

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**



ΔΠΜΣ

Διοίκηση στη Ναυτική Επιστήμη και Τεχνολογία

Διπλωματική Εργασία

**“Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία και η
Εφαρμογή τους στην Αγορά”**

“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”

“ΜΝΣΝΔ 22033”

Επιβλέπων:

“Βαζούρας Χρήστος”

Πειραιάς

“Απρίλιος” “2024”

ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ / ΖΗΤΗΜΑΤΑ COPYRIGHT

Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στην βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός, μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός), της φύσης του υλικού που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες ή χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας των πιθανών συνεπειών αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου.

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΜΕΛΟΣ Α΄: ΒΑΖΟΥΡΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑΣ), ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Σ.Ν.Δ.

ΜΕΛΟΣ Β΄: ΦΑΦΑΛΙΟΣ Μ., ΟΜΟΤΙΜΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Σ.Ν.Δ.

ΜΕΛΟΣ Γ΄: ΤΣΙΓΚΟΠΟΥΛΟΣ Α., ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Σ.Ν.Δ.



Περίληψη

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στα τεχνικά στοιχεία των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων (USV) και στην εφαρμογή τους στην αγορά. Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο δίνονται πληροφορίες για τα μη επανδρωμένα πλωτά οχήματα, αυτά δηλαδή που λειτουργούν είτε αυτόνομα είτε με απομακρισμένο τηλεχειρισμό καθώς και για το θεσμικό περιβάλλον που τα περικλείει. Αναφέρεται επίσης η ανάπτυξη και η εξέλιξή τους από το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο μέχρι και σήμερα ενώ διακρίνονται και τα είδη τους ως προς τη λειτουργία που μπορεί αυτά να έχουν (π.χ. ωκεανογραφία, στρατιωτικές εφαρμογές, εμπορικές μεταφορές). Στην συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο, αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των USV, τόσο εξωτερικά ως προς την δομή και το υλικό κατασκευής του κύτους, όσο και εσωτερικά ως προς τα λειτουργικά τους συστήματα με ιδιαίτερη αναφορά στα συστήματα πρόωσης και ισχύος, κατεύθυνσης, πλοήγησης και ελέγχου. Τέλος, στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων στην αγορά σε παγκόσμιο επίπεδο. Συγκεκριμένα αναφέρεται η τμηματοποίηση της αγοράς των USV ανά εφαρμογή, ανά τρόπο λειτουργίας καθώς και ανά μέγεθος και περιοχή. Παρουσιάζεται επίσης η τοπική ανάλυση της αγοράς των USV αλλά και η δυναμική της αγοράς τους σε παγκόσμιο επίπεδο, με έμφαση στα κίνητρα και τις ευκαιρίες που οδηγούν στην επιλογή της αγοράς των USV καθώς και στις προκλήσεις και τους περιορισμούς που ενέχει αυτή. Ακολουθούν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσης εργασίας, ενώ περιλαμβάνονται και ανάλογα σχήματα και εικόνες με το θέμα.

ABSTRACT

This paper deals with the technical aspects of unmanned surface vehicle (USV) and their market integration. Initially, the first chapter provides information on unmanned surface vehicle, i.e. those that operate either autonomously or by remote control, as well as on the institutional environment surrounding them. Their development and evolution from the Second World War to the present day is also described, and their types are distinguished according to the function they may have (e.g. oceanography, military applications, commercial transport). In the second chapter, the technical characteristics of USVs are analysed, both externally in terms of hull structure and material, and internally in terms of



*“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”*

their functional systems, with particular reference to propulsion and power, direction, navigation and control systems. Finally, the third chapter presents the application of unmanned surface vehicles in the global market. In particular, the segmentation of the USV market by application, by mode of operation as well as by size and region is reported. The local analysis of the USV market and the dynamics of the USV market at the global level are also presented, with a focus on the incentives and opportunities that drive the USV market choice as well as the challenges and constraints involved. The conclusions drawn from the research conducted as part of the research, while figures and illustrations are included with the topic.

Λέξεις – Κλειδιά

USV, Μη επανδρωμένα πλωτά οχήματα, τεχνικά χαρακτηριστικά, αγορά USV



Πίνακας Περιεχομένων

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. Γενικά Στοιχεία Μη Επανδρωμένων Πλωτών Οχημάτων.	1
1.1 Θεσμικό Περιβάλλον	1
1.2 Ανάπτυξη/Εξέλιξη USV	2
1.3 Είδη Ελεγχόμενων και Χειριζόμενων Από Υπολογιστή USV’S	4
1.3.1 Ωκεανογραφία, υδρογραφία και περιβαλλοντική παρακολούθηση.....	4
1.3.2 Στρατιωτικές Εφαρμογές.	6
1.3.3 Φορτηγά πλοία-Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.	6
2. Τεχνικά Στοιχεία USV	8
2.1 Τεχνικές Εκτιμήσεις.....	9
2.2 Δομή & υλικό του κύτους	10
2.3 Σύστημα Πρόωσης & Ισχύος	11
2.4 Σύστημα Κατεύθυνσης.....	12
2.5 Σύστημα Πλοήγησης.....	13
2.6 Σύστημα Ελέγχου	14
3. Εφαρμογή των USV στην Αγορά.....	15
3.1 Τμηματοποίηση Αγοράς USV.....	16
3.1.1 Τμηματοποίηση Ανά Εφαρμογή.....	16
3.1.2 Τμηματοποίηση Ανά Τρόπο Λειτουργίας	17
3.1.3 Τμηματοποίηση Ανά Μέγεθος	18
3.1.4 Τμηματοποίηση Ανά Περιοχή	19
3.2 Τοπική Ανάλυση της Αγοράς των USV.....	20
3.3 Δυναμική της Παγκόσμιας Αγοράς των USV.....	21
3.3.1 Κίνητρα.....	21
3.3.2 Ευκαιρίες.	22
3.3.3 Περιορισμοί/Προκλήσεις.....	22
Αποτελέσματα/Συμπεράσματα.	23
Βιβλιογραφία.....	24



“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”

Πίνακας Σχημάτων

Πίνακας 1 Τμηματοποίηση ανά τρόπο λειτουργίας.....	17
Πίνακας 2 Τμηματοποίηση ανά μέγεθος.	19
Πίνακας 3 Τμηματοποίηση ανά περιοχή.....	20



*“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”*

Εικόνες

Εικόνα 1 SEA - KIT LOGO.....	2
Εικόνα 2 USV κλάσης 12m X	2
Εικόνα 3 SOLEIL VESSEL.....	3
Εικόνα 4 MV Mikage VESSEL	4
Εικόνα 5 C-WORKER 5	6
Εικόνα 6 MV Yara Birkeland	7
Εικόνα 7 Iris Leader.....	8
Εικόνα 8 VN Rebel	8
Εικόνα 9 Catamaran Hull design	10
Εικόνα 10 Monohull design	11



*“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”*

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα μη επανδρωμένο όχημα επιφανείας ή μη επανδρωμένο σκάφος επιφανείας (USV), το οποίο διαφορετικά αποκαλείται drone boat, drone ship ή sea drone, είναι ένα σκάφος ή πλοίο που λειτουργεί στην επιφάνεια του νερού χωρίς πλήρωμα. Τα USV λειτουργούν με διάφορα επίπεδα αυτονομίας, από τηλεχειρισμό έως πλήρως αυτόνομα οχήματα επιφανείας (ASV). Τα οχήματα αυτά είναι εξοπλισμένα με διάφορους αισθητήρες, συστήματα πλοήγησης και συσκευές επικοινωνίας, επιτρέποντάς τους να λειτουργούν αυτόνομα ή να ελέγχονται εξ αποστάσεως από σταθμό στην ξηρά ή από άλλο σκάφος. Τα USVs υπάρχουν σε διάφορα μεγέθη και σχήματα, που εκτείνονται από συμπαγή και ευέλικτα σκάφη μέχρι μεγαλύτερα σκάφη. Η αυξανόμενη σημασία τους σε διάφορους τομείς απορρέει από την αποτελεσματική και οικονομικά αποδοτική λειτουργία τους σε διάφορες θαλάσσιες και ναυτιλιακές εφαρμογές. Τα USV διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην προώθηση της θαλάσσιας επιστήμης, στην ενίσχυση της θαλάσσιας ασφάλειας και στη βελτίωση των εμπορικών δραστηριοτήτων στη θάλασσα. Τα USV χρησιμοποιήθηκαν στρατιωτικά ήδη από τη δεκαετία του 1920 ως τηλεχειριζόμενα σκάφη-στόχοι. Μέχρι τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο χρησιμοποιούνταν επίσης για σκοπούς ναρκαλιευτικών σκαφών. Χρησιμοποιούνται όλο και ευρύτερα τον εικοστό πρώτο αιώνα για διάφορους σκοπούς, όπως ωκεανογραφία και περιβαλλοντική παρακολούθηση, καθώς και για τη μεταφορά φορτίων και στρατιωτικές εφαρμογές. Διερευνώνται επίσης διάφορες άλλες εφαρμογές. Ορισμένα εμπορικά USV μπορούν να χρησιμοποιούν πλοήγηση συμβατή με το COLREGs.

