



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**Διπλωματική Εργασία**

**ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ (ΑΥΤΟΠΙΛΟΤ) ΓΙΑ ΣΚΑΦΗ ΜΕ PLC**

**Φοιτητής: Απόστολος - Αλκαίος Παπάζογλου**  
**ΑΜ: 71446756**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Μιχαήλ Παπουτσιδάκης,**

**Καθηγητής**

**ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2023**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**FACULTY OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND PRODUCTION**  
**ENGINEERING**

**Diploma Thesis**

**AUTOPILOT SYSTEM FOR SHIPS USING PLC**

**Student: Apostolos – Alkaios Papazoglou**  
**Registration Number: 71446756**

**Supervisor**

**Michael Papoutsidakis**

**Professor**

**ATHENS-EGALEO, SEPTEMBER 2023**

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Παπουτσιδάκης Μιχαήλ, Καθηγητής	Σορτ Ανδρέας Ρόναλντ, ΕΔΙΠ	Θεοχάρης Ευστάθιος, ΕΔΙΠ
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Απόστολος - Αλκαίος Παπάζογλου,  
Σεπτέμβριος, 2023**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

**ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Απόστολος - Αλκαίος Παπάζογλου** του **Δημητρίου**, με αριθμό μητρώου 46756 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ,

**δηλώνω υπεύθυνα ότι:**

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής 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.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι ..... και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.»

Ο Δηλών

Απόστολος - Αλκαίος Παπάζογλου



## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τους γονείς μου, τους φίλους και συμφοιτητές μου για την υποστήριξη τους όλο το διάστημα των σπουδών μου, τον υπεύθυνο καθηγητή κ. Θεοχάρη Ευστάθιο για την καθοδήγησή του στην μελέτη της πτυχιακής εργασίας. Τέλος θέλω να ευχαριστήσω θερμά την Νάσια και τον Ηρακλή που ήταν δίπλα μου να με στηρίζουν στις δύσκολες στιγμές και με βοήθησαν να κλείσω αυτό το κεφάλαιο της ζωής μου με ένα χαμόγελο.

## Περίληψη

Η ναυτιλία αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του τομέα του εμπορίου και μεταφορών , αφού πάνω από το 80% των μετακινήσεων αγαθών, γίνονται μέσω θαλάσσης. Η τεχνολογία της ναυτιλίας έχει αναπτυχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό για να μπορεί να εξυπηρετεί τις ανάγκες των βιομηχανιών και της κοινωνίας. Τα ταξίδια είναι μεγάλα και για πολλούς μήνες τα πληρώματα βρίσκονται κάτω από δυσμενείς συνθήκες.

Ο αυτόματος πιλότος είναι ένα σύστημα το οποίο έχει αλλάξει τα δεδομένα για την πλοήγηση, αναλαμβάνοντας πολλαπλά καθήκοντα και επιτρέποντας έτσι στο πλήρωμα να διοχετεύσει τον χρόνο του σε άλλες εργασίες. Τέτοια συστήματα μπορούμε να βρούμε πλέον σε σκάφη κάθε μεγέθους, από μικρά ιστιοφόρα μέχρι φυσικά και τα εμπορικά, κρουαζιερόπλοια και πετρελαιοφόρα. Περιγράφονται οι κατηγορίες των αυτομάτων πιλοτών που μπορούμε να βρούμε σε διάφορων ειδών σκαφών και βασικές αρχές λειτουργίας καθώς και τα βασικά εξαρτήματα. Κάθε πλεούμενο έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά που τα συστήματα αυτά πρέπει να προσαρμοστούν.

Αναγνωρίζοντας την σημασία και την αναγκαιότητα αυτού του εργαλείου, η διπλωματική αυτή εστιάζει στην ανάλυση των συστημάτων Autopilot και την κατασκευή ενός πειραματικού λογισμικού βασισμένο στην τεχνολογία PLC που είναι ακόμα ένα, πολύ βασικό, εργαλείο για τη ναυτιλία. Αυτό το λογισμικό θα μπορέσει να δώσει μια ποιο άμεση ματιά στον τρόπο λειτουργίας του Autopilot.

## Λέξεις – κλειδιά

Αυτόματος πιλότος, PLC, Αυτοματισμός, Ναυτιλία, P.I.D., Adaptive Autopilot, Γυροσκόπιο, Πλοήγηση, Ναυσιπλοΐα.

## **Abstract**

Shipping is an integral part of the trade and transport industry, as over 80% of goods are being transported through sea routes. Technology in maritime has developed to a great extent in order to be able to serve the needs of industry and society. The voyages are long, and for extended periods of time the crews are under unfavorable and harsh conditions.

Autopilot is a system that has changed the navigation standards, taking on multiple processes, thus allowing the crew to spend their time more efficiently on other tasks. At this point, such systems can be found on vessels of every size, from small sailboats to, of course, commercial ships, cruise ships and oil tankers. The categories of autopilots that we can find in different types of boats and basic operating principles, as well as the basic components are being described. Each vessel has different characteristics that these systems must adapt to.

Recognizing the importance and necessity of this tool, this dissertation focuses on the analysis of Autopilot systems and the construction of an experimental software based on PLC technology, which is also a very important tool for maritime. This software will be able to give a more direct look at how Autopilot works.

## **Keywords**

Autopilot, PLC, Automation, Maritime, P.I.D, Adaptive Autopilot, Gyroscope, Navigation, Piloting

## Περιεχόμενα

<b>Κατάλογος πινάκων.....</b>	<b>10</b>
<b>Κατάλογος Εικόνων .....</b>	<b>10</b>
<b>Αλφαβητικό Ευρετήριο.....</b>	<b>12</b>
<b>1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>14</b>
1.1 Αντικείμενο και στόχοι της διπλωματικής εργασίας.....	14
1.2 Μεθοδολογία .....	14
1.3 Καινοτομία .....	14
1.4 Δομή.....	14
<b>2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ</b>	
<b>ΣΚΑΦΩΝ ΚΑΙ ΠΛΟΙΩΝ.....</b>	<b>15</b>
2.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου.....	15
2.2 Αρχικές Μορφές Διακυβέρνησης Πλεούμενων .....	15
2.3 Πηδάλιο Πρύμνης .....	17
2.4 Ατμοπλοΐα & Βιδωτή Είλκα .....	21
2.5 Σύγχρονα Συστήματα Πλοήγησης .....	23
2.6 Σύνοψη.....	24
<b>3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ.....</b>	<b>25</b>
3.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου.....	25
3.2 Ουράνια Ναυσιπλοΐα.....	25
3.3 Πυξίδα.....	26
3.4 Ναυτικοί Χάρτες .....	28
3.5 GPS.....	30
3.6 Σύνοψη.....	31
<b>4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΠΙΛΟΤΟΣ.....</b>	<b>31</b>
4.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου.....	31
4.2 Αυτόματος πιλότος και τα πλεονεκτήματα που έχει στην ναυτιλιακή χρήση .....	31
4.2.1 Τι είναι ο αυτόματος πιλότος (Autopilot).....	31
4.2.2 Ποια είναι τα πλεονεκτήματα της χρήσης Autopilot στο ναυτιλιακό τομέα .....	32
4.3 Τύποι αυτόματου πιλότου στο ναυτιλιακό τομέα .....	33
4.3.1 Sailboat Autopilots.....	33
4.3.2 Power Boats.....	37
4.4 Συστήματα Ελέγχου .....	37
4.4.1 PID (Proportional Integral Derivative) .....	37
4.4.2 AAP (Adaptive Autopilot).....	39
4.4.3 Εξοπλισμός του Autopilot.....	42
<b>5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : PLC.....</b>	<b>54</b>
5.1 Εισαγωγή.....	54
5.2 Τι είναι το PLC;.....	54
5.3 Modicon 084.....	55
5.4 Γιατί PLC; .....	57
<b>6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : ΤΕΧΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ – ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΥΤΟΠΙΛΟΤ ΜΕ</b>	
<b>PLC</b>	<b>59</b>
6.1 Μεθοδολογία κώδικα .....	59
6.2 Πρωτόκολλα .....	60
6.3 Components .....	61
6.4 Κώδικας για τον Αυτόματο Πιλότο.....	67



<i>Συστήματα οδήγησης (Autopilot) για σκάφη με PLC</i>	
6.4.1	Περιγραφή ..... 67
6.4.2	Περιβάλλον προσομοίωσης και εργαλεία..... 68
6.4.3	Υλοποίηση..... 70
<b>7</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... 82</b>
7.1	Συμπεράσματα θεωρητικού μέρους ..... 82
7.2	Συμπεράσματα τεχνικού μέρους ..... 82
7.3	Γενικά Συμπεράσματα της διπλωματικής ..... 82
7.4	Future work ..... 82
<b>Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές ..... 84</b>	

## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 4.1-Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Autopilot.....	36
Πίνακας 6.1 - Component List .....	61
Πίνακας 6.2 – Στόχοι αλγορίθμου.....	70
Πίνακας 6.3 – Μεταβλητες .....	72

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1 - Τριήρης: σχεδιασμός [4].....	16
Εικόνα 2.2 – Απεικόνιση κινεζικού πλοίο με πηδάλιο πρύμνης [6] .....	17
Εικόνα 2.3 – Κινεζικό πλοίο με πηδάλιο πρύμνης και προσαρτημένα «πτερύγια» [7] .....	18
Εικόνα 2.4 – Σύστημα Πηδαλίου γαλέρας [8] .....	19
Εικόνα 2.5 – Σύστημα λειτουργείας τιμόνι-πηδαλίου [8].....	20
Εικόνα 2.6 – Front Elevation [9].....	20
Εικόνα 2.7- Charlotte Dundas [11] .....	21
Εικόνα 2.8 – Ατμόπλοιο [12] .....	21
Εικόνα 2.9 – Διαμόρφωση προπέλας [15] .....	22
Εικόνα 2.10- Ροή νερού σε κατάσταση εν πλω [17].....	23
Εικόνα 2.11 Ένα σύστημα αυτομάτου πιλότου [18].....	24
Εικόνα 3.1- Αστrolάβος του ναυτικού [22] .....	25
Εικόνα 3.2- Εξάντα διάγραμμα [24] .....	26
Εικόνα 3.3-Σημεία Πυξίδας [27].....	27
Εικόνα 3.4-Μαγνητική πυξίδα [28].....	27
Εικόνα 3.5-Εσωτερικό της γυροσκοπικής [36] .....	28
Εικόνα 3.6-Χάρτης Δυτικής Ευρώπης από τον Pietro Vesconte γύρω στο 1400 μ.Χ. [34].....	29
Εικόνα 3.7-Χάρτης Βορειοανατολικού Ατλαντικού Ωκεανού, της Βαλτικής Θάλασσας, της Μεσογείου και της Μαύρης Θάλασσας, συνοδευόμενος από κυκλικό παγκόσμιο [35].....	29
Εικόνα 3.8-Λειτουργία GPS σε πλοία [40] .....	31
Εικόνα 4.1-Μηχανικά σχέδια windvane & -Monitor Windvane- diagram [26].....	34
Εικόνα 4.2-Στάνταρ Electronic Tiller Pilot [28] .....	35
Εικόνα 4.3-Below deck autopilot diagram [30] .....	36

<i>Συστήματα οδήγησης (Autopilot) για σκάφη με PLC</i>	
Εικόνα 4.4-Απόπειρα διόρθωσης σφάλματος μόνο με Proportional Control. [32].....	38
Εικόνα 4.5-Διόρθωση πορείας χωρίς την χρήση του Integral Control [32].....	38
Εικόνα 4.6-Διόρθωση πορείας με χρήση μόνο του Derivative Control. [32] .....	39
Εικόνα 4.7-Course-keeping Control system [34].....	40
Εικόνα 4.8-Course-Changing Controller [34].....	40
Εικόνα 4.9-Series Model [34] .....	40
Εικόνα 4.10-Απλοποιημένο σύστημα ελέγχου παραμέτρων [34].....	41
Εικόνα 4.11-Χρήση control unit σε διάγραμμα συστήματος αυτόματου πιλότου [32] .....	42
Εικόνα 4.12-Δυνάμεις που ασκούνται στον τροχό [35].....	44
Εικόνα 4.13-Μετατροπέας [38].....	45
Εικόνα 4.14-Τύπος υπολογισμού ταχύτητας [37].....	45
Εικόνα 4.15-Μηχανικό ανεμόμετρο [42].....	46
Εικόνα 4.16-Ultrasound Anemometer [44].....	47
Εικόνα 4.17-Κύκλωμα Hot-wire anemometer [46].....	47
Εικόνα 4.18-Τρόπος λειτουργίας Pitot Tube anemometer [48] .....	48
Εικόνα 4.19-Τρόπος λειτουργίας Sonar [52] .....	49
Εικόνα 4.20-Active sonar [55] .....	50
Εικόνα 4.21-Passive sonar [55].....	50
Εικόνα 4.22- Πνευματικός Ενεργοποιητής [56].....	52
Εικόνα 4.23-Υδραυλικός Ενεργοποιητής [56].....	53
Εικόνα 4.24-Ηλεκτρικός Ενεργοποιητής [56].....	53
Εικόνα 4.25-Autopilot UI [57].....	54
Εικόνα 5.1-Τρόπος λειτουργίας των PLC [77].....	55
Εικόνα 5.2-An original picture of 1 Modicon PLC [58].....	56
Εικόνα 5.3-Simatic s3 switch with programable head [59].....	56
Εικόνα 5.4-System network that's connected and controlled via PLC inside the ship [60].....	57
Εικόνα 5.5-Automated systems used in and out of the ship that use plc [61].....	58
Εικόνα 6.1 - Master compass / control box [69] and Exposure view of Master compass [68].....	62
Εικόνα 6.2 - GPS unit and display [62].....	63
Εικόνα 6.3 - Hydraulic Cylinder design [63] .....	65

Συστήματα οδήγησης (Autopilot) για σκάφη με PLC	
Εικόνα 6.4 - CPU Unit [64].....	65
Εικόνα 6.5 - HMI monitor [70] .....	67
Εικόνα 6.6- Software screenshot α .....	71
Εικόνα 6.7 - Software screenshot β.....	72
Εικόνα 6.8 - Software screenshot γ. ....	73
Εικόνα 6.9 - Software screenshot δ.....	74
Εικόνα 6.10 - Software screenshot ε .....	75
Εικόνα 6.11 - Software screenshot στ .....	76
Εικόνα 6.12 - Software Screenshot ζ.....	77
Εικόνα 6.13 – Simulation.....	78
Εικόνα 6.14 Main Program .....	79
Εικόνα 6.15 - Αρχική οθόνη .....	80
Εικόνα 6.16 - Οθόνη λειτουργίας Autopilot .....	81

## Αλφαβητικό Ευρετήριο

- AAP: Adaptive Autopilot
- ASCII: American Standard Code for Information Interchange
- DCS: Distributed Control System
- DP: Profibus
- ECDIS: Electronic Chart Display and Information System
- ENC: Electronic Navigational Charts
- FB: Function Block
- FBD: Function Block Diagram
- FLC: Fuzzy Logic Control
- GUI: Graphic User Interface
- HDT: Heading Degree True
- HMI: Human-Machine Interface
- IDE: Integrated Development Environment
- IMO: International Maritime Organization
- I/O: Input / Output
- LAD: Ladder Logic
- LCD: Liquid Crystal Display
- MPI: Multi-Point Interface
- NNC: Neural Network Control
- NMEA: National Marine Electronics Association
- PC: Personal Computer
- PID: Proportional Integral Derivative
- PLC: Programmable Logic Controller

*Συστήματα οδήγησης (Autopilot) για σκάφη με PLC*

- PN: Profinet
- RS: Recommended Standard
- RTU: Remote Terminal Unit
- SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition
- SCL: Structured Control Language
- SFC: Sequential Function Chart
- SS: Singe Screw
- ST: Structured Text
- TIA Portal: Totally Integrated Automation Portal

## 1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Αντικείμενο και στόχοι της διπλωματικής εργασίας

Στη σήμερον ημέρα, ο νούμερο ένα τρόπος μεταφοράς αγαθών και ταξιδιού είναι μέσω θαλάσσης, πράγμα που κάνει την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα των διαδρομών άκρως σημαντική. Ένας αυτόματος πιλότος μπορεί και παρέχει αυτά και πολλά άλλα πλεονεκτήματα στον ναυτιλιακό τομέα, όπως το να παρέχει ακρίβεια συντεταγμένων, συνεχή παρακολούθηση δεδομένων που λαμβάνει από αισθητήρες του συστήματος και εξοικονόμηση καυσίμων.

Στόχος αυτής της διπλωματικής είναι να εξηγήσει τον τρόπο λειτουργίας του Autopilot, και να δώσει στον αναγνώστη να κατανοήσει την σημασία αυτού του εργαλείου που έχει φτάσει στο σημείο που είναι μετά από χρονιά εξέλιξης και συνδυασμό ηλεκτρολογικών και μηχανικών εξαρτημάτων. Μέσω του πειραματικού μοντέλου που θα σχεδιαστεί θα αναδειχτούν τα στάδια ενός τέτοιου συστήματος από το σημείο εισαγωγής δεδομένων μέχρι και την εκτέλεση του αλγορίθμου επεξεργασίας τους για να οριστεί, από τον χρήστη, και να ακολουθηθεί η πορεία ενός σκάφους.

### 1.2 Μεθοδολογία

Ο τρόπος με τον οποίο θα αναπτυχθεί η διπλωματική θα βασίζεται στην εκτενή μελέτη του αντικειμένου, ώστε να μπορέσουν να συσσωρευτούν αρκετές πληροφορίες και γνώσεις για να γίνει δυνατή η σωστή περιγραφή ενός συστήματος autopilot και η υλοποίησή του.

### 1.3 Καινοτομία

Ο αυτόματος πιλότος είναι ένα σύστημα το οποίο είναι καινοτόμο και μοναδικό, αυτούσιο. Έχει διευκολύνει τις ζωές των επαγγελματιών που τους χρησιμοποιούν (πιλότοι, ναυτικοί κ.α.), καθώς και των απλών ανθρώπων που έχει αναβαθμίσει τη ζωή τους (αυτοκίνητα που διαθέτουν αυτομάτους πιλότους). Για τη διπλωματική αυτή συνδικάστηκε ο αυτόματος πιλότος με τα PLC που αποτελούν, επίσης αναπόσπαστο κομμάτι της βιομηχανίας προσφέροντας ένα είδος αυτοματισμού που είναι ζωτικής σημασίας, για να δημιουργηθεί ένα πειραματικό μοντέλο που θα μπορούσε να έχει εφαρμογή και σε πραγματικές συνθήκες.

### 1.4 Δομή

Η διπλωματική αυτή, χωρίζεται σε δυο μέρη: το κομμάτι ανάπτυξης και το τεχνικό/πρακτικό κομμάτι. Η ιστορική αναδρομή είναι το πρώτο κεφάλαιο που αναπτύσσετε για να δώσει στον αναγνώστη μια εικόνα για το πως ο άνθρωπος έχει φτάσει στο σήμερα από την αρχαιότητα στα συστήματα πλοήγησης και ορισμού θέσης, αναφέροντας μερικά από τα πιο καινοτόμα και σημαντικά συστήματα που εφευρέθηκαν στην ιστορία που χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα. Συμπληρωματικό είναι και το κεφάλαιο που ακολουθεί που περιγράφει τα συστήματα ορισμού θέσης που, ενώ μπορεί να χρησιμοποιούνται από χρονιά πριν, χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα, έχοντας όμως περάσει στο στάδιο του εξ χρονισμού.

Υστέρα μελετάται και αναλύεται το καθαυτό σύστημα του αυτομάτου πιλότου σε λεπτομέρεια καθώς αυτή είναι η βάση των γνώσεων που χρειάζονται για την υλοποίηση του πρακτικού μέρους. Δίνεται ο ορισμός του και η περιγραφή λειτουργίας. Στη συνέχεια απορρυθμίζονται τα εξαρτήματα που συνδέονται, επικοινωνούν και δίνουν πληροφορίες οι οποίες είναι απαραίτητες για την

λειτουργία του. Αναφέρονται επίσης και οι τύποι αυτομάτων πιλοτών που μπορούν να βρεθούν στην αγορά.

Ακολουθεί ένα κεφάλαιο που είναι αφιερωμένο στα PLC, στην επεξήγηση τους και στον τρόπο λειτουργίας τους. Περιγράφεται η χρήση των PLC στη ναυτιλία και ο λόγος που είναι τόσο χρήσιμα για τα συστήματα αυτά λόγω της ανθεκτικότητάς τους. Αυτός είναι και ο λόγος που επιλέχθηκαν ως η βάση κατασκευής του μοντέλου.

Στο δεύτερο μέρος της διπλωματικής αναπτύσσεται το πρακτικό κομμάτι το οποίο είναι η μελέτη και η κατασκευή ενός πειραματικού μοντέλου αυτομάτου πιλότου. Αναζητήθηκαν εξαρτήματα που χρειάζονται για να δομηθεί ένα σύστημα και τρόποι προγραμματισμού της μονάδας. Αναλύονται τα πλεονεκτήματα και βασικές λειτουργίες από αυτά τα εξαρτήματα και αιτιολογείται η επιλογή τους, και της γλώσσας προγραμματισμού. Έπειτα, παρουσιάζεται το πειραματικό μοντέλο ενός αυτομάτου πιλότου με επεξήγηση για της διάφορες λειτουργίες που πραγματοποιούνται.

Αυτή η εργασία κλείνει με το κεφάλαιο των συμπερασμάτων. Συμπεράσματα που βγήκαν μέσω της θεωρίας που κατέληξε στο πειραματικό μοντέλο. Συμπεράσματα που βγήκαν από το ίδιο το μοντέλο και περιλαμβάνουν τα θετικά ενός τέτοιου συστήματος με PLC. Τέλος δίνονται κάποιες ιδέες για μελλοντικές βελτιώσεις πάνω στο μοντέλο αυτό.

## **2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ ΣΚΑΦΩΝ ΚΑΙ ΠΛΟΙΩΝ**

### **2.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου**

Ξεκινώντας τη μελέτη αυτής της διπλωματικής εργασίας, παρουσιάζεται μια ιστορική αναδρομή στα συστήματα πλοήγησης. Η αναδρομή στο παρελθόν, ενισχύει την κατανόηση για την δημιουργία και την πορεία εξέλιξης του αντικειμένου που εξετάζεται κάθε φορά με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η σωστή δομή μεταφοράς πληροφοριών και εμπλουτισμός γνώσεων.

Η εξέλιξη πάντα πηγάζει από την ανάγκη του ανθρώπου να λύνει προβλήματα που παρουσιάζονται στην καθημερινότητα του και να αναβαθμίζει υπάρχοντα εργαλεία για να εξυπηρετούν περισσότερους σκοπούς. Αυτός είναι και ο λόγος που έχουμε φτάσει, στο σήμερα, να έχουμε προηγμένα συστήματα πλοήγησης ενώ σε αρχικά στάδια η κίνηση των πλοίων γινόταν χειρωνακτικά.

### **2.2 Αρχικές Μορφές Διακυβέρνησης Πλεούμενων**

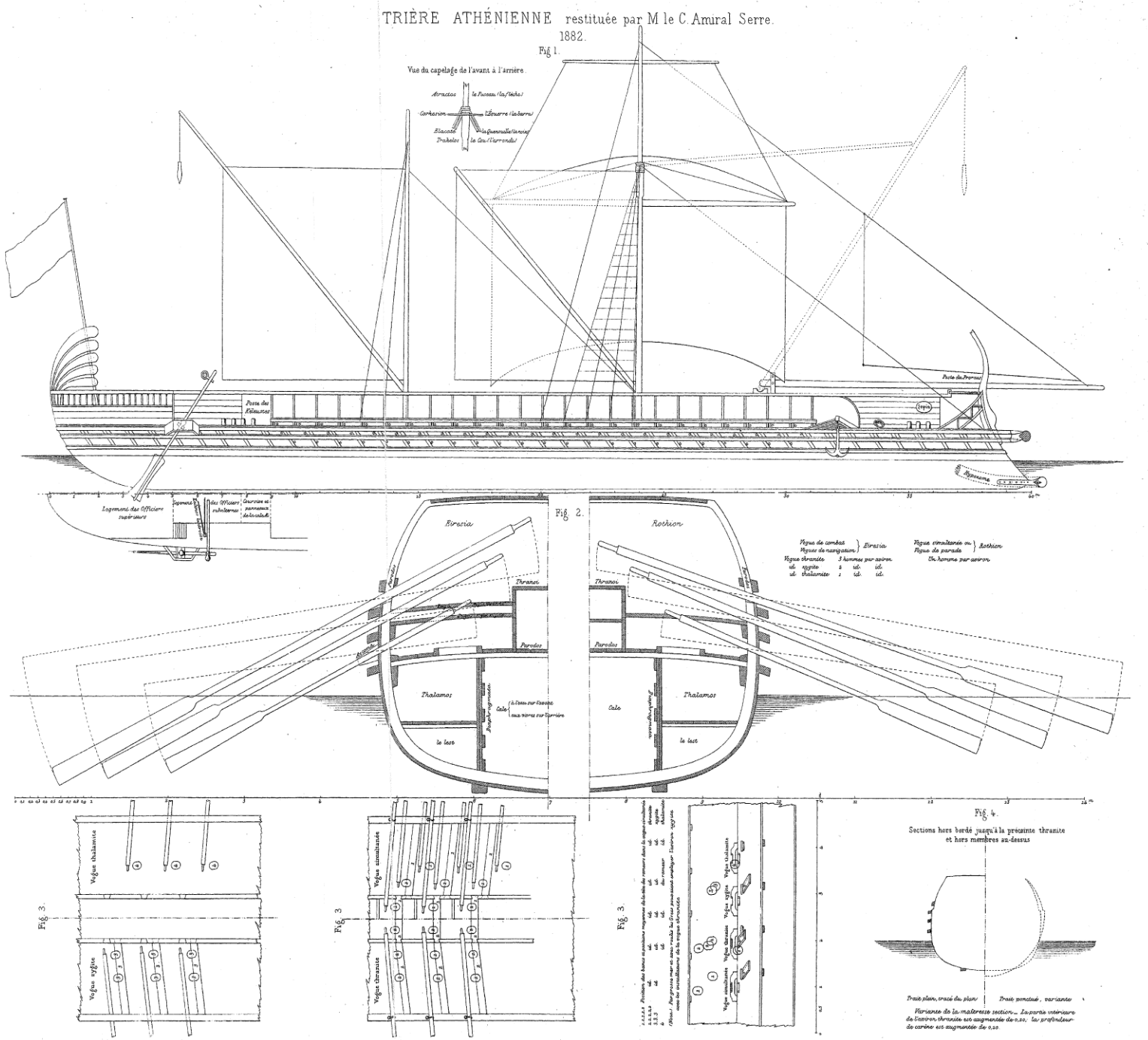
Η ιστορία της διακυβέρνησης ενός πλοίου χρονολογείται από την αρχαιότητα, όταν τα πλοία κινούνταν με κουπιά και κατευθύνονταν με ένα μακρύ κουπί στο πλάι του πλοίου. Αυτή η μέθοδος διεύθυνσης ήταν γνωστή ως "σκούπισμα" ή "sculling" και απαιτούσε μεγάλη δύναμη και δεξιότητα για τον έλεγχο της κατεύθυνσης του πλοίου.

Δείγματα της χρήσης κουπιών έχουν βρεθεί χιλιάδες χρόνια πίσω, από την 3<sup>η</sup> χιλιετία π.Χ. στην Αίγυπτο [1] όπου ο Νείλος είχε ζωτική σημασία για την επιβίωση των κάτοικων καθώς και για την ανάπτυξη του εμπορίου. Φυσικά οι Φοίνικες, πρόγονοι των Ελλήνων, ανέπτυξαν τα δικά τους πλοία που επίσης χρησιμοποιούσαν κουπιά για να κατευθυνθούν.

Συστήματα οδήγησης (Autopilot) για σκάφη με PLC

Οι τριήρεις ήταν τα πιο διάσημα πολεμικά πλοία των αρχαίων Ελλήνων τα οποία αποτελούνταν από 170 κουπιά στα οποία αντιστοιχούσε ένας κωπηλάτης στο καθένα [2]. Τα κουπιά αυτά εξυπηρετούσαν στην κίνηση της τριήρης. Η κατεύθυνση που θα είχε το πλοίο οριζόταν από δυο μακρύτερα κουπιά τοποθετημένα στην πρύμνη, που οι χειριστές τους είχαν την αντίστοιχη εμπειρία στις θάλασσες.

Στην παρακάτω εικόνα (2.1) απεικονίζεται μια τριήρης από τον Γάλλο François-Edmond Râgis με τις θέσεις των κωπηλατών. Στο εξωτερικό μέρος βρίσκονταν οι Θρανίτες, και κάτω από το κατάστρωμα, στο μέσο τμήμα οι Ζυγίτες και τέλος οι Θαλαμίτες [3]. Στο πίσω μέρος φαίνονται τα μακρύτερα κουπιά που χρησιμοποιούνται για τον ορισμό διεύθυνσης του πλοίου.



Εικόνα 2.1 - Τριήρης: σχεδιασμός [4]



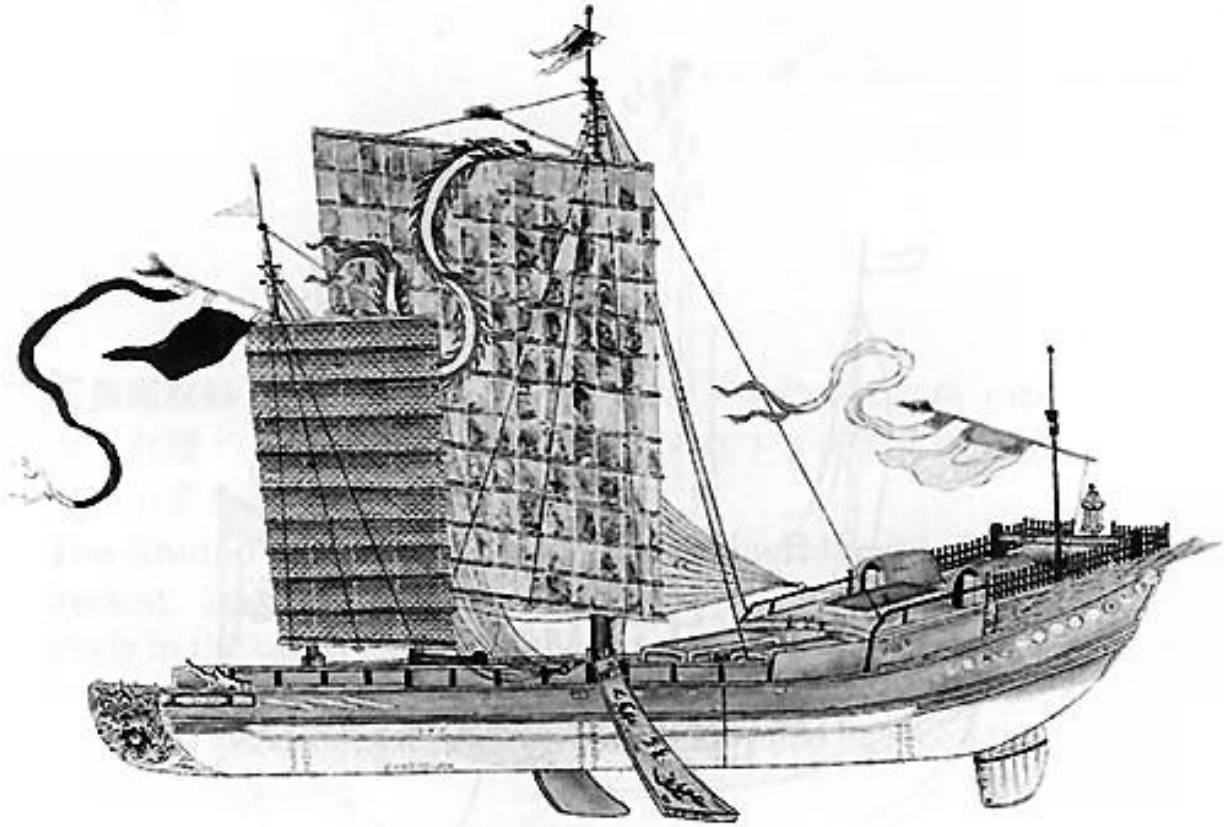
## 2.3 Πηδάλιο Πρύμνης

Η χρήση των κουπιών διατηρήθηκε για χρόνια μέχρι που οι απαιτήσεις των ανθρώπων αυξήθηκαν μαζί με το μέγεθος των πλοίων. Καθώς τα πλοία μεγάλωναν σε μέγεθος και γίνονταν πιο πολύπλοκα, αναπτύχθηκαν νέες μέθοδοι διεύθυνσης. το πηδάλιο της πρύμνης, το οποίο ήταν μια κάθετη λεπίδα προσαρτημένη στο πίσω μέρος του πλοίου που μπορούσε να περιστρέφεται με σχοινιά ή αλυσίδες για να αλλάζει την κατεύθυνση του πλοίου. Αυτή η καινοτομία έκανε την πηδαλιουχία ευκολότερη και αποτελεσματικότερη και γρήγορα έγινε η συνήθης μέθοδος πηδαλιουχίας για τα ιστιοφόρα πλοία.

Καταγραφές του πηδαλίου πρύμνης έγιναν πρώτη φορά στην αρχαία Κίνα το 179-122 π.Χ., στην Δυναστεία Han [5] όπου το πηδάλιο πρύμνης άρχισε να εφαρμόζεται σε ποταμοπλοία. Αργότερα, όταν το μέγεθος των πλοίων αυξήθηκε και άλλο τοποθετήθηκαν τρία πηδάλια καθώς και πλαϊνά «πτερύγια» για να μπορέσουν να βγουν σε ανοιχτές θάλασσες και να εξυπηρετούν για τον σκοπό μεγάλων ταξιδιών.



