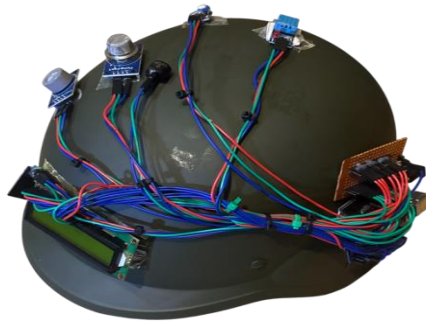


ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Σχεδίαση και υλοποίηση έξυπνου στρατιωτικού  
κράνους»



Του φοιτητή  
Στεργίου Στέφανος  
Αρ. Μητρώου: 2020163

Επιβλέπων  
Ονοματεπώνυμο  
Κιοσκερίδης Ιορδάνης  
Βαθμίδα Καθηγητής

**Ημερομηνία**

**31/05/2026**

Τίτλος Δ.Ε.  
**Σχεδίαση και υλοποίηση έξυπνου στρατιωτικού κράνους**  
Κωδικός Δ.Ε. **25355**  
Ονοματεπώνυμο φοιτητή  
**Στέφανος Στεργίου**  
Ονοματεπώνυμο εισηγητή  
**Κιοσκερίδης Ιορδάνης**  
Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε.  
**05/11/2025**  
Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. ...  
**31/05/2026**

*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 Στεργίου Στέφανου 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 απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

*«Αφιερωμένη στους γονείς μου»*



## Πρόλογος

Στο σύγχρονο πεδίο μάχης, ο εχθρός δεν είναι πάντοτε ορατός. Πέρα από τις απειλές που μπορεί κανείς να δει, να ακούσει ή να προβλέψει, υπάρχει μία σιωπηλή και αόρατη επικινδυνότητα, τον ίδιο τον αέρα στο περιβάλλον. Τοξικά αέρια, ακραίες θερμοκρασίες, υπερβολική υγρασία αλλά και αόρατοι χημικοί ρύποι έχουν αποδειχθεί θανατηφόροι πολύ πριν εμφανιστεί οποιαδήποτε άλλη απειλή. Ένας στρατιώτης οφείλει να είναι πλήρως θωρακισμένος απέναντι σε αυτά, ωστόσο την ίδια στιγμή να παραμένει εστιασμένος απέναντι στα άχρωμα και άοσμα νέφους μονοξειδίου του άνθρακα ή μιας συγκέντρωσης επιβλαβών ρύπων σε έναν κλειστό χώρο. Τα παραδοσιακά κράνη προστατεύουν εδώ και δεκαετίες τους φυσικούς κινδύνους, όχι όμως τους ατμοσφαιρικούς. Η παρούσα εργασία γεννήθηκε από ένα απλό, αλλά επιτακτικό ερώτημα: τι θα συνέβαινε εάν το κράνος ενός στρατιώτη μπορούσε να «σκέφτεται»; Το έξυπνο στρατιωτικό κράνος που είναι βασισμένο στο IoT αποτελεί την απάντηση σε αυτό το ερώτημα. Ένα καινοτόμο σύστημα που παρακολουθεί συνεχώς το περιβάλλον, αναλύει τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και ενεργοποιεί έγκαιρες προειδοποιήσεις όταν εντοπίζεται κίνδυνος. Μέσω της ενσωμάτωσης αισθητήρων, την επεξεργασία των δεδομένων και της συνδεσιμότητας με το νέφος, ένα διαχρονικό μέσο ατομικής προστασίας μετασχηματίζεται σε ένα ευφρές σύστημα περιβαλλοντικής παρακολούθησης πραγματικού χρόνου. Το παρόν τεύχος παρουσιάζει αναλυτικά τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και τη υλοποίηση του εν λόγω συστήματος.

## Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός έξυπνου κράνους για στρατιώτες βασισμένο στο IoT, ενός φορητού ενσωματωμένου συστήματος που στοχεύει στην παροχή παρακολούθησης περιβάλλοντος και ανίχνευσης κινδύνων σε πραγματικό χρόνο. Ο βασικός στόχος του έργου είναι η αντιμετώπιση των περιορισμών των συμβατικών προστατευτικών κράνων, τα οποία παρέχουν αποκλειστικά φυσική προστασία και δεν διαθέτουν την ικανότητα ανίχνευσης αόρατων ατμοσφαιρικών απειλών, όπως τοξικά αέρια, ακραίες θερμοκρασίες και επικίνδυνα επίπεδα υγρασίας. Το εν λόγω σύστημα ενσωματώνεται από έναν μικροελεγκτή Arduino UNO σε συνδυασμό με έναν αισθητήρα MQ7 για την ανίχνευση μονοξειδίου του άνθρακα, έναν αισθητήρα MQ135 για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα, έναν αισθητήρα DHT11 για τη μέτρηση θερμοκρασίας και υγρασίας, καθώς και αισθητήρα υπερύθρων για την ανίχνευση παρουσίας. Μία οθόνη LCD 16×2 παρέχει τοπική οπτικοποίηση δεδομένων, ενώ ένα ηχητικό σύστημα συναγερμού ενεργοποιείται αυτόματα όταν εντοπίζονται επικίνδυνες συγκεντρώσεις αερίων. Η ασύρματη συνδεσιμότητα επιτυγχάνεται μέσω της μονάδας Wi-Fi ESP8266, η οποία επιτρέπει τη συνεχή μετάδοση δεδομένων στην πλατφόρμα νέφους ThingSpeak για απομακρυσμένη εποπτεία και ιστορική ανάλυση. Η πειραματική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε σε κανονικές προσομοιωμένες συνθήκες. Οι αισθητήρες αερίων επέδειξαν αξιόπιστη ευαισθησία και σταθερές ενδείξεις αναφοράς σε καθαρό αέρα, με γρήγορη και μετρήσιμη απόκριση κατά την έκθεση σε καπνούς και ρύπους. Το σύστημα συναγερμού αντέδρασε με ελάχιστη καθυστέρηση κατά την υπέρβαση των ορίων ασφαλείας και απενεργοποιήθηκε αυτόματα με την επιστροφή σε ασφαλή επίπεδα. Η επικοινωνία με το νέφος παρέμεινε σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια των δοκιμών, με λογικές επαναφορές της μετάδοσης των δεδομένων μετά από τακτικές διακοπές δικτύου. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι το σύστημα εκπληρώνει επιτυχώς τους προβλεπόμενους στόχους του, συνδυάζοντας τοπική ειδοποίηση σε πραγματικό χρόνο με απομακρυσμένη παρακολούθηση μέσω IoT σε μία ενιαία ολοκληρωμένη πλατφόρμα. Η εργασία αποδεικνύει την πρακτική σκοπιμότητα της μετατροπής του παραδοσιακού στρατιωτικού εξοπλισμού σε ένα ευφές σύστημα ασφαλείας, με δυναμικές εφαρμογές που εκτείνονται πέρα από τον στρατιωτικό τομέα.

# «Design and implementation of a smart military helmet»

«Stefanos Stergiou»

## **Abstract**

The present thesis focuses on the design and implementation of an IoT-Based Smart Helmet for Soldiers; a wearable embedded system aimed at providing real-time environmental monitoring and hazard detection in dangerous operational settings. The core objective of the project is to address the limitations of conventional military helmets, which offer only physical protection and lack the capability to detect invisible atmospheric threats such as toxic gases, extreme temperatures, and hazardous humidity levels. The proposed system integrates an Arduino UNO micro-controller with an MQ7 carbon monoxide sensor, an MQ135 air quality sensor, a DHT11 temperature and humidity sensor, and an infrared presence sensor. A 16×2 LCD display provides on-site data visualization, while a buzzer alarm activates automatically upon detection of hazardous gas concentrations. Wireless connectivity is achieved through the ESP8266 Wi-Fi module, enabling continuous data transmission to the ThingSpeak cloud platform for remote supervision and historical analysis. Experimental evaluation was conducted under normal conditions. The gas sensors demonstrated reliable sensitivity and consistent baseline readings in clean air, with a rapid and measurable response upon smoke and pollutant exposure. The alert system reacted with minimal delay when threshold values were exceeded and automatically deactivated upon returning to safe levels. Cloud communication remained stable throughout testing, with seamless data recovery following temporary network outages. The results confirm that the system successfully fulfills its intended objectives, combining local real-time alerting with remote IoT-based monitoring into a single integrated wearable platform. The project demonstrates the practical feasibility of transforming traditional protective equipment into an intelligent safety system, with potential applications extending beyond the military sector.

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου τόσο στους γονείς μου, όσο και στον επιβλέπων καθηγητή για την στήριξη και τη βοήθειά τους στη περάτωση της παρούσας διπλωματικής.

# Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	vi
Περίληψη .....	vii
Abstract.....	viii
Ευχαριστίες .....	ix
Περιεχόμενα .....	x
Κατάλογος Σχημάτων .....	xii
Κατάλογος Πινάκων .....	xiii
Συντομογραφίες.....	xiv
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή .....	1
1.1 Γενική Εισαγωγή.....	1
1.2 Δήλωση του Προβλήματος .....	2
1.3 Στόχοι της Εργασίας.....	2
1.4 Δομή της Εργασίας.....	3
1.5 Ιστορική Αναδρομή στην Εξέλιξη του Στρατιωτικού Εξοπλισμού .....	4
1.6 Η Σύγχρονη Απειλή: Αόρατοι Κίνδυνοι στο Πεδίο Μάχης.....	5
Κεφάλαιο 2: Ιστορική εξέλιξη στρατιωτικού εξοπλισμού και τεχνολογίας.....	7
2.1 Η Εξέλιξη του Κράνους ως Μέσο Ατομικής Προστασίας .....	7
2.2 Η Ψηφιακή Επανάσταση στον Στρατό (1990–σήμερα) .....	9
2.3 Χημικοί και Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι σε Ιστορικό Πλαίσιο .....	9
2.4 Από τον Στρατιώτη του Χθες στον «Ψηφιακό Στρατιώτη» του Μέλλοντος.....	10
Κεφάλαιο 3: Θεωρητικό Υπόβαθρο .....	12
3.1 Τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) .....	12
3.2 Ενσωματωμένα Συστήματα και Μικροελεκτές .....	12
3.3 Φορητές Συσκευές στην Ασφάλεια Προσωπικού .....	13
3.4 Τοξικά Αέρια και Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι.....	13
3.5 Υπάρχουσες Λύσεις και Σχετικές Εργασίες .....	14
3.6 Σύγχρονες Στρατιωτικές Τεχνολογίες Εξοπλισμού.....	15
3.7 Εξυπνα Κράνη Επόμενης Γενιάς.....	16
3.8 Τεχνολογίες υπό Ανάπτυξη για Στρατιωτική Χρήση.....	17
3.9 IoT στον Αμυντικό Τομέα (Military IoT — MIoT).....	18
3.10 Κυβερνοασφάλεια σε Στρατιωτικά IoT Συστήματα .....	19
Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία και Σχεδιασμός Συστήματος .....	20

4.1	Επισκόπηση Αρχιτεκτονικής Συστήματος.....	20
4.2	Επιλογή Υλικού .....	21
4.3	Μικροελεγκτής Arduino UNO.....	21
4.4	Αισθητήρας Μονοξειδίου του Άνθρακα MQ7.....	23
4.5	Αισθητήρας Ποιότητας Αέρα MQ135.....	26
4.6	Αισθητήρας Θερμοκρασίας και Υγρασίας DHT11 .....	28
4.7	Αισθητήρας Υπέρυθρων (IR) .....	30
4.8	Οθόνη LCD 16x2.....	32
4.9	Μονάδα Wi-Fi ESP8266 .....	34
4.10	Σύστημα Ηχητικού Συναγερμού .....	36
4.11	Τροφοδοσία και Φορητότητα .....	38
Κεφάλαιο 5: Υλοποίηση και ανάπτυξη.....		39
5.1	Σχεδιασμός κυκλώματος και Διασύνδεση Υλικού.....	39
5.2	Ανάπτυξη Λογισμικού και Προγραμματισμός Arduino .....	40
5.3	Λογική Ανίχνευσης Κατωφλίου και Ελέγχου Συναγερμού.....	40
5.4	Διαμόρφωση Πλατφόρμας Νέφους ThingSpeak .....	40
5.4.1	Αναλυτικός Σχολιασμός Λογισμικού .....	41
5.5	Ενσωμάτωση IoT και Μετάδοση Δεδομένων.....	42
5.6	Φυσική Ενσωμάτωση στο Κράνος.....	42
5.7	Ανάπτυξη Διαδικτυακής Πλατφόρμας Παρακολούθησης μέσω GitHub .....	42
5.7.1	Αρχιτεκτονική της Εφαρμογής .....	43
5.7.2	Λειτουργικά Χαρακτηριστικά.....	43
5.7.3	Σύγκριση Επιπέδων Παρακολούθησης.....	44
5.7.4	Φιλοξενία μέσω GitHub Pages .....	44
Κεφάλαιο 6: Αποτέλεσμα και συζήτηση .....		46
6.1	Εισαγωγή.....	46
6.2	Ανάλυση Απόδοσης Αισθητήρων .....	46
6.3	Συμπεριφορά Παρακολούθησης σε Πραγματικό Χρόνο.....	47
6.4	Ανίχνευση Κινδύνου και Απόκριση Συναγερμού.....	48
6.5	Αποτελέσματα Επικοινωνίας με το Νέφος .....	49
6.6	Αξιοπιστία και Σταθερότητα Συστήματος.....	50
6.7	Συγκριτική Αξιολόγηση Απόδοσης.....	51
6.8	Όρια και Περιορισμοί.....	51
6.9	Συγκριτική Αξιολόγηση με Υπάρχοντα Συστήματα .....	51
6.9.1	Σύγκριση με Επαγγελματικά Συστήματα Ανίχνευσης CBRN .....	52

6.9.2 Σύγκριση με Ακαδημαϊκά Συστήματα από τη Βιβλιογραφία .....	52
6.9.3 Ανάλυση Κόστους-Αποτελεσματικότητας .....	54
6.9.4 Ανάλυση Δυνατών Σημείων, Αδυναμιών, Ευκαιριών και Απειλών (SWOT) .....	54
6.9.5 Συνολική Αξιολόγηση και Τοποθέτηση στο Τεχνολογικό Τοπίο .....	55
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και μελλοντική εργασία .....	56
7.1 Συμπεράσματα .....	56
7.2 Κριτική Αξιολόγηση της Μεθοδολογίας Ανάπτυξης .....	56
7.3 Συνεισφορά της Εργασίας .....	57
7.4 Επιστημονική και Τεχνολογική Συνεισφορά .....	57
7.5 Αντίκτυπος στον Τομέα της Ασφάλειας Προσωπικού .....	58
7.6 Φιλοσοφία Σχεδιασμού και Μαθήματα από την Ανάπτυξη .....	58
7.7 Ο Ρόλος της Ανοιχτής Τεχνολογίας στη Στρατιωτική Καινοτομία .....	59
7.8 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα και Επεκτάσεις .....	59
7.9 Επίλογος .....	60
Παράρτημα Α: Κώδικας Arduino .....	61
A.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά .....	61
A.2 Όρια Συναγερμού .....	61
A.3 Αντιστοίχιση Πεδίων ThingSpeak .....	61
A.4 Πλήρης Κώδικας .....	62
Παράρτημα Β: Κώδικας GitHub .....	67
B.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εφαρμογής .....	67
B.2 Πλήρης Κώδικας HTML/CSS/JavaScript .....	67
BIBΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	78

## Κατάλογος Σχημάτων

Εικόνα 1.1: Χάρτης σύγχρονων συρράξεων με χημικά αέρια .....	1
Εικόνα 1.2: PASGT/ACH σύγχρονο βαλλιστικό κράνος .....	5
Εικόνα 2.1: Κορινθιακό κράνος αρχαιότητας .....	8
Εικόνα 4.1: Διάγραμμα Ροής Λειτουργίας Συστήματος .....	20
Εικόνα 4.2: Μικροελεγκτής Arduino UNO .....	21
Εικόνα 4.3: Block diagram εσωτερικής αρχιτεκτονικής ATmega328P .....	22
Εικόνα 4.4: Αισθητήρας μονοξειδίου του άνθρακα MQ7 .....	23
Εικόνα 4.5: Εσωτερική δομή και ηλεκτρικό ισοδύναμο αισθητήρα MQ7 .....	25

Εικόνα 4.6: Αισθητήρας ποιότητας αέρα MQ135 .....	26
Εικόνα 4.7: Καμπύλες ευαισθησίας αισθητήρα MQ135 ανά αέριο-στόχο .....	27
Εικόνα 4.8: Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας DHT11 .....	28
Εικόνα 4.9: Χρονοδιάγραμμα (timing diagram) πρωτοκόλλου επικοινωνίας DHT11 .....	29
Εικόνα 4.10: Αισθητήρας υπέρυθρων IR.....	30
Εικόνα 4.11: Εσωτερικό κύκλωμα αισθητήρα IR με συγκριτή LM393 .....	31
Εικόνα 4.12: Οθόνη LCD 16×2 κατά τη λειτουργία του συστήματος .....	32
Εικόνα 4.13: Αρχιτεκτονική ελεγκτή HD44780 οθόνης LCD 16×2 .....	33
Εικόνα 4.14: Μονάδα ασύρματης επικοινωνίας ESP8266 .....	34
Εικόνα 4.15: Εσωτερική αρχιτεκτονική SoC ESP8266.....	35
Εικόνα 4.16: Μονάδα ηχητικού συναγερμού του συστήματος.....	36
Εικόνα 4.17: Ηλεκτρομαγνητικό buzzer ενεργής λειτουργίας.....	37
Εικόνα 5.1: Φυσική διασύνδεση εξαρτημάτων πρωτοτύπου .....	39
Εικόνα 5.2: Dashboard GitHub Pages — Πλήρης άποψη διαδικτυακής εφαρμογής παρακολούθησης. .....	45
Εικόνα 6.1: ThingSpeak Channel — Γραφήματα Field 1–4 (MQ135, Υγρασία, Θερμοκρασία, MQ7) .....	47
Εικόνα 6.2: Dashboard GitHub Pages — Ενεργοποίηση banner συναγερμού.....	48
Εικόνα 6.3: Dashboard GitHub Pages — Κατάσταση OFFLINE .....	49
Εικόνα 6.4: ThingSpeak Channel Stats — 484 εγγραφές, επιβεβαίωση συνεχούς μετάδοσης δεδομένων .....	50

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1: Όρια συναγερμού ανά αισθητήρα.....	14
Πίνακας 5.1: Σύγκριση επιπέδων παρακολούθησης του συστήματος.....	44
Πίνακας 6.1: Συγκριτική αξιολόγηση του αναπτυχθέντος συστήματος έναντι υφιστάμενων λύσεων..	53

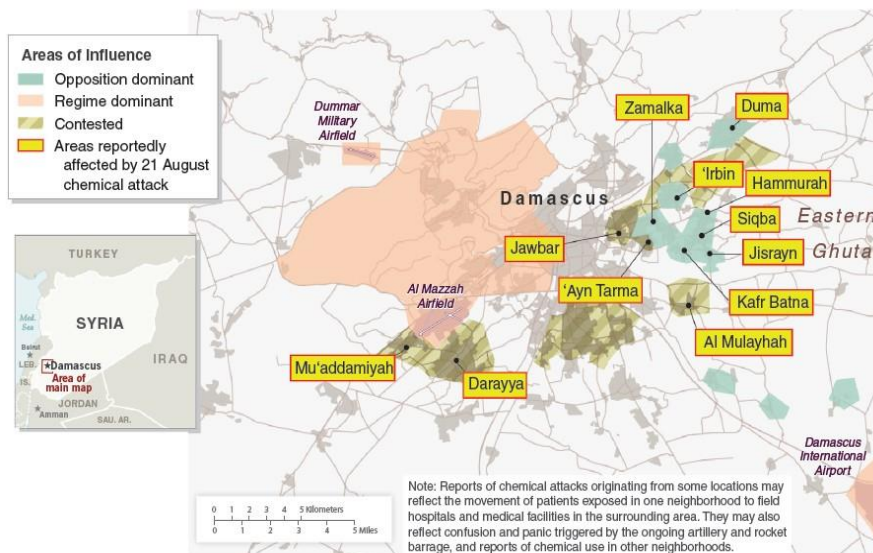
## Συντομογραφίες

Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
ΔΙΠΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία

## Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

### 1.1 Γενική Εισαγωγή

Είναι κοινώς αποδεκτό ότι η ασφάλεια του στρατιωτικού προσωπικού σε επικίνδυνα περιβάλλοντα αποτελεί ένα από τα πλέον κρίσιμα ζητήματα στον σύγχρονο τεχνολογικό και αμυντικό τομέα. Η ραγδαία εξέλιξη των σύγχρονων στρατιωτικών επιχειρήσεων έχει φέρει στο προσκήνιο ένα νέο τύπο απειλής, τον αθέατο κίνδυνο που ελλοχεύει στο ίδιο το πεδίο μάχης. Τοξικά αέρια, ακραίες θερμοκρασίες, υψηλά επίπεδα υγρασίας και χημικοί ρύποι αποτελούν μόνιμες απειλές σε υπόγεια καταφύγια, σήραγγες, αστικά πεδία μάχης, βιομηχανικές εγκαταστάσεις και ζώνες καταστροφών. Σε αντίθεση με τις ορατές απειλές, οι ατμοσφαιρικοί κίνδυνοι δεν αντιλαμβάνονται από τις ανθρώπινες αισθήσεις έως ότου προκαλέσει σε αυτούς ανεπανόρθωτες βλάβες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το μονοξείδιο του άνθρακα, ένα άχρωμο και άοσμο αέριο που συσσωρεύεται με ταχύτητα σε κλειστούς χώρους με ελλιπή αερισμό. Η έκθεση σε αυτό το αέριο οδηγεί σε νευρολογική βλάβη, απώλεια συντονισμού και μπορεί να οδηγήσει ακόμα και σε θάνατο χωρίς προειδοποιητικά συμπτώματα. Παράλληλα, αέρια όπως η αμμωνία, τα οξείδια του αζώτου, το βενζόλιο και ο καπνός επιβαρύνουν το αναπνευστικό σύστημα του στρατιώτη και μειώνουν δραστικά την επιχειρησιακή ικανότητα του. Η αθροιστική επίδραση αυτών των παραγόντων καθιστά για αυτόν τον λόγο την ατμοσφαιρική παρακολούθηση του στρατιώτη άκρως σημαντική. Πέρα από τις σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα του αμυντικού εξοπλισμού, τα συμβατικά προστατευτικά κράνη εξακολουθούν να παρέχουν αποκλειστικά μηχανική θωράκιση έναντι αυτών των φυσικών κινδύνων. Δεν διαθέτουν ενσωματωμένους μηχανισμούς περιβαλλοντικής ανίχνευσης, δεν παρακολουθούν την ποιότητα του αέρα και δεν ειδοποιούν τον στρατιώτη για επικίνδυνες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Αυτό το κενό στη λειτουργικότητα του ατομικού εξοπλισμού αποτελεί το βασικό κίνητρο για την ανάπτυξη του συστήματος που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία.



Εικόνα 1.1: Χάρτης σύγχρονων συρράξεων με χημικά αέρια

## 1.2 Δήλωση του Προβλήματος

Το καίριο και μείζων πρόβλημα που πρέπει να λάβουμε υπόψη στην παρούσα εργασία είναι η απουσία ενός ολοκληρωμένου, φορητού και έξυπνου στρατιωτικού συστήματος παρακολούθησης, ενσωματωμένο στον ατομικό εξοπλισμό του στρατιώτη. Οι προτεινόμενες λύσεις ανίχνευσης επικίνδυνων αερίων βασίζονται κυρίως σε φορητές χειροκίνητες συσκευές, οι οποίες απαιτούν ενεργή χρήση και τακτικούς ελέγχους και από τον ίδιο τον χρήστη. Σε συνθήκες υψηλής πίεσης, περιορισμένης ορατότητας ή εντατικής δραστηριότητας, η χρήση τέτοιων συσκευών καθίσταται αναξιόπιστη ή και πολλές φορές αδύνατη. Επιπλέον, η απουσία δυνατότητας απομακρυσμένης εποπτείας σημαίνει ότι τα κέντρα διοίκησης και οι υπεύθυνοι ασφαλείας δεν έχουν πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο σε αυτές τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που αντιμετωπίζουν οι στρατιώτες. Έχοντας αυτήν την έλλειψη της επιχειρησιακής επίγνωσης, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε δυσχέρεια λήψεων έγκαιρων αποφάσεων και ακόμα στην αύξηση των κινδύνων παρατεταμένης έκθεσης σε επικίνδυνες συνθήκες. Η ανάγκη για ένα αυτόματο, συνεχές και διασυνδεδεμένο σύστημα παρακολούθησης, ενσωματωμένο στον ίδιο τον στρατιώτη, κρίνεται συνεπώς προφανής και επιτακτική.

## 1.3 Στόχοι της Εργασίας

Με την παρούσα πτυχιακή εργασία ορίζουμε δέκα μετρήσιμους στόχους, οι οποίοι καλύπτουν τον κύκλο ανάπτυξης από άκρο σε άκρο, δηλαδή από το στάδιο του σχεδιασμού μέχρι την πειραματική αξιολόγηση και την τεκμηρίωση.

Στόχος 1: Μία ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική συστήματος

Εδώ πρόκειται για τη δημιουργία μίας επεκτάσιμης αρχιτεκτονικής που θα φέρει κάτω από ένα ενιαίο φορητό σύστημα τους αισθητήρες, την επεξεργαστική μονάδα, το σύστημα ειδοποίησης και την ασύρματη επικοινωνία. Η λογική είναι να υπάρχει λειτουργική ανεξαρτησία στα υποσυστήματα, ώστε αν κάτι πάει στραβά σε ένα εξάρτημα, τα υπόλοιπα να συνεχίζουν να δουλεύουν κανονικά.

Στόχος 2: Ανίχνευση CO

Χρησιμοποιώντας τον MQ7 θα εστιάσουμε στην αξιόπιστη ανίχνευση επικίνδυνων επιπέδων μονοξειδίου του άνθρακα, θέτοντας ένα όριο συναγερμού που ταιριάζει στις ανάγκες ασφαλείας του προσωπικού.

Στόχος 3: Γενική ποιότητα αέρα

Με τον MQ135 παρακολουθούμε την ατμοσφαιρική ποιότητα σε ευρεία κλίμακα, πίνοντας ρύπους που ένας εξειδικευμένος μονοπαραμετρικός αισθητήρας δεν θα μπορούσε να ανιχνεύσει.

Στόχος 4: Θερμοκρασία και υγρασία

Ο DHT11 μας δίνει τη δυνατότητα συνεχούς μέτρησης, οπότε ο τέταρτος στόχος είναι να ορίσουμε όρια συναγερμού με βάση επιστημονικά δεδομένα για τη θερμική καταπόνηση.

Στόχος 5: Παρουσία

Για να βγούμε πέρα από τις ατμοσφαιρικές παραμέτρους, ενσωματώνουμε έναν αισθητήρα υπέρυθρων που να διαπιστώνει την παρουσία στο περιβάλλον του συστήματος.

Στόχος 6: Τοπική ειδοποίηση

Όταν ξεπεραστεί κάποιο όριο ασφάλειας, ο φορέας του κράνους πρέπει να το ξέρει αμέσως. Γι' αυτό υλοποιούμε ένα σύστημα που μέσω ηχητικού σήματος και της LCD οθόνης θα του δίνει άμεσα τα δεδομένα.

Στόχος 7: Μετάδοση στο νέφος

Η μονάδα ESP8266 θα αναλάβει την ασύρματη σύνδεση με το ThingSpeak, έτσι ώστε το κεντρικό σύστημα εποπτείας να ενημερώνεται σε πραγματικό χρόνο.

Στόχος 8: Διαδικτυακή εφαρμογή

Θα αναπτύξουμε μια δική μας εφαρμογή παρακολούθησης στο GitHub Pages, με αποτέλεσμα τα στοιχεία των αισθητήρων να είναι προσβάσιμα από οποιαδήποτε συσκευή έχει internet.

Στόχος 9: Πειραματικός έλεγχος

Ακολουθεί η συστηματική δοκιμή του συστήματος σε συνθήκες που προσομοιάζουν κινδύνους, προκειμένου να επαληθευτεί ότι η ασύρματη επικοινωνία, το σύστημα ειδοποίησης και η λογική ανίχνευσης λειτουργούν όπως πρέπει.

Στόχος 10: Τεκμηρίωση

Τέλος, θα καταγράψουμε αναλυτικά κάθε πτυχή του έργου, από τις σχεδιαστικές αποφάσεις ως τα αποτελέσματα, και θα κάνουμε μια συγκριτική αξιολόγηση με ότι υπάρχει ήδη, επισημαίνοντας τι προσφέρει η εργασία αυτή στη βιβλιογραφία και πού μπορεί να οδηγήσει στο μέλλον.

## 1.4 Δομή της Εργασίας

Όσον αφορά την δομή της εργασίας, η παρούσα διπλωματική εργασία χωρίζεται σε επτά κεφάλαια, καλύπτοντας με αυτόν τον τρόπο τα μέρη της σχεδίασης και της υλοποίησης αυτού του ζητήματος. Στο πρώτο κεφάλαιο ξεκινάει η εισαγωγή του θέματος, αναλύοντας το κίνητρο και τα προβλήματα που καλείται να επιλύσει η εργασία, θέτοντας παράλληλα τους στόχους της. Ύστερα, στο δεύτερο και τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζετε το θεωρητικό μέρος της εργασίας, με τακτικές αναφορές στις τεχνολογίες IoT, τα ενσωματωμένα συστήματα, τις φορητές συσκευές που στοχεύουν την ασφάλεια καθώς και τους περιβαλλοντικούς κινδύνους που σχετίζονται με τοξικά αέρια. Το τέταρτο κεφάλαιο περιγράφει την μεθοδολογία του σχεδιασμού και την αρχιτεκτονική του συστήματος, αναλύοντας με αυτόν τον τρόπο την επιλογή και τη λειτουργία του κάθε επιμέρους στοιχείου. Στην συνέχεια, στο πέμπτο κεφάλαιο τονίζεται η υλοποίηση του συστήματος, μελετώντας τον σχεδιασμό του κυκλώματος, την ανάπτυξη του λογισμικού καθώς και την ενσωμάτωση του IoT. Το έκτο κεφάλαιο αναλύει τα αποτελέσματα αξιολογώντας το κύκλωμα και διατυπώνονται οι αποδόσεις του εκάστοτε συστήματος υπό διάφορες συνθήκες λειτουργίας. Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα της εργασίας, πως αυτή συνεισφέρει μελλοντικά στον χώρο της αμυντικής ασφάλειας και προτείνονται ορισμένες κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα και επέκταση αυτού του έξυπνου στρατιωτικού συστήματος.

## 1.5 Ιστορική Αναδρομή στην Εξέλιξη του Στρατιωτικού Εξοπλισμού

Προστατεύοντας τον άνθρωπο στο πεδίο της μάχης, η ανθρωπότητα έχει αντιμετωπίσει μία από τις πιο αρχαίες τεχνολογικές δυσκολίες. Αν κοιτάξουμε την πορεία του ατομικού εξοπλισμού του στρατιώτη, από τα πρώιμα δερμάτινα καλύμματα της προϊστορίας μέχρι τα πολύπλοκα βαλλιστικά κράνη σήμερα, θα δούμε να αντανάκλαται η πρόοδος της κάθε εποχής. Είναι κάτι που πρέπει να κατανοήσει κανείς προκειμένου να φανεί γιατί η χρήση ψηφιακών τεχνολογιών στον στρατιωτικό εξοπλισμό δεν είναι μια καινούργια εφεύρεση, αλλά το επόμενο βήμα σε μια εξέλιξη χιλίων ετών. Στην αρχαιότητα, ένα χάλκινο κράνος ήταν ο μόνος τρόπος να φυλαχτείς σε μια μάχη εκ του σύνεγγυς. Υπήρχε το Κορινθιακό κράνος των Ελλήνων, με τις ελάχιστες οπές για τα μάτια και το στόμα, ή το Ρωμαϊκό *galea*, που είχε εξελιχθεί σε εξαιρετικά λειτουργικό όργανο. Όμως όλα αυτά είχαν κοινό παρονομαστή: τη φυσική θωράκιση απέναντι σε βλήματα και κοφτερά όπλα, τίποτα περισσότερο. Με τη βιομηχανική επανάσταση και τους μεγάλους πολέμους του 20ού αιώνα τα πράγματα άλλαξαν ριζικά. Ο Α΄ Παγκόσμιος Πόλεμος ήταν ένα σταθμός, που η σφοδρή πυρκαγιά του πυροβολικού έφερε στην επιφάνεια το χαλύβδινο κράνος. Τα μοντέλα Brodie (1915) και Stahlhelm (1916) από Βρετανούς και Γερμανούς αντίστοιχα, απέδειξαν ότι με μαζική παραγωγή τυποποιημένου εξοπλισμού μπορούσες να γλιτώσεις ζωές από τα θραύσματα. Ο Β΄ Παγκόσμιος Πόλεμος όμως ζήτησε ακόμη περισσότερα. Το αμερικανικό M1 έγινε το κράνος αναφοράς για δεκάδες χώρες επί δεκαετίες. Και ωστόσο, για όση τεχνολογία κι αν υπήρχε πίσω του, παρέμενε ένα παθητικό αντικείμενο, αδύναμο να προσφέρει οποιαδήποτε μορφή ανίχνευσης ή επικοινωνίας. Μια τεχνολογική αλλαγή σημειώθηκε με την εφεύρεση νέων συνθετικών υλικών τη δεκαετία του 1970. Ως απόδειξη, ο αμερικανικός στρατός το 1983 παρουσίασε το PASGT (Personnel Armor System for Ground Troops) που βασιζόταν σε ίνες Kevlar. Χάρη στις εξαιρετικές βαλλιστικές του ιδιότητες, αυτό το υλικό σήμαινε περισσότερη προστασία και λιγότερο βάρος. Το PASGT έγινε η αναφορά για τα σύγχρονα βαλλιστικά κράνη και βρήκε ευρεία εφαρμογή σε στρατιωτικές επιχειρήσεις. Περνώντας στις αρχές του 21ου αιώνα, η απαίτηση για εξοπλισμό πιο ελαφρύ και ανθεκτικό έδωσε ώθηση στο Advanced Combat Helmet (ACH) και κατόπιν στο Enhanced (ECH). Με την χρήση προηγμένου πολυαιθυλενίου υψηλής μοριακής μάζας (UHMWPE), πετυχαίνουν μια ιδανική ισορροπία μεταξύ βάρους και ασφάλειας. Σήμερα βέβαια, τον ρόλο της κορυφαίας βαλλιστικής κάλυψης στον αμερικανικό στρατό έχει αναλάβει το Integrated Head Protection System (IHPS), το οποίο μάλιστα επιτρέπει να εγκατασταθούν ηλεκτρονικά συστήματα. Ωστόσο, αν κανείς ρίξει μια ματιά στην πορεία των αιώνων, θα δει ότι το κράνος δεν ήταν τίποτα περισσότερο από ένα παθητικό όργανο: άμυνα του άντρα που το φορούσε απέναντι σε κάθε εξωτερική φυσική απειλή, αλλά δεν είχε τρόπο να του δώσει πληροφορίες, να εντοπίσει κινδύνους που δεν φαίνονται ή να κάνει επικοινωνία με τα κέντρα διοίκησης. Η παρούσα εργασία σκοπεύει να γεφυρώσει αυτή ακριβώς την έλλειψη.



