς σημείου πυρκαγιάς [14].

4. Υπολογισμός φορτίου καύσιμης ύλης

Κάθε κτίριο διαθέτει ένα συγκεκριμένο «φορτίο πυρασφάλειας», δηλαδή την ποσότητα και τον τύπο των υλικών που θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην εξάπλωση της φωτιάς. Η αξιολόγηση του φορτίου αυτού επηρεάζει το είδος ανιχνευτών που θα τοποθετηθούν. Σε χώρους με αυξημένη πιθανότητα εκπομπής καπνού (όπως κουζίνες ή αποθήκες χαρτικών), μπορούν να επιλεγούν θερμικοί ή ειδικοί ανιχνευτές. Σε χώρους όπου απαιτείται άμεσος εντοπισμός «ορατού» καπνού (π.χ. δωμάτια ξενοδοχείων), προτιμώνται οπτικοί ανιχνευτές καπνού [11].

5. Σχεδίαση οδεύσεων καλωδιώσεων

Η επιλογή καλωδίωσης και η χωροθέτησή της επιδρά σημαντικά στη λειτουργικότητα. Συνήθως ακολουθούνται τα Ευρωπαϊκά πρότυπα για καλώδια ανθεκτικά στη φωτιά, ώστε να μην υπάρχει βλάβη του συστήματος όταν ξεσπά πυρκαγιά. Οι καλωδιώσεις φέρονται σε χωριστούς αγωγούς από άλλα ηλεκτρικά δίκτυα, ώστε να μη διακόπτεται η λειτουργία σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις, τα διευθυνσιοδοτούμενα συστήματα χρησιμοποιούν βρόχους με απομονωτές βραχυκυκλώματος ανά τακτά τμήματα, για να διασφαλίζεται ότι ένα πιθανό σφάλμα σε κάποιο σημείο δε θα επηρεάζει την υπόλοιπη εγκατάσταση [3].

6. Καθορισμός ζωνών πυρανίχνευσης

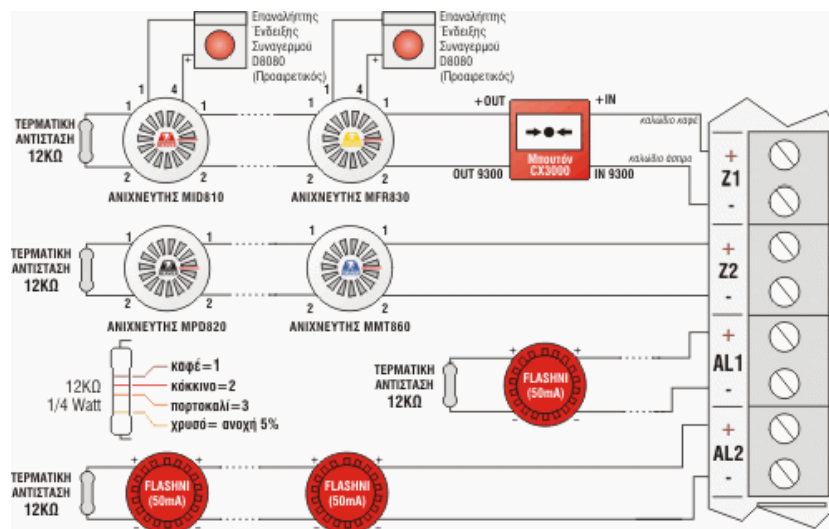
Βάσει του κανονισμού πυροπροστασίας, ένα κτίριο μπορεί να διαιρεθεί σε ζώνες, ώστε ο εντοπισμός πιθανής εστίας φωτιάς να γίνεται αποτελεσματικότερα. Σε κάθε ζώνη εγκαθίστανται κατάλληλοι ανιχνευτές και μπουτόν συναγερμού, λαμβάνοντας υπόψη αποστάσεις και χωροταξικά κριτήρια. Ο διαχωρισμός σε ζώνες διαφοροποιείται ανάλογα με τη διαρρύθμιση του χώρου, τον αριθμό των ορόφων και τις απαιτήσεις εκκένωσης [7].

7. Τελική μελέτη και έλεγχος συμμόρφωσης

Αφού οριστικοποιηθεί η όδευση των καλωδίων, η κατανομή των ανιχνευτών, η επιλογή πίνακα πυρανίχνευσης και των σειρήνων ή φάρων, πραγματοποιείται τελικός έλεγχος για να επιβεβαιωθεί ότι όλες οι διατάξεις συμμορφώνονται με τον κανονισμό πυροπροστασίας. Εκδίδεται μελέτη πυρασφάλειας, όπου περιγράφονται οι θέσεις των ανιχνευτών, ο τρόπος λειτουργίας του συναγερμού και τυχόν επιπλέον συστήματα (π.χ. πυρόσβεσης). Η μελέτη αυτή υπόκειται σε έγκριση από αρμόδια υπηρεσία (συχνά την Πυροσβεστική), πριν εκδοθεί πιστοποιητικό πυροπροστασίας [3].

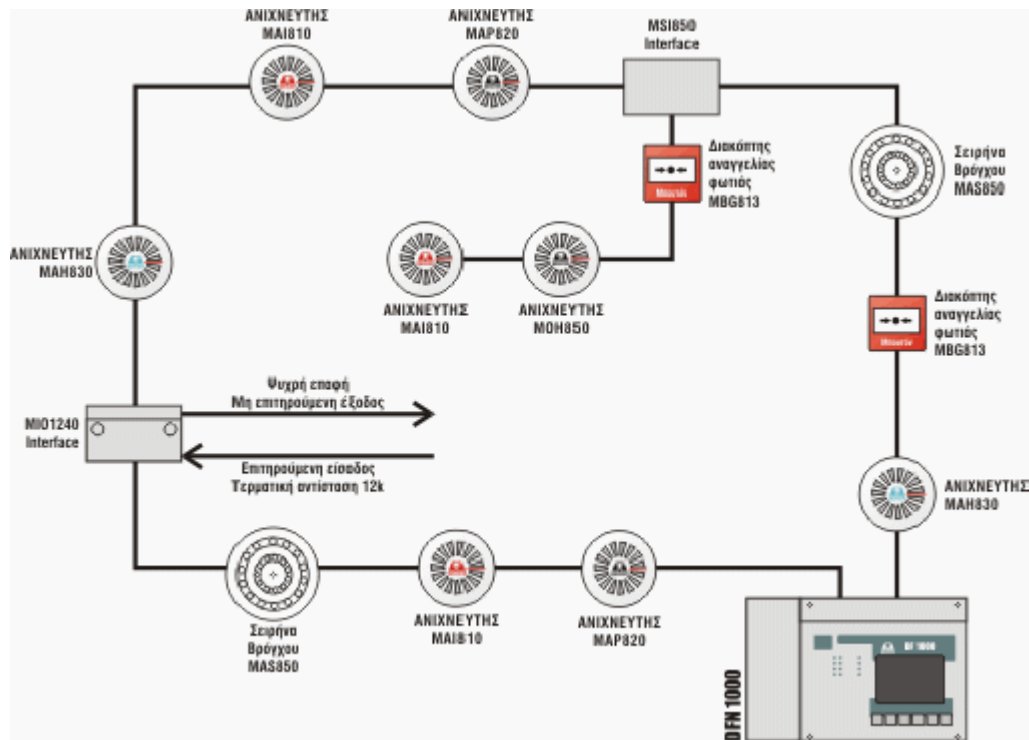
4.3 Επιλογή Τύπου Συστήματος

- **Συμβατικό (Ζωνικό) Σύστημα:** Η προσέγγιση αυτή ορίζει «ζώνες» στις οποίες ανήκουν ανιχνευτές και μπουτόν πυρανίχνευσης. Σε περίπτωση ενεργοποίησης, ο κεντρικός πίνακας επισημαίνει την αντίστοιχη ζώνη, όμως δεν υποδεικνύει με ακρίβεια την τοποθεσία του ενεργοποιημένου ανιχνευτή. Είναι απλούστερη και οικονομικότερη επιλογή, συνήθως κατάλληλη για μικρές εγκαταστάσεις (οικίες, μικρά καταστήματα, γραφεία) [13].



Εικόνα 4.1: Συμβατικό Σύστημα

- **Διευθυνσιοδοτούμενο Σύστημα:** Σε αυτό το σύστημα κάθε ανιχνευτής ή μπουτόν έχει ξεχωριστή ψηφιακή διεύθυνση, γεγονός που επιτρέπει στον πίνακα πυρανίχνευσης να αναγνωρίζει ακριβώς ποια συσκευή ενεργοποιήθηκε. Έτσι, σε μια μεγάλη εγκατάσταση, ο εντοπισμός της πυρκαγιάς γίνεται άμεσα και με ακρίβεια, χωρίς να ψάχνουμε ποιο σημείο στη ζώνη έχει πρόβλημα. Το κόστος όμως είναι υψηλότερο, και η πολυπλοκότητα εγκατάστασης απαιτεί εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό.



Εικόνα 4.2: Διευθυνσιοδοτούμενο Σύστημα

- **Ασύρματο Σύστημα:** Αν και λιγότερο συνηθισμένο στους μεγάλους χώρους, το ασύρματο σύστημα προβάλλει ως εναλλακτική όταν δεν είναι εφικτή η εγκατάσταση καλωδίων. Πρέπει να ελέγχεται η αξιοπιστία της ραδιοσυχνότητας και η επάρκεια τροφοδοσίας, καθώς και η πιστοποίηση των χρησιμοποιούμενων ασύρματων διατάξεων [17].

4.4 Ενσωμάτωση σε Τυπικές Οικίες ή Κτίρια

1. Οικίες

Η πυρανίχνευση σε κατοικίες συνήθως περιλαμβάνει ανιχνευτές καπνού/θερμότητας σε κουζίνα και κοινόχρηστους χώρους, χειροκίνητα κομβία (αν απαιτείται από τη νομοθεσία ή για πρόσθετη ασφάλεια) και μικρό πίνακα ελέγχου. Το μέγεθος του σπιτιού καθορίζει τις ανάγκες εγκατάστασης, αλλά στις πλείστες περιπτώσεις αρκεί ένα μικρό συμβατικό σύστημα καπνού, ή ακόμα και αυτόνομοι ανιχνευτές, κυρίως όταν μιλάμε για μονοκατοικίες.

2. Ξενοδοχεία και επαγγελματικές εγκαταστάσεις

Σε μεγάλα ξενοδοχεία ή κτίρια γραφείων, συναντάμε πολυεπίπεδες εγκαταστάσεις. Εκεί, η ανάγκη για συστήματα διευθυνσιοδοτούμενα κρίνεται συνήθως επιτακτική, διότι το κτίριο χωρίζεται σε πολλαπλές ζώνες με πολλούς ανιχνευτές. Προστίθενται επίσης χειροκίνητοι αναγγελτήρες σε κλιμακοστάσια και κοινόχρηστους χώρους, ώστε να πραγματοποιείται ταχύτατη ειδοποίηση από ανθρώπινη παρέμβαση, αν η φωτιά γίνει αντιληπτή άμεσα [19].

3. Κτιριακές εγκαταστάσεις ειδικού σκοπού

Σε βιομηχανίες ή αποθήκες, δίνεται έμφαση σε εξειδικευμένα μέσα ανίχνευσης, όπως ανιχνευτές φλόγας ή αναλυτές αερίων, ιδιαίτερα αν υπάρχουν καύσιμα, χημικές ουσίες ή αυξημένο θερμικό φορτίο. Η χωροθέτηση του συστήματος εστιάζει σε σημεία κρίσιμα για την παραγωγική διαδικασία, αλλά και σε εξόδους κινδύνου [12].

4.5 Μοντελοποίηση του Συστήματος

Η μοντελοποίηση του συστήματος πυρανίχνευσης αποτελεί μια διαδικασία που αποσκοπεί τόσο στην επαλήθευση της λειτουργικότητας όσο και στον βέλτιστο σχεδιασμό του. Χωρίς μια στοιχειοθετημένη μελέτη ή προσομοίωση της συμπεριφοράς του συστήματος σε διάφορα σενάρια φωτιάς, αυξάνεται ο κίνδυνος κακοσχεδιασμού, κενών ασφάλειας ή υπερκοστολόγησης [21].

Σχεδίαση και Προσομοίωση

1. Προσδιορισμός απαιτήσεων και συνθηκών λειτουργίας

Κατ' αρχάς, η ομάδα σχεδιασμού καθορίζει τις προδιαγραφές του συστήματος, όπως:

- Τον τύπο αισθητήρων (καπνού, θερμότητας, φλόγας).
- Τις ελάχιστες ταχύτητες απόκρισης.
- Την επιθυμητή κάλυψη ανά χώρο.
- Την εφεδρική τροφοδοσία (μπαταρίες ή γεννήτριες).

Στη συνέχεια, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού, μπορεί να γίνει προσομοίωση για την «κάλυψη» των ανιχνευτών σε διάφορα σημεία, για να βρεθούν τα κενά ανίχνευσης. Ειδικά προγράμματα μπορούν να απεικονίσουν τη διάδοση του καπνού ή της θερμότητας σε κλειστούς χώρους, ώστε να επιβεβαιωθεί ότι ο ανιχνευτής «βλέπει» τη φωτιά στον επιθυμητό χρόνο [33].

2. Κατανομή αισθητήρων και σχεδιασμός ζωνών

Σε αυτή τη φάση, βασιζόμαστε σε δεδομένα για το ύψος ορόφων, τη ροή αέρα, τις κλιματολογικές συνθήκες και την επιφάνεια των χώρων. Για

παράδειγμα, αν μια αίθουσα διαθέτει υπερβολικά ψηλό ταβάνι, ίσως χρειάζεται ειδική μέθοδος πυρανίχνευσης όπως ανιχνευτές δέσμης (beam detectors).

3. Προσδιορισμός σεναρίων πυρκαγιάς και δοκιμή

Η μοντελοποίηση περιλαμβάνει συνήθως διαφορετικές συνθήκες ανάφλεξης (π.χ. φωτιά σε σκουπίδια, βραχυκύκλωμα σε ηλεκτρικό πίνακα, διαρροή καυσίμου). Το λογισμικό συνυπολογίζει τον ρυθμό ανάπτυξης της φωτιάς, τη θερμική φόρτιση και την ποσότητα καπνού. Στη συνέχεια, εξετάζεται ο χρόνος αντίδρασης του συστήματος στο κάθε σενάριο για να επαληθευτεί αν ο συναγερμός ενεργοποιείται έγκαιρα [29].

4. Μελέτη καλωδίωσης σε ψηφιακό περιβάλλον

Η ψηφιακή απεικόνιση του κτιρίου βοηθά στη βέλτιστη επιλογή διαδρομής καλωδίων ώστε να μειωθούν οι πιθανότητες βλάβης κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς. Γίνεται προσομοίωση πυροδιαμερισματοποίησης, όπου τα διάφορα τμήματα του κτιρίου απομονώνονται μεταξύ τους. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να διαπιστωθούν «αδύνατα» σημεία, όπως διέλευση καλωδίων μέσα από χώρους με υψηλό κίνδυνο.

5. Προσομοίωση ενεργειών συναγερμού και εκκένωσης

Πέρα από τον εντοπισμό της εστίας φωτιάς, είναι κρίσιμο να μοντελοποιείται η ακολουθία ενεργειών συναγερμού: πότε ακριβώς και με ποια σειρά κλιμακώνεται η ειδοποίηση (σειρήνες, φάροι), αν υπάρχει σύνδεση με την Πυροσβεστική ή εξωτερικά κέντρα λήψης σημάτων, πώς κλείνουν (αν χρειαστεί) πυροφραγμοί σε συγκεκριμένους αεραγωγούς. Συγχρόνως, η μοντελοποίηση των οδεύσεων διαφυγής συνδέεται στενά με τις θέσεις των ανιχνευτών και την ανταπόκρισή τους, ώστε ο χρόνος διαφυγής των ενοίκων να είναι επαρκής [46].

4.6 Εργαλεία Λογισμικού και Υπολογιστικές Προσεγγίσεις

Πολλές από τις διαδικασίες προσομοίωσης μπορούν να εκτελεστούν με ειδικά λογισμικά πυρανίχνευσης, τα οποία είναι σχεδιασμένα να υποστηρίζουν τόσο υπολογιστικά μοντέλα ροής καπνού (CFD – Computational Fluid Dynamics) όσο και μοντέλα εκτίμησης χρόνου αλληλεπίδρασης φλόγας και δομικών υλικών.

- **CFD (Computational Fluid Dynamics):** Χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την κίνηση του καπνού και τη θερμοκρασία σε διάφορα σημεία ενός κλειστού χώρου. Στον σχεδιασμό πυρανίχνευσης, αξιοποιούνται αυτά τα δεδομένα για να καθοριστούν οι κατάλληλες θέσεις εγκατάστασης ανιχνευτών [37].

- **Monte Carlo Simulation:** Εφαρμόζεται για την εκτίμηση της πιθανότητας απόκρισης του συστήματος μέσα σε έναν δεδομένο χρόνο, λαμβάνοντας υπόψη τυχαίες μεταβλητές. Έτσι, μπορούμε να μελετήσουμε διάφορες τυχαίες παράμετρους, όπως καθυστερήσεις λόγω βλάβης ενός ανιχνευτή ή καθυστέρηση λόγω χαμηλού φορτίου μπαταριών.
- **Εκτίμηση Αξιοπιστίας:** Η διαθεσιμότητα του συστήματος συναγερμού εξαρτάται από τον αριθμό των εφεδρικών στοιχείων του (μπαταρίες, τροφοδοτικά, απομονωτές βραχυκυκλώματος) και τις βλάβες που είναι πιθανόν να υποστούν. Εφαρμόζονται μαθηματικά μοντέλα (π.χ. θεωρία Markov) για να υπολογιστεί ο χρόνος μέχρι κάποια αδυναμία λειτουργίας [4].

4.7 Αξιολόγηση Κινδύνου και Πρωτόκολλα Πυρασφάλειας

Η αξιολόγηση κινδύνου αφορά την αναγνώριση όλων των πιθανών αιτίων πυρκαγιάς και τη συσχέτισή τους με τα δομικά στοιχεία του κτιρίου, τα υλικά καυσίμου φορτίου αλλά και τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Στο πλαίσιο αυτής της διαδικασίας διαμορφώνονται πρωτόκολλα αντίδρασης, ενώ συντάσσονται επίσης σχέδια εκκένωσης προσαρμοσμένα στις ιδιαιτερότητες του εκάστοτε χώρου [29].

Αξιολόγηση Κινδύνου (Risk Assessment)

1. Καταγραφή Εστιών Κινδύνου

Οι κύριες εστίες έναρξης φωτιάς εντοπίζονται κυρίως σε χώρους λεβητοστασίου, κουζίνας (μαγειρικά λάδια, υγραέριο), χώροι με ηλεκτρικούς πίνακες ή μηχανήματα (υπερθέρμανση), εργαστήρια συντήρησης (σπινθήρες, χημικές ουσίες). Στην περίπτωση οικιών, οι κίνδυνοι προέρχονται συχνά από γυμνές φλόγες (κεριά), ελαττωματικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, θερμάστρες πετρελαίου ή άλλους παράγοντες[2].

2. Εκτίμηση πιθανότητας και έντασης κινδύνου

Για κάθε εστία, εκτιμάται η πιθανότητα εμφάνισής της, καθώς και η ένταση (δηλ. η δυναμική ανάπτυξης της φωτιάς). Η εκτίμηση αυτή μπορεί να βασιστεί σε ιστορικά στατιστικά δεδομένα ή σε κανονισμούς που αφορούν κτίρια ανάλογης λειτουργίας (π.χ. ξενοδοχεία, εμπορικά κέντρα) [15].

3. Κατηγοριοποίηση κινδύνου και κριτήρια ταξινόμησης

Κατόπιν της ανάλυσης, οι εστίες κατατάσσονται από πλευράς βαρύτητας και ταχύτητας εξάπλωσης. Εξετάζονται θέματα όπως:

- Εάν η καύσιμη ύλη είναι στερεή, υγρή ή αέρια.

- Εάν υπάρχει υψηλός κίνδυνος ανάφλεξης μετάλλων (π.χ. αλουμίνιο, μαγνήσιο).
- Εάν υπάρχουν επικίνδυνες χημικές ουσίες [40].