Εικόνα 2.2 – Απεικόνιση κινεζικού πλοίο με πηδάλιο πρύμνης [6]



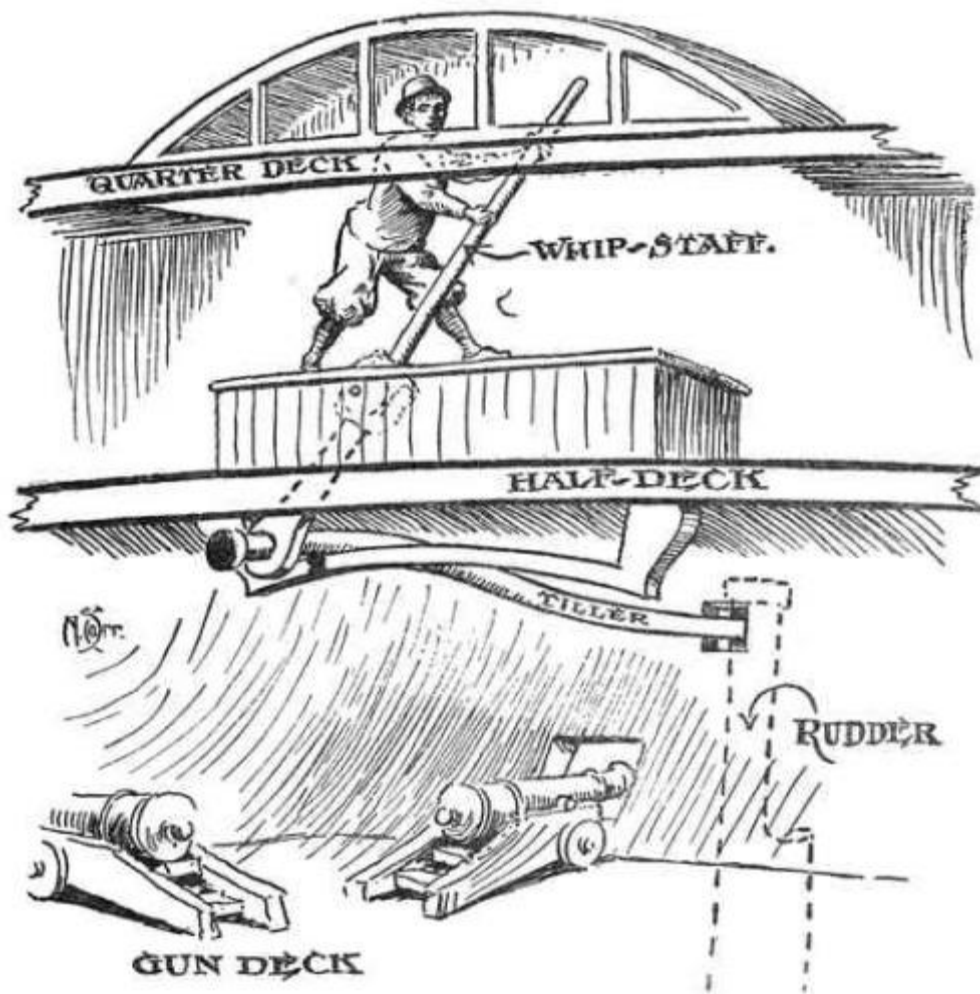
Εικόνα 2.3 – Κινεζικό πλοίο με πηδάλιο πρύμνης και προσαρτημένα «πτερύγια» [7]

Οι παραπάνω εικόνες (2.2 , 2.3) απεικονίζουν κινεζικά πλοία τα οποία έχουν πηδάλιο πρύμνης και τα πλαϊνά «πτερύγια» που χρησιμοποιούνταν, όπως προαναφέρθηκε, στην πλοήγηση του πλοίου. Το πλοίο στην εικόνα 2.3 μπορεί να θεωρηθεί ότι χρησιμοποιούνταν για μεγάλα ταξίδια σε ανοιχτές θάλασσες για αυτό και είχε τρία πηδάλια.

Σε κάποια ευρήματα που έχουν ανακαλυφθεί, το πηδάλιο πρύμνης βρισκόταν μέσα σε ένα θάλαμο το οποίο υποδεικνύει ότι είχε γίνει επάγγελμα η πλοήγηση του πλοίου. Το πηδάλιο πρύμνης διατηρήθηκε για πάρα πολλά χρόνια, όπως είχε γίνει και στο παρελθόν με τα κουπιά και υποστηρίζετε ότι από την Κίνα κατέφθασε σε Ευρωπαϊκό έδαφος μέσω των Σκανδιναβικών φυλών όπως οι Vikings και υιοθετήθηκε αργότερα και από λοιπούς ναυτικούς πολιτισμούς [7] .

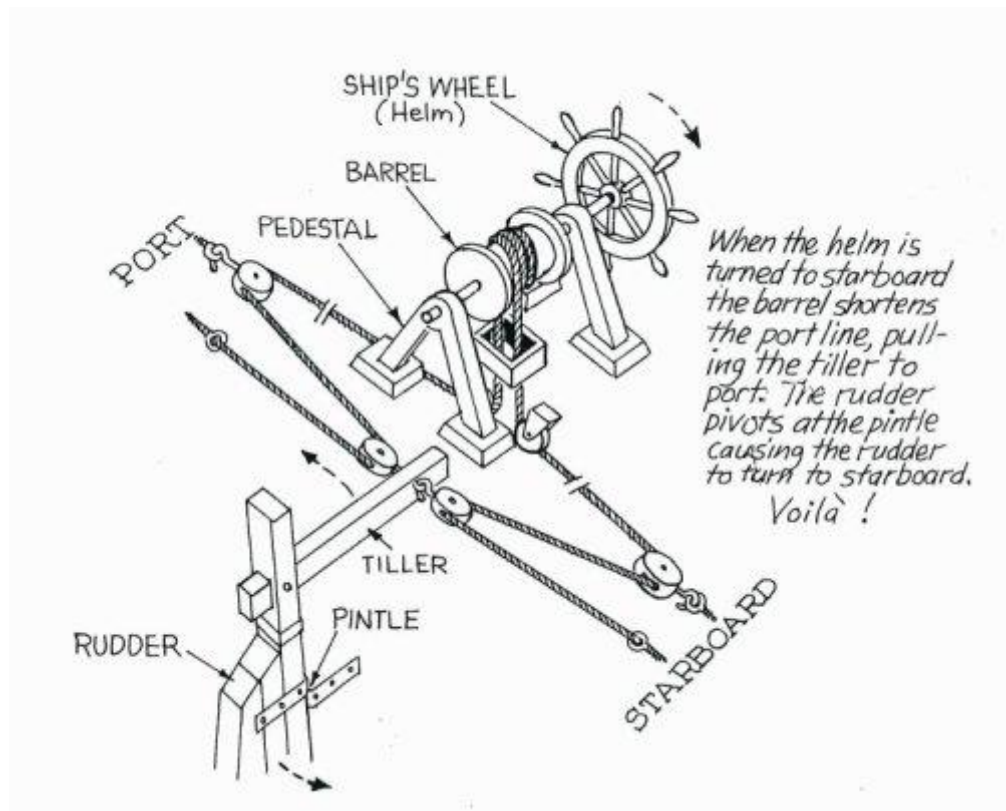
Στα αρχικά στάδια το πηδάλιο πρύμνης, λειτουργούσε χειρωνακτικά με το ναυτικό να ορίζει την πορεία γυρνώντας το πηδάλιο με τα χέρια. Σε αυτό το στάδιο ο ναυτικός είχε άμεση επαφή με το πηδάλιο. Ακόμα και το Μεσαίωνα, που άρχισαν να γίνονται τα μεγάλα ταξίδια, έρευνες έχουν δείξει ότι υπήρχε ακόμα χειρωνακτικό, πηδάλιο πρύμνης με διαφορετική μορφή όμως. Στις κλασικές μεσαιωνικές γαλέρες υπήρχε ένα μακρύ κομμάτι ξύλου το οποίο ονομαζόταν whip-staff, που ενωνόταν με έναν μοχλό, ο οποίος ονομαζόταν tiller. Ο μοχλός αυτός χρησιμοποιούσε την ροπή του πηδαλιού για να μπορέσει να αλλάξει η πορεία του πλοίου.

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε το ναυτικό, ο οποίος χειριζόταν το συγκεκριμένο μοχλό για να μπορέσει να αλλάξει η κατεύθυνση του πλοίου. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι βρίσκεται στο εσωτερικό μιας γαλέρας στο μεσαίο κατάστρωμα, προφανώς στην πρύμνη του πλοίου όπου βρίσκεται και το πηδάλιο. Ακόμα και ιστορικά πρόσωπα, όπως ο Χριστόφορος Κολόμβος, έχει χρησιμοποιήσει αυτό το μέσο πηδαλιουχίας για να μπορέσει να ταξιδέψει.



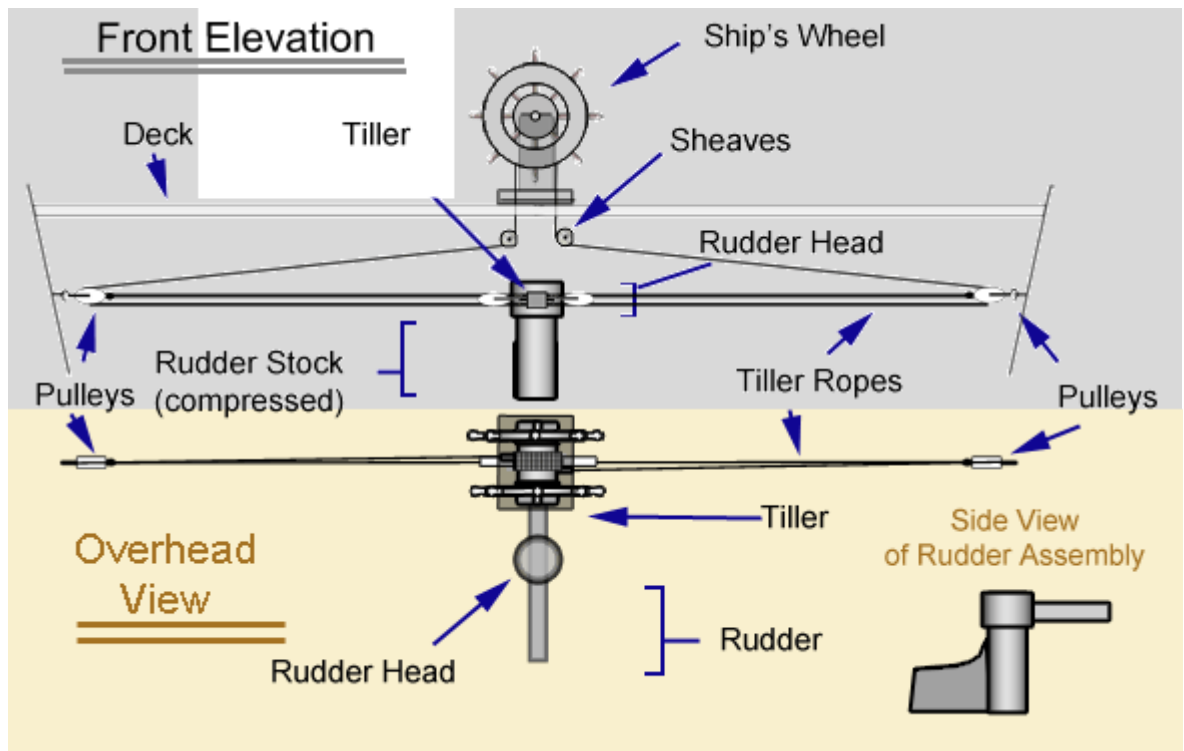
Εικόνα 2.4 – Σύστημα Πηδάλιου γαλέρας [8]

Το σύστημα αυτό λειτουργούσε, όμως δεν μπορούσε να παραμείνει στην επικράτεια για πάρα πολύ καιρό, λόγω ότι δεν προσέφερε μεγάλη ευελιξία στις κινήσεις του πλοίου. Τον 18<sup>ο</sup> αιώνα το πολεμικό ναυτικό της Αγγλίας, δημιούργησε το πρώτο τιμόνι πλοίου το οποίο τελειοποιήθηκε από τον Pollard, Άγγλο ναυπηγό [8]. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (2.5), το τιμόνι ήταν προσαρμοσμένο πάνω σε έναν άξονα, ο οποίος ενωνόταν με έναν κύλινδρο, που είχε τυλιγμένο γύρω του σχοινιά τα οποία προσαρμόζονταν στη δεξιά και αριστερή πλευρά του πλοίου με καρούλια. Όταν έστριβε το τιμόνι, για παράδειγμα δεξιά, το σύστημα κουνιόταν με αποτέλεσμα τα σχοινιά να τραβήξουν προς την αντίθετη κατεύθυνση τον μοχλό, και έτσι το πηδάλιο που βρισκόταν κάτω από το ύψος της θάλασσας να κουνηθεί προς την δεξιά πλευρά με αποτέλεσμα να αλλάξει η κατεύθυνση του πλοίου προς τα δεξιά.



Εικόνα 2.5 – Σύστημα λειτουργίας τιμόνι-πηδαλίου [8]

Στην εικόνα (2.6) υπάρχει μια κινούμενη αναπαράσταση της λειτουργίας του τιμονιού ενός πλοίου η οποία δείχνει ακριβώς τι συμβαίνει όταν το τιμόνι στρίβει προς την ανάλογη κατεύθυνση.

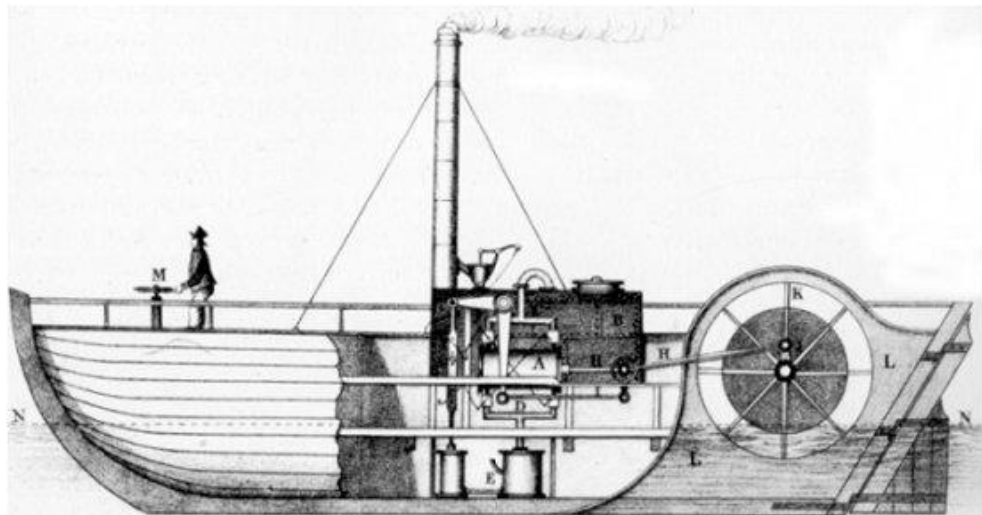


Εικόνα 2.6 – Front Elevation [9]

## 2.4 Ατμοπλοΐα & Βιδωτή Εύκα

Από τον 17<sup>ο</sup> έως και τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, η τεχνολογική ανάπτυξη ήταν ραγδαία και ο τομέας της ναυτιλίας δεν ήταν εξαίρεση. Ο James Watt είχε ήδη κατασκευάσει τον κινητήρα ατμού ο οποίος τροφοδοτούνταν από τροχούς με φτερωτές. Ο Symington ήταν εκείνος που τροποποίησε αυτή τη μηχανή για να εφαρμοστεί πάνω σε ένα ποταμόπλοιο με όνομα Charlotte Dundas (Εικόνα 2.7). Στην εικόνα (2.8) βλέπουμε ένα τυπικό ατμόπλοιο με φτερωτούς τροχούς φτιαγμένο από ατσάλι. Οι τροχοί βρίσκονταν στο πλάι του πλοίου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι πέρα από την εισαγωγή των ατμόπλοιων στη ναυτιλία, δημιουργήθηκε για πρώτη φορά η λεγόμενη γέφυρα στα πλοία, στην οποία βρισκόταν ο καπετάνιος που οδηγούσε το πλοίο. Αυτό έλυσε το πρόβλημα ορατότητας που υπήρχε από τον καπνό του ατμόπλοιου αν το τιμόνι του πλοίου βρισκόταν στην πρύμνη όπως παλιά. Η γέφυρα στα πλοία υπάρχει ακόμα και σήμερα [10].



Εικόνα 2.7- Charlotte Dundas [11]

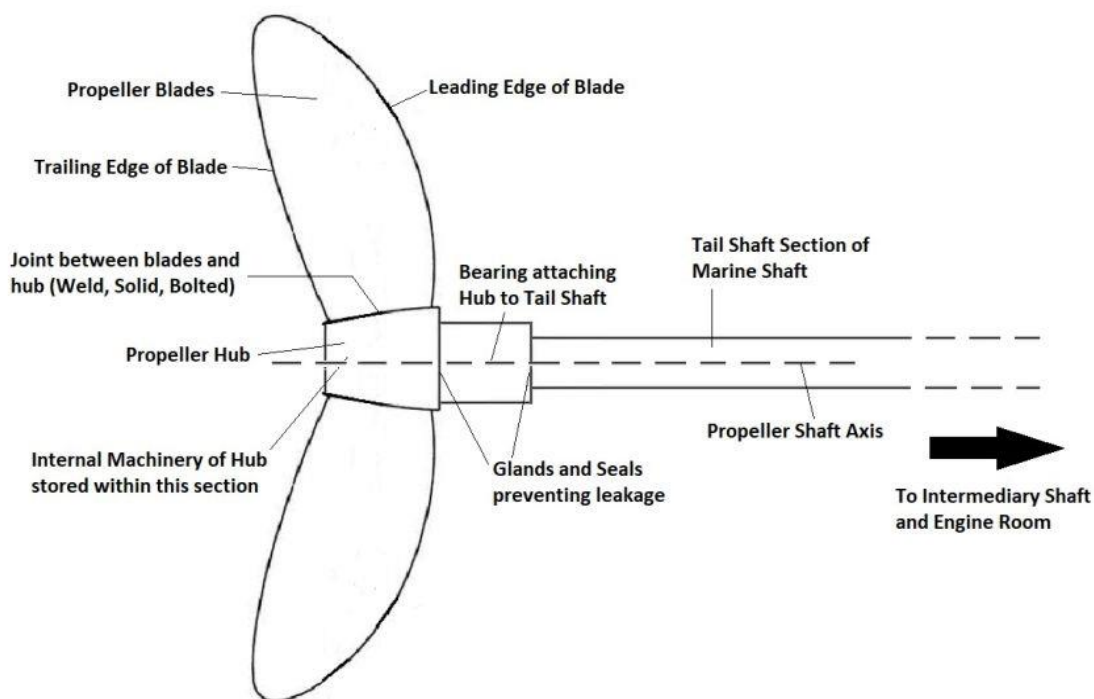


Εικόνα 2.8 – Ατμόπλοιο [12]



Οι φτερωτοί τροχοί όμως είχαν αρκετές δυσκολίες και στην συντήρηση και στην πλοήγηση, πρόβλημα το οποίο έλυσε ο John Ericsson με την ανάπτυξη της βιδωτής έλικας που κινούνταν εξ 'ολοκλήρου με ατμομηχανή, που χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από το πολεμικό ναυτικό των Η.Π.Α [13]. Το 1838 με το SS Archimedes όμως, ήταν η πρώτη φορά που η προπέλα χρησιμοποιήθηκε επισημά σε ατμόπλοιο [14].

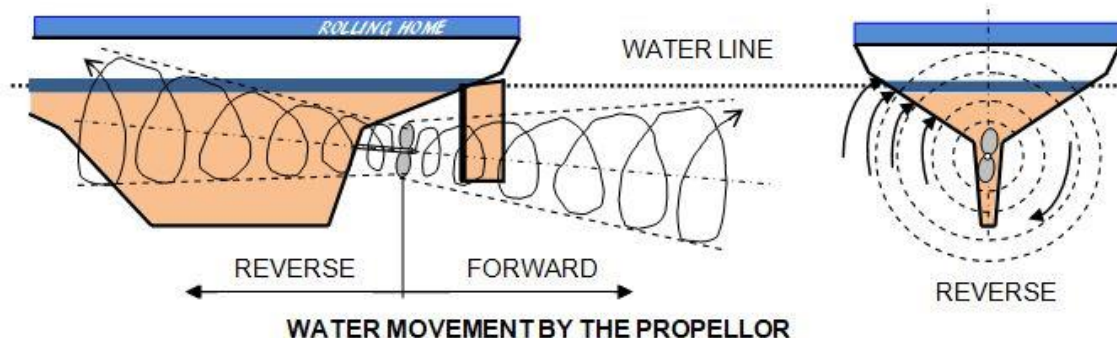
Η προπέλα ενώνεται με την μηχανή του πλοίου μέσω ενός άξονα (shaft) ο οποίος εκτείνεται από την μηχανή μέχρι την έξω μεριά της καρίνας του πλοίου όπου εισάγεται το κεντρικό κομμάτι της προπέλας (Hub). Στις ενώσεις της προπέλας υπάρχουν μονώσεις για να αποτρέπουν τις διαρροές εσωτερικά της προπέλας (bearings) (εικόνες 2.9). Όπως βλέπουμε και στην εικόνα (2.10), σε κατάσταση εν πλω, η περιστροφική κίνηση της προπέλας «κόβει» το νερό καθώς αυτό έρχεται σε επαφή με το μπροστινό μέρος της λεπίδας, δημιουργώντας μια ελικοειδή κίνηση που παράγει ώθηση για την κίνηση του πλοίου .



Arrangement and Configuration of Propeller Hub

Εικόνα 2.9 – Διαμόρφωση προπέλας [15]

Το πηδάλιο διατηρείτε ακόμα σε συνδυασμό με την βιδωτή είλκα και τοποθετείτε πάλι στο πίσω μέρος του πλοίου αλλά πιο μακριά από την προπέλα. Το πηδάλιο όταν στριβεί δημιουργεί μια δύναμη η οποία έχει την τάση να στρίψει το πλοίο και η προπέλα δίνει την απαραίτητη επιτάχυνση [16].



Εικόνα 2.10- Ροή νερού σε κατάσταση εν πλω [17]

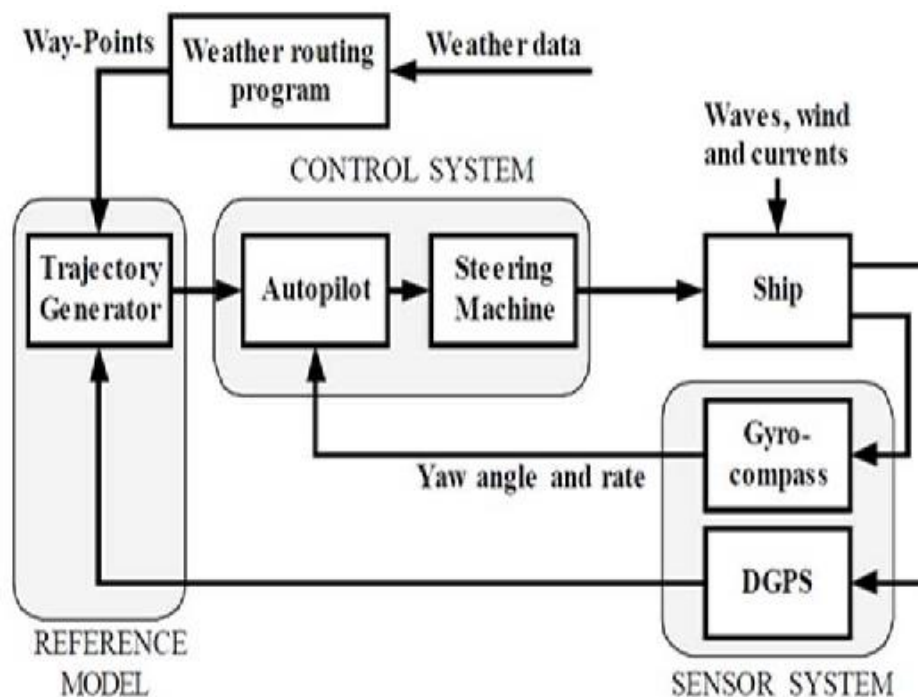
Η χρήση υδραυλικών μηχανισμών διεύθυνσης ήταν μια άλλη καινοτομία που έκανε την οδήγηση ευκολότερη και αποτελεσματικότερη. Σύμφωνα με το βιβλίο [18], το υδραυλικό σύστημα διεύθυνσης αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στις αρχές του 20ού αιώνα και επέτρεπε τη στροφή του πηδαλίου με τη χρήση ενός υδραυλικού συστήματος που τροφοδοτούνταν από τις μηχανές του πλοίου. Αυτό διευκόλυνε το πλήρωμα να στρίβει το πηδάλιο και επέτρεψε μεγαλύτερη ακρίβεια στην οδήγηση.

Η προπέλα σε συνδυασμό με τα υδραυλικά συστήματα, εισήγαγε πλεονεκτήματα τα οποία βοήθησαν στην ανάπτυξη της ναυτιλίας και της πλοήγησης των πλοίων καθώς επέτρεψε την ακριβέστερη οδήγηση και κατεύθυνση των πλοίων σε σχέση με τους φερωτούς τροχούς οι οποίοι είχαν την τάση να κάνουν το πλοίο να γέρνει, ή να ταλαντεύεται, όταν έστριβε.

## 2.5 Σύγχρονα Συστήματα Πλοήγησης

Φτάνοντας στο σήμερα, στοιχεία του παρελθόντος διατηρούνται αλλά ταυτόχρονα τα συστήματα έχουν αλλάξει δραματικά. Το μηχανικό μέρος έχει μείνει στο μεγαλύτερο κομμάτι ίδιο, δηλαδή στα σύγχρονα πλοία βρίσκουμε ακόμα πηδάλιο, προπέλα και υδραυλικά συστήματα. Όλες αυτές οι εφευρέσεις ήταν τόσο αποτελεσματικές που διατηρήθηκαν μέχρι τώρα, φυσικά όμως με βελτιώσεις και εξέλιξη για να μπορούν να εξυπηρετούν του σκοπούς του σήμερα.

Η μεγαλύτερη διαφορά είναι στα ηλεκτρονικά συστήματα τα οποία πλέον συνδυάζονται και με εξοπλισμό εντοπισμού θέσης. Η υψηλή ευαισθησία των ηλεκτρονικών συστημάτων όπως το GPS και το γυροσκόπιο, με την μηχανική εξέλιξη της πηδαλιουχίας, δένονται με την εφαρμογή του αυτομάτου πιλότου, η οποία πλέον βρίσκεται σχεδόν σε όλα τα πλοία και σκάφη. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί αισθητήρες και τεχνολογία GPS για να καθορίζει τη θέση και την κατεύθυνση του πλοίου και μπορεί να προσαρμόζει αυτόματα το πηδάλιο για να διατηρεί το πλοίο στην πορεία του.



Εικόνα 2.11 Ένα σύστημα αυτομάτου πιλότου [18]

Τα σύγχρονα ηλεκτρονικά συστήματα πλοήγησης χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού θέσης, όπως το GPS, και ηλεκτρονικών χαρτών για να παρέχουν ακριβείς πληροφορίες θέσης και να βοηθούν το πλήρωμα να πλοηγηίτε με ασφάλεια. Τα συστήματα αυτά μπορούν επίσης να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις καιρικές συνθήκες, το βάθος της θάλασσας και άλλους σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την πορεία του πλοίου.

Στην εικόνα 2.11 βλέπουμε ένα διάγραμμα λειτουργίας αυτομάτου πιλότου. Στο διάγραμμα περιγράφεται πως δεδομένα όπως: κύματα, ρεύματα και άνεμος, λαμβάνονται μέσω των αισθητήρων και προωθούνται στην γυροπυξίδα και το GPS όπως επίσης και δεδομένα καιρικών συνθηκών προωθούνται στο αλγόριθμο, που το σύνολο όλων αυτών επεξεργάζεται από το σύστημα ορισμού τροχιάς. Μόλις οριστεί η επιθυμητή τροχιά, η πληροφορία μεταβιβάζεται στον αυτόματο πιλότο οπού, μαζί με την κλίση του σκάφους, ο αυτόματος πιλότος δίνει εντολή στο μηχανικό μέρος να κινήσει ανάλογα και το πηδάλιο.

Ο πρώτος αυτόματος πιλότος που κατασκευάστηκε, ήταν το 1916 από τον Lawrence Perry αλλά σε αρχικό στάδιο αφορούσε τα αεροπλάνα. Το 1920 ήταν η πρώτη φορά που αυτό το σύστημα λειτούργησε σε πλοίο και συγκεκριμένα σε πετρελαιοφόρο [19]. Η πρώτη μορφή autopilot ήταν βασιζόταν πάνω στο γυροσκόπιο για την διορθωτή της πορείας.

## 2.6 Σύνοψη

Μέσω της ιστορικής ανάδρομης είδαμε πως από τα κουπιά, το σύστημα πλοήγησης εξελίχθηκε στο πηδάλιο το οποίο επικράτησε για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα. Η προσθήκη της προπέλας ήταν ριζοσπαστική αλλαγή στη ναυτιλία και από εκείνο το σημείο η ανάπτυξη ήταν ραγδαία. Η εφαρμογή του αυτομάτου πιλότου στα πλοία ήταν αυτή που έλυσε τα χεριά σε πολλά προβλήματα που υπήρχαν μέχρι τότε στα πλοία και τα πληρώματά τους.



### 3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ

#### 3.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου

Η πλοήγηση στη θάλασσα δεν εξαρτάται μόνο από τα μηχανικά μέρη και πως αυτά δίνουν κίνηση στο πλεύσιμο για να ορίσουν την κατεύθυνση του. Ένα μεγάλο κομμάτι για τους ναυτικούς είναι και η αναγνώριση της θέσης τους για να μπορέσουν να ορίσουν ανάλογα και την κατεύθυνση τους. Όπως είδαμε στο παραπάνω κεφάλαιο υπάρχουν διαφορά μέσα που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό και τον ορισμό θέσης κα σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν κάποια από αυτά.

#### 3.2 Ουράνια Ναυσιπλοΐα

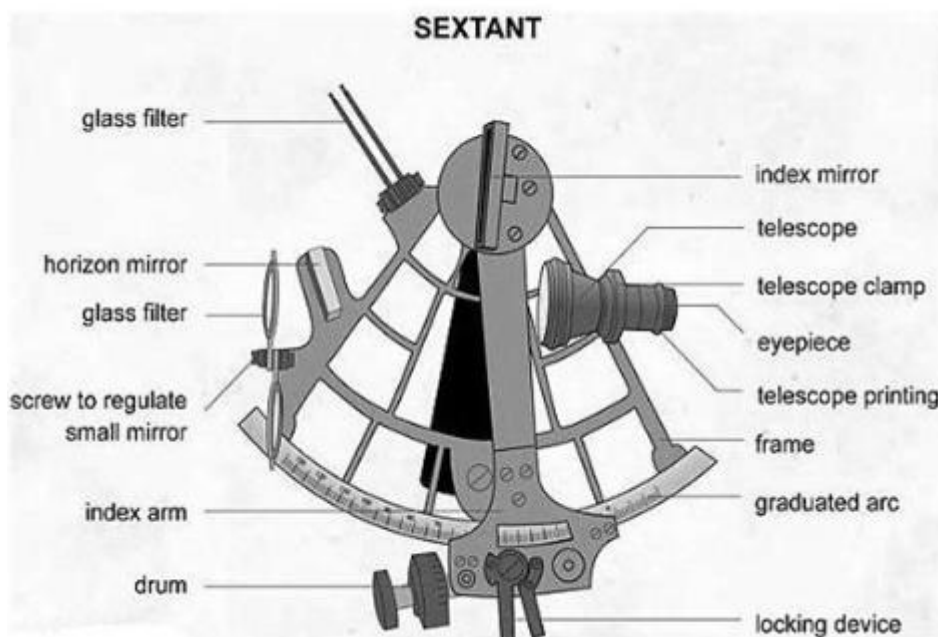
Από τα αρχαία χρόνια ο άνθρωπος είχε στρέψει το βλέμμα του προς τον ουρανό. Μελετώντας τον ανακάλυψε ότι πάντα θα υπάρχει κάποιο ουράνιο σώμα στο ζενίθ του και ότι μπορεί να το χρησιμοποιήσει, για να προσανατολιστεί χωρίς να υπάρχει κάποιο σημάδι στην επιφάνια της γης. Αυτό οδήγησε στη δημιουργία της ουράνιας ναυσιπλοΐας. Ο πρώτος δυτικός λαός που έδειξε σημάδια χρήσης ουράνιας ναυσιπλοΐας ήταν οι Φοίνικες περίπου το 2000 π.Χ.[21] . Παρατηρώντας την θέση του ήλιου και την θέση άλλων ουράνιων σωμάτων κατάφερναν να προσανατολιστούν κατά την διάρκεια των ταξιδιών τους στη Μεσόγειο ανεξαρτήτως ώρας.

Με την πάροδο του χρόνου αναπτύχθηκαν εργαλεία που έκαναν τους υπολογισμούς της ουράνιας ναυσιπλοΐας όλο και πιο ακριβείς και εύκολους. Δυο χαρακτηριστικά εργαλεία είναι ο αστρολάβος του ναυτικού (εικόνα 3.1) και ο εξάντας (εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.1- Αστρολάβος του ναυτικού [22]

Ο αστρολάβος του ναυτικού είναι μια απλοποιημένη έκδοση ένας εργαλείου που ανακαλύφθηκε από Άραβες αστρονόμους για να μπορούν να υπολογίσουν την γωνία που έχουν τα ουράνια σώματα σε σύγκριση με τον ορίζοντα, οι ναυτικοί άρχισαν να το χρησιμοποιούν για πιο εύκολο προσανατολισμό περίπου στα μέσα του 15<sup>ου</sup> αιώνα. [19]



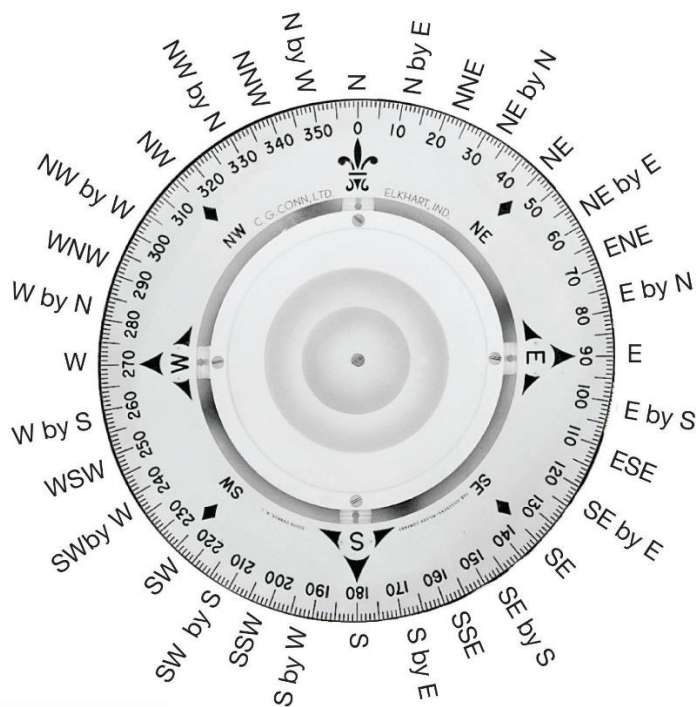
Εικόνα 3.2- Εξάντα διάγραμμα [24]

Ο εξάντας ανακαλύφθηκε από τον Άγγλο αξιωματικό του Ναυτικού Τζον Κάμπελ το 1757, [25] ως εναλλακτική λύση για τις δύσκολες και κάποιες φορές ανακριβείς μετρήσεις που παρείχε ο αστρολάβος λόγω της απαραίτητα ταυτόχρονης σκόπευσης του ουράνιου σώματος και του ορίζοντα. Το τόξο που έχει ο εξάντας είναι το ένα έκτο του κύκλου που ισούται με 60°, εξ ου και το όνομα, με αποτέλεσμα να μπορεί να μετρήσει μέχρι και 120° γωνία του παρατηρούμενου ουράνιου σώματος σε σχέση με τον ορίζοντα.

