



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τμ. ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

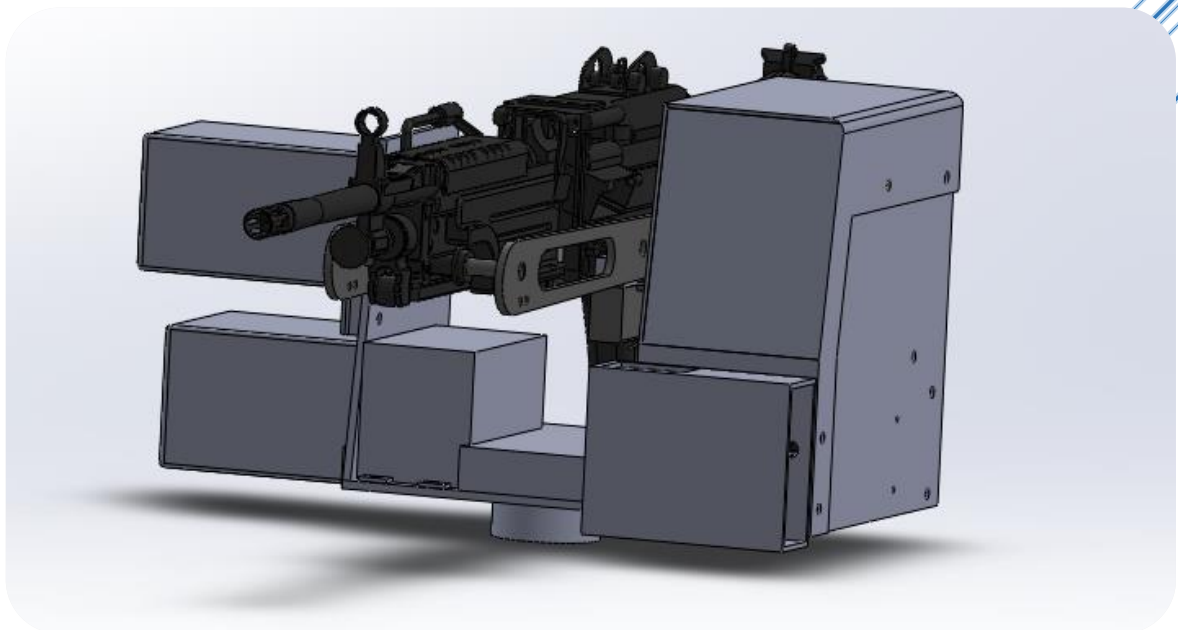
Π.Μ.Σ. «ΜΗ ΕΠΑΝΑΡΩΜΕΝΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΚΑΙ

ΤΗΛΕΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



«ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΖΟΜΕΝΟΥ ΟΠΛΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ»

«DESIGN STUDY OF REMOTE-CONTROLLED WEAPON STATION»



Σπουδαστής: *Αγγελόπουλος Πέτρος (ΑΜ 8096601)*

Υπεύθυνος Καθηγητής: *κ. Παπακίτσος Ευάγγελος*

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΘΗΝΑ
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2023

BLANK PAGE / ΣΕΛΙΔΑ ΚΕΝΗ

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

κ. Παπακίτσος Ενάγγελος

κ. Παπουτσιδάκης Μιχαήλ

κα. Ζαχαρία Παρασκευή

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Αγγελόπουλος Πέτρος του Νικολάου, με αριθμό μητρώου 8096601 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Μη Επανδρωμένα Αυτόνομα και Τηλεκατευθυνόμενα Συστήματα» του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής της Σχολής Μηχανικών Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».



Ο δηλών
Ημερομηνία

Φεβρουάριος 2023

Αγγελόπουλος Πέτρος

«ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΖΟΜΕΝΟΥ ΟΠΛΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ»

ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΠΕΤΡΟΣ

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Μη Επανδρωμένα Αυτόνομα και Τηλεκατευθυνόμενα Συστήματα» του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Περίληψη

Στην εργασία παρουσιάζεται μια ιδέα καινοτομίας που αφορά την κατασκευή ενός μη επανδρωμένου πυργίσκου. Πρόκειται για ένα σχεδιασμό που θα προσομοιάζει τα αντίστοιχα συστήματα ενός επιχειρησιακού πεδίου και θα αποδεικνύει την αρχή λειτουργίας του. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, αρχικά αναλύεται ο ορισμός αυτού του συστήματος, η δομή και ο εξοπλισμός του και οι λόγοι, για τους οποίους, κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη του στη σημερινή εποχή της ταχύτατης ανάπτυξης των μη επανδρωμένων συστημάτων. Παρατίθεται, επίσης, το τωρινό επίπεδο της τεχνολογίας ανάπτυξής του και γίνεται ειδικότερη αναφορά στους μηχανισμούς σταθεροποίησης και ελέγχου αυτών των συστημάτων καθώς και των οπτικών συστημάτων που αξιοποιούνται για να δίνουν άμεση εικόνα στο χειριστή. Παράλληλα, επισημαίνονται οι τάσεις εξέλιξης και το επόμενο στάδιο της ανάπτυξης τους. Ύστερα καταγράφονται συγκεκριμένα μοντέλα τηλεχειριζόμενων οπλικών σταθμών, αναπτυγμένα από ένοπλες δυνάμεις και σώματα ασφαλείας διάφορων χωρών, τα οποία χαρακτηρίζονται από το τελευταίο επίπεδο της τεχνολογίας και δεσπόζουν στον επιχειρησιακό χώρο. Τονίζονται τα οφέλη και τα προβλήματα που προκύπτουν από την εκμετάλλευσή τους στο επιχειρησιακό πεδίο. Μετέπειτα, αναλύεται η μελέτη ανάπτυξης της αυτοσχέδιας κατασκευής, δίνοντας έμφαση στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό που αξιοποιείται, στην ηλεκτρολογική σύνδεση των εξαρτημάτων και στη λειτουργία του καθενός από αυτά. Γίνεται ακόμη εκτενής αναφορά στο μηχανολογικό σχεδιασμό και στην παρουσίαση της ίδιας της κατασκευής. Επεξηγείται το λογισμικό της, με περιγραφή της αρχής λειτουργίας του συστήματος και το μπλοκ διάγραμμα που αφορά τον κώδικα του, ο οποίος αναλύεται σε μεγάλο βαθμό. Τέλος, γίνεται επισήμανση σε χρήσιμες παρατηρήσεις και συμπεράσματα από όλη τη διεργασία και την ανάπτυξη ενός τέτοιου σταθμού, όπως επίσης και των δυνατοτήτων εξέλιξής τους.

Λέξεις Κλειδιά: πυργίσκος, δομή, τεχνολογία, τάσεις εξέλιξης, οφέλη, προβλήματα, μοντέλα, σχεδιασμός, λογισμικό.

Abstract

The thesis presents an innovative idea concerning the construction of an unmanned turret. It is a design that will simulate the corresponding systems of an operational field and will demonstrate its operating principle. In order to achieve this, the definition of this system, its structure and equipment and the reasons why its development is considered necessary, in today's era of rapid development of unmanned systems, are first analyzed. The current level of its development technology is also listed and reference is made in particular to the stabilization and control mechanisms of these systems, as well as to the optical systems that are used to give a direct image to the operator. At the same time, their development trends and the next stage of their development are highlighted. Then specific models of remotely controlled weapons stations, developed by armed forces and security forces of various countries, which are characterized by the latest level of technology and dominate the operational space, are recorded,. The benefits and problems arising from their exploitation in the operational field are emphasized. Afterwards, the development study of the improvised structure is analyzed, emphasizing the electronic equipment used, the electrical connection of these components and the basic function of each of these. Extensive reference is also made to the engineering design and the presentation of the construction itself. The construction software is explained, with a description of the system's operating principle and the block diagram of its code, which is extensively analyzed. Finally, useful observations and conclusions from the entire process and development of such a station are highlighted, as well as their development potential.

Keywords: turret, structure, technology, development trends, benefits, problems, models, design, software.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	5
Abstract.....	6
Περιεχόμενα.....	7
Κατάλογος πινάκων.....	8
Κατάλογος εικόνων.....	8-9
1. Εισαγωγή.....	10-11
2. Ανάλυση συστήματος ενός τηλεχειριζόμενου οπλικού σταθμού.....	11-22
2.1. Δομή.....	11-14
2.2. Αρχή λειτουργίας.....	15-16
2.3. Τεχνολογία ανάπτυξης.....	16-22
2.3.1. Γενικό πλαίσιο.....	17-18
2.3.2. Τεχνολογία σταθεροποίησης και ελέγχου κίνησης για ακριβή και ταχεία αντίδραση.....	19
2.3.3. Τεχνολογία επίγνωση της επιχειρησιακής κατάστασης πάσης φύσεως συνθηκών.....	20
2.3.4. Τεχνολογικές τάσεις εξέλιξης.....	21-22
3 Επίδραση στο σύγχρονο επιχειρησιακό περιβάλλον.....	22-29
3.1. Οφέλη και προβλήματα αξιοποίησης των RCWS.....	23-26
3.2. Μοντέλα RCWS	26-29
4. Ανάπτυξη κατασκευής.....	30-45
4.1. Ηλεκτρονικός εξοπλισμός.....	31-36
4.2. Ηλεκτρολογική σύνδεση εξαρτημάτων και ανάλυση λειτουργίας τους.....	36-39
4.3. Μηχανολογικός σχεδιασμός και ανάπτυξη κατασκευής.....	40-45
5. Λογισμικό κατασκευής.....	46-54
5.1. Αρχή λειτουργίας και μπλοκ διάγραμμα.....	46
5.2. Ανάλυση κώδικα.....	47-53
5.3. Παρατηρήσεις.....	54
6. Συμπερασματικός επίλογος.....	55
Βιβλιογραφία.....	56-57
Παράρτημα.....	58

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Δομή τηλεχειριζόμενου οπλικού σταθμού	11
Πίνακας 2. Αρχή λειτουργίας τηλεχειριζόμενου οπλικού σταθμού.....	15
Πίνακας 3. GPIO Raspberry pi 4B.....	32
Πίνακας 4. Pins TB6600.....	35
Πίνακας 5. Διάγραμμα σύνδεσης εξαρτημάτων.....	37
Πίνακας 6. Διάρθρωση κατασκευής.....	40
Πίνακας 7. Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας RCWS.....	46

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Βασικός εξοπλισμός ενός RCWS	13
Εικόνα 2. Σταθμός ελέγχου RCWS	14
Εικόνα 3. Μηχανισμός περιστροφής.....	19
Εικόνα 4. Οπτικό σύστημα αναγνώρισης.....	20
Εικόνα 5. Συστήματα διαμόρφωσης σταθμού Trackfire	22
Εικόνα 6. XM101 RCWS.....	26
Εικόνα 7. Protector RCWS.....	27
Εικόνα 8. Ισραηλίτικο RCWS σε τεθωρακισμένο όχημα μάχης.....	27
Εικόνα 9. Trackfire RCWS.....	28
Εικόνα 10. FN Arrow RCWS.....	28
Εικόνα 11. FLW 100 RCWS.....	29
Εικόνα 12. Σχεδιασμός κατασκευής RCWS.....	30
Εικόνα 13. Μικροελεγκτής Raspberry pi 4B.....	31
Εικόνα 14. Οθόνη Ingc00l 7 Inch.....	32
Εικόνα 15. Raspberry pi camera.....	33
Εικόνα 16. SG90.....	33
Εικόνα 17. Βηματικοί κινητήρες Nema 17 και 23.....	34
Εικόνα 18. Ελεγκτές κινητήρων TB6600.....	35

Εικόνα 19. Μπαταρίες 18650.....	36
Εικόνα 20. Διακόπτες SW του TB6600 driver.....	37
Εικόνα 21. Παλμοί PWM με διαφορετικούς κύκλους εργασίας και οι αντίστοιχες τάσεις εξόδου.....	38
Εικόνα 22. Η συμπεριφορά του σερβοκινητήρα ανάλογα με τη διάρκεια των παλμών που δέχεται....	39
Εικόνα 23. Σκελετός.....	40
Εικόνα 24. Σχεδιασμός κατασκευής.....	41
Εικόνα 25. Μηχανισμός οριζόντιας περιστροφής.....	42
Εικόνα 26. Μηχανισμός κατακόρυφης κλίσης.....	42
Εικόνα 27. Μηχανισμός αγκίστρωσης.....	43
Εικόνα 28. Σταθμός με ηλεκτρονικό εξοπλισμό.....	43
Εικόνα 29. Κατασκευή RCWS.....	44
Εικόνα 30.	45
i. Μηχανισμός κατακόρυφης κλίσης	
ii. Έδρανο περιστροφής (Μηχανισμός οριζόντιας περιστροφής)	
iii. Κάμερα Pi σε προστατευτική θήκη	
iv. Οθόνη χειρισμού, λογισμικό στόχευσης	
Εικόνα 31. BGR σειρά	47
Εικόνα 32. Bounding box	49
Εικόνα 33. Οπτική αναγνώριση και στόχευση.....	49
Εικόνα 34. Pygame GUI	50
Εικόνα 35. Φόρμα υπολογισμού κύκλου λειτουργίας.....	52

1. Εισαγωγή

Στο πλαίσιο των ταχύτατων τεχνολογικών εξελίξεων που λαμβάνουν χώρα στη σημερινή εποχή και κυρίως στα μη επανδρωμένα οπλικά συστήματα έγκειται η τάση αντικατάστασης του ανθρώπινου δυναμικού με ρομποτικά συστήματα που θα επιτελούν ανάλογες λειτουργίες. Σε αυτό τον τομέα ανήκουν και οι τηλεχειριζόμενοι σταθμοί οπλισμού (Remote Controlled Weapon Station-RCWS). Πρόκειται για τηλεχειριζόμενα συστήματα τα οποία είναι σχεδιασμένα να ελέγχουν διάφορα είδη πυροβόλων από μια προστατευμένη θέση. Μπορούν να τοποθετηθούν σε άρμα, τεθωρακισμένο όχημα, σε αεροσκάφος ή ναυτικό ταχύπλοο και δύναται να φέρουν οποιοδήποτε οπλικό σύστημα ανάλογα με τις επιχειρησιακές απαιτήσεις είτε μεμονωμένα είτε παράλληλα. Τα συστήματα αυτά αναπτύχθηκαν για πρώτη φορά από την Αμερική και αξιοποιήθηκαν στον πόλεμο του Ιράκ, λόγω της ανάγκης αποφυγής της έκθεσης των πυροβολητών των πυργίσκων στην κορυφή τεθωρακισμένων οχημάτων κατά τη διάρκεια περιπολιών, στο δύσκολο επιχειρησιακά εξωτερικό περιβάλλον του αστικού ιστού. Προσέφεραν τη δυνατότητα άμεσης εμπλοκής με τον εχθρό από μια ασφαλή και προστατευμένη τοποθεσία, ολόσφαιρη επίγνωση του χώρου και ευελιξία σε συνθήκες μάχης. Πέρα από τις ένοπλες δυνάμεις, αξιοποιούνται ευρέως από τα σώματα ασφαλείας στην επιτήρηση και προστασία διάφορων χώρων και των συνόρων.

Ανάλογα με το επιθυμητό μέγεθος και λειτουργία, τα πυροβόλα και τα τεχνολογικά συστήματα που θα φέρει ένας τηλεχειριζόμενος οπλικός σταθμός, ο σχεδιασμός ενός τέτοιου σταθμού μπορεί να διαφέρει κατά πολύ. Ωστόσο πρόκειται για μια πολύ λεπτομερή διαδικασία, όπου πολλοί παράμετροι πρέπει να συνυπολογιστούν. Παρ'όλα αυτά η αρχή λειτουργίας του, όσον αφορά τις βασικές κινήσεις του, εμφανίζει μια συγκεκριμένη ομοιομορφία στα διάφορα μοντέλα ανάπτυξης του ανά τον κόσμο. Στη συγκεκριμένη εργασία, αναλύεται ο τρόπος σχεδιασμού και η διαδικασία κατασκευής μιας προσομοίωσης ενός ανάλογου συστήματος, τόσο σε μηχανολογικό κομμάτι και τρισδιάσταση σχεδίαση όσο και στην επιλογή των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και της σύνδεσης τους μεταξύ τους. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται επίσης και στον κώδικα με τον οποίο θα λειτουργεί ο σταθμός, καθώς αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι ενός τέτοιου συστήματος.

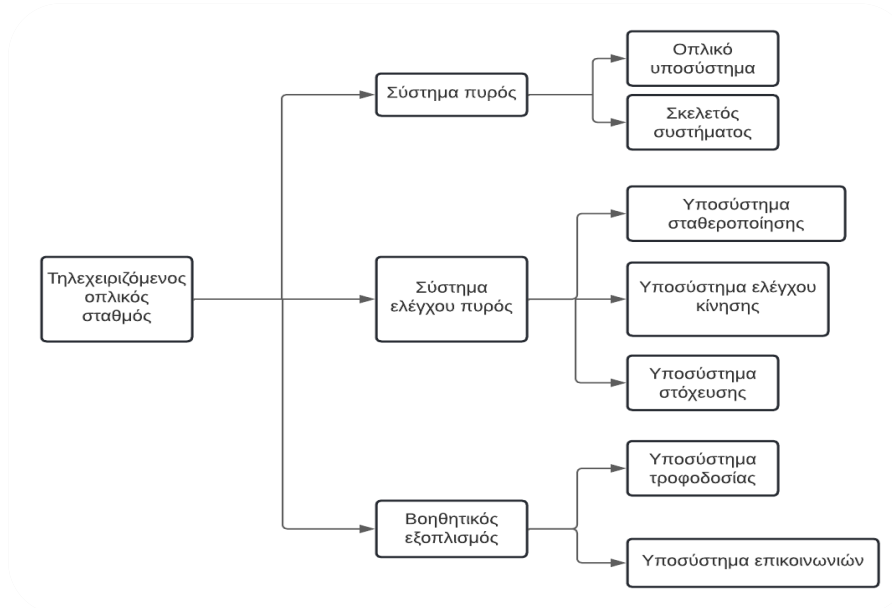
Προκειμένου όμως να ακολουθήσουν όλα τα προαναφερθέντα είναι απαραίτητο να γίνει μια αναφορά στη διάρθρωση των μηχανισμών που αποτελούν ένα RCWS, τη λειτουργία καθενός από αυτά, στην αλληλεπίδρασή τους και στην αρχή λειτουργίας του ως εννιαίου συνόλου. Σε αυτό το

σημείο ξεκαθαρίζονται και οι λόγοι για τους οποίους γίνονται ως απαραίτητα συστήματα. Μαζί με αυτά καταγράφεται το επίπεδο τεχνολογίας τέτοιων συστημάτων και οι τάσεις εξέλιξής τους στο κοντινό μέλλον, με την αυτοματοποίηση όλων των διαδικασιών και την αυτόνομη λειτουργία τους. Αναφέρονται συγκεκριμένα μοντέλα του σύγχρονου επιχειρησιακού πεδίου διαφόρων ενόπλων δυνάμεων και τονίζονται τα οφέλη και τα προβλήματα αξιοποίησής τους.

2. Ανάλυση συστήματος ενός τηλεχειριζόμενου οπλικού σταθμού

2.1. Δομή

Ο τηλεχειριζόμενος οπλικός σταθμός, είναι ένα οπλικό σύστημα που αποσκοπεί στην αύξηση της προστασίας του ζωτικού δυναμικού στο επιχειρησιακό περιβάλλον. Στο κεφάλαιο αυτό, αναπτύσσεται η δομή ενός τέτοιου συστήματος, με επεξήγηση της λειτουργίας κάθε μηχανισμού που το αποτελεί, οι βασικές αρχές λειτουργίας του και το τρέχον τεχνολογικό επίπεδο. Προκειμένου, όπως έχει προαναφερθεί, οι ένοπλες δυνάμεις και τα σώματα ασφαλείας να συμβαδίσουν με το σύγχρονο τρόπο διεξαγωγής πολέμου και να προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια, έχουν αναπτύξει τηλεχειριζόμενα οπτικά συστήματα που προστατεύουν άμεσα το χειριστή ενός πολυβόλου σε ένα όχημα από ελεύθερους σκοπευτές, εκρηκτικούς μηχανισμούς και πολλά άλλα.