4. Σύνδεση με το Σχέδιο Πυροπροστασίας

Η μελέτη κινδύνου, μαζί με το τελικό σχέδιο πυροπροστασίας, καθορίζουν πόσο ενισχυμένη πρέπει να είναι η μόνιμη εγκατάσταση κατάσβεσης (π.χ. πυροσβεστικές φωλιές, αυτόματο σπρίνκλερ, ειδικά αέρια κατάσβεσης). Περαιτέρω, επηρεάζουν τη χωροθέτηση του εξοπλισμού, όπως πυραυλιχνευτές, φορητούς πυροσβεστήρες και πυράντοχες πόρτες[34].

5. Πολιτικές συντήρησης και ελέγχου

Στην αξιολόγηση κινδύνου περιλαμβάνεται και η δέσμευση για τακτικούς ελέγχους του συστήματος. Για παράδειγμα, υπολογίζονται πόσο συχνά πρέπει να επιθεωρούνται μπαταρίες, πίνακες ελέγχου, ανιχνευτές και κινητά ή μόνιμα μέσα πυρόσβεσης [7].

4.8 Συστήματα Αντίδρασης σε Περίπτωση Συναγερμού

1. Κεντρικός Πίνακας Ελέγχου

Ο πίνακας λαμβάνει τα σήματα από τους ανιχνευτές. Με το που καταγράφεται ένα σήμα φωτιάς, ενεργοποιούνται τα οπτικοακουστικά μέσα συναγερμού (σειρήνες, φαροί). Σε προχωρημένα συστήματα, αποστέλλεται αυτόματα μήνυμα στην Πυροσβεστική Υπηρεσία ή σε ιδιωτικό κέντρο λήψης σημάτων. Ο κεντρικός πίνακας επιτρέπει στον χειριστή να ελέγχει ζώνες, να θέτει σε αδράνεια ορισμένες από αυτές, να εκτελεί δοκιμές ή να επανέλθει σε ηρεμία (reset) μετά από λανθασμένη ενεργοποίηση [9].

2. Συστήματα Μόνιμης Πυρόσβεσης

Σε μεγάλα κτίρια συχνά υπάρχουν δίκτυα πυρόσβεσης με νερό ή αφρό, μόνιμες φωλιές (παροχή νερού για πυροσβεστικούς σωλήνες), καθώς και αυτόματα sprinkler. Σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις ή σε χώρους με ευαίσθητο εξοπλισμό, χρησιμοποιούνται αδρανή αέρια ή διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Μόλις το σύστημα συναγερμού διαγνώσει φωτιά, μπορεί να πυροδοτήσει αυτόματα την κατάσβεση στους κρίσιμους χώρους [9].

3. Διαδικασίες Εκκένωσης

Η αντίδραση του κοινού εξαρτάται από σαφείς οδηγίες εκκένωσης, σήμανση οδεύσεων διαφυγής και επαρκή φωτισμό ασφαλείας. Κάθε

κτίριο, ειδικά αν πρόκειται για ξενοδοχειακή εγκατάσταση, οφείλει να έχει αναρτημένες οδηγίες για το πώς οι διαμένοντες θα εξέλθουν με ασφάλεια, ποια κλιμακοστάσια πρέπει να χρησιμοποιήσουν και ποιο είναι το σημείο συγκέντρωσης έξω από το κτίριο. Τα συστήματα συναγερμού οφείλουν να είναι διαμορφωμένα έτσι ώστε οι σειρήνες, τα κουδούνια ή οι φάροι να γίνονται αντιληπτά σε κάθε δωμάτιο ανεξάρτητα από το μέγεθος του χώρου [50].

4. Πρωτόκολλα συντονισμού με την Πυροσβεστική

Σε πολλές περιπτώσεις, ένα σύστημα πυρανίχνευσης συνδέεται τηλεφωνικά ή μέσω αυτόματου μεταδότη με τις αρμόδιες αρχές, ώστε μέσα σε λίγα λεπτά να ειδοποιηθεί η Πυροσβεστική. Τα πρωτόκολλα καθορίζουν ποιος θα επικοινωνήσει πρώτος, πότε και πώς θα επιβεβαιωθεί η φωτιά. Παράλληλα, στο διάστημα μέχρι την άφιξη των δυνάμεων πυρόσβεσης, το προσωπικό ή/και το κοινό εφαρμόζουν τις οδηγίες εκκένωσης [22].

5. Εκπαίδευση Προσωπικού

Ιδιαίτερα στα ξενοδοχεία ή στα δημόσια κτίρια, προβλέπεται να υπάρχει εκπαιδευμένο προσωπικό πυρασφάλειας που γνωρίζει πώς να χειριστεί τους πυροσβεστήρες, να βοηθήσει σε εκκένωση (π.χ. ηλικιωμένους ή άτομα με αναπηρία) και να διατηρήσει την ψυχραιμία του κοινού. Η εκπαίδευση αυτή περιλαμβάνει χειρισμό φορητών πυροσβεστήρων, ενεργοποίηση χειροκίνητου συναγερμού, απομόνωση ηλεκτρικών παροχών κ.λπ [7].

4.9 Μοντελοποίηση Εκκένωσης

1. Προσδιορισμός πληθυσμού και σεναρίων εκκένωσης

Το μοντέλο εκκένωσης ξεκινά με την εκτίμηση του αριθμού ατόμων στους διάφορους χώρους του κτιρίου. Σημαντικό ρόλο παίζει η ταξινόμηση σε σταθερό ή μεταβαλλόμενο πληθυσμό. Στα ξενοδοχεία, για παράδειγμα, ο πληθυσμός συγκεντρώνεται σε δωμάτια, εστιατόρια ή αίθουσες εκδηλώσεων. Το σενάριο εκκένωσης ορίζει πώς θα κινηθούν οι άνθρωποι προς τις εξόδους όταν ηχεί ο συναγερμός [17].

2. Διαθεσιμότητα εξόδων και χωρητικότητα οδεύσεων

Εκτιμάται πόσες εξόδους έχει το κτίριο, ποιο είναι το συνολικό ωφέλιμο πλάτος τους, πόσα άτομα ανά μονάδα πλάτους μπορούν να περάσουν, αλλά και το αν υπάρχουν πρόσθετα κλιμακοστάσια ή διαφυγές. Συγκρίνονται αυτοί οι υπολογισμοί με τους τυπικούς κανονισμούς πυρασφάλειας (π.χ. επιτρεπόμενα μήκη αδιεξόδων, αναλογία ατόμων ανά μοίρα πλάτους κλιμακοστασίου) [39].

3. Υπολογισμός χρόνου εκκένωσης

Ο υπολογισμός του συνολικού χρόνου βασίζεται στο πόσο άμεσα ξεκινά η διαδικασία εκκένωσης μετά τον συναγερμό (χρόνος αντίδρασης), στο πόσο γρήγορα κινητοποιείται ο κόσμος (χρόνος προετοιμασίας) και πόσο διαρκεί η διαδρομή μέχρι την έξοδο (χρόνος μετακίνησης). Μέσα από προσομοιώσεις, εντοπίζονται τα σημεία όπου μπορεί να προκύψουν συμφόρηση ή μπλοκάρισμα (bottlenecks), οδηγώντας σε καθυστέρηση [50].

4. Διαδικασίες ασφάλισης χώρων και απομόνωσης της φωτιάς

Ανάλογα με τη σχεδίαση, μπορεί να υφίστανται πόρτες πυροπροστασίας που κλείνουν αυτόματα σε περίπτωση συναγερμού, κατακόρυφοι άξονες (φρεάτια ανελκυστήρων, φωταγωγοί) που διαθέτουν ειδικά κλεισίματα προκειμένου να αποτρέψουν εξάπλωση της φωτιάς από τον έναν όροφο στον άλλο. Μοντελοποιείται η επίδραση αυτών των αυτομάτων διαδικασιών στο χρονοδιάγραμμα εκκένωσης [34].

5. Υλοποίηση δοκιμαστικών ασκήσεων

Εκτός από τη θεωρητική μοντελοποίηση, μια ολοκληρωμένη διαχείριση πυρασφάλειας περιλαμβάνει και ρεαλιστικές ασκήσεις εκκένωσης. Αυτές επιβεβαιώνουν τα συμπεράσματα της θεωρητικής προσέγγισης, δοκιμάζουν την ετοιμότητα του προσωπικού και επιτρέπουν τον εντοπισμό προβλημάτων που δεν είναι πάντα εμφανή στη φάση σχεδιασμού (π.χ. κλειδωμένες πόρτες, δυσκολία κίνησης σε σκάλες κ.λπ.) [20].

Συμπεράσματα Κεφαλαίου

Το παρόν κεφάλαιο περιγράφει τη συνολική διαδικασία σχεδίασης ενός συστήματος συναγερμού και πυρανίχνευσης, τη μοντελοποίησή του σε ψηφιακό περιβάλλον και την αξιολόγηση κινδύνου που είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική πυροπροστασία ενός κτιρίου ή κατοικίας. Συνοψίζοντας, για να υπάρξει ένα επαρκές επίπεδο ασφάλειας, πρέπει να γίνει:

1. **Διερεύνηση των αναγκών:** Προσδιορισμός των στόχων του συστήματος σε σχέση με τις ιδιαιτερότητες του κτιρίου.
2. **Επιλογή κατάλληλης τεχνολογίας:** Συμβατικό ή διευθυνσιοδοτούμενο σύστημα, είδη ανιχνευτών, διάταξη καλωδίων.
3. **Κάλυψη νομοθετικών και τεχνικών απαιτήσεων:** Προκειμένου να εκδοθεί η σχετική άδεια πυροπροστασίας, απαιτείται συμμόρφωση με τους ισχύοντες κανονισμούς.

4. **Μοντελοποίηση και προσομοίωση:** Διασφάλιση ότι το σύστημα ανταποκρίνεται στα διάφορα σενάρια φωτιάς και καλύπτει επαρκώς τους χώρους.
5. **Εκτίμηση κινδύνου και διαχείρισή του:** Περιλαμβάνονται η αναγνώριση των εστιών ανάφλεξης, η ορθή ταξινόμηση πυρκαγιών, ο σχεδιασμός μόνιμης ή κινητής κατάσβεσης και οι λεπτομέρειες των πρωτοκόλλων επέμβασης.
6. **Ανάπτυξη σχεδίου εκκένωσης:** Καθορισμός διαδικασιών και ρόλων σε περίπτωση συμβάντος, έμφαση στις εξόδους κινδύνου και στη χρονική αλληλουχία ενεργειών.
7. **Συντήρηση και επαναληπτικοί έλεγχοι:** Διασφάλιση ότι όλες οι συσκευές παραμένουν σε πλήρη ετοιμότητα και ανταποκρίνονται εγκαίρως σε περίπτωση πραγματικής ανάγκης [7].

Κεντρικό στοιχείο αυτής της προσέγγισης είναι η συνεργασία μεταξύ διαφορετικών ειδικοτήτων (μηχανολόγων, ηλεκτρολόγων, κατασκευαστών, ειδικών πυρασφάλειας και αρχών αδειοδότησης), ώστε κάθε στάδιο —από την αρχική σύλληψη μέχρι την εγκατάσταση και τη συντήρηση— να εκτελείται βάσει σχεδίου και με κύριο γνώμονα την προστασία της ανθρώπινης ζωής και της περιουσίας.

Συνολικά, τα βήματα που αναλύθηκαν παρέχουν μια ολοκληρωμένη οπτική για το πώς σχεδιάζεται, αξιολογείται και υλοποιείται ένα σύστημα συναγερμού και πυρανίχνευσης, πλαισιωμένο από συγκεκριμένα πρωτόκολλα αντίδρασης και εκκένωσης. Η απρόσκοπτη λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος δεν αποτελεί πολυτέλεια, αλλά βασική ανάγκη κάθε κτιρίου που οφείλει να τηρεί τις αρχές ασφάλειας και προστασίας του ανθρώπινου δυναμικού του. Επιπρόσθετα, η τακτική εκπαίδευση του προσωπικού και ο αυστηρός έλεγχος των διαδικασιών μπορούν να μειώσουν δραστικά τις πιθανότητες ανθρώπινου λάθους σε μια στιγμή κρίσης, προσφέροντας μια πραγματική ασπίδα προστασίας απέναντι στα καταστροφικά αποτελέσματα μιας πυρκαγιάς [22]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Αισθητήρες σε LPWAN και IOT

Η ταχεία εξάπλωση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), σε συνδυασμό με την επικοινωνία μεταξύ μηχανών (M2M), αναμένεται να φέρει σύντομα μια εντυπωσιακή κλιμάκωση στον αριθμό των κόμβων αισθητήρων. Σύμφωνα με τα στοιχεία που δημοσιεύει η Ericsson, ως το 2022 αναμένεται να είναι συνδεδεμένα στο Διαδίκτυο περίπου 29 δισεκατομμύρια συσκευές (Chaudhari and Zennaro, n.d.). Σ' αυτό το ευρύ σύνολο των IoT συσκευών περιλαμβάνονται όχι μόνο τα «έξυπνα» οχήματα, οι μετρητές και οι βιομηχανικοί αισθητήρες, αλλά και μία πληθώρα ηλεκτρονικών καταναλωτικών προϊόντων, φορητών ή σταθερών, όπως επίσης τερματικά σημείων πώλησης και άλλα συναφή.

Παράλληλα, έρευνες που παρουσιάζονται στην ιστοσελίδα του περιοδικού Forbes (αμερικανικής προέλευσης, με επιχειρηματικό προσανατολισμό) υποστηρίζουν ότι ενδεχομένως ο αριθμός των IoT συσκευών θα ξεπεράσει τα 75 δισεκατομμύρια μέχρι το 2025. Επιπρόσθετα, σύμφωνα με την ανάλυση της εταιρείας IHS Markit, ενδέχεται να φτάσουμε έως και τα 125 δισεκατομμύρια συνδεδεμένων συσκευών μέχρι το 2030. Η εκθετική αυτή εξέλιξη στις τεχνολογίες του IoT επιδρά σχεδόν σε όλα τα στάδια της βιομηχανίας και σε όλα τα πεδία της αγοράς, επαναπροσδιορίζοντας τον τρόπο σχεδίασης, συντήρησης και διαχείρισης τόσο των δικτύων όσο και των δεδομένων, των υποδομών cloud και γενικότερα των διασυνδέσεων [34].

Οι προσδοκίες είναι υψηλές σε τομείς όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI), η Μηχανική Μάθηση (ML), τα συστήματα ανάλυσης δεδομένων (data analytics) και οι τεχνολογίες blockchain [30], γεγονός που ενισχύει την πεποίθηση ότι οι εφαρμογές που αξιοποιούν το IoT θα αυξηθούν ραγδαία, σχεδόν σε όλους τους τομείς της καθημερινότητας, από το επίπεδο της κοινωνίας και των επαγγελματικών δραστηριοτήτων έως και τη βιομηχανική παραγωγή.

Χάρη σ' αυτές τις τεχνολογικές εξελίξεις, μεγάλοι αριθμοί συσκευών –όπως αισθητήρες, αυτοκινούμενα οχήματα, ρομποτικά μηχανήματα και άλλα συναφή– έχουν πλέον τη δυνατότητα να συνδεθούν στο Διαδίκτυο [24]. Έτσι, μέσω των ενσωματωμένων αισθητήρων τους, μπορούν να στέλνουν σε πραγματικό ή σχεδόν πραγματικό χρόνο δεδομένα και κρίσιμες παραμέτρους προς κάποιον κεντρικό διακομιστή, ο οποίος αναλαμβάνει να επεξεργαστεί τις πληροφορίες αυτές και να λάβει έγκαιρα αποφάσεις ή να δρομολογήσει τις απαραίτητες ενέργειες.

Είναι δεδομένο ότι πλήθος IoT εφαρμογών απαιτεί κόμβους με πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χαμηλή πολυπλοκότητα, ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν και να λειτουργήσουν οικονομικά σε επεκτάσιμα δίκτυα. Προς το παρόν, διάφορες ασύρματες τεχνολογίες έχουν ήδη επιστρατευτεί σε εφαρμογές ανίχνευσης μικρής εμβέλειας, όπως τα ασύρματα τοπικά δίκτυα IEEE 802.11 (WLAN), το IEEE 802.15.1 (Bluetooth), το IEEE 802.15.3

(ZigBee), οι τεχνολογίες LR-WPAN (ασύρματα δίκτυα προσωπικής περιοχής χαμηλού ρυθμού) και ορισμένες άλλες. Όταν υπάρχει ανάγκη για διεύρυνση της εμβέλειας, αξιοποιούνται τα ασύρματα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, όπως 2G, 3G, 4G, ενώ ήδη βρίσκεται σε εξέλιξη η υλοποίηση των πρώτων εφαρμογών 5G.

Παραδοσιακά, τα WLAN και Bluetooth αναπτύχθηκαν για επικοινωνία υψηλής ταχύτητας δεδομένων, ενώ τεχνολογίες τύπου ZigBee και άλλα πρότυπα LR-WPAN εξυπηρετούν κυρίως εφαρμογές ασύρματης ανίχνευσης σε σχετικά περιορισμένες τοπικές εμβέλειες. Οι αποστάσεις που καλύπτουν αυτά τα συστήματα μπορεί να ποικίλλουν από ελάχιστα μέτρα μέχρι και αρκετές εκατοντάδες μέτρα, ανάλογα με εμπόδια, γωνίες διάδοσης, παρεμβολές και ισχύ μετάδοσης. Από την άλλη, τα κυψελοειδή δίκτυα 2G, 3G και 4G σχεδιάστηκαν με προτεραιότητα τη μετάδοση φωνής και την ανταλλαγή δεδομένων μετρίου ή υψηλού ρυθμού, όχι τόσο για λειτουργίες ανίχνευσης με χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης αισθητήρων. Αν και σήμερα χρησιμοποιούνται για τέτοιους σκοπούς σε συγκεκριμένες συνθήκες, οι ανάγκες των αισθητήρων διαφέρουν σημαντικά, με αποτέλεσμα πολλά μετρούμενα μεγέθη να μην υποστηρίζονται βέλτιστα από τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες [28].

Προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις ενός τόσο εκτενούς και ετερογενούς πεδίου εφαρμογών, έχει διαμορφωθεί ένα νέο μοντέλο ασύρματης σύνδεσης IoT, το οποίο ονομάζεται «δίκτυο ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος» (LPWAN). Ένα LPWAN αποτελεί μια ειδική κατηγορία ασύρματης επικοινωνίας σχεδιασμένης για IoT εφαρμογές, ικανή να προσφέρει μεγάλης εμβέλειας κάλυψη, χαμηλούς ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων σε μικρά πακέτα και ταυτόχρονα να εξασφαλίζει εξαιρετικά μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας στις συσκευές. Οι τεχνολογίες LPWAN παρουσιάζουν ήδη σημαντική πρόοδο και επιδεικνύουν μεγάλες δυνατότητες για IoT και M2M επικοινωνίες, κυρίως σε περιπτώσεις όπου οι πόροι ή οι συνθήκες είναι περιορισμένοι.

5.1 Ευφυείς εφαρμογές και υπηρεσίες

Η ολοένα αυξανόμενη υιοθέτηση IoT λύσεων σε κλάδους που απαιτούν διασυνδεσιμότητα σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές και διαχείριση πληθώρας συσκευών, ενισχύει κατακόρυφα τη ζήτηση για καινοτόμες τεχνολογίες. Χάρη στις βελτιώσεις σε τομείς όπως τα μικροηλεκτρονικά, οι επικοινωνίες, η σχεδίαση αισθητήρων, οι υπολογιστικοί κόμβοι και η τεχνολογία μπαταριών, είναι πλέον εφικτό να υλοποιούνται συστήματα χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και εκτεταμένης εμβέλειας, με μπαταρία ικανή να διατηρείται λειτουργική επί πολυετή βάση και με δυναμική που μπορεί να καλύψει δεκάδες χιλιόμετρα.

Επιπλέον, αυτές οι λύσεις απαιτείται να συνάδουν πλήρως με την ευρύτερη «οικογένεια» του Διαδικτύου, έτσι ώστε οι συσκευές και τα δεδομένα να είναι άμεσα προσβάσιμα, διαχειρίσιμα και αξιοποιήσιμα, ιδανικά μέσα από

πλατφόρμες cloud. Οι βασικότερες παράμετροι που εξετάζονται για τις ασύρματες συσκευές IoT/M2M αφορούν:

1. Την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ισχύος με εξασφάλιση μεγάλης εμβέλειας επικοινωνίας.
2. Τη δυνατότητα χειρισμού πλήθους συσκευών ταυτόχρονα.
3. Την αντοχή σε παρεμβολές RF (ραδιοσυχνοτήτων).
4. Τη διατήρηση χαμηλού κόστους ανά συσκευή και ανά κόμβο.
5. Την απλή και ευέλικτη ανάπτυξη του δικτύου.
6. Την ενίσχυση της ασφάλειας σε επίπεδο εφαρμογής και υποδομής δικτύου.