Στην πρώτη ενότητα της παρούσας εργασίας αναφέρονται τα πιο γενικά στοιχεία των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων, όπως το θεσμικό πλαίσιο που τα περικλείει, η εξέλιξη τους και τα είδη των USV που ήδη υπάρχουν ή είναι προς ανάπτυξη.

Στη δεύτερη ενότητα παρουσιάζονται περισσότερο τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά ως προς την κατασκευή τους τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά, δηλαδή την τεχνολογία που τα χαρακτηρίζει και στην τρίτη ενότητα γίνεται αναφορά ως προς την αγορά των USV.



*“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”*

1. Γενικά Στοιχεία Μη Επανδρωμένων Πλωτών Οχημάτων.

1.1 Θεσμικό Περιβάλλον

Το θεσμικό περιβάλλον, που αφορά τις επιχειρήσεις των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων(USV), αλλάζει συνεχώς και με ταχείς ρυθμούς καθώς, με ακόμα πιο γρήγορους ρυθμούς, εξελίσσεται και αναπτύσσεται η τεχνολογία γύρω από τον τομέα του εμπορίου. Σύμφωνα με τις εξελίξεις αυτές η Maritime UK, μέσω της Society of Maritime Industries, δημοσίευσαν τις αρχές συμπεριφοράς και τον κώδικα πρακτικής 2020 (V4) που αφορά τα ναυτιλιακά πλοία επιφανείας που τείνουν να γίνουν αυτόνομα και εκπονήθηκαν από τη βρετανική ομάδα εργασίας για τη ρύθμιση των ναυτιλιακών αυτόνομων συστημάτων (Maritime Autonomous Systems Regulatory Working Group-MASRWG). Έτσι δημιουργήθηκε ο Κώδικας Πρακτικής MASS (Maritime Autonomous Ship Systems).

Η ανάπτυξη των Αυτόνομων Ναυτιλιακών Πλοίων συνεχίζεται με πολύ γρήγορους ρυθμούς ειδικά τα τελευταία χρόνια ενώ, συγχρόνως όλο και πιο πολλά MASS τίθενται σε λειτουργία. Τα MASS, διαθέτουν ένα διαφορετικό σύνολο επιχειρησιακών δυνατοτήτων αλλά και θέτουν τις δικές τους απαιτήσεις οι οποίες είναι μοναδικές για αυτούς που τα κατέχουν και τα χειρίζονται σε σχέση με την υπόλοιπη Ναυτιλιακή Κοινότητα. Επιπλέον, ο κώδικας αυτός, αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο της ανάπτυξης της ρομποτικής και τεχνητής νοημοσύνης (RAI). Ο όρος Maritime Autonomous Surface Ship (MASS) έχει υιοθετηθεί επίσης από την Επιτροπή Ναυτικής Ασφάλειας (Maritime Safety Committee-MSC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (International Maritime Organization-IMO) και αποσκοπεί στην άσκηση οριοθέτησης η οποία έγινε δεκτή στην MSC στις 13 Ιουνίου 2017 (<https://www.maritimeuk.org/>).

Οι οργανισμοί οι οποίοι συνέβαλαν δραστικά στην ανάπτυξη και την εξέλιξη του Κώδικα Πρακτικής MASS είναι η Υπηρεσία Ναυτιλίας και Ακτοφυλακής (Maritime & Coastguard Agency-MCA), η Atlas Elektronik UK Ltd, η AutoNaut, η Furgo, το Ναυτικό Ινστιτούτο, το Ναυτικό επιμελητήριο του Ηνωμένου Βασιλείου, το UKHO, το Trinity House, η SEA-KIT International, η Sagar Defence Engineering και πολλοί άλλοι.

Ο πρώτος σχεδιαστής και κατασκευαστής μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων, ο οποίος έλαβε πιστοποίηση μη επανδρωμένων θαλάσσιων συστημάτων (UMS), από το Lloyd's Register για το σχέδιο USV κλάσης 12m X, είναι η SEA-KIT International τον Ιούλιο του 2021.



“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”



Εικόνα 1 SEA - KIT LOGO



Εικόνα 2 USV κλάσης 12m X

1.2 Ανάπτυξη/Εξέλιξη USV

Τα τηλεχειριζόμενα USV πρωτοέκαναν την εμφάνισή τους, από το Πολεμικό Ναυτικό των ΗΠΑ, στον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο όπου χρησιμοποιήθηκαν για εφαρμογές τηλεκατευθυνόμενων αεροσκαφών και ναρκαλιείας. Τον εικοστό πρώτο αιώνα, άρχισε η ανάπτυξη και η πρόοδος στα συστήματα που αφορούν τον έλεγχο των USV και στις



*“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”*

τεχνολογίες πλοήγησης τους. Αυτά οδήγησαν στη σχεδίαση και κατασκευή USV'S που ο χειριστής τους μπορεί να τα ελέγξει εξ αποστάσεως είτε από την ξηρά είτε από κάποιο άλλο κοντινό πλοίο ή σκάφος αλλά και σε USV'S που λειτουργούν πλήρως αυτόνομα (ASV).

Οι ερευνητικοί τομείς αλλά και οι σύγχρονες εφαρμογές που αφορούν τα USV και τα ASV περιλαμβάνουν την εμπορική ναυτιλία, την παρακολούθηση του περιβάλλοντος και του κλίματος, τη χαρτογράφηση του θαλάσσιου πυθμένα, τα επιβατικά-οχηματοαγωγά πλοία, τη ρομποτική έρευνα, την επιτήρηση, την επιθεώρηση γεφυρών και άλλων υποδομών, τις στρατιωτικές και ναυτικές επιχειρήσεις.

Έχουμε δύο παραδείγματα θαλάσσιων ταξιδιών τα οποία πραγματοποιήθηκαν με επιτυχία. Το πρώτο αφορά το Soleil που στις 17 Ιανουαρίου 2022 ολοκλήρωσε το πρώτο πλήρως αυτόνομο θαλάσσιο ταξίδι. Το πλοίο αυτό ήταν κατασκευασμένο από την MHI και η επίδειξη αυτή πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με την Shin Nihonkai Ferry διανύοντας μια απόσταση 240 χιλιομέτρων με μέγιστη ταχύτητα τους 26 κόμβους.



Εικόνα 3 SOLEIL VESSEL

Το δεύτερο αφορά το MV Mikage της εταιρείας Mitsui O.S.K. Lines το οποίο, τον Αύγουστο του 2022, έπλευσε 161 ναυτικά μίλια σε διάστημα δύο ημερών ολοκληρώνοντας με επιτυχία το πρώτο θαλάσσιο ταξίδι χωρίς πλήρωμα που περιλάμβανε και ελλιμενισμό ενός αυτόνομου παράκτιου πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.



*“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”*



Εικόνα 4 MV Mikage VESSEL

1.3 Είδη Ελεγχόμενων και Χειριζόμενων Από Υπολογιστή USV'S

Ο σχεδιασμός αλλά και η κατασκευή των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων (USV) είναι πολύπλοκος και γεμάτος με πολλές προκλήσεις. Οι κατασκευαστές των επανδρωμένων πλωτών οχημάτων σχεδόν πάντα βασίζονται σε συγκεκριμένους προμηθευτές μιας μόνο πηγής για όλα τα απαραίτητα όργανα που βοηθούν στον έλεγχο του σκάφους από το πλήρωμά του. Αντίθετα, στην περίπτωση των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων, οι κατασκευαστές πρέπει να λάβουν σοβαρά υπόψη τους συγκεκριμένες παραμέτρους για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί με επιτυχία η αντικατάσταση της ανθρώπινης παρουσίας και μια απομακρυσμένη διεπαφή.

Στη συνέχεια θα αναλυθούν μερικοί τομείς και είδη μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων ή οχημάτων που χειρίζονται απομακρυσμένα.

1.3.1 Ωκεανογραφία, υδρογραφία και περιβαλλοντική παρακολούθηση.

Στον τομέα της ωκεανογραφίας, τα μη επανδρωμένα πλωτά οχήματα, είναι πολύτιμα καθώς είναι πιο ευέλικτα από τις μετεωρολογικές σηματοδούρες αλλά και πολύ πιο



*“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”*

οικονομικά από τα αντίστοιχα μετεωρολογικά πλοία και τα ερευνητικά σκάφη. Τα USV τα οποία χρησιμοποιούνται στην ωκεανογραφία έχουν κατασκευαστεί έτσι ώστε να τροφοδοτούνται και να κινούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα Wave Gliders τα οποία αξιοποιούν την ενέργεια που προσφέρεται από τα κύματα για πρόωση ενώ τα Saildrones χρησιμοποιούν τον άνεμο. Βέβαια υπάρχουν και USV που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια, όπως τα Data Explorer.