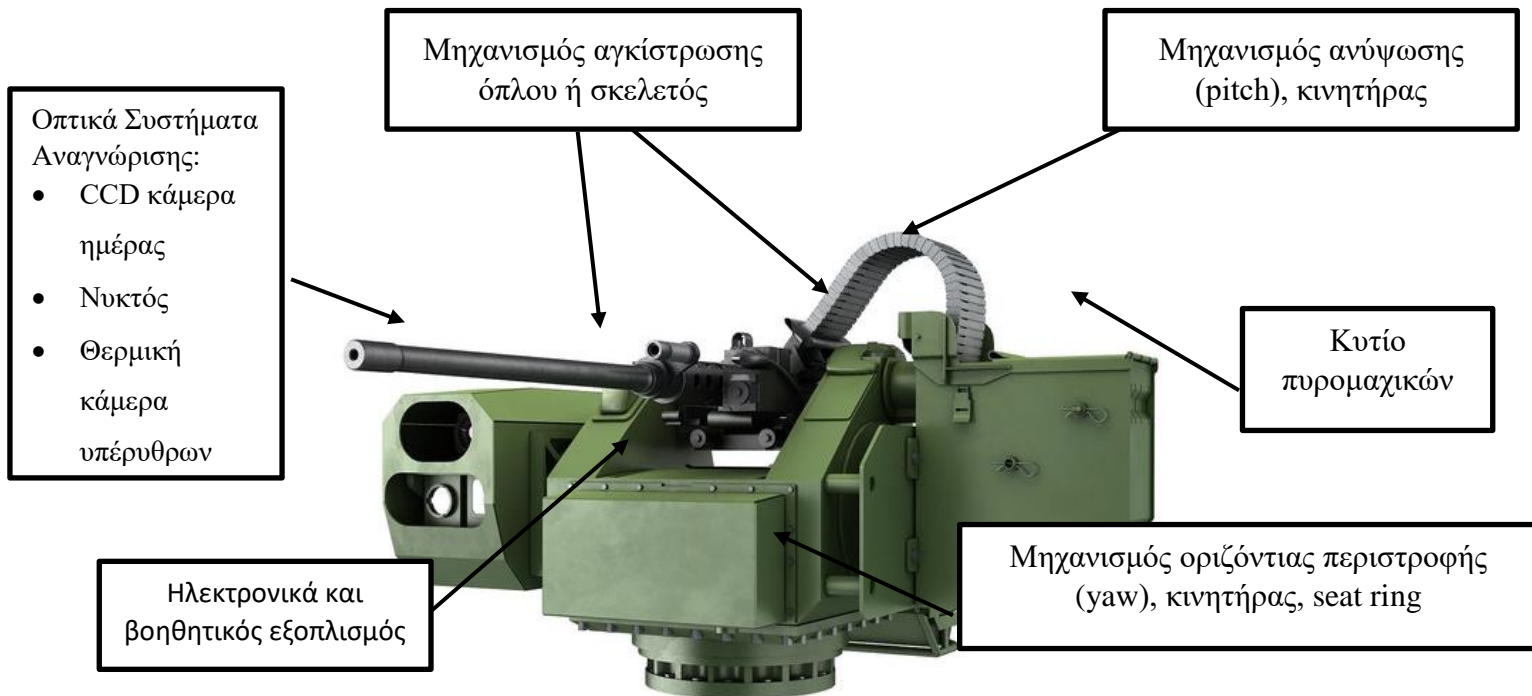
Πίνακας 1. Δομή τηλεχειριζόμενου οπλικού σταθμού

Ένας τηλεχειριζόμενος οπλικός σταθμός είναι μια περίπλοκη πλατφόρμα που αποτελείται από πολλούς μηχανισμούς, οι οποίοι αλληλεπιδρούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Είναι σχεδιασμένος να είναι ευέλικτος, σταθερός και να αντέχει στις σκληρές συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος και του πεδίου της μάχης.

Αποτελείται κυρίως από το σύστημα πυρός, το σύστημα ελέγχου πυρός και τον βοηθητικό εξοπλισμό. Το σύστημα πυρός αποτελείται από το οπλικό υποσύστημα και το υποσύστημα αγκίστρωσης του ή το σκελετό του. Το οπλικό υποσύστημα αφορά το σύνολο των πολυβόλων διάφορων διαμετρημάτων ή οτιδήποτε φέρει ο σταθμός, εκτοξευτές πυραύλων, κανόνια, βομβιδοβόλα κ.ά. Η επιλογή των προαναφερθέντων γίνεται με βάση το επιθυμητό βεληνεκές, την ακρίβεια στόχευσης και την ισχύ πυρός, τα οποία βασίζονται στον τύπο της επιχείρησης. Παράλληλα, ένας σταθμός πρέπει να έχει τη δυνατότητα να εναλλάσσει ταχύτατα τα οπικά του αυτά υποσυστήματα και να τα ανατροφοδοτεί με πυρομαχικά ή να τα αντικαθιστά άμεσα όταν απαιτείται. Σε μια επιχείρηση στο πεδίο εκτός αστικού ιστού, μπορούν αξιοποιηθούν πολυβόλα μεγάλου διαμετρήματος, διατρητικοί πύραυλοι εναντίον τεθωρακισμένων στόχων και εντός αστικού ιστού ή σε ειρηνευτικές αποστολές οπλοπολυβόλα μικρού διαμετρήματος, βομβιδοβόλα κ.ά. Ο σκελετός του συστήματος ή ο μηχανισμός αγκίστρωσης είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να αγκιστρώνει τα οπικά υποσυστήματα και περιλαμβάνει βάση στήριξης, βραχίονες, έδρανα περιστροφής (αξιοποιείται ευρέως σε οπλικούς σταθμούς καθώς είναι πολύ αποτελεσματικό για την οριζόντια περιστροφή), μηχανισμό απορρόφησης κραδασμών κ.ά.

Στο σύστημα ελέγχου πυρός ανήκουν οι μηχανισμοί, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τον αποτελεσματικό έλεγχο του οπλικού υποσυστήματος, δηλαδή τη σταθεροποίησή του, τον έλεγχο της κίνησής του ή την περιστροφή του και τη στόχευση (αισθητήρες). Το υποσύστημα σταθεροποίησής του φροντίζει ώστε η πλατφόρμα να είναι σταθερή κατά την εκτέλεση πυρών, να μειώνει και να απορροφά τους θορύβους και τους κραδασμούς. Χαρακτηρίζεται επίσης από ακρίβεια σχεδιασμού αφού πρέπει να προσαρμόζεται η θέση του σε πραγματικό χρόνο κατά την κίνηση. Στον έλεγχο της κίνησής του, δρουν οι κινητήρες, ο υπολογιστής ελέγχου πυρός με το χειριστήριο ελέγχου και την οθόνη του (σταθμός ελέγχου). Στη στόχευση, υποσυστήματα οπτικής αναγνώρισης ημέρας και νυκτός μαζί με αισθητήρες, περιλαμβάνουν κάμερες CCD, GPS, αποστασιόμετρα laser, θερμικές κάμερες, συστήματα ανίχνευσης ελεύθερων σκοπευτών και

ναρκών, τα οποία έχουν δυνατότητες ακριβούς στόχευσης και δράσης σε όλες τις καιρικές συνθήκες.



Εικόνα 1. Βασικός εξοπλισμός ενός RCWS

Στον βοηθητικό εξοπλισμό συμπεριλαμβάνονται τα υποσυστήματα τροφοδοσίας και επικοινωνιών. Τροφοδοσία μπορούν να παρέχουν μπαταρίες ή γεννήτριες ή άλλες πηγές ενέργειας. Πρέπει να είναι ικανά να παρέχουν συνεχή και σταθερή ενέργεια στο σύστημα, με τη δυνατότητα ταχείας εναλλαγής σε εφεδρικά τροφοδοτικά σε περιπτώσεις ανάγκης, καθώς και να ανταποκρίνονται σε ακραίες θερμοκρασίες. Μέσω του επικοινωνιακού εξοπλισμού, παράλληλα, εξασφαλίζεται η αλληλεπίδραση με μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα (UAVs) ή του εδάφους (UGVs) ή και κέντρα σταθμού και ελέγχου. Τα μέσα αυτά πρέπει να είναι αξιόπιστα και ασφαλή από πιθανές παρεμβολές του εχθρού και να παρέχουν δεδομένα σε ζωντανό χρόνο.

Τα RCWS υποστηρίζουν πολυβόλα κυρίως μεσαίου και βαρέως τύπου, που δεν δύναται να τα φέρει ατομικά ένας μαχητής. Όταν γίνεται αναφορά για παραδοσιακά επανδρωμένο πυργίσκο σημαίνει ότι ένας μαχητής επανδρώνει το πυργίσκο και χειρίζεται το όπλο του τακτικού οχήματος.

Ο πυργίσκος περιστρέφει τον οπλικό σταθμό που εκτίθεται στο εξωτερικό περιβάλλον. Τα RCWS είναι οπλικά συστήματα τα οποία χειρίζεται (στοχεύει και πυροδοτεί) ο μαχητής εξ' αποστάσεως μέσω της ασφάλειας που του προσφέρει το τεθωρακισμένο όχημα, στο εσωτερικό του οποίου βρίσκεται.

Τα RCWS πακτώνονται στο πάνω και κεντρικό ή μπροστινό μέρος του τεθωρακισμένου οχήματος, στο σημείο που βρίσκεται ο πυργίσκος αυτού. Ο χειρισμός του πραγματοποιείται από το σταθμό ελέγχου, στο εσωτερικό του οχήματος. Σταθμός ελέγχου θεωρείται το κάθισμα ή η θέση στην οποία είναι τοποθετημένο το σύστημα ελέγχου. Μέσω αυτού ο χειριστής μπορεί να κατευθύνει και να περιστρέψει το οπλικό σύστημα (έχοντας οπτική εικόνα του στόχου και του εξωτερικού περιβάλλοντος μέσω των αισθητήρων) να τον εντοπίσει και να τον πλήξει, πυροδοτώντας έναντι αυτού. Χωρίς τα συστήματα αυτά, ο χειριστής του όπλου, ο οποίος βρίσκεται στο πυργίσκο και ελέγχει το όπλο είναι εκτεθειμένος στο εξωτερικό περιβάλλον από το στήθος και πάνω.



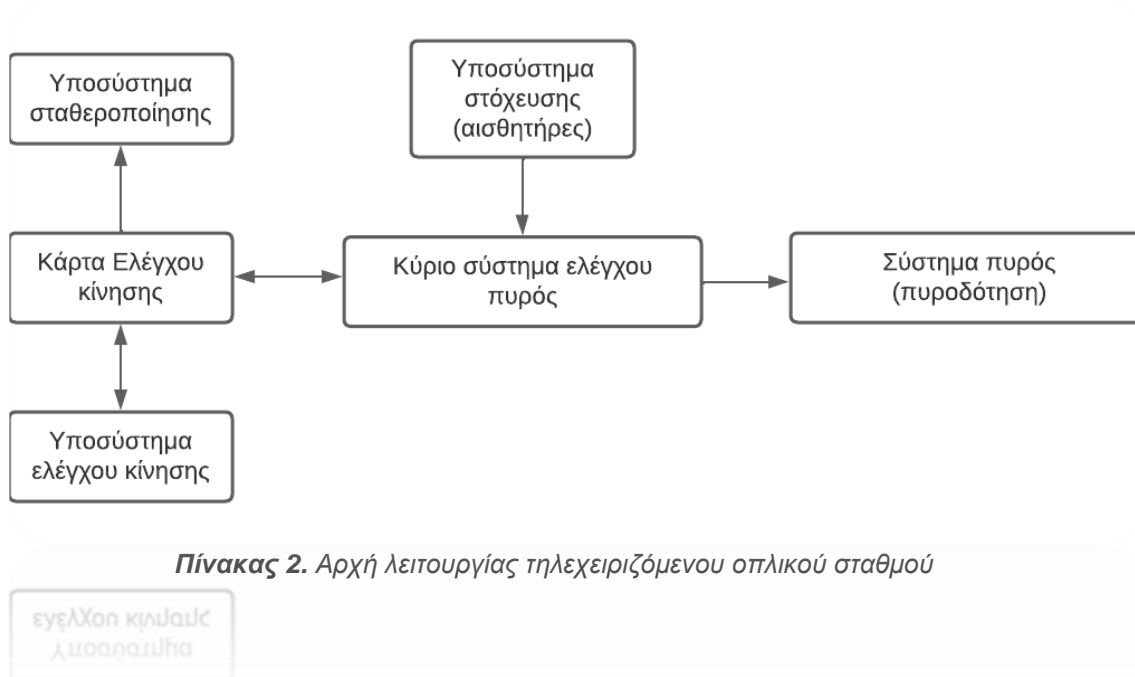
Εικόνα 2. Σταθμός ελέγχου RCWS

Ο σταθμός ελέγχου του συστήματος αποτελείται αποκλειστικά από το χειριστήριο αυτού. Το χειριστήριο περιλαμβάνει την οθόνη, στην οποία απεικονίζεται το τι κοιτάει το οπλικό σύστημα,

μέσω της μετάδοσης εικόνας των οπτικών συστημάτων που είναι πακτωμένα σε αυτό. Το χειριστήριο επίσης περιλαμβάνει τον μηχανισμό ελέγχου και περιστροφής του όπλου, καθώς και το κουμπί πυροδότησης αυτού.

2.2. Αρχή λειτουργίας

Αρχικά, είτε το σύστημα αυτόματα είτε ο ίδιος ο χειριστής ανιχνεύει το πεδίο της μάχης παρατηρώντας τη θέση και την απόσταση του στόχου μέσω της μετάδοσης ζωντανής εικόνας στον υπολογιστή ελέγχου πυρός. Την ημέρα η οπτική αναγνώριση (στόχευση, αναζήτηση, εντοπισμός στόχου και εκτίμηση απόστασης) επιτυγχάνεται μέσω CCD οπτικών οργάνων λευκού φωτός και αποστασιομέτρων laser, ενώ τη νύκτα μέσω θερμικών καμερών υπέρυθρης ακτινοβολίας. Την ίδια στιγμή παίρνοντας τις πληροφορίες για το ύψος, το αξιμούθιο και την απόσταση του στόχου από τα υποσύστημα οπτικής αναγνώρισης, το αναπτυγμένο software βοηθάει τον χειριστή να στοχεύσει ορθά.



Εν τέλει, ο χειριστής αξιοποιώντας όλα αυτά τα στοιχεία που εμφανίζονται στην οθόνη του χειριστηρίου ελέγχου, στοχεύει και βάλει εναντίον του στόχου. Στη διαδικασία στόχευσης και παρατήρησης, η περιστροφή του οπλικού σταθμού οριζόντια και κατακόρυφα και η

σταθεροποίηση επιτυγχάνεται από τον έλεγχο των δύο υποσυστημάτων αυτών από την κάρτα ελέγχου κίνησης.

Συνοψίζοντας, τα βασικά βήματα της λειτουργίας ενός RCWS είναι :

- Ανίχνευση στόχου: Μέσω των διάφορων αισθητήρων, των συστημάτων ανίχνευσης και οπτικής αναγνώρισης γίνεται η αναγνώριση του στόχου και η αξιολόγηση της απειλής.
- Επιλογή οπλικού υποσυστήματος: επιλογή κατάλληλου οπλικού μέσου ανάλογα με την ανίχνευση που έχει προηγηθεί.
- Σταθεροποίηση και παρακολούθηση στόχου: κατά την εμπλοκή η πλατφόρμα πρέπει να είναι σταθεροποιημένη και να διατηρεί συνεχή και καθαρή οπτική επαφή με τον στόχο, χειρίζοντας τον σταθμό μέσω των συστημάτων ελέγχου.
- Πυροδότηση οπλικού υποσυστήματος: ο χειριστής πυροδοτεί εναντίον του στόχου.
- Συλλογή δεδομένων: τελευταίο στάδιο είναι η συλλογή πληροφοριών για το περιβάλλον, η εκτίμηση της τοποθεσίας του στόχου και η αξιολόγηση του αποτελέσματος εμπλοκής, στοιχεία που μπορούν να αξιοποιηθούν για μελλοντικά συμβάντα.

Αυτή η διαδικασία μπορεί να εκτελεστεί για πολλαπλούς στόχους, είτε μεμακρυσμένα μέσω τηλεχειρισμού είτε τελείως αυτόνομα σε πιο εξελιγμένο επίπεδο μέσα από μια ασφαλή τοποθεσία.

2.3. Τεχνολογία ανάπτυξης

Για την ανάπτυξη των RCWS απαιτείται μια ευρεία γκάμα τεχνολογιών και μηχανισμών, τα οποία καλύπτουν διάφορα επιστημονικά πεδία όπως της μηχανικής, επικοινωνιών, οπτικοηλεκτρονικών, ηλεκτρονικής, τηλεπικοινωνιών, τεχνολογίας υλικών κ.ά. Επομένως, η σύνδεση των γνωστικών αυτών στοιχείων προαπαιτεί τη συνεργασία διαφόρων κλάδων και αποδεικνύει το υψηλό επίπεδο τεχνογνωσίας που απαιτείται για την κατασκευή ενός τέτοιου συστήματος. Συγκριτικά με τα χειριζόμενα οπτικά συστήματα, τα πλεονεκτήματα των τηλεχειριζόμενων κρύβονται πίσω από τη τεχνολογία ανάπτυξής τους, η οποία υποδιαιρείται στα τμήματα της υψηλής ακρίβειας ελέγχου και γρήγορης αντίδρασης, της τεχνολογίας σταθεροποίησής του και στις δυνατότητες επίγνωσης της επιχειρησιακής κατάστασης πάσης φύσεως επιχειρησιακών συνθηκών.

2.3.1. Γενικό πλαίσιο

Για την ανάπτυξη ενός τέτοιου συστήματος ακολουθείται μια λεπτομερής διαδικασία με πολλαπλούς σχεδιασμούς και υπολογισμούς. Συγκεκριμένα, μερικά στοιχεία από αυτά που εξετάζονται είναι ο σχεδιασμός της δομής του, η συναρμολόγηση όλων των απαρτίων, ο υπολογισμός των δυναμικών χαρακτηριστικών που αναπτύσσονται από την επαφή μεταξύ κάθε πυροβόλου, του σκελετού αγκίστρωσής του και του οχήματος, η βελτιστοποίηση της τροφοδοσίας του και η διανομή της, η αξιοπιστία και η ασφάλεια χειρισμού του.

(1) Λαμβάνοντας υπόψιν τη δομή και τα χαρακτηριστικά του φέροντος πυροβόλου, ο σχεδιασμός της δομής πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να ελαχιστοποιεί όσο μπορεί το μέγεθος του σταθμού, αποφεύγοντας ταυτόχρονα τυχόν επαφή μεταξύ των απαρτίων που θα εμποδίσει οποιαδήποτε ελευθερία κινήσεως κατά τη λειτουργία του. Η συναρμολόγηση του συστήματος περιλαμβάνει τον σχεδιασμό του κάθε κομματιού ξεχωριστά, ώστε να εξασφαλίζει την ορθή λειτουργία του και την ένωση του με τα υπόλοιπα τμήματα της κατασκευής. Στόχος του σχεδιασμού αυτού είναι η επίτευξη των καλύτερων δυνατοτήτων και των σκοπών του σταθμού, στον μικρότερο δυνατό χώρο.

(2) Στον τομέα της ακρίβειας στόχευσης, εξετάζονται τα κενά εφαρμογής μεταξύ των απαρτίων, η ακρίβεια της οπτικής αναγνώρισης και της κίνησης των κινητήρων, η ταχύτητα αντίδρασης και η σχέση των δυναμικών χαρακτηριστικών του συστήματος. Για την υλοποίηση του τελευταίου, απαιτείται μια συγκεκριμένη σειρά ελέγχων, η οποία είναι:

I. Βελτιστοποίηση της μάζας και κατάλληλη διανομή του κέντρου βάρους του όπλου, προκειμένου η ιδιοσυχνότητα του πυργίσκου να μην συμπίπτει με τη ραδιοσυχνότητα και τη δόνηση του σώματος, με σκοπό την αποφυγή δόνησης του πύργου.

II. Τοποθέτηση του όπλου στο βέλτιστο σημείο στο έδρανο στήριξης για την εξασφάλιση της μέγιστης δυνατής σταθεροποίησης κατά την εκπυρσοκρότηση.

III. Κατάλληλος σχεδιασμός και υπολογισμός πάχους των απαρτίων για την απορρόφηση των κραδασμών.

- (3) Για την τροφοδοσία του συστήματος επιδιώκεται η χαμηλότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας και η βελτιστοποίηση των καλωδίων.
- (4) Τα χαρακτηριστικά της χρήσης του όπλου, ο σχεδιασμός του, ο μηχανισμός και το ηλεκτρομαγνητικό του τμήμα είναι αυτά που εγγυούνται την αξιοπιστία και την ασφάλεια του συστήματος.

Ορισμένα τεχνολογικά κλειδιά και βασικά στοιχεία που αξιοποιούνται για τη λειτουργία ενός RCWS και προσφέρουν έναν ασφαλή, ευέλικτο και αποδοτικό τρόπο προσβολής στόχων είναι:

- Υποσυστήματα σταθεροποίησης: για την εξασφάλιση της σταθερότητας του συνόλου κατά τη διάρκεια κινήσεων ή κατά την πυροδότηση. Μπορεί να περιλαμβάνουν γυροσκόπια, έδρανα κ.ά.
- Μονάδες τηλεχειρισμού: απαραίτητες για τη μετάδοση εντολών στο πυροβόλο και το μεμακρυσμένο έλεγχό του.
- Τεχνολογίες σκόπευσης: θερμικές κάμερες, ηλεκτρο-οπτικά μέσα, αποστασιόμετρα κ.ά.
- Υποσυστήματα επικοινωνιών: radio ή Ethernet δίκτυα για τη μετάδοση δεδομένων και σημάτων ελέγχου μεταξύ της κονσόλας του χειριστή και του σταθμού.
- Τεχνητή Νοημοσύνη (AI): σε προηγμένα RCWS μέσω της μηχανικής μάθησης και της υπολογιστικής όρασης επιτελείται η αναγνώριση και η ταξινόμηση του στόχου και η αποδοτικότητα των λειτουργιών του.

Το κόστος των σταθμών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το μέγεθος, τα οπτικά υποσυστήματα που φέρει και τον κατασκευαστή. Μπορεί να κοστίζουν εκατοντάδες δολάρια έως κι εκατομμύρια. Στο συνολικό κόστος πέρα από το κόστος λειτουργίας πρέπει να συνυπολογίζεται και αυτό της συντήρησης, των ανταλλακτικών και της εκπαίδευσης των χειριστών.

