



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική εργασία

Η Πρόκληση του Αυτόνομου Πλοίου στη Ναυτιλία

The Challenge of Autonomous Vessels in the Shipping Industry

Συγγραφέας:

ΜΑΡΙΑ ΡΑΠΤΗ

A.M.: 16084

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Δρ. Δημητρέλλου Σωτηρία

Αιγάλεω, Φεβρουάριος 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική εργασία

Τίτλος: Η Πρόκληση του Αυτόνομου Πλοίου στη Ναυτιλία

Συγγραφέας

ΜΑΡΙΑ ΡΑΠΤΗ (Α.Μ.: 16084)

Επιβλέπουσα

Δημητρέλλου Σωτηρία,
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΠΑ.Δ.Α.

Ημερομηνία εξέτασης

28/02/2022

Εξεταστική Επιτροπή

Δημητρέλλου Σωτηρία,
Αναπλ. Καθηγήτρια ΠΑ.Δ.Α.

Σέρρης Μιχαήλ,
Λέκτορας ΠΑ.Δ.Α.

Ιακωβίδης Ισίδωρος,
Λέκτορας ΠΑ.Δ.Α.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη ΜΑΡΙΑ ΡΑΠΤΗ του ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, με αριθμό μητρώου 16084 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών, 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».

Η Δηλούσα



ΜΑΡΙΑ ΡΑΠΤΗ

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτριά μου Δρ. Σωτηρία Δημητρέλλου, η οποία επέβλεψε την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας, για την πολύτιμη βοήθεια και στήριξη. Η συμβουλευτική καθοδήγησή της έπαιξε το σημαντικότερο ρόλο στη διεξαγωγή αυτής της ερευνητικής εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, και ιδιαίτερα τον μπαμπά μου, Σπυρίδων Ράπτη, Α' Μηχανικό του εμπορικού ναυτικού, που το επάγγελμά του και η σημασία του ήταν η έμπνευση μου για την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονο ενδιαφέρον από τη ναυτιλιακή βιομηχανία για τα αυτόνομα πλοία, ενώ από το 2010 και μετά έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές εφαρμογές ανάπτυξης της σχετικής τεχνολογίας και εγχειρήματα υλοποίησης αυτόνομων πλοίων. Ωστόσο, υπάρχουν σοβαρά ζητήματα σχετικά με την τεχνολογία, την ασφάλεια αλλά και τους κανονισμούς για τα αυτόνομα πλοία τα οποία επιζητούν περαιτέρω έρευνα, με αποτέλεσμα η ανάπτυξη και πραγματοποίησή τους να καθυστερεί. Το γεγονός αυτό καθιστά καθοριστικές τις μελέτες γύρω από την αυτόνομη ναυτιλία και αυτός είναι και ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας – να απαντήσει σε σημαντικά ερευνητικά ερωτήματα και να συμβάλλει στο συγκεκριμένο τομέα του «μέλλοντος». Δεδομένου ότι η ναυτιλιακή βιομηχανία έχει αναπτυχθεί εδώ και αιώνες γύρω από την παραδοσιακή λειτουργία των επανδρωμένων πλοίων, η υλοποίηση και ενσωμάτωση πλήρως αυτόνομων πλοίων στη ναυτιλία και ιδιαίτερα στις θαλάσσιες μεταφορές αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση. Η εργασία αυτή προσεγγίζει το θέμα εκτενώς δίνοντας έμφαση στις προκλήσεις των αυτόνομων πλοίων που αφορούν στην Τεχνολογία, στην Ασφάλεια, στο Νομικό και Θεσμικό πλαίσιο και στη Βιωσιμότητα.

Λέξεις κλειδιά:

Προκλήσεις στην αυτόνομη ναυτιλία, μη επανδρωμένα πλοία, αυτόνομα πλοία, αυτόνομη πλοήγηση

Abstract

In recent years, there is an increasing interest from the shipping industry for autonomous ships, and since 2010 important applications for the development of relevant technology as well as projects for the implementation of autonomous ships have been carried out. However, there are serious issues regarding technology, safety and regulations for autonomous ships that require further investigation, and this is the main reason why their development and implementation is delayed. This fact makes the studies on autonomous shipping crucial and that is the purpose of this dissertation - to answer important research questions and contribute to this innovative sector of the future. Given that the shipping industry has developed for centuries around the traditional operation of manned ships, the implementation and integration of fully autonomous ships in shipping and especially in maritime transport is a major challenge. This paper approaches this issue extensively, emphasizing the challenges of autonomous ships related to Technology, Safety, Legal and Institutional Framework and Sustainability.

Key words:

Challenges in autonomous shipping, autonomous vessels, unmanned ships, autonomous navigation

Περιεχόμενα

Λίστα Εικόνων	13
Λίστα Πινάκων.....	14
Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή	15
1.1 Βασικές έννοιες και ορισμοί	17
1.2 Η Ναυτιλιακή Βιομηχανία.....	19
Κεφάλαιο 2 - Τεχνολογία	23
2.1 Συστήματα Ασφαλούς Πλοήγησης	23
2.2 Συστήματα Αποφυγής Σύγκρουσης.....	26
2.2.1 Βελτιστοποίηση Διαδρομής	28
2.2.2 Επίγνωση της Κατάστασης Πλοήγησης.....	29
2.2.3 Λήψη Αποφάσεων	30
2.2.4 Έλεγχος και Εκτέλεση Πλοήγησης	31
2.3.5. Επικοινωνία Υψηλής Απόδοσης	32
2.3 Ηλεκτρονική Πλοήγηση	32
2.4 Συστήματα Αισθητήρων.....	34
2.4.1 Σύγχρονοι Αισθητήρες.....	34
2.4.2 Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης	37
2.5 Κέντρα Απομακρυσμένου Ελέγχου	39
Κεφάλαιο 3 - Προκλήσεις στην Ασφάλεια.....	42
3.1 Ασφάλεια στον Κυβερνοχώρο	42
3.1.1 Ασφάλεια στον Κυβερνοχώρο για Παραδοσιακά Πλοία	42
3.1.2 Ασφάλεια στον Κυβερνοχώρο για τα Αυτόνομα Πλοία	47
3.2 Προστασία του Περιβάλλοντος	49
Κεφάλαιο 4 - Νομοθετικό και Θεσμικό Πλαίσιο	52
4.1 Παγκόσμιες Συμβάσεις	53
4.1.1 Ηνωμένα Έθνη – UNCLOS	53
4.1.2 Κράτη Σημαίας.....	54
4.2 Προτεινόμενες Τροποποιήσεις στις Συμβάσεις του IMO	55
4.2.1 Επιτροπή Ναυτικής Ασφάλειας (MSC).....	55
4.2.2 SOLAS.....	56
4.2.3 STCW	58
4.2.4 COLREGs.....	59
4.3 Ναυτασφαλίσεις	59

Κεφάλαιο 5 – Εφαρμογές και Εγχειρήματα.....	61
5.1 MUNIN	61
5.2 ReVolt – DNV GL	65
5.3 Kongsberg – Yara Birkeland	67
5.4 Rolls Royce - Finferries	70
5.5 Εταιρείες και Κέντρα Έρευνας	71
Κεφάλαιο 6 - Βιωσιμότητα.....	73
6.1 Κοινωνικές Προκλήσεις	73
6.2 Οικονομικές Προκλήσεις	75
6.2.1 Κόστος Κεφαλαίου.....	75
6.2.2 Λειτουργικά Κόστη.....	76
6.3 Περιβαλλοντικές Προκλήσεις	79
Συμπεράσματα	81
Προτάσεις	84
Βιβλιογραφία	85

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1 Φωτογραφία του Sparus II, ένα αυτόνομο υποβρύχιο πλοίο AUV (Cirs.edu.org, 2014).....	15
Εικόνα 2 Πρόβλεψη τάσης του παγκόσμιου θαλάσσιου εμπορίου, του ΑΕΠ και του πληθυσμού μέχρι το 2030 (ICS, 2021)	20
Εικόνα 3 Οι 17 στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης του ΟΗΕ (IMO, 2021b)	22
Εικόνα 4 Παράγοντες που επηρεάζουν την ασφαλή πλοήγηση στα πλοία (Statheros, Howells & Maier, 2007).....	25
Εικόνα 5 Η αρχιτεκτονική του συστήματος αποφυγής σύγκρουσης (Zhang et al, 2021).	28
Εικόνα 6 Διάγραμμα της λειτουργίας της πλατφόρμας MCP (Zhang et al, 2021).....	33
Εικόνα 7 Απόδοση ενός θαλάσσιου περιβάλλοντος όπως αποτυπώνεται από ένα LiDAR (DNV – GL, 2018b).....	36
Εικόνα 8 Απεικόνιση της επίγνωσης κατάστασης ενός πλοίου με χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης (Thombre et al.,2020).....	37
Εικόνα 9 Διάγραμμα λειτουργίας ενός κέντρου απομακρυσμένου ελέγχου (DNV – GL, 2018b)	40
Εικόνα 10 Τρωτά σημεία πλοίου σε επίθεση στο κυβερνοχώρο (PenTestPartners.com, 2022)	44
Εικόνα 11 Πιθανοί επιτιθέμενοι και κίνητρα για κυβερνοεπιθέσεις πλοίων (BIMCO, 2020)	47
Εικόνα 12 Σενάρια επιθέσεων στον κυβερνοχώρο (Tam & Jones, 2018).....	48
Εικόνα 13 Το μοντέλο λειτουργίας του MUNIN (MUNIN, 2016).	63
Εικόνα 14 Φωτογραφία του μοντέλου του ReVolt (DNV – GL, 2018a)	66
Εικόνα 15 Το YARA Birkeland στη Ρουμανία το 2020 (Kongsberg.com, 2021).....	68
Εικόνα 16 Το δρομολόγιο που θα εκτελεί το YARA BIRKELAND (YARA, 2021)	69
Εικόνα 17 Το οχηματαγωγό FALCO (Rolls-royce.com, 2018a).....	71
Εικόνα 18 Κατανομή OPEX του παγκόσμιου στόλου 2005 - 2016 (Clarckson Research, 2016)	77
Εικόνα 19 Βιώσιμοι περιβαλλοντικοί στόχοι με τους οποίους συνδέεται η αυτόνομη ναυτιλία.	79

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 Επίπεδα αυτονομίας του Lloyd's (Lloyd's Register, 2016).....	19
Πίνακας 2 Χαρακτηριστικά ενός μοντέλου οντολογίας (Zhang et al, 2021)	30
Πίνακας 3 Τα κεφάλαια της Σύμβασης SOLAS (IMO, 2021e).....	56
Πίνακας 4 Κύριες διαστάσεις και χαρακτηριστικά του YARA Bikerland.....	68

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

Η σύγχρονη ιστορία έχει δείξει πως η ραγδαία επιστημονική και τεχνολογική εξέλιξη τις τελευταίες δεκαετίες έχει ως αποτέλεσμα την αντικατάσταση του ανθρώπου με μηχανήματα σε αρκετές πτυχές της καθημερινότητας. Αυτό συμβαίνει σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας όπως και στον τομέα της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Στην αρχαιότητα υπήρχαν πλοία με εκατοντάδες άνδρες ναυτικούς, ενώ στην εποχή μας τα μεγάλα ποντοπόρα πλοία που εκτελούν θαλάσσιες μεταφορές έχουν λίγους ναυτικούς στο πλήρωμά τους. Αν και το μέγεθος των σύγχρονων πλοίων ολοένα και αυξάνεται, ο αριθμός των πληρωμάτων μειώνεται: τα μεγαλύτερα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων σήμερα έχουν μήκος που ξεπερνά τα 400 μέτρα, μεταφέρουν πάνω από 20.000 εμπορευματοκιβώτια, και έχουν συνήθως πλήρωμα μόνο 20 ατόμων (Deloitte, 2011).



Εικόνα 1 Φωτογραφία του Sparus II, ένα αυτόνομο υποβρύχιο πλοίο AUV (Cirs.edu.org, 2014)

Στην αυτοκινητοβιομηχανία επίσης, τα αυτόνομα οχήματα είναι γεγονός εδώ και μερικά χρόνια. Παραδείγματα αυτονομίας στα συστήματα μεταφορών είναι τα συστήματα αυτόνομου παρκαρίσματος, οι αερομεταφορές με drones και τα αυτόνομα ταξί χωρίς οδηγούς. Παρόλα αυτά, στον τομέα των θαλάσσιων μεταφορών η πρόοδος της αυτονομίας είναι πιο αργή και με περισσότερες δυσκολίες στην εφαρμογή τέτοιων τεχνολογιών (Ghaderi, 2020). Αν και ήδη από

το 1957 αναπτύχθηκαν κάποια ρομποτικά αυτόνομα υποβρύχια πλοία (Autonomous Underwater Vehicles – AUVs), όπως αυτό της [Εικόνα 1](#), και κάποια «τηλεκατευθυνόμενα» σκάφη (Remotely Operated Vehicle – ROVs), η χρήση τους έχει περιοριστεί για ερευνητικούς ή και στρατιωτικούς σκοπούς, ενώ η ταχύτητα και τα βάθη στα οποία είναι λειτουργικά είναι πολύ περιορισμένα. Αν και αυτές οι εφαρμογές έχουν δώσει την ευκαιρία για δοκιμές και εξέλιξη στην κατασκευή, την πρόωση, τη δυναμική, τον έλεγχο και την πλοήγηση καθώς και τον εντοπισμό, τον σχεδιασμό διαδρομής και την επικοινωνία σε μικρά αυτόνομα σκάφη, δυστυχώς δεν υπάρχουν ακόμα εφαρμογές μεγάλης κλίμακας (Sahoo, Dwivedy, & Robi, 2019).

Προκειμένου να μελετήσουμε περαιτέρω το θέμα των αυτόνομων πλοίων και να συμβάλλουμε έστω και λίγο στην υλοποίηση της αυτόνομης ναυτιλίας, στην εργασία αυτή θα προσπαθήσουμε να απαντήσουμε στα παρακάτω ερευνητικά ερωτήματα:

1. Ποιες είναι οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει η ναυτιλιακή βιομηχανία σχετικά με τα αυτόνομα πλοία;
2. Πώς και εάν μπορούν να αντιμετωπιστούν αυτές οι προκλήσεις;
3. Ποια είναι τα μέχρι τώρα εγχειρήματα στο χώρο των αυτόνομων πλοίων;
4. Πόσο βιώσιμο είναι το εγχείρημα της αυτόνομης ναυτιλίας;

Πιο συγκεκριμένα στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται βασικές έννοιες και ορισμοί όσον αφορά την αυτόνομη ναυτιλία. Είναι σημαντικό να ξεχωρίσουμε τις έννοιες του «αυτόματου» και του «αυτόνομου» πριν προχωρήσουμε με τη μελέτη της πρόκλησης των αυτόνομων πλοίων. Εξίσου σημαντικό είναι να διαχωρίσουμε και τα διαφορετικά επίπεδα αυτονομίας για να γίνει ακόμη πιο κατανοητή η κλίμακα στην οποία είναι δυνατόν να υλοποιηθούν τα διάφορα εγχειρήματα αυτόνομων πλοίων. Γίνεται επίσης αναφορά στην ναυτιλιακή βιομηχανία και τις ιδιαιτερότητες της για να έχουμε πλήρη εικόνα του περιβάλλοντος στο οποίο θα λειτουργούν τα αυτόνομα πλοία.

Στο Κεφάλαιο 2 δίνεται έμφαση στις προκλήσεις που έχει να αντιμετωπίσει η ναυτιλιακή βιομηχανία όσον αφορά την Τεχνολογία. Η υλοποίηση μιας πλήρως αυτόνομης εμπορικής ναυτιλίας απαιτεί την εφεύρεση και τη χρήση καινοτόμων τεχνολογιών. Το κεφάλαιο αυτό καλύπτει σημαντικά τεχνολογικά ζητήματα που αποτελούν πρόκληση για τα αυτόνομα πλοία όπως είναι η ασφαλής πλοήγηση, η χρήση αισθητήρων και η αξιοποίηση νέων τεχνολογιών.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται αναφορά στα ζητήματα ασφάλειας που προκύπτουν. Είναι ίσως τα σημαντικότερα ζητήματα που έχει να αντιμετωπίσει η βιομηχανία της ναυτιλίας. Ακόμη και εάν αναπτυχθούν οι τεχνολογίες που απαιτούνται για την αυτονομία των πλοίων, η διασφάλιση της ασφάλειας και της ποιότητας παραμένει μεγάλη πρόκληση. Κυρίως έμφαση δίνεται στην ασφάλεια στον κυβερνοχώρο και στην προστασία του περιβάλλοντος.

Το Κεφάλαιο 4 καλύπτει τις προκλήσεις στο νομοθετικό πλαίσιο. Η ναυτιλία έχει έντονο διεθνή χαρακτήρα ενώ τα εμπλεκόμενα μέρη είναι πολλά και με διαφορετικά συμφέροντα. Για την καθιέρωση της αυτόνομης ναυτιλίας χρειάζεται να δημιουργηθεί ένα νομοθετικό πλαίσιο και να αναθεωρηθούν υπάρχοντες κανόνες, διεθνείς συμβάσεις, ασφαλιστικά ζητήματα. Το κεφάλαιο αυτό θίγει ζητήματα γύρω από το νομοθετικό και θεσμικό πλαίσιο των αυτόνομων πλοίων.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα διάφορα εγχειρήματα αυτόνομων πλοίων μέχρι τώρα. Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες και πολλές ενέργειες γύρω από τα αυτόνομα πλοία, από τα πρωτότυπα καινοτόμα σχέδια των διαφόρων ερευνητικών κέντρων μέχρι την κατασκευή και δοκιμή του πρώτου πλήρως αυτόνομου και με μηδενικές εκπομπές πλοίου.

Στο Κεφάλαιο 6 γίνεται μία σύντομη αναφορά γύρω από τη βιωσιμότητα των αυτόνομων πλοίων. Τα αυτόνομα πλοία αποτελούν πρόκληση όσον αφορά τους τρεις πυλώνες της βιωσιμότητας: την κοινωνία, την οικονομία και το περιβάλλον. Στο κεφάλαιο αναλύεται, με βάση αυτούς τους τρεις πυλώνες, η πρόκληση της ναυτιλιακής βιομηχανίας που καλείται να επενδύσει στην αυτόνομη ναυτιλία και να διασφαλίσει ότι η εδραίωση της θα είναι βιώσιμη.

1.1 Βασικές έννοιες και ορισμοί

Στα πλαίσια του Στρατηγικού Πλάνου 2018-2023 του Διεθνή Ναυτιλιακού Οργανισμού (International Maritime Organization – IMO) έχει αναπτυχθεί μία συγκεκριμένη στρατηγική κατεύθυνση για την «Ένσωμάτωση νέων και εξελισσόμενων τεχνολογιών στο κανονιστικό πλαίσιο». Στόχος της στρατηγικής σχεδίασης είναι να επωφεληθεί η ναυτιλιακή βιομηχανία από της νέες και προοδευτικές τεχνολογίες και να αντιμετωπιστούν πιθανές ανησυχίες και κίνδυνοι σχετικά με την ασφάλεια, τις επιπτώσεις στο περιβάλλον καθώς και τις επιπτώσεις στη ναυτιλία και τους ανθρώπους της, τόσο εν πλω όσο και στην ξηρά. Έτσι το 2017

προστέθηκε και επίσημα το θέμα των «αυτόνομων πλοίων» στην διεθνή ατζέντα του IMO και των κρατών μελών του (IMO, 2021a).

Αρχικά είναι πολύ σημαντικό να διαχωρίσουμε την έννοια του αυτόματου με του αυτόνομου. Μπορούμε να θεωρήσουμε κάτι ως «αυτόματο» όταν μπορεί να εκτελέσει μία διαδικασία χωρίς τον έλεγχο κάποιου ανθρώπου. Ο άνθρωπος δίνει μία εντολή και η διαδικασία εκτελείται αυτόματα. Από την άλλη για να θεωρήσουμε κάτι ως «αυτόνομο» θα πρέπει να απουσιάζει η ανθρώπινη παρέμβαση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ενώ τα πλοία έχουν ήδη εδώ και πολλά χρόνια πολλά αυτόματα συστήματα (τα περισσότερα πλοία εκτελούν μεταφορές σε λειτουργία αυτόματου πιλότου) δεν μπορούν να θεωρηθούν ως αυτόνομα. Σε μια ιδανική κατάσταση, τα πλήρως αυτόνομα πλοία θα εκτελούν όλες τις λειτουργίες χωρίς καμία ανθρώπινη παρέμβαση, συμπεριλαμβανομένων των διαδικασιών λήψης αποφάσεων (Hancock, 2019).

Στα πλαίσια της στρατηγικής του IMO που αναφέραμε, και με σκοπό το διαχωρισμό των AUVs και των ROVs, που είναι αυτόνομα πλοία – κυρίως υποβρύχια – ερευνητικού σκοπού, από τα αυτόνομα πλοία που εκτελούν διεθνείς θαλάσσιες μεταφορές, ο IMO χρησιμοποιεί για τα τελευταία τον όρο MASS – Maritime Autonomous Surface Ships. Ο όρος MASS χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα πλοίο το οποίο, σε κάποιο επίπεδο, μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα και χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Συγκεκριμένα ο IMO αναγνωρίζει τέσσερα επίπεδα αυτονομίας όπως περιγράφονται παρακάτω (IMO, 2021a):

- **Επίπεδο 1:** Σε αυτό το επίπεδο υπάγονται τα πλοία με αυτοματοποιημένες διαδικασίες αλλά με ανθρώπινη υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων. Το πλήρωμα που βρίσκεται στο πλοίο είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία και τον έλεγχο των συστημάτων και των λειτουργιών του σκάφους. Ορισμένες λειτουργίες μπορεί να είναι αυτοματοποιημένες και κάποιες φορές να μην επιτηρούνται, αλλά πάντα υπάρχουν ναυτικοί στο πλοίο έτοιμοι να αναλάβουν τον έλεγχο.
- **Επίπεδο 2:** Σε αυτό το επίπεδο υπάγονται τα πλοία που έχουν τη δυνατότητα απομακρυσμένου χειρισμού αλλά διαθέτουν και πλήρωμα. Ο έλεγχος και η λειτουργία του πλοίου εκτελούνται από μια τοποθεσία στη στεριά. Το πλήρωμα ωστόσο είναι διαθέσιμο επάνω στο πλοίο και μπορεί να πάρει τον έλεγχο και να λειτουργήσει τα συστήματα του πλοίου όποια στιγμή χρειαστεί.
- **Επίπεδο 3:** Σε αυτό το επίπεδο υπάγονται τα πλοία που μπορούν να λειτουργήσουν πλήρως με απομακρυσμένο χειρισμό και δεν έχουν πλήρωμα. Το πλοίο ελέγχεται και λειτουργεί από μια τοποθεσία στη στεριά. Δεν υπάρχουν ναυτικοί στο σκάφος.

- **Επίπεδο 4:** Σε αυτό το επίπεδο υπάγονται τα πλήρως αυτόνομα πλοία. Οι αποφάσεις και οι ενέργειες του πλοίου καθορίζονται ολοκληρωτικά από το λειτουργικό σύστημα του πλοίου.

Επιπρόσθετα, ο Αγγλικός Νηογνώμονας Lloyd's προτείνει κάποιους πιο ειδικούς ορισμούς και ένα σύστημα ταξινόμησης των επιπέδων αυτονομίας στα πλοία (AL) από το επίπεδο 0 έως το επίπεδο 6, λαμβάνοντας υπόψιν το βαθμό κάθε προηγμένης λειτουργίας και τον βαθμό της ανθρώπινης συμμετοχής (Πίνακας 1).

Πίνακας 1 Επίπεδα αυτονομίας του Lloyd's (Lloyd's Register, 2016)

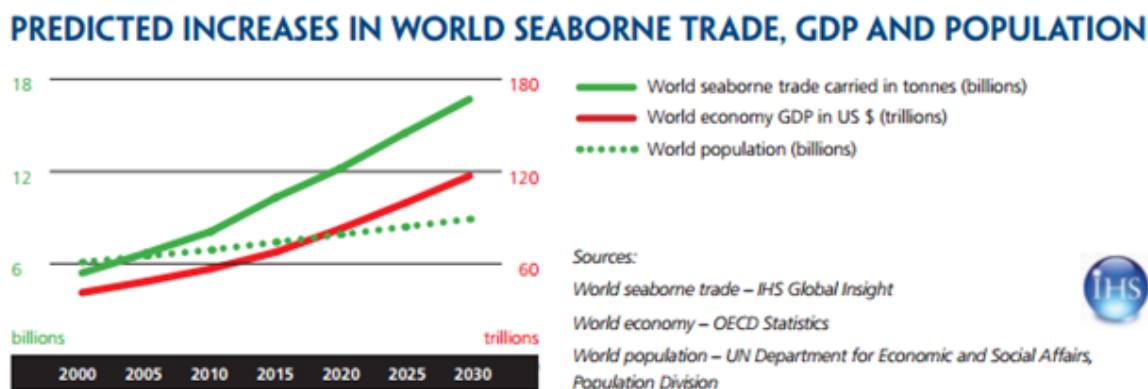
Autonomy Levels (AL) – Lloyd's Register	
AL 0	Manual
AL 1	On – Board Decision Support
AL 2	On & off board decision support
AL 3	Active human in the loop
AL 4	Human on the loop, operator/supervisory
AL 5	Fully autonomous
AL 6	Fully autonomous

Ο διαφορετικός καθορισμός των επιπέδων αυτονομίας από τους διάφορους οργανισμούς αποτελεί τροχοπέδη στις μέχρι τώρα μελέτες γύρω από τα αυτόνομα πλοία. Συνήθως δεν υπάρχει ένας συγκεκριμένος αποδεκτός διαχωρισμός, ενώ διαφορετικές λειτουργίες μπορούν να περιλαμβάνονται στα διαφορετικά επίπεδα αυτονομίας. Μέχρι να λειτουργήσουν κανονικά τα αυτόνομα πλοία και να υπάρξει μία αποδεκτή, από όλα τα εμπλεκόμενα μέλη της ναυτιλίας και των διεθνών μεταφορών, κατηγοριοποίηση των επιπέδων αυτονομίας, θα υπάρχει δυσκολία στη ολοκληρωμένη μελέτη και ανάπτυξή τους.

1.2 Η Ναυτιλιακή Βιομηχανία

Για την κατανόηση του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο θα λειτουργήσουν τα αυτόνομα πλοία είναι αναγκαίο να προσδιορίσουμε τη ναυτιλιακή βιομηχανία. Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της παγκοσμιοποίησης και του σύγχρονου κόσμου. Η ναυτιλιακή βιομηχανία έχει μερίδιο μεγαλύτερο από 80% στις διεθνείς μεταφορές

εμπορευμάτων, ενώ έχει χαρακτηριστεί ως η ραχοκοκαλιά του παγκόσμιου εμπορίου (ICS, 2021). Ο κλάδος του θαλάσσιου εμπορίου ολοένα και αναπτύσσεται, και αυτό φαίνεται και στην [Εικόνα 2](#), όπου είναι φανερές οι αυξητικές τάσεις του διεθνούς εμπορίου σε συνδυασμό με το παγκόσμιο ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, και τον παγκόσμιο πληθυσμό, σε ορίζοντα χρόνου μέχρι το 2030.



Εικόνα 2 Πρόβλεψη τάσης του παγκόσμιου θαλάσσιου εμπορίου, του ΑΕΠ και του πληθυσμού μέχρι το 2030 (ICS, 2021)

Ένα από τα βασικότερα στοιχεία της ναυτιλιακής βιομηχανίας είναι ότι είναι διεθνής βιομηχανία με παγκόσμιο χαρακτήρα. Αυτό αντικατοπτρίζεται επίσης στη σύσταση του παγκόσμιου στόλου ο οποίος στις αρχές του 2020 ανήλθε σε περίπου 98.000 εμπορικά πλοία, που ισοδυναμεί με χωρητικότητα 2,06 δισεκατομμυρίων DWT. Τα πλοία του παγκόσμιου στόλου θαλάσσιων μεταφορών, είναι νηολογημένα σε περισσότερα από 150 διαφορετικά κράτη (ICS, 2021), έχουν σημαίες και πληρώματα από όλο τον κόσμο, και εκτελούν διαδρομές για την εξασφάλιση της θαλάσσιας μεταφοράς αγαθών σε παγκόσμιο επίπεδο. Το 2019 συγκεκριμένα, ο παγκόσμιος εμπορικός ναυτιλιακός στόλος αυξήθηκε κατά 4,1%, αντιπροσωπεύοντας τον υψηλότερο ρυθμό ανάπτυξης από το 2014. (UNCTAD, 2020).

Πρόσφατα, με την έξαρση της πανδημίας της νόσου του κορονοϊού (COVID-19) έγινε αντιληπτή όσο ποτέ η παγκόσμια αλληλεξάρτηση των εθνών με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν νέες τάσεις που έπαιξαν καθοριστικό ρόλο σε κάθε πτυχή της καθημερινότητας. Η ναυτιλιακή βιομηχανία δεν έμεινε ανεπηρέαστη, αντιθέτως βρέθηκε στο επίκεντρο αντιμετωπίζοντας όχι μόνο τις άμεσες επιπτώσεις που έφερε η πανδημία, αλλά και πιο μακροπρόθεσμες ανησυχίες, που αφορούν αλλαγές στη λειτουργία των εφοδιαστικών αλυσίδων και των προτύπων παγκοσμιοποίησης, αλλαγές στις καταναλωτικές συνήθειες του κόσμου, την ανάπτυξη νέων εμπορικών μοντέλων, τη διαχείριση και εκτίμηση νέων κινδύνων,

καθώς και μια αυξημένη παγκόσμια ατζέντα βιωσιμότητας και χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Ο τομέας κλήθηκε να αντιμετωπίσει επίσης τις επιπτώσεις του αυξανόμενου εμπορικού προστατευτισμού και των εσωστρεφών πολιτικών των διαφόρων κρατών. Η πρόσφατη αυτή πανδημία έκανε αντιληπτή τη σημασία των θαλάσσιων μεταφορών, που εφοδιάζουν αδιάκοπα με βασικά καταναλωτικά αγαθά τον παγκόσμιο πληθυσμό σε περιόδους κρίσης αλλά ακόμη και σε περιόδους ανάκαμψης (UNCTAD, 2020).

