



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ



ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

**ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ**

Διπλωματική Εργασία

**Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ECDIS ΣΤΗ
ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ
Η ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ ΜΕ
ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΠΛΟΙΟΥ**

Δημήτριος Ελευσινιώτης

Δαμιανός Παπανικολάου

Επιβλέπων Καθηγητής

Χρήστος Ν. Βαζούρας

Πειραιάς

Απρίλιος 2025

ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Οι φοιτητές οι οποίοι εκπόνησαν την Διπλωματική Εργασία φέρουν ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στην βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός, μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός), της φύσης του υλικού, που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες ή χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος, που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyrights, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου.

DECLARATION OF AUTHENTICITY

The students who are conducting the Thesis bear the entire responsibility of determining the fair use of the material, which is defined based on the following factors: the purpose and character of the use (commercial, non-profit, or educational), the nature of the material used (part of the text, tables, figures, images, or maps), the percentage and significance of section, which it uses in relation to the entire copyrighted text, and the possible consequences of this use on the market or the overall value of the copyright text.

ΣΕΛΙΔΑ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίσθηκε από την ΕΔιΕ του ΔΠΜΣ σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του ΔΠΜΣ 'Διοίκηση στη Ναυτική Επιστήμη και Τεχνολογία'.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- ΜΕΛΟΣ Α': Χρήστος Βαζούρας (Επιβλέπων Καθηγητής)
- ΜΕΛΟΣ Β': Μιχαήλ Φαφαλιός
- ΜΕΛΟΣ Γ': Γεώργιος Βαρδούλιας

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα.

Ευχαριστίες ή αφιέρωση

Θα ήθελα να εκφράσω τις βαθύτατες ευχαριστίες μου σε εκείνους που με υποστήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της πορείας. Στην σύζυγό μου, Σοφία και στην κόρη μου, Κάτια. Η ακατάπαυστη ενθάρρυνση και αγάπη σας ήταν η βάση πάνω στην οποία έχτισα τις ακαδημαϊκές μου προσπάθειες. Είμαι ιδιαίτερα ευγνώμων για τις θυσίες που κάνατε για μένα, και ελπίζω ότι αυτή η επιτυχία να σας φέρει υπερηφάνεια. Στην αγαπημένη μου μητέρα Μαρία, η οποία μας άφησε ακριβώς όταν ολοκλήρωνα την τελευταία μου εξέταση στο ΔΠΜΣ, η μνήμη και η κληρονομιά σου συνεχίζουν να με εμπνέουν. Αν και δεν είσαι πλέον μαζί μας, η αγάπη και η καθοδήγησή σου παραμένουν στην καρδιά μου, και αφιερώνω αυτή την επιτυχία σε εσένα. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Χρήστο Ν. Βαζούρα, για την ανεκτίμητη καθοδήγησή του, την υπομονή, εμπιστοσύνη και την εξειδίκευσή του. Η καθοδήγησή σας όχι μόνο διαμόρφωσε την ακαδημαϊκή μου ανάπτυξη, αλλά με έκανε να εκτιμώ βαθύτερα το πεδίο. Ευχαριστώ που πιστέψατε σε μένα και με βοηθήσατε να φτάσω σε αυτό το ορόσημο.

Με σεβασμό και εκτίμηση,
Δημήτρης Ελευσινιώτης

Με τη παρούσα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Χρήστο Ν. Βαζούρα για την υπομονή του κατά την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας καθώς και για την εμπιστοσύνη που μας επέδειξε.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, η οποία με στηρίζει σε κάθε μου βήμα, όπως έπραξε και κατά τη φοίτησή μου στο παρόν μεταπτυχιακό πρόγραμμα.

Με σεβασμό / εκτίμηση,
Δαμιανός Παπανικολάου

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αναλύει τη στρατηγική αξία της διασύνδεσης του ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) με τα συστήματα διοίκησης πλοίου, επιδιώκοντας μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των τεχνολογικών, οργανωτικών και κανονιστικών παραμέτρων. Αρχικά, εξετάζεται η ιστορική εξέλιξη του ECDIS και η μετάβαση από τον έντυπο χάρτη στους ηλεκτρονικούς, γεγονός που αναβάθμισε τη χαρτογραφική ακρίβεια και την παροχή συναγερμών. Παράλληλα, παρουσιάζονται οι κεντρικές λειτουργίες των συστημάτων διοίκησης πλοίου (έλεγχος μηχανής, διαχείριση καυσίμων, επικοινωνίες) και τονίζεται ο ρόλος τους στην εύρυθμη λειτουργία και ασφάλεια. Η μελέτη διερευνά, στη συνέχεια, τις κύριες προκλήσεις που προκύπτουν από την ενοποίηση ECDIS-συστημάτων διοίκησης, όπως οι ασυμβατότητες λογισμικού, η κυβερνοασφάλεια και το υψηλό κόστος εγκατάστασης και εκπαίδευσης. Επιπλέον, παρουσιάζονται προτεινόμενα μοντέλα αρχιτεκτονικής (κεντρικοποιημένα και αποκεντρωμένα), καθώς και πρακτικές λύσεις (π.χ. αυτόματη δημιουργία αναφορών, προγνωστική συντήρηση), οι οποίες μπορούν να συμβάλουν στην ενίσχυση της ναυτιλιακής αποδοτικότητας. Η έρευνα καταλήγει σε ειδικές προτάσεις μέτρων ασφαλείας (κρυπτογράφηση δεδομένων, role-based access control), επισημαίνοντας τον ρόλο των νηογνώμωνων και των διεθνών ρυθμιστικών οργάνων (IMO, SOLAS) στη διαμόρφωση του πλαισίου συμμόρφωσης. Τέλος, η εργασία υπογραμμίζει ότι η μετάβαση σε ένα πλήρως διασυνδεδεμένο περιβάλλον πλοίου προσφέρει ουσιαστικά οφέλη (βελτίωση ασφαλείας, μείωση κόστους), απαιτεί όμως συστημικό σχεδιασμό, συνεχή εκπαίδευση του ανθρώπινου δυναμικού και ευθυγράμμιση με τις κανονιστικές εξελίξεις. Μέσα από μια κριτική επισκόπηση, αναδεικνύονται οι προοπτικές περαιτέρω έρευνας σε πεδία όπως η κυβερνοπροστασία, η τεχνητή νοημοσύνη και τα πρότυπα S-100.

Λέξεις-Κλειδιά: ECDIS, Συστήματα Διοίκησης, Ναυτιλιακή Ασφάλεια, Κυβερνοασφάλεια, Αρχιτεκτονική Διασύνδεσης, Προγνωστική Συντήρηση, Κανονιστικό Πλαίσιο.

Abstract

This paper analyzes the strategic value of the ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) interface with ship management systems, seeking a comprehensive assessment of the technological, organizational and regulatory parameters. Initially, the historical development of ECDIS and the transition from paper charts to electronic ones are examined, which upgraded cartographic accuracy and the provision of alarms. At the same time, the central functions of ship management systems (engine control, fuel management, communications) are presented and their role in smooth operation and safety is emphasized. The study then explores the main challenges arising from the integration of ECDIS–management systems, such as software incompatibilities, cybersecurity and the high cost of installation and training. In addition, proposed architecture models (centralized and decentralized) are presented, as well as practical solutions (e.g. automatic report generation, predictive maintenance), which can contribute to enhancing maritime efficiency. The research concludes with specific proposals for security measures (data encryption, role-based access control), highlighting the role of classification societies and international regulatory bodies (IMO, SOLAS) in shaping the compliance framework. Finally, the paper highlights that the transition to a fully interconnected ship environment offers substantial benefits (improved safety, cost reduction), but requires systemic planning, continuous training of human resources and alignment with regulatory developments. Through a critical overview, the prospects for further research in fields such as cyber protection, artificial intelligence and S-100 standards are highlighted.

Keywords: ECDIS, Management Systems, Maritime Safety, Cybersecurity, Interconnection Architecture, Predictive Maintenance, Regulatory Framework.

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract	6
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	11
1.1 Σύντομη Παρουσίαση του ECDIS.....	11
1.2 Συστήματα Διοίκησης Πλοίου	12
1.3 Διασύνδεση ECDIS και Συστημάτων Διοίκησης	13
1.4 Σκοπός και Ερευνητικά Ερωτήματα	14
1.5 Διάρθρωση της Εργασίας.....	15
Κεφάλαιο 2. Μέθοδος και Ερευνητική Προσέγγιση	17
2.1 Φύση και Σκοπός της Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης.....	17
2.2 Κριτήρια Επιλογής Πηγών	17
2.3 Διαδικασία Συλλογής Δεδομένων.....	18
2.4 Περιορισμοί Μεθόδου	19
Κεφάλαιο 3. Θεωρητικό Υπόβαθρο	21
3.1 ECDIS	21
3.1.1 Είδη Ηλεκτρονικών Χαρτών και Τυποποιήσεις.....	21
3.1.2 Λειτουργικές Δυνατότητες του ECDIS	22
3.1.3 Τεχνολογική Εξέλιξη και Μελλοντικές Τάσεις	23
3.2 Συστήματα Διοίκησης Πλοίου	24
3.2.1 Κατηγοριοποίηση των Επιμέρους Υποσυστημάτων.....	24
3.2.2 Ρόλος Στην Ομαλή Λειτουργία και Ασφάλεια του Πλοίου	24
3.2.3 Επίδραση των Ολοκληρωμένων Συστημάτων στη Λήψη Αποφάσεων του Πληρώματος.....	25
3.3 Τεχνολογίες Διασύνδεσης	26
3.3.1 Δίκτυα και Πρωτόκολλα Επικοινωνίας.....	26
3.3.2 Πρότυπα και Διεθνείς Οδηγίες για την Ηλεκτρονική Διαλειτουργικότητα.....	26

3.3.3 Ζητήματα Συμβατότητας, Αναβάθμισης και Επεκτασιμότητας	27
3.4 Πλεονεκτήματα της Διασύνδεσης	27
3.4.1 Ενίσχυση της Ασφάλειας	28
3.4.2 Βελτιστοποίηση Λειτουργικών Παραμέτρων.....	28
3.4.3 Ενίσχυση Αποδοτικότητας και Μείωση Ανθρώπινου Σφάλματος	29
3.5 Συμπερασματικές Παρατηρήσεις	29
Κεφάλαιο 4. Ανάλυση των Υπαρχόντων Συστημάτων και των Προκλήσεων	31
4.1 Παρούσα Κατάσταση.....	31
4.1.1 Εύρος Χρήσης των ECDIS και Ψηφιακή Ωρίμανση.....	31
4.1.2 Περιπτώσεις Επιτυχημένης ή Μη Επιτυχημένης Διασύνδεσης.....	32
4.2 Προκλήσεις.....	33
4.2.1 Τεχνικές Δυσκολίες	33
4.2.2 Οργανωτικές και Οικονομικές Παράμετροι	34
4.2.3 Έλλειψη Παγιωμένων Προτύπων και Νομοθετικών Απαιτήσεων	35
4.3 Περιορισμοί.....	36
4.3.1 Κανονιστικές Επιταγές (IMO, SOLAS, STCW).....	36
4.3.2 Ενδοεταιρικές Πολιτικές των Ναυτιλιακών Εταιρειών	36
4.4 Ενδεικτική Αποτίμηση και Μελλοντικές Προοπτικές	37
4.5 Επίλογος Κεφαλαίου	38
Κεφάλαιο 5. Προτάσεις για Βελτιστοποίηση.....	39
5.1 Αρχιτεκτονική Ενός Ενιαίου Συστήματος	39
5.1.1 Διάγραμμα και Βασικοί Άξονες της Λειτουργικής Διασύνδεσης.....	39
5.2 Εφαρμογές	42
5.2.1 Αυτόματη Δημιουργία Αναφορών	42
5.2.2 Βελτιστοποίηση Κατανάλωσης Καυσίμου μέσω Ανάλυσης Δεδομένων σε Πραγματικό Χρόνο	43
5.2.3 Συστήματα Πρόγνωσης Βλαβών (Predictive Maintenance) και Αξιοποίησή τους	44

5.3 Πλεονεκτήματα και Οφέλη	44
5.3.1 Οικονομικές και Λειτουργικές Αποδόσεις	45
5.3.2 Ενίσχυση Ασφάλειας και Ελαχιστοποίηση Ανθρώπινων Σφαλμάτων	45
5.3.3 Δυναμική Αναβάθμιση και Προσθήκη Μελλοντικών Τεχνολογιών	46
5.4 Συνολική Αξιολόγηση και Επίλογος Κεφαλαίου	47
Κεφάλαιο 6. Ασφάλεια και Αξιοπιστία	49
6.1 Κίνδυνοι και Απειλές	49
6.1.1 Πιθανά Σενάρια Κυβερνοεπιθέσεων.....	50
6.1.2 Ασυμβατότητες Λογισμικού και Βλάβες Υλικού	50
6.1.3 Ανθρώπινος Παράγοντας (Μη Εξειδικευμένοι Χειριστές, Ελλιπής Εκπαίδευση)	51
6.2 Μέτρα Ασφαλείας.....	52
6.2.1 Κρυπτογράφηση Δεδομένων, Έλεγχος Πρόσβασης και Firewall Ναυτιλίας... ..	52
6.2.2 Συνεχής Παρακολούθηση και Ενημέρωση Λογισμικών (Patching)	53
6.2.3 Στρατηγικές Ανθεκτικότητας (FaultTolerance) και Εφεδρικά Συστήματα (Backup).....	54
6.3 Αξιοπιστία.....	55
6.3.1 Κριτήρια Επιλογής Αξιόπιστου Εξοπλισμού και Πρωτοκόλλων (MTBF)	55
6.3.2 Προληπτική Συντήρηση και Διαδικασίες Ελέγχου Ποιότητας	56
6.3.3 Βελτίωση της Προσβασιμότητας σε Περιπτώσεις Έκτακτης Ανάγκης	56
6.4 Συμπέρασμα: Ολιστική Προσέγγιση για Ασφάλεια και Αξιοπιστία	57
Κεφάλαιο 7. Νομικό Πλαίσιο και Κανονισμοί	59
7.1 Ισχύον Νομοθετικό Πλαίσιο	59
7.1.1 Διεθνείς Οργανισμοί (IMO, SOLAS) και Σχετικές Αποφάσεις.....	60
7.1.2 Εθνικές Νομοθεσίες και Αποκλίσεις Ανά Σημαία Πλοίου	61
7.2 Απαιτήσεις των Νηογνώμωνων.....	62
7.2.1 Κύριοι Νηογνώμονες (π.χ. DNV, Lloyd'sRegister) και οι Απαιτήσεις τους για την Ασφάλεια και τη Διασύνδεση.....	62

7.2.2 Διαφορές στις Διαδικασίες Πιστοποίησης.....	63
7.3 Προοπτικές για Μελλοντικές Αλλαγές	64
7.3.1 Αναμενόμενη Εξέλιξη Διεθνών Κανονισμών με Βάση τις Τεχνολογικές Εξελίξεις	64
7.3.2 Επιπτώσεις των Αλλαγών στις Ναυτιλιακές Επιχειρήσεις (π.χ. Οικονομικές, Οργανωτικές)	65
7.4 Κριτική Επισκόπηση και Συμπεράσματα	66
Κεφάλαιο 8. Συμπεράσματα.....	68
8.1 Συνοπτική Παρουσίαση των Κυριότερων Σημείων	68
8.2 Αποτίμηση της Συμβολής της Εργασίας	70
8.3 Επισήμανση Περιορισμών της Μελέτης.....	71
8.4 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα.....	72
8.5 Τελική Επισκόπηση: Από τον Ψηφιακό Μετασχηματισμό στην Ολοκληρωμένη Ναυτιλία	74
8.6 Συνολική Επισκόπηση και Τελικό Σχόλιο	75
Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	78

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Σύντομη Παρουσίαση του ECDIS

Η ψηφιακή μετάβαση στη ναυτιλιακή βιομηχανία, η οποία ενισχύθηκε σημαντικά κατά τις τελευταίες δεκαετίες, ανέδειξε τη σπουδαιότητα των ηλεκτρονικών συστημάτων πλοήγησης και έθεσε τις βάσεις για την ευρεία εφαρμογή του ECDIS (Electronic Chart Display and Information System). Το ECDIS, ως ηλεκτρονικό σύστημα απεικόνισης ναυτικών χαρτών, αντικατέστησε σε μεγάλο βαθμό την παραδοσιακή χρήση χάρτινων χαρτών, προσφέροντας μεγαλύτερη ακρίβεια στη χαρτογραφική απεικόνιση και ενσωματώνοντας πληθώρα δυνατοτήτων (Bui και Nguyen, 2021). Επιπλέον, η τεχνολογία του ECDIS, η οποία έχει εξελιχθεί μέσα από διαρκείς αναβαθμίσεις και κανονιστικές ρυθμίσεις, παρέχει τη δυνατότητα συνδυασμού δεδομένων από πολλαπλές πηγές, όπως το αυτόματο σύστημα αναγνώρισης πλοίων (AIS), μετεωρολογικά δεδομένα και ραντάρ, συμβάλλοντας έτσι στην άμεση και ολοκληρωμένη ενημέρωση του πληρώματος (Mondal, 2018).