2.3.2. Τεχνολογία σταθεροποίησης και ελέγχου κίνησης για ακριβή και ταχεία αντίδραση

Κρίνεται σημαντικό να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην τεχνολογία και στους μηχανισμούς πίσω από τη σταθεροποίηση, τον έλεγχο κίνησης και τους αισθητήρες κάθε RCWS, διότι παίζουν μείζονα ρόλο στη λειτουργία του. Ο τηλεχειριζόμενος οπλικός σταθμός προορίζεται για διάφορα οχήματα. Γι' αυτό πέρα από την ευελιξία που απαιτεί ο σχεδιασμός του, είναι απαραίτητο να έχει μεγάλο βαθμό κινητικότητας για την παρατήρηση του στόχου, τη γρήγορη στόχευση και την αποτελεσματική πυροδότηση εναντίον του. Η επιλογή του υποσυστήματος σταθεροποίησης εξαρτάται από συγκεκριμένες απαιτήσεις για κάθε σταθμό, αναλόγως το μέγεθος και το βάρος του σταθμού, του περιβάλλοντος στο οποίο θα επιχειρεί και τα οπλικά υποσυστήματα που θα φέρει. Μερικά από αυτά είναι μηχανικά, υδραυλικά και ηλεκτρο-οπτικά συστήματα. Τα μηχανικά χρησιμοποιούν γυροσκόπια ή άλλους μηχανισμούς για να εξασφαλίσουν τη σταθερότητα ενώ τα υδραυλικά αξιοποιούν την απόσβεση υγρών για να μειώσουν τις δονήσεις. Τα ηλεκτρο-οπτικά συστήματα αξιοποιούν αισθητήρες, επιταχυνσιόμετρα και συστήματα ελέγχου για να προσαρμόσουν δυναμικά τη θέση της πλατφόρμας σε πραγματικό χρόνο. Από εκεί κι έπειτα και σε συνεργασία με τα προαναφερθέντα δρουν τα συστήματα ελέγχου, μέσω της γρήγορης και ακριβούς αντίδρασης των drivers των κινητήρων για τον έλεγχο αυτών. Οι κινητήρες πρέπει να χαρακτηρίζονται από μεγάλη ροπή συγκράτησης φορτίου (στατική και κινητή) και μεγάλη απόδοση εκκίνησης και αντίστοιχα, οι drivers τους, διάφορες σκάλες ταχυτήτων και closed loop έλεγχο, για τον υπολογισμό του ακριβούς βήματος της περιστροφής. Ο έλεγχος των κινητήρων, μέσω ενός ενσωματωμένου αναπτυγμένου αλγορίθμου, φροντίζει για τη σταθερότητα, την ακρίβεια και τη ταχύτητα κίνησής τους και τη διατήρηση της ακριβούς θέσης τους.



Εικόνα 3. Μηχανισμός περιστροφής

2.3.3. Τεχνολογία επίγνωσης της επιχειρησιακής κατάστασης πάσης φύσεως συνθηκών

Επειδή η παρατήρηση και η στόχευση δεν γίνεται από το γυμνό μάτι του πυροβολητή, αλλά μέσω οθόνης, τα οπτικά συστήματα αναγνώρισης πρέπει να έχουν τη δυνατότητα αποτύπωσης του περιβάλλοντος σε υψηλή ευκρίνεια, προκειμένου να εξασφαλίσουν τη δυνατότητα τηλεχειρισμού του συστήματος. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, η οπτική αναγνώριση πρέπει να λαμβάνει δράση και σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες που επικρατούν στο πεδίο της μάχης. Σε χαμηλές θερμοκρασίες, υγρασία, φως, ομίχλη, κακοκαιρία, πρέπει να γίνονται αυτόματα οι κατάλληλες τροποποιήσεις ώστε ο χειριστής να έχει πλήρη επίγνωση του περιβάλλοντα χώρου. Μερικοί από τους πιο κοινούς αισθητήρες είναι:



Εικόνα 4. Οπτικό σύστημα αναγνώρισης

- Ηλεκτρο-οπτικοί και υπέρυθροι: παρέχουν μια οπτική και θερμική εικόνα του στόχου και χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση του σε συνθήκες ημέρας και νυκτός. Παράλληλα σε αυτούς γίνονται αυτόματα οι κατάλληλες ρυθμίσεις για την εξισορρόπηση της φωτεινότητας της εικόνας σε μεταβολές του φωτός του πεδίου.
- Αποστασιόμετρα laser: αξιοποιούνται για να προσδιορίζουν επακριβώς την απόσταση του στόχου, κάτι που αποτελεί κρίσιμης σημασίας πληροφορία για την αποδοτικότητα της στόχευσης.
- Ραντάρ: ανιχνεύουν και παρακολουθούν στόχους σε μεγάλες αποστάσεις και συμβάλλουν ιδιαίτερα στον προσδιορισμό της θέσης κινούμενων στόχων.
- Ακουστικοί: αυτού του τύπου οι αισθητήρες ανιχνεύουν τους ήχους που δημιουργούνται από κινούμενους στόχους, όπως ο ήχος της μηχανής ή της κίνησης των τροχών.
- GPS: παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία τόσο του στόχου όσο και του σταθμού.

2.3.4 Τεχνολογικές τάσεις εξέλιξης

Οι δυνατότητες των οπλικών σταθμών εξελίσσονται σε σημαντικό βαθμό διαρκώς. Οι βελτιώσεις αφορούν τόσο την αρχιτεκτονική της δομής, τις επικοινωνίες, τον ευφυή εξοπλισμό των αισθητήρων και των συστημάτων ελέγχου του πεδίου της μάχης, όσο και την επαναφόρτιση του συστήματος και τη σύνδεσή του με ένα ενιαίο δίκτυο πληροφοριών για τον συντονισμό των επιχειρήσεων. Τελευταία τάση αποτελεί η μετατροπή της τεχνολογίας εντοπισμού, ανίχνευσης και παρακολούθησης του στόχου αλλά και του χειρισμού του συστήματος σε τελείως αυτόνομο βαθμό λειτουργίας. Δηλαδή το σύστημα θα ανιχνεύει και θα κλειδώνει τον στόχο τελείως αυτόνομα και ο χειριστής το μόνο που θα χρειαστεί να κάνει είναι να επιβεβαιώσει τη λειτουργία αυτή και να πατήσει το κουμπί της πυροδότησης. Όλες αυτές οι μελέτες βελτίωσης των RCWS αποσκοπούν σε μεγαλύτερη ευελιξία και σε περισσότερες δυνατότητες και αφορούν κυρίως του εξής τομείς:

- Αυτοματοποίηση: με την πρόοδο της τεχνητής νοημοσύνης, μελετάται η εκτέλεση των λειτουργιών της ανίχνευσης, της στόχευσης και της προσβολής του στόχου αυτόματα χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση.
- Διαλειτουργικότητα: είναι πιθανό τα RCWS να αλληλεπιδρούν με άλλα συστήματα και πλατφόρμες ως ενιαίο σύνολο για βελτίωση της απόδοσης.
- Βελτιωμένες δυνατότητες: νέες τεχνολογίες όπως η επαυξημένη πραγματικότητα και οι ολογραφικές οθόνες θα προσφέρουν στους χειριστές πιο ολοκληρωμένη επίγνωση της κατάστασης και θα συμβάλλουν στη λήψη απόφασης.
- Μειωμένο μέγεθος και βάρος: η μείωση του όγκου είναι επιθυμητή ώστε τα συστήματα να έχουν μεγαλύτερη ευελιξία και να προσαρμόζονται σε διάφορες πλατφόρμες.
- Ενσωμάτωση με άλλα μη επανδρωμένα συστήματα: η εγκατάσταση των τηλεχειριζόμενων οπλικών σταθμών σε άλλα μη επανδρωμένα συστήματα όπως τα εναέρια (UAVs), θα προσφέρει στα τελευταία μεγαλύτερο πλήθος δυνατοτήτων.

Μια ιδιαίτερα πρωτοποριακή καινοτομία, που κάνει την εμφάνισή της τον τελευταίο καιρό, είναι η εξέλιξη του λογισμικού των συστημάτων αυτών όσον αφορά την πολυλειτουργικότητά τους και τη συγκέντρωση όλων των λειτουργιών του κάθε υποσυστήματος στη διάθεση του χειριστή. Δηλαδή μέσα από τον σταθμό ελέγχου, το σύστημα θα δύναται να επιλέγει αυτόματα οποιοδήποτε οπλικό σύστημα φέρει ο πυργίσκος και να τα εναλλάσσει ανάλογα με την επιχειρησιακή απαίτηση. Αυτή την τεχνολογία διαθέτει ο σουηδικός σταθμός Trackfire, με την

οποία, ανάλογα με τις επιχειρησιακές απαιτήσεις, αυτόματα μπορεί να επιλεγεί το κατάλληλο όπλο, οπτικό όργανο και είδος πυρομαχικού για γρήγορη προσαρμογή. Ωστόσο, αυτό ο βαθμός αυτονομίας εγείρει πολλά ερωτήματα και ηθικά διλήμματα, καθώς η λήψη απόφασης στην εκτέλεση μιας ενέργειας που θέτει σε άμεση απειλή ανθρώπινες ζωές δεν μπορεί να λαμβάνεται από ένα ρομποτικό σύστημα (“μια μηχανή”) σύμφωνα με τα καθιερωμένα μέτρα και νόμους διεξαγωγής πολεμικών συγκρούσεων από τη διεθνή κοινότητα.



Εικόνα 5. Συστήματα διαμόρφωσης σταθμού Trackfire

3. Επίδραση στο σύγχρονο επιχειρησιακό περιβάλλον

Στο κεφάλαιο αυτό συγκρίνεται ένα πυροβόλο παραδοσιακά πακτωμένο στον πυργίσκο ενός οχήματος χειριζόμενο από τον πυροβολητή με ένα πυροβόλο πακτωμένο σε έναν τηλεχειριζόμενο οπλικό σταθμό. Ο πόλεμος στο Ιράκ οδήγησε τον αμερικανικό στρατό να αναπτύξει τέτοιες λύσεις συστημάτων ώστε να αυξήσουν την προστασία του έμψυχου δυναμικού, ειδικότερα όταν αυτό επιχειρεί σε δρόμους αστικού ιστού. Τα RCWS αποτελούν ένα παράδειγμα στρατιωτικής καινοτομίας το οποίο έχει στόχο να προστατεύσει τη ζωτική δύναμη διατηρώντας την πολεμική ισχύ του συστήματος και μειώνοντας παράπλευρες απώλειες. Είναι αυτά τα συστήματα μια

βελτίωση των παραδοσιακά επανδρωμένων όπλων στη μάχη; Στο πλαίσιο μιας σύντομης επισκόπησης, λαμβάνοντας υπόψιν κριτικές διαφόρων δημοσιεύσεων και αναλύσεων και απόψεων ανθρώπων που χρησιμοποίησαν αυτά τα συστήματα στο πεδίο, καταγράφουμε τα πλεονεκτήματα των RCWS σε σχέση με έναν απλά επανδρωμένο πυργίσκο, σχετικά προβλήματα που προκύπτουν, και τι πόρους απαιτούν τέτοια είδη συστημάτων. Παράλληλα, θα καταγράψουμε συγκεκριμένα μοντέλα από στρατιωτικές βιομηχανίες όλου του κόσμου.

3.1. Οφέλη και προβλήματα αξιοποίησης των RCWS

Για να απαντηθεί το αν τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν μια βελτίωση συγκριτικά με τα επανδρωμένα οπλικά συστήματα πρέπει πρώτα να εξεταστούν οι λόγοι για τους οποίους η αξιοποίηση τους κρίνεται απαραίτητη. Ύστερα μελετάται το αν τα συστήματα αυτά ικανοποιούν τους λόγους αυτούς υιοθέτησής του, δηλαδή προσφέρουν ειδικές δυνατότητες που δεν προσφέρει ένα παραδοσιακά επανδρωμένο πολυβόλο, καθώς και ποια είναι τα γενικά προβλήματα και οι περιορισμοί που προκύπτουν σχετικά με τη λειτουργικότητά τους. Επομένως, μερικοί λόγοι για τους οποίους τα RCWS είναι απαραίτητα εργαλεία για το σύγχρονο δυσμενές επιχειρησιακό περιβάλλον αλλά και τον χώρο ασφαλείας είναι :

- Αυξημένος κίνδυνος: οι χειριστές ήταν εκτεθειμένοι σε εχθρικά πυρά και δυσμενείς συνθήκες, γεγονός που κατέστησε αναγκαία την κάλυψή τους.
- Περιορισμοί χειριστή: οι φυσικοί περιορισμοί, όπως η κόπωση, επιδρά αρνητικά στην αποτελεσματική ενεργή δράση του χειριστή, ένα πρόβλημα το οποίο λύνεται μέσω του τηλεχειρισμού.
- Επίγνωση της κατάστασης: οι παραδοσιακοί μέθοδοι επάνδρωσης των πυργίσκων δεν απέδιδαν το καλύτερο οπτικό πεδίο για στόχευση και επίγνωση του εξωτερικού χώρου, κάνοντας δύσκολο το έργο των πολυβολητών.
- Κινητικότητα: οι τηλεχειριζόμενοι αυτοί σταθμοί μπορούν να προσαρμοστούν σε οποιαδήποτε κινητή πλατφόρμα, προσφέροντας ευελιξία και μείωση κόπωσης και χρόνου.

- Βελτιωμένες δυνατότητες: η πολυπλοκότητα του σύγχρονου επιχειρησιακού πεδίου δημιουργεί την ανάγκη συνεργασίας και διαλειτουργικότητας ποικίλων συστημάτων υψηλού τεχνολογικού επιπέδου ως ενιαίο σύνολο.

Είναι δύσκολο να προσδιοριστεί το αν τα RCWS προσβάλλουν μεγαλύτερο αριθμό στόχων στη μάχη, ή είναι πιο αποτελεσματικά. Με τα πρώτα που είχαν αναπτυχθεί από τον Αμερικανικό Στρατό και είχαν εξεταστεί από το Αμερικανικό Τμήμα Ελέγχου-Ανάπτυξης, υποστηριζόταν ότι αυξάνεται η πιθανότητα ευστοχίας στην πρώτη βολή. Το Γραφείο Πολιτικών-Στρατιωτικών Σχέσεων του Αμερικανικού Στρατού υποστήριζε ότι κατόπιν ορθού χειρισμού, τα οπλικά συστήματα αυτά είναι κατά 98% ακριβή. Ορισμένες ξεχωριστές δυνατότητες των συστημάτων αυτών τα θέτουν πιο αποτελεσματικά από τους εξ επαφής χειριζόμενους πυργίσκους. Αρχικά, μπορούν να αναγνωρίσουν έναν στόχο ανεξαρτήτως του ύψους του όπλου. Αυτή η δυνατότητα οφείλεται στην αξιοποίηση των αισθητήρων. Αυτό δεν δύναται να υλοποιηθεί μέσω των παραδοσιακών οπλικών συστημάτων, στα οποία ο πυροβολητής πρέπει να ευθυγραμμίσει το όπλο στο ύψος του στόχου, ώστε να τον εντοπίσουν και να το στοχεύσουν μέσα από το σκόπευτρο του πυροβόλου. Δεύτερον, τα RCWS προσδίδουν μεγάλη σταθερότητα και δυνατότητα απορρόφησης των ανακρούσεων του όπλου μέσω συστημάτων σταθεροποίησής τους. Επίσης, δεν μεταβάλλεται η θέση του σε κινήσεις του οχήματος σε ανώμαλα εδάφη, γεγονός που στους επανδρωμένους πυργίσκους οδηγεί σε άστοχες βολές. Μέσω της σταθεροποίησης των RCWS και κατά συνέπεια της μεγαλύτερης ευστοχίας, ενισχύεται και πάλι η αποδοτικότητα του συστήματος. Τρίτον, έχουν τη δυνατότητα χειροκίνητου χειρισμού και πυροδότησης σε περιπτώσεις οποιασδήποτε δυσλειτουργίας εμφανιστεί. Τέλος, αυξάνεται σημαντικά το ποσοστό ευστοχίας στην προσβολή εχθρικού στόχου στις πρώτες βολές, λόγω εγκατεστημένου λογισμικού που στοχεύει στη βελτίωση της ακρίβειας στόχευσης.

Σημαντικό όφελος, που όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί και βασικό λόγο ανάπτυξής τους, είναι ότι οι τηλεχειριζόμενοι πυργίσκοι προσφέρουν κάλυψη στον χειριστή, προστατεύοντάς τον. Αυτό αφορά όχι μόνο την προστασία του χειριστή μέσω της βαλλιστικής θωράκισης των τεθωρακισμένων οχημάτων έναντι πυρών ελεύθερων σκοπευτών κι εκρήξεων ναρκών (IEDs), αλλά και άλλους τρόπους:

- 1) Αποτρέπουν την εκτόξευση του χειριστή από τον πυργίσκο του οχήματος σε περίπτωση ατυχήματος ή αναποδογυρίσματος του. Ακόμη δεν θέτει σε κίνδυνο τον χειριστή, καθώς

μπορεί να επέμβει και σε περιβάλλον που έχει υποστεί χημική, βιολογική ή τοξική επιμόλυνση. Μπορεί να προσαρτηθεί σε οποιοδήποτε όχημα, πλοίο ή αεροσκάφος το οποίο διαθέτει τη κατάλληλη υποδοχή, αλλά και σε εδαφικές επιφάνειες δυσπρόσιτες για την επιτήρηση και φύλαξη ενός τομέα μείζονος σημασίας με δυνατότητα εμπλοκής.

- 2) Θερμικές κάμερες επιτρέπουν στον χειριστή να αναγνωρίσει κρυμμένες ή θαμμένες νάρκες από απόσταση. Αυτή η δυνατότητα σε συνδυασμό με τη δυνατότητα περιστροφής του συστήματος κατά 360° οριζοντίως και περίπου -20° με 60° κατακόρυφα, επιτρέπει στον πυροβολητή να πλήξει στόχους σε μεγάλη απόσταση κι εξασφαλίζει τη δυνατότητα στο τεθωρακισμένο όχημα να αποφύγει πιθανές ενέδρες ή μη ευνοϊκές εμπλοκές σε μάχη.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο υπό εξέταση είναι το αν ο οπλικός σταθμός αυτός μειώνει τις παράπλευρες απώλειες σε ένα περιβάλλον μάχης. Παράπλευρες απώλειες θεωρούμε απρόβλεπτη ζημιά σε εγκαταστάσεις, εξοπλισμό ή προσωπικό που προκαλούνται σε πολεμικές επιχειρήσεις εναντίον του εχθρού. Τα συστήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα να πλήξουν στόχους σε μεγάλες αποστάσεις με μεγάλη ακρίβεια, με αποτέλεσμα πολλές φορές αυτό να αυξάνει την πιθανότητα να εμπλακούν άμαχοι σε ένα περιβάλλον μάχης. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι ο χειριστής βρίσκεται στο εσωτερικό του οχήματος με αποτέλεσμα να μην βλέπει ζωντανά, να μην ακούει και να μην αισθάνεται ότι αισθάνεται ένας εκτεθειμένος στο εξωτερικό περιβάλλον πυροβολητής. Χαρακτηριστικά μπορούμε να αναφέρουμε, ότι δεν δύναται να αναγνωρίζει τι του μεταβιβάζει λεκτικά ένας στόχος και γενικότερα να συσχετίζει στοιχεία του περιβάλλοντος ώστε να λαμβάνει μια καθαρή απόφαση για το αν ο στόχος είναι πραγματικά εχθρικός. Ωστόσο, τα συστήματα οπτικής αναγνώρισης, λόγω της προηγμένης τεχνολογίας τους και της δυνατότητας θερμικής ή νυχτερινής αναγνώρισης και της ακριβούς στόχευσης και της μεγέθυνσης, απορρίπτουν αυτούς τους κινδύνους και μειώνουν την πιθανότητα των παράπλευρων αυτών απωλειών.

Επιπλέον, τα συστήματα αυτά εξασφαλίζουν επιχειρησιακή ετοιμότητα σε μεγάλο βαθμό. Μπορούν να λειτουργήσουν σε δυσμενείς συνθήκες, καθώς ο χειριστής δεν είναι εκτεθειμένος σε βροχή, χιόνι, σκόνη, άμμο που δυσχεραίνουν το έργο του πυροβολητή. Επίσης, είναι από μόνα τους θωρακισμένα, ενώ οι παραδοσιακά χειριζόμενοι πυργίσκοι έχουν βαλλιστικές πλάκες γύρω τους για τη θωράκιση τους, κάτι που δυσκολεύει την κίνηση του πυροβολητή. Από όλα τα

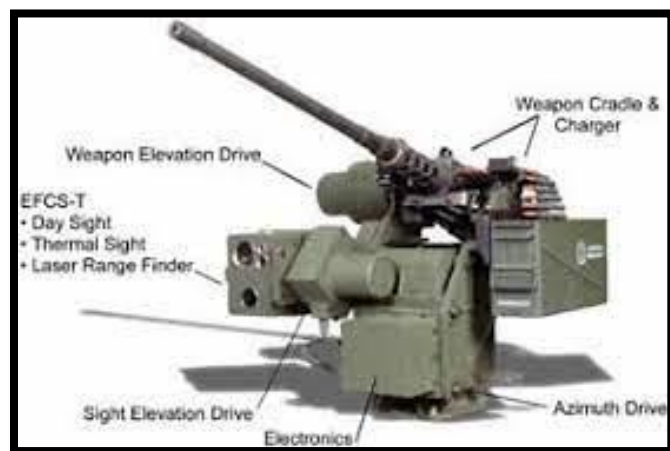
παραπάνω προκύπτει ότι σίγουρα τα συστήματα αυτά κρίνονται πιο αποτελεσματικά από τα παραδοσιακά συστήματα.