Εδώ και αρκετά χρόνια χρησιμοποιείται ο όρος «Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση» ή αλλιώς «Βιομηχανία 4.0» για να περιγράψει την τάση προς την αυτοματοποίηση και τη συνδεσιμότητα στις βιομηχανίες μέσα από την ανταλλαγή, επεξεργασία και εκμετάλλευση δεδομένων. Λαμβάνοντας υπόψη τις πολυάριθμες ερμηνείες γύρω από τη Βιομηχανία 4.0, μπορούμε να συνοψίσουμε λέγοντας ότι είναι η προσπάθεια για ολοκληρωτικά ψηφιακές/ψηφιοποιημένες διαδικασίες στα συστήματα παραγωγής που επιτυγχάνονται με τη χρήση συγκεκριμένων εργαλείων. Αυτά τα εργαλεία είναι το Internet of Things (IoT), η ρομποτική και αυτοματοποιημένη ευφυΐα (IR), το Cloud Computing (CC), η προσθετική μηχανική (AM), τα Big Data Analytics (BDA), η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) κ.α. Οι στόχοι αυτών των τεχνολογιών είναι να παρέχουν μαζική προσαρμογή των προϊόντων, να επεκτείνουν τη χρήση αυτόματων και ευέλικτων συστημάτων και να διευκολύνουν την επικοινωνία μεταξύ εξαρτημάτων, συστημάτων και ανθρώπων.

Η βιομηχανία 4.0 επιτρέπει τη βελτιστοποίηση των προϊόντων, τη δημιουργία νέων υπηρεσιών και την ανάπτυξη επιχειρηματικών μοντέλων για καλύτερη επικοινωνία. Ως εκ τούτου, το μέλλον της ναυτιλιακής βιομηχανίας εξαρτάται από τη διαδικασία ψηφιακού μετασχηματισμού και απαιτεί κατάλληλα συστήματα για την απόκτηση, μετάδοση, αποθήκευση και ανάλυση μεγάλου αριθμού δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η ψηφιοποιημένη και έξυπνη εκμετάλλευση δεδομένων αναμένεται να αποφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στη ναυτιλιακή βιομηχανία, μειώνοντας το λειτουργικό κόστος, αυξάνοντας παράλληλα τα συνολικά έσοδα, και επεκτείνοντας τη διάρκεια ζωής των μηχανημάτων (Sullivan et al, 2020; Aiello, Giallanza, & Mascarella, 2020).

Όλες αυτές οι εξελίξεις της εποχής της βιομηχανίας 4.0 φέρνουν τη ναυτιλιακή βιομηχανία αντιμέτωπη με έντονες πιέσεις για καινοτόμες βελτιώσεις. Παρόλο που αυτή η εποχή χαρακτηρίζεται από πρωτοφανείς τεχνολογικές δυνατότητες και εξελίξεις, το κίνητρο για αλλαγές δεν είναι αποκλειστικά τεχνολογικό. Το 2015, 193 χώρες ενέκριναν τους 17 στόχους

βιώσιμης ανάπτυξης ως μέρος της ατζέντας για βιώσιμη ανάπτυξη μέχρι το 2030. Αυτή η ατζέντα απαιτεί τη δράση όλων των εμπλεκόμενων μελών για την εξάλειψη της φτώχειας και την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης έως το 2030 σε παγκόσμιο επίπεδο. Η εισαγωγή των 17 στόχων βιώσιμης ανάπτυξης αποτελεί άλλη μια πηγή πίεσης στη ναυτιλία και ο ΙΜΟ ως μέλος των Ηνωμένων Εθνών έχει ξεκινήσει την υλοποίηση δράσεων για την επίτευξη τους.



Εικόνα 3 Οι 17 στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης του ΟΗΕ (ΙΜΟ, 2021b)

Κατανοώντας τη σημασία και το μέγεθος της ναυτιλιακής βιομηχανίας και του διεθνούς θαλάσσιου εμπορίου, και ταυτόχρονα την πίεση που δέχεται ο κλάδος για αλλαγές, μπορούμε να κατανοήσουμε τον καθοριστικό ρόλο των αυτόνομων πλοίων. Σύμφωνα με εκθέσεις, η αγορά θαλάσσιων αυτόνομων πλοίων το 2020 υπολογίζεται σε 1,1 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως και αναμένεται να αυξάνεται κατά 7% κάθε χρόνο, προσεγγίζοντας τα 1,5 δισεκατομμύρια δολάρια το 2025. Επιπλέον, το 96% των σχεδόν 3.000 διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας (πατέντες) που σχετίζονται με την τεχνολογία αυτόνομης ναυτιλίας παγκοσμίως καταχωρήθηκαν στην Κίνα. Αυτό θα οδηγήσει όλα τα εμπλεκόμενα έθνη να αναπτύξουν και να εφαρμόσουν αυτόνομη ναυτιλία τα επόμενα πέντε χρόνια (UNCTAD, 2020).

Κεφάλαιο 2 - Τεχνολογία

Τα αυτόνομα πλοία σηματοδοτούν τη σταδιακή απομάκρυνση των ανθρώπων από τον έλεγχο και τη λειτουργία τους. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να γίνει χρήση της διαθέσιμης τεχνολογίας καθώς και περαιτέρω ανάπτυξη νέων καινοτόμων και πρωτότυπων τεχνολογιών. Έτσι η πρώτη πρόκληση την οποία καλείται να αντιμετωπίσει η ναυτιλιακή βιομηχανία που επιθυμεί να γίνει αυτόνομη, είναι να αναζητήσει την κατάλληλη τεχνολογία και να την εμπιστευτεί για να αντικαταστήσει τα παραδοσιακά πληρώματα.

Υπάρχουν ήδη αρκετά συστήματα τεχνολογίας που συμβάλουν στην αυτοματοποίηση των λειτουργιών των πλοίων. Οι διάφοροι κίνδυνοι και τα σφάλματα που μπορούν να προκύψουν από αυτά τα συστήματα είναι ίδιοι στα παραδοσιακά επανδρωμένα σκάφη και στα μη επανδρωμένα σκάφη. Η μεγάλη διαφορά όμως στα αυτόνομα πλοία σχετίζεται με τα συστήματα τεχνολογίας που προσπαθούν να αντικαταστήσουν την ανθρώπινη αίσθηση και παρουσία. Σήμερα τα περισσότερα πλοία διαθέτουν μη επανδρωμένα μηχανοστάσια, των οποίων η παρακολούθηση και ο έλεγχος, το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, γίνεται από διαφορετική θέση στο πλοίο. Η πραγματική πρόκληση ωστόσο, είναι η λειτουργίες των μηχανοστασίων να μπορούν να ελέγχονται από κάποιον απομακρυσμένο σταθμό εκτός του πλοίου ή να μην ελέγχονται καθόλου και να λειτουργούν αυτόνομα. Στη συνέχεια θα αναλύσουμε κάποιες από τις βασικά συστήματα που είναι αναγκαία για τη λειτουργία των πλοίων και πώς αυτά μπορούν να αποτελέσουν κομμάτι των αυτόνομων πλοίων ή και σε ποιόν βαθμό μπορούν να συμβάλουν σε αυτό.

2.1 Συστήματα Ασφαλούς Πλοήγησης

Κατά την πλοήγηση, ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που αντιμετωπίζουν οι ναυτικοί είναι η αποφυγή συγκρούσεων. Για να καταλάβουμε τη σημασία της ασφαλούς πλοήγησης αρκεί να αναλογιστούμε ότι κατά την περίοδο 2014 - 2020, τα περισσότερα θαλάσσια ατυχήματα είχαν ως βασικό αίτιο τα λάθη στη πλοήγηση συμπεριλαμβανομένης της απώλειας ελέγχου, της σύγκρουσης και της προσάραξης (EMSA, 2020). Αποτελεί ωστόσο γενική διαπίστωση ότι η αποφυγή σύγκρουσης είναι ένα σύνθετο πρόβλημα με πολλαπλούς παράγοντες. Ο βαθμός πολυπλοκότητας εξαρτάται από την κατάσταση εξωγενών παραγόντων (κίνηση, καιρικές συνθήκες, κατάσταση πλωτών οδών) και ενδογενών παραγόντων (τύπος

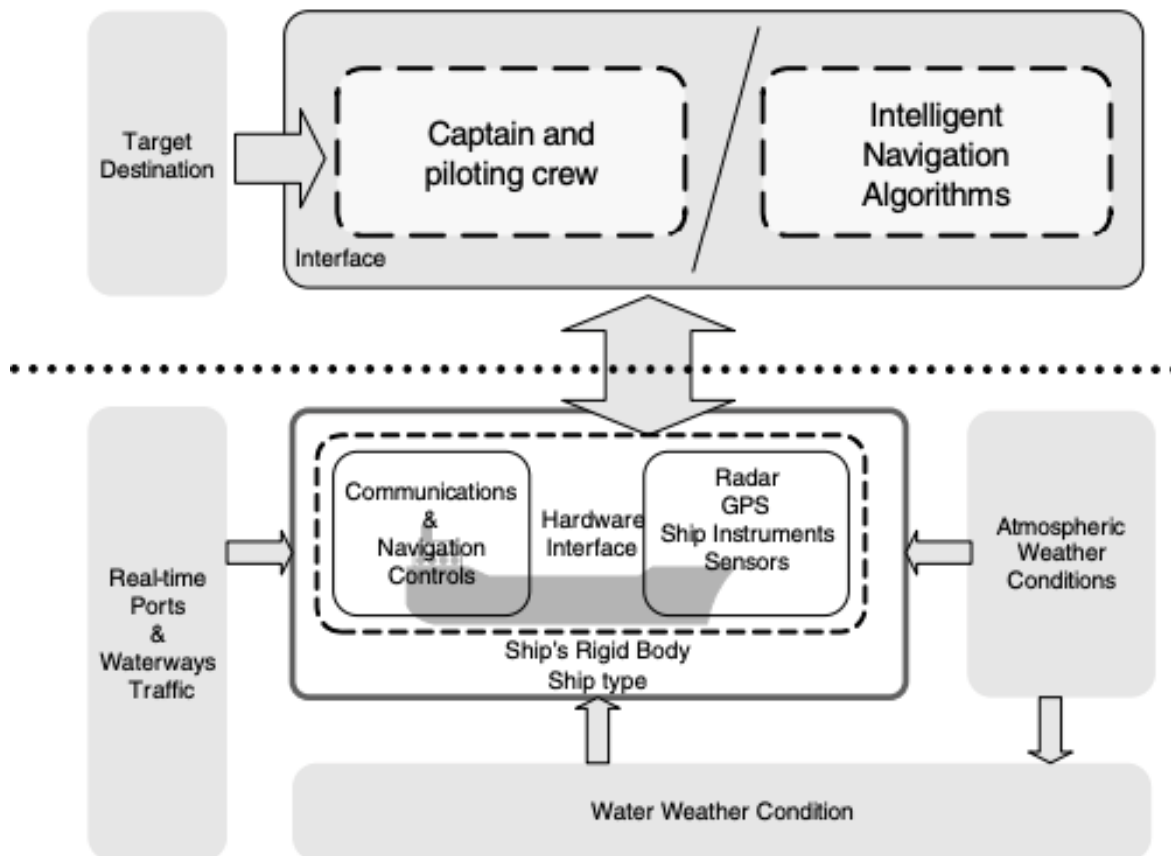
πλοίου, τεχνολογίες επί του πλοίου, πλήρωμα, κ.λπ.), που επηρεάζουν τη ναυσιπλοΐα. Επίσης, ο βαθμός ικανότητας του πληρώματος για αξιόπιστη πλοήγηση εξαρτάται τόσο από το επίπεδο εμπειρίας όσο και από την ψυχολογική κατάσταση κάθε ατόμου.

Η υποκειμενική φύση των ανθρώπων ενισχύεται μερικές φορές από τα ευφυή συστήματα υποστήριξης του πλοίου, όπως οι συσκευές ραντάρ, η αυτόματη πιλοτική βοήθεια (Automatic Radar Plotting Aid - ARPA), το αυτοματοποιημένο σύστημα αναγνώρισης (Automatic Identification System - AIS), το ηλεκτρονικό σύστημα πληροφοριών προβολής διαγραμμάτων (Electronic Chart Display and Information Systems - ECDIS) και το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (Global Navigation Satellite System - GNSS). Επίσης, έχουν θεσπιστεί οι διεθνείς κανόνες για την αποφυγή συγκρούσεων στη θάλασσα (International Regulations for Preventing Collisions at Sea - COLREGs) με στόχο την ελαχιστοποίηση της υποκειμενικής σκέψης και δράσης των ανθρώπων κατά την ναυσιπλοΐα. Ωστόσο, ακόμη και αν τα COLREGs είναι πλήρως καθορισμένα, η ανθρώπινη ερμηνεία τους εξακολουθεί να είναι υποκειμενική, δεδομένου ότι οι ελιγμοί των πλοίων εκτελούνται σε πραγματικό χρόνο και μερικές φορές υπό απαιτητικές εξωγενείς συνθήκες (Statheros, Howells & Maier, 2007).

Ως εκ τούτου, δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι η επιτυχία της αυτόνομης πλοήγησης των πλοίων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη αποτελεσματικών ευφυών αλγορίθμων για την αποφυγή σύγκρουσης σε πραγματικό χρόνο. Οι περισσότεροι από αυτούς τους αλγορίθμους προσπαθούν να μιμηθούν τις ανθρώπινες γνωστικές ικανότητες πλοήγησης. Για να καταλάβουμε πως λειτουργεί ο «καπετάνιος» και να εντοπίσουμε τις ομοιότητες ή τις διαφορές του με τους ευφείς αλγορίθμους πλοήγησης, πρέπει αρχικά να λάβουμε υπόψη όλες τις ανθρώπινες λειτουργίες που εκτελούνται για σκοπούς αποφυγής σύγκρουσης (Statheros, Howells & Maier, 2007). Για να γίνει αυτό πρέπει να αναλύσουμε όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν την αποφυγή σύγκρουσης πλοίων.

Στην [Εικόνα 4](#), παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ασφαλή πλοήγηση, όπως ο τύπος του πλοίου, οι θαλάσσιοι δρόμοι και τα χαρακτηριστικά τους, οι καιρικές συνθήκες, και η διαθέσιμη τεχνολογία πλοήγησης. Όσον αφορά τον τύπο του πλοίου μπορούμε να καταλάβουμε ότι οι ελικτικές ικανότητες και η συμπεριφορά ενός πλοίου έχει να κάνει σε σημαντικό βαθμό με την κατασκευή του και έτσι διαφορετικοί τύποι πλοίου έχουν διαφορετικές απαιτήσεις πλοήγησης. Επίσης, για διαφορετικούς τύπους πλοίου (και φορτίου) υπάρχει παραδοσιακά και αντίστοιχη εκπαίδευση για τα πληρώματα. Στα αυτόνομα

πλοία έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι που "κατανοούν" και μπορούν να παρέχουν μια πρόβλεψη της συμπεριφοράς του πλοίου, αλλά μερικές φορές η κατάσταση ναυσιπλοΐας είναι πολύ περίπλοκη για να λειτουργήσουν αποτελεσματικά τέτοιοι αλγόριθμοι σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 4 Παράγοντες που επηρεάζουν την ασφαλή πλοήγηση στα πλοία (Statheros, Howells & Maier, 2007).

Έπειτα, όσον αφορά την κατάσταση των θαλάσσιων δρόμων, αυτή σχετίζεται με την κίνηση εν πλω και την κίνηση στους λιμένες σε πραγματικό χρόνο. Φυσικά σε αυτόν τον παράγοντα συμπεριλαμβάνεται και η «κίνηση» στο βυθό της θάλασσας, που τις περισσότερες φορές είναι αβέβαιη. Για την ασφαλή πλοήγηση με βάση αυτόν τον παράγοντα τα παραδοσιακά επανδρωμένα πληρώματα βασίζονται στους κανόνες COLREG. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι περισσότεροι έξυπνοι αλγόριθμοι για τη ναυσιπλοΐα πλοίων δεν επικοινωνούν μεταξύ τους ή με το κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας, σε αντίθεση με τους καπετάνιους που χρησιμοποιούν τα διαθέσιμα μέσα επικοινωνίας. Ως εκ τούτου, οι αλγόριθμοι υπολογίζουν την ασφαλέστερη και βέλτιστη τροχιά για την αποφυγή σύγκρουσης στηριζόμενοι πρωτευόντως στην τρέχουσα κατάσταση (ταχύτητα, κατεύθυνση) κάθε σκάφους ή εμποδίου και δευτερευόντως στους κανόνες COLREGs.

Σχετικά με τις καιρικές συνθήκες που επηρεάζουν την ασφαλή πλοήγηση ενός πλοίου, μέχρι στιγμής οι καπετάνιοι λαμβάνουν τις πληροφορίες από τα διαθέσιμα συστήματα επικοινωνιών και τους δορυφόρους και στη συνέχεια αποφασίζουν την πορεία του. Ωστόσο, οι περισσότεροι διαθέσιμοι αλγόριθμοι για αυτόνομα πλοία, δεν λαμβάνουν υπόψη μετεωρολογικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, σχετικά με τη διαθέσιμη τεχνολογία πάνω στο πλοίο, σήμερα τα πληρώματα έχουν στη διάθεση τους πληθώρα από συστήματα, αισθητήρες και όργανα που τους βοηθούν στην ασφαλή πλοήγηση. Αλλά και πάλι, οι διαθέσιμοι αλγόριθμοι δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμα σε τέτοιο βαθμό ώστε να λαμβάνουν δεδομένα από όλα τα όργανα και συστήματα, που τα περισσότερα σύγχρονα πλοία έχουν στη διάθεσή τους, για την αποφυγή σύγκρουσης.

Γενικά σε πειραματικό στάδιο, έχουν αναπτυχθεί ορισμένα ευφυή συστήματα πλοήγησης πλοίων. Τα μαθηματικά μοντέλα αποφυγής σύγκρουσης πλοίων είναι αποτελεσματικά όταν οι εξωγενείς παράγοντες δεν είναι ακραίοι. Ωστόσο, σε περίπτωση ακραίων συνθηκών η δυναμική του πλοίου είναι μη γραμμική, η οποία εισάγει μεγάλη πολυπλοκότητα στους υπολογισμούς. Αυτή η πολυπλοκότητα εξαλείφει την ικανότητα του αυτόνομου συστήματος πλοήγησης του πλοίου να δρα σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, είναι διαθέσιμος και ένας συνδυασμός τεχνολογιών όπως νευρωνικά δίκτυα (neural networks), ασαφής λογική (fuzzy logic), σύστημα εμπειρογνομώνων και μαθηματικοί αλγόριθμοι που μπορούν να υποστηρίξουν ένα αυτόνομο σύστημα πλοήγησης του πλοίου. Τα υβριδικά συστήματα είναι αυτά που φαίνονται πολύ ελπιδοφόρα αλλά, απαιτούν υψηλό επίπεδο νοημοσύνης για να συγχωνεύσουν αρμονικά τις διάφορες τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης. Από την άλλη, η μηχανική νοημοσύνη δεν αποδεικνύεται απολύτως ισάξια της ανθρώπινης ευφυΐας ώστε να εδραιωθεί στα αυτόνομα πλοία (Statheros, Howells & Maier, 2007).

2.2 Συστήματα Αποφυγής Σύγκρουσης

Πρόσφατα, δημοσιεύτηκε μία εκτενής μελέτη με τίτλο «Collision-avoidance navigation systems for Maritime Autonomous Surface Ships: A state of the art survey» την οποία και θα αναλύσουμε στη συνέχεια με σκοπό την εξήγηση και κατανόηση των συστημάτων αποφυγής σύγκρουσης για τα αυτόνομα πλοία (Zhang et al., 2021).

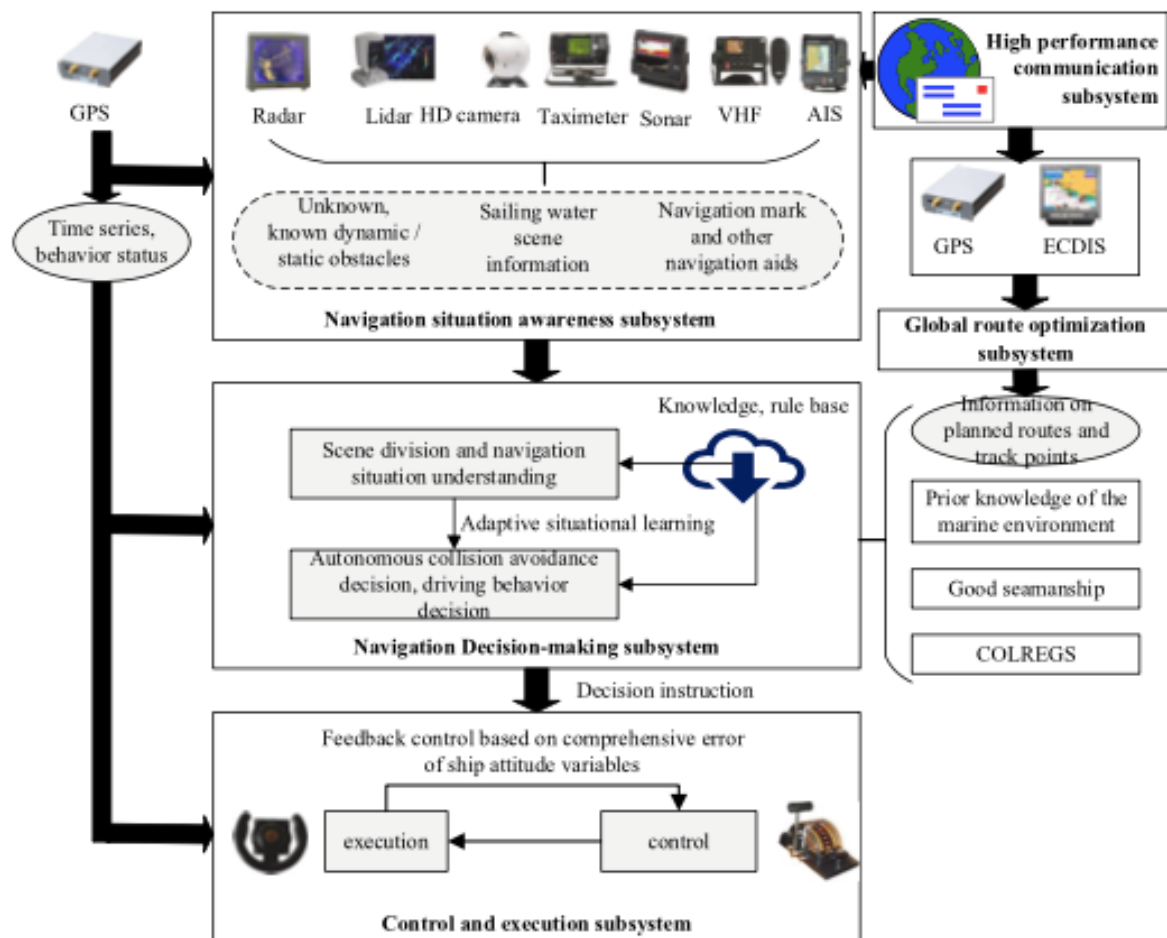
Αρχικά στη μελέτη αυτή γίνεται λόγος για τη δυσκολία ανάπτυξης ευφυών αλγορίθμων για ασφαλή πλοήγηση, λόγω της αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει τους παράγοντες που επηρεάζουν

την ναυσιπλοΐα, με σημαντικότερο παράγοντα το θαλάσσιο περιβάλλον. Η θάλασσα και ο βυθός της είναι απέραντος και η ανθρώπινη κατανόηση της θάλασσας είναι πολύ περιορισμένη. Υπάρχουν πολλά σημεία στους ωκεανούς παγκοσμίως που δεν έχουν ακόμη μελετηθεί αλλά ακόμη και σε μέρη που διατίθεται προηγμένη περιβαλλοντική πληροφορία υπάρχουν πάντα καταστάσεις που δεν μπορούν να προβλεφθούν. Επιπλέον, για την πλήρη κατανόηση της τρέχουσας κατάστασης το πλοίο λαμβάνει πολλές πληροφορίες από εσωτερικούς και εξωτερικούς αισθητήρες και άλλα εργαλεία. Οι εσωτερικοί αισθητήρες αναφέρονται στο «κέντρο ελέγχου» του πλοίου και παρέχουν δεδομένα για τα διάφορα συστήματα επί του σκάφους (όπως το σύστημα πρόωσης, το σύστημα αυτόματου πιλότου, το σύστημα αποφυγής σύγκρουσης κ.λπ.) αλλά και δεδομένα όπως η ποσότητα των καυσίμων. Οι εξωτερικοί αισθητήρες αναφέρονται στο δορυφορικό σύστημα GNSS, τη θαλάσσια περιοχή, την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου, το βάθος του νερού, τα ηχητικά και οπτικά σήματα (π.χ. φώτα άλλων πλοίων). Τα δεδομένα που λαμβάνονται από άλλα εργαλεία περιλαμβάνουν τα δεδομένα του συστήματος AIS, μετεωρολογικά δεδομένα πρόγνωσης και δεδομένα ημερολογίου παλίρροιας.

Λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών αυτών των τριών πηγών πληροφορίας που δέχεται ένα πλοίο είναι πιθανόν να προκύψουν αβεβαιότητες αλλά και σύγχυση. Τέλος, υπάρχει και ένας μεγάλος βαθμός αβεβαιότητας όσον αφορά την ακρίβεια της πρόβλεψης της κίνησης των εμποδίων και της τροχιάς σύγκρουσης. Η αντίληψη όλων των αισθητήρων και ολόκληρη η διαδικασία λήψης αποφάσεων ή η διαδικασία πλοήγησης έχει διακριτά χαρακτηριστικά χωροχρόνου. Μέχρι στιγμής, αυτοί οι αισθητήρες δεν μπορούν να ανιχνεύσουν ή να αναφέρουν την πρόθεση συμπεριφοράς και την κατάσταση κίνησης των δυναμικών εμποδίων, όπως η κατεύθυνση και η ταχύτητα κίνησης. Με βάση τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό ότι σε ένα αβέβαιο περιβάλλον, το σύστημα λήψης αποφάσεων πλοήγησης και οι αλγόριθμοι ενός αυτόνομου πλοίου θα πρέπει να έχουν την ικανότητα της αξιολόγησης της τρέχουσας κατάστασης που βασίζεται σε ετερογενείς πληροφορίες πολλαπλών πηγών και την ικανότητα δημιουργίας της βέλτιστης στρατηγικής πλοήγησης ώστε να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα αβεβαιότητας.

Επιπλέον, στη μελέτη αυτή γίνεται ένας διαχωρισμός του συστήματος αποφυγής σύγκρουσης σε πέντε υποσυστήματα: βελτιστοποίησης διαδρομής (global route optimization), επίγνωσης της κατάστασης πλοήγησης (navigation situation awareness), λήψης αποφάσεων πλοήγησης (navigation decision making), ελέγχου και εκτέλεσης (control and execution) και επικοινωνίας

υψηλής απόδοσης (HP communication). Στην [Εικόνα 5](#) παρουσιάζεται αναλυτικά η αρχιτεκτονική του συστήματος πλοήγησης / αποφυγής σύγκρουσης για αυτόνομα πλοία και περιγράφεται η συνεργατική σχέση μεταξύ των πέντε υποσυστημάτων, όπως θα τα περιγράψουμε και παρακάτω (Zhang et al., 2021).



Εικόνα 5 Η αρχιτεκτονική του συστήματος αποφυγής σύγκρουσης (Zhang et al, 2021).

2.2.1 Βελτιστοποίηση Διαδρομής

Το υποσύστημα βελτιστοποίησης διαδρομής έχει ως στόχο να θέσει αρχικά τις κατευθυντήριες γραμμές – με τη βοήθεια του ECDIS και του συστήματος GPS – για τη μελέτη και το σχεδιασμό της βέλτιστης και ασφαλέστερης διαδρομής με βάση γνωστά εμπόδια και λιμάνια.

Η γενική αρχή της βέλτιστης διαδρομής είναι η εύρεση της συντομότερης διαδρομής χωρίς σύγκρουση, από το γνωστό σημείο εκκίνησης έως το γνωστό σημείο προορισμού, σύμφωνα

με τις υπάρχουσες πληροφορίες σχετικά με τα πιθανά εμπόδια (π.χ. πάγος, ύφαλοι) ή τις καιρικές συνθήκες στο θαλάσσιο περιβάλλον. Γενικά, η πρακτική αυτή περιορίζεται σε υπάρχουσες σειρές δεδομένων, χωρικούς περιορισμούς, υδρο-μετεωρολογικά στοιχεία και του κανόνες COLREGs. Βέβαια, είτε πρόκειται για τον προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ των σημείων, τη δημιουργία βάσης δεδομένων παράκτιων σημείων, ή τη χρήση διαφόρων αλγορίθμων οπτικοποίησης για την επίλυση της συντομότερης διαδρομής, υπάρχουν ακόμη προβλήματα όπως η δυσκολία καθιέρωσης ενός πρακτικού μοντέλου και η έλλειψη προσαρμοστικότητας των μοντέλων. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας μαζικών δεδομένων (Big Data) και την ευρεία εφαρμογή της στο θαλάσσιο τομέα, η βέλτιστη διαδρομή μπορεί να επιτευχθεί με την αξιολόγηση, την ταξινόμηση, και την πρόβλεψη των μαζικών δεδομένων τροχιάς AIS. Τέτοια μοντέλα και λογισμικά υπάρχουν ήδη και χρησιμοποιούνται για τη βελτιστοποίηση των θαλάσσιων διαδρομών με βάση την παγκόσμια θαλάσσια κίνηση, τις καιρικές συνθήκες, και παράγοντες όπως η ταχύτητα και η κατανάλωση των πλοίων.

2.2.2 Επίγνωση της Κατάσταση Πλοήγησης

Η επίγνωση της κατάστασης πλοήγησης ουσιαστικά είναι η αντίληψη των εσωτερικών και εξωτερικών πληροφοριών σχετικά τόσο με το πλοίο όσο και με το θαλάσσιο περιβάλλον. Το υποσύστημα αυτό αποτελεί τη βάση για καθοριστικές αποφάσεις στην πλοήγηση του πλοίου και οι ακριβείς πληροφορίες είναι πολύ σημαντικές. Χρησιμοποιούνται πολλά είδη αισθητήρων όπως το ECDIS, διάφορα ραντάρ, αισθητήρες LiDAR, κάμερες υψηλής ευκρίνειας, το AIS κ.λπ., τα οποία μπορούν να λάβουν πληροφορίες υψηλής ακρίβειας για ασφαλή ναυσιπλοΐα, υδρο-μετεωρολογικές πληροφορίες, δυναμικές πληροφορίες άλλων πλοίων και πληροφορίες σχετικά με τα λιμάνια σε πραγματικό χρόνο. Αυτές οι πληροφορίες πολλαπλών πηγών συγχωνεύονται και υποβάλλονται σε επεξεργασία, και έτσι τα στατικά και δυναμικά εμπόδια χαρτογραφούνται στο ECDIS και αποστέλλονται στο σύστημα λήψης αποφάσεων.