Η ιστορική αναδρομή του ECDIS μπορεί να αναζητηθεί ήδη από την εποχή που η μετάβαση από τον παραδοσιακό χάρτινο χάρτη σε ηλεκτρονικές μορφές άρχισε να θεωρείται εφικτή, χάρη στις προόδους στις τεχνολογίες GIS και στις εφαρμογές χωρικής πληροφορίας (Lawson, 2018). Αρχικώς, υπήρχε επιφυλακτικότητα ως προς την αξιοπιστία των ηλεκτρονικών χαρτών, ιδιαίτερα λόγω του κόστους εγκατάστασης και της ανάγκης εκπαίδευσης του πληρώματος. Παρ' όλα αυτά, η δυναμική απεικόνιση πληροφοριών, οι δυνατότητες αυτόματων συναγερμών για πιθανό κίνδυνο προσάραξης και η ενσωμάτωση πρόσθετων δεδομένων ναυσιπλοΐας έπεισαν σταδιακά τις ναυτιλιακές εταιρείες για τα οφέλη του ECDIS (DNV, 2020). Επιπλέον, με την πάροδο του χρόνου και τις κατευθυντήριες οδηγίες του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO), το ECDIS απέκτησε κανονιστική υπόσταση, ιδίως μέσω της Συνθήκης SOLASIMO (1974), η οποία σταδιακά ενίσχυσε την υποχρεωτική του χρήση για διάφορες κατηγορίες ποντοπόρων πλοίων (IMO, 1974).

Η βασική λειτουργικότητα του ECDIS προϋποθέτει την ύπαρξη ηλεκτρονικών ναυτικών χαρτών (ENCs) ή raster χαρτών (RNCs), πάνω στους οποίους απεικονίζονται σε πραγματικό χρόνο η θέση του πλοίου, οι ακτογραμμές, οι πιθανές ξέρες, καθώς και άλλες κρίσιμες πληροφορίες για την ασφαλή ναυσιπλοΐα (IMO, 2021). Παράλληλα, το σύστημα

διαθέτει ενσωματωμένους μηχανισμούς συναγερμών (π.χ. για αβαθή νερά ή επικίνδυνα σημεία) και επιτρέπει την αυτόματη καταγραφή διαφόρων παραμέτρων, όπως η ταχύτητα, η πορεία και οι καιρικές συνθήκες (Dion και Alexander, 1998). Συνεπώς, το ECDIS δεν λειτουργεί απλώς ως ψηφιακός χάρτης· αντιθέτως, προσφέρει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον πλοήγησης, το οποίο επιτρέπει την ταχεία λήψη αποφάσεων, τη βελτιστοποίηση της διαδρομής και τη μείωση του ανθρώπινου σφάλματος (Weintrit, 2011).

Η συμβολή του ECDIS στη βελτίωση της ασφάλειας ναυσιπλοΐας θεωρείται καθοριστική, διότι ο συνδυασμός ακριβών γεωγραφικών δεδομένων με αισθητήρες τελευταίας γενιάς ελαχιστοποιεί το περιθώριο λανθασμένων υπολογισμών θέσης ή καθυστερημένης ανίχνευσης κινδύνων (Lund et al., 2018). Στο παρελθόν, οι ναυτικοί όφειλαν να προβαίνουν σε χειρωνακτικές μετρήσεις και να εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την εμπειρία και τη διαίσθησή τους. Με την εισαγωγή του ECDIS, η πλοήγηση απέκτησε πιο αντικειμενικό χαρακτήρα, καθώς οι πληροφορίες προβάλλονται σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας ακριβέστερες και συχνά αυτοματοποιημένες υποδείξεις (Lawson, 2018). Επομένως, τα οφέλη στον τομέα της ασφάλειας είναι διπλά: από τη μια μειώνεται η πιθανότητα ανθρώπινου λάθους και από την άλλη διευκολύνεται η διαρκής επιτήρηση των συνθηκών ναυσιπλοΐας.

1.2 Συστήματα Διοίκησης Πλοίου

Παράλληλα με το ECDIS, τα συστήματα διοίκησης πλοίου έχουν εξελιχθεί σε κρίσιμους πυλώνες της σύγχρονης ναυτιλίας. Με τον όρο «συστήματα διοίκησης πλοίου» περιγράφεται ένα ευρύ φάσμα υποσυστημάτων που επιτελούν λειτουργίες ελέγχου, παρακολούθησης και διαχείρισης διαφόρων παραμέτρων εντός του πλοίου (Bhardwaj, 2013). Σε αυτά περιλαμβάνονται, μεταξύ άλλων, τα συστήματα μηχανής (για την παρακολούθηση της απόδοσης των κύριων και βοηθητικών μηχανών), τα συστήματα επικοινωνίας (για τη μετάδοση δεδομένων τόσο εσωτερικά όσο και προς την ξηρά), οι αυτοματισμοί (για τον έλεγχο της ισχύος, της τροφοδοσίας και της διαχείρισης φορτίου), καθώς και συστήματα υποστήριξης διοικητικών διαδικασιών.

Οι βασικοί τύποι των συστημάτων αυτών ποικίλλουν ανάλογα με το μέγεθος και τον τύπο του πλοίου, καθώς και τις απαιτήσεις της ναυτιλιακής επιχείρησης (Weintrit και FRIN, 2016). Για παράδειγμα, ένα δεξαμενόπλοιο ενδέχεται να χρησιμοποιεί προηγμένα συστήματα ελέγχου για τη φόρτωση και εκφόρτωση επικίνδυνων υγρών, ενώ ένα πλοίο

μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων μπορεί να εστιάζει στη βέλτιστη κατανομή του φορτίου και στην ακριβή πρόγνωση ωρών άφιξης (ETA). Ωστόσο, κοινός παρονομαστής είναι η αυτοματοποίηση και η κεντρική εποπτεία, τα οποία μειώνουν την ανάγκη για συνεχή επέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα και ενισχύουν την αποτελεσματικότητα των επιχειρησιακών διαδικασιών (Rizzuto και Soares, 2011).

Η συμβολή των συστημάτων διοίκησης στη διαχείριση του πλοίου αποτυπώνεται σε ποικίλα επίπεδα. Σε πρώτη φάση, επιτυγχάνεται καλύτερη παρακολούθηση της λειτουργικής κατάστασης των μηχανών και των κύριων υποσυστημάτων, γεγονός που επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση βλαβών ή αποκλίσεων από τις ομαλές τιμές (Guidance Notes on Smart Function Implementation, 2018). Επιπλέον, διευκολύνεται η εξοικονόμηση καυσίμου, καθώς τα συστήματα μπορούν να ρυθμίσουν αυτόματα τη λειτουργία των μηχανών, ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες ή την επιθυμητή ταχύτητα πλεύσης (Mba, 2024). Το όφελος αυτό δεν περιορίζεται μόνο στη μείωση του κόστους· συμβάλλει παράλληλα και στη συμμόρφωση με τους ολοένα αυστηρότερους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και στις υποχρεώσεις που απορρέουν από διεθνείς συνθήκες για τη μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων (DNV, 2020).

Σημαντικό κρίνεται επίσης το γεγονός ότι τα συστήματα διοίκησης παρέχουν στον πλοίαρχο και το πλήρωμα εργαλεία για τη λήψη αποφάσεων, μέσα από την ανάλυση δεδομένων που αφορούν την κατάσταση του πλοίου, τον καιρό και τη διαθεσιμότητα λιμενικών εγκαταστάσεων (Tabish και Chaur-Luh, 2024). Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι αποφάσεις δεν βασίζονται μόνο στην εμπειρία, αλλά και σε πραγματικά στοιχεία που συγκεντρώνονται από αισθητήρες και βάσεις δεδομένων. Ακόμη, σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης (όπως πυρκαγιά εν πλω ή απρόβλεπτη βλάβη μηχανής), η ύπαρξη ολοκληρωμένων συστημάτων διοίκησης επιτρέπει την ταχύτερη και ασφαλέστερη αντίδραση, καθώς κεντρικά συστήματα ειδοποιούν το πλήρωμα για επικείμενους κινδύνους και εισηγούνται συγκεκριμένα επιχειρησιακά σενάρια (Weintrit, 2011).

1.3 Διασύνδεση ECDIS και Συστημάτων Διοίκησης

Η σύγχρονη ναυτιλία, ωστόσο, δεν επικεντρώνεται αποκλειστικά στη βέλτιστη λειτουργία κάθε συστήματος μεμονωμένα, αλλά στην ενοποιημένη διαχείριση όλων των κρίσιμων τεχνολογικών υποδομών. Στο πλαίσιο αυτό, η διασύνδεση του ECDIS με τα συστήματα διοίκησης πλοίου αποτελεί αντικείμενο αυξημένου ενδιαφέροντος, δεδομένου ότι επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων και τη δημιουργία ενός

ολοκληρωμένου περιβάλλοντος ελέγχου (Alderton και Saieva, 2013). Πιο συγκεκριμένα, οι πληροφορίες που προκύπτουν από το ECDIS (π.χ. στοιχεία πορείας, θέσης, επικείμενους κινδύνους) μπορούν να διαβιβαστούν σε άλλα συστήματα, όπως οι μηχανές, το σύστημα αυτόματης πηδαλιούχησης (autopilot) και τα συστήματα καυσίμου, ώστε να βελτιστοποιηθεί η απόδοση του πλοίου σε πραγματικό χρόνο (Mondal, 2018).

Συναφώς, η συνεργατική λειτουργία μεταξύ ECDIS και διοίκησης δημιουργεί προσδοκώμενα οφέλη τόσο σε θέματα ασφάλειας όσο και σε οικονομικό επίπεδο. Αναφορικά με την ασφάλεια, η αυτοματοποιημένη ενημέρωση των υποσυστημάτων σε περίπτωση επικείμενης κακοκαιρίας ή εμπόδιο στο δρομολόγιο του πλοίου μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο ατυχημάτων (Weintrit και FRIN, 2016). Εξίσου σημαντικό είναι το γεγονός ότι η γέφυρα ναυσιπλοΐας, μέσω του ECDIS, λαμβάνει συνεχή ροή δεδομένων για την κατάσταση των μηχανών και της πρόωσης, παρέχοντας στο πλήρωμα μια πλήρη και δυναμική εικόνα των επιχειρησιακών συνθηκών (Lawson, 2018). Από οικονομική σκοπιά, η καλύτερη διαχείριση της ισχύος και των καυσίμων μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη κατανάλωση και, κατά συνέπεια, σε χαμηλότερο λειτουργικό κόστος (Mba, 2024).

Παράλληλα, η διασύνδεση θέτει νέες απαιτήσεις σε ζητήματα κυβερνοασφάλειας και ακεραιότητας δεδομένων. Καθώς το ECDIS και τα συστήματα διοίκησης βασίζονται σε ψηφιακές πλατφόρμες και πρωτόκολλα επικοινωνίας (Ethernet, NMEA, Modbus κ.λπ.), η πιθανότητα εξωτερικών επιθέσεων ή παραβίασης ευαίσθητων πληροφοριών αυξάνεται (Weintrit, 2011). Συνεπώς, η έγκαιρη θωράκιση των δικτύων και η θέσπιση ελεγχόμενης πρόσβασης στις κεντρικές λειτουργίες της διασύνδεσης αποτελούν απαραίτητες προϋποθέσεις για την ασφαλή ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών (DNV, 2020).

1.4 Σκοπός και Ερευνητικά Ερωτήματα

Ο κεντρικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση του πώς η διασύνδεση μεταξύ ECDIS και συστημάτων διοίκησης πλοίου δύναται να βελτιστοποιήσει την ασφάλεια και την απόδοση των ναυτιλιακών επιχειρήσεων. Με άλλα λόγια, επιδιώκεται η ανάδειξη των κύριων τεχνολογικών, οργανωτικών και κανονιστικών παραμέτρων που επηρεάζουν την επιτυχή ενσωμάτωση του ECDIS στις λοιπές υποδομές του πλοίου, καθώς και η αποτίμηση του κόστους-οφέλους που προκύπτει.

Σε αυτό το πλαίσιο, τα επιμέρους ερευνητικά ερωτήματα που θα εξεταστούν διαρθρώνονται ως ακολούθως:

1. Ποιες είναι οι τεχνικές προϋποθέσεις και τα βασικά βήματα που απαιτούνται για την αποτελεσματική διασύνδεση του ECDIS με τα συστήματα διοίκησης;
2. Με ποιους τρόπους η ολοκληρωμένη αυτή ενσωμάτωση μπορεί να ενισχύσει την ασφάλεια πλοήγησης και τη μείωση των ατυχημάτων;
3. Ποια είναι τα οργανωτικά και οικονομικά οφέλη για τις ναυτιλιακές επιχειρήσεις;
4. Πώς σχετίζεται η διασύνδεση του ECDIS με τα συστήματα διοίκησης το νομικό και κανονιστικό πλαίσιο;
5. Ποιοι είναι οι βασικοί περιορισμοί (τεχνικοί, οικονομικοί ή κανονιστικοί) που ενδέχεται να επιβραδύνουν ή να δυσχεράνουν τη μετάβαση προς ένα πλήρως διασυνδεδεμένο ναυτιλιακό οικοσύστημα;

Μέσα από τη διερεύνηση των παραπάνω ζητημάτων, επιχειρείται η συνολική αποτίμηση της σημασίας της διασύνδεσης για τη βιωσιμότητα και την καινοτομία στον ναυτιλιακό κλάδο.

1.5 Διάρθρωση της Εργασίας

Η εργασία οργανώνεται σε εννέα κεφάλαια, ανταποκρινόμενα στην πολυπλοκότητα και τη διαθεματική φύση του αντικειμένου:

- **Κεφάλαιο 1 (Εισαγωγή):** Παρουσιάζεται μια σύνοψη του θέματος, υπογραμμίζεται η σημασία και η ιστορική εξέλιξη του ECDIS, περιγράφεται ο ρόλος των συστημάτων διοίκησης και διατυπώνονται τα κεντρικά ερευνητικά ερωτήματα.
- **Κεφάλαιο 2 (Μέθοδος και Ερευνητική Προσέγγιση):** Γίνεται αναφορά στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη συγκέντρωση και αξιολόγηση της βιβλιογραφίας, καθώς και στους περιορισμούς της παρούσας έρευνας.
- **Κεφάλαιο 3 (Θεωρητικό Υπόβαθρο):** Παρουσιάζονται σε μεγαλύτερο βάθος οι τεχνολογίες ECDIS, τα συστήματα διοίκησης και οι διαθέσιμες τεχνολογίες διασύνδεσης, παρέχοντας αναλυτική βιβλιογραφική επισκόπηση.
- **Κεφάλαιο 4 (Ανάλυση των Υπαρχόντων Συστημάτων και των Προκλήσεων):** Αξιολογείται η τρέχουσα χρήση του ECDIS και καταγράφονται οι δυσκολίες που

ανακύπτουν από τη διασύνδεση, βάσει διεθνών στατιστικών, εκθέσεων και μελετών περιπτώσεων.

- **Κεφάλαιο 5 (Προτάσεις για Βελτιστοποίηση):** Παρουσιάζονται προτεινόμενα μοντέλα και αρχιτεκτονικές ενσωμάτωσης, καθώς και πρακτικές λύσεις που μπορούν να εφαρμοστούν για τη βελτιστοποίηση της ενοποίησης του ECDIS με τα διοικητικά συστήματα.
- **Κεφάλαιο 6 (Ασφάλεια και Αξιοπιστία):** Γίνεται λεπτομερής αναφορά στους κινδύνους που συνεπάγεται η διασύνδεση (π.χ. κυβερνοεπιθέσεις, ασυμβατότητες λογισμικού) και στα μέτρα που μπορούν να θωρακίσουν τα δίκτυα και τα δεδομένα.
- **Κεφάλαιο 7 (Νομικό Πλαίσιο και Κανονισμοί):** Εξετάζονται οι διεθνείς και εθνικές ρυθμίσεις, οι απαιτήσεις των νηογνωμόνων και οι μελλοντικές εξελίξεις που αφορούν τη διασύνδεση ECDIS–συστημάτων διοίκησης.
- **Κεφάλαιο 8 (Μελέτες Περίπτωσης και Βέλτιστες Πρακτικές):** Παρουσιάζονται επιλεγμένα παραδείγματα από την πράξη, αναδεικνύονται βέλτιστες πρακτικές και εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με την αποτελεσματική εφαρμογή της διασύνδεσης.
- **Κεφάλαιο 9 (Συμπεράσματα):** Γίνεται συνοπτική επισκόπηση των βασικών ευρημάτων, αξιολογείται η συμβολή της έρευνας και διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω μελέτη.

Κατ’ αυτόν τον τρόπο, η διάρθρωση της εργασίας διασφαλίζει μια οργανωμένη και εξελικτική προσέγγιση στο ζήτημα της διασύνδεσης ECDIS–συστημάτων διοίκησης, επιτρέποντας στον αναγνώστη να κατανοήσει τόσο τις τεχνικές και λειτουργικές λεπτομέρειες όσο και τις ευρύτερες στρατηγικές και κανονιστικές προεκτάσεις. Επιπλέον, τα κεφάλαια αποτελούν έναν ολοκληρωμένο οδηγό για όσους επιθυμούν να εμβαθύνουν στις προκλήσεις και στις ευκαιρίες που αναδύονται από την τεχνολογική ενσωμάτωση στη ναυτιλία.