Με το πέρασμα των χρόνων ο εξάντας ξεπεράστηκε καθώς με την εξέλιξη της τεχνολογίας και της επιστήμης αναπτύχθηκαν όργανα, μεγαλύτερης ακρίβειας και αξιοπιστίας, όμως η εφεύρεση του αποτέλεσε σημαντικό σκαλοπάτι για την εξέλιξη της ναυσιπλοΐας όπως την ξέρουμε και σήμερα.

### 3.3 Πυξίδα

Η πυξίδα είναι ένα εργαλείο ζωτικής σημασίας για την εύρεση της κατεύθυνσης. Οι ρίζες της πυξίδας βρίσκονται και αυτές στην Κίνα και αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες ανακαλύψεις που έγιναν. [26] Οι πυξίδες χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες οι οποίες είναι οι μαγνητικές πυξίδες και οι γυροσκοπικές, παρ'όλ'αυτά τα σημεία μιας πυξίδας είναι ίδια. Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 3.3) βλέπουμε όλα τα σημεία μιας ναυτικής πυξίδας.



Εικόνα 3.3-Σημεία Πυξίδας [27]

Οι μαγνητικές πυξίδες αποτελούνται από μια μαγνητική βελόνα η οποία βρίσκεται σε ένα άξονα και μπορεί να περιστρέφεται. Το μαγνητικό πεδίο της γης, είναι πιο δυνατό στον βορρά και έτσι μαγνητίζει την βελόνα κάνοντας την να στραφεί προς εκείνη την κατεύθυνση. Στο άλλο άκρο βρίσκεται ο νότος γη αυτό και τα δυο άκρα της βελόνας ονομάζονται μαγνητικός βορράς και μαγνητικός νότος . Η μαγνητική πυξίδα στο κέντρο της έχει έναν άξονα στον οποίο είναι περασμένη μια καρτέλα με τα σημεία του ορίζοντα και από πάνω είναι η βελόνα. Στην καρτέλα μπορούμε ακόμα να δούμε το γράμμα T που υπάρχει από τα αρχικά στάδια κατασκευής της πυξίδας και συμβολίζει το λατινικό όνομα του βορείου ανέμου (Tramontana). [28]



Εικόνα 3.4-Μαγνητική πυξίδα [28]

Η γυροσκοπική πυξίδα είναι ένα όργανο πλοήγησης που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της πραγματικής βόρειας κατεύθυνσης ενός πλοίου. Σε αντίθεση με μια μαγνητική πυξίδα η οποία δείχνει τον μαγνητικό βορρά και μπορεί να επηρεαστεί από μαγνητικά πεδία και άλλους παράγοντες, μια γυροσκοπική πυξίδα βασίζεται στις αρχές της φυσικής για να παρέχει μια σταθερή και ακριβή αναφορά κατεύθυνσης[19]. Σε μια γυροσκοπική πυξίδα, το περιστρεφόμενο γυροσκόπιο είναι τυπικά τοποθετημένο σε ένα σετ αντίζυγων που του επιτρέπουν να παραμένει σταθερό και επίπεδο εικόνα 3.5. Το πιο εξωτερικό αντίζυγο συνδέεται με το πλαίσιο του πλοίου, ενώ το πιο έσω αντίζυγο συνδέεται με μια πλατφόρμα που μπορεί να περιστρέφεται γύρω από έναν κατακόρυφο άξονα. Αυτή η πλατφόρμα, γνωστή ως επαναλήπτης, χρησιμοποιείται για την εμφάνιση των πληροφοριών κατεύθυνσης στο πλήρωμα. [36].



Εικόνα 3.5-Εσωτερικό της γυροσκοπικής [36]

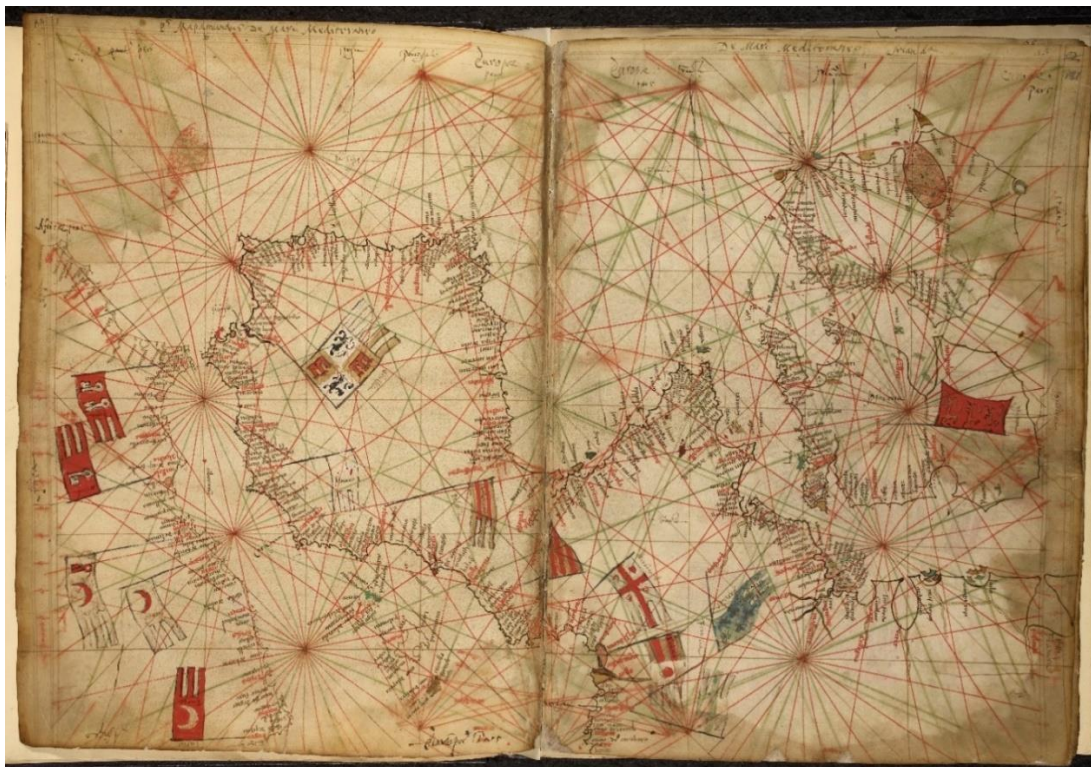
Οι πυξίδες ,ιδικά οι μαγνητικές, αποτελούν κύριο λίθο για τον προσανατολισμό μέχρι και στην σήμερον ημέρα, με την εύκολη χρήση τους καθώς και τον απλό σχεδιασμό τους, είναι εργαλεία που βλέπουμε σε καθημερινή βάση όπως είναι και το ρολόι. Έτσι μέχρι και σήμερα κάθε πλοίο έχει στον βασικό του εξοπλισμό και από τουλάχιστον μια πυξίδα μαγνητική ή και γυροσκοπική.

### 3.4 Ναυτικοί Χάρτες

Οι ναυτικοί χάρτες, είναι απαραίτητα εργαλεία που χρησιμοποιούνται από τους ναυτικούς για την ασφαλή πλοήγηση στη θάλασσα. Αυτοί οι εξειδικευμένοι χάρτες παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες για την τοπογραφία του ωκεανού, τα βάθη του νερού, τα παράκτια χαρακτηριστικά, τους κινδύνους και τα βοηθήματα για τις επιχειρήσεις στη θάλασσα [31]. Σε όλη την ιστορία, οι ναυτικοί χάρτες έχουν υποστεί σημαντικές προόδους, τόσο ως προς τη δημιουργία τους όσο και ως προς τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την ερμηνεία τους. Τα τελευταία χρόνια, η εμφάνιση των Ηλεκτρονικών Συστημάτων Εμφάνισης Χαρτών και Πληροφοριών (ECDIS) έφερε επανάσταση στη βιομηχανία πλοήγησης. Αυτό το κείμενο εμβαθύνει στην ιστορία των ναυτικών χαρτών, στα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την ανάγνωση και πλοήγηση με τη χρήση τους και τον ρόλο του ECDIS στη σύγχρονη θαλάσσια ναυσιπλοΐα.



Οι χάρτες έχουν πλούσια ιστορία που χρονολογείται αιώνες, κρατώντας ζωτικό ρόλο στη θαλάσσια εξερεύνηση και ασφάλεια. Τον 15ο και 16ο αιώνα, γνωστή και ως Εποχή της Ανακάλυψης, οι ναυτικοί χάρτες γνώρισαν σημαντική ώθηση. Πρωτοπόροι όπως ο Χριστόφορος Κολόμβος και ο Μαγγελάνος βασίστηκαν σε σχολαστικά δομημένους χάρτες για να εξερευνήσουν νέους εμπορικούς δρόμους και να επεκτείνουν τη γεωγραφική γνώση [32]. Στις εικόνες 3.4 και 3.5 απεικονίζονται 2 χάρτες από την εποχή που οι ναυτικοί αρχίσαν να κατασκευάζονται με περισσότερες λεπτομέρειες. Στην εικόνα 3.4, απεικονίζεται ο χάρτης από τον Pietro Vesconte που θεωρείται ο πρώτος χάρτης που φτιάχτηκε ως επάγγελμα [33], ενώ στην 3.5 απεικονίζεται ένας χάρτης ο οποίος λέγεται πως ήταν του Κολόμβου χωρίς όμως αδιαμφισβήτητητα στοιχεία.



Εικόνα 3.6-Χάρτης Δυτικής Ευρώπης από τον Pietro Vesconte γύρω στο 1400 μ.Χ. [34]



Εικόνα 3.7-Χάρτης Βορειοανατολικού Ατλαντικού Ωκεανού, της Βαλτικής Θάλασσας, της Μεσογείου και της Μαύρης Θάλασσας, συνοδευόμενος από κυκλικό παγκόσμιο [35]

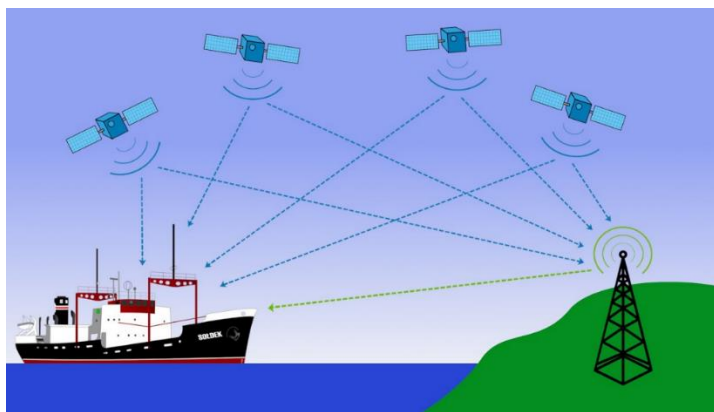
Οι ναυτικοί χρησιμοποιήσουν και άλλα όργανα για την εξασφάλιση ακριβούς πλοήγησης. Χρησιμοποιούν τις προαναφερθείσες πυξίδες για να καθορίσουν την πορεία τους, διαχωριστές για να μετρήσουν τις αποστάσεις στο χάρτη και παράλληλους χάρακες για να σχεδιάσουν διαδρομές. Οι εξάντες και οι συσκευές GPS βοηθούν στον προσδιορισμό της θέσης ενός σκάφους σε σχέση με ουράνια σώματα ή δορυφορικά σήματα. Περισσότερα από αυτά τα όργανα και εργαλεία θα αναπτυχθούν στην συνέχεια [36].

Τις τελευταίες δεκαετίες, η ναυτιλιακή βιομηχανία έχει γίνει μάρτυρας μιας μετατόπισης από τους παραδοσιακούς χάρτινους χάρτες σε ηλεκτρονικά συστήματα χαρτογράφησης γνωστά ως ECDIS. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν ηλεκτρονικούς ναυτικούς χάρτες (ENC) που εμφανίζονται σε οθόνες υπολογιστών ή αποκλειστικές συσκευές ECDIS [37]. Το ECDIS προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένης της ενημέρωσης χαρτών σε πραγματικό χρόνο, της ενσωμάτωσης με άλλα συστήματα πλοήγησης και της δυνατότητας επικάλυψης πρόσθετων πληροφοριών, όπως δεδομένα καιρού και εικόνες ραντάρ [38]. Το ECDIS ενισχύει την ασφάλεια, την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια στη θαλάσσια ναυσιπλοΐα.

### 3.5 GPS

Το GPS είναι η συνδυαστική εξέλιξη όλων των παραπάνω, παρέχοντας προσανατολισμό όπως η πυξίδα και η ουράνια ναυσιπλοΐα καθώς και τοπογραφικές πληροφορίες των θαλασσών όπως οι ναυτικοί χάρτες. Ξεκίνησε σαν ένα συνδυαστικό πολιτικό/στρατιωτικό πρόγραμμα το 1973. Το πρόγραμμα συνδύαζε τις καλύτερες πτυχές διαφόρων υπηρεσιών δυνατοτήτων επικεντρωμένες στις κοινές ανάγκες, συμπεριλαμβανομένων των TRANSIT, TIMATION και Project 621B, για τη μείωση των βοηθημάτων πλοήγησης. Δημιουργώντας, ένα κύκλωμα που ξεπέρασε τους περιορισμούς πολλών, ήδη υπάρχων, συστημάτων πλοήγησης, κάνοντας το ιδανικό για δημόσια χρήση παγκόσμιος [39]. Λειτουργεί μετρώντας το χρόνο που χρειάζεται για να φτάσουν στον δέκτη τα σήματα από πολλούς δορυφόρους GPS που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη. Συγκρίνοντας τις χρονικές σημάσεις στα σήματα, ο δέκτης μπορεί να προσδιορίσει την απόσταση από κάθε δορυφόρο και να χρησιμοποιήσει αυτές τις πληροφορίες για να υπολογίσει τη θέση του (εικόνα 3.8).

Υπάρχουν διάφοροι τύποι receiver, που κυμαίνονται από φορητές συσκευές έως εξελιγμένα συστήματα που έχουν σχεδιαστεί για χρήση σε πλοία και άλλα οχήματα. Αυτοί που χρησιμοποιούνται σε θαλάσσιες εφαρμογές είναι συχνά σχεδιασμένοι να είναι ανθεκτικοί και υψηλής ευαισθησίας στα σήματα των δορυφόρων ώστε να αντέχουν σε σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως διάβρωση από θαλασσινό νερό και ισχυρούς ανέμους και να είναι αξιόπιστοι σε κάθε περίπτωση.



Εικόνα 3.8-Λειτουργία GPS σε πλοία [40]

### 3.6 Σύνοψη

Ενώ τα σύγχρονα ηλεκτρονικά συστήματα έχουν βελτιώσει σημαντικά την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα της ναυσιπλοΐας, οι παραδοσιακές μέθοδοι ναυσιπλοΐας, όπως η ουράνια ναυσιπλοΐα και η χρήση χαρτών, εξακολουθούν να διδάσκονται και να χρησιμοποιούνται σε ορισμένες περιπτώσεις που τα σύγχρονα μέσα δεν είναι προσβάσιμα ή διαθέσιμα.

## 4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΠΙΛΟΤΟΣ

### 4.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου

Το κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στον αυτόματο πιλότο και τα πλεονεκτήματα της χρήσης του εντός του ναυτιλιακού τομέα. Θα αναλυθούν οι βασικές αρχές που πρέπει να ακολουθεί το σύστημα για να λειτουργεί σωστά και τα απαραίτητα εξαρτήματα που διαθέτει. Τέλος, θα αναφερθούν αναλυτικά κάποιοι από τους τύπους αυτόματου πιλότου, η αρχιτεκτονική τους και οι βασικές διαφορές μεταξύ τους.

### 4.2 Αυτόματος πιλότος και τα πλεονεκτήματα που έχει στην ναυτιλιακή χρήση

#### 4.2.1 Τι είναι ο αυτόματος πιλότος (Autopilot)

Ο αυτόματος πιλότος είναι ένα αυτοματοποιημένο σύστημα σχεδιασμένο να ελέγχει ένα όχημα ή σκάφος χωρίς συνεχή ανθρώπινη παρέμβαση [19]. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα υπολογιστικό σύστημα που χρησιμοποιεί αισθητήρες και άλλα inputs για τον προσδιορισμό της θέσης, της πορείας και της ταχύτητας του οχήματος και, στη συνέχεια, προσαρμόζει το τιμόνι ή η πηδάλιο και άλλα χειριστήρια για τη διατήρηση της επιθυμητής κατεύθυνσης [20]. Τα συστήματα αυτόματου πιλότου γίνονται όλο και πιο συνηθισμένα στα σύγχρονα οχήματα και σε μερικά είδη πλοίων, εμπορικά και αναψυχής.

#### 4.2.2 Ποια είναι τα πλεονεκτήματα της χρήσης Autopilot στο ναυτιλιακό τομέα

Μερικά από τα κύρια πλεονέκτημα ενός αυτόματου πιλότου είναι ότι [21]:

1. Μειώνει τον φόρτο εργασίας του πληρώματος, επιτρέποντάς του να επικεντρωθεί σε άλλα καθήκοντα ή να ξεκουραστούν. Αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε μακρινά ταξίδια, όπου το πλήρωμα μπορεί να χρειαστεί να εργάζεται όλο το εικοσιτετράωρο για να διατηρήσει την πορεία του σκάφους. Ένα σύστημα αυτόματου πιλότου μπορεί επίσης να συμβάλει στη μείωση της κόπωσης και του στρες, γεγονός που μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του πληρώματος.
2. Εξοικονόμηση καυσίμων: Ένα αυτοματοποιημένο σύστημα πορείας μπορεί να βελτιστοποιήσει την ταχύτητα και τη διαδρομή του σκάφους, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως ο άνεμος και τα ρεύματα της θάλασσας, διατηρώντας τη βέλτιστη πορεία και ταχύτητα, με αποτέλεσμα την μείωση κατανάλωσης καυσίμων [22].
3. Ασφάλεια: Μπορεί να ενισχύσει την ασφάλεια παρέχοντας ακριβή και συνεπή έλεγχο του πηδαλίου, μειώνοντας τον κίνδυνο ανθρώπινου λάθους ή λαθών που σχετίζονται με την κόπωση. Μπορεί να διατηρήσει σταθερή πορεία, να πλοηγείτε γύρω από τα εμπόδια και να ανταποκρίνεται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη ακρίβεια από ό,τι ο χειροκίνητος έλεγχος.
4. Πλοήγηση σκάφους/Ιστιοφόρου με ένα ή λίγα άτομα: Επιτρέπει την πλοήγηση και τον έλεγχο του σκάφους αποτελεσματικά χωρίς την ανάγκη συνεχούς χειροκίνητης παρέμβασης. Αυτό επιτρέπει στους ιστιοπλόους να διαχειρίζονται άλλα καθήκοντα επί του σκάφους, διατηρώντας παράλληλα τον έλεγχο της πορείας και της ταχύτητας του σκάφους. Δίνοντας τους την δυνατότητα να πλοηγούν σκάφη με λιγότερα άτομα από τα απαιτούμενα.
5. Βελτιωμένη ακρίβεια πλοήγησης: Χρησιμοποιεί αισθητήρες, όπως δέκτες GPS και πυξίδες, για να διατηρεί ακριβή έλεγχο πορείας και κατεύθυνσης. Μπορεί να κάνει ακριβείς προσαρμογές με βάση τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, διασφαλίζοντας ότι το σκάφος παραμένει στην επιθυμητή πορεία και ελαχιστοποιώντας τις αποκλίσεις.

Λόγο αυτών ο αυτόματος πιλότος είναι ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία που μπορεί να παρέχει η τεχνολογία στην ναυτιλία, κάνοντας τα ταξίδια πιο ασφαλείς και ξεκούραστα για το πλήρωμα κάθε σκάφους.



### 4.3 Τύποι αυτόματου πιλότου στο ναυτιλιακό τομέα

Υπάρχουν διάφορα είδη πλοίων από μικρά απλά ιστιοπλοϊκά σκάφη, ιστιοφόρα μεσαίου μεγέθους που έχουν και κινητήρες, ιδιωτικά yacht, κρουαζιερόπλοια έως και εμπορικά πλοία. Όλα αυτά λειτουργούν και κινούνται με διαφορετικούς μηχανισμούς απαιτώντας το καθένα και διαφορετικό τύπο συστήματος αυτόματης πλοήγησης, του οποίου τα ακριβή χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες διαφέρουν ανάλογα τον κατασκευαστή και το μοντέλο [23]. Καθένας από τους τύπους έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τα του. Μερικοί από τους βασικότερους παράγοντες στην επιλογή του συστήματος είναι το κόστος του και το είδος του πλοίου που πρέπει να εξοπλιστεί.

#### 4.3.1 Sailboat Autopilots

Για τα ιστιοπλοϊκά σκάφη, υπάρχουν ειδικοί μηχανισμοί αυτόματου πιλότου που έχουν σχεδιαστεί για να ανταποκρίνονται στις μοναδικές απαιτήσεις και τα χαρακτηριστικά τους. Σε αντίθεση με τα μηχανοκίνητα σκάφη, τα ιστιοφόρα βασίζονται στη δύναμη του ανέμου και στις τεχνικές πλεύσης για την πλοήγηση. Οι αυτόματοι πιλότοι πρέπει λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως η κατεύθυνση του ανέμου, η διαμόρφωση των ιστίων και οι προσαρμογές της πορείας για να παρέχουν αποτελεσματικό και ακριβή έλεγχο του πηδαλίου [24]. Αυτά τα συστήματα συχνά ενσωματώνονται με άλλα όργανα ελέγχου πορείας και πλοήγησης, επιτρέποντας στους ιστιοπλόους να εστιάσουν σε άλλες εργασίες πάνω στο σκάφος, αφού υπάρχει μειωμένη ανάγκη για την καθ' αυτού πλοήγηση.

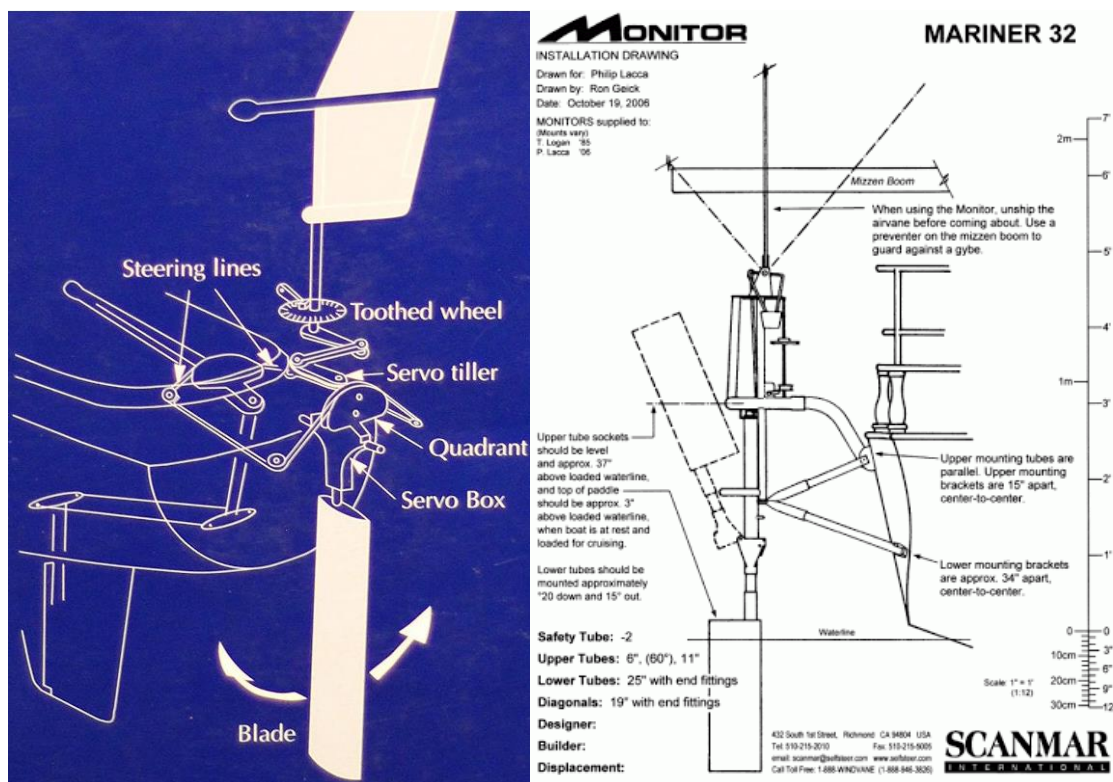
Αυτοί οι μηχανισμοί ενισχύουν την ασφάλεια, την ευκολία και τη συνολική απόλαυση της ιστιοπλοϊκής εμπειρίας, με χαρακτηριστικά προσαρμοσμένα στην πολυπλοκότητα της ιστιοπλοΐας, όπως η οδήγηση με πτερύγια ανέμου, η βελτιστοποίηση της διαμόρφωσης του πανιού και η απρόσκοπτη μετάβαση μεταξύ ανεμοκίνητου και ηλεκτρονικού ελέγχου. [25]

Μερικοί από τους βασικότερους τύπος είναι οι εξής:

1. Wind Vane Autopilot: Αναπτύχθηκε στις αρχές του 20ου αιώνα, με αξιοσημείωτες εξελίξεις στις δεκαετίες του 1960 και 1970 [26]. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν ένα μηχανικό πτερύγιο ανέμου, συνήθως τοποθετημένο στην πρύμνη του σκάφους. Το πτερύγιο ανέμου ευθυγραμμίζεται με τη φαινομενική κατεύθυνση του ανέμου και περιστρέφεται καθώς ο άνεμος αλλάζει. Συνδεδεμένο με το πηδάλιο ή το σύστημα διεύθυνσης του σκάφους, το πτερύγιο ανέμου ελέγχει την πορεία του σκάφους μετακινώντας το πηδάλιο ή το τιμόνι. Καθώς το σκάφος στρίβει, το πτερύγιο ανέμου ευθυγραμμίζεται με τη νέα φαινομενική κατεύθυνση του ανέμου, προσαρμόζοντας συνεχώς την πορεία για να διατηρήσει μια σταθερή γωνία προς τον άνεμο.

Οι αυτόματοι πιλότοι με πτερύγια ανέμου είναι γνωστοί για την αξιοπιστία τους, την ανεξαρτησία τους από την ηλεκτρική ενέργεια και την καταλληλότητά τους για κρουαζιέρες μεγάλων αποστάσεων.

Στην εικόνα (4.1) φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας του windvane autopilot και από τι κομμάτια αποτελείται. Ο άξονας του πτερυγίου ενώνεται με το καντράν μέσω ενός μηχανισμού που είναι συνδυασμός από γρανάζια και βραχίονες, δίνοντας κίνηση στο servo-pendulum. Αυτό παράγει δυνάμεις, ανάλογες με την κλίση του πτερυγίου, που κατευθύνουν το πηδάλιο και την λεπίδα προς την κατεύθυνση ανέμου. [26]



Εικόνα 4.1-Μηχανικά σχέδια windvane & -Monitor Windvane- diagram [26]

- Electronic Tiller Pilots: Εμφανίστηκε στα μέσα του 20ου αιώνα, με την εξέλιξη της τεχνολογίας να οδηγεί σε πιο εξελιγμένα συστήματα τη δεκαετία του 1980. Ο πιλότος αποτελείται από μια μονάδα ηλεκτροκινητήρα που συνδέεται με το πηδάλιο του ιστιοπλοϊκού σκάφους. Λαμβάνει δεδομένα από διάφορους αισθητήρες, όπως πυξίδες, GPS ή αισθητήρες ανέμου, για να καθορίσουν την πορεία και την απόκλιση της πορείας του σκάφους. Η μονάδα ελέγχου υπολογίζει τις απαραίτητες ρυθμίσεις πηδαλίου και στέλνει σήματα στον ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος το κινεί, για να διατηρήσει την επιθυμητή πορεία. Προσφέρει ακριβή έλεγχο του πηδαλίου και εύκολη εγκατάσταση, καθιστώντας τον δημοφιλή επιλογή για μικρότερα ιστιοφόρα. Η εικόνα 4.2 απεικονίζει ένα σύστημα Electronic Tiller Pilot. Αποτελείται από ένα ηλεκτρικό μοτέρ το οποίο δίνει την κίνηση στο πηδάλιο μέσω του ενεργοποιητή. Όλο το σύστημα είναι βιδωμένο πάνω στο σκάφος με μια βάση για να παραμένει σταθερό και από την άλλη έχει έναν σύνδεσμο στον οποίο κουμπώνει ο ενεργοποιητής. [27].



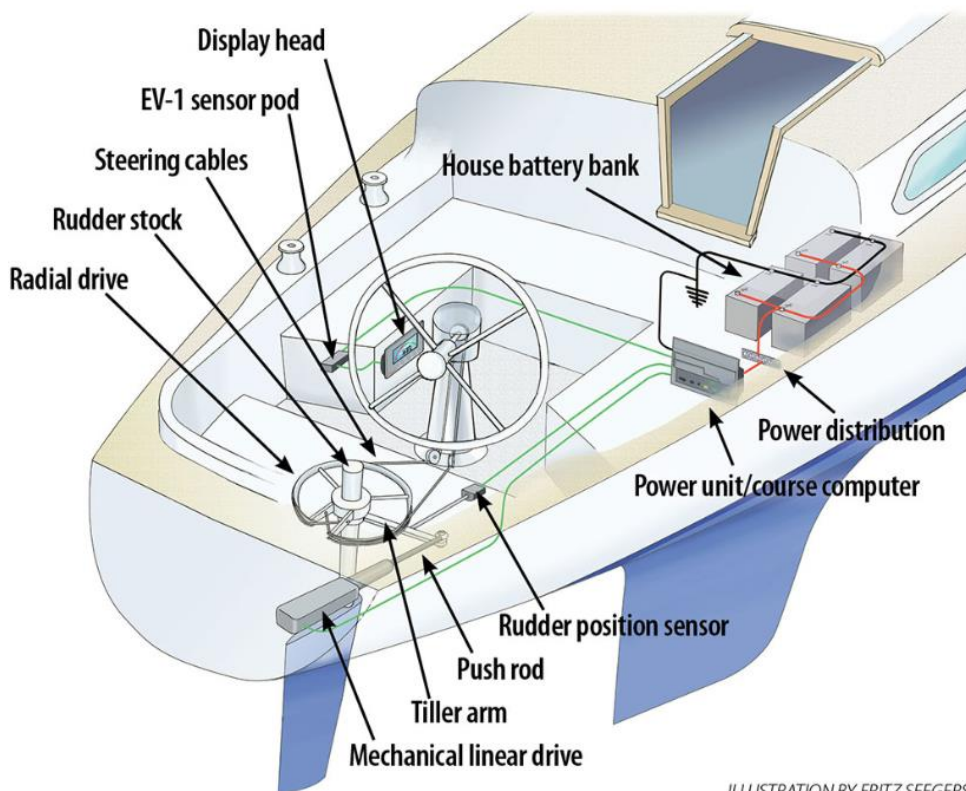
Εικόνα 4.2-Στάνταρ Electronic Tiller Pilot [28]

3. Below-Deck Autopilot: Αυτός ο τύπος αυτόματου πιλότου είναι κάτω από το κατάστρωμα, έχει αναπτυχθεί και βελτιωθεί με την πάροδο των ετών με σημαντικές εξελίξεις τις δεκαετίες του 1980 και 1990. Αυτά τα συστήματα διαθέτουν πιο εξελιγμένο σχεδιασμό και είναι κατάλληλα για μεγαλύτερα ιστιοπλοϊκά σκάφη ή για σκάφη με υδραυλικά και μηχανικά συστήματα διεύθυνσης [29].

Ο αυτόματος πιλότος αποτελείται από μια ηλεκτρική ή υδραυλική μονάδα κίνησης εγκατεστημένη κάτω από το κατάστρωμα, συνδεδεμένη με το σύστημα διεύθυνσης του σκάφους. Λαμβάνουν δεδομένα από αισθητήρες όπως πυξίδες, GPS και αισθητήρες ανέμου για να καθορίζουν τη θέση, την πορεία και την απόκλιση της πορείας του σκάφους. Η μονάδα ελέγχου υπολογίζει τις απαραίτητες ρυθμίσεις πηδαλίου και στέλνει σήμα στον ενεργοποιητή, ο οποίος κινεί τον μηχανισμό κατεύθυνσης για να διατηρήσει την επιθυμητή πορεία. Ο τύπος αυτός προσφέρει αυξημένες επιδόσεις, ενσωμάτωση με τα ηλεκτρονικά συστήματα του σκάφους και βελτιωμένο έλεγχο σε διάφορες συνθήκες πλεύσης.

Στην παρακάτω εικόνα 4.3 παρουσιάζεται ένα below-deck autopilot system. Βλέπουμε ότι όλα τα εξαρτήματα του συστήματος βρίσκονται εντός του ιστιοφόρου με το μόνο φανερό στο μάτι να είναι η οθόνη του χρήστη. Οι μπαταρίες του συστήματος καθώς και ο εγκέφαλος βρίσκονται μέσα στην καμπίνα ενώ οι αισθητήρες και το σύστημα κίνησης του πηδαλίου βρίσκονται κάτω από το cockpit.

## Autopilot Installation



Εικόνα 4.3-Below deck autopilot diagram [30]

<i>Autopilot type</i>	<i>Advantages</i>	<i>Disadvantages</i>
<u>Windvane</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δεν απαιτεί ηλεκτρική ενέργεια</li> <li>• Ιδανικό για μεγάλες πορείες</li> <li>• Ιδανικό για μικρομεσαία ιστιοφόρα</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αργή ανταπόκριση σε απότομη αλλαγή ανέμου</li> <li>• Έλλειψη ακρίβειας σε χαμηλούς ανέμους</li> </ul>
<u>Electronic Tiller</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Εύκολη και φθηνή εγκατάσταση</li> <li>• Υψηλή ακρίβεια ελέγχου</li> <li>• Ιδανικό για μικρομεσαία ιστιοφόρα</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Περιορισμένη ενέργεια</li> <li>• Απαιτεί συνεχή ρύθμιση</li> </ul>
<u>Below-Deck Autopilot</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεγάλη ισχύς</li> <li>• Υψηλή ακρίβεια ελέγχου</li> <li>• Ιδανικό για μεγάλα ιστιοφόρα</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δύσκολη εγκατάσταση</li> <li>• Απαιτεί συχνά συντήρηση</li> </ul>

Πίνακας 4.1-Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Autopilot

Τέλος, ο ιδανικός αυτόματος πιλότος για τα ιστιοφόρα δεν υπάρχει, καθώς όλοι οι τύποι έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Για τα μικρομεσαία ιστιοφόρα προτείνεται ένας συνδυασμός των windvane και electronic tiller ενώ για τα μεγάλα προτείνεται ο below-deck autopilot.