Γενικά, η επίγνωση της κατάστασης πλοήγησης μπορεί να χωριστεί σε τρία επίπεδα: απόκτηση πληροφοριών για το περιβάλλον πλοήγησης, κατανόηση σεναρίου διαδρομής, εκτίμηση και πρόβλεψη της κατάστασης. Για τα παραδοσιακά επανδρωμένα πλοία, η αντίληψη των πληροφοριών για το περιβάλλον ναυσιπλοΐας αναφέρεται γενικά στην απόκτηση της θέσης, της πορείας, της ταχύτητας, της σχετικής κατεύθυνσης, της σχετικής απόστασης του πλοίου και του πλοίου-στόχου εάν υπάρχει. Η εκτίμηση και πρόβλεψη της κατάστασης είναι η

υπόθεση μιας μελλοντικής κατάστασης του πλοίου στο δυναμικό θαλάσσιο περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένης της πρόβλεψης της τροχιάς και της κίνησης άλλων πλοίων ή εμποδίων. Ωστόσο, η υπάρχουσα έρευνα σχετικά με την επίγνωση της κατάστασης πλοήγησης σχετίζεται απλά με την ανάλυση των σεναρίων σύγκρουσης με βάση τους κανόνες COLREGS.

Πίνακας 2 Χαρακτηριστικά ενός μοντέλου οντολογίας (Zhang et al, 2021).

No.	property categories	sub-properties	object properties
1	location attribute	longitude latitude	<i>hasLongitude</i> <i>hasLatitude</i>
2	data attribute	relative distance direction speed current state maximum minimum	<i>distToEntity</i> <i>hasDirection</i> <i>hasVelocity</i> <i>currentAttribute</i> <i>hasMax</i> <i>hasMin</i>
3	relationship attribute	join conditions incorporate relational orientation relation position relationship	<i>connectTo</i> <i>from</i> <i>to</i> <i>has</i> <i>hasBehindLeft</i> <i>hasBehind</i> <i>hasBehindRight</i> <i>hasFrontLeft</i> <i>hasFront</i> <i>hasFrontRight</i> <i>hasLeft</i> <i>hasRight</i> <i>isOn</i> <i>isFrom</i>

Στην ίδια μελέτη, προτείνεται το υποσύστημα επίγνωσης της κατάστασης πλοήγησης να πραγματοποιεί την εκτίμηση της κατάστασης χρησιμοποιώντας οντολογικά χαρακτηριστικά. Οι ετερογενείς πληροφορίες πολλαπλών πηγών που λαμβάνονται, καθορίζονται ως συγκεκριμένες οντότητες και ταξινομούνται βάσει των ιδιοτήτων τους. Στον Πίνακα 2 της παρουσιάζεται ένα τέτοιο μοντέλο που συμπεριλαμβάνει «οντότητες», όπως για παράδειγμα η θέση η οποία ορίζεται από δεδομένα όπως το γεωγραφικό μήκος και πλάτος.

2.2.3 Λήψη Αποφάσεων

Το υποσύστημα λήψης αποφάσεων είναι το βασικότερο τμήμα του συστήματος πλοήγησης των αυτόνομων πλοίων. Το υποσύστημα λαμβάνει στην είσοδο τα αποτελέσματα του

υποσυστήματος επίγνωσης κατάστασης πλοήγησης και συλλέγει όλες τις πληροφορίες της κατάστασης ναυσιπλοΐας, συμπεριλαμβανομένης όχι μόνο της τρέχουσας κατάστασης, της ταχύτητας και της πορείας του αυτόνομου πλοίου, αλλά και πληροφοριών σχετικών με πιθανά εμπόδια. Με βάση αυτές τις πληροφορίες «αποφασίζει» τη διαδρομή που θα ακολουθήσει το πλοίο. Το σύστημα λήψης αποφάσεων λαμβάνει επίσης ως πληροφορίες τα αποτελέσματα που παρέχει το υποσύστημα βελτιστοποίησης διαδρομής.

Γενικά το υποσύστημα λήψης αποφάσεων απαιτεί περαιτέρω ανάπτυξη και δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμη. Θα πρέπει οι αλγόριθμοι λήψης αποφάσεων να «εκπαιδευτούν» με τη χρήση εργαλείων όπως η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική εκμάθηση ώστε να μπορούν να αποφασίζουν την ασφαλέστερη διαδρομή για την αποφυγή συγκρούσεων χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση.

2.2.4 Έλεγχος και Εκτέλεση Πλοήγησης

Έπειτα από τη λήψη της απόφασης για τη διαδρομή που θα ακολουθήσει το πλοίο, ακολουθεί η εκτέλεση της πλοήγησης. Κυριότερες λειτουργίες του υποσυστήματος είναι ο έλεγχος της ταχύτητας, της πρόωσης και του πηδαλίου, έτσι ώστε να ακολουθηθεί η ασφαλέστερη τροχιά που έχει αποφασιστεί. Κατά την εκτέλεση της διαδρομής του αυτόνομου πλοίου λαμβάνονται υπόψιν κάποιες αποκλίσεις και πιθανά λάθη ανάμεσα στην προβλεπόμενη και στην τρέχουσα διαδρομή. Αυτό συμβαίνει λόγω της αβεβαιότητας που προκαλούν τα θαλάσσια ρεύματα, τα απρόσμενα καιρικά φαινόμενα και άλλα περιβαλλοντικά στοιχεία. Επομένως, απαιτείται ένα επίπεδο ελέγχου ανάδρασης που θα ελέγχει συνεχώς την κίνηση του πλοίου με βάση αυτά τα σφάλματα κατά την εκτέλεση της διαδρομής. Με αυτόν τον τρόπο, οι αποφάσεις για την πλοήγηση μπορούν να προσαρμοστούν σε πραγματικό χρόνο και να επανασχεδιαστούν, με σκοπό να αποφύγει το πλοίο τους κινδύνους που προκύπτουν χωρίς να έχουν προβλεφθεί αρχικά.

Όσον αφορά τον έλεγχο της κίνησης του πλοίου, δεν διαφέρει σημαντικά για ένα αυτόνομο πλοίο και για ένα συμβατικό πλοίο. Και οι δύο τύποι πλοίων έχουν έξι βαθμούς ελευθερίας στην κίνησή τους, ακολουθούν μια συγκεκριμένη προκαθορισμένη τροχιά, και ο έλεγχος αυτών των κινήσεων παρακολουθείται συνεχώς λαμβάνοντας υπόψη το σφάλμα της τρέχουσας και της προγραμματισμένης διαδρομής. Το μόνο που διαφέρει είναι ποιος θα έχει

τον έλεγχο της κίνησης του πλοίου, το πλήρωμα επί του πλοίου, το πλήρωμα στη στεριά ή κάποιος καλά εκπαιδευμένος αλγόριθμος.

2.3.5. Επικοινωνία Υψηλής Απόδοσης

Το υποσύστημα επικοινωνίας υψηλής απόδοσης εγγυάται την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με τα δεδομένα ή την ασφάλεια, μεταξύ δορυφόρου, πλοίου και ξηράς. Υπάρχουν τέσσερις τύποι επικοινωνίας όσον αφορά τα αυτόνομα πλοία: (1) από πλοίο σε πλοίο, (2) από πλοίο στην ξηρά, (3) από πλοίο σε ασύρματους κόμβους λήψης δεδομένων, (4) από πλοίο σε δορυφόρους. Λόγω της ανάγκης μετάδοσης πολλών πληροφοριών από αισθητήρες, από όργανα απόδοσης συστημάτων, από κάμερες και ραντάρ, ο όγκος επικοινωνίας είναι μεγάλος. Ως εκ τούτου, τα μη επανδρωμένα πλοία απαιτούν μεγάλες ταχύτητες δικτύων υψηλής απόδοσης.

Όσον αφορά την πλοήγηση / αποφυγή σύγκρουσης, το υποσύστημα επικοινωνίας υψηλής απόδοσης είναι ιδιαίτερα σημαντικό. Έχει διαπιστωθεί ότι στις πολυσύχναστες θαλάσσιες διαδρομές μεταφοράς εμπορευμάτων η αυξημένη χρήση του AIS προκαλεί υπερφόρτωση του δικτύου αυτόματης ανταλλαγής ψηφιακών σημάτων. Η Διεθνής Ένωση Θαλάσσιων Ενισχύσεων στις Αρχές Ναυσιπλοΐας και Φάρων (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities - IALA) έχει ήδη ξεκινήσει να χρησιμοποιεί το σύστημα ανταλλαγής δεδομένων πολύ υψηλής συχνότητας (VHF Data Exchange System - VDES). Το VDES περιλαμβάνει διαφορετικά υποσυστήματα επικοινωνίας όπως κανάλια AIS και Μηνυμάτων Ειδικών Εφαρμογών (Application Specific Messages Archive - ASM). Το βασικό χαρακτηριστικό του VDES είναι ότι εκτός από την απευθείας επικοινωνία μεταξύ πλοίων, χρησιμοποιεί ένα δορυφορικό στοιχείο που μπορεί να υποστηρίξει όλους τους τύπους επικοινωνίας που αναφέραμε παραπάνω παρέχοντας μεγαλύτερη χωρητικότητα δεδομένων και μεγαλύτερη εμβέλεια.

2.3 Ηλεκτρονική Πλοήγηση

Το 2006 ξεκίνησε η ανάπτυξη ενός συστήματος e-Navigation υπό την αιγίδα του IMO. Το σύστημα e-Navigation είναι ένα σύστημα για τη συντονισμένη συλλογή, ενσωμάτωση, ανταλλαγή, προβολή και ανάλυση των θαλάσσιων πληροφοριών με ηλεκτρονικά μέσα με σκοπό την ενίσχυση των δυνατοτήτων της ναυσιπλοΐας και άλλων συναφών υπηρεσιών, τη

βελτίωση του επιπέδου ασφάλειας στη θάλασσα αλλά και την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Η ηλεκτρονική πλοήγηση προσπαθεί να ενσωματώσει την υπάρχουσα τεχνολογία ναυσιπλοΐας για να μεγιστοποιήσει την ασφάλεια και να βελτιώσει την αποδοτικότητα των θαλάσσιων μεταφορών.

Ο IMO έχει αναπτύξει ένα στρατηγικό σχέδιο εφαρμογής της ηλεκτρονικής πλοήγησης (Strategy Implementation Plan - SIP) στις παρακάτω διαδικασίες/λειτουργίες του πλοίου. Καθώς οι ανάγκες των χρηστών εξελίσσονται, νέες στρατηγικές ηλεκτρονικής πλοήγησης μπορούν να ενσωματωθούν στο SIP ανάλογα με την περίπτωση (IMO, 2021c).

S1: Βελτιωμένες, εναρμονισμένες και φιλικές προς το χρήστη γέφυρες πλοίων

S2: Μέσα για τυποποιημένη και αυτοματοποιημένη υποβολή εκθέσεων (reports)

S3: Βελτίωση της αξιοπιστίας, της ανθεκτικότητας και της ακεραιότητας του εξοπλισμού γέφυρας και των πληροφοριών πλοήγησης

S4: Ενσωμάτωση και παρουσίαση των διαθέσιμων πληροφοριών σε γραφικές οθόνες που λαμβάνονται μέσω εξοπλισμού επικοινωνίας

S5: Βελτιωμένη επικοινωνία των διάφορων λογισμικών πλοήγησης



Εικόνα 6 Διάγραμμα της λειτουργίας της πλατφόρμας MCP (Zhang et al, 2021).

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας της ηλεκτρονικής πλοήγησης, αναπτύχθηκε και δοκιμάστηκε επίσης η Πλατφόρμα Θαλάσσιας Συνδεσιμότητας (Maritime Connectivity Platform - MCP), η

οποία αποτελεί ένα παγκόσμιο δίκτυο επικοινωνίας που επιτρέπει την αποτελεσματική, ασφαλή, αξιόπιστη και απρόσκοπτη ηλεκτρονική ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ όλων των ενδιαφερόμενων μερών της ναυτιλίας (Εικόνα 6). Ο συνδυασμός της ηλεκτρονικής πλοήγησης με τις λειτουργίες των αυτόνομων πλοίων και την τεχνολογία τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να περιορίσουν σημαντικά τις επιπτώσεις των ανθρώπινων σφαλμάτων και να ενισχύσουν την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας και την αποδοτικότητα των θαλάσσιων μεταφορών.

2.4 Συστήματα Αισθητήρων

Όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, χρειάζονται αρκετές νέες τεχνολογίες για τα αυτόνομα πλοία και την ασφαλή πλοήγηση συμπεριλαμβανομένων και των αισθητήρων. Τα αυτόνομα πλοία θα πρέπει να είναι εξοπλισμένα με καινοτόμους αισθητήρες που θα υποστηρίζουν τόσο το ίδιο το πλοίο, όσο και το κέντρο απομακρυσμένου χειρισμού ή τους χειριστές φόρτωσης και εκφόρτωσης εμπορευμάτων. Οι αισθητήρες βοηθούν στην «επίγνωση» μιας κατάστασης και είναι απαραίτητοι για την ασφαλή πλοήγηση με γνώμονα την ποιότητα των μεταφορών και την προστασία του περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργεί ένα αυτόνομο πλοίο. Παρακάτω θα επικεντρωθούμε στους πιο συνηθισμένους σύγχρονους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την επίγνωση της κατάστασης και την αυτόνομη πλοήγηση καθώς και τις διαθέσιμες τεχνολογίες που μπορούν να συνδυαστούν για να αποτελέσουν κομμάτι της αυτόνομης ναυτιλίας (DMA, 2017; Ringbom et al., 2020).

2.4.1 Σύγχρονοι Αισθητήρες

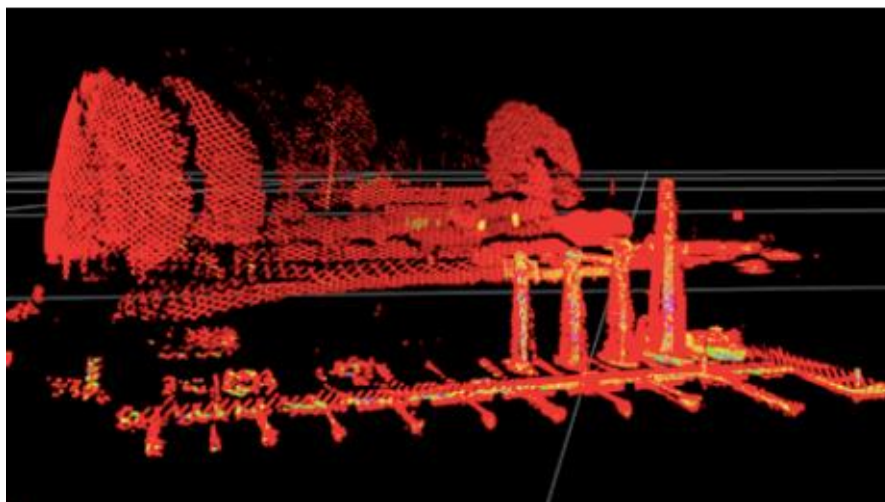
Το φάσμα των αισθητήρων που διαθέτουν τα σύγχρονα παραδοσιακά επανδρωμένα σκάφη περιλαμβάνει συνήθως αντιληπτικούς αισθητήρες όπως κάμερες, ραντάρ, και αισθητήρες εντοπισμού θέσης, όπως τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (GNSS) και οι συστήματα αδρανειακής πλοήγησης (Inertial Navigation Systems - INS). Επιπλέον, το σύστημα αυτόματης αναγνώρισης (AIS) δεν είναι βασικά αισθητήρας, αλλά χρησιμοποιείται ως πηγή δεδομένων για τη θέση των πλοίων σε πραγματικό χρόνο. Άλλοι αισθητήρες που εφαρμόζονται σε αυτόνομα συστήματα σκαφών μπορεί να περιλαμβάνουν συστήματα λήψης ήχου για την ανίχνευση και τον εντοπισμό εξωτερικών ηχητικών σημάτων, αισθητήρες καιρού οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των συνθηκών ναυσιπλοΐας και των συνθηκών λειτουργίας άλλων αισθητήρων, καθώς και αισθητήρες που παρακολουθούν την εσωτερική κατάσταση του σκάφους π.χ. την απόδοση του κινητήρα (Thombre et al., 2020).

Πιο συγκεκριμένα, τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (Global Navigation Satellite Systems - GNSS) είναι ένας όρος που καλύπτει τα διάφορα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης όπως το GPS (Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης) με έδρα τις ΗΠΑ, το Ρωσικό Δορυφορικό Σύστημα RussianGLONASS, το Ευρωπαϊκό Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης Galileo και το Κινεζικό Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης BeiDou (BDS). Τα συστήματα GNSS βασίζονται στη λήψη ραδιοσημάτων από δορυφόρους και στη χρήση αυτών για τον προσδιορισμό της θέσης του πλοίου. Για να βελτιωθεί η εγκυρότητα της εκτίμησης θέσης, τα συστήματα GNSS συχνά συνδυάζονται με συστήματα αδρανειακής πλοήγησης (INS) τα οποία χρησιμοποιούν μονάδες αδρανειακής μέτρησης (Inertial Measurement Unit - IMU) για την εκτίμηση της κίνησης του σκάφους, προκειμένου να δοθούν σωστές εκτιμήσεις θέσης (DMA, 2017).

Επίσης, σημαντικό σύστημα πληροφοριών είναι το AIS (Αυτόματο Σύστημα Αναγνώρισης) που χρησιμοποιείται για τη συλλογή και διαβίβαση δεδομένων μέσω ραδιοσυχνοτήτων VHF, όπως απαιτείται από τη σύμβαση SOLAS (κεφάλαιο V, κανονισμός 19) για όλα τα επιβατηγά πλοία και φορτηγά πλοία καθώς και για αλιευτικά σκάφη μήκους άνω των 15 μέτρων. Τα δεδομένα του συστήματος AIS είναι χρήσιμα για την επίγνωση της κατάστασης, αλλά η διαθεσιμότητα, η ορθότητα και η εγκυρότητα τους δεν είναι εγγυημένα για όλα τα σκάφη. Ως εκ τούτου, το AIS δεν μπορεί να εξασφαλίσει επαρκείς πληροφορίες για αυτόνομη πλοήγηση (Ringbom, et al., 2020).

Έπειτα οι αισθητήρες RADAR (Radio Detection and Ranging) και LiDAR (Light Detection and Ranging) μετρούν ουσιαστικά ένα εύρος με βάσει ραδιοσυχνότητες και συχνότητες οπτικές ή υπέρυθρου φωτός, αντίστοιχα. Μια σημαντική διαφορά μεταξύ RADARs και LiDARs είναι στη διασπορά του σήματος στο χώρο. Τα RADAR χρησιμοποιούν κεραίες με σχετικά μεγάλο πλάτος δέσμης και έτσι υπάρχουν δυσκολίες στη διάκριση μικρών δομικών λεπτομερειών στα αντικείμενα που ανιχνεύουν. Τα σύγχρονα LiDARs, από την άλλη πλευρά, βασίζονται σχεδόν αποκλειστικά σε λέιζερ και κατά συνέπεια έχουν πολύ καλύτερη ευκρίνεια στα σήματα που δέχονται. Ως εκ τούτου, οι αισθητήρες LiDAR μπορούν να απεικονίσουν ένα μοντέλο με μεγάλη λεπτομέρεια, ακόμη και από μεγάλη απόσταση. Το μειονέκτημα τους όμως είναι ότι είναι πολύ ευαίσθητοι σε καιρικά φαινόμενα, όπως για παράδειγμα σε βροχοπτώσεις. Αντίθετα, τα ραδιοκύματα διεισδύουν στα σύννεφα, τον καπνό και την ομίχλη καλύτερα και ως εκ τούτου, τα RADARs είναι η προφανής επιλογή ως συστήματα μεγάλης εμβέλειας επί

των πλοίων. Οι διαθέσιμοι αισθητήρες LiDAR γενικά θεωρούνται ανεπαρκείς για τις περισσότερες χρήσεις σε ένα αυτόνομο πλοίο ενώ η εξέλιξή τους απαιτεί μεγάλο κόστος κυρίως λόγω των ακραίων καιρικών φαινομένων που πρέπει να υποστηρίξουν. Είναι όμως πιθανόν, ότι το εύρος και η ανάλυση της τεχνολογίας LiDAR θα βελτιωθεί στο εγγύς μέλλον, επιτρέποντας τη χρήση τους στα αυτόνομα πλοία (Thombre et al., 2020).



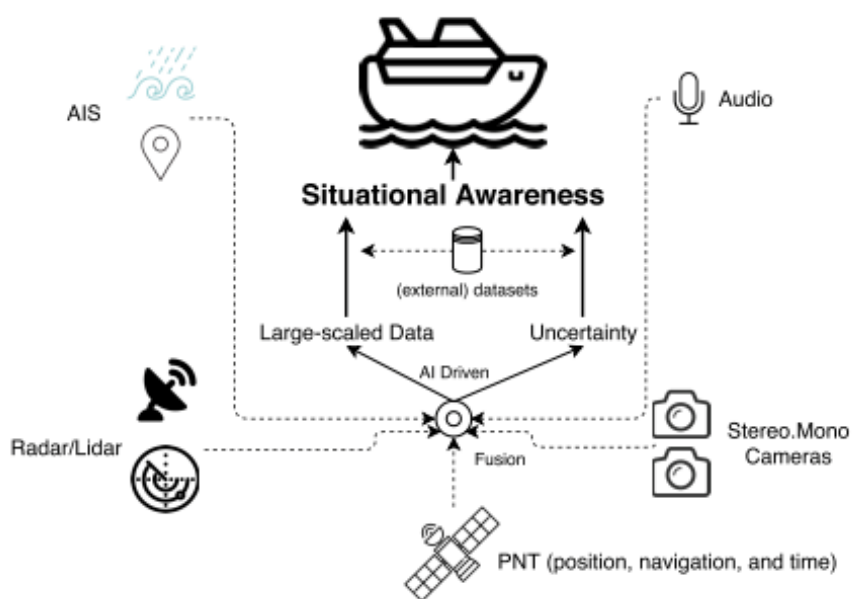
Εικόνα 7 Απόδοση ενός θαλάσσιου περιβάλλοντος όπως αποτυπώνεται από ένα LiDAR (DNV – GL, 2018b)

Τέλος, στα συστήματα αισθητήρων σημαντικοί είναι οι διάφοροι οπτικοί και ηχητικοί αισθητήρες. Με τον όρο οπτικοί αισθητήρες εννοούμε όλους τους αισθητήρες που συλλαμβάνουν τουλάχιστον μια δισδιάστατη εικόνα παρόμοια με ένα ανθρώπινο μάτι, ενώ ηχητικοί αισθητήρες είναι κυρίως τα μικρόφωνα και ιδίως οι συστοιχίες μικροφώνων, που έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για το θαλάσσιο περιβάλλον. Σε ένα αυτόνομο σύστημα πλοήγησης, οι κάμερες χρησιμοποιούνται σε αντικατάσταση της τυπικής «βάρδιας» των ναυτικών (watchkeeping). Διαφορετικοί τύποι συστημάτων κάμερας είναι απαραίτητοι για διαφορετικές εργασίες βάρδιας. Για παράδειγμα, μπορεί να χρειαστούν συστοιχίες πολλαπλών αισθητήρων κάμερας για επιφυλακή 360 μοιρών γύρω από το σκάφος. Η κύρια πρόκληση με τα συστήματα κάμερας στις θαλάσσιες εφαρμογές είναι η απαίτηση για αυξημένη ανάλυση, η οποία, με τη σειρά της, αυξάνει τις απαιτήσεις για υπολογιστική χωρητικότητα, χωρητικότητα αποθήκευσης και μεταφορά δεδομένων. Όσον αφορά τους αισθητήρες ήχου, μπορούν να φανούν χρήσιμοι τόσο για την περιγραφή του περιβάλλοντος του πλοίου (π.χ. διαφορετικοί τύποι σκαφών θα μπορούσαν να ανιχνευθούν, να ταξινομηθούν, και να παρακολουθούνται αναλύοντας τους ήχους που παράγουν, όπως αυτοί του κινητήρα)

όσο και για την αυτόματη ανίχνευση έκτακτων περιστατικών όπως η ανίχνευση βλάβης (Thombre et al., 2020).

2.4.2 Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης

Τόσο για την εξασφάλιση της ασφαλούς πλοήγησης όσο και για την αποφυγή ζημιών και προβλημάτων στο ίδιο το πλοίο και τα συστήματά του, ένα αυτόνομο πλοίο χρειάζεται να έχει πλήρη επίγνωση του περιβάλλοντος και του ίδιου του πλοίου (Ringbom, et al., 2020). Παραπάνω αναφερθήκαμε στους βασικότερους σύγχρονους αισθητήρες που διαθέτουν τα παραδοσιακά πλοία αλλά χρησιμοποιούνται και στα αυτόνομα πλοία. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας έχουν αναπτυχθεί αυτόνομα συστήματα με σκοπό την επεξεργασία της πληροφορίας και την επίγνωση μιας κατάστασης, μέσω της Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning) και της Τεχνητή Νοημοσύνης (AI). Στην Εικόνα 8 παρουσιάζεται ένα πολύ απλό διάγραμμα που συνοψίζει την ιδέα των συμβατικών αισθητήρων που αναλύσαμε παραπάνω, οι οποίοι συνδυάζονται με την Τεχνητή Νοημοσύνη για να επιτύχουν πλήρη επίγνωση της κατάστασης ενός αυτόνομου πλοίου.



Εικόνα 8 Απεικόνιση της επίγνωσης κατάστασης ενός πλοίου με χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης (Thombre et al.,2020).

Η Τεχνητή Νοημοσύνη είναι μια ευρύτερη έννοια κατά την οποία οι αλγόριθμοι θα μπορούν να εκτελούν οι ίδιοι κάποιες λειτουργίες, και η μηχανική μάθηση αφορά την προσαρμογή των αλγορίθμων στα παρεχόμενα δεδομένα. Η Μηχανική Μάθηση μπορεί να εφαρμοστεί για

πολλούς τύπους αισθητήρων και σημάτων εισόδου, συμπεριλαμβανομένων RADAR, LiDAR, καμερών και αισθητήρων ήχου. Ένας αλγόριθμος Μηχανικής Μάθησης θα πρέπει να είναι σε θέση να εντοπίζει σημαίες, φωτεινές ενδείξεις, επιχειρησιακές καταστάσεις άλλων πλοίων, για παράδειγμα εάν ένα ιστιοφόρο τροφοδοτείται με κινητήρα ή πλέει με τον άνεμο, καθώς και άγνωστα αντικείμενα στο νερό (συντρίμμα).

Η δημιουργία αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης, απαιτεί έναν πολύ μεγάλο όγκο πραγματικών δεδομένων που θα καλύπτουν ένα πολύ μεγάλο φάσμα καταστάσεων. Η επίτευξη ενός αξιόπιστου και πετυχημένου αλγορίθμου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των σημάτων των αισθητήρων που θα λαμβάνει αλλά και τον τρόπο δηλαδή την τεχνική με την οποία θα έχει «εκπαιδευτεί» (Ringbom, et al., 2020). Σε μία εκτενή μελέτη με τίτλο «Sensors and AI Techniques for Situational Awareness in Autonomous Ships: A Review» αναφέρεται ότι δύο από τις άμεσα διαθέσιμες και σχετικά δοκιμασμένες τεχνικές Μηχανικής Μάθησης αλγορίθμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα αυτόνομα πλοία είναι οι Deep Learning και Gaussian Process (Thombre et al., 2020).

Παρόλα αυτά υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις σχετικά με τους αλγόριθμους Μηχανικής Μάθησης. Ενώ οι νέες τεχνολογίες αισθητήρων υποστηρίζουν λειτουργίες όπως η νυχτερινή όραση (θερμικές κάμερες) και οι ακριβείς μετρήσεις απόστασης (LiDAR), ωστόσο δεν παρέχουν ακριβή δεδομένα σε συνθήκες χαμηλής ορατότητας, όπως η ομίχλη, το χιόνι ή η βροχή, συγκριτικά με την αντίληψη ενός ναυτικού. Επιπλέον, δεδομένου ότι οι καιρικές συνθήκες ενδέχεται να επηρεάσουν την ικανότητα λειτουργίας των αισθητήρων, πρέπει να υπάρχουν ορισμένοι μηχανισμοί προκειμένου να διασφαλιστεί, για παράδειγμα, ότι τα οπτικά συστήματα δεν εμποδίζονται από σκόνη, πάγο ή χιόνι (Ringbom, et al., 2020). Επίσης, στην ναυσιπλοΐα υπάρχουν διάφορα ακουστικά και οπτικά σήματα που χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις κινδύνου και πολλές φορές αυτά διέπονται από διεθνείς κανονισμούς ώστε να υπάρχει ενιαίος κώδικας επικοινωνίας μεταξύ των πλοίων. Ωστόσο αυτά τα σήματα δεν είναι εύκολα στην ανίχνευση και στον εντοπισμό με τη χρήση αυτόματων αισθητήριων συστημάτων και πολλά θα απαιτούσαν την ανάπτυξη ειδικών αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. (Ringbom, et al., 2020).

Τέλος, πρόκληση αποτελεί και η κυβερνοασφάλεια αφού οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε ένα πλοίο είναι επιρρεπείς σε κακόβουλες εξωτερικές επιθέσεις. Για παράδειγμα, τα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης αλλά και τα ραντάρ μπορούν να μπλοκαριστούν

από εισβολείς (hackers) και να μεταδώσουν παρεμβαλλόμενο θόρυβο ή ψευδείς πληροφορίες ή ανύπαρκτα εμπόδια. Χρειάζονται λοιπόν εξειδικευμένα συστήματα προστασίας που να είναι σε θέση να εντοπίσουν κακόβουλες επιθέσεις, όπως επίσης και επιπρόσθετοι αισθητήρες για να αντικαταστήσουν αυτούς που έχουν δεχτεί επίθεση και παρεμβολή.

2.5 Κέντρα Απομακρυσμένου Ελέγχου

Ένα σημαντικό στοιχείο της καινοτομίας των αυτόνομων πλοίων, σχεδόν σε όλες τις βαθμίδες αυτονομίας, είναι τα κέντρα απομακρυσμένου ελέγχου ή κέντρα ελέγχου ξηράς (remote-control station/center ή shore control center). Η αποτελεσματικότητα των κέντρων ελέγχου ξηράς βασίζεται κυρίως στην επικοινωνία με το πλοίο και είναι καθοριστική η ύπαρξη κατάλληλα εκπαιδευμένου προσωπικού και ταυτόχρονα η επαρκής διάθεση πληροφοριών ώστε οι χειριστές να έχουν πλήρη επίγνωση της κατάστασης του πλοίου.