Κεφάλαιο 2. Μέθοδος και Ερευνητική Προσέγγιση

2.1 Φύση και Σκοπός της Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης

Η παρούσα εργασία υιοθετεί μια μη συστηματική, αλλά συγκεντρωτική βιβλιογραφική ανασκόπηση, με στόχο την κριτική διερεύνηση των υπάρχουσών μελετών που σχετίζονται με την ενοποίηση του ECDIS και των συστημάτων διοίκησης πλοίου. Η συγκεκριμένη μεθοδολογική επιλογή βασίστηκε στην ανάγκη να προσεγγιστεί το θέμα από πολλαπλές οπτικές γωνίες, συνδυάζοντας ευρήματα από επιστημονικές δημοσιεύσεις, τεχνικές αναφορές, οδηγίες διεθνών οργανισμών και εταιρικές εκθέσεις (Bui και Nguyen, 2021). Σε αντίθεση με μια τυπική συστηματική ανασκόπηση, όπου θα ακολουθείτο ένα αυστηρό πρωτόκολλο (π.χ. PRISMA) για την επιλογή των πηγών, στη μη συστηματική ανασκόπηση δίνεται έμφαση στη μεγαλύτερη ευελιξία και στην ενσωμάτωση υλικού διαφορετικής προέλευσης (Dion και Alexander, 1998).

Ο σκοπός αυτής της προσέγγισης έγκειται στην ανάδειξη όχι μόνο των τεχνολογικών πλευρών της διασύνδεσης, αλλά και των διοικητικών, οργανωτικών και κανονιστικών παραμέτρων που επηρεάζουν τη διαδικασία ενσωμάτωσης. Κατ' αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται μια πιο ευρεία καταγραφή των απόψεων και μια βαθύτερη κατανόηση του πολύ-παραγοντικού χαρακτήρα της ολοκληρωμένης ναυτιλιακής πληροφορίας (Tabish και Chaur-Luh, 2024).

2.2 Κριτήρια Επιλογής Πηγών

Η επιλογή των πηγών βασίστηκε σε τρία κύρια κριτήρια: **συνάφεια**, **εγκυρότητα** και **χρονική επικαιρότητα** (Bhardwaj, 2013). Αρχικά, η συνάφεια διασφαλίστηκε μέσω της εστίασης σε μελέτες και άρθρα που ασχολούνται ειδικά με το ECDIS, τα συστήματα διοίκησης πλοίου ή τη γενικότερη διασύνδεση τεχνολογιών στη ναυτιλία. Έμφαση δόθηκε, επίσης, σε εργασίες που πραγματεύονται τις συνέπειες των νέων τεχνολογιών στη ναυτιλιακή ασφάλεια και αποδοτικότητα. Δεύτερον, η εγκυρότητα αξιολογήθηκε με βάση τη φήμη και την αναγνώριση των δημοσιεύσεων (π.χ. επιστημονικά περιοδικά υψηλού κύρους, επίσημες εκθέσεις IMO), καθώς και μέσω της συχνότητας παραπομπών σε αυτές από άλλους ερευνητές (Lawson, 2018). Τρίτον, η χρονική επικαιρότητα διαφυλάχθηκε, κατά κύριο λόγο, από την εστίαση σε μελέτες που έχουν δημοσιευθεί τα τελευταία 20 χρόνια, ούτως ώστε να καλύπτεται η περίοδος έντονης τεχνολογικής

μετάβασης (παρότι έγινε επιλεκτικά χρήση και παλαιότερων αναφορών, ιδίως για την παρουσίαση της ιστορικής εξέλιξης και των βασικών κανονισμών).

Στο σύνολο των πηγών, συμπεριλήφθηκαν:

1. **Επιστημονικές δημοσιεύσεις και συνεδριακές εργασίες:** Προσφέρουν συχνά λεπτομερή ανάλυση της μεθοδολογίας, περιλαμβάνοντας ποσοτικά ή ποιοτικά δεδομένα για την απόδοση του ECDIS ή των διοικητικών συστημάτων (Mba, 2024).
2. **Τεχνικές εκθέσεις διεθνών οργανισμών και νηογνωμόνων:** Ενδεικτικά, οι οδηγίες της DNV (2020) ή τα έγγραφα του IMO που αφορούν στην ασφάλεια και την πιστοποίηση ECDIS.
3. **Εταιρικές και βιομηχανικές αναφορές:** Προσφέρουν πρακτικές πληροφορίες σχετικά με την εφαρμογή, το κόστος και τις διαδικασίες συντήρησης ή αναβάθμισης των συστημάτων.
4. **Κανονιστικά κείμενα:** Όπως η Διεθνής Σύμβαση IMO (1974) και η συνθήκη STCW (IMO, 2019), που καθορίζουν θεσμικά την εκπαίδευση και τις υποχρεώσεις ασφάλειας στη ναυτιλία.

2.3 Διαδικασία Συλλογής Δεδομένων

Η αναζήτηση των πηγών πραγματοποιήθηκε μέσω αξιόπιστων βάσεων δεδομένων (Scopus, Web of Science, Google Scholar), όπου εφαρμόστηκαν συγκεκριμένες λέξεις-κλειδιά, όπως “ECDIS integration”, “ship management systems”, “maritime navigation interoperability” και “cyber security in maritime systems” (Lund et al., 2018). Σε δεύτερη φάση, έγινε διαχωρισμός των ευρημάτων σε επιμέρους θεματικές κατηγορίες (π.χ. τεχνολογική διάσταση, οργανωτική διάσταση, κυβερνοασφάλεια, κανονιστικά πλαίσια), ώστε να σχηματιστεί μια δομημένη εικόνα των διαφορετικών πλευρών του ζητήματος (Weintrit, 2011). Παράλληλα, ελήφθη υπόψη η σημασία της «γκρίζας» βιβλιογραφίας (grey literature), συμπεριλαμβανομένων των επίσημων ανακοινώσεων από οργανισμούς όπως ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) και οι νηογνώμονες, δεδομένου ότι συχνά εμπεριέχουν καταγεγραμμένα περιστατικά και βέλτιστες πρακτικές (Alderton και Saieva, 2013).

Κατά την αξιολόγηση και την οργάνωση των πηγών, ακολουθήθηκε μια κριτική προσέγγιση, η οποία απέβλεπε στην επισήμανση πιθανών κενών ή αντικρουόμενων

συμπερασμάτων στην υπάρχουσα βιβλιογραφία (Guidance Notes on Smart Function Implementation, 2018). Για παράδειγμα, ορισμένες μελέτες τόνισαν τα άμεσα οφέλη της διασύνδεσης ECDIS-διοίκησης στην αποδοτικότητα, ενώ άλλες εστίασαν περισσότερο στους κινδύνους κυβερνοασφάλειας και στις επιπλέον απαιτήσεις συντήρησης (Mondal, 2018). Αυτή η πολυεπίπεδη θεώρηση κρίθηκε απαραίτητη προκειμένου να αναδειχθεί το πολύπλοκο πλαίσιο εντός του οποίου λαμβάνεται η απόφαση για ενσωμάτωση των σχετικών τεχνολογιών.

2.4 Περιορισμοί Μεθόδου

Παρά τις προσπάθειες για μια όσο το δυνατόν πληρέστερη κάλυψη, αναγνωρίζονται ορισμένοι περιορισμοί που ενδέχεται να επηρεάσουν τα τελικά συμπεράσματα της εργασίας. Πρώτον, η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση δεν ακολουθεί αυστηρά κάποιο αναγνωρισμένο μοντέλο συστηματικής ανασκόπησης, γεγονός που σημαίνει ότι κάποια δυνητικά συναφή άρθρα ενδέχεται να μην έχουν εντοπιστεί (Dion και Alexander, 1998). Δεύτερον, υπήρξαν αντικειμενικοί περιορισμοί πρόσβασης σε κλειστές ή εξειδικευμένες βάσεις δεδομένων, αλλά και σε εμπιστευτικές εταιρικές εκθέσεις που αφορούν επενδύσεις σε ναυτιλιακά συστήματα (Weintrit, 2011). Τρίτον, η ίδια η φύση της τεχνολογίας είναι δυναμική: το ECDIS και τα διοικητικά συστήματα βελτιώνονται και αναβαθμίζονται σε τακτική βάση, ενώ οι νεότερες εκδόσεις λογισμικού ή οι νέες γενιές αισθητήρων μπορεί να μην έχουν ακόμη αποτυπωθεί εκτενώς στη βιβλιογραφία (DNV, 2020).

Επιπλέον, πρέπει να συνεκτιμηθεί ότι η παρούσα εργασία δεν περιλαμβάνει πρωτογενή συλλογή δεδομένων (π.χ. συνεντεύξεις με ναυτικούς ή μελετητές), αλλά στηρίζεται σε δευτερογενείς πηγές. Συνεπώς, τα συμπεράσματα βασίζονται στην αξιοπιστία και την πληρότητα των πληροφοριών που παρέχουν αυτές οι πηγές (Mondal, 2018). Επίσης, η ετερόκλητη φύση των διαθέσιμων μελετών (μεταξύ ακαδημαϊκών άρθρων, εκθέσεων βιομηχανίας και κανονιστικών κειμένων) καθιστά δύσκολη την απόλυτη τυποποίηση των αποτελεσμάτων. Για παράδειγμα, ορισμένες βιομηχανικές αναφορές τονίζουν τα επιτυχημένα παραδείγματα διασύνδεσης, χωρίς όμως να παρέχουν λεπτομερή στατιστικά στοιχεία, ενώ τα επιστημονικά άρθρα μπορεί να επικεντρώνονται σε συγκεκριμένες τεχνολογικές λεπτομέρειες και να παραβλέπουν τις οργανωτικές πτυχές (Lawson, 2018).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι οι κανονιστικές εξελίξεις επηρεάζουν ιδιαίτερα τον ρυθμό υιοθέτησης του ECDIS και των συστημάτων διοίκησης. Η έμφαση που δίδεται από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό ή από επιμέρους εθνικές αρχές (π.χ. αυστηρότεροι κανονισμοί κυβερνοασφάλειας) ενδέχεται να μεταβάλλεται αρκετά γρήγορα, καθιστώντας την επικαιροποίηση των συμπερασμάτων απαραίτητη σε βάθος χρόνου (IMO, 2021).

Παρά τους ανωτέρω περιορισμούς, η επιλεγμένη μεθοδολογία κρίθηκε κατάλληλη, επειδή επιτρέπει μια ευέλικτη και πολύ-επίπεδη προσέγγιση. Η έρευνα δεν περιορίζεται σε ένα μόνο τύπο πηγών, αλλά επιχειρεί να συνθέσει πληροφορίες από τον ακαδημαϊκό χώρο, από βιομηχανικές πρακτικές και από κανονιστικά κείμενα, καταδεικνύοντας τη διαθεματική φύση του υπό εξέταση θέματος (Rizzuto και Soares, 2011). Στα επόμενα κεφάλαια, η ανάλυση των στοιχείων που προέκυψαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση εστιάζει στην ανάδειξη των κρίσιμων θεματικών, όπως η θεωρητική κάλυψη των τεχνολογιών (Κεφάλαιο 3), η διερεύνηση των υπαρχόντων συστημάτων και των δυσκολιών υλοποίησής τους (Κεφάλαιο 4), καθώς και η διαμόρφωση προτάσεων, λαμβάνοντας υπόψη τις προκλήσεις ασφαλείας και τις νομικές επιταγές (Κεφάλαια 5, 6, 7).

Με αυτόν τον τρόπο, η παρούσα εργασία επιδιώκει να καλύψει ολιστικά το θέμα της διασύνδεσης ECDIS και συστημάτων διοίκησης, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη επισκόπηση που μπορεί να αξιοποιηθεί από ερευνητές, στελέχη ναυτιλιακών εταιρειών και λοιπούς ενδιαφερόμενους φορείς. Η έμφαση στην τεχνολογική, οργανωτική και ρυθμιστική διάσταση του ζητήματος αναμένεται να συμβάλει στη βαθύτερη κατανόηση των παραγόντων που καθορίζουν την επιτυχή ενσωμάτωση, ενώ παράλληλα φωτίζει τις δυνητικές δυσκολίες που ίσως χρειαστεί να αντιμετωπιστούν σε επιχειρησιακό επίπεδο (Alderton και Saieva, 2013). Κατ' αυτό τον τρόπο, καταδεικνύεται ο πολυσχιδής χαρακτήρας της έρευνας, ο οποίος δεν εγκλωβίζεται σε μια μονοδιάστατη προσέγγιση, αλλά επιτρέπει τη σύνθεση διαφορετικών επιστημονικών και πρακτικών οπτικών.

Κεφάλαιο 3. Θεωρητικό Υπόβαθρο

Το παρόν κεφάλαιο εστιάζει στην εκτενή παρουσίαση του θεωρητικού πλαισίου που σχετίζεται με το ECDIS (Electronic Chart Display and Information System), τα συστήματα διοίκησης πλοίου και τις τεχνολογίες διασύνδεσης. Η ανάλυση των παραπάνω αντικειμένων κρίνεται ιδιαιτέρως σημαντική, καθώς προετοιμάζει το έδαφος για την εξέταση των προκλήσεων και των βέλτιστων πρακτικών που θα συζητηθούν στα επόμενα κεφάλαια. Στην ενότητα που ακολουθεί, θα παρουσιαστούν (α) τα είδη ηλεκτρονικών χαρτών και οι βασικές τυποποιήσεις, (β) οι λειτουργικές δυνατότητες του ECDIS, (γ) τα συστήματα διοίκησης πλοίου και η συμβολή τους στην εύρυθμη λειτουργία, καθώς και (δ) οι κύριες τεχνολογίες διασύνδεσης που επιτρέπουν την ολοκληρωμένη ενοποίηση των υποσυστημάτων. Στη συνέχεια, θα αναλυθούν τα πλεονεκτήματα της συνεργασίας μεταξύ ECDIS και συστημάτων διοίκησης, προκειμένου να καταδειχθεί ο βαθμός στον οποίο η διασύνδεση μπορεί να ενισχύσει την ασφάλεια και την αποδοτικότητα στη ναυτιλία.

3.1 ECDIS

Η ανάπτυξη του ECDIS αναδείχθηκε ως απάντηση στη διαρκή ανάγκη των ναυτιλιακών επιχειρήσεων για αυξημένη ασφάλεια και καλύτερη αξιοποίηση της τεχνολογίας στην πλοήγηση (Korevanon, 2024). Ενώ παλαιότερα η χρήση έντυπων χαρτών ήταν ο κανόνας, με τα σχετικά μειονεκτήματα της χειροκίνητης ενημέρωσης και της περιορισμένης ακρίβειας, η μετάβαση σε ηλεκτρονικά συστήματα προέκυψε ως φυσικό επακόλουθο της γενικότερης ψηφιακής επανάστασης (Brčić et al., 2019). Ωστόσο, η ενσωμάτωση του ECDIS στη ναυτιλιακή πρακτική δεν ήταν απλώς θέμα αντικατάστασης του χαρτιού με μια οθόνη· απαιτούσε την ανάπτυξη τυποποιημένων μορφών ηλεκτρονικών χαρτών, τη συμμόρφωση με διεθνείς κανονισμούς, καθώς και τη διασύνδεση με συστήματα αισθητήρων και δικτύων που παρέχουν τα απαραίτητα δεδομένα (Potamos, Stavrou και Stavrou, 2024).

3.1.1 Είδη Ηλεκτρονικών Χαρτών και Τυποποιήσεις

Οι ηλεκτρονικοί χάρτες (Electronic Navigational Charts – ENC) αποτελούν τον θεμέλιο λίθο του ECDIS, καθώς προσφέρουν την απαραίτητη χαρτογραφική πληροφορία σε ψηφιακή μορφή. Οι ENC σχεδιάζονται σύμφωνα με συγκεκριμένες προδιαγραφές που ορίζει ο Διεθνής Υδρογραφικός Οργανισμός (IHO), διασφαλίζοντας ότι οι χάρτες

περιέχουν τα απαραίτητα στρώματα δεδομένων και ότι μπορούν να ανανεώνονται τακτικά μέσω ενημερώσεων (IHO, 2000). Η δομή τους περιλαμβάνει όχι μόνο γεωγραφικά στοιχεία (όπως ακτογραμμές και βαθυμετρικά δεδομένα), αλλά και συμπληρωματικές πληροφορίες (λ.χ. σήμανση φάρων, όρια προστατευόμενων ζωνών), οι οποίες είναι απαραίτητες για την ορθή πλοήγηση (Tabish και Chaur-Luh, 2024).

Παράλληλα με τους ENCs, στην αγορά διατίθενται και οι λεγόμενοι RNCs (Raster Navigational Charts), οι οποίοι αποτελούν ψηφιακά αντίγραφα συμβατικών χαρτών σε μορφή raster (IHO, 2021). Αν και οι RNCs μπορεί να θεωρηθούν τεχνολογικά παρωχημένοι σε σύγκριση με τους ENCs –ιδίως διότι δεν προσφέρουν διανυσματική πληροφορία που να επιτρέπει την αλληλεπίδραση– εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σε αρκετές περιπτώσεις, ιδίως όταν δεν είναι διαθέσιμοι υψηλής ανάλυσης ENCs για συγκεκριμένες περιοχές (Mišković et al., 2023). Ωστόσο, η τρέχουσα διεθνής τάση ευνοεί σαφώς τη χρήση ENCs λόγω της βελτιωμένης ακρίβειας, της δυνατότητας συνεχούς ενημέρωσης και της συμβατότητάς τους με προηγμένες λειτουργίες ECDIS (Androjna et al., 2021).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ύπαρξη διεθνών τυποποιήσεων (όπως το S-57 και το νεότερο S-100) εγγυάται την παγκόσμια διαλειτουργικότητα των ηλεκτρονικών χαρτών (IHO, 2000). Επομένως, τα διαφορετικά συστήματα ECDIS, ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή, μπορούν να διαβάζουν και να προβάλλουν τα ίδια δεδομένα, διευκολύνοντας την ομοιογενή χρήση τους σε πολυεθνικές ναυτιλιακές εταιρείες (Krile, Kezić και Dimc, 2013). Επιπλέον, η συνεχής βελτίωση των προτύπων (λ.χ. η μετάβαση προς το S-100) ενσωματώνει νέες κατηγορίες δεδομένων (όπως οι ψηφιακές παλίρροιες ή οι μετεωρολογικές προγνώσεις), καθιστώντας το ηλεκτρονικό περιβάλλον πλοήγησης ολοένα και πιο ολοκληρωμένο (Dias, 2023).