*Εικόνα 1.2: PASGT/ACH σύγχρονο βαλλιστικό κράνος*

## **1.6 Η Σύγχρονη Απειλή: Αόρατοι Κίνδυνοι στο Πεδίο Μάχης**

Αν και η φυσική προστασία από βλήματα και θραύσματα παραμένει κορυφαία προτεραιότητα, το επιχειρησιακό σκηνικό σήμερα δεν έχει καθόλου τα χαρακτηριστικά των προηγούμενων αιώνων. Μια νέα μορφή απειλών έχει κάνει την εμφάνισή της, εξίσου αν όχι και πιο επικίνδυνη: οι αόρατοι κίνδυνοι της ατμόσφαιρας. Για να αντιμετωπίσεις τοξικά αέρια, χημικούς ρύπους, ακραίες θερμοκρασίες ή επικίνδυνη υγρασία, δεν αρκούν τα συνηθισμένα μέσα φυσικής άμυνας, χρειάζεσαι ειδικά συστήματα που να σε προειδοποιούν εγκαίρως. Δεν είναι κάτι καινούργιο το να χρησιμοποιούνται χημικά αέρια ως όπλο. Αρκεί να θυμηθεί κανείς τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο, όταν οι εμπόλεμες δυνάμεις έφεραν στο πεδίο χλώριο, φωσγένιο και ιπρίτη με αποτέλεσμα τεράστιες απώλειες που σόκαραν τον κόσμο. Η επίθεση με ιπρίτη στο Ypres το 1917 ήταν η πρώτη φορά που κατανοήσαμε την καταστροφικότητα μιας τέτοιας μόλυνσης. Δεκάδες χιλιάδες στρατιώτες υποχρεώθηκαν να δεχθούν σοβαρά εγκαύματα στο δέρμα, τα μάτια και τους πνεύμονές τους από ένα αέριο που ούτε να δουν μπορούσαν ούτε να αποφύγουν χωρίς τον κατάλληλο εξοπλισμό. Και στις σύγχρονες συγκρούσεις, η απειλή είναι πολύ πραγματική. Όπως επιβεβαιώθηκε στον εμφύλιο στη Συρία (2013-2019) με τις επιθέσεις σε αστικά κέντρα, είτε με χλώριο είτε με σαρίν στη Γούτα του 2013. Τα θύματα ήταν και μαχητές και άμαχοι, γεγονός που αποδεικνύει ότι η ατμοσφαιρική μόλυνση δεν κάνει διάκριση μεταξύ πολιτικού και στρατιωτικού στόχου. Δεν είναι μόνο οι χημικές επιθέσεις που έχουν σκοπό να πλήξουν τους στρατιώτες. Καθημερινά έρχονται αντιμέτωποι με μια σειρά ατμοσφαιρικών κινδύνων, αν και μη σκόπιμων, που είναι αναπόσπαστο στοιχείο στις επιχειρησιακές συνθήκες. Η χρήση βαρέων μηχανημάτων, οι εκρήξεις, η καύση καυσίμων ή το να λειτουργείς σε κλειστούς χώρους όπως σήραγγες, υπόγεια καταφύγια, αστικά κτίρια, δημιουργούν μεγάλες

ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα (CO). Πρόκειται για ένα αέριο επικίνδυνο: άνω των 200 ppm προκαλεί σύγχυση και πονοκέφαλο, αλλά σε υψηλότερες συγκεντρώσεις μπορεί να σε σκοτώσει σε ελάχιστα λεπτά. Το πιο ανησυχητικό όμως είναι ότι δεν μπορείς να το διακρίνεις. Είναι άχρωμο και άοσμο, οπότε χωρίς τον κατάλληλο εξοπλισμό δεν υπάρχει περίπτωση να το αντιληφθείς εγκαίρως. Υπάρχει και το ζήτημα της θερμικής καταπόνησης, το οποίο έχει αναδειχθεί ως μία από τις κύριες αιτίες μη μαχητικών απωλειών στη σύγχρονη στρατιωτική δράση. Σε περιβάλλοντα όπου η υγρασία και η θερμοκρασία είναι υψηλές, το σώμα δεν τα καταφέρνει να τη ρυθμίσει, με αποτέλεσμα την εξάντληση, τη θερμοπληξία και ενδεχομένως τον θάνατο. Οι άνδρες με βαρύ οπλισμό σε ερημικά ή τροπικά μέρη είναι πολύ ευάλωτοι, μάλιστα χωρίς κάποιο σύστημα προειδοποίησης είναι αδύνατον να λάβεις μέτρα πριν εμφανιστούν τα συμπτώματα. Όλα αυτά αποδεικνύουν ότι η ασφάλεια σήμερα δεν αρκεί να στηρίζεται στην παραδοσιακή φυσική θωράκιση. Ο στρατιώτης του 21ου αιώνα θέλει έναν εξοπλισμό που να μην τον καλύπτει απλώς από ότι βλέπει, αλλά να τον ενημερώνει για κάθε κίνδυνο, φυσικό ή ατμοσφαιρικό, ορατό ή όχι. Γίνεται λόγος για μια πολυδιάστατη προσέγγιση. Και αυτή ακριβώς η ανάγκη μας ώθησε να αναπτύξουμε το έξυπνο σύστημα παρακολούθησης που προτείνουμε εδώ.

## Κεφάλαιο 2: Ιστορική εξέλιξη στρατιωτικού εξοπλισμού και τεχνολογίας

### 2.1 Η Εξέλιξη του Κράνους ως Μέσο Ατομικής Προστασίας

Δεν είναι υπερβολή να πει κανείς ότι το κράνος είναι από τις παλαιότερες μορφές ατομικής άμυνας που έχει σκεφτεί ο άνθρωπος. Με μια ιστορία πίσω του που ξεπερνά τις τέσσερις χιλιετίες, σε κάθε εποχή αποτυπώνονται και οι τεχνολογικές προϋποθέσεις και ο τύπος των απειλών με τις οποίες έπρεπε να βγάλουν μάτι οι πολεμιστές. Αν θέλεις να το δεις από αυτή την πλευρά, η εξέλιξή του δεν είναι μια καθαρά τεχνολογική υπόθεση, αλλά η αφήγηση της μόνιμης προσπάθειας του ανθρώπου να βρει ασφάλεια απέναντι στους κινδύνους του πολέμου. Τα πρώτα που έχουμε τεκμηριώσει προέρχονται από τη Σουμερία και την αρχαία Αίγυπτο, περίπου το 2500 π.Χ., και ήταν χαλκού ή δέρματος. Περνώντας στην αρχαία Ελλάδα, θα συναντήσουμε το Κορινθιακό (700-400 π.Χ.), ίσως το πιο εξελιγμένο για την εποχή του. Ένα κομμάτι που έκρυβε όλο το κεφάλι και το πρόσωπο, αφήνοντας μόνο μια στενή χαραμάδα για τα μάτια και το στόμα. Ίσως να δυσκόλευε κάπως την αναπνοή και να έκρυβε την ορατότητα, αλλά στη μάχη προσέφερε κάτι το εξαιρετικό: προστασία. Από την άλλη, με το Αττικό κράνος είχαμε μεγαλύτερη ευκινησία, ένα πρόωρο δείγμα του συμβιβασμού που απαιτείται ανάμεσα στο να είσαι καλά προστατευμένος και να λειτουργείς σωστά. Στη Ρώμη το galea έγινε ένα πολύ σύνθετο σύστημα με παρειές, προμετωπίδα, ώστε να καλύπτει όλες τις γωνίες. Η ρωμαϊκή στρατιωτική μηχανή ήταν πρωτοπόρα στο να αντιμετωπίσει το κράνος ως ένα τυποποιημένο προϊόν μαζικής παραγωγής, με αποτέλεσμα εκατοντάδες χιλιάδες άνδρες να έχουν εξοπλισμό πανομοιότυπο. Μια πρακτική που θα ξαναδείξει το αποτέλεσμά της στον 20ό αιώνα. Ο Μεσαίωνας έφερε την ιπποτική πανοπλία και μαζί της κράνη όλο και πιο περίπλοκα, από το nasal helmet μέχρι τον armet helmet. Αλλά όταν ήρθαν τα πυροβόλα και η πυρίτιδα τον 15ο και 16ο αιώνα, το βαρύ μέταλλο έχανε το νόημά του και σταδιακά το εγκατέλειψαν. Μέχρι τους 17ο και 18ο αιώνα το κράνος είχε σχεδόν εκλείψει από τα πεδία της μάχης, υποχωρώντας μπροστά σε ένα απλό καπέλο χωρίς καμία βαλλιστική αξία. Το κράνος επανήλθε στο στρατιωτικό οπλοστάσιο ως υποχρεωτικός εξοπλισμός με την έναρξη του Α' Παγκοσμίου Πολέμου, και αυτό για να αντιμετωπιστούν άμεσα οι φονικές απώλειες από τα θραύσματα των πυροβολικών. Άμεση απόδειξη της αποτελεσματικότητάς τους στην πρόληψη κρανιοεγκεφαλικών τραυματισμών υπήρξαν το βρετανικό Brodie (1915), ή αλλιώς "Tommy helmet", και το γαλλικό Adrian, που εμφανίστηκαν σχεδόν παράλληλα. Ταυτόχρονα, οι Γερμανοί έφεραν το Stahlhelm (1916), μια από τις πιο προηγμένα σχεδιασμένες κατασκευές της περιόδου, με την ιδιότυπη προεξοχή για τον αυχένα να γίνεται πρότυπο που θα υιοθετούσαν αργότερα και άλλες χώρες. Με τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο τα στρατιωτικά κράνη γνώρισαν περαιτέρω διαφοροποίηση. Η παρουσία του αμερικανικού M1 το 1941 ήταν ορόσημο: χάρη στη διπλή του δομή, το χαλύβδινο κέλυφος και το εσωτερικό liner προσέφερε βαλλιστική κάλυψη χωρίς να θυσιάζει την ευελιξία και την άνεση. Τόσο καλή ήταν η ποιότητα που ο αμερικανικός στρατός το χρησιμοποιούσε μέχρι και το 1985, κάτι που μαρτυρά τη μακροζωία του. Αλλά η τεχνολογική στροφή ήρθε τη δεκαετία του '60 με τις αραμιδικές ίνες, κυρίως το Kevlar, όπως το ονόμαζε η DuPont. Το 1983, όταν ο αμερικανικός στρατός ενέταξε στο οπλοστάσιό του το PASGT (Personnel Armor System for Ground Troops), είδαμε για πρώτη φορά το Kevlar να αποτελεί το βασικό δομικό στοιχείο ενός κράνους. Έτσι επιτεύχθηκε η μείωση του βάρους με παράλληλη ενίσχυση της προστασίας, ανοίγοντας το δρόμο σε μια νέα γενιά εξοπλισμού όπου η υψηλή ασφάλεια συνυπήρχε με ένα βάρος αποδεκτό για τις ώρες υπηρεσίας. Η επιθυμία για

καλύτερη κάλυψη απέναντι σε πιο εξελιγμένα πυρομαχικά, που εντοπίζεται από την έναρξη του 21ου αιώνα, ήταν ο καταλύτης για τα Advanced και Enhanced Combat Helmet (ACH/ECH). Με τη χρήση πολυαιθυλενίου υψηλής μοριακής μάζας, ή αλλιώς Dyneema/Spectra, αυτά τα μοντέλα προσφέρουν μια ιδανική ισορροπία μεταξύ προστασίας και βάρους. Τώρα πια, η κορυφή της βαλλιστικής τεχνολογίας είναι το Integrated Head Protection System (IHPS), ένα σύστημα που καλύπτει τον στρατιώτη από βλήματα, θραύσματα και εκρηκτικά κύματα και είναι διαμορφωμένο να φέρει ηλεκτρονικά όπως νυχτερινή όραση, αισθητήρες και μέσα επικοινωνίας. Ωστόσο, αν κανείς κοιτάξει πίσω, θα δει ότι μέχρι πρόσφατα το κράνος δεν είχε αλλάξει στη ρίζα του: ήταν ένα παθητικό κομμάτι εξοπλισμού, αμυντικό κατά φύσιν, που σήκωνε τις φυσικές απειλές χωρίς να έχει κάποια ενεργητική δυνατότητα ανίχνευσης ή πληροφόρησης, όσο κι αν προόδευαν τα υλικά. Το να περάσουμε σε αυτό το νέο πρότυπο έξυπνου και ενεργού εξοπλισμού είναι ακριβώς αυτό που μας απασχολεί στην εργασία αυτή.



*Εικόνα 2.1: Κορινθιακό κράνος αρχαιότητας*

## 2.2 Η Ψηφιακή Επανάσταση στον Στρατό (1990–σήμερα)

Με την πτώση του Σιδηρού Παραπετάσματος και το τέλος του Ψυχρού Πολέμου δεν επήλθε μόνο μια γεωπολιτική στροφή, αλλά τέθηκε η βάση για μια ριζική αναθεώρηση όσον αφορά τη στρατιωτική τεχνολογία και σκέψη. Αυτό που ο Πόλεμος του Κόλπου (1991) έφερε στο προσκήνιο του παγκόσμιου κοινού ήταν οι δυνατότητες της ψηφιακής τεχνολογίας: από τη δορυφορική πλοήγηση και τα βλήματα ακριβείας μέχρι τις ψηφιακές επικοινωνίες και τη νυχτερινή όραση, όλα αυτά καθόρισαν μια αστραπιαία νίκη. Η σύγκρουση απέδειξε ότι η πληροφοριακή υπεροχή μετράει εξίσου, ίσως και περισσότερο, από την πυρηνική. Ως κυρίαρχη απάντηση σε αυτές τις νέες τεχνολογίες, κατά τη δεκαετία του 1990 διαμορφώθηκε το Network-Centric Warfare (NCW). Η φιλοσοφία του NCW είναι να εντάξει σε ένα κοινό δίκτυο όλα τα μαχητικά στοιχεία, αεροσκάφη, πολεμικά πλοία ή τον μεμονωμένο στρατιώτη, ώστε να υπάρχει συντονισμένη δράση μέσω της ανταλλαγής δεδομένων. Εφαρμογή βρήκε σε επιχειρησιακό επίπεδο μετά το 2001 στο Αφγανιστάν και το Ιράκ, αποκαλύπτοντας τόσο τα δυνατά όσο και τα αδύνατα σημεία του. Στο πεδίο του ατομικού εξοπλισμού η ψηφιακή τεχνολογία άρχισε να κάνει την εμφάνισή της. Οι ΗΠΑ με το πρόγραμμα Land Warrior (1990s-2007) ήταν από τους πρώτους που προσπάθησαν να φτιάξουν ένα ολοκληρωμένο φορητό σύστημα με GPS, heads-up display και θερμική κάμερα. Αν και προβλήματα βάρους και αξιοπιστίας κατέστησαν την ανάπτυξή του περιορισμένη, το Land Warrior οριοθέτησε το όραμα του «ψηφιακού στρατιώτη». Στην Ευρώπη, προγράμματα όπως το γερμανικό IdZ-ES και το βρετανικό FIST ακολουθούν παρόμοια λογική. Αξιοσημείωτο είναι το γαλλικό FELIN, το οποίο τέθηκε σε υπηρεσία το 2010 και με τις ψηφιακές του θόκες και το σύστημα εντοπισμού φιλιών δυνάμεων αποτελεί ίσως το πιο πλήρες σύστημα πεζικού παγκοσμίως. Μια άλλη κρίσιμη πτυχή της ψηφιακής επανάστασης στον στρατό είναι η ταχεία πρόοδος των UAVs ή drones. Έχουν μετατραπεί από απλά αναγνωριστικά σε συστήματα που ανατρέπουν την έννοια της αεροπορικής ισχύος. Μικροσκοπικά UAVs σήμερα μπορούν να δώσουν πληροφόρηση σε μια ολόκληρη ομάδα, ενώ τα αυτόνομα οχήματα της επόμενης γενιάς θα αλλάξουν τα δεδομένα της αεροπορικής υπεροχής. Και φυσικά, δεν πρέπει να παραβλέψουμε το ρόλο των τεχνολογιών νυχτερινής όρασης και θερμικής απεικόνισης. Από τους αρχικούς ενισχυτές εικόνας της δεκαετίας του '60 μέχρι τις σύγχρονες ENVG-B, έχουν προσφέρει στους δυτικούς στρατούς ένα σαφές πλεονέκτημα τη νύχτα. Το γεγονός ότι πλέον ενσωματώνονται στα κράνη είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα του πώς ένα παθητικό μέσο προστασίας γίνεται ενεργό εργαλείο μάχης.

## 2.3 Χημικοί και Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι σε Ιστορικό Πλαίσιο

Όταν μιλάμε για τη στρατιωτική ιστορία, η χρήση χημικών ως όπλο πολέμου είναι ίσως ένα από τα πιο σκοτεινά κεφάλαια, με επιπτώσεις τόσο καταστροφικές που φτάνουν και στη σύγχρονη εποχή. Για να εκτιμήσει κανείς το βάρος της υπόθεσης, πώς δηλαδή στέκει η ανάγκη για ένα σύστημα έγκαιρης ανίχνευσης τοξικών αερίων όπως αυτό της παρούσας εργασίας, πρέπει πρώτα να κατανοήσει την ιστορική διάσταση της απειλής. Η αρχή τέθηκε στον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο, όταν γερμανικές δυνάμεις, στις 22 Απριλίου 1915, άφησαν ελεύθερα κοντά στο Ypres του Βελγίου 168 τόνους χλωρίου. Η πράξη προκάλεσε χιλιάδες νεκρούς στις συμμαχικές γραμμές και άνοιξε μια νέα, τρομακτική σελίδα στον πόλεμο. Το χλώριο τουλάχιστον δεν έκρυβε την παρουσία του. Η κιτρινοπράσινη χροιά και η αποπνικτική οσμή του έδιναν κάποια προειδοποίηση. Αργότερα ήρθε το φωσγένιο, πολύ πιο θανατηφόρο καθώς ήταν σχεδόν αδύνατον να το εντοπίσεις εγκαίρως, και αυτό

ευθύνεται για το 85% των θανάτων από χημικά στον ΑΠΠ'. Το ίδιο ισχύει και για τον ιπρίτη, την αόρατη απειλή που οι Γερμανοί εισήγαγαν το 1917. Σχεδόν άχρωμος, με μια ελαφριά μυρωδιά σκόρδου, προκαλούσε σοβαρά εγκαύματα σε δέρμα, μάτια και αναπνευστικό με καθυστέρηση αρκετών ωρών, χρόνο μέσα στον οποίο ο στρατιώτης δεν είχε ιδέα από τον κίνδυνο που τον περικλείει. Τα νούμερα μιλούν από μόνα τους: πάνω από 190.000 τόνοι χημικών ρίχτηκαν κατά τον πόλεμο, αφήνοντας 1,3 εκατομμύρια θύματα και 90.000 νεκρούς. Μπροστά σε μια τέτοια καταστροφή, η υπογραφή του Πρωτοκόλλου της Γενεύης το 1925 ήταν το επόμενο βήμα, απαγορεύοντας τα χημικά και βιολογικά όπλα. Ακόμα και με την υπάρχουσα διεθνή απαγόρευση, η χρήση χημικών δεν έχει εξαφανιστεί. Αυτό αποδείχτηκε στον Πόλεμο του Κόλπου το 1991, όταν αμερικανικές δυνάμεις, καταστρέφοντας ιρακινές αποθήκες πυρομαχικών, ήρθαν σε επαφή με νευροτοξικούς παράγοντες αν και σε χαμηλά επίπεδα. Η έκθεση αυτή οδήγησε στο φαινόμενο που αποκαλούμε Σύνδρομο του Κόλπου, ένα σύνολο χρόνιων συμπτωμάτων που πλήρωσαν δεκάδες χιλιάδες βετεράνοι. Μια τραγική υπενθύμιση για το πόσο κρίσιμη είναι η παρακολούθηση της ατμόσφαιρας, έστω και όταν οι συνθήκες φαίνονται να ελέγχονται. Πιο πρόσφατα, η συστηματική χρησιμοποίηση χημικών αερίων σε μια σύγχρονη σύγκρουση βλέπουμε στον εμφύλιο της Συρίας από το 2011 και μετά. Η επίθεση με σαρίν στη Γούτα της Δαμασκού τον Αύγουστο του 2013 ήταν η πιο θανατηφόρα από τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο και μετά, με τους νεκρούς να κυμαίνονται μεταξύ 281 και 1.729. Ο Οργανισμός για την Απαγόρευση των Χημικών Όπλων (OPCW) επιβεβαίωσε επίσης ότι έγιναν πολλαπλές επιθέσεις με χλώριο σε αστικά κέντρα της Συρίας τα έτη 2014-2019. Και πάλι, η επίθεση στο Χαν Σεϊχόν το 2017 με σαρίν δεν άφησε καμία αμφιβολία: τα χημικά όπλα αποτελούν μια πολύ πραγματική απειλή σήμερα. Όμως οι κίνδυνοι δεν περιορίζονται στις σκόπιμες επιθέσεις. Οι στρατιώτες έχουν να αντιμετωπίσουν καθημερινά περιβαλλοντικούς παράγοντες εξίσου σοβαρούς. Η θερμική καταπόνηση είναι ίσως η κύρια αιτία μη μαχητικών παθήσεων, ειδικά σε υγρά και ζεστά κλίματα. Τα στοιχεία του αμερικανικού στρατού μιλούν για χιλιάδες περιπτώσεις θερμοπληξίας και εξάντλησης κατά των επιχειρήσεων στο Ιράκ και το Αφγανιστάν. Αν είχαν ανιχνευθεί εγκαίρως οι επικίνδυνες αυξήσεις στην υγρασία και τη θερμοκρασία, θα μπορούσε να αποφευχθούν χειρότερα. Το ίδιο ισχύει και για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Σε κλειστούς χώρους όπως στρατιωτικά οχήματα, σκηνές ή υπόγεια καταφύγια, η καύση καυσίμων ή οι γεννήτριες προκαλούν γρήγορη συσσώρευση του τοξικού αερίου. Είναι ένας κίνδυνος που έχει οδηγήσει σε θανάτους από δηλητηρίαση, και αυτό γιατί το CO, ως άχρωμο και άοσμο, κάνει τα θύματά του να χάνουν τις αισθήσεις τους πριν καν καταλάβουν τι συμβαίνει.

## **2.4 Από τον Στρατιώτη του Χθες στον «Ψηφιακό Στρατιώτη» του Μέλλοντος**

Αν κανείς εξετάσει το σύνολο των ιστορικών, τεχνολογικών και επιχειρησιακών στοιχείων που προαναφέρθηκαν, δεν μπορεί παρά να βγει στο συμπέρασμα ότι ο στρατιώτης του 21ου αιώνα θα πρέπει να διαθέτει εξοπλισμό σε πλήρη αντιστοιχία με τις ανάγκες του, πολύ διαφορετικό από ό,τι χρησιμοποιούνταν παλαιότερα. Ο σημερινός πολεμιστής δεν έχει να κάνει μόνο με φυσικές απειλές για τις οποίες αρκεί η βαλλιστική κάλυψη, αλλά με ένα περιβάλλον πολυδιάστατο και σύνθετο που θέλει άμεση ειδοποίηση, απρόσκοπτη επικοινωνία και μόνιμη παρακολούθηση. Γι' αυτό και η ιδέα του «Connected Soldier», του στρατιώτη που είναι πλήρως διασυνδεδεμένος, έχει γίνει η κοινή παγκόσμια κατευθυντήρια γραμμή στην ανάπτυξη νέου υλικού. Σε αυτό το όραμα, ο στρατιώτης είναι ένας κόμβος ενός ευρύτερου δικτύου: μαζεύει πληροφορίες από γύρω του, τις αναλύει εκείνη τη στιγμή και τις περνάει στους συναδέλφους του ή στα κέντρα διοίκησης. Έτσι, ο προσωπικός του εξοπλισμός παύει να είναι απλώς μια παθητική μορφή προστασίας και γίνεται ενεργό σημείο στρατιωτικής πληροφόρησης. Καταλύτης αυτής της αλλαγής είναι η τεχνολογία IoT. Η σμίκρυνση των ηλεκτρονικών, η εκρηκτική αύξηση της υπολογιστικής δύναμης και η καλύτερη ενεργειακή

απόδοση έχουν φέρει εφικτά συστήματα που πριν λίγα χρόνια θα φαντάζονταν επιστημονική φαντασία. Με την ενσωμάτωση αισθητήρων μικρών και οικονομικών σε φορητές συσκευές, καθώς και την ασύρματη πρόσβαση σε πλατφόρμες νέφους, μπορούμε πλέον να δούμε το «ψηφιακό στρατιώτη» να υλοποιείται σε βαθμό που ήταν ανέφικτος μέχρι και μία δεκαετία πίσω. Με αυτά τα δεδομένα, η εργασία μας εντάσσεται στην ευαίσθητη γραμμή που χωρίζει το παρόν από το μέλλον. Το σύστημα έξυπνου κράνους που έχουμε αναπτύξει δεν είναι κάτι το θεωρητικό ή μια άσκηση για την ακαδημαϊκή αίθουσα. Είναι η απόδειξη ότι μπορείς να μετατρέψεις ένα συμβατικό κράνος σε έναν έξυπνο αισθητήρα του περιβάλλοντος με τεχνολογίες χαμηλού κόστους και εύκολα προσβάσιμες. Χάρη στον μικροελεγκτή Arduino UNO, τους MQ-series και τον DHT11, καθώς και στη μονάδα Wi-Fi ESP8266, υλοποιούμε τις αρχές του Military IoT σε μικρογραφία, δείχνοντας μάλιστα ότι δεν χρειάζονται αποκλειστικές αμυντικές βιομηχανίες ή εξωφρενικοί πόροι για μια τέτοια προηγμένη λύση. Όπως φαίνεται από την ιστορική ανασκόπηση του κεφαλαίου, υπάρχει μια ξεκάθαρη εξέλιξη: ο χάλκινος θώρακας της αρχαιότητας και το ψηφιακό κράνος του 21ου αιώνα αποτυπώνουν την ανάγκη κάθε εποχής για καινούργιες τεχνολογίες απέναντι σε καινούργιες απειλές. Σήμερα ωστόσο, οι προκλήσεις είναι ίσως οι πιο σύνθετες και ποικίλες που έχει γνωρίσει η ιστορία. Και η απάντηση σε αυτές δεν δίνεται μόνο με τη σκληρή ισχύ. Πρέπει να υπάρχουν συστήματα που έχουν νοήμονα δράση, που βλέπουν και ακούν πέρα από τις ανθρώπινες δυνατότητες και προειδοποιούν πριν ο κίνδυνος ξεφύγει.

## Κεφάλαιο 3: Θεωρητικό Υπόβαθρο

### 3.1 Τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT)

Είναι ευρέως γνωστό ότι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things ή εν συντομία IoT) αποτελεί αναμφισβήτητα μία από τις πιο επαναστατικές και σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις στην εποχή που βιώνουμε, έχοντας καταφέρει να δημιουργήσει ένα σύστημα διασυνδεδεμένων φυσικών συσκευών που έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν, να ανταλλάσσουν δεδομένα και φυσικά να λαμβάνουν αποφάσεις αυτόνομα μέσω του διαδικτύου. Η κάθε συσκευή που εντοπίζεται μέσα σε ένα δίκτυο IoT διαθέτει αισθητήρες, επεξεργαστική ικανότητα και ταυτόχρονα δυνατότητα για επικοινωνία, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο τη συνεχή συλλογή και την μετάδοση δεδομένων με τελικό προορισμό τις κεντρικές πλατφόρμες ανάλυσης και εποπτείας. Η αρχιτεκτονική ενός τυπικού συστήματος IoT περιλαμβάνει τρία βασικά επίπεδα λειτουργίας. Το πρώτο επίπεδο αφορά την γενικότερη αντίληψη (perception layer), όπου οι αισθητήρες συλλέγουν φυσικές παραμέτρους από το περιβάλλον. Αμέσως μετά, το δεύτερο επίπεδο αφορά τη δικτύωση (network layer), όπου τα δεδομένα μεταδίδονται είτε μέσω ασύρματων είτε μέσω ενσύρματων πρωτοκόλλων επικοινωνίας ενώ, το τελευταίο επίπεδο αφορά την εφαρμογή (application layer), όπου τα δεδομένα αναλύονται, αποθηκεύονται και ταξινομούνται μέσω ειδικών πλατφορμών νέφους. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η τεχνολογία IoT αξιοποιείται με στόχο την απομακρυσμένη παρακολούθηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο, μέσω της πλατφόρμας ThingSpeak και της μονάδας Wi-Fi ESP8266. Η χρήση του IoT σε τομείς όπως είναι η υγεία, η βιομηχανία, η ενέργεια και η άμυνα όπου αφορά το θέμα μας στην προκειμένη περίπτωση, έχει την ικανότητά να μετατρέπει παραδοσιακά συστήματα σε έξυπνες πλατφόρμες που στοχεύουν στην διαχείριση του κινδύνου. Η προσθήκη του IoT σε φορητές συσκευές ασφαλείας, όπως το έξυπνο στρατιωτικό κράνος που περιγράφεται στην εργασία, μπορεί να θεωρηθεί ζωτικής σημασίας στα επόμενα χρόνια.

### 3.2 Ενσωματωμένα Συστήματα και Μικροελεγκτές

Τα ενσωματωμένα συστήματα ευρέως μπορούν να θεωρηθούν ως εξειδικευμένες υπολογιστικές πλατφόρμες που έχουν σχεδιαστεί για την εκτέλεση συγκεκριμένων λειτουργιών μέσα σε ένα ευρύτερο σύστημα. Σε αντίθεση με τους υπολογιστές γενικής χρήσεως, τα ενσωματωμένα συστήματα ξεχωρίζουν για την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, το συμπαγές μέγεθος τους, την υψηλή αξιοπιστία και την δυνατότητα λειτουργίας σε πραγματικό χρόνο. Οι μικροελεγκτές από την άλλη, αποτελούν τον πυρήνα αυτών των συστημάτων, φέρνοντας στο προσκήνιο τον επεξεργαστή, την μνήμη και τα περιφερειακά κυκλώματα εισόδου/εξόδου σε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο κύκλωμα. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται ο μικροελεγκτής Arduino UNO, ο οποίος βασίζεται στον επεξεργαστή ATmega328P, αποτελώντας μία από τις πλέον γνωστότερες πλατφόρμες ανάπτυξης ενσωματωμένων συστημάτων παγκοσμίως. Ο Arduino UNO διαθέτει 14 ψηφιακές ακίδες εισόδου/εξόδου, 6 αναλογικές εισόδους, έχει την δυνατότητα επικοινωνίας μέσω UART, SPI και I2C, καθώς και περιέχει ένα ενσωματωμένο μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (ADC) 10-bit. Με αυτά που διαθέτει, το Arduino UNO έχει την δυνατότητα να επιδιώκει την ταυτόχρονη διαχείριση πολλαπλών αισθητήρων (ιδανικό για το σύστημα μας), να μπορεί να εφαρμόσει την εκτέλεση λογικής ελέγχου, καθώς και την επικοινωνία με εξωτερικές μονάδες, όπως αυτής της οθόνης LCD και της μονάδας Wi-Fi ESP8266. Έχοντας το Arduino UNO ως κεντρική μονάδα επεξεργασίας του συστήματος, αυτό σημαίνει αμέσως ότι μπορεί να συμβαδίσει με ένα ευρύ φάσμα αισθητήρων και βιβλιοθηκών λογισμικού, να έχει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, και κυρίως αποδεικνύει την αξιοπιστία του σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Στον κώδικα του εν λόγω συστήματος, ο μικροελεγκτής θέτει ως βασικό στόχο την ανάγνωση των αναλογικών τιμών από τους αισθητήρες MQ135, MQ7. Στην συνέχεια, επιδιώκει ψηφιακή επικοινωνία με τον αισθητήρα DHT11, τον έλεγχο της οθόνης LCD και στο τέλος την μετάδοση των δεδομένων μέσα από την σειριακή διεπαφή προς την μονάδα ESP8266.

### 3.3 Φορητές Συσκευές στην Ασφάλεια Προσωπικού

Οι φορητές συσκευές είναι από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες κατηγορίες τεχνολογικών προϊόντων, με εφαρμογές που καλύπτουν από παρακολούθηση υγείας και άθλησης μέχρι προστασία εργαζομένων σε επικίνδυνα περιβάλλοντα (και αυτό, εκ των πραγμάτων, διευρύνεται συνεχώς όσο αναπτύσσονται οι αισθητήρες και οι πλατφόρμες). Στον χώρο της βιομηχανικής και της στρατιωτικής ασφάλειας, οι φορητές συσκευές παρακολούθησης έχουν ένα ουσιαστικό πλεονέκτημα: συλλέγουν δεδομένα συνεχώς και αυτόματα, χωρίς να απαιτείται επιπλέον ενεργή συμμετοχή από τον χρήστη. Στη δική μας περίπτωση, η ενσωμάτωση αισθητήρων σε ατομικό εξοπλισμό, όπως τα κράνη, επιτρέπει την παρακολούθηση τόσο φυσιολογικών παραμέτρων του χρήστη όσο και των περιβαλλοντικών συνθηκών στο πεδίο. Στην πράξη, αυτό δίνει πλήρη εικόνα. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, το στρατιωτικό κράνος επιλέγεται ως καταλληλότερη πλατφόρμα ενσωμάτωσης, επειδή βρίσκεται ήδη σε άμεση επαφή με το περιβάλλον, φοριέται υποχρεωτικά σε επικίνδυνες ζώνες και, για να είμαι ακριβής, προσφέρει επαρκή χώρο για την τοποθέτηση ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και αισθητήρων. Οπότε η μετατροπή ενός απλού στρατιωτικού κράνους σε ένα έξυπνο σύστημα παρακολούθησης προκύπτει ως πρακτική και οικονομικά αποδοτική προσέγγιση για τη βελτίωση της ασφάλειας, χωρίς την εισαγωγή νέων συσκευών στον εξοπλισμό του στρατιώτη.

