

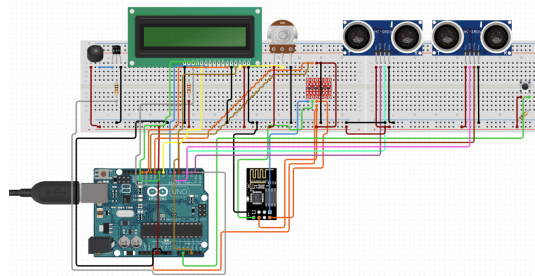


ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Σχεδίαση και Κατασκευή Συσκευής Απεγκλωβισμού
Ανελκυστήρων με Δυνατότητα Απομακρυσμένης
Διαχείρισης»



Του φοιτητή
Ηλία Μπατσαρά
Αρ. Μητρώου: 513130

Επιβλέπων
Όνοματεπώνυμο: Άγγελος Γιακουμής
Βαθμίδα: Καθηγητής

Ημερομηνία: 23/1/2025

Τίτλος Δ.Ε.: Σχεδίαση και κατασκευή συσκευής απεγκλωβισμού Ανελκυστήρων με δυνατότητα απομακρυσμένης διαχείρισης

Κωδικός Δ.Ε.: 21185

Όνοματεπώνυμο φοιτητή/τών: Ηλίας Μπατσαράς

Όνοματεπώνυμο εισηγητή: Άγγελος Γιακουμής

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε.: 07/07/2025

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε.: 23/01/2025

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 του φοιτητή Ηλία Μπατσαρά, που την εκπόνησε. 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 διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητα και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

«Την παρούσα διπλωματική εργασία την αφιερώνω στην οικογένειά μου, η οποία στάθηκε δίπλα μου με αγάπη, υπομονή και αμέριστη στήριξη σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Η ενθάρρυνση και η κατανόησή τους αποτέλεσαν καθοριστικό παράγοντα για την ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.»

Πρόλογος

Η επιλογή του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας προέκυψε από το ενδιαφέρον μου για τα ενσωματωμένα συστήματα και τις τεχνολογίες Internet of Things (IoT), καθώς και από την ανάγκη εφαρμογής τους σε προβλήματα πραγματικής σημασίας που σχετίζονται με την ανθρώπινη ασφάλεια. Οι ανελκυστήρες αποτελούν κρίσιμα συστήματα καθημερινής χρήσης, όπου ακόμη και μία μικρή δυσλειτουργία μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις για τους χρήστες.

Μέσα από την εκπόνηση της εργασίας, είχα την ευκαιρία να συνδυάσω θεωρητικές γνώσεις με πρακτική υλοποίηση, σχεδιάζοντας και αναπτύσσοντας ένα λειτουργικό πρωτότυπο συστήματος απομακρυσμένης παρακολούθησης. Η διαδικασία αυτή συνέβαλε ουσιαστικά στην κατανόηση της αρχιτεκτονικής ενσωματωμένων συστημάτων, της σειριακής επικοινωνίας μικροελεγκτών, καθώς και της δικτυακής διασύνδεσης μέσω ασύρματων τεχνολογιών.

Παράλληλα, η εργασία αυτή ενίσχυσε τις δεξιότητές μου στον σχεδιασμό αξιόπιστων και επεκτάσιμων συστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη ζητήματα ασφάλειας και περιορισμούς υλικού. Το συνολικό όφελος από την εκπόνηση της διπλωματικής δεν περιορίζεται μόνο στο τεχνικό επίπεδο, αλλά επεκτείνεται και στην ανάπτυξη μεθοδολογικής σκέψης και επίλυσης σύνθετων προβλημάτων μηχανικής.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός χαμηλού κόστους ενσωματωμένου συστήματος για την απομακρυσμένη παρακολούθηση ανελκυστήρων, με έμφαση στη διαγνωστική υποστήριξη σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, όπως ο εγκλωβισμός επιβατών. Οι παραδοσιακές προσεγγίσεις βασίζονται κυρίως στη φυσική παρουσία τεχνικού ή σε ιδιοταγείς IoT πλατφόρμες αυξημένου κόστους.

Το προτεινόμενο σύστημα ακολουθεί αρθρωτή αρχιτεκτονική και βασίζεται σε μικροελεγκτή Arduino Uno και μονάδα ασύρματης επικοινωνίας ESP32. Το Arduino αναλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων από αισθητήρες υπερήχων και την τοπική απεικόνιση πληροφοριών μέσω οθόνης LCD 16×2. Τα δεδομένα μεταδίδονται στο ESP32 μέσω σειριακής επικοινωνίας (UART), με τη χρήση διαιρέτη τάσης για την ασφαλή προσαρμογή επιπέδων τάσης.

Το ESP32 διαχειρίζεται τη σύνδεση σε τοπικό ασύρματο δίκτυο και λειτουργεί ως ελαφρύς web server, προβάλλοντας τα δεδομένα μέσω στατικής HTML διεπαφής για απομακρυσμένη διάγνωση, χωρίς χρήση εξωτερικών cloud υπηρεσιών. Το πρωτότυπο αποδεικνύει τη σκοπιμότητα αξιοποίησης χαμηλού κόστους ενσωματωμένων και IoT τεχνολογιών για απομακρυσμένη παρακολούθηση ανελκυστήρων, θέτοντας τη βάση για μελλοντικές επεκτάσεις σε θέματα ασφάλειας, λειτουργικότητας και βιομηχανικής πιστοποίησης.

«Design and Implementation of an Elevator Rescue Device with Remote Management Capability»

«Ilias Batsaras»

Abstract

This thesis presents the design and implementation of a low-cost embedded system for remote elevator monitoring, focusing on diagnostic support during emergency situations such as passenger entrapment. Traditional approaches rely on on-site technical intervention or proprietary IoT platforms, often resulting in increased response times and higher costs.

The proposed system is based on a modular architecture combining an Arduino Uno microcontroller and an ESP32 Wi-Fi module. The Arduino handles local data acquisition from ultrasonic distance sensors and provides real-time feedback through a 16×2 LCD display. Measurement data are transmitted to the ESP32 via serial communication (UART), with a voltage divider ensuring safe signal-level compatibility between the two devices.

The ESP32 manages wireless connectivity and operates as a lightweight web server within a local network. Incoming sensor data are parsed and presented through a static HTML interface, allowing remote diagnostic access without reliance on external cloud services. This design choice minimizes system complexity, reduces latency, and improves security.

The implemented prototype validates the feasibility of using low-cost embedded and IoT technologies for remote elevator diagnostics. Although the current implementation is limited to monitoring and visualization, it establishes a proof of concept that can be extended with secure access mechanisms, advanced data visualization, cloud integration, and compliance with industrial safety standards.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στον κ. Γιακουμή επιβλέποντα της παρούσας διπλωματικής εργασίας για την καθοδήγηση, τις πολύτιμες παρατηρήσεις και την επιστημονική υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Επιπλέον, ευχαριστώ την οικογένειά μου για τη συνεχή ηθική υποστήριξη και την κατανόηση που έδειξε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω και στους φίλους και συμφοιτητές μου, οι οποίοι με ενθάρρυναν και με στήριξαν σε όλη τη διάρκεια της προσπάθειας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους, άμεσα ή έμμεσα, συνέβαλαν με τις γνώσεις, τις συμβουλές ή τη βοήθειά τους στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	5
Abstract	7
Ευχαριστίες	8
Περιεχόμενα	9
Κατάλογος Σχημάτων	11
Συντομογραφίες	12
Γενικές – Ακαδημαϊκές	12
Ενσωματωμένα & Ηλεκτρονικά	12
Επικοινωνίες – IoT	12
Αισθητήρες & Υλικό	12
Ασφάλεια & Ποιότητα	13
Πρότυπα & Κανονισμοί	13
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή	14
Κεφάλαιο 2ο: Θεωρητικό Υπόβαθρο	15
2.1 Συστήματα ανελκυστήρων και μέθοδοι απεγκλωβισμού	15
2.1.1 Ιστορική εξέλιξη ανελκυστήρων	15
2.1.2 Κατηγορίες ανελκυστήρων	16
2.1.3 Μέθοδοι απεγκλωβισμού	17
2.1.4 Ανάγκη για απομακρυσμένη διαχείριση	18
2.2 Τεχνολογίες μικροελεγκτών	19
2.2.1 Έννοια μικροελεγκτών	19
2.2.2 ATmega2560	20
2.3 Ασύρματες επικοινωνίες και IoT	21
2.3.1 Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων	21
2.3.2 ESP8266	21
2.3.3 Πλεονεκτήματα στο υπό μελέτη σύστημα	22
2.3.4 Ζητήματα ασφαλείας	23
2.4 Υφιστάμενες λύσεις στην αγορά	25
2.4.1 Εμπορικές εφαρμογές	25
2.4.2 Περιορισμοί υφιστάμενων λύσεων	25
2.4.3 Αναγκαιότητα νέας προσέγγισης	26
Κεφάλαιο 3ο: Ανάλυση και Σχεδίαση Συστήματος	27
3.1 Απαιτήσεις συστήματος	27
3.1.1 Λειτουργικές απαιτήσεις	27
3.1.2 Απαιτήσεις ασφαλείας	28
3.2 Αρχιτεκτονική του συστήματος	28
3.2.1 Μονάδα ελέγχου (Control Unit)	28
3.2.2 Μονάδα διεπαφής χρήστη (User Interface Unit)	28
3.2.3 Μονάδα δικτύου (Network Unit)	29
3.2.4 Λογισμικό απομακρυσμένου ελέγχου	30

3.3 Διάγραμμα μπλοκ	31
3.4 Διαχείριση βλαβών	31
Κεφάλαιο 4ο: Σχεδίαση και Υλοποίηση Συστήματος	32
4.1 Υλικό και εξαρτήματα	33
4.2 Ηλεκτρικές συνδέσεις και διάταξη κυκλώματος	34
4.3 Αρχιτεκτονική και υλοποίηση λογισμικού	35
4.3.1 Υλοποίηση λογισμικού Arduino (Επίπεδο τοπικού ελέγχου)	36
4.3.2 Υλοποίηση λογισμικού ESP32 (Επίπεδο δικτύου)	37
4.3.3 Web διεπαφή απομακρυσμένης διάγνωσης	39
4.4 Κατασκευή Μακέτας	41
4.4.1 Σχεδιαστικές επιλογές και αρχή modular κατασκευής	42
4.4.2 Υλικά κατασκευής και δομική απλοποίηση	42
4.4.3 Σύστημα ανέλκυσης και επιλογή χειροκίνητης κίνησης	43
4.4.4 Τρόποι δοκιμής και τοποθέτησης της μακέτας	43
4.4.5 Ενσωμάτωση ηλεκτρονικών στοιχείων στη μακέτα	43
4.4.6 Τροφοδοσία συστήματος	43
4.4.7 Ρόλος της μακέτας στη συνολική αξιολόγηση	43
Κεφάλαιο 5ο: Αξιολόγηση και Συμπεράσματα	45
5.1 Δοκιμές και λειτουργικότητα	45
5.2 Αξιολόγηση αξιοπιστίας και ταχύτητας	45
5.3 Περιορισμοί συστήματος και προκλήσεις εμπορικής αξιοποίησης	46
5.3.1 Εξάρτηση από τη διαθεσιμότητα ασύρματου δικτύου (Wi-Fi)	46
5.3.2 Ανάγκη ενίσχυσης πρωτοκόλλων ασφάλειας	46
5.3.3 Περιορισμένη ωρίμανση της διεπαφής χρήστη	46
5.3.4 Περιορισμοί υλικού	47
5.4 Συμπεράσματα	47
5.5 Μελλοντικές επεκτάσεις	47
5.5.1 Ενσωμάτωση cloud υπηρεσιών	48
5.5.2 Ανάπτυξη εφαρμογών για κινητές συσκευές	48
5.5.3 Εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης για προγνωστική συντήρηση	48
5.5.4 Υποστήριξη επιπλέον πρωτοκόλλων επικοινωνίας	48
5.5.5 Αναβάθμιση υλικού	49
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50
Βιβλία	50
Data Sheets	50
Standards / Technical Reports	50
Internet Sites / Industry Platforms	51
Journal Articles	51
Conference Papers / Theses	51
Application Notes / Protocol Specifications	51

Κατάλογος Σχημάτων

Εικόνα 1: Ιστορική εξέλιξη μηχανισμών ανελκυστήρα κατά τη βιομηχανική εποχή

Προέλευση: Nationwide Lifts, άρθρο “*From Hoist to High-Rise: Elevator History*”.

Εικόνα 2: Σύγκριση τύπων ανελκυστήρων: υδραυλικός και ηλεκτροκίνητος (traction)

Προέλευση: Exzecon Building Contracting LLC, “*Types of Elevators*”.

Εικόνα 3: Αρχιτεκτονική συστήματος ελέγχου πρόσβασης ανελκυστήρα

Προέλευση: LiftMaster, *Smart Elevator Access Controls Instruction Manual*.

Εικόνα 4: Πλακέτα μικροελεγκτή Arduino Uno WiFi Rev2

Προέλευση: Grobotronics, σελίδα προϊόντος *Arduino Uno WiFi Rev2*.

Εικόνα 5: Πλακέτα NodeMCU (ESP8266)

Προέλευση: Arduino Project Hub, “*Getting Started with NodeMCU (ESP8266)*”.

Εικόνα 6: Αισθητήρας υπερήχων HC-SR04 σε εφαρμογή μέτρησης απόστασης

Προέλευση: HowToMechatronics, “*Ultrasonic Sensor HC-SR04 and Arduino – Complete Guide*”.

Εικόνα 7: Διάγραμμα αρχιτεκτονικής συστήματος ανελκυστήρα με ESP32 και αισθητήρες

Προέλευση: Ιδία επεξεργασία (original image by the author).

Εικόνα 8: Πρωτότυπη φωτογραφία υλοποίησης καλωδίωσης τελικού συστήματος

Εικόνα 9: Πρωτότυπο διάγραμμα αρχιτεκτονικής συστήματος ανελκυστήρα με ESP32 και αισθητήρες

Εικόνα 10: Πρωτότυπη φωτογραφία υλοποίησης αρχικής καλωδίωσης κατασκευής

Εικόνα 11: Πρωτότυπη φωτογραφία υλοποίησης καλωδίωσης της Οθόνης LCD

Εικόνα 12: Πρωτότυπη φωτογραφία αποσφαλμάτωσης κώδικα

Εικόνα 13: Πρωτότυπη φωτογραφία διασύνδεσης Arduino με ESP32 Wifi Module

Εικόνα 14: Πρωτότυπη φωτογραφία διεπαφής χρήστη

Εικόνα 15: Πρωτότυπο στιγμιότυπο κώδικα Esp32 Wifi Module

Εικόνα 16: Πρωτότυπο στιγμιότυπο κώδικα HTML

Εικόνα 17: Πρωτότυπη φωτογραφία της μακέτας

Συντομογραφίες

Γενικές – Ακαδημαϊκές

Δ.Ε. – Διπλωματική Εργασία

Π.Ε. – Πτυχιακή Εργασία

ΔΙ.ΠΑ.Ε. / ΔΙΠΑΕ – Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος

Ενσωματωμένα & Ηλεκτρονικά

MCU – Microcontroller Unit (Μικροελεγκτής)

CPU – Central Processing Unit

I/O – Input / Output (Είσοδοι / Έξοδοι)

ADC – Analog to Digital Converter

SRAM – Static Random Access Memory

EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

GPIO – General Purpose Input/Output

UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

SPI – Serial Peripheral Interface

I²C – Inter-Integrated Circuit

Επικοινωνίες – IoT

IoT – Internet of Things (Διαδίκτυο των Πραγμάτων)

Wi-Fi – Wireless Fidelity

TCP/IP – Transmission Control Protocol / Internet Protocol

HTTP – HyperText Transfer Protocol

MQTT – Message Queuing Telemetry Transport

VPN – Virtual Private Network

SSL/TLS – Secure Sockets Layer / Transport Layer Security

Αισθητήρες & Υλικό

LCD – Liquid Crystal Display

UPS – Uninterruptible Power Supply

BMS – Building Management System

Ασφάλεια & Ποιότητα

DoS – Denial of Service

MITM – Man-In-The-Middle

2FA – Two-Factor Authentication

Πρότυπα & Κανονισμοί

ISO – International Organization for Standardization

IEC – International Electrotechnical Commission

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου για διαδικασίες απεγκλωβισμού ανελκυστήρων, με αξιοποίηση τεχνολογιών ενσωματωμένων συστημάτων και Internet of Things (IoT). Η ασφάλεια των ανελκυστήρων αποτελεί κρίσιμο ζήτημα, καθώς οι δυσλειτουργίες τους ενδέχεται να οδηγήσουν σε εγκλωβισμό επιβατών, με άμεσες επιπτώσεις στη σωματική και ψυχολογική τους ασφάλεια.

Οι υφιστάμενες μέθοδοι απεγκλωβισμού βασίζονται κυρίως στη φυσική παρουσία εξειδικευμένου τεχνικού στον χώρο του ανελκυστήρα. Η προσέγγιση αυτή παρουσιάζει σημαντικούς περιορισμούς, όπως αυξημένο χρόνο απόκρισης, αυξημένο λειτουργικό κόστος και εξάρτηση από ανθρώπινη παρέμβαση. Παράλληλα, οι σύγχρονες εμπορικές λύσεις που αξιοποιούν τεχνολογίες IoT εστιάζουν κυρίως στην παρακολούθηση και τη διάγνωση βλαβών, χωρίς να παρέχουν δυνατότητα ενεργού απομακρυσμένου απεγκλωβισμού.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη μίας χαμηλού κόστους και επεκτάσιμης συσκευής, η οποία επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση και τον εξ αποστάσεως έλεγχο κρίσιμων λειτουργιών ανελκυστήρα, με έμφαση στη διαδικασία απεγκλωβισμού. Η προτεινόμενη λύση βασίζεται στη χρήση μικροελεγκτή για τον τοπικό έλεγχο και μονάδας ασύρματης επικοινωνίας Wi-Fi για τη δικτυακή διασύνδεση, εξασφαλίζοντας αξιόπιστη και άμεση επικοινωνία με τον τεχνικό.

Η συνεισφορά της εργασίας έγκειται στη διερεύνηση και τεκμηρίωση μίας εναλλακτικής προσέγγισης ενεργού απομακρυσμένου απεγκλωβισμού, η οποία γεφυρώνει το κενό μεταξύ κόστους, λειτουργικότητας και ασφάλειας. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί ώστε να μπορεί να προσαρμοστεί τόσο σε σύγχρονους όσο και σε παλαιότερους ανελκυστήρες, χωρίς την ανάγκη εκτεταμένων τροποποιήσεων.

Η δομή της διπλωματικής εργασίας οργανώνεται ως εξής:

- **Κεφάλαιο 1:** παρουσιάζει το αντικείμενο της εργασίας, το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται, τους στόχους και τη συνολική δομή της μελέτης.
- **Κεφάλαιο 2:** αναλύει το θεωρητικό υπόβαθρο, περιλαμβάνοντας την ιστορική εξέλιξη και τις κατηγορίες ανελκυστήρων, τις παραδοσιακές μεθόδους απεγκλωβισμού, καθώς και τις βασικές τεχνολογίες μικροελεγκτών, ασύρματων επικοινωνιών και IoT που σχετίζονται με το υπό μελέτη σύστημα.
- **Κεφάλαιο 3:** παρουσιάζει την ανάλυση απαιτήσεων και τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό της προτεινόμενης λύσης, με λεπτομερή περιγραφή των υποσυστημάτων υλικού και λογισμικού.
- **Κεφάλαιο 4:** περιλαμβάνει τα συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης, εστιάζοντας στις δυνατότητες εξέλιξης και επέκτασης του συστήματος.
- **Κεφάλαιο 5:** αφορά την αξιολόγηση της λειτουργικότητας και της αξιοπιστίας του συστήματος, τους περιορισμούς της υλοποίησης, καθώς και τα τελικά συμπεράσματα και τις μελλοντικές κατευθύνσεις.

Με τη συγκεκριμένη δομή, η εργασία στοχεύει στην ολοκληρωμένη και συστηματική προσέγγιση του προβλήματος του απεγκλωβισμού ανελκυστήρων μέσω σύγχρονων τεχνολογιών ενσωματωμένων και δικτυωμένων συστημάτων.