### 4.3.2 Power Boats

Τα μηχανοκίνητα σκάφη από την άλλη, δεν έχουν τόσες ιδιαιτερότητες όπως τα ιστιοφόρα, έχοντας κοινά χαρακτηριστικά μεταξύ τους και λόγω του τρόπου λειτουργίας τους, ο τύπος που χρησιμοποιούν είναι ο below-deck autopilot με ελάχιστες διαφορές ανάλογα τον κατασκευαστή, το κόστος του μοντέλου, τρόπος εγκατάστασης και το μέγεθος του σκάφους. [22].

## 4.4 Συστήματα Ελέγχου

Η μεγαλύτερη διαφορά στα συστήματα αυτόματων πιλότων είναι το σύστημα ελέγχου χρησιμοποιούν. Υπάρχουν πολλά συστήματα ελέγχου που χρησιμοποιούνται, όπως είναι το PID και το AAR. Αυτά τα συστήματα παρέχουν ξεχωριστές και εξειδικευμένες προσεγγίσεις για την πηδαλιουχία, προσαρμοσμένες στις ειδικές απαιτήσεις και τα μοναδικά χαρακτηριστικά των διαφόρων σκαφών. Καθώς οι απαιτήσεις και οι συνθήκες λειτουργίας στην θάλασσα είναι απρόβλεπτες σε μεγάλο βαθμό, είναι ζωτικής σημασίας να υπάρχει μια σειρά συστημάτων ελέγχου για να διασφαλίζεται η βέλτιστη απόδοση και ασφάλεια. Κάθε σύστημα ελέγχου φέρει το δικό του σύνολο πλεονεκτημάτων και δυνατοτήτων, επιτρέποντας στους αυτόματους πιλότους να προσαρμόζονται σε διάφορους τύπους και μεγέθη σκαφών χαρακτηριστικά χειρισμού και περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Προσφέροντας διαφορετικές προσεγγίσεις για τον έλεγχο του πηδαλίου, τα συστήματα αυτά επιτρέπουν στους χειριστές των πλοίων να επιλέξουν την καταλληλότερη στρατηγική ελέγχου που ευθυγραμμίζεται με τις συγκεκριμένες ανάγκες τους, εξασφαλίζοντας ακριβή και αποτελεσματική πλοήγηση. Είτε πρόκειται για τη σταθερότητα και την αξιοπιστία του ελέγχου PID, είτε για την προσαρμοστικότητα και την ανταπόκριση του ελέγχου AAR κάθε σύστημα ελέγχου συμβάλλει στην ενίσχυση της απόδοσης, της ακρίβειας και της ασφάλειας των ναυτικών συστημάτων ελέγχου σε ποικίλες και δύσκολες θαλάσσιες συνθήκες.

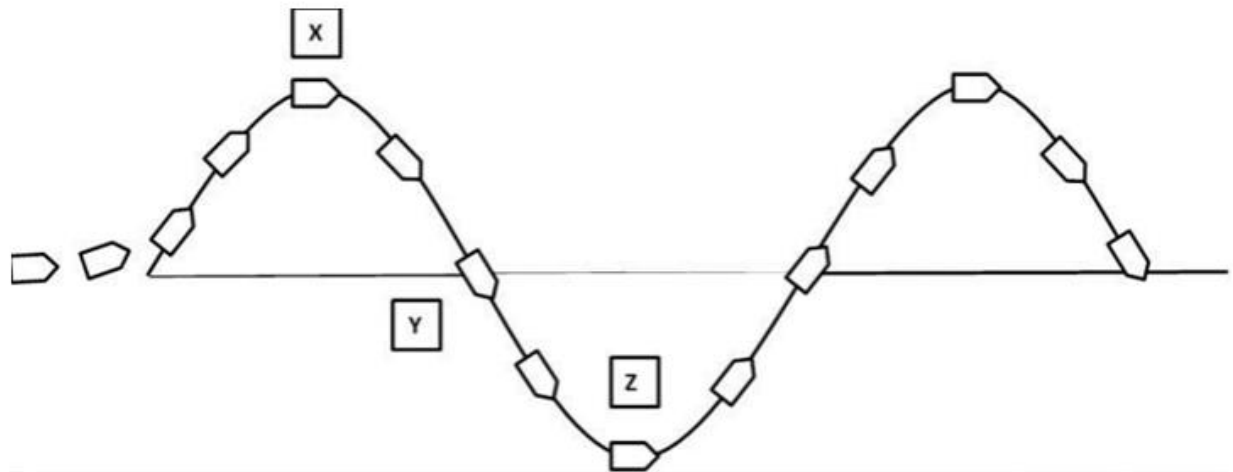
### 4.4.1 PID (Proportional Integral Derivative)

Το PID είναι ένας τρόπος λειτουργίας που χρησιμοποιείται σε συστήματα αυτόματου πιλότου για τον έλεγχο της κίνησης ενός οχήματος ή ενός μηχανήματος. Είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη και καθιερωμένη τεχνική στη μηχανική ελέγχου και βασίζεται στην έννοια της συνεχούς μέτρησης της παραγωγής ενός συστήματος και της προσαρμογής της εισόδου του για την επίτευξη ενός επιθυμητού αποτελέσματος. Το (PID) χρησιμοποιεί ανατροφοδότηση από αισθητήρες όπως η γυροσκοπική πυξίδα, δέκτης GPS και οι αισθητήρες ανέμου για να κάνει προσαρμογές σε πραγματικό χρόνο στην πορεία και την ταχύτητα του πλοίου. [31]

Τι είναι το P.I.D.:

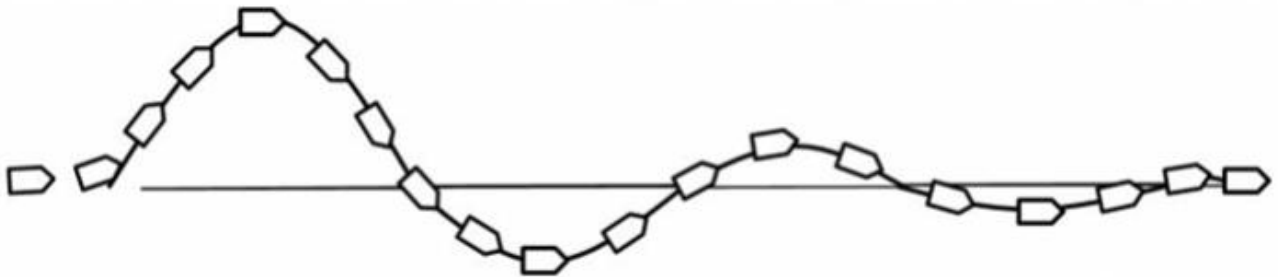
- *Proportional (P)* - Αυτό το στοιχείο υπολογίζει το σφάλμα μεταξύ της επιθυμητής τιμής (σημείο ρύθμισης) και της πραγματικής τιμής (μεταβλητή διαδικασίας) και εφαρμόζει ένα αναλογικό κέρδος στο σφάλμα. Η έξοδος της αναλογικής συνιστώσας είναι ανάλογη με το σφάλμα και χρησιμοποιείται για να γίνουν άμεσες προσαρμογές στην πορεία και την ταχύτητα του πλοίου. Εάν εφαρμόζεται μόνο το Proportional κομμάτι στο σύστημα, τότε σε αυτή τη περίπτωση όταν το σκάφος προσπαθήσει να διορθώσει τη πορεία του, λόγω της ορμής που έχει, θα βγει πάλι εκτός πορείας μπαίνοντας έτσι σε μια λούπα όπου δεν θα μπορέσει τότε να σταθεροποιηθεί όπως απεικονίζεται στην εικόνα 4.4.





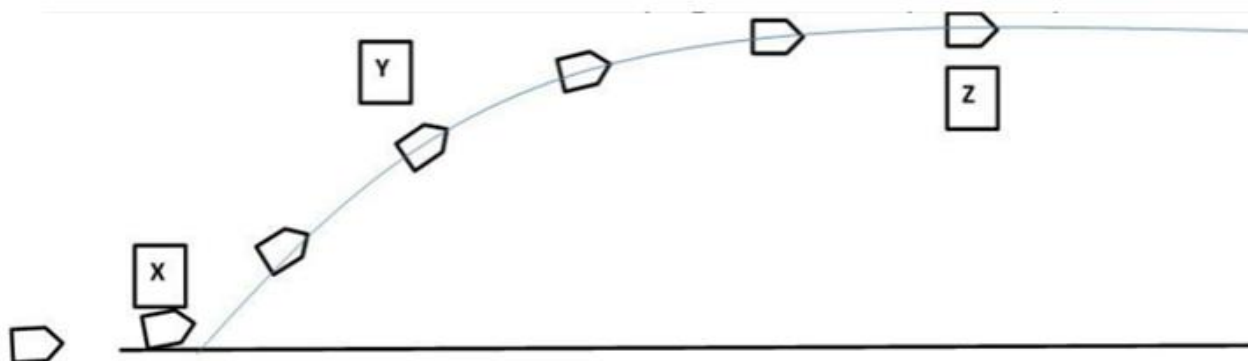
Εικόνα 4.4-Απόπειρα διόρθωσης σφάλματος μόνο με Proportional Control. [32]

- *Integral (I)* - Αυτό το στοιχείο ενσωματώνει το σφάλμα με την πάροδο του χρόνου και εφαρμόζει ένα αναπόσπαστο κέρδος στο αποτέλεσμα. Η έξοδος του ενσωματωμένου στοιχείου χρησιμοποιείται για μακροπρόθεσμες προσαρμογές στην πορεία και την ταχύτητα του πλοίου, προκειμένου να μειωθούν τυχόν σφάλματα σταθερής κατάστασης. Εάν δεν χρησιμοποιηθεί αυτό το σύστημα ελέγχου στο P.I.D., τότε το πλοίο θα επιστρέψει στην αρχική του πορεία μετά από μερικές επαναλαμβανόμενες κινήσεις. Πράγμα που κάνει το σύστημα λειτουργικό αλλά όχι αποτελεσματικό όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 4.5.



Εικόνα 4.5-Διόρθωση πορείας χωρίς την χρήση του Integral Control [32]

- *Derivative (D)* - Αυτή η συνιστώσα υπολογίζει το ρυθμό μεταβολής του σφάλματος και εφαρμόζει ένα κέρδος παραγώγου στο αποτέλεσμα. Η έξοδος της παράγωγης συνιστώσας χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη μελλοντικών αλλαγών στην πορεία και την ταχύτητα του πλοίου και για να γίνουν προσαρμογές ανάλογα. Σε περίπτωση που χρησιμοποιείται μόνο αυτό το σύστημα ελέγχου σε έναν αυτόματο πιλότο, τότε το πλοίο κατά τη διάρκεια διόρθωσης σφάλματος θα προσανατολιστεί σωστά αλλά θα είναι παράλληλα με την αρχική πορεία όπως παρουσιάζεται στο ην εικόνα 4.6.



Εικόνα 4.6-Διόρθωση πορείας με χρήση μόνο του Derivative Control. [32]

Οι αυτόματοι πιλότοι PID χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από συστήματα βιομηχανικού ελέγχου μέχρι αεροδιαστημική και θαλάσσια πλοήγηση. Είναι σχετικά απλά και αποτελεσματικά για εφαρμογές με προβλέψιμη συμπεριφορά και μπορούν να ρυθμιστούν για να επιτύχουν ένα επιθυμητό επίπεδο απόδοσης. Ωστόσο, μπορεί να μην είναι κατάλληλα για εφαρμογές με εξαιρετικά μη γραμμική ή απρόβλεπτη συμπεριφορά, καθώς βασίζονται σε ένα σύνολο προκαθορισμένων κανόνων που μπορεί να μην είναι προσαρμόσιμοι στις μεταβαλλόμενες συνθήκες.

#### 4.4.2 AAP (Adaptive Autopilot)

Ο AAP σε αντίθεση με τον PID που χρησιμοποιεί σταθερά δεδομένα ελέγχου, προσαρμόζει συνεχώς τα δεδομένα τους με βάση τη μεταβαλλόμενη δυναμική του σκάφους και του περιβάλλοντος [33].

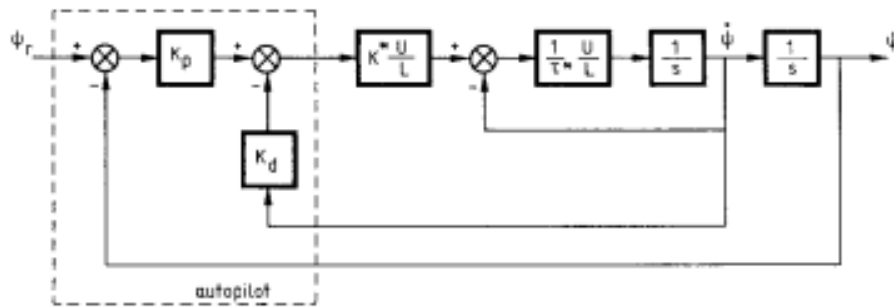
Αποτελείται από διάφορα στοιχεία, όπως sensors, controller, actuators και feedback loop. Οι sensors (αισθητήρες) μετρούν την τρέχουσα κατάσταση του σκάφους, συμπεριλαμβανομένης της θέσης, της ταχύτητας και της πορείας του. Ο controller (ελεγκτής) χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες για να υπολογίσει την επιθυμητή γωνία πηδαλίου με βάση έναν αλγόριθμο ελέγχου, ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη δυναμική του σκάφους και την επιθυμητή πορεία. Στη συνέχεια, ο actuator (ενεργοποιητής) ρυθμίζει τη γωνία του πηδαλίου ώστε να ταιριάζει με την επιθυμητή γωνία [33].

Το feedback loop αποτελεί βασικό στοιχείο ενός Adaptive autopilot, καθώς επιτρέπει στο σύστημα να προσαρμόζεται με βάση την κατάσταση στην οποία βρίσκεται. Αποτελείται συνήθως από ένα σύνολο αισθητήρων που μετρούν το σφάλμα μεταξύ της πραγματικής κατάστασης του σκάφους και της επιθυμητής κατάστασης, καθώς και από ένα σύνολο παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή του πλοίου για την συγκεκριμένη περίπτωση. Τροφοδοτεί στη συνέχεια αυτές τις πληροφορίες πίσω στον ελεγκτή, ο οποίος τις χρησιμοποιεί για να πλοηγήσει το πλοίο με τον πιο αποτελεσματικό και ασφαλή τρόπο για τις συγκεκριμένες καιρικές συνθήκες.

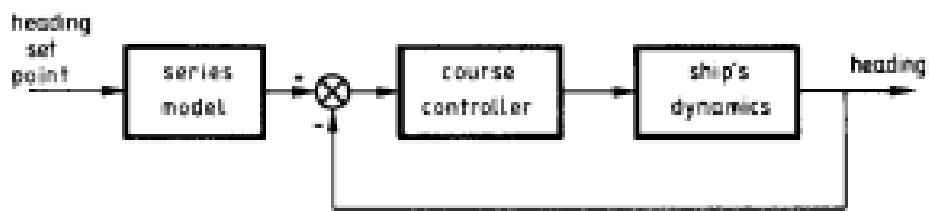
Στις ακόλουθες εικόνες παρουσιάζεται ένα διάγραμμα συστήματος αυτόματου ελέγχου από έναν Adaptive Autopilot. Στην εικόνα 4.7, απεικονίζεται το μέρος του συστήματος που είναι υπεύθυνο για την διατήρηση της πορείας καθώς ( $\Psi_r$ ) και πόσες παραμέτρους λαμβάνει υπόψιν για την απόφαση αυτή, μερικές από αυτές της παραμέτρους είναι η εξοικονόμηση καυσίμων και η ασφαλής πλοήγηση(ταχύτητα περιστροφής, κλίση του πλοίου, κυματισμός της θάλασσας κ.α.).

Έπειτα στην εικόνα 4.8 φαίνεται το κομμάτι του συστήματος που η λειτουργία του είναι να αλλάζει την πορεία αφού πρώτα τροποποιηθεί από το series model και μετά με βάση την εντολή που του δίνεται και την δυναμική του πλοίου. Στην συνέχεια εικόνα 4.9 βλέπουμε πιο αναλυτικά το series model όπου εδώ έχουμε σαν είσοδο τη πορεία του πλοίου και ως εξόδους την πορεία του series model  $\Psi_m$  και την τροποποιημένη είσοδο του σήματος για το feedback loop.

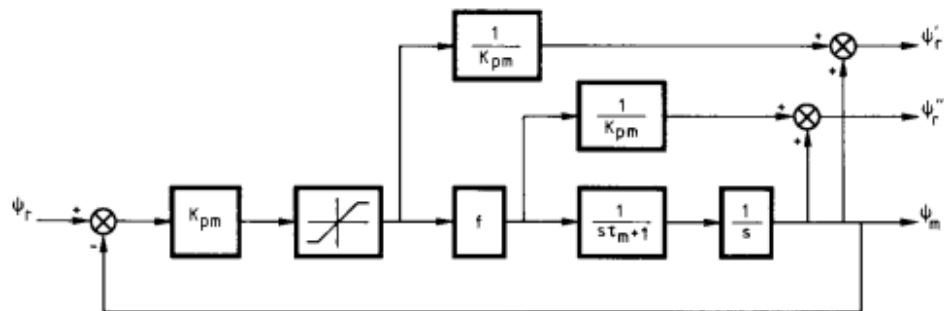
Τέλος, (εικόνα 3.10) είναι ένα απλοποιημένο σύστημα που ελέγχει και βελτιστοποιεί τις παραμέτρους σε περίπτωση που τα δεδομένα δεν είναι επαρκεί για να επηρεάσουν την αλλαγή της πορείας.



Εικόνα 4.7-Course-keeping Control system [34]

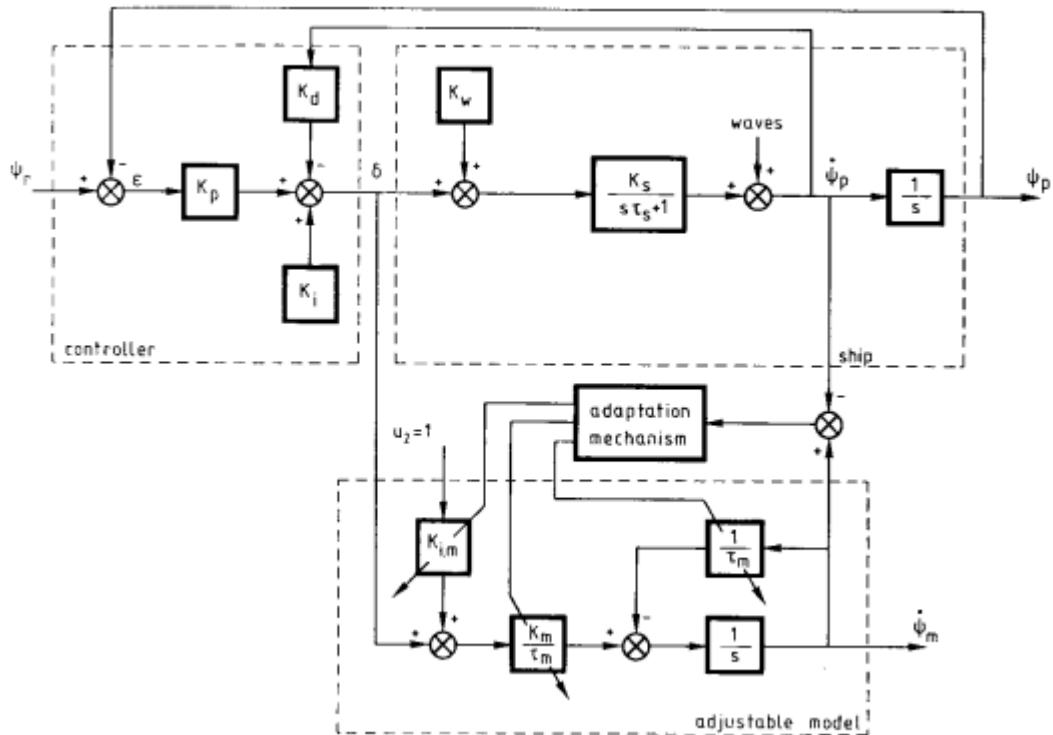


Εικόνα 4.8-Course-Changing Controller [34]



Εικόνα 4.9-Series Model [34]





Εικόνα 4.10-Απλοποιημένο σύστημα ελέγχου παραμέτρων [34]

Τα πλεονεκτήματα ενός Adaptive Autopilot περιλαμβάνουν βελτιωμένη απόδοση και σταθερότητα σε ένα ευρύτερο φάσμα συνθηκών λειτουργίας. Με τη συνεχή προσαρμογή των παραμέτρων ελέγχου του, ένας τέτοιος πιλότος είναι σε θέση να ανταποκρίνεται στις μεταβαλλόμενες θαλάσσιες συνθήκες, στη δυναμική του πλοίου και σε άλλους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την τροχιά του. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ομαλότερη, πιο αποτελεσματική οδήγηση και βελτιωμένη ασφάλεια. Ωστόσο, είναι πολύπλοκοι στην εφαρμογή και ακριβοί στο σχεδιασμό τους σε σύγκριση με άλλους αυτόματους πιλότους. Απαιτούν πιο εκτεταμένες δοκιμές και ρύθμιση για να διασφαλιστεί η βέλτιστη απόδοσή τους σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών λειτουργίας. [34]

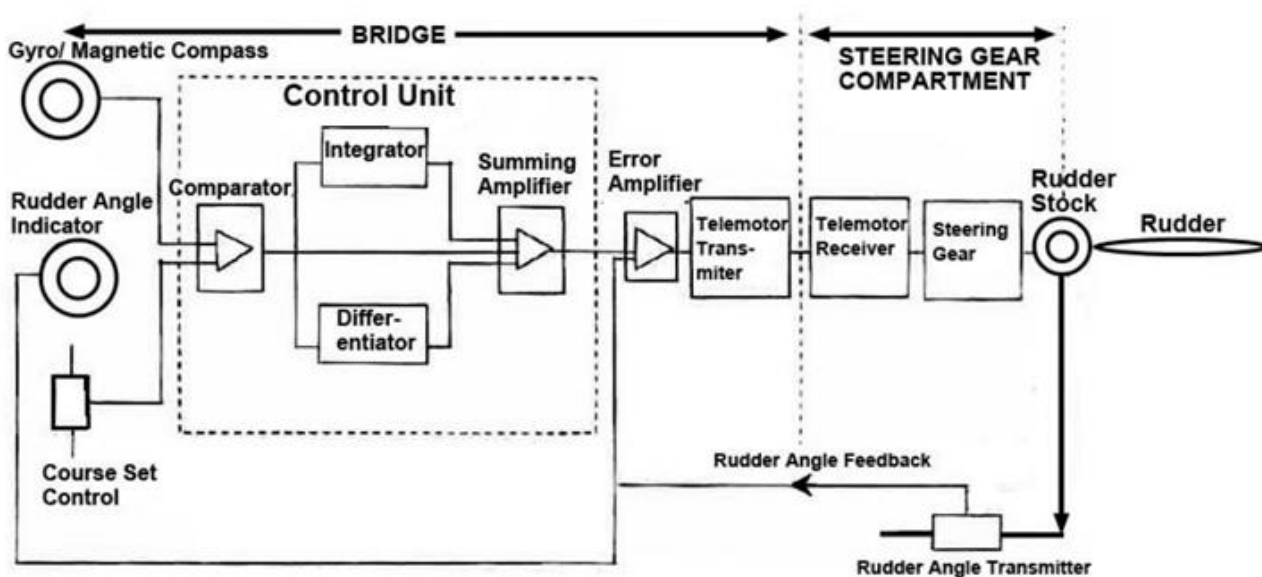
## 4.5 Εξοπλισμός του Autopilot

- **Αισθητήρες**

Οι αισθητήρες είναι ένα κρίσιμο μέρος οποιουδήποτε συστήματος αυτόματου πιλότου. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί αισθητήρες (Gyrocompass, Maritime Log, GPS, Depth sounders και wind sensors) που παρέχουν δεδομένα για τη θέση, την ταχύτητα και την κατεύθυνση του πλοίου, την φορά και την δύναμη του ανέμου και την κατάσταση του βυθού. Χρησιμοποιούνται από το σύστημα για τον ασφαλή προσδιορισμό της τρέχουσας πορείας του πλοίου και για τις απαραίτητες προσαρμογές για τη διατήρηση ή τη διόρθωσή της.

- **Control Unit**

Το control unit σε ένα σύστημα αυτόματου πιλότου είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία των πληροφοριών από τους αισθητήρες, την ανάλυση των σφάλματων και τη δημιουργία των κατάλληλων εντολών ελέγχου για την πλοήγηση του σκάφους. Λειτουργεί ως "εγκέφαλος" του συστήματος, επιβλέποντας τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων και την διαχείριση των καταστάσεων.



**SIMPLIFIED BLOCK DIAGRAM OF AUTO-PILOT**

Εικόνα 4.11-Χρήση control unit σε διάγραμμα συστήματος αυτόματου πιλότου [32]

Μερικές από τις βασικές λειτουργίες του Control unit είναι οι εξής:

1. Επεξεργασία σήματος σφάλματος: Λαμβάνει τα σήματα σφάλματος από τον ανιχνευτή σφάλματων, τα οποία υποδεικνύουν τη διαφορά μεταξύ του επιθυμητού σημείου ρύθμισης και της τρέχουσας κατάστασης ή εξόδου του συστήματος. Επεξεργάζεται και αναλύει αυτά τα σήματα για να κατανοήσει τις προσαρμογές που απαιτούνται για την ελαχιστοποίηση του και την επαναφορά του πλοίου στην επιθυμητή κατάσταση.

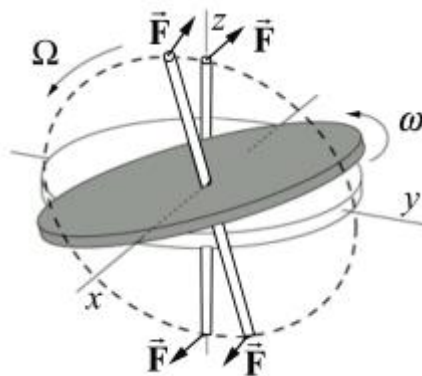
2. Αλγόριθμος ελέγχου: Εφαρμόζει έναν αλγόριθμο που καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο το σύστημα θα πρέπει να αντιδράσει στα σήματα σφάλματος. Ο αλγόριθμος ελέγχου μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το συγκεκριμένο σύστημα αυτόματου πιλότου και τους στόχους του ελέγχου, όπως η διατήρηση μιας συγκεκριμένης πορείας, ύψους ή ταχύτητας. Οι δημοφιλείς αλγόριθμοι ελέγχου περιλαμβάνουν τον έλεγχο (PID), τον προσαρμοστικό έλεγχο (AAP).
3. Παραγωγή εντολών ελέγχου: Με βάση την ανάλυση των σημάτων και τον αλγόριθμο ελέγχου, το control unit παράγει εντολές ελέγχου που καθοδηγούν το σύστημα σχετικά με τις απαραίτητες προσαρμογές που πρέπει να γίνουν. Αυτές οι εντολές περιλαμβάνουν συνήθως προσαρμογές στην ταχύτητα ή φορά του πλοίου για να κατευθυνθεί προς το επιθυμητό προορισμό.
4. Actuator interface: Επικοινωνεί με το σύστημα του ενεργοποιητή, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη φυσική υλοποίηση των εντολών ελέγχου. Αυτή η διεπαφή μπορεί να περιλαμβάνει ηλεκτρικά σήματα, υδραυλική πίεση ή άλλους μηχανισμούς για τη μετάδοση των εντολών στους κατάλληλους ενεργοποιητές που ελέγχουν την κίνηση του πλοίου ή τη λειτουργία των μηχανημάτων.
5. Παρακολούθηση του συστήματος: Παρακολουθεί συνεχώς την απόδοση του αυτόματου πιλότου και το περιβάλλον του συστήματος. Μπορεί να ελέγχει για ανωμαλίες, σφάλματα ή αποκλίσεις από την επιθυμητή συμπεριφορά. Σε περίπτωση τυχόν ανωμαλιών ή απροσδόκητων καταστάσεων, μπορεί να ενεργοποιήσει ειδοποιήσεις, προειδοποιήσεις ή να ενεργοποιήσει μηχανισμούς ασφαλείας για να διασφαλίσει την ασφαλή λειτουργία.
6. Ρύθμιση και βαθμονόμηση: Μπορεί να παρέχει δυνατότητες συντονισμού και βαθμονόμησης του συστήματος αυτόματου πιλότου. Αυτό επιτρέπει στους χειριστές ή στο προσωπικό συντήρησης να προσαρμόζουν τις παραμέτρους του συστήματος, την ευαισθησία των αισθητήρων και της απόκρισης ή της σταθερότητας του σκάφους με βάση συγκεκριμένες συνθήκες ή απαιτήσεις.

Το control unit διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην επεξεργασία των σημάτων σφάλματος, στη δημιουργία εντολών ελέγχου και στην επίβλεψη των λειτουργιών ελέγχου ενός συστήματος αυτόματου πιλότου, διασφαλίζοντας ότι το σκάφος λειτουργεί σύμφωνα με τα επιθυμητά σημεία ρύθμισης και τους στόχους ελέγχου.

### ➤ Gyrocompass

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η γυροσκοπική πυξίδα / γυροσκόπιο αποτελεί το θεμέλιο της λειτουργίας ενός αυτομάτου πιλότου. Η βασική αρχή πίσω από μια γυροσκοπική πυξίδα είναι η διατήρηση της γωνιακής ορμής. Αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο γυροσκόπιο που είναι τοποθετημένο σε ένα σετ από αντίζυγα, τα οποία του επιτρέπουν να παραμένει σταθερό και επίπεδο ακόμη και όταν το πλοίο βρίσκεται σε κακοκαιρία. Καθώς το πλοίο κινείται, το γυροσκόπιο διατηρεί τον προσανατολισμό του στο διάστημα, παρέχοντας μια σταθερή κατεύθυνση αναφοράς που δεν επηρεάζεται από εξωτερικά μαγνητικά πεδία ή άλλες επιρροές.

Για την κατανόηση της λειτουργίας μιας γυροσκοπικής πυξίδας, παίρνουμε παράδειγμα έναν τροχό που περιστρέφεται γρήγορα στον άξονά του εικόνα 4.12. Εάν ο τροχός τείνει να γυρίσει προς τα αριστερά ή προς τα δεξιά, θα δημιουργηθεί μια αντίσταση ή μια δύναμη, που ωθεί με κατεύθυνση προς τα πίσω. Αυτή η δύναμη είναι γνωστή ως γυροσκοπική μετάπτωση και είναι η ίδια δύναμη που επιτρέπει σε μια γυροσκοπική πυξίδα να παραμένει σταθερή και να παρέχει μια ακριβή αναφορά κατεύθυνσης.



Εικόνα 4.12-Δυνάμεις που ασκούνται στον τροχό [35]

Όταν το πλοίο στρίβει ή αλλάζει πορεία, η γυροσκοπική πυξίδα ανιχνεύει την αλλαγή στον προσανατολισμό και γέρνει ως απόκριση. Αυτή η μετάπτωση προκαλεί την περιστροφή του επαναλήπτη, υποδεικνύοντας τη νέα κατεύθυνση του πλοίου. Με συνεχή παρακολούθηση της μετάπτωσης του γυροσκοπίου και κάνοντας τις απαραίτητες ρυθμίσεις, η γυροσκοπική πυξίδα μπορεί να παρέχει μια ακριβή και σταθερή αναφορά κατεύθυνσης ακόμη και σε θαλασσοταραχή και άλλες δύσκολες συνθήκες. [20]

Στα σύγχρονα πλοία, οι γυροσκοπικές πυξίδες χρησιμοποιούνται συχνά σε συνδυασμό με άλλα συστήματα πλοήγησης, όπως το GPS και το ραντάρ, για να παρέχουν ακριβείς και αξιόπιστες πληροφορίες θέσης και κατεύθυνσης. Η σωστή βαθμονόμηση και η συντήρηση της γυροσκοπικής πυξίδας είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας της και συνήθως εκτελούνται τακτικοί έλεγχοι και ρυθμίσεις για να διασφαλιστεί ότι το σύστημα λειτουργεί σωστά.

### ➤ Speed Log

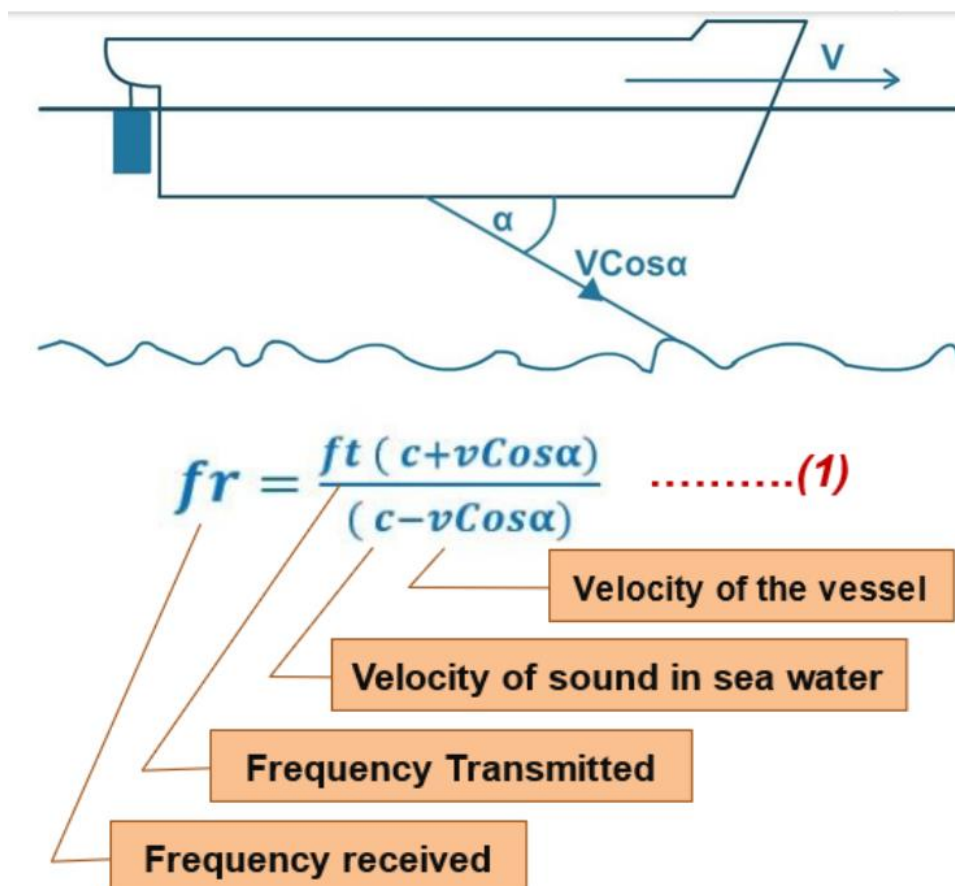
Το Speed log είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ταχύτητας ενός πλοίου μέσα στο νερό. Αποτελεί σημαντικό μέρος ενός συστήματος αυτόματου πιλότου, καθώς του παρέχει κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με την κίνηση και την ταχύτητα του πλοίου.