Θεωρείται ωστόσο σημαντικό να αναφερθούν και ορισμένα προβλήματα και περιορισμοί που προκύπτουν. Πρόκειται για περίπλοκα συστήματα τα οποία συνδυάζουν πλήθος μηχανισμών και υποσυστημάτων, τα οποία απαιτούν συντήρηση ή και αντικατάσταση με τον χρόνο, κάτι που επιδρά στην αξιοπιστία και τη διαθεσιμότητά τους. Ακόμη, αυτά τα συστήματα απαιτούν ειδική και δύσκολη εκπαίδευση για τον χειρισμό τους, ώστε να υπάρχει επαρκής και αποδοτική αντίδραση σε επείγουσες καταστάσεις κι ευκολία συντονισμού-επικοινωνίας με τους υπεύθυνους των αποστολών. Είναι επίσης ιδιαίτερα δαπανηρά, τόσο στην αγορά τους όσο και στη συντήρησή τους. Δύσκολο είναι και το εγχείρημα συνδυασμού των σταθμών αυτών με συστήματα επικοινωνίας και διοίκηση ελέγχου, καθώς αξιοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες και πρωτόκολλα. Τέλος, απειλές στον κυβερνοχώρο όπως το hacking ή επιθέσεις malware μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο ολόκληρο τον έλεγχο του σταθμού, γι' αυτό απαιτούνται δραστικά μέτρα προστασίας τους από τέτοιου είδους περιστατικά.

3.2. Μοντέλα RCWS

Η Αμερική ήταν η πρώτη χώρα που ανέπτυξε τηλεχειριζόμενους οπλικούς σταθμούς και τους αξιοποίησε για πρώτη φορά σε επιχείρηση. Πλέον, οι σταθμοί αυτοί αποτελούν τον τυπικό εξοπλισμό των τεθωρακισμένων οχημάτων του αμερικανικού στρατού όπως τα άρματα M1A2, τα οχήματα MRAP με τα οποία επιχείρησαν στο Ιράκ και τα Beckham Wei οχήματα περιπολίας.

Μεταξύ αυτών οι πιο συνηθισμένοι είναι οι πυργίσκοι XM101 και Protector. Το XM101 είναι ένας τηλεχειριζόμενος οπλικός σταθμός ελαφρού τύπου και διπλού άξονα κίνησης, εξοπλισμένος με οπτικά δυνατοτήτων μεγέθυνσης έως 18 φορές υπέρυθρα και 27 φορές σε φως ημέρας, με αποστασιόμετρο laser και συσκευή υπολογισμού της τροχιάς των πυρών με δυνατότητα ανίχνευσης έως 5



Εικόνα 6. XM101 RCWS

km και αναγνώρισης στόχου έως 2 km. Υποδέχεται ελαφρά πολυβόλα της τάξης των 5.56 και 7.62 mm, βαριά πολυβόλα και εκτοξευτές καπνογόνων βομβίδων των 12.7 και 40 mm. Είναι επίσης εξοπλισμένο με υψηλής απόδοσης σύστημα γυροσκοπίου τύπου DSP-300, για τη σταθεροποίηση των συστημάτων οπτικής αναγνώρισης και των όπλων, για την εύστοχη προσβολή του στόχου, είτε το όχημα είναι στατικό είτε κινείται.

Ο σταθμός Protector αναπτύχθηκε από την εταιρεία Constable Berg και μπορεί να φέρει διάφορα πολυβόλα, αυτόματα βομβιδοβόλα και αντιαρματικούς πυραύλους. Έχει αποστασιόμετρο laser, σύστημα σταθεροποίησης, οπτικά υπερύθρων και φωτός ημέρας. Είναι εξοπλισμένος ακόμη με ειδικά κυτία πυρομαχικών διαφόρων όπλων και ειδική θωράκιση για μεγαλύτερη προστασία.



Εικόνα 7. Protector RCWS

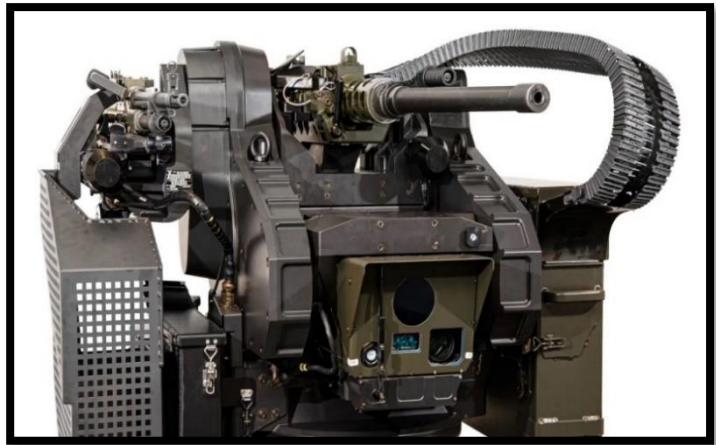
Το Ισραήλ αναπτύσσει κι εξελίσσει ταχύτητα τέτοια είδη συστημάτων κι έχει θέσει και αυτό τα συστήματα αυτά σε ενεργή επιχειρησιακή δράση. Αξίζει να σημειωθεί πως υιοθέτησε την ιδέα ανάπτυξης τους για τα τεθωρακισμένα οχήματα στις αρχές του 1970. Μέχρι στιγμής έχει κατασκευάσει τη σειρά Heroes και Waves με δέκα είδη οπλικών σταθμών. Το πιο διαδεδομένο από αυτά είναι το Warrior -30, διπλού άξονα σταθεροποίησης, εξοπλισμένο με οπτικά ημέρας (έως 10 φορές μεγέθυνση) και υπερύθρων απόστασης περισσότερο από 4 km, παρατήρηση ημέρας και νυκτός, αυτόματη αναγνώριση στόχου και μπορεί να φέρει πολυβόλα 7.62 mm, αυτόματα βομβιδοβόλα, μικρά αυτόματα όπλα μικρής διαμέτρου κι εκτοξευτές αντιαρματικών πυραύλων spike. Τοποθετείται στα ελαφράς



Εικόνα 8. Ισραηλίτικο RCWS σε τεθωρακισμένο όχημα μάχης

θωράκισης chariot, σε άρματα μάχης και σε ΤΟΜΠΙ-ΤΟΜΑ (τεθωρακισμένο όχημα μεταφοράς προσωπικούς – μάχης) του ισραηλινού στρατού.

Η Σουηδία άργησε να εισαχθεί στην παραγωγή τηλεχειριζόμενων οπλικών σταθμών, όμως φημίζεται για την υψηλή τεχνολογία στόχευσης και ανίχνευσης στόχου. Έχει αναπτύξει τον οπλικό σταθμό Trackfire πάνω στα σχέδια του φωτοηλεκτρικού οργάνου ελέγχου EOS500, το οποίο εγκαθίσταται σε διάφορα στρατιωτικά οχήματα και πλοία. Το σύστημα αυτό αποτελείται από διάφορων τύπων αισθητήρες, μονάδα ελέγχου και ηλεκτρονικό εξοπλισμό και όπλα των 5.56 mm, 7.62 mm, 12.7 mm ή αυτόματα βομβιδοβόλα της τάξης των 40 mm.



Εικόνα 9. Trackfire RCWS

Περιλαμβάνει συστήματα οπτικής αναγνώρισης με μηχανισμό ψύξης και αποστασιόμετρο laser. Έχει καλή σταθεροποίηση, δυνατότητα στόχευσης, πυροδότησης σε ανώμαλο έδαφος και αυτόματης αναγνώρισης κι εντοπισμού του στόχου. Επιπλέον, ο χειριστής μπορεί να ανατροφοδοτήσει τον σταθμό με πυρομαχικά από το εσωτερικό του οχήματος αποφεύγοντας έτσι την έκθεσή του στο εξωτερικό περιβάλλον.

Το Βέλγιο έχει κατασκευάσει τους πιο υψηλής τεχνολογίας οπλικούς σταθμούς στον κόσμο, γνωστοί ως Arrow. Κατασκευάζονται από την εταιρεία FN και είναι εξοπλισμένοι με οπτικά συστήματα νυκτός και ημέρας (CCD). Έχει δυνατότητα αναγνώρισης στόχου έως 1.2 km και αυτόματης ανίχνευσής του, καθώς και αυτοσταθεροποίησης. Μπορεί να φέρει πολυβόλα 7.62 mm, βαριά πολυβόλα 12.7 mm και αυτόματα βομβιδοβόλα 40 mm, τα οποία εγκαθίστανται σε τεθωρακισμένα οχήματα για επιχειρήσεις στο πεδίο, σε ειρηνευτικές αποστολές και σε περιπολίες συνόρων.



Εικόνα 10. FN Arrow

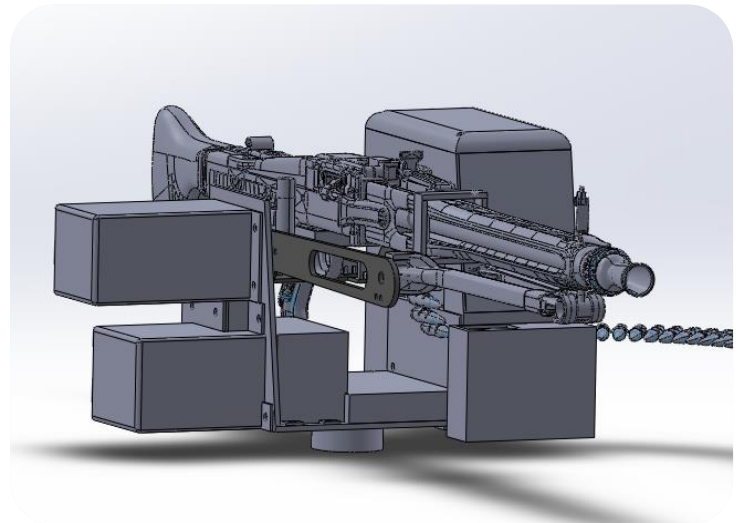
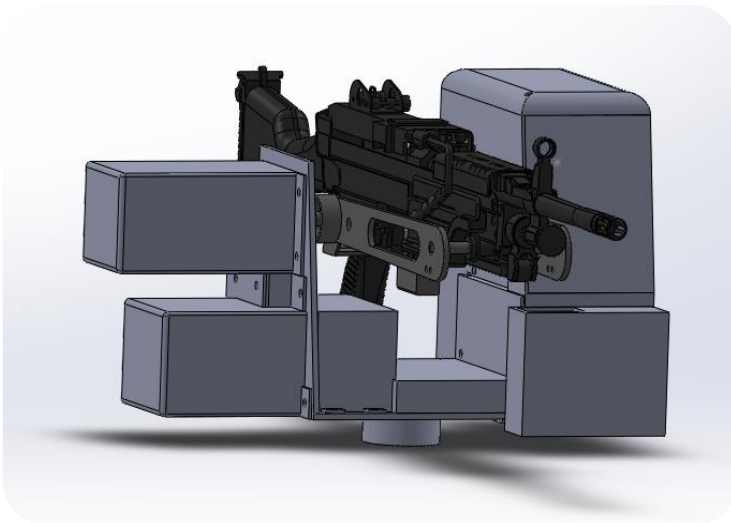
Η Γερμανία βρίσκεται και αυτή στον τομέα αυτόν, σε πολύ αναπτυγμένο τεχνολογικά επίπεδο. Η εταιρεία KMW διευθύνει μια σειρά παραγωγής ανάλογων συστημάτων, FLW, τα τελευταία χρόνια. Πρόκειται για συστήματα πλήρως σταθεροποιημένα, τα οποία φέρουν 5.56, 7.62 και 12.7 mm πολυβόλα ή βομβιδοβόλα 40 mm. Περιλαμβάνουν οπτικά συστήματα θερμικά και ημέρας, δυνατότητα αυτόματου εντοπισμού στόχου και αυτόματη προσαρμογή όπλου ανάλογα με τις βαλλιστικές απαιτήσεις. Μπορούν να εγκατασταθούν σε ελαφρά θωρακισμένα οχήματα αλλά και ως βοηθητικά συστήματα σε βαριά θωρακισμένα οχήματα, όπως τα άρματα για επιχειρήσεις σε αστικό ιστό.



Εικόνα 11. FLW 100 RCWS

4. Ανάπτυξη κατασκευής

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει συνοπτική αναφορά σε μια μελέτη σχεδιασμού και προσομοίωση ανάπτυξης κατασκευής ενός τηλεχειριζόμενου οπλικού σταθμού. Σκοπός του σχεδιασμού αυτού είναι να προσομοιάσουμε τη λειτουργία και τη δομή ενός πραγματικού επιχειρησιακού ανάλογου συστήματος, να έχει όσο το δυνατόν μικρότερο μέγεθος σε διαστάσεις και με μικρές τροποποιήσεις στο τμήμα αγκίστρωσης του φέροντος οπλισμού να δύναται να φέρει οποιοδήποτε πυροβόλο όπλο. Επίσης, σημαντικό είναι να παρουσιάζει μια ευελιξία για την εγκατάστασή του σε διάφορες κινητές πλατφόρμες και οχήματα. Αρχικά, θα αναφερθούμε στον ηλεκτρονικό του εξοπλισμό (μικροελεγκτής, κινητήρες και κάθε είδους εξάρτημα που αξιοποιείται) για την καλύτερη κατανόηση των λειτουργιών και του ρόλου τους στην κατασκευή. Στη συνέχεια θα αναλυθεί ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του κάθε μηχανισμού του συστήματος και η σύνδεσή τους ως ενιαίο σύνολο.



Εικόνα 12. Σχεδιασμός κατασκευής RCWS

4.1. Ηλεκτρονικός εξοπλισμός

Ο υπολογιστής ελέγχου είναι ο μικροϋπολογιστής Raspberry pi 4B. Σε αυτόν είναι συνδεδεμένα τα οπτικά για την εκτέλεση της οπτικής αναγνώρισης και οι βηματικοί κινητήρες για την κίνηση του σταθμού μέσω των drivers τους, για τον ακριβή έλεγχο του βήματος κίνησης. Επίσης, ο συγκεκριμένος μικροϋπολογιστής ελέγχει και τον σερβοκινητήρα για την πυροδότηση του όπλου, μέσω της ώθησης της σκανδάλης από ειδικό μοχλό που διαθέτει ο κινητήρας αυτός. Δίνοντας στο Raspberry pi τον κατάλληλο κώδικα επιτυγχάνεται η ακριβής λειτουργία των υπόλοιπων εξαρτημάτων. Αναλυτικότερα:

- 1) Raspberry pi 4B: Πρόκειται για τον ελεγκτή όλου του συστήματος και αυτόν που ελέγχει όλες τις λειτουργίες. Διαθέτει Quad Core Processor 1.2GHz 64-Bit, 8GB RAM, 4 θύρες USB 2.0 για σύνδεση με πληκτρολόγιο, ποντίκι και άλλα περιφερειακά, 40 ακίδες εισόδου ή εξόδου για τις διάφορες λειτουργίες του (GPIO), θύρα Ethernet, WiFi, Bluetooth 4.1, έξοδο HDMI, ειδική υποδοχή για κάμερα, έξοδο ήχου mini jack και USB-C υποδοχή για να την τροφοδοσία του. Χρειάζεται τροφοδοσία 5V, 2.5A. Παράγει τους παλμούς PWM, απαραίτητους για την επικοινωνία του με τον ελεγκτή πτήσης.



Εικόνα 13. Μικροελεγκτής Raspberry pi 4B

Οι ακίδες του μικροϋπολογιστή (header ή GPIO) επιτρέπουν τη σύνδεση με μια τεράστια γκάμα αισθητήρων, κινητήρων, LED και αξεσουάρ. Συγκεκριμένα διαμορφώνονται ως εξής:

- 3,3 V (σε 2 ακίδες)
- 5V (σε 2 ακίδες)
- Γείωση (σε 8 ακίδες)
- Είσοδος κι έξοδος γενικού σκοπού
- PWM (διαμόρφωση πλάτους παλμού)
- I2C, ένα πρωτόκολλο για την επικοινωνία με περιφερειακά χαμηλής ταχύτητας
- I2S, ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας για τη μεταφορά ψηφιακού σήματος ήχου
- SPI, ένα σειριακό πρωτόκολλο full-duplex για επικοινωνία με περιφερειακά υψηλής ταχύτητας.

3V3 Power	1	2	5V Power
GPIO2 SDA1 I2C	3	4	5V Power
GPIO3 SCL1 I2C	5	6	Ground
GPIO4 1-wire	7	8	GPIO14 UART0_TXD
Ground	9	10	GPIO15 UART0_RXD
GPIO17	11	12	GPIO18 PCM_CLK
GPIO27	13	14	Ground
GPIO22	15	16	GPIO23
3V3 Power	17	18	GPIO24
GPIO10 SPI0_MOSI	19	20	Ground
GPIO9 SPI0_MISO	21	22	GPIO25
GPIO11 SPI0_SCLK	23	24	GPIO8 SPI0_CE0_N
Ground	25	26	GPIO7 SPI0_CE1_N
ID_SD I2C ID EEPROM	27	28	ID_SC I2C ID EEPROM
GPIO5	29	30	Ground
GPIO6	31	32	GPIO12
GPIO13	33	34	Ground
GPIO19	35	36	GPIO16
GPIO26	37	38	GPIO20
Ground	39	40	GPIO21

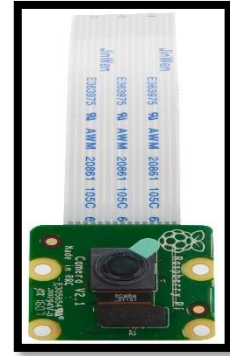
Πίνακας 3. GPIO Raspberry pi 4B

Στο Raspberry Pi συνδέεται μια μικρή οθόνη αφής για την αλληλεπίδραση και τον έλεγχό του, ώστε να απεικονίζονται τα αποτελέσματα του προγράμματος με το οποίο θα λειτουργεί η κατασκευή. Πρόκειται για την οθόνη της εταιρείας Ingecool των 7 ιντσών με ανάλυση 1024 x 600.



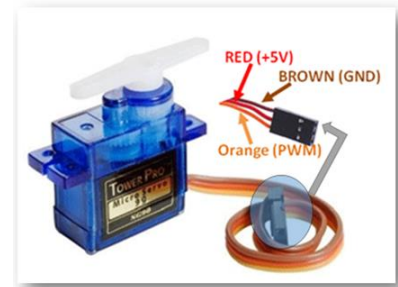
Εικόνα 14. Οθόνη Ingecool 7 Inch

- 2) Raspberry pi camera: Πρόκειται για την κάμερα που θα αξιοποιήσουμε για την οπτική μας αναγνώριση, της ίδιας εταιρείας με τον μικροϋπολογιστή, στον οποίο συνδέεται μέσω ειδικής ταινίας στην κατάλληλη υποδοχή του. Η πλακέτα έχει μικρές διαστάσεις (25mm x 20mm x 9mm) και το βάρος της είναι μόνο 3g, κάτι το οποίο παρέχει ευελιξία σε εφαρμογές όπου το μέγεθος και το βάρος είναι σημαντικό. Ο φακός έχει ανάλυση 8 megapixel. Για φωτογραφίες η ανάλυση που υποστηρίζει είναι 3280 x 2464 κι επίσης υποστηρίζει video με 1080p30 (Full HD), 720p60 και 640x480p60/90.



Εικόνα 15.
Raspberry pi camera

- 3) Μικρο-σερβοκινητήρας SG90 9 γραμμαρίων: ένας περιστροφικός κινητήρας, ο οποίος σε συνδυασμό με έναν κατάλληλο ρυθμιστή στροφών, επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο σε ένα πολύ μεγάλο εύρος ταχυτήτων της γωνιακής θέσης, της ταχύτητας, της επιτάχυνσης, της ροπής και άλλων επιμέρους λειτουργιών σε ένα μηχάνημα. Πρόκειται για μια διάταξη δηλαδή που μπορεί να γυρίζει έναν άξονα από 0 μέχρι 180 μοίρες. Η τάση λειτουργίας του κυμαίνεται από 3 έως 7.2 V. Με έναν άξονα τοποθετημένο στην κορυφή αυτού και την περιστροφή του επιτυγχάνεται η ώθηση της σκανδάλης και επομένως η πυροδότηση.