### 3.4 Τοξικά Αέρια και Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι

Για να στηθεί ένα σύστημα ανίχνευσης που να δουλεύει στην πράξη, πρέπει πρώτα να ξέρεις τι αέρια κοιτάς και τι ζημιά κάνουν. Τα αέρια που καλύπτει το αναπτυχθέν σύστημα μπαίνουν στις εξής κατηγορίες:

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) ανιχνεύεται από τον αισθητήρα MQ7. Άχρωμο, άοσμο και όμως ύπουλο. Παράγεται από ατελή καύση καυσίμων, εκρήξεις και μηχανοκίνητα οχήματα. Δεσμεύεται στην αιμοσφαιρίνη του αίματος και έτσι μπλοκάρει τη μεταφορά οξυγόνου στους ιστούς. Συγκεντρώσεις άνω των 200 ppm φέρνουν πονοκέφαλο και ζάλη, ενώ άνω των 1600 ppm μπορούν να αποβούν θανατηφόρες εντός δύο ωρών. Στο αναπτυχθέν σύστημα το όριο συναγερμού για τον MQ7 μπαίνει στην αναλογική τιμή 600, που αντιστοιχεί σε επικίνδυνη συγκέντρωση CO στο περιβάλλον. Οι γενικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι ανιχνεύονται από τον αισθητήρα MQ135 και μέσα τους είναι αμμωνία, βενζόλιο, οξειδία του αζώτου, καπνός και διοξείδιο του άνθρακα. Η παρουσία τους δείχνει γενική χημική μόλυνση στο περιβάλλον και λειτουργεί ως έγκαιρος δείκτης επικείμενης επικινδυνότητας. Οπότε, για τον MQ135 το όριο συναγερμού ορίζεται στην αναλογική τιμή 400. Πέρα από τα αέρια, θερμοκρασία και υγρασία είναι κρίσιμες παράμετροι του χώρου. Εδώ δεν χωράει αμφιβολία. Θερμοκρασία άνω των 39°C δείχνει κίνδυνο θερμικής καταπόνησης και δεν είναι κάτι που το παίρνεις απήφιστα. Υγρασία άνω του 70% δυσκολεύει τη θερμορύθμιση του ανθρώπινου οργανισμού και ρίχνει την επιχειρησιακή ικανότητα. Και οι δύο μετρούνται από τον αισθητήρα DHT11 και μπαίνουν στη λογική ενεργοποίησης του συναγερμού, μέσα στον κώδικα του συστήματος.

### Sensor Alarm Threshold Configuration

Sensor	Condition	Threshold	Unit	Status
Humidity	Greater than (>)	70	%	Active
Temperature	Greater than (>)	39	°C	Active
MQ135	Greater than (>)	400	ppm	Active
MQ7	Greater than (>)	600	ppm	Active
MQ6	Greater than (>)	500	ppm	Active
IR Sensor	Equals (=)	HIGH	—	Active

*Note. Threshold values define the boundary at which a sensor alarm is triggered.*

*Πίνακας 3.1: Όρια συναγερμού ανά αισθητήρα.*

### 3.5 Υπάρχουσες Λύσεις και Σχετικές Εργασίες

Τα τελευταία δέκα χρόνια, η ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων παρακολούθησης για εργαζόμενους σε επικίνδυνα περιβάλλοντα έχει μπει για τα καλά στο μικροσκόπιο, και στην ακαδημαϊκή κοινότητα και στη βιομηχανία (όχι άδικα, αν το καλοσκεφτείς). Το ενδιαφέρον δεν έμεινε στη θεωρία. Πολλές εργασίες, για παράδειγμα, έχουν στραφεί σε έξυπνα κράνη για ανθρώπους που δουλεύουν σε ορυχεία, χημικές βιομηχανίες και κατασκευαστικές εγκαταστάσεις. Και εκεί, λίγο-πολύ, πατάνε πάνω σε παρόμοιες τεχνολογίες αισθητήρων και ασύρματης επικοινωνίας. Σε πολλές προτάσεις βλέπεις συστήματα βασισμένα σε αισθητήρες MQ-series μαζί με μικροελεγκτές Arduino ή ESP32, με στόχο την ανίχνευση CO, LPG και γενικών ατμοσφαιρικών ρύπων μέσα σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Α, και να μη ξεχάσω ότι η πλατφόρμα ThingSpeak εμφανίζεται ξανά και ξανά στη βιβλιογραφία για απομακρυσμένη παρακολούθηση και καταγραφή των δεδομένων αισθητήρων. Με άλλα λόγια, πιο απλά, έχει τεκμηριωθεί ευρέως η αξιοπιστία της και η ευκολία χρήσης της ως εργαλείο IoT ανάπτυξης. Σε σχέση με τις υφιστάμενες λύσεις, το σύστημα που αναπτύσσεται στην παρούσα εργασία ξεχωρίζει γιατί ενσωματώνει ταυτόχρονα δύο αισθητήρες αερίων, αισθητήρα περιβαλλοντικών συνθηκών και αισθητήρα παρουσίας σε ένα ενιαίο φορητό σύστημα, με διπλό μηχανισμό ειδοποίησης, τοπικό και απομακρυσμένο. Έτσι, η προσέγγιση δίνει πιο ολοκληρωμένη περιβαλλοντική κάλυψη σε σύγκριση με συστήματα που κοιτάνε μεμονωμένες παραμέτρους, και μάλιστα χωρίς να χάνεται η συνολική εικόνα. Στην τελική, η ενσωμάτωση σε κράνος εξασφαλίζει συνεχή και αδιάλειπτη παρακολούθηση, χωρίς πρόσθετη επιβάρυνση για τον στρατιώτη.

### 3.6 Σύγχρονες Στρατιωτικές Τεχνολογίες Εξοπλισμού

Με την έλευση της πρώτης δεκαετίας του 21ου αιώνα παρατηρήθηκε μια επιτάχυνση στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων ψηφιακών συστημάτων για τον ατομικό στρατιωτικό εξοπλισμό. Οι επιχειρήσεις που διήρκεσαν στο Ιράκ και το Αφγανιστάν έθεσαν με τον πιο εμφατικό τρόπο το ζήτημα: χρειαζόμαστε στρατιώτες που πέραν του οπλισμού και της θωράκισης, να είναι και πληροφοριακά ενισχυμένοι, ώστε να διαβάζουν το επιχειρησιακό τους περιβάλλον έγκαιρα και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Όλα τα μεγάλα προγράμματα εκσυγχρονισμού στον κόσμο ακολουθούν πλέον αυτή τη λογική. Στις ΗΠΑ, η πρώτη συστηματική κίνηση προς τον ψηφιακό εξοπλισμό του πεζικού ήταν το Land Warrior, το οποίο όμως δέχτηκε τη θέση του από το Nett Warrior. Πρόκειται για ένα σύστημα επικοινωνιών και κατάστασης πεδίου που δίνει τη δυνατότητα στους άνδρες του πεζικού να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο τις θέσεις των φίλων δυνάμεων πάνω σε έναν ψηφιακό χάρτη. Η έρευνα σήμερα στρέφεται προς το Integrated Visual Augmentation System (IVAS). Βασισμένο στην τεχνολογία HoloLens της Microsoft, αυτό το σύστημα augmented reality θα προσφέρει μέσω ειδικών γυαλιών απευθείας στο οπτικό πεδίο του στρατιώτη ό,τι χρειάζεται για πλοήγηση, επικοινωνία ή αναγνώριση στόχων. Από την πλευρά της Γαλλίας, το FELIN (Fantassin à Équipements et Liaisons Intégrés) βρίσκεται σε πλήρη λειτουργία από το 2010 και βελτιώνεται διαρκώς. Το σύστημα καλύπτει κάθε ανάγκη: από ψηφιακή ασύρματη επικοινωνία φωνής και δεδομένων, GPS για εντοπισμό φίλων δυνάμεων και ενισχυτές νυχτερινής όρασης, μέχρι ψηφιακές κάμερες στα όπλα για πυρά χωρίς έκθεση του στρατιώτη και φορητό υπολογιστή με τακτικές πληροφορίες. Μία από τις προτεραιότητες στην εξέλιξή του είναι η ενεργειακή διαχείριση, με τις έρευνες να εστιάζουν σε πηγές ενέργειας πιο ελαφριές και ανθεκτικές. Το IdZ-ES (Infanterist der Zukunft — Erweitertes System) είναι η γερμανική απάντηση στο FELIN, με το πρόγραμμα να έχει ως αποστολή την ψηφιακή ένωση των συστημάτων του πεζικού. Στην περίπτωση αυτή, που αποτελεί το γερμανικό ανάλογο, ξεχωρίζει η φροντίδα για τη λειτουργικότητα με τα συστήματα των συμμάχων της NATO, κάτι που δείχνει πόσο κεντρικός είναι ο ρόλος της Γερμανίας στις πολυεθνικές επιχειρήσεις. Από την πλευρά του Ηνωμένου Βασιλείου, το FIST (Future Integrated Soldier Technology) εφάρμοζε τις ίδιες αρχές ψηφιακής ολοκλήρωσης. Ωστόσο, δημοσιονομικοί περιορισμοί έχουν επιφέρει σοβαρές καθυστερήσεις και περικοπές. Ακόμα κι έτσι, το FIST έχει αποδείξει τόσο τις δυνατότητες όσο και τις δυσκολίες που υπάρχουν στην ανάπτυξη ενός τέτοιου εξοπλισμού. Μία διαφορετική προσέγγιση θα βρει κανείς στο TORC2H (Tactical Operations Research Command and Control — Helmet) του Ισραήλ. Είναι ίσως η πιο εξελιγμένη λύση ενσωμάτωσης τεχνολογίας σε κράνος, καθώς σε ένα φορητό σύστημα περιλαμβάνει heads-up display, νυχτερινή όραση, αισθητήρες γεωγραφικού εντοπισμού και μέσα επικοινωνίας. Η αμυντική βιομηχανία του Ισραήλ, που ξέρει να παράγει προηγμένες τεχνολογίες ακόμα και κάτω από πίεση, έχει κάνει το TORC2H ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα ψηφιακής ολοκλήρωσης σε ατομικό επίπεδο. Όλα αυτά τα προγράμματα μοιράζονται την έμφαση στην ψηφιακή επικοινωνία και στη ροή των πληροφοριών, αλλά λείπει η περιβαλλοντική παρακολούθηση: δεν βλέπουμε ανίχνευση τοξικών αερίων ή συνεχή μέτρηση θερμοκρασίας, υγρασίας και ποιότητας αέρα. Κι αυτό ακριβώς το κενό καλύπτει η παρούσα εργασία.

### 3.7 Έξυπνα Κράνη Επόμενης Γενιάς

Στο πλευρό των γενικότερων προγραμμάτων για τον εκσυγχρονισμό του ατομικού εξοπλισμού, έχουν δει το φως της ημέρας ή βρίσκονται σε πορεία έρευνας και ανάπτυξης μια σειρά από εξειδικευμένα συστήματα έξυπνων κρανών. Ο σκοπός είναι σαφής: να γίνει το κράνος ένα εργαλείο με ενεργό ρόλο στο πεδίο επιχειρήσεων. Μία από τις πιο ώριμες και αποδεδειγμένες περιπτώσεις ενσωμάτωσης τεχνολογίας σε στρατιωτικό κράνος είναι το Enhanced Night Vision Goggle-Binocular (ENVG-B). Με τον συνδυασμό θερμικής απεικόνισης και παραδοσιακής ενίσχυσης εικόνας, προσφέρει στον στρατιώτη τη δυνατότητα να κινείται άνετα ακόμη και όταν η ορατότητα είναι μηδενική. Επίσης, χάρη στην ασύρματη σύνδεσή του με τα ψηφιακά σκοπευτικά, μπορεί να ανοίξει πυρά χωρίς να έχει άμεση επαφή με τον στόχο, κάτι που μειώνει τον κίνδυνο για τον ίδιο και βελτιώνει την αποτελεσματικότητα. Από την πλευρά της BAE Systems, το Striker II Helmet Mounted Display είναι ίσως το πιο προηγμένο heads-up display για τους πιλότους μαχητικών. Βάζοντας μια οθόνη υψηλής ανάλυσης πάνω στο κράνος, οι πτητικές πληροφορίες, τα δεδομένα στόχευσης και η εικόνα από τους αισθητήρες του αεροσκάφους εμφανίζονται απευθείας στο οπτικό πεδίο, χωρίς να χρειάζεται να κοιτάζει κανείς τις κεντρικές οθόνες. Ίσως η φιλοσοφία του σχεδιασμού να στρέφεται προς την αεροπορία, ωστόσο οι τεχνολογίες heads-up display και οι αισθητήρες που το διέπουν έχουν άμεση σχέση με όσα αναπτύσσονται για τα έξυπνα κράνη του πεζικού. Με το Q-WARRIOR, η BAE Systems έχει φέρει στο προσκήνιο ένα από τα πρώτα συστήματα augmented reality που προορίζονται για πεζικό σε επίπεδο εδάφους. Μέσω ημιδιάφανων οθονών που ο στρατιώτης έχει μπροστά στα μάτια του, το σύστημα δίνει την ευχέρεια να βλέπει τις τακτικές του πληροφορίες, όπως τις θέσεις των φιλικών ή εχθρικών μονάδων, τα δεδομένα των αισθητήρων και τις κατευθύνσεις πλοήγησης, χωρίς αυτό να σκιάζει την άμεση επαφή με το πεδίο. Προς το παρόν το Q-WARRIOR είναι ακόμη υπό δοκιμές και ανάπτυξη, ωστόσο δείχνει τον δρόμο που θα πάρουν τα μελλοντικά κράνη. Από την πλευρά του NATO, στον χώρο ανίχνευσης CBRN απειλών (χημικών, βιολογικών, ραδιολογικών και πυρηνικών), έχουν χρηματοδοτηθεί προγράμματα για τη δημιουργία «έξυπνων» κρανών με ενσωματωμένους ανιχνευτές ακτινοβολίας, χημικών αερίων και βιολογικούς αισθητήρες. Πρόκειται για την τεχνολογία που πιο άμεσα προηγείται αυτής που αναπτύσσεται εδώ, κάτι που αποδεικνύει πόσο μεγάλη αμυντική προτεραιότητα έχει η περιβαλλοντική παρακολούθηση σε φορητά συστήματα. Ωστόσο, υπάρχει μια ουσιώδης διαφορά στο κόστος: ενώ ένα επαγγελματικό CBRN σύστημα ξεπερνά τις πολλές χιλιάδες ευρώ, η λύση που παρουσιάζεται στην εργασία μας επιτυγχάνει ανάλογες λειτουργίες με ένα κλάσμα αυτού του ποσού.

### 3.8 Τεχνολογίες υπό Ανάπτυξη για Στρατιωτική Χρήση

Υπάρχουν βέβαια τα συστήματα που ήδη διαθέτουμε, αλλά μία γκάμα αναδυόμενων τεχνολογιών σε ποικίλα στάδια ωρίμανσης θα κάνει ριζική ανατροπή στη φύση του στρατιωτικού εξοπλισμού τις δεκαετίες που έρχονται. Καμία δεν είναι πιο μετασχηματιστική για το μέλλον από την Τεχνητή Νοημοσύνη (AI). Λάβετε υπόψη ότι με φορητές συσκευές οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να διαχειριστούν δεδομένα από κάθε λογής αισθητήρες και να ανιχνεύσουν μοτίβα πραγματικού χρόνου, προτού οι συνθήκες γίνουν επικίνδυνες. Ένας AI αλγόριθμος, για παράδειγμα, θα μπορούσε να σηκώσει σταθερά την άνοδο της συγκέντρωσης CO και να προβάλει μια προληπτική ειδοποίηση πριν ξεπεραστεί το όριο, κάτι αδύνατο για ένα απλό σύστημα όπως αυτό που παρουσιάζουμε εδώ. Δεν είναι τυχαίο που η αμυντική βιομηχανία εστιάζει την έρευνά της στην ενσωμάτωση AI στα συστήματα επόμενης γενιάς. Από την άλλη, η Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR) θεωρείται ο επόμενος μεγάλος δρόμος για το στρατιωτικό κράνος. Με τα νέα AR συστήματα ο στρατιώτης θα έχει στο πεδίο της όρασής του τις θέσεις των συμμάχων του, τις τιμές των αισθητήρων, τις οδηγίες πλοήγησης ή τυχόν κινδύνους, χωρίς να χρειάζεται να στρέψει το βλέμμα του σε κάποια οθόνη. Στοχεύοντας σε αυτή την αυτονομία, το αμερικανικό IVAS (Integrated Visual Augmentation System) που προωθείται σε συνεργασία με τη Microsoft, προσθέτει μάλιστα και νυχτερινή όραση με θερμική απεικόνιση. Υπάρχουν τεχνολογίες με πολύ μεγάλες προοπτικές για στρατιωτική χρήση, όπως οι Biometric Sensors. Πρόκειται για αισθητήρες που παρακολουθούν τις φυσιολογικές παραμέτρους και αν ενσωματωθούν σε φορητό εξοπλισμό (μετρώντας τον καρδιακό ρυθμό, τη θερμοκρασία, το SpO2 ή τα επίπεδα στρες) δίνουν στα κέντρα διοίκησης την δυνατότητα να έχουν μια εικόνα σε πραγματικό χρόνο για την κατάσταση του κάθε στρατιώτη. Έτσι μπορούν να αντιληφθούν έγκαιρα αν υπάρχει κόπωση, τραυματισμός ή επικίνδυνη έκθεση σε τοξικά αέρια. Πολλές στρατιωτικές δυνάμεις δοκιμάζουν ήδη συστήματα αυτού του είδους, υπό την ηγεμονία της Αμερικανικής DARPA όσον αφορά την έρευνα. Οι Exoskeletons είναι ίσως η πιο φιλόδοξη τεχνολογία για τον στρατιώτη του αύριο. Δίνουν στο χρήστη τη δύναμη να μεταφέρει βαρύτερο υλικό χωρίς να κουράζεται σωματικά. Μια λογική εξέλιξη θα ήταν η προσθήκη IoT αισθητήρων και περιβαλλοντικών συμπεριλαμβανομένων στον εξωσκελετό ώστε να έχουμε ένα ολοκληρωμένο σύστημα που συνδυάζει την ενίσχυση με την επίγνωση του περιβάλλοντος. Από την άλλη, LoRa και 5G θα λύσουν το πρόβλημα της εξάρτησης από το Wi-Fi, κάτι που απασχολεί τα σημερινά φορητά στρατιωτικά συστήματα. Το LoRa έχει το πλεονέκτημα να στέλνει δεδομένα ασύρματα σε χιλιόμετρα με ελάχιστη ενέργεια, ιδιότητα απαραίτητη στο πεδίο. Γι' αυτό η αντικατάσταση της Wi-Fi σύνδεσης με LoRa ή 5G στο σύστημα που παρουσιάζεται εδώ προτείνεται ως μία από τις κυριότερες επεκτάσεις για ότι ακολουθεί.

### 3.9 IoT στον Αμυντικό Τομέα (Military IoT — MIIoT)

Μπορεί να πει κανείς ότι το Στρατιωτικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (MIIoT) δεν είναι παρά μια εξειδικευμένη εκδοχή του IoT προσαρμοσμένη στις ανάγκες της άμυνας. Οι απαιτήσεις που επιβάλλει το αμυντικό πλαίσιο το κάνουν να διαφέρει κατά πολύ από ό,τι θα δει κανείς σε μια εμπορική εφαρμογή. Αν η εμπορική πλευρά του IoT κοιτάζει κυρίως το χαμηλό κόστος, την κλιμακωσιμότητα και την ευκολία στο χέρι του στρατιώτη, το MIIoT έχει να ανταπεξέλθει σε πρόσθετες, μάλιστα και συχνά αντικρουόμενες προκλήσεις: πρέπει να προσφέρει κορυφαία αξιοπιστία ακόμα και κάτω από αντίξοες συνθήκες, να εξασφαλίζει υψηλά στάνταρ ασφαλείας στις επικοινωνίες, να έχει ελάχιστη ηλεκτρομαγνητική υπογραφή ώστε να μην εντοπίζεται και να μπορεί να λειτουργήσει και από τον δικτύου. Τυπικά, η αρχιτεκτονική ενός τέτοιου συστήματος στηρίζεται σε τρία επίπεδα. Στο πρώτο, αυτό της αντίληψης, έχουμε τους αισθητήρες που αντλούν πληροφορίες από το φυσικό περιβάλλον, όπως θερμοκρασία, υγρασία, βιομετρικά ή GPS δεδομένα. Η ασύρματη μετάδοση γίνεται στο επίπεδο δικτύωσης με πρωτόκολλα όπως Wi-Fi, LoRa, Zigbee, Bluetooth Low Energy ή στρατιωτικά MANET. Τέλος, στο επίπεδο εφαρμογής, κέντρα διοίκησης, αυτοματοποιημένα συστήματα ή πλατφόρμες λήψης αποφάσεων αναλύουν και αξιοποιούν όσα έχουν αποθηκευτεί. Όσον αφορά τις επιχειρησιακές ανάγκες, το φάσμα των MIIoT εφαρμογών είναι ευρύ. Για την επιχειρησιακή επίγνωση (situational awareness), δίκτυα αισθητήρων στο πεδίο μάχης κρατούν ενημερωμένους για τυχόν απειλές ή κινήσεις δυνάμεων. Στην εφοδιαστική αλυσίδα, με RFID και GPS trackers μπορείς να εντοπίσεις σε πραγματικό χρόνο οχήματα και εφόδια. Και για τη συντήρηση, οι αισθητήρες που είναι ενσωματωμένοι στα όπλα και στα οχήματα διευκολύνουν την προβλεπτική συντήρηση, κάτι που αποτρέπει τις αστοχίες όταν αυτές μετρούν περισσότερο. Οι τεχνικές λεπτομέρειες αποκαλύπτουν ότι η ραχοκοκαλιά της διαφοράς εμπορικού IoT και MIIoT είναι οι προδιαγραφές ανθεκτικότητας και κυβερνοασφάλειας. Μια επιχείρηση μπορεί να συγχωρήσει τις περιστασιακές καθυστερήσεις ή τις αποτυχίες σύνδεσης του συστήματός της, αλλά στο πεδίο των επιχειρήσεων ένα τέτοιο περιστατικό σημαίνει απώλεια ζωών. Άρα τα στρατιωτικά IoT έχουν την υποχρέωση να αμύνονται σε μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, κυβερνοεπιθέσεις και ηλεκτρονικό πόλεμο (όπως jamming ή spoofing), κάτι που φέρνει μαζί του ένα υψηλό κόστος και πολυπλοκότητα στην ανάπτυξη. Με βάση αυτό, το σύστημα έξυπνου κράνους που δημιουργήσαμε για την παρούσα εργασία υιοθετεί σε πρωτότυπο επίπεδο όσα ορίζει το MIIoT: αισθητήρες για την αντίληψη του περιβάλλοντος, ασύρματη επικοινωνία με ESP8266 και το ThingSpeak ως πλατφόρμα νέφους για την οπτικοποίηση και αποθήκευση. Δεν ισχυριζόμαστε ότι καλύπτει κάθε στρατιωτική προδιαγραφή, ωστόσο η αρχιτεκτονική του είναι σχεδιασμένη ώστε να προσφέρει την απαραίτητη λειτουργικότητα και να είναι εύκολα επεκτάσιμη για τις αυστηρότερες απαιτήσεις ασφαλείας.

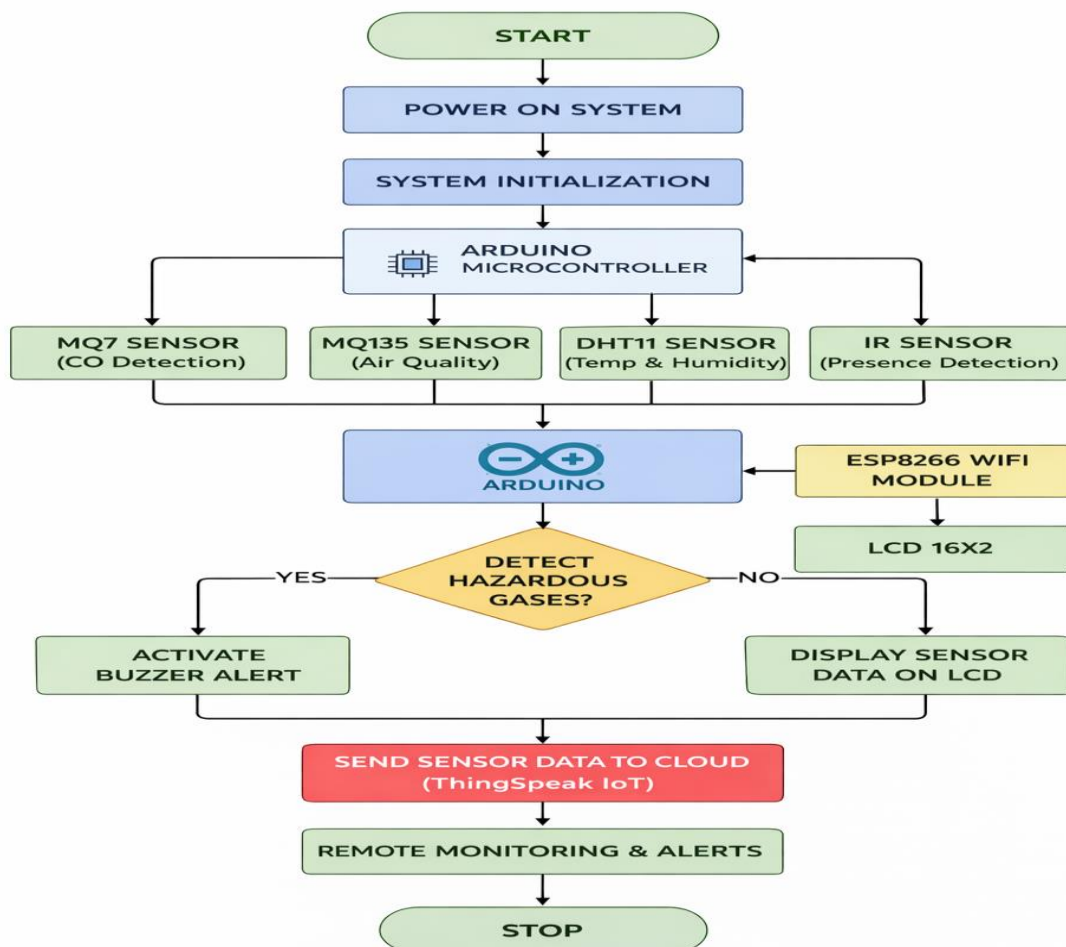
### 3.10 Κυβερνοασφάλεια σε Στρατιωτικά IoT Συστήματα

Όταν μιλάμε για στρατιωτικά συστήματα IoT, η ασφάλεια των επικοινωνιών και των δεδομένων είναι μια διάσταση που δεν μπορεί να αμεληθεί. Αν και συχνά δίνεται λιγότερη βαρύτητα σε αυτήν στα πρώιμα στάδια του πρωτότυπου, γίνεται απολύτως καθοριστική μόλις το σύστημα περάσει στην επιχειρησιακή φάση. Γι' αυτόν τον λόγο είναι αναγκαίο να εξετάσουμε τις κυβερνοαπειλές ενός φορητού IoT συστήματος πεδίου, όχι μόνο για να διαπιστώσουμε τα όρια του τρέχοντος μοντέλου, αλλά και με σκοπό να σχεδιάσουμε ορθά τις επεκτάσεις του στο μέλλον. Μια πρώτη κατηγορία απειλών έχει να κάνει με την υποκλοπή. Ένας εχθρός θα βρει πολύτιμες πληροφορίες στα δεδομένα που στέλνουν οι αισθητήρες ενός στρατιώτη, α βιομετρικά, περιβαλλοντικές συνθήκες ή το GPS. Είναι ένα ρεαλιστικό ενδεχόμενο να εντοπίσουν τη θέση του παρακολουθώντας τις εκπομπές Wi-Fi της συσκευής, κάτι που πρέπει να αποκλείεται με κατάλληλη κρυπτογράφηση και μεταβλητές συχνότητες. Στη δεύτερη περίπτωση έχουμε τις επιθέσεις jamming και spoofing. Στο πεδίο μάχης σήμερα, ο αντίπαλος μπορεί εύκολα να παρεμβαίνει ή να παραποιεί τα δεδομένα. Αρκεί να αντικαταστήσει μια αληθινή μέτρηση με μια ψεύτικη για να προκαλέσει έναν άσκοπο συναγερμό ή να καλύψει έναν πραγματικό κίνδυνο. Το μόνο που μπορεί να αντισταθεί σε τέτοιες ενέργειες είναι η χρήση προηγμένων πρωτοκόλλων που να επαληθεύουν την αυθεντικότητα των πληροφοριών. Όσον αφορά το σύστημα της παρούσας εργασίας, η ασφάλεια επιτυγχάνεται με την Write API Key που δίνει εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στο κανάλι ThingSpeak και δεν επιτρέπει σε κανέναν να γράψει δεδομένα χωρίς άδεια. Από την πλευρά του, το Dashboard των GitHub Pages κάνει χρήση μόνο Read API Key για να διαβάσει τα δεδομένα, έτσι ώστε να υπάρχει σαφής διάκριση ανάμεσα στην εγγραφή και την ανάγνωση. Η σύνδεση μεταξύ του Dashboard και του ThingSpeak γίνεται μάλιστα αποκλειστικά με HTTPS, κάτι που κρυπτογραφεί τη ροή των δεδομένων στην εφαρμογή. Αν θέλουμε ωστόσο να φέρουμε το σύστημα από το στάδιο του πρωτότυπου σε επιχειρησιακό επίπεδο, θα πρέπει να αναβαθμίσουμε την ασφάλειά του. Μια μελλοντική έκδοση θα έπρεπε να υλοποιήσει μερικές κρίσιμες αλλαγές: να αντικαταστήσει τη συνηθισμένη Wi-Fi με WPA3 ή κάποιο στρατιωτικό πρωτόκολλο, να προβλέπει αμφίδρομη αυθεντικοποίηση (mutual authentication) συσκευής-διακομιστή και να εφαρμόζει τεχνικές ανωνυμοποίησης στα δεδομένα.

## Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία και Σχεδιασμός Συστήματος

### 4.1 Επισκόπηση Αρχιτεκτονικής Συστήματος

Το προτεινόμενο σύστημα έξυπνου κράνους στήθηκε πάνω σε μία ενιαία, «δεμένη» αρχιτεκτονική, που τα μαζεύει όλα σε ένα: συλλογή περιβαλλοντικών δεδομένων, τοπική επεξεργασία, ειδοποίηση του χρήστη και απομακρυσμένη μετάδοση πληροφοριών, όλα μέσα σε ένα μόνο ενσωματωμένο σύστημα. Ο κεντρικός άξονας δηλαδή με λίγα λόγια η καρδιά της αρχιτεκτονικής είναι ο μικροελεγκτής Arduino UNO, που στην πράξη συντονίζει τη λειτουργία όλων των επιμέρους υποσυστημάτων. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί, η ροή λειτουργίας ξεκινά με την ενεργοποίηση και την αρχικοποίηση του συστήματος κατά την εκκίνηση. Από εκεί και πέρα, ο μικροελεγκτής αναλαμβάνει ταυτόχρονη ανάγνωση τεσσάρων αισθητήρων, αυτών των MQ7, MQ135, DHT11 και IR, κάνει επεξεργασία στις τιμές που έρχονται και τρέχει λογική σύγκριση με προκαθορισμένα όρια ασφαλείας. Αν ανιχνευτούν επικίνδυνες συνθήκες, ενεργοποιείται ο ηχητικός συναγερμός και μαζί μ' αυτό, τα δεδομένα εμφανίζονται στην οθόνη LCD και μεταδίδονται στην πλατφόρμα νέφους ThingSpeak μέσω της μονάδας Wi-Fi ESP8266.



Εικόνα 4.1: Διάγραμμα Ροής Λειτουργίας Συστήματος

Το διάγραμμα ροής, χωρίς πολλά-πολλά, δείχνει καθαρά τη λογική αλληλουχία των επιχειρησιακών βημάτων του συστήματος. Μετά την εκκίνηση και την αρχικοποίηση, ο Arduino μικροελεγκτής μαζεύει δεδομένα από το σύνολο των αισθητήρων και εκτελεί έλεγχο ανίχνευσης επικίνδυνων αερίων. Σε περίπτωση θετικής ανίχνευσης ενεργοποιείται ο ηχητικός συναγερμός, ενώ σε αρνητική περίπτωση οι μετρήσεις εμφανίζονται στην οθόνη LCD. Ότι κι αν βγει ως αποτέλεσμα, τα δεδομένα μεταδίδονται στο νέφος μέσω του ESP8266 για απομακρυσμένη παρακολούθηση, κλείνοντας έναν κύκλο συνεχούς λειτουργίας.

## 4.2 Επιλογή Υλικού

Η επιλογή των υλικών εξαρτημάτων του συστήματος δεν ήταν τυχαία επιλογή, κάθε άλλο. Πατήσαμε σε πολύ συγκεκριμένα κριτήρια: τεχνική καταλληλότητα για τις απαιτήσεις της εφαρμογής, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, συμβατότητα μεταξύ τους, συμπαγές μέγεθος για φορητή εφαρμογή, και ευκολία στον προγραμματισμό και την ενσωμάτωση. Και με αυτόν τον τρόπο, ο συνδυασμός που προέκυψε δίνει ένα ολοκληρωμένο, αξιόπιστο και επεκτάσιμο σύστημα παρακολούθησης.