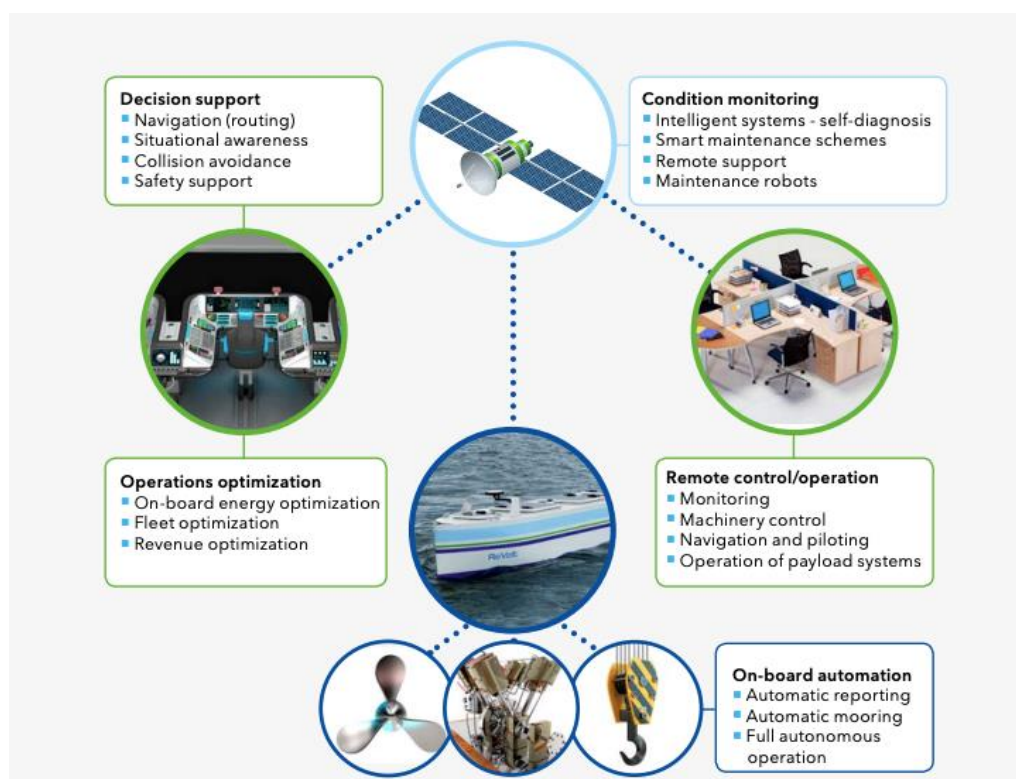
Για να αποκτήσει ένας απομακρυσμένος χειριστής πλήρη επίγνωση της κατάστασης του πλοίου, πρέπει να μεταφέρονται εγκαίρως επαρκείς πληροφορίες από τους αισθητήρες και τα συστήματα του πλοίου στο κέντρο ελέγχου ξηράς. Αυτό θέτει απαιτήσεις σχετικά με τον τύπο, τον όγκο και τον λανθάνοντα χρόνο των πληροφοριών που διαβιβάζονται καθώς και τον τρόπο με τον οποίο παρουσιάζονται στον απομακρυσμένο χειριστή. Αν και χρησιμοποιούνται κυρίως οι συμβατικοί σύγχρονοι αισθητήρες που αναλύσαμε στο υποκεφάλαιο 2.4.1, οι πληροφορίες πρέπει να παρουσιάζονται με τρόπο που να είναι κατανοητές από τον απομακρυσμένο χειριστή (DNV - GL, 2018).

Οι διάφορες πληροφορίες στο κέντρο απομακρυσμένου ελέγχου θα μπορούσε να είναι οι ίδιες που είναι διαθέσιμες στη γέφυρα ενός συμβατικού πλοίου. Το κύριο πρόβλημα που προκύπτει είναι η συνδεσιμότητα και τηλεπικοινωνία του πλοίου με το κέντρο ελέγχου η οποία αν και βελτιώνεται συνεχώς, έχει δοκιμαστεί μόνο σε περιοχές με σημαντική χωρητικότητα επικοινωνιών. Η μέγιστη χωρητικότητα που απαιτείται για τη μετάδοση σε πραγματικό χρόνο πληροφοριών από αισθητήρες και όργανα μπορεί να είναι αρκετές δεκάδες megabit ανά δευτερόλεπτο ανάλογα με τους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται. Η διαθεσιμότητα, ο λανθάνων χρόνος και η ικανότητα επικοινωνίας εξαρτώνται κυρίως από τον φορέα τηλεπικοινωνίας που είναι διαθέσιμος στη συγκεκριμένη θέση του πλοίου, καθώς και την τεχνολογία επικοινωνίας που χρησιμοποιείται στο πλοίο και στο κέντρο ελέγχου. Τα πλοία που επιχειρούν κοντά στην ακτή θα μπορούν να εκμεταλλεύονται τους φορείς επίγειας

τηλεπικοινωνίας ενώ τα πλοία που δραστηριοποιούνται στην ανοικτή θάλασσα πρέπει να βασίζονται στη μεταφορά δεδομένων μέσω δορυφορικής επικοινωνίας (DNV - GL, 2018).

Επιπλέον, σημαντικό πρόβλημα προκύπτει με τη συντήρηση ή την επισκευή του εξοπλισμού επικοινωνίας πάνω στο πλοίο. Δεδομένου ότι η συντήρηση του εξοπλισμού επί του πλοίου δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια της αυτόνομης λειτουργίας του πλοίου, η αξιοπιστία θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η συντήρηση να πραγματοποιείται μόνο κατά την παραμονή στους λιμένες (DNV - GL, 2018b).

Όσον αφορά τα επίπεδα αυτονομίας στα οποία η πλοήγηση βασίζεται εξ ολοκλήρου στο κέντρο ελέγχου ξηράς, ο απομακρυσμένος χειριστής/πλοηγός πρέπει να λάβει άμεσες αποφάσεις με βάση την επίγνωση της κατάστασης που παρουσιάζεται ή να αξιολογήσει τις αποφάσεις που έχουν ήδη ληφθεί από έναν αλγόριθμο, με γνώμονα πάντα την ασφαλέστερη πλοήγηση και λειτουργία του πλοίου. Ωστόσο, στο τέλος, η τελική απόφαση θα εξαρτάται από την ικανότητα, τις δεξιότητες και την καλύτερη κρίση ενός ανθρώπου στο κέντρο ελέγχου, όπως συμβαίνει και στα παραδοσιακά επανδρωμένα πλοία (DNV - GL, 2018b).



Εικόνα 9 Διάγραμμα λειτουργίας ενός κέντρου απομακρυσμένου ελέγχου (DNV – GL, 2018b)

Στην Εικόνα 9 παρουσιάζονται οι βασικές λειτουργίες ενός κέντρου απομακρυσμένου ελέγχου αυτόνομων πλοίων. Το πλοίο είναι εξοπλισμένο με διάφορους αυτοματισμούς, όπως αυτόματες αναφορές, αυτόματα συστήματα αγκύρωσης/πρόσδεσης και συστήματα που υποστηρίζουν την πλήρως αυτόματη λειτουργία του. Στη συνέχεια τα δεδομένα που προκύπτουν από τους αυτοματισμούς επάνω στο πλοίο σε συνδυασμό με τα δεδομένα από δορυφόρους επεξεργάζονται κατάλληλα. Το κέντρο ελέγχου υποστηρίζει λειτουργίες όπως η απομακρυσμένη επίβλεψη του πλοίου, ο έλεγχος των μηχανικών συστημάτων, η λήψη αποφάσεων, η πλοήγηση και το πιλοτάρισμα, η αποφυγή συγκρούσεων, κ.λπ. Τέλος, το κέντρο ελέγχου μπορεί να βοηθήσει στη βελτιστοποίηση των λειτουργιών ενός πλοίου συμβάλλοντας στην εξοικονόμηση ενέργειας και τη διαχείριση στόλων για την επίτευξη μεγαλύτερης κερδοφορίας.

Κεφάλαιο 3 - Προκλήσεις στην Ασφάλεια

Η ασφάλεια και ποιότητα στη ναυτιλία έχει να κάνει τόσο με την ασφαλή λειτουργία και διαχείριση του πλοίου, του φορτίου και του πληρώματος, όσο και με την περιβαλλοντική διαχείριση και την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία. Οι νέες τεχνολογίες, τα συστήματα και ο εξοπλισμός που προορίζονται να χρησιμοποιηθούν για τα αυτόνομα πλοία θα πρέπει να ακολουθούν όλους τους κανόνες ασφάλειας και ποιότητας των διεθνών συμβάσεων ώστε να εξασφαλίζουν την ασφαλή λειτουργία του. Ωστόσο, ζητήματα που βάζουν σε κίνδυνο την ασφάλεια του πλοίου όπως οι επιθέσεις στον κυβερνοχώρο, αλλά και οι επιπτώσεις που μπορεί να έχει η λειτουργία του αυτόνομου πλοίου στο περιβάλλον, αποτελούν μεγάλη πρόκληση για τη ναυτιλία.

3.1 Ασφάλεια στον Κυβερνοχώρο

Καθώς τα αυτόνομα πλοία είναι σε μεγάλο βαθμό εξαρτημένα από αυτοματοποιημένα συστήματα που απαιτούν άριστη συνδεσιμότητα τόσο μεταξύ τους όσο και με τα παγκόσμια δορυφορικά δίκτυα, οι απειλές στον κυβερνοχώρο είναι από τις πιο ανησυχητικές όσον αφορά την ασφάλειά τους. Αυτός είναι ένας κίνδυνος που αυξάνεται συνεχώς στην ολόένα και πιο ψηφιοποιημένη ναυτιλία.

3.1.1 Ασφάλεια στον Κυβερνοχώρο για Παραδοσιακά Πλοία

Τα περισσότερα ζητήματα ασφάλειας που έχουν να αντιμετωπίσουν τα αυτόνομα πλοία είναι σχεδόν ίδια με αυτά των συμβατικών πλοίων. Για τα παραδοσιακά επανδρωμένα πλοία οι κατευθυντήριες γραμμές για την αντιμετώπιση ζητημάτων ασφαλείας είναι καλά ορισμένες και υπάρχει ήδη το θεσμικό και νομοθετικό πλαίσιο για καλές πρακτικές στις θαλάσσιες μεταφορές. Η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο είναι ένα πολύ πρόσφατο ζήτημα ασφάλειας στη ναυτιλία και για αυτό τα διάφορα εμπλεκόμενα μέρη συνεχώς εμπλουτίζουν και ενισχύουν την θωράκιση τους ενάντια σε τέτοιους κινδύνους. Είναι σημαντικό λοιπόν να δούμε αρχικά τι ισχύει μέχρι τώρα για τα συμβατικά πλοία πριν αναλύσουμε την κατάσταση για τα αυτόνομα πλοία.

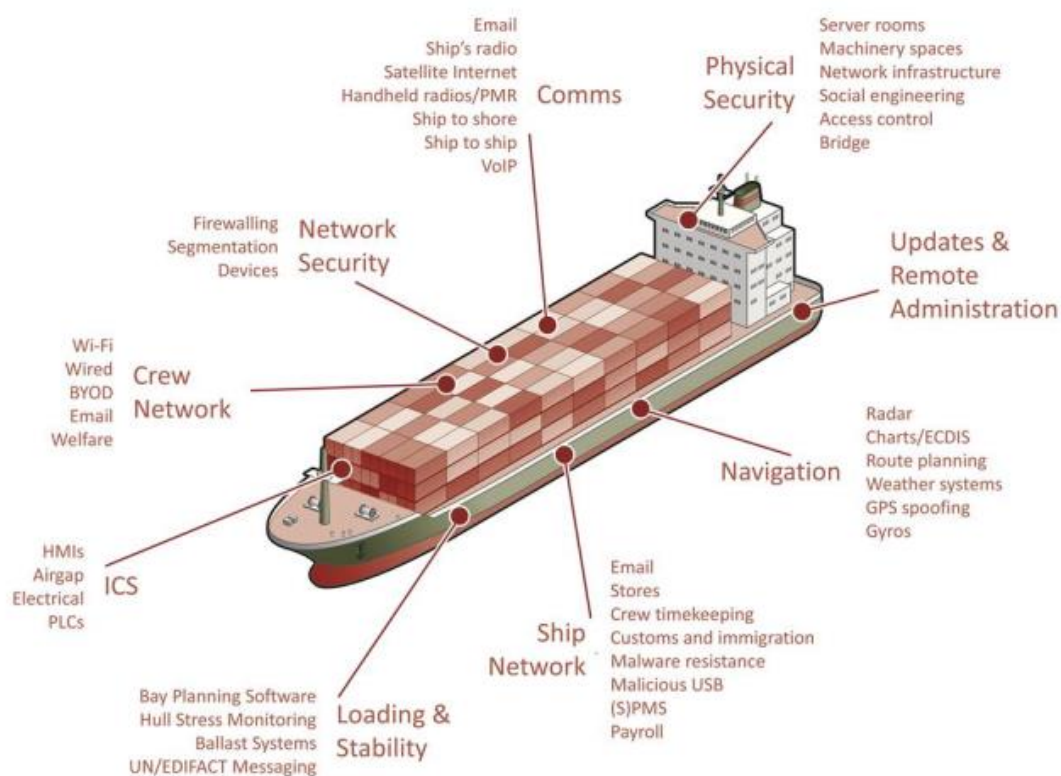
Τον Ιούνιο του 2017, αποφασίστηκε βάσει του κώδικα ISM, ότι από το έτος 2021 οι πλοιοκτήτες πρέπει να έχουν εφαρμόσει διαχείριση κινδύνων σχετικά με τις κυβερνοεπιθέσεις, στο πλαίσιο του συστήματος διαχείρισης ασφάλειας των πλοίων τους (SMS) (Tam & Jones, 2018). Ήδη στη ναυτιλιακή κοινότητα υπάρχουν ανησυχίες και σκέψεις για την αντιμετώπιση των επιθέσεων στον κυβερνοχώρο αφού έχουν γίνει αρκετές και μεγάλες επιθέσεις. Το πιο γνωστό παράδειγμα, είναι η επίθεση το 2017 στη ναυτιλιακή εταιρεία A.P. Moller – Maersk, η οποία έπεσε θύμα μιας μεγάλης κυβερνοεπίθεσης που προκλήθηκε από το κακόβουλο λογισμικό NotPetya, το οποίο επηρέασε επίσης πολλούς οργανισμούς παγκοσμίως. Ως αποτέλεσμα, οι δραστηριότητες της Maersk διακόπηκαν φέρνοντας τεράστιες επιπτώσεις. Συγκεκριμένα, τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων της Maersk έμειναν «ακυβέρνητα» στη θάλασσα και οι 76 λιμενικοί τερματικοί σταθμοί της σε όλο τον κόσμο σταμάτησαν. Η ανάκαμψη ήταν γρήγορη, αλλά μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα η εταιρεία υπέστη οικονομικές ζημιές ύψους έως 300 εκατομμυρίων δολαρίων (Greenberg, 2018).

Μέχρι στιγμής, έχουν γίνει προσπάθειες από διάφορα εμπλεκόμενα μέρη όπως οι πλοιοκτήτες, οι νηογνώμονες και οι διεθνείς νομοθετικοί οργανισμοί, με σκοπό τη θωράκιση της ναυτιλιακής βιομηχανίας από επιθέσεις στον κυβερνοχώρο. Μία πρόσφατη έρευνα έδειξε ότι αν και η απειλή μπορεί να είναι κοινή, αντιμετωπίζεται πολύ διαφορετικά μεταξύ των επαγγελματιών του κλάδου σε όλο τον κόσμο. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από δύο ομάδες δείγματος (μία στην Ευρώπη και μία στην Ασία) κατέδειξαν ότι, με βάση το στάδιο και το επίπεδο της τεχνολογίας που έχουν υιοθετήσει οι εμπλεκόμενοι, η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο γίνεται διαφορετικά αντιληπτή μεταξύ αυτών των δύο ομάδων ενώ η πανδημία του COVID-19 έχει επισημάνει εντονότερα αυτές τις διαφορές (Karamperidis, Kapalidis, & Watson, 2021).

Παρά τον αυξανόμενο αριθμό περιστατικών στον κυβερνοχώρο σε εταιρικά δίκτυα και δεδομένα, ο τομέας των θαλάσσιων μεταφορών αντιδρά με αργούς ρυθμούς στην αντιμετώπιση τους. Το γεγονός ότι ο κίνδυνος στον κυβερνοχώρο είναι κατά κάποιο τρόπο «άυλος» σημαίνει ότι οι συνέπειες του μπορεί να μην είναι εμφανείς και σε αυτές τις περιπτώσεις είναι δύσκολο να προσδιοριστούν και να αντιμετωπιστούν. Πολλές φορές οι υπολογιστές, τα λογισμικά, οι εφαρμογές ή τα συστήματα τεχνολογίας επί του σκάφους μπορούν να συνεχίσουν να λειτουργούν χωρίς αξιοσημείωτα προβλήματα επιδόσεων μετά από επιθέσεις. Ωστόσο, υπάρχουν και οι περιπτώσεις όπου μια παραβίαση στον κυβερνοχώρο,

μπορεί να επηρεάσει ολόκληρη την υποδομή ενός οργανισμού, συμπεριλαμβανομένου του στόλου και των γραφείων του σε όλο τον κόσμο (Karamperidis, Kapalidis, & Watson, 2021).

Η Εικόνα 10 προέρχεται από μία Βρετανική συμβουλευτική εταιρεία ασφάλειας και δείχνει αναλυτικά τα σημεία ενός παραδοσιακού πλοίου που μπορούν να αποτελέσουν στόχο επιθέσεων. Αυτά περιλαμβάνουν τους αισθητήρες, τα συστήματα επικοινωνίας, τα δίκτυα συνδεσιμότητας, τους αυτοματισμούς, τα συστήματα φορτίου, έρματος, ευστάθειας, τα συστήματα πλοήγησης, κ.α. Όσο η πολυπλοκότητα των πλοίων συνεχίζει να αυξάνεται, τόσο αυξάνονται και τα τρωτά σημεία των πλοίων. Για αυτό το λόγο κάθε εταιρεία καλείται να μελετήσει τις πιθανές απειλές και τους κινδύνους βάσει των πλοίων της και στη συνέχεια να εξετάσει τους τρόπους δράσης και αντιμετώπισης των επιθέσεων.



Εικόνα 10 Τρωτά σημεία πλοίου σε επίθεση στο κυβερνοχώρο (PenTestPartners.com, 2022)

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο που έχει εκδώσει η BIMCO, τα τυπικά ευάλωτα συστήματα επί του πλοίου είναι τα παρακάτω (BIMCO, 2020):

- **Συστήματα διαχείρισης φορτίου και φόρτωσης.** Τα ψηφιακά συστήματα που χρησιμοποιούνται για τη φόρτωση, τη διαχείριση και τον έλεγχο φορτίου,

συμπεριλαμβανομένου του επικίνδυνου φορτίου, επικοινωνούν με διάφορα συστήματα στην ξηρά, συμπεριλαμβανομένων των τερματικών σταθμών των λιμένων. Τα συστήματα αυτά συνήθως περιλαμβάνουν στοιχεία παρακολούθησης της διαδρομής του πλοίου, της φορτοεκφόρτωσης, κλπ., που είναι διαθέσιμα μέσω του διαδικτύου. Οι επικοινωνίες αυτές καθιστούν τα συστήματα διαχείρισης φορτίου καθώς και τα δεδομένα των φορτίων και των εμπορευματοκιβωτίων (είδος, ποσότητα, αξία), ευάλωτα σε επιθέσεις στον κυβερνοχώρο.

- **Συστήματα γέφυρας.** Η αυξανόμενη χρήση των ψηφιακών συστημάτων που είναι συνδεδεμένα με δορυφορικά δίκτυα για την ενημέρωση και την παροχή δεδομένων, καθιστούν τα συστήματα αυτά ευάλωτα. Τα συστήματα γέφυρας που δεν είναι συνδεδεμένα δορυφορικά μπορεί να είναι εξίσου ευάλωτα καθώς χρησιμοποιούνται επίγειες πηγές για την ενημέρωσή τους. Ένα περιστατικό στον κυβερνοχώρο μπορεί να επεκταθεί στη διακοπή ή την παρεμβολή μιας λειτουργίας και, ως εκ τούτου, μπορεί να επηρεάσει όλα τα συστήματα που σχετίζονται με την πλοήγηση, συμπεριλαμβανομένων των ECDIS, GNSS, AIS, VDR και Radar/ARPA.
- **Συστήματα ναυσιπλοΐας.** Η χρήση ψηφιακών συστημάτων για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των μηχανημάτων, της πρόωσης και του συστήματος πηδαλίου, καθιστά τα συστήματα αυτά ευάλωτα σε επιθέσεις στον κυβερνοχώρο. Η ευπάθεια αυτών των συστημάτων μπορεί να αυξηθεί όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχο.
- **Συστήματα ελέγχου πρόσβασης και ασφάλειας.** Τα ψηφιακά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη του ελέγχου πρόσβασης για τη διασφάλιση της φυσικής ασφάλειας ενός πλοίου και του φορτίου του, συμπεριλαμβανομένης της επιτήρησης, του συναγερμού ασφαλείας του πλοίου και των ηλεκτρονικών συστημάτων «επί του σκάφους» είναι ευάλωτα σε επιθέσεις στον κυβερνοχώρο.
- **Διοικητικά συστήματα και συστήματα κοινωνικής πρόνοιας πληρωμάτων.** Τα δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών που χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση του πλοίου ή την ευημερία του πληρώματος είναι ιδιαίτερα ευάλωτα κατά την πρόσβαση στο διαδίκτυο και στο ηλεκτρονικό ταχυδρομείο. Αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί από τους επιτιθέμενους στον κυβερνοχώρο για να αποκτήσουν πρόσβαση σε συστήματα και δεδομένα επί του σκάφους. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται από εταιρείες διαχείρισης πλοίων ή πλοιοκτήτες περιλαμβάνεται επίσης σε αυτή την κατηγορία.
- **Δημόσια δίκτυα επιβατών.** Τα διάφορα ενσύρματα ή ασύρματα δίκτυα που είναι εγκατεστημένα επί του πλοίου προς όφελος των επιβατών, για παράδειγμα τα συστήματα

ψυχαγωγίας των επισκεπτών, θα πρέπει να θεωρούνται τρωτά και να μην συνδέονται με κανένα σύστημα ζωτικής σημασίας για την ασφάλεια του πλοίου.

- **Συστήματα εξυπηρέτησης και διαχείρισης επιβατών.** Τα ψηφιακά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την επιβίβαση, την εξυπηρέτηση και τον έλεγχο πρόσβασης ενδέχεται να διαθέτουν πολύτιμα δεδομένα σχετικά με τους επιβάτες. Οι έξυπνες συσκευές (tablets, φορητοί σαρωτές, κ.λπ.) μπορεί να χρησιμοποιηθούν με σκοπό να αποκτήσουν πρόσβαση οι εισβολείς (hackers) σε άλλα συστήματα.
- **Συστήματα επικοινωνίας.** Η συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο μέσω δορυφορικής ή/και άλλης ασύρματης επικοινωνίας αυξάνει τον κίνδυνο επιθέσεων και οι πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι, για παράδειγμα, τα σήματα VSAT είναι ευάλωτα στις επιθέσεις. Σε ορισμένες περιπτώσεις θα πρέπει να προτιμώνται συστήματα επικοινωνίας με κρυπτογράφηση. Επίσης κάποια συστήματα περιλαμβάνουν επικοινωνία με δημόσιες αρχές για τη διαβίβαση των απαιτούμενων εγγράφων αναφοράς πλοίων και φορτίων. Η εξακρίβωση της γνησιότητας και ο έλεγχος των διαφόρων εγγράφων από τις εν λόγω αρχές θα πρέπει να τηρούνται αυστηρά.

Στην Εικόνα 11 παρουσιάζονται οι πιθανοί επιτιθέμενοι καθώς και τα πιθανά κίνητρα για κυβερνοεπιθέσεις που έχει συγκεντρώσει η BIMCO. Διαπιστώνεται ότι η ναυτιλία μπορεί να βρεθεί αντιμέτωπη με διάφορα συμβάντα, από απλά περιστατικά αμέλειας του πληρώματος που μπορεί να συνδέσουν κάποιο μολυσμένο USB, μέχρι κυβερνητικές οργανώσεις ή τρομοκράτες που έχουν σκοπό να βλάψουν το παγκόσμιο εμπόριο.

Τέλος, είναι σημαντικός ο διαχωρισμός των συστημάτων του πλοίου σε δύο κατηγορίες τεχνολογίας. Τα πρώτα υποστηρίζουν την Τεχνολογία Πληροφοριών (IT), στην οποία τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για πληροφορίες, και περιλαμβάνουν τα δίκτυα, λογαριασμούς, μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, ηλεκτρονικά εγχειρίδια, κ.α. Τα δεύτερα υποστηρίζουν την Επιχειρησιακή Τεχνολογία (OT), στην οποία τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για λειτουργικές διαδικασίες. Τα συστήματα OT μπορούν να είναι SCADA, ECDIS, AIS, GPS, απομακρυσμένη υποστήριξη, συστήματα μετρήσεων και ελέγχου επί του σκάφους. Μια κυβερνοεπίθεση στα συστήματα IT μπορεί να βλάψει τη φήμη ή τη χρηματοδότηση μιας εταιρείας, ενώ μια επίθεση σε συστήματα OT μπορεί να οδηγήσει σε συνέπειες που βλάπτουν το πλήρωμα, το περιβάλλον, την ασφάλεια του πλοίου (BIMCO, 2020).

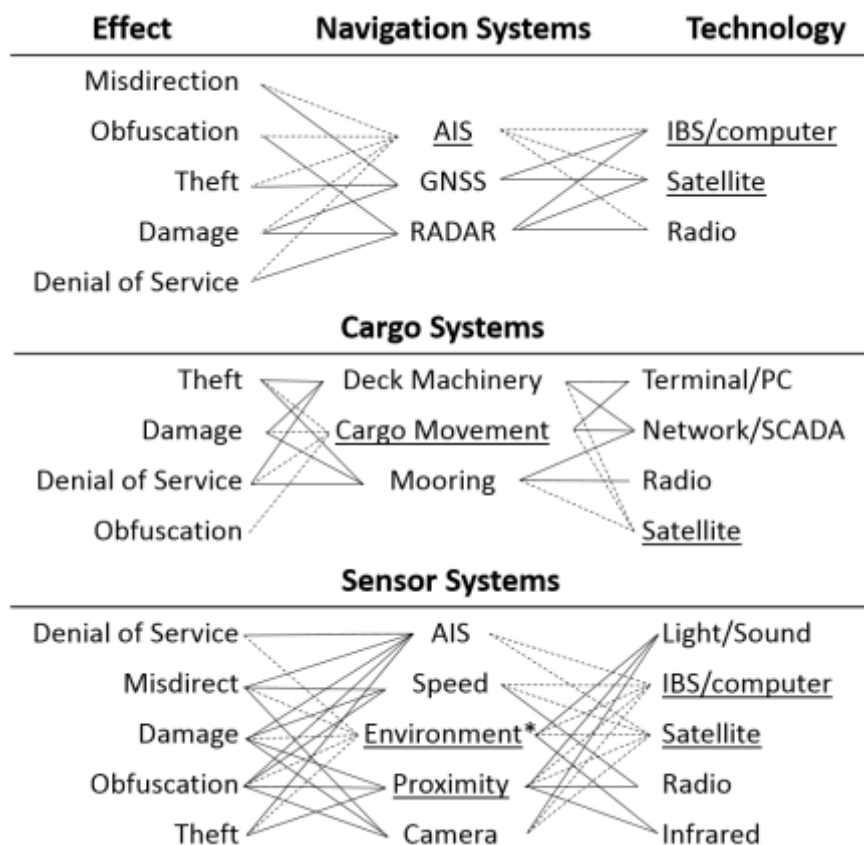
Group	Motivation
Accidental actors	<ul style="list-style-type: none"> ■ No malicious motive but still end up causing unintended harm through bad luck, lack of knowledge or lack of care, eg by inserting infected USB in onboard IT or OT systems.
Activists (including disgruntled employees)	<ul style="list-style-type: none"> ■ revenge ■ disruption of operations ■ media attention ■ reputational damage
Criminals	<ul style="list-style-type: none"> ■ financial gain ■ commercial espionage ■ industrial espionage
Opportunists	<ul style="list-style-type: none"> ■ the challenge ■ reputational gain ■ financial gain
States State sponsored organisations Terrorists	<ul style="list-style-type: none"> ■ political/ideological gain eg (un)controlled disruption to economies and critical national infrastructure ■ espionage ■ financial gain ■ commercial espionage ■ industrial espionage ■ commercial gain

Εικόνα 11 Πιθανοί επιτιθέμενοι και κίνητρα για κυβερνοεπιθέσεις πλοίων (BIMCO, 2020)

3.1.2 Ασφάλεια στον Κυβερνοχώρο για τα Αυτόνομα Πλοία

Παρόλο που ο κλάδος της ναυτιλίας γνωρίζει τη σημασία της ασφάλειας στον κυβερνοχώρο, εξακολουθεί να υπάρχει σύγχυση σχετικά με το πόσο σοβαρή είναι στην πραγματικότητα η απειλή στον κυβερνοχώρο, ποιοι είναι οι κίνδυνοι που ενέχουν για τις επιχειρήσεις και ποιες ενέργειες αντιμετώπισης πρέπει να ληφθούν. Τα αυτόνομα πλοία, ανάλογα με το επίπεδο αυτονομίας τους, μπορούν να έχουν από ελάχιστο έως καθόλου πλήρωμα. Αυτό για κάποιους σημαίνει ότι αυτά τα πλοία δεν είναι τόσο ευάλωτα σε περιστατικά πειρατείας καθώς δεν υπάρχει πλήρωμα για ομηρία. Αυτό όμως δεν μειώνει τις πιθανότητες του κινδύνου επιθέσεων στον κυβερνοχώρο. Τα αυτόνομα πλοία τα οποία βασικά εξαρτώνται από Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών, μπορεί να αποτελέσουν στόχο επιτιθέμενων που θα μπορούσαν να ελέγξουν εξ αποστάσεως το πλοίο, με αποτέλεσμα σοβαρές ζημιές ή διαταραχές στη λειτουργικότητα του πλοίου.