Από το έτος του 2022, τα USV χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στην περιβαλλοντική παρακολούθηση και στην υδρογραφική έρευνα και λόγω της δυνατότητάς τους για διεπιστημονική χρήση είναι πολύ πιθανό να αξιοποιηθούν και στην παρακολούθηση και την επιτήρηση απομακρυσμένων τοποθεσιών. Η γρήγορη απορρόφηση των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων οφείλεται στο χαμηλό κόστος τους σε σύγκριση με το υψηλό λειτουργικό κόστος των επανδρωμένων πλωτών οχημάτων, στη μείωση του κινδύνου που υπάρχει για τον ανθρώπινο παράγοντα, στη χωροχρονική τους απόδοση, στην αντοχή, στην ακρίβεια και την πρόσβαση σε πολύ ρηχά νερά.

Τα μη ενεργειακά ανανεώσιμα USV αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο για την εμπορική υδρογραφική έρευνα. Μπορούν, χρησιμοποιώντας τα ταυτόχρονα με τα κλασικά και παραδοσιακά ερευνητικά σκάφη ως “πολλαπλασιαστές ισχύος”, να διπλασιάσουν την επιφάνεια της έρευνας που καλύπτουν αλλά και να μειώσουν σημαντικά και αισθητά τον χρόνο αυτής. Ένα παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου αυτής είναι για το αυτόνομο όχημα (ASV) C-Worker 5 της ASV Global το οποίο, έκανε μια έρευνα στη θάλασσα Bering, στα ανοικτά της Αλάσκας, και κατάφερε να συλλέξει 2.275 ναυτικά μίλια έρευνας, δηλαδή το 44% του συνολικού έργου.



*“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”*



Εικόνα 5 C-WORKER 5

1.3.2 Στρατιωτικές Εφαρμογές.

Η εφαρμογή των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων σε στρατιωτικές επιχειρήσεις αφορά μηχανοκίνητους θαλάσσιους στόχους, κυνήγι και εύρεση ναρκών, επιτήρηση και αναγνώριση, επιχειρήσεις κρούσης και άρνηση περιοχής ή θάλασσας. Επίσης, για τα μεσαία μη επανδρωμένα πλωτά οχήματα (MUSV), οι στρατιωτικές εφαρμογές περιλαμβάνουν την υπηρεσία πληροφοριών του στόλου, την επιτήρηση, την αναγνώριση και τον ηλεκτρονικό πόλεμο.

1.3.3 Φορτηγά πλοία-Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.

Τα αυτόνομα φορτηγά πλοία ή αυτόνομα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (MASS), είναι πλοία που δεν φέρουν πλήρωμα και μεταφέρουν είτε χύδην φορτία είτε εμπορευματοκιβώτια σε πλωτά ύδατα με ελάχιστη ή καθόλου ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι και επίπεδα αυτονομίας που μπορούν να επιτευχθούν μέσω παρακολούθησης και τηλεχειρισμού από ένα κοντινό επανδρωμένο πλοίο, ένα χειρσαίο κέντρο ελέγχου ή ακόμα και μέσω τεχνητής νοημοσύνης αφήνοντας έτσι το ίδιο το πλοίο να αποφασίσει την πορεία δράσης του.



*“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”*

Τα αυτόνομα φορτηγά πλοία, στη ναυτιλιακή βιομηχανία, θεωρούνται ως το επόμενο λογικό αλλά και σημαντικό βήμα στον τομέα της ναυτιλίας, σημειώνοντας την τάση για αυτοματοποίηση όλων των εργασιών στο πλοίο και αντίστοιχα για μείωση των πληρωμάτων που υπάρχουν στα πλοία.

Από το 2019, αρκετά έργα που αφορούν αυτόνομα φορτηγά πλοία βρίσκονται ήδη σε εξέλιξη, με κύρια την κατασκευή του MV Yara Birkeland. Από το 2020, η Ιαπωνία είχε αναφέρει στον IMO για την πρώτη δοκιμή ενός πλοίου MASS με το Iris Leader, φορτηγό πλοίο μεταφοράς οχημάτων. Επίσης, η Γαλλία, ανέφερε για δοκιμές με το VN Rebel, εμπορικό πλοίο το οποίο ελεγχόταν εξ αποστάσεως από την Πολυτεχνική Σχολή του Παρισιού. Το 2021, Ρώσικες εταιρείες πραγματοποίησαν δοκιμές αυτόνομων συστημάτων κατά τη διάρκεια 28 εμπορικών ταξιδιών στα οποία επιτεύχθηκαν ελπιδοφόρα αποτελέσματα για την εμπορική ναυτιλία.



Εικόνα 6 MV Yara Birkeland



“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”



Εικόνα 7 Iris Leader



Εικόνα 8 VN Rebel

2. Τεχνικά Στοιχεία USV

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή για τα μη επανδρωμένα πλωτά οχήματα αποτελούν μια πολύπλοκη και απαιτητική διαδικασία. Πρέπει να γίνει αρχικά η ανάλυση και στη συνέχεια να εφαρμοστούν εκατοντάδες αποφάσεις σχετικά με τους στόχους της αποστολής, τις απαιτήσεις του ωφέλιμου φορτίου, τον προϋπολογισμό ισχύος, τον σχεδιασμό του κύτους, το σύστημα κατεύθυνσης, τα συστήματα επικοινωνίας, τον έλεγχο και τη διαχείριση της πρόωσης.

Οι κατασκευαστές των επανδρωμένων πλωτών οχημάτων βασίζονται κυρίως σε προμηθευτές μιας μόνο πηγής για την κατασκευή των συστημάτων πρόωσης καθώς και



“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”

των οργάνων που βοηθούν το πλήρωμα να ελέγχει το πλοίο. Στην περίπτωση των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων, οι κατασκευαστές, καλούνται να αντικαταστήσουν τα στοιχεία της ανθρώπινης διεπαφής με την απομακρυσμένη ανθρώπινη διεπαφή. Για τη δημιουργία δυνατότητας απομακρυσμένου ελέγχου για τα συστήματα πρόωσης απαιτείται αλληλεπίδραση με τις εσωτερικές επικοινωνίες τους οι οποίες μπορούν να είναι ιδιόκτητες και κλειστές.

2.1 Τεχνικές Εκτιμήσεις

Τα μη επανδρωμένα πλωτά οχήματα ποικίλλουν, από τα σκάφη που είναι κάτω από ένα μέτρο συνολικού μήκους (LOA: Length Overall) έως και αυτά με συνολικό μήκος 20 μέτρα και άνω, κατά κανόνα, με εκτοπίσεις που κυμαίνονται από μερικά κιλά έως πολλούς τόνους. Επίσης, τα συστήματα πρόωσης καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα επιπέδων ισχύος, διεπαφών και τεχνολογιών (Pouyan Asgharian, Zati Hakim Azizul Hasan, 2020).

Παρακάτω αναγράφονται μερικοί τύποι διεπαφών κατά σειρά μεγέθους/ισχύος:

- 1) Ηλεκτρονικοί ελεγκτές ταχύτητας ελεγχόμενοι με PWM¹ (Pulse Width Modulation) για απλούς ηλεκτροκινητήρες.
- 2) Σειριακός διάυλος, με χρήση εντολών κωδικοποιημένων σε ASCII².
- 3) Σειριακός διάυλος με χρήση δυαδικών πρωτοκόλλων.
- 4) Αναλογικές διεπαφές που τις συναντάμε στα μεγαλύτερα σκάφη.
- 5) Ιδιόκτητα πρωτόκολλα CANbus³ που χρησιμοποιούνται από διάφορους κατασκευαστές κινητήρων.
- 6) Ιδιόκτητα πρωτόκολλα CANbus που χρησιμοποιούνται από κατασκευαστές γενικών χειριστηρίων κινητήρα.

Πολλά από τα παραπάνω πρωτόκολλα μεταφέρουν απαιτήσεις στην πρόωση αλλά τα περισσότερα δεν επιστρέφουν καμία πληροφορία κατάστασης. Η ανατροφοδότηση των επιτυγχανόμενων στροφών μπορεί να προέρχεται από παλμούς ταχογράφου ή από ενσωματωμένους αισθητήρες που παράγουν δεδομένα CAN ή σειριακά δεδομένα.

¹ Είναι μια μέθοδος για τη χρήση εύρους παλμών για την κωδικοποίηση ή τη διαμόρφωση ενός σήματος. Το πλάτος κάθε παλμού είναι συνάρτηση του πλάτους του σήματος.