Λειτουργεί χρησιμοποιώντας ηχητικά κύματα για τη μέτρηση της ταχύτητας του πλοίου. Συνήθως, ένας μετατροπέας εικόνα 4.13 είναι τοποθετημένος στο κάτω μέρος του πλοίου, κοντά στην πλώρη, που εκπέμπει μια σειρά ηχητικών κυμάτων υψηλής συχνότητας στο νερό. Αυτά τα κύματα αναπηδούν από αντικείμενα στο νερό, συμπεριλαμβανομένου του βυθού και άλλων δομών, και επιστρέφουν στον μετατροπέα. Μετρώντας το χρόνο που χρειάζονται τα ηχητικά κύματα για να ταξιδέψουν από και προς τον μετατροπέα, μπορεί να υπολογίσει την ταχύτητα του σκάφους [37].



Εικόνα 4.13-Μετατροπέας [38]

Υπάρχουν διάφοροι τύποι, αλλά ο πιο συνηθισμένος τύπος είναι το Doppler, το οποίο μετρά την αλλαγή στη συχνότητα των ηχητικών κυμάτων καθώς αναπηδούν από αντικείμενα στο νερό. [39] Όταν τα ηχητικά κύματα αναπηδούν από ένα κινούμενο αντικείμενο, όπως το κύτος ενός πλοίου, η συχνότητά τους αλλάζει ελαφρώς. Μετρώντας αυτή την αλλαγή στη συχνότητα, το Speed log μπορεί να υπολογίσει την ταχύτητα του πλοίου. Εικόνα 4.14.



Εικόνα 4.14-Τύπος υπολογισμού ταχύτητας [37]

Να σημειωθεί ότι το εξάρτημα πρέπει να ρυθμιστεί σωστά για να διασφαλίζονται ακριβείς μετρήσεις. Η ρύθμιση περιλαμβάνει την προσαρμογή του αισθητήρα για να ληφθούν υπόψη οι επιπτώσεις της θερμοκρασίας του νερού, η περιεκτικότητα σε αλάτι και άλλων παραγόντων που μπορούν να επηρεάσουν την ταχύτητα των ηχητικών κυμάτων στο νερό. Εάν το εξάρτημα δεν έχει ρυθμιστεί σωστά, μπορεί να παρέχει ανακριβείς μετρήσεις που μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβεια του συστήματος.

Εκτός από την παροχή πληροφοριών ταχύτητας στο αυτόματο πιλότο, το Speed log μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό άλλων σημαντικών πληροφοριών, όπως η απόσταση που διανύθηκε, η κατανάλωση καυσίμου και η εκτιμώμενη ώρα άφιξης. Είναι επίσης ένα σημαντικό χαρακτηριστικό ασφαλείας, καθώς μπορεί να ειδοποιήσει το πλήρωμα για τυχόν ξαφνικές αλλαγές στην ταχύτητα που θα μπορούσαν να υποδηλώνουν πρόβλημα στους κινητήρες του πλοίου. [40]

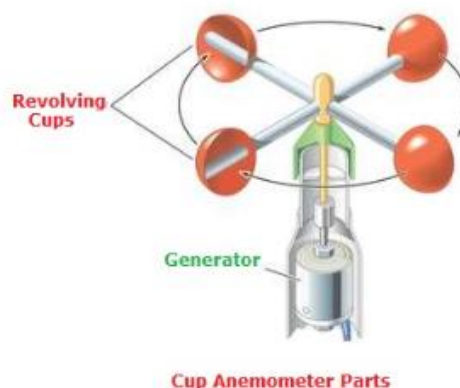
### ➤ Wind Sensors

Οι αισθητήρες ανέμου είναι ένα ακόμα βασικό κομμάτι των Autopilots, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με την κατεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται για να γίνουν προσαρμογές στην πορεία και την ταχύτητα του πλοίου προκειμένου να διατηρήσει την επιθυμητή κατεύθυνση και να φτάσει σε έναν συγκεκριμένο προορισμό.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι αισθητήρων ανέμου που χρησιμοποιούνται συνήθως στα πλοία, όπως:

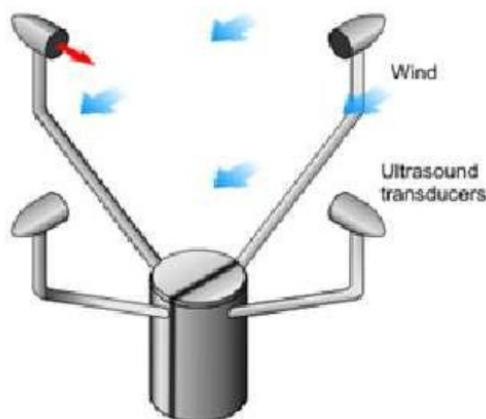
1. **Cup anemometer:** Πρόκειται για παραδοσιακούς αισθητήρες ανέμου που χρησιμοποιούν περιστρεφόμενα κύπελλα για τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου. Καθώς τα κύπελλα περιστρέφονται, περιστρέφουν έναν άξονα που συνδέεται με ένα κιβώτιο ταχυτήτων που μετρά την ταχύτητα περιστροφής. Η ταχύτητα περιστροφής στη συνέχεια μετατρέπεται σε ταχύτητα ανέμου χρησιμοποιώντας έναν συντελεστή [41].

## Introduction to Cup Anemometer



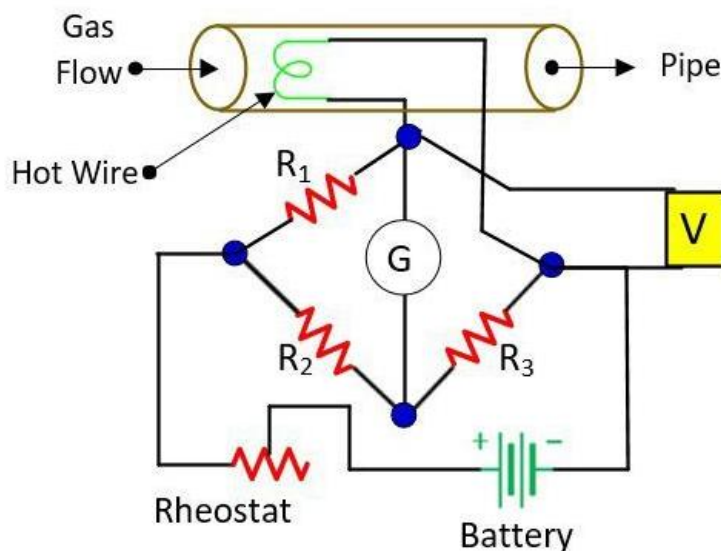
Εικόνα 4.15-Μηχανικό ανεμόμετρο [42]

- 2. Ultrasound anemometer:** Αυτοί οι αισθητήρες χρησιμοποιούν υπερηχητικά κύματα για να μετρήσουν την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου. Ο αισθητήρας εκπέμπει τα κύματα σε διαφορετικές κατευθύνσεις και αυτά ανακλώνται πίσω στον αισθητήρα από σωματίδια στον αέρα. Αναλύοντας τη διαφορά στο χρόνο που χρειάζονται για να ταξιδέψουν τα κύματα από και προς τα σωματίδια, ο αισθητήρας μπορεί να υπολογίσει την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου [43].



Εικόνα 4.16-Ultrasound Anemometer [44]

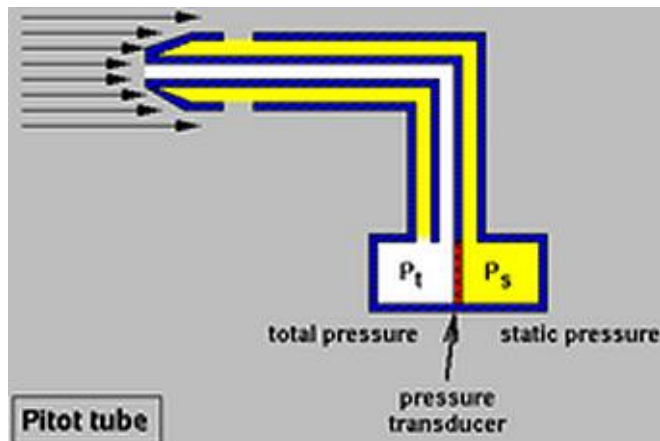
- 3. Hot-wire anemometer:** Ονομάζεται μια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ταχύτητας του ρευστού, συνήθως του αέρα, με βάση την αρχή της μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή. Αποτελείται από ένα λεπτό σύρμα κατασκευασμένο από θερμοανθεκτικό υλικό, όπως πλατίνα ή βολφράμιο, το οποίο θερμαίνεται σε σταθερή θερμοκρασία με τη χρήση μικρού ηλεκτρικού ρεύματος. Καθώς το ρευστό ρέει πάνω από το σύρμα, προκαλεί μεταφορά θερμότητας με συναγωγή, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της θερμοκρασίας του σύρματος. Μετρώντας την αντίστοιχη μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης του σύρματος, μπορεί να προσδιοριστεί η ταχύτητα ροής του ρευστού [45].



Εικόνα 4.17-Κύκλωμα Hot-wire anemometer [46]



4. **Pitot Tube anemometer:** Αυτοί οι αισθητήρες χρησιμοποιούν έναν σωλήνα pitot για τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου. Ο σωλήνας pitot έχει δύο ανοίγματα, το ένα στραμμένο απευθείας στον άνεμο και το άλλο στραμμένο μακριά από τον άνεμο. Η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο ανοιγμάτων χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ταχύτητας του ανέμου [47].



Εικόνα 4.18-Τρόπος λειτουργίας Pitot Tube anemometer [48]

Οι αισθητήρες ανέμου πρέπει να ρυθμίζονται σωστά για να διασφαλίζονται ακριβείς μετρήσεις. Αυτό περιλαμβάνει τη ρύθμιση του αισθητήρα ώστε να λαμβάνει υπόψη τυχόν παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβειά του, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η βαρομετρική πίεση. Επιπλέον, πρέπει να συντηρούνται σωστά για να διασφαλίζεται ότι λειτουργούν σωστά και παρέχουν ακριβείς μετρήσεις στο σύστημα αυτόματου πιλότου. Διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο σε ένα σύστημα αυτόματου πιλότου για ένα πλοίο, παρέχοντας σημαντικές πληροφορίες για τον άνεμο που χρησιμοποιούνται για να γίνουν προσαρμογές στην πορεία και την ταχύτητα του πλοίου.

#### ➤ GPS Δέκτης

Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι δέκτες GPS αποτελούν κύριο κομμάτι ενός συστήματος αυτόματου πιλότου. Χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης, της ταχύτητας και της πορείας του πλοίου λαμβάνοντας σήματα από δορυφόρους. [68]

Ένα βασικό χαρακτηριστικό που αυξάνει την προτίμηση για χρήση των GPS σε θαλάσσιες εφαρμογές, είναι ότι λόγω του τρόπου επικοινωνίας με τους δορυφόρους, επιτρέπει στον δέκτη να υπολογίζει τη θέση του πλοίου με υψηλό βαθμό ακρίβειας, ακόμη και σε περιοχές όπου ενδέχεται να παρεμποδίζονται τα σήματα GPS, όπως σε στενά κανάλια ή κοντά σε ψηλά κτίρια ή βουνά. Είναι κύριος παράγοντας για την ασφάλεια, καθώς εξασφαλίζει ότι οι πληροφορίες είναι πάντα διαθέσιμες ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών και τοποθεσίας. Η σωστή βαθμονόμηση και συντήρηση είναι απαραίτητες για να διασφαλιστεί ότι ο δέκτης διατηρεί την αξιοπιστία του.



## ➤ Sonar

Το Sonar είναι ένα άλλο σημαντικό στοιχείο ενός συστήματος αυτόματου πιλότου. Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του βάθους κάτω από το πλοίο, το οποίο είναι σημαντικό για την αποφυγή ρηχών περιοχών και την ασφαλή πλοήγηση μέσω καναλιών και λιμανιών. [51]

Όπως και το Speed Log έτσι και το Sonar λειτουργεί εκπέμποντας ηχητικά κύματα από έναν μετατροπέα που είναι τοποθετημένος στο κάτω μέρος του πλοίου. Τα ηχητικά κύματα ταξιδεύουν μέσα από το νερό και αναπηδούν από τον πυθμένα, και ο χρόνος που χρειάζεται για να επιστρέψουν τα ηχητικά κύματα στον μετατροπέα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του βάθους.

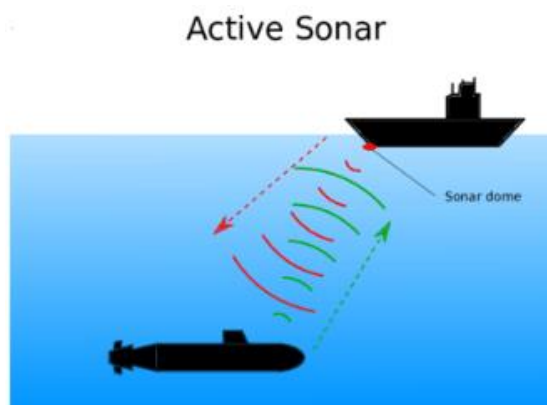


Εικόνα 4.19-Τρόπος λειτουργίας Sonar [52]

Ένα σημαντικό στοιχείο που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη χρήση ενός ραντάρ είναι ο τύπος του πυθμένα από τον οποίο περνά το πλοίο. Οι μαλακοί ή λασπωμένοι πυθμένες μπορεί να προκαλέσουν την απορρόφηση των ηχητικών κυμάτων, οδηγώντας σε ανακριβείς μετρήσεις, ενώ οι σκληροί ή βραχώδεις πυθμένες μπορεί να αναγκάσουν τα ηχητικά κύματα να αναπηδήσουν σε περίεργες γωνίες, οδηγώντας επίσης σε ανακριβείς μετρήσεις [53].

Υπάρχουν δυο κύριοι τύποι sonar που χρησιμοποιούν τα πλοία το Active sonar και το passive sonar.

1. **Active Sonar:** Το active sonar εκπέμπει ηχητικά κύματα στο νερό και ακούει την ηχώ που ανακλάται από αντικείμενα στο περιβάλλον. Αυτό το σύστημα παράγει και μεταδίδει ενεργά ακουστικά σήματα, που συχνά αναφέρονται ως "rings", εικόνα 4.20, και αναλύει τις ηχώ που επιστρέφουν για να συλλέξει πληροφορίες σχετικά με το χώρο και τα αντικείμενα βρίσκονται από κάτω [54].

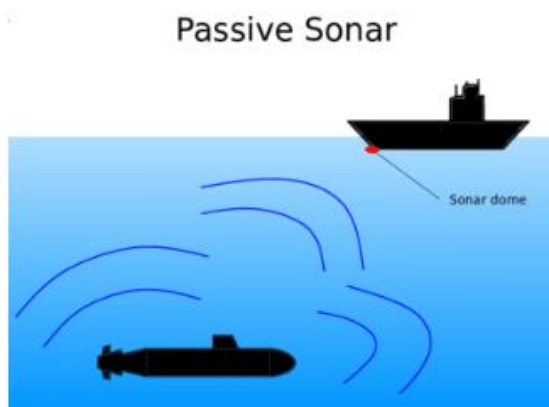


Εικόνα 4.20-Active sonar [55]

Λειτουργεί με βάση την αρχή της μέτρησης του χρόνου πτήσης. Όταν τα εκπεμπόμενα ηχητικά κύματα συναντούν ένα αντικείμενο ή τον πυθμένα της θάλασσας, ανακλώνται πίσω ως ηχώ. Μετρώντας το χρόνο που χρειάζονται τα ηχητικά κύματα για να ταξιδέψουν στο αντικείμενο και να επιστρέψουν, το σύστημα μπορεί να προσδιορίσει την απόσταση ή το εύρος του αντικειμένου.

Χρησιμοποιείται συνήθως σε καταστάσεις όπου απαιτείται ακριβής μέτρηση, χαρτογράφηση και ανίχνευση στόχων. Παρέχει τη δυνατότητα ενεργού εξερεύνησης και έρευνας μεγάλων υποθαλάσσιων περιοχών. Το ενεργό σόναρ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της χαρτογράφησης του πυθμένα, της πλοήγησης, της ανεύρεσης ψαριών και για στρατιωτικούς σκοπούς, όπως η ανίχνευση υποβρυχίων.

2. **Passive Sonar:** Σε αντίθεση με το ενεργό σόναρ, δεν εκπέμπει ηχητικά κύματα στο νερό. Αντ' αυτού, βασίζεται στην ακρόαση και ανάλυση των υφιστάμενων ακουστικών σημάτων που παράγονται από υποθαλάσσιες πηγές, εικόνα 4.21, όπως άλλα σκάφη, ζωή ή άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Το παθητικό σόναρ λειτουργεί ως υποβρύχια συσκευή ακρόασης, ανιχνεύοντας και ερμηνεύοντας τα ηχητικά κύματα για την εξαγωγή πολύτιμων πληροφοριών [54].



Εικόνα 4.21-Passive sonar [55]

Εκμεταλλεύεται το φυσικό ηχητικό τοπίο του περιβάλλοντος. Μπορεί να ανιχνεύσει και να αναλύσει διάφορα ακουστικά σήματα, όπως ο θόρυβος της προπέλας ή της μηχανής, ζώα μέχρι και άλλα ενεργά σόναρ. Αναλύοντας τα χαρακτηριστικά αυτών των ήχων, μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με την παρουσία, τη θέση και τη συμπεριφορά των πομπών. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την επιτήρηση, την παρακολούθηση και την ανίχνευση δραστηριοτήτων χωρίς να αποκαλύπτεται η παρουσία του. Βρίσκει εφαρμογές στην ανίχνευση υποβρυχίων, την υποβρύχια επιτήρηση, την παρακολούθηση θαλάσσιων θηλαστικών και την περιβαλλοντική έρευνα.

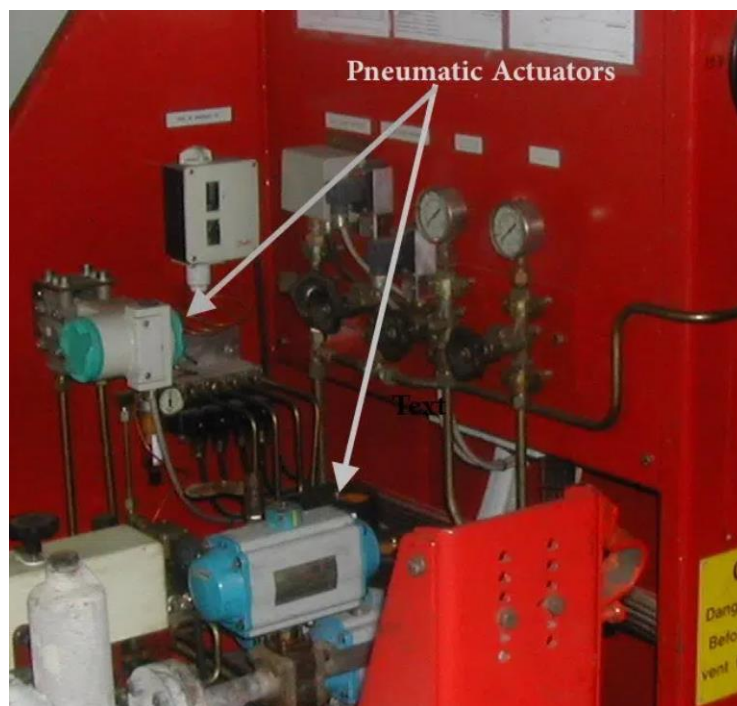
Μπορεί να είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί σε ορισμένες καταστάσεις λόγω παραγόντων όπως ανεπιθύμητος θόρυβος, παρεμβολές σήματος και περιορισμένες πληροφορίες κατεύθυνσης. Ωστόσο, οι εξελίξεις στις τεχνικές επεξεργασίας σήματος και στους αλγορίθμους, έχουν βελτιώσει σημαντικά τις δυνατότητες των παθητικών συστημάτων σόναρ, επιτρέποντας τον ακριβή εντοπισμό και την ταξινόμηση υποθαλάσσιων πηγών.

Τόσο τα active ενεργητικά όσο και τα passive sonar έχουν τα πλεονεκτήματα και τις εφαρμογές τους. Το ενεργό σόναρ παρέχει άμεσο έλεγχο των μεταδιδόμενων σημάτων και προσφέρει δυνατότητες ακριβούς μέτρησης, ιδανικό για εμπορική χρήση. Ενώ, το παθητικό σόναρ από την άλλη, προσφέρει αθόρυβη παρακολούθηση και μπορεί να συλλάβει ένα ευρύτερο φάσμα ακουστικών πληροφοριών από το περιβάλλον, κάνοντας το η ιδανικό για στρατιωτική χρήση [54].

- **Actuator**

Ο ενεργοποιητής (actuator) σε ένα σύστημα αυτόματου πιλότου είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο του πηδαλίου ή της προπέλας του πλοίου για τη διατήρηση μιας επιθυμητής πορείας ή ταχύτητας. Λαμβάνει σήματα από το control unit και τον ανιχνευτή σφαλμάτων και μεταφράζει αυτά τα σήματα σε φυσικές κινήσεις του πηδαλίου ή της προπέλας για να κάνει προσαρμογές της πορείας ή της ταχύτητας. Ο τύπος του actuator εξαρτάτε από το είδος της ενέργειας που χρησιμοποιεί. Υπάρχουν τρεις τύποι που χρησιμοποιούνται για τον χειρισμό των μηχανών στα πλοία. [56]

1. Πνευματικοί: Αυτοί είναι οι πιο συνηθισμένοι από τους τρεις, χρησιμοποιούν συμπιεσμένο αέρα για ενέργεια παρέχοντάς τους υψηλή ακρίβεια στο χειρισμό.



Εικόνα 4.22- Πνευματικός Ενεργοποιητής [56].

2. Υδραυλικοί: Σε αντίθεση με τον αέρα, το υγρό δεν μπορεί να συμπιεστεί πράγμα που παρέχει στους ενεργοποιητές μεγάλη δύναμη. Κάνοντας τους με ιδανικούς για κρουαζιερόπλοια, εμπορικά ή πετρελαιοφόρα.



Εικόνα 4.23-Υδραυλικός Ενεργοποιητής [56].

3. Ηλεκτρικοί: Σε αντίθεση με τους πνευματικούς και τους υδραυλικούς, οι ηλεκτρικοί ενεργοποιητές λειτουργούν χρησιμοποιώντας έναν ηλεκτροκινητήρα για να παράγουν την απαραίτητη δύναμη ή κίνηση, με αποτέλεσμα να παράγουν λιγότερους ρύπους.



Εικόνα 4.24-Ηλεκτρικός Ενεργοποιητής [56].

- **User Interface**

Η διεπαφή χρήστη (user interface), παρέχει στον χειριστή τα μέσα για τον καθορισμό της επιθυμητής πορείας ή κατεύθυνσης και για την παρακολούθηση της απόδοσης του συστήματος αυτόματου πιλότου. Μπορεί να αποτελείται από μια οθόνη που δείχνει τη θέση και την πορεία του πλοίου, καθώς και τυχόν συναγερμούς ή προειδοποιήσεις που μπορεί να παράγει το σύστημα αυτόματου πιλότου εικόνα 4.25.



Εικόνα 4.25-Autopilot UI [57]

## 5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : PLC

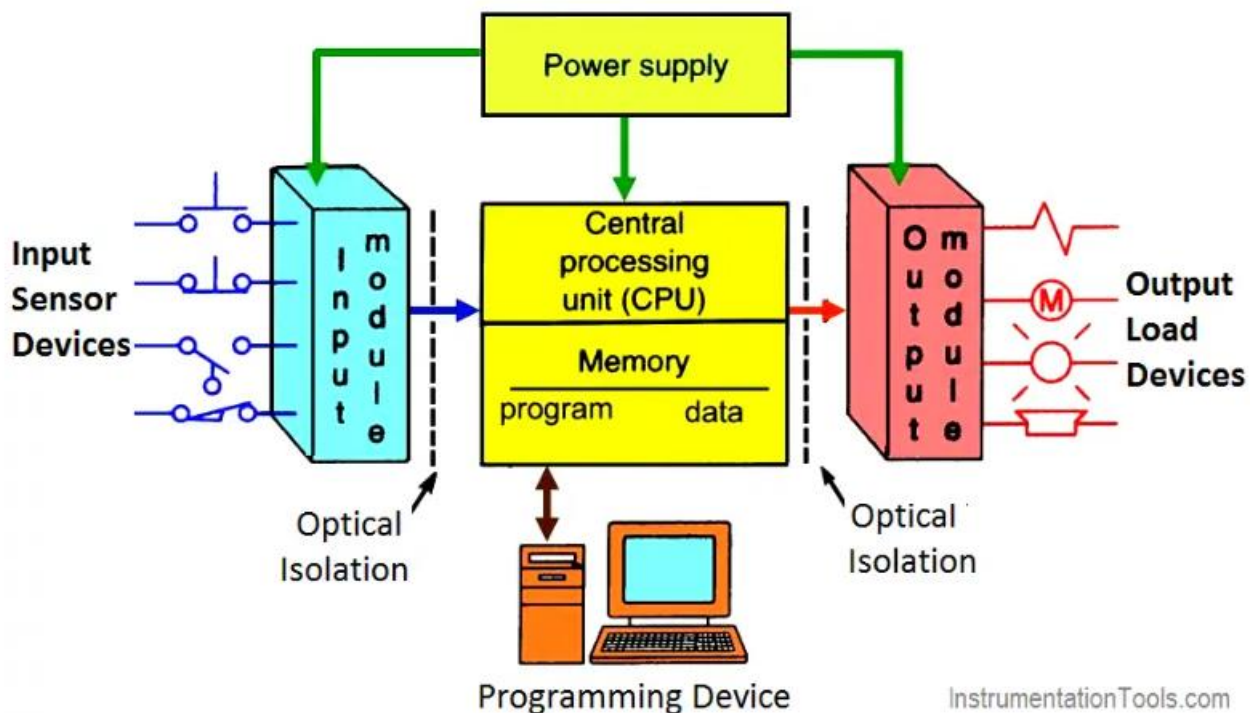
### 5.1 Εισαγωγή

Τα PLC είναι αναπόσπαστο κομμάτι της ναυτιλίας γι' αυτό και έχουν επιλεγθεί για την υλοποίηση του κώδικα. Σε αυτό το κεφάλαιο λοιπόν θα περιγράψουμε τα PLC και τη χρήση τους και θα αναφέρουμε τους λόγους για τους οποίους τα καθιστούν κατάλληλα για να βρίσκονται στο ναυτιλιακό χώρο.

### 5.2 Τι είναι το PLC;

Το PLC (Programmable Logical Controller) είναι ένας μικροελεγκτής μεγαλύτερης κλίμακας που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές βιομηχανικού αυτοματισμού και ελέγχου. Η κύρια λειτουργία ενός PLC είναι να παρακολουθεί τις εισόδους από αισθητήρες οργάνων, συστήματα ασφαλείας, κινητήρες, να επεξεργάζεται τα δεδομένα αυτά μέσω του λογισμικού του και να ελέγχει τις εξόδους για την ενεργοποίηση μηχανημάτων ή άλλων διαδικασιών.





Εικόνα 5.1-Τρόπος λειτουργίας των PLC [77]

### 5.3 Modicon 084

Η ιστορία των PLC χρονολογείται από τα τέλη της δεκαετίας του 1960, όταν ο βιομηχανικός αυτοματισμός βρισκόταν ακόμη σε αρχικό στάδιο. Εκείνη την εποχή, οι βιομηχανικοί ελεγκτές βασίζονταν συνήθως σε ηλεκτρομηχανικά ρελέ, τα οποία ήταν πολύπλοκα και δύσκολα προγραμματιζόμενα. Το 1968, μια ομάδα μηχανικών της Bedford Associates, μιας μικρής εταιρείας συμβούλων στη Μασαχουσέτη, άρχισε να εργάζεται για τη λύση αυτού του προβλήματος.

Επικεφαλής της ομάδας ήταν ο Dick Morley, στον οποίο αποδίδεται ευρέως η εφεύρεση του πρώτου PLC. Η αρχική ιδέα του Morley ήταν να χρησιμοποιηθεί ένας ψηφιακός υπολογιστής στερεάς κατάστασης για την αντικατάσταση των ρελέ στους βιομηχανικούς ελεγκτές. Το αποτέλεσμα ήταν το Modicon 084, το πρώτο PLC στον κόσμο.





Εικόνα 5.2-An original picture of I Modicon PLC [58]

Το Modicon 084 κυκλοφόρησε το 1971 και απέκτησε γρήγορα δημοτικότητα στη βιομηχανία. Η επιτυχία του άνοιξε το δρόμο για την ανάπτυξη άλλων PLC, τα οποία ήταν μικρότερα, ταχύτερα και ισχυρότερα από τους προκατόχους τους. Τα PLC άρχισαν επίσης να ενσωματώνουν νέα χαρακτηριστικά, όπως παρακολούθηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ψηφιακές επικοινωνίες και προηγμένες γλώσσες προγραμματισμού.

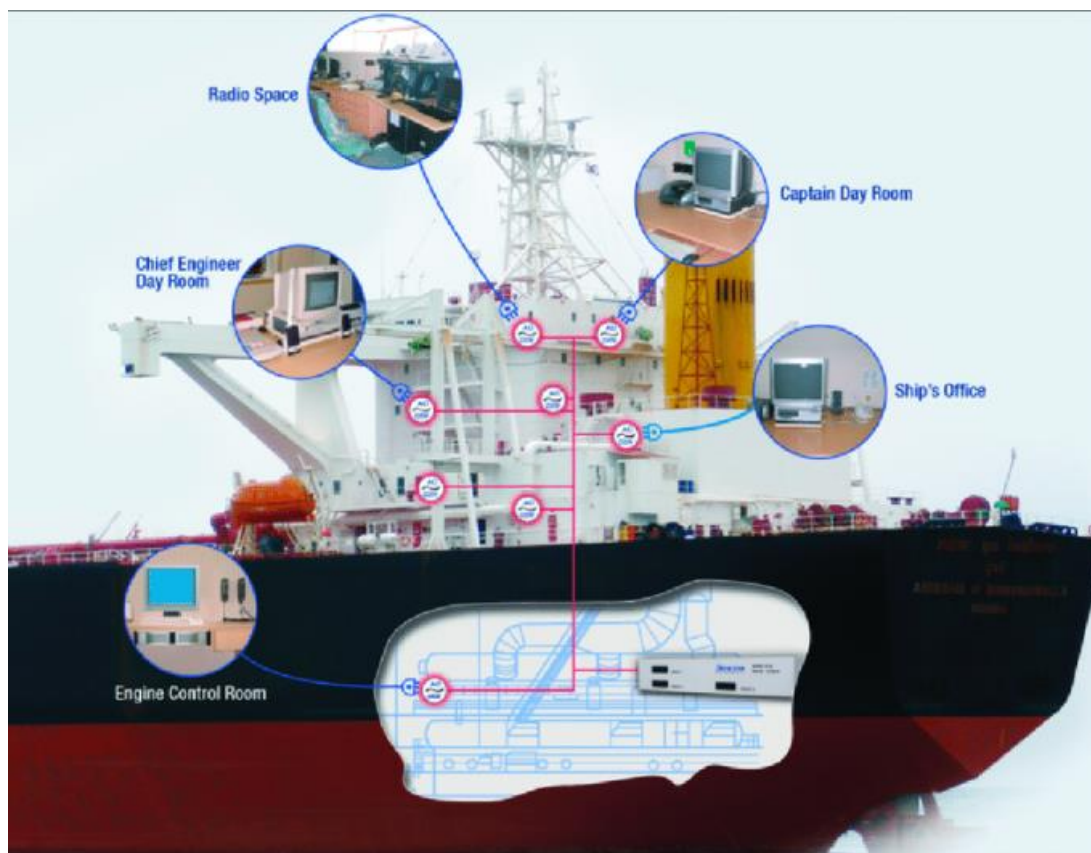


Εικόνα 5.3-Simatic s3 switch with programable head [59]

Σήμερα, τα PLC αποτελούν βασικό συστατικό των σύγχρονων συστημάτων βιομηχανικού αυτοματισμού και ελέγχου. Χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως η μεταποίηση, η αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροδιαστημική, τη ναυτιλία και άλλα. Η αγορά των PLC αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται, λόγω της αυξανόμενης ανάγκης για αποτελεσματικές και ευέλικτες λύσεις αυτοματισμού.