Στην Εικόνα 12 παρουσιάζονται συστήματα που θεωρούνται βασικά και απαραίτητα για τα αυτόνομα πλοία, μαζί με τα τρωτά τους σημεία και πιθανούς τύπους επιθέσεων (Tam & Jones, 2018). Για παράδειγμα είναι δυνατόν μια επίθεση στα συστήματα πλοήγησης ενός αυτόνομου πλοίου να περιλαμβάνει αλλαγή πορείας, διακοπή ρεύματος (obfuscation), κλοπή φορτίου, ζημία, κ.λπ. Επιθέσεις μπορεί να γίνουν επίσης στα συστήματα πλοήγησης (AIS, GNSS, RADAR), στα συστήματα χειρισμού φορτίου (εξοπλισμός καταστρώματος, μηχανισμοί πρόσδεσης και αγκύρωσης, μηχανοστάσιο), και στα συστήματα αισθητήρων (ταχύτητας, περιβάλλοντος, εγγύτητας, καμερών). Μια επίθεση στο σύστημα πλοήγησης του αυτόνομου πλοίου δίνει τη δυνατότητα στους εισβολείς (hackers) να αποκτήσουν τον έλεγχο του πλοίου και να το κατευθύνουν όπου αυτοί επιθυμούν. Τέτοιες επιθέσεις μπορούν να προκαλέσουν ανυπολόγιστες ζημιές στο διεθνές εμπόριο. Διάφορες μελέτες έχουν γίνει με πιθανά σενάρια και πιθανές ενέργειες αντιμετώπισης, ώστε να ενημερωθούν και να ευαισθητοποιηθούν όλοι οι αρμόδιοι φορείς με σκοπό να δημιουργηθούν ακόμα πιο ασφαλή συστήματα. (Hoyhtya et al, 2017; Kavallieratos, Katsikas & Gkioulos, 2018; Tam & Jones, 2018).



Εικόνα 12 Σενάρια επιθέσεων στον κυβερνοχώρο (Tam & Jones, 2018).

Παρατηρούμε ότι τα παραπάνω συστήματα δεν διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από τα συστήματα που θεωρούνται ευάλωτα στα παραδοσιακά επανδρωμένα πλοία. Επομένως πολλές από τις κατευθυντήριες γραμμές και τις διαδικασίες που ακολουθούνται για τα επανδρωμένα πλοία θα ισχύουν και για τα αυτόνομα πλοία. Ωστόσο, επιπλέον μέριμνα χρειάζεται για τα συστήματα που είναι στην ξηρά, στην περίπτωση που χρησιμοποιείται κέντρο απομακρυσμένου ελέγχου ανάλογα και με το επίπεδο αυτονομίας των πλοίων. Πρέπει επίσης να αναφέρουμε ότι η εκπαίδευση του προσωπικού σχετικά με τους κινδύνους αλλά και την αντιμετώπιση της κυβερνοεπίθεσης, θα αποτελέσει ένα επιπρόσθετο κόστος στον ισολογισμό του μη επανδρωμένου πλοίου, ιδίως επειδή η ναυτιλιακή εταιρεία μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη εάν δεν λάβει εύλογα μέτρα για την προστασία των πληροφοριών από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση. Αναμφισβήτητα η ασφάλεια από επιθέσεις στον κυβερνοχώρο θα πρέπει να είναι προτεραιότητα κατά τον σχεδιασμό των νέων τεχνολογιών για τα αυτόνομα πλοία.

3.2 Προστασία του Περιβάλλοντος

Τα αυτόνομα πλοία θα πρέπει να εξασφαλίσουν όχι μόνο την ασφάλεια από εξωτερικούς παράγοντες, όπως των κυβερνοεπιθέσεων, αλλά και την προστασία του περιβάλλοντος. Αναμφισβήτητα ένας από τους κυριότερους στόχους των αυτόνομων πλοίων είναι η μείωση των επιπτώσεων της ναυτιλίας στο περιβάλλον. Το περιβάλλον έχει επιβαρυνθεί σε σημαντικό βαθμό από τα απόβλητα των πλοίων, την ατμοσφαιρική ρύπανση, αλλά επίσης και από τη θαλάσσια ρύπανση που προκύπτει από τα διάφορα ατυχήματα. Τα αυτόνομα πλοία καλούνται να αποδείξουν ότι δεν παρουσιάζουν περιβαλλοντικό κίνδυνο, κυρίως από τις δεξαμενές πετρελαίου και το φορτίο τους, και ότι τα αυτόνομα συστήματα μπορούν να αντικαταστήσουν τη ετοιμότητα του πληρώματος σε περίπτωση ατυχήματος ρύπανσης. Παρακάτω θα αναλύσουμε κάποιες βασικές επιπτώσεις που μπορεί να έχει ένα αυτόνομο πλοίο στο περιβάλλον.

Ξεκινώντας με την εξασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος από πιθανά ατυχήματα, αν και αποτελεί βασική αρχή της κατασκευής των αυτόνομων πλοίων, δεν υπάρχουν ακόμα δεδομένα που να αποδεικνύουν ότι τα αυτόνομα πλοία με την απομάκρυνση του ανθρώπινου παράγοντα θα καταφέρουν να περιορίσουν τα ατυχήματα. Ταυτόχρονα δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία για το πώς θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν ή να περιοριστούν οι επιπτώσεις ενός πιθανού ατυχήματος που θα προκληθεί σε ένα αυτόνομο πλοίο. Σε υψηλά επίπεδα αυτονομίας όπου δεν θα υπάρχει πλήρωμα επί του πλοίου, ο χρόνος που θα χρειαστεί μέχρι να φτάσει το

ανθρώπινο δυναμικό για την αντιμετώπιση για παράδειγμα μιας διαρροής πετρελαίου στη θάλασσα, ίσως να είναι τέτοιος που μπορεί να προκαλέσει μη αναστρέψιμες βλάβες στο περιβάλλον.

Έπειτα, η κατανάλωση καυσίμου και συνακόλουθα οι εκπομπές ρύπων, εξαρτώνται άμεσα από τις ενεργειακές απαιτήσεις του πλοίου. Οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι συνάρτηση της ενέργειας που απαιτείται για την πρόωση του πλοίου, η οποία αποτελεί και το μεγαλύτερο ποσοστό, της ενέργειας που καταναλώνεται για τις ανάγκες του πληρώματος και της ενέργειας για τις λειτουργίες του πλοίου (αυτόματες επί των πλείστων). Σχετικά με την ενέργεια που απαιτείται για την πρόωση του πλοίου, αυτή εξαρτάται και από παραμέτρους όπως η αντοχή του πλοίου και η απόδοση του συστήματος πρόωσης. Αναφορικά με την απομάκρυνση του πληρώματος, θεωρητικά η μείωση της επάνδρωσης θα μειώσει τις ενεργειακές απαιτήσεις του πλοίου, καθώς τα πλοία που δεν διαθέτουν πλήρωμα δεν θα διαθέτουν χώρους ενδιαίτησεις, εξοπλισμό σωστικών μέσων, ακόμη και γέφυρες σε κάποιες περιπτώσεις. Και πάλι όμως, δεν υπάρχουν πολλά πραγματικά δεδομένα ενώ η σχετική επίδραση στις ενεργειακές απαιτήσεις θα εξαρτηθεί από τον τύπο του πλοίου και τη λειτουργία του (DNV – GL, 2018).

Τέλος οι ενεργειακές απαιτήσεις για την υποστήριξη άλλων λειτουργιών του πλοίου σχετίζονται και πάλι με τον τύπο και τις λειτουργίες του πλοίου. Οι νέες αυτοματοποιημένες διαδικασίες συνδέονται με αυξημένες κατανάλωσης ενέργειας. Ωστόσο, υπάρχουν και περιπτώσεις που μπορεί επίσης να οδηγήσουν σε μειωμένες ενεργειακές απαιτήσεις. Για παράδειγμα, τα αυτόματα συστήματα πρόσδεσης θα οδηγήσουν σε αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας στο λιμάνι, αλλά θα μπορούσαν να μειώσουν τις απαιτήσεις για ελιγμούς πλοίων και, ως εκ τούτου, να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας επί του πλοίου κατά τη διάρκεια παραμονής του στο λιμάνι (DNV – GL, 2018).

Γενικά, τα αυτόνομα πλοία προορίζονται να αποτελέσουν μια ασφαλέστερη λύση για το περιβάλλον ενώ υπάρχει η προοπτική της μείωσης των ατυχημάτων και της μείωσης των ενεργειακών αναγκών. Επίσης γίνεται έρευνα σχετικά με την υιοθέτηση νέων εναλλακτικών ενεργειακών λύσεων, για παράδειγμα οι βλαβερές για το περιβάλλον εκπομπές ρύπων θα μπορούσαν να μειωθούν με την εισαγωγή εναλλακτικών καυσίμων. Αν και δεν υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ της απομάκρυνσης του πληρώματος και των εναλλακτικών καυσίμων, οι χώροι που τώρα διατίθενται για το πλήρωμα επί του πλοίου θα μπορούσαν να φιλοξενούν εγκαταστάσεις για καύσιμα όπως το υγροποιημένο φυσικό αέριο, το υγροποιημένο αέριο

πετρελαίου, καθώς και για κυψέλες καυσίμου (υδρογόνου), βιοκαύσιμα, κ.λπ. Επιπλέον, με την απουσία του πληρώματος από το πλοίο, αυξάνεται η ασφάλεια στη μεταφορά, διαχείριση και χρήση αυτών των καυσίμων, τα οποία πολλές φορές μπορούν να αποτελέσουν άμεσο κίνδυνο για το πλήρωμα στο πλοίο (DNV – GL, 2018).

Κεφάλαιο 4 - Νομοθετικό και Θεσμικό Πλαίσιο

Τα αυτόνομα πλοία πρόκειται να φέρουν μία καινούρια πραγματικότητα στη ναυτιλία η οποία δεν μπορεί να είναι άναρχη και αναμφισβήτητα χρειάζονται κανονισμοί για την αρμονική και αποτελεσματική λειτουργία τους. Το παρόν κεφάλαιο αναφέρεται στο νομικό πλαίσιο για τα αυτόνομα πλοία και προσδιορίζει τις κύριες προκλήσεις. Η νομιμότητα και το θεσμικό πλαίσιο των λειτουργιών ενός αυτόνομου πλοίου καθορίζεται από διάφορους τύπους κανόνων και ρυθμίσεων, ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, την έδρα της ναυτιλιακής εταιρείας ή του πλοιοκτήτη και τις θαλάσσιες διαδρομές στις οποίες δραστηριοποιείται.

Γενικά στη ναυτιλία διακρίνονται δύο κύριες κατηγορίες κανόνων. Πρώτον, υπάρχουν οι κανόνες του δικαίου της θάλασσας, οι οποίοι καθορίζουν τα δικαιώματα και τις υποχρεώσεις των κρατών να ρυθμίζουν και να λαμβάνουν μέτρα όσον αφορά τα ξένα πλοία σε διάφορες θαλάσσιες ζώνες. Αυτά προβλέπονται κυρίως στη Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών του 1982 για το Δίκαιο της Θάλασσας (UNCLOS). Δεύτερον, οι λεπτομερέστερες τεχνικές απαιτήσεις που καλύπτουν τα πρότυπα ασφάλειας, ναυσιπλοΐας, επάνδρωσης και φύλαξης πλοίων κ.λπ., καθορίζονται σε διαφορετικές συμβάσεις, οι οποίες συνήθως εγκρίνονται από το Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (ΙΜΟ). Αυτοί οι διεθνείς κανόνες εφαρμόζονται στη συνέχεια σε - και μερικές φορές συμπληρώνονται από - εθνικούς κανόνες, οι οποίοι διέπουν τις εθνικές επιχειρήσεις και ρυθμίζουν θέματα για τα εγχώρια πλοία (DMA, 2017; Ringbom, et al., 2020). Επιπλέον, οι κανόνες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) ρυθμίζουν θέματα σχετικά με την ασφάλεια στη θάλασσα και άλλα θέματα ναυτικού δικαίου. Ωστόσο, οι ισχύοντες κανόνες της ΕΕ δεν προβλέπουν τεχνικά πρότυπα για την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας ή της κατασκευής πλοίων και, ως εκ τούτου, δεν συνεπάγονται περιορισμούς στη λειτουργία των αυτόνομων πλοίων με τον ίδιο τρόπο όπως οι κανόνες του ΙΜΟ. Ως εκ τούτου, υπάρχει μικρότερη ανάγκη για τροποποιήσεις των κανόνων σε επίπεδο ΕΕ, αν και ορισμένοι υφιστάμενοι κανόνες της ΕΕ για συγκεκριμένες κατηγορίες πλοίων, όπως τα επιβατηγά πλοία στην εγχώρια κυκλοφορία, ενδέχεται να χρειαστούν μετατροπές για να καλύπτουν τα επιβατηγά αυτόνομα πλοία. Επίσης, οι κανόνες της ΕΕ έχουν δυνητικά υποστηρικτικό ρόλο, κυρίως στον τομέα της ανταλλαγής δεδομένων και πληροφοριών (DMA, 2017; Ringbom, et al., 2020).

Γενικά, τα αυτόνομα πλοία θα πρέπει να συμμορφώνονται με το γενικό νομικό καθεστώς που αφορά το συγκεκριμένο τύπο πλοίου. Ως εκ τούτου, το κάθε αυτόνομο πλοίο υπόκειται στους

γενικούς κανόνες που ισχύουν για τα επιβατηγά πλοία, τα φορτηγά πλοία, τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου, τα πετρελαιοφόρα, κ.λπ. (DMA, 2017; Ringbom, et al., 2020). Σχετικά με τους νομικούς κανόνες που συνδέονται με τα αυτόνομα πλοία που βρίσκονται σε δοκιμαστική φάση, είναι σε μεγάλο βαθμό ταυτόσημοι με εκείνους που θα πρέπει να τηρούνται από τις εταιρείες που λειτουργούν πλοία αυτόνομης ναυτιλίας. Ως εκ τούτου, ακόμη και οι δοκιμές θα πρέπει να συμμορφώνονται με τους γενικούς κανόνες, με την επιφύλαξη ορισμένων εξαιρέσεων που έχουν δημιουργηθεί ειδικά για δοκιμές.

4.1 Παγκόσμιες Συμβάσεις

4.1.1 Ηνωμένα Έθνη – UNCLOS

Η παγκόσμια ναυτιλία διέπεται κυρίως από τη Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για το Δίκαιο της Θάλασσας (UNCLOS - United Nations Convention on the Law of the Sea), η οποία αποτελεί ένα από τα πιο αναλυτικά και καθιερωμένα όργανα διεθνών ρυθμιστικών κανόνων. Το δίκαιο της θάλασσας ασχολείται με τα δικαιώματα και τις υποχρεώσεις των κρατών σχετικά με τις θάλασσες, π.χ. το βαθμό στον οποίο τα πλοία μπορούν να πλοηγηθούν σε διαφορετικές θαλάσσιες περιοχές, τις υποχρεώσεις που έχουν τα κράτη έναντι των πλοίων που φέρουν τη σημαία τους, και τα δικαιώματα άλλων κρατών να παρεμβαίνουν στη ναυσιπλοΐα πλοίων σε διαφορετικές θαλάσσιες περιοχές. Η UNCLOS, απολαύει επίσημης αποδοχής παγκοσμίως (168 συμβαλλόμενα μέρη) και οι διατάξεις της σχετικά με τα δικαιώματα και τις υποχρεώσεις στη ναυσιπλοΐα γίνονται ευρέως αποδεκτές ως κύριες εκπρόσωποι του εθιμικού δικαίου (και ως εκ τούτου ισχύουν και για μη συμβαλλόμενα μέρη).

Αρχικά, σύμφωνα με το άρθρο 25 της UNCLOS, τα κράτη έχουν το δικαίωμα να απαγορεύουν την είσοδο πλοίων στους λιμένες και τα εσωτερικά τους ύδατα και να θεσπίζουν ειδικούς κανονισμούς για τις κλήσεις ξένων πλοίων. Αυτό μπορεί να αποτελέσει γενικό εμπόδιο για τα αυτόνομα πλοία, στο βαθμό που τα λιμάνια και τα παράκτια κράτη δεν επιθυμούν αυτόνομα πλοία στα ύδατα τους. Αυτό επίσης θα περιοριζόταν την εμπορική ζώνη των αυτόνομων πλοίων στα εθνικά ύδατα κρατών των οποίων οι εθνικές ναυτιλιακές αρχές έχουν θετική στάση έναντι των αυτόνομων πλοίων. Γίνεται λοιπόν επιτακτική η ανάγκη να θεσπιστεί κατάλληλο νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με τα παράκτια κράτη και την απαγόρευση των αυτόνομων πλοίων από τα εσωτερικά τους ύδατα και λιμένες (Ringbom, et al., 2020).

Ένα επιπρόσθετο πρόβλημα που προκύπτει με τα αυτόνομα πλοία αφορά το Άρθρο 94 της UNCLOS. Για τα παραδοσιακά επανδρωμένα πλοία ισχύει ότι τελούν "υπό τον έλεγχο πλοίαρχου και αξιωματικού που διαθέτουν τα κατάλληλα προσόντα" στο βαθμό που ένα πρόσωπο (πλοίαρχος ή πλοηγός) που κατέχει τα απαραίτητα προσόντα έχει τον έλεγχο του πλοίου. Αυτό σημαίνει ότι ένα πλήρως αυτόνομο πλοίο χωρίς πλήρωμα για την πλοήγηση και τη λειτουργία του, δεν συμμορφώνεται με το Άρθρο 94 της UNCLOS. Χρειάζεται λοιπόν να αποσαφηνιστεί ο ορισμός του «πλοίαρχου» ή του ατόμου που θα είναι υπεύθυνο για το πλοίο ανάλογα με τον βαθμό αυτονομίας και είναι αναγκαίο να τροποποιηθεί το άρθρο 94, παράγραφος 4 της UNCLOS, ώστε να συμπεριλάβει και τα πλήρως αυτόνομα πλοία (Ringbom, et al., 2020).

4.1.2 Κράτη Σημαίας

Η δικαιοδοσία που έχουν τα κράτη σημαίας αντιπροσωπεύει τον παραδοσιακό ακρογωνιαίο λίθο της ρυθμιστικής αρχής για τα πλοία. Η UNCLOS ορίζει ότι όλα τα κράτη έχουν το δικαίωμα να χορηγούν σημαία, δηλαδή εθνικότητα, σε πλοία και να καθορίζουν τους όρους χορήγησης σημαίας στα πλοία αυτά. Ωστόσο, η σύμβαση περιλαμβάνει επίσης ορισμένα λεπτομερή καθήκοντα για τα κράτη σημαίας. Κάθε κράτος έχει την υποχρέωση «να ασκεί αποτελεσματικά τη δικαιοδοσία και τον έλεγχό του σε διοικητικά, τεχνικά και κοινωνικά θέματα επί πλοίων που φέρουν τη σημαία του», μεταξύ των οποίων να «αναλαμβάνει τη δικαιοδοσία του εσωτερικού του δικαίου για κάθε πλοίο που φέρει τη σημαία του και τον πλοίαρχο, τους αξιωματικούς και το πλήρωμά του σε διοικητικά, τεχνικά και κοινωνικά θέματα που αφορούν το πλοίο». Το κράτος σημαίας θα λάβει επίσης τέτοια μέτρα «... όπως είναι αναγκαίο για τη διασφάλιση της ασφάλειας στη θάλασσα όσον αφορά, μεταξύ άλλων, την επάνδρωση των πλοίων, τις συνθήκες εργασίας και την εκπαίδευση των πληρωμάτων, λαμβανομένων υπόψη των εφαρμοστέων διεθνών μέσων», συμπεριλαμβανομένων των αναγκαίων μέτρων για να εξασφαλιστεί ότι «κάθε πλοίο είναι υπεύθυνο για έναν πλοίαρχο και αξιωματικούς που διαθέτουν τα κατάλληλα προσόντα, ιδίως στη ναυτιλία, τη ναυσιπλοΐα, τις επικοινωνίες και τη θαλάσσια μηχανική, και ότι το πλήρωμα είναι κατάλληλο για τα προσόντα και τους αριθμούς για τον τύπο, το μέγεθος, τα μηχανήματα και τον εξοπλισμό του πλοίου» (DMA, 2017).

Το πρόβλημα λοιπόν που προκύπτει, όπως και πριν, είναι ο βαθμός αυτονομίας των πλοίων και η ύπαρξη πληρώματος ή όχι. Το ναυτικό δίκαιο της UNCLOS μεταβιβάζει στα κράτη

σημαίας τις διάφορες υποχρεώσεις απέναντι σε πλοίαρχο, αξιωματικούς και πλήρωμα. Για τα αυτόνομα πλοία που δεν είναι πλήρως μη επανδρωμένα και απαιτούν ένα μικρό αριθμό πληρώματος η ευθύνη παραμένει στο κράτος σημαίας. Τί ισχύει όμως για τα αυτόνομα πλοία που δεν έχουν πλήρωμα; Ποιες οι ευθύνες του προσωπικού της εταιρείας που διαχειρίζεται το απομακρυσμένο κέντρο ελέγχου; Πού θα εντάσσεται το προσωπικό εάν το κέντρο ελέγχου βρίσκεται σε διαφορετικό κράτος από το κράτος σημαίας; Αυτά τα ερωτήματα καθώς και άλλα ζητήματα σχετικά με τα πληρώματα είναι από τα σημαντικότερα νομικά και θεσμικά ζητήματα που καλείται να αντιμετωπίσει η ναυτιλία (DMA, 2017).

4.2 Προτεινόμενες Τροποποιήσεις στις Συμβάσεις του IMO

Υπάρχουν πάνω από 50 διεθνείς ναυτιλιακές συμβάσεις του IMO που ισχύουν σήμερα. Το μεγαλύτερο μέρος των υποχρεώσεων που ορίζονται από τους κανονισμούς του IMO επιβάλλονται στα κράτη σημαίας, τα οποία με τη σειρά τους πρέπει να εκπληρώσουν τις διεθνείς υποχρεώσεις τους καθορίζοντας εγχώρια νομοθεσία που να αντικατοπτρίζει τα διεθνή πρότυπα. Σε γενικές γραμμές, οι απαιτήσεις του IMO ορίζονται ως λειτουργίες που πρέπει να εκτελεστούν και είναι συνήθως ουδέτερες ως προς τη μέθοδο με την οποία πληρούνται. Οι περισσότεροι από τους σχετικούς κανόνες έχουν αναπτυχθεί πριν από πολλές δεκαετίες, σε μια εποχή που τα μη επανδρωμένα ή αυτόνομα σκάφη δεν ήταν πιθανό σενάριο.

4.2.1 Επιτροπή Ναυτικής Ασφάλειας (MSC)

Η Επιτροπή Ναυτικής Ασφάλειας (MSC – Maritime Safety Committee) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO), κατά την 103^η σύνοδό της τον Μάιο του 2021, ολοκλήρωσε μια μελέτη για την ανάλυση της ασφάλειας των αυτόνομων πλοίων. Η μελέτη ξεκίνησε το 2017 και είχε ως σκοπό να καθορίσει τον τρόπο με τον οποίο θα μπορούσαν να θεωρηθούν ασφαλείς και περιβαλλοντικά αποδεκτές οι λειτουργίες των αυτόνομων πλοίων σύμφωνα με τις υφιστάμενες συμβάσεις του IMO (IMO, 2021d). Οι συμβάσεις που αξιολογήθηκαν περιλαμβάνουν κάποιες από τις σημαντικότερες συμβάσεις του IMO, όπως η SOLAS Convention, οι κανονισμοί αποφυγής σύγκρουσης (COLREG), η σύμβαση γραμμών φόρτωσης και το πρωτόκολλο του 1988 (Load Lines Convention), η STCW Convention, η σύμβαση καταμέτρησης όγκου (Tonnage 1969), ο Κώδικας ασφαλούς πρακτικής για τη μεταφορά φορτίου και την ασφάλεια του (CSS Code) και ο κώδικας εφαρμογής των μέσων του IMO.

Για κάθε σύμβαση, η μελέτη προσδιόρισε κατά πόσον οι λειτουργίες ενός αυτόνομου πλοίου καλύπτονται από τις υφιστάμενες συμβάσεις και εάν θα μπορούσε ενδεχομένως να ρυθμιστούν νέοι κανόνες ή/και να τροποποιηθούν οι υφιστάμενοι (IMO, 2021d). Το αποτέλεσμα της μελέτης κατέδειξε ορισμένα ζητήματα υψηλής προτεραιότητας, τα οποία θα πρέπει να υποχρεωτικά να αντιμετωπιστούν, ώστε στη συνέχεια να γίνουν τα επόμενα βήματα προς την αυτόνομη ναυτιλία. Αυτές οι προτεραιότητες περιλαμβάνουν την ανάπτυξη ορολογίας σχετικής με τα αυτόνομα πλοία, συμπεριλαμβανομένου ενός διεθνώς συμφωνημένου ορισμού και την αποσαφήνιση της έννοιας του όρου "πλοίαρχος", "πλήρωμα" ή "υπεύθυνος" για τα διαφορετικά επίπεδα αυτονομίας. Άλλα βασικά ζητήματα περιλαμβάνουν τον καθορισμό των λειτουργικών απαιτήσεων και υποχρεώσεων του κέντρου απομακρυσμένου ελέγχου/κέντρου ξηράς και τον πιθανό ορισμό ενός απομακρυσμένου χειριστή ως ναυτικού (IMO, 2021d).

4.2.2 SOLAS

Η σύμβαση SOLAS 1974 (International Convention for the Safety of Life at Sea) θεωρείται γενικά ως η σημαντικότερη από όλες τις διεθνείς συνθήκες που ορίζει τα ελάχιστα πρότυπα ασφαλείας για την κατασκευή, τον εξοπλισμό και τη λειτουργία των εμπορικών πλοίων. Η πρώτη έκδοση υιοθετήθηκε το 1914 ως απάντηση στην καταστροφή του Τιτανικού. Στον Πίνακα 3 περιλαμβάνονται τα 14 κεφάλαια της SOLAS και στη συνέχεια αναφέρονται οι βασικές προτεινόμενες τροποποιήσεις για τα αυτόνομα πλοία (IMO, 2021e).

Πίνακας 3 Τα κεφάλαια της Σύμβασης SOLAS (IMO, 2021e)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
I	Γενικές διατάξεις
II-1	Υποδιαίρεση και ευστάθεια, μηχανικές και ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις
II-2	Πυροπροστασία, πυρανίχνευση και πυρόσβεση
III	Σωστικά μέσα
IV	Ραδιοεπικοινωνίες
V	Ασφάλεια και πλοήγηση
VI	Μεταφορά φορτίων
VII	Μεταφορά επικίνδυνων φορτίων
VIII	Πυρηνικά πλοία

IX	Διαχείριση για την ασφαλή λειτουργία των πλοίων
X	Μέτρα ασφαλείας για ταχύπλοα σκάφη
XI-1	Ειδικά μέτρα για την ενίσχυση της ασφάλειας στη θάλασσα
XI-2	Ειδικά μέτρα για την ενίσχυση της προστασία στη θάλασσα
XII	Πρόσθετα μέτρα για τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου
XIII	Επαλήθευση συμμόρφωσης
XIV	Μέτρα ασφαλείας για πλοία που δραστηριοποιούνται σε πολιικά ύδατα

Οι πιο σημαντικές παρατηρήσεις που προκύπτουν από τη μελέτη της Maritime Safety Committee του IMO για τη σύμβαση SOLAS αφορούν κυρίως νέα ορολογία που πρέπει να προστεθεί. Πιο συγκεκριμένα για το Κεφάλαιο II-1 θα μπορούσαν να προστεθούν ειδικοί ορισμοί που να καλύπτουν την έννοια ενός αυτόνομου πλοίου (π.χ. πλοίαρχος, χειριστής, κέντρο απομακρυσμένου ελέγχου, μη επανδρωμένο, κ.λπ.). Ειδικοί ορισμοί θα μπορούσαν επίσης να προστεθούν για να διευκρινιστεί ότι το κέντρο απομακρυσμένου ελέγχου μπορεί να αποτελέσει υποκατάστατο της γέφυρας και ο έλεγχος σε διάφορα σημεία του πλοίου να εκτελεστεί εξ αποστάσεως (IMO, 2021d).

Για το Κεφάλαιο II-2 η μελέτη αναφέρει ότι θα πρέπει να θεσπιστούν κατάλληλα μέτρα ασφαλείας για την επίτευξη των ισοδύναμων λειτουργιών που προβλέπονται από τους ισχύοντες κανονισμούς και την επίλυση των δυνητικών κενών ή/και θεμάτων που δημιουργούνται λόγω των νέων ορισμών. Επίσης θα μπορούσαν να αναπτυχθούν νέοι κανονισμοί για τη διασφάλιση της πυρασφάλειας με βάση την έννοια του αυτόνομου πλοίου. Σε μια τέτοια περίπτωση, ένα από τα βασικά ζητήματα είναι η αντιμετώπιση των κινδύνων πυρκαγιάς λόγω της απουσίας ατόμων επί του σκάφους. Επίσης όσον αφορά τις διατάξεις για τα συστήματα και τις συσκευές που χρειάζονται χειρωνακτικές λειτουργίες και απαιτούν δράσεις από το προσωπικό επί του σκάφους, ιδίως για την πυρόσβεση, μπορεί να είναι καταλληλότερο να αναπτυχθούν νέα αυτόματα μέσα και εγκαταστάσεις πυρόσβεσης (νέο κεφάλαιο στη SOLAS) αντί να τροποποιηθούν οι υπάρχοντες κανονισμοί (IMO, 2021d).

Όσον αφορά το Κεφάλαιο IV θα πρέπει να προστεθούν νέοι κανονισμοί σχετικά με τα νέα συστήματα και όργανα πληροφορικής και επικοινωνιών που πρόκειται να εγκατασταθούν στα αυτόνομα πλοία. Το ίδιο ισχύει και για τα κέντρα απομακρυσμένου ελέγχου και τηλεχειρισμού που επίσης θα έχουν εξειδικευμένες συσκευές, νέες συχνότητες, αυτόματα συστήματα

αλγορίθμων, μετάδοσης πληροφοριών, κ.α. Οι κανονισμοί θα πρέπει να περιλαμβάνουν νέους ορισμούς, ορολογίες, διαδικασίες, και απαιτήσεις όπως για παράδειγμα απαιτήσεις για επισκευή και συντήρηση, εκπαίδευση των χειριστών, περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, κ.λπ. (IMO, 2021d).