² American Standard Code for Information Interchange. Είναι ένας κώδικας χαρακτήρων 7 bit, όπου κάθε bit αντιπροσωπεύει έναν μοναδικό χαρακτήρα.

³ Το πρωτόκολλο Controller Area Network (CAN ή CAN Bus) είναι μια δισύρματη (συνεστραμμένο ζεύγος), αμφίδρομη μέθοδος επικοινωνίας σειριακού διαύλου που επιτρέπει τη σύνδεση και αλληλεπίδραση ηλεκτρονικών υποσυστημάτων σε ένα δίκτυο.



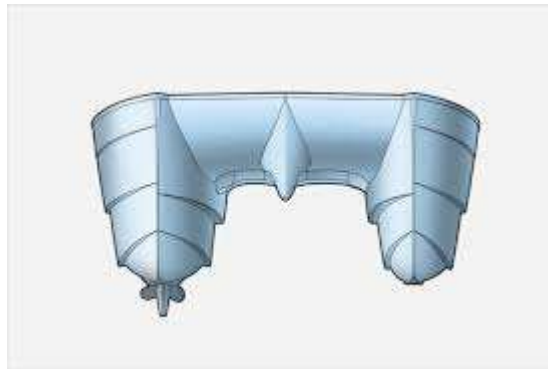
“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”

Μπορούν βέβαια να τοποθετηθούν και άλλοι αισθητήρες, όπως αυτοί που ανιχνεύουν το ρεύμα που υπάρχει στους ηλεκτροκινητήρες, οι οποίοι μπορεί να υποδεικνύουν την αποδιδόμενη ισχύ.

Ένα κρίσιμο ζήτημα φυσικά, είναι και η ασφάλεια, κυρίως σε υψηλά επίπεδα ισχύος, αλλά ακόμη και μια μικρή προπέλα μπορεί να προκαλέσει μεγάλη ζημιά. Γι’ αυτόν τον λόγο και το σύστημα ελέγχου πρέπει να σχεδιαστεί με γνώμονα αυτό και είναι ιδιαίτερα σημαντικό να επισημαίνεται στα πρωτόκολλα παράδοσης που αφορούν προαιρετικά επανδρωμένα πλωτά οχήματα (Pouyan Asgharian, Zati Hakim Azizul Hasan, 2020).

2.2 Δομή & υλικό του κύτους

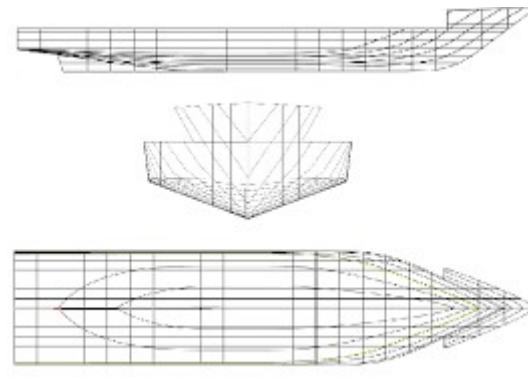
Η δομή του κύτους, έχει σημαντικό αντίκτυπο στην απόδοση των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, μια ιδανική επιλογή δομής του κύτους των USV είναι αυτή του τύπου καταμαράν, καθώς η σταθερότητα του, η ασφάλεια που προσφέρει έναντι της βύθισης, η απλότητα του πηδαλίου και ο πλεονασμός του κύτους διευκολύνουν την πλευστότητα σε αντίθεση με το μονόσωμο κύτος.



Εικόνα 9 Catamaran Hull design



“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”



Εικόνα 10 Monohull design

Ως προς το υλικό κατασκευής του κύτους που χρησιμοποιείται για την αποφυγή διάβρωσής του αλλά και την επίτευξη υψηλών αποδοτικότητας, είναι ένα συνθετικό υλικό το οποίο είναι ενισχυμένο με ίνες (FRP)⁴ και αποτελεί μια ιδανική επιλογή για την κατασκευή της γάστρας του σκάφους. Τα κύρια πλεονεκτήματα του υλικού FRP περιλαμβάνουν την αντοχή της γάστρας ως προς τη διάβρωση, την υψηλή αναλογία αντοχής σε σχέση με το βάρος, το πόσο ελαφρύ είναι και το πόσο εύκολα γίνεται η μεταφορά του και η εγκατάστασή του και την υψηλή αντοχή στην “κόπωση” (Pouyan Asgharian, Zati Hakim Azizul Hasan, 2020).

2.3 Σύστημα Πρόωσης & Ισχύος

Τα μη επανδρωμένα πλωτά οχήματα, για να καταφέρουν να λειτουργούν αλλά και να ανανεώνουν την ενέργεια αυτή χωρίς τη φυσική παρουσία του ανθρώπινου παράγοντα, κατασκευάζουν το σύστημα πρόωσης και ισχύος τους έτσι ώστε να βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως είναι ο άνεμος, είναι δεδομένο ότι έχουν μεταβλητή φύση και δεν αποτελεί μια αξιόπιστη πηγή ενέργειας για το σύστημα ισχύος των USV. Έτσι, προκειμένου να αξιοποιηθεί το μέγιστο δυναμικό των φυσικών πόρων για ανατροφοδότηση ενέργειας, θα ήταν ιδανική η τοποθέτηση μιας ανεμογεννήτριας σε συνδυασμό με ηλιακά πάνελ. Ακόμα, στα διαθέσιμα όργανα συλλογής και απόδοσης ενέργειας που πραγματοποιούν ταυτόχρονα και την αποθήκευση της ενέργειας, είναι ένα σύστημα μικροτουρμπίνας (MT) ή μιας κυψέλης καυσίμου και η

⁴ Το πλαστικό ενισχυμένο με ίνες είναι ένα σύνθετο υλικό κατασκευασμένο από πολυμερή μήτρα ενισχυμένη με ίνες. Οι ίνες είναι συνήθως γυαλί, άνθρακας, αραμίδιο ή βασάλτης. Σπάνια έχουν χρησιμοποιηθεί άλλες ίνες όπως χαρτί, ξύλο, βόριο ή αμίαντος.



*“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”*

εγκατάσταση τους θεωρείται σημαντική και χρήσιμη για την τροφοδοσία της μηχανής των USV (Pouyan Asgharian, Zati Hakim Azizul Hasan, 2020).

Το σύστημα MT⁵ είναι ένα σύστημα που αποτελεί μια ταχέως αναπτυσσόμενη τεχνολογία και είναι ιδανικό για την παραγωγή ενέργειας μικρής κλίμακας. Τα πλεονεκτήματα ενός συστήματος MT είναι το συμπαγές μέγεθος, η γρήγορη εκκίνηση, η αξιοπιστία, η μεγάλη διάρκεια ζωής, το χαμηλό κόστος συντήρησης, το χαμηλό επίπεδο εκπομπών και η ικανότητα του να λειτουργεί με διάφορα καύσιμα. Η κυψέλη καυσίμου, έχει κι αυτή αρκετά πλεονεκτήματα, όπως είναι η υψηλή απόδοση, η αποδοτικότητά τους στη μετατροπή καυσίμων σε ηλεκτρική ενέργεια, οι χαμηλές εκπομπές και ο χαμηλός θόρυβος, έχει όμως και αρκετά μειονεκτήματα, όπως είναι το υψηλό κόστος αγοράς, το υψηλό κόστος συντήρησης, οι χρονικοί περιορισμοί ζωής και η χαμηλή διαθεσιμότητα. Χάρη σ' αυτές τις διαφορές μεταξύ των δύο αυτών συστημάτων, το σύστημα MT, καθίσταται ως ο κύριος υποψήφιος σε σχέση με την κυψέλη καυσίμου (Pouyan Asgharian, Zati Hakim Azizul Hasan, 2020).

2.4 Σύστημα Κατεύθυνσης

Το σύστημα κατεύθυνσης αποτελεί την “καρδιά” των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων. Ως προς τον σχεδιασμό ή τον επανασχεδιασμό της διαδρομής, που θα ακολουθήσει ένα USV, υπάρχουν πολλές προσεγγίσεις και αποτελεί ένα υποσύνολο του παγκόσμιου σχεδιασμού, του τοπικού σχεδιασμού και του επανασχεδιασμού με βάση τη μέθοδο χωρίς πρωτόκολλο. Το σύστημα καθοδήγησης και το σύστημα ελέγχου αποτελούν 2 βασικά συστήματα. Συνδέονται στενά με τη μεταβατική συμπεριφορά της κίνησης, όπως την διαδρομή, της παρακολούθησης αυτής και τους ελιγμούς που θα χρειαστεί να πραγματοποιηθούν. Άρα η συνολική απόδοση καθορίζεται από αυτά τα 2 βασικά συστήματα. Το σύστημα καθοδήγησης/κατεύθυνσης μπορεί να υπολογίσει την επιθυμητή πορεία που πρέπει να ακολουθήσει ένα USV καθώς και τις γωνίες της πορείας αυτής, με μοναδικό στόχο να καθοδηγούν τα πλοία έτσι ώστε να προσεγγίζουν την επιθυμητή διαδρομή (Haitong Xu, Miguel A. Hinostroza and C. Guedes Soares, 2021).