Κεφάλαιο 2ο: Θεωρητικό Υπόβαθρο

Η ασφάλεια και η αξιοπιστία των ανελκυστήρων αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για την καθημερινή λειτουργία κατοικιών, επαγγελματικών χώρων και βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Ο ανελκυστήρας, ως μηχανισμός κατακόρυφης μεταφοράς, έχει συνδεθεί με την ασφάλεια των επιβατών σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από άλλες μηχανολογικές εφαρμογές, καθώς τυχόν δυσλειτουργία μπορεί να οδηγήσει σε απειλή για την ανθρώπινη ζωή. Ειδικότερα, ο εγκλωβισμός χρηστών στον θάλαμο ενός ανελκυστήρα λόγω μηχανικής βλάβης, ηλεκτρολογικής αστοχίας ή διακοπής ηλεκτροδότησης, αποτελεί ένα από τα σοβαρότερα σενάρια κινδύνου. Για τον λόγο αυτό, οι κατασκευαστές και οι ερευνητές αναζητούν ολοένα και πιο αποτελεσματικούς τρόπους για τον ασφαλή και γρήγορο απεγκλωβισμό.

Η σύγχρονη τεχνολογία επιτρέπει την ενσωμάτωση μικροελεγκτών, αισθητήρων και συστημάτων επικοινωνίας, τα οποία μπορούν να προσδώσουν σημαντικά πλεονεκτήματα στη λειτουργία, παρακολούθηση και διαχείριση των ανελκυστήρων. Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα εργασία εστιάζει στη δημιουργία μίας συσκευής που συνδυάζει δυνατότητες τοπικού και απομακρυσμένου ελέγχου, με σκοπό την ασφάλεια των επιβατών και την αποτελεσματικότητα των τεχνικών παρεμβάσεων.

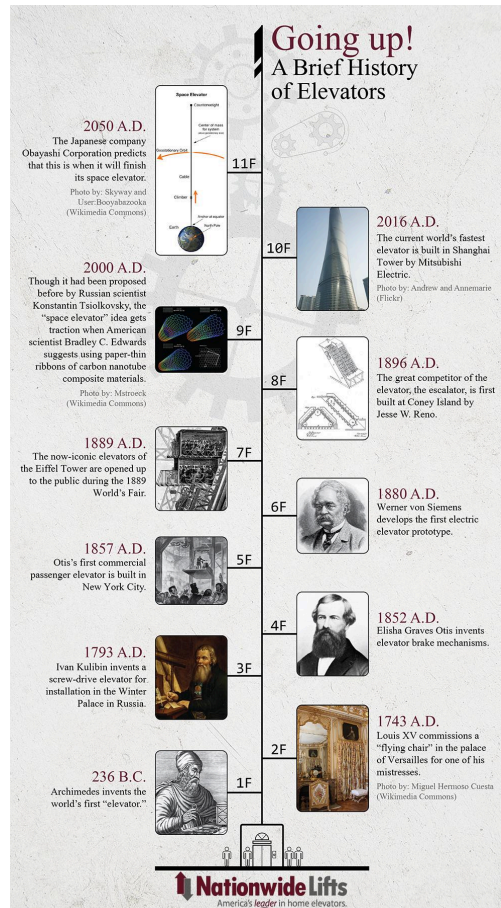
2.1 Συστήματα ανελκυστήρων και μέθοδοι απεγκλωβισμού

2.1.1 Ιστορική εξέλιξη ανελκυστήρων

Η χρήση μηχανισμών κατακόρυφης ανύψωσης χρονολογείται από την αρχαιότητα, με απλά συστήματα τροχαλίας και αντίβαρων να συναντώνται ήδη από την εποχή του Αρχιμήδη (O'Connor & Robertson, 1999).

Οι σύγχρονοι ανελκυστήρες, ωστόσο, άρχισαν να αναπτύσσονται τον 19ο αιώνα, με την εισαγωγή μηχανισμών ασφαλείας από τον Elisha Otis, οι οποίοι εξασφάλιζαν την ακινητοποίηση του θαλάμου σε περίπτωση θραύσης καλωδίου (Strakosch & Caporale, 2010).

Από τότε έως σήμερα, οι ανελκυστήρες εξελίχθηκαν σε πολύπλοκα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα με πλήθος υποσυστημάτων ελέγχου, ενσωματώνοντας σύγχρονες τεχνολογίες αυτοματισμού και ασφαλείας (Barney & Al-Sharif, 2016).

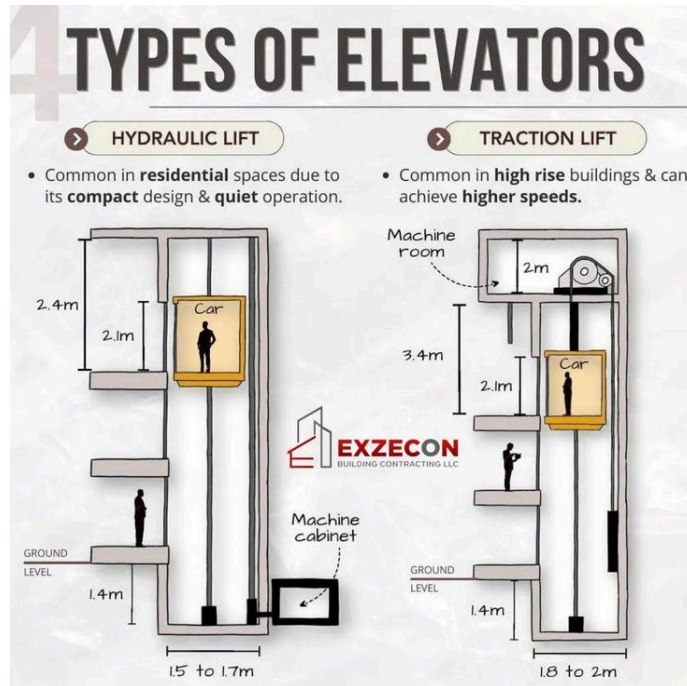


Εικόνα 1: Ιστορική εξέλιξη μηχανισμών ανελκυστήρα κατά τη βιομηχανική εποχή

2.1.2 Κατηγορίες ανελκυστήρων

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες:

- Ηλεκτροκίνητοι ανελκυστήρες:** Χρησιμοποιούν ηλεκτροκινητήρα που μεταφέρει κίνηση σε τροχαλία, η οποία με τη σειρά της κινεί τα συρματόσχοινα του θαλάμου και του αντίβαρου. Αποτελούν την πιο διαδεδομένη τεχνολογία σήμερα, ιδιαίτερα σε μεσαία και υψηλά κτίρια, λόγω της αποδοτικότητας, της ταχύτητας και της δυνατότητας ακριβούς ελέγχου κίνησης (Strakosch & Caporale, 2010; Barney & Al-Sharif, 2016).
- Υδραυλικοί ανελκυστήρες:** Ο θάλαμος κινείται μέσω υδραυλικού εμβόλου, το οποίο ενεργοποιείται από αντλία υψηλής πίεσης. Η συγκεκριμένη τεχνολογία προτιμάται κυρίως σε κτίρια με μικρό αριθμό ορόφων, καθώς χαρακτηρίζεται από χαμηλότερο αρχικό κόστος εγκατάστασης, αλλά αυξημένη κατανάλωση ενέργειας και περιορισμούς στο ύψος ανύψωσης (Janovsky, 1999; Strakosch & Caporale, 2010).



Εικόνα 2: Σύγκριση τύπων ανελκυστήρων: υδραυλικός και ηλεκτροκίνητος

2.1.3 Μέθοδοι απεγκλωβισμού

Οι κύριες παραδοσιακές μέθοδοι απεγκλωβισμού επιβατών από ανελκυστήρες βασίζονται σε διαδικασίες που απαιτούν τη φυσική παρουσία εξειδικευμένου τεχνικού και εξαρτώνται από την ύπαρξη μηχανικών ή τοπικών ηλεκτρονικών μηχανισμών (Strakosch & Caporale, 2010). Μία από τις πιο διαδεδομένες πρακτικές είναι το χειροκίνητο άνοιγμα των θυρών, το οποίο πραγματοποιείται από τον τεχνικό με τη χρήση ειδικού κλειδιού απεγκλωβισμού. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται όταν ο θάλαμος έχει ακινητοποιηθεί κοντά σε κάποιο επίπεδο στάσης και επιτρέπει την ασφαλή έξοδο των επιβατών χωρίς να απαιτείται ενεργοποίηση του μηχανισμού κίνησης (Janovsky, 1999). Παρά τη απλότητά της, ενέχει κινδύνους εάν δεν τηρηθούν αυστηρά οι κανόνες ασφαλείας, καθώς υπάρχει πιθανότητα μετακίνησης του θαλάμου λόγω υπολειπόμενης μηχανικής ενέργειας (Barney & Al-Sharif, 2016).

Σε περιπτώσεις ηλεκτροκίνητων ανελκυστήρων, συχνά χρησιμοποιείται η μέθοδος απελευθέρωσης του φρένου του κινητήρα. Ο τεχνικός έχει τη δυνατότητα να απεμπλέξει μηχανικά το φρένο, επιτρέποντας την ελεγχόμενη μετακίνηση του θαλάμου με το χέρι μέχρι την πλησιέστερη στάση (Strakosch & Caporale, 2010). Η διαδικασία αυτή απαιτεί εμπειρία και ιδιαίτερη προσοχή, καθώς η λανθασμένη απελευθέρωση μπορεί να οδηγήσει σε ανεξέλεγκτη κίνηση του θαλάμου. Για τον λόγο αυτό, οι περισσότεροι κατασκευαστές προβλέπουν ειδικά σημεία χειρισμού και πρόσθετους μηχανισμούς πέδησης για την αποφυγή ατυχημάτων (CIBSE, 2010).

Μία τρίτη προσέγγιση είναι η χρήση εφεδρικής τροφοδοσίας (UPS), η οποία εξασφαλίζει την προσωρινή παροχή ενέργειας στο σύστημα κίνησης σε περίπτωση διακοπής ρεύματος. Με αυτόν τον τρόπο, ο θάλαμος μπορεί να μετακινηθεί αυτόματα στην πλησιέστερη στάση και να ανοίξουν οι θύρες, επιτρέποντας τον ασφαλή απεγκλωβισμό των επιβατών χωρίς την ανάγκη άμεσης παρέμβασης τεχνικού (Barney & Al-Sharif, 2016). Αν και πρόκειται για μία από τις ασφαλέστερες μεθόδους, το

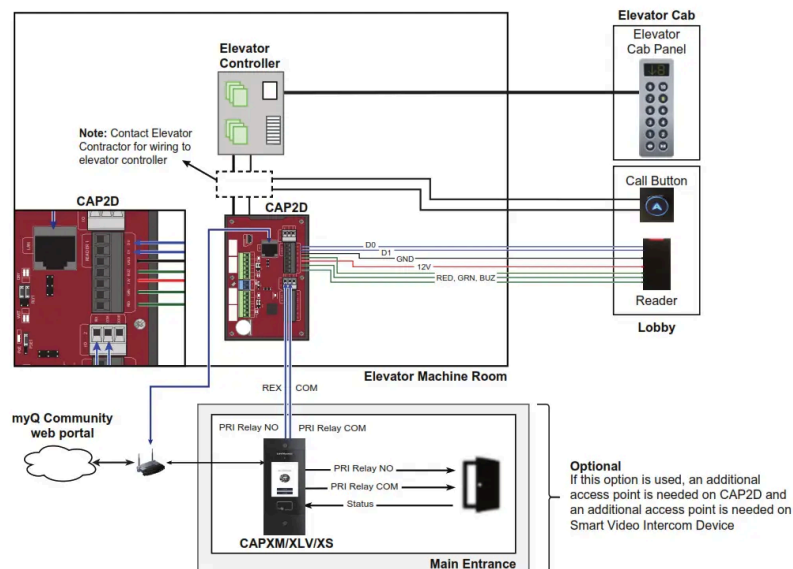
κόστος εγκατάστασης και συντήρησης ενός UPS καθιστά την εφαρμογή της περιορισμένη κυρίως σε σύγχρονες ή υψηλών προδιαγραφών εγκαταστάσεις (Strakosch & Caporale, 2010).

Τέλος, σε νεότερα συστήματα, συναντώνται τοπικά ηλεκτρονικά συστήματα απεγκλωβισμού, τα οποία επιτρέπουν στον τεχνικό να ελέγξει τη λειτουργία του ανελκυστήρα απευθείας από το μηχανοστάσιο ή τον πίνακα ελέγχου. Μέσω αυτών, μπορεί να πραγματοποιήσει εντολές μετακίνησης, να ενεργοποιήσει υποσυστήματα όπως ο εξαερισμός ή να εκτελέσει αυτοματοποιημένες διαδικασίες απεγκλωβισμού (ISO 25745-2, 2015). Παρότι τα συστήματα αυτά αυξάνουν την αποτελεσματικότητα και μειώνουν τον χρόνο αποκατάστασης, παραμένουν τοπικές λύσεις, καθώς εξακολουθούν να απαιτούν τη φυσική παρουσία του τεχνικού στον χώρο.

Συνολικά, οι παραπάνω μέθοδοι, αν και λειτουργικές και ευρέως αποδεκτές, παρουσιάζουν περιορισμούς σε ό,τι αφορά τον χρόνο ανταπόκρισης, το κόστος συντήρησης και την εξάρτηση από ανθρώπινη παρέμβαση (Barney & Al-Sharif, 2016). Η έλλειψη δυνατότητας απομακρυσμένης διαχείρισης παραμένει βασικό μειονέκτημα, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη για την ανάπτυξη πιο ευφών και αυτοματοποιημένων συστημάτων απεγκλωβισμού, όπως αυτό που προτείνεται στην παρούσα εργασία.

2.1.4 Ανάγκη για απομακρυσμένη διαχείριση

Οι παραδοσιακές μέθοδοι απεγκλωβισμού, όπως παρουσιάστηκαν προηγουμένως, βασίζονται αποκλειστικά στη φυσική παρουσία του τεχνικού στο χώρο του ανελκυστήρα. Αυτή η εξάρτηση από την ανθρώπινη παρέμβαση δημιουργεί αναπόφευκτα καθυστερήσεις, καθώς απαιτείται χρόνος τόσο για τη διάγνωση της βλάβης όσο και για τη μετάβαση του τεχνικού στο σημείο. Η καθυστέρηση αυτή μπορεί να αποδειχθεί κρίσιμη, ειδικά σε περιπτώσεις όπου οι εγκλωβισμένοι επιβάτες αντιμετωπίζουν πανικό ή προβλήματα υγείας, καθιστώντας την έγκαιρη ανταπόκριση απαραίτητη.



Εικόνα 3: Αρχιτεκτονική έξυπνου συστήματος ελέγχου πρόσβασης ανελκυστήρα

Η ανάγκη φυσικής παρουσίας συνεπάγεται επίσης αυξημένο χρόνο ανταπόκρισης, καθώς ο τεχνικός πρέπει να εντοπίσει το πρόβλημα, να εξασφαλίσει πρόσβαση στο μηχανοστάσιο και να εκτελέσει τις απαραίτητες ενέργειες με το χέρι. Παράλληλα, προκαλεί υψηλότερο κόστος συντήρησης, αφού

απαιτείται συνεχή επιτόπια επιθεώρηση και διαθεσιμότητα προσωπικού σε 24ωρη βάση. Το γεγονός αυτό επηρεάζει αρνητικά όχι μόνο την αποδοτικότητα των συνεργειών συντήρησης αλλά και το συνολικό λειτουργικό κόστος του συστήματος.

Επιπλέον, η καθυστέρηση στην ανταπόκριση οδηγεί σε μειωμένη αίσθηση ασφάλειας των χρηστών. Οι επιβάτες που εγκλωβίζονται αντιλαμβάνονται τον χρόνο αναμονής ως ένδειξη αναξιοπιστίας του συστήματος, γεγονός που υποβαθμίζει την εμπιστοσύνη τους στις υποδομές του κτιρίου και στους υπεύθυνους συντήρησης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο παρατεταμένος εγκλωβισμός μπορεί να έχει και ψυχολογικές επιπτώσεις, ιδιαίτερα σε άτομα με κλειστοφοβία ή ευπαθείς ομάδες.

Σε αυτό το πλαίσιο, η απομακρυσμένη διαχείριση μέσω τεχνολογιών IoT προσφέρει μια ουσιαστική και καινοτόμο λύση. Μέσω της διαδικτυακής διασύνδεσης της συσκευής, ο τεχνικός μπορεί να παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο την κατάσταση του ανελκυστήρα, να λαμβάνει ειδοποιήσεις για βλάβες και, το σημαντικότερο, να επεμβαίνει άμεσα και αποτελεσματικά, χωρίς να χρειάζεται να βρίσκεται επιτόπου. Με αυτόν τον τρόπο, ο χρόνος απόκρισης μειώνεται δραστικά, η συντήρηση γίνεται πιο προληπτική και λιγότερο αντιδραστική, ενώ η συνολική εμπειρία ασφάλειας των χρηστών βελτιώνεται αισθητά.

Η ενσωμάτωση των τεχνολογιών αυτών ουσιαστικά μετασχηματίζει τον ανελκυστήρα από ένα παθητικό μηχανολογικό σύστημα σε ένα ευφρές δίκτυο επικοινωνίας και ελέγχου, ικανό να ανιχνεύει, να ενημερώνει και να αντιδρά πριν ακόμα ο τεχνικός φτάσει στο σημείο του περιστατικού.

2.2 Τεχνολογίες μικροελεγκτών

2.2.1 Έννοια μικροελεγκτών

Ο μικροελεγκτής είναι ένας ολοκληρωμένος υπολογιστικός πυρήνας που συνδυάζει CPU, μνήμη και I/O σε ένα μόνο chip. Αποτελεί τον «εγκέφαλο» ενσωματωμένων συστημάτων, όπου απαιτείται αυτόνομη λήψη αποφάσεων με βάση δεδομένα από αισθητήρες.



Εικόνα 4: Πλακέτα μικροελεγκτή Arduino Uno WiFi Rev2

2.2.2 ATmega2560

Ο ATmega2560 της Atmel (σήμερα Microchip) είναι ένας μικροελεγκτής αρχιτεκτονικής AVR 8-bit, ο οποίος έχει καθιερωθεί ως μία από τις πιο αξιόπιστες λύσεις στον χώρο των ενσωματωμένων συστημάτων, χάρη στη σταθερότητα λειτουργίας και τη μακροχρόνια υποστήριξη του από τη βιομηχανία (Microchip Technology Inc., 2021). Η επιλογή του δεν είναι τυχαία, καθώς συνδυάζει υψηλή αξιοπιστία, ευρεία διαθεσιμότητα και σημαντική ευελιξία ως προς τις εφαρμογές του, γεγονός που τον έχει καταστήσει ιδιαίτερα δημοφιλή σε βιομηχανικά και εκπαιδευτικά έργα (Mazidi et al., 2014).

Η σημασία του ATmega2560 για το παρόν έργο έγκειται στην ανάγκη διαχείρισης μεγάλου αριθμού εισόδων και εξόδων (I/O), καθώς η συσκευή που σχεδιάζεται απαιτεί ταυτόχρονη επικοινωνία με κουμπιά, οθόνη LCD, ρελέ, τρανζίστορ και μονάδες επικοινωνίας. Ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής προσφέρει έως και 86 προγραμματιζόμενες γραμμές I/O, επιτρέποντας την υλοποίηση σύνθετων συστημάτων χωρίς την ανάγκη πρόσθετων επεκτατών θυρών (Microchip Technology Inc., 2021). Σε τέτοιες εφαρμογές, ένας απλός μικροελεγκτής με περιορισμένο αριθμό θυρών δεν θα μπορούσε να καλύψει τις λειτουργικές απαιτήσεις, ενώ η επιλογή πιο σύνθετων αρχιτεκτονικών, όπως μικροελεγκτές ARM Cortex, θα οδηγούσε σε αυξημένο κόστος, μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας και αυξημένη πολυπλοκότητα σχεδίασης (Valvano, 2016).

Ο ATmega2560, επομένως, αποτελεί την **ιδανική ισορροπία** ανάμεσα σε δυνατότητες και οικονομία.

Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά

- **256 KB μνήμη Flash για κώδικα:** επιτρέπει την ανάπτυξη σύνθετων εφαρμογών με μεγάλο όγκο εντολών.
- **8 KB SRAM και 4 KB EEPROM:** παρέχουν ικανοποιητικό χώρο για προσωρινά δεδομένα και μόνιμη αποθήκευση παραμέτρων συστήματος.
- **54 ψηφιακές θύρες εισόδου/εξόδου (I/O):** σημαντικό πλεονέκτημα, καθώς δίνει τη δυνατότητα ταυτόχρονης σύνδεσης πολλών περιφερειακών και εκτελεστικών μηχανισμών.
- **16 αναλογικά κανάλια ADC 10-bit:** διευκολύνουν την παρακολούθηση αναλογικών σημάτων, όπως αισθητήρων τάσης ή ρεύματος.
- **Πολλαπλά πρωτόκολλα επικοινωνίας (4 UART, 1 I2C, 1 SPI):** εξασφαλίζουν την ευελιξία σύνδεσης με διάφορες μονάδες, όπως το ESP8266 για Wi-Fi.
- **Συχνότητα λειτουργίας έως 16 MHz:** παρέχει επαρκή υπολογιστική ισχύ για πραγματικού χρόνου αποκρίσεις χωρίς να απαιτείται υψηλή κατανάλωση ενέργειας.

2.2.3 Σύνδεση με το υπό μελέτη έργο

Η επιλογή του ATmega2560 τεκμηριώνεται από τις ανάγκες του συστήματος:

1. **Πλήθος I/O θυρών** – το έργο απαιτεί 15 εισόδους και 12 εξόδους (8 μέσω ρελέ, 4 μέσω τρανζίστορ). Ο ATmega2560 παρέχει περισσότερες από αρκετές θύρες για τις ανάγκες αυτές, αφήνοντας περιθώριο για μελλοντική επέκταση.
2. **Διασύνδεση με περιφερειακά** – η LCD 16x4, τα κουμπιά ελέγχου και το module ESP8266 μπορούν να συνδεθούν και να επικοινωνήσουν απρόσκοπτα.
3. **Επεκτασιμότητα** – η ύπαρξη πολλαπλών UART διευκολύνει τη διασύνδεση με διαφορετικές σειριακές συσκευές, κρίσιμο στοιχείο για ένα έργο που στηρίζεται στην απομακρυσμένη επικοινωνία.
4. **Κοινότητα και τεχνογνωσία** – ο ATmega2560 χρησιμοποιείται εκτεταμένα στην εκπαιδευτική και ερευνητική κοινότητα (π.χ. σε πλακέτες Arduino Mega 2560), γεγονός που μειώνει το κόστος ανάπτυξης και επιτρέπει αξιοποίηση υπαρχόντων βιβλιοθηκών.

Συνεπώς, η χρήση του ATmega2560 στην παρούσα εργασία δεν αποτελεί απλώς μια τεχνική επιλογή, αλλά και μια στρατηγική απόφαση που εξασφαλίζει **λειτουργικότητα, αξιοπιστία και χαμηλό κόστος ανάπτυξης**.

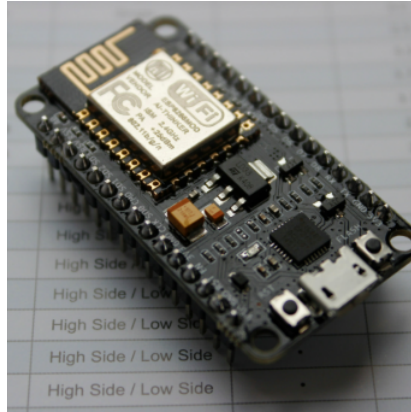
2.3 Ασύρματες επικοινωνίες και IoT

2.3.1 Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Το IoT επιτρέπει τη διασύνδεση συσκευών με το Διαδίκτυο για συλλογή, ανταλλαγή και αξιοποίηση δεδομένων. Στους ανελκυστήρες, το IoT χρησιμοποιείται ήδη για **παρακολούθηση κατάστασης** (condition monitoring), **προγνωστική συντήρηση** (predictive maintenance) και **απομακρυσμένο έλεγχο**.

2.3.2 ESP8266

Το ESP8266 (στο οποίο βασίστηκε και το ESP32) αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα και επιτυχημένα modules ασύρματης επικοινωνίας Wi-Fi για ενσωματωμένα συστήματα. Κυκλοφόρησε αρχικά από την εταιρεία Espressif Systems το 2014 και μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα κέρδισε μεγάλη απήχηση λόγω της χαμηλής τιμής, της ευκολίας προγραμματισμού και της μεγάλης κοινότητας χρηστών (Espressif Systems, 2020). Η τεχνολογία αυτή συνέβαλε καθοριστικά στη διάδοση του Internet of Things (IoT), καθώς επέτρεψε σε χαμηλού κόστους συσκευές να συνδεθούν απευθείας στο Διαδίκτυο, μειώνοντας σημαντικά το εμπόδιο εισόδου για την ανάπτυξη IoT εφαρμογών (Atzori et al., 2010; Gubbi et al., 2013).



Εικόνα 5: Πλακέτα NodeMCU (ESP8266)

Το ESP8266 διαθέτει ενσωματωμένο μικροεπεξεργαστή 32-bit αρχιτεκτονικής Tensilica L106, ο οποίος του επιτρέπει να εκτελεί βασικές διεργασίες αυτόνομα, χωρίς την απαίτηση εξωτερικού μικροελεγκτή (Espressif Systems, 2020). Μπορεί να λειτουργήσει είτε ως αυτόνομο module, με εκτέλεση κώδικα απευθείας πάνω του μέσω firmware όπως το NodeMCU ή το MicroPython, είτε ως slave module, όπου αναλαμβάνει αποκλειστικά την ασύρματη επικοινωνία Wi-Fi, ενώ ο κεντρικός έλεγχος πραγματοποιείται από άλλον μικροελεγκτή, όπως ο ATmega2560 (Monk, 2016).

Επιπλέον, το ESP8266 υποστηρίζει πλήρη στοίβα πρωτοκόλλων TCP/IP, γεγονός που το καθιστά ικανό να επικοινωνεί μέσω HTTP, MQTT και άλλων πρωτοκόλλων που είναι κατάλληλα για εφαρμογές IoT (Banks & Gupta, 2014). Παράλληλα, διαθέτει GPIO ακροδέκτες, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύνδεση αισθητήρων και εκτελεστικών στοιχείων, επεκτείνοντας σημαντικά τη λειτουργικότητά του σε συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου (Monk, 2016).

Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα του ESP8266 είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, με υποστήριξη διαφορετικών καταστάσεων εξοικονόμησης ισχύος (sleep modes), που το καθιστούν κατάλληλο για συστήματα τα οποία πρέπει να παραμένουν συνδεδεμένα στο Διαδίκτυο χωρίς συνεχή παροχή ισχύος (Espressif Systems, 2020). Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιείται ευρέως τόσο σε οικιακές εφαρμογές, όπως έξυπνοι διακόπτες, θερμοστάτες και αισθητήρες, όσο και σε βιομηχανικές εφαρμογές απομακρυσμένης παρακολούθησης (Gubbi et al., 2013).

Η επιλογή του ESP8266 για την παρούσα εργασία είναι καθοριστικής σημασίας, καθώς προσφέρει μία αξιόπιστη, οικονομική και ευρέως δοκιμασμένη λύση για τη δικτυακή διασύνδεση της συσκευής απεγκλωβισμού ανελκυστήρων. Χωρίς την ενσωμάτωσή του, η απομακρυσμένη επικοινωνία με τον τεχνικό θα ήταν ιδιαίτερα δυσχερής ή θα απαιτούσε τη χρήση σημαντικά ακριβότερου και πιο σύνθετου εξοπλισμού.

2.3.3 Πλεονεκτήματα στο υπό μελέτη σύστημα

Στο πλαίσιο της συσκευής που αναπτύσσεται, το ESP8266 διαδραματίζει κομβικό ρόλο. Ουσιαστικά, λειτουργεί ως **γέφυρα μεταξύ του μικροελεγκτή ATmega2560 και του Διαδικτύου**, καθιστώντας δυνατή την απομακρυσμένη πρόσβαση στο σύστημα.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης του ESP8266 είναι τα εξής:

1. Απομακρυσμένος έλεγχος λειτουργιών απεγκλωβισμού

Ο τεχνικός μπορεί, μέσω διαδικτυακής εφαρμογής, να αποστείλει εντολές στο σύστημα ανελκυστήρα. Αυτό επιτρέπει την ασφαλή μετακίνηση του θαλάμου και το άνοιγμα των θυρών χωρίς να απαιτείται η φυσική παρουσία του τεχνικού στο κτίριο.

2. Λήψη και αποστολή ενημερώσεων για βλάβες

Το ESP8266 μπορεί να αποστέλλει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την κατάσταση του ανελκυστήρα, όπως σφάλματα, βλάβες ή διακοπές ρεύματος. Με αυτόν τον τρόπο, ο τεχνικός είναι πάντα ενήμερος και μπορεί να προγραμματίσει την επέμβασή του πιο αποδοτικά.

3. Αποθήκευση δεδομένων σε βάση για ανάλυση

Μέσω σύνδεσης με cloud υπηρεσίες ή τοπικό server, τα δεδομένα που συλλέγονται αποθηκεύονται και αναλύονται, παρέχοντας στατιστικά χρήσιμα για την πρόβλεψη βλαβών (predictive maintenance). Έτσι μειώνονται οι μελλοντικές πιθανότητες εγκλωβισμού.

4. Μείωση χρόνου ανταπόκρισης και κόστους

Ο χρόνος που απαιτείται για την αντιμετώπιση ενός περιστατικού μειώνεται σημαντικά, καθώς ο τεχνικός έχει τη δυνατότητα να παρέμβει άμεσα από απόσταση. Αυτό συνεπάγεται και μείωση του κόστους συντήρησης, αφού δεν χρειάζεται φυσική παρουσία για κάθε μικρό πρόβλημα.

5. Κλιμάκωση και επεκτασιμότητα

Η χρήση του ESP8266 επιτρέπει την εύκολη ενσωμάτωση πρόσθετων λειτουργιών στο μέλλον, όπως ειδοποιήσεις σε κινητά τηλέφωνα, ενσωμάτωση με συστήματα διαχείρισης κτιρίων (BMS) ή ακόμα και χρήση τεχνητής νοημοσύνης για αυτόματη διάγνωση προβλημάτων.

Με βάση τα παραπάνω, καθίσταται σαφές ότι το ESP8266 δεν αποτελεί απλώς ένα «μέσο σύνδεσης», αλλά έναν **καταλύτη για τη μετατροπή ενός παραδοσιακού ανελκυστήρα σε ευφυές, συνδεδεμένο σύστημα.**

2.3.4 Ζητήματα ασφαλείας

Η ενσωμάτωση του ESP8266 σε ένα σύστημα ανελκυστήρα προσφέρει σημαντικές δυνατότητες απομακρυσμένου ελέγχου και εποπτείας, ωστόσο εισάγει ταυτόχρονα και νέους κινδύνους που σχετίζονται με την κυβερνοασφάλεια. Ο ανελκυστήρας, ως κρίσιμο υποσύστημα ενός κτιρίου, δεν μπορεί να θεωρηθεί απλώς μία συσκευή Internet of Things (IoT), αλλά ένα σύστημα ασφαλείας ζωής (life-critical system), όπου η αξιοπιστία και η ασφάλεια αποτελούν πρωταρχικές απαιτήσεις (EN 81-20, 2020). Υπό αυτό το πρίσμα, οποιαδήποτε κακόβουλη πρόσβαση ή αποτυχία μηχανισμών ασφαλείας μπορεί να έχει άμεσο και σοβαρό αντίκτυπο στην ανθρώπινη ασφάλεια (Stouffer et al., 2015).

Τα IoT modules, και ειδικότερα το ESP8266, είναι γνωστό ότι διαθέτουν περιορισμένους μηχανισμούς ασφαλείας σε επίπεδο υλικού, καθώς έχουν σχεδιαστεί με κύριο στόχο το χαμηλό κόστος, τη μικρή κατανάλωση ενέργειας και την ευκολία ενσωμάτωσης, και όχι την ανθεκτικότητα σε προηγμένες κυβερνοεπιθέσεις (Sicari et al., 2015). Η έλλειψη ενσωματωμένων στοιχείων όπως secure enclaves ή προηγμένων μηχανισμών κρυπτογραφικής επιτάχυνσης καθιστά τα συστήματα αυτά ευάλωτα σε επιθέσεις όπως spoofing, man-in-the-middle και μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση (OWASP Foundation, 2018).

Κατά συνέπεια, η προστασία ενός τέτοιου συστήματος δεν μπορεί να βασιστεί αποκλειστικά στο υλικό, αλλά απαιτεί την υιοθέτηση κατάλληλων πρακτικών σε επίπεδο λογισμικού και αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. Τέτοιες πρακτικές περιλαμβάνουν την ασφαλή διαχείριση ταυτότητας, τη χρήση κρυπτογραφημένων καναλιών επικοινωνίας, τον σαφή διαχωρισμό κρίσιμων και μη κρίσιμων λειτουργιών, καθώς και τη συμμόρφωση με διεθνή πρότυπα ασφάλειας για βιομηχανικά και κρίσιμα συστήματα (IEC 62443, 2018; Stouffer et al., 2015).

Τα βασικά ζητήματα ασφαλείας που ανακύπτουν είναι τα εξής:

1. **Κρυπτογράφηση επικοινωνίας (SSL/TLS)**

Η ανταλλαγή δεδομένων χωρίς κρυπτογράφηση αφήνει το σύστημα εκτεθειμένο σε επιθέσεις υποκλοπής (eavesdropping) ή αλλοίωσης δεδομένων (man-in-the-middle). Η χρήση SSL/TLS εξασφαλίζει ότι οι εντολές απεγκλωβισμού και τα δεδομένα βλαβών δεν μπορούν να αναγνωσθούν ή να τροποποιηθούν από τρίτους.

2. **Έλεγχος ταυτότητας χρήστη (Authentication)**

Το σύστημα πρέπει να διασφαλίζει ότι μόνο εξουσιοδοτημένοι τεχνικοί έχουν τη δυνατότητα πρόσβασης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω μηχανισμών όπως:

- ισχυροί κωδικοί πρόσβασης,
- διαπιστευτήρια δύο παραγόντων (two-factor authentication),
- ψηφιακά πιστοποιητικά.

Η απουσία αυτών θα μπορούσε να επιτρέψει σε μη εξουσιοδοτημένα άτομα να αποκτήσουν πρόσβαση, με πιθανές καταστροφικές συνέπειες.

3. **Firewall και VPN για πρόσβαση**

Η πρόσβαση στο σύστημα πρέπει να γίνεται μέσω ασφαλούς δικτύου, προστατευμένου από firewall. Η χρήση VPN (Virtual Private Network) δημιουργεί κρυπτογραφημένο «τούνελ» επικοινωνίας μεταξύ του τεχνικού και του ανελκυστήρα, μειώνοντας τον κίνδυνο μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης.

4. **Διαχείριση ενημερώσεων (Firmware updates)**

Ένα κρίσιμο σημείο για κάθε IoT συσκευή είναι η δυνατότητα αναβάθμισης λογισμικού. Εάν το ESP8266 παραμείνει με παλαιό firmware, είναι πιθανό να παραμένει εκτεθειμένο σε γνωστά τρωτά σημεία. Συνεπώς, το σύστημα πρέπει να υποστηρίζει ασφαλή και τακτική διαδικασία αναβάθμισης.

5. **Περιορισμός επιπέδων πρόσβασης (Access control)**

Ο σχεδιασμός πρέπει να προβλέπει διαφορετικά επίπεδα πρόσβασης: για παράδειγμα, άλλο επίπεδο για τον τεχνικό που πραγματοποιεί απεγκλωβισμό και άλλο για τον χρήστη που απλώς ενημερώνεται για τη βλάβη. Έτσι μειώνεται ο κίνδυνος κατάχρησης.

6. **Ανθεκτικότητα σε επιθέσεις DoS**

Ένα ακόμα πιθανό σενάριο είναι η επίθεση άρνησης υπηρεσίας (Denial of Service), η οποία μπορεί να καταστήσει το σύστημα μη λειτουργικό. Παρά το ότι το ESP8266 δεν διαθέτει ενσωματωμένους μηχανισμούς προστασίας από τέτοιες επιθέσεις, μπορούν να εφαρμοστούν λύσεις σε επίπεδο δικτύου (π.χ. φίλτρα πακέτων).

2.4 Υφιστάμενες λύσεις στην αγορά

Η ανάγκη για αυξημένη ασφάλεια, αξιοπιστία και λειτουργική αποδοτικότητα στους ανελκυστήρες έχει οδηγήσει μεγάλες εταιρείες του κλάδου στην ανάπτυξη εμπορικών λύσεων που βασίζονται σε τεχνολογίες Internet of Things (IoT). Οι λύσεις αυτές ενσωματώνουν αισθητήρες, μικροελεγκτές και μονάδες επικοινωνίας, με στόχο τη συνεχή παρακολούθηση της κατάστασης του ανελκυστήρα και την υλοποίηση προληπτικής συντήρησης (KONE Corporation, 2016; Otis Worldwide Corporation, 2019). Μέσω της συλλογής και ανάλυσης δεδομένων λειτουργίας, καθίσταται δυνατή η έγκαιρη ανίχνευση βλαβών και η μείωση του χρόνου εκτός λειτουργίας (Schindler Group, 2020).

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα που προσφέρουν, τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν συγκεκριμένους περιορισμούς, όπως το υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, η εξάρτηση από ιδιόκτητα οικοσυστήματα και η περιορισμένη δυνατότητα προσαρμογής σε παλαιότερους ανελκυστήρες (Barney & Al-Sharif, 2016). Οι παράγοντες αυτοί καθιστούν τις εμπορικές λύσεις δυσπρόσιτες για μικρότερα κτίρια ή ανεξάρτητους τεχνικούς, γεγονός που αναδεικνύει την ανάγκη για νέες, πιο ευέλικτες και οικονομικά αποδοτικές προσεγγίσεις, όπως αυτή που προτείνεται στην παρούσα εργασία.

2.4.1 Εμπορικές εφαρμογές

Οι κορυφαίες εταιρείες ανελκυστήρων, όπως η **Otis**, η **Kone** και η **Schindler**, έχουν ήδη αναπτύξει προηγμένες πλατφόρμες ψηφιακής παρακολούθησης. Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι:

- **Otis One:** Πρόκειται για πλατφόρμα IoT που συνδέει τους ανελκυστήρες σε ένα κεντρικό cloud. Οι τεχνικοί λαμβάνουν ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο για την κατάσταση λειτουργίας, καθώς και ιστορικό δεδομένων για κάθε ανελκυστήρα.
- **Kone 24/7 Connected Services:** Βασίζεται σε συνεργασία με την IBM Watson και αξιοποιεί τεχνητή νοημοσύνη για ανάλυση δεδομένων, με σκοπό την προγνωστική συντήρηση (predictive maintenance).
- **Schindler Ahead:** Πλατφόρμα που επιτρέπει την απομακρυσμένη εποπτεία, καταγραφή σφαλμάτων και επικοινωνία με το τεχνικό προσωπικό μέσω εφαρμογών για κινητά.

Κοινό στοιχείο αυτών των συστημάτων είναι ότι παρέχουν:

- **Αποστολή ειδοποιήσεων βλαβών** σε πραγματικό χρόνο.
- **Καταγραφή ιστορικού λειτουργίας**, ώστε να διευκολύνεται η συντήρηση.
- **Απομακρυσμένη διάγνωση προβλημάτων** από τεχνικούς χωρίς να χρειάζεται άμεση μετάβαση στο χώρο.

Τα εμπορικά αυτά συστήματα αποδεικνύουν τη χρησιμότητα της ενσωμάτωσης IoT στους ανελκυστήρες και έχουν συμβάλει στη βελτίωση της αξιοπιστίας και της εξυπηρέτησης πελατών.

2.4.2 Περιορισμοί υφιστάμενων λύσεων

Παρά τα οφέλη τους, τα υπάρχοντα συστήματα παρουσιάζουν σημαντικούς περιορισμούς:

1. Έλλειψη ενεργού απεγκλωβισμού

Ενώ οι περισσότερες λύσεις εστιάζουν στην παρακολούθηση και στη διάγνωση βλαβών, **δεν παρέχουν δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου για ενεργό απεγκλωβισμό**. Αυτό σημαίνει ότι, σε περίπτωση εγκλωβισμού, εξακολουθεί να απαιτείται φυσική παρουσία τεχνικού.

2. Υψηλό κόστος

Οι πλατφόρμες αυτές είναι σχεδιασμένες κυρίως για μεγάλες εμπορικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις, όπου το υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης μπορεί να δικαιολογηθεί. Σε μικρότερες εγκαταστάσεις, όπως πολυκατοικίες ή μικρές επιχειρήσεις, η εφαρμογή τους είναι οικονομικά ασύμφορη.