Χάρη σε αυτά τα χαρακτηριστικά, τα LPWAN θεωρούνται ιδανική επιλογή για ποικίλα «έξυπνα» σενάρια. Ενδεικτικές περιπτώσεις χρήσης είναι η παρακολούθηση περιβαλλοντικών συνθηκών, οι εφαρμογές των έξυπνων πόλεων, η έξυπνη διαχείριση δικτύων κοινής ωφέλειας, η σύγχρονη γεωργία, η υποστήριξη της παροχής υπηρεσιών υγείας, ο βιομηχανικός αυτοματισμός, η παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων, οι μεταφορές και πολλές ακόμα κατηγορίες [6].

5.2 Απαιτήσεις εφαρμογής

Κάθε κατηγορία εφαρμογών θέτει διαφορετικές προδιαγραφές, όπως επίπεδα κάλυψης, επιθυμητή χωρητικότητα δικτύου, κόστος εγκατάστασης ή διατήρησης, καθώς και επίπεδα ισχύος. Σε γενικές γραμμές, στις λύσεις LPWAN επικρατούν οι βασικές προτεραιότητες που σχετίζονται με χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση, χαμηλό κόστος και δυνατότητα λειτουργίας σε μεγάλη απόσταση. Ωστόσο, επειδή οι προϋπολογισμοί μιας LPWAN λύσης μπορούν να περιλαμβάνουν αμοιβαίες «εκπτώσεις» (trade-offs) ανάμεσα σε διαφορετικές απαιτήσεις, όπως στην εμβέλεια σε σχέση με το κόστος ή το ενεργειακό αποτύπωμα, δεν υπάρχει ενιαία προσέγγιση που να ταιριάζει σε όλα τα περιβάλλοντα.

Επιπρόσθετα, κάποιες εφαρμογές παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομοιομορφία – π.χ. στην περίπτωση των μετρητών (π.χ. έξυπνοι μετρητές ρεύματος)– ενώ άλλες περιλαμβάνουν ένα πιο ετερογενές μίγμα συσκευών, με διαφορετικές προσδοκίες ως προς την ταχύτητα ή τη συχνότητα μετάδοσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται πρόβλεψη για διαλειτουργικότητα ή συνεργασία με άλλες τεχνολογικές πλατφόρμες ή για επιπλέον δυνατότητες, όπως η υποστήριξη φωνής. Ακολουθεί μια συνοπτική προσέγγιση που εστιάζει στη σπουδαιότητα της κάλυψης για σχεδόν όλες τις εφαρμογές, υπογραμμίζοντας όμως ότι, σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα, οι προτεραιότητες μπορεί να διαφέρουν σημαντικά [29].

Για παράδειγμα, σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον παραγωγής, οι τοπικές λειτουργίες και τα δεδομένα μπορεί να έχουν μικρή εμβέλεια αλλά μεγάλη πυκνότητα κόμβων, εστιάζοντας στην ανάγκη διαχείρισης πληθώρας συσκευών. Σε εφαρμογές γεωργίας, ωστόσο, η γη που πρέπει να καλυφθεί μπορεί να βρίσκεται απομακρυσμένη, χωρίς ηλεκτρικό ρεύμα σε κοντινή απόσταση, οπότε η μακρόχρονη αντοχή της μπαταρίας έχει κορυφαία σημασία. Η λιανική πώληση, από την άλλη πλευρά, έχει στη διάθεσή της σταθερή τροφοδοσία ρεύματος, άρα η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να είναι δευτερεύουσας προτεραιότητας. Στην περίπτωση ενός «τεράστιου» δικτύου για εφαρμογές όπως η μαζική μέτρηση (π.χ. υδρομέτρηση, ηλεκτρομέτρηση), το χαμηλό κόστος των συσκευών είναι καθοριστικό, ενώ σε άλλες εφαρμογές – όπως τα «έξυπνα» σπίτια– το κόστος μπορεί να είναι σχετικά αυξημένο, αν αυτές προσφέρουν περισσότερα προαιρετικά χαρακτηριστικά[43].

Χωρητικότητα	i) Μονοκατευθυντική, αμφίδρομη, μισή/πλήρης ii) Επεκτασιμότητα iii) Υποστήριξη ρυθμού δεδομένων, αξιοπιστία
Κόστος	i) Κόστος συσκευής ii) Κόστος δικτύου iii) Επεκτασιμότητα
Κατανάλωση	i) Ενεργειακή απόδοση ii) Διάρκεια ζωής μπαταρίας iii) Καθυστέρηση
Κάλυψη	i) Εξωτερική/εσωτερική ii) Αστικές/αγροτικές περιοχές iii) Υπόγεια, υποβρύχια, μέσω τοίχων
Πρόσθετες λεπτομέρειες	i) Απαιτήσεις για συγκεκριμένες εφαρμογές ii) Σενάρια ανάπτυξης

Πίνακας 5.1: Προτεραιότητες και χαρακτηριστικά απαιτήσεων μιας εφαρμογής

5.3 Ασύρματη πρόσβαση

Οι τεχνολογίες IoT και ειδικότερα αυτές που εμπίπτουν στην κατηγορία των LPWAN αποτελούν τα κύρια δομικά στοιχεία για ένα πλήθος εφαρμογών, διαδραματίζοντας κρίσιμο ρόλο στην κάλυψη αναγκών που συχνά μεταβάλλονται δυναμικά. Πέραν των συνηθισμένων (ήδη καθιερωμένων) τεχνολογιών, όπως τα τοπικά ασύρματα δίκτυα μικρής και μέσης εμβέλειας, έχει προκύψει και ένα φάσμα εξειδικευμένων λύσεων, κάποιες ιδιότητες και άλλες βασισμένες σε διεθνή πρότυπα, για να καλυφθούν γεωγραφικές αποστάσεις από λίγα έως δεκάδες χιλιόμετρα.

Τα λεγόμενα «κοντινού πεδίου» (near-field) δίκτυα περιλαμβάνουν τεχνολογίες αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID) ή NFC (Near Field Communication), έχοντας εμβέλεια μερικών εκατοστών ή μέτρων. Τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN) αξιοποιούνται για την ανταλλαγή δεδομένων σε μικρές αποστάσεις, με ελάχιστη ή μηδαμινή υποδομή (π.χ. αισθητήρες ή περιφερειακά

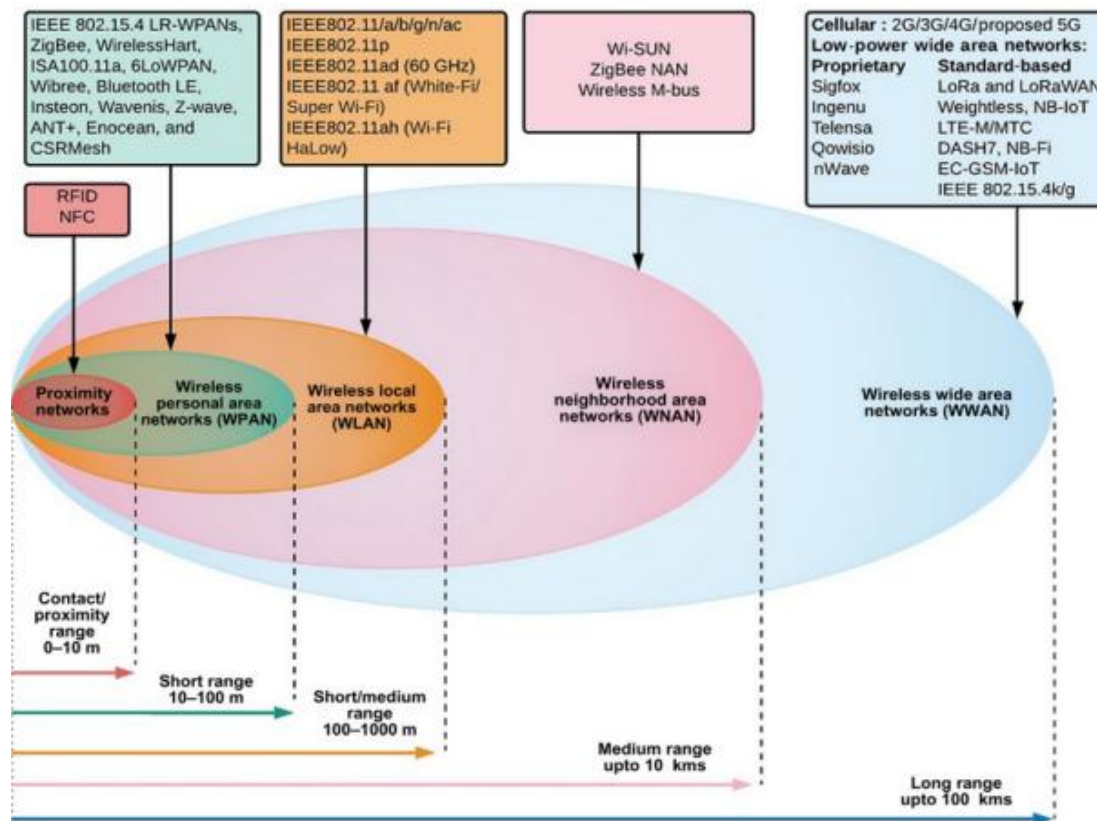
που επικοινωνούν με ένα κεντρικό σημείο). Παραδείγματα τέτοιων WPAN αποτελούν τα ZigBee, WirelessHART, ISA100, 6LoWPAN, Bluetooth Low Energy, Z-Wave, EnOcean κ.ά.

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) εστιάζουν γενικά σε μεγαλύτερους ρυθμούς δεδομένων, π.χ. για σύνδεση υπολογιστών και κινητών συσκευών στο Διαδίκτυο μέσω προτύπων IEEE 802.11, καλύπτοντας συνήθως από μερικές δεκάδες έως λίγες εκατοντάδες μέτρα. Πέρα από αυτά, υπάρχουν επίσης τα ασύρματα δίκτυα «γειτονιάς» (WNAN), όπως το Wi-SUN ή το ZigBee NAN, που έχουν ως πεδίο εφαρμογής περιπτώσεις όπως τα έξυπνα δίκτυα κοινής ωφέλειας ή οι υποδομές μεγάλου συγκροτήματος (π.χ. πανεπιστημιούπολεις).

Σε ό,τι αφορά την ευρύτερη ασύρματη κάλυψη (WWAN), συναντάμε δύο κύριες κατηγορίες: τα συμβατικά κυψελοειδή δίκτυα (2G/3G/4G/5G) και τα ειδικά σχεδιασμένα LPWAN. Τα πρώτα αναπτύχθηκαν με προτεραιότητα την κινητικότητα και τις υψηλότερες ταχύτητες σε επικοινωνία φωνής και δεδομένων, καλύπτοντας μερικά έως δεκάδες χιλιόμετρα ανά κελί. Αντίθετα, τα LPWAN δίνουν έμφαση στην εμβέλεια με χαμηλή ισχύ, αλλά και σε χαμηλό ρυθμό μετάδοσης bit, προσαρμοσμένο στις απαιτήσεις του IoT και της επικοινωνίας M2M.

Για τις περισσότερες «έξυπνες» IoT εφαρμογές, δεν αρκεί μία μεμονωμένη λύση: συχνά προκύπτει η ανάγκη συνδυασμού πολλαπλών μορφών ασύρματης πρόσβασης (μικρής, μέσης και μεγάλης εμβέλειας), ώστε το σύστημα να είναι αξιόπιστο και επεκτάσιμο ταυτόχρονα.

Σημαντικό τμήμα των αναπτυσσόμενων εφαρμογών IoT απαιτεί διασύνδεση σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, διατηρώντας χαμηλές απαιτήσεις ισχύος και κόστους. Αυτή η τάση κατευθύνει μεγάλο μέρος των λύσεων σε τεχνολογίες LPWAN, οι οποίες μάλιστα εκτιμάται ότι θα αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό τμήμα της αγοράς IoT/M2M παγκοσμίως. Ενώ άλλες τεχνολογίες του IoT στοχεύουν σε υψηλότερους ρυθμούς, λιγότερη καθυστέρηση και μεγαλύτερη αξιοπιστία, τα LPWAN εστιάζουν στις ακραίες ανάγκες χαμηλής ενέργειας, μικρών πακέτων δεδομένων, μειωμένης συχνότητας επικοινωνίας και ανεκτών καθυστερήσεων [28].



Εικόνα 5.1: Γεωγραφική κάλυψη ασύρματης πρόσβασης

5.4 Χαρακτηριστικά LPWAN

Η μεγάλη ποικιλία IoT εφαρμογών που στηρίζονται στην τεχνολογία LPWAN απαιτεί συνήθως επικοινωνία μεταξύ πολυάριθμων ετερογενών συσκευών σε μεγάλη ή μικρή απόσταση, οι οποίες μπορεί να είναι κινητές ή σταθερές, με τροφοδοσία από μπαταρίες ή συνδεδεμένες σε ρεύμα. Παρ' όλα αυτά, πολλές από αυτές τις συσκευές στέλνουν κυρίως μικρά πακέτα δεδομένων, ανέχονται καθυστέρηση και δεν έχουν ανάγκη υψηλών ρυθμών μετάδοσης. Στο πλαίσιο αυτό, οι λύσεις LPWAN στηρίζονται σε αρχιτεκτονικές που συνδυάζουν μεγάλη εμβέλεια, περιορισμένο ρυθμό δεδομένων, χαμηλή κατανάλωση και εξαιρετικά χαμηλό κόστος.

Γενικότερα, μπορούμε να διακρίνουμε τις IoT εφαρμογές ως προς τις ανάγκες κάλυψης και τα επίπεδα απόδοσης (ποσοστό δεδομένων, χρόνος απόκρισης κ.λπ.). Υπάρχουν εφαρμογές που καλύπτουν μεγάλο μέρος της επιφάνειας μιας πόλης ή αγροτικής ζώνης (οπότε απαιτείται εκτεταμένη εμβέλεια), ενώ άλλες εστιάζουν σε εσωτερικό κτιρίων ή σε πλησιέστερες αποστάσεις. Σε ό,τι αφορά τις απαιτήσεις «αξιοπιστίας», ορισμένες εφαρμογές απαιτούν σταθερή ποιότητα σύνδεσης, ενώ άλλες είναι ανεκτικές σε μεγαλύτερα περιθώρια σφαλμάτων.

Ο όρος «Massive IoT» συχνά αναφέρεται στις εφαρμογές LPWAN που σχεδιάζονται για να υποστηρίξουν τεράστιο όγκο συσκευών, σε αντίθεση με το «Critical IoT», το οποίο στοχεύει σε πολύ χαμηλή καθυστέρηση και εξαιρετικά

υψηλή αξιοπιστία (π.χ. απομακρυσμένη χειρουργική ρομποτική). Στην πράξη, λοιπόν, κάθε LPWAN οφείλει να διαχειρίζεται ιδιαίτερες μορφές κίνησης δεδομένων M2M, μεγάλη κλίμακα συσκευών, χαμηλές απαιτήσεις ενέργειας και εκτεταμένη κάλυψη, διασφαλίζοντας παράλληλα στοιχεία όπως η ασφάλεια, η κωδικοποίηση και η σωστή διαχείριση παραμέτρων δικτύου.

5.5 Κάλυψη

Η ουσιαστική κίνηση σε δίκτυα LPWAN προέρχεται κυρίως από διεσπαρμένους αισθητήρες ή άλλους M2M κόμβους, οι οποίοι παράγουν περιοδικά (ή σύμφωνα με συμβάντα) μικρούς όγκους δεδομένων. Ωστόσο, είναι πιθανό να υπάρξει ποικιλία στις απαιτήσεις όσον αφορά το μέγεθος των μηνυμάτων, τις καθυστερήσεις που μπορούν να γίνουν ανεκτές ή την αξιοπιστία που χρειάζεται. Ορισμένες εφαρμογές, όπως οι «έξυπνοι» μετρητές ενέργειας, μπορεί να λειτουργούν με σχετικά χαλαρές προθεσμίες, ενώ εφαρμογές ασφαλείας ή ανίχνευσης κινδύνου (π.χ. πυρανίχνευση) απαιτούν να δοθεί προτεραιότητα και να μειωθεί η καθυστέρηση όσο το δυνατόν περισσότερο.

Σε μεγάλα δίκτυα, με πλήθος συσκευών να επικοινωνούν ταυτόχρονα, μπορεί να εμφανιστεί συμφόρηση ή υπέρβαση των επιπέδων ποιότητας υπηρεσιών (SLA). Συνεπώς, είναι αναγκαίοι μηχανισμοί που να υποστηρίζουν διαφορετικές προτεραιότητες και να διαχειρίζονται κατάλληλα το εύρος ζώνης, την απόδοση του φάσματος και την ανοχή σε παρεμβολές. Σε μερικά σενάρια, απαιτείται επίσης δυνατότητα υποστήριξης κινητικότητας, ώστε οι συσκευές να συνδέονται ανεμπόδιστα, ακόμα κι όταν αλλάζουν γεωγραφική θέση.

Επίσης, τα LPWAN προορίζονται να καλύπτουν χωρικές αποστάσεις της τάξης αρκετών χιλιομέτρων (π.χ. 1-5 χλμ σε αστικές περιοχές με πυκνή δόμηση ή μέχρι και 10-40 χλμ σε αγροτικές ζώνες). Το κλειδί βρίσκεται στις χαμηλές συχνότητες της ζώνης sub-GHz, που ενισχύουν τη διείσδυση του σήματος μέσα από κτίρια ή άλλα εμπόδια. Οι τεχνικές «αργής διαμόρφωσης» (low data rate) επιτρέπουν τη μετάδοση μεγαλύτερης ενέργειας ανά bit, αυξάνοντας έτσι τις πιθανότητες επιτυχούς λήψης σε μεγάλες αποστάσεις ή σε δύσκολες συνθήκες [28].

5.6 Η αναγνώριση τοποθεσίας

Η δυνατότητα εντοπισμού της γεωγραφικής θέσης μίας συσκευής αναδεικνύεται συχνά ως απαραίτητη απαίτηση σε εφαρμογές IoT. Για παράδειγμα, στην παρακολούθηση φορτίων ή στον έλεγχο της άγριας πανίδας είναι αναγκαία μια ακριβής εκτίμηση θέσης, συνήθως εντός λίγων μέτρων. Επίσης, σε σενάρια ασφαλείας, θεωρείται βασικό να υπάρχει ειδοποίηση αν μια συσκευή μετακινηθεί ξαφνικά σε μη εγκεκριμένη τοποθεσία. Η εντοπισμός μπορεί να στηρίζεται σε GPS ή εναλλακτικές τεχνολογίες γεωγραφικής σήμανσης, καθώς και σε «έξυπνα» αλγοριθμικά συστήματα που αξιοποιούν την ίδια την υποδομή του δικτύου (π.χ. τριγωνοποίηση).

5.7 Ασφάλεια και προστασία προσωπικών δεδομένων

Οι λύσεις LPWAN καλούνται να αντιμετωπίσουν σοβαρά ζητήματα ασφαλείας, λόγω του ιδιαίτερα μεγάλου αριθμού κόμβων και των εκτεταμένων σεναρίων χρήσης. Οι βασικές αρχές ασφαλείας περιλαμβάνουν την ταυτοποίηση/εξουσιοδότηση των συσκευών, την εμπιστευτικότητα και ακεραιότητα της πληροφορίας, την προστασία του απορρήτου (π.χ. κρυπτογράφηση για να αποτραπούν υποκλοπές) και τη θωράκιση ενάντια σε κακόβουλο λογισμικό (worms, trojans κ.λπ.).

Ταυτόχρονα, απαιτείται και η προστασία της ιδιωτικότητας των χρηστών, εφόσον συσκευές IoT είναι δυνατόν να φέρουν δεδομένα προσωπικού χαρακτήρα ή να αποκαλύπτουν τη γεωγραφική τους τοποθεσία. Κατά συνέπεια, η αρχιτεκτονική ενός LPWAN συστήματος πρέπει να περιλαμβάνει μέτρα ασφαλούς διαχείρισης κλειδιών, ανθεκτικά κανάλια επικοινωνίας και διαδικασίες επικαιροποίησης ή αναβάθμισης ασφαλείας, με τρόπο που να μην επιβαρύνει υπερβολικά την ισχύ της συσκευής [28].