3.1.2 Λειτουργικές Δυνατότητες του ECDIS

Πέραν του βασικού ρόλου του στην απεικόνιση χαρτών, το ECDIS διαθέτει ένα πλήθος λειτουργικών δυνατοτήτων που βελτιώνουν σημαντικά την ποιότητα και την ταχύτητα των ναυτιλιακών αποφάσεων. Σε αυτές περιλαμβάνεται η ενσωμάτωση δεδομένων από συστήματα αυτόματης αναγνώρισης πλοίων (AIS), ραντάρ και μετεωρολογικούς σταθμούς, δημιουργώντας ένα ενιαίο περιβάλλον συγκεντρωτικής παρακολούθησης (Nelson and Roberts, 2021). Σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της ενοποίησης συνιστά η αυτόματη δημιουργία συναγερμών (λ.χ. για την πιθανότητα σύγκρουσης ή προσάραξης),

καθώς το ECDIS συγκρίνει την προγραμματισμένη πορεία με τα δεδομένα του περιβάλλοντος και ειδοποιεί το πλήρωμα για αποκλίσεις (Androjna et al., 2020).

Επιπρόσθετα, τα περισσότερα συστήματα ECDIS προσφέρουν δυνατότητες καταγραφής και αναπαραγωγής (record and playback), καθιστώντας εφικτή την ανάλυση συμβάντων ή τη μελέτη προηγούμενων διαδρομών (Brčić et al., 2019). Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι ναυτικοί και οι διαχειριστές πλοίων αποκτούν τη δυνατότητα να εξετάζουν εκ των υστέρων περιστατικά που παρουσιάζουν επιχειρησιακό ή εκπαιδευτικό ενδιαφέρον (π.χ. κοντινές διελεύσεις), με στόχο τη βελτίωση των μελλοντικών πρακτικών (Korevanon, 2024). Ένα ακόμη κρίσιμο σημείο συνιστά η προσαρμογή των παραμέτρων ασφάλειας (safety parameters), όπως το ελάχιστο ασφαλές βάθος ή οι αποστάσεις ασφαλείας σε περιοχές μεγάλης κίνησης, προκειμένου να ταιριάζουν στα χαρακτηριστικά κάθε τύπου πλοίου (Kristić et al., 2021).

3.1.3 Τεχνολογική Εξέλιξη και Μελλοντικές Τάσεις

Η τεχνολογική εξέλιξη του ECDIS συνοδεύεται από τη διαρκή ανάπτυξη συμπληρωματικών λογισμικών και εφαρμογών, με κύριο στόχο την περαιτέρω αυτοματοποίηση της πλοήγησης (Hareide, 2013). Για παράδειγμα, εξελίσσονται συστήματα που αφορούν τη βελτιστοποίηση της πορείας (route optimization) βάσει οικονομικών και περιβαλλοντικών κριτηρίων, τα οποία αξιοποιούν σε πραγματικό χρόνο δεδομένα για τον καιρό, τα θαλάσσια ρεύματα και την κίνηση άλλων πλοίων (Lu et al., 2023). Παράλληλα, η ανάπτυξη του Internet of Things (IoT) και των Big Data στην ναυτιλία διανοίγει νέες προοπτικές για την εμπλουτισμένη συλλογή και ανάλυση δεδομένων, με αποτέλεσμα να καθίσταται εφικτή η εφαρμογή τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης σε τακτική βάση (Orlandi et al., 2021).

Ωστόσο, ορισμένοι μελετητές επισημαίνουν ότι η ψηφιακή μετάβαση συνεπάγεται και μεγαλύτερες προκλήσεις, όπως η κυβερνοασφάλεια και η αυξημένη εξάρτηση από την αδιάλειπτη λειτουργία των ηλεκτρονικών συστημάτων (Li et al., 2024). Σύμφωνα με Li et al. (2023), η μελλοντική έρευνα θα επικεντρωθεί στη διαμόρφωση ανθεκτικών δικτύων και στις λύσεις «αυτοθεραπείας» (self-healing), προκειμένου το ECDIS να παραμένει λειτουργικό ακόμη και κάτω από συνθήκες σφάλματος ή στοχευμένης επίθεσης. Επιπροσθέτως, η τάση για αυτόνομα πλοία (autonomous ships) καθιστά το ECDIS βασικό κόμβο στη ροή των πληροφοριών, καθώς αποτελεί την κύρια πηγή γεωγραφικής και περιβαλλοντικής γνώσης για τα συστήματα αυτόνομης ναυτιλίας (Shah, 2024).

3.2 Συστήματα Διοίκησης Πλοίου

Τα συστήματα διοίκησης πλοίου (Ship Management Systems) αποτελούν την κεντρική «νοημοσύνη» των σύγχρονων πλοίων, συνδέοντας λειτουργίες που αφορούν το μηχανοστάσιο, τα καύσιμα, τις επικοινωνίες, αλλά και επιμέρους τομείς, όπως η διαχείριση φορτίου ή οι αυτοματισμοί (Vickers et al., 2021). Η ποικιλομορφία των συστημάτων διοίκησης αντανακλά τις σύνθετες απαιτήσεις ενός πλοίου, το οποίο οφείλει να λειτουργεί ως ένας αυτοτελής οργανισμός, ικανός να ανταπεξέλθει σε διαφορετικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων ακραίων καιρικών φαινομένων ή έκτακτων βλαβών (Roberts, 2008).

3.2.1 Κατηγοριοποίηση των Επιμέρους Υποσυστημάτων

Η κατηγοριοποίηση των υποσυστημάτων διοίκησης ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου και τη φύση της δραστηριότητάς του, αλλά, γενικά, μπορεί να γίνει ένας διαχωρισμός σε τέσσερις κύριες ομάδες: (α) συστήματα μηχανοστασίου, (β) συστήματα διαχείρισης καυσίμων, (γ) συστήματα επικοινωνιών και (δ) συστήματα αυτοματισμού (Kolios, 2024). Τα συστήματα μηχανοστασίου περιλαμβάνουν τη συνεχή παρακολούθηση και τον έλεγχο των κύριων και βοηθητικών μηχανών, του συστήματος πρόωσης, αλλά και των βοηθητικών εγκαταστάσεων (π.χ. αντλίες, κλιματισμός). Αντίστοιχα, τα συστήματα διαχείρισης καυσίμων επιβλέπουν τη μέτρηση των καυσίμων, τη ροή τους και τη βέλτιστη κατανομή τους, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση με ελάχιστη κατανάλωση (Orciuolo et al., 2024).

Όσον αφορά τα συστήματα επικοινωνιών, η ανάπτυξη δορυφορικών συνδέσεων υψηλής ταχύτητας επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μεταξύ πλοίου και χερσαίων σταθμών ελέγχου, υποστηρίζοντας τη στρατηγική λειτουργία της εταιρείας (Wang, Xiao και Chen, 2024). Τέλος, τα συστήματα αυτοματισμού καλύπτουν μια πληθώρα διεργασιών, από τον αυτόματο πιλότο (autopilot) μέχρι την αυτοματοποιημένη παρακολούθηση της κατάστασης του φορτίου, διασφαλίζοντας ότι οι απαιτούμενες ρυθμίσεις εκτελούνται ταχέως και με ακρίβεια (Madsen, 2024).

3.2.2 Ρόλος Στην Ομαλή Λειτουργία και Ασφάλεια του Πλοίου

Η εύρυθμη λειτουργία των συστημάτων διοίκησης θεωρείται καταλυτική για τη γενικότερη επιχειρησιακή συνέχεια, αλλά και για την ασφάλεια του πλοίου (Ford, Housel και Mun, 2012). Δεδομένου ότι το πλήρωμα βασίζεται πλέον σε ψηφιακά εργαλεία για μια

πληθώρα εργασιών (λ.χ. έγκαιρη πρόγνωση βλαβών, καταγραφή θερμοκρασιών στα μηχανοστάσια, έλεγχος πίεσης καυσίμων), η αξιοπιστία των συστημάτων αυτών συμβάλλει αποφασιστικά στη μείωση του ανθρώπινου σφάλματος (Xu et al., 2021). Επιπλέον, όταν τα υποσυστήματα λειτουργούν σε συνάρτηση με τους αισθητήρες του ECDIS (όπως AIS και ραντάρ), το πλήρωμα μπορεί να αποκτήσει συνολική εικόνα της κατάσταση του πλοίου, τόσο σε σχέση με το περιβάλλον (π.χ. καιρός, άλλα πλοία) όσο και στο εσωτερικό του (π.χ. στάθμες δεξαμενών, απόδοση μηχανών) (Pollari, 2018).

Σε επιχειρησιακό επίπεδο, η ύπαρξη ολοκληρωμένων συστημάτων διοίκησης υποστηρίζει την τήρηση κανονισμών (λ.χ. SOLAS, MARPOL) μέσω αυτοματοποιημένης καταγραφής κρίσιμων παραμέτρων, όπως η εκπομπή ρύπων ή η διαχείριση αποβλήτων (Hansson and Wilkens, 2022). Κατ' αυτόν τον τρόπο, η πλοιοκτήτρια εταιρεία όχι μόνο ενισχύει την ασφάλεια του πλοίου, αλλά διασφαλίζει και τη συμμόρφωσή της με τους ολοένα αυστηρότερους διεθνείς κανόνες, αποφεύγοντας δυνητικά πρόστιμα ή κυρώσεις (Claramunt et al., 2017).

3.2.3 Επίδραση των Ολοκληρωμένων Συστημάτων στη Λήψη Αποφάσεων του Πληρώματος

Η διαθεσιμότητα μεγάλου όγκου δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, σε συνδυασμό με την αυτοματοποίηση, αλλάζει ριζικά τον τρόπο λήψης αποφάσεων επί του πλοίου (Guo et al., 2024). Ενώ παλαιότερα ο πλοίαρχος βασιζόταν σε προσωπική εμπειρία και σε μη ηλεκτρονικά μέσα (π.χ. χαρτί, αναλογικά όργανα), πλέον η καθημερινή πρακτική περιλαμβάνει την αξιοποίηση εξελιγμένων αναλύσεων, προσομοιώσεων και προγνωστικών μοντέλων (Ward et al., 2020). Αυτή η μετάβαση, ωστόσο, απαιτεί και την επαρκή εκπαίδευση του πληρώματος, προκειμένου να αξιοποιείται ορθά η πληροφορία και να αποφεύγονται σφάλματα ερμηνείας (Ford, Housel και Mun, 2012).

Αν και ο υψηλός βαθμός ψηφιοποίησης συμβάλλει στη μείωση του ανθρώπινου λάθους, εντούτοις ορισμένες έρευνες επισημαίνουν τον κίνδυνο της «υπερβολικής εξάρτησης» από τα αυτόματα συστήματα, καθώς η συνεχής εμπιστοσύνη σε αυτοματοποιημένα όργανα μπορεί να υποβαθμίσει την εγρήγορση των αξιωματικών (Lee και Seppelt, 2012). Ως εκ τούτου, οι περισσότεροι νηογνώμονες και οργανισμοί εκπαίδευσης συνιστούν ότι η μετάβαση σε ολοκληρωμένα συστήματα πρέπει να συνοδεύεται από σαφή πρωτόκολλα επιθεώρησης και από διαρκή επαγρύπνηση του ανθρώπινου παράγοντα (Ford, Housel και Mun, 2012).

3.3 Τεχνολογίες Διασύνδεσης

Η αλληλεπίδραση μεταξύ ECDIS και συστημάτων διοίκησης πλοίου προϋποθέτει ένα υποστηρικτικό οικοσύστημα επικοινωνιών, όπου διαφορετικές πλατφόρμες και πρωτόκολλα μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα με ασφάλεια και αξιοπιστία (Orciuolo et al., 2024). Στα πλαίσια αυτά, η ναυτιλιακή βιομηχανία αξιοποιεί ευρέως τεχνολογίες επικοινωνίας, όπως το Ethernet, και πρωτόκολλα διασύνδεσης, συμπεριλαμβανομένων των NMEA (National Marine Electronics Association) και Modbus.

3.3.1 Δίκτυα και Πρωτόκολλα Επικοινωνίας

Το Ethernet θεωρείται ένα από τα πιο διαδεδομένα μέσα ενσύρματης επικοινωνίας, λόγω της ταχύτητας και της ευελιξίας του (Krile, Kezić και Dimc, 2013). Πολλοί κατασκευαστές ναυτιλιακού εξοπλισμού σχεδιάζουν πλέον τα συστήματά τους να βασίζονται σε Ethernet δίκτυα, επιτρέποντας την ταχύτατη μετάδοση δεδομένων από πολλαπλές πηγές. Το NMEA 0183, και η πιο πρόσφατη έκδοσή του (NMEA 2024), χρησιμοποιούνται ευρέως για την αποστολή δεδομένων όπως η θέση, η ταχύτητα και η πορεία του πλοίου (NMEA, 2019). Αυτά τα πρωτόκολλα απλουστεύουν τη διαλειτουργικότητα των συσκευών ναυσιπλοΐας, προσφέροντας ένα κοινό λεξιλόγιο για την κωδικοποίηση των ναυτιλιακών πληροφοριών (Krile, Kezić και Dimc, 2013).

Επιπλέον, το πρωτόκολλο Modbus, μολονότι προέρχεται κυρίως από τον βιομηχανικό αυτοματισμό, έχει βρει εφαρμογή και στη ναυτιλία για τη διασύνδεση αισθητήρων και συστημάτων ελέγχου (Adhane και Kim, 2017). Η απλότητα του Modbus το καθιστά κατάλληλο για την ανταλλαγή δεδομένων σε εγκαταστάσεις που απαιτούν σταθερότητα και σχετική ανοχή σε καθυστερήσεις, αν και δεν προσφέρει εγγενείς μηχανισμούς ασφαλείας (Viskyetal., 2024).

3.3.2 Πρότυπα και Διεθνείς Οδηγίες για την Ηλεκτρονική Διαλειτουργικότητα

Οι διεθνείς οδηγίες του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) και τα σχετικά πρότυπα της Διεθνούς Οργάνωσης Τυποποίησης (ISO) παρέχουν το γενικό πλαίσιο εντός του οποίου αναπτύσσονται οι τεχνολογίες διασύνδεσης (IMO, 2024). Ειδικότερα, οι τεχνικές οδηγίες της Διεθνούς Υδρογραφικής Οργάνωσης (IHO) για τους ηλεκτρονικούς χάρτες (S-57, S-100) περιέχουν επίσης προτάσεις διαλειτουργικότητας με άλλα ναυτιλιακά συστήματα, εξασφαλίζοντας ότι τα δεδομένα μπορούν να διαβιβάζονται χωρίς απώλειες ή παραμορφώσεις (IHO, 2021). Επιπλέον, το κείμενο «Guidelines for Navigation and

Information Systems» του IMO ενθαρρύνει τη χρήση κοινών προτύπων για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συσκευών ναυσιπλοΐας, προκειμένου να διασφαλίζεται ότι τα κρίσιμα δεδομένα (όπως η θέση GPS) αποστέλλονται έγκυρα και σε πραγματικό χρόνο (IMO, 2024).

Ωστόσο, διάφοροι μελετητές επισημαίνουν ότι η ποικιλομορφία των κατασκευαστών εξοπλισμού συχνά δημιουργεί ζητήματα ετερογένειας, καθώς κάθε εταιρεία δύναται να εφαρμόζει διαφορετικές τεχνικές υλοποίησης ή κλειστά ιδιόκτητα πρωτόκολλα (Tabish και Chaur-Luh, 2024). Παρά την προσπάθεια για εναρμόνιση, η επίτευξη πλήρους διαλειτουργικότητας παραμένει πρόκληση, ιδίως σε παλαιότερα πλοία που εκσυγχρονίζονται εκ των υστέρων (Mišković et al., 2023).

3.3.3 Ζητήματα Συμβατότητας, Αναβάθμισης και Επεκτασιμότητας

Η διαδικασία ολοκλήρωσης διαφόρων συστημάτων σε ένα ενιαίο δίκτυο συχνά συναντά εμπόδια που σχετίζονται με τη συμβατότητα εκδόσεων λογισμικού και υλικού, την ασφάλεια δεδομένων, καθώς και την επεκτασιμότητα των υφιστάμενων υποδομών (Roberts, 2008). Για παράδειγμα, ένα παλαιότερο ECDIS μπορεί να μη λαμβάνει ενημερώσεις για τα νεότερα πρότυπα S-100, περιορίζοντας τις δυνατότητες συνεργασίας του με τα εξελιγμένα συστήματα διοίκησης (Dias, 2023). Παράλληλα, η συνεχής ανάγκη για ενημερώσεις ασφαλείας (security patches) απαιτεί προσεκτικό συντονισμό, ώστε να μη διαταραχθεί η επιχειρησιακή ροή του πλοίου (Li et al., 2024).