## 4.3 Μικροελεγκτής Arduino UNO

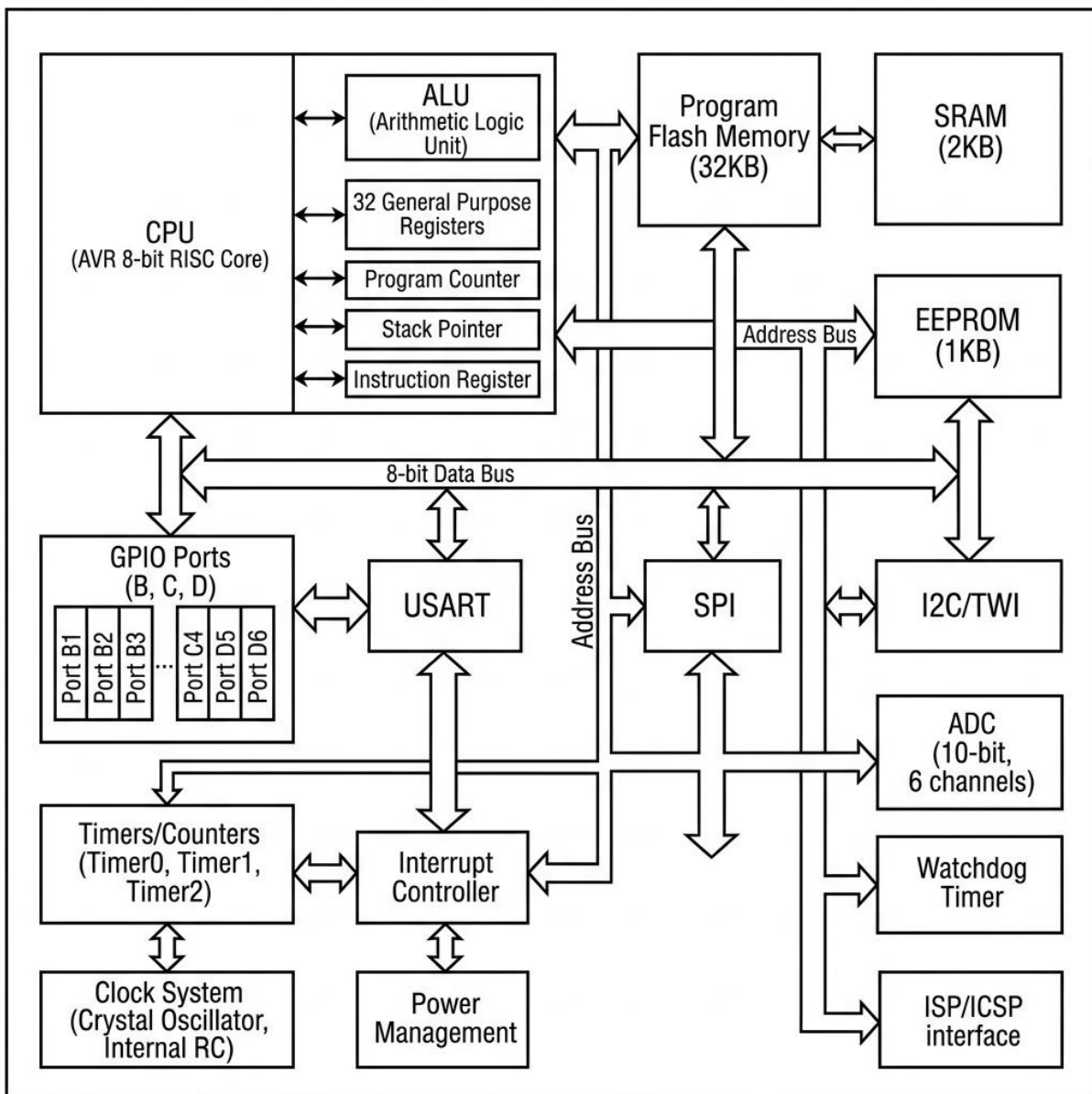
Ο Arduino UNO είναι, στην ουσία, η κεντρική μονάδα επεξεργασίας του συστήματος. Πατάει πάνω στον ATmega328P στα 16 MHz και κουβαλάει 32 KB μνήμη Flash, 2 KB SRAM και 1 KB EEPROM. Στην εφαρμογή μας, το UNO αναλαμβάνει ένα σωρό δουλειές: διαβάζει αναλογικά σήματα από τους αισθητήρες MQ135 (pin A1), MQ7 (pin A3), κάνει ψηφιακή επικοινωνία με τον αισθητήρα DHT11 (pin A0), τσεκάρει την κατάσταση του αισθητήρα IR (pin A2), ελέγχει τις εξόδους του ηχητικού συναγερμού (pins 2 και 3), χειρίζεται την οθόνη LCD 16×2 (pins 7, 8, 9, 10, 11, 12) και τέλος, κάνει σειριακή επικοινωνία με τη μονάδα ESP8266 μέσω SoftwareSerial (pins 5 και 6).



Εικόνα 4.2: Μικροελεγκτής Arduino UNO

Αν το δούμε λίγο πιο μέσα, ο Arduino UNO βασίζεται στον ATmega328P της Microchip Technology, έναν 8-bit RISC μικροελεγκτή με αρχιτεκτονική Harvard. Δηλαδή, για να μη μπερδεύομαστε, η Harvard αρχιτεκτονική κρατάει χωριστά τη μνήμη προγράμματος από τη μνήμη δεδομένων. Όχι και τόσο μικρή λεπτομέρεια. Έτσι μπορεί να γίνεται ταυτόχρονη πρόσβαση και στις δύο, κάτι που στην πράξη ανεβάζει αισθητά την απόδοση σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

Ο εσωτερικός Αναλογογηφιακός Μετατροπέας (ADC) του ATmega328P έχει ανάλυση 10-bit, οπότε δίνει 1024 διακριτές τιμές στο εύρος τάσης αναφοράς 0–5V. Με άλλα λόγια, η ελάχιστη ανιχνεύσιμη μεταβολή τάσης είναι  $5V/1024 \approx 4.88 \text{ mV}$ . Η ακρίβεια αυτή είναι επαρκής για σωστή ανάγνωση των αναλογικών αισθητήρων MQ-series. Κατά τα λοιπά, η επικοινωνία με εξωτερικές περιφερειακές συσκευές υποστηρίζεται μέσω UART, SPI και I2C, ενώ η διασύνδεση με τον υπολογιστή για προγραμματισμό γίνεται από το ολοκληρωμένο USB-to-Serial ATmega16U2 (αυτό είναι που κάνει τη δουλειά του «μεταφραστή»).



Εικόνα 4.3: Block diagram εσωτερικής αρχιτεκτονικής ATmega328P

#### 4.4 Αισθητήρας Μονοξειδίου του Άνθρακα MQ7

Ο αισθητήρας MQ7 είναι φτιαγμένος ειδικά για να «βλέπει» μονοξείδιο του άνθρακα (CO) σε συγκεντρώσεις από 20 έως 2000 ppm. Στην ουσία, πατάει πάνω σε ένα στοιχείο ημιαγωγού διοξειδίου του κασσιτέρου ( $\text{SnO}_2$ ), του οποίου η ηλεκτρική αγωγιμότητα αλλάζει ανάλογα με το πόσο CO υπάρχει γύρω του. Θέλει, βέβαια, και χρόνο προθέρμανσης για να στρώσουν οι ενδείξεις του, κάτι που το υπολογίζεις στη φάση αρχικοποίησης του συστήματος. Μετά, στον κώδικα της εφαρμογής, η αναλογική τιμή του MQ7 διαβάζεται από το pin A3 και μπαίνει σε σύγκριση με το όριο ασφαλείας της τιμής 600. Πάνω από εκεί, χτυπάει συναγερμός.



Εικόνα 4.4: Αισθητήρας μονοξειδίου του άνθρακα MQ7

## Τίτλος βου Κεφαλαίου: Αποτέλεσμα και συζήτηση

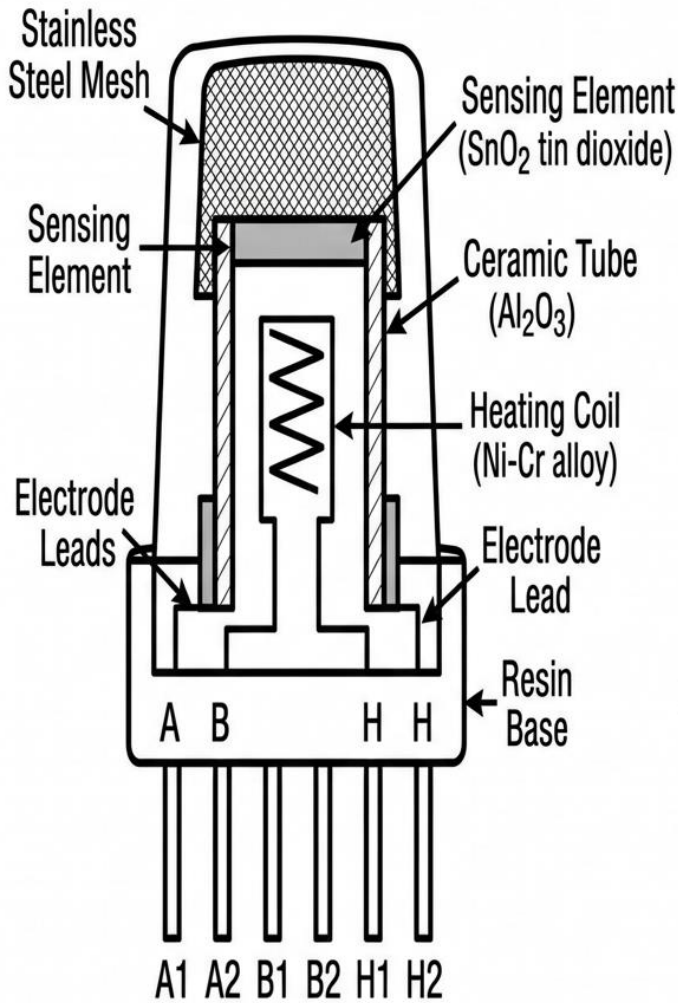
Ο MQ7, για να το πω αλλιώς, μπαίνει στην κατηγορία των ηλεκτροχημικών αισθητήρων ημιαγωγού μεταλλικού οξειδίου (Metal Oxide Semiconductor — MOS). Το ευαίσθητο στοιχείο του αισθητήρα είναι ένα υπόστρωμα διοξειδίου του κασσιτέρου ( $\text{SnO}_2$ ), που σε καθαρό αέρα δείχνει χαμηλή αγωγιμότητα. Μόλις όμως το  $\text{SnO}_2$  εκτεθεί σε μονοξείδιο του άνθρακα, τα μόρια CO προσροφώνται στην επιφάνειά του και αντιδρούν με τα ιόντα οξυγόνου, απελευθερώνοντας ηλεκτρόνια που αυτά, με τη σειρά τους, ανεβάζουν την αγωγιμότητα του υλικού. Και ναι, η μεταβολή της αγωγιμότητας είναι ανάλογη της συγκέντρωσης CO στο περιβάλλον.

Η λειτουργία του MQ7 βασίζεται σε ένα κυκλικό μοτίβο θέρμανσης δύο φάσεων: στη φάση υψηλής θερμοκρασίας (1.5V, ~60 δευτερόλεπτα) το στοιχείο καθαρίζεται από προσροφημένα αέρια, ενώ στη φάση χαμηλής θερμοκρασίας (5V, ~90 δευτερόλεπτα) γίνεται η μέτρηση CO. Από πλευράς κυκλώματος τώρα, το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα του αισθητήρα έχει την αντίσταση αισθητήρα  $R_s$  σε σειρά με μια αντίσταση φορτίου RL, και μαζί φτιάχνουν έναν διαιρέτη τάσης. Η τάση εξόδου  $V_{out}$  υπολογίζεται από τη σχέση:

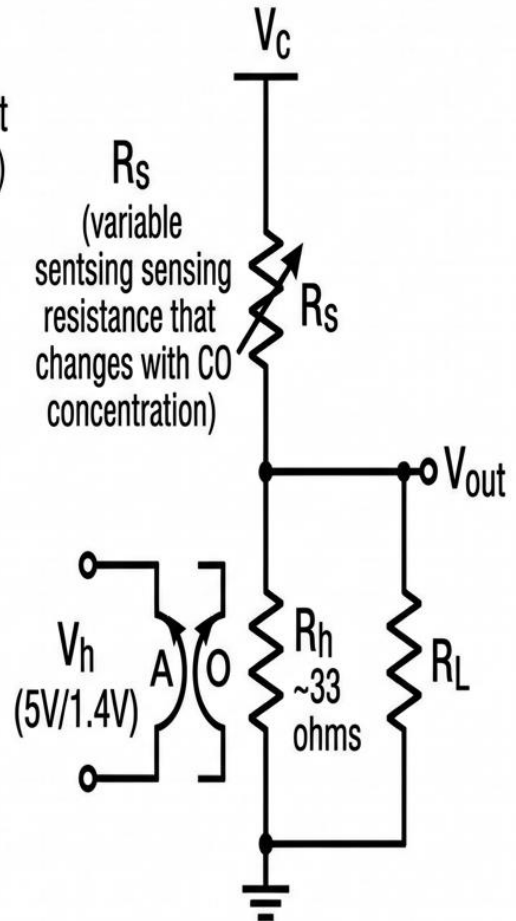
$$V_{out} = V_c \times \frac{RL}{R_s + RL}$$

Όπου  $V_c$  η τάση τροφοδοσίας (5V),  $R_s$  η αντίσταση του αισθητήρα και RL η αντίσταση φορτίου. Όσο η συγκέντρωση CO ανεβαίνει, η  $R_s$  πέφτει. Και τότε, αναμενόμενα, το  $V_{out}$  αυξάνεται, κάτι που καταγράφεται σαν μεγαλύτερη αναλογική τιμή από τον ADC του Arduino.

### MQ7 CO gas sensor



### Equivalent Electrical Circuit



Εικόνα 4.5: Εσωτερική δομή και ηλεκτρικό ισοδύναμο αισθητήρα MQ7

#### 4.5 Αισθητήρας Ποιότητας Αέρα MQ135

Ο αισθητήρας MQ135 είναι, στην ουσία, ένας πολυπαραμετρικός αισθητήρας ποιότητας αέρα, φτιαγμένος για να «πιάνει» αμμωνία, βενζόλιο, οξειδία του αζώτου, διοξείδιο του άνθρακα και καπνό. Η πλατιά του απόκριση τον κάνει βολικό για μια γενική εικόνα της ατμόσφαιρας σε επικίνδυνα σημεία, όπου μπορεί να συνυπάρχουν πολλοί ρύποι ταυτόχρονα (και συνήθως έτσι γίνεται, εδώ που τα λέμε). Μετράμε την αναλογική τιμή από το pin A1 του Arduino και τη βάζουμε δίπλα στο όριο 400 για να ανάψει ο συναγερμός.



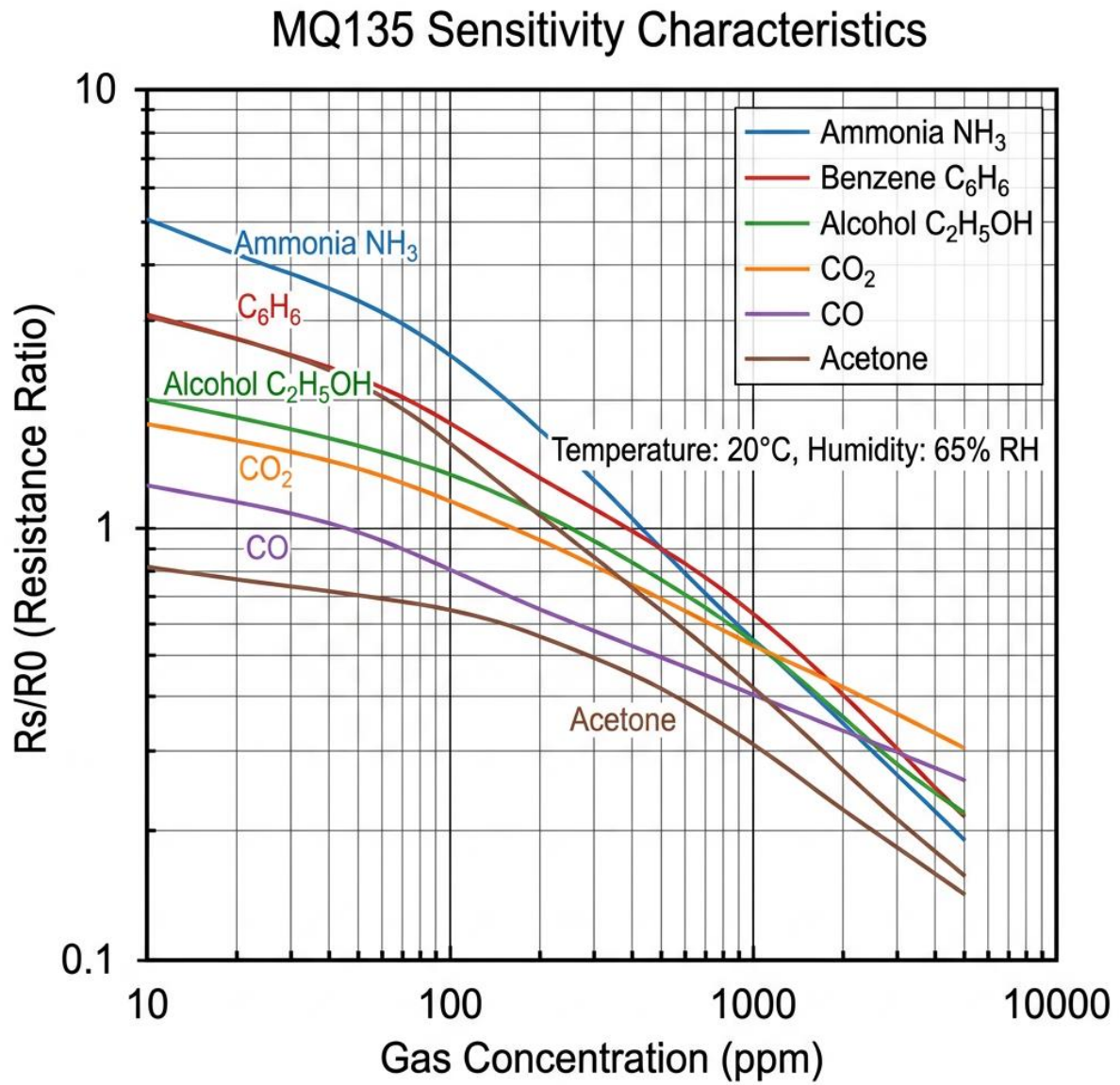
Εικόνα 4.6: Αισθητήρας ποιότητας αέρα MQ135

Λειτουργεί με την ίδια βασική αρχή MOS όπως και ο MQ7, δηλαδή αξιοποιεί υπόστρωμα  $\text{SnO}_2$  ως ευαίσθητο υλικό. Μόνο που εδώ η χημική «ρύθμιση» της επιφάνειας έχει γίνει έτσι ώστε να βλέπει ταυτόχρονα μεγαλύτερο φάσμα αερίων, όπως αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ), βενζόλιο ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), αλκοόλη, καπνό, οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) και διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ). Η ανταπόκριση για κάθε αέριο βγαίνει από την καμπύλη ευαισθησίας  $R_s/R_0$  vs. συγκέντρωση (ppm) που δίνει το datasheet του κατασκευαστή, όπου  $R_0$  είναι η αντίσταση αναφοράς σε καθαρό αέρα. Και για να το πω αλλιώς, η σύνδεση ανάμεσα στην αντίσταση του αισθητήρα και στη συγκέντρωση του αερίου περιγράφεται με εκθετική συνάρτηση της μορφής:

$$\frac{R_s}{R_0} = a \times C^b$$

Όπου  $C$  η συγκέντρωση σε ppm και  $a$ ,  $b$  σταθερές που εξαρτώνται από το αέριο-στόχο. Στην παρούσα εφαρμογή, να το ξεκαθαρίσουμε, η αναλογική έξοδος του MQ135 δεν μετατρέπεται σε απόλυτη τιμή

ppm αλλά χρησιμοποιείται σαν σχετικός δείκτης ποιότητας αέρα. Οπότε, πρακτικά, έχουμε ορίσει όριο συναγερού την τιμή 400 στις 1024 δυνατές βαθμίδες του ADC.



Εικόνα 4.7: Καμπύλες ευαισθησίας αισθητήρα MQ135 ανά αέριο-στόχο

#### 4.6 Αισθητήρας Θερμοκρασίας και Υγρασίας DHT11

Ο αισθητήρας DHT11 είναι ψηφιακός αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας και, στην πράξη, «μιλάει» με τον μικροελεγκτή μέσω μίας μόνο ψηφιακής γραμμής δεδομένων. Το εύρος μέτρησης θερμοκρασίας πάει από 0°C έως 50°C με ακρίβεια  $\pm 2^\circ\text{C}$ , ενώ για την υγρασία εκτείνεται από 20% έως 90% σχετικής υγρασίας με ακρίβεια  $\pm 5\%$ . Στον κώδικα της εφαρμογής, οι μετρήσεις του DHT11 διαβάζονται μέσω της βιβλιοθήκης dht.h από το pin A0 και οι τιμές που έρχονται (θερμοκρασία και υγρασία) αποθηκεύονται στις μεταβλητές j και i αντίστοιχα. Και βέβαια, η υπέρβαση των ορίων 39°C για τη θερμοκρασία και 70% για την υγρασία μπαίνει στη λογική ενεργοποίησης του συναγερμού.



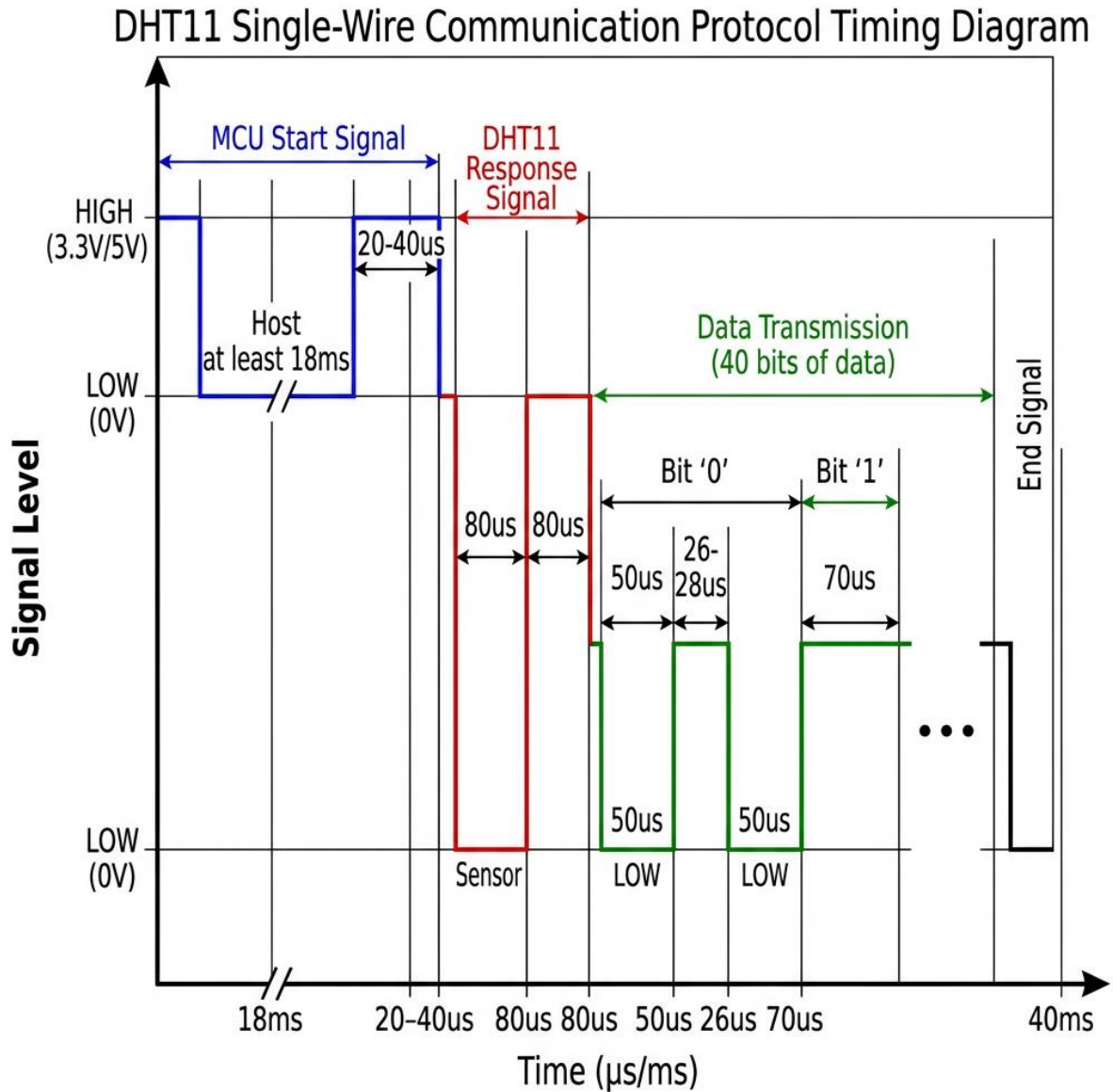
Εικόνα 4.8: Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας DHT11

Ο αισθητήρας DHT11, είναι ένας ψηφιακός σύνθετος αισθητήρας που στην ουσία κουβαλάει δύο επιμέρους στοιχεία αίσθησης: έναν χωρητικό αισθητήρα υγρασίας (capacitive humidity sensor) και έναν θερμοστατικό αισθητήρα θερμοκρασίας τύπου NTC (Negative Temperature Coefficient). Ο εσωτερικός μικροεπεξεργαστής 8-bit του DHT11 αναλαμβάνει την ανάκτηση δεδομένων από τους δύο αισθητήρες, κάνει τη βαθμονόμηση και μετά στέλνει τις ψηφιακές τιμές από έναν μόνο αγωγό δεδομένων (single-wire protocol).

Η επικοινωνία μεταξύ DHT11 και Arduino υλοποιείται με ένα ιδιόκτητο πρωτόκολλο μονού αγωγού, που δουλεύει κάπως έτσι: ο κύριος (Arduino) ξεκινά την επικοινωνία στέλνοντας σήμα εκκίνησης (start signal) διάρκειας τουλάχιστον 18 ms σε χαμηλό λογικό επίπεδο, και μετά σηκώνει τη γραμμή σε υψηλό επίπεδο για 20-40  $\mu\text{s}$ . Μετά έρχεται η απάντηση. Ο DHT11 αποκρίνεται με σήμα επιβεβαίωσης (response signal) και στη συνέχεια μεταδίδει 40 bits δεδομένων στη μορφή:

16bits [Υγρασία(ακέραιο + δεκαδικό) + 16bits [θερμοκρασία(ακέραιο + δεκαδικό) + 8bits(checksum)

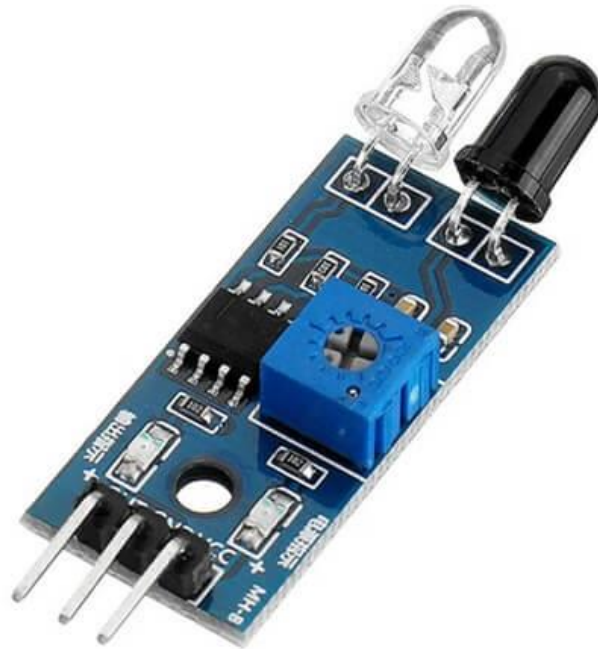
Η επαλήθευση της ακεραιότητας των δεδομένων γίνεται μέσω του byte checksum, το οποίο ισούται με το άθροισμα των τεσσάρων προηγούμενων bytes. Η βιβλιοθήκη dht.h που χρησιμοποιείται στον κώδικα της εφαρμογής τα αναλαμβάνει αυτά αυτόματα, δηλαδή τη διαχείριση του πρωτοκόλλου επικοινωνίας και την αποκωδικοποίηση των δεδομένων, οπότε δεν χρειάζεται να το «στήσεις» με το χέρι.



Εικόνα 4.9: Χρονοδιάγραμμα (timing diagram) πρωτοκόλλου επικοινωνίας DHT11

#### 4.7 Αισθητήρας Υπέρυθρων (IR)

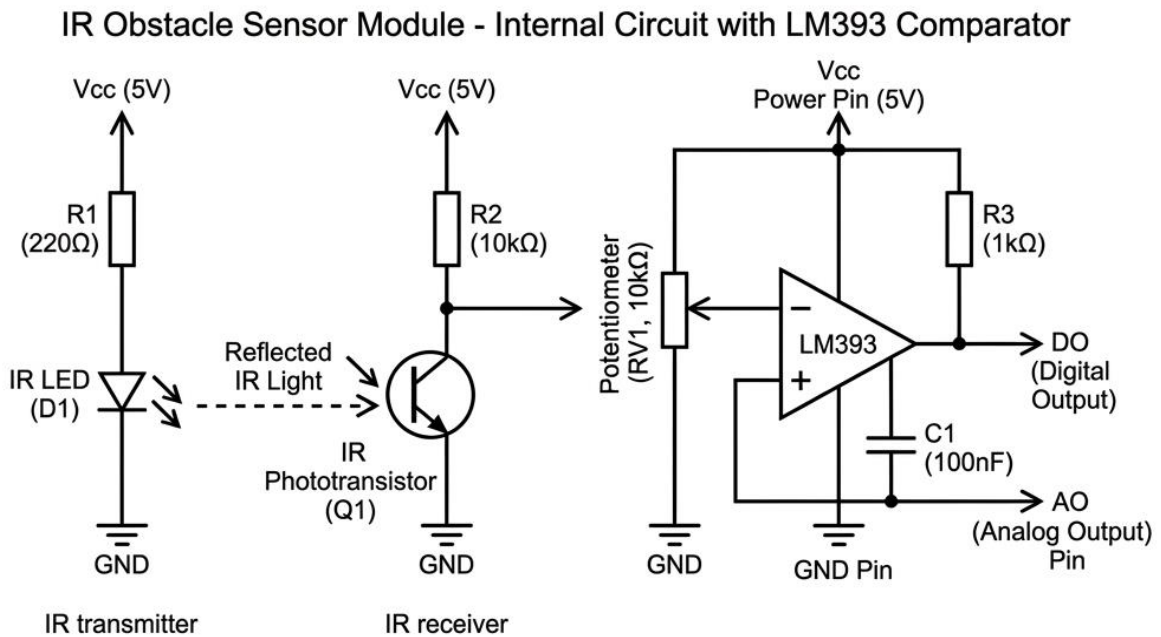
Ο αισθητήρας υπέρυθρων (IR) μπαίνει στο σύστημα για να «πιάνει» αν υπάρχει παρουσία γύρω από το κράνος, δηλαδή στο άμεσο περιβάλλον του. Στην ουσία εκπέμπει και μετά λαμβάνει υπέρυθρη ακτινοβολία και έτσι σου δίνει καθαρή ψηφιακή έξοδο(HIGH ή LOW), ανάλογα με το αν είδε αντικείμενο/παρουσία ή όχι. Στον κώδικα της εφαρμογής, η κατάσταση του IR διαβάζεται από το pin A2 με την εντολή `digitalRead(A2)`. Όταν η τιμή βγει HIGH (λογικό 1), ξεκινά ο συναγερμός και στην LCD γράφει την ένδειξη "IR: NO", δείχνοντας ότι ανιχνεύτηκε παρουσία. Κι αν δεν είναι HIGH; Τότε εμφανίζεται η ένδειξη "IR: YES", και αυτό, λίγο-πολύ, σημαίνει ασφαλείς συνθήκες.



Εικόνα 4.10: Αισθητήρας υπέρυθρων IR

Ο αισθητήρας υπέρυθρων (IR) δουλεύει με την αρχή της οπτοηλεκτρονικής ανίχνευσης αντανάκλασης (reflective infrared detection). Αποτελείται από δύο βασικά μέρη: έναν εκπομπό υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR LED) και έναν φωτοδέκτη υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR Photodiode ή Phototransistor). Ο εκπομπός, για να το πω αλλιώς, «ρίχνει» συνεχώς υπέρυθρη ακτινοβολία στο εύρος 850–950 nm, που έτσι κι αλλιώς είναι εκτός ορατού φάσματος (οπότε δεν το βλέπεις, αλλά υπάρχει). Μόλις ένα αντικείμενο ή άτομο μπει στην εμβέλεια του αισθητήρα, η υπέρυθρη ακτινοβολία ανακλάται και την «μαζεύει» ο φωτοδέκτης, άρα καταλαβαίνει πως κάτι βρίσκεται μπροστά του.

Το αναλογικό σήμα του φωτοδέκτη πάει σε έναν συγκριτή τάσης (voltage comparator) με βάση το ολοκληρωμένο LM393, ο οποίος συγκρίνει την τάση του φωτοδέκτη με μια τάση αναφοράς που ρυθμίζεται μέσω ποτενσιόμετρου και εδώ, αν μη τι άλλο, παίζει ρόλο το πού έχεις βάλει το κατώφλι. Η έξοδος του LM393 είναι ψηφιακή (HIGH/LOW), οπότε ο Arduino παίρνει ξεκάθαρο σήμα για παρουσία ή απουσία αντικειμένου. Στον κώδικα της εφαρμογής, η έξοδος HIGH (λογικό 1) σημαίνει ανίχνευση παρουσίας και ανάβει τον συναγερμό, ενώ η οθόνη LCD δείχνει την ένδειξη "IR: NO".