Εικόνα 16. SG90

- 4) Οι βηματικοί κινητήρες (stepper motor) είναι κινητήρες DC που κινούνται σε διακριτά βήματα. Έχουν πολλά πηνία που οργανώνονται σε ομάδες και ονομάζονται "φάσεις". Με την ενεργοποίηση κάθε φάσης σε σειρά, ο κινητήρας θα περιστραφεί, ένα βήμα κάθε φορά. Με αυτούς επιτυγχάνεται η ακριβής ρύθμιση θέσης και ταχύτητας για την περιστροφή της κατασκευής. Για τον λόγο αυτό, οι βηματικοί κινητήρες είναι ο κινητήρας της επιλογής για πολλές εφαρμογές ελέγχου ακριβείας. Συγκεκριμένα, εξυπηρετούν στα εξής:

- Θέση (Positioning): Δεδομένου ότι κινούνται σε ακριβή επαναλαμβανόμενα βήματα, γνωστά ως steps, με τη μετάδοση σε αυτούς ψηφιακών παλμών τάσης. Κάθε ένα βήμα αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη γωνία.
- Έλεγχος ταχύτητας (Speed Control): Τα ακριβή βήματα της κίνησης επιτρέπουν επίσης εξαιρετικό έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής με την εφαρμογή τάσης σε διαδοχικά τυλίγματα του, σε μικρά διακριτά χρονικά βήματα. Μόλις σταματήσει η εφαρμογή της τάσης, αυτός σταματάει ακαριαία. Όταν είναι σταματημένος, ο βηματικός κινητήρας κλειδώνει και δεν κινείται ελεύθερα.
- Ροπή χαμηλής ταχύτητας (Low Speed Torque): Ένας βηματικός κινητήρας έχει μέγιστη ροπή σε χαμηλές ταχύτητες, έτσι είναι μια καλή επιλογή για εφαρμογές που απαιτούν χαμηλή ταχύτητα με μεγάλη ακρίβεια.

Η ροπή τους μετριέται σε N*m (Newton meters). Είναι η ροπή που παράγει ο κινητήρας στις διάφορες ταχύτητες περιστροφής του. Η μέγιστη τιμή ροπής κάθε κινητήρα, που ονομάζεται ροπή ακινητοποίησης, είναι η ροπή που παράγει όταν το φορτίο που αντιμετωπίζει είναι τόσο μεγάλο, ώστε να τον ακινητοποιεί. Η ροπή που αναπτύσσεται όταν ο ρότορας ενός stepper motor μετακινείται κατά ένα βήμα ονομάζεται ροπή μετακίνησης. Η ταχύτητά τους μεταβάλλεται παρεμβάλλοντας ελεγχόμενο επιθυμητό χρονικό διάστημα ανάμεσα σε κάθε βήμα (PWM). Στην κατασκευή μας θα αξιοποιήσουμε τους βηματικούς κινητήρες Nema 17 και 23 βήματος 1,8 μοιρών και ροπής 0.4 και 2.2 Nm αντίστοιχα.



Εικόνα 17. Βηματικοί κινητήρες Nema 17 και 23

Σε κάθε κινητήρα συνδέεται ένας driver (ελεγκτής) TB6600. Μέσω αυτών επιτυγχάνεται ο ακριβής έλεγχος των βηματικών κινητήρων και η ρύθμιση του βήματος χωρίς παρεκκλίσεις από θόρυβο. Δέχεται από 12 έως 48 V. Είναι συμβατό με οποιονδήποτε μικροελεγκτή για την παραγωγή ψηφιακών παλμών για τον έλεγχο του κινητήρα (PWM), τόσο της κατεύθυνσης του όσο και της ταχύτητάς του. Τροποποιείται και ρυθμίζεται αναλόγως του κινητήρα που υποδέχεται.



Εικόνα 18. Ελεγκτές κινητήρων TB6600

Pin	Ονομασία	Λειτουργία
Pin 1	ENA-	Αναφέρεται στον αρνητικό ακροδέκτη ενεργοποίησης της μονάδας.
Pin 2	ENA+(+5V)	Αναφέρεται στον θετικό ακροδέκτη ενεργοποίησης, που είναι ο ακροδέκτης +5V της μονάδας.
Pin 3	DIR-	Αναφέρεται στην αρνητική κατεύθυνση του κινητήρα.
Pin 4	DIR+(+5V)	Αναφέρεται στη θετική κατεύθυνση των +5V.
Pin 5	PUL-	Αναφέρεται στον αρνητικό παλμό.
Pin 6	PUL+(+5V)	Αναφέρεται στον θετικό παλμό του κινητήρα.
Pin 7	B-	Αναφέρεται στο αρνητικό άκρο του 2 ^{ου} καλωδίου του πηνίου.
Pin 8	B+	Αναφέρεται στο θετικό άκρο του 2 ^{ου} καλωδίου του πηνίου.
Pin 9	A-	Αναφέρεται στο αρνητικό άκρο του 1 ^{ου} καλωδίου του πηνίου.
Pin 10	B+	Αναφέρεται στο αρνητικό άκρο του 1 ^{ου} καλωδίου του πηνίου.
Pin 11	GND	Αναφέρεται στη γείωση.
Pin 12	VCC	Αναφέρεται στην τροφοδοσία του driver (9 έως 42 V).

Πίνακας 4. Pins TB6600

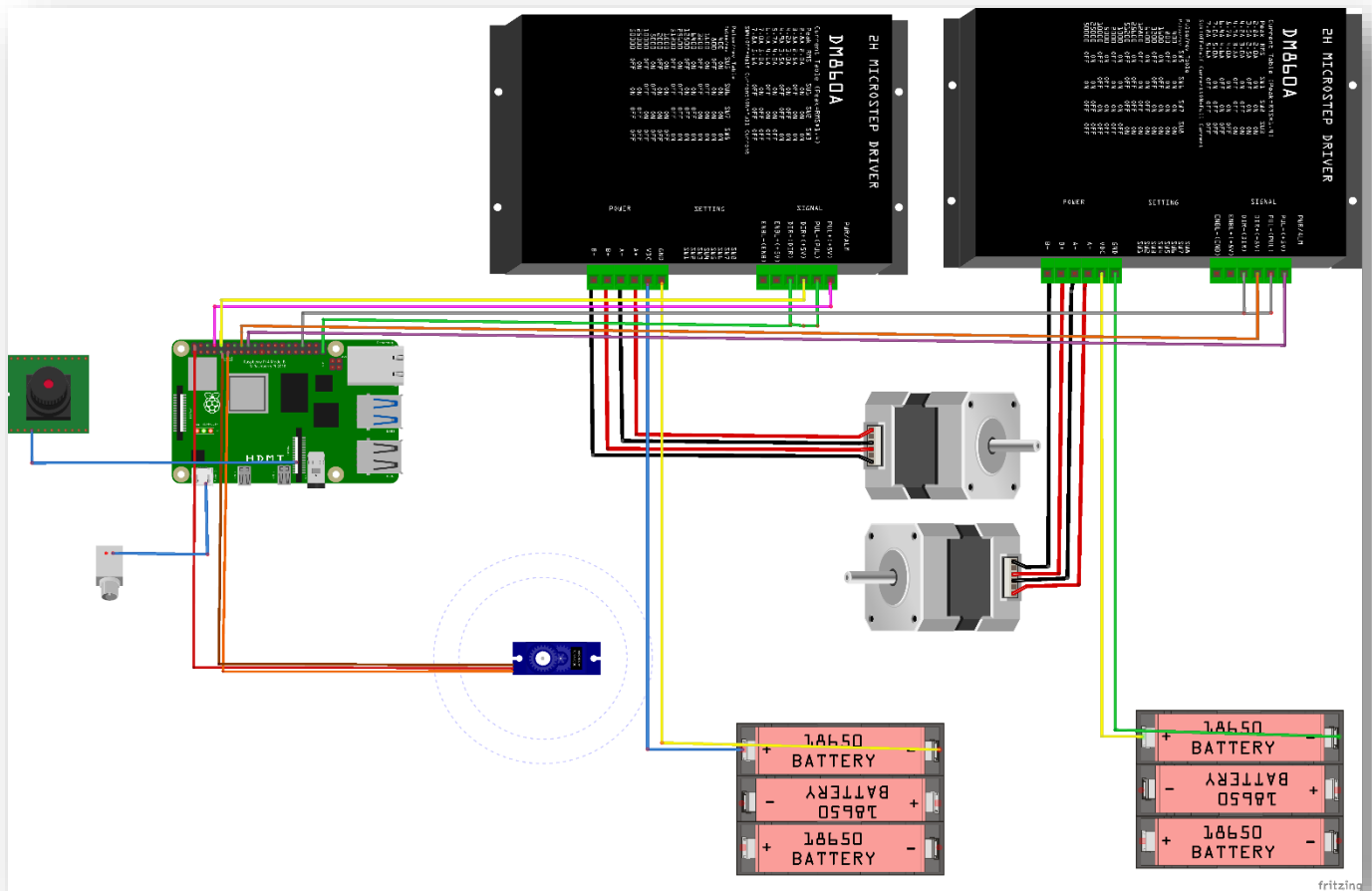
- 5) Τροφοδοσία: Για τους βηματικούς κινητήρες αξιοποιούνται δύο μπαταριοθήκες των 4 θέσεων σε σειρά και τοποθετούνται 4 επαναφορτιζόμενες μπαταρίες 18650 των 3,7 V και 2200 mAh έκαστη, ώστε να δίνεται σύνολο από κάθε πηγή τροφοδοσίας 14.8 V σε κάθε ελεγκτή.



Εικόνα 19. Μπαταρίες 18650

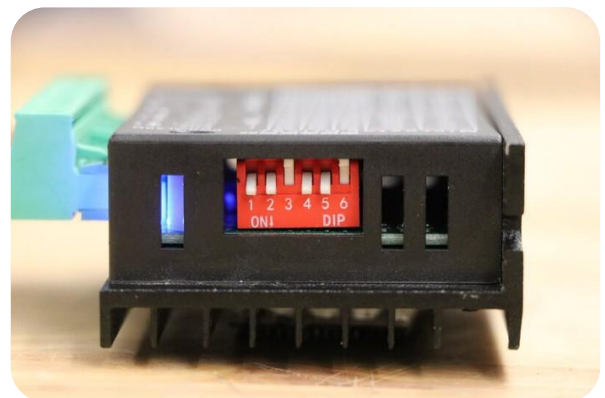
4.2. Ηλεκτρολογική σύνδεση εξαρτημάτων και ανάλυση λειτουργίας τους

Αρχικά, ο μικροελεγκτής έχει συνεχή παροχή ρεύματος από το τροφοδοτικό του. Στο pin 4, παροχής τάσης 5 V συνδέεται με το κόκκινο καλώδιο τροφοδοσίας του σερβοκινητήρα, το καφέ της γείωσης και το πορτοκαλί του σήματος στα pin 9 και 11 αντίστοιχα. Συνδέουμε την κάμερα με την ταινία της στην ειδική θύρα υποδοχής του raspberry. Παράλληλα παρέχουμε 14.8 V τάση στους drivers των κινητήρων, συνδέοντας τους με τα τροφοδοτικά των τριών κατά σειρά μπαταριών (το κόκκινο καλώδιο της τροφοδοσίας στο Vcc και το μαύρο της γείωσης στο GND). Στη συνέχεια, για να δούμε ποια καλώδια των βηματικών κινητήρων είναι μαζί θα αξιοποιήσουμε τη συνεχή λειτουργία του πολυμέτρου και θα τα συνδέσουμε αντιστοίχως στις θύρες των drivers A+ και A-, B+ και B-. Επίσης τα pins του σήματος που ορίζουν την κατεύθυνση (DIR) και τον παλμό (PUL) τα τοποθετούμε στα pins γενικής χρήσης 8, 10 και 16,18. Έπειτα, τα αντίστοιχα προαναφερθέντα αρνητικά του σήματος τα συνδέουμε από κοινού με ένα pin γείωσης του μικροϋπολογιστή (pin 34 και 39). Τέλος, συνδέουμε στο Raspberry την οθόνη Ingc001 μέσω HDMI.



Πίνακας 5. Διάγραμμα σύνδεσης εξαρτημάτων

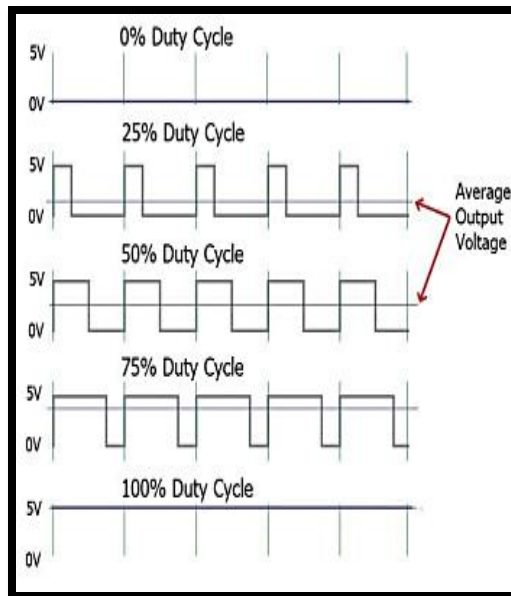
Ταυτόχρονα, πρέπει να ρυθμίσουμε τους drivers. Οι ενσωματωμένοι διακόπτες ελέγχου/οδηγού SW1, SW2, SW3, SW4, SW5 και SW6 χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ανάλυσης μικροβημάτων. Η ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση των διακοπτών SW4, SW5 και SW6 σχετίζεται με την ένταση του ρεύματος (0,7 έως 4 Amps) που δέχεται ο κινητήρας κατά τη συνεχή λειτουργία του, είναι διαφορετικά για κάθε μοντέλο και αναγράφονται στις προδιαγραφές του. Το Nema 17 απαιτεί 1,2 A και το Nema 23 2,8 ένταση ρεύματος οπότε θέτουμε τους διακόπτες SW4, SW5, SW6 σε θέση ON, OFF, ON και OFF, OFF, ON αντίστοιχα. Ακόμη επιλέγουμε και το microstep για τους δύο κινητήρες, για να πετύχουμε τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Αν τους ρυθμίσουμε ώστε να έχουν 1 micro step τότε απαιτούνται διακόσια βήματα για μια πλήρη



Εικόνα 20. Διακόπτες SW του TB6600 driver

επιστροφή. Το microstepping (μικροβηματισμός) δηλαδή είναι ένας τρόπος αύξησης του αριθμού των βημάτων στέλνοντας μια ημιτονοειδή/ συνημιτονοειδή κυματομορφή στα πηνία μέσα στον βηματικό κινητήρα, ώστε να λειτουργήσει ομαλότερα. Οπότε θέτουμε τους διακόπτες SW1, SW2, SW3 στην κατάλληλη θέση για τον ομαλότερο βηματισμό.

Στο σημείο αυτό κρίνεται δόκιμο να γίνει μια αναφορά στην κυματομορφή PWM. Μία PWM κυματομορφή στην πραγματικότητα αποτελεί μία περιοδική κυματομορφή η οποία έχει δύο τμήματα. Το τμήμα ON, στο οποίο η κυματομορφή έχει τη μέγιστη τιμή της και το τμήμα OFF, στο οποίο έχει την τιμή μηδέν. Το ποσοστό της περιόδου που αντιπροσωπεύει το θετικό μέτωπο του παλμού, τμήμα ON, ονομάζεται Duty Cycle και μετριέται είτε σε μονάδες χρόνου (ms, us κλπ) είτε σε ποσοστό (%) επί της περιόδου. Εφαρμόζοντας μία PWM κυματομορφή στην τροφοδοσία ενός φορτίου επιτυγχάνουμε να ελέγξουμε το ποσοστό της ισχύος που πέφτει πάνω στο φορτίο. Για την περίπτωση που το φορτίο είναι ένας κινητήρας, αυτό συνεπάγεται έλεγχο των στροφών του κινητήρα.

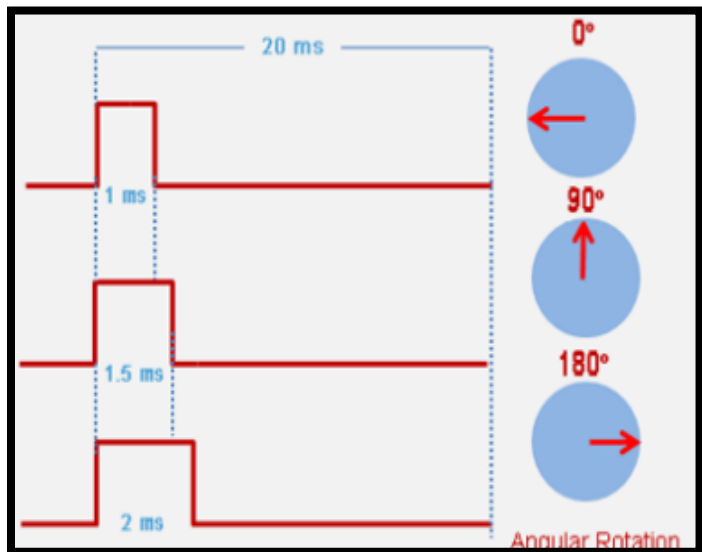


Εικόνα 21. Παλμοί PWM με διαφορετικούς κύκλους εργασίας και οι αντίστοιχες τάσεις εξόδου

Ο σερβοκινητήρας αποτελείται από έναν μικρό κινητήρα συνεχούς ρεύματος, ένα σύστημα γρاناζιών κι ένα κύκλωμα ελέγχου. Το συγκεκριμένο σύστημα μπορεί να στρέφει την κεφαλή του σέρβο (head), δηλαδή έναν εξωτερικό άξονα, μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών, ανάλογα με τη διάρκεια των παλμών PWM που δέχεται. Ένα ποτενσιόμετρο που είναι συνδεδεμένο στον εξωτερικό άξονα βοηθάει το κύκλωμα ελέγχου να παρακολουθεί την τρέχουσα γωνιακή θέση του άξονα. Σε περίπτωση που αυτή είναι διαφορετική από την επιθυμητή γωνία, ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος ξεκινά να περιστρέφει τον άξονα προς τη σωστή κατεύθυνση μέχρι να ευθυγραμμιστεί με την επιθυμητή γωνία. Όταν ο άξονας βρίσκεται στη σωστή θέση, ο κινητήρας σταματά να περιστρέφεται. Το πόσο θα περιστραφεί ο άξονας, εξαρτάται από την απόσταση της τρέχουσας γωνίας από την επιθυμητή κι έτσι η τάση που θα εφαρμοσθεί στο μοτέρ

είναι ανάλογη αυτής της απόστασης. Αν η απόσταση είναι μεγάλη θα εφαρμοσθεί μεγαλύτερη τάση, απ' ότι αν είναι μικρή.

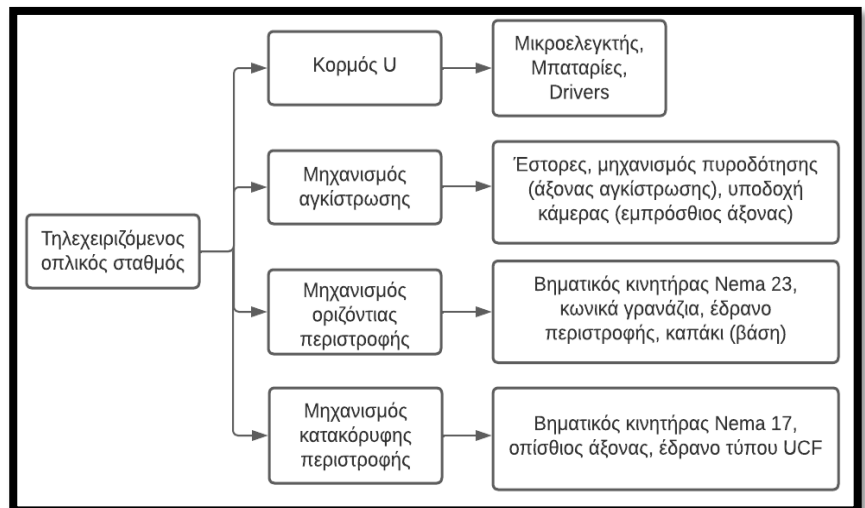
Ο σερβοκινητήρας δέχεται παλμούς PWM με περίοδο 20 millisecond. Ανάλογα με τη διάρκεια του παλμού καθορίζεται και η γωνιακή θέση της κεφαλής. Η ελάχιστη διάρκεια των παλμών είναι 1ms και η μέγιστη 2ms. Μπορεί να περιστρέφει τον άξονα μέσα σε ένα συγκεκριμένο διάστημα τιμών, από 0 έως 180 μοίρες. Επομένως εάν ο παλμός που δέχεται είναι διάρκειας 1ms τότε ο άξονας θα βρίσκεται στην θέση με τη μικρότερη γωνία (0 μοίρες), ενώ όταν ο παλμός έχει τη μέγιστη διάρκεια (2ms) θα βρίσκεται στην θέση με τη μεγαλύτερη γωνία (180 μοίρες). Για παλμούς με εύρος 1.5ms, ο άξονας θα βρίσκεται στην ουδέτερη θέση (90 μοίρες).