Αξιοσημείωτο είναι ότι πολλοί νηογνώμονες θεσπίζουν ιδιαίτερα κριτήρια και πρωτόκολλα πιστοποίησης για την επικύρωση της ασφαλούς διασύνδεσης (Hansson and Wilkens, 2022). Εάν μια ναυτιλιακή εταιρεία επιθυμεί να αναβαθμίσει ή να επεκτείνει τα συστήματά της (π.χ. να ενσωματώσει νέους αισθητήρες), οφείλει συχνά να εξασφαλίσει ότι οι αλλαγές ικανοποιούν τις προδιαγραφές ανθεκτικότητας, επισφαλείας και λειτουργικότητας, προκειμένου να λάβει τη σχετική έγκριση (Kolios, 2024).

3.4 Πλεονεκτήματα της Διασύνδεσης

Η διασύνδεση του ECDIS με τα συστήματα διοίκησης πλοίου παρουσιάζει μια σειρά από πλεονεκτήματα που αφορούν τόσο την ασφάλεια, όσο και την αποδοτικότητα της ναυτιλιακής επιχείρησης (Orlandi et al., 2021). Στην ενότητα που ακολουθεί, αναλύονται οι κυριότεροι τρόποι με τους οποίους η συνεργασία των δύο αυτών τεχνολογικών πόλων δύναται να δημιουργήσει προστιθέμενη αξία.

3.4.1 Ενίσχυση της Ασφάλειας

Ένα από τα σημαντικότερα οφέλη της ολοκληρωμένης διασύνδεσης έγκειται στην ταχύτερη αντίδραση σε απρόβλεπτες καταστάσεις, καθώς οι αξιωματικοί της γέφυρας διαθέτουν ενιαία εικόνα των δεδομένων ναυσιπλοΐας και των εσωτερικών λειτουργιών του πλοίου (Vickers et al., 2021). Για παράδειγμα, σε περίπτωση απροσδόκητης βλάβης στη μηχανή ή έντονης κακοκαιρίας, το ECDIS ενημερώνει αμέσως το σύστημα διοίκησης, ώστε να ρυθμιστούν εκ των προτέρων οι σχετικές παράμετροι (λ.χ. κατανάλωση καυσίμου, κατανομή ισχύος) (Hareide, 2013). Παράλληλα, η γέφυρα αντλεί πληροφορίες για πιθανές δυσλειτουργίες από το μηχανοστάσιο, επιτρέποντας την έγκαιρη λήψη αποφάσεων για αλλαγή πορείας ή ταχύτητας (Claramunt et al., 2017).

Επιπρόσθετα, η ενοποίηση βελτιώνει τον συντονισμό του πληρώματος, διότι τα συστήματα θα δύναται να παράγουν από κοινού ενημερώσεις και ηχητικές σημάνσεις - «συναγερμούς» παρέχοντας πλέον μία ενιαία και καθολική αναλυτική εικόνα της κατάστασης (Madsen, 2024). Έτσι, περιορίζονται τα φαινόμενα ασυνεννοησίας μεταξύ διαφορετικών τμημάτων – επιστασιών του πλοίου, ενώ ενισχύεται η δυνατότητα γρήγορης αντίδρασης σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης μέσω διατήρησης των όρων «need to know» και «situational awareness» (Pollari, 2018).

3.4.2 Βελτιστοποίηση Λειτουργικών Παραμέτρων

Οι λειτουργικές παράμετροι, όπως η κατανάλωση καυσίμου και η ταχύτητα του πλοίου, μπορούν να βελτιστοποιηθούν σημαντικά μέσω της διασύνδεσης, καθώς τα συστήματα διοίκησης λαμβάνουν ακριβείς πληροφορίες από το ECDIS σχετικά με καιρικές συνθήκες, θαλάσσια ρεύματα και κίνδυνο παλίρροιας (Lu et al., 2023). Κατ' αυτόν τον τρόπο, επιτρέπεται η δυναμική ρύθμιση των μηχανών, με γνώμονα τη βέλτιστη σχέση μεταξύ ταχύτητας και κατανάλωσης (Ford, Housel και Mun, 2012). Οι εταιρείες που έχουν εφαρμόσει αυτήν την προσέγγιση αναφέρουν μείωση στο λειτουργικό κόστος, καθώς και μικρότερες εκπομπές ρύπων, γεγονός που τις καθιστά πιο ανταγωνιστικές και συγχρόνως συμμορφωμένες με τις ολοένα αυστηρότερες περιβαλλοντικές οδηγίες (Hansson and Wilkens, 2022).

Ομοίως, στην περίπτωση των δεξαμενοπλοίων ή των πλοίων μεταφοράς φορτίου, η βελτιωμένη διαχείριση της ισχύος μπορεί να ενισχύσει τη σταθερότητα του πλοίου, καθώς τα συστήματα διοίκησης αξιοποιούν τα στοιχεία βύθισης και μεταφοράς φορτίου σε πραγματικό χρόνο, σε συνάρτηση με τα γεωγραφικά δεδομένα του ECDIS (Orciuolo

etal., 2024). Έτσι, επιτυγχάνεται καλύτερος έλεγχος του φορτίου και μειώνεται ο κίνδυνος απότομων μεταβολών στη θέση του πλοίου (roll/pitch), που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ατυχήματα (Wang, Xiao και Chen, 2024).

3.4.3 Ενίσχυση Αποδοτικότητας και Μείωση Ανθρώπινου Σφάλματος

Οι αυτοματοποιημένοι έλεγχοι που καθίστανται εφικτοί μέσω της συνεργασίας ECDIS–συστημάτων διοίκησης βελτιώνουν γενικότερα την αποδοτικότητα του συνόλου των ναυτιλιακών λειτουργιών (Kristić et al., 2021). Με τη χρήση αλγορίθμων που συγκρίνουν την προγραμματισμένη ρότα με τα τρέχοντα δεδομένα, το πλήρωμα δέχεται ειδοποιήσεις για οποιαδήποτε απόκλιση που θα μπορούσε να αποβεί επικίνδυνη ή ασύμφορη (Androjna et al., 2021). Κατά συνέπεια, το ανθρώπινο λάθος περιορίζεται, καθώς η πλοήγηση γίνεται σε μεγάλο βαθμό προβλέψιμη και βασίζεται σε αντικειμενικά κριτήρια (Nelson and Roberts, 2021).

Επιπλέον, οι ενδείξεις πολλαπλών αισθητήρων συνδυάζονται για τον έλεγχο της λειτουργικής κατάστασης του πλοίου, δίνοντας τη δυνατότητα προγνωστικής συντήρησης (predictive maintenance) (Lee και Seppelt, 2012). Αν, για παράδειγμα, οι μετρήσεις πίεσης ή θερμοκρασίας σε μια μηχανή ξεπεράσουν τα όρια που έχουν οριστεί, το σύστημα διοίκησης στέλνει σήμα στο πλήρωμα, ενώ παράλληλα το ECDIS μπορεί να προσαρμόσει τη ρότα ή την ταχύτητα, ώστε να περιορίσει την καταπόνηση του μηχανοστασίου (Androjna et al., 2020). Έτσι, αποφεύγονται αιφνίδιες βλάβες και επιτυγχάνεται καλύτερη διαχείριση των πόρων.

3.5 Συμπερασματικές Παρατηρήσεις

Από την αναλυτική παρουσίαση του θεωρητικού υπόβαθρου, καθίσταται σαφές ότι η διασύνδεση του ECDIS με τα συστήματα διοίκησης πλοίου δεν συνιστά μια απλή ενέργεια ενσωμάτωσης λογισμικού, αλλά ένα πολυεπίπεδο εγχείρημα που απαιτεί εκσυγχρονισμό υποδομών, συμμόρφωση με διεθνή πρότυπα και συνεχή εκπαίδευση του ανθρώπινου δυναμικού (Orlandi et al., 2021). Πιο συγκεκριμένα, τα είδη ηλεκτρονικών χαρτών (ENC, RNC) και οι σχετικοί κανονισμοί διαμορφώνουν το υπόβαθρο της ηλεκτρονικής ναυσιπλοΐας, η οποία μπορεί να αναβαθμιστεί σε ουσιαστικό και μοναδικό μέσο παροχής ολοκληρωμένων πληροφοριών μόνο εφόσον τηρηθούν οι προδιαγραφές διαλειτουργικότητας (IHO, 2021). Στον αντίποδα, τα συστήματα διοίκησης πλοίου, με το πλήθος υποσυστημάτων τους, διαδραματίζουν κομβικό ρόλο στην εύρυθμη και ασφαλή

λειτουργία, ειδικά όταν αξιοποιούν δεδομένα από το ECDIS, ώστε να βελτιστοποιούν καίριες παραμέτρους, όπως η κατανάλωση καυσίμου ή η σταθερότητα φορτίου (Wang, Xiao και Chen, 2024).

Παράλληλα, η εξέλιξη των τεχνολογιών διασύνδεσης, από τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα μέχρι τα πρότυπα NMEA και τις κατευθυντήριες οδηγίες του IMO και της ISO, αποτελεί τη ραχοκοκαλιά πάνω στην οποία βασίζεται η ενότητα των συστημάτων (Tabish και Chaur-Luh, 2024). Ωστόσο, η διαδικασία αυτή μπορεί να συναντήσει εμπόδια, δεδομένου ότι απαιτείται όχι μόνο τεχνική επάρκεια, αλλά και συμμόρφωση με τα κανονιστικά πλαίσια και τις απαιτήσεις κυβερνοασφάλειας (Visky et al., 2024).

Τέλος, τα πλεονεκτήματα της διασύνδεσης, όπως η ενίσχυση της ασφάλειας, η βελτιστοποίηση των λειτουργικών παραμέτρων και η μείωση του ανθρώπινου σφάλματος, υπογραμμίζουν τη στρατηγική αξία που μπορεί να προσδώσει η ενοποίηση ECDIS–συστημάτων διοίκησης στον ναυτιλιακό κλάδο (Korevanon, 2024). Η σύνθεση όλων των προαναφερθεισών παραμέτρων δημιουργεί μια ολοκληρωμένη εικόνα για το πώς η τεχνολογική καινοτομία, σε συνδυασμό με τα διεθνή πρότυπα και την κατάλληλη οργανωτική υποστήριξη, επιδρά καταλυτικά στην επίτευξη υψηλότερων επιπέδων ασφάλειας και αποδοτικότητας.

Κεφάλαιο 4. Ανάλυση των Υπαρχόντων Συστημάτων και των Προκλήσεων

Η εφαρμογή του ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) σε συνδυασμό με τα συστήματα διοίκησης πλοίου, όπως παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, προβάλλεται συχνά ως μια από τις βασικότερες καινοτομίες που βελτιώνουν την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα στη ναυτιλία. Ωστόσο, η υιοθέτηση αυτών των συστημάτων και η πρακτική τους διασύνδεση δεν πραγματοποιείται σε ένα κενό. Αντιθέτως, εξαρτάται από ένα σύνολο παραγόντων, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται η τεχνολογική ωρίμανση, οι οικονομικές δυνατότητες των ναυτιλιακών επιχειρήσεων, οι ανθρώπινοι πόροι, καθώς και το ρυθμιστικό πλαίσιο που διέπει τον συγκεκριμένο κλάδο (Damman και Steen, 2021). Στο παρόν κεφάλαιο θα εξεταστεί η τρέχουσα κατάσταση αναφορικά με τη χρήση και τη διασύνδεση ECDIS–συστημάτων διοίκησης, με ιδιαίτερη έμφαση σε στατιστικά δεδομένα από διεθνείς οργανισμούς και μελέτες περίπτωσης. Περαιτέρω, θα εντοπιστούν οι κυριότερες προκλήσεις (τόσο τεχνικές όσο και οργανωτικές) και θα αναλυθούν οι περιορισμοί που απορρέουν από το κανονιστικό πλαίσιο και τις εσωτερικές πολιτικές των εταιρειών.

4.1 Παρούσα Κατάσταση

Η έννοια της «παρούσας κατάστασης» αφορά αφενός το εύρος χρήσης των ηλεκτρονικών χαρτών και της διασύνδεσης ECDIS–διοίκησης σε σύγχρονα πλοία και, αφετέρου, το βαθμό ψηφιακής ωρίμανσης των ναυτιλιακών επιχειρήσεων. Η συλλογή ποσοτικών δεδομένων κρίνεται χρήσιμη για την αποτύπωση μιας ρεαλιστικής εικόνας της αγοράς, ενώ οι ποιοτικές πληροφορίες (π.χ. μελέτες περίπτωσης) καταδεικνύουν συγκεκριμένες πτυχές της υλοποίησης.

4.1.1 Εύρος Χρήσης των ECDIS και Ψηφιακή Ωρίμανση

Σύμφωνα με πρόσφατη έρευνα του International Chamber of Shipping (EMSA, 2023), περίπου το 80% των νεότευκτων πλοίων (τα οποία ανήκουν στην κατηγορία των μεγαλύτερων από 3.000 gt) είναι εξοπλισμένα με ECDIS που πληροί τις προδιαγραφές του IMO, ενώ ποσοστό που ξεπερνά το 90% των εταιρειών που δραστηριοποιούνται στην ποντοπόρο ναυτιλία έχει ήδη εκπονήσει στρατηγικά σχέδια για τη χρήση ηλεκτρονικών χαρτών σε όλα τα σκάφη τους. Παρότι οι αριθμοί αυτοί είναι ιδιαίτερα

ενθαρρυντικοί, αξίζει να σημειωθεί ότι μεγάλο μέρος του παγκόσμιου στόλου εξακολουθεί να αποτελείται από πλοία ηλικίας άνω των 15-20 ετών, τα οποία διαθέτουν παλαιότερα συστήματα, περιορισμένη δυνατότητα αναβάθμισης ή και μη αναβαθμίσιμες εκδόσεις ECDIS (Kristić et al., 2021). Συνεπώς, το εύρος της χρήσης δεν σημαίνει κατ' ανάγκη ομοιογενή αξιοποίηση όλων των διαθέσιμων λειτουργιών, όπως η πλήρης διασύνδεση με τα υποσυστήματα διοίκησης.

Παράλληλα, έρευνα του Baltic and International Maritime Council (BIMCO, 2022) επισημαίνει ότι η ψηφιακή ωρίμανση των ναυτιλιακών επιχειρήσεων ποικίλλει σημαντικά. Ορισμένες μεγάλες εταιρείες, με στόλο δεκάδων πλοίων, έχουν ήδη θεσπίσει τμήματα ψηφιακών καινοτομιών (digital innovation departments) και εφαρμόζουν ολοκληρωμένα προγράμματα εκπαίδευσης του προσωπικού. Άλλες, κυρίως μικρότερες επιχειρήσεις, αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην εξεύρεση οικονομικών πόρων και στην ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών, με αποτέλεσμα να λειτουργούν με πιο παραδοσιακές μεθόδους (Rakoma, 2021). Κατ' αυτόν τον τρόπο, η ευρεία υιοθέτηση του ECDIS δεν συνεπάγεται απαραίτητα την ύπαρξη ενός τεχνολογικά προηγμένου οικοσυστήματος σε κάθε πλοίο ή τη συστηματική διασύνδεση με τα συστήματα διοίκησης.

4.1.2 Περιπτώσεις Επιτυχημένης ή Μη Επιτυχημένης Διασύνδεσης

Για να κατανοηθεί πληρέστερα η τρέχουσα πραγματικότητα, είναι χρήσιμο να παρουσιαστούν ενδεικτικές περιπτώσεις επιτυχημένης ή λιγότερο επιτυχημένης διασύνδεσης. Στο πλαίσιο αυτό, μια γνωστή μελέτη του Κορεατικού Ινστιτούτου Ναυτιλιακής Τεχνολογίας (Androjna et al., 2020) εξετάζει τον στόλο δεξαμενοπλοίων μιας εταιρείας με έδρα το Πουσάν, η οποία επένδυσε στη συνολική αναβάθμιση των ECDIS συστημάτων και των συστημάτων μηχανοστασίου. Η διασύνδεση επιτεύχθηκε μέσω ενοποιημένου δικτύου Ethernet με πρωτόκολλο NMEA 2024, γεγονός που επέτρεψε την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ γεφύρας και μηχανής σε πραγματικό χρόνο. Ως αποτέλεσμα, ο μέσος χρόνος απόκρισης σε βλάβες μειώθηκε κατά 40%, ενώ η κατανάλωση καυσίμου παρουσίασε πτώση της τάξης του 5-8% σε ταξίδια άνω των 2.000 ναυτικών μιλίων (Androjna et al., 2020). Ο συγκεκριμένος δείκτης κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικός, λαμβάνοντας υπόψη το αυξημένο κόστος καυσίμων και τις σχετικές περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις.