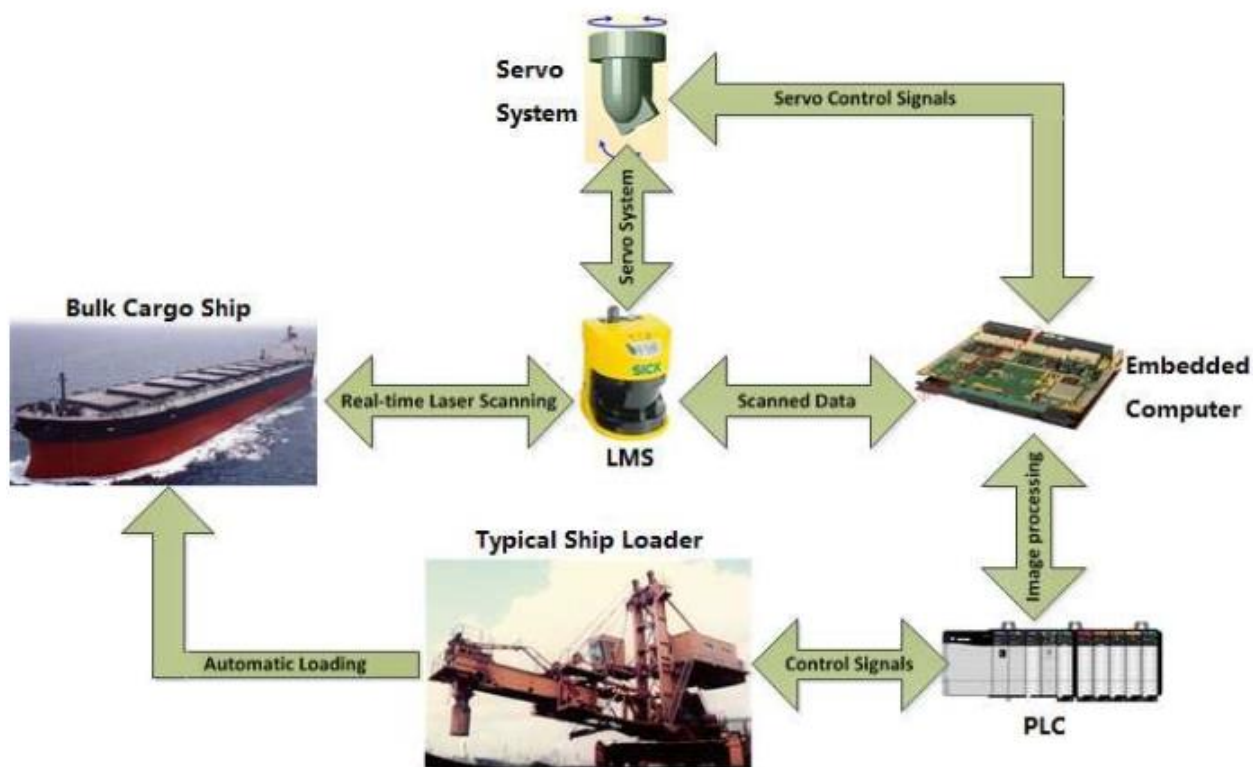
## 5.4 Γιατί PLC;

Συγκρίνοντας τα PLC με άλλους μικροελεγκτές στο βιομηχανικό τομέα, όπως DCS, RTU, τα PLC ξεχωρίζουν συχνά για τα θαλάσσια σκάφη λόγω της στιβαρότητας, της ευελιξίας, απλούστερης λειτουργίας και των χαμηλών απαιτήσεων συντήρησης.



Εικόνα 5.4-System network that's connected and controlled via PLC inside the ship [60]

Όταν αναφερόμαστε στην στιβαρότητα των PLC, αναφερόμαστε στο γεγονός ότι τα θαλάσσια σκάφη λειτουργούν σε σκληρά περιβάλλοντα, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν δονήσεις, ακραίες θερμοκρασίες και έκθεση σε θαλασσινό νερό, και την ικανότητα των PLC να αντέχουν υπό αυτές τις συνθήκες. Ολόκληρος ο σχεδιασμός τους είναι για να αποδίδουν αξιόπιστα σε αυτές τις συνθήκες, και η κατασκευή τους σε στερεά κατάσταση εξαλείφει την ανάγκη για μηχανικά εξαρτήματα που είναι επιρρεπή στη φθορά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα σύστημα ελέγχου που απαιτεί λιγότερη συντήρηση και είναι λιγότερο πιθανό να αποτύχει λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων.



Εικόνα 5.5-Automated systems used in and out of the ship that use plc [61]

Ένα άλλο πλεονέκτημα των PLC είναι η ευελιξία τους. Τα PLC μπορούν εύκολα να προγραμματιστούν για να εκτελούν ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών, συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης και του ελέγχου συστημάτων του πλοίου, όπως μηχανές, αντλίες και συστήματα φωτισμού. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει στους χειριστές των πλοίων να προσαρμόζουν τα συστήματα ελέγχου ώστε να ανταποκρίνονται στις συγκεκριμένες ανάγκες του πλοίου τους, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της ασφάλειας.

Η μακροζωία τους σαν μικροελεγκτές είναι από τα μεγαλύτερα πλεονέκτημα τα τους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν συνεχώς για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς διακοπή, που σαν αποτέλεσμα έχει την εξαλείφει για την ανάγκη για συχνές αντικαταστάσεις. Αυτό όχι μόνο μειώνει το συνολικό κόστος συντήρησης, αλλά εξασφαλίζει επίσης τη διαθεσιμότητα ανταλλακτικών, η οποία μπορεί να είναι κρίσιμη για τα πλοία που λειτουργούν σε απομακρυσμένες περιοχές.

Επιπλέον, τα PLC προτιμώνται συχνά για τα θαλάσσια σκάφη επειδή συμμορφώνονται με τα πρότυπα και τους κανονισμούς της βιομηχανίας. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) έχει αναπτύξει μια σειρά κατευθυντήριων γραμμών για την εγκατάσταση και τη χρήση συστημάτων αυτοματισμού στα πλοία, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης PLC. Η συμμόρφωση με αυτές τις κατευθυντήριες γραμμές διασφαλίζει ότι τα συστήματα ελέγχου στα πλοία είναι ασφαλή και αξιόπιστα, πράγμα που είναι υψίστης σημασίας για την ασφάλεια του πληρώματος, των επιβατών και του φορτίου.

## 6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : ΤΕΧΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ – ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΥΤΟΠΙΛΟΤ ΜΕ PLC

Σε αυτό το κεφάλαιο θα μελετηθεί και θα αναλυθεί το τεχνικό μέρος αυτής της διπλωματικής. Αυτό το πειραματικό μοντέλο αυτομάτου πιλότου έχει δημιουργηθεί για να λειτουργεί σε μονάδες PLC. Αναπτύσσεται και αιτιολογείται η μεθοδολογία που επιλέχθηκε, όπως πρωτόκολλα επικοινωνίας, εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και οι γλώσσες προγραμματισμού. Το πρόγραμμα αυτό ενσωματώνει επίσης και εξοπλισμό που διαθέτει ένα πλοίο (όπως gygocompass, GPS, actuators/motors) που είναι ζωτικής σημασίας για την πλοήγηση του και τη σωστή λειτουργία του αυτομάτου πιλότου. Στο βασικό κομμάτι του κεφαλαίου περιγράφεται ένα σενάριο το οποίο θα μπορούσε να υλοποιηθεί σε πραγματικό χρόνο, για να αναδειχθεί η λειτουργία του κώδικα σε διαφορετικές καταστάσεις. Συμπεριλαμβάνεται η επεξήγηση του κάθε φαινομένου που εμφανίζεται. Το κεφαλαίο κλείνει με την καταγραφή των προκλήσεων που αντιμετωπίστηκαν για την επίτευξη της σωστής λειτουργίας του μοντέλου και φυσικά τα συμπεράσματα.

Να σημειωθεί ότι το μοντέλο είναι πειραματικό και θα πραγματοποιηθεί σε περιβάλλον προσομοίωσης.

### 6.1 Μεθοδολογία κώδικα

Για να μπορέσει ένα πρόγραμμα να διατηρήσει μια οργανωμένη δομή μέσω αποτελεσματικού σχεδιασμού και διαχειρίσεις έργων, είναι απαραίτητο να ακολουθηθεί μια μεθοδολογία. Υπάρχουν πολλές μεθοδολογίες που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την πραγματοποίηση ενός κώδικα όπως:

- Agile
- Waterfall
- Spiral
- Prototype

Η κάθε μεθοδολογία έχει διαφορετικά πλεονεκτήματα ανάλογα με τις απαιτήσεις μας για τον κώδικα. Παρακάτω παρουσιάζεται μια μικρή περιγραφή για την κάθε μεθοδολογία.

1. **Agile:** Η μεθοδολογία αυτή δίνει προτεραιότητα στην επαναληπτική και σταδιακή ανάπτυξη. Δίνουν έμφαση στη συνεργασία, την προσαρμοστικότητα και τη συμμετοχή του πελάτη. Όταν κάποιος εργάζεται με αυτή τη μεθοδολογία, παραδίδει συχνά λειτουργικό λογισμικό και είναι ανοιχτεί σε προτάσεις από τον πελάτη.
2. **Waterfall:** Ακολουθεί μια διαδοχική προσέγγιση στην ανάπτυξη λογισμικού. Κάθε φάση, όπως η συλλογή απαιτήσεων, ο σχεδιασμός, η υλοποίηση, η δοκιμή και η ανάπτυξη, ολοκληρώνεται πριν από τη μετάβαση στην επόμενη. Η waterfall είναι μια πιο άκαμπτη και καθοδηγούμενη από το σχέδιο μεθοδολογία, κατάλληλη για έργα με σαφώς καθορισμένες και σταθερές απαιτήσεις.

3. **Spiral:** Συνδυάζει στοιχεία της waterfall και της iterative development. Περιλαμβάνει κύκλους ανάλυσης κινδύνου, δημιουργίας πρωτοτύπων, ανάπτυξης και αξιολόγησης. Κάθε επανάληψη βασίζεται στην προηγούμενη, επιτρέποντας την επαναληπτική βελτίωση και τον περιορισμό των κινδύνων. Η Spiral είναι αποτελεσματική όταν πρόκειται για έργα που έχουν υψηλές αβεβαιότητες ή εξελισσόμενες απαιτήσεις.
4. **Prototype:** Η μεθοδολογία Prototype εστιάζει στη δημιουργία απλοποιημένων εκδόσεων λογισμικού ή συγκεκριμένων χαρακτηριστικών για τη συλλογή feedback και την επικύρωση των απαιτήσεων. Περιλαμβάνει επαναληπτική δημιουργία πρωτοτύπων, δοκιμές και βελτιώσεις. Δηλαδή έχει ως σκοπό την παροχή μιας απτής αναπαράστασης του λογισμικού σε πρώιμο στάδιο της ανάπτυξης, επιτρέποντας παρατήρηση ενδεχομένων προβλημάτων και την αντιμετώπισή τους. Το πρωτότυπο μπορεί να είναι ένα βασικό λειτουργικό μοντέλο ή ένα proof-of-concept που επιδεικνύει τις βασικές λειτουργίες και τις αλληλεπιδράσεις του χρήστη.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε σε αυτό το πρόγραμμα είναι η Prototype, καθώς επικεντρώνεται στη δημιουργία μιας αρχικής, απλοποιημένης έκδοσης ενός λογισμικού, πράγμα που την κάνει ιδανική για τη δικιά μας εφαρμογή, που είναι μια προσομοίωση ενός πειραματικού μοντέλου.

## 6.2 Πρωτόκολλα

### Πρότυπο NMEA 0183

Το NMEA 0183 είναι ένα πρότυπο επικοινωνίας για ηλεκτρονικές συσκευές πλοήγησης, όπως GPS, που χρησιμοποιείται στη ναυτιλία και στη θαλάσσια πλοήγηση. Καθορίζει το πρωτόκολλο επικοινωνίας για τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ διαφόρων συσκευών πλοήγησης, όπως GPS, πυξίδες, αισθητήρες βάθους και ανεμόμετρα. Επίσης, χρησιμοποιεί το σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας RS-232 για τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ των συσκευών. Τα δεδομένα μεταδίδονται σε μορφή ASCII και περιλαμβάνουν πληροφορίες όπως η θέση του πλοίου, η ταχύτητα, η κατεύθυνση και η ώρα (ανάλογα με την συσκευή).

Τα δεδομένα μεταδίδονται σε μορφή προτάσεων και κάθε πρόταση ξεκινά με ένα σύμβολο "\$" και ακολουθείται από ένα identifier πρότυπου, έναν αριθμό πεδίων δεδομένων και ένα checksum για τον έλεγχο της ακεραιότητας των δεδομένων. Η μετάδοση δεδομένων γίνεται μεταξύ δύο συσκευών (στην περίπτωση του προγράμματος αυτής της διπλωματικής είναι το gps/gyrocompass και του κεντρικού υπολογιστικού συστήματος) μέσω μιας σειριακής σύνδεσης. Καθώς η μετάδοση γίνεται σε πραγματικό χρόνο, οι δεδομένες πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ενημερώνουν τον χρήστη για τη θέση του σκάφους, την ταχύτητα και την κατεύθυνση του.

Το NMEA 0183 έχει διάφορες προδιαγραφές για τα διάφορα είδη συσκευών πλοήγησης, καθώς και για τον τύπο και τη μορφή των δεδομένων που μεταδίδονται. Το πρότυπο είναι επίσης ευέλικτο και μπορεί να προσαρμοστεί σε διάφορες ανάγκες επικοινωνίας, όπως η μετάδοση δεδομένων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων πλοήγησης.

### **Χρησιμοποιώντας Inputs για την Αυτόματη Πλοήγηση**

Εισαγωγή πληροφοριών μέσω σειριακού module RS-232:

Δεδομένα/συντεταγμένες gps: Χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί το απαιτούμενο bearing, ανάμεσα στις επιθυμητές συντεταγμένες (εισάγονται στο HMI) και τις τωρινές όπου βρίσκεται στο σκάφος. Λεπτομέρειες αυτού του υπολογισμού αναγράφονται παρακάτω στην ανάλυση του προγράμματος. Παράδειγμα πρότασης NMEA 0183 από συσκευή GPS:

`$$GPGLL,4112.26,N,11332.22,E,213276,A,*iD`

Μοίρες/heading gyrocompass: Χρησιμοποιούνται για να βρεθεί η διαφορά ανάμεσα στην τωρινή κατεύθυνση του σκάφους, και του επιθυμητού bearing για να φτάσουμε στις απαιτούμενες συντεταγμένες. Με την χρήση αυτής της διαφοράς μπορεί να γίνει η αυτόματη διόρθωση πορείας του σκάφους. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ανάλογα με την συσκευή gyrocompass, μπορεί να παράξει με πολλές μορφές το heading. Στην συγκεκριμένη υλοποίηση χρησιμοποιείται το Heading Degrees True (HDT). Λεπτομέρειες για τον υπολογισμό της διαφοράς αναγράφονται στο σύστημα διόρθωσης πορείας.

Παράδειγμα πρότασης NMEA 0183 από συσκευή gyrocompass:

`$$**HDT,123.45,$$**HDG,132.45,$$**HDM,$$**THS`

### **6.3 Components**

Όπως είδαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο ένα σύστημα αυτόματου πιλότου, για να λειτουργήσει σωστά, θα πρέπει να έχει κάποιο βασικό εξοπλισμό. Υπάρχουν διάφοροι τύποι και μοντέλα για τα εξαρτήματα με πολλαπλούς συνδυασμούς, συμβατότητας και χαρακτηριστικών. Τα εξαρτήματα που επιλέχθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος, είναι διαλεγμένα με βάση την συμβατότητα αναμεταξύ τους καθώς και την ποιότητα και αξιοπιστία τους. Τα εξαρτήματα αυτά είναι τα εξής :

QUANTITY	COMPONENT
1	Gyrocompass CMZ900D-S7
1	Furuno GP-33 GPS
2	Hydraulic cylinder
1	CPU Controller 1516-3 PN/DP της SIEMENS
1	HMI 9’’ Monitor

**Πίνακας 6.1 - Component List**



## **Gyrocompass CMZ900D-S7**

Η σειρά CMZ900 έχει λάβει έγκριση τύπου σύμφωνα με πρότυπα του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO), ψήφισμα A.424 (XI), καθώς και με τα πρότυπα JIS-F9602, κατηγορία A. Η CMZ900S7 είναι ένα εξελιγμένο όργανο πλοήγησης που χρησιμοποιείται σε θαλάσσιες εφαρμογές για τον προσδιορισμό της πραγματικής βόρειας κατεύθυνσης. Κατασκευάζεται από την εταιρεία Tokyo Keiki, κορυφαίο πάροχο θαλάσσιων συστημάτων πλοήγησης και ελέγχου. Χρησιμοποιεί την αρχή της γυροσκοπικής μετάπτωσης για την παροχή ακριβών πληροφοριών κατεύθυνσης. Αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο γυροσκόπιο που διατηρεί σταθερό άξονα περιστροφής, ο οποίος ευθυγραμμίζεται με την περιστροφή της Γης. Μετρώντας τις αλλαγές στον προσανατολισμό του γυροσκοπίου, η γυροπυξίδα προσδιορίζει με ακρίβεια την πορεία του σκάφους.

Η γυροπυξίδα CMZ900S7 προσφέρει προηγμένα χαρακτηριστικά και δυνατότητες. Παρέχει υψηλή ακρίβεια, σταθερότητα και αξιοπιστία ακόμη και σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως ταραγμένη θάλασσα ή ακραίες θερμοκρασίες. Το όργανο έχει σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιεί τις επιδράσεις της

κίνησης του πλοίου, των δονήσεων και των μαγνητικών παρεμβολών, εξασφαλίζοντας ακριβείς και συνεπείς πληροφορίες για την πορεία.

Εκτός από την παροχή δεδομένων κατεύθυνσης, το CMZ900S7 ενσωματώνεται συχνά με άλλα συστήματα πλοήγησης και εξοπλισμό επί του πλοίου. Μπορεί να επικοινωνεί με συστήματα ραντάρ, ηλεκτρονικές οθόνες χαρτών, αυτόματους πιλότους (όπως το πρόγραμμα) και άλλα βοηθήματα πλοήγησης για να ενισχύσει τη συνολική επίγνωση της κατάστασης και να βελτιώσει την ασφάλεια πλοήγησης.



Εικόνα 6.1 - Master compass / control box [69] and Exposure view of Master compass [68]



• **Χαρακτηριστικά του CMZ900D:**

1. Ο αρθρωτός σχεδιασμός του επιτρέπει να εξοικονομεί χώρο, καθώς επίσης και η κύρια πυξίδα μπορεί να ενσωματωθεί στη βάση οδήγησης του αυτόματου πιλότου.
2. Μοντέλο είναι διπλή μονάδα για παρέχει επιπλέον αξιοπιστία.
3. Χειροκίνητη ή αυτόματη διόρθωση σφάλματος ταχύτητας.
4. Ο εξωτερικός αισθητήρας κατεύθυνσης μπορεί να κρατήσει αντίγραφο ασφαλείας από τις εξόδους κατεύθυνσης.
5. Παρακολούθηση της απόκλισης πορείας.
6. Η είσοδος λειτουργίας διεύθυνσης εμποδίζει την ασυνήθιστη λειτουργία της κύριας πυξίδας και διασφαλίζει τις τρέχουσες πληροφορίες κατεύθυνσης κατά τη διάρκεια λειτουργίας αυτόματης πλοήγησης .
7. Σειριακή έξοδος δεδομένων IEC 61162-2 (μετάδοση υψηλής ταχύτητας)
8. Μοναδικός μηχανισμός αντικραδασμικής προστασίας που ενισχύεται από την ταχύτητα απόσβεσης του υψηλού ιξώδους λαδιού, παρέχει ανώτερη απόσβεση των κραδασμών στη θάλασσα.
9. Ένα μικρό και ελαφρύ δοχείο ενισχύει την ταχύτητα παρακολούθησης. Η γυροπυξίδα αλλάζει ομαλά και δεν υστερεί όταν ένα μικρό πλοίο αλλάζει γρήγορα πορεία.
10. Εύκολη συντήρηση ανά μεγάλα χρονικά διαστήματα.

**Furuno GP-33 GPS**

Το Furuno GP-33 είναι ένας πλοηγός GPS που κατασκευάζεται από τη Furuno, μια γνωστή εταιρεία που ειδικεύεται στα θαλάσσια ηλεκτρονικά. Το GP-33 έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ακριβή δεδομένα εντοπισμού θέσης, πλοήγησης και χρόνου για μια ποικιλία θαλάσσιων εφαρμογών.



Εικόνα 6.2 - GPS unit and display [62]

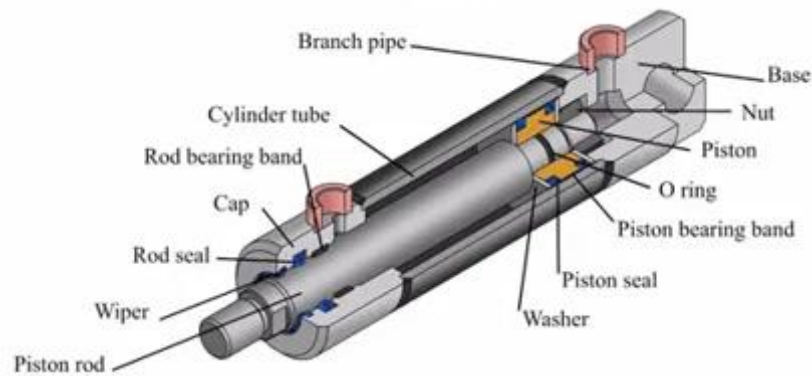
### Ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες του GPS Furuno GP-33:

1. Ακρίβεια εντοπισμού θέσης: Το GP-33 χρησιμοποιεί έναν εξαιρετικά ευαίσθητο δέκτη GPS για την παροχή ακριβών πληροφοριών εντοπισμού θέσης με τυπική ακρίβεια 3 μέτρων.
2. Οθόνη: Διαθέτει σαφή και ευανάγνωστη έγχρωμη οθόνη LCD 4,3 ιντσών, η οποία παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες όπως γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος, ταχύτητα, πορεία, ώρα και κατάσταση δορυφόρου.
3. Πλοήγηση σε σημεία πορείας και διαδρομές: Το GP-33 επιτρέπει στους χρήστες να αποθηκεύουν και να πλοηγούνται σε πολλαπλά σημεία πορείας και να δημιουργούν διαδρομές για αποτελεσματική πλοήγηση. Παρέχει καθοδήγηση πορείας, απόσταση από σημείο πορείας, εκτιμώμενο χρόνο άφιξης και άλλα δεδομένα πλοήγησης.
4. Λειτουργίες συναγερμού: Η μονάδα προσφέρει διάφορες λειτουργίες συναγερμού για την ενίσχυση της ασφάλειας και της επίγνωσης της κατάστασης. Περιλαμβάνει συναγερμούς παρακολούθησης άγκυρας, άφιξης, ταχύτητας και ζώνης εγγύτητας, εξασφαλίζοντας έγκαιρες ειδοποιήσεις σε κρίσιμες καταστάσεις.
5. Διασύνδεση δεδομένων: Το GP-33 υποστηρίζει έξοδο δεδομένων NMEA 0183, επιτρέποντάς του να επικοινωνεί με άλλο ναυτιλιακό εξοπλισμό, όπως πλόττερ χάρτη, συστήματα ραντάρ και αυτόματους πιλότους, μέσω του τυπικού πρωτοκόλλου NMEA.
6. Αδιάβροχη σχεδίαση: Το GP-33 έχει σχεδιαστεί για να αντέχει στο θαλάσσιο περιβάλλον, με αδιάβροχη προστασία IPX6. Μπορεί να εγκατασταθεί σε εκτεθειμένες περιοχές του σκάφους χωρίς ανησυχίες για ζημιές από το νερό.
7. Εύκολη την τοποθέτησή σε διάφορα σημεία του σκάφους, παρέχοντας ευελιξία στην εγκατάσταση.

Το Furuno GP-33 προτιμάτε για ένα ευρύ φάσμα θαλάσσιων σκαφών, συμπεριλαμβανομένων σκαφών αναψυχής, αλιευτικών σκαφών και εμπορικών πλοίων, για την αξιοπιστία, ανθεκτικότητα και τη συμβατότητα του με άλλο ναυτικό εξοπλισμό.

### **Hydraulic Cylinders**

Οι υδραυλικοί κύλινδροι διπλής ενέργειας χρησιμοποιούνται σε θαλάσσιες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων ελέγχου του κινητήρα, λόγω της ικανότητάς τους να παράγουν δύναμη και προς τις δύο κατευθύνσεις με μεγάλη ακρίβεια και σταθερότητα. Αυτοί οι κύλινδροι διαθέτουν ένα έμβολο που χωρίζει τον κύλινδρο σε δύο θαλάμους: την πλευρά του καλύμματος και την πλευρά της ράβδου. Στη μία πλευρά του εμβόλου παρέχεται υδραυλικό υγρό για να επεκτείνει τον κύλινδρο και να παράγει δύναμη ώθησης, ενώ η άλλη πλευρά του εμβόλου επιτρέπει την ανάσχυση και παράγει δύναμη έλξης.



Εικόνα 6.3 - Hydraulic Cylinder design [63]

Τα συστήματα ελέγχου του κινητήρα στα πλοία απαιτούν συχνά ακριβή και αξιόπιστο έλεγχο των εξαρτημάτων του κινητήρα, όπως τα συστήματα έγχυσης καυσίμου, οι βαλβίδες γκαζιού και οι ενεργοποιητές των βαλβίδων εξαγωγής. Οι υδραυλικοί κύλινδροι διπλής ενέργειας είναι κατάλληλοι για τέτοιες εφαρμογές, γιατί παρέχουν δύναμη διπλής κατεύθυνσης για τη ρύθμιση αυτών των εξαρτημάτων του κινητήρα. Επιπλέον, κύλινδροι αυτοί προσφέρουν στιβαρότητα και ανθεκτικότητα, καθιστώντας τους κατάλληλους για το απαιτητικό θαλάσσιο περιβάλλον. Μπορούν να αντέξουν τις υψηλές πιέσεις, τους κραδασμούς και τις κυμαινόμενες συνθήκες λειτουργίας που συνήθως συναντώνται στα μηχανοστάσια των πλοίων.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι συγκεκριμένοι τύποι κυλίνδρων που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ελέγχου των μηχανών των πλοίων μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τη σχεδίαση του πλοίου, τη διαμόρφωση του κινητήρα και την αρχιτεκτονική του συστήματος ελέγχου. [63]

### **S7-1516-3 PN/DP Controller**

Ο ελεγκτής S7-1516-3 PN/DP είναι ένα (PLC) υψηλής απόδοσης που κατασκευάζεται από τη Siemens. Ανήκει στη σειρά Simatic S7-1500, η οποία έχει σχεδιαστεί για απαιτητικές εφαρμογές αυτοματισμού και ελέγχου σε διάφορες βιομηχανίες.



Εικόνα 6.4 - CPU Unit [64]

Ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες του S7-1516-3 PN/DP:

1. Απόδοση: Ο ελεγκτής είναι εξοπλισμένος με μια ισχυρή CPU που παρέχει γρήγορη επεξεργασία και εκτέλεση εργασιών αυτοματισμού. Προσφέρει ταχύτατη εκτέλεση προγραμμάτων, επιτρέποντας τον αποτελεσματικό έλεγχο πολύπλοκων διεργασιών.
2. Επικοινωνία: Ο ελεγκτής υποστηρίζει διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων των Profinet (PN) και Profibus (DP), επιτρέποντας την απρόσκοπτη ενσωμάτωση σε βιομηχανικά δίκτυα. Επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο με προς συσκευές και συστήματα, προς HMI, συστήματα SCADA και απομακρυσμένες μονάδες I/O.
3. Μνήμη και αποθήκευση: Προσφέρει άφθονη χωρητικότητα μνήμης για την αποθήκευση του προγράμματος χρήστη, των δεδομένων και των παραμέτρων του συστήματος. Διαθέτει μεγάλη μνήμη φορτίου για την αποθήκευση προγράμματος και την καταγραφή δεδομένων, επιτρέποντας την εκτεταμένη αποθήκευση κώδικα προγράμματος και δεδομένων.
4. Ενσωματωμένες διεπαφές: Διαθέτει πολλαπλές ενσωματωμένες διεπαφές, συμπεριλαμβανομένων των διεπαφών Ethernet και των σειριακών διεπαφών, για τη σύνδεση με εξωτερικές συσκευές και δίκτυα. Έτσι επιτυγχάνεται η διευκόλυνση στον προγραμματισμό, στη διάγνωση και στην επικοινωνία με άλλα εξαρτήματα αυτοματισμού.
5. Αρθρωτή σχεδίαση: Ο ελεγκτής Simatic S7-1516-3 PN/DP έχει σχεδιαστεί με αρθρωτή δομή, επιτρέποντας την εύκολη επέκταση και προσαρμογή. Υποστηρίζει την προσθήκη μονάδων σήματος, μονάδων επικοινωνίας και μονάδων I/O, επιτρέποντας την ευέλικτη προσαρμογή σε συγκεκριμένες απαιτήσεις εφαρμογών.
6. Ενσωματωμένες λειτουργίες ασφαλείας: Υποστηρίζει ολοκληρωμένες λειτουργίες ασφαλείας μέσω προς τεχνολογίας Safety Integrated. Επιτρέπει την υλοποίηση εφαρμογών που σχετίζονται με την ασφάλεια, προς συστήματα διακοπής έκτακτης ανάγκης και ασφάλισης ασφαλείας, σύμφωνα με τα σχετικά πρότυπα ασφαλείας.
7. Προγραμματισμός και μηχανική: Ο προγραμματισμός του ελεγκτή γίνεται με τη χρήση του μηχανικού πλαισίου TIA Portal (Totally Integrated Automation) προς Siemens. Το TIA Portal παρέχει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον λογισμικού για τη διαμόρφωση, τον προγραμματισμό και τη διάγνωση του συστήματος PLC.

## **HMI 9” Monitor**

Μέσω του HMI Screen πραγματοποιείτε η ενημέρωση και παρακολούθηση του συστήματος από τον επιβλέπων (καπετάνιο). Εκεί μπορεί προς να εισάγει τα απαραίτητα δεδομένα/συντεταγμένες για να πραγματοποιηθεί η επιθυμητή διαδρομή καθώς μπορεί και να δει με τι απόκλιση κινείτε το σκάφος και προς τα ποια πλευρά είναι γυρισμένοι οι κινητήρες. Για την οθόνη επιλέχτηκε ένα απλό HMI Monitor 9” καθώς δεν απαιτούνται κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.



Εικόνα 6.5 - HMI monitor [70]

## **6.4 Κώδικας για τον Αυτόματο Πιλότο**

### **6.4.1 Περιγραφή**

Ο στόχος του μοντέλου είναι η προσομοίωση αυτόματης πλοήγηση ενός πλοίου με μεγάλη ακρίβεια και η παροχή ανάλογου feed back στο χρήστη. Το πρόγραμμα αυτό είναι πειραματικό και δεν είναι σχεδιασμένο για κάποιο συγκεκριμένο τύπο πλοίου. Θεωρητικά με τις κατάλληλες προσαρμογές θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε πάνω από έναν τύπο πλοίων. Η αυτόματη πλοήγηση επιτυγχάνεται μέσω του συνεχή ελέγχου της τοποθεσίας του πλοίου και τον έλεγχο για τον επόμενο προορισμό της διαδρομής. Αυτό γίνεται με μεγάλη ακρίβεια χάρης τον συνδυασμό δεδομένων που μπορούν να αποκοιμηθούν μέσω των δυο βασικότερων αισθητήρων που έχει κάθε πλοίο, τη γυροσκοπική πυξίδα και το GPS. Έπειτα σε περίπτωση που το σύστημα καταλάβει ότι υπάρχει απόκλιση μέσω των υπολογισμών που γίνονται στο PLC unit, δίνεται η εντολή στους ενεργοποιητές (actuators) μέσω βαλβίδων, να γίνει ανάλογη προσαρμογή στους κινητήρες του πλοίου με αποτέλεσμα την διόρθωση της πορείας. Μόλις το πλοίο βρεθεί πάλι στην σωστή πορεία οι κινητήρες επιστρέφουν στην αρχική τους θέση.

## 6.4.2 Περιβάλλον προσομοίωσης και εργαλεία

### • TIA Portal

Ο αλγόριθμος είναι γραμμένος στο TIA PORTAL της Siemens, καθώς αυτό το περιβάλλον παρέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία (Simatic step7, WinCC) που χρειάζονται για να υλοποιηθεί αυτή η προσομοίωση. Το TIA Portal παρέχει ένα ενοποιημένο περιβάλλον μηχανικής που απλοποιεί την ανάπτυξη, τη θέση σε λειτουργία και τη συντήρηση των συστημάτων αυτοματισμού. Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά του TIA Portal είναι:

1. Ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE): Το TIA Portal προσφέρει ένα ολοκληρωμένο IDE που επιτρέπει στους χρήστες να προγραμματίζουν, να διαμορφώνουν και να απεικονίζουν τα έργα αυτοματισμού τους. Παρέχει μια ενοποιημένη διεπαφή για διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, όπως λογική σκάλας, διάγραμμα μπλοκ λειτουργίας (FBD), δομημένο κείμενο (ST) και γλώσσες γραφικού προγραμματισμού, όπως το διάγραμμα ακολουθιακών λειτουργιών (SFC).
2. Οργάνωση: Το TIA Portal επιτρέπει την αποτελεσματική διαχείριση έργων μέσω της προσέγγισής του με γνώμονα το καθένα. Οι χρήστες μπορούν να δημιουργούν και να διαχειρίζονται πολλαπλά έργα, να οργανώνουν και να δομούν τον κώδικά τους και να πλοηγούνται εύκολα μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του συστήματος αυτοματισμού.
3. Διαμόρφωση υλικού: Το TIA Portal διευκολύνει τη διαμόρφωση του υλικού αυτοματισμού. Επιτρέπει στους χρήστες να ορίζουν τα στοιχεία υλικού, όπως τα PLC, τα HMI και τις μονάδες I/O, και να διαμορφώνουν τις παραμέτρους, τις ρυθμίσεις επικοινωνίας και τις συνδέσεις δικτύου. Αυτή η ολοκληρωμένη διαμόρφωση υλικού εξασφαλίζει την απρόσκοπτη ολοκλήρωση και διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του συστήματος αυτοματισμού.
4. Προγραμματισμός και αποσφαλμάτωση: Οι χρήστες μπορούν να αναπτύξουν λογική χρησιμοποιώντας διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, να παρακολουθούν και να αποσφαλμάτουν τον κώδικά τους και να προσομοιώνουν τη συμπεριφορά του συστήματος αυτοματισμού τους. Αυτό βοηθά στον εντοπισμό και τη διόρθωση σφαλμάτων και εξασφαλίζει αξιόπιστη λειτουργία.
5. Οπτικοποίηση και σχεδιασμός HMI: Το TIA Portal περιλαμβάνει εργαλεία για τη δημιουργία διαισθητικών και διαδραστικών διεπαφών ανθρώπου-μηχανής (HMI). Οι χρήστες μπορούν να σχεδιάζουν οθόνες HMI, να διαμορφώνουν την οπτικοποίηση δεδομένων, να δημιουργούν συστήματα διαχείρισης συναγερμών και συμβάντων και να ενσωματώνουν γραφικά στοιχεία και κινούμενα σχέδια. Αυτό επιτρέπει στους χειριστές να παρακολουθούν και να ελέγχουν αποτελεσματικά το σύστημα αυτοματισμού.
6. Διάγνωση και συντήρηση: Προσφέρει ολοκληρωμένες διαγνωστικές δυνατότητες για την παρακολούθηση και την αντιμετώπιση προβλημάτων στα συστήματα αυτοματισμού. Παρέχει οπτικοποίηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, διαγνωστικά συστήματα και λεπτομερή μηνύματα σφαλμάτων για τον γρήγορο εντοπισμό και την αποκατάσταση προβλημάτων. Οι ενσωματωμένες διαγνωστικές λειτουργίες απλοποιούν τη συντήρηση του συστήματος, μειώνουν το χρόνο διακοπής λειτουργίας και βελτιστοποιούν την απόδοση του συστήματος αυτοματισμού.