Εικόνα 22. Η συμπεριφορά του σερβοκινητήρα ανάλογα με τη διάρκεια των παλμών που δέχεται

4.3. Μηχανολογικός σχεδιασμός και ανάπτυξη κατασκευής

Στην υποενότητα αυτή θα παρατεθούν τα σχέδια όλων των απαρτίων της κατασκευής. Ο σχεδιασμός έχει υλοποιηθεί μέσω της εφαρμογής Solidworks. Ταυτόχρονα θα επεξηγηθεί και η λειτουργία του καθενός. Στη συγκεκριμένη εργασία θα παρουσιαστεί παράλληλα και μια προσομοίωση του παραπάνω σχεδιασμού. Επισημαίνεται πως τα εξαρτήματα που αξιοποιούνται είναι χαμηλότερων δυνατοτήτων από αυτά που απαιτούνται για ένα πλήρως επιχειρησιακά αποδοτικό σύστημα σε αντίξοες συνθήκες, καθώς το κόστος για κάτι τέτοιο είναι πολύ υψηλό. Ορισμένα απάρτια έχουν κοπεί σε ειδικό μηχανουργείο από ανοξείδωτο χάλυβα και κάποια σε 3d εκτυπωτή. Η διάθρωση του τηλεχειριζόμενου οπλικού σταθμού χωρίζεται στον κορμό που περιλαμβάνει τα ηλεκτρονικά, στον μηχανισμό αγκίστρωσης που εμπεριέχει τον μηχανισμό πυροδότησης, στον άξονα αγκίστρωσης και την υποδοχή της κάμερας στον εμπρόσθιο άξονα, στο μηχανισμό οριζόντιας περιστροφής και στο μηχανισμό κατακόρυφης κλίσης, με τον οπίσθιο άξονα που ανασηκώνει το πίσω μέρος του πυροβόλου. Παρατίθεται η σύνθεση της κατασκευής σε εικόνες.



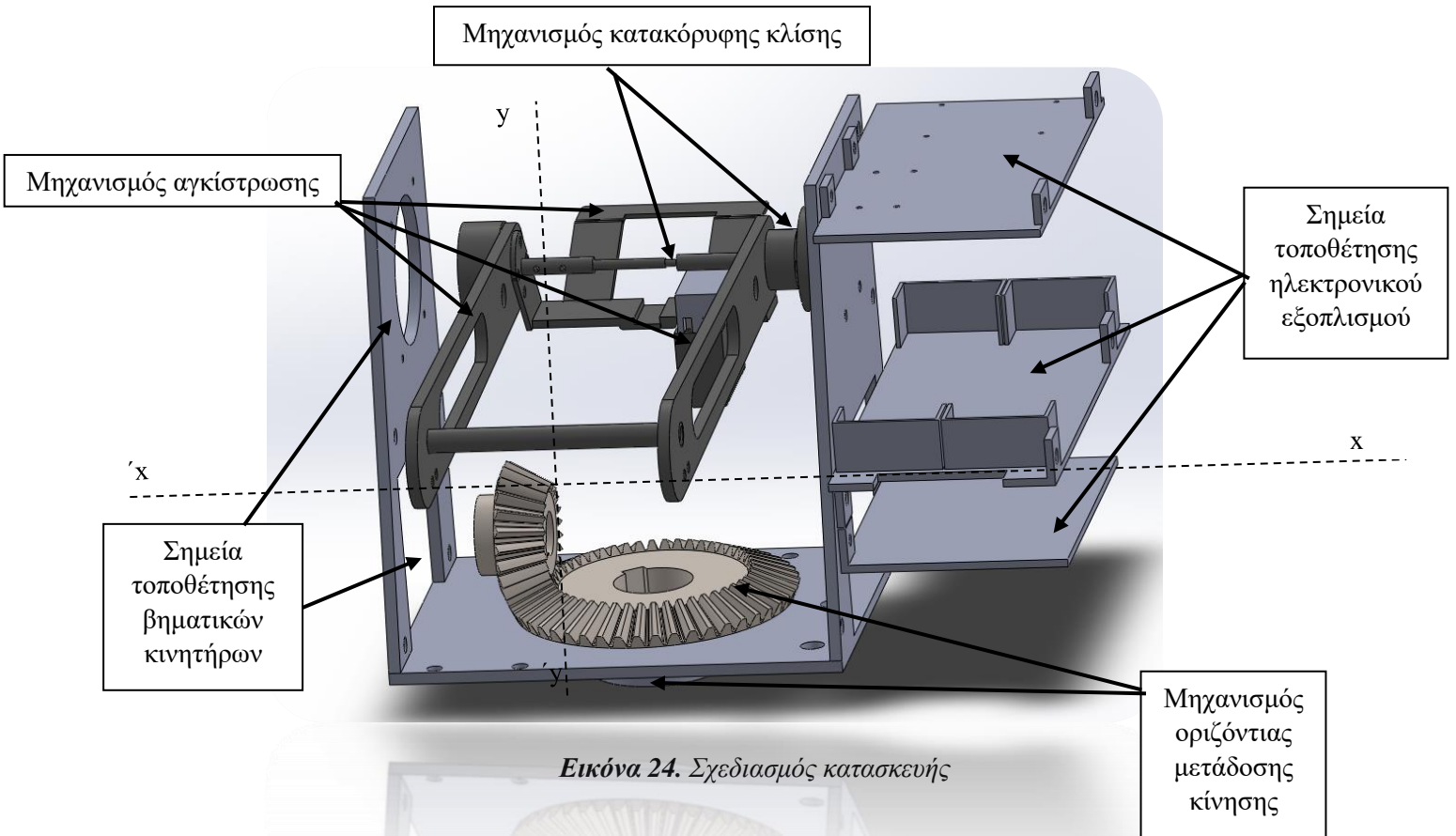
Πίνακας 6. Διάθρωση κατασκευής

Πρώτα πρέπει να αναφερθεί ο σκελετός του συστήματος που αποτελεί την κύρια δομή της κατασκευής, στην οποία στερεώνονται όλοι οι υπόλοιποι μηχανισμοί και όλα τα προαναφερθέντα ηλεκτρονικά εξαρτήματα και έχει τη μορφή U. Αυτοί είναι ο μηχανισμός οριζόντιας και κατακόρυφης κλίσης και ο μηχανισμός αγκίστρωσης. Ο τελευταίος δύναται να τροποποιηθεί ώστε να σταθεροποιεί οποιοδήποτε πυροβόλο όπλο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα παρουσιαστεί για ένα τυχαίο φανταστικό πυροβόλο όπλο, σχεδιασμένο τρισδιάστατα. Στον σκελετό έχουν σχεδιαστεί σημεία



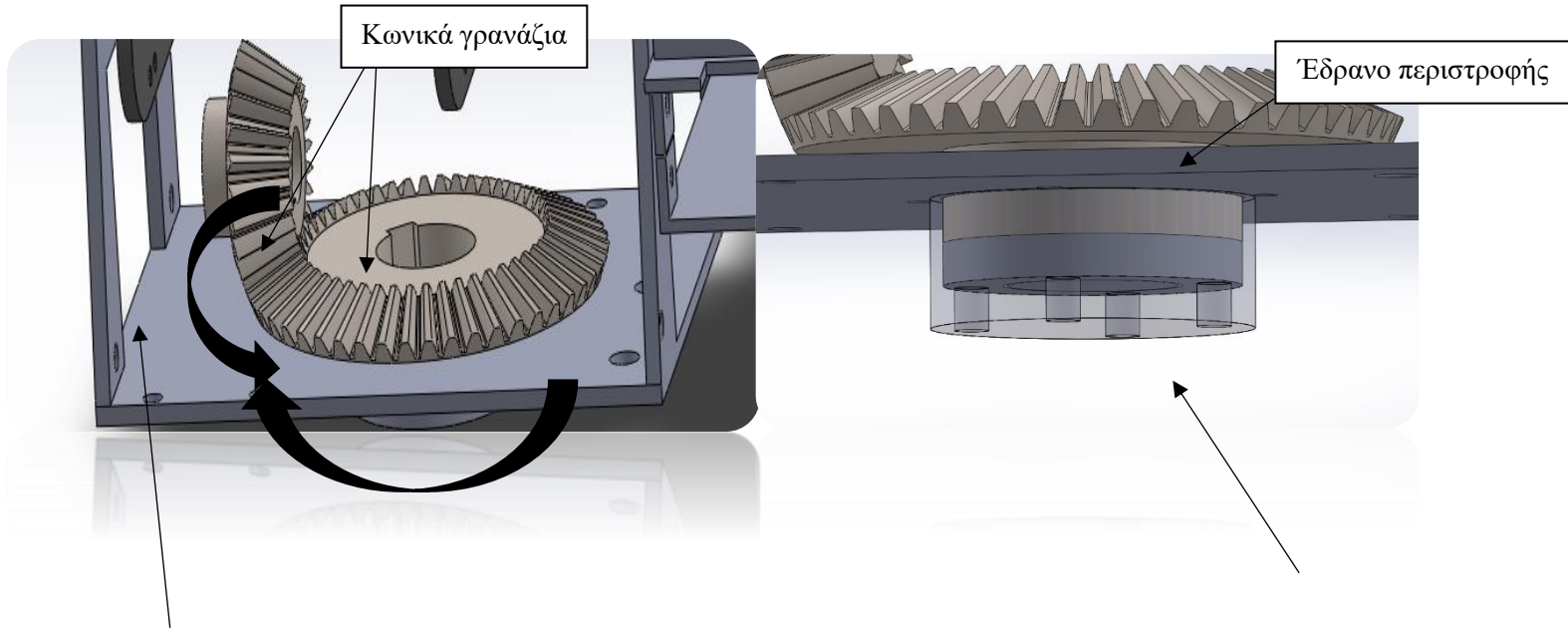
Εικόνα 23. Σκελετός

στερέωσης των βηματικών κινητήρων και τοποθέτησης του ηλεκτρονικού εξοπλισμού, καθώς και ειδικά υποδοχή της κάμερας.



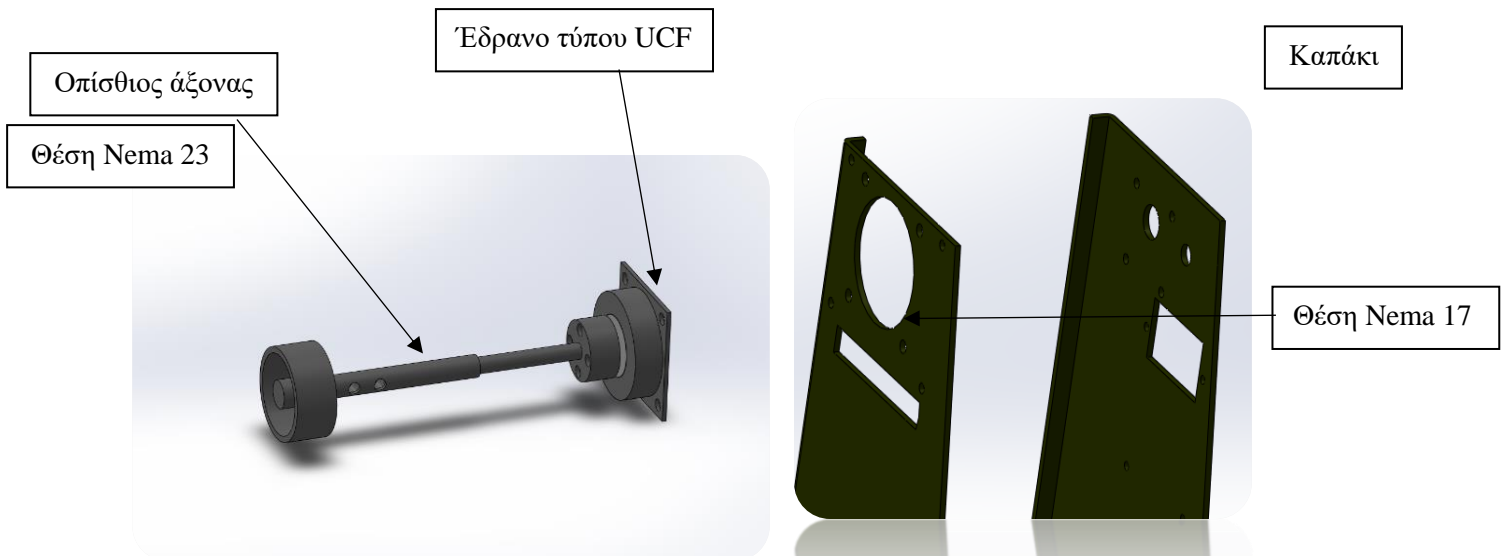
Εικόνα 24. Σχεδιασμός κατασκευής

Ο μηχανισμός οριζόντιας περιστροφής περιστρέφει τον σταθμό στον άξονα x . Περιλαμβάνει τον βηματικό κινητήρα Nema 23 στερεωμένο στον κορμό της κατασκευής. Ο κινητήρας περιστρέφει ένα κωνικό γρανάζι, το οποίο με τη σειρά του περιστρέφει ένα οριζόντιο κωνικό γρανάζι, τοποθετημένο στο κέντρο της βάσης του κορμού. Η κίνηση μεταδίδεται στο εσωτερικό ενός εδράνου περιστροφής τύπου lazy susan, το οποίο πέρα από την κόλλησή του με το γρανάζι είναι συνδεδεμένο και με τον κορμό, και το εξωτερικό του είναι πακτωμένο σε εξωτερική βάση ή καπάκι ανάλογα με την πλατφόρμα ή το πυργίσκο στον οποίο θέλουμε να τοποθετήσουμε το σταθμό.



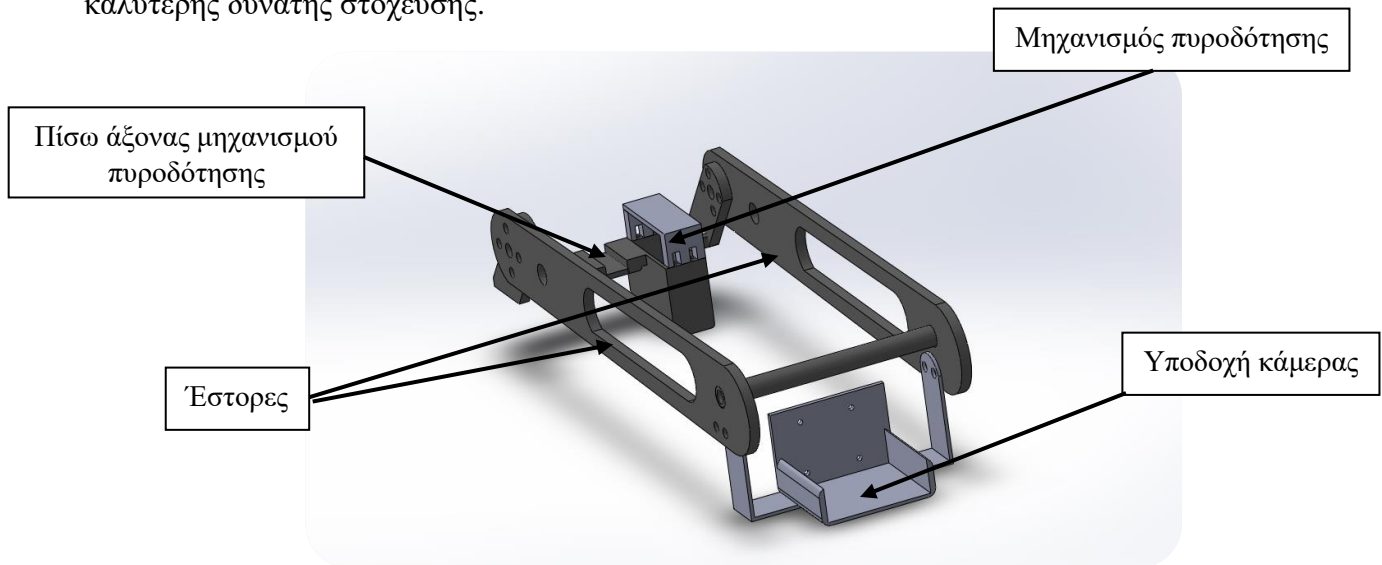
Εικόνα 25. Μηχανισμός οριζόντιας περιστροφής

Στο μηχανισμό κατακόρυφης κλίσης, ο βηματικός κινητήρας Nema 17 είναι πακτωμένος στο άκρο του κορμού, και μέσω ενός σφιγκτήρα (coupling), συνδέεται με τον οπίσθιο άξονα, ο οποίος διαπερνά την πιστολοειδή λαβή του πυροβόλου και καταλήγει στο απέναντι άκρο σε ένα ρουλεμάν τύπου UCF. Βασική του λειτουργία είναι η περιστροφή του σταθμού στον άξονα $\gamma\gamma$.

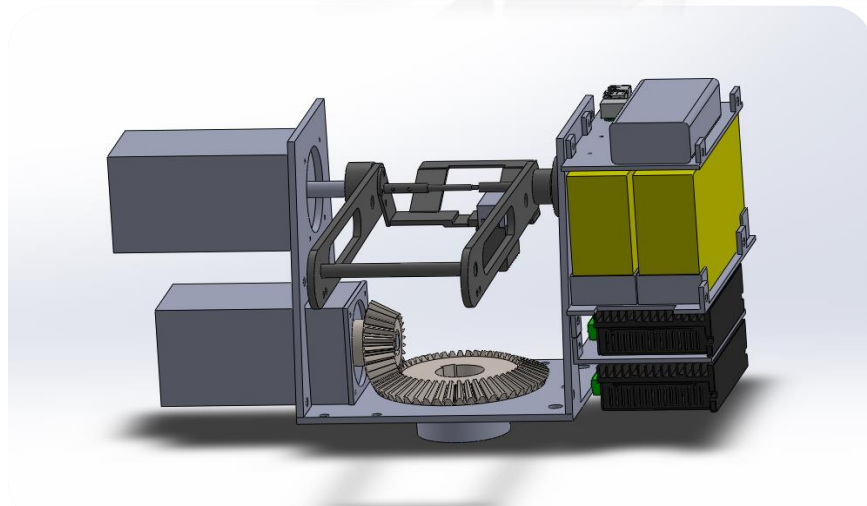


Εικόνα 26. Μηχανισμός κατακόρυφης κλίσης

Ο μηχανισμός αγκίστρωσης αποτελείται από δύο έστορες, οι οποίοι συνδέουν τον άξονα που στηρίζει το μηχανισμό πυροδότησης με τον εμπρόσθιο άξονα. Παράλληλα, ρόλος του είναι η σταθεροποίηση του πυροβόλου. Δύναται να τροποποιηθεί ανάλογα με το πυροβόλο που θα στηρίζει. Στον πίσω άξονα, στο μέσο αυτού έχει σχεδιαστεί ειδική υποδοχή του σερβοκινητήρα, ο οποίος με μια κίνηση ενός μοχλού που είναι τοποθετημένος στην κορυφή του, πιέζει τη σκανδάλη, με σκοπό την πυροδότηση του όπλου. Ο εμπρόσθιος άξονας διέρχεται από μια οπή του πυροβόλου και σταθεροποιεί το μπροστινό του μέρος. Στο κέντρο αυτού είναι τοποθετημένος ο μηχανισμός υποδοχής κάμερας ευθυγραμμισμένος με τη κάννη του όπλου για την επίτευξη της καλύτερης δυνατής στόχευσης.

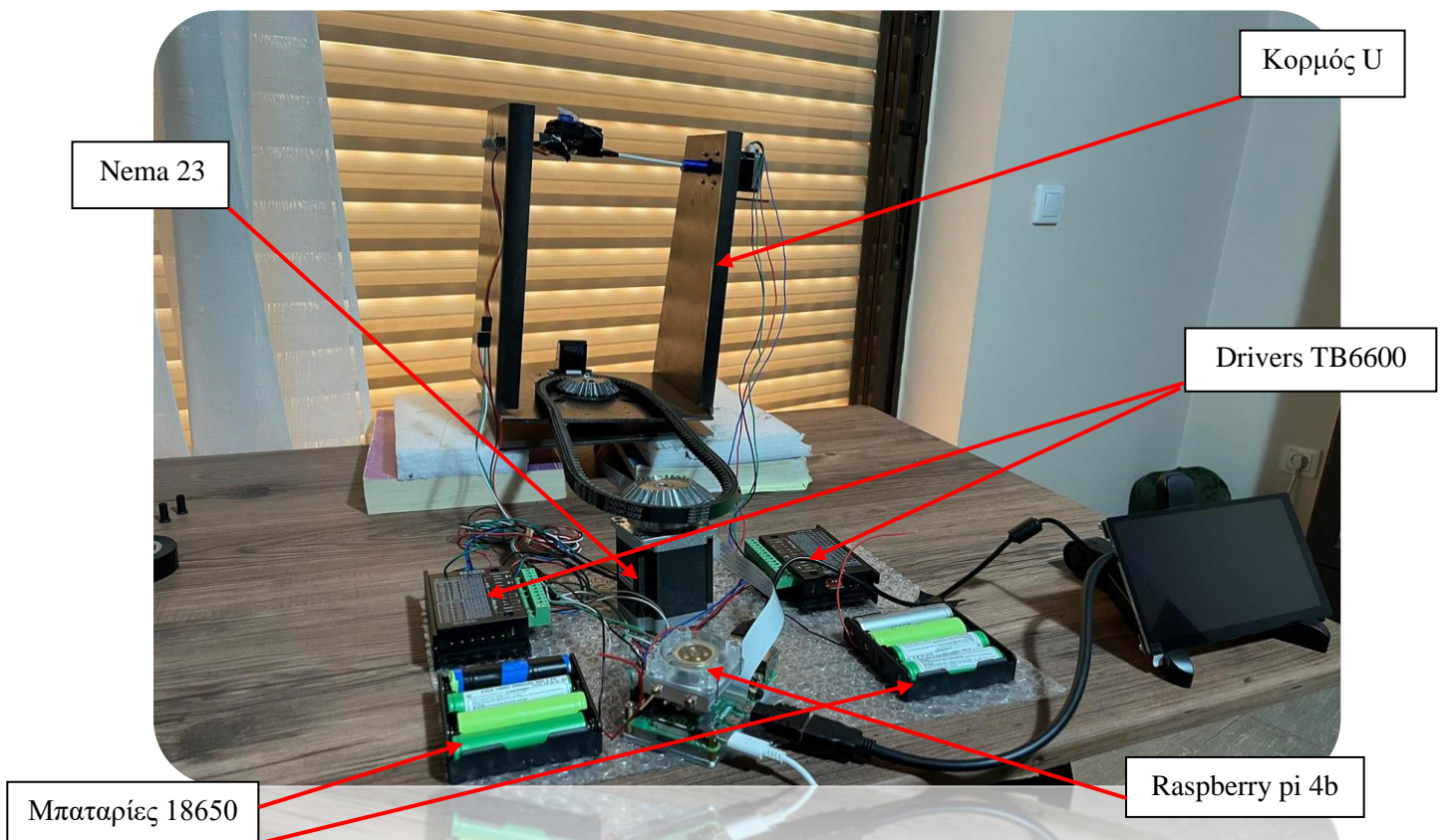


Εικόνα 27. Μηχανισμός αγκίστρωσης



Εικόνα 28. Σταθμός με ηλεκτρονικό εξοπλισμό

Ύστερα θα αναπτυχθούν οι διεργασίες που έχουν εκτελεστεί για την ανάπτυξη της προσομοίωσης ενός RCWS. Λόγω υψηλού κόστους υλοποίησης ενός τέτοιου εγχειρήματος έχουν επιλεγεί συγκεκριμένα από τα προαναφερθέντα απάρτια για την έκθεσή τους, τα οποία αποτελούνται από χάλυβα και είναι κομμένα με λέιζερ, κι ενός μικρού άξονα εκτυπωμένου από 3d printer. Έχει επιλεγθεί μια παραμόρφωση της οριζόντιας περιστροφής, όπου τα γρανάζια δεν έρχονται σε άμεση επαφή αλλά η κίνηση μεταξύ τους μεταδίδεται μέσω τραπεζοειδούς μιάντα και από εκεί σε ένα μικρό έδρανο δυνατότητας περιστροφής φορτίου της τάξης των 50 kg. Σκοπός της κατασκευής αυτής είναι να αποδείξει πρωτίστως την αρχή λειτουργία όλου του συστήματος και κάθε εξαρτήματος, αλλά και την ορθότητα του σχεδιασμού και τη δυνατότητα παραμετροποίησης και αλλαγής του ανάλογα με τις προτιμήσεις του χρήστη και τις επιθυμίες αξιοποίησής του. Τα ηλεκτρονικά υποθέτουμε ότι είναι τοποθετημένα σε ένα διπλανό με το σταθμό κυτίο εφαρμογής του.