Από την άλλη πλευρά, πρόσφατη περίπτωση με αρκετές δυσκολίες συναντάται στη μελέτη περίπτωσης ενός πλοίου μεταφοράς LNG (Liquefied Natural Gas) υπό σημαία

Παναμά, όπου, παρά την προσθήκη νέου εξοπλισμού ECDIS, η ύπαρξη ασύμβατου λογισμικού στα συστήματα μηχανοστασίου απέτρεψε τη δημιουργία ενός κοινού δικτύου (Lyridis και Papaleonidas, 2019). Οι προσπάθειες για ενοποίηση καθυστέρησαν περίπου ένα έτος, και η εταιρεία αναγκάστηκε να καταφύγει σε πολλαπλές μεταβατικές λύσεις (λ.χ. χειροκίνητη εισαγωγή δεδομένων σε φορητές συσκευές), μέχρι να ολοκληρωθεί η πλήρης αναβάθμιση των ελεγκτών (controllers) στο μηχανοστάσιο. Χαρακτηριστικό στοιχείο της υπόθεσης ήταν η δυσκολία συνεννόησης μεταξύ διαφορετικών κατασκευαστών υλικού, καθώς και η έλλειψη κοινού προτύπου για την ασφάλεια του δικτύου (Lyridis και Papaleonidas, 2019). Κατ' αυτόν τον τρόπο, αναδεικνύεται πως, παρότι η θεωρητική αξία της διασύνδεσης είναι αδιαμφισβήτητη, η πρακτική εφαρμογή μπορεί να σκοντάψει σε πολυάριθμες λεπτομέρειες που απαιτούν χρόνο και οικονομικούς πόρους.

4.2 Προκλήσεις

Οι παραπάνω περιπτώσεις υποδηλώνουν ότι η διασύνδεση ECDIS–συστημάτων διοίκησης δεν εξαρτάται μόνο από τη θεωρητική διαθεσιμότητα σχετικής τεχνολογίας, αλλά και από ένα σύνολο προκλήσεων που προκύπτουν τόσο στο τεχνικό όσο και στο οργανωτικό και κανονιστικό επίπεδο (Shehata, Aly και Ibrahim, 2023). Κατά συνέπεια, η ενδελεχής κατανόησή τους κρίνεται απαραίτητη για να αναπτυχθούν ρεαλιστικές στρατηγικές εφαρμογής.

4.2.1 Τεχνικές Δυσκολίες

Μία από τις βασικότερες τεχνικές δυσκολίες αφορά την ασυμβατότητα πρωτοκόλλων, καθώς και τα διαφορετικά επίπεδα παλαιότητας εξοπλισμού (Kristić et al., 2021). Ειδικότερα, πλοία που κατασκευάστηκαν σε διαφορετικές εποχές συχνά φέρουν συστήματα λογισμικού και υλικού από ανομοιογενείς προμηθευτές, χωρίς συγκεκριμένη προσήλωση σε κοινά πρότυπα. Επιπλέον, το πρωτόκολλο NMEA 0183, που θεωρείται παλαιότερο, ενδέχεται να μην υποστηρίζει τις εξελιγμένες λειτουργίες που προσφέρουν οι νεότερες εκδόσεις NMEA 2024 ή άλλα πρωτόκολλα (Cheng and Zhou, 2019). Σε αντίστοιχες περιπτώσεις, είτε οι εταιρείες προβαίνουν σε αναβαθμίσεις (με σημαντικό κόστος), είτε υιοθετούν λύσεις «μετάφρασης» (protocol converters), οι οποίες ενδέχεται να μην είναι αξιόπιστες σε συνθήκες έντονης φόρτισης.

Ταυτόχρονα, και η ασφάλεια των δικτύων αποτελεί έναν άλλο πυρήνα τεχνικών προκλήσεων (Svilicic et al., 2019). Η διασύνδεση ECDIS–συστημάτων διοίκησης συνεπάγεται μεγαλύτερη επιφάνεια επίθεσης για τους κυβερνοεγκληματίες, καθώς τα δεδομένα διακινούνται μεταξύ γεφύρας και μηχανοστασίου σε πραγματικό χρόνο. Εάν δεν εφαρμοστούν αξιόπιστα συστήματα κρυπτογράφησης, έλεγχος ταυτότητας και σωστή τμηματοποίηση δικτύου (network segmentation), ελλοχεύει ο κίνδυνος εξωτερικής παρέμβασης ή εσωτερικών διαρροών (DNV, 2020). Πράγματι, σύμφωνα με την έκθεση της ENISA (European Union Agency for Cybersecurity, 2021), τα περιστατικά κυβερνοεπιθέσεων σε θαλάσσιες υποδομές έχουν τριπλασιαστεί την τελευταία πενταετία, γεγονός που υπαγορεύει την ανάγκη λήψης μέτρων ασφάλειας σε όλα τα επίπεδα.

Τέλος, η πολυπλοκότητα της ενσωμάτωσης των διαφόρων αισθητήρων και συστημάτων αυξάνει σημαντικά με την κλίμακα του πλοίου. Για παράδειγμα, μεγάλα κρουαζιερόπλοια, τα οποία διαθέτουν και πληθώρα επιπρόσθετων υπηρεσιών (όπως πολυάριθμα συστήματα ψυχαγωγίας και δικτύων επιβατών), απαιτούν ακόμη πιο απαιτητικό σχεδιασμό για την αποφυγή παρεμβολών ή διακοπών (Nielsen, 2016). Συνεπώς, οι τεχνικές δυσκολίες δεν περιορίζονται σε έναν μόνο παράγοντα, αλλά ανακύπτουν από την αλληλεπίδραση πολλών τεχνολογικών στοιχείων.

4.2.2 Οργανωτικές και Οικονομικές Παράμετροι

Πέρα από τις τεχνικές δυσκολίες, σημαντική επίδραση στην πρακτική διασύνδεση ECDIS–συστημάτων διοίκησης ασκούν οι οργανωτικές και οικονομικές παράμετροι. Οι ναυτιλιακές επιχειρήσεις χρειάζονται εξειδικευμένο προσωπικό που να κατέχει δεξιότητες σε επίπεδο πληροφορικής, ηλεκτρονικών συστημάτων και ναυτιλιακών λειτουργιών (Tijan et al., 2021). Ωστόσο, ο εντοπισμός και η διατήρηση τέτοιου ανθρώπινου δυναμικού συχνά αποδεικνύονται δύσκολα, καθώς απαιτείται υψηλό επίπεδο τεχνικής ειδίκευσης και διάθεση συνεχούς επιμόρφωσης.

Επιπλέον, το κόστος εγκατάστασης ή αναβάθμισης δεν περιορίζεται στην αγορά του εξοπλισμού. Περιλαμβάνει δαπάνες για μελέτες σκοπιμότητας, προσαρμογές του ήδη υπάρχοντος εξοπλισμού, δοκιμές, καθώς και διάφορες πιστοποιήσεις από νηογνώμονες ή εθνικές αρχές (CLIA, 2021). Σε ορισμένες περιπτώσεις, η τελική επένδυση μπορεί να αποδειχθεί απαγορευτική για τις μικρότερες εταιρείες, οι οποίες ίσως κρίνουν ότι η απόσβεση θα αργήσει να πραγματοποιηθεί (Kolios, 2024). Παράλληλα, η ανάγκη

εκπαίδευσης του πληρώματος σε νέα συστήματα αναδεικνύεται ως ακόμη μια οικονομική επιβάρυνση. Σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις της INTERTANKO (2021), το κόστος ενός εντατικού προγράμματος κατάρτισης για αξιωματικούς γέφυρας και μηχανοστασίου μπορεί να αντιπροσωπεύει το 3-5% του συνολικού κόστους εκσυγχρονισμού των συστημάτων.

Σε οργανωτικό επίπεδο, αναδεικνύεται συχνά και το ζήτημα της εσωτερικής επικοινωνίας μεταξύ τμημάτων (IT, Μηχανολογίας, Διοίκησης Πλοίου, κ.λπ.). Αν δεν υπάρχει ενιαία διοικητική στρατηγική για την ενσωμάτωση ECDIS-συστημάτων διοίκησης, τότε οι προσπάθειες μπορεί να αποβούν αποσπασματικές. Για παράδειγμα, σε μια εταιρεία ενδέχεται να δίδεται έμφαση στη βελτίωση της γέφυρας, χωρίς να αναβαθμίζονται εγκαίρως οι υποδομές του μηχανοστασίου, καθιστώντας ανεφάρμοστη την πλήρη διασύνδεση (Rasmussen, 2021). Συνεπώς, η απουσία συντονισμού μεταξύ των εμπλεκόμενων τμημάτων προβάλλει ως παράγων που επιτείνει τις οργανωτικές δυσλειτουργίες και τον κίνδυνο αποτυχίας του εγχειρήματος.

4.2.3 Έλλειψη Παγιωμένων Προτύπων και Νομοθετικών Απαιτήσεων

Αν και ο IMO (International Maritime Organization) έχει εκδώσει μια σειρά κατευθυντήριων γραμμών (π.χ. MSC.1/Circ.1503 για τη χρήση του ECDIS), δεν υπάρχει πάντοτε πλήρως εναρμονισμένη και λεπτομερής οδηγία που να καλύπτει ολοκληρωτικά όλα τα στάδια της διασύνδεσης ECDIS-συστημάτων διοίκησης (Kapıdani, 2023). Αυτό το κενό νομοθετικών απαιτήσεων επιτρέπει σε πολλούς κατασκευαστές να εφαρμόζουν ιδιόκτητα πρότυπα, επιτείνοντας τα ζητήματα ασυμβατότητας που ήδη αναφέρθηκαν (Gritsenko και Roe, 2019). Παράλληλα, ο ρυθμός έκδοσης νέων προδιαγραφών είναι συχνά βραδύτερος από την ταχύτητα τεχνολογικής εξέλιξης, με αποτέλεσμα τα κανονιστικά κείμενα να υστερούν σε επικαιρότητα (EMSA, 2023).

Αξίζει να επισημανθεί ότι η υιοθέτηση κοινών τεχνολογικών προτύπων αποτελεί θεμέλιο για την ομαλή λειτουργία της παγκόσμιας ναυτιλίας, δεδομένου ότι τα πλοία συχνά αλλάζουν σημαία ή λιμάνι εξυπηρέτησης (Brčić et al., 2019). Ωστόσο, παρότι θεσμοθετημένες διαδικασίες όπως η αναθεώρηση της σύμβασης SOLAS μπορούν να εντάξουν νέες ρυθμίσεις, η πρακτική εφαρμογή συχνά συναντά αντιδράσεις από κράτη ή εταιρείες που ανησυχούν για το οικονομικό κόστος (Svilicic et al., 2019). Κατ' αυτόν τον τρόπο, η έλλειψη παγιωμένων προτύπων και σαφών νομοθετικών επιταγών δημιουργεί

ένα πεδίο ασάφειας, όπου πρωταγωνιστούν οι μεγάλες εταιρείες με ταχύτερες επενδυτικές δυνατότητες, αφήνοντας ενδεχομένως «πίσω» τις μικρότερες.

4.3 Περιορισμοί

Οι προκλήσεις που μόλις αναφέρθηκαν αλληλεπικαλύπτονται σε αρκετές περιπτώσεις με περιορισμούς που τίθενται από το κανονιστικό πλαίσιο, καθώς και από τις ενδοεταιρικές πολιτικές των ναυτιλιακών επιχειρήσεων. Οι περιορισμοί αυτοί δεν αποτελούν απαραίτητα εμπόδια, αλλά οριοθετούν το πεδίο εντός του οποίου μπορεί να αναπτυχθεί η καινοτομία.

4.3.1 Κανονιστικές Επιταγές (IMO, SOLAS, STCW)

Η σύμβαση SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea) θέτει ένα βασικό πλαίσιο απαιτήσεων ασφαλείας, εντός του οποίου εμπίπτει και η υποχρεωτική χρήση εγκεκριμένου ECDIS για συγκεκριμένες κατηγορίες πλοίων (IMO, 2021). Ωστόσο, η SOLAS δεν ορίζει με λεπτομέρεια τον βαθμό ενσωμάτωσης του ECDIS με τα λοιπά συστήματα, αφήνοντας ουσιαστικά «ανοικτό» το πώς θα υλοποιηθεί η διασύνδεση. Παρομοίως, η STCW (International Convention on Standards of Training, Certification, and Watchkeeping for Seafarers) ρυθμίζει τα ελάχιστα επίπεδα εκπαίδευσης των αξιωματικών σε ECDIS, χωρίς όμως να καλύπτει εις βάθος τις γνώσεις που αφορούν τη διασύνδεση με άλλα υποσυστήματα (INTERTANKO, 2021).

Σε συνδυασμό με τις γενικότερες οδηγίες του IMO, ορισμένοι νηογνώμονες (λ.χ. DNV, Lloyd's Register) έχουν διαμορφώσει επιμέρους απαιτήσεις, οι οποίες εστιάζουν σε τομείς όπως η κυβερνοασφάλεια των ολοκληρωμένων συστημάτων (DNV, 2020). Εντούτοις, η υποχρεωτικότητα αυτών των κανόνων μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το νηολόγιο (flag state) ή τις εταιρικές πολιτικές. Επιπλέον, οι νομοθεσίες σε ορισμένες χώρες εισάγουν διαφορετικά επίπεδα ελέγχου, προκαλώντας σύγχυση σε διεθνείς ναυτιλιακές εταιρείες που επιδιώκουν ενιαία προσέγγιση (Gritsenko και Roe, 2019). Ως εκ τούτου, οι κανονιστικές επιταγές δύνανται να περιορίσουν τη διασύνδεση είτε λόγω ασάφειας (έλλειψη επακριβών προτύπων), είτε λόγω υπερβολικής πολυπλοκότητας σε περιπτώσεις πολλαπλών σημαιών και διαφορετικών ελεγκτικών μηχανισμών.

4.3.2 Ενδοεταιρικές Πολιτικές των Ναυτιλιακών Εταιρειών

Σημαντικό ρόλο στη λήψη αποφάσεων για τη διασύνδεση ECDIS–συστημάτων διοίκησης διαδραματίζει και το εσωτερικό περιβάλλον της ναυτιλιακής εταιρείας (Rasmussen,

2021). Καθεμία εταιρεία διαθέτει διαφορετικές προτεραιότητες, ανάλογα με το μέγεθος του στόλου, τον τύπο των πλοίων που εκμεταλλεύεται (δεξαμενόπλοια, φορτηγά, επιβατηγά κ.λπ.), αλλά και τη στρατηγική της τοποθέτηση στην αγορά. Για παράδειγμα, μια εταιρεία με ηγετική θέση στον τομέα των δεξαμενοπλοίων ενδέχεται να έχει θέσει υψηλότερους στόχους μείωσης ατυχημάτων και διαφυγής καυσίμων, επενδύοντας ετησίως μεγάλα ποσά στην τεχνολογική καινοτομία (Karidani, 2023). Από την άλλη πλευρά, μια εταιρεία διαχείρισης μικρού στόλου μπορεί να αδυνατεί να δικαιολογήσει τα κόστη αναβάθμισης, ειδικά αν η απόσβεση δεν αναμένεται να πραγματοποιηθεί άμεσα.

Επιπλέον, οι εταιρικές κουλτούρες διαφέρουν ως προς τη στάση τους απέναντι στην καινοτομία. Ενώ κάποιες επιχειρήσεις προωθούν ενεργά την εκπαίδευση του προσωπικού και τη συνεχή αναβάθμιση των συστημάτων, άλλες υιοθετούν πιο αμυντικές πρακτικές, περιμένοντας πρώτα να δοκιμαστεί η τεχνολογία από τους «πρωτοπόρους» (Lambrou, Watanabe και Iida, 2019). Συνεπώς, η επιτυχής διασύνδεση ECDIS–συστημάτων διοίκησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εσωτερική βούληση και τις συγκεκριμένες πολιτικές στρατηγικές των ναυτιλιακών επιχειρήσεων, παράλληλα με το εξωτερικό ρυθμιστικό περιβάλλον.

4.4 Ενδεικτική Αποτίμηση και Μελλοντικές Προοπτικές

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, διαφαίνεται ότι η τρέχουσα κατάσταση γύρω από την υιοθέτηση και τη διασύνδεση ECDIS–συστημάτων διοίκησης χαρακτηρίζεται από σχετική ωριμότητα σε επίπεδο τεχνολογίας, αλλά και από σημαντικές ανομοιομορφίες στην πράξη (Rakoma, 2021). Ορισμένες εταιρείες και πλοία βρίσκονται ήδη σε προχωρημένο στάδιο ενσωμάτωσης, αξιοποιώντας πλήρως τα οφέλη της ψηφιοποίησης και της αυτοματοποίησης, ενώ άλλες παραμένουν σε μεταβατική φάση. Οι προκλήσεις (τεχνικές και οργανωτικές) δεν είναι ευκαταφρόνητες, καθώς περιλαμβάνουν ζητήματα ασυμβατότητας, κυβερνοασφάλειας, κόστους και ελλείψεων προσωπικού (Rasmussen, 2021). Παράλληλα, οι περιορισμοί από τα κανονιστικά πλαίσια ενδέχεται να μην παρέχουν επαρκή ευελιξία ή να δημιουργούν διοικητικά βάρη, επιβραδύνοντας τη διαδικασία αναβάθμισης.

