



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
**UNIVERSITY OF PIRAEUS**

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

*ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΠΑΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
“ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ”*

**“ΕΞΥΠΝΟ ΚΑΙ ΠΡΑΣΙΝΟ ΠΛΟΙΟ”**

*ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ*

Συντάκτης: Παναγιώτης Ν. Κούτρας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Αμαλία Πολυδωροπούλου

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 2023

## Περίληψη

Η εισαγωγή της τεχνολογίας στη ναυτιλιακή βιομηχανία πρόκειται να ανοίξει μια νέα εποχή και να οδηγήσει σε νέα παραδείγματα όσον αφορά την ασφάλεια, την οικονομία και την προστασία του περιβάλλοντος. Ωστόσο, υπάρχουν επίσης ορισμένες ανησυχίες σχετικά με τη νέα τεχνολογία που μπορεί επίσης να δημιουργήσει νέους τύπους κινδύνων, όπως κινδύνους για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο και ηθικά προβλήματα. Αυτή η εργασία παρουσιάζει τις πρόσφατες τάσεις για την ανάπτυξη έξυπνων πλοίων με την εισαγωγή των πιο εξελιγμένων τεχνολογιών που αυξάνουν την αυτονομία και τον “πράσινο” χαρακτήρα των πλοίων. Διερευνά επίσης τις επιδράσεις της αυτονομίας των σκαφών σε βασικά ζητήματα, όπως η ασφάλεια, η οικονομία, η εξοικονόμηση ενέργειας, η εργασία και η εκπαίδευση, καθώς και η νομική και ηθική, προκειμένου να βρεθεί μια λύση για μια αποτελεσματική, αξιόπιστη, ασφαλή και βιώσιμη ναυτιλία στο εγγύς μέλλον. Η εφαρμογή ολιστικών προσεγγίσεων για την ανάπτυξη της τεχνολογίας, του ρυθμιστικού πλαισίου, της επικοινωνίας και της συνεργασίας πολλών ενδιαφερομένων με βάση την αμοιβαία κατανόηση είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχία των έξυπνων πλοίων.

Λέξεις-Κλειδιά

Έξυπνο πλοίο, πράσινο πλοίο, αυτόνομο πλοίο, ναυτική τεχνολογία, τεχνολογικές επιδράσεις.

## Abstract

The introduction of technology in the shipping industry is set to open a new era and lead to new paradigms in terms of safety, economy and environmental protection. However, there are also some concerns about new technology that may also create new types of risks, such as cyber security risks and ethical issues. This paper presents the recent trends for the development of smart ships with the introduction of the most advanced technologies that increase the autonomy and "green" nature of ships. It also explores the effects of vessel autonomy on key issues such as safety, economics, energy conservation, employment and education, as well as legal and ethical issues, in order to find a solution for an efficient, reliable, safe and sustainable shipping in the near future. Applying holistic approaches to technology development, regulatory framework, communication and multi-stakeholder collaboration based on mutual understanding is critical to the success of smart ships.

## Keywords

Smart ship, green ship, autonomous ship, marine technology, technological effects.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη .....	1
Λέξεις-Κλειδιά .....	2
Abstract .....	3
Keywords .....	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	4
Εισαγωγή .....	5
Κεφάλαιο 1. Έξυπνο πλοίο και αυτονομία .....	7
1.1 Ορισμός και στοιχεία του έξυπνου πλοίου .....	7
1.2 Αυτονομία πλοίου: επίπεδα, κίνητρα και παγκόσμιες τάσεις .....	8
Κεφάλαιο 2. Τεχνολογίες έξυπνου πλοίου.....	12
2.1 Τεχνητή νοημοσύνη .....	12
2.2 Ανάλυση μεγάλων δεδομένων.....	15
2.3 Διαδίκτυο των Πραγμάτων και Διαδίκτυο των Πλοίων.....	20
2.4 Τεχνολογία blockchain .....	27
2.5 Ρομπότ.....	31
2.6 Επαυξημένη πραγματικότητα .....	34
Κεφάλαιο 3. Επιδράσεις της αυτονομίας των πλοίων .....	36
3.1 Επιδράσεις στο ρυθμιστικό πλαίσιο.....	36
3.2 Επιδράσεις στην τεχνολογία.....	38
3.3 Επιπτώσεις στη βιομηχανία .....	40
Κεφάλαιο 4. Άλλα θέματα.....	41
4.1 Θέματα ασφάλειας.....	41
4.2 Θέματα κυβερνοασφάλειας .....	42
4.3 Θέματα εργασίας και κατάρτισης .....	43
4.4 Νομικά και ηθικά ζητήματα .....	45
Συμπεράσματα .....	47
Βιβλιογραφία .....	50

## Εισαγωγή

Προκειμένου να αντιμετωπίσουν το οικονομικό κόστος και τη μείωση των μεταφορών λόγω του μεγάλου ανταγωνισμού, οι ναυτιλιακές εταιρείες μειώνουν τα μέλη του πληρώματος. Επιπλέον, η διαφημιστική εκστρατεία σχετικά με τη βελτίωση της απόδοσης και τη μείωση του άνθρακα στη ναυτιλιακή βιομηχανία έχει αυξήσει την προσοχή στην τεχνητή νοημοσύνη (Geertsma et al., 2017). Ως εκ τούτου, η ζήτηση για αυτοματοποίηση στην τεχνολογία πλοήγησης και ελέγχου αυξάνεται ιδιαίτερα για να λειτουργεί η ναυτιλία έξυπνα, με ασφάλεια και οικονομικά (Alop, 2019). Επιπλέον, η πρόοδος στην τεχνολογία πληροφοριών, γνωστή ως ο πυρήνας της 4ης βιομηχανικής επανάστασης, προωθεί την οπτικοποίηση αυτόνομων πλοίων. Πολλά μέλη της ΕΕ, η Κορέα, η Ιαπωνία και άλλες χώρες αυξάνουν τη διαθεσιμότητα αυτών των τεχνολογιών και διαμορφώνουν την ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον αυτόνομων πλοίων δυνάμει της συνεργασίας ιδιωτικού-δημόσιου τομέα (Furumoto et al., 2020).

Πρόκειται για τα λεγόμενα “έξυπνα πλοία”, τα οποία φέρνουν επανάσταση σε ζωτικές πτυχές της ναυτιλίας: τον σχεδιασμό και την λειτουργία πλοίων, τον επαναπροσδιορισμό της παγκόσμιας ναυτιλιακής βιομηχανίας, αλλά και των ρόλων των αρχέγονων στοιχείων σε αυτήν. Αυτή η επανάσταση μπορεί να επηρεάσει τους ναυπηγούς, τις ναυτιλιακές εταιρείες, τους ιδιοκτήτες πλοίων και τους παρόχους ναυτιλιακών συστημάτων, καθώς και τις άλλες εταιρείες του κλάδου που παράγουν την τεχνολογία (Geertsma et al., 2017). Παράλληλα, πολλά από αυτά χαρακτηρίζονται ως “πράσινα”, λόγω του χαμηλού αντικτύπου τους στο

περιβάλλον. Επιπλέον, η εξ αποστάσεως παρακολούθηση των πλοίων και άλλοι αυτοματισμοί μπορεί να εξασφαλίσει ότι αυτά τα νέα πλοία θα είναι ασφαλέστερα, πιο αποτελεσματικά, πιο αξιόπιστα και πιο ενσωματωμένα στις παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού, δημιουργώντας ενίσχυση εσόδων με υψηλότερο μόνους εξοικονόμησης κόστους (Furumoto et al., 2020). Ωστόσο, η εισαγωγή των έξυπνων/πράσινων πλοίων είναι αρκετά πρόσφατη και η σχετική βιβλιογραφία περιορισμένη. Ως εκ τούτου, σκοπός της παρούσας ανασκόπησης είναι η συλλογή και ερμηνεία της υπάρχουσας γνώσης, ώστε να απαντηθούν κρίσιμα ερωτήματα σχετικά με την λειτουργία, τα οφέλη, τις επιδράσεις και τις προκλήσεις των έξυπνων και πράσινων πλοίων.

# Κεφάλαιο 1. Έξυπνο πλοίο και αυτονομία

## 1.1 Ορισμός και στοιχεία του έξυπνου πλοίου

Τα έξυπνα πλοία θεωρούνται ως οι εκδοχές μιας περαιτέρω εξέλιξης των ήδη υπάρχοντων υποσυστημάτων ενός πλοίου, τα οποία μαζί αποτελούν ένα αυτόνομο σκάφος. (Schiaretti et al., 2017; van Cappelle et al., 2018). Με βάση το επιχειρηματικό μοντέλο του Mortimo (2017), τα έξυπνα πλοία θα είναι συνέπεια της ανάπτυξης παραδοσιακών πλοίων με μια σειρά από καινοτομίες διατήρησης, αλλά ο νέος τρόπος σύνδεσης των πλοίων με διαφορετικές διαδικασίες δηλώνει ότι η έξυπνη ναυτιλία είναι μια ανατρεπτική καινοτομία.

Γενικά, τα έξυπνα πλοία αποτελούνται από τέσσερα κύρια στοιχεία:

- Πλοήγηση: Το υποσύστημα πλοήγησης ενός έξυπνου πλοίου λαμβάνει εισόδους από διάφορους αισθητήρες στο πλοίο. Τα δεδομένα από αυτούς τους αισθητήρες συνδυάζονται με ένα μπλοκ σύντηξης αισθητήρων που βασίζεται σε λογισμικό για να δημιουργήσει μια εικόνα του πραγματικού κόσμου. Το Situation Awareness (SA), ένα σύστημα που βασίζεται σε λογισμικό αξιολογεί αυτήν την εικόνα για να μεταφράσει τα δεδομένα σε πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν.
- Καθοδήγηση: Η εικόνα που δημιουργείται και αξιολογείται από το υποσύστημα πλοήγησης χρησιμοποιείται από το υποσύστημα καθοδήγησης για τη χάραξη της διαδρομής του πλοίου. Πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορα στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων των κοντινών εμποδίων (αποφυγή σύγκρουσης), της διαδρομής (από την αρχή στον προορισμό) και άλλες πτυχές πλοήγησης (σφαιρικός σχεδιαστής

διαδρομής) και η κατάσταση άλλων πλοίων (μπλοκ επικοινωνίας). Αυτά τα διαφορετικά μπλοκ πληροφοριών συνδυάζονται για να δημιουργήσουν την πορεία του πλοίου.

- Φυσικό πλοίο: Για την υποστήριξη του συστήματος λήψης αποφάσεων που βασίζεται σε λογισμικό, απαιτείται πρόσθετο υλικό στο φυσικό πλοίο για τη συλλογή δεδομένων. Εκεί που παραδοσιακά ο πλοίαρχος καθοδηγούσε το πλοίο και άλλαζε την ταχύτητα με βάση αυτό που φαινόταν από τη γέφυρα του πλοίου, τώρα το νέο υλικό παρέχει την ίδια άποψη και την ίδια ικανότητα να ενεργεί βάσει πληροφοριών.
- Έλεγχος: Το υποσύστημα ελέγχου ενός αυτόνομου πλοίου, που ονομάζεται επίσης ελεγκτής κίνησης, είναι αυτό που οδηγεί στην πραγματικότητα το πλοίο στη σωστή κατεύθυνση. Το σύστημα ελέγχου που βασίζεται σε λογισμικό επεξεργάζεται τα δεδομένα που παρέχονται από το λογισμικό δημιουργίας διαδρομής, μετατρέποντάς τα σε εντολές για τα διάφορα συστήματα εντοπισμού θέσης υλικού στο πλοίο.

Μαζί, αυτά τα τέσσερα στοιχεία αποτελούν τα θεμέλια των έξυπνων εφαρμογών σε ένα πλοίο, οι οποίες θα αναλυθούν με περισσότερες λεπτομέρειες σε επόμενη ενότητα.

## 1.2 Αυτονομία πλοίου: επίπεδα, κίνητρα και παγκόσμιες τάσεις

Ένα από τα καθοριστικά χαρακτηριστικά ενός έξυπνου πλοίου είναι η ικανότητά του να λειτουργεί αυτόνομα. Έχουν δημοσιευτεί αρκετοί οδηγοί που εξετάζουν την πιθανή εξέλιξη από τα σημερινά πλοία σε πλήρως αυτόνομα πλοία. Οι πιο γνωστοί είναι αυτοί των Blanke et al. (2017) και Devaraju et al. (2018). Αυτοί οι οδηγοί μοιράζονται μια τροχιά ανάπτυξης για αυτόνομα πλοία παρόμοια με τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για αυτόνομα αυτοκίνητα που έχουν αναπτυχθεί από την κοινότητα των ευφυών συστημάτων μεταφορών.



Η αυτονομία των πλοίων περιγράφεται σε έξι επίπεδα (Blanke et al., 2017), ξεκινώντας από το επίπεδο 0, το παραδοσιακό σύστημα διεύθυνσης που βασίζεται στον άνθρωπο έως το επίπεδο 6, πλήρης αυτονομία. Εναλλακτικά, η αυτονομία μπορεί να απλοποιηθεί χρησιμοποιώντας τέσσερα επίπεδα:

- Παραδοσιακός τρόπος εργασίας
- Αύξηση αισθητήρων και υποστήριξης αποφάσεων
- Αυτονομία υποβοηθούμενη από τον άνθρωπο
- Πλήρης αυτονομία

*Επίπεδα τεχνολογικής ετοιμότητας.* Τα «επίπεδα τεχνολογικής ετοιμότητας» βοηθούν στην ανάλυση του τρέχοντος επιπέδου ωριμότητας της τεχνολογίας. Το επίπεδο τεχνολογικής ετοιμότητας 1 υποδεικνύει το στάδιο της βασικής τεχνολογικής έρευνας, ενώ το επίπεδο 9 υποδηλώνει ένα πλήρως λειτουργικό, δοκιμασμένο σύστημα. Σύμφωνα με τους Kristiyanti και Oktavia (2021), η τεχνολογία πληροφορικής βρίσκεται επί του παρόντος σε υψηλό επίπεδο τεχνολογικής ετοιμότητας και εφαρμόζεται ήδη σε λειτουργικά περιβάλλοντα. Η τεχνολογία που βοηθά τα πλοία βρίσκεται σε μέσο επίπεδο ωριμότητας και αυτή τη στιγμή δοκιμάζεται σε επιλεγμένα περιβάλλοντα, όπως το λιμάνι του Ρότερνταμ. Επί του παρόντος, τα πλήρως αυτόνομα πλοία βρίσκονται σε χαμηλό επίπεδο τεχνολογικής ετοιμότητας. Ωστόσο, η τεχνολογία αναπτύσσεται γρήγορα και υπάρχουν ήδη μερικά μεγάλα σκάφη εξοπλισμένα με πολύ προηγμένα τεχνολογικά συστήματα.

*Επιχειρηματικά κίνητρα για αυτονομία.* Οι εξελίξεις στην υποδομή και την τεχνολογία των πλοίων καθοδηγούνται από τις επιχειρηματικές προκλήσεις και την ανάγκη να γίνει η ναυτιλία ασφαλέστερη, φθηνότερη και πιο βιώσιμη. Περίπου το 70% όλων των ατυχημάτων συμβαίνουν λόγω ανθρώπινου λάθους (Chen et al., 2020). Επιπλέον, με το μειούμενο ενδιαφέρον για το επάγγελμα του ναυτιλιακού χειριστή, αναμένεται έλλειψη 150.000

αξιοματικών ναυτιλίας το 2025 (Lušić et al., 2019). Τέλος, το σημαντικό κόστος της απασχόλησης πληρώματος επί του σκάφους, το οποίο είναι περίπου μεταξύ 31% και 36% του συνολικού λειτουργικού κόστους (van Capelle et al., 2018) οδηγεί την κίνηση προς την αυξημένη αυτονομία των πλοίων.