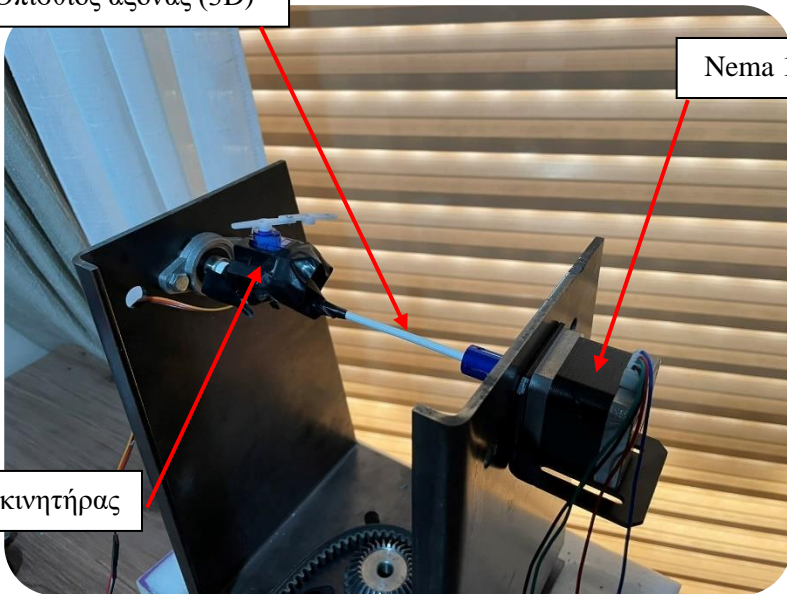


Εικόνα 29. Κατασκευή RCWS

Οπίσθιος άξονας (3D)

Nema 17

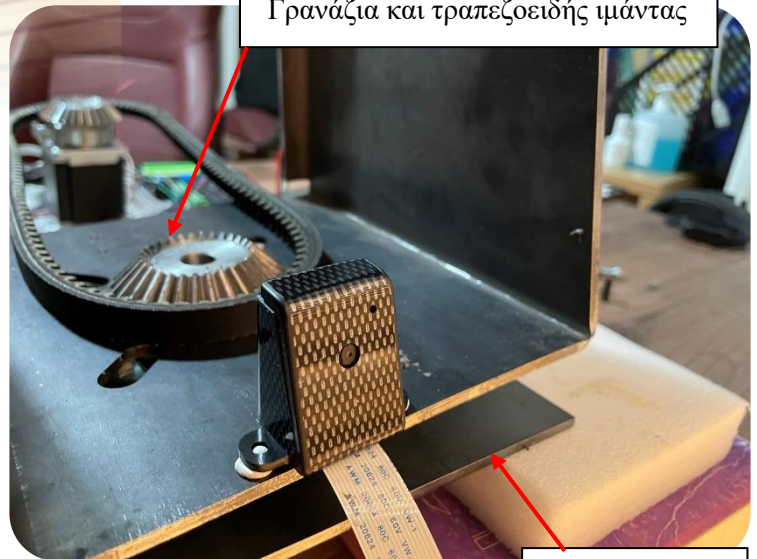
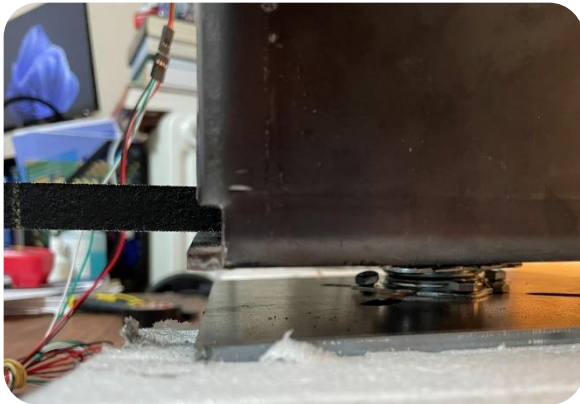
Σερβοκινητήρας



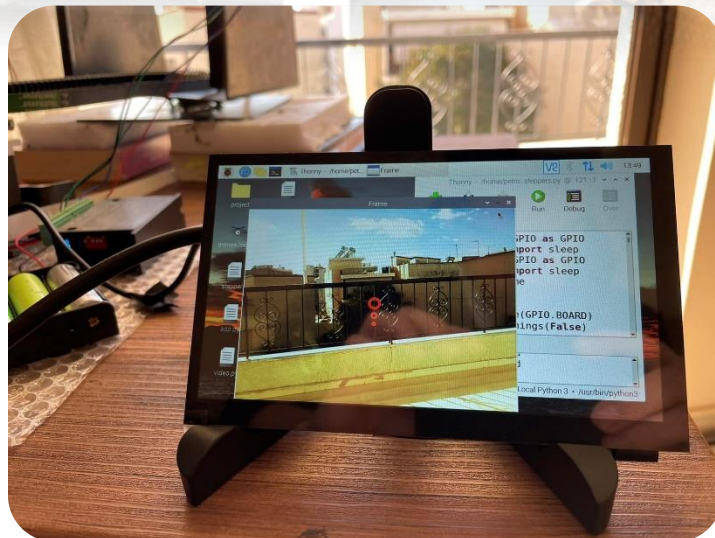
Εικόνα 30.

- i. Μηχανισμός κατακόρυφης κλίσης
- ii. Έδρανο περιστροφής (Μηχανισμός οριζόντιας περιστροφής)
- iii. Κάμερα Pi σε προστατευτική θήκη
- iv. Οθόνη χειρισμού, λογισμικό στόχευσης

Γρανάζια και τραπεζοειδής μάντα



Βάση (καπάκι)

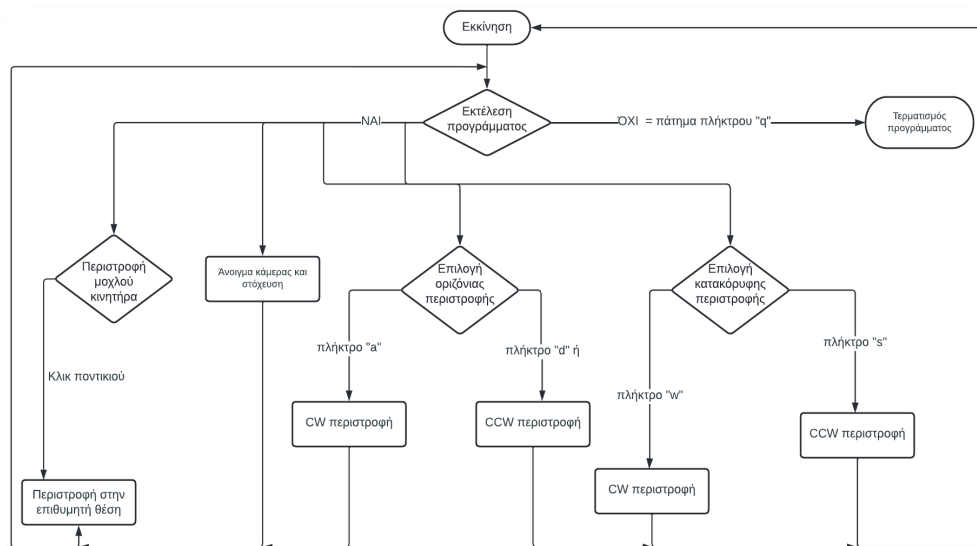


5. Λογισμικό κατασκευής

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται το μπλοκ διάγραμμα του κώδικα του συστήματος, επισημαίνοντας τις βασικές λειτουργίες που επιτελεί. Επεξηγείται αναλυτικά ο κώδικας, οι βιβλιοθήκες που χρησιμοποιούνται για τη διεκπεραίωση του και βασικές πληροφορίες για την κατανόηση του κάθε βήματος. Σκοπός είναι να αποδειχθεί η αποδοτικότητα και η λειτουργικότητα του συνολικού σχεδιασμού. Παράλληλα, θα αναλυθεί και η διαδικασία μηδενισμού και ρύθμισης του στόχου.

5.1. Αρχή λειτουργίας και μπλοκ διάγραμμα

Οι βασικές λειτουργίες του συστήματος είναι η οριζόντια και η κατακόρυφη περιστροφή, η πυροδότηση και η οπτική αναγνώριση. Για την οριζόντια περιστροφή είναι υπεύθυνος ο βηματικός κινητήρας Nema 23, για την κατακόρυφη ο βηματικός κινητήρας Nema 17, για την πυροδότηση με την ώθηση της σκανδάλης ο σερβοκινητήρας και για την οπτική αναγνώριση η pi camera. Οπότε με την εκκίνηση του προγράμματος και κατά την εκτέλεση του, ο χρήστης έχει ορισμένες δυνατότητες. Πρώτον, ενεργοποιείται η κάμερα και με την περιστροφή του σταθμού έχει τη δυνατότητα στόχευσης και οπτικής αναγνώρισης. Δεύτερον, με το πάτημα του κλικ του ποντικιού μπορεί να περιστρέψει το μοχλό του σερβοκινητήρα στην επιθυμητή θέση και να πυροδοτήσει.



Πίνακας 7. Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας RCWS

Παράλληλα με το πλήκτρο "a" μπορεί να περιστρέψει το κινητήρα Nema 23 σύμφωνα με τους δείκτες του ρολογιού (CW) και με το πλήκτρο "d" μπορεί να τον περιστρέψει στην αντίθετη φορά

από αυτή των δεικτών του ρολογιού (CCW) και έτσι να περιστρέψει οριζόντια το πυροβόλο. Αντίστοιχα, με το πλήκτρο "w" μπορεί να περιστρέψει το κινητήρα Nema 17 σύμφωνα με τους δείκτες του ρολογιού (CW) και με το πλήκτρο "s" μπορεί να τον περιστρέψει στην αντίθετη φορά από αυτή των δεικτών του ρολογιού (CCW). Με τον τελευταίο τρόπο ελέγχει την κατακόρυφη κλίση του πυροβόλου. Ο χρήστης μπορεί οποιαδήποτε στιγμή να πατήσει το πλήκτρο "q" να τερματίσει το πρόγραμμα.

5.2. Ανάλυση κώδικα

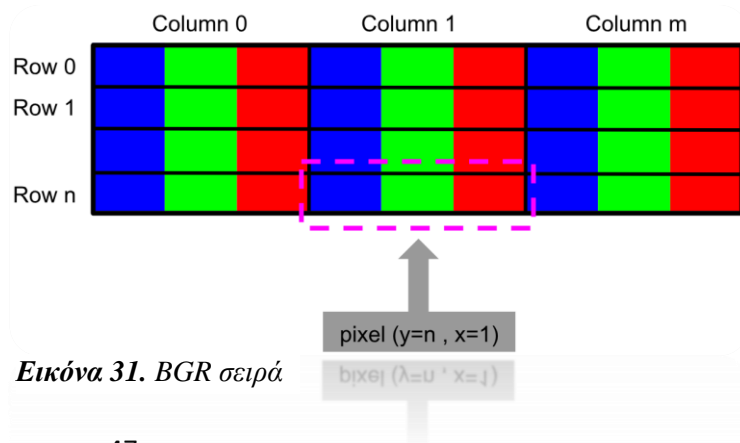
Για τον κώδικα θα αξιοποιήσουμε τη γλώσσα προγραμματισμού python. Για τη λειτουργία της κάμερας, χρησιμοποιείται η βιβλιοθήκη OpenCV (Open-source Computer Vision), η οποία περιέχει συναρτήσεις που στοχεύουν στη δημιουργία

```
from picamera.array import PiRGBArray
from picamera import PiCamera
import time
import cv2
```

εφαρμογών όρασης υπολογιστών σε πραγματικό χρόνο. Αρχικά, εισάγουμε τα απαραίτητα πακέτα για το κομμάτι του κώδικα, το picamera για την ενεργοποίηση της λειτουργίας της κάμερας του raspberry που χρησιμοποιείται, το cv2 που είναι η βιβλιοθήκη OpenCV κι επειδή αυτή χρησιμοποιεί τις εικόνες ως πίνακες εισάγουμε την υπομονάδα πινάκων PiRGBArray, καθώς μας δίνει τη δυνατότητα να τραβήξουμε τους πίνακες αυτούς από τη μονάδα της κάμερας. Φυσικά, εισάγουμε και τη βιβλιοθήκη time για να έχουμε τη δυνατότητα να εισάγουμε τις καθυστερήσεις ενεργειών τη στιγμή που πρέπει.

```
camera = PiCamera()
camera.resolution = (640, 480)
camera.framerate = 32
rawCapture = PiRGBArray(camera, size=(640, 480))
```

Στη συνέχεια, αρχικοποιούμε την κάμερα και ορίζουμε τη λήψη της κάμερας. Θέτουμε το object camera, ώστε να το συνδέσουμε με τη λειτουργία της Pi camera, ρυθμίζουμε την ανάλυση στα 640 x 480 pixels και τον ρυθμό των frames ανά δευτερόλεπτο (FPS). Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να τονιστεί πως με το rawCapture έχουμε άμεσα



Εικόνα 31. BGR σειρά

πρόσβαση στο stream της κάμερας και δεν χρειάζεται να κάνουμε περιττές μετατροπές (π.χ. από μορφή JPEG και ύστερα σε OpenCV μορφή), οι εικόνες αυτές πρέπει να αποθηκεύονται σε BGR σειρά καθώς αυτή είναι συμβατή με τη βιβλιοθήκη OpenCV. Το BGR είναι μια αναπαράσταση 24-bit όπου τα 8 bit με χαμηλότερη σημασία είναι μπλε, τα 8 με την επόμενη μεγαλύτερη σημασία είναι πράσινα και τα 8 με την υψηλότερη σημασία είναι κόκκινα. Οι τιμές BGR τείνουν να γράφονται ως BGR (b,g,r) όπου οι τιμές B(blue)/G(green)/R(red) είναι μεταξύ 0 και 255. Ακριβώς αντίθετη είναι η σειρά RGB.

```
time.sleep(0.1)

#καταγραφή των frames από τη κάμερα

for frame in camera.capture_continuous(rawCapture, format="bgr", use_video_port=True):

    #παίρνουμε το NumPy array που αντιπροσωπεύει την εικόνα και αρχικοποιούμε το χρόνο

        image = frame.array
```

Αφού δώσουμε καθυστέρηση ενός λεπτού, που είναι απαραίτητο για την προθέρμανση της κάμερας, για να αποκτήσουμε ζωντανή ροή βίντεο (video stream) καλούμε τη μέθοδο του `capture_continuous` (συνεχής καταγραφή) του object camera. Αυτή η μέθοδος επιστρέφει ένα frame του video stream.

Το frame έχει μια ιδιότητα `array` (πίνακας), που αντιστοιχεί στη μορφή του NumPy array που χρειαζόμαστε. Αυτό το frame έπειτα το παίρνουμε και στο κέντρο του σχεδιάζουμε έναν κύκλο. Επαναλαμβάνουμε το ίδιο με ένα κύκλο χαμηλότερα από τον προηγούμενο και ακόμα μια φορά το ίδιο. Κάθε κύκλος αποτελεί τον στόχο για μια συγκεκριμένη απόσταση. Για παράδειγμα αν ο χειριστής στοχεύει στην κοντινότερη απόσταση βεληνεκούς του πυροβόλου θα σημαδεύσει στο μεγαλύτερο κύκλο και αναλόγως για τις

```
#επεξεργασία εικόνας και εμφάνιση frame

image=cv2.circle(image, (320, 240), 12, (0, 0, 255), 5)

image=cv2.circle(image, (320, 270), 6, (0, 0, 255), 3)

image=cv2.circle(image, (320, 290), 3, (0, 0, 255), 3)

cv2.imshow("Frame", image)

key = cv2.waitKey(1) & 0xFF

# καθαρίζουμε τη ροή για το επόμενο frame

rawCapture.truncate(0)

# έξοδος βρόχου

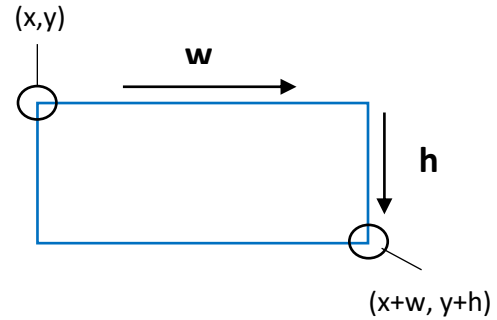
if key == ord("q"):

    break
```

μεγαλύτερες αποστάσεις θα επιλέξει τους μεγαλύτερους κύκλους. Αποτελεί δηλαδή μια σκάλα στόχευσης και είναι απαραίτητη γιατί η απόσταση του στόχου σε σχέση με το σημείο

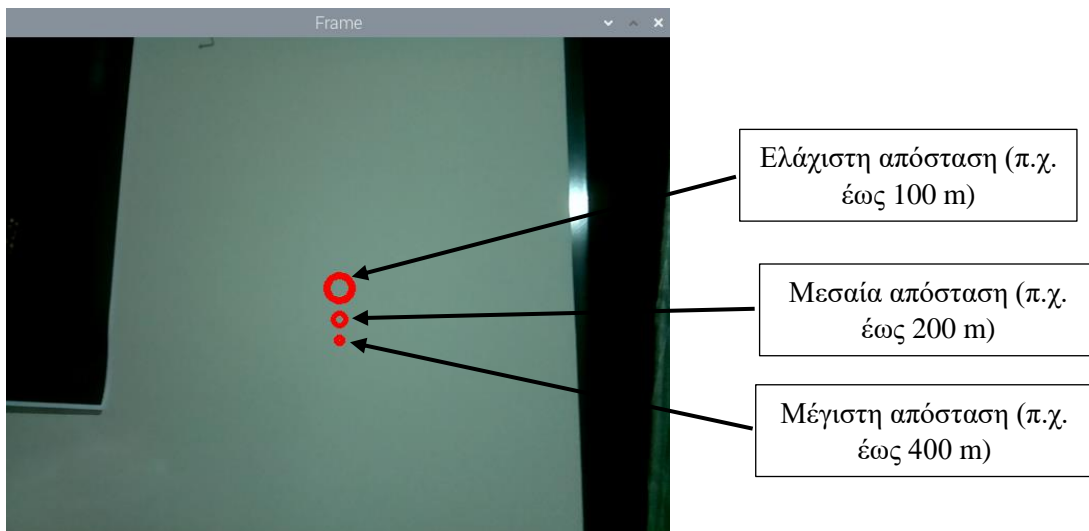
πρόσκρουσης αποκλίνει ανάλογα με την απόσταση. Το αποτέλεσμα των τριών διαδοχικών ενεργειών αυτό το απεικονίζουμε στην οθόνη. Για τη ρύθμιση των στόχων και την επίτευξη μέγιστης ακρίβειας ακολουθείται μια συγκεκριμένη διαδικασία που περιγράφεται πιο κάτω. Είναι σημαντικό πριν ακολουθήσει το επόμενο frame, να προηγηθεί ο καθαρισμός του προηγούμενου. Στο τέλος, προκειμένου να κλείσει ο βρόχος αυτός και το πρόγραμμα, αρκεί να πατηθεί το πλήκτρο 'q'.