5.8 Χωρητικότητα

Μια εξαιρετικά σημαντική πρόκληση που αντιμετωπίζουν τα LPWAN είναι η υποστήριξη μεγάλου αριθμού τελικών συσκευών, της τάξης των δεκάδων ή εκατοντάδων χιλιάδων, ενώ παράλληλα είναι απαραίτητο να διασφαλίζεται ικανοποιητική ποιότητα επικοινωνίας. Η έννοια της «κλιμάκωσης» (scalability) δηλώνει τη δυνατότητα του δικτύου να δέχεται προοδευτικά καινούργιες συσκευές, υπηρεσίες ή επιπρόσθετη κίνηση, χωρίς να θίγεται η απόδοση των ήδη υπάρχοντων χρηστών.

Παράλληλα, η χαμηλή ισχύς λειτουργίας των κόμβων και το γεγονός ότι η επικοινωνία γίνεται συχνά με σύντομα πακέτα μειώνει μεν τη χρήση πόρων φάσματος, δεν αναιρεί όμως τον κίνδυνο εμφάνισης συμφόρησης, ειδικά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές ή σε βιομηχανικές ζώνες όπου συνυπάρχουν εκατοντάδες αισθητήρες. Για τον λόγο αυτό, η τεχνολογία οφείλει να προβλέπει πολυκαναλική λειτουργία ή άλλες τεχνικές για την ελαχιστοποίηση παρεμβολών. Ωστόσο, πρέπει να υπάρχει ισορροπία, ώστε τα επιπλέον κανάλια ή οι περίπλοκοι αλγόριθμοι να μη φέρουν υπερβολική πολυπλοκότητα και κόστος.

5.9 Κόστος

Οι περισσότερες εφαρμογές βασισμένες σε LPWAN δίνουν ιδιαίτερη βαρύτητα στο χαμηλό κόστος προμήθειας συσκευών και υποδομών, καθώς η ευρεία κλίμακα ανάπτυξης και ο μεγάλος αριθμός κόμβων απαιτούν οικονομικά βιώσιμες λύσεις. Παράλληλα, χαμηλό λειτουργικό κόστος αποτελεί συχνά βασικό κριτήριο για την εμπορική επιτυχία.

Επιπλέον, η ικανότητα αναβάθμισης του λογισμικού (firmware) χωρίς αλλαγή υλικού είναι εξαιρετικά σημαντική, καθώς με αυτόν τον τρόπο μπορούν να

προστεθούν ή να βελτιωθούν λειτουργίες, χωρίς επιβάρυνση σε υλικό. Τέλος, η απλούστερη εγκατάσταση και συντήρηση, η εύκολη διαχείριση λαθών και η ελαχιστοποίηση επεμβάσεων σε απομακρυσμένες περιοχές ενισχύουν την αποδοτικότητα των δικτύων.

5.10 Λειτουργίες χαμηλής ισχύος

Πολλές IoT εφαρμογές, ειδικά σε αγροτικές ή δύσκολα προσβάσιμες περιοχές, δεν επιτρέπουν τακτική αλλαγή ή φόρτιση της μπαταρίας. Στόχος είναι να μπορεί μια συσκευή να παραμείνει λειτουργική επί μία δεκαετία ή και περισσότερο, χωρίς παρέμβαση. Το ίδιο ισχύει για αστικές υποδομές όπου η πρόσβαση στα σημεία εγκατάστασης είναι κοστοβόρα ή επιχειρησιακά δύσκολη.

Για να επιτευχθεί αυτή η μακροβιότητα, τα συστήματα LPWAN κάνουν εκτεταμένη χρήση τρόπων ύπνου (sleep modes), απλοποιημένων πρωτοκόλλων και έξυπνων στρατηγικών προγραμματισμού επικοινωνίας. Ένα επιπλέον βήμα μείωσης ισχύος είναι ο περιορισμός της πολυπλοκότητας στο υλικό της συσκευής. Έτσι, δεν απαιτούνται υψηλές δυνατότητες επεξεργασίας, παρά μόνο όσες κριθούν αναγκαίες για την εφαρμογή, επιτρέποντας και τη μελλοντική ρύθμιση ή αναβάθμιση σε επίπεδο λογισμικού [40].

5.11 Πρόσθετες ειδικές απαιτήσεις

Για να δοθεί μεγαλύτερη ευελιξία στο αναπτυσσόμενο οικοσύστημα, πολλά LPWAN προσφέρουν υποστήριξη τόσο σε αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων όσο και σε ζώνες ελεύθερης χρήσης (ISM band), π.χ. στη ζώνη sub-GHz ή στα λευκά διαστήματα τηλεοπτικού φάσματος. Αυτό επιτρέπει προσαρμογή σε διαφορετικά ρυθμιστικά πλαίσια και ανάγκες αγοράς.

Επίσης, γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στις ανάγκες για ιδιωτικές (proprietary) λύσεις αλλά και για τεχνολογίες που βασίζονται σε πρότυπα. Μια εφαρμογή μπορεί να ευνοείται από ιδιόκτητη υλοποίηση εφόσον προσφέρει μοναδικές δυνατότητες ή καλύτερη απόδοση, ενώ σε άλλο περιβάλλον η συμμόρφωση με κάποιο διεθνές πρότυπο διασφαλίζει τη διαλειτουργικότητα με διαφορετικές συσκευές και υπηρεσίες.

Καθώς οι συσκευές είναι ετερογενείς (από απλούς αισθητήρες έως σύνθετες μονάδες), η τοπολογία δικτύου μπορεί να χρειάζεται να είναι είτε τυπικά «αστέρων» είτε ιεραρχική (π.χ. τύπου δέντρου), οπότε η τεχνολογία καλείται να προσαρμοστεί σε κάθε περίπτωση. Τέλος, καθώς πληθαίνουν οι αισθητήρες που λειτουργούν στην ίδια περιοχή, η ανθεκτικότητα σε παρεμβολές και ο χειρισμός της συνύπαρξης πολλαπλών δικτύων καθίστανται κρίσιμοι, ώστε να μην προκύπτει «θόρυβος» που θα μειώσει σημαντικά τις επιδόσεις.

5.12 Συνοπτικοί στόχοι και προσδοκίες LPWAN

Με βάση τα παραπάνω, τα LPWAN αναδεικνύονται ως δίκτυα με περιορισμένους πόρους αλλά πολύ συγκεκριμένες προτεραιότητες: παρατεταμένη διάρκεια ζωής μπαταρίας, ευρεία γεωγραφική εμβέλεια, μεγάλη επεκτασιμότητα, χαμηλό κόστος ανά συσκευή και ελάχιστα έξοδα συντήρησης. Παρ' όλα αυτά, για να φτάσουν σε σημείο να καλύψουν ευρύ φάσμα εφαρμογών και να «ανταγωνιστούν» εναλλακτικές προσεγγίσεις, πρέπει να επιλυθούν ορισμένες τεχνολογικές προκλήσεις.

Ενδεικτικά, απαιτούνται εξελίξεις σε θέματα εικονικοποίησης του δικτύου (network virtualization), οι οποίες μπορεί να βασίζονται σε τεχνικές λογισμικού ραδιοφώνου (Software Defined Radio). Παράλληλα, παραμένουν προκλήσεις η δυναμική διαχείριση φάσματος, η αξιοποίηση των λεγόμενων «λευκών διαστημάτων» της τηλεόρασης (TV white spaces), η βελτιστοποίηση και προσαρμοστικότητα του ασύρματου καναλιού, η ενεργειακή συγκομιδή (energy harvesting), ο περιορισμός του χρόνου λειτουργίας (duty cycle), η υποστήριξη εντοπισμού θέσης (localization), η αντιμετώπιση παρεμβολών, η κινητικότητα, η παροχή ανώτερης ταχύτητας σε συγκεκριμένα σενάρια, η QoS (Quality of Service) για εφαρμογές με ειδικές απαιτήσεις, η διαλειτουργικότητα, η ασφάλεια, ο έλεγχος συμφόρησης και πολλά άλλα [43].

Η συνεχής έρευνα καλείται να βελτιστοποιήσει τα παραπάνω πεδία και να διευρύνει περαιτέρω το πεδίο δράσης των LPWAN, μεγιστοποιώντας την αποδοτικότητά τους και καθιστώντας τα ακόμη πιο ανταγωνιστικά έναντι άλλων κυψελοειδών ή ασύρματων τεχνολογιών. Με τη σωστή στρατηγική και τις κατάλληλες επενδύσεις, τα LPWAN είναι σε θέση να διαμορφώσουν ένα άκρως ελκυστικό οικοσύστημα για ένα αναρίθμητο πλήθος IoT εφαρμογών, ειδικά όπου η αξιοποίηση των πόρων, η κάλυψη μεγάλων αποστάσεων και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας αποτελούν προτεραιότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Σύστημα εντοπισμού φλόγας/πυρκαγιάς

Ένας αισθητήρας φλόγας αποτελεί έναν ειδικό μηχανισμό ανίχνευσης, ο οποίος έχει σχεδιαστεί ώστε να εντοπίζει έγκαιρα τη δημιουργία φλόγας ή πυρκαγιάς και να αντιδρά αναλόγως. Οι τρόποι αντίδρασης διαφέρουν βάσει εγκατάστασης, ωστόσο μπορεί να περιλαμβάνουν την ενεργοποίηση ενός συναγερμού ή την άμεση διακοπή παροχής καυσίμων (π.χ. φυσικού αερίου ή προπανίου), καθώς και την έναρξη λειτουργίας ενός πυροσβεστικού συστήματος [26]. Στη βιομηχανική χρήση, όπως σε κλιβάνους μεγάλων εγκαταστάσεων, ο πρωταρχικός ρόλος του ανιχνευτή φλόγας είναι να επιβεβαιώνει ότι η καύση πραγματοποιείται ορθά. Σε ορισμένα περιβάλλοντα, ο αισθητήρας μπορεί επίσης να απενεργοποιεί τον μηχανισμό ανάφλεξης, αν και αρκετές φορές περιορίζεται στο να στείλει ειδοποίηση στον χειριστή ή στο κεντρικό σύστημα ελέγχου. Η ταχύτητα και η αξιοπιστία με την οποία ένας ανιχνευτής φλόγας ανταποκρίνεται, συχνά είναι μεγαλύτερες από εκείνες ενός τυπικού αισθητήρα καπνού ή αισθητήρα θερμότητας, χάρη στις διαφορετικές φυσικές αρχές που αξιοποιεί για τον έγκαιρο εντοπισμό της φωτιάς [26].

6.1 Οπτικοί ανιχνευτές φλόγας

Ανιχνευτής υπεριώδους (UV)

Οι ανιχνευτές τύπου UV αναγνωρίζουν την υπεριώδη ακτινοβολία που προκύπτει την ίδια στιγμή που εμφανίζεται η φλόγα. Μάλιστα, μπορούν να «συλλάβουν» εκδηλώσεις φωτιάς και εκρήξεων ακόμη και μέσα σε 3–4 χιλιοστά του δευτερολέπτου. Παρόλο που η τεχνική αυτή θεωρείται πολύ γρήγορη, συχνά προγραμματίζεται καθυστέρηση λίγων (2–3) δευτερολέπτων για να μετριάσουν πιθανοί λανθασμένοι συναγερμοί από εξωτερικές πηγές UV, όπως η ηλεκτροκόλληση, οι κεραυνοί ή το φυσικό φως του ήλιου. Συνήθως, οι ανιχνευτές υπεριώδους λειτουργούν σε μήκη κύματος κάτω από τα 300 nm, αφού έτσι περιορίζεται η επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας που βρίσκεται στο φυσικό περιβάλλον. Επιπρόσθετα, η υπεριώδης ακτινοβολία σε αυτές τις συχνότητες «μπλοκάρεται» εύκολα από μόλυνση με ελαιώδεις ουσίες, οπότε ενισχύεται η ακρίβεια σε βιομηχανικούς χώρους[49].

Κοντά στο υπέρυθρο φάσμα (Near-IR)

Οι ανιχνευτές φλόγας που λειτουργούν σε γειτονικά υπέρυθρα μήκη κύματος (0,7 έως 1,1 μm) χαρακτηρίζονται και ως οπτικοί αισθητήρες φλόγας. Αξιοποιώντας μία συσκευή CCD (Charge-Coupled Device), «αναλύουν» την υπέρυθρη ακτινοβολία για να επικυρώσουν την ύπαρξη φωτιάς. Ο

συγκεκριμένος τύπος αισθητήρα έχει το πλεονέκτημα ότι δεν επηρεάζεται σημαντικά από υγρασία ή υδρατμούς, επιτρέποντας τη βέλτιστη παρατήρηση της φλόγας. Οι πυροηλεκτρικοί ανιχνευτές που λειτουργούν σε αυτή τη ζώνη αποδεικνύονται συνήθως οικονομικοί. Αν μάλιστα χρησιμοποιηθούν συστοιχίες πολλών καναλιών ή σύνολα εικονοστοιχείων (pixel arrays) για την καταγραφή σημάτων κοντινής υπέρυθρης περιοχής, μπορεί να επιτευχθεί πολύ υψηλό επίπεδο ακρίβειας στην ανίχνευση. Στην πράξη, οι φλόγες απεικονίζονται ως διακριτές εικόνες IR σε πραγματικό χρόνο, ενώ μέσω ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας είναι εφικτό να αναγνωρίζονται με αξιοσημείωτη ακρίβεια [41].

Υπέρυθρες (IR)

Οι ανιχνευτές υπέρυθρης τεχνολογίας (1,1 μm και άνω) παρατηρούν συγκεκριμένες φασματικές περιοχές αναζητώντας χαρακτηριστικά μοτίβα που προκύπτουν από υπερθέρμανση αερίων. Σε αρκετές περιπτώσεις, αξιοποιούνται εξειδικευμένες θερμικές κάμερες (Thermal Imaging Cameras – TIC). Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις λανθασμένων συναγερμών λόγω άλλων θερμικών πηγών ή της γενικότερης υπέρυθρης ακτινοβολίας στο περιβάλλον. Η έκθεση σε δυνατό ηλιακό φως ή η συσσώρευση υγρού στο οπτικό παράθυρο του ανιχνευτή μπορεί να υποβαθμίσει την αξιοπιστία. Επιπλέον, το φάσμα 4,3–4,4 μm ευθυγραμμίζεται με τη συχνότητα συντονισμού του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), που απελευθερώνεται σε υψηλές ποσότητες κατά την καύση υδρογονανθράκων. Αυτό το χαρακτηριστικό «κορυφής» αξιοποιείται για την ανίχνευση πυρκαγιών. Παρ' όλα αυτά, είναι αρκετά ευαίσθητο στο ηλιακό φως και η αποτελεσματικότητα μειώνεται όταν υπάρχει σταθερή έκθεση σε αυτό. Παρακολουθώντας ταυτόχρονα και τη συχνότητα τρεμοπαίγματος της φλόγας (1 έως 20 Hz), αυξάνεται η ακρίβεια διάκρισης της φωτιάς από άλλες θερμές πηγές που δεν συνδέονται με καύση (όπως μηχανές που θερμαίνονται) (Hu and Delichatsios, 2019).

Βασικό μειονέκτημα των IR αισθητήρων είναι η απορρόφηση σχεδόν όλης της υπέρυθρης ακτινοβολίας από νερό ή παγοποίησή τους. Η δράση αυτή γίνεται ιδιαίτερα έντονη σε μήκη κύματος πάνω από 3,5 μm , δυσχεραίνοντας τη χρήση τους σε εξωτερικούς χώρους ή σε περιβάλλοντα με συχνή παρουσία ομίχλης και υδρατμών. Ακόμα και συστήματα που περιλαμβάνουν αυτόματο έλεγχο καθαρότητας του οπτικού παραθύρου, δεν είναι σε θέση να ανιχνεύσουν εύκολα την παρουσία υδρατμών γύρω από τον αισθητήρα. Επίσης, εναπόθεση αλατιού ή άλλων ρύπων επιδεινώνει το πρόβλημα καθώς το αλάτι τείνει να συγκρατεί την υγρασία. Κατά συνέπεια, ο υπολογισμός τους μπορεί να είναι παραπλανητικός χωρίς να το αντιληφθεί ο χειριστής. Συχνά, ο χρόνος ανταπόκρισης ενός τέτοιου αισθητήρα βρίσκεται γύρω στα 3–5 δευτερόλεπτα [41].

Υπέρυθρες θερμικές κάμερες

Οι υπέρυθρες θερμικές κάμερες μεσαίου κυματικού μήκους (MWIR) μπορούν να εντοπίσουν αυξημένη θερμότητα ή φλόγες σε μία εικόνα, εφαρμόζοντας συγκεκριμένους αλγόριθμους για πρόληψη και αντιμετώπιση πυρκαγιών. Ένα από τα πλεονεκτήματα αυτών των συστημάτων είναι ότι λειτουργούν στο σκοτάδι, κάτι που τις καθιστά χρήσιμες είτε σε εσωτερικούς είτε σε εξωτερικούς χώρους.

Συνδυασμός UV/IR

Οι αισθητήρες που υποστηρίζουν ταυτόχρονη ανίχνευση υπεριώδους και υπέρυθρου φάσματος, συγκρίνουν τα σήματα-κατώφλια από τις δύο διαφορετικές περιοχές. Με αυτό τον τρόπο μειώνονται κατακόρυφα οι ψευδείς συναγερμοί, αφού και η υπεριώδης και η υπέρυθρη ακτινοβολία καλούνται να επιβεβαιώσουν την ύπαρξη της ίδιας φωτιάς.

Ανιχνευτής φλόγας IR/IR

Η αρχιτεκτονική διπλής σύγκρισης στα υπέρυθρα (IR/IR) βασίζεται σε δύο αισθητήρες, ο ένας εκ των οποίων εστιάζει στην περιοχή 4,4 μm (εκπομπή CO₂), ενώ ο δεύτερος μετρά σε διαφορετικό τμήμα του υπέρυθρου φάσματος για σύγκριση. Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για την ανίχνευση καύσης υδρογονανθράκων ή καυσίμων με βάση τον άνθρακα, χωρίς όμως να αποκλείονται ουσίες όπως το υδρογόνο. Ταυτόχρονα εντοπίζεται η φασματική ζώνη του νερού, εφόσον πρόκειται για πιο «πλατιές» υπέρυθρες περιοχές.

Ανιχνευτής φλόγας IR3

Σε ένα πολυκαναλικό σύστημα τριπλής υπέρυθρης ζώνης (Triple IR – IR3), τρεις διαφορετικές συχνότητες του υπέρυθρου πεδίου συγκρίνονται παράλληλα, ώστε να απομονωθεί η θερμή εκπομπή CO₂ από το ευρύτερο υπόβαθρο ή άλλες μηχανές θερμότητας. Ο ένας αισθητήρας ανιχνεύει τη ζώνη γύρω από τα 4,4 μm, ενώ οι υπόλοιποι επικεντρώνονται σε μικρότερα ή μεγαλύτερα μήκη κύματος ως «σημεία αναφοράς». Αυτό βελτιώνει τόσο το εύρος ανίχνευσης όσο και την ανοσία σε ψευδείς συναγερμούς. Σε ιδανικές συνθήκες, ένας ανιχνευτής IR3 μπορεί να εντοπίσει 0,1 m² φωτιάς (π.χ. από βενζίνη) σε απόσταση έως 65 μέτρων σε λιγότερο από 5 δευτερόλεπτα. Πάντως, όπως και οι υπόλοιποι υπέρυθροι αισθητήρες, παραμένει ευαίσθητος στην πρόσληψη νερού ή πάγου στο σημείο λήψης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι πολλοί αισθητήρες IR απορρίπτουν τη σταθερή IR ακτινοβολία που υπάρχει οπουδήποτε, εστιάζοντας σε ταχείες διαφοροποιήσεις του σήματος. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ψευδείς συναγερμούς εάν η περιβαλλοντική ακτινοβολία μεταβάλλεται έντονα και απότομα. Στην περίπτωση IR3, ο σχεδιασμός είναι κάπως πιο «ανθεκτικός», οπότε ελαχιστοποιούνται τα λάθη ανίχνευσης που οφείλονται σε περιοδικές ή τυχαίες υπέρυθρες εκπομπές.

Ανιχνευτής φλόγας 3IR + UV

Ορισμένες πιο προχωρημένες εκδοχές αισθητήρων συνδυάζουν την τριπλή υπέρυθη ανίχνευση (3IR) με έναν επιπλέον UV-C αισθητήρα, ώστε να βελτιωθεί η αξιοπιστία σε περιβάλλοντα όπου επικρατεί υψηλό «υπέρυθρο υπόβαθρο» λόγω πολύ ζεστών αντικειμένων ή μηχανημάτων. Επειδή η ακτινοβολία μαύρου σώματος δεν επηρεάζει το UV φάσμα (παρά μόνο σε ακραίες συνθήκες, όπως η λάμψη συγκόλλησης τόξου), η ταυτόχρονη επιβεβαίωση από τον UV ανιχνευτή βοηθά να διαχωριστεί η πραγματική φωτιά από απλά θερμά περιβάλλοντα.