Εικόνα 4.11: Εσωτερικό κύκλωμα αισθητήρα IR με συγκριτή LM393

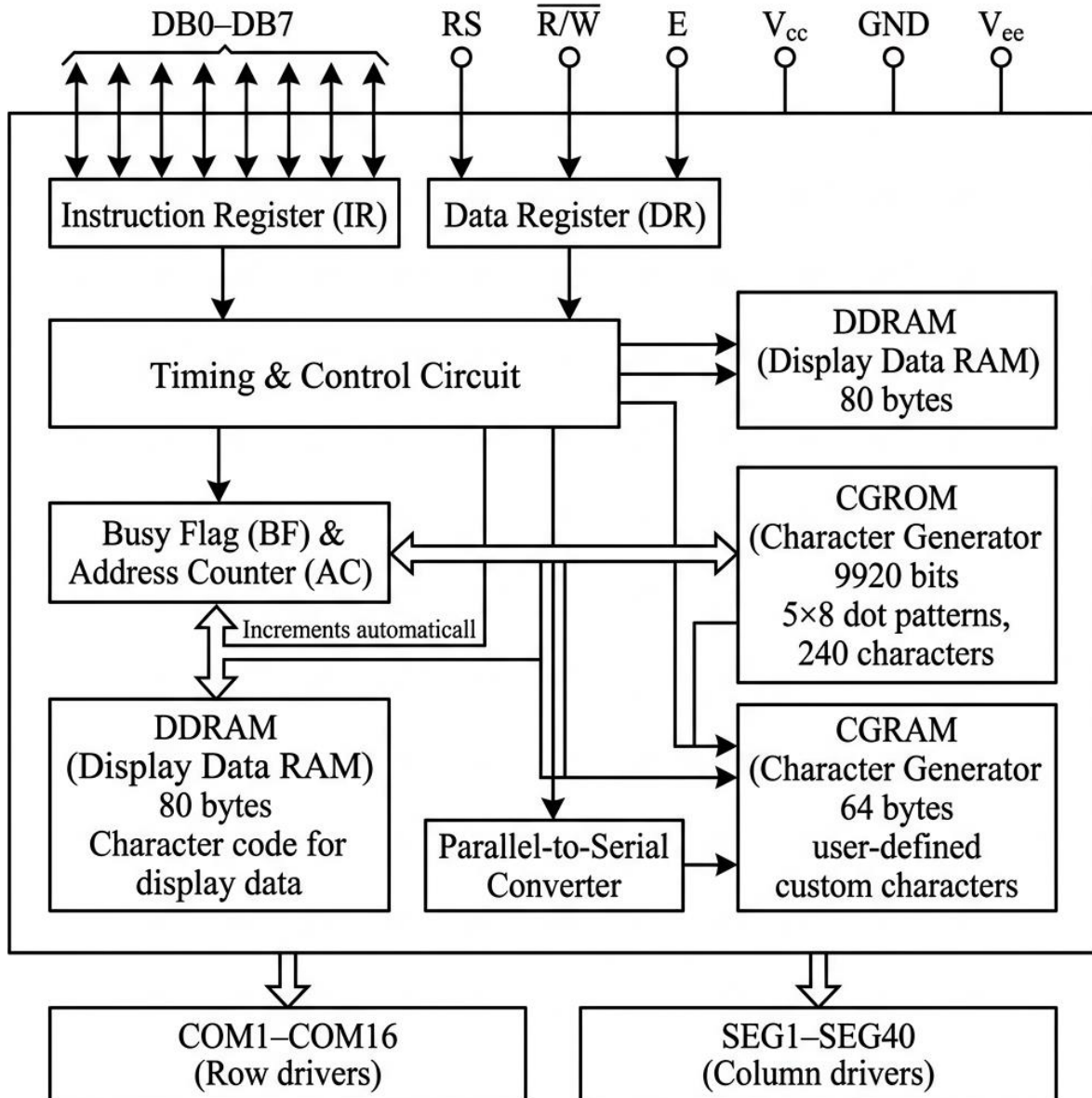
#### 4.8 Οθόνη LCD 16×2

Η οθόνη LCD 16×2 δίνει στον χρήστη άμεση οπτική εικόνα, με τις μετρήσεις όλων των αισθητήρων να εμφανίζονται σε πραγματικό χρόνο, χωρίς να ψάχνεσαι. Η σύνδεσή της με τον Arduino UNO γίνεται με τη βιβλιοθήκη LiquidCrystal.h και καλωδίωση στις ψηφιακές ακίδες 7, 8, 9, 10, 11 και 12 (τα συγκεκριμένα pin, ένα-ένα, όπως τα βάζεις στο κύκλωμα). Σε επίπεδο προβολής, η οθόνη είναι «στημένη» σε δύο γραμμές: στην πρώτη μπαίνουν οι ενδείξεις των MQ135 και MQ7, ενώ στη δεύτερη έρχονται υγρασία, θερμοκρασία και η κατάσταση του αισθητήρα IR. Για δύο δευτερόλεπτα δείχνει το μήνυμα αρχικοποίησης "IOT Sensor" και μετά περνάει στην κανονική απεικόνιση δεδομένων.



Εικόνα 4.12: Οθόνη LCD 16×2 κατά τη λειτουργία του συστήματος

Η LCD 16×2 πατάει πάνω στον ελεγκτή HD44780 της Hitachi που είναι από αυτά τα «βιομηχανικά στάνταρ» που τα πετυχαίνεις παντού σε αλφαριθμητικές οθόνες υγρών κρυστάλλων. Ο HD44780 έχει εσωτερική μνήμη χαρακτήρων CGROM (Character Generator ROM) χωρητικότητας 9920 bits, όπου κάθονται οι bitmap αναπαραστάσεις 240 προκαθορισμένων χαρακτήρων, και μαζί υπάρχει και CGRAM (Character Generator RAM) για να ορίσεις έως 8 προσαρμοσμένους χαρακτήρες αν σου χρειαστούν. Η επικοινωνία με τον Arduino γίνεται σε λειτουργία 4-bit. Εκεί, κάθε byte δεδομένων σπάει και μεταδίδεται σε δύο διαδοχικά nibbles (ημιbytes) από τις γραμμές D4–D7, οπότε μειώνεις τις απαιτούμενες ακίδες I/O από 8 σε 4 και, στην τελική, κρατάς πόρους του μικροελεγκτή για αλλού. Οι γραμμές ελέγχου RS (Register Select) και E (Enable) φροντίζουν, αντίστοιχα, να ξεχωρίζουν οι εντολές από τα δεδομένα και να γίνεται η ενεργοποίηση εγγραφής. Και κάπου εδώ μπαίνει η ευκολία: η βιβλιοθήκη LiquidCrystal.h του Arduino αναλαμβάνει μόνη της τη διαχείριση της ακολουθίας αρχικοποίησης και των εντολών ελέγχου του HD44780.



Εικόνα 4.13: Αρχιτεκτονική ελεγκτή HD44780 οθόνης LCD 16x2

#### 4.9 Μονάδα Wi-Fi ESP8266

Η μονάδα ESP8266 λειτουργεί, στην ουσία, ως το ασύρματο επικοινωνιακό υποσύστημα του έξυπνου κράνους, διασυνδέοντας τη συσκευή με το τοπικό δίκτυο Wi-Fi και μεταφέροντας δεδομένα σε πλατφόρμα νέφους, συγκεκριμένα στο ThingSpeak. Η επικοινωνία μεταξύ Arduino UNO και ESP8266 πραγματοποιείται μέσω σειριακής σύνδεσης SoftwareSerial στα pins 5 (RX) και 6 (TX), με ρυθμό μετάδοσης σταθερά στα 115200 baud. Κατά την εκκίνηση, το πρωτόκολλο περιλαμβάνει διαδοχικά βήματα: επαναφορά της μονάδας (AT+RST), ρύθμιση σε λειτουργία σταθμού και σημείου πρόσβασης ταυτόχρονα (AT+CWMODE=3) και τελικά σύνδεση στο Wi-Fi, που επιτυγχάνεται με την εντολή AT+CWJAP. Τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω HTTP GET αιτημάτων προς τη διεύθυνση IP του ThingSpeak (184.106.153.149) ανά 16 δευτερόλεπτα, καθώς αυτός είναι ο επιθυμητός ρυθμός ενημέρωσης της πλατφόρμας.

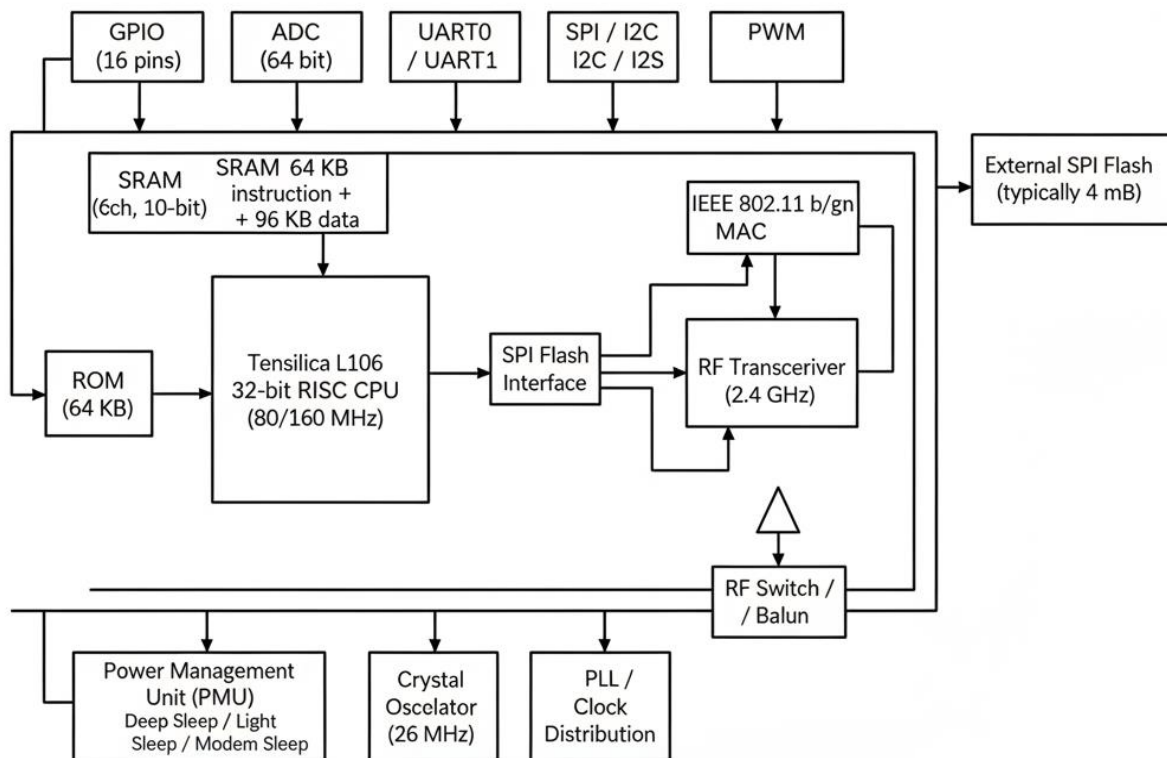


Εικόνα 4.14: Μονάδα ασύρματης επικοινωνίας ESP8266

## Τίτλος 5ου Κεφαλαίου: Υλοποίηση και ανάπτυξη

Αυτή η μονάδα ESP8266, ένα System-on-Chip (SoC) της Espressif Systems που έχει σχεδιαστεί ειδικά για εφαρμογές Internet of Things με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, θα έλεγε κάποιος ότι είναι «όλα σε ένα». Στην καρδιά της φιλοξενεί έναν Tensilica L106 32-bit RISC επεξεργαστή, ο οποίος τρέχει στα 160 MHz και είναι επιφορτισμένος με τη διαχείριση τόσο του firmware TCP/IP όσο και της ασύρματης επικοινωνίας. Επιπλέον, η ενσωματωμένη στοίβα TCP/IP, γνωστή και ως lwIP, υποστηρίζει πλήρως διάφορα πρωτόκολλα, καθιστώντας εφικτή τη δημιουργία TCP/UDP συνδέσεων, την αποστολή HTTP αιτημάτων ακόμα και τη χρήση του MQTT πρωτοκόλλου.

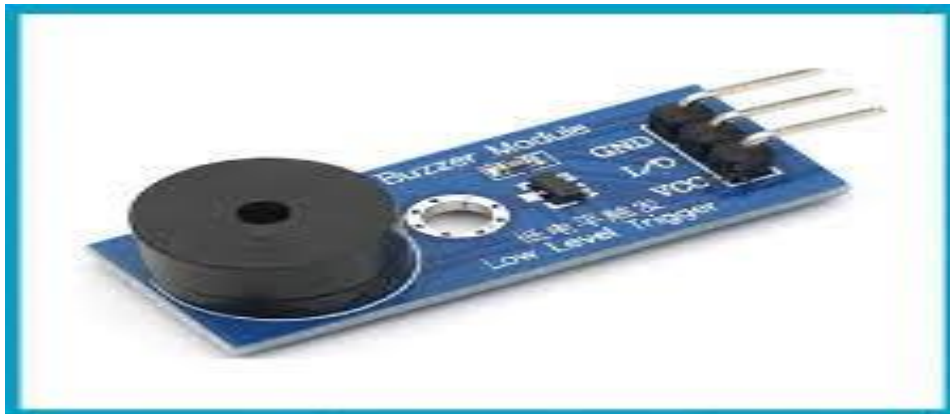
Στον ασύρματο τομέα τώρα, το ESP8266 συμμορφώνεται με το πρότυπο IEEE 802.11 b/g/n στα 2.4 GHz, λειτουργώντας είτε ως σταθμός (Station mode), είτε ως σημείο πρόσβασης (Access Point mode) ή, όπως στην περίπτωση του συγκεκριμένου έργου, και ως τα δύο ταυτόχρονα (Station + AP mode, δηλαδή CWMODE=3). Τέλος, η επικοινωνία με το Arduino UNO υλοποιείται μέσω UART, με ρυθμό 115200 baud, χρησιμοποιώντας τα γνωστά set Hayes AT Commands για την κατάλληλη ρύθμιση και τον έλεγχο της ασύρματης σύνδεσης. Ένα απλό αλλά ταυτόχρονα αρκετά αποτελεσματικό σύστημα, αν το σκεφτείς καλά.



Εικόνα 4.15: Εσωτερική αρχιτεκτονική SoC ESP8266

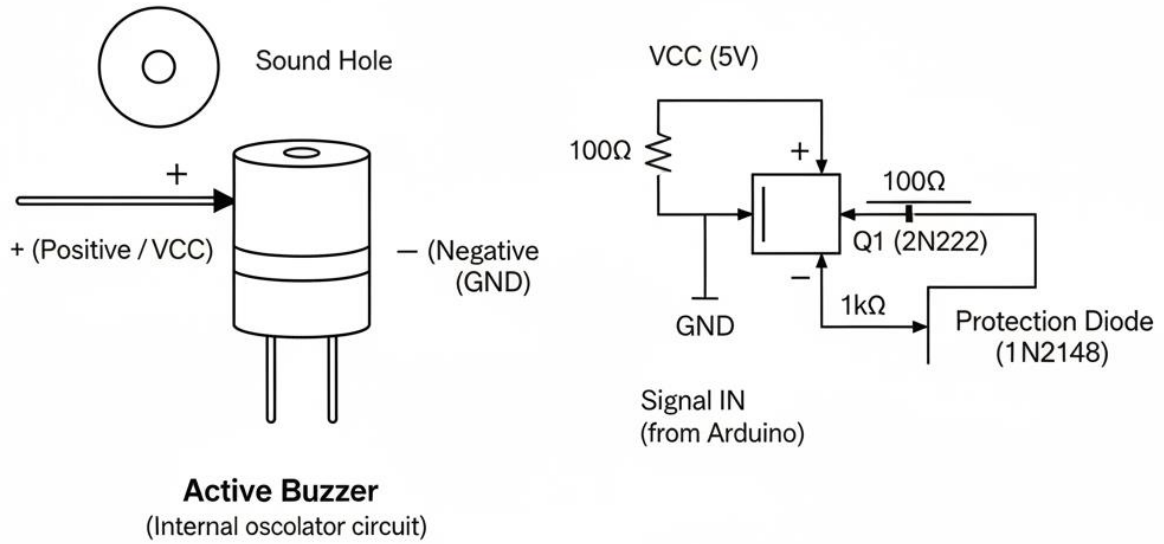
#### 4.10 Σύστημα Ηχητικού Συναγερμού

Ένα ζεύγος μονάδων ηχητικού συναγερμού (βομβητές/ρελέ) συνδέεται στις 2 ψηφιακές εξόδους του Arduino UNO (ακίδες 2 και 3). Όταν μια επιβλεπόμενη τιμή υπερβαίνει το όριο ασφαλείας της, το σύστημα χρησιμοποιεί μια εντολή `digitalWrite(HIGH)` για να ενεργοποιήσει τους συναγερμούς. Ο έλεγχος ενεργοποίησης συναγερμού βασίζεται σε πολλαπλές παραμέτρους συστήματος: Ανίχνευση υπέρυθρης ακτινοβολίας, σχετική υγρασία να υπερβαίνει το 70%, θερμοκρασία να υπερβαίνει τους 39°C, αισθητήρας MQ135 να υπερβαίνει τα 400 ppm και αισθητήρας MQ7 να υπερβαίνει τα 600 ppm. Μόλις όλες οι μετρούμενες τιμές υποχωρήσουν κάτω από το όριο συναγερμού, ο συναγερμός θα απενεργοποιηθεί αυτόματα.



Εικόνα 4.16: Μονάδα ηχητικού συναγερμού του συστήματος

Το τμήμα συναγερμού του έργου αποτελείται από δύο μονάδες βομβητή/ρελέ που συνδέονται απευθείας στην πλακέτα Arduino UNO. Ο βομβητής συνδέεται στις ψηφιακές ακίδες 2 και 3 στο UNO. Όταν οποιαδήποτε από τις παραμέτρους αισθητήρα που παρακολουθούνται έχει υπερβεί το καθορισμένο όριο ασφαλείας, και οι δύο βομβητές ενεργοποιούνται στέλνοντάς τους μια εντολή Ψηφιακής Εγγραφής με την τιμή HIGH από το Arduino. Η λογική ενεργοποίησης του συστήματος συναγερμού λαμβάνει υπόψη όλες τις κρίσιμες παραμέτρους του συστήματος (ανίχνευση IR, όριο υγρασίας (>70%), όριο θερμοκρασίας (>39°C), όριο MQ135 (>400), όριο MQ7 (>600)). Το σύστημα συναγερμού θα απενεργοποιηθεί αυτόματα όταν όλες οι τιμές επιστρέψουν στα καθορισμένα όρια ασφαλείας.



Pin	Symbol	Connection
Long leg	+	VCC / Collector
Short leg	-	GND

Εικόνα 4.17: Ηλεκτρομαγνητικό buzzer ενεργής λειτουργίας

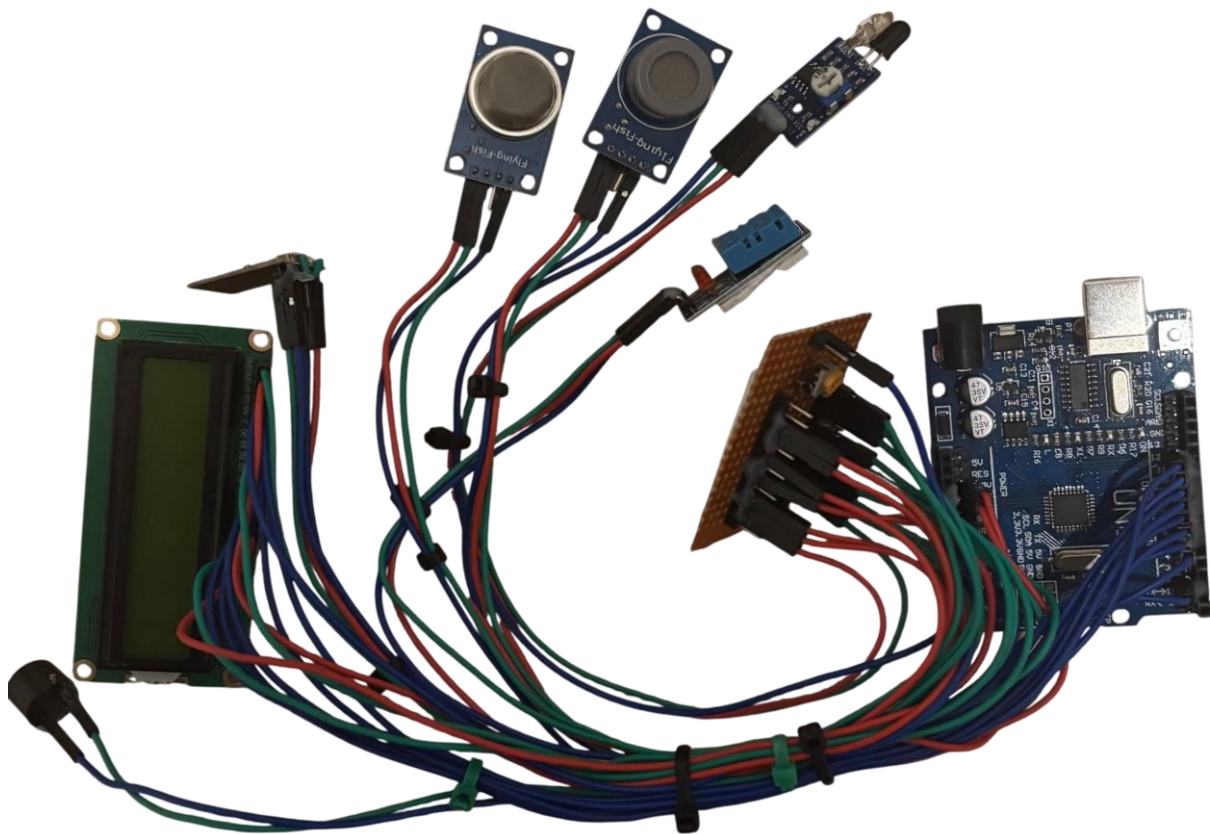
#### **4.11 Τροφοδοσία και Φορητότητα**

Το τροφοδοτικό του συστήματος αναπτύχθηκε για χρήση στο πεδίο, όπου η φορητότητα και η αυτονομία είναι κρίσιμες. Το Arduino UNO λειτουργεί με επαναφορτιζόμενη μπαταρία, παρέχοντας έτσι σταθερή τάση λειτουργίας σε όλα τα ηλεκτρονικά. Η χαμηλή κατανάλωση ρεύματος των επιλεγμένων αισθητήρων και μονάδων επιτρέπει μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας του συστήματος και καθιστά αυτό το σύστημα κατάλληλο για παρατεταμένες επιχειρησιακές αποστολές. Το μικρό μέγεθος όλων των εξαρτημάτων τους επιτρέπει να ενσωματώνονται στο κράνος χωρίς σημαντικές μειώσεις βάρους ή εργονομίας.

## Κεφάλαιο 5: Υλοποίηση και ανάπτυξη

### 5.1 Σχεδιασμός κυκλώματος και Διασύνδεση Υλικού

Ξεκινήσαμε να φτιάχνουμε το έξυπνο κράνος με τον προσεκτικό σχεδιασμό του ηλεκτρονικών του κυκλώματος, και καθορίζοντας πώς θα συνομιλεί ο μικροελεγκτής Arduino UNO με όλα τα μέρη του. Κάθε εξάρτημα συνδέθηκε σε ένα συγκεκριμένο σημείο εισόδου ή εξόδου του Arduino ανάλογα με τον τρόπο που στέλνει ή λαμβάνει πληροφορίες. Συνοπτικά, ο αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας DHT11 είναι στο αναλογικό A0, ο αισθητήρας MQ135 για την ποιότητα του αέρα στο A1, ο αισθητήρας IR στο A2, και ο MQ7 στο A3. Οι δύο σειρήνες είναι στις ψηφιακές εξόδους 2 και 3, το ESP8266 για το Wi-Fi στις 5 και 6 με χρήση SoftwareSerial, και η οθόνη LCD 16x2 στις ψηφιακές 7, 8, 9, 10, 11 και 12. Όλα τα εξαρτήματα παίρνουν ενέργεια από τις γραμμές 5V και GND του Arduino UNO, που τους παρέχουν σταθερή και αρκετή τάση για να δουλεύουν, ενώ μεγάλη σημασία δόθηκε στο να είναι καλά γειωμένα όλα, διότι σε συστήματα με πολλούς αισθητήρες, μια κακή γείωση προκαλεί συχνά προβλήματα και αλλοπρόσαλλες λειτουργίες.



Εικόνα 5.1: Φυσική διασύνδεση εξαρτημάτων πρωτοτύπου

## 5.2 Ανάπτυξη Λογισμικού και Προγραμματισμός Arduino

Το πρόγραμμα του συστήματος γράφτηκε στο Arduino IDE και χρησιμοποιεί την C++, που είναι ο συνηθισμένος τρόπος για να δημιουργείς πράγματα για Arduino. Ο κώδικας έχει δύο σημαντικά μέρη: η συνάρτηση `setup()` που τρέχει μόνο μια φορά όταν ανοίγει το σύστημα και φροντίζει να ετοιμάσει όλα τα μέρη του, και η `loop()` που συνεχώς επαναλαμβάνεται και κάνει αυτό που κάνει κανονικά το σύστημα.

Για να γίνουν οι διάφορες εργασίες, χρησιμοποιήθηκαν οι εξής έτοιμες συλλογές εντολών: `LiquidCrystal.h` για να λειτουργεί η οθόνη LCD 16x2, `dht.h` για να παίρνει πληροφορίες από τον αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας DHT11, `SoftwareSerial.h` για να επικοινωνεί με το ESP8266 με σειριακό τρόπο και `stdlib.h` για να μετατρέπονται αριθμοί σε κείμενο. Αυτές οι έτοιμες συλλογές έκαναν την διαχείριση των ηλεκτρονικών μερών πιο ασφαλή και γρήγορη, απλοποίησαν τον κώδικα και έκαναν λιγότερες τις πιθανότητες να έχουν γίνει λάθη στην επικοινωνία.

## 5.3 Λογική Ανίχνευσης Κατωφλίου και Ελέγχου Συναγερμού

Το σημαντικότερο κομμάτι του συστήματος είναι ο τρόπος που καταλαβαίνει αν υπάρχει κίνδυνος και χτυπάει συναγερμό. Αυτό γίνεται με έναν αρκετά πολύπλοκο έλεγχο μέσα στην κύρια λειτουργία του προγράμματος (αυτή που λέμε `loop()`), που ταυτόχρονα παρακολουθεί όλες τις τιμές που το ενδιαφέρουν. Πιο συγκεκριμένα, ο συναγερμός θα ενεργοποιηθεί αν συμβαίνει κάποιο από αυτά: ο αισθητήρας IR λέει ότι έχει ανιχνεύσει κάτι, η υγρασία είναι πάνω από 70%, η θερμοκρασία ξεπερνά τους 39 βαθμούς Κελσίου, το MQ135 δίνει τιμή μεγαλύτερη του 400, το MQ7 ξεπεράσει το 600. Όταν ο συναγερμός δουλεύει, και τα δύο κουδούνια παίρνουν ηλεκτρική τάση για μισό δευτερόλεπτο (γίνονται δηλαδή HIGH) και μετά επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση (γίνονται LOW), έτσι ώστε να ακούγεται ένας ήχος που σπάει και σε προειδοποιεί. Το πρόγραμμα συνεχίζει να τρέχει το `loop()` ξανά και ξανά, οπότε ελέγχει τις τιμές συνεχώς, και αντιδρά γρήγορα σε οποιαδήποτε αλλαγή.

## 5.4 Διαμόρφωση Πλατφόρμας Νέφους ThingSpeak

Το ThingSpeak είναι ένα ανοιχτό διαδικτυακό περιβάλλον για να μελετάμε δεδομένα από συσκευές του λεγόμενου διαδικτύου των πραγμάτων (IoT). Μπορούμε δηλαδή να αποθηκεύουμε στο διαδίκτυο, να δείχνουμε σε μορφή γραφήματος και να αναλύουμε τα δεδομένα που συλλέγουν διάφοροι αισθητήρες, σαν να τα βλέπουμε να συμβαίνουν την ίδια στιγμή. Για αυτό το σύστημα που έχουμε φτιάξει, ανοίξαμε ένα ειδικό κανάλι στο ThingSpeak και έχουμε ορίσει τέσσερις θέσεις (πεδία) για να αποθηκεύουμε τις μετρήσεις που μας ενδιαφέρουν: το πεδίο 1 για τις τιμές του αισθητήρα MQ135, το πεδίο 2 για την υγρασία, το πεδίο 3 για θερμοκρασία και το πεδίο 4 για τις τιμές του MQ7. Για να μπουν τα δεδομένα στο κανάλι, χρειαζόμαστε έναν κωδικό (Write API Key) και τον βάζουμε μέσα στον τρόπο λειτουργίας (τον κώδικα) της εφαρμογής μας. Αυτός ο κωδικός στέλνεται μαζί με κάθε μήνυμα (κάθε ερώτηση HTTP GET) που στέλνει η ESP8266. Το ThingSpeak, από μόνο του, δημιουργεί γραφήματα για κάθε πεδίο και μπορούμε να δούμε τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από οποιαδήποτε συσκευή είναι συνδεδεμένη στο διαδίκτυο.

### 5.4.1 Αναλυτικός Σχολιασμός Λογισμικού

Μπορεί κανείς να χωρίσει τον κώδικα του συστήματος σε τέσσερα λογικά κομμάτια: τις δηλώσεις και την αρχικοποίηση, τις συναρτήσεις `setup()` και `loop()` καθώς και το κομμάτι της επικοινωνίας με το ThingSpeak. Παρακάτω θα βρείτε μια αναλυτική περιγραφή του καθενός, με τη σχετική τεχνική αιτιολόγηση για ότι επιλέχθηκε.

#### 1. Δηλώσεις και Βιβλιοθήκες:

Από την αρχή του κώδικα συμπεριλαμβάνουμε τις βιβλιοθήκες `SoftwareSerial.h`, `LiquidCrystal.h`, `dht.h` και `stdlib.h` ώστε να έχουμε πρόσβαση σε έτοιμες συναρτήσεις για τα εξαρτήματα. Με την `dht.h` για παράδειγμα, η διαχείριση του ιδιόκτητου πρωτοκόλλου του DHT11 γίνεται αυτόματα. Έτσι ο προγραμματιστής δεν χρειάζεται να ασχοληθεί με την υλοποίηση της χρονικά κρίσιμης bit ακολουθίας που θέλει το πρωτόκολλο, κάτι που προσφέρει μεγαλύτερη αξιοπιστία απ' ότι αν γινόταν χειροκίνητα. Για την LCD, η εντολή `LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12)` κάνει την αντιστοίχιση των ψηφιακών ακίδων με τις γραμμές RS, E, D4-D7 του HD44780. Προτιμήσαμε τη λειτουργία 4-bit έναντι των 8-bit γιατί με τον τρόπο αυτό αρκούν 4 ακίδες για τα δεδομένα αντί για 8, αφήνοντας ελεύθερες άλλες 4 για τυχόν μελλοντικές ανάγκες και χωρίς να χάνεται κάποια δυνατότητα. Τέλος, το `String apiKey = "AHJYOP0J0J9LUULZ"` δηλώνει ως καθολική μεταβλητή το κλειδί του ThingSpeak. Σε ένα πιο επαγγελματικό σενάριο θα ήταν σωστότερο, για λόγους ασφαλείας, να μην αφήνεται ως plain text στον κώδικα αλλά να κρυπτογραφείται στην EEPROM του μικροελεγκτή.

#### 2. Η συνάρτηση `setup()`:

Εδώ γίνεται όλη η αρχικοποίηση του συστήματος, αφού η συνάρτηση τρέχει μόνο μία φορά στην εκκίνηση. Το `lcd.begin(16, 2)` φροντίζει για τον HD44780 (16x2) κάνοντας ό,τι απαιτείται εσωτερικά. Μετά από ένα `delay(2000)` που δείχνει στο χρήστη "IOT Sensor", υπάρχει και οπτική ένδειξη ότι όλα πάνε καλά και δίνεται χρόνος στα εξαρτήματα να σταθεροποιηθούν. Όσον αφορά την ESP8266, οι AT εντολές (AT+RST, AT+CWMODE=3, AT+CWJAP) έχουν μεταξύ τους 500ms καθυστέρηση για να ολοκληρώνεται η μία πριν την άλλη. Βάζουμε `CWMODE=3` (Station + AP) αντί για το 1 (μόνο Station) για περισσότερη ευελιξία, παρόλο που εδώ μας ενδιαφέρει μόνο η σύνδεση ως σταθμός.

#### 3. Κύρια λογική της `loop()`:

Εδώ βρίσκεται η καρδιά της εφαρμογής, με τη συνάρτηση `loop()` να τρέχει αδιάλειπτα. Με την εντολή `DHT.read11(dht_dpin)` δίνουμε το σήμα εκκίνησης στον κύκλο ανάγνωσης του DHT11 και περιμένουμε την 40-bit ψηφιακή απόκριση. Όποτε γίνει μια επιτυχημένη ανάγνωση, οι ιδιότητες `DHT.humidity` και `DHT.temperature` ενημερώνονται. Θα ήταν βέβαια προτιμότερο σε επόμενες εκδόσεις να ελέγχουμε τον κωδικό επιστροφής της `read11()` ώστε να αποφεύγονται οι αποτυχίες, κάτι που τώρα παραλείπεται. Όσον αφορά τον συναγερμό, χρησιμοποιούμε τον τελεστή OR για να πυροδοτεί αυτός μόλις κάποια παράμετρος ξεπεράσει το όριό της. Ένας τρόπος fail-safe για μέγιστη ευαισθησία απέναντι σε κινδύνους. Το `HIGH-delay(500)-LOW` δίνει ένα διακοπτόμενο ήχο πιο εύκολα αντιληπτό από έναν μονότονο, όπως ορίζει η ακουστική σχεδίαση.

#### 4. ThingSpeak και μετάδοση:

Για το HTTP GET αίτημα κάνουμε σύνθεση String αντικειμένων, προσθέτοντας τις παραμέτρους με +=. Είναι πιο απλό κώδικας από ότι αν δουλεύαμε με `char[]` τύπου C, αν και κοστίζει περισσότερο σε SRAM. Σε ένα πρωτότυπο είναι συμβιβασμός που γίνεται δεκτός, παρόλο που σε ένα παραγωγικό περιβάλλον με πολλές ταυτόχρονες μεταβλητές θα έπρεπε να βελτιστοποιηθεί. Τέλος, με το `ser.find(">")` ελέγχουμε αν η ESP8266 είναι έτοιμη, μια απλή λύση για να διαχειριστούμε την ασυμφωνία των AT Commands.