3. Κλειστά συστήματα (proprietary solutions)

Οι περισσότερες εμπορικές λύσεις είναι **ιδιοταγείς πλατφόρμες**, που δεν προσφέρουν δυνατότητα επεκτασιμότητας ή διασύνδεσης με άλλα συστήματα. Ο χρήστης εξαρτάται πλήρως από τον κατασκευαστή για υποστήριξη, αναβαθμίσεις και επεκτάσεις.

4. Περιορισμένη προσαρμοστικότητα

Τα συστήματα αυτά έχουν σχεδιαστεί για συγκεκριμένα μοντέλα ανελκυστήρων και δεν μπορούν να προσαρμοστούν εύκολα σε παλαιότερες εγκαταστάσεις, κάτι που περιορίζει την εφαρμογή τους.

5. Θέματα ιδιωτικότητας και ασφάλειας

Καθώς τα δεδομένα αποστέλλονται σε κεντρικούς servers των εταιρειών, τίθενται ζητήματα προστασίας προσωπικών δεδομένων και εμπιστευτικότητας.

2.4.3 Αναγκαιότητα νέας προσέγγισης

Οι περιορισμοί των υφιστάμενων λύσεων καταδεικνύουν την ανάγκη για μια **νέα, πιο ευέλικτη προσέγγιση**. Η ιδέα που προτείνεται στην παρούσα εργασία βασίζεται στα εξής σημεία:

- **Χαμηλό κόστος:** Η χρήση οικονομικών και ευρέως διαθέσιμων τεχνολογιών, όπως ο **μικροελεγκτής ATmega2560** και το **module ESP8266**, επιτρέπει τη δημιουργία μίας προσιτής λύσης που μπορεί να υιοθετηθεί ακόμα και από μικρές εγκαταστάσεις.
- **Ανοιχτή αρχιτεκτονική:** Το σύστημα σχεδιάζεται με τρόπο ώστε να είναι επεκτάσιμο και να μπορεί να ενσωματώσει μελλοντικά νέες λειτουργίες (π.χ. AI για προγνωστική συντήρηση).
- **Ενεργός απομακρυσμένος απεγκλωβισμός:** Σε αντίθεση με τις υπάρχουσες λύσεις, η προτεινόμενη συσκευή δίνει τη δυνατότητα στον τεχνικό να ελέγξει εξ αποστάσεως κρίσιμες λειτουργίες του ανελκυστήρα, μειώνοντας τον χρόνο αντίδρασης.
- **Προσαρμοστικότητα:** Το σύστημα μπορεί να εγκατασταθεί σε διαφορετικούς τύπους ανελκυστήρων, συμπεριλαμβανομένων παλαιότερων εγκαταστάσεων, με μικρές μόνο τροποποιήσεις.

Με αυτόν τον τρόπο, η προτεινόμενη λύση καλύπτει το υφιστάμενο κενό της αγοράς και αποτελεί **καινοτομία** τόσο σε τεχνικό επίπεδο (λόγω απομακρυσμένου απεγκλωβισμού), όσο και σε οικονομικό (λόγω χαμηλού κόστους και ανοιχτής σχεδίασης).

Κεφάλαιο 3ο: Ανάλυση και Σχεδίαση Συστήματος

Η συσκευή που σχεδιάζεται έχει ως βασικό σκοπό την ασφαλή και γρήγορη αποκατάσταση βλαβών, ώστε να επιτυγχάνεται ο άμεσος απεγκλωβισμός επιβατών σε περίπτωση ανάγκης. Η καινοτομία της προτεινόμενης λύσης έγκειται στη δυνατότητα διασύνδεσης μέσω Διαδικτύου, η οποία επιτρέπει στον τεχνικό να επεμβαίνει εξ αποστάσεως, μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο ανταπόκρισης και αυξάνοντας την αίσθηση ασφάλειας για τον χρήστη (Gubbi et al., 2013; KONE Corporation, 2016). Η απομακρυσμένη εποπτεία και παρέμβαση αποτελεί κρίσιμο παράγοντα σε συστήματα ασφάλειας ζωής, όπου η καθυστέρηση στην αποκατάσταση μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένο κίνδυνο για τους επιβάτες (EN 81-20, 2020).

Η ανάπτυξη ενός τέτοιου συστήματος προϋποθέτει τον σαφή ορισμό των λειτουργικών και μη λειτουργικών απαιτήσεών του, καθώς και τον σχεδιασμό μίας αρχιτεκτονικής που να διασφαλίζει τη λειτουργικότητα, την αξιοπιστία και την επεκτασιμότητα. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί σε χαρακτηριστικά όπως η διαθεσιμότητα, η ανθεκτικότητα σε σφάλματα και η ασφάλεια, τα οποία αποτελούν βασικά ποιοτικά κριτήρια για κρίσιμα συστήματα (ISO/IEC 25010, 2011). Η συστηματική προσέγγιση στον καθορισμό απαιτήσεων και στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό μειώνει την πιθανότητα αστοχιών και διευκολύνει τη μελλοντική επέκταση ή αναβάθμιση του συστήματος (Sommerville, 2016)..

3.1 Απαιτήσεις συστήματος

Η ανάλυση απαιτήσεων αποτελεί το πρώτο βήμα στη σχεδίαση οποιουδήποτε ενσωματωμένου συστήματος. Οι απαιτήσεις διακρίνονται σε **λειτουργικές** και **μη λειτουργικές (ασφάλειας και αξιοπιστίας)**.

3.1.1 Λειτουργικές απαιτήσεις

Οι βασικές λειτουργίες που πρέπει να επιτελεί το σύστημα είναι οι εξής:

1. **Έλεγχος βασικών κινήσεων ανελκυστήρα**

Ο μικροελεγκτής πρέπει να έχει τη δυνατότητα να ελέγχει κρίσιμα υποσυστήματα, όπως το άνοιγμα/κλείσιμο θυρών και την κίνηση του θαλάμου προς τον πλησιέστερο όροφο (ωστόσο για σκοπούς απλότητας η κίνηση του θαλάμου θα γίνεται χειροκίνητα). Η λειτουργία αυτή είναι απαραίτητη για την ασφαλή διαδικασία απεγκλωβισμού.

2. **Καταγραφή και αποθήκευση βλαβών**

Το σύστημα πρέπει να αναγνωρίζει, να καταγράφει και να αποθηκεύει τις βλάβες που εμφανίζονται, ώστε να υπάρχει ιστορικό δεδομένων. Αυτό διευκολύνει την τεχνική ανάλυση και την πρόβλεψη μελλοντικών προβλημάτων.

3. **Ενεργοποίηση έναρξης διαδικασίας απεγκλωβισμού**

Σε περίπτωση εγκλωβισμού, ο τεχνικός θα πρέπει να μπορεί να ενεργοποιήσει τη διαδικασία έναρξης απεγκλωβισμού, με απόλυτη ασφάλεια, η οποία ουσιαστικά σε πρώτο επίπεδο θα στέλνει σήμα απεγκλωβισμού και θα ειδοποιεί για την έναρξη των απαραίτητων ενεργειών.

4. Επικοινωνία με τον τεχνικό μέσω Διαδικτύου

Το ESP8266 αναλαμβάνει τη δικτυακή επικοινωνία, επιτρέποντας στον τεχνικό να έχει πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο για ενημέρωση και έλεγχο.

3.1.2 Απαιτήσεις ασφάλειας

Εκτός από τη λειτουργικότητα, η ασφάλεια αποτελεί θεμελιώδη παράμετρο, καθώς η οποιαδήποτε δυσλειτουργία μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες για τους επιβάτες. Οι κύριες απαιτήσεις ασφάλειας είναι:

1. Ασφαλής εκτέλεση εντολών απεγκλωβισμού

Οι εντολές που αποστέλλονται στο σύστημα πρέπει να διασφαλίζουν ότι δεν θα δημιουργηθεί δευτερογενής κίνδυνος, όπως π.χ. ξαφνική μετακίνηση του θαλάμου με πόρτες ανοιχτές.

2. Ανθεκτικότητα σε απώλεια σήματος

Το σύστημα πρέπει να έχει δυνατότητα λειτουργίας σε περίπτωση απώλειας σύνδεσης (fail-safe mode). Για παράδειγμα, εάν χαθεί το δίκτυο, η διαδικασία απεγκλωβισμού πρέπει να ολοκληρωθεί με ασφάλεια.

3. Προστασία από κακόβουλη πρόσβαση

Η απομακρυσμένη διαχείριση ανοίγει νέους κινδύνους ασφάλειας. Συνεπώς, απαιτούνται μηχανισμοί ελέγχου ταυτότητας και κρυπτογράφησης, ώστε να αποφευχθεί μη εξουσιοδοτημένος έλεγχος του ανελκυστήρα.

3.2 Αρχιτεκτονική του συστήματος

Η αρχιτεκτονική της συσκευής διαρθρώνεται σε τέσσερα κύρια υποσυστήματα, τα οποία συνεργάζονται για να παρέχουν ολοκληρωμένη λειτουργικότητα.

3.2.1 Μονάδα ελέγχου (Control Unit)

Η καρδιά του συστήματος είναι ο μικροελεγκτής **ATmega2560**, ο οποίος διαθέτει επαρκείς πόρους για τον χειρισμό πολλαπλών εισόδων και εξόδων:

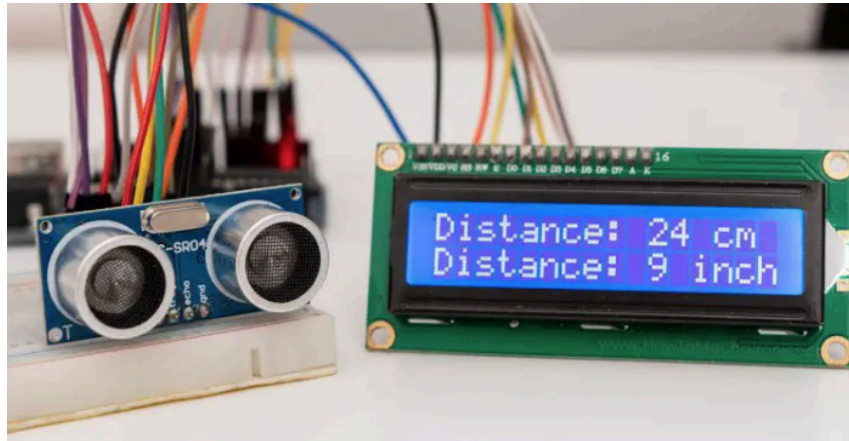
- **15 εισοδοί** για παρακολούθηση αισθητήρων ή σημάτων ελέγχου.
- **12 έξοδοι**, εκ των οποίων:
 - 8 υλοποιούνται με ρελέ για χειρισμό φορτίων υψηλής ισχύος (π.χ. μοτέρ, φρένα).
 - 4 υλοποιούνται με τρανζίστορ για έλεγχο ηλεκτρονικών σημάτων χαμηλής ισχύος.

Η επιλογή του ATmega2560, όπως παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2, προσφέρει τη σωστή ισορροπία ανάμεσα σε **δυνατότητες, αξιοπιστία και χαμηλό κόστος**.

3.2.2 Μονάδα διεπαφής χρήστη (User Interface Unit)

Η τοπική αλληλεπίδραση με τον τεχνικό επιτυγχάνεται μέσω:

- **Οθόνης LCD 16x4**, που εμφανίζει σε πραγματικό χρόνο την κατάσταση λειτουργίας, τα μηνύματα σφάλματος και τις επιλογές μενού.
- **Buttons**, που παρέχουν απλό και αξιόπιστο τρόπο ελέγχου, π.χ.reset ή ενεργοποίηση διαδικασίας απεγκλωβισμού.



Εικόνα 6: Αισθητήρας υπερήχων HC-SR04 σε εφαρμογή μέτρησης απόστασης

Η ύπαρξη τοπικής διεπαφής εξασφαλίζει ότι ακόμη και σε περίπτωση αποτυχίας του δικτύου, ο τεχνικός μπορεί να επέμβει άμεσα.

3.2.3 Μονάδα δικτύου (Network Unit)

Το module ESP8266 αποτελεί το βασικό στοιχείο που επιτρέπει τη δικτυακή διασύνδεση της συσκευής με το Διαδίκτυο, μετατρέποντάς την από ένα αυτόνομο ηλεκτρονικό κύκλωμα σε ένα έξυπνο, συνδεδεμένο σύστημα. Η ενσωμάτωσή του προσδίδει στη συσκευή τη δυνατότητα επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο με τον τεχνικό ή ένα κεντρικό σύστημα παρακολούθησης, επιτρέποντας τη συνεχή ροή πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση λειτουργίας του ανελκυστήρα (Gubbi et al., 2013; Espressif Systems, 2020). Η δυνατότητα αυτή αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό σύγχρονων IoT-βασισμένων cyber-physical systems, όπου η φυσική διεργασία συνδέεται άμεσα με ψηφιακούς μηχανισμούς ελέγχου και εποπτείας (Lee, 2008).

Μέσω του ESP8266 επιτυγχάνεται αμφίδρομη επικοινωνία: αφενός αποστέλλονται δεδομένα και ειδοποιήσεις προς τον τεχνικό, όπως σφάλματα, ενδείξεις βλαβών ή καταγραφές λειτουργίας· αφετέρου, ο τεχνικός μπορεί να αποστέλλει εντολές στο σύστημα για την εκτέλεση κρίσιμων διαδικασιών, όπως η ενεργοποίηση του απεγκλωβισμού ή η επανεκκίνηση του ελεγκτή (Banks & Gupta, 2014; Monk, 2016). Η λειτουργία αυτή καθιστά τη συσκευή όχι απλώς έναν παθητικό καταγραφέα γεγονότων, αλλά έναν ενεργό κόμβο επικοινωνίας, ικανό να υποστηρίξει πλήρη απομακρυσμένο έλεγχο και εποπτεία, στοιχείο ιδιαίτερα σημαντικό για συστήματα ασφάλειας ζωής (Stouffer et al., 2015; EN 81-20, 2020).

Πιο συγκεκριμένα, μέσω του ESP8266:

- Επιτυγχάνεται επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο με τον τεχνικό, επιτρέποντας άμεση πρόσβαση στα δεδομένα λειτουργίας του ανελκυστήρα.

- Αποστέλλονται ειδοποιήσεις και δεδομένα βλαβών, ώστε να είναι δυνατή η άμεση αναγνώριση και αξιολόγηση προβλημάτων.
- Υποστηρίζεται απομακρυσμένος έλεγχος εντολών, παρέχοντας τη δυνατότητα ασφαλούς εκτέλεσης βασικών λειτουργιών χωρίς φυσική παρουσία στο χώρο.

Η επικοινωνία μεταξύ ESP8266 και ATmega2560 πραγματοποιείται μέσω του σειριακού διαύλου UART, ενός ευρέως χρησιμοποιούμενου και αξιόπιστου πρωτοκόλλου επικοινωνίας μεταξύ μικροελεγκτών. Μέσω αυτής της σύνδεσης, ο ATmega2560 αποστέλλει στο ESP8266 τα δεδομένα που πρέπει να μεταδοθούν στο δίκτυο και λαμβάνει από αυτό εντολές ή ενημερώσεις από τον απομακρυσμένο χειριστή. Η επιλογή αυτής της μεθόδου εξασφαλίζει σταθερότητα, χαμηλό κόστος υλοποίησης και απλότητα ενσωμάτωσης, στοιχεία απαραίτητα για ένα σύστημα που στοχεύει σε υψηλή αξιοπιστία και λειτουργία σε πραγματικό χρόνο.

Συνολικά, το ESP8266 λειτουργεί ως το «ψηφιακό κανάλι επικοινωνίας» της συσκευής, επιτρέποντας τη μετατροπή ενός τοπικού μηχανισμού απεγκλωβισμού σε ένα ευφές, διασυνδεδεμένο σύστημα, ικανό να προσφέρει άμεση τεχνική υποστήριξη, αποτελεσματικό έλεγχο και αυξημένο επίπεδο ασφάλειας στους χρήστες.

3.2.4 Λογισμικό απομακρυσμένου ελέγχου

Η βασική λειτουργία του λογισμικού είναι να παρέχει πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο στην κατάσταση του ανεγκλωβιστήρα. Ο τεχνικός μπορεί να παρακολουθεί από απόσταση κρίσιμες παραμέτρους, όπως τη θέση του θαλάμου, την τάση τροφοδοσίας, τη θερμοκρασία του κινητήρα και την ύπαρξη ενεργών βλαβών. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται συνεχής εποπτεία του συστήματος και έγκαιρη ανίχνευση ανωμαλιών πριν αυτές εξελιχθούν σε σοβαρές αστοχίες ή οδηγήσουν σε εγκλωβισμό επιβατών (Lee, 2008; Stouffer et al., 2015).

Παράλληλα, το λογισμικό επιτρέπει τον απομακρυσμένο χειρισμό κρίσιμων λειτουργιών, όπως η κίνηση του θαλάμου προς ασφαλές επίπεδο, το άνοιγμα ή κλείσιμο των θυρών και η επανεκκίνηση του ελεγκτή. Ο τεχνικός έχει τη δυνατότητα να αποστέλλει εντολές απευθείας στο σύστημα, οι οποίες μεταδίδονται μέσω του δικτυακού module ESP8266 στον μικροελεγκτή ATmega2560, υλοποιώντας ένα σχήμα απομακρυσμένου ελέγχου παρόμοιο με σύγχρονες SCADA και cyber-physical εφαρμογές (Banks & Gupta, 2014; Monk, 2016). Η δυνατότητα αυτή μειώνει δραστικά την ανάγκη φυσικής παρουσίας στο χώρο και επιτρέπει την άμεση και αποτελεσματική αντιμετώπιση προβλημάτων, ακόμη και σε απομακρυσμένες εγκαταστάσεις (Gubbi et al., 2013).

Επιπλέον, η εφαρμογή υποστηρίζει την προσωρινή αποθήκευση δεδομένων, δημιουργώντας ένα ιστορικό λειτουργίας και βλαβών του ανεγκλωβιστήρα. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν για ανάλυση απόδοσης και εφαρμογή τεχνικών προγνωστικής συντήρησης (predictive maintenance), επιτρέποντας την πρόβλεψη πιθανών αστοχιών πριν την εμφάνισή τους (Mobley, 2002; Carvalho et al., 2019). Με τον τρόπο αυτό, το σύστημα αποκτά έναν «έξυπνο» χαρακτήρα, ικανό να εντοπίζει επαναλαμβανόμενα μοτίβα βλαβών και να υποστηρίζει τον τεχνικό στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων.

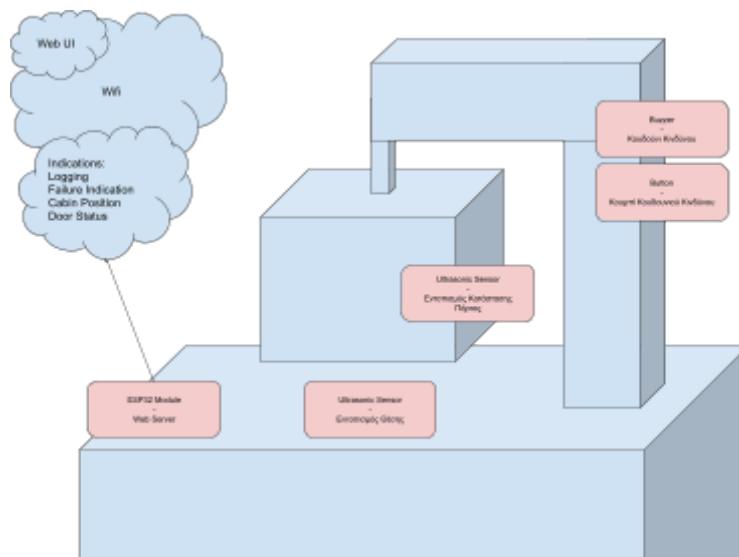
Όσον αφορά την υλοποίηση, η εφαρμογή μπορεί να αναπτυχθεί είτε ως web interface, προσβάσιμο μέσω οποιουδήποτε σύγχρονου φυλλομετρητή χωρίς ανάγκη εγκατάστασης, είτε ως mobile εφαρμογή για χρήση σε smartphones και tablets. Οι web-based λύσεις προσφέρουν ευρεία συμβατότητα και

ευκολία συντήρησης, ενώ οι mobile εφαρμογές επιτρέπουν άμεση ενημέρωση και χειρισμό εν κινήσει, χαρακτηριστικό ιδιαίτερα χρήσιμο για τεχνικούς πεδίου (Fielding, 2000; Sommerville, 2016).