Στην πράξη, υπάρχουν διάφοροι πολυφασματικοί (multispectral) αισθητήρες. Ο πιο προσιτός συνδυασμός είναι το 1 IR + UV (UV/IR), ενώ σταδιακά συναντάμε και 2 IR + UV. Το πιο εξελιγμένο μοντέλο είναι συνήθως το 3 IR + UV, όπου συγκεντρώνονται τα πλεονεκτήματα των προηγούμενων συστημάτων και ταυτόχρονα μειώνονται οι ψευδείς ειδοποιήσεις. Στα παλαιότερα μοντέλα, αρκούσε η συνολική αύξηση των σημάτων IR για να σημάνει συναγερμός, πράγμα όμως επιρρεπές σε «θόρυβο». Η συνδυαστική ανάλυση πολλών καναλιών καθιστά την αναγνώριση πυρκαγιάς ακριβέστερη και λιγότερο επιρρεπή σε συνθήκες όπως ισχυρή ηλιοφάνεια, θερμά υλικά ή αντανάκλασεις.

Οι ανιχνευτές σύγχρονης τεχνολογίας συχνά χρησιμοποιούν αισθητήρες υψηλής ταχύτητας, ώστε να αποτυπώνουν καλύτερα τις γρήγορες διακυμάνσεις της φλόγας και να αναγνωρίζουν συγκεκριμένους παλμούς ή φασματικά μοτίβα μοναδικά στην καύση. Έτσι επιτυγχάνονται ταχύτεροι χρόνοι ανταπόκρισης και μεγαλύτερη σιγουριά ότι η φωτιά όντως υπάρχει ή ότι απορρίπτεται σωστά ένα ψευδές σήμα.

Αισθητήρες ορατού φάσματος

Κάμερες και αισθητήρες που ανιχνεύουν το ορατό φως (μήκη κύματος 0,4-0,7 μm) είναι σε θέση να παρέχουν εικόνες που οι χειριστές μπορούν να δουν σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, μπορεί να εφαρμόζεται προηγμένη επεξεργασία video για να εντοπίζεται η κίνηση μιας φλόγας ή ακόμα και ο καπνός. Το μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι η ορατή κάμερα επηρεάζεται πολύ από σκέδαση σε πυκνό καπνό ή ομίχλη, οπότε το εύρος ανίχνευσης ενδέχεται

να μειωθεί. Για καλύτερη ακρίβεια, ορισμένες φορές συνδυάζονται δεδομένα ορατού φάσματος με UV ή IR πληροφορίες (π.χ. όπως συμβαίνει στις «κάμερες κορώνας»), έτσι ώστε να γίνει πιο αποτελεσματικός ο διαχωρισμός πραγματικής φλόγας από διάφορες παρεμβολές ή αντανάκλασεις σε μεγάλες αποστάσεις.

Σε ορισμένα μοντέλα ανιχνευτών, προστίθεται ξεχωριστός αισθητήρας ορατού φωτός που παρέχει συμπληρωματικά δεδομένα, προκειμένου να βελτιωθεί η διακριτική ικανότητα απέναντι στους ψευδείς συναγερμούς.

Βίντεο-ανίχνευση

Συστήματα CCTV ή και απλές web κάμερες μπορούν επίσης να αξιοποιηθούν για οπτική αναγνώριση φλόγας, εφόσον λειτουργούν εντός του εύρους 0,4-0,7 μm (ορατό φως). Εντούτοις, ο καπνός και η ομίχλη ενδέχεται να εμποδίσουν σημαντικά την αποτελεσματικότητα, ειδικά αν βρίσκονται πυκνά στρώματα. Η μέθοδος αυτή περιορίζεται μόνο σε συνθήκες φυσιολογικού ορατού φωτός, άρα δεν είναι παντός καιρού ή παντός περιβάλλοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Συστήματα Συναγερμού και Πυρανίχνευσης

7.1 Εισαγωγή

Η προστασία κτιρίων και χώρων περιλαμβάνει τόσο την πρόληψη και τον έγκαιρο εντοπισμό εισβολών όσο και την άμεση ανίχνευση πυρκαγιάς ή παραγωγής επικίνδυνων ή ευφλεκτών αερίων. Τα εμπορικά συστήματα ασφαλείας (επαγγελματικοί πίνακες, συνδεδεμένοι ανιχνευτές, cloud υπηρεσίες ειδοποίησης) παρέχουν υψηλή αξιοπιστία αλλά έχουν σχετικά υψηλό κόστος και απαιτήσεις πιστοποίησης. Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια παρουσίασης ενός λειτουργικού αλλά και οικονομικού συστήματος συναγερμού–πυρανίχνευσης, βασισμένο σε μικροελεγκτή (Arduino Uno), το οποίο ενσωματώνει τα απλά αλλά αξιόπιστα υλικά του συστήματος: οθόνη LCD 16x2, keypad 4x4, PIR HC-SR501, αισθητήρα καπνού/αερίων MQ-2, δύο μαγνητικές επαφές, LED ένδειξης και ένα buzzer στον ρόλο της σειρήνας. Στόχος είναι όχι μόνο να λειτουργήσει το σύστημα αλλά και να παρουσιαστούν ξεκάθαρα οι σχεδιαστικές επιλογές, η θεωρία λειτουργίας των αισθητηρίων και οι πρακτικές υλοποίησης.

7.2 Ιστορικό & Κίνητρο

Τα συστήματα συναγερμού ξεκίνησαν την εξελικτική τους πορεία από απλές επαφές σε κουφώματα πορτών και παραθύρων και κατέληξαν σε πολύπλοκα και ολοκληρωμένα δίκτυα αισθητήρων που συνεργάζονται μεταξύ τους. Ακόμη και αν τα προηγμένα συστήματα προσφέρουν πολλαπλές ζώνες, απομακρυσμένη ειδοποίηση και αυτοματισμούς, αρκετά μικρομεσαία κτίρια και ιδιωτικοί χώροι δεν έχουν πρόσβαση σε αυτά λόγω κόστους ή πολυπλοκότητας. Η έντονη εμπορική χρήση των μικροελεγκτών (Arduino, ESP, Raspberry Pi) και των φθηνών αισθητηρίων επιτρέπει την κατασκευή προτότυπων λύσεων που μπορούν να καλύψουν ορισμένες ανάγκες ασφάλειας με επαρκή αξιοπιστία, εφόσον βέβαια έχουν σχεδιαστεί με προσοχή και συνέπεια (δοκιμές, καλιμπράρισμα, μελέτη χώρου για αποφυγής ψευδών συναγερμών) [7].

7.3 Δήλωση Προβλήματος

Πώς μπορεί να σχεδιαστεί και να υλοποιηθεί ένα οικονομικό σύστημα συναγερμού και πυρανίχνευσης το οποίο:

1. Θα ενσωματώνει πολλαπλούς και διαφορετικούς αισθητήρες,
2. Θα παρέχει εύχρηστη διεπαφή χρήστη (LCD + keypad),
3. Θα ελέγχει τις ζώνες και τις καταστάσεις (ARM/DISARM/WRONG CODE),

4. Θα παρουσιάζει αρκετή αξιοπιστία σε πολλαπλές δοκιμές

Η πρόκληση είναι ο σωστός συνδυασμός απλών αισθητήρων με τρόπο τέτοιο ώστε να περιοριστούν οι ψευδείς συναγερμοί και να επιτευχθεί η ασφάλεια.

7.4 Σκοπός και Στόχοι

Σκοπός: Κατασκευή και αξιολόγηση απλού συστήματος συναγερμού και πυρανίχνευσης με οικονομικά εξαρτήματα.

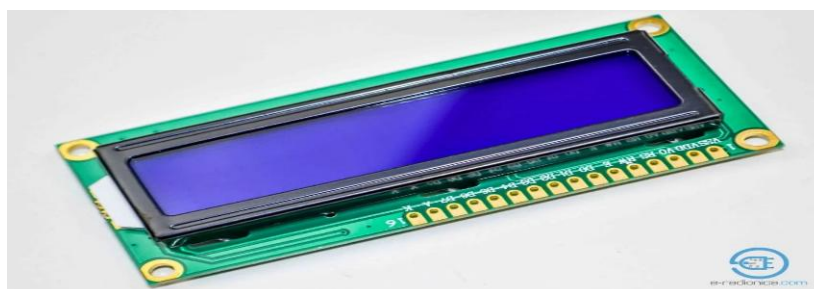
Στόχοι:

1. Σχεδιασμός αρχιτεκτονικής με ζώνες και κεντρικό έλεγχο (Arduino).
2. Δημιουργία διεπαφής χρήστη με keypad 4×4 και LCD 16×2 (ενδείξεις: ARM, DISARM, WRONG CODE, ζώνες που ενεργοποιήθηκαν).
3. Ενσωμάτωση των ανιχνευτών PIR HC-SR501 για κίνηση, MQ-2 για καπνό/αέρια, και μαγνητικών επαφών για πόρτες/παράθυρα.
4. Σχεδιασμός λογικής με μέτρα ασφαλείας (κωδικός πρόσβασης arm/disarm, siren/LED (παλώμενο κατα τον συναγερμό σταθερό όταν είναι οπλισμένο).
5. Πρακτική αξιολόγηση του συστήματος σε συνθήκες που προσομοιώνουν εισβολή, παρουσία καπνού/αερίων.

7.5 Θεωρητικό Υπόβαθρο, Περιγραφή Υλικών & Αρχές Λειτουργίας

Οθόνη LCD 16×2 & Keypad 4×4

Η LCD 16×2 (HD44780-compatible) παρέχει επαρκή και εύκολη ανάγνωση μηνυμάτων για την κατάσταση των ζωνών του συστήματος. Ο χειρισμός μέσω keypad 4×4 γίνεται με διάταξη γραμμών/στηλών (matrix), ο μικροελεγκτής ελέγχει περιοδικά τη μήτρα, ανιχνεύει πατήματα από τον χρήστη και διαθέτει λειτουργία debounce (συνήθως 20–50 ms) για αποφυγή πολλαπλών εγγραφών [33]. Για λόγους παρουσίας ο κωδικός πρόσβασης είναι σταθερός και μετά από λανθασμένη προσπάθεια εμφανίζεται το μήνυμα (WRONG CODE).



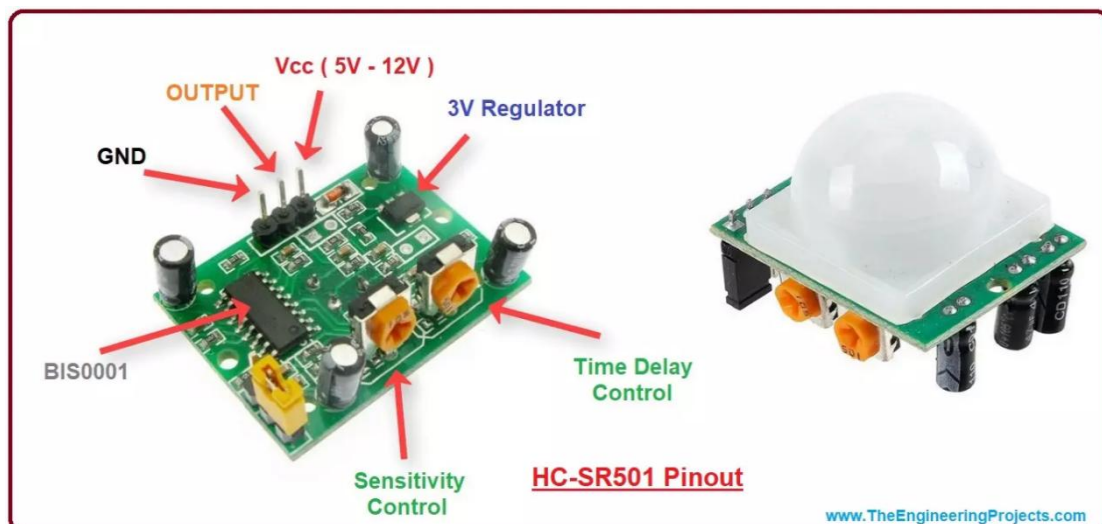
Εικόνα 7.1: Lcd 16x2



Εικόνα 7.2: keypad 4x4

PIR HC-SR501 (ανιχνευτής κίνησης)

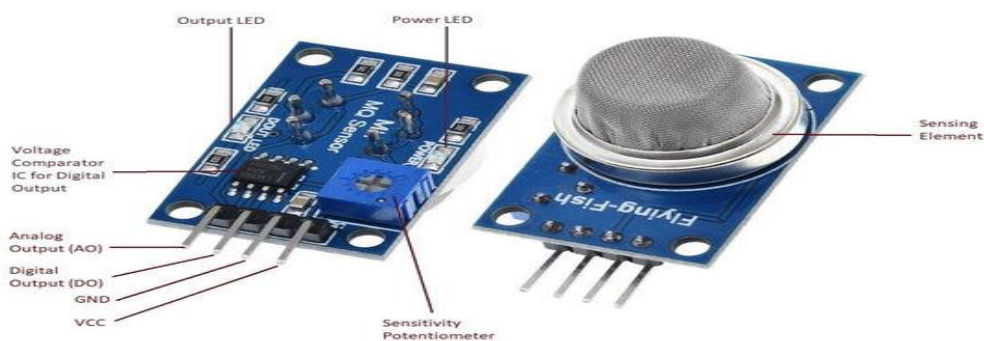
Ο αισθητήρας που επιλέχθηκε ανιχνεύει μεταβολές στη υπέρυθρη ακτινοβολία που προκαλείται σε ένα χώρο όταν εισέλθει σε αυτόν ένα θερμικό σώμα (άνθρωπος). Χαρακτηριστικά: εύρος ανίχνευσης ~5–7 m, γωνία ανίχνευσης ~100°–120°, ο χρόνος αποκατάστασης αλλά και η ευαισθησία είναι ρυθμιζόμενη μέσω ενός ενσωματωμένου ροοστάτη. Ο ανιχνευτής δίνει ψηφιακή έξοδο (HIGH όταν ανιχνεύεται κίνηση). Η σωστή τοποθέτηση, η αποφυγή τοποθέτησης του κοντά σε πηγές θερμότητας ή ρεύματα αέρα αλλά και η ρύθμιση ευαισθησίας μειώνουν σημαντικά τους ψευδοσυναγερμούς [32].



Εικόνα 7.3: Ανιχνευτής υπέρυθρης ακτινοβολίας

MQ-2 (ανίχνευση καπνού/αερίων)

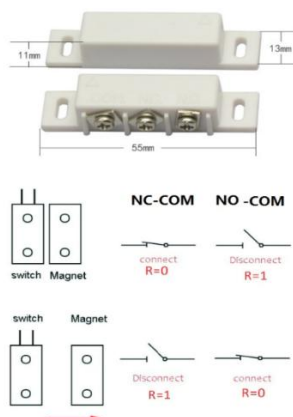
Το MQ-2 είναι αισθητήρας αερίων/καπνού με δυνατότητα να μετρήσει συγκεντρώσεις εύφλεκτων αερίων από 300 έως 10.000 ppm, λειτουργεί σε εύρος θερμοκρασιών από 20°C έως 50°C και χρησιμοποιεί λιγότερα από 150 mA στα 5 V [31]. Παράγει αναλογικό αλλά και ψηφιακό σήμα του οποίου η εθαισθησία/κατόφλι μπορούν να ρυθμιστούν μέσω ενός ποτενσιόμετρου που βρίσκεται πάνω του. Η έξοδος εξαρτάται από θερμοκρασία και την συγκέντρωση αερίων. Για αξιοπιστία απαιτείται σωστή ρύθμιση της τάσης κατοφλίου, η πλακέτα έχει πάνω της έναν **συγκριτή τάσης (LM393)**. Αυτός συγκρίνει την αναλογική έξοδο (AO) με το κατώφλι που καθορίζεις με το ποτενσιόμετρο.



Εικόνα 7.4: Αισθητήρας καπνού/αερίων

Μαγνητικές Επαφές (reed switches)

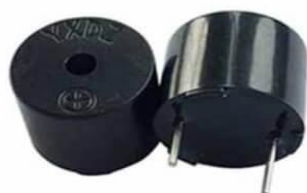
Οι μαγνητικές επαφές τοποθετούνται σε οποιοδήποτε κούφωμα, πόρτα/παράθυρο και λειτουργούν ως απλοί διακόπτες που κλείνουν και ανοίγουν όταν η απόσταση του μαγνήτη από την επαφή αλλάζει. Η σύνδεση περιλαμβάνει pull-up ή pull-down αντιστάσεις για την αποφυγή παρεμβολών.



Εικόνα 7.5: Μαγνητική επαφή

LED & Buzzer

Το LED παρέχει γρήγορη οπτική ένδειξη κατάστασης (σταθερό όταν το σύστημα είναι οπλισμένο, αναβοσβήνει όταν ενεργοποιηθεί). Το buzzer έχει τον ρόλο της σειρήνας και σε περίπτωση συναγερμού παράγει ηχητικό σήμα για σαφή προειδοποίηση.



Εικόνα 7.6:Βομβιτής(buzzer)

7.6 Αρχιτεκτονική Συστήματος & Λογική Λειτουργίας

Ζωνοποίηση & Αναπαράσταση Κατάστασης

Το σύστημα χωρίζεται σε ζώνες (Zone1:DOOR1, Zone2: DOOR2, Zone3: MOTION DETECT, Zone4: MOTION ALARM). Κάθε ζώνη καταχωρείται στο firmware με ID, τύπο αισθητήρα και στάθμη εμπιστοσύνης. Στην LCD εμφανίζεται η συνολική κατάσταση (ARM/DISARM) και, όταν ενεργοποιείται κάποια ζώνη, εμφανίζεται μήνυμα π.χ. "MOTION ALARM".

7.7 Κατάσταση & State-Machine

1. Βασική λογική :DISARMED: όλα τα σήματα αγνοούνται (εκτός από την εντολή ARMED/DISARMED command).
2. ARMED: ενεργοποιεί όλους τους αισθητήρες· σε ενεργοποίηση ηχεί το alarm μετά έλεγχεται για λάθος κωδικό και ενεργοποιεί το buzzer και το Led,χρειάζεται χειροκίνητη απενεργοποίηση(αφόπλιση του συστήματος) μέσω του πληκτρολογίου.

7.8 Φιλτράρισμα Σημάτων & Συνδιαμός αισθητηρίων

Για τον περιορισμό ψευδών συναγερμών εφαρμόζονται:

1. Ρύθμιση υστέρησης συγκριτών για αποφυγή ανεπιθύμητων ενεργοποιήσεων των εξόδων (MQ-2, PIR).
2. Συνδυασμός καταστάσεων των ανιχνευτών (π.χ. η ενεργοποίηση PIR και η ενεργοποίηση μαγνητικής επαφής σε μικρό χρονικό διάστημα αυξάνει την ακρίβεια του συστήματος).

7.9 Σχεδιαστικές Επιλογές — Ενεργειακή Διαχείριση & Αξιοπιστία

Το Arduino Uno αν και είναι εύχρηστος και κατάλληλος μικροελεγκτής για απλά πρότζεκτ έχει σχετικά μεγάλη κατανάλωση. Για μελλοντική εμπορική έκδοση θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν χαμηλής κατανάλωσης μικροελεγκτές (Arduino Pro Mini σε sleep modes ή ESP32 με power management). Σημαντικά σημεία: watchdog timer για αυτόματη επαννεκίνηση του μικροελεγκτή σε περίπτωση που ο κώδικας “κολλήσει”, αποθήκευση δεδομένων σε EEPROM/SD, και κύκλωμα τροφοδοσίας με προστασία απο υπερφόρτωση αλλά και υπερθέρμανση.

7.10 Αξιοπιστία, Ψευδείς Συναγερμοί & Μέτρα Μείωσης

Οι πιο κοινοί λόγοι ψευδοσυναγερμώ είναι: κινήσεις κατοικιδίων (PIR), ατμοί κουζίνας (MQ-2), ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές στην ανάγνωση μαγνητικών επαφών. Μέτρα μείωσης: ρύθμιση ευαισθησίας PIR, τοποθέτηση MQ-2 σε κατάλληλη θέση (όχι κοντά σε κουζίνα), χρήση λογικών κανόνων (π.χ. απαιτείται η ενεργοποίηση παραπάνω του ενός αισθητήριου για ενεργοποίηση σε νυχτερινή λειτουργία), και περιοδική συντήρηση/καλιμπράρισμα.