7. Επικοινωνία και δικτύωση: Υποστηρίζει διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας και διεπαφές, επιτρέποντας την ενσωμάτωση με διαφορετικές συσκευές και συστήματα. Επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ βιομηχανικών συσκευών και συστημάτων (SCADA).

- **STEP 7**

Το Step 7 είναι ένα ολοκληρωμένο μηχανικό περιβάλλον που χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση και τον προγραμματισμό SIMATIC controllers, είτε σε PLC είτε σε PC. Υποστηρίζει ολόκληρη τη σειρά ελεγκτών SIMATIC, συμπεριλαμβανομένων των S7-1200, S7-1500 και άλλων συμβατών σειρών. Το Step 7 παρέχει ένα φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον εργασίας και ισχυρά εργαλεία για την ανάπτυξη προγραμμάτων ελέγχου, τη διαμόρφωση υλικού και τη διαχείριση έργων PLC. Τα βασικά χαρακτηριστικά του Step 7 περιλαμβάνουν:

1. Γλώσσες προγραμματισμού: Το Step 7 υποστηρίζει πολλαπλές γλώσσες προγραμματισμού, όπως τη ladder logic (LAD), function block diagram (FBD), structured control language (SCL) και άλλες, επιτρέποντας στους προγραμματιστές να επιλέξουν την καταλληλότερη γλώσσα για την εφαρμογή τους.
2. Επικοινωνία και δικτύωση: Επιτρέπει την απρόσκοπτη επικοινωνία και δικτύωση μεταξύ των PLC και άλλων συσκευών στο σύστημα βιομηχανικού αυτοματισμού. Υποστηρίζει διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπως Ethernet (Profinet), Profibus και MPI (Multi-Point Interface), επιτρέποντας την ανταλλαγή δεδομένων με εξωτερικές συσκευές, συστήματα SCADA και άλλα PLC.
3. Διαμόρφωση υλικού: Παρέχει διαισθητικά εργαλεία για τη διαμόρφωση των στοιχείων υλικού των PLC της Siemens. Οι χρήστες μπορούν να ορίσουν τις μονάδες I/O, να ρυθμίσουν τις διεπαφές επικοινωνίας και να δημιουργήσουν συνδέσεις μεταξύ των συσκευών, εξασφαλίζοντας τη σωστή ενσωμάτωση και λειτουργικότητα του συστήματος ελέγχου.

- **WinCC**

Το WinCC είναι ένα ισχυρό λογισμικό HMI (Human-Machine Interface) που χρησιμοποιείται για την οπτικοποίηση και την παρακολούθηση βιομηχανικών διεργασιών. Επιτρέπει στους χειριστές και τους μηχανικούς να αλληλοεπιδρούν με το σύστημα PLC μέσω γραφικών διεπαφών χρήστη (GUI) που εμφανίζονται σε πίνακες HMI ή σε οθόνες υπολογιστών. Τα βασικά χαρακτηριστικά του WinCC περιλαμβάνουν:

Γραφική απεικόνιση: Το WinCC επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν δυναμικές και κατατοπιστικές γραφικές διεπαφές, συμπεριλαμβανομένων οθονών διεργασιών, συναγερμών, τάσεων και αναφορών. Παρέχει εργαλεία για το σχεδιασμό διαισθητικών διεπαφών χρήστη και την εμφάνιση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από το σύστημα PLC.

1. Διαχείριση συναγερμών: Διευκολύνει την παρακολούθηση και τη διαχείριση των συναγερμών και των συμβάντων που παράγονται από το σύστημα ελέγχου. Επιτρέπει στους χειριστές να προβάλλουν, να αναγνωρίζουν και να ανταποκρίνονται στους συναγερμούς, εξασφαλίζοντας έγκαιρες ενέργειες για τη διατήρηση της ακεραιότητας του συστήματος και της ασφάλειας λειτουργίας.



Συστήματα οδήγησης (Autopilot) για σκάφη με PLC

2. Καταγραφή δεδομένων και υποβολή εκθέσεων: Παρέχει λειτουργικότητα για την καταγραφή και αρχειοθέτηση δεδομένων διεργασίας. Μπορεί να συλλέγει δεδομένα από τα PLC, να τα αποθηκεύει σε βάσεις δεδομένων και να παράγει αναφορές για ανάλυση επιδόσεων, βελτιστοποίηση διεργασιών και κανονιστική συμμόρφωση.
3. Απομακρυσμένη πρόσβαση και διαγνωστικά: Επιτρέπει την απομακρυσμένη πρόσβαση στο σύστημα HMI, επιτρέποντας στους χειριστές και τους μηχανικούς να παρακολουθούν και να ελέγχουν τις διεργασίες από μια κεντρική τοποθεσία ή μέσω κινητών συσκευών. Περιλαμβάνει επίσης διαγνωστικά εργαλεία για την αντιμετώπιση προβλημάτων και τη συντήρηση του συστήματος HMI και των συνδεδεμένων PLC.

### 6.4.3 Υλοποίηση

Το Πρόγραμμα αποτελείται από δυο βασικά μέρη το frontend και το backend. Στο backend γίνεται η συλλογή και επεξεργασία όλων των δεδομένων, η διόρθωση της πορείας, καθώς και η προσομοίωση πλεύσης του πλοίου. Το frontend είναι αυτό με το οποίο θα αλληλοεπιδρά ο χρήστης καθώς εκεί θα μπορεί να εισάγει τις συντεταγμένες της διαδρομής, θα βλέπει την γωνία του πλοίου, την πορεία του, που βρίσκετε στον χάρτη, αναλυτικά τις συντεταγμένες του πλοίου, προς τα που έχουν στραφεί οι μηχανές και εάν θα υπάρχει κάποιο πρόβλημα.

<i>ID</i>	<i>Στόχος</i>	<i>Βασική λειτουργία</i>	<i>Δυσκολία (1-5)</i>
<u>1</u>	Διαχείριση συντεταγμένων	Αποθήκευση & διαγραφή συντεταγμένων διαδρομής	2
<u>2</u>	Συλλογή δεδομένων από αισθητήρες	Αποκωδικοποίηση πρωτοκόλλου και μετατροπή μονάδων	3
<u>3</u>	Διατήρηση επιθυμητής πορείας	Έλεγχος τρέχουσας πορείας και διόρθωση απόκλισης	3
<u>4</u>	Προσομοίωση πλεύσης	Προσπέλαση πίνακα συντεταγμένων για προσομοίωση της πλεύσης	4

Πίνακας 6.2 – Στόχοι αλγορίθμου

ο **Περιγραφή backend (code)**

Το backend αποτελείται από πολλαπλά function blocks, που λειτουργούν σαν τις κλάσεις σε άλλες γλώσσες προγραμματισμού. Με αυτό το τρόπο είναι πιο εύκολο κάποιος να κατανοήσει τη λειτουργία του προγράμματος. Καλούνται στην main όποτε χρειάζεται η χρήση τους.

**I. Ανάλυση Function Block (FB)**

Ένα από μεγάλα πλεονεκτήματα του TIA Portal είναι ότι μπορείς να συνδυάσεις πολλές διαφορετικές γλώσσες προγραμματισμού μέσω των FB. Όπως και θα δούμε παρακάτω κάθε FB μπορεί να είναι γραμμένο σε διαφορετική γλώσσα από την Main και να λειτουργεί κανονικά όταν το καλούμε.

- Το πρώτο FB που θα δούμε είναι το addDestCoordinates. Σε αυτό το FB θα δημιουργηθούν οι δυο πίνακες *CourseLongitude* και *CourseLatitude* τύπου LReal που θα αποθηκεύει ο χρήστης τις συντεταγμένες της επιθυμητής διαδρομής. Το FB είναι γραμμένο σε γλώσσα SCL καθώς σε αυτήν είναι πιο εύκολη η διαχείριση πινάκων. Αρχικά ελέγχουμε εάν ο χρήστης έχει πατήσει το button “add” στην οθόνη του HMI. Έπειτα θέτουμε την μεταβλητή “o” ως μηδέν καθώς αυτή θα είναι μια από τους δυο όρους που χρειάζονται για να εισέλθουμε στην IF και σαρώνουμε έναν από τους δυο πίνακες μέχρι να βρούμε την επόμενη κενή θέση (δεύτερος όρος). Εφόσον πληρούνται οι όροι θα αποθηκευτεί η κενή θέση του πίνακα σε μία δεύτερη μεταβλητή “emptyindex” και θα αλλαχθεί το “o” σε 1. Όταν τελειώσει η σάρωση του πίνακα θα χρησιμοποιήσουμε τον “emptyindex” για να αποθηκεύσουμε σε αυτή τη θέση της συντεταγμένες που έδωσε ο χρήστης στον κάθε πίνακα αντίστοιχα. Τέλος επαναφέρουμε τις μεταβλητές στις αρχικές τους τιμές.

```

addDestCoordinates
IF... CASE... FOR... WHILE... (*...*) REGION
OF... TO DO... DO...

1 IF "add" THEN
2     #o := 0;
3     FOR #i := 0 TO 999 DO
4         IF "CourseLatitude"."THIS"[#i] = 0.0 AND NOT #o THEN
5             #emptyindex := #i;
6             #o := 1;
7         END_IF;
8     END_FOR;
9     "CourseLatitude"."THIS"[#emptyindex] := "destLat";
10    "CourseLongitude"."THIS"[#emptyindex] := "destLong";
11    "add" := FALSE;
12    "destLat" := 0.0;
13    "destLong" := 0.0;
14 END_IF;
15

```

**Εικόνα 6.6- Software screenshot a**

- Το επόμενο FB λειτουργεί ως συνέχεια του προηγούμενου ονομάζεται *clearDestCoordinates* και είναι επίσης γραμμένο σε SCL. Καθώς και αυτό έχει να κάνει με την διαχείριση των πινάκων *CourseLongitude* και *CourseLatitude*. Με την διαφορά ότι η δουλειά αυτού το FB είναι να καθαρίζει τους πίνακες σε περίπτωση που ο χρήστης θελήσει να εισάγει μια καινούρια διαδρομή. Αυτό εκπληρώνετε με την χρήση μιας IF που ελέγχει εάν έχει πατηθεί το button “clear”, και στη συνέχεια με την χρήση μιας FOR, που μηδενίζει τα στοιχεία των πινάκων ένα προς ένα.

```

clearDestCoordinates
IF... CASE... FOR... WHILE... (*...*) REGION
OF... TO DO... DO...
1 IF "clear" THEN
2   FOR #i := 0 TO 999 DO
3     "CourseLatitude"."THIS"[#i] := 0.0;
4     "CourseLongitude"."THIS"[#i] := 0.0;
5
6   END_FOR;
7   "clear" := FALSE;
8 END_IF;
    
```

Εικόνα 6.7 - Software screenshot β.

- Στη συνέχεια, έχουμε ένα από τα βασικότερα FB που ονομάζεται *Bearing*. Αυτό το FB είναι γραμμένο σε γλώσσα Ladder Logic (LAD), καθώς είναι ιδανική για μαθηματικές πράξεις με τα Instructions και είναι πιο εύκολη στην κατανόηση από τρίτους. Σε αυτό το FB υπολογίζετε η κλίση που θα πρέπει να έχει το πλοίο σε σύγκριση με τον πραγματικό Βορά, με βάση τις συντεταγμένες των δυο θέσεων στο χάρτη, για να μπορεί να πάει στο επόμενο σημείο της διαδρομής. Οι μαθηματικές πράξεις που πραγματοποιούνται σε αυτό το FB είναι οι εξής:

Η κλίση υπολογίζεται από το σημείο A στο σημείο B. Όπου :

β	bearing
L	Longitude
θ	Latitude
a	Σημείο A
b	Σημείο B

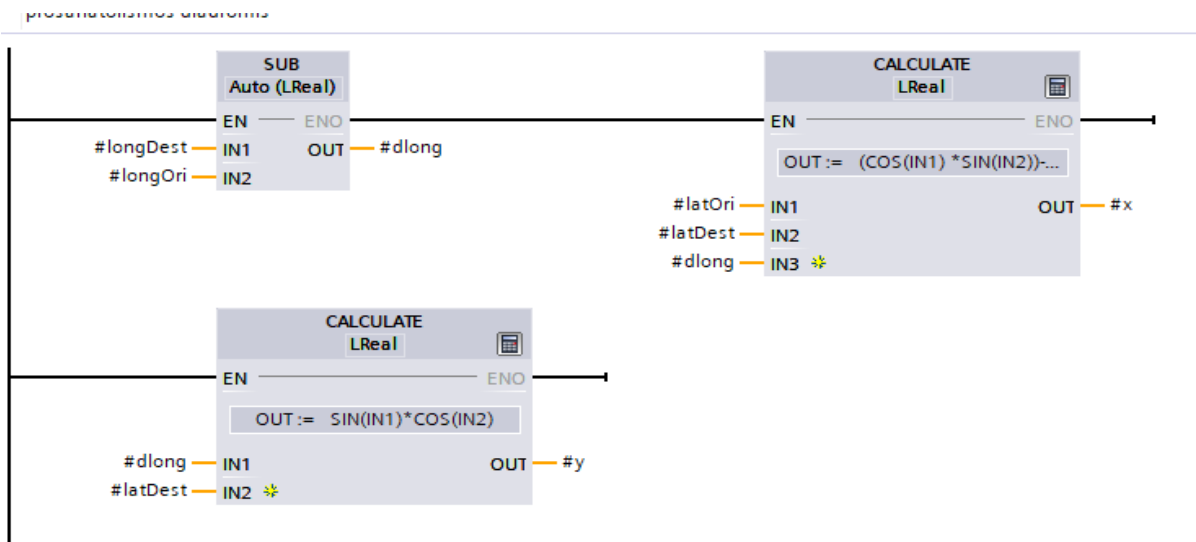
Πίνακας 6.3 – Μεταβλητές

π.χ.: Το “cos(θb)” είναι το συνημίτονο του Latitude από το σημείο B

$$\beta = \text{atan2}(X, Y)$$

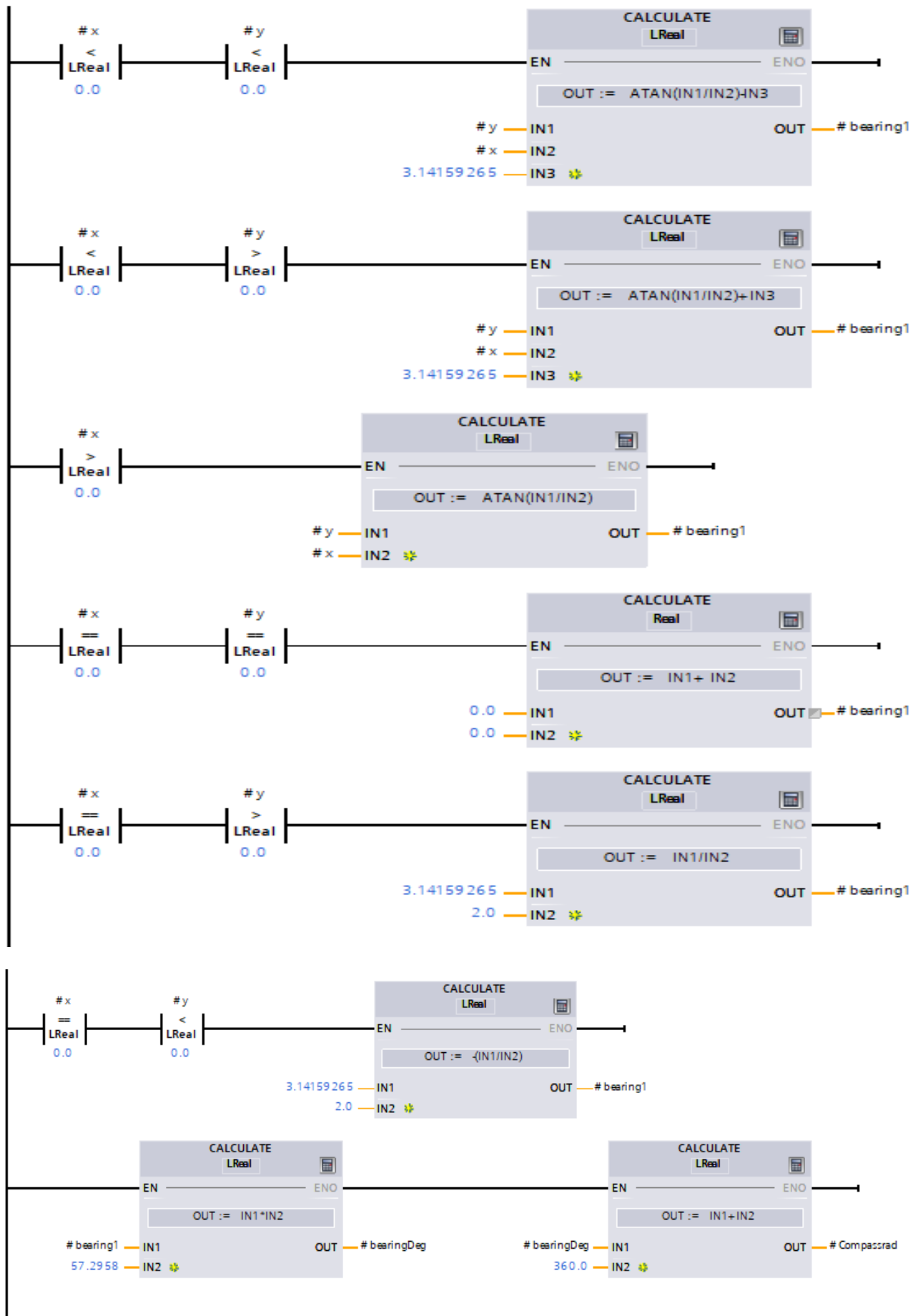
$$X = \cos(\theta a) * \sin(\Delta L)$$

$$Y = (\cos(\theta a) * \sin(\theta b)) - (\sin(\theta a) * \cos(\theta b) * \cos(\Delta L))$$



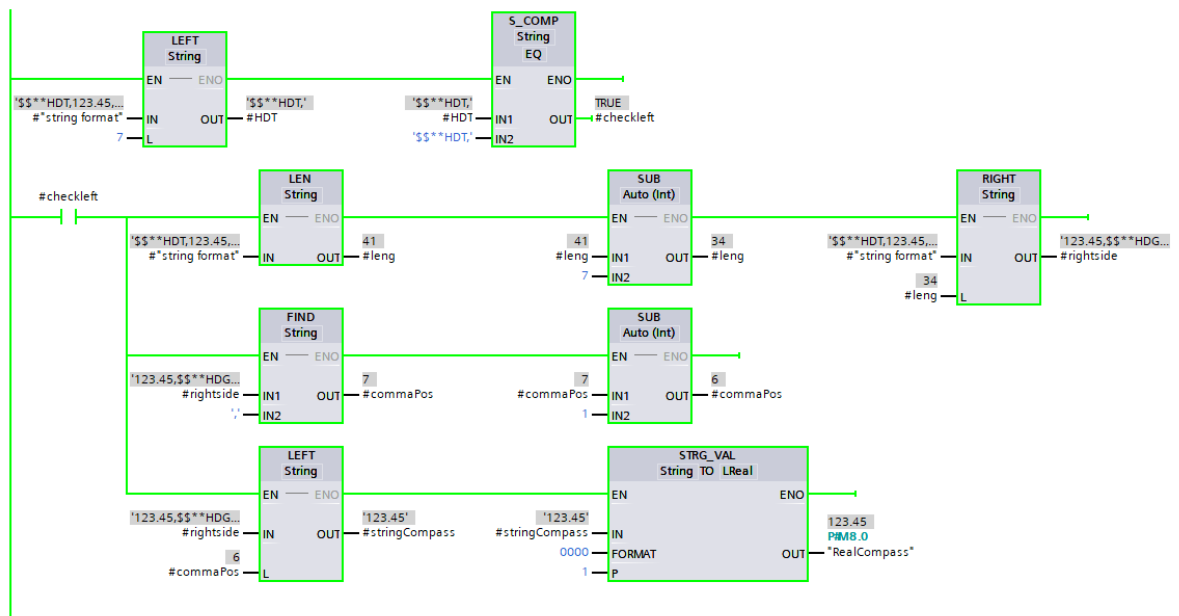
Εικόνα 6.8 - Software screenshot γ.

Έπειτα, η έξοδος που θα πάρουμε είναι σε μονάδα radians, οπότε θα χρειαστεί να την μετατρέψουμε σε μοίρες. Για να γίνει αυτό πρέπει πρώτα να βρούμε σε ποιο τεταρτημόριο του τριγωνομετρικού κύκλου βρίσκετε η γωνία και μετά να κάνουμε την ανάλογη πράξη. Τέλος το αποτέλεσμα που θα μας δώσει θα είναι η κλίση που θα πρέπει να πάρει το πλοίο για να μπορέσει να φτάσει στον προορισμό του.



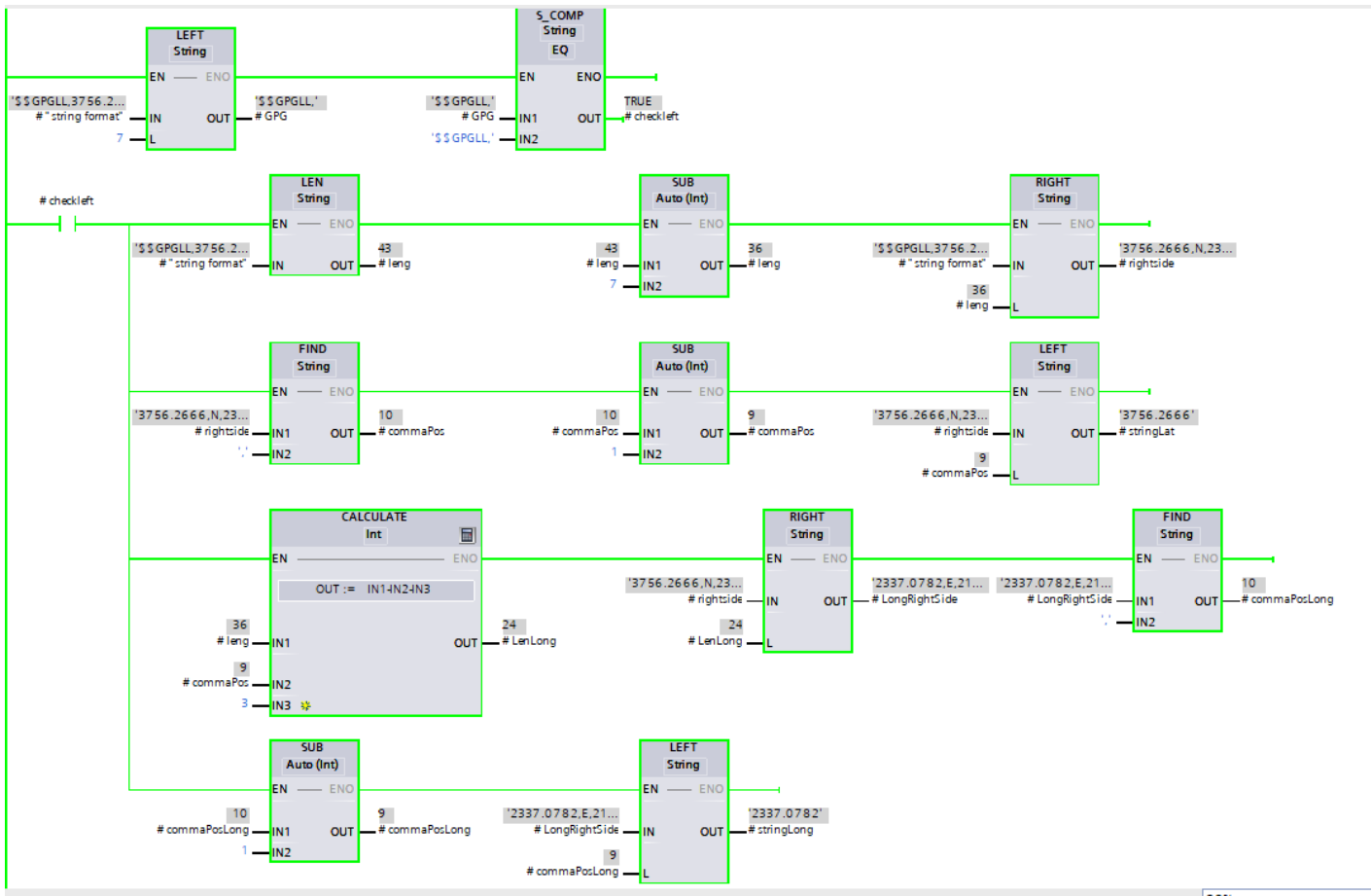
Εικόνα 6.9 - Software screenshot δ.

- Το επόμενο FB που θα δούμε το έχουμε ονομάσει *GyroDecoding* είναι επίσης ένα από τα βασικότερα στο πρόγραμμα. Διότι, η λειτουργία του είναι να παίρνει τα δεδομένα (heading) από τη γυροπυξίδα, μέσω του πρωτόκολλο RS 232, που είναι σε μορφή String και να τα μεταφράζει σε LReal για να μπορεί να γίνει ο σύγκριση των θέσεων με το bearing και heading. Αρχικά, έχουμε σαν είσοδο τα δεδομένα από τη γυροπυξίδα που είναι σε μορφή string, ελέγχουμε τους πρώτους 7 χαρακτήρες να είναι στην σωστή μορφή “\$\$\*\*HDT,”. Αφού επαληθευτή, τότε χωρίζουμε το string σε δυο κομμάτια αφαιρώντας το μπροστά μέρος που είναι το “\$\$\*\*HDT” και στη συνέχεια ψάχνουμε το επόμενο “,” για να αφαιρέσουμε τα περιττά δεδομένα. Έτσι κρατάμε μόνο την τιμή του HDT που είναι η γωνία του heading μας. Τέλος, μετατρέπουμε το κομμάτι που μας έμεινε από το string σε LReal και το αποθηκεύουμε σε μια μεταβλητή “RealCompass” που είναι Global Memory για να μπορούμε να την χρησιμοποιούμε όπου μας χρειαστεί. Να σημειωθεί ότι αυτό το FB είναι σχεδιασμένο για να αποκωδικοποιεί το format της συγκεκριμένη γυροπυξίδα.



Εικόνα 6.10 - Software screenshot ε

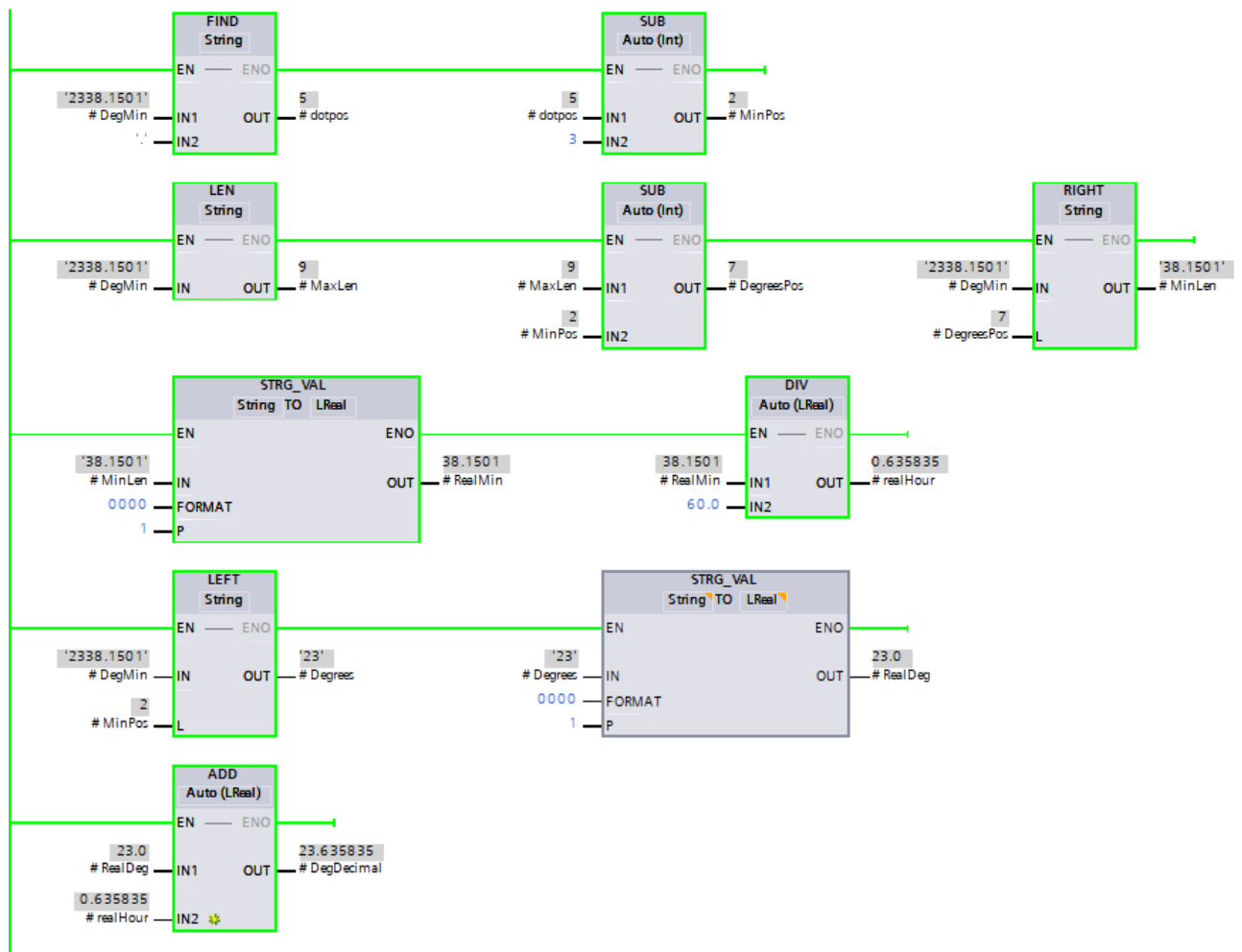
- Αντίστοιχα το επόμενο FB που ονομάζεται *GPSDecoding* κάνει την ίδια διαδικασία για το GPS. Επειδή, όμως θέλουμε διαφορετικά δεδομένα από το GPS, Longitude και Latitude, οι προτάσεις θα ξεκινάνε με το “\$\$GPGLL” και θα χρειαστεί να τραβάμε δυο δεδομένα από αυτές. Αυτό επιτυγχάνεται με τον χωρισμό της πρότασης σε κομμάτια, αφού εντοπίσουμε που βρίσκετε το πρώτο δεδομένο (Latitude) με τον ίδιο τρόπο όπως στο *GyroDecoding*. Έπειτα, κόβουμε την πρόταση τρία στοιχεία μετά το κόμμα, διότι γνωρίζουμε ακριβώς την μορφή της, και βρίσκουμε το επόμενο κόμμα που σημαδεύει το τέλος του δεύτερου δεδομένου (Longitude) που χρειαζόμαστε. Τέλος, τα δεδομένα μας είναι ακόμα σε μορφή string καθώς θα χρειαστεί να γίνει μετατροπή μονάδων από μίρες/λεπτά σε μίρες/δεκαδικά.



Εικόνα 6.11 - Software screenshot στ

- Στην συνέχεια έχουμε το FB που ονομάζεται *Converter*. Σε αυτό θα έχουμε ως είσοδο το Longitude ή το Latitude από το GPS σε μορφή string και θα γίνεται η μετατροπή τους σε LReal με μονάδα μέτρησης μοίρες/δεκαδικά. Τα δεδομένα μέσα στο string είναι σε μονάδα μοίρες/λεπτά “ggmm.mmm” π.χ. το “2338.1501” είναι 23° και 38,1501’, ενώ σε μοίρες/δεκαδικά θα είναι 23,635835°. Όπως φαίνεται στο format θα χρειαστεί να κάνουμε split το string, δυο θέσεις αριστερά από την τελεία, σε δυο μέρη (τις μοίρες και τα λεπτά) και στους αλλάζουμε μορφή από string σε LReal. Έπειτα μετατρέπουμε τα λεπτά σε δεκαδική μορφή των μοιρών διαιρώντας τα με το 60 και τέλος θα προσθέσουμε τους δυο αριθμούς στην τελική τους μορφή.





Εικόνα 6.12 - Software Screenshot ζ

- Το τελευταίο FB από το οποίο αποτελείται το πρόγραμμα, είναι και το βασικότερο για την λειτουργία του πειράματος. Ονομάζεται *GPS Simulation* και είναι το κομμάτι του προγράμματος που είναι υπεύθυνο για την προσομοίωση της κίνησης και της ταχύτητας του πλοίου. Αυτό το FB είναι γραμμένο σε SCL, καθώς σε αυτήν είναι πιο εύκολο να διαχειριστούν οι πίνακες με τα δεδομένα του GPS και του gyrocompass. Αρχικά θέτουμε τρεις τιμές, τα “x, i, j”, το “x” είναι ο παράμετρος που θα χρησιμοποιήσουμε για να βγούμε από το while loop, ενώ τα “i και j” είναι οι δείκτες που θα χρησιμοποιήσουμε για να τραβάμε στοιχεία από τους πίνακες των δεδομένων.

Το “i” έχει εμβέλεια τιμών από 0 έως 69, καθώς η προσομοίωση του πλοίου θα γίνει σε 70 διαφορετικές θέσεις. Το “j” από την άλλη έχει εμβέλεια τιμών από το 1 έως το 7, αφού είναι ο δείκτης για τον πίνακα που έχει τις τιμές της επιθυμητής διαδρομής. Έπειτα, το πρόγραμμα μπαίνει σε μια while loop όπου καλώντας τα *GPSDecoding & GyroDecoding* αποκωδικοποιεί τα δεδομένα που παίρνει από τους πίνακες δεδομένων του GPS και Gyrocompass.