Συνολικά, το λογισμικό λειτουργεί ως το «νοητικό κέντρο» του συστήματος, καθώς ενοποιεί τη συλλογή δεδομένων, τον απομακρυσμένο έλεγχο και την ασφάλεια επικοινωνίας σε ένα ενιαίο περιβάλλον. Με την υλοποίησή του, η συσκευή παύει να αποτελεί ένα απλό αυτόνομο ηλεκτρονικό κύκλωμα και μετατρέπεται σε ένα έξυπνο, δικτυωμένο εργαλείο που αυξάνει την αποδοτικότητα της συντήρησης και συμβάλλει ουσιαστικά στη βελτίωση της ασφάλειας των χρηστών (EN 81-20, 2020; ISO/IEC 25010, 2011).

3.3 Διάγραμμα μπλοκ

Το σύστημα μπορεί να αναπαρασταθεί ως διασύνδεση μεταξύ αισθητήρων/ενεργοποιητών, του μικροελεγκτή και του διαδικτύου μέσω ESP8266. Ο μικροελεγκτής λειτουργεί ως κεντρικός επεξεργαστής, ενώ το ESP8266 αναλαμβάνει τη μεταφορά εντολών και δεδομένων.



Εικόνα 7: Διάγραμμα αρχιτεκτονικής συστήματος ανεγκυστήρα με ESP32 και αισθητήρες

3.4 Διαχείριση βλαβών

Η αποτελεσματική διαχείριση βλαβών αποτελεί κεντρικό στοιχείο της αξιοπιστίας ενός συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου ανεγκυστήρα. Η συσκευή καταγράφει σε πραγματικό χρόνο όλες τις ανωμαλίες που εμφανίζονται κατά τη λειτουργία του ανεγκυστήρα και τις αποθηκεύει σε τοπική μνήμη, όπως EEPROM ή μονάδα SD card. Η προσέγγιση αυτή είναι σύμφωνη με βέλτιστες πρακτικές σε ενσωματωμένα και βιομηχανικά συστήματα, όπου η τοπική καταγραφή συμβάντων θεωρείται απαραίτητη για λόγους αξιοπιστίας και ιχνηλασιμότητας (Wolf, 2012; Valvano, 2016). Η τοπική αποθήκευση εξασφαλίζει ότι κρίσιμα δεδομένα δεν θα χαθούν ακόμη και σε περιπτώσεις απώλειας δικτύου ή απρόσμενης διακοπής τροφοδοσίας (IEC 62443, 2018).

Παράλληλα, όταν υπάρχει ενεργή σύνδεση στο Διαδίκτυο, οι καταγεγραμμένες βλάβες αποστέλλονται αυτόματα σε εξωτερικό server για μακροχρόνια αποθήκευση και περαιτέρω αξιοποίηση. Η διαδικασία

αυτή μπορεί να πραγματοποιείται είτε σε πραγματικό χρόνο είτε περιοδικά, υλοποιώντας ένα υβριδικό μοντέλο edge–cloud, στο οποίο η συσκευή λειτουργεί ως κόμβος συλλογής δεδομένων (edge node), ενώ η ανάλυση και η ιστορική αποθήκευση πραγματοποιούνται σε κεντρική υποδομή (cloud) (Shi et al., 2016). Η ύπαρξη κεντρικής βάσης δεδομένων επιτρέπει την ενοποιημένη διαχείριση πληροφοριών από πολλαπλούς ανελκυστήρες, διευκολύνοντας τον τεχνικό στη διάγνωση, στη στατιστική ανάλυση και στην εφαρμογή στρατηγικών προγνωστικής συντήρησης (Mobley, 2002; Carvalho et al., 2019).

Ο τεχνικός έχει στη διάθεσή του εργαλεία που του επιτρέπουν:

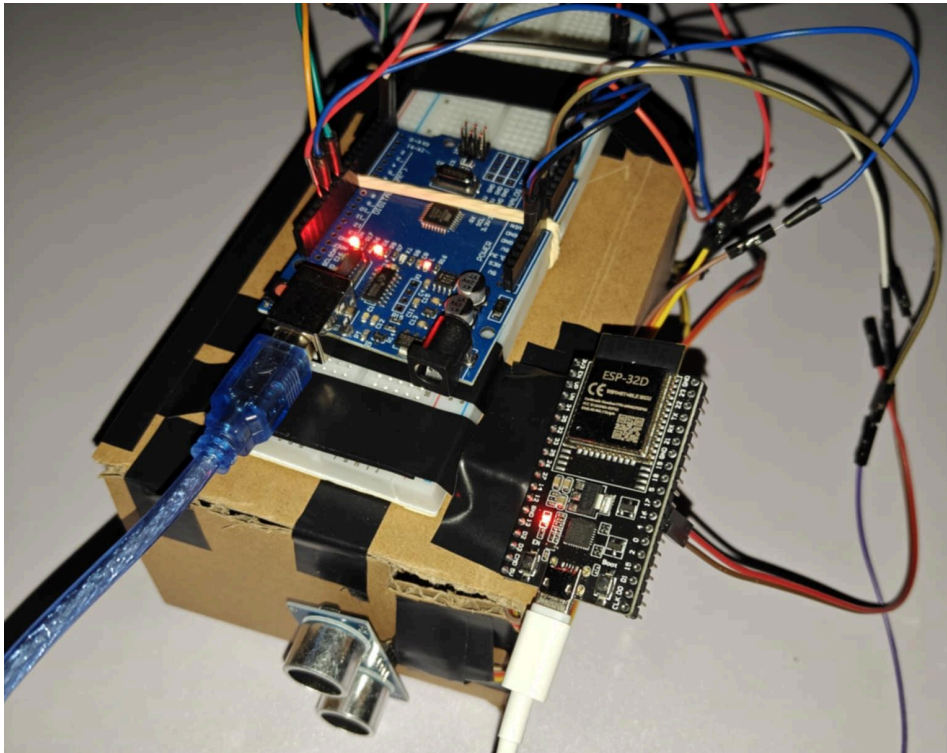
- **να προβάλλει αναλυτικό ιστορικό βλαβών**, με ημερομηνία, ώρα και είδος σφάλματος,
- **να εντοπίζει επαναλαμβανόμενες ή μοτίβα βλαβών**, που μπορεί να υποδεικνύουν φθορά εξαρτημάτων ή λανθασμένη χρήση,
- **να αξιολογεί τα δεδομένα για εφαρμογές προγνωστικής συντήρησης (predictive maintenance)**, βελτιώνοντας τον προγραμματισμό των εργασιών συντήρησης και μειώνοντας τις πιθανότητες μελλοντικού εγκλωβισμού.

Επιπλέον, το σύστημα διαθέτει μηχανισμό άμεσης ειδοποίησης σε κρίσιμες καταστάσεις, όπως ενεργοποίηση φρένου ασφαλείας, διακοπή ρεύματος, υπερθέρμανση του κινητήρα ή πιθανό εγκλωβισμό επιβατών. Οι ειδοποιήσεις αυτές μπορούν να αποστέλλονται μέσω Διαδικτύου με τη μορφή push notifications, ειδοποιήσεων εντός της εφαρμογής ή ηλεκτρονικού ταχυδρομείου προς τον τεχνικό, επιτρέποντας την άμεση ενημέρωση ανεξάρτητα από τη φυσική του θέση (Gubbi et al., 2013; Shi et al., 2016). Η έγκαιρη ειδοποίηση αποτελεί κρίσιμο παράγοντα σε συστήματα ασφάλειας ζωής, καθώς μειώνει σημαντικά τον χρόνο ανταπόκρισης και περιορίζει τον κίνδυνο για τους χρήστες του ανελκυστήρα (EN 81-20, 2020; Stouffer et al., 2015).

Τέλος, η ύπαρξη μηχανισμών κατηγοριοποίησης βλαβών, όπως προειδοποιήσεις, σοβαρά και κρίσιμα συμβάντα, επιτρέπει στο σύστημα να διαφοροποιεί τόσο τον τρόπο αντίδρασης όσο και την προτεραιότητα ενημέρωσης. Η πρακτική αυτή ακολουθεί καθιερωμένα μοντέλα διαχείρισης συμβάντων σε βιομηχανικά και κυβερνοφυσικά συστήματα, όπου η ιεράρχηση συμβάντων συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της απόκρισης και στη μείωση της γνωστικής επιβάρυνσης του χειριστή (ISO/IEC 25010, 2011; ITIL Foundation, 2019). Με τον τρόπο αυτό, το προτεινόμενο σύστημα προσφέρει ένα ολοκληρωμένο και ευφύες πλαίσιο διαχείρισης συμβάντων, ενισχύοντας τόσο την επιχειρησιακή αποδοτικότητα όσο και το συνολικό επίπεδο ασφάλειας

Κεφάλαιο 4ο: Σχεδίαση και Υλοποίηση Συστήματος

Το παρόν κεφάλαιο περιγράφει την πρακτική υλοποίηση του προτεινόμενου συστήματος απομακρυσμένης παρακολούθησης ανελκυστήρα. Παρουσιάζονται τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, η συνδεσμολογία των επιμέρους εξαρτημάτων, καθώς και η αρχιτεκτονική και υλοποίηση του λογισμικού τόσο στην πλευρά του μικροελεγκτή όσο και στη μονάδα ασύρματης επικοινωνίας.

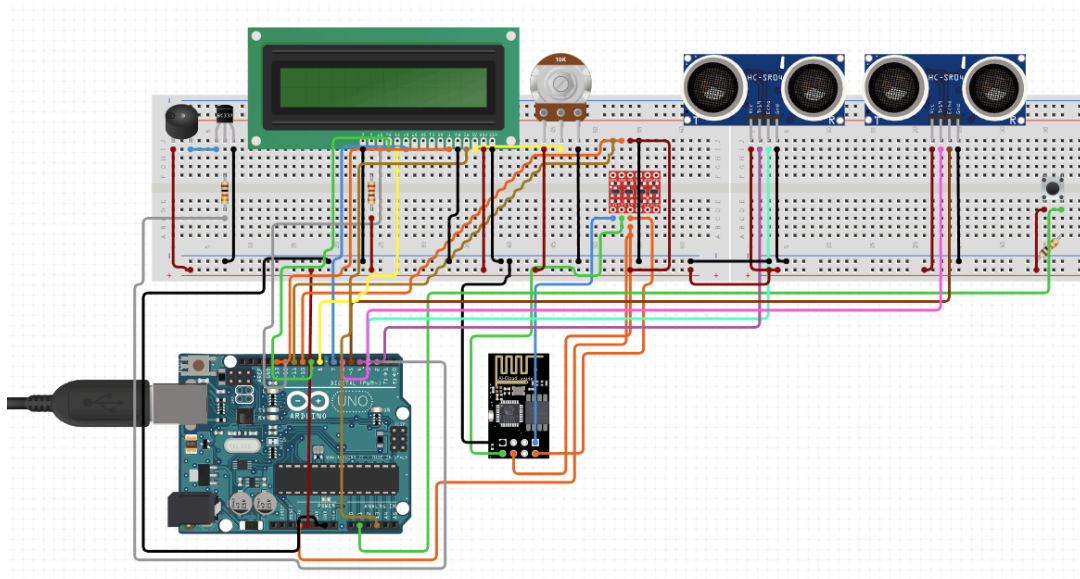


Εικόνα 8: Πρωτότυπη φωτογραφία υλοποίησης καλωδίωσης τελικού συστήματος

4.1 Υλικό και εξαρτήματα

Για την υλοποίηση του πρωτοτύπου χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα βασικά εξαρτήματα:

- Πλακέτα μικροελεγκτή **Arduino Uno**, η οποία λειτουργεί ως κεντρική μονάδα ελέγχου.
- Μονάδα ασύρματης επικοινωνίας **ESP32 Wi-Fi**, υπεύθυνη για τη δικτυακή διασύνδεση.
- Δύο αισθητήρες υπερήχων (ultrasonic sensors) για τη μέτρηση αποστάσεων.
- Οθόνη **LCD 16×2** για τοπική απεικόνιση πληροφοριών.
- Επιπλέον στοιχεία όπως button, buzzer και αντιστάσεις.
- Breadboard και καλώδια σύνδεσης για την υλοποίηση του κυκλώματος.
- Τροφοδοσία 5V για την παροχή ισχύος στο σύστημα.

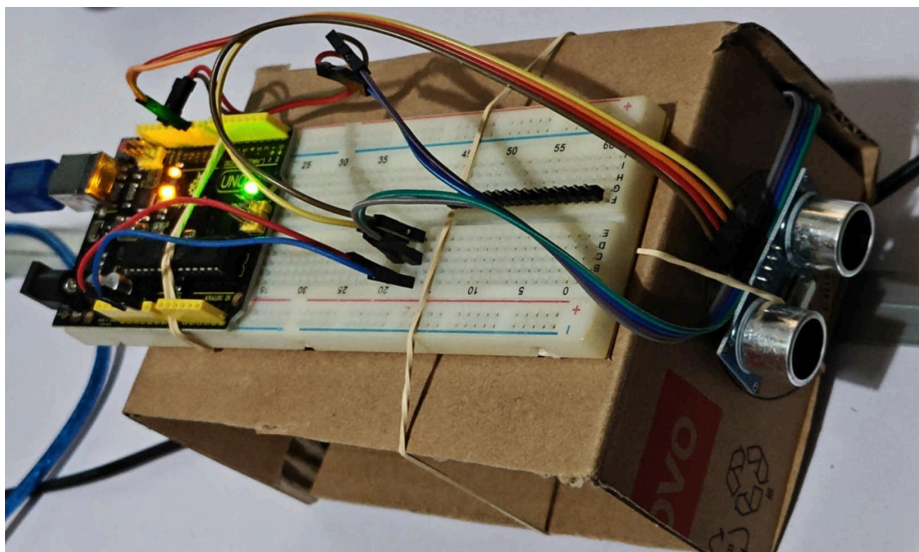


Εικόνα 9: Πρωτότυπο διάγραμμα αρχιτεκτονικής συστήματος ανελκυστήρα με ESP32 και αισθητήρες

Η επιλογή των παραπάνω εξαρτημάτων έγινε με γνώμονα το χαμηλό κόστος, τη διαθεσιμότητα και την ευκολία ενσωμάτωσης, ώστε το σύστημα να μπορεί να αναπαραχθεί και να επεκταθεί χωρίς εξειδικευμένο εξοπλισμό.

4.2 Ηλεκτρικές συνδέσεις και διάταξη κυκλώματος

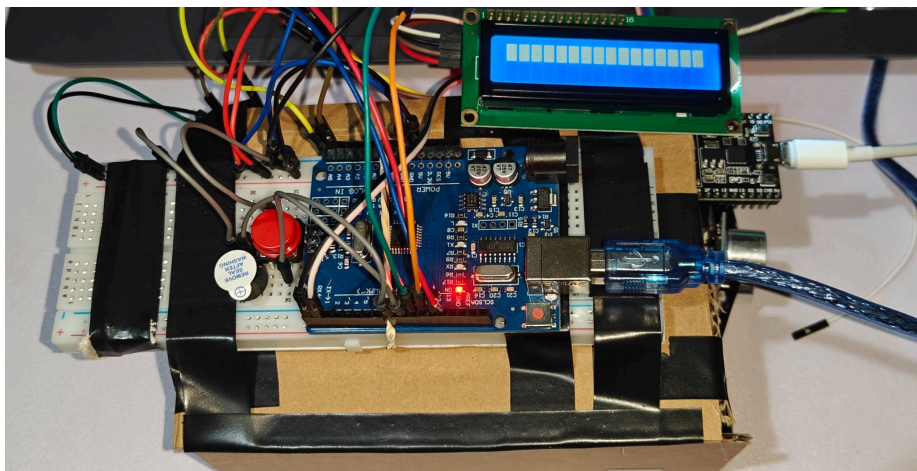
Η υλοποίηση του συστήματος βασίζεται σε τρεις βασικούς πυλώνες: την πλακέτα **Arduino Uno**, τη μονάδα ασύρματης επικοινωνίας **ESP32**, και το σύνολο των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων που αναπτύσσονται πάνω σε **breadboard**, όπως αισθητήρες και περιφερειακές συσκευές. Το Arduino Uno λειτουργεί ως κεντρικός κόμβος του συστήματος και τροφοδοτείται με τάση 5V, πάνω στον οποίο συνδέονται όλα τα περιφερειακά στοιχεία.



Εικόνα 10: Πρωτότυπη φωτογραφία υλοποίησης αρχικής καλωδίωσης κατασκευής

Η ανάπτυξη του συστήματος ξεκίνησε με τη βασική λειτουργικότητα της ανάγνωσης τιμών από τους αισθητήρες υπερήχων. Οι αισθητήρες συνδέθηκαν σε ψηφιακές θύρες εισόδου/εξόδου του Arduino, επιτρέποντας την αποστολή παλμών trigger και τη λήψη σημάτων echo για τον υπολογισμό αποστάσεων. Οι μετρήσεις αυτές αποτέλεσαν το θεμέλιο για τη λειτουργία του συστήματος και τη μεταγενέστερη επεξεργασία τους.

Στη συνέχεια, το κύκλωμα επεκτάθηκε με την προσθήκη επιπλέον ηλεκτρονικών στοιχείων, όπως οθόνη LCD 16×2 για τοπική απεικόνιση πληροφοριών, καθώς και βοηθητικά περιφερειακά όπως buzzer και button, τα οποία χρησιμοποιούνται για ειδοποιήσεις και αλληλεπίδραση με τον χρήστη. Όλα τα παραπάνω στοιχεία τοποθετήθηκαν σε breadboard, διευκολύνοντας τη δοκιμή, την τροποποίηση και την επεκτασιμότητα του κυκλώματος κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης.



Εικόνα 11: Πρωτότυπη φωτογραφία υλοποίησης καλωδίωσης της Οθόνης LCD

Σε επόμενο στάδιο, το σύστημα επεκτάθηκε με την ενσωμάτωση της μονάδας ESP32, η οποία συνδέθηκε με το Arduino μέσω σειριακής επικοινωνίας (UART), χρησιμοποιώντας τους ακροδέκτες TX και RX. Με τον τρόπο αυτό, το ESP32 λαμβάνει απευθείας τα σειριακά δεδομένα που παράγονται από το Arduino και τα επεξεργάζεται για σκοπούς δικτυακής διάθεσης.

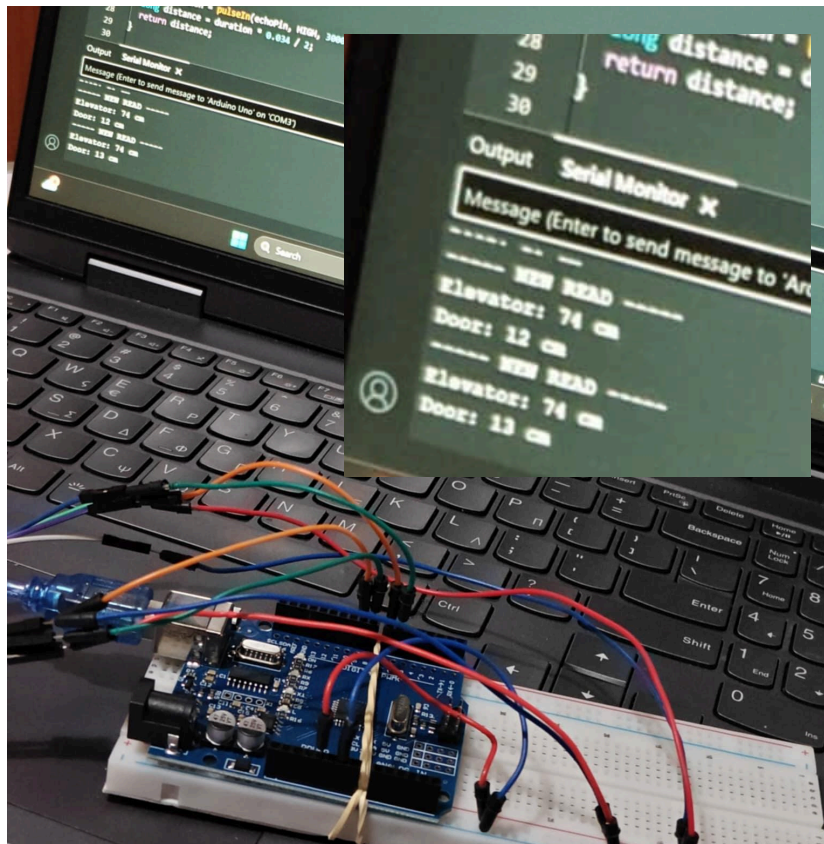
Δεδομένου ότι το Arduino Uno λειτουργεί στα 5V, ενώ το ESP32 στα 3.3V, κρίθηκε απαραίτητη η χρήση διαιρέτη τάσης (voltage divider) στη γραμμή μετάδοσης δεδομένων από το Arduino προς το ESP32. Η επιλογή αυτή εξασφαλίζει την ασφαλή λειτουργία της μονάδας ESP32 και αποτρέπει την πιθανότητα βλάβης λόγω υπέρτασης, διατηρώντας παράλληλα την αξιοπιστία της σειριακής επικοινωνίας.