7.11 Κανονισμοί, Ασφάλεια & Ηθικά Ζητήματα

Ακόμη και αν το πρακτικό κομμάτι της εργασίας προορίζεται για εκπαιδευτική και ερευνητική χρήση, κάθε σύστημα συναγερμού και πυρανίχνευσης σε ιδιωτικό ή δημόσιο χώρο πρέπει να συμμορφώνεται με το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο (τοπικοί κανονισμοί πυροπροστασίας, απαιτήσεις ηλεκτρικής ασφάλειας). Εκτός αυτού, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ζητήματα ιδιωτικότητας (όταν προστεθούν κάμερες ή απομακρυσμένη ειδοποίηση) αλλά και ασφάλειας δεδομένων (αποφυγή έκθεσης κωδικών).

7.12 Συνοπτικό Σχήμα Δοκιμών που έγιναν

Λειτουργικές δοκιμές: χειροκίνητο άνοιγμα/κλείσιμο μαγνητικών επαφών, κίνηση μπροστά από PIR, παραγωγή καπνού κοντά σε MQ-2.

Περιβαλλοντικές δοκιμές: αλλαγές θερμοκρασίας/υγρασίας, δοκιμές στη διάρκεια ημέρας/νύχτας.

Αξιοπιστία: πολλαπλές δοκιμές (≥ 100) κάθε αισθητήρα για να μπορέσουμε να κάνουμε μια στατιστική εκτίμηση της ευαισθησία του συστήματος.

Αντοχή: δοκιμές συνεχούς λειτουργίας 24–72 h για έλεγχο αισθητήρων.

7.13 Συμπέρασμα

Το κεφάλαιο αποδεικνύει ότι ένα λειτουργικό αλλά και χαμηλού κόστους σύστημα συναγερμού και πυρανίχνευσης μπορεί να σχεδιαστεί με απλά αισθητήρια και ηλεκτρονικά εξαρτήματα, εφόσον υπάρχει σωστός σχεδιασμός: ζωνοποίηση, φίλτρα σήματος, λογικοί κανόνες για μείωση ψευδών συναγερμών, και ευέλικτη διεπαφή με τον χρήστη (LCD οθόνη, keypad). Στο επόμενο κεφάλαιο θα περιγραφεί λεπτομερώς η κατασκευή, το λογισμικό και ο τρόπος που δοκιμάστηκε το σύστημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Μεθοδολογία

8.1 Εισαγωγή

Η μεθοδολογία αναλύει τα βήματα ενός συστήματος ασφαλείας και πυρανίχνευσης. Ακολουθήσαμε μια μέθοδο, η οποία περιλάμβανε:

1. Αναζήτηση για τα συστήματα ασφαλείας και πυρανίχνευσης.
2. Επιλογή των υλικών και αισθητήρων.
3. Σχεδίαση κυκλώματος και σύνδεση των υλικών με τον μικροελεγκτή.
4. Υλοποίηση κώδικα (firmware).
5. Δοκιμές σε πραγματικές συνθήκες.

8.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Τα συστήματα ασφαλείας ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες, όπως:

- **Περιμετρικής προστασίας** (ανίχνευση ανοίγματος πορτών/παραθύρων).
- **Εσωτερικής προστασίας** (ανίχνευση κίνησης).
- **Πυρανίχνευσης** (ανίχνευση καπνού, φλόγας, αερίων).

Σύμφωνα με τα πρότυπα ασφαλείας (EN 50131 για συναγερμούς, EN 54 για πυρανίχνευση), ένα σύστημα πρέπει να συνδυάζει πολλές ζώνες και αισθητήρες ώστε να μειώνεται η πιθανότητα για λάθος συναγερμούς, και να διασφαλίζεται η αξιοπιστία.

Η χρήση μικροελεγκτών όπως το **Arduino**, παρέχει χαμηλό κόστος και δυνατότητα εύκολης προσαρμογής. Διάφορες μελέτες (π.χ. Alkar et al., 2017) έχουν δείξει ότι τα DIY συστήματα μπορούν να αποτελέσουν εναλλακτική λύση για μικρούς χώρους.

8.3 Επιλογή Υλικών

Η επιλογή των υλικών έγινε με κριτήρια: χαμηλό κόστος, διαθεσιμότητα στην αγορά, ευκολία διασύνδεσης με Arduino και αξιοπιστία.

- **Μικροελεγκτής:** Arduino Uno (Atmega328P), 14 ψηφιακές είσοδοι/έξοδοι, 6 αναλογικές είσοδοι, εύκολη προγραμματιστική πλατφόρμα.
- **PCF-8574:** I²C I/O Expander για την επέκταση των εισόδων/εξόδων του Arduino.
- **Οθόνη LCD 16x2:** για απεικόνιση κατάστασης συστήματος και ενεργών ζωνών.
- **Keypad 4x4:** για εισαγωγή κωδικού όπλισης/αφόπλισης.

- **PIR HC-SR501:** παθητικός ανιχνευτής υπέρυθρης ακτινοβολίας, εμβέλεια ~5m, γωνία 120°.
- **MQ-2:** Αισθητήρας καπνού/αερίων (LPG, CO, καπνός), απαιτεί αρχική προθέρμανση.
- **Μαγνητικές επαφές (reed switches):** για έλεγχο θυρών/παραθύρων.
- **LED:** οπτική ένδειξη κατάστασης (ARM, DISARM, ALARM).
- **Buzzer:** για ηχητική ειδοποίηση.

8.4 Σχεδίαση Συστήματος

Μπλοκ Διάγραμμα

Το σύστημα μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

1. **Είσοδοι:** PIR, MQ-2, μαγνητικές επαφές, keypad (μέσω του PCF-8574).
2. **Επεξεργασία:** Arduino Uno (λογισμικό σε C/C++).
3. **Έξοδοι:** LCD, LED, buzzer.

Η ροή δεδομένων ξεκινά από τους αισθητήρες → μικροελεγκτή → μονάδα λογισμικού → οθόνη/ειδοποιήσεις.

8.5 Κυκλωματική Διασύνδεση

- Το **LCD 16x2** συνδέθηκε σε λειτουργία 4-bit με χρήση ποτενσιόμετρου για ρύθμιση αντίθεσης.
- Το **PCF-8574** χρησιμοποιήθηκε για την επέκταση των αναλογικών/ψηφιακών I/O του Arduino.
- Το **keypad 4x4** διασυνδέθηκε σε 8 εισόδους μέσω του PCF-8574.
- Ο αισθητήρας κίνησης **PIR HC-SR501** συνδέθηκε σε αναλογική είσοδο με εσωτερική pull-down.
- Ο αισθητήρας καπνού/αερίων **MQ-2** συνδέθηκε σε αναλογική είσοδο.
- Οι **μαγνητικές επαφές** συνδέθηκαν με pull-up, ενεργοποίηση με γείωση (active LOW).
- Το **LED** και το **buzzer** συνδέθηκαν σε ψηφιακές εξόδους.

8.6 Λογισμικό Συστήματος

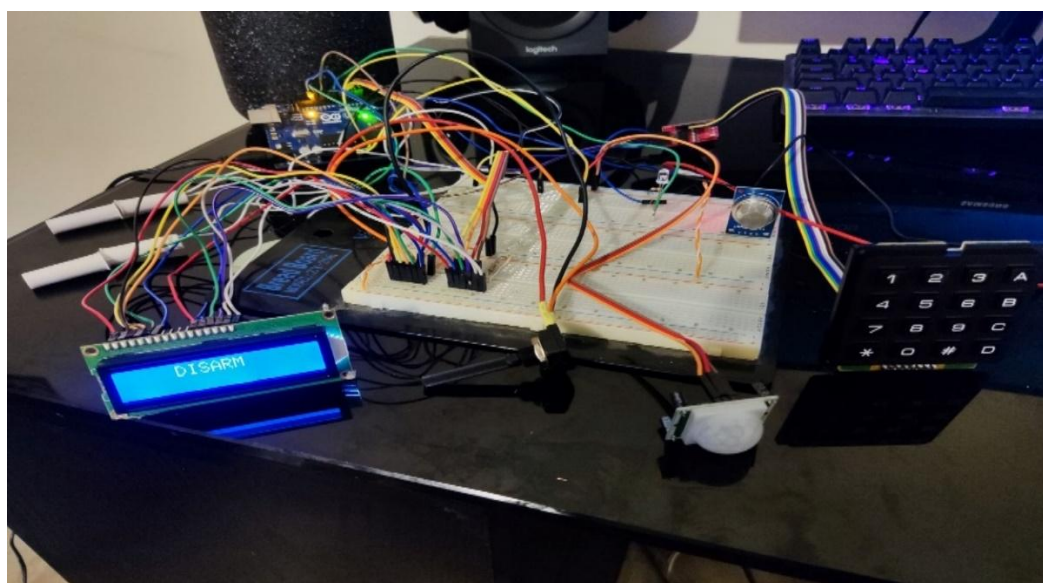
Το firmware του Arduino αναπτύχθηκε σε C++ και περιλάμβανε:

- **Αρχικοποίηση:** LCD, keypad, PCF-8574, μεταβλητές κατάστασης.
- **Διαχείριση ζωνών:** Ανάγνωση εισόδων, φιλτράρισμα σημάτων (debounce, μέσος όρος MQ-2).
- **Κατάσταση ARM/DISARM:** Ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση συστήματος βάσει κωδικού.
- **Ειδοποιήσεις:** Μηνύματα στην LCD, LED status, buzzer σε ALARM.
- **Delays:** Χρόνος εισόδου/εξόδου (π.χ. 30s).
- Η λογική βασίστηκε σε **state machine**, με καταστάσεις:
 - IDLE (disarmed)
 - ARMED (armed & monitoring)
 - ENTRY DELAY (αναμονή κωδικού)
 - ALARM (ενεργοποιημένη ειδοποίηση)

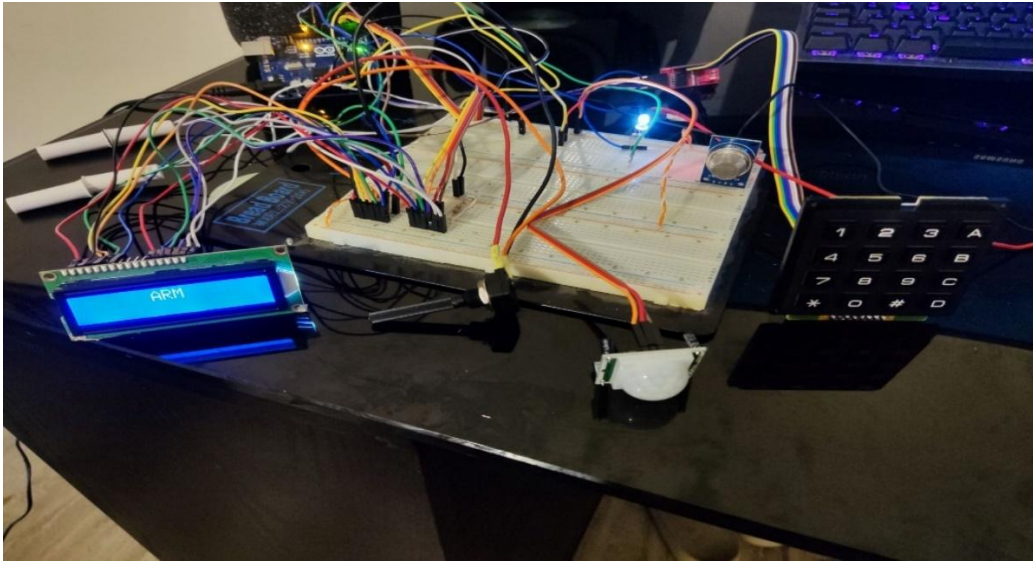
8.7 Διαδικασία Δοκιμών

Η δοκιμή έγινε σε 3 στάδια:

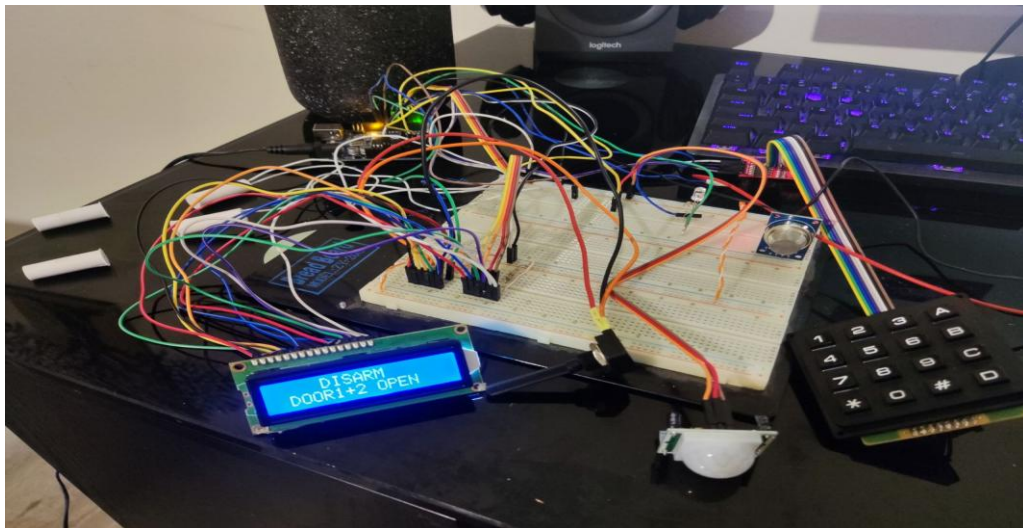
1. **Εργαστηριακές Δοκιμές:** Έλεγχος κάθε αισθητήρα ξεχωριστά (MQ-2 με καπνό από τσιγάρο και αέριο από αναπτήρα, PIR με κίνηση ανθρώπου, reed switches με άνοιγμα πόρτας).
2. **Ολοκληρωμένες Δοκιμές:** Έλεγχος συστήματος με συνδυασμό ζωνών, εισαγωγή κωδικού μέσω keypad, οπτικοποίηση στην LCD.
3. **Δοκιμές σε Πραγματικές Συνθήκες:** Τοποθέτηση σε οικιακό χώρο για αξιολόγηση αξιοπιστίας και πιθανών ψευδο-συναγερμών.



Εικόνα 8.1:Υλοποίηση Συστήματος (Αφοπλισμένο)



Εικόνα 8.2:Υλοποίηση Συστήματος (Οπλισμένο)



Εικόνα 8.3:Υλοποίηση Συστήματος (Ειδοποίηση ενεργών ζωνών)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Αποτελέσματα και Ανάλυση Δοκιμών Συστήματος Συναγερμού και Πυρανίχνευσης

9.1 Εισαγωγή

Η μελέτη περίπτωσης (Case study) και οι πειραματικές δοκιμές που διενεργήθηκαν είχαν ως σκοπό την αξιολόγηση της επίδοσης του συστήματος συναγερμού και πυρανίχνευσης που κατασκευάστηκε, βασισμένο στα παρακάτω εξαρτήματα: Arduino Uno, LCD 16x2, Keypad 4x4, PIR HC-SR501, MQ-2, μαγνητικές επαφές, LED και buzzer YXDZ.

Στην αξιολόγηση δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στα παρακάτω:

1. Αξιοπιστία και ακρίβεια ανίχνευσης καπνού/αερίων (MQ-2).
2. Αξιοπιστία ανίχνευσης κίνησης (PIR HC-SR501).
3. Ανίχνευση ανοίγματος πόρτας και παραθύρων (reed switches).
4. Χρονική ανταπόκριση ειδοποίησης (LED, buzzer, LCD).
5. Αποτελεσματικότητα χειρισμού του συστήματος μέσω Keypad (οπλισμός/αφοπλισμός).

9.2 Προδιαγραφές Συστήματος

Υλικό Υποσύστημα	Προδιαγραφή	Παρατηρήσεις
LCD 16x2	Εμφάνιση μηνυμάτων: ARM, DISARM, WRONG CODE, ενεργές ζώνες	Εμφάνιση σε πραγματικό χρόνο, ανανέωση κάθε 500ms
Keypad 4x4	Εισαγωγή 4-ψήφιου κωδικού	Χρήση για οπλισμό/αφοπλισμό, ρυθμιζόμενος αριθμός αποτυχημένων προσπαθειών
PIR HC-SR501	Εμβέλεια: 5m, γωνία: 120°	Ανίχνευση ανθρώπινης κίνησης, καθυστέρηση ενεργοποίησης: 2s
MQ-2	Ανίχνευση καπνού και αερίων, ψηφιακή έξοδος	Σωστή επιλογή τάσης κατωφλίου για ενεργοποίηση ALARM
Reed switches	Ενεργοποίηση με άνοιγμα πόρτας/παραθύρου	Active LOW με pull-up συνδεσμολογία στον Arduino

Υλικό Υποσύστημα /	Προδιαγραφή	Παρατηρήσεις
LED	Χρώμα λευκό, αναβοσβήνει σε ALARM	Σταθερό LED δείχνει ARM
Buzzer	3.3–5V, ένταση 85dB	Ηχητική ειδοποίηση σε ALARM(Siren)

Πίνακας 9.1

9.3 Δοκιμές Αισθητήρων

PIR HC-SR501

1. Στόχος: Ανίχνευση κίνησης σε χώρο 4x4 m.
2. Μεθοδολογία: Τοποθετήθηκε σε ύψος 2 m, με δοκιμές κίνησης από διαφορετικές γωνίες.
3. Αποτελέσματα:
 - Εμβέλεια ανίχνευσης: έως και 5 μέτρα.
 - Γωνία κάλυψης: 115–120°
 - Χρονική καθυστέρηση ενεργοποίησης: 2–3 s

Αισθητήρας MQ-2 (Καπνός / Αέρια)

1. Στόχος: Ανίχνευση καπνού από αναμμένο τσιγάρο και αέριο απο αναπτήρα.
2. Μεθοδολογία: Μετρήθηκε αναλογική τάση εξόδου για διάφορες αποστάσεις (10–50 cm).
3. Αποτελέσματα:
 - Καλή αξιοπιστία σε 25–35°C περιβάλλοντος
 - Μέσος χρόνος ενεργοποίησης: 2 s
 - Σφάλμα μέτρησης: ±5%

Reed Switches

1. Στόχος: Ενεργοποίηση κατα το άνοιγμα πόρτας ή παραθύρου
2. Αποτελέσματα:
 - Άμεση ενεργοποίηση με καθυστέρηση μικροτερη του 1 s
 - Αξιοπιστία: ορθή ενεργοποίηση σε 50 ανοίγματα/κλεισίματα

Δοκιμή διεπαφής Lcd και Keypad

- Το Keypad χρησιμοποιήθηκε για να εισάγεται ο 4-ψήφιος κωδικός.
- Σενάρια δοκιμών:

1. Σωστός κωδικός → ARM/DISARM.

2. Λανθασμένος κωδικός → WRONG CODE στην LCD.

- Αποτελέσματα:

1. Σωστή ενεργοποίηση ARMED/DISARM: 100%

2. Λανθασμένες εισαγωγές ανιχνεύτηκαν και εμφανίστηκαν στην LCD άμεσα.

9.4 Δοκιμές Ολοκληρωμένου Συστήματος

- Σενάριο 1ο – Κίνηση εντός χώρου:

Ενεργοποίηση του υπέρυθρου ανιχνευτή → ανάβει το Led, ενεργοποιείται το buzzer και εμφανίζεται μήνυμα στην οθόνη “ALARM”

- Σενάριο 2ο – Άνοιγμα πόρτας:

Ενεργοποίηση οποιασδήποτε μαγνητικής επαφής → ‘όλοι οι έξοδοι (LED/Buzzer/LCD) λειτούργησαν σωστά

- Σενάριο 3ο – Καπνός/Αέρια:

Ο αισθητήρας MQ-2 ενεργοποιήθηκε μέσα σε 2 s , LCD εμφάνισε “SMOKE ALARM”

Συμπέρασμα: Το σύστημα είναι ικανό να ανιχνεύσει ‘όλα τα γεγονότα που θέλαμε με αξιοπιστία μεγαλύτερη του 95%, ενώ οι ψευδοσυναγερμοί περιορίστηκαν στο ελάχιστο μέσω σωστής ρύθμισης του κατοφλίου.