Ένας ευρέως διαδεδομένος αλγόριθμος αναζήτησης που χρησιμοποιείται στον παγκόσμιο σχεδιασμό και μπορεί να βρει γρήγορα μια βέλτιστη διαδρομή με τον λιγότερο

⁵ Οι μικροτουρμπίνες είναι σχετικά μικρές τουρμπίνες καύσης που μπορούν να χρησιμοποιούν αέρια ή υγρά καύσιμα.



“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”

αριθμό κόμβων είναι το A*. Για τον τοπικό σχεδιασμό, η κατάλληλη στρατηγική είναι η προσέγγιση του δυνητικού πεδίου(PF). Στο δυνητικό πεδίο, τα αντικείμενα, απεικονίζονται με ελκυστικά πεδία, ενώ τα εμπόδια απεικονίζονται με απωθητικά πεδία, με αποτέλεσμα τα USV να κινούνται προς τα ελκυστικά πεδία και να απομακρύνονται από τα απωθητικά (Pouyan Asgharian, Zati Hakim Azizul Hasan, 2020).

2.5 Σύστημα Πλοήγησης

Το σύστημα πλοήγησης συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στην ασφαλή λειτουργία των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων καθώς συλλέγει περιβαλλοντικά δεδομένα. Για την καλύτερη απόδοση κυρίως ως προς τα εμπόδια που μπορεί να συναντήσει ένα USV συμβάλλει η ευαισθητοποίηση και γι' αυτόν τον λόγο τοποθετούνται και χρησιμοποιούνται οι κατάλληλοι αισθητήρες για την αναγνώριση της κατάστασης αλλά και την αντίληψη του περιβάλλοντα χώρου.

Όσον αφορά την διερεύνηση των συμβατικών αισθητήρων και των ιδιοτήτων τους, αναφέρονται τα ακόλουθα:

- 1) Συμβατικοί αισθητήρες GPS-IMU είναι μια επιλογή χαμηλού κόστους, μικρού μεγέθους και κατάλληλη για την εκτίμηση της τρέχουσας κατάστασης. Αν και η εκτίμηση των αισθητήρων GPS-IMU μπορεί να είναι ανακριβής στις πρακτικές εφαρμογές λόγω των θορύβων που προέρχονται από το περιβάλλον και των αβεβαιοτήτων ή σφαλμάτων των αισθητήρων, υπάρχουν πολλές αναφορές που προτείνουν διάφορες μεθόδους που μπορούν να οδηγήσουν στη διόρθωση αυτών των λαθών. Ακόμη, ο θόρυβος των αδρανειακών αισθητήρων μπορεί να αντισταθμιστεί με τη χρήση εκτεταμένου φίλτρου Kalman (EKF: Extended Kalman Filter).⁶ (Pouyan Asgharian, Zati Hakim Azizul Hasan, 2020)
- 2) Εκτός των συμβατικών τεχνικών εκτίμησης της κατάστασης, οι ενεργοί αισθητήρες, όπως είναι τα ραντάρ και τα σόναρ, μπορούν κι αυτοί να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της κατάστασης κυρίως σε περιπτώσεις απώλειας ή παρεμβολής σημάτων GPS. Το ραντάρ, ενώ είναι ευαίσθητο στα υψηλά κύματα και στο νερό, καθίσταται επιθυμητό λόγω του μεγάλου εύρους ανίχνευσης του και της ακρίβειας που έχει απέναντι σε όλες τις καιρικές συνθήκες. Το σόναρ είναι μια τεχνική που χρησιμοποιεί τη διάδοση του ήχου για την

⁶ Είναι ένα ευρετικό φίλτρο που βασίζεται στη γραμμικοποιημένη δυναμική του συστήματος και έχει γίνει το πρότυπο για την εκτίμηση της κατάστασης και των παραμέτρων μη γραμμικών συστημάτων. Το EKF παρέχει μια συνδυασμένη εκτίμηση καταστάσεων και παραμέτρων που περιλαμβάνει πράξεις πινάκων πλήρους μεγέθους.



πλοήγηση ή την ανίχνευση αντικειμένων (Pouyan Asgharian, Zati Hakim Azizul Hasan, 2020).

- 3) Όσον αφορά την απόδοση των USV σε πραγματικές αποστολές είναι σημαντικό να διαθέτουν την ικανότητα ανίχνευσης εμποδίων ή στόχων αλλά και τον εντοπισμό χαρτών. Για να έχουμε λοιπόν σαν αποτέλεσμα την ικανοποίηση των προαναφερθέντων παραγόντων, θα πρέπει να εξεταστούν όλες οι προσεγγίσεις και οι παράμετροι που βασίζονται στην όραση. Η στερεοσκοπική όραση έχει τη δυνατότητα να εξάγει τρισδιάστατες πληροφορίες του περιβάλλοντα χώρου αλλά εξαρτάται από υπολογιστή ή συγκεκριμένα όργανα που συμβάλλουν στην επεξεργασία τους. Η μονόφθαλμη όραση ενώ πάσχει από χαμηλό βάθος και περιβαλλοντική κατάσταση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για να ξεπεραστούν οι επιπτώσεις των εναλλαγών του φωτισμού στο περιβάλλον (αν είναι νύχτα ή αν έχει ομίχλη), χάρη στις υπέρυθρες κάμερες μεγάλου μήκους κύματος (IR). Όταν ένα USV βρίσκεται, έτσι, κοντά σε εμπόδιο, η υπέρυθρη ακτινοβολία μπορεί να το ανιχνεύσει και να ενεργοποιηθεί η κατάσταση έκτακτης ανάγκης (Pouyan Asgharian, Zati Hakim Azizul Hasan, 2020).

2.6 Σύστημα Ελέγχου

Το σύστημα ελέγχου παίζει συμπληρωματικό ρόλο για το τμήμα GNC (Guidance, Navigation and Control). Το σύστημα αυτό λειτουργεί με βάση τον προσδιορισμό των κατάλληλων ενεργειών σε σχέση με τα τμήματα πλοήγησης και καθοδήγησης. Υπάρχουν αμέτρητες μέθοδοι ελέγχου, όπως ο προσαρμοστικός έλεγχος (AC), η θεωρία του κλιμακωτού ελέγχου (CCT), ο έλεγχος ασαφούς λογικής (FLC), ο γραμμικός τετραγωνικός ρυθμιστής (LQR) και τοπικό δίκτυο ελέγχου (LCN), οι οποίοι μπορούν να δοκιμαστούν για τον έλεγχο των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων (Pouyan Asgharian, Zati Hakim Azizul Hasan, 2020).

Η επικοινωνία ενός μη επανδρωμένου πλωτού οχήματος με το κέντρο ελέγχου που βρίσκεται στην ξηρά (SCC: Shore Control Center), πρέπει να διατίθεται από την ξηρά στο σκάφος και αντιστρόφως ανά πάσα ώρα και στιγμή. Εάν το σύστημα του USV δεν καταφέρει να προσπεράσει ή να επιλύσει κάποια κατάσταση κινδύνου, τότε, ο χειριστής του οφείλει να αναλάβει, άμεσα και αποτελεσματικά, τον έλεγχο του σκάφους από την ξηρά. Όλα τα δεδομένα του πλοίου δεν είναι σημαντικό να μεταδίδονται όταν αυτό είναι σε πλήρη αυτόνομη λειτουργία, αλλά όταν κριθεί ότι οι πληροφορίες είναι σημαντικές και πρέπει να είναι άμεσα διαθέσιμες. Όσο περισσότεροι αισθητήρες χρησιμοποιούνται επί



“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”

του σκάφους, τόσα περισσότερα δεδομένα μεταφέρονται από αυτό προς το κέντρο ελέγχου στην ξηρά. Οι κάμερες HD (High Definition) και οι αισθητήρες LIDAR⁷ μεταφέρουν ένα σημαντικό μέγεθος των δεδομένων που πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη. Μια μονάδα η οποία είναι ικανή να λάβει μόνο τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά και δεδομένα από το πλοίο είναι η μονάδα SA. Υπάρχει όμως κάτι το οποίο πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη κι αυτό είναι οι διάφοροι τρόποι με τους οποίους γίνεται η μετάδοση των δεδομένων. Όταν το πλοίο κινείται κοντά στην ξηρά όπου οι συνδέσεις είναι ταχύτερες και ισχυρότερες μπορεί να χρησιμοποιήσει σύνδεση 4G, ενώ όταν κινείται στην ανοιχτή θάλασσα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κι άλλες εναλλακτικές, όπως είναι οι δορυφόροι ή οι συχνότητες VHF (Pouyan Asgharian, Zati Hakim Azizul Hasan, 2020).