4.3 Αρχιτεκτονική και υλοποίηση λογισμικού

Η υλοποίηση του λογισμικού του συστήματος βασίζεται σε διαχωρισμένη αρχιτεκτονική δύο επιπέδων, με στόχο τη σαφή κατανομή ρόλων, την αύξηση της αξιοπιστίας και τη διευκόλυνση μελλοντικών επεκτάσεων. Ο διαχωρισμός αυτός επιτρέπει την ανεξάρτητη ανάπτυξη, συντήρηση ή αντικατάσταση κάθε υποσυστήματος χωρίς να επηρεάζεται η συνολική λειτουργία του συστήματος.

Το πρώτο επίπεδο αφορά το **επίπεδο τοπικού ελέγχου**, το οποίο υλοποιείται μέσω της πλακέτας Arduino Uno και είναι υπεύθυνο για τη συλλογή και πρωτογενή επεξεργασία των δεδομένων αισθητήρων. Το δεύτερο επίπεδο αφορά το **επίπεδο δικτύου και απομακρυσμένης διεπαφής**, το

οποίο υλοποιείται μέσω της μονάδας ESP32 και αναλαμβάνει τη δικτυακή επικοινωνία και την παρουσίαση των δεδομένων στον χρήστη.



Εικόνα 12: Πρωτότυπη φωτογραφία αποσφαλμάτωσης κώδικα

Και τα δύο υποσυστήματα αναπτύχθηκαν στο περιβάλλον **Arduino IDE**, με χρήση της γλώσσας **C++**, αξιοποιώντας τις διαθέσιμες βιβλιοθήκες της πλατφόρμας **Arduino** για επικοινωνία, αισθητήρες και δικτυακές λειτουργίες.

4.3.1 Υλοποίηση λογισμικού **Arduino** (Επίπεδο τοπικού ελέγχου)

Το λογισμικό που εκτελείται στο **Arduino Uno** είναι γραμμένο σε γλώσσα **C++** στο περιβάλλον **Arduino IDE** και αποτελεί τον πυρήνα του τοπικού ελέγχου του συστήματος. Στο πλαίσιο της συνολικής αρχιτεκτονικής, το **Arduino** λειτουργεί ως το **backend** του συστήματος, αναλαμβάνοντας τη συλλογή, την πρωτογενή επεξεργασία και τη διαχείριση των δεδομένων που προέρχονται από τους αισθητήρες και τα τοπικά περιφερειακά.

Το **Arduino** ενεργοποιεί περιοδικά τους αισθητήρες υπερήχων, αποστέλλοντας παλμό trigger και μετρώντας τη διάρκεια επιστροφής του υπερηχητικού παλμού μέσω της γραμμής echo. Με βάση τη χρονική αυτή διάρκεια και τη γνωστή ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον αέρα, υπολογίζεται η αντίστοιχη απόσταση σε εκατοστά. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα, εξασφαλίζοντας σταθερή και αξιόπιστη παρακολούθηση της κατάστασης του συστήματος.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μορφοποιούνται σε απλό και δομημένο κείμενο και αποστέλλονται μέσω της σειριακής διεπαφής (**UART**) προς το **ESP32**. Η επιλογή αυτής της μορφής δεδομένων

διευκολύνει τη διαδικασία ανάλυσης (parsing) στην πλευρά της μονάδας δικτύου και μειώνει τις απαιτήσεις επεξεργασίας.

Πέραν της συλλογής δεδομένων, το Arduino διαχειρίζεται και τοπικά περιφερειακά στοιχεία, όπως οθόνη **LCD 16x2**, buzzer και button, παρέχοντας άμεση τοπική ανατροφοδότηση στον χρήστη. Η τοπική αυτή λειτουργικότητα επιτρέπει τη βασική ενημέρωση της κατάστασης του συστήματος ακόμη και σε περιπτώσεις απουσίας δικτυακής σύνδεσης.

Για την υλοποίηση του λογισμικού στο Arduino Uno χρησιμοποιήθηκαν βασικές βιβλιοθήκες της πλατφόρμας Arduino, οι οποίες υποστηρίζουν τη λειτουργία των αισθητήρων και των περιφερειακών στοιχείων:

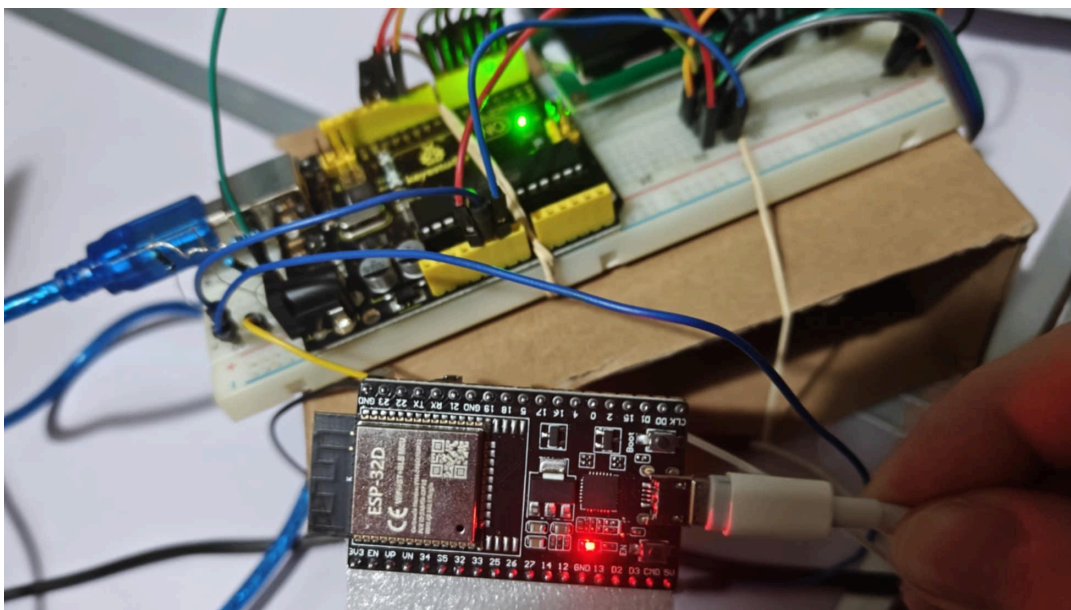
- **Arduino Core Library**
Χρησιμοποιείται για τη διαχείριση ψηφιακών εισόδων/εξόδων (GPIO), χρονισμών, καθυστερήσεων και βασικών λειτουργιών του μικροελεγκτή.
- **Serial Library**
Υλοποιεί τη σειριακή επικοινωνία μέσω UART, επιτρέποντας τη μετάδοση των δεδομένων από το Arduino προς το ESP32.
- **LiquidCrystal Library**
Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και την απεικόνιση δεδομένων στην οθόνη LCD 16x2.
- **Tone / Buzzer Control (μέσω Arduino Core)**
Υποστηρίζει τη δημιουργία ηχητικών ειδοποιήσεων μέσω του buzzer.

Το **ESP32**, όπως θα αναφερθεί παρακάτω, λειτουργεί ως το **frontend** του συστήματος και είναι υπεύθυνο για τη λήψη και ανάλυση (parsing) των σειριακών δεδομένων που αποστέλλονται από το Arduino, καθώς και για την παρουσίασή τους μέσω διαδικτυακής διεπαφής.

Ο διαχωρισμός των ρόλων σε backend (Arduino) και frontend (ESP32) συμβάλλει στη σαφή αρχιτεκτονική δομή του συστήματος, αυξάνει την αξιοπιστία και επιτρέπει την ανεξάρτητη εξέλιξη των δύο υποσυστημάτων, ακολουθώντας αρχές σύγχρονου σχεδιασμού καταναμημένων συστημάτων.

4.3.2 Υλοποίηση λογισμικού ESP32 (Επίπεδο δικτύου)

Το υποσύστημα δικτύου υλοποιείται μέσω της μονάδας **ESP32**, η οποία προγραμματίστηκε στο περιβάλλον **Arduino IDE** με χρήση της γλώσσας **C++**. Στη συνολική αρχιτεκτονική του συστήματος, το ESP32 λειτουργεί ως ενδιάμεσος κόμβος μεταξύ του τοπικού συστήματος ελέγχου και του τελικού χρήστη, αναλαμβάνοντας τον ρόλο του **frontend** και της δικτυακής διεπαφής.



Εικόνα 13: Πρωτότυπη φωτογραφία διασύνδεσης Arduino με ESP32 Wifi Module

Σε πρώτο στάδιο, το ESP32 πραγματοποιεί ανάγνωση των δεδομένων που λαμβάνονται από το Arduino μέσω της σειριακής διεπαφής **UART**. Τα δεδομένα αυτά, τα οποία αποστέλλονται σε μορφή απλού και δομημένου κειμένου, αναλύονται (parsing) και αντιστοιχίζονται σε εσωτερικές μεταβλητές του συστήματος. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την αξιόπιστη αποθήκευση και διαχείριση των μετρήσεων, ώστε να είναι άμεσα διαθέσιμες για προβολή ή περαιτέρω επεξεργασία.

Στη συνέχεια, το ESP32 συνδέεται σε ασύρματο δίκτυο **Wi-Fi** τοπικού δικτύου, αξιοποιώντας τις ενσωματωμένες δυνατότητες ασύρματης επικοινωνίας που διαθέτει. Για τη δικτυακή λειτουργία χρησιμοποιούνται βασικές βιβλιοθήκες της πλατφόρμας Arduino για ESP32, όπως:

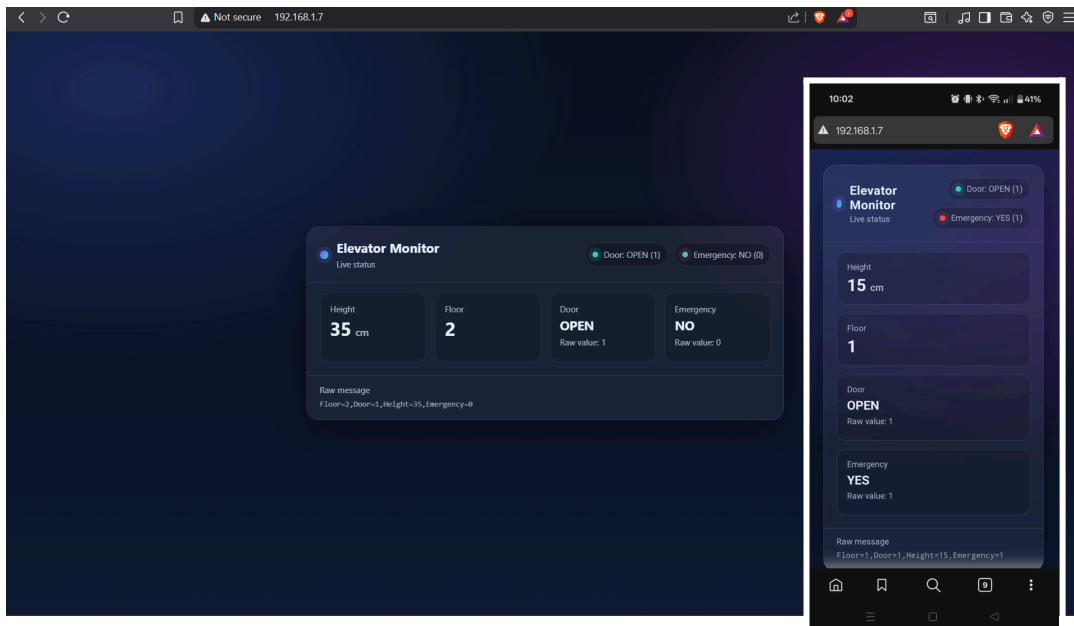
- η **WiFi library** για τη διαχείριση της σύνδεσης στο ασύρματο δίκτυο,
- και η **WebServer library** για την υλοποίηση ενός ενσωματωμένου web server.

Ο web server που εκτελείται στο ESP32 είναι υπεύθυνος για την εξυπηρέτηση αιτημάτων από απομακρυσμένους χρήστες και για την παρουσίαση των πλέον πρόσφατων δεδομένων του συστήματος μέσω web διεπαφής. Το ESP32 λειτουργεί ως **αυτόνομος εξυπηρετητής (server)** εντός του τοπικού δικτύου, χωρίς την ανάγκη χρήσης εξωτερικών cloud υπηρεσιών ή τρίτων πλατφορμών.

Η επιλογή αυτής της αρχιτεκτονικής μειώνει σημαντικά την πολυπλοκότητα του συστήματος, περιορίζει την καθυστέρηση στη μετάδοση δεδομένων και ενισχύει την ασφάλεια, καθώς η επικοινωνία παραμένει εντός ελεγχόμενου δικτυακού περιβάλλοντος. Παράλληλα, επιτρέπει την άμεση πρόσβαση στη διεπαφή από οποιαδήποτε συσκευή διαθέτει σύγχρονο φυλλομετρητή, χωρίς την ανάγκη εγκατάστασης πρόσθετου λογισμικού.

4.3.3 Web διεπαφή απομακρυσμένης διάγνωσης

Η απομακρυσμένη παρακολούθηση της κατάστασης του συστήματος επιτυγχάνεται μέσω μίας στατικής **HTML** σελίδας, η οποία εξυπηρετείται απευθείας από τον ενσωματωμένο **web server** της μονάδας ESP32. Η διεπαφή αυτή λειτουργεί ως βασικό εργαλείο διάγνωσης και παρέχει στον χρήστη άμεση οπτική πληροφόρηση σχετικά με τις τιμές που προέρχονται από τους αισθητήρες υπερήχων και τη γενική κατάσταση του συστήματος.

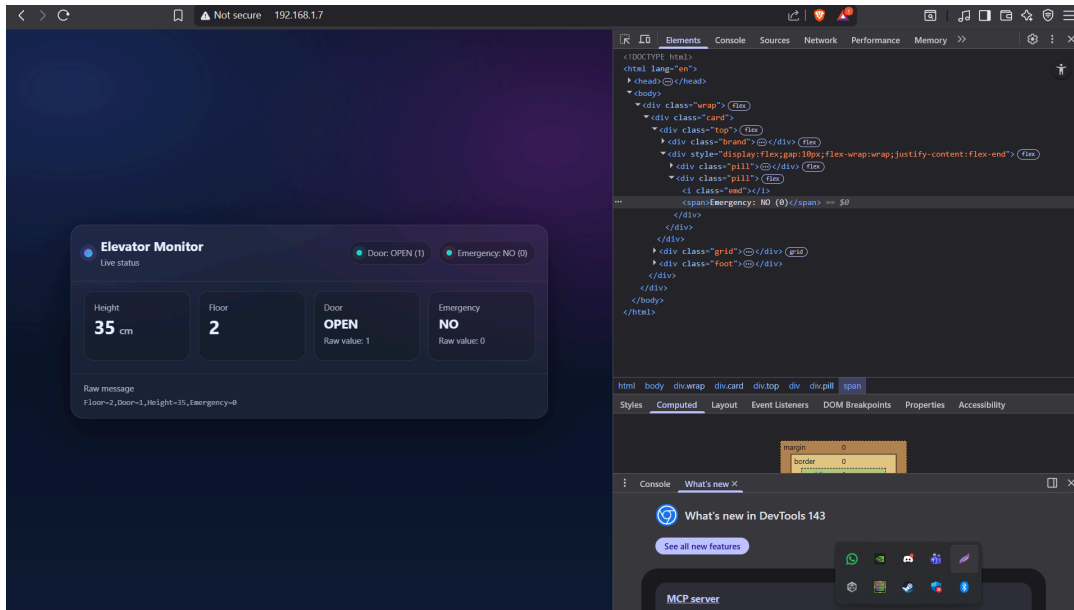


Εικόνα 14: Πρωτότυπη φωτογραφία διεπαφής χρήστη

Η μονάδα ESP32, αξιοποιώντας τις ενσωματωμένες δυνατότητες ασύρματης επικοινωνίας, μπορεί να λειτουργήσει είτε ως **access point (AP)** είτε να συνδεθεί αυτόματα σε **υφιστάμενο ασύρματο δίκτυο (station mode)**. Στην πρώτη περίπτωση, το ESP32 δημιουργεί το δικό του ασύρματο δίκτυο, επιτρέποντας σε τεχνικούς να συνδεθούν απευθείας σε αυτό μέσω κινητής συσκευής ή φορητού υπολογιστή, χωρίς να απαιτείται εξωτερική υποδομή δικτύου. Η λειτουργία αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις εγκαταστάσεων όπου δεν υπάρχει διαθέσιμο Wi-Fi ή κατά τη διάρκεια επιτόπιων ελέγχων.

Στη δεύτερη περίπτωση (μπορεί να υπάρξει σαν επιλογή), το ESP32 συνδέεται αυτόματα σε υφιστάμενο ασύρματο δίκτυο, χρησιμοποιώντας προκαθορισμένα διαπιστευτήρια σύνδεσης. Με αυτόν τον τρόπο, η συσκευή αποκτά μία **τοπική διεύθυνση IP**, μέσω της οποίας η web διεπαφή καθίσταται προσβάσιμη από οποιαδήποτε συσκευή βρίσκεται στο ίδιο δίκτυο. Η πρόσβαση πραγματοποιείται μέσω φυλλομετρητή, εισάγοντας τη συγκεκριμένη IP διεύθυνση στη γραμμή διευθύνσεων, γεγονός που καθιστά τη χρήση της διεπαφής απλή και άμεση, χωρίς την ανάγκη εγκατάστασης ειδικού λογισμικού.

Ο ενσωματωμένος web server του ESP32 είναι υπεύθυνος για την εξυπηρέτηση αιτημάτων HTTP και για την αποστολή της HTML σελίδας στον χρήστη. Η σελίδα αυτή περιλαμβάνει προκαθορισμένη δομή παρουσίασης, στην οποία ενσωματώνονται δυναμικά οι τιμές που λαμβάνονται από το Arduino μέσω σειριακής επικοινωνίας. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα που αποστέλλονται σειριακά από το Arduino αναλύονται (parsing) στο ESP32 και αποθηκεύονται σε εσωτερικές μεταβλητές. Οι



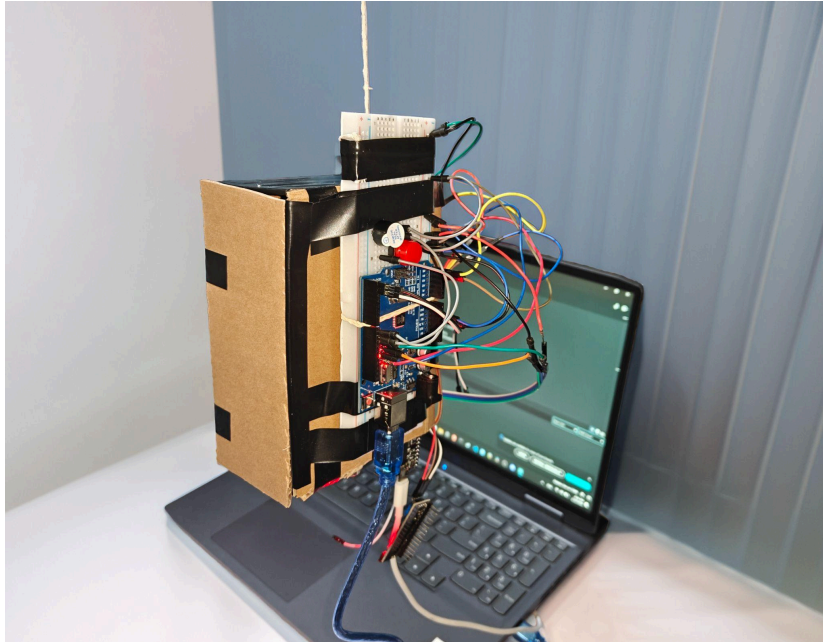
Εικόνα 16: Πρωτότυπο στιγμιότυπο κώδικα HTML

Στο παρόν στάδιο, η web διεπαφή υποστηρίζει αποκλειστικά λειτουργίες **παρακολούθησης και διάγνωσης**. Δεν υλοποιούνται σενάρια ενεργού ελέγχου, απομακρυσμένης παρέμβασης ή απεγκλωβισμού, καθώς τέτοιες λειτουργίες απαιτούν αυξημένες προδιαγραφές ασφάλειας, πιστοποίησης και ελέγχου πρόσβασης. Οι δυνατότητες αυτές αποτελούν αντικείμενο μελλοντικής επέκτασης και θα αξιολογηθούν σε επόμενη φάση ανάπτυξης, στο πλαίσιο εμπορικής ή βιομηχανικής αξιοποίησης του συστήματος.