## 5.5 Ενσωμάτωση IoT και Μετάδοση Δεδομένων

Για να σταλούν δεδομένα στο νέφος, ο Arduino UNO στέλνει μια σειρά από εντολές AT στην ESP8266 μέσω της SoftwareSerial. Αυτή η διαδικασία έχει τέσσερα βήματα: πρώτα, χρησιμοποιείται η εντολή AT+CIPSTART για να συνδεθεί η ESP8266 με τον διακομιστή ThingSpeak (με διεύθυνση IP 184.106.153.149) στη θύρα 80 και να δημιουργηθεί έτσι μια σύνδεση TCP. Έπειτα, φτιάχνεται το HTTP GET αίτημα, και μέσα σε αυτό ενσωματώνονται οι τρέχουσες τιμές από όλους τους αισθητήρες σαν παραμέτρους στην διεύθυνση URL. Ακολουθεί η αποστολή της εντολής AT+CIPSEND με το μήκος του αιτήματος, κάτι που ετοιμάζει την ESP8266 να στείλει τα δεδομένα. Τέλος, το αίτημα πηγαίνει στον ThingSpeak, ο οποίος αποθηκεύει τις τιμές στα αντίστοιχα μέρη του καναλιού που έχουμε. Αν δεν γίνει η σύνδεση, ο κώδικας δίνει την εντολή AT+CIPCLOSE για να κλείσει κανονικά τη σύνδεση και επιστρέφει στην κύρια λειτουργία του προγράμματος. Κάθε 16 δευτερόλεπτα στέλνονται νέα δεδομένα, έτσι ώστε να είναι εντάξει με την ThingSpeak, η οποία σε δωρεάν λογαριασμούς θέλει να έχεις τουλάχιστον αυτόν τον ρυθμό αποστολής.

## 5.6 Φυσική Ενσωμάτωση στο Κράνος

Το τελευταίο βήμα για να τελειώσει η κατασκευή είναι να τοποθετηθεί το ηλεκτρονικό σύστημα πάνω στο στρατιωτικό κράνος. Η θέση για τα μέρη του αποφασίστηκε λαμβάνοντας υπόψη την εργονομία δηλαδή το πως θα είναι, για τον ποιον τον φοράει, το πόσο καλά θα εντοπίζει τα αέρια και το πόσο θα αντέχει στις δυσκολίες που μπορεί να συναντήσει ο στρατιώτης όταν το χρησιμοποιεί. Οι αισθητήρες MQ135, MQ7 μπήκαν σε σημεία του κράνους όπου μπορούν να έρθουν αμέσως σε επαφή με τον αέρα γύρω μας για να μπορούν να εντοπίζουν ακόμα και πολύ μικρές ποσότητες αερίων. Ο αισθητήρας DHT11 τοποθετήθηκε σε ένα σημείο που δείχνει πως είναι ο αέρας που αναπνέει αυτός που φοράει το κράνος, ο αισθητήρας IR αντίθετα, κοιτάει έξω για να βρει αν υπάρχει κάποιος. Η οθόνη LCD τοποθετήθηκε σε ένα σημείο που φαίνεται καλά σε αυτόν που το φοράει, έτσι ώστε να διαβάζει αμέσως τις μετρήσεις και παράλληλα να βλέπει κανονικά. Το Arduino UNO, το ESP8266 και η μπαταρία μπήκαν μέσα ή πάνω στο κράνος σε ένα σημείο που δεν θα χαλάσουν εύκολα, για να μην καταστρέφονται όταν το χρησιμοποιείς. Τα καλώδια τακτοποιήθηκαν και στερεώθηκαν καλά ώστε να μην ξεκολλάνε από τις κουνήσεις και τους κραδασμούς.

## 5.7 Ανάπτυξη Διαδικτυακής Πλατφόρμας Παρακολούθησης μέσω GitHub

Εκτός από την ενσωματωμένη απεικόνιση των πληροφοριών που γίνεται μέσα από το ThingSpeak, φτιάξαμε και μια ειδική σελίδα για να παρακολουθείς τα δεδομένα στο διαδίκτυο. Η σελίδα αυτή είναι φτιαγμένη με HTML5, CSS3 και JavaScript και είναι διαθέσιμη δωρεάν χάρη στο GitHub Pages. Λειτουργεί σαν ένας ολοκληρωμένος πίνακας ελέγχου που ανανεώνεται συνεχώς, παίρνει πληροφορίες κατευθείαν από το ThingSpeak REST API και τις δείχνει σε ένα διαδραστικό περιβάλλον, στο οποίο μπορείς να μπεις από οποιαδήποτε συσκευή που έχει σύνδεση στο διαδίκτυο.

### 5.7.1 Αρχιτεκτονική της Εφαρμογής

Η εφαρμογή στο διαδίκτυο είναι φτιαγμένη έτσι που ο browser σας επικοινωνεί απευθείας με το ThingSpeak API, δηλαδή δεν χρειάζεται κάποιος άλλος υπολογιστής ανάμεσα. Τα δεδομένα έρχονται έτσι: το Arduino UNO διαβάζει τι μετρούν οι αισθητήρες και τα στέλνει στο ThingSpeak με το ESP8266. Μετά, η ιστοσελίδα που έχουμε στο GitHub Pages στέλνει μια ερώτηση (HTTP GET) στο ThingSpeak REST API κάθε λεπτό, παίρνει τα δεδομένα σε μορφή JSON και τα δείχνει στον χρήστη στην οθόνη, δυναμικά. Το σημείο του API που χρησιμοποιούμε είναι το:

```
https://api.thingspeak.com/channels/{CHANNEL_ID}/feeds.json
```

```
?api_key={READ_API_KEY} &results=20
```

Όπου το CHANNEL\_ID είναι ο μοναδικός αριθμός του καναλιού σας στο ThingSpeak και το READ\_API\_KEY είναι ο κωδικός που δείχνει ότι έχετε δικαίωμα να δείτε αυτά τα δεδομένα.

### 5.7.2 Λειτουργικά Χαρακτηριστικά

Η εφαρμογή έχει αρκετές δυνατότητες: Πρώτα, θα βρεις έναν πίνακα με τιμές που αλλάζουν αμέσως, με τέσσερα πλαίσια που δείχνουν κατευθείαν τις τωρινές τιμές των αισθητήρων MQ135, MQ7, θερμοκρασίας και υγρασίας. Κάθε τιμή έχει και ένα γραφικό που δείχνει πόσο κοντά είναι στο όριο που θα σε προειδοποιήσει. Έπειτα, υπάρχουν γραφήματα που αλλάζουν δυναμικά και είναι φτιαγμένα με την βιβλιοθήκη Chart.js. Αυτά δείχνουν τις τελευταίες μετρήσεις που έχουν καταγραφεί (20 συνολικά για κάθε μέτρηση), σε γραμμές. Επίσης, σε κάθε γράφημα υπάρχει μια οριζόντια γραμμή που δείχνει το σημείο που θα σε προειδοποιήσει ο συγκεκριμένος αισθητήρας. Και τρίτον, αν κάποια μέτρηση ξεπεράσει το κανονικό επίπεδο ασφάλειας, η εφαρμογή θα σου κάνει αυτόματα μια οπτική ειδοποίηση. Θα δεις δηλαδή ένα μήνυμα στην οθόνη που θα λέει για τον συγκεκριμένο αισθητήρα και πόσο έχει ξεπεράσει την κανονική τιμή. Τέλος, τα στοιχεία ανανεώνονται μόνα τους κάθε λεπτό με μια αυτόματη διαδικασία της JavaScript με όνομα setInterval(), και έτσι δεν χρειάζεται να κάνεις τίποτα εσύ για να έχεις τις τελευταίες πληροφορίες.

### 5.7.3 Σύγκριση Επιπέδων Παρακολούθησης

Η ενσωμάτωση της διαδικτυακής εφαρμογής GitHub Pages ολοκληρώνει ένα τριπλό σύστημα παρακολούθησης, το οποίο παρουσιάζεται συνοπτικά στον ακόλουθο πίνακα:

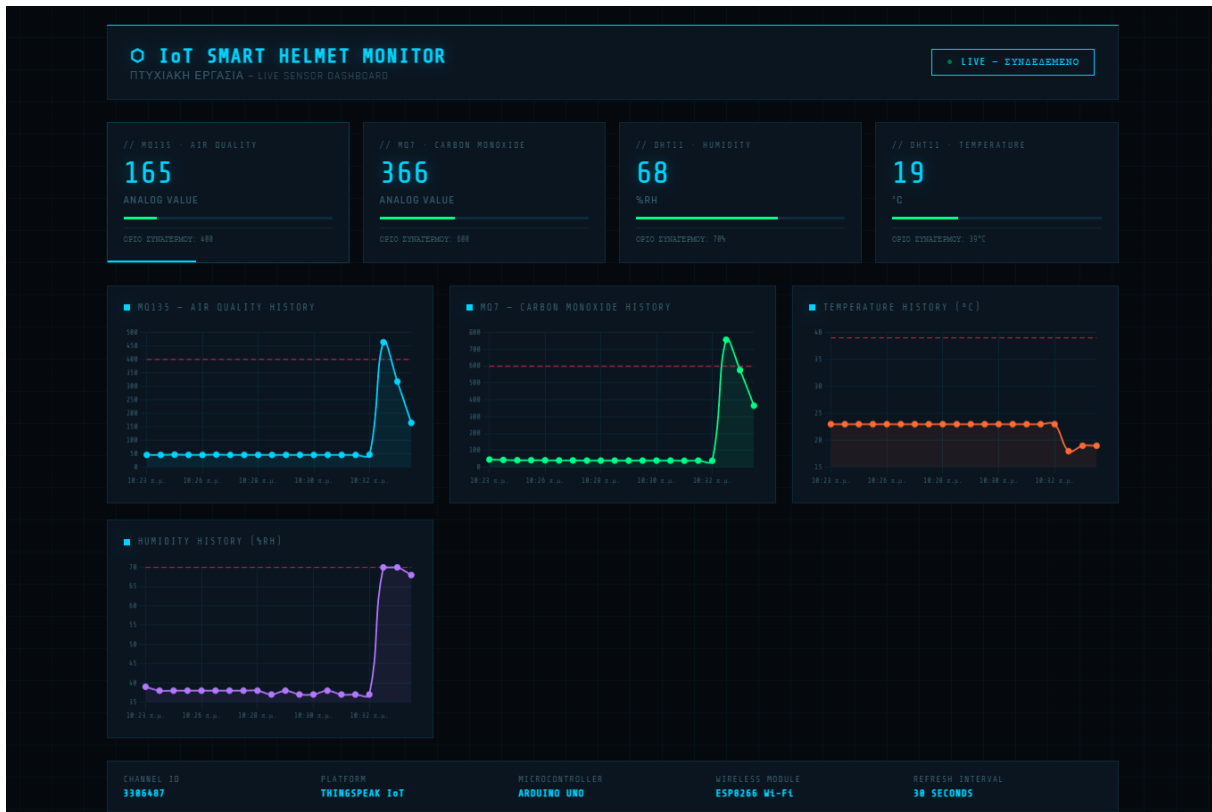
Επίπεδο	Μέσο	Πρόσβαση	Ανανέωση
Τοπικό	LCD 16×2	Φυσική παρουσία	Συνεχής
Νέφος	ThingSpeak	Διαδίκτυο	16 δευτερόλεπτα
Dashboard	GitHub Pages	Διαδίκτυο	30 δευτερόλεπτα

Πίνακας 5.1: Σύγκριση επιπέδων παρακολούθησης του συστήματος

### 5.7.4 Φιλοξενία μέσω GitHub Pages

Επέλεξα το GitHub Pages για να φιλοξενήσω την εφαρμογή για τρεις κύριους λόγους. Μας δίνει δωρεάν χώρο για στατικές ιστοσελίδες, με αυτόματη ασφάλεια HTTPS και έτσι έχουμε ασφαλή σύνδεση με άλλες υπηρεσίες στο διαδίκτυο. Επίσης, το GitHub Pages δουλεύει κατευθείαν με το Git για να οργανώνουμε τις εκδόσεις του κώδικα και να τον αλλάζουμε εύκολα. Και σημαντικότερο, η εφαρμογή αποκτά μια σταθερή, δημόσια διεύθυνση στο διαδίκτυο ([https://stergioustefanos.github.io/Diplwmatikh\\_Stergiou/](https://stergioustefanos.github.io/Diplwmatikh_Stergiou/)), που σημαίνει ότι μπορούμε να την ελέγχουμε από οπουδήποτε στον κόσμο, από οποιαδήποτε συσκευή.

## Τίτλος 5ου Κεφαλαίου: Υλοποίηση και ανάπτυξη



Εικόνα 5.2: Dashboard GitHub Pages — Πλήρης άποψη διαδικτυακής εφαρμογής παρακολούθησης.

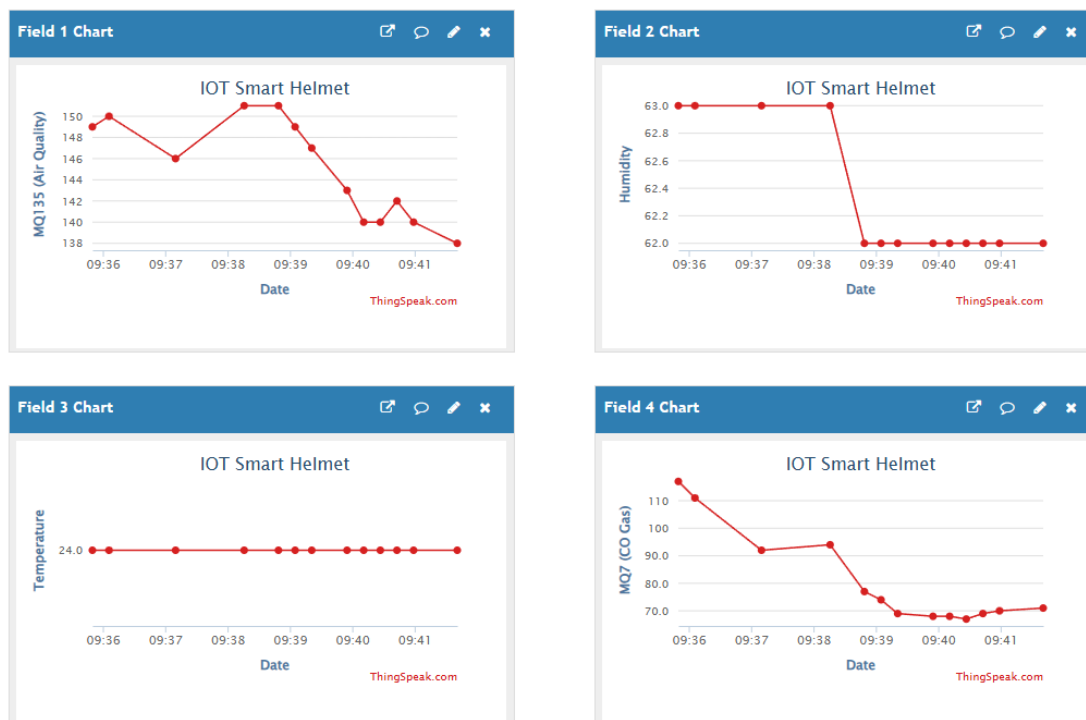
## Κεφάλαιο 6: Αποτέλεσμα και συζήτηση

### 6.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε και θα συζητήσουμε τα αποτελέσματα των δοκιμών που κάναμε στο έξυπνο στρατιωτικό κράνος. Οι δοκιμές έγιναν τόσο στο περιβάλλον σε συγκεκριμένες συνθήκες, όσο και σε συνθήκες που προσομοιάζουν επικίνδυνες ατμοσφαιρικές συνθήκες, για να βεβαιωθούμε ότι όλα τα μέρη του συστήματος δουλεύουν σωστά. Ελέγξαμε κυρίως πέντε πράγματα: πόσο καλά διαβάζουν οι αισθητήρες, πώς το σύστημα παρακολουθεί τι συμβαίνει στην πραγματικότητα, πώς εντοπίζει τους κινδύνους και όταν τους εντοπίσει τι συναγερμό δίνει, αν συνδέεται κανονικά με την πλατφόρμα ThingSpeak στο νέφος, και αν το σύστημα είναι αξιόπιστο και σταθερό όταν είναι σε λειτουργία για πολύ καιρό. Αυτά που θα δούμε στο κεφάλαιο βασίζονται στο τι κάναμε και είδαμε να κάνει το σύστημα, στις πληροφορίες στην οθόνη LCD, στα δεδομένα που κρατήσαμε στην πλατφόρμα ThingSpeak, και σε αυτά που έβγαλε στην οθόνη το Serial Monitor του Arduino IDE. Συνδυάσαμε και χρησιμοποιήσαμε όλες αυτές τις πηγές πληροφοριών για να αξιολογήσουμε το σύστημα σαν σύνολο και με τρόπο που δεν επηρεάζεται από προσωπικές απόψεις.

### 6.2 Ανάλυση Απόδοσης Αισθητήρων

Οι αισθητήρες ελέγχθηκαν σε δύο στάδια. Πρώτα χρησιμοποιήθηκαν σε καθαρό αέρα για να καταγραφούν κάποιες αρχικές τιμές, και έπειτα εκτέθηκαν σε καπνό και άλλους ρύπους ώστε να δούμε πόσο γρήγορα αντιδρούν και πόσο ευαίσθητοι είναι. Όταν οι αισθητήρες MQ135, MQ7 ήταν σε καθαρό αέρα, οι αναλογικές τους τιμές παρέμειναν σταθερές και όπως ήταν αναμενόμενο, επιβεβαιώθηκε πως είχαν βαθμονομηθεί σωστά και πως δεν υπήρχε πολύ θόρυβος στις μετρήσεις. Αυτές οι αρχικές τιμές χρησιμοποιήθηκαν ως σημείο σύγκρισης για να δούμε πως θα άλλαζαν όταν εκτίθενται σε ρύπους. Όταν ο καπνός εισήχθη στον χώρο των αισθητήρων, και στους δυο καταγράφηκε μια γρήγορη και μετρήσιμη αύξηση στις αναλογικές τιμές, απόδειξη της ευαισθησίας τους και του ότι ανταποκρίνονται άμεσα στους ρύπους του αέρα. Ο MQ7 αύξησε σταδιακά και σταθερά την αναλογική του τιμή όταν εκτέθηκε στον καπνό, κάτι που δείχνει την αυξανόμενη ποσότητα μονοξειδίου του άνθρακα. Ο MQ135 είχε ένα πιο γενικό τρόπο αντίδρασης επειδή αντιδρά σε πολλά πράγματα, και κατάφερε να ανιχνεύσει καλά την συνολική ρύπανση του αέρα. Το γεγονός ότι και οι δυο αισθητήρες άλλαξαν ταυτόχρονα έδειξε πως είναι αποτελεσματικό να χρησιμοποιούμε πολλούς αισθητήρες μαζί για να βρίσκουμε όλους τους κινδύνους στον αέρα. Ο αισθητήρας DHT11 μέτρησε θερμοκρασία και υγρασία με σταθερό και συνεχή τρόπο σε όλη τη διάρκεια των δοκιμών. Οι μικρές αλλαγές στις μετρήσεις του ήταν ακριβώς όπως ήταν και στο περιβάλλον, αποδεικνύοντας πως η ψηφιακή επικοινωνία του με τον μικροελεγκτή λειτουργούσε αξιόπιστα.



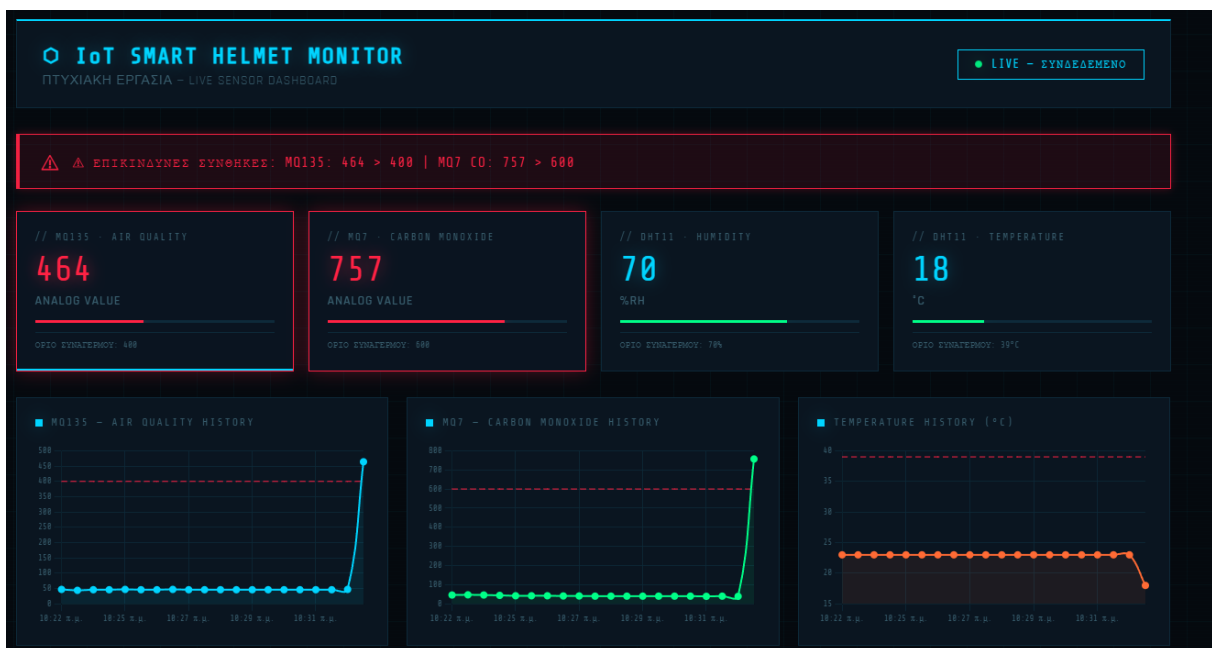
Εικόνα 6.1: ThingSpeak Channel — Γραφήματα Field 1–4 (MQ135, Υγρασία, Θερμοκρασία, MQ7)

### 6.3 Συμπεριφορά Παρακολούθησης σε Πραγματικό Χρόνο

Οι συνεχείς έλεγχοι έδειξαν ότι το σύστημα δουλεύει κανονικά, επαναλαμβάνοντας συνεχώς την ίδια διαδικασία χωρίς να σταματάει ή να χάνονται πληροφορίες. Κάθε φορά που ο κώδικας loop() ξαναρχίζει, διαβάζει τις τιμές από τους αισθητήρες, ελέγχει αν είναι εντός των ορίων που θέλουμε, ανανεώνει την οθόνη LCD και στέλνει τις πληροφορίες στο διαδίκτυο, και το κάνει αυτό σωστά σε κάθε επανάληψη. Η οθόνη LCD έδειχνε αμέσως τις τιμές των αισθητήρων MQ135 και MQ7 στην πρώτη γραμμή και υγρασίας, θερμοκρασίας και IR στη δεύτερη. Οι τιμές αυτές ήταν εύκολες στο διάβασμα και σταθερές, δεν έκαναν διακοπές, κάτι που σημαίνει ότι ο προγραμματισμός του συστήματος διαχειρίζεται σωστά το χρόνο. Το σύστημα δούλεψε συνεχόμενα για αρκετή ώρα κατά τις δοκιμές, αποδεικνύοντας ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολύ καιρό σε εξωτερικούς χώρους.

## 6.4 Ανίχνευση Κινδύνου και Απόκριση Συναγερμού

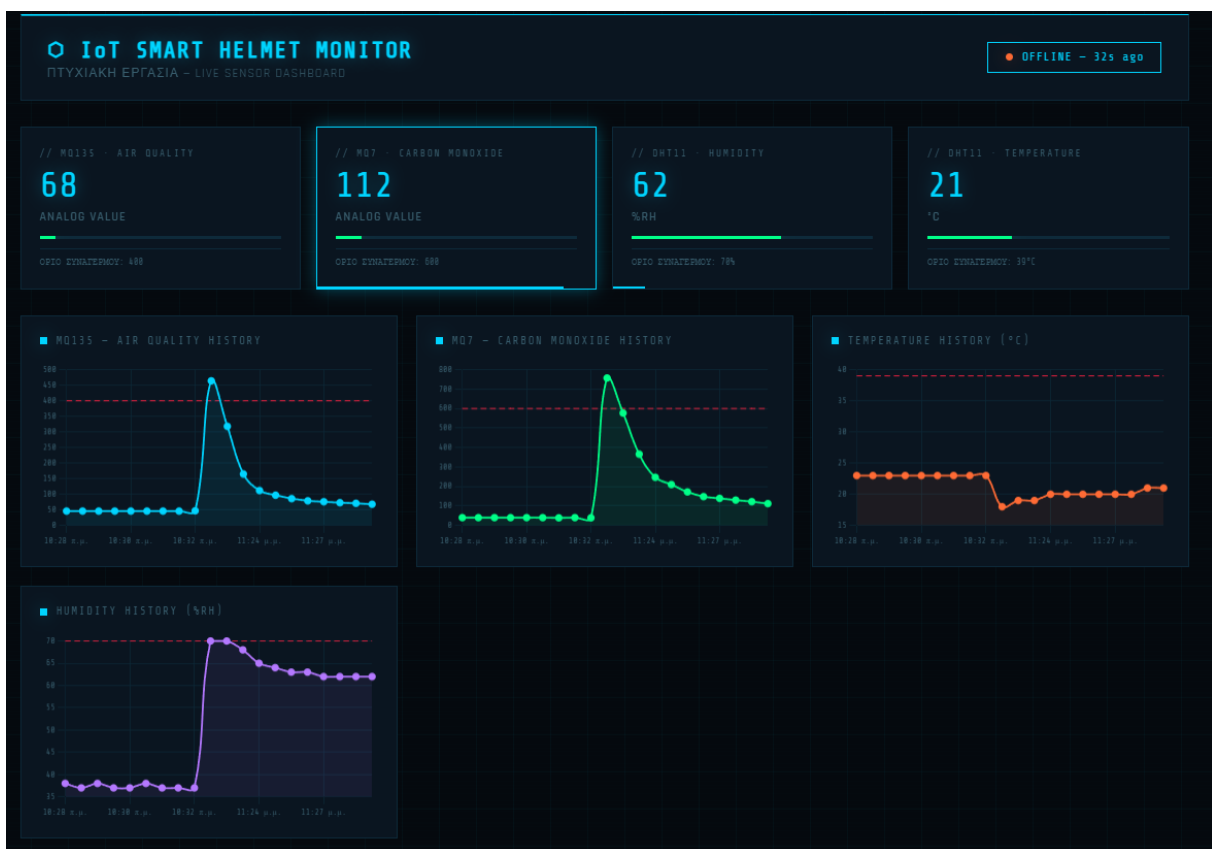
Το πόσο γρήγορα αντιδρούσε ο συναγερμός ήταν ένας από τους σημαντικότερους τρόπους να ελεγχθεί πόσο καλά δούλεψε όλο το σύστημα. Στις δοκιμές, για να ξεπεραστούν τα όρια ασφαλείας χρησιμοποιήθηκαν καπνός, καθώς και σκόπιμη αύξηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Από τα αποτελέσματα φάνηκε πως το σύστημα ανταποκρινόταν σχεδόν αμέσως όταν κάποιο όριο ξεπεραστεί: ο ηχητικός συναγερμός και στις δύο συσκευές (buzzers) ενεργοποιούνταν άμεσα. Η μικρή καθυστέρηση από τη στιγμή που το σύστημα αντιλαμβάνεται τον καπνό ή τη θερμοκρασία μέχρι να δουλέψει ο συναγερμός είναι κυρίως λόγω του χρόνου που χρειάζονται οι αισθητήρες MQ-series για να δείξουν τι συμβαίνει. Ο μικροελεγκτής που διαβάζει τις μετρήσεις και αποφασίζει τι να κάνει, αυτό το κάνει τόσο γρήγορα που δεν τον καθυστερεί καθόλου. Όταν οι θερμοκρασία, η υγρασία και τα άλλα χαρακτηριστικά επανέρχονται σε κανονικά επίπεδα ο συναγερμός σβήνει αυτόματα, και σε όλες τις δοκιμές αυτό δούλεψε όπως έπρεπε, επιβεβαιώνοντας ότι ο τρόπος που ελέγχονται τα όρια είναι σωστός.



Εικόνα 6.2: Dashboard GitHub Pages — Ενεργοποίηση banner συναγερμού

## 6.5 Αποτελέσματα Επικοινωνίας με το Νέφος

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, το ESP8266 έστειλε κανονικά πληροφορίες στο ThingSpeak κάθε 16 δευτερόλεπτα. Οι τιμές των MQ135, της υγρασίας, της θερμοκρασίας, και των MQ7 ανέβαιναν χωρίς προβλήματα στο κανάλι του ThingSpeak και εμφανίζονται αυτόματα σε γραφήματα που αλλάζουν σε πραγματικό χρόνο σε οποιαδήποτε συσκευή με πρόσβαση στο διαδίκτυο. Όταν το δίκτυο ήταν φυσιολογικό, η σύνδεση μεταξύ των συσκευών ήταν συνεχής. Αν για κάποιον σύντομο χρόνο διακόπτεται το Wi-Fi, το σύστημα το αντιμετωπίζει από μόνο του και ξαναστέλνει τις πληροφορίες στον επόμενο κύκλο λειτουργίας του (δεν χρειάζεται να το ξαναβάλεις σε λειτουργία). Επειδή το ThingSpeak αποθηκεύει τις προηγούμενες τιμές, μπορείς αργότερα να δεις τις περιβαλλοντικές συνθήκες και να καταλάβεις τι έχουν δείξει οι μετρήσεις σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, δείχνοντας πως είναι πολύ χρήσιμο για να παρακολουθείς κάτι για καιρό και να βλέπεις πως αλλάζει.



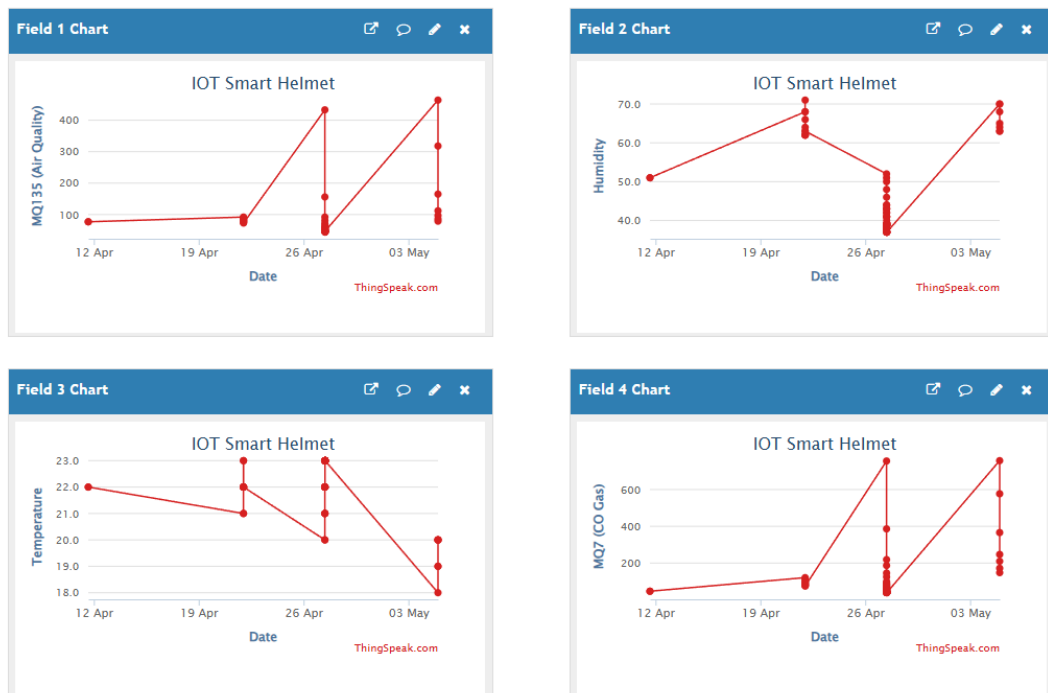
Εικόνα 6.3: Dashboard GitHub Pages — Κατάσταση OFFLINE

## 6.6 Αξιοπιστία και Σταθερότητα Συστήματος

Οι εκτενείς δοκιμές έδειξαν πως το σύστημα δουλεύει σταθερά, δεν παρουσιάζει καθόλου λάθη στο λογισμικό, δεν χάνονται πληροφορίες και δεν σταματάει να λειτουργεί. Ο θόρυβος από τους αισθητήρες που μετρούν συνεχώς, αντιμετωπίστηκε εύκολα με το σύστημα της συνεχούς ανάγνωσης, που εξομαλύνει τις μικρές αλλαγές στις μετρήσεις. Το σύστημα είχε συνεχώς κανονική παροχή ρεύματος, κάτι που διατηρούσε σταθερές τις τιμές που έδιναν οι αισθητήρες και αντιμετωπίζει τα προβλήματα στην επικοινωνία που γίνονται συχνά όταν αλλάζει η τάση του ρεύματος. Το σύστημα δούλεψε για αρκετή ώρα χωρίς να διακόπτεται, αποδεικνύοντας πως η κατασκευή και ο τρόπος που είναι γραμμένο το λογισμικό του επιτρέπουν να λειτουργεί απρόσκοπτα για πολύ καιρό σε μετακινούμενες εφαρμογές. Το να συλλέγει ο αισθητήρας, να επεξεργάζεται, να δείχνει τα αποτελέσματα, να δίνει κάποια ειδοποίηση και να μεταδίδει τα δεδομένα ασύρματα, όλα αυτά σε ένα σύστημα σε μικρή πλακέτα ήταν κάτι που έγινε και δούλεψε καλά.