*Παγκόσμιες τάσεις των αυτόνομων πλοίων.* Την τελευταία δεκαετία, με μια ποικιλία πολυεθνικών έργων με τεράστιες επενδύσεις και έρευνα και ανάπτυξη για αυτόνομα οχήματα, έχουν ξεκινήσει έργα για την ανάπτυξη αυτόνομων πλοίων σε όλο τον κόσμο. Πολλοί οργανισμοί όπως η Rolls Royce, η DNV GL, το Νορβηγικό Πανεπιστήμιο Επιστήμης και Τεχνολογίας (NTNU) και η Kongsberg έχουν αποκαλύψει φιλόδοξα σχέδια για την ανάπτυξη πλήρως ηλεκτρικών και αυτόνομων πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων έως το 2020. Ο αγώνας τους γίνεται πιο εντατικός λόγω του υψηλού ανταγωνισμού στο χώρο των μεταφορών και των αυξανόμενων ευκαιριών για τεχνολογική καινοτομία. Άλλοι οργανισμοί σε όλο τον κόσμο αναπτύσσουν συμπληρωματικές, ακόμη και ανταγωνιστικές ιδέες και συστήματα για την υποστήριξη μη επανδρωμένων λειτουργιών, σε συνδυασμό με πρωτοβουλίες υποδομής, συμπεριλαμβανομένων αυτόνομων λιμένων και επικοινωνιών υψηλού εύρους ζώνης.

Το 2012, το Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks (MUNIN) που χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή άρχισε να διερευνά τη σκοπιμότητα των μη επανδρωμένων πλοίων σε διεπιστημονικά σημεία: την τεχνική ωριμότητα, τα οικονομικά οφέλη, τον κοινωνικό αντίκτυπο και την ασφάλεια κατά τη διάρκεια ταξιδιών σε βαθιά θαλάσσια ταξίδια (Wang et al., 2020; Kari & Steinert, 2021).

Μετά το έργο του MUNIN, το ReVolt ξεκίνησε ως ένα αποκλειστικό ερευνητικό έργο για την ανάπτυξη ενός μη επανδρωμένου, μηδενικών εκπομπών και μικρών αποστάσεων πλοίου από την DNV GL σε συνεργασία με το NTNU, προκειμένου να διαχειριστεί την

κυκλοφοριακή συμμόρφωση σε αστικές περιοχές στο οδικό δίκτυο της ΕΕ (Vartdal, 2018; Komianos, 2018).

Ένα άλλο αντιπροσωπευτικό έργο που σχετίζεται με αυτόνομα πλοία είναι το Advanced Autonomous Waterborne Applications Initiative, το οποίο ξεκίνησε από τη Rolls-Royce το 2015. Αυτό το έργο προσκάλεσε διάφορους εταίρους – πανεπιστήμια, σχεδιαστές πλοίων, κατασκευαστές εξοπλισμού και νηογνώμονες προκειμένου να εξετάσουν τα οικονομικά, κοινωνικά, νομικά, ρυθμιστικά και τεχνολογικά εμπόδια που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να γίνουν πραγματικότητα τα αυτόνομα πλοία. Στοχεύει στην ανάπτυξη προκαταρκτικών σχεδίων με τις τεχνικές προδιαγραφές για την επόμενη γενιά προηγμένων πλοίων (Komianos, 2018).

Ένα από τα τελευταία έργα που σχετίζονται με το αυτόνομο πλοίο είναι το YARA Birkeland (Kongsberg Maritime AS, 2019). Η YARA και η Kongsberg συνεργάστηκαν για να κατασκευάσουν το πρώτο πλήρως ηλεκτρικό πλοίο τροφοδοσίας εμπορευματοκιβωτίων στον κόσμο. Το έργο ξεκίνησε το 2017 με στόχο την εξ αποστάσεως λειτουργία έως το 2019 με την προοπτική να γίνει πλήρως αυτόνομο έως το 2020. Αντί για δεξαμενές έρματος, το πλοίο έχει σχεδιαστεί να χρησιμοποιεί πακέτα μπαταριών ως μόνιμο έρμα. Επιπλέον, θα μπορούσε να αγκυροβοληθεί αυτόματα ή να ξεκινήσει χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση χρησιμοποιώντας ένα αυτόματο σύστημα πρόσδεσης. Με την κατάργηση έως και 40.000 διαδρομών με φορτηγά σε κατοικημένες αστικές περιοχές, αναμένεται να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές NOx και CO<sub>2</sub>, ενώ παράλληλα θα βελτιώσει την οδική ασφάλεια και θα μειώσει την κυκλοφοριακή συμφόρηση, γεγονός που θα συμβάλει στην επίτευξη των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης του ΟΗΕ.

## Κεφάλαιο 2. Τεχνολογίες έξυπνου πλοίου

### 2.1 Τεχνητή νοημοσύνη

Η τεχνητή νοημοσύνη είναι η προσομοίωση των διαδικασιών της ανθρώπινης νοημοσύνης από συστήματα υπολογιστών. Αυτές οι διαδικασίες περιλαμβάνουν τη μάθηση (την απόκτηση πληροφοριών και τους κανόνες για τη χρήση των πληροφοριών), τη συλλογιστική (χρήση κανόνων για την κατάληξη σε κατά προσέγγιση ή οριστικά συμπεράσματα) και την αυτοδιόρθωση.

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας τεχνικές όπως η μηχανική εκμάθηση, η επεξεργασία φυσικής γλώσσας και η ρομποτική. Ο στόχος της έρευνας της τεχνητής νοημοσύνης είναι να δημιουργήσει συστήματα που μπορούν να εκτελούν εργασίες που συνήθως απαιτούν ανθρώπινη νοημοσύνη, όπως οπτική αντίληψη, αναγνώριση ομιλίας, λήψη αποφάσεων και μετάφραση γλώσσας. Αναλυτικότερα:

*Αυτοματοποίηση.* Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αυτοματοποίηση επαναλαμβανόμενων εργασιών και τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας σε διάφορους κλάδους.

*Προγνωστικά αναλυτικά στοιχεία.* Οι αλγόριθμοι που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να αναλύσουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων για να κάνουν προβλέψεις για μελλοντικά γεγονότα.

*Ρομποτική.* Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο ρομπότ και την αυτοματοποίηση διαφόρων φυσικών εργασιών, όπως στην εφοδιαστική αλυσίδα, την συντήρηση κτλ.

*Επεξεργασία φυσικής γλώσσας (Natural Language Processing, NLP).* Οι τεχνικές NLP που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εργασίες όπως η μετάφραση γλώσσας, η σύνοψη κειμένου και η αναγνώριση ομιλίας.

*Όραση υπολογιστή.* Οι αλγόριθμοι που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να αναλύσουν εικόνες και βίντεο για να αναγνωρίσουν αντικείμενα, ανθρώπους και άλλες οπτικές πληροφορίες, αυτό είναι χρήσιμο σε εφαρμογές όπως αυτοοδηγούμενα αυτοκίνητα, ασφάλεια και επιτήρηση.

*Μηχανική μάθηση.* Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη γίνονται όλο και πιο σημαντικοί σε διάφορους κλάδους.

*Λήψη αποφάσεων.* Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να βοηθήσει τους ανθρώπους στη λήψη περίπλοκων αποφάσεων παρέχοντας πληροφορίες και συστάσεις που βασίζονται σε τεράστιο όγκο δεδομένων.

Συγκεκριμένα για τη ναυτιλιακή βιομηχανία, η τεχνητή νοημοσύνη έχει τις εξής εφαρμογές:

*Διαχείριση στόλου.* Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών του στόλου και τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των δρομολογίων αποστολής, αναλύοντας δεδομένα από το σύστημα εντοπισμού γεωγραφικής θέσης (GPS), τον καιρό και την κυκλοφορία.

*Προγνωστική Συντήρηση.* Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει πότε ο εξοπλισμός και τα οχήματα θα χρειαστούν συντήρηση, κάτι που θα συμβάλει στη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και στην εξοικονόμηση κόστους.

*Αυτόνομα πλοία.* Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη αυτόνομων πλοίων που μπορούν να πλοηγούνται, να ελλιμενίζονται και να λαμβάνουν αποφάσεις μόνα τους, αυξάνοντας την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα στον κλάδο.

*Βελτιστοποίηση φορτίου.* Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση της φόρτωσης και εκφόρτωσης φορτίου, αναλύοντας δεδομένα σχετικά με το βάρος και τον όγκο του φορτίου, τη σταθερότητα του σκάφους και τις λιμενικές υποδομές.

*Διαχείριση κινδύνων.* Τα συστήματα διαχείρισης κινδύνου που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να αναλύσουν δεδομένα από διάφορες πηγές για τον εντοπισμό και τον μετριασμό των κινδύνων στη ναυτιλιακή βιομηχανία, όπως ο καιρός, η κυκλοφορία και η πειρατεία.

*Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας.* Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση ολόκληρης της διαδικασίας αποστολής, από τη διαχείριση παραγγελιών έως τη διαχείριση εφοδιασμού και αποθέματος.

Δεδομένου του ότι τα αυτόνομα πλοία αναμένεται να βελτιώσουν το επίπεδο ασφάλειας και αποτελεσματικότητας στη ναυσιπλοΐα, χρειάζονται αντίληψη για δύο σκοπούς: για την εκτέλεση αυτόνομης επίγνωσης της κατάστασης και για την παρακολούθηση της ακεραιότητας του ίδιου του συστήματος αισθητήρων. Η τεχνητή νοημοσύνη είναι σημαντική για την επίγνωση της κατάστασης των αυτόνομων πλοίων καθώς προσφέρουν τα εξής:

*Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο.* Τα συστήματα που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να παρακολουθούν δεδομένα από διάφορες πηγές, όπως ο καιρός, οι συνθήκες της θάλασσας και η κυκλοφορία των πλοίων για να παρέχουν ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, υποστήριξη αποφάσεων και αυτοματοποιημένες ειδοποιήσεις για να βοηθήσουν τους χειριστές πλοίων να πλοηγούνται με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα.

*Προγνωστική μοντελοποίηση.* Η προγνωστική μοντελοποίηση βασισμένη σε τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση δεδομένων και την πραγματοποίηση προβλέψεων σχετικά με πιθανούς κινδύνους, όπως καταιγίδες, συγκρούσεις ή αστοχίες εξοπλισμού.

*Υποστήριξη αποφάσεων.* Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να παρέχουν συστάσεις στους χειριστές πλοίων με βάση τα δεδομένα και τις προβλέψεις σε πραγματικό χρόνο, βοηθώντας τους να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σε κρίσιμες καταστάσεις.

*Αυτόματες ειδοποιήσεις.* Τα συστήματα που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να ειδοποιούν αυτόματα τους χειριστές πλοίων και τις αρμόδιες αρχές σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, κάτι που θα βοηθήσει στην γρήγορη και αποτελεσματική απόκριση.

## 2.2 Ανάλυση μεγάλων δεδομένων

Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων φέρνει πολλά οφέλη στη βιομηχανία του εφοδιασμού και των μεταφορών. Τα δεδομένα συλλέγονται από ένα πολύ μεγάλο δίκτυο αισθητήρων και συσκευών. Τα εργαλεία ανάλυσης μεγάλων δεδομένων είναι αποτελεσματικά στην αποθήκευση των δεδομένων και την επεξεργασία τους σε πραγματικό χρόνο, προκειμένου να παρακολουθούν την κυκλοφορία και να κάνουν προβλέψεις που βελτιώνουν την ποιότητα των υπηρεσιών και τα έσοδα των εταιρειών (Nagy & Tick, 2016).

Ειδικότερα για τη ναυτιλία, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων έχει τις εξής εφαρμογές:

*Πηγές δεδομένων και στρατηγικές αξιοποίησης.* Υπάρχει ένας σημαντικός όγκος δεδομένων που παράγεται σε συστήματα πλοήγησης που αποτελούνται από ραντάρ, ηλεκτρονικό σύστημα απεικόνισης χαρτών και πληροφοριών (Electronic Chart Display and

Information System, ECDIS), σύστημα αυτόματου πιλότου και άλλους σχετικούς αισθητήρες. Επιπλέον, τα σκάφη ειδικού σκοπού θα απαιτήσουν πρόσθετα όργανα σχετικά με τις δραστηριότητές τους, όπως ραντάρ κυμάτων, ανιχνευτές πετρελαιοκηλίδων και αισθητήρες αδρανειακής πλοήγησης υψηλής ακρίβειας (Mirović et al., 2018).

Ένα υποσύνολο δεδομένων επιδόσεων και πλοήγησης πλοίου, όπως ο μοναδικός αριθμός αναγνώρισης, η θέση, η πορεία, η ταχύτητα και ο προορισμός του πλοίου, μεταφέρονται από το Αυτόματο Σύστημα Αναγνώρισης (Automated Identification System, AIS). Τα πλοία σε διεθνή ταξίδια άνω των 300 μικτών χωρών και όλα τα επιβατηγά πλοία πρέπει να διαθέτουν AIS (Mirović et al., 2018). Ένας αναμεταδότης AIS ανταλλάσσει δεδομένα με άλλα κοντινά πλοία, χερσαία συστήματα και δορυφόρους με σκοπό την αποφυγή σύγκρουσης.

Επιπλέον, η συσκευή καταγραφής δεδομένων ταξιδιού (Voyage Data Recorder, VDR), η οποία απαιτείται σε όλα τα επιβατηγά πλοία και άλλα πλοία με ολική χωρητικότητα 3000 ή μεγαλύτερη (Hopcraft et al., 2023), συνδέεται με έναν αριθμό ηλεκτρονικών συσκευών και αποθηκεύει τις καταγεγραμμένες πληροφορίες κάθε ταξιδιού ως ηλεκτρονικά δεδομένα. Τα στοιχεία δεδομένων περιλαμβάνουν τη θέση του πλοίου, την ταχύτητα, την κατεύθυνση, τον ήχο από τα μικρόφωνα γέφυρας, τον ήχο επικοινωνίας, τα δεδομένα ραντάρ, το βάθος του νερού, την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου, τα δεδομένα από τους συναγερμούς, την κατάσταση των ανοιγμάτων του σκάφους, τη στεγανότητα και την κατάσταση της πόρτας, την επιτάχυνση και τις τάσεις του σκάφους, τη σειρά και την απόκριση του κινητήρα και του πεδαλίου. Ο όγκος των δεδομένων είναι τόσο μεγάλος που, κατά τη διάρκεια μεγάλων ταξιδιών, τα παλαιότερα δεδομένα πρέπει να αντικατασταθούν για την αποθήκευση νέων δεδομένων. Μετά την ολοκλήρωση του ταξιδιού, τα δεδομένα συνήθως απορρίπτονται. Ο κύριος σκοπός του VDR είναι η ανάλυση δεδομένων σε περίπτωση ατυχήματος. Ωστόσο, αντί



να απορρίπτονται αυτές οι πληροφορίες, θα μπορούσαν να υποβληθούν σε επεξεργασία και να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά με τη βοήθεια τεχνικών ανάλυσης μεγάλων δεδομένων.

Σύμφωνα με τον Koga (2015), μεγάλοι παγκόσμιοι νηογνώμονες έχουν ήδη δημοσιεύσει τις στρατηγικές τους για την ανάλυση μεγάλων δεδομένων. Η DNV-GL επισημαίνει έξι βασικούς τομείς στους οποίους αναμένεται να χρησιμοποιηθούν τέτοιες τεχνικές: τεχνική λειτουργία και συντήρηση, ενεργειακή απόδοση, απόδοση ασφάλειας, διαχείριση και παρακολούθηση ατυχημάτων και περιβαλλοντικών κινδύνων από τη ναυτιλιακή κυκλοφορία, εμπορική λειτουργία και αυτοματοποίηση της λειτουργίας του πλοίου. Η DNV-GL προτείνει επίσης ότι τα δεδομένα μπορεί να ανήκουν και να ελέγχονται όχι μόνο από πλοιοκτήτες, αλλά και ναυπηγούς, προμηθευτές εξαρτημάτων, την εταιρεία ταξινόμησης και αυτόνομα μηχανήματα. Σκοπεύουν να δημιουργήσουν μια υποδομή όπου θα μπορούν να μοιράζονται δεδομένα από διάφορους πόρους, να πιστοποιούν την ποιότητα των δεδομένων και να ελέγχουν τα δικαιώματα και τις ευθύνες των ενδιαφερομένων μερών.