3. Εφαρμογή των USV στην Αγορά

Το μέγεθος της παγκόσμιας αγοράς μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων αποτιμήθηκε, κατά το έτος 2022, σε 0,92 δισεκατομμύρια δολάρια και αναμένεται, μέχρι το 2032, να φτάσει τα 2,7 δισεκατομμύρια δολάρια, σημειώνοντας έτσι αύξηση με CAGR (Compound Annual Growth Rate) 11,5% από το 2023 έως το 2032.

Η χρήση των USV εκτείνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό στους τομείς που αφορούν την εμπορία και τον στρατό. Στον εμπορικό τομέα, εξυπηρετούν αρκετούς ρόλους, όπως είναι η ωκεανογραφία, η εξερεύνηση, οι περιβαλλοντικές επιστήμες και η βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου. Στις στρατιωτικές εφαρμογές, ομοίως, εξυπηρετούν πολλούς και διάφορους ρόλους, όπως την περιπολία σε σύνορα και στην παράκτια ζώνη, την παρακολούθηση υποβρυχίων, τις επιχειρήσεις ναρκαλιείας και την επιτήρηση και αναγνώριση.

Οι εξελίξεις που έχουν πραγματοποιηθεί στον τομέα της τεχνολογίας έχουν βελτιώσει σημαντικά τις δυνατότητες των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων, ενισχύοντας έτσι την αξιοπιστία, την αποτελεσματικότητα και την ευελιξία τους. Όλα αυτά έχουν προκαλέσει αυξημένο ενδιαφέρον αλλά και επενδύσεις σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της άμυνας, της ναυτικής έρευνας και των εμπορικών

⁷ Το Lidar (light detection and ranging) χρησιμοποιεί ακτίνες λέιζερ που είναι ασφαλείς για τα μάτια για να "δει" τον κόσμο σε 3D, παρέχοντας στις μηχανές και τους υπολογιστές μια ακριβή αναπαράσταση του ερευνώμενου περιβάλλοντος.



“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”

βιομηχανιών. Επιπλέον, η αυξανόμενη έμφαση στη θαλάσσια ασφάλεια και προστασία, αλλά και στις περιβαλλοντικές ανησυχίες, έχει προκαλέσει αυξημένη ζήτηση για USV. Τέλος, η οικονομική αποδοτικότητα των USV, ιδίως σε σύγκριση με τα επανδρωμένα σκάφη λόγω των μειωμένων εξόδων πληρώματος και λειτουργίας, τα καθιστά μια αρκετά ελκυστική επιλογή τόσο για κυβερνητικούς όσο και για εμπορικούς οργανισμούς (Kartikey V, Lalit Janardhan Katare, 2023).

3.1 Τμηματοποίηση Αγοράς USV

Η αγορά των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων τμηματοποιείται βάσει της εφαρμογής, του τρόπου λειτουργίας, του μεγέθους και της περιοχής. Ανά εφαρμογή, κατηγοριοποιούνται σε αμυντικά, εμπορικά και ερευνητικά. Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας, χωρίζονται σε αυτόνομα οχήματα επιφανείας και τηλεχειριζόμενα οχήματα επιφανείας. Ανά μέγεθος, ομαδοποιούνται σε μικρά τα οποία έχουν λιγότερο από 11 μέτρα μήκος, τα μεσαία που έχουν μήκος από 11 έως 26 μέτρα και τα μεγάλα που έχουν μήκος πάνω από 26 μέτρα. Με βάση την περιοχή, η αγορά αναλύεται σε Βόρεια Αμερική, Ευρώπη, Ασία-Ειρηνικό και LAMEA(Latin America, Middle East & Africa) ή πιο απλά, σε όλο τον υπόλοιπο κόσμο.

Η τμηματοποίηση της αγοράς των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων θα αναλυθεί περισσότερο στις ακόλουθες υποενότητες (Kartikey V, Lalit Janardhan Katare, 2023).

3.1.1 Τμηματοποίηση Ανά Εφαρμογή

Με βάση την εφαρμογή, η παγκόσμια αγορά μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων έχει τμηματοποιηθεί σε άμυνα, εμπορία και επιστημονική έρευνα. Το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς κατά το έτος 2022 κατείχε η άμυνα. Η αυξανόμενη ζήτηση για USV για τις δυνατότητές τους στην ανίχνευση και τον εντοπισμό ναρκών, στη χρήση τους σε ανθυποβρυχιακούς πολέμους, στην εκπαίδευση ναυτικού πυροβολικού, στη χρήση τους από τις ειδικές δυνάμεις επιχειρήσεων σε κρίσιμες αποστολές και στις επιχειρήσεις διάσωσης, είναι μερικοί από τους σημαντικότερους παράγοντες που οδηγούν στην υιοθέτηση των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων στον τομέα της άμυνας.

Οι πωλητές στην αγορά ενσωματώνουν και επιπλέον χαρακτηριστικά που καθιστούν δυνατή τη μετάδοση εικόνων σε πραγματικό χρόνο μαζί με εξ αποστάσεως οπτική



“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”

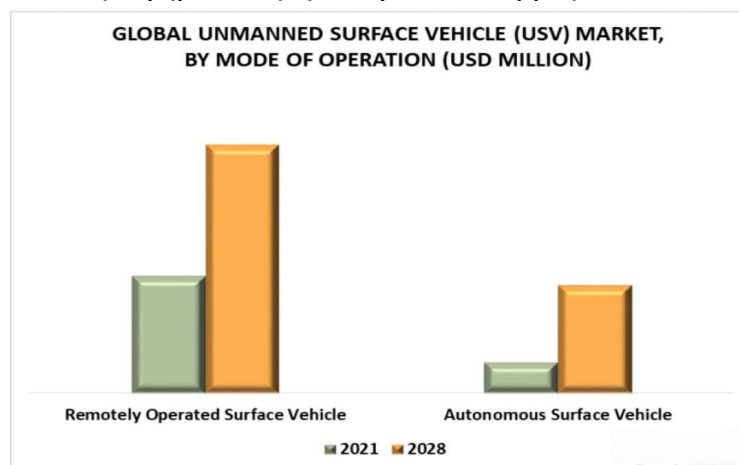
επαλήθευση και καταγραφή αποδεικτικών στοιχείων. Ακόμη, είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες υπέρυθρων για να είναι δυνατή η χρήση τους κατά τη διάρκεια τα νύχτας (Kartikey V, Lalit Janardhan Katare, 2023).

3.1.2 Τμηματοποίηση Ανά Τρόπο Λειτουργίας

Με βάση τον τρόπο λειτουργίας τους, η παγκόσμια αγορά των USV τμηματοποιείται σε αυτόνομο όχημα επιφανείας και τηλεχειριζόμενο όχημα επιφανείας. Το μεγαλύτερο μερίδιο της για το έτος 2022, το κατείχε η δεύτερη κατηγορία των τηλεχειριζόμενων οχημάτων επιφανείας. Πολλά από τα πλεονεκτήματα του αυτόνομου ελέγχου είναι διαθέσιμα μέσω του τηλεχειρισμού, αλλά με τον ανθρώπινο παράγοντα στον βρόχο στην άλλη άκρη μιας σύνδεσης δικτύου.

Ο τηλεχειρισμός, απαιτεί μια ισχυρή σύνδεση, η οποία όμως μπορεί να μην είναι προσβάσιμη σε ένα ηλεκτρομαγνητικά αμφοισβητούμενο περιβάλλον, όπου τα σήματα επικοινωνίας μπορεί να μπλοκαριστούν ή να αποκαλύψουν τη θέση του πλοίου. Γι' αυτό λοιπόν, σε αυτή την περίπτωση, το σύστημα θα πρέπει είτε να επιστρέψει σε αυτόνομο έλεγχο είτε να μετατραπεί σε “πλωτό φλοιό” (Kartikey V, Lalit Janardhan Katare, 2023).

Πίνακας 1 Τμηματοποίηση ανά τρόπο λειτουργίας.