### Channel Stats

Created: `about.a.month.ago`  
Last entry: `less.than.a.minute.ago`  
Entries: 484



Εικόνα 6.4: ThingSpeak Channel Stats — 484 εγγραφές, επιβεβαίωση συνεχούς μετάδοσης δεδομένων

## 6.7 Συγκριτική Αξιολόγηση Απόδοσης

Σε σχέση με τα συνηθισμένα μέσα ατομικής προστασίας, το έξυπνο στρατιωτικό κράνος που δημιουργήθηκε είναι πολύ καλύτερο σε τρία σημαντικά πράγματα. Αρχικά, με το να μετράει συνεχώς και αυτόματα, δεν χρειάζεται κάποιος να χρησιμοποιεί ξεχωριστά μηχανήματα για να ελέγχει κάτι, έτσι αποφεύγονται λάθος χειρισμοί ή το να μην γίνει καθόλου ο έλεγχος. Επίσης, ο στρατιώτης ενημερώνεται αμέσως με έναν ήχο για κάτι που είναι επικίνδυνο, κάτι που είναι σημαντικό για να το μάθει, ανεξάρτητα από το πόσο προσεκτικός είναι ή αν κοιτάζει την οθόνη. Τέλος, το κράνος μπορεί να ελεγχθεί από απόσταση μέσω του διαδικτύου, έτσι όσοι είναι σε ένα κέντρο διαχείρισης ή οι υπεύθυνοι για την ασφάλεια, μπορούν να βλέπουν τις συνθήκες γύρω από τους στρατιώτες που βρίσκονται σε ένα μέρος. Αυτή η μέθοδος που έχει διπλό σκοπό, δηλαδή ο στρατιώτης να ενημερώνεται αμέσως και ταυτόχρονα να γίνεται από μακριά έλεγχος, είναι πολύ καλύτερη από τα απλά μηχανήματα που ελέγχουν μόνο στο σημείο που είναι και δεν μπορούν να ελεγχθούν από ένα κεντρικό σημείο.

## 6.8 Όρια και Περιορισμοί

Από τις δοκιμές που κάναμε και έδωσαν γενικά καλά αποτελέσματα, βρήκαμε κάποια πράγματα που πρέπει να πούμε. Οι αισθητήρες MQ-series για να δείξουν σωστά τι μετρούν, χρειάζονται λίγο χρόνο να ζεσταθούν αφού ανοίξεις το σύστημα και έτσι δεν μπορείς να αρχίσεις να τους πιστεύεις αμέσως. Επίσης, το πόσο καλά ανιχνεύουν τα αέρια επηρεάζεται από τον αέρα, και σε τέτοιες περιπτώσεις οι μετρήσεις μπορεί να αλλάζουν λίγο. Όσο για το να στέλνει το σύστημα πληροφορίες ασύρματα, χρειάζεται να έχει σύνδεση σε δίκτυο Wi-Fi για να μπορείς να δεις τι γίνεται από μακριά. Αυτό είναι ένα αρκετά σημαντικό πρόβλημα για μέρη που δεν έχουν Wi-Fi. Παρόλα αυτά, ακόμα και αν δεν υπάρχει δίκτυο, ο ανιχνευτής δουλεύει και θα σου πει αν υπάρχει πρόβλημα, έτσι ώστε να προστατευτείς. Τέλος, το Arduino UNO δεν έχει και τόσες πολλές εισόδους για να συνδέσεις ψηφιακά και αναλογικά πράγματα, άρα, δεν μπορείς εύκολα να προσθέσεις πολλούς ακόμη αισθητήρες χωρίς να αλλάξεις το Arduino.

## 6.9 Συγκριτική Αξιολόγηση με Υπάρχοντα Συστήματα

Δεν γίνεται να έχει κανείς μια ολοκληρωμένη εικόνα για ένα νέο τεχνολογικό σύστημα αν δεν το βάλει σε σύγκριση με ό,τι υπάρχει ήδη και απαντά σε ανάλογα προβλήματα. Για τον λόγο αυτόν, εδώ κάνουμε μια συστηματική αξιολόγηση του έξυπνου κράνους που αναπτύξαμε, αντιμέτωπο με τρεις διαφορετικούς τύπους υφιστάμενων λύσεων: τους επαγγελματικούς CBRN ανιχνευτές, τα ακαδημαϊκά συστήματα που βρίσκουμε στη βιβλιογραφία και έχουν την ίδια φιλοσοφία, καθώς και τα μεγάλα στρατιωτικά προγράμματα εκσυγχρονισμού του εξοπλισμού, όπως εξετάσαμε στο Κεφάλαιο 2.

### **6.9.1 Σύγκριση με Επαγγελματικά Συστήματα Ανίχνευσης CBRN**

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι τα CBRN συστήματα (χημικά, βιολογικά, ραδιολογικά και πυρηνικά) είναι η πιο ώριμη τεχνολογία για την ανίχνευση περιβαλλοντικών κινδύνων. Στρατιωτικές και αστυνομικές μονάδες σε κάθε γωνιά του πλανήτη στέκονται πίσω από μοντέλα επαγγελματικής κατηγορίας, όπως το Smiths Detection LCD 3.3, το Bruker RAID-M 100 ή το Environics ChemProX, ώστε να εντοπίζουν χημικούς παράγοντες με ακρίβεια ppb. Ωστόσο, αυτό έχει το κόστος του: μιλάμε για μηχανήματα που ζυγίζουν συνήθως παραπάνω από 2 κιλά, απαιτούν ειδικά εκπαιδευμένο χειριστή και η τιμή τους ανά μονάδα κυμαίνεται από 5.000 ευρώ έως και 50.000. Εδώ θα λέγαμε ότι το σύστημα που σας παρουσιάζουμε είναι κάτι διαφορετικό. Δεν χρειάζεται να είστε εξειδικευμένος για να το χρησιμοποιήσετε. Με ένα βάρος που δεν κουράζει και υλικά κάτω από τα 50 ευρώ, δίνει μια σχετική εκτίμηση των τοξικών αερίων, αρκετή για λόγους ασφαλείας. Φυσικά, κανείς δεν θα ισχυριστεί άδικα ότι το πρωτότυπό μας ξεπερνά τις επαγγελματικές λύσεις. Αλλά η σύγκριση αποδεικνύει την προστιθέμενη αξία του εκεί όπου η ακρίβεια ppb δεν ζητείται, ενώ πρωτεύων σημασία έχουν η φορητότητα, η αυτόματη παρακολούθηση και φυσικά η οικονομία.

### **6.9.2 Σύγκριση με Ακαδημαϊκά Συστήματα από τη Βιβλιογραφία**

Στο Κεφάλαιο 2 έχουμε ήδη αναφερθεί σε μερικές εργασίες της ακαδημαϊκής βιβλιογραφίας που διώκουν στόχους ανάλογους με τους δικούς μας. Βάζοντας το σύστημά μας δίπλα σε αυτές, η συγκριτική του εικόνα ξεκαθαρίζει και βλέπουμε τόσο τα πλεονεκτήματα όσο και τις αδυναμίες της υλοποίησής του. Πάρτε για παράδειγμα τις μελέτες που κάνουν χρήση ενός μόνου αισθητήρα αερίου: εμείς εξασφαλίζουμε μεγαλύτερη κάλυψη παρακολουθώντας μαζί τον MQ135 και τον MQ7, ώστε να καλύψουμε γενικούς ρύπους της ατμόσφαιρας και το μονοξείδιο του άνθρακα ειδικότερα. Ομοίως, όπου οι άλλες εργασίες στερούνται remote παρακολούθησης, η δική μας λύση κερδίζει έδαφος χάρη στο ThingSpeak και το GitHub Pages Dashboard, καθιστώντας το σύστημα ιδανικό όταν χρειάζεται κεντρική εποπτεία. Αν όμως το μετρήσουμε με λύσεις σε μικροελεγκτές πιο ικανούς όπως τον ESP32 ή τον Raspberry Pi, θα δούμε ότι υπάρχουν περιορισμοί στην υπολογιστική ισχύ για την επεξεργασία σήματος και στον αριθμό των αισθητήρων που μπορούν να ενσωματωθούν.

Τίτλος 5ου Κεφαλαίου: Υλοποίηση και ανάπτυξη

Για να σας δώσουμε μια συνοπτική άποψη του πώς αξιολογείται το σύστημά μας απέναντι σε χαρακτηριστικές σημερινές προτάσεις, ακολουθεί ο πίνακας:

Χαρακτηριστικό	Παρόν Σύστημα	Επαγγελματικό CBRN	Ακαδημαϊκό Σύστημα (μέσος όρος)	Στρατιωτικό Πρόγραμμα (FELIN κ.λπ.)
Κόστος υλικών	~50€	>5.000€	~100–500€	>10.000€/στρατιώτη
Ανίχνευση CO	πλήρης υποστήριξη	πλήρης υποστήριξη	απουσία	απουσία
Ανίχνευση ρύπων	πλήρης υποστήριξη	πλήρης υποστήριξη	απουσία	απουσία
Θερμοκρασία/Υγρασία	πλήρης υποστήριξη	πλήρης υποστήριξη	πλήρης υποστήριξη	απουσία
Τοπική ειδοποίηση	πλήρης υποστήριξη	πλήρης υποστήριξη	πλήρης υποστήριξη	απουσία
Απομακρυσμένη εποπτεία	πλήρης υποστήριξη	απουσία	απουσία	πλήρης υποστήριξη
Web Dashboard	πλήρης υποστήριξη	απουσία	απουσία	πλήρης υποστήριξη
Φορετό σε κράνος	πλήρης υποστήριξη	μερική υποστήριξη	μερική υποστήριξη	μερική υποστήριξη
Αυτόνομη λειτουργία	πλήρης υποστήριξη	πλήρης υποστήριξη	πλήρης υποστήριξη	πλήρης υποστήριξη
Open source	πλήρης υποστήριξη	απουσία	πλήρης υποστήριξη	απουσία
Επεκτασιμότητα	πλήρης υποστήριξη	απουσία	πλήρης υποστήριξη	μερική υποστήριξη
Εκπαίδευση χειριστή	Δεν απαιτείται	Απαιτείται	Δεν απαιτείται	Απαιτείται

Πίνακας 6.1: Συγκριτική αξιολόγηση του αναπτυχθέντος συστήματος έναντι υφιστάμενων λύσεων

### 6.9.3 Ανάλυση Κόστους-Αποτελεσματικότητας

Με ένα συνολικό κόστος περίπου στα 50 ευρώ, το σύστημα μας είναι αρκετά προσιτό οικονομικά ώστε να επιτρέψει μια ευρεία ανάπτυξη. Αν θέλουμε να το μετρήσουμε με κάτι, ένας επαγγελματικός ανιχνευτής CO των 500 ευρώ μπορεί να υποκατασταθεί από περίπου 10 τέτοια ολοκληρωμένα συστήματα έξυπνου κράνους. Και δεν είναι απλή αντικατάσταση, καθώς κάθε ένα από αυτά προσφέρει και LCD οθόνη, πολυπαραμετρική ανίχνευση και δυνατότητες απομακρυσμένης παρακολούθησης που λείπουν από τον απλό ανιχνευτή.

Έχει τη δική της βαρύτητα αυτό το θέμα, ειδικά όταν θες να εξοπλίσεις μαζικά αλλά οι πόροι δεν είναι άφθονοι. Αυτό ισχύει για μικρότερες στρατιωτικές μονάδες ή οργανισμούς πολιτικής προστασίας, όπως και σε βιομηχανίες με πολύ κόσμος.

### 6.9.4 Ανάλυση Δυνατών Σημείων, Αδυναμιών, Ευκαιριών και Απειλών (SWOT)

Για να βάλουμε την τελική σφραγίδα στην αξιολόγηση του συστήματος που αναπτύξαμε, προβαίνουμε σε μια ανάλυση SWOT. Έτσι έχουμε μια συνθετική άποψη για το πού στέκει το σύστημα στο ευρύτερο επιχειρησιακό και τεχνολογικό τοπίο.

#### Δυνατά Σημεία (Strengths):

Το πιο σημαντικό είναι η ικανότητα πολυπαραμετρικής παρακολούθησης μέσα από ένα συμπαγές, ενιαίο σύνολο. Δεν θα βρείτε σε εύκολα συστήματα με αντίστοιχο κόστος την ταυτόχρονη μέτρηση CO (MQ7), θερμοκρασίας/υγρασίας (DHT11), παρουσίας (IR) και γενικών ρύπων (MQ135) μαζί με διπλό κανάλι ειδοποίησης, τοπικό και απομακρυσμένο. Άλλο ένα πλεονέκτημα είναι η ανοιχτή αρχιτεκτονική: χάρη στις πλατφόρμες ανοιχτού κώδικα (Arduino, ThingSpeak, GitHub Pages) οποιοσδήποτε με τις στοιχειώδεις δεξιότητες σε ηλεκτρονικά και προγραμματισμό μπορεί να το επεκτείνει, να το τροποποιήσει ή να το αναπαράγει. Τέλος, το γεγονός ότι ενσωματώνεται σε κράνος επιτρέπει στον στρατιώτη να παρακολουθείται αδιάλειπτα χωρίς να χρειάζεται να ασχολείται ενεργά.

#### Αδυναμίες (Weaknesses):

Εδώ η εξάρτηση από Wi-Fi για την απομακρυσμένη παρακολούθηση είναι το κυριότερο μειονέκτημα. Δεν μιλάμε για επαγγελματικά όργανα με αυτόνομες ραδιοζεύξεις ή δορυφορικά, αλλά για ένα σύστημα που θέλει δίκτυο στη ζώνη λειτουργίας του. Επίσης, οι αισθητήρες MQ-series δεν έχουν την ακρίβεια των ηλεκτροχημικών: οι αναλογικές τους τιμές δίνουν μια μερική εικόνα της συγκέντρωσης αερίων, όχι όμως ppm μετρήσεις εκτός αν έχει γίνει βαθμονόμηση. Υπάρχει και ο χρόνος προθέρμανσής τους, κάτι που καθυστερεί ελαφρώς την έναρξη μιας αξιόπιστης ανάγνωσης μόλις τρέξει το σύστημα.

#### Ευκαιρίες (Opportunities):

Το IoT εξελίσσεται ραγδαία και αυτό ανοίγει πόρτες. Αντικαθιστώντας το Wi-Fi με LoRa ή NB-IoT θα ξεπερνούσαμε το ζήτημα της τοπικής υποδομής και θα φτάναμε σε πιο απομακρυσμένα σημεία. Με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης στα δεδομένα του ThingSpeak θα μπορούσαμε να προβλέπουμε κινδύνους πριν ξεπεραστούν τα όρια. Αλλά και η αγορά προσφέρεται: με την αυξημένη εστίαση στην

ασφάλεια του ανθρώπου σε επικίνδυνες εργασίες, το πεδίο εφαρμογής μας δεν περιορίζεται στον στρατό, αλλά απλώνεται στην εξόρυξη, τη χημική βιομηχανία, τα εργοτάξια και τους πυροσβέστες.

Απειλές (Threats):

Η ανταγωνιστική τεχνολογία κινείται γρήγορα και αυτή είναι η μεγαλύτερη πρόκληση για τη βιωσιμότητά μας. Εμπορικές λύσεις IoT γίνονται όλο και πιο προσιτές, ενώ οι μεγάλοι παίκτες της αμυντικής βιομηχανίας δίνουν πόρους σε ολοκληρωμένα φορητά συστήματα. Μην ξεχνάμε και την κυβερνοασφάλεια: κάθε IoT σύστημα πεδίου είναι ευάλωτο σε παραποίηση ή παρακολούθηση αν δεν ληφθούν τα αναγκαία μέτρα κρυπτογράφησης. Και φυσικά, η κρίση ημιαγωγών που έχει απλωθεί τα τελευταία χρόνια στην ηλεκτρονική βιομηχανία δημιουργεί αβεβαιότητα για τη διαθεσιμότητα των εξαρτημάτων που χρειαζόμαστε για μαζική παραγωγή.

### 6.9.5 Συνολική Αξιολόγηση και Τοποθέτηση στο Τεχνολογικό Τοπίο

Από τη συγκριτική ανάλυση σε όλες τις πτυχές της, αποδεικνύεται πως το σύστημα που κατασκευάσαμε έχει ήδη καθιερωθεί στο τεχνολογικό σκηνικό των μέσων ασφαλείας. Δεν είναι ούτε σκοπός μας να αντιπαρατεθούμε με τα CBRN επαγγελματικής κατηγορίας, τουλάχιστον όσον αφορά την ακρίβεια ή την αντοχή τους όταν οι συνθήκες γίνονται ακραίες. Έχουμε άλλες προτεραιότητες: απευθυνόμαστε σε ένα τμήμα της αγοράς που μέχρι σήμερα δεν εξυπηρετούνταν όπως έπρεπε, αυτό των φθηνών, φορητών IoT συστημάτων για πολυπαραμετρική περιβαλλοντική παρακολούθηση. Όσο για τη στρατιωτική πλευρά, η προσέγγισή μας αποτελεί μια άψογη from-of-concept, ότι δηλαδή είναι εφικτό να εντάξεις IoT αισθητήρες στον οπλισμό του στρατιώτη χωρίς να σου κοστίζουν. Ακαδημαϊκά μιλώντας, δίνουμε ένα δείγμα σχεδιασμού και αξιολόγησης ενός ολοκληρωμένου IoT συστήματος, πλήρως τεκμηριωμένο και επεκτάσιμο, ώστε να αποτελέσει αφορμή για όποιον θέλει να ασχοληθεί με το θέμα στο μέλλον. Βεβαίως, από εδώ ως ένα στρατιωτικό προϊόν επιχειρησιακής ετοιμότητας υπάρχει πολύς δρόμος, με την αναγκαία επένδυση σε κυβερνοασφάλεια, δοκιμές και αξιοπιστία. Ωστόσο, η κατεύθυνση είναι ξεκάθαρη. Ο εξοπλισμός του αύριο θα είναι διασυνδεδεμένος και έξυπνος, μετατρέποντας τον στρατιώτη σε κόμβο ενός ευρύτερου δικτύου. Με το παρόν έργο έχουμε κάνει ένα βήμα προς αυτή την κατεύθυνση.

## Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και μελλοντική εργασία

### 7.1 Συμπεράσματα

Αυτή η πτυχιακή μελέτη αφορά τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τον πειραματικό έλεγχο ενός έξυπνου στρατιωτικού συστήματος που παρακολουθεί τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Το σύστημα αυτό είναι χτισμένο μέσα σε ένα κράνος που χρησιμοποιούν οι στρατιώτες και χρησιμοποιεί τεχνολογίες του διαδικτύου των πραγμάτων. Σχεδιάστηκε για να καλύψει μια πραγματική ανάγκη: οι στρατιώτες που βρίσκονται σε επικίνδυνα μέρη δεν έχουν τρόπους να τους προειδοποιήσουν για αέριες ουσίες που δεν φαίνονται. Χρησιμοποιώντας τον μικροελεγκτή Arduino UNO, τους αισθητήρες MQ135, MQ7(που εντοπίζουν αέρια), τον αισθητήρα DHT11 (για θερμοκρασία και υγρασία), τον αισθητήρα IR (που διαπιστώνει αν υπάρχει κάποιος κοντά), την οθόνη LCD 16x2 (που δείχνει τα δεδομένα στο κράνος), τον ηχητικό συναγερμό (για να ειδοποιεί αμέσως τον στρατιώτη) και το Wi-Fi ESP8266 (που στέλνει δεδομένα ασύρματα στο ThingSpeak) καταφέραμε να φτιάξουμε ένα σύστημα που δουλεύει καλά, είναι σίγουρο ότι θα λειτουργήσει και είναι πλήρες. Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν ότι το σύστημα πετυχαίνει όλα όσα θέλαμε να κάνει. Οι αισθητήρες αερίων ήταν πολύ ευαίσθητοι και ανταποκρίθηκαν σωστά όταν υπήρχαν μολύνσεις στον αέρα, ο συναγερμός χτυπούσε σχεδόν αμέσως όταν οι συνθήκες ήταν επικίνδυνες, η οθόνη LCD έδειχνε τις μετρήσεις καθαρά και συνεχώς, και η σύνδεση με το ThingSpeak ήταν σταθερή σε όλη τη διάρκεια των δοκιμών. Το σύστημα μπορεί να ειδοποιεί τον στρατιώτη επί τόπου και ταυτόχρονα να στέλνει πληροφορίες εξ αποστάσεως μέσω IoT. Γενικά, η εργασία δείχνει ότι είναι τεχνικά δυνατό, πρακτικό και σημαντικό να προσθέσουμε τεχνολογίες IoT και ενσωματωμένα συστήματα στα συνηθισμένα προστατευτικά που χρησιμοποιούμε, ώστε να κάνουμε πιο ασφαλείς τους ανθρώπους που εργάζονται σε επικίνδυνα περιβάλλοντα. Το σύστημα που φτιάξαμε μετατρέπει το απλό κράνος σε ένα έξυπνο σύστημα που γνωρίζει το περιβάλλον, μπορεί να εντοπίσει κινδύνους που δεν φαίνονται, να ειδοποιήσει αμέσως τον στρατιώτη και να ενημερώσει από μακριά τις μονάδες διοίκησης και παρακολούθησης.

### 7.2 Κριτική Αξιολόγηση της Μεθοδολογίας Ανάπτυξης

Αν εξετάσουμε την πορεία ανάπτυξης του συστήματος, θα διαπιστώσουμε ότι οι μεθοδολογικές επιλογές που έγιναν αφορούν ζητήματα τα οποία αξίζει να εκτιμηθούν, εφόσον βοηθούν στην κατανόηση των αποτελεσμάτων και χαράζουν το δρόμο για ό,τι ακολουθεί. Δεν πρόκειται βεβαίως για μια κριτική που θέλει να υποβαθμίσει όσα πέτυχε η εργασία, αλλά για μια επιστημονικά τίμια προσέγγιση που αναδεικνύει ισάξια και τις αδυναμίες και τα δυνατά σημεία της μεθοδολογίας. Ειδικά, η μέθοδος ολοκλήρωσης, όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 4.2, απέδωσε πολύ καλά στην πράξη. Το γεγονός ότι ενσωματώναμε και επαληθεύαμε κάθε υποσύστημα ξεχωριστά πριν προχωρήσουμε στο σύνολο, μας έδινε τη δυνατότητα να διαχειριστούμε εγκαίρως τεχνικά προβλήματα, από θέματα χρονισμού στο SoftwareSerial και αστάθεια τάσης όταν λειτουργούσαν παράλληλα πολλοί αισθητήρες, μέχρι τη ρύθμιση της ESP8266. Με μια άμεση ολοκλήρωση αυτά θα ήταν σίγουρα πιο δύσκολο να αντισταθμιστούν. Για αυτό και θα συνιστούσαμε ανεπιφύλακτα την ίδια πρακτική σε παρόμοιες μελλοντικές εργασίες. Ταυτόχρονα, όμως, υπάρχουν μεθοδολογικοί περιορισμοί που πρέπει να αναγνωριστούν. Η αξιολόγηση των αισθητήρων αερίων δεν έγινε με πιστοποιημένα αέρια αναφοράς, οπότε αποκλείεται η βαθμονόμησή τους σε ppm. Ο καπνός είναι μια ασφαλής και εύχρηστη πηγή ρύπων, αλλά δεν μπορεί να δώσει μια ποσοτική εικόνα της ευαισθησίας. Επίσης, δεδομένου ότι πρόκειται για πτυχιακή εργασία, ο αριθμός των δοκιμών ήταν περιορισμένος και δεν μπορούμε να βγάλουμε στατιστικά συμπεράσματα για την αξιοπιστία του συστήματος σε όλες τις περιπτώσεις. Τέλος, η τοποθέτηση στο κράνος δεν συνοδεύτηκε από εκτενή έλεγχο εργονομίας, κάτι που θα ήταν απαραίτητο σε ένα πραγματικό επιχειρησιακό πλαίσιο.

### 7.3 Συνεισφορά της Εργασίας

Αυτή η εργασία προσφέρει κάτι σημαντικό σε τρεις τομές. Από πλευράς τεχνολογίας, δημιουργήθηκε ένα σύστημα που δουλεύει, και σε αυτό συνδυάζονται αρκετοί αισθητήρες και λογική που αποφασίζει τι γίνεται όταν οι τιμές των αισθητήρων φτάσουν ένα συγκεκριμένο όριο. Όλα σε μία συσκευή που μπορεί να φορεθεί εύκολα, είναι φθηνή και δεν ξοδεύει πολύ ρεύμα. Στον επιχειρησιακό τομέα, το σύστημα έχει δύο επιπλέον τρόπους να προστατεύει: έναν τοπικό και έναν απομακρυσμένο, με αποτέλεσμα να προστατεύεται καλύτερα ο κάθε στρατιώτης, και ταυτόχρονα να μπορούν τα κέντρα ελέγχου να γνωρίζουν τι γίνεται. Όσο για την έρευνα γενικά, η εργασία προσθέτει κάτι και σε όσα γνωρίζουμε για το πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τεχνολογίες του IoT σε συστήματα ασφαλείας που είναι φορητά, και μας δίνει ένα καλό παράδειγμα για το πώς μπορεί κάποιος να σχεδιάσει, να φτιάξει και να δει αν δουλεύει ένα τέτοιο σύστημα. Εκτός από αυτά, το σύστημα αυτό μπορεί να γίνει καλύτερο και να προσαρμοστεί σε διαφορετικές δουλειές, όχι μόνο στον στρατό, αλλά και στην εξόρυξη μεταλλείων, στις χημικές εταιρίες, στις ομάδες που σβήνουν φωτιές και διασώζουν ανθρώπους, ακόμη και στα εργοτάξια. Αυτή η ευελιξία δείχνει πως γενικά η ιδέα του συστήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλά διαφορετικά μέρη που χρειάζονται ασφάλεια και μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε αυτά.

### 7.4 Επιστημονική και Τεχνολογική Συνεισφορά

Με τρεις διαφορετικούς τρόπους η εργασία αυτή προσφέρει κάτι στη συλλογική επιστημονική γνώση, και θα ήταν χρήσιμο να τα εξετάσουμε ξεχωριστά.

Τεχνικά, δίνει στα χέρια του αναγνώστη μια υλοποίηση ανοιχτού κώδικα για ένα ολοκληρωμένο IoT σύστημα παρακολούθησης περιβάλλοντος με φορητή εφαρμογή, η οποία είναι άρτια τεκμηριωμένη. Όποιος ερευνητής θέλει στο μέλλον να φτιάξει κάτι ανάλογο, θα βρει εδώ το απαραίτητο σημείο αναφοράς, με όλες τις λεπτομέρειες για την αρχιτεκτονική του hardware, τον λογισμικό, τη ρύθμιση στο ThingSpeak και το Dashboard των GitHub Pages. Μία πτυχή που ξεχωρίζει και δεν συναντά κανείς στην υπάρχουσα βιβλιογραφία είναι η δημιουργία ενός δικού μας web dashboard: αντλεί δεδομένα απευθείας από το API του ThingSpeak και δείχνει ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο, χωρίς να χρειάζεται backend server. Από μεθοδολογικής πλευράς, αποδεικνύουμε ότι μπορείς να ακολουθήσεις μία συστηματική, στρωματοποιημένη πορεία, ξεκινώντας από τον αισθητήρα και καταλήγοντας στην online εφαρμογή έχοντας λειτουργικά, επαληθεύσιμα αποτελέσματα ακόμα και στο πλαίσιο μίας πτυχιακής. Είναι ένας τρόπος εργασίας που θα μπορούσε να γίνει πρότυπο για ό,τι έρχεται μετά. Εφαρμοσμένα δε, τα ευρήματα της εργασίας δείχνουν ότι είναι εφικτό να χτίσεις ένα σύστημα περιβαλλοντικής παρακολούθησης με εποπτεία σε τρία επίπεδα (τοπικό, cloud, internet) δαπανώντας λιγότερο από 50 ευρώ σε υλικά. Έχει την πρακτική του σημασία αυτό, κυρίως για χώρες σε ανάπτυξη ή μικρότερες στρατιωτικές μονάδες που δεν μπορούν να επιβληθούν οικονομικά για ακριβά CBRN συστήματα.

## 7.5 Αντίκτυπος στον Τομέα της Ασφάλειας Προσωπικού

Δεν είναι απλώς μια τεχνολογική πρόταση αυτή που θα δείτε παρακάτω, η εργασία έχει ευρύτερες προεκτάσεις για την ασφάλεια όσων πρέπει να εργαστούν σε επικίνδυνα περιβάλλοντα. Για πολλούς κλάδους είναι μετασχηματιστικό το ότι δημιουργήθηκαν φορητά συστήματα παρακολούθησης του περιβάλλοντος με χαμηλό κόστος. Ας πάρουμε για παράδειγμα τον στρατιωτικό χώρο: όταν μπορείς να εξοπλίσεις τον κάθε στρατιώτη με ένα αυτόνομο σύστημα, η λογική της χημικής και ατμοσφαιρικής προστασίας αλλάζει ριζικά, αντί να βασιζόσουν σε μια δαπανηρή συσκευή CBRN για ολόκληρη την ομάδα. Η ανίχνευση παύει να είναι κεντρική και γίνεται ατομική, κατανεμημένη, ώστε να καλύπτεται ο στρατιώτης όπου κι αν βρεθεί στο πεδίο. Στην βιομηχανία, στα διυλιστήρια ή τα ορυχεία, τέτοια συστήματα θα χρησιμοποιηθούν για να προστατεύσουν τους εργαζόμενους. Αν ενταχθούν στον υποχρεωτικό εξοπλισμό, κράνη ή γιλέκα, δεν υπάρχει λόγος ανησυχίας για τη συμμόρφωση, ούτε χρειάζεται να αναγκάσεις τους ανθρώπους να αλλάξουν συνήθειες ή να τους δώσεις επιπλέον εκπαίδευση. Υπάρχουν και οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Πυροσβέστες, διασώστες, η πολιτική προστασία, που καθημερινά έχουν να αντιμετωπίσουν τοξικά αέρια κάτω από πίεση και με περιορισμένη ορατότητα, θα ωφεληθούν από ένα φορητό σύστημα που ειδοποιεί αυτόματα και τον ίδιο τον συντονιστή. Μια μικρή παρέμβαση που μπορεί να αποτρέψει πολλά θύματα.

## 7.6 Φιλοσοφία Σχεδιασμού και Μαθήματα από την Ανάπτυξη

Με την ανάπτυξη του έξυπνου κράνους μάθαμε με τον σκληρό τρόπο ότι η διαδικασία είναι μια συνεχής μάθηση, η οποία φέρνει στο προσκήνιο μερικές βασικές αρχές για τα ενσωματωμένα IoT συστήματα. Είναι χρήσιμο να τις καταγράψουμε για όποια εργασία έρθει μετά.

Πρώτη και κυριότερη από αυτές είναι η απλότητα. Το «keep it simple» δεν ήταν μόνο λόγια, αλλά το κλειδί για να πετύχει το έργο. Ό,τι πολυπλοκότητα προσθέταμε στον κώδικα ή στην αρχιτεκτονική, δημιουργούσε νέες ευκαιρίες για σφάλματα. Γι' αυτό και η τελική διάταξη, Arduino, αισθητήρες, ESP8266 και ThingSpeak, βρέθηκε να λειτουργεί άψογα. Μια σχετικά απλή λύση όπου κάθε κομμάτι κάνει τη δουλειά του χωρίς να μπλέκεται με τα υπόλοιπα. Δεύτερη αρχή που προέκυψε είναι η ανάγκη για συνεχής ανάπτυξη. Αν προσπαθούσαμε να χτίσουμε ολόκληρο το σύστημα σε ένα, θα είχαμε αποτύχει αναπόφευκτα μπροστά στις αλληλεπιδράσεις των υποσυστημάτων. Η στρωματοποιημένη μέθοδος, να ασχολείσαι με ένα υποσύστημα τη φορά, ήταν ο μόνος τρόπος να χωρίσεις την πολυπλοκότητα σε κάτι διαχειρίσιμο. Και τρίτον, το πρωτόκολλο επικοινωνίας μετράει όσο το ίδιο το υλικό. Στο λογισμικό ενός IoT, η διαχείριση της επικοινωνίας είναι συνήθως το πιο κρίσιμο σημείο. Αυτό ξεκαθαρίστηκε όταν πιάστηκε με τις εντολές AT της ESP8266, τα χρονικά όρια αναμονής και τις αποτυχίες σύνδεσης, δίνοντας τους την ίδια βαρύτητα με την ηλεκτρονική σχεδίαση.

## 7.7 Ο Ρόλος της Ανοιχτής Τεχνολογίας στη Στρατιωτική Καινοτομία

Μπορεί κανείς να εντοπίσει σε αυτή την εργασία ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον συμπέρασμα όσον αφορά τον ρόλο που παίζουν οι ανοιχτές τεχνολογίες στην κατεύθυνση στρατιωτικών εφαρμογών. Εξάλλου, το σύστημα που παρουσιάζεται εδώ έρχεται να αμφισβητήσει το παραδοσιακό μοντέλο, όπου η στρατιωτική τεχνολογία ήταν προνόμιο των αμυντικών εταιρειών με τους μεγάλους προϋπολογισμούς και τις αυστηρές διαδικασίες εμπιστευτικότητας. Αρκεί να σκεφτεί κανείς την πλατφόρμα Arduino: από τότε που κυκλοφόρησε ως open hardware το 2005 έχει γεννήσει ένα παγκόσμιο οικοσύστημα με εκατομμύρια μηχανικούς, ερευνητές και προγραμματιστές να μοιράζονται ελεύθερα λύσεις και κώδικα. Ένας φοιτητής ή ερευνητής σήμερα μπορεί να στηριχτεί σε αυτή τη συλλογική σοφία χιλιάδων επαγγελματιών και να βγάλει αποτελέσματα που σε ένα κλειστό περιβάλλον θα του κόστιζαν πολλαπλάσιες δαπάνες. Ομοίως, η εφαρμογή ThingSpeak, η αρχική της ιδέα ως ανοιχτή πλατφόρμα IoT, προσφέρει οπτικοποίηση και αποθήκευση δεδομένων χωρίς κόστος, ενώ τα GitHub Pages φιλοξενούν δωρεάν HTTPS ιστοσελίδες, υποδομή που σε εμπορικό επίπεδο είναι ακριβή. Χάρη στον συνδυασμό τέτοιων εργαλείων καταφέραμε να χτίσουμε ένα ολοκληρωμένο και λειτουργικό σύστημα με έξοδα που πριν από δέκα χρόνια θα φανταζόντουσαν αδύνατα. Πρόκειται για μια εξέλιξη της τεχνολογίας, με ακαδημαϊκά ιδρύματα να αναπτύσσουν στρατιωτικές λύσεις παρά τους περιορισμένους πόρους τους. Είναι ίσως η πιο σημαντική τάση στη σημερινή αμυντική τεχνολογία και η παρούσα εργασία δεν είναι παρά ένα ενδεικτικό δείγμα αυτού του φαινομένου.