Το ClassNK είναι μια άλλη εταιρεία ταξινόμησης που έχει ενδιαφερθεί για την ανάλυση μεγάλων δεδομένων. Μάλιστα, έχουν δημιουργήσει την πρώτη κοινή πλατφόρμα μεγάλων δεδομένων στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Η πλατφόρμα κατασκευάστηκε το 2016 από την Fujitsu Limited. Συλλέγει επιχειρησιακά δεδομένα μηχανημάτων από κινούμενα πλοία, όπως δεδομένα κινητήρα, και δίνει τη δυνατότητα σε χειριστές πλοίων, πλοιοκτήτες, ναυπηγεία, κατασκευαστές και άλλες ναυτιλιακές επιχειρήσεις να εξάγουν δεδομένα όπως απαιτείται (Xiao et al., 2017). Τα δεδομένα του πλοίου αποστέλλονται μέσω email στο χερσαίο κέντρο δεδομένων όπου μετατρέπονται και αποθηκεύονται χρησιμοποιώντας μια ασφαλή πλατφόρμα cloud. Η πρόσβαση στα αποθηκευμένα δεδομένα είναι δυνατή σύμφωνα με τις απαιτήσεις που θέτει κάθε εταιρεία.

*Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης.* Η απόδοση του πλοίου και οι πληροφορίες πλοήγησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη στρατηγικών πλοήγησης για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του πλοίου (Zaman et al., 2017). Η παρακολούθηση της κατανάλωσης καυσίμου, των διαφόρων εκπομπών, της χρήσης φωτισμού, θέρμανσης και παρόμοιων διαδικασιών μπορεί να οδηγήσει σε πληροφορίες που υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων. Σύμφωνα με τους Perera & Kristjánsson (2019), δεδομένα όπως η ταχύτητα και η κατεύθυνση ανέμου, το μέσο βύθισμα, η ισχύς κύριου κινητήρα, η ταχύτητα άξονα και η κατανάλωση καυσίμου αναλύονται και σημειώνονται αρκετές τάσεις υψηλότερης κατανάλωσης καυσίμου κάτω από αυτές τις παραλλαγές παραμέτρων. Η βέλτιστη διαμόρφωση επένδυσης προσδιορίζεται σε σχέση με τους ρυθμούς κατανάλωσης καυσίμου. Η εφαρμογή στρατηγικών που βασίζονται σε αυτές τις πληροφορίες επιτρέπει στα πλοία να πληρούν τα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης και ελέγχου των εκπομπών. Πέρα από τα περιβαλλοντικά οφέλη, αυτό είναι επίσης σημαντικό για τη μείωση του κόστους.

*Βελτίωση ασφάλειας.* Στους Brandsæter et al. (2016), παρουσιάζεται μια εφαρμογή ανίχνευσης ανωμαλιών με βάση αισθητήρες στις θαλάσσιες μεταφορές. Τα δεδομένα αισθητήρων, τα οποία περιλαμβάνουν πληροφορίες περιβάλλοντος και συστήματος πλοίων, μεταδίδονται από ένα πλοίο στην ακτή όπου αναλύονται μέσω μιας πλατφόρμας ανάλυσης μεγάλων δεδομένων. Η τεχνική Auto Associative Regression Kernel και η τεχνική Sequential Probability Ratio Test χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση ανωμαλιών και την ενεργοποίηση συναγερμών, ώστε να μπορούν να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα το συντομότερο δυνατό.

Η διάταξη των Περιοχών Προφύλαξης, σκοπός των οποίων είναι η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας συγκρούσεων, βελτιστοποιείται χρησιμοποιώντας δεδομένα από AIS (Zhang et al., 2018). Επιπλέον, οι Alessandrini et al. (2016) υποστηρίζουν τα μεγάλα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καλύτερη κατανόηση των θαλάσσιων δραστηριοτήτων, κάτι που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε απομακρυσμένες περιοχές όπως η Αρκτική, όπου η ναυτιλιακή

δραστηριότητα πρέπει να παρακολουθείται για να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα. Συζητούν επίσης για την ανίχνευση ανωμαλιών, όπως την παρέκκλιση του σκάφους από τη δηλωθείσα διαδρομή, τις αναφορές του AIS ή την ενεργοποίηση του αναμεταδότη του AIS για πιθανή συμμετοχή σε παράνομες δραστηριότητες

*Βελτιστοποίηση Logistics.* Όσον αφορά την επιμελητεία και τη μείωση του λειτουργικού κόστους, τα μεγάλα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος που τα πλοία περνούν αγκυροβολημένα έξω από το λιμάνι, να μεγιστοποιήσουν τη χρήση των αποβάθρων και να συγχρονίσουν το πρόγραμμα πλοίων με την εφοδιαστική ακτή (Dominguez, 2014).

Οι Brouer et al. (2016) προχώρησαν σε περισσότερες λεπτομέρειες, δείχνοντας πώς τα λειτουργικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία προγνωστικών μοντέλων που μπορούν στη συνέχεια να παρέχουν πληροφορίες για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Η βελτιστοποίηση στα ναυτιλιακά logistics είναι πολύπλοκη λόγω του μεγέθους του δικτύου που λειτουργούν οι αερομεταφορείς και της αβεβαιότητας που προκαλείται από καθυστερήσεις, αλλαγές στη ζήτηση, μη εμφάνιση φορτίου κ.λπ. Απαιτείται συντήρηση, εκτιμήσεις της μελλοντικής ζήτησης και των τιμών του πετρελαίου, αλλά πρέπει να ληφθούν περίπλοκες αποφάσεις για την προσαρμογή του δικτύου μεταφορών στη νέα κατάσταση. Η εργασία των Brouer et al. (2016) δείχνει πώς μέθοδοι όπως ο μαθηματικός προγραμματισμός μπορούν να βοηθήσουν στην καλύτερη επιλογή στα παραδείγματα του σχεδιασμού του δικτύου ναυτιλιακών γραμμών, της επανατοποθέτησης κενών εμπορευματοκιβωτίων, των σχεδίων στοιβασίας πλοίων εμπορευματοκιβωτίων, της αγοράς αποθηκών με ελάχιστο κόστος και του χρονοδιαγράμματος ανάκτησης σε περίπτωση διαταραχών.

## 2.3 Διαδίκτυο των Πραγμάτων και Διαδίκτυο των Πλοίων

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT) είναι ένα παγκόσμιο δίκτυο διασυνδεδεμένων αντικειμένων με μοναδική δυνατότητα διευθυνσιοδότησης, βασισμένο σε τυπικά πρωτόκολλα επικοινωνίας και επιτρέπει σε ανθρώπους και πράγματα να συνδέονται οποτεδήποτε, οπουδήποτε, με οτιδήποτε και οποιονδήποτε, ιδανικά χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε διαδρομή/δίκτυο και οποιαδήποτε υπηρεσία.

Το Διαδίκτυο των Πλοίων (Internet of Ships, IoS) είναι μια πρόσφατη ιδέα που αναμένεται να αναδειχθεί ως περιοχή σταθερής έρευνας στο εγγύς μέλλον. Το IoS είναι η διασύνδεση αντικειμένων αντίληψης όπως πλοία, πληρώματα, φορτία, εξοπλισμό επί του σκάφους, περιβάλλον πλωτών οδών, εγκαταστάσεις πλωτών οδών, εγκαταστάσεις στην ξηρά και άλλα στοιχεία πλοήγησης, τα οποία είναι ενσωματωμένα με μια ποικιλία αισθητήρων και ετερογενών τεχνολογιών δικτύου για να επιτρέψει σε αυτά τα αντικείμενα να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν δεδομένα.

Επί του παρόντος, το IoS μετακινείται σταδιακά από το εννοιολογικό του στάδιο προς το στάδιο υλοποίησης. Καθώς η ζήτηση για έξυπνη ναυτιλία αυξάνεται μέρα με τη μέρα, η βιομηχανία και ο ακαδημαϊκός κόσμος προσπαθούν να εξερευνήσουν τις επικοινωνίες πληροφοριών, τον ηλεκτρονικό έλεγχο, τις τεχνολογίες αισθητήρων και τις λύσεις επεξεργασίας υπολογιστών για την παροχή διαφόρων ευφών υπηρεσιών στους ενδιαφερόμενους ναυτιλιακούς φορείς. Παρακάτω παρουσιάζονται οι εφαρμογές και τα πλεονεκτήματα του.

*Βελτιώσεις στην ασφάλεια.* Μία από τις σημαντικότερες αναδυόμενες εφαρμογές του IoS είναι η ενίσχυση του επιπέδου ασφάλειας σε πλοία, λιμάνια και θαλάσσιες μεταφορές. Ο Psarros (2018) εντόπισε την καθυστερημένη απόκριση, την έλλειψη επίγνωσης της

κατάστασης και την κακή επαγρύπνηση ως βασικούς λόγους για ατυχήματα (όπως προσγειώσεις και συγκρούσεις) στη θάλασσα. Επιπλέον, υποστήριξε επίσης ότι τέτοια αρνητικά χαρακτηριστικά συμπεριφοράς στον τομέα της ναυτιλίας θα μπορούσαν να βελτιωθούν όταν ένα σύστημα πλοήγησης εξοπλιστεί με την ικανότητα αυτοματισμού να παρεμβαίνει κατά τον εντοπισμό τους (Psarros, 2018). Μια άλλη εργασία παρουσίασε μια λεπτομερή ανασκόπηση και ανάλυση των ατυχημάτων και των αιτιών τους στις θαλάσσιες μεταφορές μεταξύ 1990 και 2015 (Baalisampang et al., 2018), παρέχοντας παράλληλα πιθανά προληπτικά μέτρα για την αποφυγή τέτοιων ατυχημάτων. Οι Mohaimenuzzaman et al. (2016) πρότεινε μια λύση βασισμένη στο IoT για τη βελτίωση της ασφάλειας στις θαλάσσιες μεταφορές. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε πρόσφατα, με το όνομα Intelligent Water Transportation, αποτελείται από διάφορες συσκευές παρακολούθησης και τεχνολογίες συστημάτων M2M που είναι εγκατεστημένες στα πλοία. Το προτεινόμενο μοντέλο μπορεί να ανιχνεύσει δυσάρεστες καταστάσεις που μπορούν να αντιμετωπιστούν προληπτικά για να κάνουν τη θαλάσσια μεταφορά ασφαλή και αξιόπιστη, ενώ σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης μπορούν επίσης να παρέχονται υπηρεσίες διάσωσης.

*Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση διαδρομών.* Δύο από τους κύριους λόγους για τα θαλάσσια ατυχήματα, καθώς και τις καθυστερήσεις στις αφίξεις/αναχωρήσεις πλοίων, είναι ο ακατάλληλος σχεδιασμός δρομολογίων και η μη βελτιστοποίηση διαδρομής. Στη συμβατική ναυτιλία, οι διαδρομές των πλοίων σχεδιάζονται από τους καπετάνιους και άλλες αρχές πλοίων. Αν και αυτή η μέθοδος λειτουργεί καλά για ορισμένες περιπτώσεις, δεν εγγυάται τη βέλτιστη απόδοση. Μέθοδοι βασισμένες στο IoS για σχεδιασμό τροχιάς, για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της θαλάσσιας μεταφοράς και την επίτευξη χαμηλού κόστους, την αποφυγή ατυχημάτων και καθυστερήσεων, καθώς και την αποτελεσματική χρήση των πόρων. Προηγούμενη έρευνα χρησιμοποίησε δεδομένα AIS για τη βελτιστοποίηση της διαδρομής του πλοίου (Zhang et al., 2018). Λαμβάνοντας τις κατάλληλες

πληροφορίες διαδρομής σε πραγματικό χρόνο, τα πλοία μπορούν να λαμβάνουν έξυπνες αποφάσεις και να αποφεύγουν επικίνδυνες καταστάσεις (π.χ. αποφυγή ισχυρών καταιγίδων). Μια άλλη μελέτη (Xiao et al., 2019) ξεδιπλώνει τη σημασία του σχεδιασμού δρομολογίων για χαμηλού κόστους θαλάσσιες μεταφορές και έγκαιρες αφίξεις σε προορισμούς. Οι συγγραφείς υποστηρίζουν επίσης ότι ο σχεδιασμός δρομολογίων για την προέλευση προς τον προορισμό είναι το πιο σημαντικό εμπόδιο προς την αυτόνομη ναυτιλία. Η βελτιστοποιημένη διαδρομή μπορεί να εξαχθεί για ένα σκάφος μέσω ιστορικών αρχείων διαδρομής μαζί με άλλες πληροφορίες πλοήγησης (π.χ. συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών, χάρτες ηλεκτρονικής πλοήγησης κ.λπ.) ίδιου ή παρόμοιου τύπου σκαφών. Ιστορικά δεδομένα για διαφορετικούς τύπους διαδρομών πλοίων για τη συγκεκριμένη διάρκεια μπορούν να συλλεχθούν μέσω συστημάτων ραντάρ AIS. Διάφοροι αλγόριθμοι σχεδιασμού διαδρομής, όπως ο A\* και ο Theta\* , έχουν επίσης εφαρμοστεί και δοκιμαστεί στο θαλάσσιο περιβάλλον (Daniel et al., 2010).

Απαιτούνται αποτελεσματικές μέθοδοι στη ναυτιλιακή βιομηχανία για σχεδιασμό συντομότερης διαδρομής και θαλάσσια μεταφορά χωρίς κινδύνους. Οι Cummings et al. (2010) προτείνουν έναν αυτόματο σχεδιασμό θαλάσσιων μονοπατιών σε ρυθμίσεις χρονικής πίεσης και υψηλής πυκνότητας κυκλοφορίας, που στοχεύει στη μείωση του φόρτου εργασίας και των ατυχημάτων στη θάλασσα και στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των θαλάσσιων μεταφορών.

*Συνεργατική Λήψη Αποφάσεων.* Μόλις αποφασιστεί ο προορισμός ενός πλοίου και αρχίσει να κινείται σύμφωνα με την προγραμματισμένη διαδρομή, απαιτείται επίγνωση της κατάστασης για να αντιληφθεί το μεταβαλλόμενο περιβάλλον και την περιβάλλουσα κυκλοφορία για λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Στα παραδοσιακά σκάφη, η αντίληψη της κατάστασης πραγματοποιείται από ανθρώπινο πλήρωμα. Ωστόσο, σε πλοία που βασίζονται σε IoS, μπορεί να εκτελεστεί με αυτόνομο τρόπο. Γενικά, η επίγνωση της

κατάστασης και η συνεργατική λήψη αποφάσεων επιτρέπουν τη λήψη έξυπνων αποφάσεων βάσει δεδομένων στις θαλάσσιες μεταφορές και τις λιμενικές λειτουργίες. Για παράδειγμα, μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης έχουν χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη των διαφορετικών τροχιών σκαφών (Zhang et al., 2017). Μετά τον εντοπισμό των σημείων κυκλοφορίας των σκαφών και των κινδύνων σύγκρουσης, απαιτείται μια γρήγορη απόφαση-δράση για τη βελτίωση της ασφάλειας των θαλάσσιων μεταφορών και την αποφυγή οποιουδήποτε κινδύνου. Επιπλέον, το IoS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκ νέου δημιουργία μιας βραχυπρόθεσμης διαδρομής χωρίς συγκρούσεις για διάφορα σκάφη. Σε καταστάσεις υψηλής κυκλοφορίας, διάφορα σκάφη μπορούν να δημιουργήσουν τροχιές χωρίς συγκρούσεις όταν συνεργάζονται μεταξύ τους χρησιμοποιώντας πολλές τεχνολογίες επικοινωνίας. Οι Frese & Beyerer (2011) πραγματοποίησαν μια μελέτη βασισμένη σε προσομοίωση για να επαληθεύσουν την αποτελεσματικότητα της συνεργατικής λήψης αποφάσεων χρησιμοποιώντας ρομπότ και επαλήθευσαν ότι η συνεργασία είναι μια αποτελεσματική λύση για την εύρεση τροχιών σκαφών χωρίς συγκρούσεις. Οι δημοφιλείς μέθοδοι συνεργατικού σχεδιασμού διαδρομής περιλαμβάνουν τον γραμμικό προγραμματισμό, την αναζήτηση δέντρου (tree search), την ενισχυτική μάθηση, τον προγραμματισμό προτεραιοτήτων και άλλες μεθόδους που βασίζονται σε ευρετικό προγραμματισμό (Christiansen et al., 2020).