Για το Κεφάλαιο V η MSC παρατήρησε αρκετά κενά στους κανονισμούς όσον αφορά τον ρόλο, τις ευθύνες και τα προσόντα που θα έχει το πλήρωμα ή το υπεύθυνο προσωπικό στην ξηρά. Ανάλογα με το επίπεδο αυτονομίας του πλοίου θα πρέπει να εισαχθούν νέοι κανονισμοί για την ασφαλή πλοήγηση των αυτόνομων πλοίων. Κάποια βασικά στοιχεία που θα πρέπει να καθοριστούν είναι τα πιστοποιητικά και τα εγχειρίδια που θα χρειάζονται είτε πάνω στο πλοίο είτε στο κέντρο ελέγχου στη ξηρά, ο σχεδιασμός της γέφυρας, ο τρόπος που το πλοίο θα στέλνει αναφορές, η εκπαίδευση και τα γυμνάσια, και οι εργασίες συντήρησης και επισκευής που μπορεί να προκύψουν (IMO, 2021d).

Όσον αφορά τη μεταφορά φορτιών στα Κεφάλαια VI και VII, δεδομένου ότι υπάρχει η πιθανότητα να μην υπάρχει «πλοίαρχος», «πλήρωμα», ή «υπεύθυνο πρόσωπο» επάνω στο πλοίο, θα πρέπει να αποσαφηνιστεί ποιο πρόσωπο θα είναι υπεύθυνο για την ασφαλή φορτοεκφόρτωση και μεταφορά του φορτίου σε κάθε επίπεδο αυτονομίας. Κανόνες πρέπει να καθοριστούν επίσης για σημαντικά ζητήματα όμως είναι η θέσπιση των διαδικασιών έκτακτης ανάγκης για την αντιμετώπιση περιπτώσεων διαρροής ή πυρκαγιάς που αφορούν φορτία, καθώς και οι διαδικασίες για τη διασφάλιση της ασφάλειας του φορτίου υπό κανονικές συνθήκες (IMO, 2021d).

4.2.3 STCW

Η σύμβαση STCW (Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers) του 1978 ήταν η πρώτη που καθιέρωσε τις βασικές απαιτήσεις για την κατάρτιση, την πιστοποίηση και την τήρηση φυλακών των ναυτικών σε διεθνές επίπεδο. Οι κατηγορίες ναυτικών τις οποίες αφορούν οι εν λόγω κανόνες είναι οι πλοίαρχοι, υποπλοίαρχοι, αξιωματικοί, πρώτοι και δεύτεροι μηχανικοί, ορισμένες κατηγορίες κατώτερων ναυτικών και το προσωπικό το οποίο είναι υπεύθυνο για τη ραδιοεπικοινωνία. Έως τότε, τα πρότυπα κατάρτισης, πιστοποίησης και αξιολόγησης της εκπαίδευσης καθορίζονταν από μεμονωμένες κυβερνήσεις, με αποτέλεσμα, τα πρότυπα και οι διαδικασίες να διαφέρουν σημαντικά από χώρα σε χώρα, παρόλο που η ναυτιλία είναι η πιο διεθνής από όλες τις βιομηχανίες (IMO, 2021f).

Ανάλογα με το επίπεδο αυτονομίας των πλοίων θα πρέπει και πάλι να εισαχθούν νέοι ορισμοί και διατάξεις σχετικά με το πλήρωμα ή τον απομακρυσμένο χειριστή. Όσον αφορά την εκπαίδευση και την πιστοποίηση των ναυτικών, οι κανονισμοί θα πρέπει να επικεντρωθούν στον εκάστοτε «υπεύθυνο» για τον χειρισμό του πλοίου ενώ επίσης θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης και κυρίως όλα τα νέα μηχανήματα και τεχνολογίες για τις οποίες το «πλήρωμα» θα πρέπει να εκπαιδευτεί (IMO, 2021d).

4.2.4 COLREGs

Όσον αφορά τους κανόνες COLREGs, όπως αναφερθήκαμε και σε προηγούμενα κεφάλαια, αποτελούν πολύ σημαντικούς κανόνες για την ασφάλεια στην πλοήγηση. Για αυτούς τους κανόνες η μελέτη της Maritime Safety Committee υποδεικνύει ότι θα πρέπει να εισαχθούν νέοι όροι, να εξασφαλιστούν τα σωστά φώτα και ηχητικά σήματα που θα εκπέμπει ένα αυτόνομο πλοίο και φυσικά να καθοριστεί επακριβώς ο ρόλος που θα έχει το εκάστοτε πλήρωμα ή ο απομακρυσμένος χειριστής. Η ανάγκη για νέους κανονισμούς όσον αφορά την ασφαλή πλοήγηση είναι επιτακτική αλλά βασίζεται κυρίως στην τελική μορφή που θα έχουν τα αυτόνομα πλοία και τις εκάστοτε τεχνολογίες και δυνατότητες (IMO, 2021d).

4.3 Ναυτασφαλίσεις

Οι ναυτασφαλίσεις είναι ένα ακόμα θεσμικό ζήτημα που αποτελεί πρόκλησή για την αυτόνομη ναυτιλία. Το σημερινό σύστημα με αυστηρό κανόνα ευθύνης για τον πλοιοκτήτη σε συνδυασμό με το δικαίωμα απαλλαγής από την ευθύνη σε κάποιες περιπτώσεις βάσει διεθνώς αναγνωρισμένων συμβάσεων, έχει οδηγήσει σε μια αποτελεσματική ασφαλιστική αγορά. Ωστόσο, ως κυριότερες προκλήσεις για τις ναυτασφαλίσεις στο προσεχές μέλλον θεωρούνται οι εμπορικές κυρώσεις, η πειρατεία, οι κυβερνοεπιθέσεις και τα αυτόνομα πλοία. Γενικά οι τρεις μεγάλες κατηγορίες ναυτασφαλίσεων είναι η Hull & Machinery, οι οποίες αφορούν το σκάφος και τον μηχανολογικό εξοπλισμό, τα P&I Clubs, που καλύπτουν υποχρεώσεις έναντι τρίτων προσώπων και των Cargo, οι οποίες αναφέρονται στις απώλειες φορτίων. Καθώς τα αυτόνομα πλοία δημιουργούν ένα νέο περιβάλλον για τις ασφαλιστικές εταιρείες και αποτελούν μια ιδιαίτερη κατηγορία με νέους άγνωστους κινδύνους, θα πρέπει να καθοριστεί η ευθύνη των εμπλεκόμενων, η δυνατότητα του πλοιοκτήτη ή εφοπλιστή να καλύψει τους κινδύνους και ο ρόλος των ασφαλιστικών εταιρειών.

Οι αλλαγές στα σενάρια κινδύνου για τα αυτόνομα πλοία που περιλαμβάνουν την αναγνώριση νέων κινδύνων χωρίς προηγούμενο ιστορικό ασφαλιστικών αποζημιώσεων, υπάρχει περίπτωση να οδηγήσουν σε αβεβαιότητα όσον αφορά την έκταση της ασφαλιστικής κάλυψης και το μέγεθος των ασφαλιστρών. Μια υπερβολικά δαπανηρή ασφαλιστική αγορά θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντικό εμπόδιο για την ανάπτυξη των αυτόνομων πλοίων. Η σαφήνεια σχετικά με τους όρους του διεθνούς κανονιστικού πλαισίου πρέπει να θεωρηθεί αναγκαία προϋπόθεση για την εύρυθμη λειτουργία και την αποτελεσματική ασφαλιστική αγορά των αυτόνομων πλοίων.

Στο πλαίσιο αυτό, οι ασφαλιστικές εταιρείες P&I και Hull & Machinery θα πρέπει προσπαθήσουν να καθορίσουν την πραγματική αξία των ασφαλιστικών αποζημιώσεων σε περίπτωση σημαντικής ζημίας εναντίον των υπεύθυνων κατασκευαστών και προγραμματιστών των συστημάτων αυτόματης πλοήγησης, των συστημάτων πληροφορικής, κ.λπ. Η έκταση της κάλυψης στην ασφάλιση αστικής ευθύνης των κατασκευαστών και προγραμματιστών και στην ασφάλιση ευθύνης προϊόντων είναι πολύ σημαντική, έτσι ώστε οι ασφαλιστικές εταιρείες P&I και Hull & Machinery να μην αντιμετωπίσουν περιπτώσεις όπου οι κίνδυνοι δεν καλύπτονται από την ασφάλιση και δεν μπορούν να εισπραχθούν οι ανάλογες αποζημιώσεις. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να αναθεωρηθεί η ασφαλιστική κάλυψη σε περίπτωση σύγκρουσης ενός αυτόνομου πλοίου με άλλο πλοίο ή εμπόδιο. Ακόμη σημαντικό είναι να συμπεριληφθεί στην ασφάλιση και ο κίνδυνος των κυβερνοεπιθέσεων (DMA, 2017).

Κεφάλαιο 5 – Εφαρμογές και Εγχειρήματα

Οι προσπάθειες για την ανάπτυξη αυτόνομων εμπορικών πλοίων στον κλάδο της ναυτιλίας ξεκίνησαν στα τέλη του 2000 με μία σειρά από σημαντικές εφαρμογές και εγχειρήματα μέχρι και σήμερα. Υπάρχουν δύο βασικοί παράγοντες που επηρέασαν τις εξελίξεις σε αυτόν τον τομέα. Πρώτον, αυτό που έπαιξε σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη αυτοματοποιημένων λειτουργιών στο πλοίο ήταν – και είναι – η επιτακτική ανάγκη να μειωθούν τα λειτουργικά κόστη των πλοίων, τα οποία στο μεγαλύτερο ποσοστό αφορούν τα κόστη σχετικά με τα πληρώματα των πλοίων. Τα τελευταία χρόνια οι εφοπλιστές έχουν έρθει αντιμέτωποι με αρκετά έξοδα που αφορούν τόσο τις αποζημιώσεις, την εκπαίδευση και την ασφάλιση των ναυτικών όσο και του σχετικού κόστους που επιβάλλει η σημαία ή το κράτος στο οποίο υπάγεται το πλοίο. Ταυτόχρονα, ο δεύτερος παράγοντας που επηρέασε τις εξελίξεις των αυτόνομων πλοίων είναι τα ατυχήματα και οι απώλειες στη θάλασσα λόγω ανθρώπινου λάθους. Η ασφάλεια τόσο των ναυτικών όσο και του ίδιου του πλοίου καθίσταται επισφαλής εξαιτίας της φύσης του επαγγέλματος των ναυτικών. Οι ναυτικοί καταβάλλονται από άγχος, κούραση και ευθύνες ενώ καλούνται να ζήσουν στο χώρο εργασίας τους, συνήθως για πολλούς μήνες, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο κίνδυνος για ασφαλή λειτουργία του πλοίου. Έτσι με σκοπό τη μείωση του κόστους που αφορά τα πληρώματα αλλά και για την αποφυγή περαιτέρω απωλειών στη θάλασσα λόγω του ανθρώπινου παράγοντα, το ενδιαφέρον για ανάπτυξη αυτόνομων λειτουργιών και τελικά αυτόνομων πλοίων ολοένα και μεγαλώνει (UNCTAD, 2020). Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα σημαντικότερα μέχρι σήμερα εγχειρήματα στον τομέα των αυτόνομων πλοίων. Υπάρχουν αρκετές ιδιωτικές πρωτοβουλίες αλλά και πολλές που χρηματοδοτούνται από κράτη που δραστηριοποιούνται στη Ναυπηγική Τεχνολογία.

5.1 MUNIN

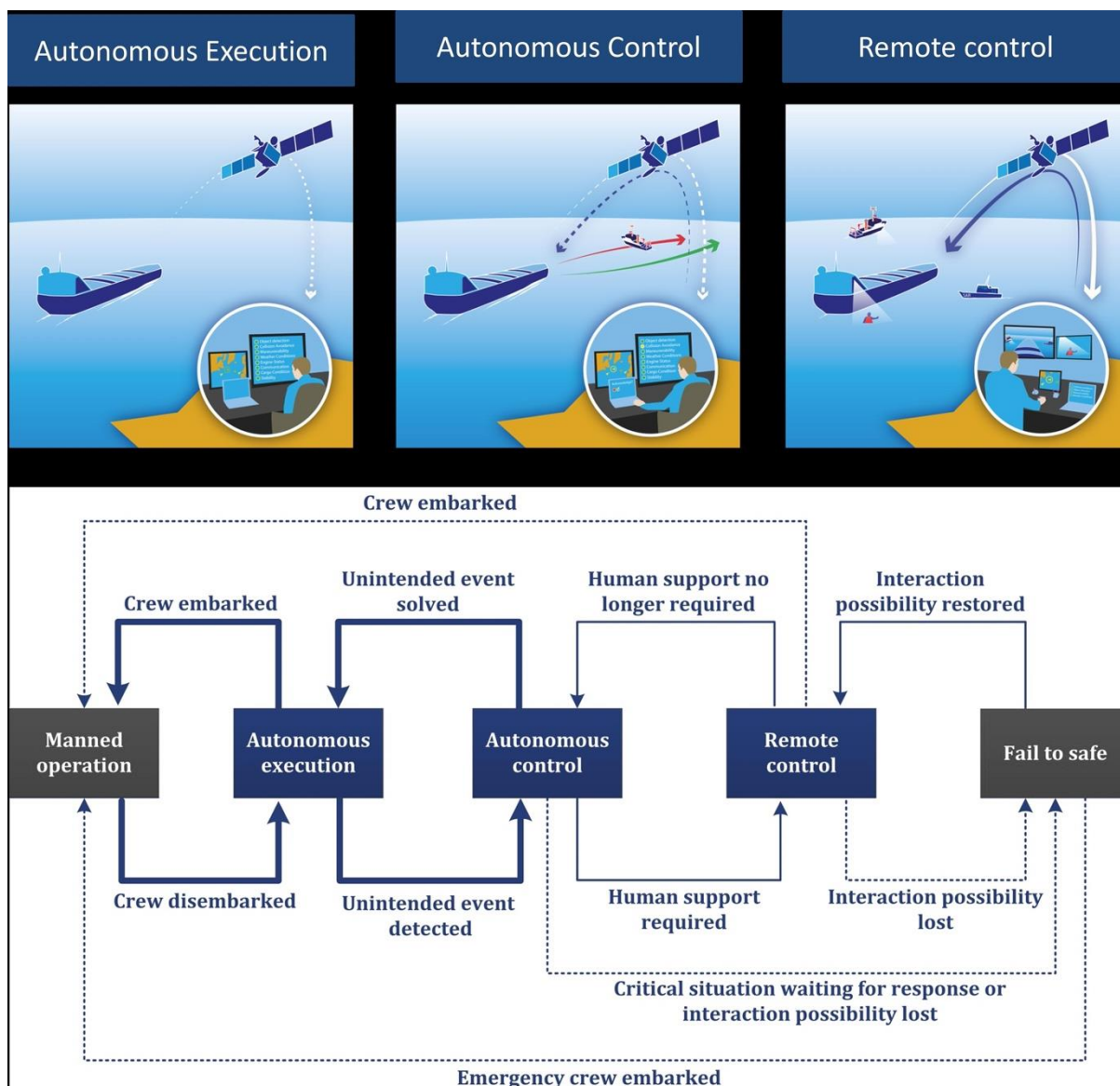
Η έννοια των αυτόνομων πλοίων εισήχθη για πρώτη φορά το 1970 στο βιβλίο του Rolf Schonknecht με τίτλο “Ships and Shipping of Tomorrow”, και έκανε λόγο για τα πλοία του μέλλοντος στα οποία ο ρόλος του καπετάνιου θα είναι στην στεριά και οι λειτουργίες και οι μεταφορές θα εκτελούνται αποκλειστικά με τη χρήση υπολογιστών. Για πολλά χρόνια και μέχρι το 2012 δεν υπήρξε κάποιο σημαντικό εγχείρημα σχετικά με την ιδέα των αυτόνομων πλοίων. Το 2012, ξεκίνησε το MUNIN, το πρώτο επίσημο πρότζεκτ αναφορικά με την ανάπτυξη τεχνολογίας αυτόνομων πλοίων. Το εγχείρημα ξεκίνησε στη Νορβηγία, θέτοντας

έτσι τους πυλώνες στην ανταγωνιστικότητα και τη βιωσιμότητα της ευρωπαϊκής ναυτιλίας στον τομέα της αυτονομίας. Το πρόγραμμα MUNIN – Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks – είναι ένα συνεργατικό ερευνητικό έργο, το οποίο συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στο πλαίσιο του Seventh Framework Programme. Στόχος του MUNIN ήταν να αναπτύξει και να πραγματοποιήσει μια ιδέα για ένα αυτόνομο πλοίο. Ως «αυτόνομο πλοίο» στο πρόγραμμα MUNIN ορίζεται το σκάφος που καθοδηγείται στο μεγαλύτερο ποσοστό των λειτουργιών του από αυτοματοποιημένα συστήματα λήψης αποφάσεων που βρίσκονται πάνω στο σκάφος, αλλά ελέγχεται από κάποιον ανθρώπινο παράγοντα σε ένα κέντρο ελέγχου στην στεριά.

Ο τρόπος λειτουργίας του υπό μελέτη πλοίου όπως φαίνεται και στην **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**, είναι βασισμένος στην αυτόνομη εκτέλεση και έλεγχο των λειτουργιών του πλοίου με τη συνεχή παρακολούθηση αλλά και τον χειρισμό του από ένα απομακρυσμένο κέντρο ελέγχου στη στεριά. Στις περιπτώσεις που εντοπίζονται κρίσιμες καταστάσεις που δεν μπορούν να διαχειριστούν αυτόματα ή με απομακρυσμένο έλεγχο, τότε γίνεται επάνδρωση του πλοίου με πλήρωμα έκτακτης ανάγκης αλλά αυτό αυτομάτως σημαίνει ότι το πλοίο δεν είναι «πλήρως αυτόνομο». Το ερευνητικό έργο του MUNIN επικεντρώθηκε γύρω από ένα πλοίο-φορηγό μεταφοράς ξηρού χύδην φορτίου που εκτελεί διεθνείς μεταφορές. Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτός ο τύπος πλοίου είναι γιατί στην αγορά ξηρού φορτίου δεν υπάρχουν απαιτήσεις για πρόσθετο φορτίο, ενώ υπάρχει ελκυστικότητα ως προς την τακτική του “slow steaming”, και ταυτόχρονα τα πλοία ξηρού φορτίου συνήθως εκτελούν μακρινές, αδιάκοπες, υπερατλαντικές μεταφορές μεταξύ δύο σημείων σε σύγκριση με άλλα πλοία π.χ. πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Επιπλέον σε αυτή την επιλογή συνέβαλε το γεγονός ότι η έρευνα του MUNIN επικεντρώθηκε στη μελέτη της αυτόνομης λειτουργίας ενός πλοίου ξηρού φορτίου μόνο κατά τη διάρκεια της πλοήγησης του σε βαθιά νερά, και όχι σε μικρά βάθη ή κατά τη διάρκεια των λειτουργιών στο λιμάνι.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε οικονομοτεχνική μελέτη για την υλοποίηση ενός μη επανδρωμένου πλοίου. Λαμβάνοντας υπόψιν το πρώιμο στάδιο και τους περιορισμούς στην εκπόνηση της έρευνας του MUNIN, τα αποτελέσματα από οικονομικής πλευράς έδειξαν ότι τα αυτόνομα πλοία έχουν τη δυνατότητα για μεγαλύτερη κερδοφορία των ναυτιλιακών εταιρειών. Συγκεκριμένα με βάση ένα μοντέλο ταμειακών ροών που αναπτύχθηκε, αποδείχθηκε ότι, σε σύγκριση με ένα αντίστοιχο παραδοσιακό επανδρωμένο πλοίο, το αυτόνομο πλοίο σε βάθος 25 χρόνων θα είχε έως και 7 εκατομμύρια δολάρια μεγαλύτερη παρούσα αξία. Αυτό εξηγείται

θεωρητικά, κυρίως λόγω των ναυπηγικών προδιαγραφών σχεδίασης του αυτόνομου πλοίου που συμβάλουν στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και ως εκ τούτου και στη μείωση των επιβλαβών εκπομπών ρύπων, κάτι που είναι ιδιαίτερα ευνοϊκό για θαλάσσιες μεταφορές μικρών αποστάσεων σε περιοχές με απαιτήσεις περιορισμένου ποσοστού εκπομπών.



Εικόνα 13 Το μοντέλο λειτουργίας του MUNIN (MUNIN, 2016).

Εκτός από την κερδοφορία, η ασφάλεια είναι ένα εξίσου σημαντικό πεδίο έρευνας για την εφαρμογή μη επανδρωμένων πλοίων. Με βάση την ανάλυση των σεναρίων σύγκρουσης ενός μη επανδρωμένου σκάφους και λαμβάνοντας υπόψη τις κατάλληλες δοκιμές λειτουργίας και ανθεκτικότητας, διαπιστώθηκε ότι ήταν δυνατή η μείωση του κινδύνου για περιστατικά σύγκρουσης και προσaráξεων κατά περίπου δέκα φορές σε σύγκριση με τα επανδρωμένα σκάφη, κυρίως λόγω του περιορισμού των προβλημάτων που προκύπτουν από τα επίπεδα

κόπωσης των ναυτικών. Επίσης φάνηκε ότι τα μη επανδρωμένα πλοία είναι λιγότερο επιρρεπή και σε και άλλα ατυχήματα, όπως αυτά από μηχανικές βλάβες ή πυρκαγιές και εκρήξεις, τα οποία μπορούν να μειωθούν αισθητά με την εφαρμογή των αυτόνομων πλοίων. Η μόνη ανησυχία και ο τομέας που χρειάζεται περαιτέρω έρευνα σχετικά με την ασφάλεια ενός αυτόνομου πλοίου είναι αυτός των κυβερνοεπιθέσεων και της πειρατείας.

Τέλος, το MUNIN ερεύνησε και τις νομικές απαιτήσεις μιας τέτοιας εφαρμογής. Έτσι, με βασική προϋπόθεση ότι ένα αυτόνομο πλοίο χωρίς πλήρωμα εν πλω μπορεί να λειτουργήσει τουλάχιστον με την ίδια ασφάλεια με ένα παραδοσιακό επανδρωμένο πλοίο, είναι αδιαμφισβήτητο ότι αντίστοιχα το νομικό και θεσμικό πλαίσιο μπορεί να προσαρμοστεί κατάλληλα. Ουσιαστικά πρέπει να αναπτυχθεί ένα νέο νομικό πλαίσιο που θα καλύπτει όλα τα στάδια ζωής ενός αυτόνομου πλοίου από τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τον εξοπλισμό του, αλλά και να καθορίζει τα καθήκοντα και τις ευθύνες αυτών που εμπλέκονται στη λειτουργία ενός αυτόνομου σκάφους αντίστοιχα με αυτά που φέρει ένας πλοίαρχος σε επανδρωμένο πλοίο.

Όλες οι παραπάνω πληροφορίες σχετικά με το MUNIN αντλήθηκαν από την επίσημη σελίδα του προγράμματος και την έκθεση που εκδόθηκε μετά την ολοκλήρωση του (MUNIN, 2016). Χρειάστηκαν 3 χρόνια για την υλοποίηση του προγράμματος το οποίο κόστισε συνολικά 3,8 εκατομμύρια ευρώ, από τα οποία τα 2,9 εκατομμύρια χρηματοδοτήθηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Σαν γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από το MUNIN, μπορούμε να πούμε ότι το αυτόνομο πλοίο αποτελεί μια μακροπρόθεσμη, αλλά ολοκληρωμένη λύση για την αντιμετώπιση των νέων απαιτητικών στόχων βιωσιμότητας στη ναυτιλία καθώς έχει τη δυνατότητα να μειώσει τα λειτουργικά έξοδα και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να προσελκύσει τους νέους στο επάγγελμα των ναυτικών. Συγκεκριμένα για το τελευταίο, η λειτουργία ενός αυτόνομου πλοίου που χειρίζεται από την ξηρά, θα έχει ως αποτέλεσμα ουσιαστικά τη μετατόπιση των ναυτικών και τεχνικών καθηκόντων από το πλοίο στην ξηρά με αποτέλεσμα να δημιουργούνται νέες προοπτικές στο επάγγελμα των ναυτικών, παρέχοντάς τους τη δυνατότητα να παραμείνουν συνδεδεμένοι με την οικογένεια, τους φίλους και την κοινωνική τους ζωή. Τέλος, και σε άλλες μελέτες γύρω από το MUNIN σημειώνεται ότι είναι ένα από τα προγράμματα που θέτουν τις κατευθυντήριες γραμμές για την υλοποίηση των καινοτομιών και των τεχνολογιών που θα οδηγήσουν στην καθιέρωση της αυτόνομης ναυτιλίας (Porathe, 2014; Burmeister et al, 2014).

5.2 ReVolt – DNV GL

Το 2013, ένα χρόνο αφότου ξεκίνησε το πρόγραμμα MUNIN, οι ερευνητές του νορβηγικού νηογνώμονα DNV GL παρουσίασαν το "ReVolt", ως ένα σκάφος πιο πράσινο, πιο «έξυπνο» και πιο ασφαλές από το συμβατικό πλοίο. Αυτό το εγχείρημα βρίσκει εφαρμογή στον τομέα της ναυτιλίας μικρών αποστάσεων προσφέροντας μία πιθανή λύση στην αυξανόμενη τάση για μεταφορές σε κοντινούς προορισμούς. Η αύξηση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα και η όλο και μεγαλύτερη ζήτηση για μεταφορές, ξεπερνά τη χωρητικότητα των υφιστάμενων δρόμων και το οδικό δίκτυο της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι αρκετά επιβαρυνόμενο από τη συμφόρηση. Για να μετριάσουν αυτά τα ζητήματα, γίνονται προσπάθειες από πολλά κράτη-μέλη της ΕΕ ώστε να μεταφερθεί ο όγκος των εμπορευματικών μεταφορών από τους δρόμους στα θαλάσσια δίκτυα μεταφορών. Όμως στον τομέα των θαλάσσιων μεταφορών μικρών αποστάσεων δεν υπάρχουν μεγάλα περιθώρια κέρδους. Έτσι ο DNV GL παρουσίασε αυτό το σκάφος, το οποίο βρίσκεται σε στάδιο σχεδιασμού και μελέτης. Το πλοίο αυτό θα είναι 60 μέτρα, θα τροφοδοτείται πλήρως με μπαταρίες και δεν θα έχει πλήρωμα – θα είναι πλήρως αυτόνομο (Tveté, 2014; Adams, 2014).

Το εγχείρημα ReVolt αποτελεί μία πρωτοποριακή ιδέα που γεννήθηκε από το διεπιστημονικό, ομαδικό έργο του DNV GL και λαμβάνει υπόψιν τις μελλοντικές απαιτήσεις στο χώρο της ναυτιλίας κοντινών αποστάσεων. Το πλοίο, για την πρόωσή του θα είναι εξοπλισμένο με δύο προπέλες στην πρύμνη και ένα αναδιπλούμενο bow thruster. Αυτή η διαμόρφωση θα βοηθήσει στην επίτευξη υψηλής ευελιξίας στην πλοήγηση καθώς και στην ανεξαρτησία του από ανάγκη πλοήγησης υπό την καθοδήγηση ρυμουλκών. Το σκάφος έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να τροφοδοτείται αποκλειστικά από μπαταρίες οι οποίες θα έχουν χωρητικότητα συνολικά 3,000 kWh και θα είναι τοποθετημένες στην πρύμνη του. Η μελέτη υποδεικνύει ότι η χρήση αυτών των μπαταριών θα δίνει αυτονομία για τουλάχιστον 100 ναυτικά μίλια και επίτευξη υπηρεσιακής ταχύτητας περίπου 6 κόμβων. Επιπλέον το πλοίο είναι σχεδιασμένο με κάθετη ευθεία πλώρη που χρησιμεύει στη μείωση της αντίστασης του πλοίου και την αύξηση της ταχύτητάς του. Τέλος, η κεκλιμένη γάστρα θα επιτρέπει στο πλοίο να πλοηγείται χωρίς έρμα ανεξάρτητα από την κατάσταση φόρτωσης (Autonomous Ships HQ, 2017).

Το πλοίο θα είναι εξοπλισμένο με τα παραδοσιακά συστήματα GPS, ECDIS, AIS, RADAR, σε συνδυασμό με προσθήκη καμερών και αισθητήρων τύπου LIDAR. Το πιο ενδιαφέρον χαρακτηριστικό του πλοίου είναι η προβλεπόμενη ενεργειακή του απόδοση. Εκτιμάται ότι

η απαιτούμενη ενέργεια που θα χρειάζεται το πλοίο σε ήρεμα νερά θα είναι περίπου 50 kW. Επιπλέον, έχει γίνει μελέτη σύμφωνα με την οποία για τη μεταφορά 100 εμπορευματοκιβωτίων από το Stavanger στο Όσλο, το ReVolt θα έχει 200 φορές καλύτερη συνολική ενεργειακή απόδοση σε σύγκριση με τα αντίστοιχα παραδοσιακά πετρελαιοκίνητα πλοία (Autonomous Ships HQ, 2017).

Το πλοίο όπως αναφέραμε δεν θα φέρει πλήρωμα εν πλω και ως εκ τούτου δεν θα υπάρχουν χώροι ενδιαίτησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη μεταφορική ικανότητα και την αντίστοιχη μείωση του λειτουργικού κόστους. Συγκεκριμένα, το ReVolt σε σύγκριση με ένα πετρελαιοκίνητο πλοίο, σε βάθος χρόνου 30 ετών θα μπορούσε να εξοικονομήσει έως και 34 εκ. δολάρια που αντιστοιχούν σε περισσότερα από ένα εκατομμύριο δολάρια ετησίως (Tsvete, 2014; Adams, 2014).

Ωστόσο, σύμφωνα με τον DNV GL, το ReVolt θα παραμείνει ένα όραμα που δεν θα υλοποιηθεί αν δεν αναπτυχθούν αρκετά όλες οι απαιτούμενες τεχνολογίες. Προορίζεται όμως να αποτελέσει πηγή έμπνευσης και κίνητρο για διάφορα εμπλεκόμενα μέλη όπως κατασκευαστές εξοπλισμού, ναυπηγεία και πλοιοκτήτες που ενδιαφέρονται για την ανάπτυξη μιας ασφαλούς και βιώσιμης ναυτιλίας. Η έρευνα θα συνεχίσει υπό την αιγίδα του DNV GL και θα επεκταθεί ώστε να συμπεριλάβει εγκαταστάσεις ξηράς για φόρτιση και επιπλέον δυνατότητες. Αν και η υλοποίηση του αναμένεται στο κοντινό μέλλον, για τους σκοπούς της μελέτης έχει κατασκευαστεί ένα μοντέλο κλίμακας 1:20. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται επίσης για την έρευνα που διεξάγεται από το Νορβηγικό Πανεπιστήμιο Επιστήμης και Τεχνολογίας (NTNU) με σκοπό τη δημιουργία νέων αισθητήρων και τεχνολογιών αποφυγής σύγκρουσης για αυτόνομα πλοία (Tsvete, 2014; Adams, 2014).