*“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”*

3.1.3 Τμηματοποίηση Ανά Μέγεθος

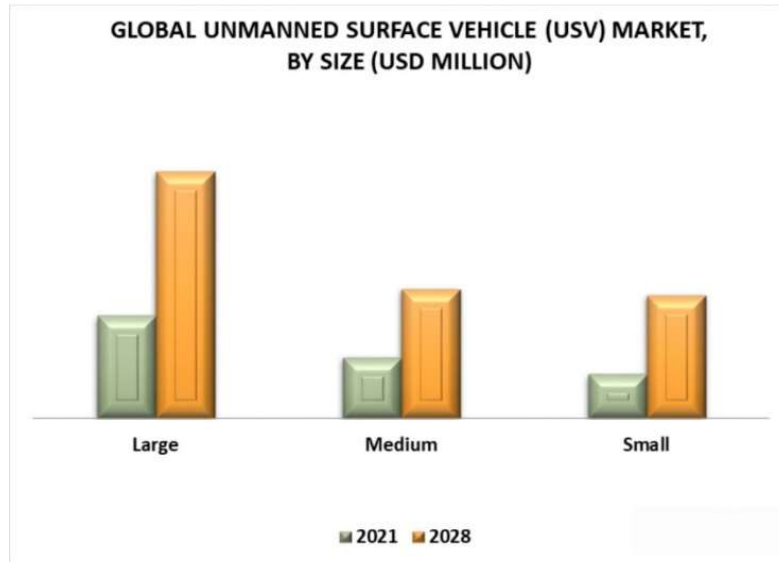
Με βάση το μέγεθος, η αγορά των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων, διακρίνεται σε μικρά (λιγότερο από 11 μέτρα), μεσαία (από 11 έως 26 μέτρα) και μεγάλα (μεγαλύτερα από 26 μέτρα). Κατά το έτος 2022, το πιο μεγάλο μερίδιο της αγοράς των USV σε αυτές τις τρεις κατηγορίες καταλαμβάνεται από τα USV μεγάλου μεγέθους. Οι συμβάσεις υψηλής αξίας που ανατίθενται σε όλους τους κατασκευαστές των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων, για την ανάπτυξη των μεγάλων USV, τα οποία χρησιμοποιούνται σε αμυντικές εφαρμογές, πολεμικές επιχειρήσεις, φορτία και ανεφοδιασμό, αποδίδονται κυρίως στην ανάπτυξη του μεγάλου τμήματος της αγοράς αυτής.

Τον Σεπτέμβριο του 2020, εταιρείες όπως η Austal USA, Huntington Ingalls Industries, Fincantieri Marinette, Bollinger Shipyards, Lockheed Martin και Gibbs & Cox, κέρδισαν περίπου 7 εκατομμύρια δολάρια έκαστος για να ξεκινήσουν τις εργασίες σε ένα πρόγραμμα, που ξεκίνησε το πολεμικό ναυτικό των ΗΠΑ, ύψους 42 εκατομμυρίων δολαρίων που αφορούσε μελέτες για LUSV (Large Unmanned Surface Vehicle) (Kartikey V, Lalit Janardhan Katare, 2023).



“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”

Πίνακας 2 Τμηματοποίηση ανά μέγεθος.



3.1.4 Τμηματοποίηση Ανά Περιοχή

Με βάση την περιφερειακή ανάλυση, η παγκόσμια αγορά μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων, ταξινομείται σε Βόρεια Αμερική, Ευρώπη, Ασία-Ειρηνικό και στον υπόλοιπο κόσμο (LAMEA: Latin America, Middle East & Africa). Το μεγαλύτερο μερίδιο στη συγκεκριμένη αγορά το κατέχει η Βόρεια Αμερική και αναμένεται να αναπτυχθεί με CAGR 12,75% κατά την περίοδο πρόβλεψης. Η αγορά των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων θα οδηγηθεί κυρίως από τις επενδύσεις, που θα πραγματοποιηθούν από την κυβέρνηση στην καινοτομία και στην έρευνα και ανάπτυξη και από τον ιδιωτικό τομέα και την ακαδημαϊκή κοινότητα για την εξερεύνηση της τεχνολογίας που σχετίζεται με θαλάσσια συστήματα.

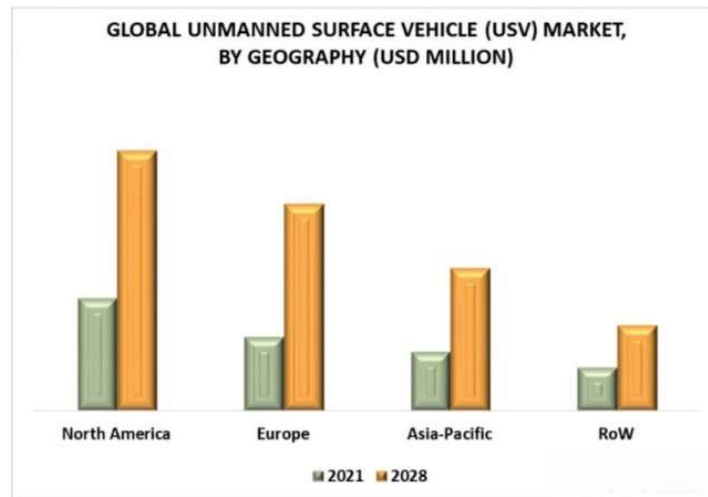
Πολλές έρευνες στον τομέα διεξάγονται από το Γραφείο Έρευνας της Εθνικής Υπηρεσίας Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (NOAA) και το Γραφείο Ναυτικής Έρευνας (ONR). Μεταξύ των εκπαιδευτικών και ερευνητικών ιδρυμάτων, το Κέντρο Κατασκευής Θαλασσοπλάνων του Πανεπιστημίου της Ουάσιγκτον, το Ωκεανογραφικό Ίδρυμα Woods Hole και το Ερευνητικό Ινστιτούτο του Ενυδρείου Monterey Bay διεξάγουν συνεχώς



“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”

έρευνες σχετικά με την ωκεάνια τεχνολογία, τα προϊόντα και τις διαδικασίες (Kartikey V, Lalit Janardhan Katare, 2023).

Πίνακας 3 Τμηματοποίηση ανά περιοχή.



3.2 Τοπική Ανάλυση της Αγοράς των USV.

Η παγκόσμια αγορά των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων μπορεί να αναλυθεί, όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη ενότητα, αλλά και να παρέχει πληροφορίες για το ποιο είναι το μέγεθος και οι τάσεις της αγοράς αυτής ανά χώρα.

Η έκθεση, για την αγορά των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων, που έχει πραγματοποιηθεί από τις έρευνες που έχουν γίνει καλύπτει τις εξής χώρες: ΗΠΑ(Αμερική), Καναδά, Μεξικό, Γερμανία, Γαλλία, Ηνωμένο Βασίλειο, Ολλανδία, Ελβετία, Βέλγιο, Ρωσία, Ιταλία, Ισπανία, Τουρκία, την υπόλοιπη Ευρώπη, Κίνα, Ιαπωνία, Ινδία, Νότια Κορέα, Σιγκαπούρη, Μαλαισία, Αυστραλία, Ταϊλάνδη, Ινδονησία, Φιλιππίνες, την υπόλοιπη Ασία-Ειρηνικό, Σαουδική Αραβία, Νότια Αφρική, Αίγυπτος, Ισραήλ, την υπόλοιπη Μέση Ανατολή και Αφρική, Βραζιλία, Αργεντινή και την υπόλοιπη Νότια Αμερική (Kartikey V, Lalit Janardhan Katare, 2023).

Όπως αναφέρθηκε και στην υποενότητα 3.1.4, το έτος 2022, το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς των USV το κατείχε η Βόρεια Αμερική κα το ίδιο αναμένεται και το 2023 και



*“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”*

αυτό γιατί η Βόρεια Αμερική παρουσιάζει αυξανόμενη υιοθέτηση της χαρτογράφησης του θαλάσσιου πυθμένα, της επιθεώρησης της ποιότητας του νερού και των υποδομών, όπως είναι για παράδειγμα οι γέφυρες.

Τώρα, ως προς την τοπική ανάλυση της αγοράς των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων, στην περιοχή της Βόρειας Αμερικής αναμένεται να είναι κυρίαρχες οι ΗΠΑ καθώς φιλοξενούν πολλούς τεράστιους “παίκτες” της αγοράς αυτής. Από την πλευρά της Ευρώπης, η χώρα που αναμένεται να κυριαρχήσει στην αγορά των USV, είναι η Γερμανία λόγω της αύξησης των επενδύσεων που πραγματοποιεί σε δραστηριότητες που αφορούν την έρευνα και την ανάπτυξη που σχετίζονται με τα αυτόνομα οχήματα. Τέλος, στην περιοχή της Ασίας και του Ειρηνικού, κυρίαρχη χώρα στην αγορά των USV, αναμένεται να είναι η Κίνα καθώς παρουσιάζει αυξανόμενη ζήτηση για μεγάλα USV για εμπορικές και αμυντικές εφαρμογές, όπως πολεμικές επιχειρήσεις και μεταφορά φορτίων (Kartikay V, Lalit Janardhan Katare, 2023).

3.3 Δυναμική της Παγκόσμιας Αγοράς των USV.

Σε αυτό το σημείο θα αναφερθούμε στην κατανόηση των κινήτρων που μας οδηγούν στην αγορά των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων, στις ευκαιρίες που εμφανίζονται αλλά και στους περιορισμούς και προκλήσεις που μπορεί να παρουσιαστούν.