Η επίγνωση της κατάστασης και η συλλογική λήψη αποφάσεων διαδραματίζουν επίσης αποτελεσματικό ρόλο στη βελτίωση των λιμενικών λειτουργιών. Οι Lind et al. (2015) παρουσίασαν την πλατφόρμα PortCDM για τη Διαχείριση Θαλάσσιας Κυκλοφορίας, η οποία ενισχύει τη θαλάσσια αποτελεσματικότητα και βιωσιμότητα. Το PortCDM όχι μόνο προσφέρει μια περιεκτική εικόνα των διαθέσιμων πληροφοριών από τους διαφορετικούς λιμενικούς φορείς (π.χ. λιμενικές αρχές, πράκτορες πλοίων) σε πραγματικό χρόνο, αλλά χρησιμοποιεί επίσης αυτές τις πληροφορίες για να επιτρέψει πιο αποτελεσματικές και ενημερωμένες

συλλογικές αποφάσεις. Ως εκ τούτου, το PortCDM μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας αποφάσεων λιμένα ενισχύοντας την προβλεψιμότητα, την ακρίβεια στις αφίξεις και τις αναχωρήσεις, την παραγωγικότητα των θέσεων ελλιμενισμού και τη χρησιμοποίηση της χωρητικότητας. Για τη ναυτιλία, και ιδιαίτερα για τις θαλάσσιες μεταφορές μικρών αποστάσεων, υπάρχουν προφανή και άμεσα οφέλη από τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, βοηθώντας όλους όσους εμπλέκονται στη διαδικασία να εμπλακούν πιο εύκολα για να δώσουν στις ναυτιλιακές εταιρείες, στους παρόχους λιμενικών υπηρεσιών και στους ναυτιλιακούς πράκτορες καλύτερες πληροφορίες και συστήματα υποστήριξης αποφάσεων

*Αυτόματος εντοπισμός σφαλμάτων και προληπτική συντήρηση.* Ο εντοπισμός σφαλμάτων και η αυτοδιάγνωση είναι επίσης μεταξύ των βασικών παραγόντων κινήτρων για τη μετατόπιση της παραδοσιακής ναυτιλιακής βιομηχανίας στην έξυπνη ναυτιλία που βασίζεται στο IoS. Ο εντοπισμός ενός σφάλματος σε παραδοσιακά πλοία και λιμάνια είναι χρονοβόρος και δύσκολος να επιλυθεί. Η ναυτιλιακή βιομηχανία απαιτεί αυτόματες και έξυπνες μεθόδους που εντοπίζουν και αναφέρουν βλάβες αυτόματα. Αυτό το πρόβλημα έχει παρακινήσει τους ερευνητές και τη βιομηχανία να αναπτύξουν μεθόδους παρακολούθησης και διαχείρισης της υγείας του συστήματος. Οι Rizalet al. (2017) παρουσίασαν ένα σύστημα που χρησιμοποιεί αισθητήρες εγγύτητας για την ανίχνευση βλαβών στους κινητήρες των πλοίων. Ένα σύστημα συναγερμού έχει εγκατασταθεί στο προτεινόμενο σύστημα για να σηματοδοτεί πιθανά σφάλματα στην προέλαση, επιτρέποντας στα πλοία να αποφεύγουν ξαφνικές βλάβες του κινητήρα. Μια άλλη εργασία προτείνει ένα πλαίσιο για την παρακολούθηση κατανάλωσης καυσίμου του σκάφους και την ανίχνευση σφαλμάτων, όπου χρησιμοποιείται μερική παλινδρόμηση ελαχίστων τετραγώνων για την πρόβλεψη χρήσης καυσίμου. Οι συγγραφείς έχουν εφαρμόσει το προτεινόμενο πλαίσιο σε κρουαζιερόπλοια και τα αποτελέσματα δείχνουν



ότι το πλαίσιο είναι σε θέση να παρακολουθεί αποτελεσματικά την κατανάλωση καυσίμου και να ανιχνεύει διάφορους τύπους βλαβών

*Παρακολούθηση φορτίου σε πραγματικό χρόνο.* Η παρακολούθηση φορτίου σε πραγματικό χρόνο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Με τη βοήθεια των τεχνολογιών IoS, οι θαλάσσιοι μετόχοι είναι πλέον σε θέση να παρακολουθούν και να εντοπίζουν το φορτίο τους σε πραγματικό χρόνο τόσο κατά τη διάρκεια της διαμετακόμισης όσο και μετά την άφιξή τους στο λιμάνι. Οι τεχνολογίες αναγνώρισης αντικειμένων, συμπεριλαμβανομένων των barcodes, των ευφυών αισθητήρων και των συστημάτων RFID, επιτρέπουν την εύκολη πρόσβαση σε κάθε στοιχείο. Οι Ruckebusch et al. (2018) έχουν αναπτύξει ασύρματα δίκτυα αισθητήρων στη ναυτιλιακή βιομηχανία για την παρακολούθηση φορτίου σε πραγματικό χρόνο. Αισθητήρες κίνησης/κλίσης είναι ενσωματωμένοι στα τερματικά για τη βελτίωση της κατασκευής μιας τοπολογίας στέλνοντας άμεσα μηνύματα μετά τον εντοπισμό κινήσεων του κοντέινερ χρησιμοποιώντας αισθητήρες. Επιπλέον, για να μετριαστεί η κατανάλωση ενέργειας στο δίκτυο, αναπτύσσονται μηχανισμοί ακρόασης χαμηλής ισχύος και στις συσκευές επικοινωνίας. Πειραματικά αποτελέσματα με πλοία εμπορευματοκιβωτίων και λιμάνια έδειξαν τη σκοπιμότητα της προτεινόμενης λύσης για την παρακολούθηση εμπορευματοκιβωτίων και φορτίου.

*Παρακολούθηση Περιβάλλοντος Φορτίου.* Η παρακολούθηση και διαχείριση του περιβάλλοντος φορτίου αντιπροσωπεύει μια άλλη ανάγκη του IoT στη ναυτιλιακή βιομηχανία, επειδή ορισμένα αγαθά απαιτούν συγκεκριμένες συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία κ.λπ.) κατά τη διάρκεια του ταξιδιού ή όταν τοποθετούνται στις αποθήκες. Στην παραδοσιακή ναυτιλία, είναι δύσκολο να διασφαλιστεί η σωστή μεταφορά για αυτούς τους τύπους εμπορευμάτων σε μεγάλες αποστάσεις. Ωστόσο, οι τεχνολογίες IoS και αισθητήρων διασφαλίζουν τις απαιτούμενες συνθήκες περιβάλλοντος.

*Περιβαλλοντική παρακολούθηση.* Τα μεγάλης κλίμακας και ενεργειακά αποδοτικά δίκτυα αισθητήρων που βασίζονται στο IoT είναι απαραίτητα για τη βελτίωση της ασφάλειας των ωκεανών και τη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Οι Duan et al. (2020) ανέπτυξαν μια αρχιτεκτονική Ocean Monitoring Sensor Network (OMSN) για την ασφάλεια των ωκεανών. Επιπλέον, ένας αλγόριθμος βελτιστοποιημένης αποικίας μυρμηγκιών (Improved Ant Colony Optimization, IACO) σχεδιάστηκε για την ανάπτυξη κόμβων στην αρχιτεκτονική OMSN. Επιπλέον, υπάρχουν αυξανόμενες ανησυχίες για τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο των λιμενικών και ναυτιλιακών δραστηριοτήτων και ανάπτυξης, λόγω των αυξανόμενων παγκόσμιων προκλήσεων, συμπεριλαμβανομένης της εξοικονόμησης ενέργειας και της κλιματικής αλλαγής. Από την άποψη της βιωσιμότητας, τόσο ένα λιμάνι όσο και ένα πλοίο θα πρέπει να σέβεται το περιβάλλον. Με την εμφάνιση του παραδείγματος IoS, τα έξυπνα λιμάνια και τα έξυπνα πλοία είναι πλέον σε θέση να ελέγχουν και να διαχειρίζονται καλύτερα το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα. Σύμφωνα με τους Yang et al. (2018), τα έξυπνα λιμάνια που βασίζονται στο IoT είναι βιώσιμα και φιλικά προς το περιβάλλον λόγω χαμηλού κατανόμου ενέργειας και ελάχιστης ρύπανσης σε σύγκριση με τα παραδοσιακά λιμάνια.

*Ενεργειακή Απόδοση.* Η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών άνθρακα έχει γίνει μεγάλη πρόκληση για τις θαλάσσιες μεταφορές. Η ελαχιστοποίηση του κόστους καυσίμων στη ναυτιλιακή βιομηχανία απαιτεί νέα πλοία ή μέτρα ενεργειακής απόδοσης (τεχνικά και λειτουργικά) για τα τρέχοντα πλοία. Οι πλοιοκτήτες και οι φορείς εκμετάλλευσης προσπαθούν να εξερευνήσουν διάφορες μεθόδους για ναυτιλία χαμηλού κόστους. Μία από τις πιο κοινές και αποτελεσματικές μεθόδους είναι η διατήρηση χαμηλής ταχύτητας πλοίου για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και της κατανάλωσης καυσίμου. Οι Beşikçi et al. (2016) έχουν προτείνει ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων που βασίζεται σε Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (Artificial Neural Network, ANN) που λαμβάνει αποφάσεις σχετικά με την εφαρμογή επιχειρησιακών μέτρων (όπως μείωση

ταχύτητας) για περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη. Αναπτύσσουν επίσης ένα μοντέλο πρόβλεψης κατανάλωσης καυσίμου για μελλοντικές αποφάσεις, το οποίο είναι επίσης με βάση το ANN. Επιπλέον, διενεργήθηκε επίσης συγκριτική μελέτη για να επιβεβαιωθεί η αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης μεθόδου όσον αφορά το κόστος και τη φιλική προς το περιβάλλον αποστολή.

*Αυτόματη πρόωση.* Η αυτόματη πρόωση είναι ένα σημαντικό βήμα προς την πλήρως αυτόνομη ναυτιλία, αλλά ταυτόχρονα ένα πολύ περίπλοκο πρόβλημα προς επίλυση, επομένως παραμένει σε πολύ πρόωρο στάδιο υλοποίησης. Ωστόσο, το θέμα έχει λάβει μεγάλη προσοχή από την ερευνητική κοινότητα τα τελευταία χρόνια. Ενδεικτικά, οι Kamolon & Park (2019) ανέπτυξαν ένα σύστημα IoS για τη διευκόλυνση της έξυπνης πρόωσης. Οι βασικοί στόχοι του προτεινόμενου συστήματος είναι η εύρεση των κενών θέσεων και η κοινή χρήση των δεδομένων (π.χ. οι διαθέσιμες θέσεις ελλιμενισμού) σε σκάφη που πρόκειται να ελλιμενιστούν. Χρησιμοποίησαν έξυπνους αισθητήρες για την εύρεση κενών θέσεων στα έξυπνα λιμάνια. Εδώ, το σύστημα IoS συλλέγει δεδομένα μέσω του επιπέδου ανίχνευσης (χρησιμοποιώντας τεχνολογία αισθητήρων) και στη συνέχεια τα δεδομένα σχετικά με τις διαθέσιμες θέσεις μοιράζονται με το επίπεδο υπολογισμού δεδομένων μέσω του επιπέδου δικτύου. Λαμβάνονται αποφάσεις και τα πλοία αναλαμβάνουν ενέργειες στο επίπεδο εφαρμογής. Έχουν πραγματοποιηθεί προσομοιώσεις για την επικύρωση του συστήματος IoS τους, ενώ έχει αναπτυχθεί μια εφαρμογή Android με το όνομα "Smart-Ship-Berthing".

## 2.4 Τεχνολογία blockchain

Χρησιμοποιώντας απλή ορολογία, το blockchain μπορεί να οριστεί ως ένα κοινό και μη αναστρέψιμο σύστημα για την τεκμηρίωση των συναλλαγών. Είναι μια διαδικασία

ψηφιακού καθολικού που αποθηκεύεται σε μια σειρά συστημάτων δικτύων υπολογιστών. Η λειτουργία του blockchain είναι περίπλοκη, αλλά η βασική ιδέα πίσω από αυτό είναι απλή. Διανέμει την αποθήκευση δεδομένων με τρόπο που να μην υπάρχει ιδιοκτησία και έλεγχος αυτών των δεδομένων, εξαλείφοντας τις πιθανότητες χειραγώγησης και απάτης. Η τεχνολογία blockchain προέκυψε από έναν κλάδο των μαθηματικών μαζί με την κρυπτογραφία που προστατεύει τις πληροφορίες χρησιμοποιώντας κώδικες για τη διασφάλιση του απορρήτου, επιτρέποντας μόνο στα άτομα που προορίζονται να διαβάσουν και να επεξεργαστούν περαιτέρω τις πληροφορίες.

Οι πληροφορίες είναι ένας από τους βασικούς κινητήριους παράγοντες για την επιτυχία μιας επιχείρησης. Οι πληροφορίες πρέπει να είναι αυθεντικές, ακριβείς και να επιδέχονται επεξεργασία γρήγορα. Το blockchain αποθηκεύει και παραδίδει πληροφορίες από ένα αμετάβλητο διανεμητικό καθολικό ή βάση δεδομένων που μπορούν να έχουν πρόσβαση και να μοιράζονται μόνο οι συμμετέχοντες στο δίκτυο που έχουν συγκεκριμένη άδεια. Παρακολουθεί παραγγελίες, παραδόσεις, πληρωμές και διαδικασίες παραγωγής μεταξύ πολλών άλλων δραστηριοτήτων. Τα μέλη που έχουν πρόσβαση στη βάση δεδομένων βλέπουν μια ξεχωριστή και ενοποιημένη προβολή ολόκληρης της σειράς συναλλαγών από την αρχή μέχρι το τέλος, παρέχοντας ενισχυμένη εμπιστοσύνη και αποτελεσματικότητα.

Η ναυτιλιακή βιομηχανία συνεχίζει να βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη γραφειοκρατία, με τις περισσότερες συναλλαγές να περιστρέφονται γύρω από την τεκμηρίωση που αφορά σε πλοιοκτήτες, ναυλωτές, τράπεζες, πράκτορες, τελωνεία, συμβόλαια, φορτωτικές, λιμενικά έγγραφα, πιστωτικές επιστολές και διάφορες συμφωνίες μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών. Αυτά τα έγγραφα πρέπει απαραίτητα να περάσουν από πολυάριθμα κανάλια εγκρίσεων για να μπορέσουν τα εμπορεύματα να αποσταλούν και να παραδοθούν στον νόμιμο παραλήπτη. Όλη αυτή η διαδικασία είναι επίπονη και χρονοβόρα. Συχνά, το φορτίο φτάνει στο λιμάνι προορισμού ακόμη και πριν από την εκκαθάριση των εγγράφων. Το blockchain εξαλείφει

εντελώς τη γραφειοκρατία για να επιτρέψει σε όλους τους ενδιαφερόμενους που εμπλέκονται σε μια αποστολή να έρθουν σε επαφή μεταξύ τους, να πραγματοποιήσουν συναλλαγές, να ανταλλάξουν και να αποθηκεύσουν πληροφορίες, να ολοκληρώσουν τις συμβατικές δεσμεύσεις και να ανταλλάξουν πληρωμές.

Ένας κρίσιμος τομέας όπου το blockchain μπορεί να εφαρμοστεί με ευρηματικότητα στη ναυτιλιακή αρένα είναι η εκτέλεση έξυπνων συμβολαίων όπου αυτή η τεχνολογία επιτρέπει στις συναλλαγές να προχωρούν αυτόματα με βάση τους όρους και τις προϋποθέσεις μιας συμφωνίας. Αυτά τα έξυπνα συμβόλαια είναι στην πραγματικότητα προγράμματα υπολογιστών που εκτελούνται και εκτελούνται ανεξάρτητα στη διαδικασία blockchain και διασφαλίζουν ότι οι συμβατικές υποχρεώσεις ικανοποιούνται από όλα τα μέρη που συνδέονται με μια συμφωνία ή συναλλαγή.