Εικόνα 14 Φωτογραφία του μοντέλου του ReVolt (DNV – GL, 2018a)

Το 2018, ο γερμανικός νηογνώμονας DNV GL δημοσίευσε έναν οδηγό για τα αυτόνομα πλοία. Στόχος αυτού του εγγράφου ήταν η καθοδήγηση για την ασφαλή εφαρμογή των νέων τεχνολογιών στα αυτόνομα ή/και τηλεχειριζόμενα σκάφη και η σύσταση διαδικασιών για την έγκριση νέων εννοιών που δεν περιλαμβάνονται στους υφιστάμενους νομοθετικούς κανονισμούς. Η γενική πρόθεση είναι να υπάρξει ένα ενιαίο πλαίσιο που να διασφαλίζει ότι η εφαρμογή τέτοιων νέων τεχνολογιών οδηγεί σε επίπεδο ασφάλειας ισοδύναμο ή καλύτερο από τα συμβατικά πλοία. Ο οδηγός αυτός καλύπτει θέματα σχετικά με τη ναυσιπλοΐα, την μηχανική, τα κέντρα απομακρυσμένου ελέγχου και τις επικοινωνίες. Έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον συγκεντρώνεται γύρω από δύο πολύ σημαντικούς τομείς που αναμένονται να είναι τα «τρωτά» σημεία των αυτόνομων πλοίων: η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο και ο έλεγχος των συστημάτων λογισμικού (DNV-GL, 2018).

5.3 Kongsberg – Yara Birkeland

Ένα από τα πολύ σημαντικά εγχειρήματα κατασκευής ενός αυτόνομου πλοίου, είναι αυτό της κατασκευής του πρώτου παγκοσμίως πλήρως ηλεκτρικού και ταυτόχρονα πλήρως αυτόνομου εμπορικού πλοίου με μηδενικές εκπομπές που θα προορίζεται για μεταφορές εμπορευματοκιβωτίων. Η πρωτοβουλία αυτή επήλθε με τη συνεργασία δύο μεγάλων νορβηγικών εταιρειών, της Yara International και της Kongsberg Maritime. Η Yara International, το ένα τρίτο της οποίας ανήκει στη νορβηγική κυβέρνηση, δραστηριοποιείται στην ανάπτυξη βιομηχανικών και γεωργικών προϊόντων και περιβαλλοντικών καινοτομιών, ενώ η εταιρεία Kongsberg Maritime δραστηριοποιείται στο χώρο της εμπορικής ναυτιλίας, των πλωτών κατασκευών και των υποβρυχίων (Kongsberg.com, 2021).

Τον Μάιο του 2017 οι δύο εταιρείες ανακοίνωσαν τη συνεργασία τους για την κατασκευή του πλοίου M/V YARA Birkeland. Κύριος στόχος του εγχειρήματος είναι το πλοίο να αντικαταστήσει τα φορτηγά που μεταφέρουν οδικώς τα προϊόντα της εταιρείας Yara στη Νορβηγία και ως αποτέλεσμα να μειωθούν δραματικά οι εκπομπές NOx και CO₂ στην περιοχή. Το πλοίο σχεδιάστηκε τον Σεπτέμβριο του 2017 από τη νορβηγική εταιρεία Marin Teknikk, κατασκευάστηκε στο Νορβηγικό ναυπηγείο VARD ενώ οι πρώτες δοκιμές έγιναν στη Ρουμανία τον Φεβρουάριο του 2020. Το πλοίο είναι πλήρως εξοπλισμένο με προηγμένης τεχνολογίας αισθητήρες, αυτόνομες λειτουργίες και ένα ηλεκτρικό λειτουργικό σύστημα

πρόωσης από την Kongsberg. Παρακάτω φαίνονται οι κύριες διαστάσεις και τα χαρακτηριστικά του πλοίου (Πίνακας 4)

Πίνακας 4 Κύριες διαστάσεις και χαρακτηριστικά του YARA Bikerland

Main particulars
LOA 80 m
Beam 15 m
Depth 12 m
Draught (full) 6.3 m
Eco speed 6-7 knots
Max speed 13 knots
Capacity
Cargo capacity 120 TEU
Deadweight 3200 mt
Propulsion
Azipull pods 2 x 900 kW
Tunnel thrusters 2 x 700 kW
Batteries
Capacity 7 MWh



Εικόνα 15 Το YARA Birkeland στη Ρουμανία το 2020 (Kongsberg.com, 2021)

Όσον αφορά την κατασκευή, το YARA Birkeland διαθέτει ένα μεγάλο ανοιχτό κατάστρωμα που του δίνει τη δυνατότητα να αποθηκεύει και να μεταφέρει μέχρι και 120 εμπορευματοκιβώτια των 20 TEU. Επιπλέον, όλες οι λειτουργίες φόρτωσης και εκφόρτωσης είναι σχεδιασμένες να εκτελούνται με πλήρη αυτονομία μέσω των ηλεκτρικών γερανών και του ανάλογου εξοπλισμού. Ο σχεδιασμός επίσης επιτρέπει τη λειτουργία σε μόνιμο έρμα με αποτέλεσμα να μην υπάρχει η ανάγκη για δεξαμενές έρματος και να εξασφαλίζεται έτσι περισσότερη μεταφορική ικανότητα. Το σκάφος YARA αναμένεται να έχει μηδενικές εκπομπές καθώς είναι εξοπλισμένο με ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης το οποίο τροφοδοτείται από μπαταρία χωρητικότητας μέχρι και 9 MWh. Θα έχει υπηρεσιακή ταχύτητα 6 κόμβων και μέγιστη ταχύτητα 13 κόμβους. Η αυτόνομη λειτουργία του πλοίου θα εξασφαλίζεται με τη διαρκή παρακολούθηση και έλεγχο του από τρία απομακρυσμένα κέντρα ελέγχου. Έτσι τόσο ο χειρισμό έκτακτης ανάγκης όσο και η υποστήριξη στις αποφάσεις όπου χρειαστεί, θα γίνεται από αυτά τα κέντρα (Kongsberg.com, 2021).

Η πλήρη αυτόματη λειτουργία του πλοίου ενισχύεται και με το αυτόματο σύστημα πρόσδεσης που διαθέτει, το οποίο εξασφαλίζει αγκύρωση χωρίς την παρέμβαση ανθρώπινου παράγοντα ή την ανάγκη ειδικού εξοπλισμού στην αποβάθρα. Το πλοίο θα εκτελεί διαδρομές 12 ναυτικών μιλίων από την ακτή και μεταξύ 3 λιμένων στη θαλάσσια περιοχή της νότιας Νορβηγία όπως φαίνεται στην Εικόνα 16.



Εικόνα 16 Το δρομολόγιο που θα εκτελεί το YARA BIRKELAND (YARA, 2021)

Στις 19 Νοεμβρίου του 2021, το YARA Birkeland έκανε με επιτυχία το παρθενικό του ταξίδι ενώ η επίσημη εμπορική του λειτουργία θα ξεκινήσει το 2022. Όπως ανακοίνωσε ο Διευθύνων Σύμβουλος της Yara, το πλοίο θα αντικαταστήσει 40,000 δρομολόγια φορτηγών ετησίως που αντιστοιχούν στην μείωση περίπου 1,000 τόνους εκπομπών CO₂ στην περιοχή. Για τα επόμενα δύο χρόνια το πλοίο αυτό θα αποτελέσει μία σημαντική δοκιμή με σκοπό την πιστοποίηση και την εδραίωση των αυτόνομων πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων μηδενικών εκπομπών (YARA, 2021).

Παράλληλα με την κατασκευή του Yara Birkeland, η Yara έχει ξεκινήσει την ανάπτυξη της «πράσινης αμμωνίας» ως καθαρό καύσιμο χωρίς εκπομπές για τη ναυτιλία, μέσω της νεοσύστατης εταιρείας Yara Clean Ammonia. Ως ο μεγαλύτερος παραγωγός λιπασμάτων στον κόσμο, η Yara ήδη χρησιμοποιεί την αμμωνία για τη δημιουργία λιπάσματος. Ταυτόχρονα, η τρέχουσα παραγωγή αμμωνίας αντιπροσωπεύει μόλις το 2% της παγκόσμιας κατανάλωσης ορυκτής ενέργειας και αντιστοιχεί περίπου στο 1,2% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον κόσμο (YARA, 2021).

5.4 Rolls Royce - Finferries

Κατά τη διάρκεια της έκθεσης NaviGate το 2018, η Rolls-Royce και η Finferries ανακοίνωσαν τη συμφωνία που έχουν υπογράψει για την από κοινού ανάπτυξη στρατηγικών και λύσεων για τη βελτιστοποίηση της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας των θαλάσσιων δραστηριοτήτων μέσω της ανάπτυξης της τεχνολογίας για συστήματα υποστήριξης αποφάσεων και για απομακρυσμένη και αυτόνομη ακτοπλοΐα. Βασικός στόχος της συνεργασίας τους ήταν το ερευνητικό πρόγραμμα SVAN, με το οποίο η Rolls-Royce και η Finferries θα εξέταζαν την εφαρμογή των ευρημάτων από το ερευνητικό πρόγραμμα AAWA, το οποίο ολοκληρώθηκε επίσημα στα τέλη του 2017. Το ερευνητικό πρόγραμμα AAWA που χρηματοδοτήθηκε από την Business Finland, συγκέντρωσε ενδιαφερόμενους φορείς από διάφορους τομείς της ναυτιλιακής βιομηχανίας για να ερευνήσει την εμπορική και τεχνική βιωσιμότητα μιας επόμενης γενιάς προηγμένων λύσεων πλοίων. Τόσο η Rolls-Royce όσο και η Finferries συμμετείχαν στο έργο (Rolls-royce.com, 2018a).

Μέχρι το τέλος του 2018, η Rolls-Royce και η φινλανδική κρατική ακτοπλοϊκή εταιρεία Finferries κατάφεραν να ξεκινήσουν με επιτυχία τις δοκιμές του πρώτου πλήρως αυτόνομου

πλοίου στον κόσμο στα νότια της πόλης Turku της Φινλανδίας. Το Falco είναι ένα διπλό οχηματαγωγό πλοίο μήκους 53,8 μέτρων, εξοπλισμένο με σύστημα πρόωσης από την εταιρεία Rolls-Royce, το οποίο τέθηκε σε υπηρεσία με την Finferries το 1993. Η αυτόνομη πλοήγηση του Falco βασίζεται σε έναν συνδυασμό τεχνολογιών της Rolls-Royce. Στη δοκιμή του, κατά τη διάρκεια της επιστροφής, η πλοήγηση έγινε από έναν καπετάνιο με απομακρυσμένο χειρισμό από το κέντρο ελέγχου, που βρισκόταν περίπου 50 χιλιόμετρα από την πόλη Turku. Για την ασφαλή πλοήγηση και την αποφυγή συγκρούσεων το πλοίο ήταν εξοπλισμένο με αισθητήρες και τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης που του έδιναν τη δυνατότητα να ανιχνεύσει τα πιθανά εμπόδια σε επίπεδο ακρίβειας πέρα από αυτό του ανθρώπινου ματιού. Κατάφερε επίσης αυτόματο ελλιμενισμό με ένα καινοτόμο αυτόνομο σύστημα πλοήγησης που αναπτύχθηκε πρόσφατα. Όλα αυτά έλαβαν χώρα με επιτυχία χωρίς να χρειαστεί η παρέμβαση του πληρώματος. Η Rolls-Royce έχει μέχρι στιγμής χρονομετρήσει περίπου 400 ώρες δοκιμών στη θάλασσα (Rolls-royce.com, 2018b).



Εικόνα 17 Το οχηματαγωγό FALCO (Rolls-royce.com, 2018a).

5.5 Εταιρείες και Κέντρα Έρευνας

Το 2018 ιδρύθηκε η πρώτη εταιρεία αποκλειστικά για αυτόνομα πλοία, η MASSTERLY. Η MASSTERLY είναι μια σύμπραξη μεταξύ του κορυφαίου παρόχου τεχνολογίας Kongsberg

Maritime και του καινοτόμου ναυτιλιακού ομίλου Wilhelmsen. Η εταιρεία προσφέρει υπηρεσίες σε πελάτες σχετικές με ολόκληρη την αλυσίδα παραγωγής αυτόνομων πλοίων, όπως τον σχεδιασμό, την έγκριση από τις αρμόδιες αρχές, τα συστήματα ελέγχου, τις υπηρεσίες εφοδιαστικής αλυσίδας, την κατασκευή, την ασφάλιση και την εύρεση χρηματοδότησης. Η εταιρεία ήδη δραστηριοποιείται σε αρκετά μεγάλα πρότζεκτ της αυτόνομης ναυτιλίας (safety4sea.com, 2018).

Μέχρι στιγμής η Νορβηγία και μεγάλες νορβηγικές εταιρείες έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο στην αγορά της αυτόνομης ναυτιλίας. Με πλήθος ερευνητικών προγραμμάτων και με πολλές πρωτοβουλίες για δοκιμές νέων τεχνολογιών προχωρούν σταθερά προς την υλοποίηση των αυτόνομων πλοίων. Ταυτόχρονα και η Αμερική υποστηρίζει την ανάπτυξη της έρευνας καθώς από το 2018 ανακοινώθηκε ότι μέρος των Great Lakes (λίμνες στα σύνορα ΗΠΑ και Καναδά) είναι ανοικτές σε όλες τις επιχειρήσεις, τα ερευνητικά ιδρύματα, τις κυβερνητικές υπηρεσίες και άλλους που επιθυμούν να δοκιμάσουν αυτόνομα πλοία, αυτόνομα υποβρύχια και σχετικές τεχνολογίες. Το Κέντρο Αυτόνομων και Τηλεχειριζόμενων Σκαφών CEAOPS που φιλοξενείται στο Τεχνολογικό Κέντρο Θάλασσας TCOMS της Σιγκαπούρης είναι και αυτό ένα σημαντικό ερευνητικό κέντρο που έχει ως στόχο να αποτελέσει το εθνικό επίκεντρο έρευνας και ανάπτυξης αυτόνομων πλοίων (safety4sea.com, 2019). Διαπιστώνεται λοιπόν, ότι το ενδιαφέρον για την αυτόνομη ναυτιλία είναι πολύ έντονο και τα περισσότερα εγχειρήματα πλησιάζουν επιτυχώς στα τελικά τους στάδια. Έτσι τα πρώτα αυτόνομα πλοία μεταφοράς φορτίων δεν θα αργήσουν να είναι πραγματικότητα σε δοκιμασμένο στάδιο.

Κεφάλαιο 6 - Βιωσιμότητα

Η βιωσιμότητα σαν έννοια απασχολεί ολοένα και περισσότερο τους ανθρώπους τις τελευταίες δεκαετίες. Η βιωσιμότητα συνδέεται συχνότερα με το περιβάλλον και την προστασία του, ωστόσο καλύπτει ένα ευρύτερο φάσμα γύρω από τρεις βασικούς πυλώνες: την κοινωνία, την οικονομία και το περιβάλλον. Πλέον, με γνώμονα τη βιωσιμότητα έχουν αναπτυχθεί καινοτομίες και νέες τεχνολογίες, έχουν πραγματοποιηθεί επενδύσεις, έχουν δημιουργηθεί δίκτυα συνεργασίας μεταξύ διαφόρων φορέων, έχουν καθοριστεί νέοι θεσμοί και προοπτικές. Όπως είδαμε και στο εισαγωγικό κεφάλαιο, η βιωσιμότητα έχει απασχολήσει και τον τομέα της ναυτιλίας. Καινοτόμα εγχειρήματα, όπως αυτά των αυτόνομων πλοίων, έχουν γνώμονα τη βιωσιμότητα και στους τρεις βασικούς πυλώνες, με στόχο να καταφέρουν να ενσωματωθούν στη ναυτιλία του μέλλοντος.

6.1 Κοινωνικές Προκλήσεις

Το βασικότερο χαρακτηριστικό των αυτόνομων πλοίων που τα διαφοροποιεί με τα συμβατικά είναι η απομάκρυνση του ανθρώπινου παράγοντα από τις λειτουργίες τους. Αυτή είναι και η μεγαλύτερη κοινωνική πρόκληση που θα αντιμετωπίσει η αυτόνομη ναυτιλία. Στην εκτενή αναφορά για τα αυτόνομα πλοία, ο νηογνώμονας DNV - GL εκτιμά ότι η αυτόνομη ναυτιλία θα είναι αναμφισβήτητα η πιο επαναστατική εξέλιξη στη ναυτιλία μετά την εισαγωγή του πετρελαιοκινητήρα στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Αυτή η επαναστατική πλευρά των αυτόνομων εγχειρημάτων στη ναυτιλία έρχεται με μία δέσμευση ευθύνης και με πολλούς κοινωνικούς και ηθικούς παράγοντες που θα επηρεάσουν την εξέλιξη τους (DNV-GI, 2018).

Όσον αφορά την αγορά εργασίας των ναυτικών, η ουσιαστική μείωση του πληρώματος ή η αντικατάστασή του με ψηφιακές τεχνολογίες σημαίνει μείωση ή και απώλεια θέσεων εργασίας. Ταυτόχρονα, οι καινούριες τεχνολογίες απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό για τη διαχείριση και λειτουργία τους και προφανώς θα δημιουργηθούν νέες θέσεις εργασίας. Είναι πολύ δύσκολο όμως να προβλέψουμε εάν αυτή η αλλαγή θα επιφέρει ισορροπία ή αν θα οδηγήσει σε μία άνιση επίδραση στο επάγγελμα των ναυτικών. Για τα έθνη που έχουν έντονη ναυτιλιακή δραστηριότητα ή φημίζονται για τους ναυτικούς τους, η αυτόνομη ναυτιλία μπορεί να είναι απειλή. Από την άλλη, τα έθνη που έχουν έντονη δραστηριότητα στην παροχή τεχνογνωσίας για τα αυτόνομα πλοία, θα έχουν μία ευκαιρία για περαιτέρω ανάπτυξη στον

τομέα της ναυτιλίας. Αυτό θα επιφέρει όμως και τον κίνδυνο να ενταθούν οι υφιστάμενες ανισότητες μεταξύ των κοινωνικών τάξεων και των χωρών, εκτός εάν ληφθούν μέτρα για τη μεταφορά τεχνολογίας, την κοινωνική προστασία και την εκπαίδευση του πληρώματος (DNV-GL, 2018).

Όσον αφορά τα πληρώματα και τις κοινωνικές προκλήσεις των αυτόνομων πλοίων, η ναυτιλία καλείται να αντιμετωπίσει κάποια σημαντικά ηθικά ζητήματα. Οι ναυτικοί είναι μια επαγγελματική κοινότητα με συγκεκριμένες δεξιότητες, ιστορία πολλών ετών, κοινωνικούς και πολιτιστικούς ρόλους σε όλες τις περιοχές του κόσμου. Συνεπώς, η απώλεια των πληρωμάτων στα πλοία δεν σημαίνει μόνο την απώλεια των δεξιοτήτων τους, αλλά θα είναι και απώλεια του πολιτισμού, των ηθικών αξιών και γενικά της κοινότητας των ναυτικών. Αυτό μπορεί να έχει συνέπειες στην εμπιστοσύνη και στην αποδοχή από την κοινωνία, των νέων τεχνολογιών. Οι αναδύμενες ψηφιακές τεχνολογίες που θα αντικαθιστούν έναν ναυτικό, στα μάτια του κοινωνικού συνόλου ίσως φανούν ανήθικες και μη αποδεκτές (DNV-GL, 2018).

Στα ηθικά διλήμματα για την αντικατάσταση των ναυτικών έρχεται να προστεθεί και αυτό της εξουσίας που αποκτούν οι μηχανές που πλέον θα λαμβάνουν αποφάσεις. Παραδοσιακά, αποδίδουμε πάντα τις ευθύνες είτε στους ανθρώπους είτε σε οργανισμούς που θεωρούνται νομικά πρόσωπα, όπως μια ναυτιλιακή εταιρεία. Στην περίπτωση όμως των αυτόνομων τεχνολογιών είναι δύσκολο να αποδοθεί η ευθύνη για κάποιο αδίκημα σε έναν αλγόριθμο. Αυτό το ηθικό δίλημμα έχει απασχολήσει αρκετά και την αυτοκινητοβιομηχανία. Η συζήτηση για την ασφάλεια των αυτόνομων αυτοκινήτων περιλαμβάνει την εξέταση παραδειγμάτων ηθικών διλημάτων και τις περισσότερες φορές η συζήτηση καταλήγει στην ανάγκη για δημιουργία και χρήση ασφαλών αλγορίθμων ώστε να μην είναι ποτέ υπόλογοι για ατυχήματα (DNV-GL, 2018).

Ανάλογες συζητήσεις και αναλύσεις αναμένεται να πραγματοποιούνται τα επόμενα χρόνια καθώς νέες αυτοματοποιημένες τεχνολογίες εισέρχονται σε όλους τους τομείς της ανάπτυξης και δημιουργούν ζητήματα σχετικά με τις ηθικές αρχές, την αξιοπιστία, την ασφάλεια, την ιδιωτικότητα, τη διαφάνεια, τα προσωπικά δεδομένα, κλπ. Τα ανωτέρω ζητήματα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και τη χρησιμοποίηση των νέων τεχνολογιών. Συγκεκριμένα για την επιστήμη των αλγορίθμων, ο προγραμματισμός των ντετερμινιστικών αλγορίθμων που συχνά αναφέρονται ως αδύναμη τεχνητή νοημοσύνη, μπορεί να εξασφαλίσει κάποιες ηθικές και κοινωνικές αρχές, αλλά στην περίπτωση

αλγορίθμων ισχυρής τεχνητής νοημοσύνης κάτι τέτοιο διαφαίνεται δύσκολο. Συνεπώς, οι αρχές της ηθικής και δεοντολογίας θα πρέπει να εξεταστούν με προσοχή κατά την έρευνα και το σχεδιασμό της αυτόνομης ναυτιλίας και να ενσωματωθούν αυστηρά κατά την εφαρμογή της (DNV-GL, 2018). Όπως δήλωσε και ο Steven Hawking «*Το να καταφέρουμε να δημιουργήσουμε Τεχνητή Νοημοσύνη θα είναι το μεγαλύτερο γεγονός στην ιστορία του ανθρώπου. Αλλά θα μπορούσε να είναι επίσης και το τελευταίο*».

6.2 Οικονομικές Προκλήσεις

Σε μια βιομηχανία τέτοιου μεγέθους και δυναμικής όπως η ναυτιλία, η αυτόνομη ναυτιλία θα πρέπει να αποδείξει ότι μπορεί να καταφέρει να επιβιώσει και από οικονομικής άποψης. Μπορεί τα αυτόνομα πλοία να έχουν θετικό αντίκτυπο στην ασφάλεια, τη μείωση των ατυχημάτων, στην προστασία του περιβάλλοντος και στην ταχύτητα των θαλάσσιων μεταφορών, αλλά θα καταφέρουν να αναπτυχθούν μόνο εάν υπάρχει το επιχειρηματικό ενδιαφέρον που θα τα υποστηρίξει. Μόνο εάν αποδειχθεί ότι αυτή η τεχνολογία είναι πιο οικονομική και ταυτόχρονα εξίσου αξιόπιστη, ασφαλής και βιώσιμη με τις υπάρχουσες, τότε θα υπάρξει και ζήτηση στην αγορά που θα βοηθήσει στην υλοποίησή της.

6.2.1 Κόστος Κεφαλαίου

Σύμφωνα με το νηογνώμονα DNV-GL οι οικονομικές προκλήσεις της ναυτιλίας αναλύονται χρησιμοποιώντας την απλή συνάρτηση του κόστους και του κέρδους. Συγκεκριμένα το κόστος μπορεί να διαιρεθεί σε κόστος κεφαλαίου, λειτουργικό κόστος και κόστος ταξιδιού. Ξεκινώντας από το κεφάλαιο που χρειάζεται να δαπανηθεί πρέπει να λάβουμε υπόψιν το κόστος που προκύπτει από τη χρηματοδότηση και την απόσβεση του χρέους. Βασική επιρροή σε αυτό το κόστος ασκεί η πραγματική αξία του πλοίου, η οποία στην περίπτωση των αυτόνομων πλοίων δεν μπορούμε να προβλέψουμε ακριβώς πώς θα κινηθεί. Μπορεί η πλήρης απομάκρυνσή του πληρώματος να αφαιρεί από την εξίσωση το κόστος που δαπανείται τόσο για την κατασκευή χώρων ενδιαίτησης όσο και από το κόστος της προστασίας της ζωής στη θάλασσα, αλλά ταυτόχρονα θα υπάρξουν αυξήσεις κόστους λόγω των τεχνολογιών που εισάγονται για να αντικαταστήσουν το πλήρωμα. Φυσικά σε αυτή την εξίσωση θα προστεθεί και το κόστος των συστημάτων χειρισμού απομακρυσμένου ελέγχου που απαιτούνται (DNV-GL, 2018).

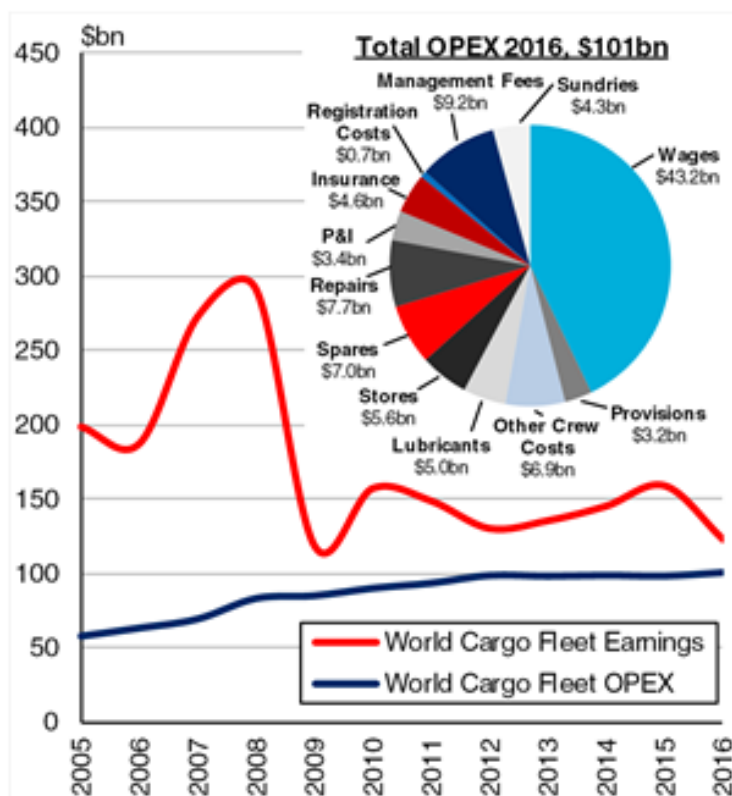
Η βασική ερώτηση που τίθεται είναι εάν το συνολικό κόστος ενός αυτόνομου πλοίου θα είναι υψηλότερο από αυτό ενός συμβατικού επανδρωμένου πλοίου. Αυτό σίγουρα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο του πλοίου, αλλά στην αρχή προβλέπεται ότι ένα μη επανδρωμένο πλοίο θα είναι πιο ακριβό λόγω των μέτρων που χρειάζονται να ληφθούν για τον μετριασμό του κινδύνου που σχετίζεται με την εφαρμογή της νέας τεχνολογίας. Ωστόσο, καθώς αποκτάται εμπειρία, οι απαιτήσεις μπορούν να χαλαρώσουν και το κόστος των συστημάτων να μειωθεί καθώς οι νέες τεχνολογίες θα είναι πλέον εμπορεύσιμες. Τελικά, το κόστος κεφαλαίου μπορεί στη συνέχεια να είναι χαμηλότερο από ό,τι για ένα ισοδύναμο συμβατικό επανδρωμένο πλοίο. Σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση του επενδυτικού κόστους παίζει και η ωφέλιμη διάρκεια ζωής του πλοίου που σήμερα σχετίζεται ως επί των πλείστον με την κατάσταση της κατασκευής του. Στα αυτόνομα πλοία η διάρκεια ζωής του πλοίου θα εξαρτάται όχι μόνο από την κατάσταση της κατασκευής τους αλλά και από την κατάσταση των μηχανημάτων, των αισθητήρων και των λογισμικών που θα χρειάζονται διαρκή συντήρηση και αναβάθμιση. Όλα τα παραπάνω φυσικά θα επηρεάζουν και την τιμή μεταπώλησης του πλοίου αλλά και την τιμή διάλυσης, για τις οποίες δεν μπορούμε να έχουμε ασφαλείς προβλέψεις από τώρα (DNV-GL, 2018).

6.2.2 Λειτουργικά Κόστη

Τα λειτουργικά έξοδα ενός πλοίου μπορούν κατά προσέγγιση να χωριστούν σε δαπάνες που σχετίζονται με το πλήρωμα, τα ανταλλακτικά (spares) και τα αναλώσιμα (stores), τις επισκευές και τη συντήρηση, την ασφάλιση και τα διοικητικά έξοδα. Ξεκινώντας με το κόστος του πληρώματος είναι σίγουρο ότι θα διαφοροποιηθεί στα αυτόνομα πλοία βάσει και του επιπέδου αυτονομίας τους. Βέβαια για τα πλοία με μειωμένο ή καθόλου πλήρωμα θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν τους μισθούς του προσωπικού στα κέντρα ελέγχου ξηράς. Σε αυτό πρέπει να προστεθεί και το κόστος εκπαίδευσης ή μετεκπαίδευσης του πληρώματος/προσωπικού ώστε να είναι σε θέση να εργάζεται πλέον με τα δεδομένα της αυτόνομης ναυτιλίας. Οπότε και πάλι η απομάκρυνση των παραδοσιακών πληρωμάτων δεν σημαίνει και απαραίτητη μείωση στο κόστος, ειδικά για την πρώτη περίοδο εφαρμογής των αυτόνομων πλοίων (DNV-GL, 2018).