Διασαφηνίζεται για βαθύτερη κατανόηση των προαναφερθέντων πως κάθε βίντεο είναι ένα σύνολο πολλών διαδοχικών εικόνων (frames). Για να απεικονίσουμε τον κύκλο χρειαζόμαστε ένα σημείο, το κέντρο του. Αυτά τα δύο σημεία είναι η πάνω αριστερή γωνία του τετραγώνου (x,y) περίξ του ανιχνευμένου αντικειμένου και η κάτω δεξιά



Εικόνα 32. Bounding box

$(x+w, y+h)$. Η μέτρηση των συντεταγμένων πάνω σε ένα frame είναι από πάνω (ελάχιστο) ως κάτω (μέγιστο) και από αριστερά (ελάχιστο) μέχρι δεξιά (μέγιστο). Στον σχεδιασμό των κύκλων έχουν ίδιο w (320) και h με διαφορά κάποιων pixels για την υψομετρική τους διαφορά και τη διαφοροποίησή τους.



Εικόνα 33. Οπτική αναγνώριση και στόχευση

Για να ρυθμίσουμε τον στόχο και να τοποθετήσουμε τον κύκλο στο σωστό σημείο ύστερα από δοκιμές ακολουθούμε μια συγκεκριμένη φόρμουλα. Το Minute of Angle (MOA) είναι μια γωνιακή μέτρηση 1/60 της μοίρας και αντιστοιχεί περίπου σε 1 χιλιοστό ανά 100 γιάρδες (στην πραγματικότητα ακριβώς 1.047"). 1 MOA αντιστοιχεί σε 1 ίντσα στις 100 γιάρδες. Αυτό σημαίνει ότι 0,5 MOA αντιστοιχούν σε 0,5" στις 100 γιάρδες και 0,25 MOA σε 0,25" στις 100 γιάρδες. Καθώς μειώνεται η απόσταση, μειώνεται και η μετατροπή από MOA σε ίντσες. Σε 25 γιάρδες, 1 MOA είναι 0,25", το 0,5 MOA είναι 0,125" και το 0,25 MOA είναι 0,0625".

$$MOA = \frac{\text{Απόσταση μεταξύ στόχου και πρόσκρουσης σε ίντσες}}{\frac{\text{απόσταση σε γιάρδες}}{100}}$$

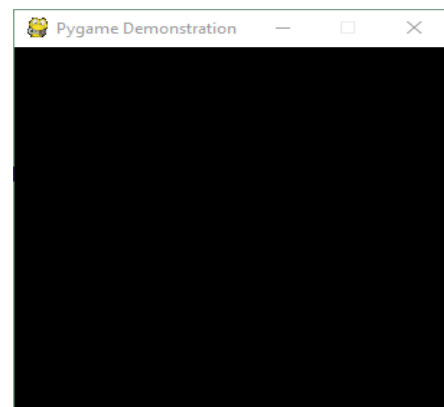
Για παράδειγμα αν η απόσταση του στόχου είναι 25 γιάρδες μακριά και το σημείο πρόσκρουσης είναι 5 χιλιοστά κάτω από τον κόκκινο κύκλο, γίνεται ο εξής υπολογισμός.

$$MOA = \frac{5}{\frac{25}{100}} = 20 \text{ MOA προς τα κάτω}$$

1 MOA αντιστοιχεί περίπου σε 1 χιλιοστό άρα σχεδιάζουμε το κύκλο 20 χιλιοστά πιο κάτω σε σχέση με την προηγούμενη θέση του.

Σε αυτό το κομμάτι του κώδικα, σκοπός μας είναι ο έλεγχος του σερβοκινητήρα που θα πιέζει τη σκανδάλη για την εκτέλεση της πυροδότησης. Πρέπει δηλαδή με το πάτημα ενός κλικ του ποντικιού του μικροϋπολογιστή, ο μοχλός να περιστρέφεται και ο μοχλός του να πηγαίνει σε μια συγκεκριμένη θέση και ύστερα απευθείας να επανέρχεται στην αρχική του. Γι' αυτό αρχικά εισάγουμε τη βιβλιοθήκη RPi.GPIO για την αρίθμηση των pins του Raspberry, του χρόνου και τη pygame, η οποία είναι μια λειτουργία της Python για τη δημιουργία παιχνιδιών και περιέχει συναρτήσεις για γραφικά, ήχους και τον έλεγχο του ποντικιού και του πληκτρολογίου του υπολογιστή. Καθώς η τελευταία περιλαμβάνει GUI (Graphical User Interface ή

```
import RPi.GPIO as GPIO
from time import sleep
import pygame
```



Εικόνα 34. Pygame GUI

γραφική διεπαφή χρήστη), θα αξιοποιηθεί για την αναγνώριση του πατήματος (κλικ) του ποντικιού, όταν αυτό γίνεται στο εσωτερικό του αναδυόμενου παραθύρου της.

Έπειτα εισάγουμε τις απαραίτητες εντολές αρχικοποίησης του pygame και ορίζουμε τις διαστάσεις του αναδυόμενου παραθύρου (300, 300) και της ονομασίας του (RCWS).

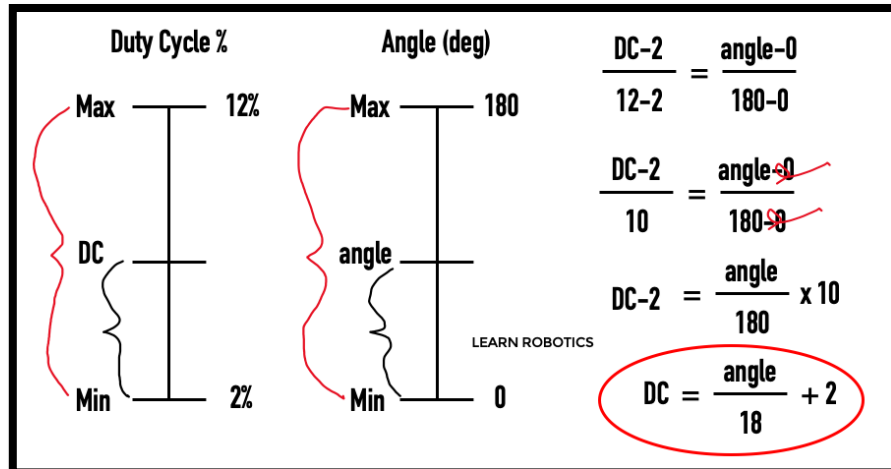
```
pygame.init()
window = pygame.display.set_mode((300, 300))
pygame.display.set_caption("RCWS")
```

Ορίζουμε το GPIO ως BOARD, γεγονός που επιτρέπει την αρίθμηση των ακίδων του Raspberry ως pins και δίνουμε ως έξοδο σήματος προς το σερβοκινητήρα το pin 11, όπως κι έχει γίνει η σύνδεση μεταξύ τους. Δημιουργούμε μια μεταβλητή για το σερβοκινητήρα με το όνομα PWM και στέλνεται ένα σήμα 50 Hz στο προαναφερθέν pin. Ύστερα, γίνεται η αρχικοποίηση του σήματος στο 0.

```
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setup(11, GPIO.OUT)
pwm = GPIO.PWM(11, 50)
pwm.start(0)
```

Στη συνέχεια θα ορίσουμε μια συνάρτηση για τον υπολογισμό της γωνίας που θα στρέφεται ο κινητήρας, ώστε να φθάνει ο μοχλός του στην επιθυμητή θέση. Για να επιτευχθεί αυτό, αξιοποιείται μια φόρμα υπολογισμού του duty cycle (DC), που δέχεται ο μικροελεγκτής όπως έχει επεξηγηθεί στη θεωρία. Αξιοποιώντας τη γραμμική σχέση μεταξύ του κύκλου λειτουργίας και της γωνίας περιστροφής καταλήγουμε σε ένα τύπο ώστε για κάθε επιθυμητή γωνία να υπολογίζεται εύκολα και γρήγορα ο κύκλος λειτουργίας που πρέπει να δοθεί στο σύστημα (εικόνα 35).

```
def setAngle(angle):
    duty = angle / 18+3
    GPIO.output(11, True)
    pwm.ChangeDutyCycle(duty)
    sleep(1)
    GPIO.output(11, False)
    pwm.ChangeDutyCycle(duty)
```



Εικόνα 35. Φόρμα υπολογισμού κύκλου λειτουργίας

Στην κύρια δομή του κώδικα αυτού ορίζεται το `pygame.QUIT` που επιτρέπει το κλείσιμο του παραθύρου όταν πατηθεί το 'X' της εξόδου του και η λειτουργία του `pygame.mouse` που ανιχνεύει το κλικ του ποντικιού όταν αυτό πατηθεί στο εσωτερικό του παραθύρου `pygame`. Στο τέλος, γίνεται εκκαθάριση του κώδικα με τη διακοπή του σήματος PWM και την εκκαθάριση των GPIO pins.

```
while True:
    setAngle(50)
    sleep(0.1)
    for event in pygame.event.get():
        if event.type == pygame.QUIT:
            mainloop = False
        if event.type == pygame.MOUSEBUTTONDOWN:
            print("Mouse button is pressed")
            setAngle(90)
            sleep(0.5)
    pygame.quit()
    pwm.stop()
    GPIO.cleanup()
```

Στο κομμάτι που θα ακολουθήσει επεξηγείται το τμήμα του κώδικα που αφορά τους βηματικούς κινητήρες υπεύθυνους για την οριζόντια και κατακόρυφη περιστροφή. Αφού έχουν εισαχθεί οι κατάλληλες βιβλιοθήκες και έχουν δοθεί οι κατάλληλες εντολές για την αρίθμηση των GPIO pins παραπάνω, εδώ ορίζονται τα pins των βημάτων (του σήματος) και των κατευθύνσεων όπως έχει γίνει η σύνδεση μεταξύ των δύο drivers των κινητήρων και του Raspberry. Ταυτόχρονα, ορίζονται οι φορές περιστροφής CW (σύμφωνα με τη φορά περιστροφής του ρολογιού) και CCW (αντίθετα από τη φορά περιστροφής του ρολογιού) και τα προαναφερθέντα pins ως έξοδοι σήματος.

```
#pins κατευθύνσεων
DIR = 16 #για Nema 23
DIR1 = 10 #για Nema 17
#pins βήματος
STEP = 18 #για Nema 23
STEP1 = 8 #για Nema 17
CW = 1
CCW = 0
GPIO.setup(DIR, GPIO.OUT)
GPIO.setup(STEP, GPIO.OUT)
GPIO.setup(DIR1, GPIO.OUT)
GPIO.setup(STEP1, GPIO.OUT)
```

Στη συνέχεια στην κύρια δομή του προγράμματος ορίζονται για την περιστροφή του βηματικού κινητήρα Nema 17, τα πλήκτρα "w" για την περιστροφή του σύμφωνα με τη φορά του ρολογιού και "s" για την περιστροφή του αντίθετα από τη φορά περιστροφής των δεικτών του ρολογιού. Επιπρόσθετα δίνονται τα βήματα για τα οποία θα περιστραφεί ο κινητήρας με κάθε πάτημα ενός από τα προαναφερθέντα πλήκτρα και το χρονικό διάστημα στο οποίο θα καλύψει το κάθε ένα από αυτά.

```
if key == ord("w"):
    GPIO.output(DIR1,CW)
    print("W key is pressed")
    for x in range(50): #τα βήματα που θα εκτελέσει
        GPIO.output(STEP1,GPIO.HIGH)
        sleep(.001) #Δείχνει τη ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα
        GPIO.output(STEP1,GPIO.LOW)
        sleep(.001) #Δείχνει τη ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα
elif key == ord("s"): #τα βήματα που θα εκτελέσει
    GPIO.output(DIR1,CCW)
    print("S key is pressed")
    for x in range(50):
        GPIO.output(STEP1,GPIO.HIGH)
        sleep(.001) #Δείχνει τη ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα
        GPIO.output(STEP1,GPIO.LOW)
        sleep(.001) #Δείχνει τη ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα
```

Με αυτό το τρόπο ρυθμίζεται η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα.

Ανάλογα για τον βηματικό κινητήρα Nema 23, για την οριζόντια περιστροφή ορίζονται τα πλήκτρα "a" σύμφωνα με τη φορά περιστροφής του ρολογιού και "s" για την αντίθετη.

```
if key == ord("a"):
    GPIO.output(DIR,CW)
    print("A key is pressed")
    for x in range(50): #τα βήματα που θα εκτελέσει
        GPIO.output(STEP,GPIO.HIGH)
        sleep(.001) #Δείχνει τη ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα
        GPIO.output(STEP,GPIO.LOW)
        sleep(.001) #Δείχνει τη ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα
elif key == ord("d"): #τα βήματα που θα εκτελέσει
    GPIO.output(DIR,CCW)
    print("D key is pressed")
    for x in range(50):
        GPIO.output(STEP,GPIO.HIGH)
        sleep(.001) #Δείχνει τη ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα
        GPIO.output(STEP,GPIO.LOW)
        sleep(.001) #Δείχνει τη ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα
```

5.3. Παρατηρήσεις

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε μια κατασκευή που εκτελεί τις βασικές λειτουργίες ενός τηλεχειριζόμενου οπλικού σταθμού. Από εκεί και πέρα, υπάρχουν πολλοί τρόποι για να εκτελεστούν αυτές οι λειτουργίες και ιδιαίτερα της οριζόντιας περιστροφής και της σταθεροποίησης. Αυτό εξαρτάται αποκλειστικά από τις επιθυμίες και τις απαιτήσεις του κατασκευαστή. Αποδεικνύεται λοιπόν η δυνατότητα υλοποίησης ενός τέτοιου εγχειρήματος και η απλότητα των βασικών του ενεργειών, όπου για την παραπέρα εξέλιξη και ανάπτυξη του τεχνολογικού του επιπέδου, απαιτείται μεγαλύτερο κόστος και η ικανότητα συνδυασμού τεχνογνωσίας διάφορων μηχανισμών. Πολλές είναι και οι τροποποιήσεις που μπορεί να δεχτεί σε επίπεδο λογισμικού και στόχευσης. Με ένα αποστασιόμετρο laser, στην κατασκευή μας θα ήταν δυνατό να υπολογισθεί ακριβώς η απόσταση του στόχου κι επομένως να γίνει πιο εύστοχη η επιλογή του κύκλου στόχευσης. Μια δυνατότητα εξέλιξης θα ήταν και η πρόβλεψη της μελλοντικής θέσης του στόχου – αντικειμένου μέσω του Kalman Filter και η στόχευση σε ακριβώς αυτό το σημείο ή η τελείως αυτόνομη στόχευση όπου θα αναγνωρίζεται ο στόχος και το όπλο θα

κατευθύνεται προς συγκεκριμένες συντεταγμένες (x,y) και ο χειριστής θα εκτελεί μόνο την ενέργεια της πυροδότησης (λήψη απόφασης). Είναι επομένως ένα πεδίο με μεγάλο περιθώριο ανάπτυξης, το οποίο περιορίζεται μόνο από τη φαντασία του κατασκευαστή.

6. Συμπερασματικός επίλογος

Τα γεγονότα της σημερινής εποχής και οι τρέχουσες εξελίξεις στον τομέα διεξαγωγής των στρατιωτικών επιχειρήσεων και δράσεων ασφαλείας καταδεικνύουν τη συνεχή τάση αναβάθμισης του τεχνολογικού επιπέδου του εξοπλισμού των σωμάτων αυτών παγκοσμίως. Προς την κατεύθυνση αυτή βρίσκονται και οι τηλεχειριζόμενοι οπλικοί σταθμοί. Τη συγκεκριμένη στιγμή, ανάλογα συστήματα έχουν όχι μόνο αναπτυχθεί σε υψηλό επίπεδο αλλά και αξιοποιηθεί, από ένοπλες δυνάμεις και σώματα ασφαλείας, ανά τον κόσμο στο πεδίο της μάχης. Όπως αποδείχθηκε μέσα από τη συγκεκριμένη εργασία, οι τηλεχειριζόμενοι σταθμοί είναι σίγουρα πιο αποτελεσματικοί από τους παραδοσιακά επανδρωμένους πυργίσκους και παρουσιάζουν ένα πλήθος πλεονεκτημάτων που τους καθιστούν ικανούς να ανταποκριθούν στις υψηλές απαιτήσεις του χώρου αυτού. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα αλληλεπίδρασης με κινητές πλατφόρμες και μη επανδρωμένα συστήματα στο πλαίσιο της διαλειτουργικότητας και του ελέγχου τους από κοινού, γεγονός που τα ενσωματώνει άμεσα στη ροή εξέλιξης κάθε τεχνολογικού μέσου.

Εν κατακλείδι, τα RCWS διαδραματίζουν ένα σημαντικό ρόλο στις σύγχρονες επιχειρήσεις καθώς πέρα από την αποτελεσματικότητά τους, μειώνουν το ρίσκο κινδύνου του ζωτικού δυναμικού. Μαζί με ένα πλήθος άλλων συστημάτων επικοινωνιών, αισθητήρων, δυνατότητες ελέγχου πολλών πολυβόλων καθίστανται ως συστήματα με πολλές λειτουργίες και δυνατότητες. Την ίδια στιγμή που στην παγκόσμια σκηνή αναπτύσσονται στρατιώτες ρομπότ και με αργό ρυθμό εντάσσεται η παγκόσμια σκηνή στο αυτόνομο επίπεδο λειτουργίας των τεχνολογικών μέσων, το επόμενο στάδιο εξέλιξης των RCWS είναι η απομάκρυνση του χειριστή από το όχημα και η τοποθέτησή του σε ένα σταθμό ελέγχου στο εσωτερικό της βάσης, όπου μόνο θα επιτηρεί και θα επεμβαίνει, χωρίς να εκτίθεται στο εξωτερικό περιβάλλονταν θέτοντας σε άμεση απειλή τον εαυτό του. Από το κέντρο επιχειρήσεων αυτό θα δύναται να ελέγξει όχι μόνο ένα τηλεχειριζόμενο οπλικό σταθμό αλλά πολλούς όπως και άλλα συστήματα, είτε αυτά είναι εναέρια είτε θαλάσσης είτε

εδάφους. Αυτό είναι το μέλλον όχι μόνο για τους τεχνολογικούς κάρδους που αφορούν τις στρατιωτικές επιχειρήσεις και τις δράσεις ασφαλείας αλλά για το σύνολο του ρομποτικού χώρου.

Βιβλιογραφία

[1] *Maj. Krista M. Hoffman, (2007), Is the common remotely operated weapons station an improvement over a traditionally manned weapon, Thesis, Master of Military Art and Science, General Studies, US Military Academy, West Point, New York*

[2] *Sicong Wang, (2017), A summary of the working principle and development of the remote control weapon station, International Core Journal of Engineering, Army Engineering University, China*

[3] *Bowen Zheng, Baoguan Mao, Mengchun Zhong, Yuying Yang, (2019), Analysis on Basic Connotation Key Technology of Intelligent Weapon Station, Army armored force academy, Beijing, China*

[4] *Hin-Yan Liu, (2012), Categorization and legality of autonomous and remote weapons systems, International Review of the Red Cross*

[5] *Mary Ann E. Telen, Sherwin A. Guirnaldo, (2017), Design Study of Gyro-stabilized, Remote-controlled Weapon Station, College of Information Technology and Computing, University of Science and Technology of Southern Philippines, Iligan City Philippines*

[6] *Ali Bars Gunduz, (July 2020), Design, development, modeling and control of a Stewart platform, Thesis, Master of Science in Electronics and Communication Engineering, Izmir Institute of Technology, Izmir*

[7] *Rafal Kruszyna, (2020), Fire Control System Software for Remote Controlled Weapon Stations: History, State of the Art and Opportunities for Future Development, Problems of Mechatronics, Armament, Aviation, Safety Engineering, Poland*

[8] *Jan F.Dolasinski, (2019), Remote Controlled Weapon Stations – Development of Thought and Technology, Problems of Mechatronics, Armament, Aviation, Safety Engineering, Poland*

[9] Adrian Rosebrock, (30 March 2015), *Accessing the Raspberry Pi Camera with OpenCV and Python*, *pyimagesearch.com*, <https://pyimagesearch.com/2015/03/30/accessing-the-raspberry-pi-camera-with-opencv-and-python/>

[10] Ruzeli Ramirez, *How to detect keyboard and mouse inputs with a raspberry pi*, *circuit basics.com*, <https://www.circuitbasics.com/how-to-detect-keyboard-and-mouse-inputs-on-a-raspberry-pi/>

[11] Daniel Wilczak, (25 April 2021), *Control a Stepper Motor using Python and a Raspberry PI*, *medium.com*, <https://danielwilczak101.medium.com/control-a-stepper-motor-using-python-and-a-raspberry-pi-11f67d5a8d6d>

[12] Liz Miller, (25 April 2021), *How to Control a Servo with Raspberry Pi*, <https://www.learnrobotics.org/blog/raspberry-pi-servo-motor/>

[13] RangeOften.com, (15 October 2021), *How to Zero a Red Dot Sight*, <https://www.rangeoften.com/blog/how-to-zero-a-red-dot-sight/>

[14] Gunmart.net, (24 January 2017), *MOA for Dummies*, <https://www.gunmart.net/scopes-and-optics/scopes/rifle-scopes/racknload-moa-for-dummies>

Παράρτημα

Σε αυτό το [βίντεο](#), αναπαράγονται οι κινήσεις της κατασκευής.