Χωρίς την τεχνολογία blockchain, δεν θα ήταν πρακτικό να εκτελούνται οι συμβάσεις με ομαλό και διαφανή τρόπο, επειδή οι συμμετέχοντες σε μια συμφωνία διατηρούν ξεχωριστές βάσεις δεδομένων. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους, αυτή η νέα τεχνολογία επιτρέπει μια κοινή βάση δεδομένων που διέπει τους κανόνες του blockchain. Οι λειτουργίες στο έξυπνο συμβόλαιο εκτελούνται αυτόματα και τα εμπλεκόμενα μέρη επικυρώνουν το αποτέλεσμα αμέσως χωρίς να χρειάζεται να ανταλλάξουν επικοινωνία ή να εμπλέξουν έναν συμβιβαστή. Για παράδειγμα, μια εταιρεία μπορεί να καταβάλει αυτόματα πληρωμή σε έναν αποστολέα όταν το φορτίο φτάσει στον προορισμό. Αυτό ενεργοποιείται από έξυπνα συμβόλαια που έχουν αυτοεκτελούμενες εργασίες κωδικοποιημένες μέσω του blockchain και εκτελούν ενέργειες όταν πληρούνται οι προκαθορισμένες συνθήκες. Με άλλα λόγια, αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την αυθόρμητη εκτέλεση μιας ναυτιλιακής σύμβασης με γεγονότα που πυροδοτούν ενέργειες που υπό κανονικές συνθήκες θα απαιτούσαν άμεση ανθρώπινη συμμετοχή.

Η ναυτιλιακή βιομηχανία μπορεί να επωφεληθεί από την τεχνολογία blockchain με τους εξής τρόπους:

*Ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο και ταχύτερη επεξεργασία.* Η αλληλογραφία εγγράφων που σχετίζονται με διάφορες συμφωνίες καταργείται και οι πληροφορίες ανταλλάσσονται ελεύθερα και άμεσα μέσω του δικτύου. Οι εργασίες που εκτελούνταν με μη αυτόματο τρόπο σε παλαιότερες εποχές γίνονται αυτοματοποιημένες αφαιρώντας πεδία για σφάλματα, καθυστερήσεις και δόλιες δραστηριότητες. Το κοινό κατανεμημένο καθολικό επιτρέπει την εύκολη διαχείριση των εγγράφων που καθιστά περιττό τον φυσικό χειρισμό των εγγράφων. Η χρήση έξυπνων συμβολαίων επιτρέπει τον γρήγορο εκτελωνισμό και τις εγκρίσεις που απαιτούνται σε διάφορα στάδια (Joníć et al., 2020).

*Διαφάνεια και αξιοπιστία.* Με τη βοήθεια ενός μοναδικού κωδικού ή κλειδιού, τα εξουσιοδοτημένα άτομα μπορούν να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες και να επιφέρουν διαφάνεια σε όλη τη διαδικασία, προβάλλοντας τις συναλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν από άλλα άτομα στην αλυσίδα των διαδικασιών. Τα συστήματα παρακολούθησης που βασίζονται στο blockchain επιτρέπουν στους συνεργάτες να βλέπουν προηγούμενα γεγονότα ταυτόχρονα και να αποκτούν άμεση πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο (Hamidi et al., 2022).

*Ασφάλεια.* Οι κρυπτογραφημένες πληροφορίες επιτρέπουν αυτόματα το απόρρητο και την αυξημένη ασφάλεια των δεδομένων. Οι χρήστες δεν μπορούν να επεξεργαστούν ή να τροποποιήσουν πληροφορίες που είναι ήδη αποθηκευμένες στο blockchain, επομένως η τεχνολογία αποτρέπει παράνομες δραστηριότητες από άτομα που έχουν πρόσβαση στις αποθηκευμένες πληροφορίες.

*Οικονομία.* Ένα σημαντικό μέρος των δαπανών που σχετίζονται με το εμπόριο καταναλώνεται από εργασίες τεκμηρίωσης, επεξεργασία παραγγελιών, διαδικαστικές

καθυστερήσεις και ανθρώπινο δυναμικό που εργάζεται για τη διόρθωση σφαλμάτων. Με το επίπεδο ακρίβειας και ταχύτητας που παρέχει το blockchain, οι σπατάλες μπορούν να εξαλειφθούν πλήρως.

Ωστόσο, αυτή η νέα τεχνολογία αντιμετωπίζει και προκλήσεις. Το γεγονός ότι το blockchain είναι μόλις μιας δεκαετίας περίπου σημαίνει ότι βρίσκεται ακόμη σε ένα εκκολαπτόμενο στάδιο ανάπτυξης. Επομένως, απομένει ένα σημαντικό χρονικό διάστημα μέχρι να ωριμάσει, ώστε να θεωρηθεί αξιόπιστο και να υιοθετηθεί από τις εταιρείες. Η εφαρμογή και η διαχείριση του συστήματος απαιτεί ολοκληρωμένη τεχνογνωσία μεταξύ του προσωπικού που εργάζεται σε έναν οργανισμό. Η τεχνολογία είναι ενεργοβόρα και καταναλώνει σημαντική ισχύ επεξεργαστή. Υπάρχουν επίσης ζητήματα που αφορούν την επεκτασιμότητα του καθώς αυξάνονται οι επιχειρηματικές ανάγκες (Dutta et al., 2020).

## 2.5 Ρομπότ

Τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για πολλούς σκοπούς στη ναυτιλιακή βιομηχανία, από τον καθαρισμό και τη συντήρηση έως τα πλήρως αυτόνομα πλοία χωρίς πιλότο, καπετάνιο και πλήρωμα. Το Maxlimer της SEA-KIT είναι ένα εξαιρετικό παράδειγμα ενός πλήρως ρομποτικού πλοίου. Μπορεί να ταξιδεύει αυτόνομα, συνοδευόμενο από πολλά μικρά drone σκάφη και υποβρύχια, τα οποία μπορεί να στείλει για να εκτελέσει διάφορες εργασίες. Το Maxlimer δείχνει πόσο μεγάλες είναι οι δυνατότητες της ρομποτικής τεχνολογίας στη ναυτιλία και πολλοί ναυτιλιακές οργανώσεις αρχίζουν να την προσέχουν (Zwolak et al., 2017).

Η βασική κατεύθυνση της χρήσης ρομπότ είναι η εκτέλεση καταστάσεων που είναι επικίνδυνες ή δυνητικά επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία. Για παράδειγμα, η Ναυτιλιακή Διοίκηση των ΗΠΑ (MARAD) έχει συνεργαστεί με το SEA-KIT για την κατασκευή ρομποτικών σκαφών για διύλιση πετρελαίου. Η εργασία είναι απίστευτα επικίνδυνη για τους

εργαζόμενους που εκτίθενται τακτικά σε χημικές ουσίες, τοξικές αναθυμιάσεις και διατρέχουν συνεχώς υψηλό κίνδυνο πυρκαγιάς ή έκρηξης.

Η πρόβλεψη συντήρησης των πλοίων είναι ένα άλλο σημαντικό ζήτημα. Η διατήρηση της απόδοσης ενός σκάφους απαιτεί πολλούς πόρους από τη συντήρηση καυσίμων και λαδιών έως τακτικούς καθαρισμούς. Ένας μεγάλος αριθμός ανταλλακτικών και εξοπλισμού πρέπει επίσης να επισκευαστεί ή να αντικατασταθεί για να διατηρηθεί το πλοίο σε καλή κατάσταση. Είναι σημαντικό να παρακολουθείται η απόδοση όλων των μονάδων του σκάφους, είτε είναι ρομποτικό είτε όχι.

*Ρομπότ για τον καθαρισμό και τη συντήρηση του κύτους του πλοίου.* Η κατάσταση του κύτους του πλοίου έχει καθοριστική επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου, άρα και στην ποσότητα των επιβλαβών εκπομπών. Ο έγκαιρος καθαρισμός του μπορεί να μειώσει το κόστος των καυσίμων.

Είναι επίσης μια εργασία που μπορεί να είναι επικίνδυνη, δύσκολη και κουραστική. Παραδοσιακά, οι δύτες εκτελούν αυτήν την εργασία ενώ το πλοίο είναι αγκυροβολημένο στο λιμάνι ή ελλιμενισμένο. Το HullBUG είναι ένα παράδειγμα υποβρύχιου ρομπότ καθαρισμού κύτους. Αυτό το ρομπότ 30-40 κιλών προσαρμόζεται στο κάτω μέρος του σκάφους για τον καθαρισμό της επιφάνειας και δημιουργεί μια δίνη αρνητικής πίεσης ενώ κινείται στην επιφάνεια του σκάφους χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό περιστρεφόμενων βουρτσών και πιδάκων νερού για να καθαρίσει τη συσσώρευση. Έτσι, είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί προληπτικός καθαρισμός για τη διατήρηση της ικανότητας εργασίας των πλοίων χωρίς επικίνδυνη εργασία για τον άνθρωπο (Lovelace & Darling, 2015).

*Ρομπότ επιθεωρητές πλοίων.* Τεράστια πλοία όπως το Panamax ή μεγαλύτερα είναι δύσκολο να δοκιμαστούν σε επίπεδο επιθεώρησης λόγω της επιφάνειας του πλοίου, των υλικών και του χρώματος που χρησιμοποιούνται. Η εύρεση ρωγμών, διάβρωσης και άλλων



σοβαρών επιπλοκών μπορεί να είναι δύσκολη και ειδικά στα υποβρύχια. Αυτό σημαίνει ότι οι επιθεωρητές πρέπει να αφιερώνουν πολύ χρόνο σε κάθε μέτρο του σκάφους.

Μια ομάδα φοιτητών από το ETH Zurich και το ZHdK συνεργάστηκε με την Alstom Inspection Robotics για να δημιουργήσουν ένα ελαφρύ και ευέλικτο ρομπότ επιθεώρησης πλοίων. Το πρωτότυπο ρομπότ επιθεωρητή πλοίων, ή SIR, έχει τέσσερις μαγνητικούς τροχούς με επικαλυπτόμενο μεταξόνιο, επιτρέποντάς του να κινείται γύρω από το κάτω μέρος του πλοίου, ακόμη και γύρω από τις ακτίνες I και άλλα εμπόδια. Το SIR δεν είναι το μόνο ρομπότ που αναπτύσσεται για αυτόν τον σκοπό (Eich et al., 2014).

Το MINOAS - Robotic Assisted Marine Inspection System - και το INCAAS - Inspection Capabilities to Improve Ship Safety - είναι δύο ευρωπαϊκά έργα παρόμοιας φύσης (Caccia et al., 2010). Η Bluefin Robotics εργάζεται σε ένα υποβρύχιο ρομπότ HUAV για το Πολεμικό Ναυτικό των ΗΠΑ. Το SmartBot εργάζεται επίσης σε ένα ρομπότ ROBOSHIP που μπορεί να επιθεωρήσει δεξαμενές έρματος και να πραγματοποιήσει την συντήρηση υποβρύχια (Poggi et al., 2020).

*Πυροσβεστικά ρομπότ.* Το SAFFiR Firefighter Robot, που αναπτύχθηκε από το Εργαστήριο Ναυτικής Έρευνας σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Βιρτζίνια και άλλα πανεπιστήμια των ΗΠΑ, είναι ένα αυτόνομο ανθρωποειδές ρομπότ ικανό να ανιχνεύει και να σβήνει πυρκαγιές σε πλοίο και να συνεργάζεται με ανθρώπους πυροσβέστες χρησιμοποιώντας προηγμένη τεχνολογία (Kim et al., 2015).

Σε περίπτωση πυρκαγιάς σε πλοίο, αυτά τα ρομπότ είναι ικανά να εκτελούν εργασίες όπως περιστροφή βαλβίδων, μάζεμα και έκταση σωλήνων κατάσβεσης και αναζήτηση επιζώντων. Μπορούν να αντέξουν θερμοκρασίες έως και 500 βαθμούς Κελσίου. Διαθέτουν επίσης τεχνολογία πολυτροπικών αισθητήρων για προηγμένη πλοήγηση, επιτρέποντάς τους να ξεπερνούν τα εμπόδια και να παραμένουν σε όρθια θέση, ακόμα και όταν η θάλασσα κυλάει

και γέρνει. Τα ρομπότ μπορούν να ανταποκρίνονται σε χειρονομίες και εντολές και το πακέτο αισθητήρων τους περιλαμβάνει κάμερα και αισθητήρα αερίου. Μια υπέρυθρη και υπεριώδης κάμερα τα βοηθά να βλέπουν μέσα από τον καπνό και να ανιχνεύουν την πηγή της υπερβολικής θερμότητας, αντίστοιχα.

*Ρομπότ κατά της πειρατείας.* Το Recon Scout Throwbot από την ReconRobotics είναι ένα μικρό ρομπότ σε σχήμα αλτήρα που μπορεί να διεισδύσει στο κύριο κατάστρωμα ενός σκάφους για διακριτικούς ελέγχους. Οι μαγνητικές ρόδες του επιτρέπουν να σέρνεται στο πλάι του πλοίου στο κατάστρωμα και να κάνει ελιγμούς. Οι κάμερες επιτρέπουν στους χειριστές να βλέπουν τι συμβαίνει σε πραγματικό χρόνο, ακόμη και τη νύχτα, χάρη στους αισθητήρες υπέρυθρων. Όλα αυτά ελέγχονται από ένα τηλεχειριστήριο που βασίζεται σε joystick. Αυτές οι εξελίξεις χρησιμοποιούνται από το Ναυτικό των ΗΠΑ (Booyesen & Mathew, 2014).

## 2.6 Επαυξημένη πραγματικότητα

Η τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας γίνεται ένα από τα κύρια ψηφιακά εργαλεία της τρέχουσας βιομηχανικής επανάστασης. Η ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας έφερε την εφαρμογή της σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Η επαυξημένη πραγματικότητα δείχνει εξαιρετικές ευκαιρίες για να βοηθήσει αυτόν τον κλάδο, ειδικά σε σκοπούς συντήρησης, απομακρυσμένης βοήθειας, επιθεωρήσεων και εκπαίδευσης προσωπικού. Οι δυνατότητες της επαυξημένης πραγματικότητας έχουν οδηγήσει την υιοθέτησή της από τον ναυτιλιακό τομέα να έχει μεγάλη ανάπτυξη. Η ικανότητα αυτής της τεχνολογίας έχει αρχίσει να φέρνει επανάσταση σε αυτόν τον κλάδο και επιτρέπει την πλήρη δέσμευση του εργατικού δυναμικού.

Ακολουθεί μια πιο βαθιά ματιά στις εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας στη ναυτιλιακή βιομηχανία και τις ευκαιρίες που προσφέρει.

*Συντήρηση και επιθεώρηση.* Με τη βοήθεια της απομακρυσμένης βοήθειας που ενεργοποιείται από την τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας, είναι δυνατός ο εικονικός έλεγχος ελαττωμάτων από ειδικούς από απόσταση. Ταυτόχρονα, εργαζόμενοι στη στεριά λαμβάνουν τις σωστές οδηγίες σε πραγματικό χρόνο και ολοκληρώνουν τη διαδικασία επισκευής του εξοπλισμού όσο το δυνατόν γρηγορότερα (Donperudi et al., 2014).

*Λειτουργίες.* Η εξ αποστάσεως συνεργασία μέσω της επαυξημένης πραγματικότητας καθιστά δυνατή τη σημαντική αύξηση της παραγωγικότητας των λειτουργικών διαδικασιών της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Η αλληλεπίδραση μεταξύ εξ αποστάσεως ειδικών και υπαλλήλων του κλάδου οδηγεί σε πλήρη δέσμευση και από τα δύο μέρη. Επίσης, επιτρέπει τη διευκόλυνση και απλοποίηση πολλών θεμάτων με την εύρεση των πιο αποτελεσματικών και γρήγορων λύσεων. Είναι ξεκάθαρο ότι αυτή η εξ αποστάσεως βοήθεια καθιστά δυνατή την τόνωση των εργαζομένων, καθιστώντας τους πιο ευέλικτους και διαδραστικούς. Όλα αυτά αυξάνουν την παραγωγικότητα του ναυτιλιακού τομέα. Επιπλέον, μειώνουν το κόστος και κάνουν τις λειτουργίες ασφαλέστερες και αποτελεσματικότερες (van den Oever et al., 2013).