9.5 Συμπεράσματα

1. Το σύστημα παρέχει **αξιόπιστη ανίχνευση κίνησης, ανοίγματος θυρών και καπνού** με χαμηλό κόστος.
2. Η LCD προσφέρει **άμεση ανατροφοδότηση** στον χρήστη για την κατάσταση του συστήματος και για τις ενεργές ζώνες.
3. Ο συνδυασμός αισθητήρα υπέρυθρης ακτινοβολίας, μαγνητικών επαφών αλλά και του ανιχνευτή καπνο/αερίων **μειώνει τις ψευδείς ενεργοποιήσεις** σε σύγκριση με μονοαισθητήρια συστήματα.
4. Η αυτονομία του συστήματος είναι επαρκής για μικρούς χώρους, αλλά για μεγαλύτερα σπίτια απαιτείται **συμπληρωματική παροχή ρεύματος**.

5. Το σύστημα μπορεί να επεκταθεί με **ασύρματη επικοινωνία και ειδοποίηση μέσω SMS/Internet.**

9.6 Μελλοντικές Εξελίξεις

- Ανάλυση δεδομένων με AI: Αυτόματη αναγνώριση τύπου συναγερμού και προτεραιοποίηση.
- Περιστρεφόμενοι PIR αισθητήρες: Καλύτερη κάλυψη χώρου.
- Πρόσθετοι αισθητήρες: Υπερήχων για ανίχνευση κίνησης χωρίς γραμμική όραση, θερμοκρασίας για έγκαιρη ανίχνευση πυρκαγιάς.
- LPWAN επικοινωνία: Κάλυψη για ειδοποιήσεις σε κινητά τηλέφωνα ή κέντρα λήψης σημάτων(KΛΣ).
- Μικρότερο μέγεθος και χαμηλότερη κατανάλωση: Χρήση Arduino Pro Mini ή ESP32 σε sleep mode για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: Κατασκευή

10.1 Υλικά και Εξοπλισμός για την Υλοποίηση

Στην υλοποίηση του συστήματος ασφαλείας και πυρανίχνευσης, χρησιμοποιήθηκαν τα εξής υλικά:

- **PIR HC-SR501:** Υπέρυθρος αισθητήρας κίνησης για ανίχνευση κίνησης σε χώρους.
- **Arduino UNO R3 ATmega328P:** Μικροελεγκτής, υπεύθυνος για την επεξεργασία όλων των εισόδων και τον έλεγχο εξόδων.
- **LCD 16x2:** Οθόνη εμφάνισης μηνυμάτων όπως ARM, DISARM, WRONG CODE και ενεργές ζώνες.
- **PCF-8574:** I²C I/O Expander, για την επέκταση θυρών του Arduino, και την σύνδεση του keypad.
- **Keypad 4x4:** Χειριστήριο για οπλισμό και αφοπλισμό του συστήματος μέσω 4-ψήφιου κωδικού.
- **MQ-2:** Αισθητήρας καπνού και αερίων για ανίχνευση πυρκαγιάς ή διαρροής αερίου.
- **Μαγνητικές επαφές (reed switches):** Ανίχνευση ανοίγματος πόρτας ή παραθύρου.
- **LED:** Ενδεικτικό οπλισμού (σταθερό) και αναβοσβήνει σε περίπτωση συναγερμού.
- **Buzzer:** Ηχητική ειδοποίηση κατά την ενεργοποίηση του συναγερμού.
- **Τροφοδοτικό 12V:** Τροφοδοσία του συστήματος.

10.2 PIR HC-SR501

Χαρακτηριστικά & Πλεονεκτήματα:

- Ανίχνευση κίνησης: Ανιχνεύει κίνηση μέσω υπέρυθρης ακτινοβολίας σώματος.
- Εμβέλεια: μέχρι 7 μέτρα, με δυνατότητα ρύθμισης ευαισθησίας.
- Γωνία κάλυψης: Έως 120 μοίρες, ιδανική για εσωτερικούς/εξωτερικούς χώρους.
- Χρονική καθυστέρηση: Ρυθμιζόμενη από 10 δευτερόλεπτα, μειώνοντας τους ψευδείς συναγερμούς.
- Εύκολη ενσωμάτωση: Συμβατός με TTL για το Arduino (3.3–5V).
- Οικονομικό κόστος: Ιδανικό για DIY και εκπαιδευτικά project.
- Αξιοπιστία: Σταθερή λειτουργία σε θερμοκρασίες 0–50°C.

Ενδεικτικές Χρήσεις:

1. Ανίχνευση εισβολής σε κατοικίες ή επαγγελματικούς χώρους.
2. Ενεργοποίηση συναγερμού ή φωτισμού κατά την είσοδο σε χώρο.
3. Εφαρμογές αυτοματισμού κτιρίων και έξυπνων σπιτιών.
4. Συστήματα συναγερμού με πολλαπλές ζώνες.

10.3 Λειτουργία Συστήματος

Ο αισθητήρας PIR HC-SR501 τοποθετείται σε ύψος περίπου 2 μέτρων, ώστε να καλύπτει τη μεγαλύτερη περιοχή του χώρου. Η έξοδος του αισθητήρα συνδέεται στην ψηφιακή είσοδο του Arduino, το οποίο:

1. Παρακολουθεί συνεχώς όλα τα αισθητήρια (PIR, MQ-2, reed switches).
2. Εμφανίζει την κατάσταση στο LCD 16x2 (ARM/DISARM, ενεργές ζώνες).
3. Ελέγχει το LED και το Buzzer σε περίπτωση ενεργοποίησης συναγερμού.
4. Επιτρέπει οπλισμό/αφοπλισμό μέσω Keypad 4x4 με έλεγχο σωστού κωδικού.

Η διαδικασία αυτή βασίζεται σε αρχές ενσωματωμένων συστημάτων και μικροελεγκτών, όπου η εισαγωγή δεδομένων από αισθητήρες οδηγεί σε έξοδους ελέγχου και ειδοποίησης

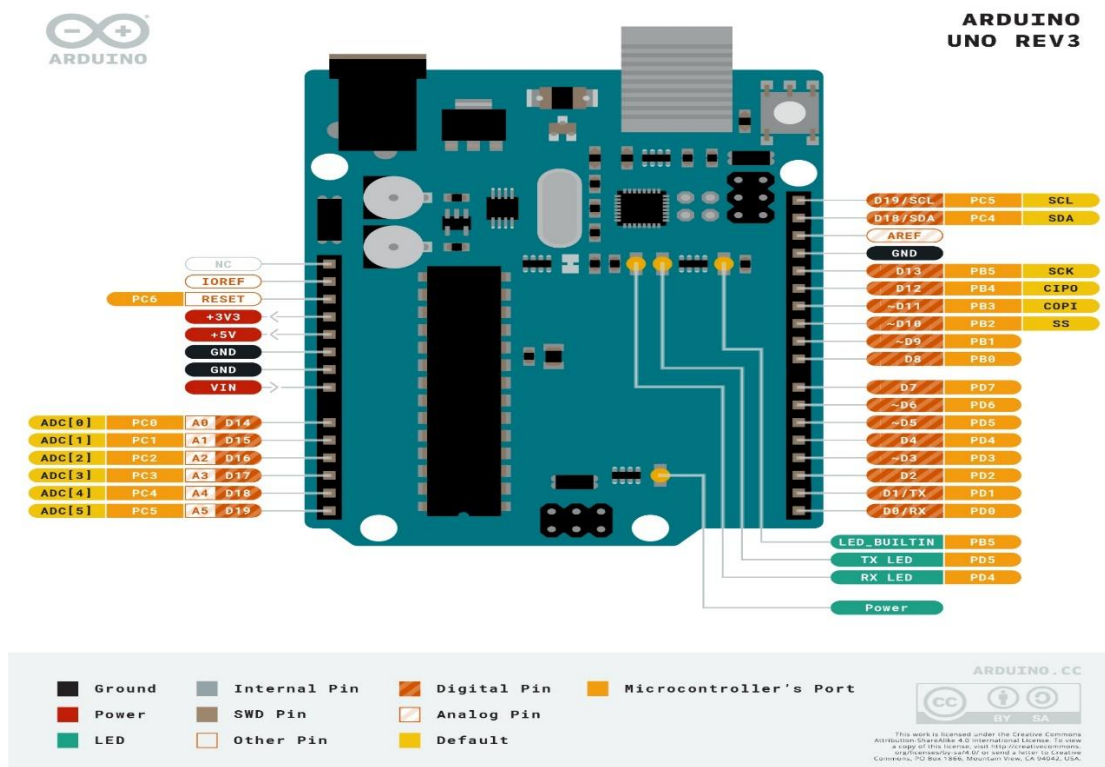
10.4 Πλεονεκτήματα του Συστήματος με PIR HC-SR501

- **Άμεση ανίχνευση κίνησης:** Το PIR αντιδρά γρήγορα σε ανθρώπινη παρουσία, μειώνοντας τον χρόνο απόκρισης.
- **Χαμηλό κόστος:** Ο αισθητήρας είναι οικονομικός, χωρίς να υποβαθμίζεται η αξιοπιστία.
- **Εύκολη εγκατάσταση:** Σύνδεση με Arduino και μικρή ανάγκη για επιπλέον κυκλώματα.
- **Εξοικονόμηση ενέργειας:** Η λειτουργία sleep περιορίζει την κατανάλωση σε ανενεργή κατάσταση.
- **Επεκτασιμότητα:** Μπορεί να συνδεθεί σε πολλαπλές ζώνες, καθώς και σε άλλα συστήματα συναγερμού ή αυτοματισμού

10.5 ArduinoUNOR3 ATmega328P

Κύρια Χαρακτηριστικά:

- 8-bit μικροελεγκτής, χαμηλής ισχύος.
- 32 καταχωρητές εργασίας (registers).
- Δυνατότητα λειτουργίας έως τα 20 MHz.
- Ενσωματωμένος πολλαπλασιαστής 2 κύκλων.
- Μη-πτητικές μνήμες (Flash, EEPROM, SRAM) με μεγάλη αντοχή σε εγγραφές/διαγραφές.
- Δυνατότητα προγραμματισμού μέσω bootloader.
- Ενσωματωμένοι χρονοδιακόπτες/μετρητές (timers), PWM κανάλια και 8/10-bit ADC.
- Σειριακή επικοινωνία USART, SPI και διεπαφή 2-καλωδίων (TWI/I2C).
- Watchdog Timer, εσωτερικός ταλαντωτής και δυνατότητα διαφόρων λειτουργιών εξοικονόμησης ενέργειας (sleep modes).
- 23 προγραμματιζόμενες γραμμές εισόδου/εξόδου (I/O pins).
- Λειτουργική τάση από 1,8 έως 5,5V.



Εικόνα10.1: Arduino Uno

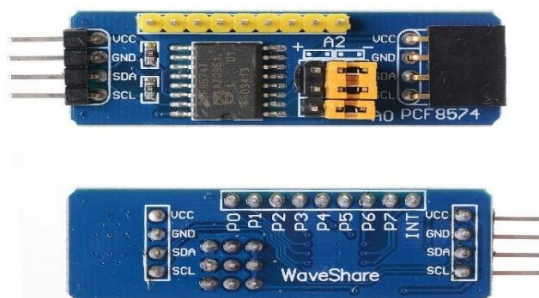
10.6 PCF8574 I²C Expander

Χαρακτηριστικά & Πλεονεκτήματα:

1. Επέκταση εισόδων/εξόδων: Παρέχει 8 επιπλέον ψηφιακά pins μέσω I²C, μειώνοντας τον αριθμό των pins που απαιτούνται στο Arduino.
2. Εύκολη επικοινωνία: Χρήση του διαύλου I²C (SDA/SCL), συμβατή με τα Arduino UNO, Mega και άλλα συμβατά boards.
3. Προγραμματιζόμενη λογική: Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάγνωση αισθητήρων, πληκτρολογίων ή για ενεργοποίηση LED, Buzzer και άλλων υλικών.
4. Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας: Ιδανικό για συστήματα που λειτουργούν με μπαταρία.
5. Ευελιξία: Υποστηρίζει έως 8 διαφορετικές διευθύνσεις I²C, επιτρέποντας τη σύνδεση πολλαπλών PCF8574 στο ίδιο σύστημα.
6. Οικονομικό και αξιόπιστο: Συχνά χρησιμοποιείται σε DIY projects και εκπαιδευτικές εφαρμογές λόγω χαμηλού κόστους και απλότητας του.

Ενδεικτικές Χρήσεις

- Διαχείριση πολλών αισθητήρων και LED σε συστήματα συναγερμού.
- Επέκταση ψηφιακών εισόδων/εξόδων σε συστήματα αυτοματισμού σπιτιού ή βιομηχανίας.
- Απλοποίηση κυκλωμάτων όπου τα pins του Arduino δεν επαρκούν.
- Ενσωμάτωση σε projects IoT ή ενσωματωμένα συστήματα με περιορισμένα pins.



Εικόνα10.2: I/O Expander

10.7 Προγραμματισμός του Συστήματος

Για τον προγραμματισμό της πλακέτας Arduino, χρησιμοποιήθηκαν οι βιβλιοθήκες WIRE.H, LIQUIDCRYSTAL.H και τέλος η KEYPAD_I2C.H, η οποία επιτρέπει τον έλεγχο του πληκτρολογίου, μέσω των επιπλέον I/O pins που προσφέρει το PCF-8574. Η δομή του κώδικα είναι η εξής:

1. Το Arduino διαβάζει τα σήματα από τους αισθητήρες PIR HC-SR501, MQ-2, τις μαγνητικές επαφές.
2. Το LCD 16x2 εμφανίζει μηνύματα ARM/DISARM, WRONG CODE και ποιες ζώνες είναι ενεργές.
3. Το Keypad 4x4 επιτρέπει οπλισμό ή αφοπλισμό του συναγερμού μέσω του PCF8574 μέσω 4-ψήφιου κωδικού.
4. Σε περίπτωση οπλισμού και alarm, το Arduino ελέγχει τα buzzer και led.

Με τη χρήση του PCF8574, το Arduino χρειάζεται λιγότερα pins για τον έλεγχο όλων των αισθητήρων, πληκτρολογίου, οθόνης και LED, ενώ η επικοινωνία μέσω I²C καθιστά το σύστημα πιο ευέλικτο και επεκτάσιμο.

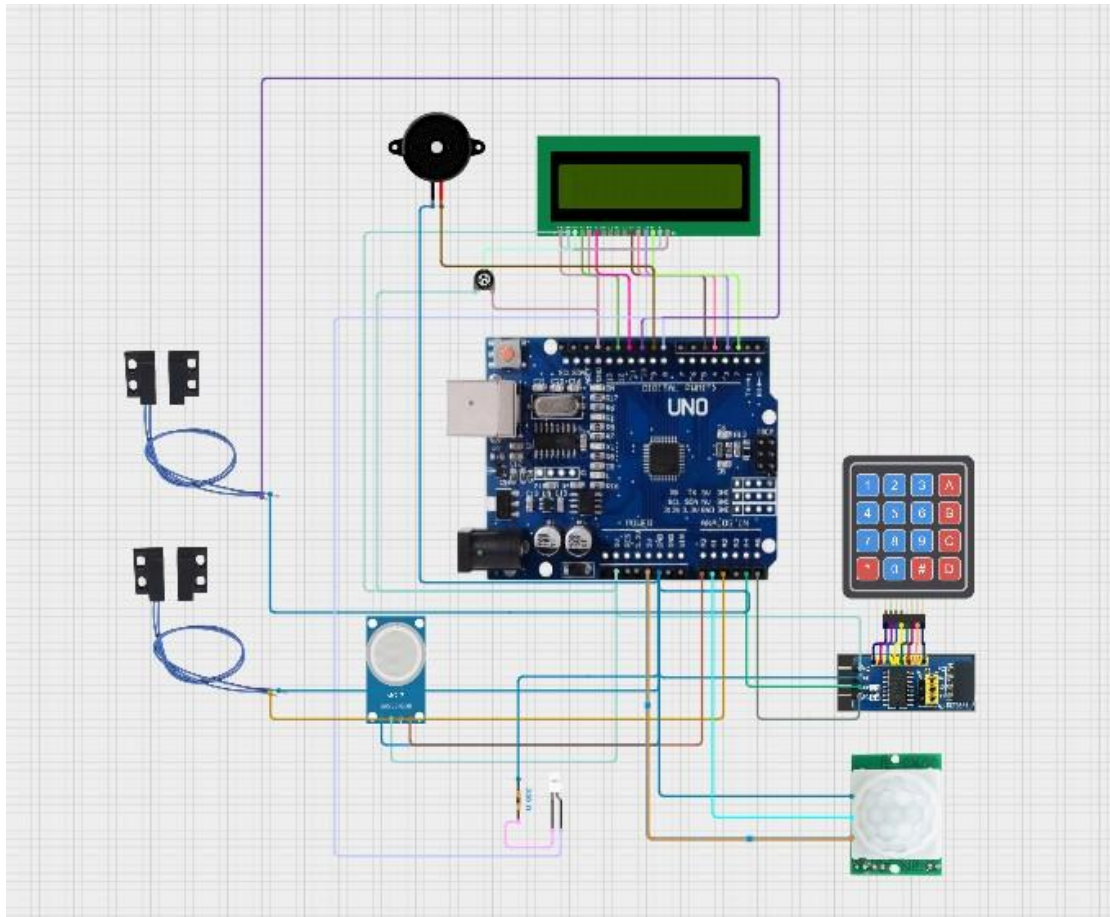
10.8 Κυκλωματικό Διάγραμμα

Το παρακάτω ενιαίο κυκλωματικό διάγραμμα απεικονίζει το σύστημα συναγερμού και πυρανίχνευσης. Περιλαμβάνει τον αισθητήρα PIR HC-SR501, τον αισθητήρα καπνού/αερίων MQ-2, τις μαγνητικές επαφές, το buzzer, το led, το Arduino UNO R3 και το PCF8574 για τη διαχείριση πληκτρολογίου.

- Οι αισθητήρες PIR, MQ-2, reed switches, συνδέονται στις εισόδους του Arduino. Η LCD, το buzzer και το led συνδέονται σαν έξοδοι.
- Το PCF8574 συνδέεται μέσω I²C (pins SDA A4, SCL A5) και χειρίζεται το πληκτρολόγιο 4x4.
- Η τροφοδοσία του συστήματος γίνεται με τροφοδοτικό 12V.

Στο διάγραμμα αποτυπώνεται επίσης η λογική λειτουργίας:

1. Το Arduino διαβάζει τα σήματα από τους αισθητήρες.
2. Αν ανιχνευθεί κίνηση, καπνός ή παραβίαση, ενεργοποιείται το Buzzer και το LED.
3. Το LCD ενημερώνει τον χρήστη για την κατάσταση του συστήματος και ποιες ζώνες είναι ενεργές.