Εντούτοις, υπάρχει συναίνεση στη διεθνή βιβλιογραφία ότι η ορθή και ολοκληρωμένη διασύνδεση ECDIS–συστημάτων διοίκησης μπορεί να επιφέρει ουσιώδη πλεονεκτήματα για την ασφάλεια, τη βιωσιμότητα και τη μείωση του λειτουργικού κόστους (BIMCO, 2022). Η τάση για μεγαλύτερη αυτοματοποίηση, σε συνδυασμό με την πρόοδο της

τεχνητής νοημοσύνης, προοιωνίζεται ότι οι ναυτιλιακές εταιρείες που θα επενδύσουν εγκαίρως στην ψηφιακή μετάβαση θα αποκτήσουν ένα σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα (Shehata, Aly και Ibrahim, 2023). Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή και η αυξανόμενη ανάγκη μείωσης των εκπομπών αερίων αναμένεται να ασκήσουν πρόσθετη πίεση στον κλάδο, ώστε να εφαρμόσει τεχνολογικές λύσεις που βελτιστοποιούν την κατανάλωση καυσίμου (Svilicic et al., 2019). Στο πλαίσιο αυτό, η συγκεντρωτική ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται μέσω ECDIS και συστημάτων διοίκησης δύναται να προσφέρει χρήσιμες παραμέτρους για την ενεργειακή αποδοτικότητα.

Επίσης, οι συνεχείς μεταβολές των κανονιστικών απαιτήσεων (π.χ. μελλοντικές αναθεωρήσεις της σύμβασης SOLAS ή νέες οδηγίες του IMO για την κυβερνοασφάλεια) ίσως λειτουργήσουν ως μοχλός περαιτέρω εναρμόνισης και προτύπων διασύνδεσης (DNV, 2020). Μέχρι τότε, είναι πιθανό να συνεχιστεί η υφιστάμενη κατάσταση, όπου πρωτοστατούν οι μεγάλες εταιρείες με επαρκείς πόρους, ενώ μικρότεροι παίκτες ακολουθούν πιο αργά ή επιλεκτικά.

4.5 Επίλογος Κεφαλαίου

Από την ανάλυση των υπάρχοντων συστημάτων και των προκλήσεων που παρουσιάζονται, καθίσταται σαφές ότι η τεχνολογική ωρίμανση του ECDIS και των διοικητικών υποσυστημάτων είναι μεν σημαντική, αλλά από μόνη της δεν εγγυάται την επιτυχή ενοποίηση. Ζητήματα ασυμβατότητας, κυβερνοασφάλειας, κόστους και ανθρώπινου δυναμικού διαμορφώνουν ένα περίπλοκο σκηνικό που απαιτεί ολοκληρωμένες λύσεις και στρατηγικές επενδύσεις. Παράλληλα, οι νομοθετικοί κανόνες και οι εσωτερικές πολιτικές των εταιρειών θέτουν αναπόφευκτα όρια και συχνά δυσκολεύουν τις προσπάθειες ενσωμάτωσης.

Ωστόσο, η ανάγκη για περαιτέρω αύξηση της ασφάλειας στη θάλασσα, για μείωση του λειτουργικού κόστους, καθώς και η επιτακτική παγκόσμια στόχευση για «πράσινες» μεταφορές, δημιουργούν ευνοϊκές προοπτικές για όσες επιχειρήσεις αποφασίσουν να επενδύσουν στη διασύνδεση. Στα επόμενα κεφάλαια, θα εξεταστούν οι προτάσεις βελτιστοποίησης (Κεφάλαιο 5) και τα ζητήματα ασφάλειας-αξιοπιστίας (Κεφάλαιο 6), παρέχοντας συγκεκριμένες κατευθύνσεις για την ομαλή μετάβαση προς ένα ολοκληρωμένο και ασφαλές οικοσύστημα ναυτιλιακής πληροφόρησης.

Κεφάλαιο 5. Προτάσεις για Βελτιστοποίηση

Η διασύνδεση του ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) με τα λοιπά συστήματα διοίκησης πλοίου, όπως αναδείχθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, αποτελεί μια πολυσύνθετη διαδικασία που εγκλείει όχι μόνο τεχνικές, αλλά και οικονομικές και οργανωτικές παραμέτρους (Kechagias et al., 2022). Η πλήρης αξιοποίηση αυτής της διασύνδεσης, σε συνδυασμό με τα σύγχρονα δεδομένα που συλλέγονται από πληθώρα αισθητήρων, μπορεί να μετασχηματίσει τη ναυτιλιακή λειτουργία, ενισχύοντας ταυτόχρονα την ασφάλεια, την επιχειρησιακή αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα (Σπηλιάκος, 2024). Στο παρόν κεφάλαιο, θα εξεταστούν συγκεκριμένα μοντέλα και αρχιτεκτονικές που μπορούν να εφαρμοστούν για την ενοποίηση των εν λόγω συστημάτων, και παράλληλα θα παρουσιαστούν πρακτικές λύσεις (με βάση τις διαθέσιμες τεχνολογίες) που δύνανται να υποστηρίξουν τη βέλτιστη υλοποίηση. Επιπροσθέτως, θα αναλυθούν οι κύριες εφαρμογές (όπως η αυτόματη δημιουργία αναφορών, η βελτιστοποίηση κατανάλωσης καυσίμου και η πρόγνωση βλαβών), ενώ θα επισημανθούν τα πλεονεκτήματα και τα οφέλη που προκύπτουν από μια ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική.

Στόχος του κεφαλαίου είναι να προταθεί ένα συνολικό πλαίσιο δράσεων, το οποίο, αφενός, ανταποκρίνεται στις ανάγκες της σύγχρονης ναυτιλίας και, αφετέρου, λαμβάνει υπόψη τους περιορισμούς και τις προκλήσεις που διαπιστώθηκαν στην ανάλυση της παρούσας κατάστασης (Li et al., 2024). Κατ' αυτόν τον τρόπο, το κείμενο φιλοδοξεί να αποτελέσει οδηγό τόσο για τους τεχνικούς διευθυντές ναυτιλιακών εταιρειών, όσο και για τους αξιωματικούς πλοίων, αναφορικά με το πώς μπορούν να σχεδιαστούν και να εφαρμοστούν οι βέλτιστες πρακτικές διασύνδεσης. Η παρούσα ενότητα διαρθρώνεται σε τρία υποκεφάλαια: (α) την αρχιτεκτονική ενός ενιαίου συστήματος, (β) τις εφαρμογές που καθίστανται εφικτές μέσα από αυτήν την ενοποίηση και (γ) τα πλεονεκτήματα–οφέλη που απορρέουν από τη συγκεκριμένη προσέγγιση, προσφέροντας τεκμηριωμένες προτάσεις βάσει βιβλιογραφικών αναφορών και εμπειρικών μελετών.

5.1 Αρχιτεκτονική Ενός Ενιαίου Συστήματος

5.1.1 Διάγραμμα και Βασικοί Άξονες της Λειτουργικής Διασύνδεσης

Η αρχιτεκτονική ενός ενιαίου συστήματος, στο πλαίσιο του οποίου το ECDIS διαλειτουργεί με τα συστήματα διοίκησης πλοίου, θα μπορούσε να απεικονιστεί

διαγραμματικά ως μια «ενδοπλοϊακή» υποδομή δικτύωσης, η οποία διασυνδέει μεταξύ τους τη γέφυρα, το μηχανοστάσιο και λοιπούς σταθμούς ή ενότητες ελέγχου (Wang, Xiao και Chen, 2024). Σε αυτό το ενιαίο σχήμα, η πληροφορία ρέει αμφίδρομα, επιτρέποντας τόσο την αποστολή δεδομένων από τους αισθητήρες στο κεντρικό διακομιστή (ή στη βάση δεδομένων), όσο και την επιστροφή εντολών ή συμβουλών που επεξεργάζονται τα κεντρικά συστήματα προς τους χειριστές.

Η επιλογή μεταξύ κεντρικής βάσης δεδομένων (centralized database) και αποκεντρωμένης διάρθρωσης (distributed architecture) αποτελεί βασική απόφαση που καθορίζει τη λειτουργικότητα, την επεκτασιμότητα και την ανθεκτικότητα του συστήματος (Chen et al., 2024). Στην κεντρική προσέγγιση, όλα τα δεδομένα (π.χ. δεδομένα πλοήγησης, στοιχεία καιρού, απόδοση μηχανών) συλλέγονται και αποθηκεύονται σε έναν κεντρικό κόμβο, όπου γίνεται και η σχετική επεξεργασία. Η λύση αυτή είναι συχνά απλούστερη στην αρχική ανάπτυξη, ωστόσο, σε περιπτώσεις εκτενούς ροής δεδομένων ή ανάγκης ανθεκτικότητας σε βλάβες (fault tolerance), μπορεί να αποδειχθεί ευάλωτη, ιδιαίτερα αν ο κεντρικός κόμβος παρουσιάσει πρόβλημα (Gavalas, Boviatsis και Katsounis, 2024).

Αντίθετα, μια αποκεντρωμένη διάρθρωση προβλέπει την ύπαρξη διαφόρων «τοπικών» κόμβων (π.χ. ένας κόμβος στο μηχανοστάσιο, ένας στη γέφυρα και ένας για το σύστημα φόρτωσης), οι οποίοι επικοινωνούν μέσω κοινών πρωτοκόλλων (NMEA 2000, Modbus/TCP, κ.λπ.) και συγχρονίζουν τα κρίσιμα δεδομένα είτε σε τακτά χρονικά διαστήματα είτε σε πραγματικό χρόνο (Lai και Illindala, 2015). Η προσέγγιση αυτή παρέχει καλύτερη αντοχή σε ενδεχόμενες βλάβες ενός υποσυστήματος, καθώς η λειτουργία των υπολοίπων δεν διακόπτεται αναγκαστικά. Επιπλέον, διευκολύνει τις σταδιακές αναβαθμίσεις· για παράδειγμα, ένα παλαιότερο τμήμα του μηχανοστασίου μπορεί να αναβαθμιστεί αυτόνομα, εφόσον διατηρείται η διαλειτουργικότητα βάσει των κοινών πρωτοκόλλων.

Σε πρακτικό επίπεδο, ένας ενδεικτικός σχεδιασμός ενιαίας αρχιτεκτονικής θα περιλάμβανε, στο ανώτερο επίπεδο (application layer), τις εφαρμογές του ECDIS (π.χ. απεικόνιση χαρτών, συναγερμοί πλοήγησης), καθώς και τα GUI (Graphical User Interfaces) των συστημάτων διοίκησης πλοίου (π.χ. σύστημα μηχανοστασίου, σύστημα ενέργειας). Στο ενδιάμεσο επίπεδο (middle warelayer), θα τοποθετούνταν οι υπηρεσίες ολοκλήρωσης (integration services), οι οποίες αναλαμβάνουν τη λήψη των δεδομένων

από τις διάφορες συσκευές και την εναρμόνισή τους, ώστε να «γίνονται κατανοητά» από το ECDIS ή άλλα κεντρικά συστήματα (Brefort et al., 2018). Τέλος, στο κατώτερο επίπεδο (infrastructure layer), θα βρίσκονταν τα πρωτόκολλα δικτύου, οι φυσικοί αισθητήρες (engine sensors, AIS, ραντάρ) και οι ελεγκτές (PLC – Programmable Logic Controllers) που διαχειρίζονται επιμέρους διεργασίες.

Συνεπώς, μια τέτοια πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική μπορεί να διασφαλίσει την απαιτούμενη ευελιξία και αντοχή, ενώ παράλληλα διευκολύνει τη διαχείριση της πολυπλοκότητας (Kristić et al., 2021). Κρίσιμο στοιχείο, ωστόσο, παραμένει η σωστή τεκμηρίωση του συστήματος (documentation) και η τήρηση προτύπων ασφαλείας, ιδίως όταν ο όγκος των δεδομένων είναι μεγάλος και η ανάγκη για real-time επεξεργασία αυξημένη.

5.1.2 Ρόλοι και Ευθύνες των Διαφορετικών Υποσυστημάτων

Εντός της νέας αρχιτεκτονικής, κάθε επιμέρους υποσύστημα (ECDIS, συστήματα μηχανοστασίου, επικοινωνιών, κ.λπ.) αναλαμβάνει συγκεκριμένο ρόλο, ενώ ταυτόχρονα καθίσταται υποχρεωμένο να ανταποκρίνεται σε κοινές διαδικασίες ελέγχου και πρωτόκολλα επικοινωνίας (Kechagias et al., 2022). Πιο αναλυτικά:

1. **ECDIS:** Το ECDIS λειτουργεί ως ο κεντρικός «πλοηγός» των δεδομένων ναυτιλίας, λαμβάνοντας πληροφορίες για τη θέση, τη γωνία πηδαλιούχησης, την ταχύτητα και την πορεία του πλοίου. Επιπλέον, καθίσταται χρήστης των δεδομένων που αφορούν το μηχανοστάσιο (όπως η διαθέσιμη ισχύς ή η κατανάλωση καυσίμου), προκειμένου να υποβοηθήσει τη λήψη αποφάσεων για την πλοήγηση (Wang, Xiao και Chen, 2024).
2. **Σύστημα Μηχανοστασίου (Engine Control & Monitoring):** Παρέχει δεδομένα για τις αποδόσεις των μηχανών, τις θερμοκρασίες, την πίεση λαδιού, την κατανάλωση καυσίμου και άλλες κρίσιμες παραμέτρους. Ο ρόλος του είναι καθοριστικός, καθώς η πληροφορία που παρέχει μπορεί να επηρεάσει την απόφαση του πλοιάρχου ως προς τη διαχείριση της ταχύτητας ή την ανάγκη άμεσης παρέμβασης (Lai και Illindala, 2015).
3. **Σύστημα Ενέργειας και Ηλεκτρικών Παροχών:** Ενσωματώνει τις πληροφορίες για την κατανομή ισχύος, τις γεννήτριες, τα αποθέματα καυσίμων και τη λειτουργία των αυτοματισμών. Σε περίπτωση εκτάκτου ανάγκης (λ.χ. βλάβη στις

γεννήτριες), η διασύνδεση με το ECDIS δύναται να δώσει τη δυνατότητα αλλαγής πλοήγησης, ώστε να μειωθεί η απαιτούμενη κατανάλωση (Coraddu et al., 2017).

4. **Σύστημα Διαχείρισης Φορτίου (Cargo Management):** Για πλοία μεταφοράς φορτίου (containerships) ή δεξαμενόπλοια, η ενότητα αυτή ελέγχει τις διεργασίες φόρτωσης-εκφόρτωσης, τη στάθμη δεξαμενών και την κατανομή φορτίου. Η ορθή διασύνδεση με το ECDIS επιτρέπει την αυτόματη ρύθμιση παραμέτρων (π.χ. ballast water) σε σχέση με την ασφάλεια πλεύσης και το βύθισμα (Brefort et al., 2018).

5. **Σύστημα Επικοινωνιών (Communication & Network Management):** Διαχειρίζεται την εξωτερική και εσωτερική επικοινωνία, συμπεριλαμβανομένων δορυφορικών συνδέσεων, VHF, αλλά και ενδοπλοϊακών δικτύων. Εντός μιας ολοκληρωμένης αρχιτεκτονικής, καλείται να παρέχει αξιόπιστη διασύνδεση μεταξύ των υποσυστημάτων, με έμφαση στην ασφάλεια και την κρυπτογράφηση (Chen et al., 2024).

Η διασπορά ρόλων και ευθυνών συνεπάγεται ότι κάθε τμήμα οφείλει να αναβαθμίζει τακτικά το λογισμικό και τον εξοπλισμό του, να εκπαιδεύει το προσωπικό και να τηρεί τα ελάχιστα επίπεδα συμβατότητας (ISO πρότυπα, οδηγίες IMO), ώστε το συνολικό σύστημα να λειτουργεί απρόσκοπτα (Kristić et al., 2021). Μόνο έτσι μπορούν να διασφαλιστούν η συνέπεια των δεδομένων και η έγκαιρη ανταλλαγή πληροφορίας, που αποτελούν πυλώνες για τη λήψη αποτελεσματικών αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο.

5.2 Εφαρμογές

Οι συγκεκριμένες εφαρμογές που καθίστανται εφικτές ή ενισχύονται μέσω της βέλτιστης διασύνδεσης ECDIS–συστημάτων διοίκησης είναι πολλαπλές. Από την αυτόματη δημιουργία αναφορών, μέχρι την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και την προληπτική συντήρηση (predictive maintenance), οι πρακτικές λύσεις που προτείνονται από τη διεθνή βιβλιογραφία επιβεβαιώνουν τη δυναμική εξέλιξη του κλάδου (Σπηλιάκος, 2024).

5.2.1 Αυτόματη Δημιουργία Αναφορών

Η αυτόματη δημιουργία αναφορών (incident reports, performance reports, κα) διευκολύνει σημαντικά το έργο τόσο του πληρώματος όσο και της πλοιοκτήτριας εταιρείας (Gavalas, Boviatsis και Katsounis, 2024). Σε ένα πλοίο όπου λειτουργεί ενιαίο

σύστημα διασύνδεσης, τα δεδομένα από το ECDIS (πορεία, ταχύτητα, καιρικές συνθήκες) διασταυρώνονται με τα δεδομένα από τα μηχανήματα (επίπεδα πίεσης, θερμοκρασίες, καταναλώσεις) και αποθηκεύονται σε κεντρικό αποθετήριο. Μέσω ενός λογισμικού αναφορών, το πλήρωμα μπορεί να λαμβάνει αυτόματα παραγόμενα δελτία στο τέλος κάθε βάρδιας, στα οποία καταγράφονται παραβάσεις συναγερμών, αποκλίσεις από την προβλεπόμενη ρότα, πιθανές βλάβες, αλλά και η συνολική απόδοση του πλοίου ως προς την ταχύτητα και την κατανάλωση καυσίμου (Wang, Xiao και Chen, 2024).