*Εκπαίδευση.* Εκτός από τις παραπάνω περιπτώσεις εφαρμογής, η επαυξημένη πραγματικότητα χρησιμοποιείται και για σκοπούς εκπαίδευσης των εργαζομένων. Αυτοί οι υπάλληλοι στις περισσότερες περιπτώσεις λειτουργούν από την στεριά. Μέσω της επαυξημένης πραγματικότητας, ειδικοί από απόσταση με πολλαπλές δεξιότητες παρέχουν εκπαίδευση νέων εργαζομένων σε πραγματικό χρόνο. Έχουμε τον εμπλουτισμό αυτής της εκπαίδευσης με εικόνες, αρχεία pdf ή τρισδιάστατα μοντέλα. Επίσης, είναι δυνατό ένα είδος εκπαίδευσης με πιο αποτελεσματικό τρόπο από το παραδοσιακό μοντέλο. Επιπλέον, αυτή η διαδικασία μάθησης προετοιμάζει τους εργαζόμενους για απρόβλεπτες καταστάσεις που μπορεί να προκύψουν στο μέλλον. Μέσω αυτής της εκπαίδευσης, οι ειδικοί ζωντανεύουν τα σενάρια περίπλοκων καταστάσεων που μπορεί να προκύψουν. Με αυτόν τον τρόπο εκπαιδεύουν τους εργαζόμενους για άμεσες παρεμβάσεις από απόσταση. Αυτά είναι μερικά

μόνο παραδείγματα που δείχνουν τις τρέχουσες περιπτώσεις και τη χρήση αυτής της τεχνολογίας σε αυτόν τον κλάδο (Mallam et al., 2019).

## Κεφάλαιο 3. Επιδράσεις της αυτονομίας των πλοίων

### 3.1 Επιδράσεις στο ρυθμιστικό πλαίσιο

Ένα έργο για το ναυτικό ατύχημα του Costa Concordia το 2012, που συμπτωματικά σηματοδοτεί τον πρώτο αιώνα μετά τη βύθιση του Τιτανικού στον Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό το 1912, έδειξε ότι ακόμη και μετά από 100 χρόνια, μπορεί να συμβούν ατυχήματα σε πλοία που θεωρούνται υπερσύγχρονα μαζί με αξιοσημείωτες ρυθμιστικές και τεχνολογικές εξελίξεις στην ασφάλεια στη θάλασσα (Schröder-Hinrichs et al., 2012).

Ως εκ τούτου, παρά την ταχεία ανάπτυξη της επιστήμης και της τεχνολογίας στη ναυτιλιακή βιομηχανία, τα αυτόνομα πλοία πρέπει αναμφισβήτητα να υπόκεινται στους διεθνείς κανονισμούς που είναι απαραίτητοι για να λειτουργούν με ασφάλεια τα πλοία σε όλα τα έθνη και ακόμη και στις περιοχές του βυθού της θάλασσας πέρα από την εθνική δικαιοδοσία. Αν και ορισμένες κανονιστικές πτυχές των επανδρωμένων σκαφών μπορεί να είναι συμβατές με μη επανδρωμένα πλοία, όπως συμβαίνει σε ορισμένες ρήτρες του Κώδικα Διεθνούς Διαχείρισης Ασφάλειας, υπάρχει ανάγκη για ειδικούς διεθνείς κανονισμούς που θα λαμβάνουν υπόψη και τα χαρακτηριστικά των μη επανδρωμένων σκαφών.

Πρόσφατα, ένα προσχέδιο αίτησης για μια διαδικασία οριοθέτησης του κανονιστικού πεδίου εφαρμογής υποβλήθηκε στην Επιτροπή Ναυτιλιακής Ασφάλειας (Maritime Safety Committee, MSC) και έγινε δεκτή στο πρόγραμμα εργασίας στο MSC 98 (IMO, 2017) για να διασφαλιστεί η ασφάλεια, η κυβερνοασφάλεια και η περιβαλλοντική ευημερία των αυτόνομων πλοίων. Στο MSC 99, συμφωνήθηκε ένα σχέδιο εργασίας (MSC, 2018a) για να ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία οριοθέτησης έως το 2020.

Ο στόχος της διαδικασίας οριοθέτησης του κανονιστικού πεδίου εφαρμογής για τα αυτόνομα πλοία είναι να αξιολογήσει τον βαθμό αυτονομίας που μπορεί να επηρεάσει τα υπάρχοντα ρυθμιστικά πλαίσια προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι λειτουργίες των πλοίων. Για να διευκολυνθεί η διαδικασία, οι βαθμοί αυτονομίας κατηγοριοποιήθηκαν σε τέσσερις φάσεις στο MSC 100 (MSC, 2018b). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα αυτόνομα πλοία μπορούσαν να λειτουργήσουν σε περισσότερους από έναν βαθμούς αυτονομίας κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού.

Η τροποποίηση όλων των συμβάσεων θα απαιτήσει χρόνο, κάτι το οποίο μπορεί να μην είναι πρακτικό. Όλες οι επιτροπές και οι υποεπιτροπές του IMO θα πρέπει να συνεργαστούν για αυτήν την τεράστια αναθεώρηση. Για το λόγο αυτό, η προσέγγιση βάσει

στόχων θα πρέπει να εφαρμοστεί για την ανάπτυξη νέων κανονιστικών απαιτήσεων. Πρόσφατα, το MSC ενέκρινε την αναθεώρηση των γενικών κατευθυντήριων γραμμών για την ανάπτυξη προτύπων βασισμένων σε στόχους του IMO για τον καθορισμό στόχων ασφάλειας και λειτουργικών απαιτήσεων, λαμβάνοντας υπόψη ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός αυτόνομου πλοίου (Ringbom, 2019). Εκτός από τα πρότυπα, θα απαιτηθούν αξιολόγηση κινδύνου και διασφάλιση ποιότητας λογισμικού για την ασφάλεια των αυτόνομων πλοίων τόσο στον πραγματικό κόσμο όσο και στον κυβερνοχώρο.

Ακόμη και σε αυτήν την περίπτωση, οι απαιτήσεις θα πρέπει να διατυπωθούν σε τουλάχιστον δύο εκδόσεις: για το πλήρως αυτόνομο ή το πλήρως τηλεκατευθυνόμενο πλοίο. Δεδομένου ότι η ναυτιλιακή αγορά συνεχίζει να κατακλύζεται από νέες και καλύτερες τεχνολογίες, δεν είναι ρεαλιστικό να διατυπώνονται λεπτομερείς τεχνικές απαιτήσεις για αλγόριθμους, αισθητήρες, συγχώνευση δεδομένων κ.λπ., σε επίπεδο IMO. Ως εκ τούτου, προτείνεται ο κώδικας να βασίζεται σε στόχους. Ο βασικός σκοπός των προτύπων είναι τα αυτόνομα και τηλεκατευθυνόμενα πλοία να είναι εξίσου ασφαλή με τα συμβατικά πλοία ίδιου ή παρόμοιου τύπου (Vartdal et al., 2018).

### 3.2 Επιδράσεις στην τεχνολογία

Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στην ανάπτυξη της τεχνολογίας για τα αυτόνομα πλοία είναι να αποδειχθεί ότι τα μη επανδρωμένα συστήματα είναι τουλάχιστον εξίσου ασφαλή με ένα σύστημα επανδρωμένων πλοίων και να παράσχει επαρκή επίγνωση της κατάστασης. Σε περίπτωση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, όπως η προσάραξη ή οι ελιγμοί αποφυγής, τα συστήματα του πλοίου θα πρέπει να παρακολουθούνται και να ελέγχονται εξ αποστάσεως από τους χειριστές που λαμβάνουν κρίσιμες πληροφορίες μέσω δορυφόρου σε μικρά χρονικά διαστήματα. Θα πρέπει επίσης να διατίθεται ένα έξυπνο σύστημα συναγερμού

και η δυνατότητα εναλλαγής στη λειτουργία χειροκίνητου ελέγχου σε περίπτωση αμφιβολίας για το αυτόνομο σύστημα.

Ιδιαίτερα, όσον αφορά τους αισθητήρες που υποστηρίζουν την παρακολούθηση και τη λήψη αποφάσεων, η αξιοπιστία των αισθητήρων πρέπει να διασφαλίζεται μέσω έγκρισης σχεδιασμού καθώς και δοκιμών εξ αποστάσεως και επί τόπου και περιοδικών επιθεωρήσεων. Οι βλάβες των αισθητήρων αποτελούν σοβαρή απειλή για την ασφάλεια του συστήματος. Οι πιο σημαντικοί αισθητήρες ασφαλείας θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τον ομοιογενή και/ή ετερογενή πλεονασμό και τη διάγνωση ή την πρόγνωση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο ετερογενής πλεονασμός είναι πιο αξιόπιστος από άλλους, καθώς μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από τους τύπους αισθητήρων (Vartdal et al., 2018). Επιπλέον, λόγω έλλειψης στοιχείων αστοχίας και μη εύκολης πρόσβασης στα δεδομένα, μια πιο λεπτομερής προσέγκυση εμπειρογνομώνων θα μπορούσε να είναι επωφελής για την επίλυση ορισμένων ζητημάτων που σχετίζονται με κινδύνους που απειλούν την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία των αυτόνομων πλοίων.

Όλος ο εξοπλισμός και οι συσκευές που είναι εγκατεστημένες στο σκάφος θα πρέπει επίσης να είναι διασυνδεδεμένοι και ενσωματωμένοι για να επιτρέπουν τη συλλογή, διαχείριση και ανάλυση δεδομένων. Απαιτείται να είναι εξοπλισμένα με υψηλό επίπεδο πλεονασμού και ανθεκτικότητας και να είναι εξαιρετικά αρθρωτά για την αποφυγή αστοχιών.

Απαιτείται χαμηλότερη επικοινωνία λόγω υψηλότερου επιπέδου αυτονομίας όπου το σύστημα επεξεργασίας επί του οχήματος αναλύει τα δεδομένα για ανίχνευση, παρακολούθηση, ταξινόμηση και αναγνώριση αντικειμένων ενδιαφέροντος. Αλλά πρέπει να σημειωθεί ότι όσο υψηλότερο είναι το επίπεδο αυτονομίας ενός πλοίου, τόσο πιο κρίσιμο και σημαντικό θα ήταν ένα ατύχημα.

### 3.3 Επιπτώσεις στη βιομηχανία

Για εκατοντάδες χρόνια, η ναυτιλιακή βιομηχανία βασίζεται στις γνώσεις και την εμπειρία των πληρωμάτων των πλοίων. Σήμερα, η αυτόνομη τεχνολογία είναι έτοιμη να αναδιαμορφώσει τον ναυτιλιακό τομέα με μη επανδρωμένα πλοία. Τα μικρά μη επανδρωμένα σκάφη έχουν ήδη ξεκινήσει να εξυπηρετούν τις εταιρείες, ενώ η τεχνολογία για μεγαλύτερα σκάφη βρίσκεται υπό ανάπτυξη. Είναι καιρός η ναυτιλιακή βιομηχανία να ενστερνιστεί την αυτονομία και να κατανοήσει πώς θα διαμορφώσει τη μελλοντική βιομηχανία και πώς να την αξιοποιήσει καλύτερα. Η ιδέα του αυτόνομου πλοίου θα έχει αντίκτυπο στον σχεδιασμό πλοίων, τη ναυπηγική, τις λιμενικές υποδομές, συμπεριλαμβανομένων των υπηρεσιών και των διεπαφών. Ο αυτοματισμός θα μετατρέψει τα στοιχεία της ξηράς ναυτιλίας από τις λιμενικές υποδομές και τη διακίνηση φορτίου στην αλυσίδα εφοδιαστικής και μεταφορών που βασίζεται στην ξηρά. Ένας από τους στόχους της βιομηχανίας του ανεφοδιασμού είναι η έγκαιρη εξυπηρέτηση που επιτρέπει στους αποστολείς και τους πελάτες να προσαρμόζουν στιγμιαία τις αποστολές και να λαμβάνουν παραδόσεις από αυτήν την αυτόνομη αλυσίδα μεταφορών (Carnie et al., 2013). Για την επιτυχή εισαγωγή των αυτόνομων πλοίων στη ναυτιλιακή βιομηχανία, η επικοινωνία και η συνεργασία των ενδιαφερομένων πρέπει να γίνονται με βάση την αμοιβαία κατανόηση. Οι ναυτικοί επί του σκάφους/στην ξηρά, οι ασφαλιστικές εταιρείες, οι εταιρείες φορτίου και ανεφοδιασμού καυσίμων, τα ερευνητικά ιδρύματα, οι σχολές και τα κέντρα κατάρτισης στον ναυτιλιακό τομέα θα αποτελούν ενδιαφερόμενα μέρη.

Επιπλέον, τα αυτόνομα πλοία θα συμβάλουν στη μετατροπή των υφιστάμενων βιομηχανιών σε νέες καινοτόμες εκδοχές τους που μπορούν να βελτιώσουν τα υπάρχοντα πλοία, με την ολοκλήρωση και τον έλεγχο του συστήματος, την διαχείριση και συντήρηση του συστήματος, την διαχείριση στόλου, την κυβερνασφάλεια, την ανάλυση μεγάλων δεδομένων, τους έξυπνους αισθητήρες και την επικοινωνία. Επιπλέον, για την επιτυχή εισαγωγή των



αυτόνομων πλοίων, απαιτείται επίσης ανάπτυξη, τροποποίηση και ερμηνεία των ναυτιλιακών κανόνων και κανονισμών μαζί με την επικοινωνία και τη συνεργασία των ενδιαφερομένων για να καταστούν τα αυτόνομα πλοία αποτελεσματικά και αξιόπιστα.

## Κεφάλαιο 4. Άλλα θέματα

### 4.1 Θέματα ασφάλειας

Είναι αντιληπτό ότι ο αυτοματισμός μπορεί να οδηγήσει σε ένα ασφαλέστερο περιβάλλον, καθώς είναι σε θέση να αντιμετωπίσει ανθρώπινες ελλείψεις όπως κόπωση, εύρος προσοχής, υπερφόρτωση πληροφοριών και προκατάληψη της κανονικότητας σχετικά με την πιθανότητα ατυχημάτων (de Vos et al., 2021). Στην μετα-ανάλυση των Corovic και Djurovic (2013), τα θαλάσσια ατυχήματα που προκαλούνται από ανθρώπινο λάθος στην Ευρώπη κυμαίνονται μεταξύ 75-96%. Αυτά τα σφάλματα είναι αποτέλεσμα κόπωσης, ελλείψεων στη συντήρηση και προτύπων, ανεπαρκείς γνώσεις και πληροφορίες και κακές δεξιότητες επικοινωνίας. Από την άλλη πλευρά, σύμφωνα με μια μελέτη του έργου MUNIN σχετικά με την ποσοτική αξιολόγηση ασφάλειας ενός μη επανδρωμένου πλοίου μεταφοράς χύδην

φορτίου, το μη επανδρωμένο πλοίο μπορεί να αναμένεται να είναι ασφαλέστερο από τα συμβατικά πλοία παρά το γεγονός ότι δεν παρασχέθηκαν κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με το σχεδιασμό και τη λειτουργία του (Rødseth & Burmeister, 2015).

Η νέα τεχνολογία ανοίγει επίσης για νέους τύπους ατυχημάτων. Τα αποτελέσματα μιας μελέτης (Wróbel et al., 2017) έδειξαν ότι ενώ οι κίνδυνοι ναυσιπλοΐας όπως η σύγκρουση και η προσάραξη μπορεί να μειωθούν, οι κίνδυνοι που δεν σχετίζονται με τη ναυσιπλοΐα, όπως πυρκαγιά, έκρηξη και πλημμύρα, μπορεί μάλλον να αυξηθούν σε αυτόνομα πλοία.

Ως εκ τούτου, η αξιολόγηση κινδύνου μπορεί να χρησιμεύσει για να καταδείξει ένα ορισμένο επίπεδο κινδύνου και πρέπει να θεωρείται ένα σημαντικό εργαλείο για τη λήψη σχετικών αποφάσεων σχεδιασμού. Λόγω της πολυπλοκότητας του αυτόνομου θαλάσσιου συστήματος, δεν υπάρχει σχετική γνώση, πληροφορίες και εμπειρίες. Δεδομένου αυτού, μπορεί να είναι δύσκολο να προσδιοριστεί το πλήρες επίπεδο κινδύνου για τα αυτόνομα πλοία λαμβάνοντας υπόψη ένα ευρύ φάσμα αβεβαιοτήτων σε τυχαία σενάρια και πιθανότητες (de Vos et al., 2021).