3.3.1 Κίνητρα.

Ξεκινώντας, λοιπόν, με τα κίνητρα που μας οδηγούν σε αυτή την αγορά, έχουμε την αυξανόμενη ζήτηση των USV για τον καθαρισμό των υδάτων και των ωκεανών. Η ανάγκη των καθαρισμών των υδάτων ξεκίνησε να υπάρχει λόγω του ότι εξαιτίας της αύξησης της εκβιομηχάνισης και της παγκοσμιοποίησης παρατηρήθηκε έξαρση της ρύπανσής τους. Ένα δεύτερο κίνητρο είναι η αύξηση των ασύμμετρων απειλών και η άμυνα. Γενικά, τα τελευταία χρόνια, τα μη επανδρωμένα πλωτά οχήματα έχουν γίνει χρήσιμα σε μεγάλο βαθμό και έχουν φέρει επανάσταση στον τομέα των στρατιωτικών επιχειρήσεων και της άμυνας.

Ένα ακόμα σημαντικό κίνητρο που οδηγεί στην ανάπτυξη της αγοράς των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων, είναι η μείωση ορισμένων λειτουργικών εξόδων. Όπως



“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”

αναφέραμε και στις προηγούμενες ενότητες, για να είναι τα USV πλήρως αυτόνομα, θα πρέπει να ανανεώνουν την ενέργειά τους με ανανεώσιμες πηγές με αποτέλεσμα να μην έχουν ανάγκη για ανεφοδιασμό καυσίμων. Επιπλέον, εξαλείφεται και η ανάγκη ύπαρξης του ανθρώπινου παράγοντα και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μη υποχρέωση καταβολής μισθών αλλά και την αποφυγή του ρίσκου και της επικινδυνότητας που παρουσιάζουν ορισμένες αποστολές ή δραστηριότητες για την ανθρώπινη ζωή (Kartikay V, Lalit Janardhan Katare, 2023).

3.3.2 Ευκαιρίες.

Ως προς τις ευκαιρίες που μπορούν να εμφανιστούν στην αγορά των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων είναι αυτή της χρήσης τους για την διαχείριση των καταστροφών, φυσικών ή ανθρωπογενών. Γενικά, με την πάροδο των χρόνων, η αύξηση της ευαισθητοποίησης σχετικά με τις καταστροφές είναι εμφανής και τα μη επανδρωμένα πλωτά οχήματα έχουν αρχίσει να κάνουν την εμφάνισή τους και να αποκτούν δημοτικότητα. Τα USV, παρόλο που χρησιμοποιούνται κυρίως για σκοπούς έρευνας και διάσωσης, μπορούν να φανούν ιδιαίτερα χρήσιμα και στην ανίχνευση της παραμόρφωσης του φλοιού της Γης, για παράδειγμα, με τη βοήθεια των σεισμομέτρων που θα ενσωματωθούν στο σκάφος καθώς και άλλων αισθητήρων πίεσης επί της θάλασσας.

Ακόμα μια ευκαιρία που παρουσιάζεται για την ανάπτυξη της αγοράς των USV είναι οι αυξανόμενες επενδύσεις που πραγματοποιούνται από τις ναυτικές δυνάμεις κάθε χώρας για την ενίσχυση των δυνατοτήτων τους αλλά και οι επενδύσεις που μπορεί να πραγματοποιηθούν από ιδιωτικές οντότητες (Kartikay V, Lalit Janardhan Katare, 2023).

3.3.3 Περιορισμοί/Προκλήσεις.

Παρόλα τα κίνητρα, τα πλεονεκτήματα και τις ευκαιρίες που μπορεί να παρουσιάζει η αγορά των μη επανδρωμένων πλωτών οχημάτων, έχει να αντιμετωπίσει και κάποιους περιορισμούς καθώς και ορισμένες προκλήσεις.

Ένας περιορισμός που μπορεί να κάνει ευάλωτα τα USV είναι η έλλειψη της ικανότητας να ανιχνεύουν μια πιθανή σύγκρουση. Ενώ αυτά μπορούν να λειτουργούν μόνα τους και να είναι πλήρως αυτόνομα, ή διαφορετικά τηλεχειριζόμενα, έχουν ένα



*“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”*

μεγάλο μειονέκτημα. Τα μη επανδρωμένα αυτόνομα οχήματα αντιμετωπίζουν μια έντονη τεχνολογική πολυπλοκότητα ως προς την ανίχνευση πιθανών συγκρούσεων με αποτέλεσμα να μπορούν εύκολα να συγκρουστούν με οποιοδήποτε άλλο θαλάσσιο όχημα και αυτή η αδυναμία τους λειτουργεί ως σημαντικός ανασταλτικός παράγοντας για την αγορά των USV (Kartikey V, Lalit Janardhan Katare, 2023).

Αποτελέσματα/Συμπεράσματα.

Στη συγκεκριμένη εργασία ασχοληθήκαμε με πιο συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και στοιχεία για τα μη επανδρωμένα πλωτά οχήματα. Στο πρώτο κεφάλαιο αναπτύξαμε κάποια πιο γενικά στοιχεία, όπως το θεσμικό πλαίσιο που τα περικλείει, την ανάπτυξη που υπάρχει στη συγκεκριμένη αγορά καθώς και σε ποιες εφαρμογές έχουν ή και σκοπεύουν να εγκατασταθούν. Στο δεύτερο κεφάλαιο επεκταθήκαμε στην ανάλυση των τεχνικών χαρακτηριστικών των USV βάσει κάποιων άρθρων που έχουν σχετική αναφορά. Τέλος, στο τρίτο κεφάλαιο, σχολιάσαμε την πλευρά της αγοράς τους, όπως το πώς τμηματοποιείται η αγορά και βάσει ποιων στοιχείων, ποια είναι η τοπική τους ανάλυση σύμφωνα με έρευνες σε κάθε περιοχή και ποια είναι η δυναμική της αγοράς αυτής. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής δείχνουν ότι η τεχνολογία εξελίσσεται με γρήγορους ρυθμούς για τα μη επανδρωμένα πλωτά οχήματα και πως δεν αποκλείεται σε λίγα χρόνια να εγκατασταθούν και σε εμπορικές δραστηριότητες ή ακόμα και σε επιβατηγά πλοία. Βέβαια, η κατασκευή τους είναι περίπλοκη και το κόστος της υψηλό αλλά η συμβολή τους σε όλους τους κλάδους της ναυτιλίας είναι σημαντική καθώς μπορούν να μειώσουν την επικινδυνότητα ορισμένων δραστηριοτήτων για τους ανθρώπους αλλά και το κόστος των εξόδων συντήρησης. Αυτά καθιστούν την αγορά των USV μια αρκετά αναπτυσσόμενη αγορά που παρουσιάζει πολλές ευκαιρίες για επενδύσεις και ανάπτυξη παρόλο όμως που υπάρχουν και κάποιοι περιορισμοί και προκλήσεις.



“Νικολαΐδης Κωνσταντίνος”,
“ Μη Επανδρωμένα Πλωτά Οχήματα: Τεχνικά Στοιχεία
και η Εφαρμογή τους στην Αγορά ”

Βιβλιογραφία

Dynautics Ltd (2021) ‘What are the Technical Considerations While Innovating Propulsion Control for USV’s’

<https://geo-matching.com/articles/what-are-the-technical-considerations-while-innovating-propulsion-control-for-usv-s-by-dynautics-ltd>

Haitong Xu , Miguel A. Hinostroza and C. Guedes Soares (2021) ‘Modified Vector Field Path-Following Control System for an Underactuated Autonomous Surface Ship Model in the Presence of Static Obstacles’, by Haitong Xu , Miguel A. Hinostroza and C. Guedes Soares Maritime Autonomous Vessels, MDPI.

<https://doi.org/10.3390/jmse9060652>

Kartikey V, Lalit Janardhan Katare (2023) ‘Unmanned Surface Vehicle Market Size, Share, Competitive Landscape and Trend Analysis Report by Size, Application, Mode of Operation: Global Opportunity Analysis and Industry Forecat, 2023-2032’

<https://www.alliedmarketresearch.com/unmanned-surface-vehicle-usv-market>

Pouyan Asgharian, Zati Hakim Azizul Hasan (2020) ‘Proposed Efficient Desing for Unamanned Surface Vehicles’

<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2009/2009.01284.pdf>

Semih Kale (2023) ‘Developments in Unmanned Surface Vehicles (USVs): A Review’
<https://as-proceeding.com/index.php/icaens/article/download/1064/999/1910>

Zhixiang Liu, Youmin Zhang, Xiang Yu, Chi Yuan (2016) ‘Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges’

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1367578816300219#preview-section-snippets>

Wikipedia: Unmanned Surface Vehicles

https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_surface_vehicle#Development

<https://www.maritimeuk.org/>