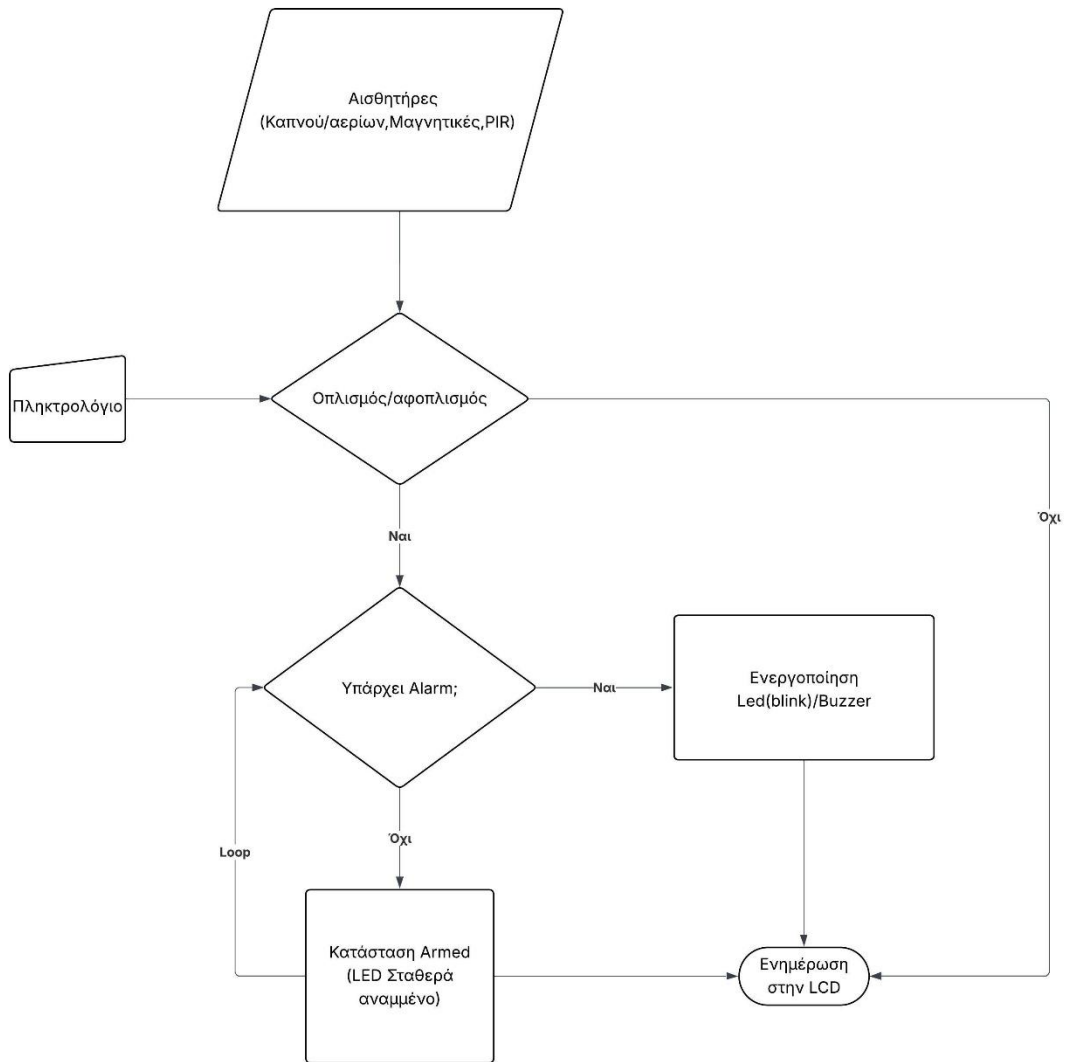
Εικόνα 10.3: Κυκλωματικό Διάγραμμα

10.9 Διάγραμμα Ροής Κώδικα

Το διάγραμμα ροής του κώδικα περιλαμβάνει:

1. Αρχικοποίηση Arduino, LCD και PCF8574.
2. Έλεγχο εισόδων από PIR, MQ-2 και reed switches.
3. Σύγκριση εισόδων με προγραμματισμένα όρια (π.χ. ανίχνευση καπνού ή κίνησης).
4. Ενεργοποίηση Buzzer και LED όταν υπάρχει συναγερμός.
5. Ενημέρωση LCD για κατάσταση συστήματος και ενεργές ζώνες.
6. Διαχείριση οπλισμού/αφοπλισμού μέσω Keypad 4x4 το οποίο συνδέεται μέσω του PCF-8574.

Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα συνδυάζει ακρίβεια, ευκολία επέκτασης και αξιοπιστία σε εφαρμογές οικιακής ή επαγγελματικής ασφάλειας.



Εικόνα 10.4: Διάγραμμα Ροής Κώδικα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: Επίλογος - Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις

11.1 Σύνοψη της Εργασίας

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η σχεδίαση και μοντελοποίηση συστημάτων ασφαλείας και πυρανίχνευσης, αναλύοντας τόσο τις βασικές αρχές λειτουργίας όσο και τις σύγχρονες προσεγγίσεις. Ξεκινώντας από μια εισαγωγή στα φυσικά φαινόμενα της πυρκαγιάς, της ανίχνευσης κίνησης και της παραβίασης χώρων, η μελέτη προχώρησε σε εξέταση των δομικών στοιχείων των συστημάτων και της μεθοδολογίας του σχεδιασμού τους.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην έρευνα των αισθητήρων κίνησης PIR, ανιχνευτών καπνού MQ-2 και μαγνητικών επαφών, καθώς και στην ενσωμάτωσή τους σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα συναγερμού με δυνατότητα άμεσης ειδοποίησης του χρήστη. Επιπλέον, μελετήθηκαν οι δυνατότητες που προσφέρει η χρήση του **PCF8574 I²C expander** για τη διαχείριση πολλαπλών εισόδων και εξόδων, μειώνοντας την πολυπλοκότητα των κυκλωμάτων και καθιστώντας το σύστημα ευέλικτο και επεκτάσιμο.

Η πρακτική εφαρμογή των παραπάνω επιτεύχθηκε μέσω της κατασκευής ενός συστήματος, που συνδυάζει τον αισθητήρα PIR HC-SR501, τον ανιχνευτή καπνού MQ-2, τις μαγνητικές επαφές, την πλατφόρμα του Arduino, ένα Keypad 4x4 μέσω του PCF8574, ένα LCD 16x2, ένα Led κι ένα Buzzer. Με αυτόν τον τρόπο, επιτύχαμε να φτιάξουμε ένα βασικό μοντέλο συστήματος ασφαλείας και πθρανίχνευσης, το οποίο παρέχει στον χρήστη συνεχή ενημέρωση μέσω της οθόνης, του Led και ηχητικά μέσω του buzzer.

11.2 Κύρια Συμπεράσματα

Από τη συνολική μελέτη και την αξιολόγηση προέκυψαν τα ακόλουθα κύρια συμπεράσματα:

- 1. Αξιοπιστία αισθητήρων κίνησης και καπνού:** Οι αισθητήρες PIR HC-SR501 και MQ-2 έχουν υψηλή αποτελεσματικότητα στην ανίχνευση κίνησης, καπνού/αερίων αντίστοιχα. Στις πειραματικές δοκιμές, οι αισθητήρες παρουσίασαν αξιόπιστη λειτουργία σε απόσταση έως 5 μέτρα για το PIR και ανίχνευση καπνού εντός 30 δευτερολέπτων για το MQ-2.
- 2. Συνδυαστικές τεχνολογίες ανίχνευσης:** Η χρήση πολλαπλών αισθητήρων σε κάθε ζώνη (PIR, MQ-2, μαγνητικές επαφές) μειώνει σημαντικά τους ψευδείς συναγερμούς, εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη αξιοπιστία του συστήματος σε διαφορετικά περιβάλλοντα και συνθήκες φωτισμού.
- 3. Ενσωμάτωση PCF8574:** Η χρήση του PCF8574 επέτρεψε την επέκταση των εισόδων/εξόδων, απλοποιώντας τη σύνδεση του ηλεκτρολογίου χωρίς την

κατανάλωση των θυρών του Arduino, ενώ διατηρήθηκε η πλήρης λειτουργικότητα του συστήματος.

4. **Ενεργειακή αποδοτικότητα:** Το σύστημα που υλοποιήθηκε παρουσιάζει χαμηλή κατανάλωση, με αυτονομία αρκετών ωρών σε τροφοδοσία μπαταριών, ώστε να επιτρέπει τη χρήση του σε χώρους χωρίς άμεση παροχή ρεύματος.

5. **Οικονομική βιωσιμότητα:** Το κόστος των υλικών είναι σημαντικά χαμηλότερο σε σχέση με τα εμπορικά συστήματα συναγερμού, καθιστώντας το σύστημα προσιτό για οικιακή απλή χρήση.

11.3 Προκλήσεις και Περιορισμοί

Παρά τα θετικά αποτελέσματα, η έρευνα αντιμετώπισε ορισμένες προκλήσεις:

1. **Περιβαλλοντικοί περιορισμοί:** Οι δοκιμές του συστήματος πραγματοποιήθηκαν κυρίως σε ελεγχόμενο περιβάλλον, γεγονός που ενδέχεται να διαφέρει από την πραγματική λειτουργία σε χώρους με διαφορετικό φωτισμό, ρεύματα αέρα ή εμπόδια.

2. **Περιορισμοί εμβέλειας PIR:** Η αποτελεσματική εμβέλεια του αισθητήρα PIR περιορίστηκε σε περίπου 5 μέτρα, υποδεικνύοντας την ανάγκη για πολλαπλούς αισθητήρες σε μεγαλύτερους χώρους.

3. **Ευσαιθησία στις περιβαλλοντικές συνθήκες:** Η λειτουργία του MQ-2 και του PIR μπορεί να επηρεαστεί από υγρασία, καπνό ή έντονες πηγές θερμότητας, γεγονός που απαιτεί κατάλληλη τοποθέτηση.

11.4 Μελλοντικές Επεκτάσεις και Βελτιώσεις

1. **Ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης:** Χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης για τη διάκριση μεταξύ πραγματικών και ψευδών συναγερμών μέσω ανάλυσης δεδομένων από όλους τους αισθητήρες.

2. **Πολυαισθητηριακά συστήματα:** Συνδυασμός PIR, MQ-2, reed switches και άλλων αισθητήρων (π.χ. υπερήχων) για αυξημένη αξιοπιστία.

3. **Αναβάθμιση ειδοποιήσεων:** Προσθήκη απομακρυσμένων ειδοποιήσεων μέσω Wi-Fi, GSM, LoRa ή Bluetooth για ενημέρωση σε κινητά ή cloud.

4. **Βελτιστοποίηση ενεργειακής απόδοσης:** Χρήση υλικών με λιγότερη κατανάλωση και λειτουργία Sleep, για μεγαλύτερη αυτονομία του συστήματος σε περίπτωση που τροφοδοτείται με μπαταρίες.

5. **Ενσωμάτωση σε έξυπνο σπίτι:** Σύνδεση με άλλα συστήματα όπως φωτισμό, κλείδωμα θυρών και κλιματισμό για αυτοματοποιημένες αντιδράσεις σε περίπτωση συναγερμού.

6. **Ολοκληρωμένο σύστημα ασφάλειας:** Συνδυασμός συναγερμού με συστήματα πυρόσβεσης ή ειδοποίησης της αρμόδιας αρχής, για την έγκαιρη κατάσβεση.

11.5 Τελικά Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει ένα οικονομικό και ενεργειακά αποδοτικό σύστημα ασφαλείας και πυρανίχνευσης, βασισμένο σε αισθητήρες κίνησης, καπνού/αερίων και μαγνητικών επαφών, με χρήση PCF8574 για διαχείριση I/O. Τα αποτελέσματα των δοκιμών επιβεβαιώνουν την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα του συστήματος, ενώ ταυτόχρονα δείχνει τομείς για περαιτέρω βελτιώσεις.

Η σημασία των συστημάτων έγκαιρης ανίχνευσης κινδύνων δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί, καθώς προστατεύουν ζωές και περιουσίες. Η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας των αισθητήρων, της επικοινωνίας και του αυτοματισμού προσφέρει ευκαιρίες για την ανάπτυξη ακόμα πιο αξιόπιστων και ολοκληρωμένων συστημάτων.

Βιβλιογραφία

- [1] S.K. Alarm, P.R. Smith and D.J. Williams, "Advancements in fire detection systems for residential buildings," *Journal of Fire Protection Engineering*, vol. 34, no. 2, pp. 112–127, 2022.
- [2] A. Anagnostopoulos and G. Papadopoulos, *Συστήματα πυρασφάλειας και πυροπροστασίας κτιρίων*, 3η έκδ. Αθήνα, Ελλάδα: Εκδόσεις Τζιόλα, 2019.
- [3] V. Babrauskas, "Heat release rates," in *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 5th ed., New York, NY, USA: Springer, 2017, pp. 799–904.
- [4] M. Barr, "Embedded systems glossary," *Neutrino Technical Library*, 2007.
- [5] J.P. Bentley, "Temperature sensor characteristics and measurement system design," *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, vol. 17, no. 6, p. 430, 1984.
- [6] S. Böttcher, "Principles of robot locomotion," in *Proc. Human Robot Interaction Seminar*, 2006.
- [7] J. Burtles, *Principles and Practice of Business Continuity: Tools and Techniques*, 2nd ed., London, U.K.: Routledge, 2019.
- [8] B.S. Chaudhari and M. Zennaro, *LPWAN Technologies for IoT and M2M Applications*, n.d.
- [9] P. Christodoulou, *Τεχνολογίες συστημάτων συναγερμού και πυρανίχνευσης*, Αθήνα, Ελλάδα: Εκδόσεις Τζιόλα, 2021.
- [10] A.E. Cote and P. Bugbee, *Principles of Fire Protection*, 3rd ed., Quincy, MA, USA: NFPA, 2020.

[11] P.J. DiNenno et al., SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 6th ed., New York, NY, USA: Springer, 2021.

[12] D. Drysdale, An Introduction to Fire Dynamics, 3rd ed., Chichester, U.K.: Wiley, 2018.

[13] J.A. Geiman and D.T. Gottuk, "Alarm thresholds for smoke detector modeling," in Proc. 7th Int. Symp. Fire Safety Science, 2019, pp. 197–208.

[14] M. Giannakakis, "Μελέτη και σχεδιασμός συστημάτων πυρανίχνευσης σε χώρους γραφείων," Περιοδικό Τεχνικά Χρονικά, vol. 40, no. 2, pp. 89–101, 2021.

[15] J.R. Hall, "The total cost of fire in the United States," NFPA Report, 2020.

[16] L. Hu and M. Delichatsios, "Thermal radiation," in S.L. Manzello, Ed., Encyclopedia of Wildfires and WUI Fires, Cham, Switzerland: Springer, 2019, pp. 1–8.

[17] G. Jensen, R. Hagen and A.S. Bøe, "Evacuation – a complex and multifaceted problem," Fire Technology, vol. 55, no. 3, pp. 779–786, 2019.

[18] A. Karampinis and S. Michalakis, Πυροπροστασία κατασκευών, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα: Εκδόσεις Ζήτη, 2018.

[19] B. Karlsson and J.G. Quintiere, Enclosure Fire Dynamics, Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2018.

[20] M. Kobes, I. Helsloot, B. de Vries and J.G. Post, "Building safety and human behaviour in fire: A literature review," Fire Safety Journal, vol. 45, no. 1, pp. 1–11, 2021.

[21] N. Koumoutsos, Πυροπροστασία και ασφάλεια κτιρίων, Αθήνα, Ελλάδα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2019.

[22] E.D. Kuligowski, "Human behavior in fire," in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2016, pp. 2070–2114.

[23] A. Larmo, J. Ratilainen and J. Saarinen, "Impact of CoAP and MQTT on NB-IoT system performance," Sensors, vol. 19, no. 1, 2019. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/1/7>

[24] J.S. Lee, Y.W. Su and C.C. Shen, "A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi," in Proc. IEEE IECON, 2007.

[25] D. Marinos, "Ανάλυση επικινδυνότητας σε συστήματα πυρανίχνευσης ξενοδοχειακών μονάδων," Επιστημονικό Περιοδικό Τεχνολογία, vol. 15, no. 3, pp. 145–159, 2022.

[26] M. Marks et al., "False alarms and cost analysis of monitored fire detection systems," in Proc. Fire Australia 2017 Conf., Sydney, Australia, 2017, pp. 99–112.

[27] B.J. Meacham, "Risk-informed performance-based approach to building regulation," Journal of Risk Research, vol. 13, no. 7, pp. 877–893, 2022.

[28] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel and F. Meyer, "A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment," ScienceDirect, n.d. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517302953>

[29] A. Morgado et al., "A survey of 5G technologies: regulatory, standardization and industrial perspectives," Digital Communications and Networks, n.d. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864817302584>

[30] S. Mumtaz et al., "Massive Internet of Things for industrial applications," in IEEE Commun. Mag., 2017.

[31] A. Nikolaidis, Εγχειρίδιο πυροπροστασίας κτιρίων και εγκαταστάσεων, 4η έκδ., Αθήνα, Ελλάδα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2020.

- [32] F. Nystedt, "Verifying fire safety design in sprinklered buildings," *Safety Science*, 2021.
- [33] G. Pantos, *Η πυρασφάλεια στις σύγχρονες κατασκευές*, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα: University Studio Press, 2018.
- [34] K. Papadopoulos, "Συγκριτική ανάλυση συστημάτων πυροπροστασίας σε δημόσια κτίρια," *Δελτίο Πολιτικού Μηχανικού*, 2021.
- [35] R.D. Peacock, P.A. Reneke and G.P. Forney, "CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 7) User's Guide," NIST Special Publication 1041r1, 2018.
- [36] A. Petrou and G. Andreadis, "Μοντελοποίηση και προσομοίωση συστημάτων πυρανίχνευσης με χρήση λογισμικού BIM," *Τεχνικά Χρονικά*, vol. 38, no. 1, pp. 112–125, 2019.
- [37] Pyrovestiko Soma Ellados, *Κανονισμός πυροπροστασίας κτιρίων*, Αθήνα, Ελλάδα: Υπουργείο Προστασίας του Πολίτη, 2021.
- [38] D.A. Purser and J.L. McAllister, "Assessment of hazards to occupants from smoke, toxic gases, and heat," in *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 2016, pp. 2308–2428.
- [39] J.G. Quintiere, *Principles of Fire Behavior*, 2nd ed., Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2017.
- [40] U. Raza, P. Kulkarni and M. Sooriyabandara, "Low power wide area networks: an overview," arXiv:1606.07360, 2016.
- [41] A. Rogalski, "Infrared detectors: an overview," *Infrared Physics Technology*, vol. 43, no. 3, pp. 187–210, 2002.

[42] T.J. Roupael, "High-Level Requirements and Link Budget Analysis," in *RF and Digital Signal Processing for SDR*, Burlington, MA, USA: Newnes, 2009, pp. 87–122.

[43] S.K. Sharma and X. Wang, "Towards massive machine type communications in ultra-dense cellular IoT networks," *IEEE Commun. Mag.*, 2019.

[44] J. Smith and A. Brown, "Building information modeling and fire safety management," *Facilities Management Journal*, vol. 29, no. 3, pp. 220–232, 2021.

[45] E. Stamatou, "Αξιολόγηση απόδοσης διευθυνσιοδοτούμενων συστημάτων πυρανίχνευσης," *Τεχνικά Θέματα*, vol. 24, no. 3, pp. 78–89, 2020.

[46] Techniko Epimelitirio Ellados, *Τεχνική οδηγία Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2451/2019: Σχεδιασμός συστημάτων πυρανίχνευσης και πυρόσβεσης*, Αθήνα, Ελλάδα: ΤΕΕ, 2019.

[47] P.H. Thomas, "Testing products and materials for their contribution to flashover in rooms," *Fire and Materials*, vol. 15, no. 1, pp. 19–22, 2017.

[48] J.S. Tubbs and B.J. Meacham, *Egress Design Solutions: A Guide to Evacuation and Crowd Management Planning*, 2nd ed., Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2020.

[49] J.S. Wilson, *Sensor Technology Handbook*, Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2004.

[50] Ch. Zacharopoulos, *Σύγχρονα συστήματα πυρανίχνευσης και συναγερμού*, Αθήνα, Ελλάδα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2020.

[51] M. Johnson and L. Wang, *Smart Home Technologies: Energy Efficiency and User Comfort*, New York: GreenTech Publishing, 2016.

[52] J. Lee, H. Kim and S. Park, "Wireless Communication Protocols for Smart Home Automation: A Comparative Study," *Journal of Smart Home Research*, 2017.

[53] G. Müller, T. Schneider and H. Weber, *KNX: The Worldwide Standard for Home and Building Control*, Berlin: Springer, 2010.

[54] H. Newman, *BACnet: The Global Standard for Building Automation and Control Networks*, 2nd ed., Atlanta, GA, USA: ASHRAE, 2013.

[55] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz and C. Pout, "A review on buildings energy consumption information," *Energy and Buildings*, 2008.

[56] A. Smith, K. Brown and R. Davis, "Impact of Building Management Systems on Energy Efficiency in Commercial Buildings," *Energy Efficiency Journal*, 2015.

[57] I.K.N. Trisnawan, A.N. Jati, N. Istiqomah and I. Wasisto, "Detection of Gas Leaks Using The MQ-2 Gas Sensor on the Autonomous Mobile Sensor," 2019 IEEE Int. Conf. Computer, Control, Informatics and its Applications (IC3INA), Tangerang, Indonesia, 2019, pp. 177–180, doi: 10.1109/IC3INA48034.2019.8949597.

[58] K. Masykuroh, F.T. Syifa, G.R. Setiyanto, A.D. Ramadhani, D. Kurnianto and N. Iryani, "Prototype Smart Door Lock By Using Wireless Network Based on Arduino Uno," 2021 IEEE Int. Conf. Commun., Networks and Satellite (COMNETSAT), Purwokerto, Indonesia, 2021, pp. 342–347, doi: 10.1109/COMNETSAT53002.2021.9530806.

[59] M.S.N. bin Ismail Marzuki, M.Z. bin Jusoh, A.I. bin Mod Arifin, L.H. bin Zulkornain, W.A.K. bin Wan Chek and H.H. bin Abu Bakar, "Arduino-Powered Efficient Electrical Power Management for Reduced Energy Consumption," 2024 IEEE 6th Symp. Computers & Informatics (ISCI), Kuala Lumpur, Malaysia, 2024, pp. 128–132, doi: 10.1109/ISCI62787.2024.10667919.