4.4 Κατασκευή Μακέτας

Για την πειραματική αξιολόγηση και την επίδειξη της λειτουργίας του προτεινόμενου συστήματος, κρίθηκε απαραίτητη η κατασκευή μίας φυσικής μακέτας ανελκυστήρα, η οποία θα λειτουργεί ως αναπαράσταση βασικών λειτουργικών χαρακτηριστικών ενός πραγματικού συστήματος. Ο σχεδιασμός της μακέτας πραγματοποιήθηκε με γνώμονα τη **modular αρχιτεκτονική**, τη φορητότητα, το χαμηλό κόστος και την απλότητα κατασκευής, ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις και τα όρια μιας πτυχιακής εργασίας.

Κεντρικός στόχος της μακέτας δεν ήταν η πιστή μηχανολογική αναπαράσταση ενός πραγματικού ανελκυστήρα, αλλά η δημιουργία ενός λειτουργικού πλαισίου μέσα στο οποίο μπορούν να δοκιμαστούν και να παρουσιαστούν οι ηλεκτρονικές και λογισμικές λειτουργίες του συστήματος. Για τον λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκαν σκόπιμες απλοποιήσεις, οι οποίες αφορούν κυρίως το μηχανικό σκέλος της κατασκευής, όπως τη δομή του θαλάμου και το σύστημα ανέλκυσης.



Εικόνα 17: Πρωτότυπη φωτογραφία της μακέτας

4.4.1 Σχεδιαστικές επιλογές και αρχή modular κατασκευής

Η μακέτα σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε τα επιμέρους υποσυστήματα (ηλεκτρονικά, αισθητήρες, μονάδες ελέγχου και δικτύου) να είναι **ανεξάρτητα μεταξύ τους** και να μπορούν να αποσυναρμολογηθούν ή να επαναχρησιμοποιηθούν σε μελλοντικές δοκιμές ή επεκτάσεις. Η modular φιλοσοφία επιτρέπει:

- την εύκολη αντικατάσταση επιμέρους εξαρτημάτων,
- την ευέλικτη προσαρμογή της μακέτας σε διαφορετικά σενάρια δοκιμών,
- και τη φορητότητα της κατασκευής για παρουσίαση ή επίδειξη.

Η επιλογή αυτή ευθυγραμμίζεται με τη συνολική αρχιτεκτονική του συστήματος, όπου διαχωρίζονται σαφώς το hardware, το firmware και η web διεπαφή.

4.4.2 Υλικά κατασκευής και δομική απλοποίηση

Η μακέτα κατασκευάστηκε εξ ολοκλήρου από **φθηνά, ελαφριά και εύκολα διαθέσιμα υλικά**, όπως χαρτόκουτο, σχοινί και μονωτική ταινία, ενώ χρησιμοποιήθηκαν και λαστιχάκια για επιπλέον κράτημα και σταθεροποίηση. Η επιλογή των συγκεκριμένων υλικών έγινε με σκοπό τη μείωση του κόστους, την ευκολία τροποποίησης και την αποφυγή εξειδικευμένων εργαλείων ή μηχανουργικών διαδικασιών.

Η δομή του θαλάμου αποτελεί μια απλοποιημένη αναπαράσταση, επαρκή όμως για την τοποθέτηση των αισθητήρων και την προσομοίωση της κατακόρυφης κίνησης. Η απουσία μεταλλικών ή βαρέων στοιχείων καθιστά τη μακέτα ασφαλή στη χρήση και εύκολη στη μεταφορά.

4.4.3 Σύστημα ανέλκυσης και επιλογή χειροκίνητης κίνησης

Το σύστημα ανέλκυσης της μακέτας κρίθηκε σκόπιμο να είναι **χειροκίνητο**, χρησιμοποιώντας σχοινί, αντί για ηλεκτροκινητήρα ή αυτόματο μηχανισμό. Η επιλογή αυτή έγινε συνειδητά, προκειμένου να περιοριστεί η πολυπλοκότητα της κατασκευής και να εστιαστεί η εργασία στο πληροφοριακό και διαγνωστικό σκέλος του συστήματος.

Η χειροκίνητη κίνηση επιτρέπει τον άμεσο έλεγχο της θέσης του θαλάμου, ενώ οι αισθητήρες υπερήχων ενημερώνουν αυτόματα το σύστημα για την κατάσταση και τη θέση του. Με τον τρόπο αυτό, διατηρείται ο ρεαλισμός της μέτρησης χωρίς την ανάγκη πολύπλοκων μηχανικών εξαρτημάτων, τα οποία δεν αποτελούν αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

4.4.4 Τρόποι δοκιμής και τοποθέτησης της μακέτας

Η προτεινόμενη δοκιμή της μακέτας πραγματοποιείται είτε με τη **στερέωσή της από κάποιο υψηλό σημείο**, είτε με την τοποθέτησή της στην άκρη μιας επιφάνειας, όπως ενός τραπεζιού. Οι επιλογές αυτές επιτρέπουν την προσομοίωση κατακόρυφης κίνησης σε περιορισμένο χώρο, καθιστώντας δυνατή τη διεξαγωγή δοκιμών σε εργαστηριακό ή οικιακό περιβάλλον.

Η ευελιξία αυτή διευκολύνει τόσο την αξιολόγηση του συστήματος όσο και την παρουσίασή του, χωρίς να απαιτείται ειδικός χώρος ή σταθερή εγκατάσταση.

4.4.5 Ενσωμάτωση ηλεκτρονικών στοιχείων στη μακέτα

Τα ηλεκτρονικά στοιχεία του συστήματος (Arduino Uno, ESP32, αισθητήρες, οθόνη LCD, buzzer και button) τοποθετήθηκαν με τρόπο που επιτρέπει εύκολη πρόσβαση και οπτικό έλεγχο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Η χρήση breadboard διευκολύνει τις αλλαγές στη συνδεσμολογία και επιτρέπει γρήγορες τροποποιήσεις χωρίς μόνιμες συνδέσεις.

Η συγκεκριμένη διάταξη επιτρέπει την ταυτόχρονη παρακολούθηση τόσο της φυσικής συμπεριφοράς της μακέτας όσο και των ψηφιακών δεδομένων που εμφανίζονται στην τοπική οθόνη ή στη web διεπαφή.

4.4.6 Τροφοδοσία συστήματος

Για την τροφοδοσία του συστήματος απαιτούνται δύο συνδέσεις USB, μία για το Arduino Uno (USB Type-B) και μία για τη μονάδα ESP32 (USB Micro). Η επιλογή τροφοδοσίας μέσω USB εξασφαλίζει ευκολία χρήσης, ασφάλεια και συμβατότητα με κοινές πηγές ενέργειας, όπως φορητοί υπολογιστές ή power banks.

Η ανεξάρτητη τροφοδοσία των δύο μονάδων επιτρέπει την αξιόπιστη λειτουργία τους χωρίς ηλεκτρικές παρεμβολές και καθιστά το σύστημα κατάλληλο για φορητές παρουσιάσεις.

4.4.7 Ρόλος της μακέτας στη συνολική αξιολόγηση

Η κατασκευή της μακέτας αποτελεί βασικό στοιχείο της παρούσας εργασίας, καθώς λειτουργεί ως **φυσικό μέσο επαλήθευσης** της λειτουργίας του συστήματος. Μέσω αυτής, καθίσταται δυνατή η

αξιολόγηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ αισθητήρων, μικροελεγκτών και web διεπαφής σε ένα ρεαλιστικό αλλά ελεγχόμενο περιβάλλον.

Παρά τις σκόπιμες απλοποιήσεις στο μηχανικό σκέλος, η μακέτα ανταποκρίνεται πλήρως στον σκοπό της εργασίας, προσφέροντας ένα σαφές και λειτουργικό πλαίσιο για την ανάπτυξη, δοκιμή και παρουσίαση μιας έξυπνης συσκευής απομακρυσμένης διάγνωσης ανελκυστήρων.

Κεφάλαιο 5ο: Αξιολόγηση και Συμπεράσματα

Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει την αξιολόγηση της συσκευής που αναπτύχθηκε, τη λειτουργικότητά της σε πραγματικές και προσομοιωμένες συνθήκες, τους περιορισμούς που εντοπίστηκαν κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, καθώς και τα τελικά συμπεράσματα και τις προτάσεις για μελλοντική βελτίωση του συστήματος.

Η αξιολόγηση βασίστηκε σε δοκιμές λειτουργίας, μετρήσεις απόδοσης, παρατήρηση της συμπεριφοράς του συστήματος σε σενάρια βλαβών και ποιοτική εκτίμηση της ευχρηστίας και αξιοπιστίας.

5.1 Δοκιμές και λειτουργικότητα

Το σύστημα δοκιμάστηκε σε περιβάλλον ελεγχόμενης προσομοίωσης βλαβών, αναπαριστώντας πραγματικές συνθήκες όπως διακοπή ρεύματος, εμπλοκή θυρών, υπερθέρμανση και απώλεια επικοινωνίας.

Οι λειτουργίες απεγκλωβισμού εκτελέστηκαν επιτυχώς:

- ο θάλαμος οδηγήθηκε στον πλησιέστερο όροφο,
- οι πόρτες άνοιξαν με ασφάλεια,
- και ο μικροελεγκτής ακολούθησε σωστά τα προδιαγεγραμμένα πρωτόκολλα ασφαλείας.

Η απομακρυσμένη επικοινωνία μέσω του ESP8266 έδειξε **σταθερότητα** και **χαμηλή καθυστέρηση** (latency), επιτρέποντας την άμεση αποστολή εντολών και την παραλαβή ενημερώσεων κατάστασης σε πραγματικό χρόνο.

Σε όλα τα σενάρια δοκιμών, το σύστημα ανταποκρίθηκε με προβλέψιμη και αξιόπιστη συμπεριφορά, χωρίς απώλειες δεδομένων ή ανεπιθύμητες ενεργοποιήσεις.

5.2 Αξιολόγηση αξιοπιστίας και ταχύτητας

Η αξιοπιστία του συστήματος αξιολογήθηκε μέσω συνεχόμενων κύκλων λειτουργίας και παρατεταμένης χρήσης σε πραγματικές συνθήκες. Ο μικροελεγκτής **ATmega2560** απέδειξε υψηλή απόδοση στην εκτέλεση λειτουργιών πραγματικού χρόνου, με ελάχιστο χρόνο απόκρισης και σταθερή λειτουργία χωρίς επανεκκινήσεις ή αστοχίες.

Τα **ρελέ** και τα **τρανζίστορ** που χρησιμοποιήθηκαν ως διακόπτες ισχύος λειτούργησαν σωστά, διαχειριζόμενα φορτία κινητήρων και ηλεκτρικών θυρών με πλήρη ηλεκτρική απομόνωση και ασφάλεια.

Η **διεπαφή χρήστη** (LCD και μπουτόν) διευκόλυνε τον άμεσο τοπικό έλεγχο, επιτρέποντας στον τεχνικό να εκτελέσει κρίσιμες εντολές ακόμη και σε περίπτωση απώλειας σύνδεσης στο Διαδίκτυο. Το μενού παρουσίασε καλή αναγνωσιμότητα, ενώ η ανταπόκριση των πλήκτρων ήταν άμεση.

Συνολικά, το σύστημα επέδειξε:

- σταθερή λειτουργία σε μακροχρόνιες δοκιμές,
- γρήγορη επεξεργασία συμβάντων,
- και απρόσκοπτη επικοινωνία με την εφαρμογή απομακρυσμένου ελέγχου.

5.3 Περιορισμοί συστήματος και προκλήσεις εμπορικής αξιοποίησης

Παρότι το προτεινόμενο σύστημα λειτούργησε αποτελεσματικά σε εργαστηριακές συνθήκες και εκπλήρωσε τους βασικούς στόχους της παρούσας εργασίας, εντοπίστηκαν ορισμένοι περιορισμοί που θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη σε περίπτωση εμπορικής αξιοποίησης ή βιομηχανικής εφαρμογής. Η αναγνώριση αυτών των περιορισμών είναι κρίσιμη, καθώς επιτρέπει τον ρεαλιστικό σχεδιασμό μελλοντικών επεκτάσεων και την προσαρμογή του συστήματος σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

5.3.1 Εξάρτηση από τη διαθεσιμότητα ασύρματου δικτύου (Wi-Fi)

Η απομακρυσμένη λειτουργία και παρακολούθηση του συστήματος βασίζεται στη διαθεσιμότητα και την ποιότητα του ασύρματου δικτύου Wi-Fi. Σε περιβάλλοντα όπου το σήμα είναι ασθενές, ασταθές ή παρουσιάζει συχνές διακοπές, ενδέχεται να εμφανιστούν καθυστερήσεις στην ενημέρωση των δεδομένων ή προσωρινή απώλεια επικοινωνίας με τη συσκευή. Αν και το σύστημα συνεχίζει να λειτουργεί τοπικά χωρίς πρόβλημα, η απομακρυσμένη διάγνωση μπορεί να επηρεαστεί, γεγονός που περιορίζει την αποτελεσματικότητα της λύσης σε περιοχές με χαμηλή δικτυακή κάλυψη.

5.3.2 Ανάγκη ενίσχυσης πρωτοκόλλων ασφάλειας

Η χρήση τεχνολογιών Internet of Things σε συστήματα που σχετίζονται με την ανθρώπινη ασφάλεια καθιστά επιτακτική την εφαρμογή αυστηρών μέτρων κυβερνοασφάλειας. Στην παρούσα υλοποίηση, η επικοινωνία πραγματοποιείται σε τοπικό δίκτυο χωρίς προηγμένους μηχανισμούς ασφαλείας. Για εμπορική αξιοποίηση, θα απαιτηθεί ενσωμάτωση κρυπτογράφησης δεδομένων, ασφαλούς ταυτοποίησης χρηστών, καθώς και προστασίας από επιθέσεις τύπου man-in-the-middle ή μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση. Η ασφάλεια αποτελεί κρίσιμο παράγοντα, καθώς οποιαδήποτε παραβίαση θα μπορούσε να έχει σοβαρές επιπτώσεις στη λειτουργία και την αξιοπιστία του συστήματος.

5.3.3 Περιορισμένη ωρίμανση της διεπαφής χρήστη

Η υφιστάμενη διεπαφή χρήστη υλοποιήθηκε με στόχο τη λειτουργική παρουσίαση των δεδομένων και όχι την πλήρη εμπορική αξιοποίηση. Για να ανταποκρίνεται στις ανάγκες τεχνικών συνεργείων και επαγγελματιών χρήσεων, θα απαιτηθεί σημαντική βελτίωση της εμπειρίας χρήστη (UX), προσθήκη εργαλείων ανάλυσης δεδομένων, ιστορικό καταγραφής συμβάντων και εξατομικευμένες προβολές πληροφορίας. Η ωρίμανση της εφαρμογής αποτελεί βασικό βήμα για τη μετάβαση από πρωτότυπο εργαστηρίου σε εμπορικό προϊόν.

5.3.4 Περιορισμοί υλικού

Παρότι ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιήθηκε αποδείχθηκε αξιόπιστος και επαρκής για τις ανάγκες της παρούσας υλοποίησης, διαθέτει περιορισμούς σε υπολογιστική ισχύ και μνήμη. Οι περιορισμοί αυτοί ενδέχεται να δυσκολέψουν την ενσωμάτωση πιο σύνθετων λειτουργιών, όπως εκτεταμένη καταγραφή δεδομένων, προηγμένη ανάλυση ή ταυτόχρονη διαχείριση πολλαπλών αισθητήρων. Για μελλοντική εμπορική ανάπτυξη, θα απαιτηθεί αξιολόγηση πιο σύγχρονων πλατφορμών.

5.4 Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία απέδειξε ότι είναι εφικτός ο σχεδιασμός και η υλοποίηση μιας ολοκληρωμένης συσκευής απεγκλωβισμού ανελκυστήρα με δυνατότητα απομακρυσμένης παρακολούθησης και διάγνωσης. Η συνδυαστική χρήση μικροελεγκτών και τεχνολογιών IoT προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα ως προς την ταχύτητα απόκρισης, τη διαθεσιμότητα πληροφορίας και τη βελτίωση της ασφάλειας.

Το προτεινόμενο σύστημα χαρακτηρίζεται από:

- υψηλή αξιοπιστία λειτουργίας,
- χαμηλό κόστος υλοποίησης,
- και δυνατότητα εύκολης ενσωμάτωσης σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις ανελκυστήρων.

Η ενσωμάτωση απομακρυσμένης πρόσβασης μειώνει ουσιαστικά τον χρόνο παρέμβασης των τεχνικών, ενώ η δυνατότητα καταγραφής βλαβών δημιουργεί τις βάσεις για συστηματική ανάλυση και προληπτική συντήρηση. Συνολικά, η εργασία καταδεικνύει τη δυνατότητα μετατροπής ενός συμβατικού συστήματος απεγκλωβισμού σε μια έξυπνη, συνδεδεμένη και αποδοτική λύση, με ουσιαστικά οφέλη τόσο για τους παρόχους υπηρεσιών όσο και για τους τελικούς χρήστες.

5.5 Μελλοντικές επεκτάσεις

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας και την αξιολόγηση της λειτουργίας του συστήματος σε εργαστηριακό επίπεδο, προκύπτουν σημαντικές δυνατότητες περαιτέρω εξέλιξης και εμπορικής ωρίμανσης. Η υφιστάμενη υλοποίηση λειτουργεί ως αποδεικτικό σκοπιμότητας (proof of concept), πάνω στο οποίο μπορούν να προστεθούν επιπλέον τεχνολογικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά, με στόχο την προσαρμογή του συστήματος σε πραγματικές συνθήκες βιομηχανικής χρήσης και μεγάλης κλίμακας εφαρμογές.

Οι προτεινόμενες μελλοντικές επεκτάσεις αφορούν τόσο το λογισμικό όσο και το υλικό του συστήματος και αποσκοπούν στη βελτίωση της αξιοπιστίας, της ασφάλειας, της επεκτασιμότητας και της εμπειρίας χρήστη.

5.5.1 Ενσωμάτωση cloud υπηρεσιών

Μία από τις σημαντικότερες επεκτάσεις αφορά την ενσωμάτωση cloud υπηρεσιών για την κεντρική διαχείριση και παρακολούθηση στόλου ανελκυστήρων. Μέσω μιας cloud πλατφόρμας, θα είναι δυνατή η συγκέντρωση δεδομένων από πολλαπλές εγκαταστάσεις σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας τη δημιουργία ενιαίων dashboards με στατιστικά στοιχεία, ιστορικά δεδομένα και δείκτες απόδοσης.

Η χρήση cloud υποδομών θα επιτρέψει επίσης την υλοποίηση αυτοματοποιημένων συστημάτων ειδοποίησης, τα οποία θα ενεργοποιούνται σε περιπτώσεις ανίχνευσης ανωμαλιών ή βλαβών. Με τον τρόπο αυτό, οι τεχνικοί θα μπορούν να ενημερώνονται άμεσα για κρίσιμα περιστατικά, μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο απόκρισης. Παράλληλα, η αποθήκευση δεδομένων σε βάθος χρόνου δημιουργεί τις προϋποθέσεις για αναλυτική επεξεργασία και εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τη συχνότητα και τη φύση των βλαβών.

5.5.2 Ανάπτυξη εφαρμογών για κινητές συσκευές

Η ανάπτυξη εγγενών εφαρμογών για κινητές συσκευές (Android και iOS) αποτελεί μία ακόμη σημαντική προοπτική. Μια τέτοια εφαρμογή θα μπορούσε να προσφέρει στους τεχνικούς πεδίου άμεση και εύχρηστη πρόσβαση στις πληροφορίες του συστήματος, χωρίς την ανάγκη χρήσης φυλλομετρητή.