Στη συνέχεια, καλούμε τον *Converter* δυο φορές, μια για το Latitude και μια για το Longitude, και αποθηκεύουνε τις εξόδους στις ανάλογες μεταβλητές (*SimulationRealLat* και *SimulationRealLong* αντίστοιχα). Αφού ολοκληρωθούν τα παραπάνω, αποθηκεύουμε τις συντεταγμένες από το επόμενο επιθυμητό σημείο της διαδρομής σε δυο μεταβλητές

(CourseLong και CourseLat) και καλούμε το *Bearing*, για να υπολογίσει την κλίση που θα πρέπει να έχει το πλοίο, ώστε να φτάσει στον προορισμό του με βάση την παρούσα θέση του. Έπειτα, ελέγχουμε εάν υπάρχει διαφορά αναμεταξύ του DesiredBearing και του RealCompass και την αποθηκεύουμε σε μια μεταβλητή Global Memory (HeadingError). Τέλος, κάθε δυο δευτερόλεπτα το *i* μεταβάλλεται για να μιμηθεί την κίνηση του

πλοίου και όταν το πλοίο φτάσει στο επιθυμητό σημείο θα αλλάξει και το *j* για να κατευθυνθεί προς τον επόμενο προορισμό.

```

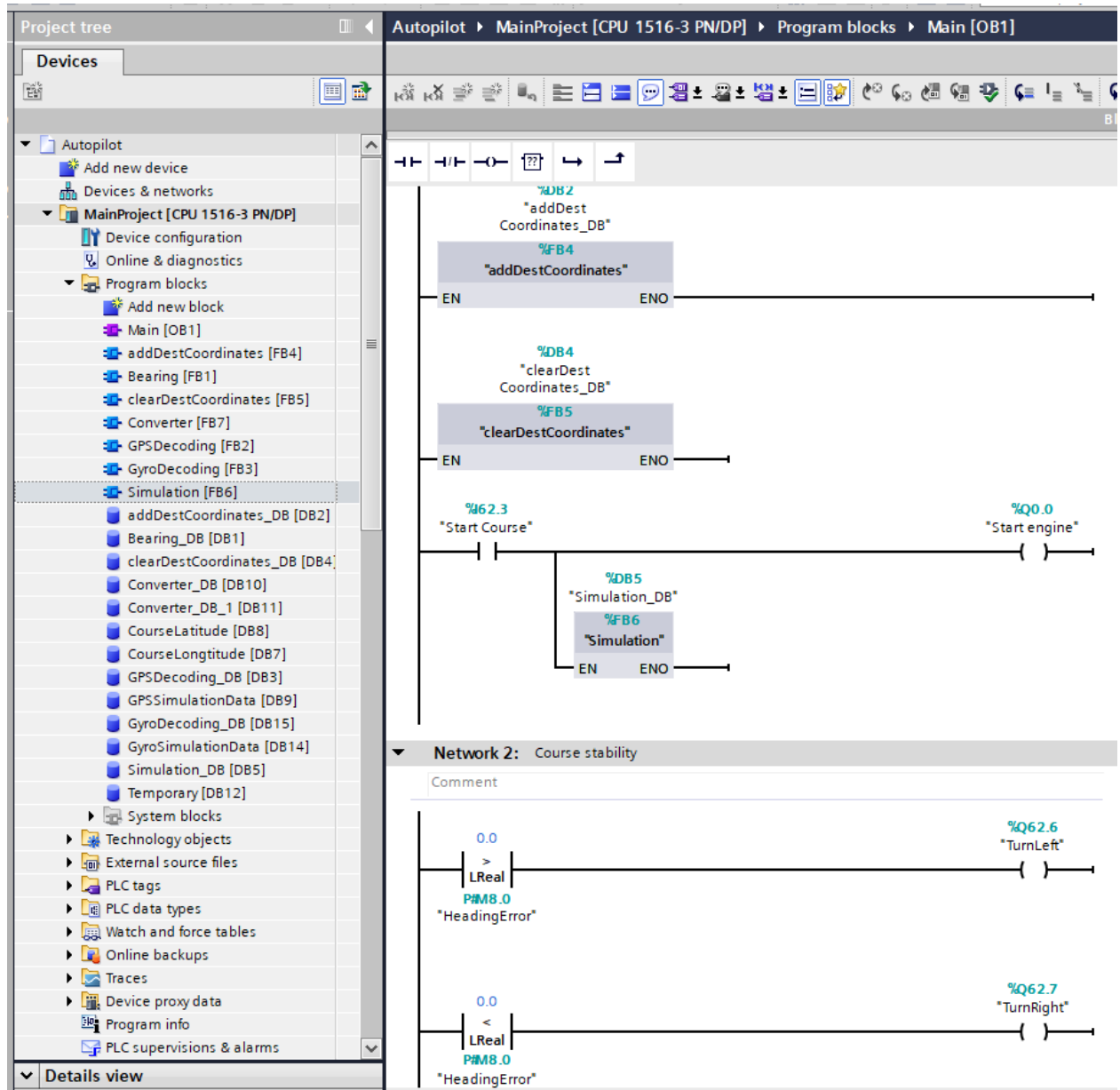
1  #x := TRUE;
2  #i := 0;
3  #j := 1;
4  WHILE #x DO
5
6      "GPSDecoding_DB"("string format":="GPSSimulationData"."THIS"[#i],
7                      stringLat=>#SimulationStringLat,
8                      stringLong=>#SimulationStringLong);
9      "GyroDecoding_DB"("GyroSimulationData"."THIS"[#i]);
10
11     "Converter_DB"(DegMin:=#SimulationStringLat,
12                  DegDecimal=>#SimulationRealLat);
13     "Converter_DB_1"(DegMin := #SimulationStringLong,
14                    DegDecimal => #SimulationRealLong);
15
16     #CourseLong := "CourseLongitude"."THIS"[#j];
17     #CourseLat := "CourseLatitude"."THIS"[#j];
18
19     "Bearing_DB"(longDest:=#CourseLong,
20                 longOri:=#SimulationRealLong,
21                 latOri:=#SimulationRealLat,
22                 latDest:=#CourseLat,
23                 Compassrad=>#DesiredBearing);
24
25     "HeadingError" := #DesiredBearing - "RealCompass";
26
27     "Timer".TONR(IN:=#t,
28                R:=#TimeReset,
29                PT:=T#2s,
30                Q=>#SimulationTime);
31
32     IF #SimulationTime THEN
33         IF (#i + 1) MOD 10 = 0 THEN
34             #j := #j + 1;
35             END_IF;
36             #i := #i + 1;
37             #TimeReset := FALSE;
38             IF #i = 69 THEN
39                 #x := FALSE;
40             END_IF;
41         END_IF;
42     END_WHILE;

```

Εικόνα 6.13 – Simulation

## II. Main

Τέλος, στην *Main* καλούνται τα τρία FB (*addDestCoordinates*, *clearDestCoordinates* και *Simulation*). Οι *addDestCoordinates* & *clearDestCoordinates* λειτουργούν συνεχώς από την στιγμή που θα ανοίξει το PLC. Ενώ το *Simulation* ενεργοποιείται, μαζί με τους κινητήρες, μόλις πατηθεί το *Start Course* στο HMI. Και στη συνέχεια, αφού γίνουν όλοι οι υπολογισμοί μέσα στα FB, ελέγχουμε στην *Main* εάν υπάρχει ανεπιθύμητη μετατόπιση στο πλοίο και την διορθώνουμε ανάλογα κατευθύνοντας τους κινητήρες προς την φορά που θέλουμε.



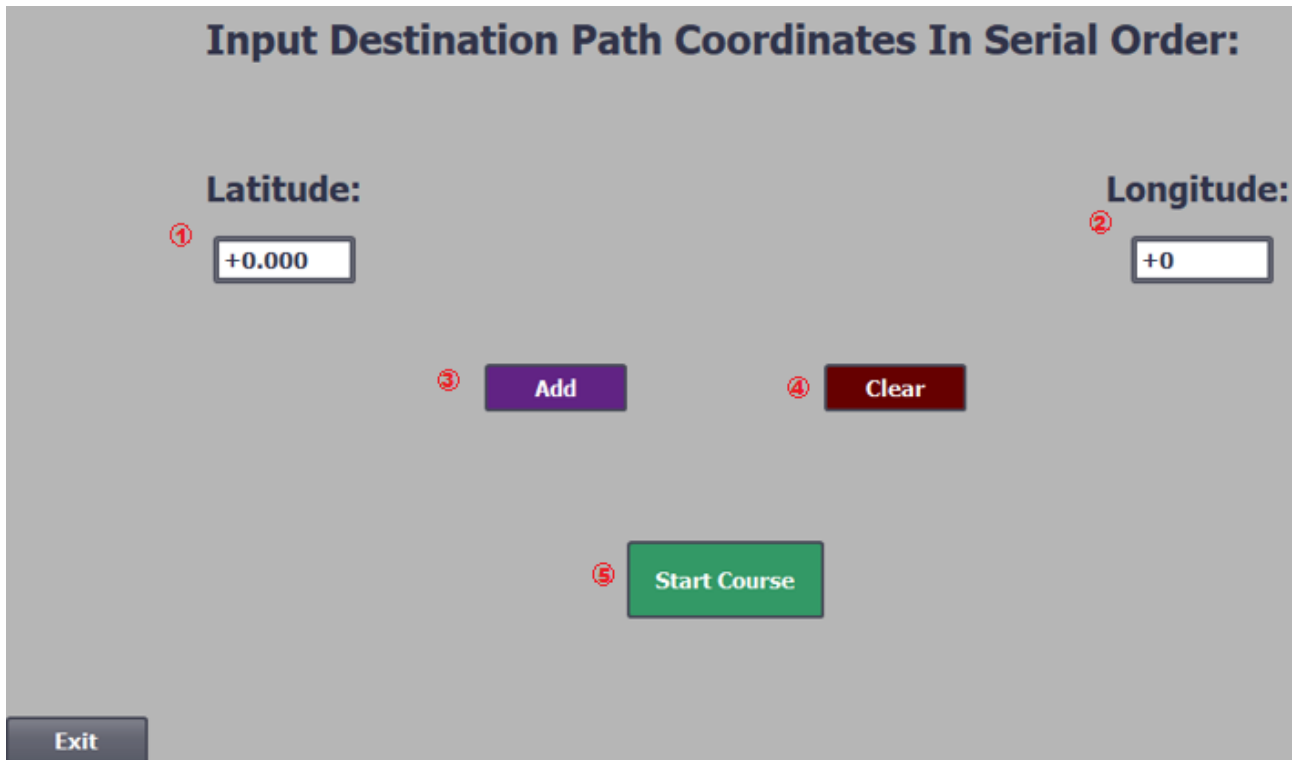
Εικόνα 6.14 Main Program

ο Περιγραφή frontend (HMI)

Το HMI είναι κομμάτι του προγράμματος που βλέπει και συναναστρέφεται ο χρήστης. Αποτελείτε από δυο διαφορετικά Screens, όπου στο πρώτο screen μπορεί να εισάγει τις συντεταγμένες της επιθυμητής διαδρομής. Για να το κάνει αυτό θα πρέπει να εισάγει το longitude και latitude, κάθε σημείου, στο κενό που ενδείκνυται για το καθένα και μετά να πατήσει το button “add”. Αφού έχει τελειώσει την διαδικασία “διαμόρφωσης διαδρομής” πρέπει να πατήσει το button “Start Course” για να ξεκινήσει το πλοίο την διαδρομή του.

Έπειτα τον μεταφέρει στο δεύτερο screen, όπου εκεί θα του δείχνει αναλυτικά την πορεία του πλοίου στο χάρτη και που βρίσκετε αυτή τη στιγμή. Θα μπορεί να δει τις συντεταγμένες του επόμενου σημείου της διαδρομής, το heading που έχει, τις ακριβείς συντεταγμένες του πλοίου, καθώς και την λειτουργία των κινητήρων και προς τα ποια πλευρά στρίβει.

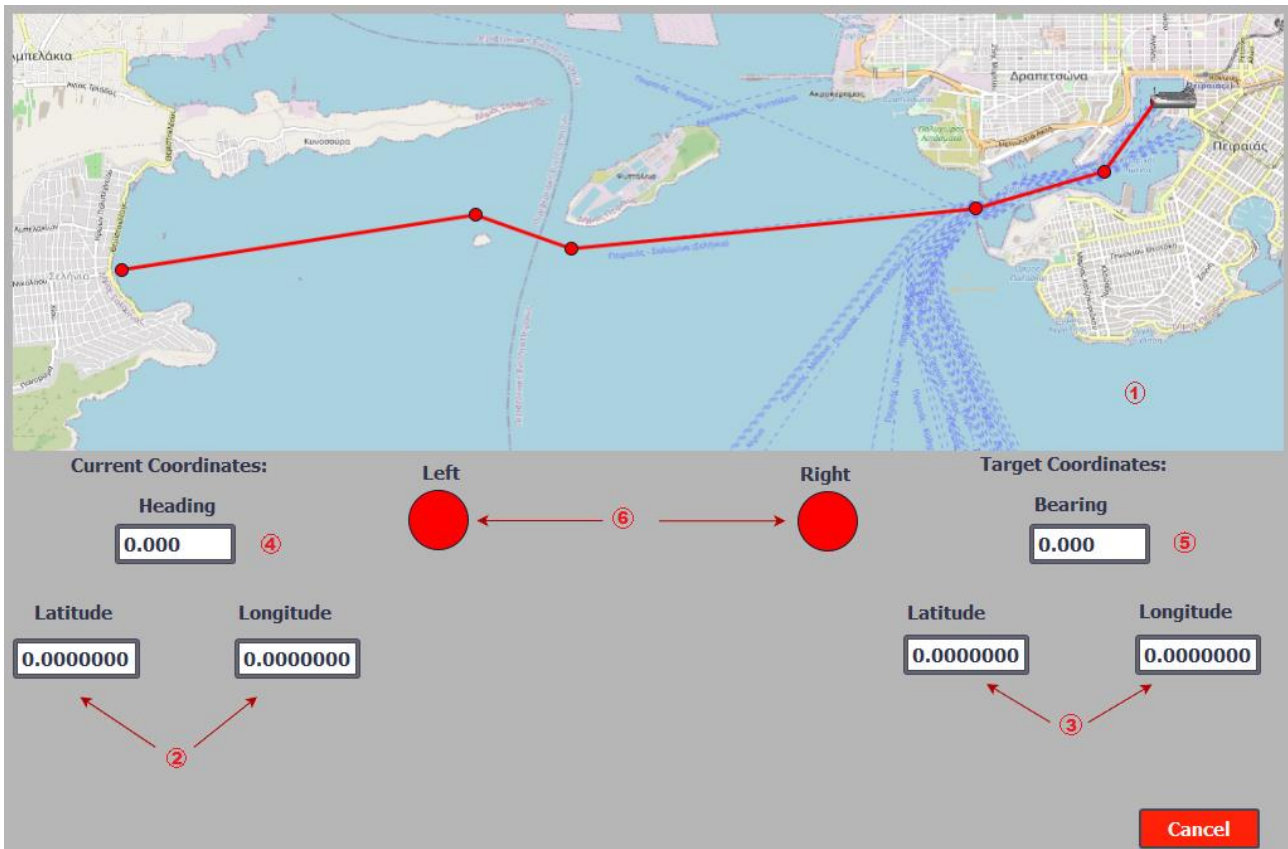
I. Main Screen



Εικόνα 6.15 - Αρχική οθόνη

1. Πλαίσιο εισαγωγής δεδομένων για το Latitude του επιθυμητού σημείου.
2. Πλαίσιο εισαγωγής δεδομένων για το Longitude του επιθυμητού σημείου.
3. Κουμπί προσθήκης σημείου στη διαδρομή.
4. Κουμπί εκκαθαρισμού της υπάρχουσας διαδρομής.
5. Κουμπί εκκίνησης διαδρομής.

## II. Course Map



Εικόνα 6.16 - Οθόνη λειτουργίας Autopilot

1. Χάρτης που αναδεικνύεται η διαδρομή με την ακριβή θέση του πλοίου.
2. Πλαίσιο εμφάνισης συντεταγμένων από την θέση του πλοίου.
3. Πλαίσιο εμφάνισης συντεταγμένων επόμενου προορισμού.
4. Πλαίσιο εμφάνισης heading σε μοίρες.
5. Πλαίσιο εμφάνισης bearing σε μοίρες.
6. Led ενδείξεις προς τα που κίνησης κινητήρων αριστερά ή δεξιά.

## **7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

### **7.1 Συμπεράσματα θεωρητικού μέρους**

Στο θεωρητικό κομμάτι αυτής της διπλωματικής είδαμε την ιστορική ανάπτυξη των συστημάτων πλοήγησης στον ναυτιλιακό τομέα και πως εξελίχθηκαν με βάση τα προβλήματα και τις ανάγκες που είχε ο άνθρωπος κατά το πέρασμα των αιώνων. Έτσι μπορέσαμε να κατανοήσουμε καλύτερα τα προβλήματα και τις απαιτήσεις που υπήρχαν στο παρελθόν και πως αυτά οδήγησαν στην εξέλιξη του σήμερα.

Ξεκινώντας από απλά πλοία που ταξίδευαν με κουπιά και προσανατολιζόντουσαν με αστρικούς χάρτες προορισμένα για μικρά ταξίδια, φτάνοντας στο σημείο που βρίσκονται σήμερα, να ταξιδεύουν με κρουαζιερόπλοια που λειτουργούν με κινητήρες, προσανατολίζονται με GPS και γυροπυξίδες υψίστης τεχνολογίας και πλοηγούνται με αυτομάτους πιλότους κάνοντας υπερωκεάνια ταξίδια. Μέθοδοι και όργανα ορισμού θέσης, όπως είναι η πυξίδα και οι ναυτικοί χάρτες, αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο στη λειτουργία μοντέρνων συστημάτων όπως το GPS και το σύστημα ECDIS.

Όλα τα παραπάνω συνέβαλαν στην κατασκευή ενός ιστορικού ώστε να είναι πιο ομαλή η κατανόηση του αυτομάτου πιλότου και της λειτουργίας του. Καταμετρήθηκαν οι τύποι των αυτομάτων πιλοτών για ιστιοφόρα και μηχανοκίνητα σκάφη, αναλύθηκε η δομή και λειτουργία των εξαρτημάτων από τα οποία αποτελούνται καθώς και τα συστήματα ελέγχου που χρησιμοποιούνται σε αυτούς, για να μπορέσουμε να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα στο τι είναι ο αυτόματος πιλότος και να δημιουργήσουμε το μοντέλο προσομοίωσης.

### **7.2 Συμπεράσματα τεχνικού μέρους**

Στο τεχνικό κομμάτι της εργασίας αναλύθηκε ο σχεδιασμός ενός μοντέλου προσομοίωσης αυτόματου πιλότου για πλοία. Είδαμε ποια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά από τα όργανα που διαλέξαμε για να λειτουργεί σωστά το σύστημα μας. Πώς μπορεί το κεντρικό πρόγραμμα να τραβήξει τα δεδομένα που χρειάζεται από κάθε αισθητήρα ξεχωριστά, καθώς και πως να τα χρησιμοποιεί για να διατηρεί σταθερή πορεία.

Το πρόγραμμα που υλοποιήθηκε είχε ως σκοπό να δείξει πως λειτουργεί ένα απλό σύστημα αυτόματου πιλότου σε προσομοίωση. Είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο και έχει περιορισμένες λειτουργίες, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει πως δεν έχει προοπτικές βελτίωσης και ανάπτυξης.

### **7.3 Γενικά Συμπεράσματα της διπλωματικής**

Βασικό συμπέρασμά που καταλήγουμε είναι ότι, με την εξέλιξη της τεχνολογίας, εξελίχθηκαν και τα συστήματα πλοήγησης με αποτέλεσμα να έχουν πολλές περισσότερες δυνατότητες που δεν ήταν εφικτές στο παρελθόν, κάνοντάς έτσι τα ταξίδια πιο ασφαλή ειδικά σε άγνωστές για τον άνθρωπο γενικά, στο παρελθόν διαδρομές, και στους καπετάνιους σήμερα και καιρικές συνθήκες.

### **7.4 Future work**

Ο αυτόματος πιλότος είναι ένα σύστημα το οποίο θα εξετάζεται και θα βελτιώνεται συνεχώς, όπως και το λογισμικό του. Στην περίπτωση του λογισμικού αυτής της διπλωματικής, θα μπορούσαν να υλοποιηθούν πολλαπλές εφαρμογές για την ανάπτυξη του. Ένα κομμάτι μεγάλης σημασίας είναι η ασφάλεια του πληρώματος και του φορτιού. Στο μέλλον πρόκειται να προστεθούν συστήματα

*Συστήματα οδήγησης (Autopilot) για σκάφη με PLC*

ασφάλειάς στην επιλογή της διαδρομής, error feedback για την κατάσταση των κινητήρων καθώς και αισθητήρες ραντάρ για τον έλεγχο πιθανά επικίνδυνων αντικειμένων κοντά στην περιφέρεια του σκάφους.



## Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

- [1] Britannica, "History of Ships," [Online]. Available: <https://www.britannica.com/technology/ship/Sailing-ships>.
- [2] Noesis, "Τριήρης," [Online]. Available: <http://archive.noesis.edu.gr/repository/handle/11609/001-01984.html>.
- [3] historical-quest, «Τριήρης - ο πρωταγωνιστής του αρχαίου ελληνικού ναυτικού,» 2013. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.historical-quest.com/arxeio/arxaia-istoria/579-trireme-protagon-ancient-greece.html>.
- [4] TheModelShipwright. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.themodelshipwright.com/high-resolution-ship-plans/oar-powered-vessels/athenian-trireme/>.
- [5] G. Deng, Chinese Maritime Activities and Socioeconomic Development, Greenwood Publishing Group, 1997.
- [6] C. University, «China in 1000 CE,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://afe.easia.columbia.edu/songdynasty-module/tech-compass.html>.
- [7] S. S. B. «Chinese Junk,» 14 September 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://svmshippingblog.wordpress.com/2012/09/14/chinese-junk/>.
- [8] W. Mowett, «Ship's wheel,» 6 July 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://ltwilliammowett.tumblr.com/post/622922490875887616/ships-wheel>.
- [9] KDS444, «Wheel and rudder assembly,» 5 November 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wheel\\_and\\_rudder\\_assembly\\_\(fixed\).gif](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wheel_and_rudder_assembly_(fixed).gif).
- [10] P. K. Allan, «Steering with a Wheel,» October 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.usni.org/magazines/naval-history-magazine/2020/october/steering-wheel>.
- [11] R. Bowie, «Charlotte dundas drawing,» 1883. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Charlotte\\_dundas\\_drawing\\_bowie.jpg?uselang=en-gb](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Charlotte_dundas_drawing_bowie.jpg?uselang=en-gb).
- [12] tynetugs, «TYNE TUGS AND TUG BUILDERS,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.tynetugs.co.uk/eppletonhall1914.html>.
- [13] Britannica, «John Ericsson,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.britannica.com/biography/John-Ericsson#ref110997>.
- [14] C. Ward, «Sail to Steam: A Timeline of the Development of Maritime Steam Power,» 4 January 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.historyhit.com/a-timeline-of-the-development-of-maritime-steam-power/>.

- [15] A. Menon, «Understanding Propeller Hubs – Design, Functioning, and Maintenance,» 6 August 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/understanding-propeller-hubs-design-functioning-and-maintenance/>.
- [16] S. Chakraborty, «How Does A Rudder Help In Turning A Ship?,» 13 August 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/rudder-ship-turning/>.
- [17] wikiwand, «Propeller walk,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.wikiwand.com/en/Propeller\\_walk](https://www.wikiwand.com/en/Propeller_walk).
- [18] Tompkins, Marine Engineering, 2010.
- [19] A.-S. T. Hussain, «Auto Pilot Ship Heading Angle Control Using Adaptive Control Algorithm,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/9375/2e8862eccabd8fac10ca70ab10ce21bb6df4.pdf>.
- [20] Raunek, «10 Things to Consider While Using Auto-Pilot System on Ships,» 12 August 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.marineinsight.com/marine-navigation/10-things-to-consider-while-using-auto-pilot-system-on-ships/>.
- [21] L. Davidson, «History HIT,» 03 Mar 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.historyhit.com/how-celestial-navigation-changed-maritime-history/>.
- [22] «Mariner's Astrolabe,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://timeandnavigation.si.edu/multimedia-asset/mariners-astrolabe>.
- [23] Royal Museums Greenwich, «What is a mariner's astrolabe?,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.rmg.co.uk/stories/topics/what-mariners-astrolabe#:~:text=The%20mariner%27s%20astrolabe%20was%20a,in%20navigation%20by%20about%201470>.
- [24] «Marine Sextant,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://owaysonline.com/marine-sextant/>.
- [25] «e-Nautilia,» 20 11 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://e-nautilia.gr/blog-post\\_9778/](https://e-nautilia.gr/blog-post_9778/).
- [26] Y. Lu, «A History of Chinese Science and Technology: Volume 3,» 20 Oct 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://books.google.fr/books?id=Js\\_IBAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false](https://books.google.fr/books?id=Js_IBAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false).
- [27] Britannica, «The magnetic compass,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.britannica.com/technology/navigation-technology/The-magnetic-compass>.
- [28] National Geographic, «Compass,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://education.nationalgeographic.org/resource/compass/>.
- [29] Britannica, «gyrocompass - navigational instrument,» [Ηλεκτρονικό].
- [30] Y. Bai και Q. Bai, Subsea Engineering Handbook, 2018, pp. 941-945.

- [31] National Ocean Service, «What is a nautical chart?,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://oceanservice.noaa.gov/facts/nautical\\_chart.html](https://oceanservice.noaa.gov/facts/nautical_chart.html).
- [32] The Map As History, «The age of Discovery (part 1),» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.the-map-as-history.com/Age-of-Discovery>.
- [33] A. Tikkanen, «Britannica-Portolan chart,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.britannica.com/technology/portolan-chart>.
- [34] P.D.A.Harvey, «British Library,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.bl.uk/picturing-places/articles/portolan-charts-before-1400>.
- [35] Gallica Digital Library, «World History Encyclopedia,» 09 Oct 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.worldhistory.org/image/12877/15-century-ce-nautical-map/>.
- [36] American Nautical Services, «Instruments and Accessories,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.amnautical.com/pages/instruments-accessories>.
- [37] AMERICAN NAUTICAL SERVICES, «What is an ECDIS And How It Works,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.amnautical.com/blogs/news/what-is-an-ecdis-all-about-the-electronic-chart-display-and-information-system>.
- [38] Martek, «ECDIS,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.martek-marine.com/ecdis/>.
- [39] Federal Aviation Administration, «Satellite Navigation - Global Positioning System (GPS),» 27 Dec 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/techops/navservices/gnss/gps#](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps#).
- [40] C. Navigation, «How Does Marine GPS Work?,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://casualnavigation.com/how-does-marine-gps-work/>.
- [41] Cambridge, «Meaning of autopilot in English,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/autopilot>.
- [42] getmyboat, «Autopilot Systems on Boats,» 6 December 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.getmyboat.com/journal/how-to/autopilot-systems-on-boats/#:~:text=How%20Boat%20Autopilots%20Work,and%20the%20autopilot%20takes%20over>.
- [43] simrad-yachting, "Autopilots," [Online]. Available: <https://www.simrad-yachting.com/world-of-simrad/inspiration/autopilots/#:~:text=An%20autopilot%20looks%20after%20accurate,a%20collision%20with%20another%20vessel>.
- [44] marineprofessionals, «Autopilot: More Useful Than You think,» 4 September 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://marineprofessionals.com/autopilot-more-useful-than-you-think/>.
- [45] T. Burden, «Selecting an Autopilot,» 5 January 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.westmarine.com/west-advisor/Selecting-an-Autopilot.html>.

- [46] yachting, «Autopilots for sailboats,» 7 July 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.yachting.com/en-gb/pos/autopilots-for-sailboats-enhancing-navigation-and-seamanship>.
- [47] M. C, «6 Best Sailboat Autopilot Systems,» 1 May 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://mycruiserlife.com/sail-boat-auto-pilot/>.
- [48] M. Nannini, «Windvane pilots vs electric autopilots: all you need to know,» 9 May 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://globalsolochallenge.com/windvane-autopilot/>.
- [49] Frances, «How Does A Tiller Pilot Work,» 9 December 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.atlas-blue.com/how-does-a-tiller-pilot-work/>.
- [50] pelagicautopilot, «Standard Pelagic Autopilot System for Tiller Steered Vessels,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://pelagicautopilot.com/products/pelagic-autopilot-system-with-tiller-actuator>.
- [51] Patrick, «Technical Series: DIY Install of a Below-decks Autopilot in a Tight Space (C&C Landfall 38), Part 1 of 3,» 13 May 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://svviolethour.com/2019/05/13/technical-series-diy-install-of-a-below-decks-autopilot-in-a-tight-space-cc-landfall-38-part-1-of-3/#:~:text=Below%2DDecks%20Autopilots%20%E2%80%93%20How%20They,point%20around%20the%20rudder%20shaft>.
- [52] P. Davin, «Autocorrect,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://goodoldboat.com/autopilot-installation/>.
- [53] Moradi και Katebi, «Predictive PID Control for Ship Autopilot Design,» *IFAC Proceedings Volume 34*, pp. 375-380, July 2001.
- [54] knowledgeofsea, «Autopilot,» 6 April 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://knowledgeofsea.com/autopilot/>.
- [55] R. E. Reid και C. R. Wesner, «Adaptive autopilot for marine vessels». USA Ευρεσιτεχνία US4074648A, 1976.
- [56] J. V. Amerongen, «Adaptive Steering Of Ships - A Model Reference Approach,» *Automatica Vol. 20*, pp. 3-14, 1984.
- [57] lehman, «Three Dimensional Rotations and Gyroscopes,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.lehman.edu/faculty/anchordoqui/chapter22.pdf>.
- [58] knowledgeofsea, «Doppler Log,» 5 April 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://knowledgeofsea.com/doppler-log/>.
- [59] jrc, «Speed Log JLN-900,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.jrc.co.jp/en/product/jln900>.
- [60] globalspec, «Speed Logs Information,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.globalspec.com/learnmore/specialized\\_industrial\\_products/transportation\\_products/speed\\_logs](https://www.globalspec.com/learnmore/specialized_industrial_products/transportation_products/speed_logs).

- [61] R. Jassal, «Here is all you need to know about Dopple Log,» 27 February 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.myseatime.com/blog/detail/here-is-all-you-need-to-know-about-doppler-log>.
- [62] turito, «Anemometer – Definition and Effects on Icing,» 10 August 2022. [Ηλεκτρονικό].
- [63] Henry, «Introduction to Cup Anemometer,» 30 January 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.theengineeringknowledge.com/introduction-to-cup-anemometer/>.
- [64] «Ultrasonic Anemometer 3D,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.biral.com/product/ultrasonic-anemometer-3d-4-3830-20-340/#product-overview>.
- [65] C. Vuye, «Measurement principle of the sonic anemometer.,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/Measurement-principle-of-the-sonic-anemometer\\_fig39\\_332963587](https://www.researchgate.net/figure/Measurement-principle-of-the-sonic-anemometer_fig39_332963587).
- [66] S. Bhatta, «Hot Wire Anemometer,» 19 August 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://circuitglobe.com/hot-wire-anemometer.html>.
- [67] circuitglobe, « Hot Wire Anemometer,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://circuitglobe.com/hot-wire-anemometer.html>.
- [68] omega, «An Introduction to Pitot Tubes and Probes,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.omega.com/en-us/resources/pitot-tube>.
- [69] SonnyT, «Pitot tube,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.formula1-dictionary.net/pitot\\_tube.html](https://www.formula1-dictionary.net/pitot_tube.html).
- [70] Britannica, «depth finder - measurement device,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.britannica.com/technology/depth-finder>.
- [71] americanoceans, «What Is Sonar?,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.americanoceans.org/facts/what-is-sonar/>.
- [72] dosits, «How is sound used to find objects on the ocean bottom?,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://dosits.org/people-and-sound/navigation/how-is-sound-used-to-find-objects-on-the-ocean-bottom/>.
- [73] M. Moses, «Active vs. Passive Sonar: Unveiling the Depths,» 14 June 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://lidarandradar.com/active-vs-passive-sonar/>.
- [74] F. Dumortier. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/a-Passive-Sonar-b-Active-Sonar\\_fig46\\_360725719](https://www.researchgate.net/figure/a-Passive-Sonar-b-Active-Sonar_fig46_360725719).
- [75] KaranC, «What are Actuators and Different Types of Actuators Used on Ships,» 4 April 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.marineinsight.com/tech/what-are-actuators-and-different-types-of-actuators-used-on-ships/#:~:text=There%20are%20three%20main%20systems,mechanisms%20of%20any%20marine%20machinery..>

- [76] F. Sargeant, «Choosing An Autopilot, Part 2: What's Right for Your Boat?,» 8 April 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://boattest.com/article/choosing-autopilot-part-2-whats-right-your-boat>.
- [77] instrumentationtools, «Components of PLC,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://instrumentationtools.com/components-of-plc/?utm\\_content=cmp-true](https://instrumentationtools.com/components-of-plc/?utm_content=cmp-true).
- [78] vogel, «Die Geschichte der Automatisierung: Mit zündenden Ideen in die Zukunft,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.elektrotechnik.vogel.de/die-geschichte-der-automatisierung-mit-zuendenden-ideen-in-die-zukunft-gal-736560/?p=4#gallerydetail>.
- [79] «Ship PLC and its application.,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/Ship-PLC-and-its-application\\_fig1\\_325510466](https://www.researchgate.net/figure/Ship-PLC-and-its-application_fig1_325510466).
- [80] «The Architecture of the Automatic Ship Loader,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/The-Architecture-of-the-Automatic-Ship-Loader-As-shown-in-Figure-3-the-LMSes-are\\_fig5\\_274479698](https://www.researchgate.net/figure/The-Architecture-of-the-Automatic-Ship-Loader-As-shown-in-Figure-3-the-LMSes-are_fig5_274479698).
- [81] furuno, «4.3" GPS NAVIGATOR,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.furuno.com/en/products/chartplotter/GP-33>.
- [82] Momentum, «What is a hydraulic cylinder?,» 13 August 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.yatesind.com/what-is-a-hydraulic-cylinder>.
- [83] findcontrols, «Siemens Simatic S7-1500 CPU,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://findcontrols.com/products/6es7516-3an01-0ab0-siemens-simatic-s7-1500-cpu-1516-3-pn-dp-repair-service>.
- [84] P. Annis, «Sailing Autopilot Systems - The Key Components,» 30 October 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.yachtsandyachting.com/news/232783/Sailing-Autopilot-Components>.
- [85] Britannica, «gyrocompass - navigational instrument,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.britannica.com/technology/gyrocompass>.
- [86] casualnavigation, «How Does Marine GPS Work?,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://casualnavigation.com/how-does-marine-gps-work/>.
- [87] agmarine, «CMZ900D GYROCOMPASS,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.agmarine.com/pdf/GS-CMZ900D-E-1st.pdf>.
- [88] radioholland, «CMZ900 Gyrocompass,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.radioholland.com/product/cmz900-gyrocompass/>.
- [89] indiamart, «SIEMENS SIMATIC HMI KTP1200 BASIC PN, 12 Inch,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/siemens-simatic-hmi-ktp1200-basic-pn-25398655512.html>.