Στην [Εικόνα 18](#) παρουσιάζεται η κατανομή των λειτουργικών εξόδων του παγκόσμιου εμπορικού στόλου από το 2005 έως και το 2016 και τα συνολικά λειτουργικά κόστη σε σχέση με τα έσοδα. Διαφαίνεται καθαρά ότι το μεγαλύτερο μέρος των λειτουργικών εξόδων είναι οι

μισθοί. Οι μισθοί μαζί με άλλα έξοδα σχετικά με τα πληρώματα αποτελούν μια δαπάνη που ολοένα και αυξάνεται, για αυτό και οι ναυτιλιακές εταιρείες έχουν στραφεί στην αναζήτηση «φθηνών» πληρωμάτων. Αυτό βέβαια έχει αντίκτυπο στην ποιότητα του πληρώματος και έπειτα στην ποιότητα των θαλάσσιων μεταφορών. Η αυτόνομη ναυτιλία που υπόσχεται μεγάλη μείωση των πληρωμάτων εν πλω, μπορεί προφανώς να μειώσει σχεδόν κατά το ήμισυ τα λειτουργικά κόστη ενός πλοίου (Clarksons Research., 2016).



Εικόνα 18 Κατανομή OPEX του παγκόσμιου στόλου 2005 - 2016 (Clarkson Research, 2016)

Όσον αφορά το κόστος για τα ανταλλακτικά και τα αναλώσιμα επί του πλοίου που αποτελούν και αυτά μεγάλο ποσοστό του λειτουργικού κόστους, παραδοσιακά τα μεγαλύτερα έξοδα είναι τα λιπαντικά λάδια που απαιτούνται για τη λειτουργία των μηχανημάτων επί του σκάφους καθώς και τα ανταλλακτικά που προκύπτουν από ζημιές. Για ένα πλοίο με μειωμένη επάνδρωση, η λίπανση θα εξακολουθεί να απαιτείται, αλλά η θέση αποθήκευσης μπορεί να μην βρίσκεται πλέον στο πλοίο και κάποια έξοδα που σχετίζονται με αυτό, π.χ. έξοδα μεταφοράς, μπορεί να μειωθούν. Από την άλλη, οι δαπάνες που σχετίζονται με αναλώσιμα, όπως τα τρόφιμα που προορίζονται για το πλήρωμα επί του πλοίου, θα μειωθούν ή θα

εκμηδενιστούν, αλλά τέτοιες δαπάνες μπορούν επίσης να προκύψουν για το προσωπικό στο κέντρο ελέγχου (DNV-GL, 2018).

Επιπλέον, η διαχείριση των αυτόνομων πλοίων μπορεί να μη γίνεται εξ ολοκλήρου από τις πλοιοκτήτριες ναυτιλιακές εταιρείες αλλά από άλλες εταιρείες, που θα αναλαμβάνουν τη διαχείριση του πληρώματος ή την τεχνική διαχείριση. Ο βαθμός διαχείρισης του πληρώματος, και συνακόλουθα τα σχετικά διοικητικά έξοδα, θα επηρεαστούν σαφώς από τη μείωση ή την εξάλειψη του πληρώματος. Ωστόσο, ακόμη και με την εξάλειψη του πληρώματος επί του πλοίου, ενδέχεται να υπάρχουν έξοδα διαχείρισης που σχετίζονται με το προσωπικό ξηράς. Οι δαπάνες που σχετίζονται με την τεχνική διαχείριση μπορούν επίσης να διαφοροποιηθούν ανάλογα με το επίπεδο αυτονομίας και τηλεχειρισμού στη λειτουργία του πλοίου και τις τεχνικές επιδόσεις του εξοπλισμού. Υπάρχουν ήδη ενδείξεις ότι οι μεγάλες ναυτιλιακές εταιρείες προσαρμόζονται στη νέα πραγματικότητα μέσω της συνεργασίας με εταιρείες διαχείρισης, όπως η MASSTERLY που περιγράψαμε στο Κεφάλαιο 5, η οποία αποσκοπεί ειδικά στη διαχείριση τηλεχειριζόμενων και αυτόνομων πλοίων (DNV-GL, 2018).

Τέλος, από την άλλη πλευρά της εξίσωσης του κόστους είναι τα έσοδα που μπορούν να επιφέρουν τα αυτόνομα πλοία. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 18 το διάστημα 2009 – 2016 τα συνολικά έσοδα του παγκόσμιου εμπορικού στόλου είχαν φτάσει αρκετά κοντά στα λειτουργικά έξοδα. Η κύρια πηγή των εσόδων στη ναυτιλία εξαρτάται από το είδος της σύμβασης ναύλωσης και τις σχετικές τιμές των ναύλων. Ωστόσο, ο τύπος της σύμβασης ναύλωσης εξαρτάται από τον τύπο του πλοίου και τη λειτουργία του. Συνεπώς, οι παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν τα έσοδα ενός πλοίου σχετίζονται συνήθως με τον τύπο, τον όγκο και το βάρος του μεταφερόμενου φορτίου, με την ταχύτητα μεταφοράς του φορτίου αλλά και με την κατάσταση της ναυλαγοράς που επηρεάζεται τόσο από μικροοικονομικούς όσο και από μακροοικονομικούς παράγοντες. Η μείωση ή η εξάλειψη του πληρώματος θα ελευθερώσει περισσότερο χώρο που θα χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά επιπλέον φορτίου. Ακόμη ένας παράγοντας που θα μπορούσε να επηρεαστεί είναι η ταχύτητα του πλοίου που αν και είναι ανεξάρτητη από το πλήρωμα, η εξάλειψη της επάνδρωσης θα μπορούσε να επιφέρει μειωμένες ταχύτητες. Η μειωμένη ταχύτητα θα οδηγούσε επίσης σε μειωμένες ενεργειακές απαιτήσεις και εξοικονόμηση του κόστους καυσίμων. Ωστόσο, είναι δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να ποσοτικοποιηθεί μια γενική επιχειρηματική περίπτωση για αυτόνομα πλοία σε αυτό το στάδιο, λόγω της αβεβαιότητας των υποθέσεων που γίνονται. Η επιχειρηματική περίπτωση θα εξαρτάται κυρίως από τον τύπο του πλοίου, το μέγεθος του πλοίου και τον τύπο λειτουργίας,

καθώς και από τις ενδεχόμενες απαιτήσεις που θέτει το ρυθμιστικό καθεστώς. Η εμπορική κερδοφορία ενός αυτόνομου πλοίου θα γίνει σαφέστερη μετά την κατασκευή, δοκιμή και λειτουργία κάποιων αυτόνομων πλοίων για κάποιο χρονικό διάστημα (Clarksons Research., 2016; DNV-GL, 2018).

6.3 Περιβαλλοντικές Προκλήσεις

Η κύρια περιβαλλοντική πρόκληση που καλείται να αντιμετωπίσει η αυτόνομη ναυτιλία είναι να αποτελέσει μια ασφαλέστερη λύση για τις θαλάσσιες μεταφορές και ταυτόχρονα να εξασφαλίσει την προστασία του περιβάλλοντος. Παρακάτω θα περιγράψουμε πώς τα αυτόνομα πλοία μπορούν να συνδεθούν με πολλούς από τους 17 στόχους βιώσιμης ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών.

Ξεκινώντας από το Στόχο 14 για τη «Διατήρηση και βιώσιμη χρήση των ωκεανών, των θαλασσών και των θαλάσσιων πόρων για βιώσιμη ανάπτυξη» μπορούμε να καταλάβουμε το μερίδιο της ναυτιλιακής βιομηχανίας στην επίτευξη του. Τα αυτόνομα πλοία μπορούν να είναι πολύ αποτελεσματικά εάν επιτύχουν το υποσχόμενο επίπεδο ασφάλειας. Οι νέες τεχνολογίες αναμένεται να επιφέρουν λιγότερες εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα, λιγότερες διαρροές καυσίμων και φορτίων λόγω ατυχημάτων στη θάλασσα, και μπορούν να εξασφαλίσουν ασφαλείς και αποτελεσματικές μεταφορές σε καθαρούς ωκεανούς. Ταυτόχρονα τόσο το υφιστάμενο όσο και το υπό μελέτη Νομικό και Θεσμικό Πλαίσιο που θα διέπει την αυτόνομη ναυτιλία περιλαμβάνουν αυστηρούς κανόνες προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος από τη ναυτιλιακή δραστηριότητα.



Εικόνα 19 Βιώσιμοι περιβαλλοντικοί στόχοι με τους οποίους συνδέεται η αυτόνομη ναυτιλία.

Ξεκάθαρη σύνδεση της αυτόνομης ναυτιλίας υπάρχει και με το Στόχο 13 «Ανάληψη επείγουσας δράσης για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεών της» και το Στόχο 7 «Προσιτή και καθαρή ενέργεια». Η ναυτιλία έχει ήδη λάβει μέτρα για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και τον περιορισμό των εκπομπών αέριων ρύπων και έχει θέσει συγκεκριμένους στόχους μέχρι το 2050. Σχετικά με την ενέργεια, τα αυτόνομα πλοία μπορούν να συνεισφέρουν τόσο με την πιθανή εξοικονόμηση ενέργειας λόγω των νέων αυτοματοποιημένων συστημάτων λειτουργίας, όσο και με την υιοθέτηση νέων εναλλακτικών ενεργειακών λύσεων, όπως τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων LPG, LNG, αμμωνίας και βιοκαυσίμων.

Γενικά, η ναυτιλία τα τελευταία χρόνια έχει κάνει πολλά βήματα με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος. Μέχρι τώρα ο IMO και όλα τα κράτη μέλη του έχουν ξεκινήσει δράσεις και έχουν επιτύχει σημαντικά αποτελέσματα για να εξασφαλίσουν όχι μόνο τους στόχους που έχουν άμεση σύνδεση με τη ναυτιλία, αλλά και τους 17 στόχους βιωσιμότητας (IMO, 2021b). Τα αυτόνομα πλοία θα αποτελέσουν ένα ακόμη μεγάλο βήμα με σκοπό την επίτευξη μιας περιβαλλοντικά βιώσιμης ναυτιλίας. Δεδομένου ότι η αυτόνομη ναυτιλία σχεδιάζεται με γνώμονα ένα καλύτερο περιβάλλον, καταλήγουμε ότι η μεγαλύτερη περιβαλλοντική πρόκληση που καλείται να αντιμετωπίσει είναι να εναρμονιστεί με τους στόχους βιωσιμότητας των Ηνωμένων Εθνών στοχεύοντας στην επίτευξή τους τα επόμενα χρόνια.

Συμπεράσματα

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να παρουσιάσουμε τις προκλήσεις της ναυτιλίας όσον αφορά τα αυτόνομα πλοία. Μέσω της αναζήτησης και ανάλυσης της υπάρχουσας βιβλιογραφίας προσπαθήσαμε να προσδιορίσουμε ποιες είναι αυτές οι προκλήσεις και να απαντήσουμε σε κάποια ερευνητικά ερωτήματα. Για να απαντήσουμε αυτά τα ερωτήματα, η συγκεκριμένη θεωρητική έρευνα επικεντρώθηκε γύρω από τους εξής τομείς: Τεχνολογία, Ασφάλεια, Νομικό και Θεσμικό πλαίσιο, Βιωσιμότητα.

Αρχικά όσο αφορά την τεχνολογία, διαπιστώσαμε ότι υπάρχουν τα διαθέσιμα μέσα για την επίτευξη ακόμη και πλήρως αυτόνομων πλοίων που θα βασίζονται ελάχιστα στους ανθρώπους. Η μεγάλη πρόκληση της τεχνολογίας όμως είναι να συνδυαστούν σωστά όλα αυτά τα διαθέσιμα μέσα με σκοπό μια ασφαλέστερη και οικονομικότερη λύση για τη ναυτιλία. Οι τομείς με το περισσότερο ερευνητικό ενδιαφέρον είναι η δημιουργία αυτόνομων συστημάτων πλοήγησης που δεν θα βασίζονται σε πλήρωμα επί του πλοίου, η ενσωμάτωση συστημάτων αποφυγής σύγκρουσης που θα επιτύχουν ακόμη και την πλήρη εξάλειψη των ατυχημάτων στη θάλασσα, η αποτελεσματική επεξεργασία των δεδομένων από τα συστήματα αισθητήρων και η λειτουργία των κέντρων απομακρυσμένου ελέγχου. Μέχρι στιγμής, αν και η τεχνολογία είναι διαθέσιμη χρειάζεται χρόνος για να δοκιμαστεί και να ωριμάσει ώστε να είναι σε θέση να υιοθετηθεί και να κλιμακωθεί στη δημιουργία στόλων από αυτόνομα πλοία.

Αφού διασφαλιστεί με την τεχνολογία η ασφαλής πλοήγηση και λειτουργία, μεγάλη πρόκληση των αυτόνομων πλοίων είναι η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, μία έννοια που έχει απασχολήσει τη ναυτιλία τα τελευταία χρόνια. Καθώς πολλές λειτουργίες της αυτόνομης ναυτιλίας βασίζονται σε δεδομένα του κυβερνοχώρου, απαιτούνται αυστηρά συστήματα προστασίας από πιθανές επιθέσεις. Για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, που έχει προσελκύσει και αυτή αρκετό ερευνητικό ενδιαφέρον, βασικός παράγοντας είναι η ανάλυση όλων των πιθανών περιπτώσεων κινδύνων κυβερνοεπίθεσης, αλλά και η εξασφάλιση του τρόπου προστασίας ή αντιμετώπισης τέτοιων επιθέσεων.

Εξίσου σημαντική πρόκληση είναι η δημιουργία ενός κατάλληλου Νομικού και Θεσμικού πλαισίου για την αυτόνομη ναυτιλία. Πολλοί από τους υφιστάμενους νόμους και συμβάσεις θα χρειαστούν απλές αναθεωρήσεις. Όμως υπάρχουν πολλοί κανονισμοί που θα χρειαστούν

ριζική αλλαγή αλλά και κανονισμοί που θα πρέπει να δημιουργηθούν εξ αρχής ώστε να διέπουν την καινούρια πραγματικότητα των αυτόνομων πλοίων. Αυτό απαιτεί μία συλλογική προσπάθεια από όλους τους κανονιστικούς φορείς της ναυτιλίας και όλα τα κράτη. Αυτή η πρόκληση είναι αρκετά δύσκολη, καθώς οι περισσότεροι υφιστάμενοι κανονισμοί έχουν «γεννηθεί» από ατυχήματα ή από περιστατικά κατά τη διάρκεια των χρόνων, ενώ ακόμα δεν υπάρχει δείγμα τέτοιων γεγονότων από αυτόνομα πλοία. Το στοίχημα της ναυτιλιακής βιομηχανίας θα πρέπει να είναι ο αποτελεσματικός καθορισμός των καθηκόντων και των ευθύνων σε μία αυτόνομη ναυτιλία όπου οι άνθρωποι θα αντικατασταθούν σε μεγάλο βαθμό από μηχανήματα και αλγορίθμους.

Από τη μελέτη για τα μέχρι τώρα εγχειρήματα στην αυτόνομη ναυτιλία συμπεραίνουμε ότι υπάρχει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον τόσο από ιδιωτικές εταιρείες όσο και από νέους ερευνητές αλλά και κυβερνήσεις. Το σημαντικότερο εγχείρημα μέχρι τώρα μπορούμε να πούμε ότι είναι το πλοίο YARA – Birkenland, όχι μόνο διότι βρίσκεται σε ένα στάδιο πριν την εδραιοποίησή του, αλλά επειδή υποδεικνύει ότι η αυτόνομη ναυτιλία θα μπορούσε να ξεκινήσει από τη ναυτιλία κοντινών αποστάσεων. Η αντικατάσταση των παραδοσιακών επανδρωμένων πλοίων που χρησιμοποιούνται για δρομολόγια μικρών αποστάσεων από αυτόνομα πλοία ίσως είναι πιο εύκολη όχι μόνο λόγω της κλίμακας μεγέθους αλλά επίσης λόγω του απομακρυσμένου ελέγχου από κέντρα ελέγχου σε κοντινές αποστάσεις.

Τέλος, σημαντική πρόκληση είναι η βιωσιμότητα των αυτόνομων πλοίων. Η κοινωνική αποδοχή του εγχειρήματος των αυτόνομων πλοίων μπορεί να καθορίσει ακόμα και την εξέλιξή του. Δεν είναι εύκολο για τους ανθρώπους να εμπιστευτούν μία τόσο καινούρια και επαναστατική τεχνολογία. Όπως επίσης δεν είναι εύκολο να αλλάξει δραστικά ένα τόσο παραδοσιακό και πολιτισμικά σημαντικό επάγγελμα όπως αυτό του ναυτικού. Ωστόσο δεν θα είναι η πρώτη φορά που κάποιο επάγγελμα κινδυνεύει να «εξαφανιστεί», σε αυτή την περίπτωση μάλλον θα αναδιαμορφωθεί παρά θα εξαφανιστεί. Επιπλέον, όσον αφορά την οικονομική βιωσιμότητα των αυτόνομων πλοίων αυτή βασίζεται μόνο σε υποθέσεις και δεν μπορούμε να έχουμε σίγουρα συμπεράσματα. Υπάρχει όμως αρκετό επιχειρηματικό ενδιαφέρον, καθώς αναμένεται ότι ένα αυτόνομο πλοίο θα είναι πιο οικονομικό και πιο κερδοφόρο από ένα παραδοσιακά επανδρωμένο πλοίο. Αναφορικά με το περιβάλλον, η βιομηχανία της ναυτιλίας πιέζεται όλο και περισσότερο από τις διεθνείς συμβάσεις με στόχο τη μείωση του περιβαλλοντικού της αποτυπώματος. Τα αυτόνομα πλοία είναι αρκετά ελπιδοφόρα προς αυτή την κατεύθυνση, καθώς υπόσχονται λιγότερα ατυχήματα, λιγότερες

διαρροές βλαβερών ουσιών και εκπομπές ρύπων και μειωμένες ενεργειακές απαιτήσεις. Μένει μόνο να διαπιστώσουμε εάν μπορούν να τα καταφέρουν στην πράξη.

Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα πως τα αυτόνομα πλοία αποτελούν μία πρόκληση που θα απασχολήσει σε μεγάλο βαθμό τη ναυτιλία στο κοντινό μέλλον. Η ενσωμάτωση και υιοθέτηση των αυτόνομων μη επανδρωμένων πλοίων θα γίνει σταδιακά και με συλλογικές προσπάθειες. Καμία από τις προκλήσεις που αναφέραμε δεν είναι ακατόρθωτη, απλά χρειάζεται χρόνος και δοκιμές. Με τα πρώτα εγχειρήματα να έχουν ήδη ωριμάσει και να πλησιάζουν στα τελικά τους στάδια, η αυτόνομη ναυτιλία έρχεται όλο και πιο κοντά στο να γίνει πραγματικότητα.

Προτάσεις

Η παρούσα εργασία έχει βασιστεί αποκλειστικά στην υπάρχουσα βιβλιογραφία και στη θεωρητική προσέγγιση του θέματος των αυτόνομων πλοίων. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να εμβαθύνουμε σε όλες τις σημαντικές πτυχές και να κατανοήσουμε καλύτερα το θέμα. Στη παρούσα φάση του εγχειρήματος των αυτόνομων πλοίων, υπάρχουν πολλά ζητήματα σχετικά με το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη λειτουργία και την ασφάλεια των αυτόνομων πλοίων, που χρειάζονται μελέτη, ανάλυση και βέλτιστες πρακτικές για να μπορέσει η αυτόνομη ναυτιλία να γίνει πραγματικότητα.

Καθώς η αυτόνομη τεχνολογία και η σχετική νομοθεσία θα αναπτύσσονται συνεχώς, είναι σημαντικό η ναυτιλιακή κοινότητα να παρακολουθεί τις αλλαγές για να παραμένει ενημερωμένη και έτοιμη για τη στροφή στην αυτόνομη ναυτιλία. Όλο αυτό το διάστημα, ευκαιρίες μπορούν να προκύψουν ανά πάσα στιγμή τόσο για τους πλοιοκτήτες και τους διαχειριστές, όσο και για τις εταιρείες πληροφορικής και επικοινωνιών, τους νηογνώμονες, τους μελετητές ναυπηγούς και τα ναυπηγεία.

Επιπλέον, καθοριστική είναι και η πρακτική προσέγγιση του εγχειρήματος των αυτόνομων πλοίων. Αναφέραμε στην εργασία ότι πολλές παραδοσιακά ναυτιλιακές χώρες έχουν ήδη δείξει ενδιαφέρον με κέντρα έρευνας και ανάπτυξης για αυτόνομα πλοία. Η Ελλάδα και τα Πανεπιστήμια της έχουν τα εφόδια να συμμετάσχουν σε τέτοια εγχειρήματα. Θα ήταν πολύ ενδιαφέρον να δημιουργηθούν ερευνητικά κέντρα αυτόνομων πλοίων στα Ελληνικά Πανεπιστήμια αλλά και σε συνεργασία με ιδιωτικές εταιρείες στον χώρο της τεχνολογίας και των υπολογιστών.

Βιβλιογραφία

- Adams, S., 2014. *ReVolt – next generation short sea shipping*. [online] DNV. Available at: <<https://www.dnv.com/news/revolt-next-generation-short-sea-shipping-7279>> [Accessed 14 November 2021].
- Aiello, G., Giallanza, A., & Mascarella, G. (2020). Towards Shipping 4.0. A preliminary gap analysis. *Procedia Manufacturing*, 42, 24–29. doi:10.1016/j.promfg.2020.02.019
- Autonomous Ships HQ. 2017. *ReVolt - Autonomous Ships HQ*. [online] Available at: <<https://www.autonomousshipshq.com/revolt/>> [Accessed 14 November 2021].
- BIMCO. (2020). *The Guidelines on Cyber Security Onboard Ships – Version 4*. BIMCO. Available at: <https://www.bimco.org/about-us-and-our-members/publications/the-guidelines-on-cyber-security-onboard-ships>
- Burmeister, H. C., Bruhn, W., Rødseth, Ø. J., & Porathe, T. (2014). Autonomous unmanned merchant vessel and its contribution towards the e-Navigation implementation: The MUNIN perspective. *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, 1, 1-13.
- Cirs.edu.org. (2014). *The Sparus II – AUV*. <https://cirs.udg.edu/auvs-technology/auvs/sparus-ii-auv/>
- Clarksons Research. (2016). *OPEX – Clarksons Research*. Retrieved 17 January 2022, from <https://clarksonresearch.wordpress.com/tag/opex/#top>.
- Deloitte, 2011. *Challenge to the industry: Securing skilled crew in today's marketplace* Retrieved from: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/dttl-er-challengeindustry-08072013.pdf> [Accessed 28 April 2021].
- DMA. 2017. *Analysis Of Regulatory Barriers To The Use Of Autonomous Ships Final Report*. Denmark: Rambol & CORE Advokatfirma. [online]. Available at: <<https://www.dma.dk/Documents/Publikationer/Analysis%20of%20Regulatory%20Barriers%20to%20the%20Use%20of%20Autonomous%20Ships.pdf> > [Accessed 20 December 2021].
- DNV-GL. (2018b). *Remote-Controlled And Autonomous Ships*. Hamburg: DNV-GL. Retrieved from http://file:///Users/mariarapti/Downloads/DNV_GL_Position_Paper_Remote-controlled_and_autonomous_ships_Web3.pdf

- DNV-GL. 2018a. *Autonomous and remotely operated ships*. CLASS GUIDELINES. [online] DNV-GL. Available at: <<https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/cg/2018-09/dnvgl-cg-0264.pdf>> [Accessed 14 November 2021].
- EMSA, 2021. *Annual Overview of Marine Casualties AND INCIDENTS 2021*. EMSA. Available at: <<http://www.emsa.europa.eu/damage-stability-study/items.html?cid=77:publications&id=4266>> [Accessed 19 December 2021].
- Ghaderi, H. (2020) Wider implications of autonomous vessels for the maritime industry: Mapping the unprecedented challenges. In Milakis, D., Thomopoulos, N., & Van Wee, B. (2020). *Policy Implications of Autonomous Vehicles*. Academic Press.
- Greenberg, A. (2018). The untold story of NotPetya, the most devastating cyberattack in history. *Wired*, August, 22.
- Hancock, P.A., 2019. Some pitfalls in the promises of automated and autonomous vehicles. *Ergonomics*, 62(4), pp.479-495.
- Hoyhtya, M., Huusko, J., Kiviranta, M., Solberg, K., & Rokka, J. (2017). *Connectivity for autonomous ships: Architecture, use cases, and research challenges*. 2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). doi:10.1109/ictc.2017.8191000
- Ics-shipping.org (ICS). 2021. *Shipping and world trade: driving prosperity*. [online] Available at: <<https://www.ics-shipping.org/shipping-fact/shipping-and-world-trade-driving-prosperity/>> [Accessed 14 November 2021].
- IMO. 2021a. *Autonomous shipping*. [online] Available at: <<https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Autonomous-shipping.aspx>> [Accessed 14 November 2021].
- IMO. 2021b. *IMO and the Sustainable Development Goals*. [online] Available at: <<https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/SustainableDevelopmentGoals.aspx#number12>> [Accessed 10 November 2021].
- IMO. 2021c. *E-navigation*. [online] Available at: <<https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/eNavigation.aspx>> [Accessed 15 December 2021].
- IMO. 2021d. *Outcome Of The Regulatory Scoping Exercise For The Use Of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS)*. [online] Available at: <<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/PressBriefings/Documents/MSC.1-Circ.1638%20%20Outcome%20Of%20The%20Regulatory%20Scoping%20ExerciseFo>>

[r%20The%20Use%20Of%20Maritime%20Autonomous%20Surface%20Ships...%20\(Secretariat\).pdf](#) > [Accessed 20 December 2021].

IMO. 2021e. *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974*. [online] Available at: <[https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx)> [Accessed 20 December 2021].

IMO. 2021f. *International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW)*. [online] Available at: <<https://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/Pages/STCW-Conv-LINK.aspx> > [Accessed 20 December 2021].

Karamperidis, S., Kapalidis, C., & Watson, T. (2021). Maritime Cyber Security: A Global Challenge Tackled through Distinct Regional Approaches. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12), 1323.

Kavallieratos, G., Katsikas, S., & Gkioulos, V. (2018). Cyber-attacks against the autonomous ship. In *Computer Security* (pp. 20-36). Springer, Cham.

Kongsberg.com. 2021. *Autonomous ship project, key facts about YARA Birkeland*. [online] Available at: <<https://www.kongsberg.com/maritime/support/themes/autonomous-ship-project-key-facts-about-yara-birkeland/>> [Accessed 14 November 2021].

Lloyd's Register. 2016. *LR defines 'autonomy levels' for ship design and operation*. [online] Available at: <<https://www.lr.org/en/latest-news/lr-defines-autonomy-levels-for-ship-design-and-operation/>> [Accessed 14 November 2021].

PenTestPartners.com. (2022). *Maritime cyber security*. Maritime Cyber Security Testing. Retrieved 16 January 2022, from <https://www.pentestpartners.com/penetration-testing-services/maritime-cyber-security-testing/https://www.pentestpartners.com/penetration-testing-services/maritime-cyber-security-testing/>.

Porathe, T. (2014). Remote Monitoring and Control of Unmanned Vessels—The MUNIN Shore Control Centre. In *Proceedings of the 13th International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries (COMPIT '14)* (pp. 460-467).

Ringbom, H., Viljanen, M., Poikonen, J., Ilvessalo, S. (2020). *Charting Regulatory Frameworks for Maritime Autonomous Surface Ship Testing, Pilots, and Commercial Deployments*. Helsinki: Ministry of the Transport and Communications. Government Administration Department.

- Rolls-royce.com. 2018a. *Rolls-Royce and Finferries sign cooperation agreement to optimise ship safety and efficiency*. [online] Available at: <<https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2018/17-05-2018-rr-and-finferries-sign-cooperation-agreement-to-optimise-ship-safety-and-efficiency.aspx>> [Accessed 14 November 2021].
- Rolls-royce.com. 2018b. *Rolls-Royce and Finferries demonstrate world's first Fully Autonomous Ferry – Rolls-Royce*. [online] Available at: <<https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2018/03-12-2018-rr-and-finferries-demonstrate-worlds-first-fully-autonomous-ferry.aspx>> [Accessed 14 November 2021].
- safety4sea.com. 2018. *Wilhelmsen, Kongsberg create autonomous shipping company*. [online] Available at: <<https://safety4sea.com/wilhelmsen-kongsberg-create-autonomous-shipping-company/>> [Accessed 14 November 2021].
- safety4sea.com. 2019. *Autonomous ships: Test areas and research centers making headlines*. [online] Available at: <<https://safety4sea.com/cm-autonomous-ships-test-areas-and-research-centers-making-headlines/>> [Accessed 14 November 2021].
- Sahoo, A., Dwivedy, S. K., & Robi, P. S. (2019). *Advancements in the field of autonomous underwater vehicle*. *Ocean Engineering*, 181, 145–160. doi:10.1016/j.oceaneng.2019.04.011
- Statheros, T., Howells, G., & McDonald-Maier, K.D. (2007). Autonomous Ship Collision Avoidance Navigation Concepts, Technologies and Techniques. *Journal of Navigation*, 61, 129 - 142.
- Sullivan, B. P., Desai, S., Sole, J., Rossi, M., Ramundo, L., & Terzi, S. (2020). *Maritime 4.0 – Opportunities in Digitalization and Advanced Manufacturing for Vessel Development*. *Procedia Manufacturing*, 42, 246–253. doi:10.1016/j.promfg.2020.02.0
- Tam, K., & Jones, K. D. (2018). Maritime cybersecurity policy: the scope and impact of evolving technology on international shipping. *Journal of Cyber Policy*, 3(2), 147-164.
- Thombre, S., Zhao, Z., Ramm-Schmidt, H., Garcia, J. M. V., Malkamaki, T., Nikolskiy, S., Lehtola, V. V. (2020). *Sensors and AI Techniques for Situational Awareness in Autonomous Ships: A Review*. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1–20. doi:10.1109/tits.2020.3023957
- Tvete, H., 2014. *The ReVolt - DNV*. [online] DNV. Available at: <<https://www.dnv.com/technology-innovation/revolt/>> [Accessed 14 November 2021].
- United Nations Conference On Trade And Development (UNCTAD). 2020. Review of Maritime Transport 2020. United Nations. Available at:

<https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020_en.pdf> [Accessed 1 November 2021].

Unmanned-ship.org (MUNIN). 2016. *Research in maritime autonomous systems project: Results and technology potentials*. Available at: <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2016/02/MUNIN-final-brochure.pdf> [Accessed 8 August 2021]

YARA, 2021. *Yara to start operating the world's first fully emission-free container ship*. [online] Available at: <<https://www.yara.com/corporate-releases/yara-to-start-operating-the-worlds-first-fully-emission-free-container-ship/>> [Accessed 19 December 2021].

Zhang, X., Wang, C., Jiang, L., An, L., & Yang, R. (2021). Collision-avoidance navigation systems for Maritime Autonomous Surface Ships: A state of the art survey. *Ocean Engineering*, 235, 109380.