#### 4.2 Θέματα κυβερνοασφάλειας

Λόγω της μεγάλης εξάρτησης από το λογισμικό και τη συνδεσιμότητα, ο κίνδυνος κυβερνοασφάλειας έχει προκύψει ως θέμα τηλεχειρισμού και διαχείρισης των αυτόνομων πλοίων. Δεδομένου ότι η ιδέα του αυτόνομου πλοίου θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από συστήματα τεχνολογίας πληροφοριών επί του σκάφους και στην ξηρά, οι επιθέσεις στον κυβερνοχώρο είναι πολύ πιο πιθανές από ότι στα συμβατικά πλοία. Για τη λειτουργία τηλεχειρισμού, οι τρομοκράτες του κυβερνοχώρου θα μπορούσαν να παραβιάσουν τη σύνδεση επικοινωνίας για να ελέγξουν απευθείας τη λειτουργία. Όσο περισσότερο εξαρτάται η

λειτουργία ενός πλοίου από λογισμικό και επικοινωνίες, τόσο πιο ευάλωτο είναι σε αυτές τις απειλές (Vartdal et al., 2018). Επιπλέον, καθώς αυξάνεται η κακόβουλη δραστηριότητα και εμφανίζονται νέες τεχνολογίες, όπως το IoT, θα εμφανιστούν νέες προκλήσεις ασφαλείας και η κατάλληλη προστασία συστημάτων, δικτύων και δεδομένων στον κυβερνοχώρο θα είναι περισσότερο απαραίτητη από ποτέ.

Έχει προσδιοριστεί μια σειρά από βασικούς τομείς της ναυτιλίας που σχετίζονται με πιθανούς κινδύνους του κυβερνοχώρου, που περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, συστήματα γεφυρών, συστήματα διακίνησης και διαχείρισης φορτίου, συστήματα διαχείρισης πρόωσης και μηχανημάτων και ελέγχου ισχύος, συστήματα πρόσβασης και ελέγχου, συστήματα επικοινωνίας και προσωπικό (Kathayat, 2022).

Η αυτονομία των πλοίων μπορεί να αλλάξει τα πρότυπα πειρατικών, τρομοκρατικών και εγκληματικών δραστηριοτήτων. Οι περιπτώσεις ανθρώπινων απωλειών, συμπεριλαμβανομένων καταστάσεων ομήρων και απαγωγών από πειρατές και ένοπλες ληστείες, ενδέχεται να μειωθούν. Ωστόσο, η απουσία πληρωμάτων μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των προσπαθειών πειρατείας του ίδιου του πλοίου για το πολύτιμο φορτίο. Υπάρχει επίσης ο εγγενής κίνδυνος ότι τα αυτόνομα πλοία μπορεί να γίνουν αντικείμενα κατάχρησης για εγκλήματα όπως η παράνομη μεταφορά φορτίου, συμπεριλαμβανομένων όπλων και ναρκωτικών. Θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τεχνικά και θεσμικά ζητήματα για την ενίσχυση της ασφάλειας του λιμένα με την ανάπτυξη νέων μηχανισμών επιθεώρησης ή την αλλαγή του τύπου επιθεώρησης, όταν χρειάζεται.

#### 4.3 Θέματα εργασίας και κατάρτισης

Ενώ αναπτύσσεται γρήγορα, η ναυτιλιακή βιομηχανία αγωνίζεται να βρει επαρκώς καταρτισμένους ναυτικούς. Ειδικότερα, οι Carnie et al. (2013) προέβλεψαν σημαντικές ελλείψεις σε ειδικευμένους αξιωματικούς και πληρώματα από το 2025. Επιπλέον, η έλευση των αυτόνομων πλοίων έχει προκαλέσει ανησυχίες για τη μείωση του αριθμού των ναυτικών και των θέσεων εργασίας που αναμένεται να αντικατασταθούν από την τεχνητή νοημοσύνη και τα αυτόνομα συστήματα.

Από την άλλη πλευρά, η ευκαιρία για νέες επιχειρήσεις μπορεί να ευνοήσει την δημιουργία θέσεων εργασίας, καθώς θα υπάρχουν απαιτήσεις για υψηλά καταρτισμένα συνεργεία και χειριστές, ειδικά με εξειδίκευση στην τεχνολογία και τα συστήματα πληροφορικής. Το προβλεπόμενο έλλειμμα εργασίας θα μπορούσε να αντισταθμιστεί με την ανάπτυξη αυτοματισμού. Οι απομακρυσμένες και αυτόνομες επιχειρήσεις θα μεταφέρουν πολλές θέσεις εργασίας στη ναυτιλία σε χερσαία κέντρα ελέγχου, ανοίγοντας τη βιομηχανία σε ένα νέο σύνολο εργαζομένων, αφού η ξηρά μπορεί να είναι μια πιο ελκυστική πρόταση εργασίας. Αναμένεται επίσης ότι τα αυτόνομα πλοία θα βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των ναυτικών. Εάν τα πλοία ελέγχονται από την ακτή, η δυσκολία που απορρέει από την παραμονή επί του σκάφους για μεγάλο χρονικό διάστημα και οι κίνδυνοι θαλάσσιων ατυχημάτων θα αμβλυνθούν.

Ενόψει του μειούμενου αριθμού ναυτικών, θα είναι πολύ σημαντικό να αναπτυχθούν πρότυπα προσόντων για τους χειριστές των αυτόνομων πλοίων στην ξηρά και να παρασχεθεί σχετική κατάρτιση και εκπαίδευση. Οι μεταφορείς θα πρέπει να είναι πιστοποιημένοι όπως αρμόζει σύμφωνα με τη σύμβαση της Διεθνούς Σύμβασης για τα πρότυπα εκπαίδευσης, πιστοποίησης και τήρησης φρουράς για τους ναυτικούς (Standards of Training, Certification, and Watchkeeping for Seafarers, STCW). Μπορεί επίσης να είναι απαραίτητο να εξεταστεί το ενδεχόμενο ανάπτυξης νέων προτύπων προσόντων στη σύμβαση STCW ή στην σύμβαση Γνώσεων, Κατανόησης και Επάρκειας (Knowledge, Understanding, and Proficiencies, KUP).

#### 4.4 Νομικά και ηθικά ζητήματα

Οι επιχειρήσεις έχουν υιοθετήσει προηγμένες και νέες τεχνολογίες προκειμένου να βελτιώσουν την απόδοση των επιχειρήσεων, να μειώσουν το κόστος και να βελτιώσουν την ασφάλεια. Ωστόσο, το χάσμα μεταξύ του χρόνου που απαιτείται για την ανάπτυξη και την εκμετάλλευση της τεχνολογίας και της ικανότητας των ρυθμιστικών αρχών να αναπτύξουν κώδικες και πρακτικές δημιουργεί τρωτά σημεία, ενώ ο χρόνος και το είδος της ρυθμιστικής παρέμβασης μπορεί να επιταχύνει, να καθυστερήσει ή να εμποδίσει την υιοθέτηση των τεχνολογιών λαμβάνοντας υπόψη την αμοιβαία επιρροή μεταξύ κανονισμών και τεχνολογιών. Ως εκ τούτου, για την πλήρη αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων των τεχνολογιών, απαιτούνται αποτελεσματικές προσεγγίσεις στο νομοθετικό πλαίσιο έγκαιρα.

Παραδοσιακά, πάντα αποδίδονταν ευθύνη σε φυσικά πρόσωπα ή οργανισμούς που θεωρούνται νομικά πρόσωπα, όπως μια ναυτιλιακή εταιρεία. Είναι δύσκολο να αποδοθεί η ευθύνη για αδικήματα σε έναν αλγόριθμο όταν δεν θεωρείται ηθικός ή νομικός παράγοντας. Αυτή η πρόκληση συζητείται ευρέως σε σχέση με την αυτοκινητοβιομηχανία. Η συζήτηση για την ασφάλεια των αυτοοδηγούμενων αυτοκινήτων περιλαμβάνει τη δοκιμή παραδοσιακών παραδειγμάτων ηθικών διλημάτων (Shaw, 2019). Όσον αφορά στα αυτόνομα πλοία, οι απαιτήσεις του Διεθνούς Κώδικα Ασφαλείας για τον προσδιορισμό μιας νομικής οντότητας υπεύθυνης για την ασφαλή λειτουργία των πλοίων και την πρόληψη της ρύπανσης θα παραμείνουν (Vartdal et al., 2018).

Κατά τη διαδικασία ανάπτυξης και υιοθέτησης αυτόνομων πλοίων, αναμένεται να τεθεί μια μεγάλη ποικιλία ηθικών ζητημάτων. Στο παρελθόν, η επικοινωνία για τη λειτουργία του πλοίου κυριαρχούνταν από τον άνθρωπο, ενώ, στην περίπτωση των αυτόνομων πλοίων,

αναμένεται να διαφοροποιηθεί σε επικοινωνία ανθρώπου-μηχανής και μηχανής-μηχανής. Είναι απαραίτητο να επανεξεταστούν σενάρια στα οποία η επικοινωνία με μηχανήματα αποτυγχάνει ή απορρίπτεται. Η ανάπτυξη μιας τεχνολογίας εξοπλισμένης με την ικανότητα να ανταποκρίνεται σε κάθε πιθανό σενάριο είναι τόσο περίπλοκη, που ο καθορισμός ορίων για τη νομική ευθύνη θα παρουσιάσει περαιτέρω προκλήσεις, ιδίως όσον αφορούν στη θέσπιση εύλογων κριτηρίων και πεδίου ευθύνης μεταξύ πλοιοκτήτη και κατασκευαστή, συμπεριλαμβανομένης μιας κατάλληλης δομής ασφάλειας για την ασφαλιστική κάλυψη.

Προκείμενου να γίνουν καλύτερα κατανοητά τα παραπάνω δίνεται ένα παράδειγμα: Ένα αυτόνομο πλοίο υποτίθεται ότι θα πλοηγούσε κατά μήκος της πιο οικονομικής διαδρομής. Κοντά στο αυτόνομο πλοίο, ανατράπηκε ένα επανδρωμένο επιβατηγό πλοίο, τα συστήματα επικοινωνίας δεν ήταν διαθέσιμα ή ήταν λανθασμένα μεταξύ του αυτόνομου και του επανδρωμένου πλοίου, ενώ τα πληρώματα και οι επιβάτες του στο ανατρεπόμενο πλοίο δεν μπορούσαν να σωθούν χωρίς βοήθεια. Δυστυχώς, το αυτόνομο πλοίο ενδέχεται να μην μπορεί να αναγνωρίσει την τυχαία κατάσταση του επιβατηγού πλοίου που κινδυνεύει. Έτσι τίθεται το ερώτημα του ποιος θα είναι υπεύθυνος για την αποτυχία αναγνώρισης του πλοίου και για την αποτυχία εκπλήρωσης των καθηκόντων διάσωσης.

## Συμπεράσματα

Η εισαγωγή των έξυπνων πλοίων στη ναυτιλιακή βιομηχανία θα ανοίξει μια νέα εποχή και θα επιφέρει σημαντικές αλλαγές όσον αφορά την αποδοτικότητα κόστους, την πρόληψη ατυχημάτων και τους ανθρώπινους πόρους. Ωστόσο, πρέπει να επιλυθούν νέα και πολύ διακριτά ζητήματα που σχετίζονται με τις συμβάσεις και τους κανονισμούς για την ασφάλεια και την προστασία του περιβάλλοντος. Επομένως, πρέπει να ληφθούν υπόψη πιο ολιστικές, διεθνείς και ενοποιημένες προσεγγίσεις για νέα, ειδικά ρυθμιστικά πλαίσια πριν την εισαγωγή των αυτόματων πλοίων στην εμπορική ναυτιλία, προκειμένου να διασφαλιστεί η πρόληψη των

θαλάσσιων ατυχημάτων και η προστασία του περιβάλλοντος. Είναι επίσης σημαντικό να κατανοήσουμε τον αντίκτυπο των νέων εξελίξεων στους κανονισμούς, τις τεχνολογίες και τις βιομηχανίες, καθώς και τις σχέσεις μεταξύ των σχετικών ενδιαφερομένων.

Σε αυτή την εργασία, παρουσιάζονται αρχικά οι πρόσφατες τάσεις για την ανάπτυξη αυτόνομων σκαφών μαζί με τα τελευταία παγκόσμια έργα. Ενώ έχει ήδη πραγματοποιηθεί μια σειρά έργων ως προκαταρκτικές μελέτες, διάφορα έργα βρίσκονται σε εξέλιξη ή αναμένεται να ξεκινήσουν σε όλο τον κόσμο για την ανάπτυξη πιλοτικών πλοίων, ακόμη και ανταγωνιστικές ιδέες και συστήματα για την υποστήριξη μη επανδρωμένων λειτουργιών σε συνδυασμό με πρωτοβουλίες υποδομής, συμπεριλαμβανομένων έξυπνων λιμένων και επικοινωνιών υψηλού εύρους ζώνης .

Δεύτερον, ο αντίκτυπος των αυτόνομων πλοίων στους κανονισμούς, τις τεχνολογίες και τις βιομηχανίες έχει ταυτιστεί με πολυμερείς επιρροές. Όσον αφορά τους διεθνείς κανονισμούς, η τροποποίηση όλων των σχετικών συμβάσεων θα απαιτήσει πολλά καθήκοντα με σημαντικό χρόνο. Επομένως, το GBS, η αξιολόγηση κινδύνου και το SQA αποτελούν προϋποθέσεις για την ασφάλεια των έξυπνων πλοίων τόσο στον πραγματικό κόσμο όσο και στον κυβερνοχώρο. Η μεγάλη πρόκληση για την ανάπτυξη τεχνολογιών για τα πλοία θα είναι να αποδειχθεί ότι τα μη επανδρωμένα συστήματα είναι τουλάχιστον εξίσου ασφαλή με το σύστημα επανδρωμένων πλοίων και να παρέχεται επίγνωση της κατάστασης, ειδικά σε περιπτώσεις καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Το πλοίο θα πρέπει να παρακολουθείται και να ελέγχεται εξ αποστάσεως από τους χειριστές με ένα έξυπνο σύστημα συναγερμού που λαμβάνει τις απαραίτητες και κρίσιμες πληροφορίες μέσω δορυφόρου. Τα συστήματα και οι αισθητήρες που απαιτούνται θα καθοριστούν και θα αναπτυχθούν και οι συνεργικές τους επιπτώσεις. Ειδικά, ο εξοπλισμός και η συσκευή που είναι εγκατεστημένα στο πλοίο θα πρέπει να ενσωματωθούν για τη συλλογή, διαχείριση και ανάλυση δεδομένων από το πλοίο αποτελεσματικά. Θα έχουν υψηλό βαθμό πλεονασμού και αντοχής, καθώς και θα είναι



εξαιρετικά στοιχειωμένες για την αποφυγή αστοχιών. Οι έξυπνες τεχνολογίες θα έχουν αντίκτυπο στον σχεδιασμό πλοίων, τη ναυπηγική, τις λιμενικές υποδομές, συμπεριλαμβανομένων των υπηρεσιών και των διεπαφών. Η επικοινωνία και η συνεργασία πολλών ενδιαφερομένων με βάση την αμοιβαία κατανόηση θα είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχή εισαγωγή τους στις ναυτιλιακές βιομηχανίες, όπως η ναυτιλία, η ναυπηγική, η κατασκευή εξοπλισμού κτλ.