## 7.8 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα και Επεκτάσεις

Παρά την επιτυχή υλοποίηση και αξιολόγηση του συστήματος, η παρούσα εργασία αναγνωρίζει ορισμένους τομείς στους οποίους θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν περαιτέρω βελτιώσεις και επεκτάσεις στο πλαίσιο μελλοντικής έρευνας. Αναφορικά με το υλικό του συστήματος, η αντικατάσταση του Arduino UNO με έναν ισχυρότερο μικροελεγκτή, όπως ο Raspberry Pi Zero, θα επέτρεπε την ενσωμάτωση πρόσθετων αισθητήρων, την αύξηση της υπολογιστικής ισχύος για την εφαρμογή αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και την ενσωμάτωση Wi-Fi και Bluetooth συνδεσιμότητας χωρίς εξωτερική μονάδα. Επιπλέον, η αντικατάσταση των αισθητήρων MQ-series με αισθητήρες υψηλότερης ακρίβειας και ηλεκτροχημικής τεχνολογίας θα βελτίωνε σημαντικά την ακρίβεια των μετρήσεων και θα μείωνε την εξάρτηση από τον χρόνο προθέρμανσης. Σχετικά με το λογισμικό και την ανάλυση δεδομένων, η ενσωμάτωση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης για την ανάλυση ιστορικών δεδομένων που συλλέγονται στο ThingSpeak θα επέτρεπε την προβλεπτική ανίχνευση κινδύνων πριν από την υπέρβαση των ορίων ασφαλείας. Η εφαρμογή τεχνικών ανάλυσης χρονοσειρών θα μπορούσε να εντοπίζει μοτίβα επικίνδυνης συσσώρευσης αερίων και να εκδίδει προληπτικές ειδοποιήσεις, ενισχύοντας περαιτέρω την προστατευτική ικανότητα του συστήματος. Όσον αφορά με τη συνδεσιμότητα και την επικοινωνία, η αντικατάσταση ή συμπλήρωση της Wi-Fi επικοινωνίας με τεχνολογίες μεγάλης εμβέλειας, όπως LoRa ή NB-IoT, θα επέλυε τον περιορισμό της εξάρτησης από τοπικά δίκτυα Wi-Fi, επεκτείνοντας τη λειτουργικότητα του συστήματος σε απομακρυσμένες περιοχές χωρίς υποδομή δικτύου. Η ενσωμάτωση GPS μονάδας θα επέτρεπε επιπλέον να εντόπιζε τον στρατιώτη σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας στα κέντρα διοίκησης πλήρη εικόνα τόσο της τοποθεσίας όσο και των περιβαλλοντικών συνθηκών κάθε μέλους. Τέλος, αναφορικά με τη φυσιολογική παρακολούθηση, η ενσωμάτωση βιοϊατρικών αισθητήρων για την παρακολούθηση παραμέτρων όπως ο καρδιακός ρυθμός, ο κορεσμός οξυγόνου στο αίμα και η θερμοκρασία σώματος του στρατιώτη θα μετέτρεπε το σύστημα από ένα αμιγώς περιβαλλοντικό σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης τόσο του περιβάλλοντος όσο και της φυσιολογικής κατάστασης του, ανοίγοντας νέες προοπτικές στον τομέα των έξυπνων στρατιωτικών φορητών συστημάτων.

Με βάση την πολυπλοκότητα και τους πόρους που χρειάζεται η κάθε επέκταση, έχουμε ορίσει τρεις χρονικούς ορίζοντες για την ολοκληρωμένη χαρτογράφηση των μελλοντικών κατευθύνσεων ανάπτυξης.

**Βραχυπρόθεσμες Επεκτάσεις (6-12 μήνες):**

Εδώ η βελτίωση είναι άμεσα εφικτή. Η αλλαγή της Wi-Fi σύνδεσης σε LoRa θα λύσει το ζήτημα της εξάρτησης από την τοπική δικτυακή υποδομή. Αντικαθιστώντας το Arduino UNO με ένα ESP32, το οποίο έχει πολύ μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ και ενσωματωμένο Wi-Fi/Bluetooth, μπορούμε να προσαρμόσουμε επιπλέον αισθητήρες και αλγόριθμους επεξεργασίας σήματος χωρίς να χρειάζεται εξωτερική μονάδα. Επίσης, με την προσθήκη ενός GPS module οι μετρήσεις στο ThingSpeak θα συνοδεύονται από γεωγραφικά δεδομένα, δίνοντας τη δυνατότητα να χαρτογραφήσουμε τις ατμοσφαιρικές συνθήκες ζωντανά.

**Μεσοπρόθεσμες Επεκτάσεις (1-2 χρόνια):**

Αν κοιτάζουμε πιο μακριά, η εισαγωγή βιομετρικών αισθητήρων (pulse oximeter, SpO<sub>2</sub>, θερμοκρασία σώματος) θα μετατρέψει το σύστημα σε κάτι περισσότερο από περιβαλλοντικό, σε ένα εργαλείο παρακολούθησης της φυσιολογικής κατάστασης του στρατιώτη. Με αλγόριθμους μηχανικής μάθησης που θα αναλύουν τα ιστορικά δεδομένα του ThingSpeak, θα μπορούσαμε να προβλέπουμε κινδύνους πριν φτάσουν σε κρίσιμο σημείο. Η χρήση ηλεκτροχημικών αισθητήρων υψηλής ακρίβειας αντί των MQ-series θα έδινε ποσοτική αξιολόγηση σε ppm και θα ανέβαινε το επίπεδο ακρίβειας.

**Μακροπρόθεσμες Επεκτάσεις (2-5 χρόνια):**

Το επόμενο μεγάλο βήμα θα είναι η Augmented Reality, ώστε οι τιμές των αισθητήρων να φαίνονται απευθείας στο οπτικό πεδίο του χρήστη μέσω ημιδιαφανούς οθόνης. Θα αναπτύξουμε mesh network ανάμεσα στα κράνη μιας ομάδας για να ανταλλάσσουν δεδομένα ανεξάρτητα από κεντρική υποδομή. Και φυσικά, με την εφαρμογή αυστηρών πρωτοκόλλων κρυπτογράφησης και αυθεντικοποίησης, το σύστημα θα γίνει αποδεκτό για στρατιωτική δράση, όπου η κυβερνοασφάλεια δεν είναι διαπραγματεύσιμη.

## 7.9 Επίλογος

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων δεν αποτελεί πλέον μία μελλοντική τεχνολογική υπόσχεση αλλά μία παρούσα πραγματικότητα με άμεσες και μετρήσιμες εφαρμογές στην ασφάλεια ανθρώπινων ζωών. Η παρούσα εργασία αποδεικνύει ότι με την κατάλληλη συνδυαστική αξιοποίηση διαθέσιμων τεχνολογιών χαμηλού κόστους, μετατρέπει ένα απλό στρατιωτικό κράνος σε ένα ευφυές σύστημα ασφαλείας που παρακολουθεί, αναλύει και αντιδρά στους κινδύνους του περιβάλλοντος. Ο στρατιώτης του μέλλοντος δεν θα είναι μόνο οπλισμένος — θα είναι και ψηφιακά προστατευμένος.

Μία παρατήρηση με οδήγησε στο να αναλάβω αυτή την εργασία: ότι οι κίνδυνοι για τον στρατιώτη του 21ου αιώνα δεν παύουν να υφίστανται αν επιμείνεις σε παραδοσιακά μέτρα φυσικής άμυνας. Έχεις να κάνεις με τοξικά αέρια, ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας ή αόρατους ρύπους στην ατμόσφαιρα, απειλές που θέλουν διαφορετική προσέγγιση όσον αφορά την ατομική ασφάλεια. Μια προσέγγιση που θα κάνει χρήση της τεχνολογίας IoT ώστε να έχεις στα χέρια σου έγκαιρη και αξιόπιστη ενημέρωση. Δεν ισχυριζόμαστε ότι το σύστημα αυτό που κατασκευάσαμε μπορεί να πάρει τη θέση των CBRN συστημάτων που διαθέτουν οι μεγάλες δυνάμεις, θα ήταν υπερβολή. Αυτό που θέλουμε είναι να δείξουμε ότι προστασία της οποίας πρόσφατα μόνο κάποιοι οργανισμοί με άπειρους πόρους απολάμβαναν, μπορεί πλέον να εξασφαλιστεί με ανοιχτές τεχνολογίες και για λιγότερο από 50 ευρώ σε υλικά. Γιατί ο στρατιώτης του αύριο δεν θα χρειάζεται μόνο θωράκιση και όπλα, αλλά θα είναι πλήρως συνδεδεμένος και προστατευμένος από ό,τι δεν αντιλαμβάνονται τα αισθητήριά του. Με την παρούσα εργασία θέλουμε να συμβάλουμε, αν και με μικρό βήμα, σε εκείνο το μέλλον.

## Παράρτημα Α: Κώδικας Arduino

Το παρόν παράρτημα περιλαμβάνει τον πλήρη κώδικα του συστήματος έξυπνου κράνους, όπως αναπτύχθηκε στο περιβάλλον Arduino IDE. Ο κώδικας είναι γραμμένος σε C++ και αναλαμβάνει την ανάγνωση των αισθητήρων MQ135, MQ7, DHT11 και IR, την εμφάνιση δεδομένων στην οθόνη LCD 16x2, την ενεργοποίηση ηχητικού συναγερμού κατά την υπέρβαση ορίων ασφαλείας, καθώς και την ασύρματη μετάδοση δεδομένων στην πλατφόρμα ThingSpeak μέσω της μονάδας ESP8266.

### A.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά

- Μικροελεγκτής: Arduino UNO (ATmega328P)
- Περιβάλλον Ανάπτυξης: Arduino IDE
- Γλώσσα Προγραμματισμού: C++
- Βιβλιοθήκες: SoftwareSerial.h, LiquidCrystal.h, dht.h, stdlib.h
- Αισθητήρες: MQ135 (A1), MQ7 (A3), DHT11 (A0), IR (A2)
- Έξοδοι: Buzzer 1 (D2), Buzzer 2 (D3)
- Οθόνη: LCD 16x2 (D7, D8, D9, D10, D11, D12)
- Wi-Fi: ESP8266 μέσω SoftwareSerial (RX=D5, TX=D6)
- Πλατφόρμα Νέφους: ThingSpeak (IP: 184.106.153.149, Port: 80)
- Ρυθμός Αποστολής: κάθε 16 δευτερόλεπτα

### A.2 Όρια Συναγερμού

- Αισθητήρας MQ135 (Ποιότητα αέρα): τιμή > 400
- Αισθητήρας MQ7 (Μονοξείδιο άνθρακα CO): τιμή > 600
- Αισθητήρας DHT11 — Θερμοκρασία: > 39°C
- Αισθητήρας DHT11 — Υγρασία: > 70% RH
- Αισθητήρας IR: ανίχνευση παρουσίας (HIGH)

### A.3 Αντιστοίχιση Πεδίων ThingSpeak

- Field 1 → MQ135 (Ποιότητα αέρα)
- Field 2 → Υγρασία DHT11 (%RH)
- Field 3 → Θερμοκρασία DHT11 (°C)
- Field 4 → MQ7 (Μονοξείδιο άνθρακα CO)

#### A.4 Πλήρης Κώδικας

*Αρχείο: smart\_helmet.ino — Περιβάλλον: Arduino IDE v2.x*

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <stdlib.h>
#include <dht.h>

// =====
// IoT-Based Smart Helmet for Soldiers
// Diplwmatikh Ergasia – Sxediasi kai ylopoihs eksipnou stratiotikou kranous
// =====

// LCD: RS=7, E=8, D4=9, D5=10, D6=11, D7=12
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);

// DHT11 sensor pin
#define dht_dpin A0

// Sensor variables
int mq135;    // Air quality sensor (A1)
int mq7;     // Carbon monoxide sensor (A3)
int i, j;    // i = humidity, j = temperature

dht DHT;     // DHT11 object

// String buffers for ThingSpeak transmission
char buf1[16], buf2[16], buf3[16];
char buf4[16], buf5[16];

String strmq135;
String strmq7;
String stri;
String strj;

// ThingSpeak Write API Key
String apiKey = "AHJYOP0J0J9LUULZ";

// ESP8266 SoftwareSerial: RX=5, TX=6
```

## Τίτλος 5ου Κεφαλαίου: Υλοποίηση και ανάπτυξη

```
SoftwareSerial ser(5, 6);
```

```
// =====  
// SETUP - Runs once on power-on  
// =====  
void setup() {  
  
  // Initialize LCD and show boot message  
  lcd.begin(16, 2);  
  lcd.setCursor(0, 0);  
  lcd.print("IOT Sensor");  
  delay(2000);  
  lcd.clear();  
  
  // Set analog reference and begin serial communication  
  analogReference(DEFAULT);  
  Serial.begin(9600);  
  ser.begin(115200);  
  
  // ESP8266 initialization sequence  
  ser.println("AT+RST");           // Reset module  
  delay(500);  
  ser.println("AT+CWMODE=3");      // Station + AP mode  
  delay(500);  
  ser.println("AT+CWJAP=\"project\", \"12345678\""); // Connect to Wi-Fi  
  delay(500);  
  
  // Define buzzer/relay output pins  
  pinMode(2, OUTPUT);  
  digitalWrite(2, LOW);  
  pinMode(3, OUTPUT);  
  digitalWrite(3, LOW);  
  
  // Define sensor input pins  
  pinMode(A2, INPUT); // IR presence sensor  
  pinMode(A3, INPUT); // MQ7 carbon monoxide sensor  
}  
  
// =====  
// LOOP - Runs continuously
```

```
// =====  
void loop() {  
  
  // --- Read all sensors ---  
  DHT.read11(dht_dpin);    // Read DHT11 (A0)  
  i = DHT.humidity;       // Humidity value (%)  
  j = DHT.temperature;    // Temperature value (Celsius)  
  mq135 = analogRead(A1);  // MQ135 air quality (0-1023)  
  mq7 = analogRead(A3);    // MQ7 carbon monoxide (0-1023)  
  
  // --- Alert threshold logic ---  
  // Alarm activates if ANY parameter exceeds its safety limit  
  if (digitalRead(A2) == 1 || // IR: presence detected  
      i > 70 ||               // Humidity > 70%  
      j > 39 ||               // Temperature > 39 Celsius  
      mq135 > 400 ||          // MQ135 air quality > 400  
      mq7 > 600) {           // MQ7 CO > 600  
    digitalWrite(2, HIGH);    // Activate buzzer 1  
    digitalWrite(3, HIGH);   // Activate buzzer 2  
    delay(500);  
    digitalWrite(2, LOW);    // Deactivate buzzer 1  
    digitalWrite(3, LOW);    // Deactivate buzzer 2  
  }  
  
  // --- LCD Display update ---  
  // Row 1: MQ135 and MQ7 values  
  lcd.setCursor(0, 0);  
  lcd.print("MQ135:");  
  lcd.print(mq135);  
  lcd.setCursor(10, 0);  
  lcd.print("MQ7:");  
  lcd.print(mq7);  
  
  // Row 2: Humidity, Temperature and IR status  
  lcd.setCursor(0, 1);  
  lcd.print("H:");  
  lcd.print(i);  
  lcd.setCursor(5, 1);  
  lcd.print("T:");  
  lcd.print(j);  
  
}
```

```
lcd.setCursor(10, 1);
lcd.print("IR:");
if (digitalRead(A2) == 1) {
  lcd.print("NO "); // IR: presence detected
} else {
  lcd.print("YES "); // IR: no presence / safe
}

// --- Convert sensor values to String for transmission ---
strmq135 = String(mq135);
strmq7 = String(mq7);
stri = String(i);
strj = String(j);

// --- Debug output to Serial Monitor ---
Serial.print("MQ135: "); Serial.print(strmq135);
Serial.print(" MQ7: "); Serial.print(strmq7);
Serial.print(" H: "); Serial.print(stri);
Serial.print(" T: "); Serial.println(strj);

// --- Send data to ThingSpeak via ESP8266 ---

// Step 1: Open TCP connection to ThingSpeak server
String cmd = "AT+CIPSTART=\"TCP\",184.106.153.149\",80";
ser.println(cmd);
if (ser.find("Error")) return; // Abort if connection failed

// Step 2: Build HTTP GET request string
String getStr = "GET /update?api_key=";
getStr += apiKey;
getStr += "&field1="; getStr += strmq135; // Field 1: MQ135
getStr += "&field2="; getStr += stri; // Field 2: Humidity
getStr += "&field3="; getStr += strj; // Field 3: Temperature
getStr += "&field4="; getStr += strmq7; // Field 4: MQ7
getStr += "\r\n\r\n";

// Step 3: Notify ESP8266 of data length
cmd = "AT+CIPSEND=";
cmd += String(getStr.length());
ser.println(cmd);
```

## Τίτλος βου Κεφαλαίου: Αποτέλεσμα και συζήτηση

```
// Step 4: Send data or close connection on failure
if (ser.find(">")) {
  ser.print(getStr);      // Transmit data to ThingSpeak
} else {
  ser.println("AT+CIPCLOSE"); // Close connection on failure
}

// Wait 16 seconds (ThingSpeak minimum update rate)
delay(16000);
}
```

*Σημείωση: Για τη σωστή μεταγλώττιση του κώδικα απαιτείται η εγκατάσταση των βιβλιοθηκών DHT sensor library και LiquidCrystal μέσω του Arduino Library Manager. Η βιβλιοθήκη SoftwareSerial είναι ενσωματωμένη στο Arduino IDE.*

## Παράρτημα Β: Κώδικας GitHub

Το παρόν παράρτημα περιλαμβάνει τον πλήρη κώδικα της διαδικτυακής εφαρμογής παρακολούθησης (IoT Smart Helmet Dashboard), η οποία αναπτύχθηκε με χρήση HTML5, CSS3 και JavaScript και φιλοξενείται μέσω GitHub Pages. Η εφαρμογή ανακτά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από την πλατφόρμα ThingSpeak μέσω REST API και τα απεικονίζει σε διαδραστικό περιβάλλον με αυτόματη ανανέωση ανά 30 δευτερόλεπτα.

### B.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εφαρμογής

Γλώσσα: HTML5 / CSS3 / JavaScript (Vanilla)

Βιβλιοθήκη Γραφημάτων: Chart.js v4.4.1

Πλατφόρμα Φιλοξενίας: GitHub Pages (HTTPS)

API: ThingSpeak REST API — Channel ID: 3306487

Αισθητήρες: MQ135 (Field 1), Υγρασία (Field 2), Θερμοκρασία (Field 3), MQ7 (Field 4)

Ανανέωση: Αυτόματη ανά 30 δευτερόλεπτα (setInterval)

### B.2 Πλήρης Κώδικας HTML/CSS/JavaScript

---

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="el">
<head>
  <meta charset="UTF-8" />
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0"/>
  <title>IoT Smart Helmet — Live Dashboard</title>
  <link href="https://fonts.googleapis.com/css2?family=Share+Tech+Mono
    &family=Rajdhani:wght@300;400;600;700&display=swap" rel="stylesheet"/>
  <script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/Chart.js/4.4.1/chart.umd.min.js"></script>
  <style>
    :root {
      --bg:    #050a0f;
      --panel: #0a1520;
      --border: #0e2a3a;
```

```

--accent: #00d4ff;
--accent2: #00ff88;
--warn: #ff6b35;
--danger: #ff2244;
--text: #c8e8f0;
--muted: #3a6070;
}
* { margin: 0; padding: 0; box-sizing: border-box; }
body {
background: var(--bg);
font-family: 'Rajdhani', sans-serif;
color: var(--text);
min-height: 100vh;
}
/* ... (CSS styles για grid, header, cards, charts, animations) */
</style>
</head>
<body>

<!-- LOADING OVERLAY -->
<div id="loadingOverlay">
<div class="loader-text">INITIALIZING SYSTEM...</div>
<div class="loader-bar"></div>
</div>

<div class="wrapper">
<!-- HEADER -->
<header>
<div class="header-left">
<h1>IoT SMART HELMET MONITOR</h1>
<p>ΙΙΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ — LIVE SENSOR DASHBOARD</p>
</div>
<div class="status-pill">

```

```

    <div class="status-dot" id="statusDot"></div>
    <span id="statusText">ΣΥΝΔΕΣΗ...</span>
</div>
</header>

<!-- ALERT BANNER -->
<div id="alertBanner">
    <span class="alert-icon">⚠</span>
    <span id="alertText">ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗ: ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ</span>
</div>

<!-- METRIC CARDS -->
<div class="cards-grid">
    <div class="card" id="card-mq135">
        <div class="card-label">// MQ135 · AIR QUALITY</div>
        <div class="card-value" id="val-mq135">—</div>
        <div class="card-unit">ANALOG VALUE</div>
        <div class="card-bar">
            <div class="card-bar-fill" id="bar-mq135" style="width:0%"></div>
        </div>
        <div class="card-limit">ΟΠΙΟ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ: 400</div>
    </div>
    <div class="card" id="card-mq7">
        <div class="card-label">// MQ7 · CARBON MONOXIDE</div>
        <div class="card-value" id="val-mq7">—</div>
        <div class="card-unit">ANALOG VALUE</div>
        <div class="card-bar">
            <div class="card-bar-fill" id="bar-mq7" style="width:0%"></div>
        </div>
        <div class="card-limit">ΟΠΙΟ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ: 600</div>
    </div>
    <div class="card" id="card-humidity">
        <div class="card-label">// DHT11 · HUMIDITY</div>

```

```

<div class="card-value" id="val-humidity">—</div>
<div class="card-unit">%RH</div>
<div class="card-bar">
  <div class="card-bar-fill" id="bar-humidity" style="width:0%"></div>
</div>
<div class="card-limit">ΟΠΙΟ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟY: 70%</div>
</div>
<div class="card" id="card-temp">
  <div class="card-label">// DHT11 · TEMPERATURE</div>
  <div class="card-value" id="val-temp">—</div>
  <div class="card-unit">°C</div>
  <div class="card-bar">
    <div class="card-bar-fill" id="bar-temp" style="width:0%"></div>
  </div>
  <div class="card-limit">ΟΠΙΟ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟY: 39°C</div>
</div>
</div>

<!-- CHARTS -->
<div class="charts-grid">
  <div class="chart-panel">
    <div class="chart-title">MQ135 — AIR QUALITY HISTORY</div>
    <div class="chart-wrap"><canvas id="chart-mq135"></canvas></div>
  </div>
  <div class="chart-panel">
    <div class="chart-title">MQ7 — CARBON MONOXIDE HISTORY</div>
    <div class="chart-wrap"><canvas id="chart-mq7"></canvas></div>
  </div>
  <div class="chart-panel">
    <div class="chart-title">TEMPERATURE HISTORY (°C)</div>
    <div class="chart-wrap"><canvas id="chart-temp"></canvas></div>
  </div>
  <div class="chart-panel">

```

```

<div class="chart-title">HUMIDITY HISTORY (%RH)</div>
<div class="chart-wrap"><canvas id="chart-humidity"></canvas></div>
</div>
</div>

<!-- INFO BAR -->
<div class="info-bar">
  <div class="info-item"><span>CHANNEL ID</span><strong>3306487</strong></div>
  <div class="info-item"><span>PLATFORM</span><strong>THINGSPEAK
IoT</strong></div>
  <div class="info-item"><span>MICROCONTROLLER</span><strong>ARDUINO
UNO</strong></div>
  <div class="info-item"><span>WIRELESS MODULE</span><strong>ESP8266 Wi-
Fi</strong></div>
  <div class="info-item"><span>REFRESH INTERVAL</span><strong>30
SECONDS</strong></div>
</div>

<div id="lastUpdate">ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ: —</div>
</div>

<script>
const CHANNEL_ID = '3306487';
const READ_KEY = 'O6T8ITBW0DUCAQ8C';
const API_URL = `https://api.thingspeak.com/channels/${CHANNEL_ID}
/feeds.json?api_key=${READ_KEY}&results=20`;

// Όρια συναγερμού ανά αισθητήρα
const LIMITS = { mq135: 400, mq7: 600, humidity: 70, temp: 39 };
const MAXVAL = { mq135: 1023, mq7: 1023, humidity: 100, temp: 60 };

// Δημιουργία γραφήματος Chart.js
function makeChart(id, color, label, limitVal) {
  const ctx = document.getElementById(id).getContext('2d');

```

```

return new Chart(ctx, {
  type: 'line',
  data: {
    labels: [],
    datasets: [{
      label,
      data: [],
      borderColor: color,
      borderWidth: 2,
      pointRadius: 3,
      pointBackgroundColor: color,
      fill: true,
      tension: 0.4,
    }, {
      label: 'Opto',
      data: [],
      borderColor: '#ff2244',
      borderWidth: 1,
      borderDash: [6, 4],
      pointRadius: 0,
      fill: false,
    }
  ]
}, {
  options: {
    responsive: true,
    maintainAspectRatio: false,
    plugins: { legend: { display: false } },
    scales: {
      x: { ticks: { color: '#3a6070', maxTicksLimit: 6 } },
      y: { ticks: { color: '#3a6070' } }
    }
  }
});

```

```

}

// Αρχικοποίηση γραφημάτων
const charts = {
  mq135: makeChart('chart-mq135', 'rgb(0,212,255)', 'MQ135'),
  mq7:   makeChart('chart-mq7',   'rgb(0,255,136)', 'MQ7 CO'),
  temp:  makeChart('chart-temp',  'rgb(255,107,53)', 'Temp °C'),
  humidity: makeChart('chart-humidity', 'rgb(180,120,255)', 'Humidity %RH'),
};

// Ενημέρωση κάρτας αισθητήρα
function updateCard(key, value, limit, maxVal) {
  const card = document.getElementById(`card-${key}`);
  const valEl = document.getElementById(`val-${key}`);
  const barEl = document.getElementById(`bar-${key}`);
  const pct = Math.min((value / maxVal) * 100, 100);
  valEl.textContent = isNaN(value) ? '—'
    : (Number.isInteger(value) ? value : value.toFixed(1));
  barEl.style.width = pct + '%';
  if (value > limit) card.classList.add('alert-state');
  else               card.classList.remove('alert-state');
}

// Ενημέρωση γραφήματος
function updateChart(chart, labels, data, limit) {
  chart.data.labels = labels;
  chart.data.datasets[0].data = data;
  chart.data.datasets[1].data = labels.map(() => limit);
  chart.update('none');
}

// Έλεγχος ορίων και εμφάνιση banner
function checkAlerts(data) {

```

```

const alerts = [];

if (data.mq135 > LIMITS.mq135)
  alerts.push(`MQ135: ${data.mq135} > ${LIMITS.mq135}`);

if (data.mq7 > LIMITS.mq7)
  alerts.push(`MQ7 CO: ${data.mq7} > ${LIMITS.mq7}`);

if (data.hum > LIMITS.humidity)
  alerts.push(`Υγρασία: ${data.hum}% > ${LIMITS.humidity}%`);

if (data.temp > LIMITS.temp)
  alerts.push(`Θερμοκρασία: ${data.temp}°C > ${LIMITS.temp}°C`);

const banner = document.getElementById('alertBanner');

if (alerts.length > 0) {
  banner.classList.add('show');
  document.getElementById('alertText').textContent =
    `⚠️ ΠΙΠΚΙΝΔΥΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ: ` + alerts.join(' | ');
} else {
  banner.classList.remove('show');
}
}

// Κύρια συνάρτηση ανάκτησης δεδομένων από ThingSpeak
async function fetchData() {
  try {
    const res = await fetch(API_URL);
    const json = await res.json();
    const feeds = json.feeds || [];
    if (!feeds.length) return;

    // Τελευταία τιμή κάθε αισθητήρα
    const latest = feeds[feeds.length - 1];
    const cur = {
      mq135: parseFloat(latest.field1) || 0,
      hum: parseFloat(latest.field2) || 0,
      temp: parseFloat(latest.field3) || 0,
    };
  }
}

```

```

mq7: parseFloat(latest.field4) || 0,
};

// Ενημέρωση καρτών
updateCard('mq135', cur.mq135, LIMITS.mq135, MAXVAL.mq135);
updateCard('mq7', cur.mq7, LIMITS.mq7, MAXVAL.mq7);
updateCard('humidity', cur.hum, LIMITS.humidity, MAXVAL.humidity);
updateCard('temp', cur.temp, LIMITS.temp, MAXVAL.temp);
checkAlerts(cur);

// Ετικέτες χρόνου για γραφήματα
const labels = feeds.map(f => {
  const d = new Date(f.created_at);
  return d.toLocaleTimeString('el-GR',
    { hour: '2-digit', minute: '2-digit' });
});

// Ενημέρωση γραφημάτων
updateChart(charts.mq135, labels,
  feeds.map(f => parseFloat(f.field1)||0), LIMITS.mq135);
updateChart(charts.mq7, labels,
  feeds.map(f => parseFloat(f.field4)||0), LIMITS.mq7);
updateChart(charts.temp, labels,
  feeds.map(f => parseFloat(f.field3)||0), LIMITS.temp);
updateChart(charts.humidity, labels,
  feeds.map(f => parseFloat(f.field2)||0), LIMITS.humidity);

// Έλεγχος κατάστασης σύνδεσης (live ή offline)
const latestTime = new Date(latest.created_at).getTime();
const secondsAgo = Math.floor((Date.now() - latestTime) / 1000);
const isLive = secondsAgo <= 30;

if (isLive) {

```

```

document.getElementById('statusText').textContent =
  'LIVE — ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ';
document.getElementById('statusDot').style.background =
  'var(--accent2)';
} else {
const display = secondsAgo < 60 ? `${secondsAgo}s ago`
  : secondsAgo < 3600 ? `${Math.floor(secondsAgo/60)}m ago`
  : `${Math.floor(secondsAgo/3600)}h ago`;
document.getElementById('statusText').textContent =
  `OFFLINE — ${display}`;
document.getElementById('statusDot').style.background =
  'var(--warn)';
}

// Τελευταία ενημέρωση από ThingSpeak
document.getElementById('lastUpdate').textContent =
  'ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ: '
  + new Date(latest.created_at).toLocaleString('el-GR');

document.getElementById('loadingOverlay').style.display = 'none';

} catch (err) {
document.getElementById('statusText').textContent =
  'ΣΦΑΛΜΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ';
document.getElementById('statusDot').style.background =
  'var(--danger)';
document.getElementById('loadingOverlay').style.display = 'none';
console.error('Fetch error:', err);
}
}

// Εκκίνηση και αυτόματη ανανέωση ανά 30 δευτερόλεπτα
fetchData();

```

```
setInterval(fetchData, 30000);  
</script>  
</body>  
</html>
```

---

*Σημείωση: Ο πλήρης κώδικας είναι διαθέσιμος στο [GitHub repository](#) της εργασίας ως αρχείο `index.html`.*

## BIBIOΓΡΑΦΙΑ

- [1] Joshi, N. V., Joshi, S. P., Jojare, M. S., & Askhedkar, A. R. (2021). *IoT based Smart Vest and Helmet for Defence Sector*. IEEE International Conference on Communication Information and Computing Technology (ICCICT), June 25–27, 2021. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCICT50803.2021.9510080>
- [2] Jain, Y., Soni, B., Goyal, A., & Sharma, C. (2020). Novel Wearable Device for Health Monitoring and Tracking of Soldiers Based on LoRa Module. IEEE 4th Conference on Information & Communication Technology (CICT), 2020. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9312084>
- [3] Suresh, A., & Kavitha, C. (2022). IoT Based Soldier Status Monitoring Using Sensors and SOS Switch. IEEE Conference Publication, 2022. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9936125>
- [4] Ramya, V., & Palaniappan, B. (2017). Health Monitoring and Tracking System for Soldiers Using Internet of Things (IoT). IEEE Conference Publication, 2017. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8230007>
- [5] Patel, R., Kumar, A., & Singh, M. (2024). IoT-Based Smart Helmet and Jacket for Real-Time Safety Monitoring in Construction Site. IEEE Conference Publication, 2024. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/11074111>
- [6] Sharma, P., & Verma, R. (2024). Development of an Integrated Safety Monitoring System for Coal Miners using Smart Helmets. IEEE Conference Publication, 2024. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/11035664>
- [7] Krishnan, S., & Balasubramanian, M. (2020). IoT Based Smart Wearable for Air Quality Monitoring. IEEE Conference Publication, 2020. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9104189>
- [8] Sharath Kumar, A. J., Aishwarya, R., Akhila, C., Kusuma, M., & Dileep Kumar, M. (2023). Real Time Wireless Embedded Electronics for Soldier Security: A Review. International Journal of Computer Applications, 185(7), 9–13. <https://doi.org/10.5120/ijca2023922720>
- [9] Anand, S., Sharma, K., & Reddy, P. (2023). IoT Based Air Quality Monitoring System Using Arduino, DHT11, MQ07 and MQ135 with ESP8266 and ThingSpeak. International Journal of Multidisciplinary Research (IJFMR), 2023. <https://www.ijfmr.com/papers/2023/2/2260.pdf>
- [10] Gokulnath, R., & Priya, S. (2019). IoT Based Air Quality Monitoring System Using MQ135 and MQ7 with Machine Learning Analysis. ResearchGate / Academia, 2019. <https://www.researchgate.net/publication/337780520>
- [11] Kumar, R., Sharma, P., & Patel, A. (2024). IoT-Enabled Safety Helmet for Coal Miners: Real-Time Monitoring, Data Collection, and Analysis. IEEE Conference Publication, 2024. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/11026450>
- [12] Nair, S., Menon, A., & Thomas, J. (2024). An IoT-Enabled Smart Helmet for Health Monitoring and Location Tracking of Miners. IEEE Conference Publication, 2024. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10392089>
- [13] Rajan, V., Krishnan, M., & Subramanian, P. (2023). IoT Based Smart Security Helmet for Miner's Safety. IEEE Conference Publication, 2023. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10146728>

- [14] Kaur, H., Singh, R., & Verma, A. (2023). IoT Based Smart Helmet for Workers in Mines Using LoraWAN. IEEE Conference Publication, 2023. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10157165>
- [15] Mehta, S., Gupta, R., & Reddy, P. (2023). AI-Based Safety Helmet for Mining Workers Using IoT Technology and ARM Cortex-M. IEEE Journals & Magazine, 2023. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10190347>