Οι εφαρμογές κινητών συσκευών μπορούν να υποστηρίξουν λειτουργίες όπως offline πρόσβαση σε πρόσφατα δεδομένα, push notifications για κρίσιμα συμβάντα, καθώς και βελτιωμένη εργονομία μέσω προσαρμοσμένων διεπαφών. Επιπλέον, μπορούν να ενσωματώσουν λειτουργίες όπως γεωεντοπισμό, καταγραφή ενεργειών τεχνικών και συγχρονισμό δεδομένων, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα των συνεργείων συντήρησης.

5.5.3 Εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης για προγνωστική συντήρηση

Η αξιοποίηση τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης αποτελεί μία από τις πιο καινοτόμες μελλοντικές επεκτάσεις του συστήματος. Μέσω της ανάλυσης ιστορικών δεδομένων λειτουργίας και βλαβών, μπορούν να αναπτυχθούν αλγόριθμοι που θα εντοπίζουν μοτίβα και ανωμαλίες στη συμπεριφορά του ανελκυστήρα.

Η προγνωστική συντήρηση επιτρέπει την πρόβλεψη πιθανών αστοχιών πριν αυτές εκδηλωθούν, μειώνοντας τον κίνδυνο αιφνίδιων βλαβών και εγκλωβισμού επιβατών. Παράλληλα, συμβάλλει στη μείωση του κόστους συντήρησης, καθώς οι παρεμβάσεις μπορούν να προγραμματίζονται προληπτικά και όχι αντιδραστικά. Η συγκεκριμένη προσέγγιση μετατρέπει το σύστημα από απλό εργαλείο παρακολούθησης σε έξυπνη πλατφόρμα υποστήριξης αποφάσεων.

5.5.4 Υποστήριξη επιπλέον πρωτοκόλλων επικοινωνίας

Η εξάρτηση από το Wi-Fi μπορεί να αποτελέσει περιοριστικό παράγοντα σε περιβάλλοντα με χαμηλή ή μη διαθέσιμη ασύρματη κάλυψη, όπως υπόγεια κτίρια ή απομακρυσμένες εγκαταστάσεις. Για τον λόγο αυτό, προτείνεται η ενσωμάτωση επιπλέον πρωτοκόλλων επικοινωνίας, όπως LTE ή 5G.

Η χρήση κυψελωτών δικτύων θα επιτρέψει την αξιόπιστη επικοινωνία του συστήματος ανεξάρτητα από την τοπική υποδομή δικτύου, αυξάνοντας τη διαθεσιμότητα και τη γεωγραφική ευελιξία της λύσης. Παράλληλα, η υποστήριξη πολλαπλών τρόπων επικοινωνίας μπορεί να λειτουργήσει εφεδρικά, ενισχύοντας τη συνολική ανθεκτικότητα του συστήματος.

5.5.5 Αναβάθμιση υλικού

Τέλος, μία σημαντική μελλοντική κατεύθυνση αφορά την αναβάθμιση του υλικού του συστήματος. Η μετάβαση σε πιο σύγχρονες και ισχυρές πλατφόρμες, όπως προηγμένες εκδόσεις ESP32 ή μικροελεγκτές αρχιτεκτονικής ARM Cortex-M, θα προσφέρει αυξημένη υπολογιστική ισχύ, μεγαλύτερη μνήμη και καλύτερη ενεργειακή απόδοση.

Η αναβάθμιση αυτή θα επιτρέψει την υλοποίηση πιο σύνθετων λειτουργιών, όπως εκτεταμένη καταγραφή δεδομένων, προηγμένη ανάλυση σε πραγματικό χρόνο και υποστήριξη περισσότερων αισθητήρων. Παράλληλα, θα διευκολύνει τη συμμόρφωση με βιομηχανικά πρότυπα και κανονισμούς, προσεγγίζοντας τις απαιτήσεις ενός ολοκληρωμένου εμπορικού προϊόντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία

- [1] G. C. Barney and L. Al-Sharif, *Elevator Traffic Handbook: Theory and Practice*, 2nd ed. London, UK: Routledge, 2016.
- [2] L. Janovsky, *Elevator Mechanical Design*. Mobile, AL, USA: Elevator World, 1999.
- [3] M. A. Mazidi, S. Naimi, and S. Naimi, *The AVR Microcontroller and Embedded Systems: Using Assembly and C*, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2014.
- [4] S. Monk, *Programming the ESP8266*. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2016.
- [5] I. Sommerville, *Software Engineering*, 10th ed. Boston, MA, USA: Pearson, 2016.
- [6] J. Valvano, *Embedded Systems: Introduction to ARM Cortex-M Microcontrollers*. Scotts Valley, CA, USA: CreateSpace, 2016.
- [7] R. K. Mobley, *An Introduction to Predictive Maintenance*, 2nd ed. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2002.
- [8] W. Wolf, *Computers as Components: Principles of Embedded Computing System Design*, 3rd ed. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann, 2012.

Data Sheets

- [9] Microchip Technology Inc., “ATmega640/1280/1281/2560/2561 Datasheet,” ATmega2560, 2021.
- [10] Espressif Systems, “ESP8266EX Datasheet,” ESP8266EX, 2020.

Standards / Technical Reports

- [11] European Committee for Standardization (CEN), *Safety rules for the construction and installation of lifts – EN 81-20*, 2020.
- [12] International Organization for Standardization, *ISO 25745-2: Energy performance of lifts*, 2015.
- [13] International Organization for Standardization, *ISO/IEC 25010: Systems and software quality models*, 2011.
- [14] International Electrotechnical Commission, *IEC 62443: Industrial communication networks – Network and system security*, 2018.
- [15] National Institute of Standards and Technology, *Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security*, NIST SP 800-82, 2015.

Internet Sites / Industry Platforms

- [16] KONE Corporation, “KONE 24/7 Connected Services,” 2016. [Online]. Available: <https://www.kone.com>
- [17] Otis Worldwide Corporation, “Otis ONE™ IoT Digital Platform,” 2019. [Online]. Available: <https://www.otis.com>
- [18] Schindler Group, “Schindler Ahead – Digital Elevator Services,” 2020. [Online]. Available: <https://www.schindler.com>
- [19] OWASP Foundation, “OWASP Internet of Things Top 10,” 2018. [Online]. Available: <https://owasp.org>

Journal Articles

- [20] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, “The Internet of Things: A survey,” *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2010.
- [21] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013.
- [22] S. Sicari, A. Rizzardi, L. A. Grieco, and A. Coen-Porisini, “Security, privacy and trust in Internet of Things,” *Computer Networks*, vol. 76, pp. 146–164, 2015.
- [23] T. P. Carvalho *et al.*, “A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 137, p. 106024, 2019.
- [24] W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li, and L. Xu, “Edge computing: Vision and challenges,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 5, pp. 637–646, 2016.

Conference Papers / Theses

- [25] E. A. Lee, “Cyber-physical systems: Design challenges,” in *Proc. IEEE Int. Symp. Object-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)*, 2008, pp. 363–369.
- [26] R. T. Fielding, *Architectural styles and the design of network-based software architectures*, Ph.D. dissertation, Univ. of California, Irvine, CA, USA, 2000.

Application Notes / Protocol Specifications

- [27] A. Banks and R. Gupta, *MQTT Version 3.1.1*, OASIS Standard, 2014.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Πηγαίος Κώδικας Υλοποίησης Συστήματος Arduino και ESP32

Στο παρόν παράρτημα παρουσιάζεται αναλυτικά ο πηγαίος κώδικας που αναπτύχθηκε για την υλοποίηση του προτεινόμενου συστήματος απομακρυσμένης παρακολούθησης και υποστήριξης διαδικασιών απεγκλωβισμού ανελκυστήρων. Η παράθεση του κώδικα πραγματοποιείται για λόγους πληρότητας, τεκμηρίωσης και επαληθευσιμότητας των συμπερασμάτων που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια της εργασίας.

Ο πηγαίος κώδικας δεν θεωρείται κρίσιμος για την κατανόηση της βασικής λειτουργίας και της αρχιτεκτονικής του συστήματος, η οποία αναλύεται διεξοδικά στο Κεφάλαιο 4. Ωστόσο, η παρουσίασή του στο παράρτημα επιτρέπει την αναπαραγωγή της υλοποίησης, την αξιολόγηση των σχεδιαστικών επιλογών και τη μελλοντική επέκταση του συστήματος.

Η υλοποίηση ακολουθεί διαχωρισμένη αρχιτεκτονική δύο επιπέδων:

- το επίπεδο τοπικού ελέγχου, το οποίο υλοποιείται μέσω μικροελεγκτή Arduino, και
- το επίπεδο δικτύου και απομακρυσμένης διεπαφής, το οποίο υλοποιείται μέσω μονάδας ESP32/ESP8266.

Ο διαχωρισμός αυτός εξασφαλίζει σαφή κατανομή ρόλων, αυξημένη αξιοπιστία και περιορισμό της πολυπλοκότητας, καθώς κάθε υποσύστημα εκτελεί συγκεκριμένες και ανεξάρτητες λειτουργίες.

A.1 Πηγαίος Κώδικας Μικροελεγκτή Arduino

Ο κώδικας που εκτελείται στον μικροελεγκτή Arduino είναι υπεύθυνος για τον τοπικό έλεγχο και τη συλλογή δεδομένων από τα φυσικά υποσυστήματα του ανελκυστήρα. Πιο συγκεκριμένα, υλοποιεί τις ακόλουθες βασικές λειτουργίες:

- ενεργοποίηση και ανάγνωση δεδομένων από δύο αισθητήρες υπερήχων για τη μέτρηση αποστάσεων,
- υπολογισμό της απόστασης με βάση τη διάρκεια επιστροφής του υπερηχητικού παλμού,
- τοπική απεικόνιση πληροφοριών και καταστάσεων λειτουργίας μέσω οθόνης LCD,
- αποστολή των μετρήσεων και των καταστάσεων προς τη μονάδα ESP μέσω σειριακής επικοινωνίας (UART).

Ο ρόλος του Arduino περιορίζεται αποκλειστικά στη συλλογή και την προεπεξεργασία δεδομένων, καθώς και στον αξιόπιστο τοπικό έλεγχο. Δεν εμπλέκεται σε λειτουργίες δικτύου ή απομακρυσμένης απεικόνισης, γεγονός που μειώνει τον κίνδυνο αστοχιών και ενισχύει τη σταθερότητα της συνολικής λειτουργίας του συστήματος.

Ο πλήρης πηγαίος κώδικας της πλευράς Arduino παρατίθεται στο αρχείο: ArduinoSide.ino

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

```

// LCD I2C (most common address is 0x27; if yours is different, change only this)
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// Ultrasonic pins
const int trig1 = 10; // Elevator
const int echo1 = 11;

const int trig2 = 12; // Door
const int echo2 = 13;

const int buttonPin = 9;
const int buzzerPin = 8;

// Function to read ultrasonic distance (cm)
long readUltrasonic(int trigPin, int echoPin) {
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);

    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);

    long duration = pulseIn(echoPin, HIGH, 30000); // timeout
    if (duration == 0) return -1; // no echo
    long distance = (long)(duration * 0.034 / 2); // cm
    return distance;
}

```

```

int emergency = 0;

void checkEmergencyBell(){

    int buttonState = digitalRead(buttonPin);

    if (buttonState == LOW) { // pressed
        //Serial.println("Button: PRESSED");
        digitalWrite(buzzerPin, HIGH);
        digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
        if(emergency == 0) emergency = 1;
        //else emergency = 0;
        delay(100);

    } else {
        //Serial.println("Button: RELEASED");
        digitalWrite(buzzerPin, LOW);

    }

    delay(100);
}

int getDoorState(long distDoor) {

    /*Serial.print("Door Sensor: ");
    Serial.print(distDoor);
    Serial.print("\n");*/

    if (distDoor > 0 && distDoor < 13) return 0;

```

```

if (distDoor >= 13 && distDoor < 400) return 1;

return 0;
}

int getFloorText(long distElevator) {

/*Serial.print("Height Sensor: ");
Serial.print(distElevator);
Serial.print("\n");*/

if (distElevator > 0 && distElevator < 10) return 0; //"Ground Floor (0-10 cm)";
if (distElevator >= 10 && distElevator < 20) return 1; //"1st Floor (10-20 cm)";
if (distElevator >= 20 && distElevator < 300) return 2; //"2nd Floor (20-30 cm)";

return 2;
}

void setup() {

pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);

// Ultrasonic setup
pinMode(trig1, OUTPUT);
pinMode(echo1, INPUT);

pinMode(trig2, OUTPUT);
pinMode(echo2, INPUT);

pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP);

```

```

pinMode(buzzerPin, OUTPUT);

// LCD (I2C)
lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.clear();
lcd.print("Elevator System");

// Serial to ESP32 / debug
Serial.begin(9600);

delay(1000);
lcd.clear();
}

void loop() {
  checkEmergencyBell();

  long distElevator = readUltrasonic(trig1, echo1);
  delay(40); // reduce crosstalk
  long distDoor = readUltrasonic(trig2, echo2);

  int doorState = getDoorState(distDoor);
  int currentFloor = getFloorText(distElevator);

  // --- SEND ONE CLEAN LINE (for ESP32 parsing) ---
  // Format kept "as is":
  // elev=23,door=OPEN,floor=1st Floor (10-20 cm)

```

```
Serial.print("Floor=");

Serial.print(currentFloor);

Serial.print(",Door=");

Serial.print(doorState);

Serial.print(",Height=");

Serial.print(distElevator);

Serial.print(",Emergency=");

Serial.print(emergency);

Serial.print("\n");

// --- LCD UPDATE ---

lcd.clear();

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("H:");

if (distElevator > 0 && distElevator < 400) {

    lcd.print(distElevator);

    lcd.print("cm ");

} else {

    lcd.print("--- ");

}

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("Door:");

lcd.print(doorState);
```

```
delay(300); // refresh rate
}
```

A.2 Πηγαίος Κώδικας Μονάδας ESP32 / ESP8266

Η μονάδα ESP32/ESP8266 αποτελεί το δικτυακό υποσύστημα του συστήματος και είναι υπεύθυνη για τη διασύνδεση με το τοπικό ασύρματο δίκτυο και την απομακρυσμένη διάθεση των δεδομένων. Ο αντίστοιχος πηγαίος κώδικας υλοποιεί τις ακόλουθες λειτουργίες:

- λήψη σειριακών δεδομένων από τον μικροελεγκτή Arduino μέσω UART,
- ανάλυση (parsing) και αποθήκευση των δεδομένων σε κατάλληλες μεταβλητές,
- σύνδεση σε τοπικό δίκτυο Wi-Fi,
- εκκίνηση και λειτουργία ενσωματωμένου web server,
- παρουσίαση των δεδομένων μέσω στατικής HTML διεπαφής για απομακρυσμένη διάγνωση.

Η επιλογή της λειτουργίας του ESP ως αυτόνομου web server εντός του τοπικού δικτύου επιτρέπει την απομακρυσμένη πρόσβαση στα δεδομένα χωρίς τη χρήση εξωτερικών cloud υπηρεσιών. Η προσέγγιση αυτή μειώνει την καθυστέρηση επικοινωνίας, περιορίζει την εξάρτηση από τρίτους παρόχους και ενισχύει το επίπεδο ασφάλειας του συστήματος.

Ο πλήρης πηγαίος κώδικας της πλευράς ESP παρατίθεται στο αρχείο: EspSide.ino

```
#include <WiFi.h>

#include <WebServer.h>

HardwareSerial UnoSerial(2); // UART2

// --- WiFi (station mode)

const char* ssid = "Yugi";

const char* password = "heartofcards";

WebServer server(80);

// --- Latest values (for web)

String lastLine = "NO_DATA";

long height = -1;
```

```

int door = -1;    // 0=CLOSED, 1=OPEN

long floorNum = -1; // RENAMED (avoid conflict with floor())

// --- UART line buffer

String rxLine = "";

// ----- WEB -----

void handleRoot() {

  String doorText = (door == 1) ? "OPEN" : (door == 0) ? "CLOSED" : "NO_DATA";

  String html = "<!doctype html><html><head>"

    "<meta charset='utf-8'>"

    "<meta name='viewport' content='width=device-width, initial-scale=1'>"

    "<title>Elevator Monitor</title>"

    "</head><body>"

    "<h1>Elevator Monitor</h1>"

    "<p><b>Height:</b> " + String(height) + " cm</p>"

    "<p><b>Door:</b> " + doorText + " (" + String(door) + ")</p>"

    "<p><b>Floor:</b> " + String(floorNum) + "</p>"

    "<hr>"

    "<small>Raw: " + lastLine + "</small>"

    "</body></html>";

  server.send(200, "text/html", html);
}

// Expected UNO line format:

// "Floor=2,Door=1,Height=123"

bool parseLine(const String& s, long& outFloor, int& outDoor, long& outHeight) {

```

```

Serial.print("[parse] RAW: ");

Serial.println(s);

int a = s.indexOf("Floor=");
int b = s.indexOf(",Door=");
int c = s.indexOf(",Height=");

if (a != 0 || b < 0 || c < 0) {
    Serial.println("[parse] ERROR: invalid format");
    return false;
}

outFloor = s.substring(6, b).toInt();    // after "Floor="
outDoor  = s.substring(b + 6, c).toInt(); // after ",Door="
outHeight = s.substring(c + 8).toInt();  // after ",Height="

if (!(outDoor == 0 || outDoor == 1)) {
    Serial.println("[parse] ERROR: door must be 0/1");
    return false;
}

Serial.print("[parse] OK -> floor=");
Serial.print(outFloor);
Serial.print(", door=");
Serial.print(outDoor);
Serial.print(", height=");
Serial.println(outHeight);

return true;

```

```

}

void setup() {
  Serial.begin(115200); // USB debug

  // UART2: RX=GPIO16, TX=GPIO17 (TX not used but required by begin)
  UnoSerial.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17);

  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(300);
    Serial.print(".");
  }

  Serial.println("\nWiFi connected");
  Serial.print("IP: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());

  server.on("/", handleRoot);
  server.begin();

  Serial.println("Setup Completed!");
}

void loop() {
  // --- Read UART bytes (raw print + build lines)
  while (UnoSerial.available() > 0) {

```

```

char c = (char)UnoSerial.read();

// Print visible characters normally
if (c >= 32 && c <= 126) Serial.print(c);

// Print control characters clearly
else {
    Serial.print("<");
    Serial.print((int)(uint8_t)c);
    Serial.print(">");
}

// Build a text line until '\n'
if (c == '\n') {
    String line = rxLine;
    rxLine = "";
    line.trim(); // removes \r and whitespace

    if (line.length() > 0) {
        Serial.print("\n--- New Line: ");
        Serial.println(line);

        lastLine = line;

        long f, h;
        int d;

        if (parseLine(line, f, d, h)) {
            floorNum = f;
            door = d;

```

```

    height = h;
  }
}
} else {
  // Avoid memory explosion if noise
  if (rxLine.length() < 200) rxLine += c;
  else rxLine = "";
}
}

server.handleClient();
}

```

A.3 Παρατηρήσεις και Πιθανές Τροποποιήσεις Κώδικα

Ο πηγαίος κώδικας που παρουσιάζεται στο παρόν παράρτημα αντιστοιχεί στη βασική και λειτουργική έκδοση του συστήματος, όπως αυτή αναπτύχθηκε και δοκιμάστηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ωστόσο, ενδέχεται να πραγματοποιηθούν μικρές τροποποιήσεις κατά το στάδιο της παρουσίασης ή της επίδειξης του συστήματος.

Οι τροποποιήσεις αυτές αφορούν κυρίως:

- παραμέτρους χρονισμού (π.χ. καθυστερήσεις μετρήσεων),
- βελτιώσεις στη μορφοποίηση των δεδομένων που αποστέλλονται μέσω σειριακής επικοινωνίας,
- προσαρμογές στη διεπαφή χρήστη της web εφαρμογής,
- ή μικρές αλλαγές που εξυπηρετούν λόγους επίδειξης και κατανόησης της λειτουργίας.

Οι εν λόγω αλλαγές δεν επηρεάζουν τη βασική αρχιτεκτονική, τη λογική λειτουργίας ή τα συμπεράσματα της εργασίας, αλλά πραγματοποιούνται αποκλειστικά στο πλαίσιο βελτιστοποίησης της παρουσίασης και της ευχρηστίας του συστήματος.