Στη συνέχεια, εξετάστηκαν άλλα θέματα, όπως η ασφάλεια, οι θέσεις εργασίας και η κατάρτιση, καθώς και νομικά και ηθικά ζητήματα. Τα μη επανδρωμένα σκάφη αναμένεται να είναι ασφαλέστερα από τα συμβατικά. Ωστόσο, η νέα τεχνολογία ανοίγει επίσης για νέους τύπους κινδύνων, όπως κινδύνους για πυρκαγιά, έκρηξη και πλημμύρες, απειλές για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο και σφάλματα πληροφοριών. Η τεχνολογική εξέλιξη των πλοίων μπορεί να συμβάλει στην αλλαγή των προτύπων πειρατικών, τρομοκρατικών και εγκληματικών δραστηριοτήτων. Θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τεχνικοί και θεσμικοί παράγοντες για την ενίσχυση της ασφάλειας με την ανάπτυξη νέων μηχανισμών επιθεώρησης. Ενώ αναμένεται η μείωση του αριθμού των ναυτικών, θα είναι εξαιρετικά σημαντικό να αναπτυχθούν τα πρότυπα προσόντων για τους χειριστές των τεχνολογιών στην ξηρά και να παρασχεθεί σχετική κατάρτιση και εκπαίδευση. Όσον αφορά τα νομικά και ηθικά ζητήματα, η διαφορά μεταξύ του χρόνου τεχνολογικής ωριμότητας και του χρόνου ανάπτυξης σχετικών κανονισμών και πρακτικών μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στην έγκαιρη υιοθέτηση των τεχνολογιών. Ως εκ τούτου, απαιτείται επανεξέταση προσεγγίσεων για τη ρύθμιση προκειμένου να αξιοποιηθούν πλήρως τα οφέλη των τεχνολογιών έγκαιρα. Λόγω της αυξανόμενης αυτονομίας τους, τα έξυπνα πλοία αναμένεται επίσης να εγείρουν μια ευρεία ποικιλία ηθικών ζητημάτων, ειδικά για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, όπως κακή επικοινωνία μεταξύ ανθρώπου και μηχανών, καθώς και μηχανής και μηχανής, καθώς και έρευνα και διάσωση πλοίων και επιβατών που χρειάζονται επείγουσα βοήθεια.

Τέλος, απομένουν ακόμη να επιλυθούν ορισμένες σημαντικές προκλήσεις, αλλά τα οφέλη για το περιβάλλον, τις επιχειρήσεις και την κοινωνία θα απαιτήσουν διεπιστημονικές ενέργειες για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων. Το πιο σημαντικό για την βιώσιμη ανάπτυξη στη ναυτιλιακή βιομηχανία του μέλλοντος είναι η κατανόηση όλων αυτών των διαστάσεων και τις διασυνδέσεων τους για να επιτευχθεί ελάχιστος κίνδυνος ασφάλειας, ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και μέγιστα εμπορικά οφέλη.

## Βιβλιογραφία

Alessandrini, A., Alvarez, M., Greidanus, H., Gammieri, V., Arguedas, V. F., Mazarella, F., ... & Vespe, M. (2016, December). Mining vessel tracking data for maritime domain applications. In *2016 IEEE 16th International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)* (pp. 361-367). IEEE.

Alop, A. (2019). The main challenges and barriers to the successful “smart shipping”. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, *13*(3).

Baalisampang, T., Abbassi, R., Garaniya, V., Khan, F., & Dadashzadeh, M. (2018). Review and analysis of fire and explosion accidents in maritime transportation. *Ocean Engineering*, *158*, 350-366.

Beşikçi, E. B., Arslan, O., Turan, O., & Ölçer, A. I. (2016). An artificial neural network based decision support system for energy efficient ship operations. *Computers & Operations Research*, *66*, 393-401.

Blanke, M., Henriques, M., & Bang, J. (2017). A pre-analysis on autonomous ships. Technical University of Denmark.

Booyesen, T., & Mathew, T. J. (2014). The case for a general purpose, first response rescue robot. In *Proceedings of the 2014 PRASA, RobMech and AfLaT International Joint Symposium*.

Brandsæter, A., Manno, G., Vanem, E., & Glad, I. K. (2016, June). An application of sensor-based anomaly detection in the maritime industry. In *2016 IEEE international conference on prognostics and health management (ICPHM)* (pp. 1-8). IEEE.

Brouer, B. D., Karsten, C. V., & Pisinger, D. (2016). Big data optimization in maritime logistics. *Big data optimization: Recent developments and challenges*, 319-344.

Caccia, M., Robino, R., Bateman, W., Eich, M., Ortiz, A., Drikos, L., ... & Apostolopoulou, V. (2010). MINOAS a Marine INspection rObotic Assistant: system requirements and design. *IFAC Proceedings Volumes*, *43*(16), 479-484.

Carnie, P., Kenny, S., Browell, E., Cheng, F., Fang, H. C., & Incecik, A. (2013, January). Global marine trends 2030: implications for naval ship technology. In *Pacific 2013 International Maritime Conference: The commercial maritime and naval defence showcase for the Asia Pacific: The commercial maritime and naval defence showcase for the Asia Pacific* (pp. 241-250). Barton, ACT: Engineers Australia.

Chen, D., Pei, Y., & Xia, Q. (2020). Research on human factors cause chain of ship accidents based on multidimensional association rules. *Ocean Engineering*, *218*, 107717.

Christiansen, M., Hellsten, E., Pisinger, D., Sacramento, D., & Vilhelmsen, C. (2020). Liner shipping network design. *European Journal of Operational Research*, 286(1), 1-20.

Corovic, B. M., & Djurovic, P. (2013). Research of marine accidents through the prism of human factors. *Promet-Traffic & Transportation*, 25(4).

Cummings, M. L., Buchin, M., Carrigan, G., & Donmez, B. (2010). Supporting intelligent and trustworthy maritime path planning decisions. *International journal of human-computer studies*, 68(10), 616-626.

Daniel, K., Nash, A., Koenig, S., & Felner, A. (2010). Theta\*: Any-angle path planning on grids. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 39, 533-579.

Devaraju, A., Chen, L., & Negenborn, R. R. (2018). Autonomous surface vessels in ports: Applications, technologies and port infrastructures. In *Computational Logistics: 9th International Conference, ICCL 2018, Vietri sul Mare, Italy, October 1–3, 2018, Proceedings 9* (pp. 86-105). Springer International Publishing.

de Vos, J., Hekkenberg, R. G., & Banda, O. A. V. (2021). The impact of autonomous ships on safety at sea—a statistical analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 210, 107558.

Dominguez, A. G. (2014, November). "Smart Ships": Mobile Applications, Cloud and Bigdata on Marine Traffic for Increased Safety and Optimized Costs Operations. In *2014 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation* (pp. 303-308). IEEE.

Donepudi, P. K. (2014). Technology growth in shipping industry: an overview. *American Journal of Trade and Policy*, 1(3), 137-142.

Duan, J., Liu, Y., Lin, B., Jiang, Y., Hou, F., & Li, W. (2020). Improved ant colony optimization algorithm for optimized nodes deployment of HAP-based marine monitoring sensor networks. In *Communications, Signal Processing, and Systems: Proceedings of the 2018 CSPS Volume III: Systems 7th* (pp. 933-941). Springer Singapore.

Dutta, P., Choi, T. M., Somani, S., & Butala, R. (2020). Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities. *Transportation research part e: Logistics and transportation review*, 142, 102067.

Eich, M., Bonnin-Pascual, F., Garcia-Fidalgo, E., Ortiz, A., Bruzzone, G., Koveos, Y., & Kirchner, F. (2014). A robot application for marine vessel inspection. *Journal of Field Robotics*, 31(2), 319-341.

Frese, C., & Beyerer, J. (2011, June). A comparison of motion planning algorithms for cooperative collision avoidance of multiple cognitive automobiles. In *2011 IEEE intelligent vehicles symposium (IV)* (pp. 1156-1162). IEEE.

Furumoto, K., Kolehmainen, A., Silverajan, B., Takahashi, T., Inoue, D., & Nakao, K. (2020, November). Toward automated smart ships: Designing effective cyber risk management. In *2020 International Conferences on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData) and IEEE Congress on Cybermatics (Cybermatics)* (pp. 100-105). IEEE.

Geertsma, R. D., Negenborn, R. R., Visser, K., & Hopman, J. J. (2017). Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments. *Applied Energy*, 194, 30-54.

Hamidi, S. M. M., Hoseini, S. F., Gholami, H., & Kananizadeh, M. (2022). Blockchain Capabilities to Improve the Productivity of Maritime Logistics Processes: Review, Taxonomy,

Open Challenges and Future Trends. *Journal of Information Technology Management*, 14(Special Issue: The business value of Blockchain, challenges, and perspectives.), 144-170.

Hopcraft, R., Harish, A. V., Tam, K., & Jones, K. (2023). Raising the Standard of Maritime Voyage Data Recorder Security. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(2), 267.

IMO (2017). Report of the Maritime Safety Committee on Its Ninety-Eighth Session. *MSC 98/23*.

Jović, M., Tijan, E., Žgaljić, D., & Aksentijević, S. (2020). Improving maritime transport sustainability using blockchain-based information exchange. *Sustainability*, 12(21), 8866.

Kamolov, A., & Park, S. H. (2019). An IoT based smart berthing (parking) system for vessels and ports. In *Mobile and Wireless Technology 2018: International Conference on Mobile and Wireless Technology (ICMWT 2018)* (pp. 129-139). Springer Singapore.

Kari, R., & Steinert, M. (2021). Human factor issues in remote ship operations: Lesson learned by studying different domains. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(4), 385.

Kathayat, D. (2022). International Maritime Organization and Cyber Risk Management Framework. *Supremo Amicus*, 31, 67.

Kim, J. H., Starr, J. W., & Lattimer, B. Y. (2015). Firefighting robot stereo infrared vision and radar sensor fusion for imaging through smoke. *Fire Technology*, 51, 823-845.

Koga, S. (2015). Major challenges and solutions for utilizing big data in the maritime industry. MSc World Maritime University.

Kongsberg Maritime, A. S. (2019). *Autonomous ship project*. <https://www.km.kongsberg.com/>

Kristiyanti, M., & Oktavia, A. (2021, November). Information Technology Readiness Towards the Industrial Revolution 4.0 in the Maritime Sector. In *International Conference on Innovation in Science and Technology (ICIST 2020)* (pp. 6-9). Atlantis Press.

Lind, M., Haraldson, S., Karlsson, M., & Watson, R. T. (2015, May). Port collaborative decision making—closing the loop in sea traffic management. In *14th International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries, Ulrichshusen, Germany*.

Lovelace, B., & Darling, D. (2014). *HullBUG Technology Development for Underwater Hull Cleaning*. SEAROBOTICS CORP STUART FL.

Lušić, Z., Bakota, M., Čorić, M., & Skoko, I. (2019). Seafarer market—challenges for the future. *Transactions on Maritime Science*, 8(01), 62-74.

Mallam, S. C., Nazir, S., & Renganayagalu, S. K. (2019). Rethinking maritime education, training, and operations in the digital era: Applications for emerging immersive technologies. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(12), 428.

Martimo, P. (2017). Disruptive Innovation and Maritime Sector-Discovering smart-shipping's potential to disrupt shipping. *Report Turku School of Economics*.

Mirović, M., Miličević, M., & Obradović, I. (2018). Big data in the maritime industry. *NAŠE MORE: znanstveni časopis za more i pomorstvo*, 65(1), 56-62.

Mohaimenuzzaman, M., Monzurur Rahman, S. M., Alhussein, M., Muhammad, G., & Abdullah Al Mamun, K. (2016). Enhancing safety in water transport system based on Internet of Things for developing countries. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(2), 2834616.

MSC (2018a). Regulatory scoping exercise for the use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS). *MSC 99th Session, MSC, 99*.

MSC (2018b). Regulatory scoping exercise for the use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS). *MSC 100th Session, MSC, 100*.

Nagy, A., & Tick, J. (2016, August). Improving transport management with big data analytics. In *2016 IEEE 14th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY)* (pp. 199-204). IEEE.

Perera, L. P., Mo, B., & Kristjánsson, L. A. (2015). Identification of optimal trim configurations to improve energy efficiency in ships. *IFAC-PapersOnLine, 48(16)*, 267-272.

Poggi, L., Gaggero, T., Gaiotti, M., Ravina, E., & Rizzo, C. M. (2020). Recent developments in remote inspections of ship structures. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 12*, 881-891.

Psarros, G. A. (2018). Fuzzy logic system interference in ship accidents. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 28(6)*, 372-382.

Ringbom, H. (2019). Regulating autonomous ships—concepts, challenges and precedents. *Ocean Development & International Law, 50(2-3)*, 141-169.

Rizal, S., Choi, H. H., Kim, S. H., Kim, D. S., & Kim, S. H. (2017, February). Marine engine fault detection system using networked proximity sensors. In *2017 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM)* (pp. 284-289). IEEE.

Rødseth, Ø. J., & Burmeister, H. C. (2015). Risk assessment for an unmanned merchant ship. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 9(3)*, 357-364.



Ruckebusch, P., Hoebeke, J., De Poorter, E., & Moerman, I. (2018). Smart container monitoring using custom-made WSN technology: from business case to prototype. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2018, 1-20.

Schiaretti, M., Chen, L., & Negenborn, R. R. (2017). Survey on autonomous surface vessels: Part I—a new detailed definition of autonomy levels. In *Computational Logistics: 8th International Conference, ICCL 2017, Southampton, UK, October 18-20, 2017, Proceedings 8* (pp. 219-233). Springer International Publishing.

Schröder-Hinrichs, J. U., Hollnagel, E., & Baldauf, M. (2012). From Titanic to Costa Concordia—a century of lessons not learned. *WMU journal of maritime affairs*, 11, 151-167.

Shaw, J. (2019). Artificial intelligence and Ethics. *Harvard Magazine*, 30.

van Cappelle, L. E., Chen, L., & Negenborn, R. R. (2018). Survey on short-term technology developments and readiness levels for autonomous shipping. In *Computational Logistics: 9th International Conference, ICCL 2018, Vietri sul Mare, Italy, October 1–3, 2018, Proceedings 9* (pp. 106-123). Springer International Publishing.

van den Oever, F., Fjeld, M., & Sætrevik, B. (2023). A Systematic Literature Review of Augmented Reality for Maritime Collaboration. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 1-16.

Vartdal, B. J., Skjong, R., & St Clair, A. L. (2018). Remote-controlled and autonomous ships in the maritime industry. *DNVGL-Maritime, Tech Rep*, 4(5), 9-16.

Wang, J., Xiao, Y., Li, T., & Chen, C. P. (2020). A survey of technologies for unmanned merchant ships. *Ieee Access*, 8, 224461-224486.

Wróbel, Krzysztof, Jakub Montewka, & Pentti Kujala. Towards the assessment of potential impact of unmanned vessels on maritime transportation safety. *Reliability Engineering & System Safety*, 165(2017), 155-169.

Xiao, Z., Fu, X., Zhang, L., Ponnambalam, L., & Goh, R. S. M. (2017, October). Data-driven multi-agent system for maritime traffic safety management. In *2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 1-6). IEEE.

Xiao, Z., Fu, X., Zhang, L., Zhang, W., Agarwal, M., & Goh, R. S. M. (2019). MarineMAS: A multi-agent framework to aid design, modelling, and evaluation of autonomous shipping systems. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 2(2), 43-57.

Yang, Y., Zhong, M., Yao, H., Yu, F., Fu, X., & Postolache, O. (2018). Internet of things for smart ports: Technologies and challenges. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 21(1), 34-43.

Zaman, I., Pazouki, K., Norman, R., Younessi, S., & Coleman, S. (2017). Challenges and opportunities of big data analytics for upcoming regulations and future transformation of the shipping industry. *Procedia engineering*, 194, 537-544.

Zhang, W., Kopca, C., Tang, J., Ma, D., & Wang, Y. (2017). A systematic approach for collision risk analysis based on AIS data. *The Journal of Navigation*, 70(5), 1117-1132.

Zhang, L., Meng, Q., Xiao, Z., & Fu, X. (2018). A novel ship trajectory reconstruction approach using AIS data. *Ocean Engineering*, 159, 165-174.

Zhang, Y. L., Peng, P. F., Liu, J. S., & Liu, S. K. (2018, August). AIS data oriented ships' trajectory mining and forecasting based on trajectory delimiter. In *2018 10th*

*International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC)*  
(Vol. 1, pp. 269-273). IEEE.

Zwolak, K., Simpson, B., Anderson, B., Bazhenova, E., Falconer, R., Kearns, T., ... & Zarayskaya, Y. (2017, June). An unmanned seafloor mapping system: The concept of an AUV integrated with the newly designed USV SEA-KIT. In *OCEANS 2017-Aberdeen* (pp. 1-6). IEEE.