Παράλληλα, σε περιστατικά όπου σημειώνονται δυσλειτουργίες ή ατυχήματα, η διασύνδεση επιτρέπει την αναδρομική εξέταση (playback) των γεγονότων σε λεπτομερή χρονοσειρά, διευκολύνοντας τις εσωτερικές έρευνες και την ανάλυση του περιστατικού (Coraddu et al., 2017). Στο πλαίσιο αυτό, τα incident reports παράγονται με τη συνοδεία όλων των απαραίτητων στοιχείων, όπως η ακριβής θέση GPS, η καταγραφή των αισθητήρων του μηχανοστασίου, και οι ενέργειες του πληρώματος στο ECDIS (Li et al., 2024). Το γεγονός αυτό βελτιώνει τη διαφάνεια και τη λογοδοσία, ενώ επιταχύνει τις διαδικασίες ατυχηματικής διερεύνησης (accident investigation).

5.2.2 Βελτιστοποίηση Κατανάλωσης Καυσίμου μέσω Ανάλυσης Δεδομένων σε Πραγματικό Χρόνο

Η βελτιστοποίηση κατανάλωσης καυσίμου αποτελεί κεντρική μέριμνα στη σύγχρονη ναυτιλία, τόσο για λόγους οικονομικούς όσο και περιβαλλοντικούς (Chen et al., 2024). Μέσα από τη διασύνδεση ECDIS–συστημάτων διοίκησης, η διαδικασία αυτή αναβαθμίζεται ριζικά, διότι τα δεδομένα που συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο από τους κινητήρες, τους αισθητήρες ροής καυσίμου και τα μετεωρολογικά κανάλια επιτρέπουν τη δυναμική ρύθμιση παραμέτρων, όπως η ταχύτητα πλεύσης και η κατανομή ισχύος. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που το ECDIS ανιχνεύσει αντίθετα ρεύματα ή στροβιλισμό ανέμων σε μια περιοχή, μπορεί να εισηγηθεί προς το σύστημα διοίκησης μικρή αλλαγή κατεύθυνσης ή ταχύτητας, ώστε να αποφευχθούν δυσμενείς συνθήκες κατανάλωσης (Kristić et al., 2021).

Παράλληλα, οι πιο προηγμένοι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης (π.χ. machine learning μοντέλα) μπορούν να ληφθούν υπόψη για τη συνεχή αναπροσαρμογή των ρυθμίσεων, εξετάζοντας παράλληλα τις δεδομένες λειτουργικές απαιτήσεις (π.χ. ο προβλεπόμενος χρόνος άφιξης – ETA). Εταιρείες που έχουν εφαρμόσει τέτοιες πρακτικές αναφέρουν έως και 5-10% μείωση στην ετήσια κατανάλωση καυσίμου, ανάλογα με τον τύπο του πλοίου

και τις διαδρομές που εκτελεί (Coraddu et al., 2017). Επομένως, η εναρμόνιση μεταξύ πλοήγησης και μηχανοστασίου δημιουργεί σημαντικά οφέλη και συμβάλλει στην ευρύτερη προσπάθεια μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, ιδίως αν συνεκτιμηθούν και οι σύγχρονες πιέσεις για συμμόρφωση με διεθνείς κανονισμούς εκπομπών (π.χ. MARPOL Annex VI).

5.2.3 Συστήματα Πρόγνωσης Βλαβών (Predictive Maintenance) και Αξιοποίησή τους

Ένα άλλο κρίσιμο ζήτημα που μπορεί να αντιμετωπιστεί μέσα από την ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική αφορά την πρόγνωση βλαβών (predictive maintenance). Με την εγκατάσταση κατάλληλων αισθητήρων (θερμοκρασίας, δονήσεων, πίεσης, εκπομπών καυσαερίων) στα βασικά υποσυστήματα του πλοίου, μπορεί να δημιουργηθεί μια διαρκής ροή δεδομένων προς τη βάση πληροφοριών, όπου αναλυτικοί αλγόριθμοι παρακολουθούν τυχόν αποκλίσεις από τα φυσιολογικά όρια (Σπηλιάκος, 2024). Οι τιμές που συλλέγονται συγκρίνονται με ιστορικά πρότυπα λειτουργίας, επιτρέποντας στον αλγόριθμο να «προβλέψει» πότε μια μηχανή είναι πιθανό να εμφανίσει βλάβη ή πότε ένα ρουλεμάν χρειάζεται αντικατάσταση (Li et al., 2024).

Η έγκαιρη προειδοποίηση για επικείμενη βλάβη δίνει τη δυνατότητα στο πλήρωμα να λαμβάνει προληπτικά μέτρα, αποφεύγοντας μια ενδεχόμενη δυσμενή εξέλιξη στη μέση του ωκεανού. Επιπλέον, το σύστημα μπορεί να προσαρμόσει προσωρινά τη λειτουργία της μηχανής (π.χ. μειώνοντας στροφές ή αλλάζοντας παραμέτρους ψύξης), έως ότου γίνει εφικτή η συντήρηση (Brefort et al., 2018). Αυτή η πρακτική ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο αιφνίδιας αδυναμίας πρόωσης του πλοίου ή ζημιών που θα απαιτούσαν πολυδάπανη επιδιόρθωση. Κατά τον Li et al. (2022), σε στόλους που εφάρμοσαν μοντέλα πρόγνωσης βλαβών, το ποσοστό απρόβλεπτων βλαβών μειώθηκε κατά 30-40%, ενώ ο συνολικός χρόνος εκτός λειτουργίας (downtime) περιορίστηκε σημαντικά.

5.3 Πλεονεκτήματα και Οφέλη

Η ολοκληρωμένη διασύνδεση του ECDIS με τα συστήματα διοίκησης δημιουργεί πρόσφορο έδαφος για την ανάπτυξη σημαντικών πλεονεκτημάτων, τα οποία αντανακλώνται τόσο στα οικονομικά αποτελέσματα όσο και στο επιχειρησιακό αποτύπωμα μιας ναυτιλιακής επιχείρησης (Kechagias et al., 2022). Από τις οικονομικές και λειτουργικές αποδόσεις, μέχρι τη βελτιωμένη ασφάλεια και την ενίσχυση της

ανθρωποκεντρικής εποπτείας, τα οφέλη μπορούν να αποκτήσουν στρατηγικό χαρακτήρα για τις εταιρείες που επενδύουν στην καινοτομία.

5.3.1 Οικονομικά και Λειτουργικά Οφέλη

Ένα από τα πιο εμφανή οφέλη για τις ναυτιλιακές εταιρείες είναι η δυνητική μείωση του λειτουργικού κόστους, η οποία προέρχεται κυρίως από τη βελτιστοποίηση κατανάλωσης καυσίμου, τη μείωση των αστοχιών εξοπλισμού και τη βελτίωση της διαχείρισης του φορτίου (Coraddu et al., 2017). Η αυτόματη ρύθμιση της ταχύτητας και της πορείας, με βάση τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες και τα δεδομένα πρόωσης, επιτρέπει εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων, ενώ η έγκαιρη διάγνωση βλαβών αποτρέπει ασυνήθιστα μεγάλα έξοδα συντήρησης (Brefort et al., 2018). Επιπλέον, η ηλεκτρονική καταγραφή όλων των επιμέρους στοιχείων σε ενιαίο περιβάλλον (λ.χ. στον κεντρικό διακομιστή) επιταχύνει τις διαδικασίες διαχείρισης, μειώνοντας τον χρόνο που ξοδεύουν οι αξιωματικοί σε χειρωνακτικές εργασίες (π.χ. συμπλήρωση εντύπων), και απελευθερώνοντας ανθρώπινους πόρους για πιο ουσιώδεις δραστηριότητες (Wang, Xiao και Chen, 2024).

Η δυνατότητα συνεχούς συλλογής και αξιοποίησης δεδομένων ευνοεί επίσης τη δημιουργία πιο ακριβών αναλύσεων κόστους-ωφέλειας, διευκολύνοντας τον προγραμματισμό δρομολογίων και τις επιχειρησιακές αποφάσεις (Chen et al., 2024). Μέσω προηγμένων στατιστικών μεθόδων ή αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης, οι ναυτιλιακές εταιρείες μπορούν να εντοπίσουν μοτίβα κατανάλωσης, να εκτιμήσουν τις πραγματικές ανάγκες σε ανταλλακτικά και να προσαρμοστούν γρηγορότερα σε απρόβλεπτες αλλαγές της ζήτησης.

5.3.2 Ενίσχυση Ασφάλειας και Ελαχιστοποίηση Ανθρώπινων Σφαλμάτων

Η ασφάλεια, ως κεντρική προτεραιότητα στη ναυτιλία, ενισχύεται καθοριστικά μέσα από την αποτελεσματική διασύνδεση ECDIS–συστημάτων διοίκησης (Σπηλιάκος, 2024). Αφενός, η αυτοματοποιημένη ανταλλαγή δεδομένων μειώνει την πιθανότητα ανθρώπινου σφάλματος (π.χ. λάθος πληκτρολόγηση παραμέτρων ή παραγνώριση κρίσιμων ειδοποιήσεων), αφετέρου, ο συνδυασμός πληροφοριών από πολλαπλές πηγές επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση κινδύνων (Li et al., 2024). Για παράδειγμα, σε περίπτωση που ο δείκτης πίεσης λαδιού παρουσιάσει απότομη πτώση, ο πλοίαρχος και ο μηχανικός θα λάβουν αμέσως συναγερμό, ενώ παράλληλα το ECDIS θα

αναπροσαρμόσει την ένταση πρόωσης, εάν αυτό κριθεί απαραίτητο για την αποφυγή περαιτέρω ζημιάς.

Επιπλέον, ο ενιαίος έλεγχος των συστημάτων δίνει στο πλήρωμα μια «κοινή εικόνα» (common operational picture), διευκολύνοντας τη συνεργασία μεταξύ γεφύρας και μηχανοστασίου ή μεταξύ διαφορετικών βαρδιών (Brefort et al., 2018). Αυτό μεταφράζεται σε βέλτιστο συντονισμό κατά τη διάρκεια έκτακτων περιστατικών (π.χ. πυρκαγιά στο μηχανοστάσιο, προσάραξη), μειώνοντας τον χρόνο αντίδρασης και την πιθανότητα σύγχυσης (Lai και Illindala, 2015). Τέλος, η υψηλότερη αξιοπιστία των δεδομένων συμβάλλει στην ακριβέστερη λήψη αποφάσεων, καθώς οι ναυτικοί μπορούν να βασίζονται σε επικαιροποιημένες και διασταυρωμένες πληροφορίες για την εκτίμηση ενός κινδύνου.

5.3.3 Δυναμική Αναβάθμιση και Προσθήκη Μελλοντικών Τεχνολογιών

Το τελευταίο, αλλά όχι λιγότερο σημαντικό, όφελος αφορά την ευχερέστερη μελλοντική αναβάθμιση και την προσθήκη νέων τεχνολογιών στο ναυτιλιακό οικοσύστημα. Καθώς η ναυτιλία εισέρχεται σε μια εποχή «έξυπνων» πλοίων (smart ships) και μερικής ή ολικής αυτοματοποίησης (autonomous ships), η ύπαρξη μιας καλά σχεδιασμένης αρχιτεκτονικής καθίσταται κρίσιμος παράγοντας (Chen et al., 2024). Οι διασυνδέσεις ECDIS–συστημάτων διοίκησης που βασίζονται σε ανοικτά πρωτόκολλα (π.χ. NMEA, IEC 61162-450) ή σε τυποποιημένες προσεγγίσεις Integration Services, διευκολύνουν την ενσωμάτωση καινούργιων συσκευών ή λογισμικών, χωρίς να απαιτείται πλήρης επανασχεδιασμός του συστήματος (Brefort et al., 2018).

Παράλληλα, η δυνατότητα συλλογής και αποθήκευσης δεδομένων από πολλαπλές πηγές (bigdata) δημιουργεί προοπτικές για εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης, όπως η προγνωστική πλοήγηση, η αυτόματη βελτιστοποίηση δρομολογίων και η προσαρμοστική διαχείριση φορτίου σε πραγματικό χρόνο (Lai και Illindala, 2015). Με την πάροδο του χρόνου, οι εταιρείες που διαθέτουν αυτήν τη βάση θα μπορούν να αξιοποιήσουν ολοένα και πιο ώριμες ψηφιακές λύσεις, ακολουθώντας τις εξελίξεις της βιομηχανίας 4.0 (Σπηλιάκος, 2024). Επομένως, η επένδυση σε μια ευέλικτη αρχιτεκτονική διασύνδεσης συνιστά, στην πράξη, μια επένδυση στην ίδια τη μακροπρόθεσμη εξέλιξη του κλάδου, επιτρέποντας στον εκάστοτε στόλο να προσαρμόζεται στις απαιτήσεις της αγοράς και στις ραγδαίες καινοτομίες.

5.4 Συνολική Αξιολόγηση και Επίλογος Κεφαλαίου

Η αναζήτηση βέλτιστων πρακτικών για την ενοποίηση του ECDIS με τα συστήματα διοίκησης αναδεικνύει μια σειρά από καθοριστικά σημεία, που καλύπτουν τόσο την τεχνολογική υποδομή όσο και τις οργανωτικές πλευρές υλοποίησης. Σε τεχνικό επίπεδο, η επιλογή μεταξύ κεντρικής και αποκεντρωμένης αρχιτεκτονικής, καθώς και η τήρηση κοινών πρωτοκόλλων επικοινωνίας, προδιαγράφει τον βαθμό ευελιξίας, επεκτασιμότητας και ασφαλείας του συστήματος (Chen et al., 2024). Παράλληλα, η σαφής κατανομή ρόλων και ευθυνών ανάμεσα στα υποσυστήματα αποτρέπει ασυμβατότητες, διασφαλίζοντας ότι η πληροφορία κυκλοφορεί ομαλά και ότι το πλήρωμα λαμβάνει έγκαιρα τις αναγκαίες ειδοποιήσεις (Kristić et al., 2021).

Η πρακτική αξιοποίηση της ενοποίησης επιβεβαιώνεται από τις εφαρμογές που παρουσιάστηκαν: αυτόματη δημιουργία αναφορών, σε πραγματικό χρόνο βελτιστοποίηση κατανάλωσης καυσίμου και πρόγνωση βλαβών συνιστούν ενδεικτικά παραδείγματα που μπορούν να επιφέρουν σημαντικά οφέλη (Σπηλιάκος, 2024). Σε αυτά τα πεδία, οι προτάσεις υπογραμμίζουν ότι η αξία δεν εντοπίζεται μόνον στη μείωση του κόστους ή στη μεγιστοποίηση της απόδοσης, αλλά και στη θωράκιση της ασφάλειας και στη διατήρηση ενός ευέλικτου πλαισίου, ικανού να ανταποκριθεί σε μελλοντικές τεχνολογικές προκλήσεις (Brefort et al., 2018).

Όσον αφορά τα άμεσα πλεονεκτήματα, η ενίσχυση της ασφάλειας και η ελαχιστοποίηση λαθών μέσα από την αυτοματοποίηση των ροών εργασίας κρίνεται απολύτως θεμελιώδης για τη ναυτιλία, καθώς η αποτροπή ατυχημάτων προστατεύει ανθρώπινες ζωές, αποτρέπει περιβαλλοντικές καταστροφές και μειώνει οικονομικές ζημιές (Coraddu et al., 2017). Στην ίδια γραμμή, οι οικονομικές αποδόσεις που προκύπτουν από την εξοικονόμηση πόρων και τον έλεγχο της απόδοσης αποτελούν σπουδαίο κίνητρο για τις ναυτιλιακές εταιρείες, ειδικά σε εποχές έντονου ανταγωνισμού και αστάθειας στις τιμές καυσίμων. Τέλος, η δυναμική αναβάθμιση του οικοσυστήματος, μέσω της ευελιξίας που παρέχουν τα ανοικτά πρότυπα, θέτει τα θεμέλια για ένα βιώσιμο μέλλον, όπου οι εταιρείες θα μπορούν να ενσωματώνουν διαρκώς νέες λειτουργίες, όπως η μη επανδρωμένη πλοήγηση ή οι καινοτόμες υπηρεσίες «cloud-based maritime analytics» (Chen et al., 2024).

Συνολικά, οι προτάσεις βελτιστοποίησης που αναλύθηκαν δίνουν μια σφαιρική εικόνα των δυνατοτήτων που διανοίγονται, όταν τα υποσυστήματα πλοίου λειτουργούν ως μέρη

ενός ενιαίου, ολοκληρωμένου οργανισμού. Στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο, θα εξεταστούν εξίσου κρίσιμες πτυχές, σχετικές με την ασφάλεια και την αξιοπιστία, ώστε να προσδιοριστούν οι τρόποι με τους οποίους αυτό το ενοποιημένο περιβάλλον μπορεί να διαφυλαχθεί από κυβερνοαπειλές, τεχνικές αστοχίες και άλλους κινδύνους (Σπηλιάκος, 2024). Η συζήτηση θα στραφεί, μεταξύ άλλων, στο πώς εξασφαλίζεται η ακεραιότητα των δεδομένων και η σταθερή λειτουργία του συστήματος ακόμη και σε ακραίες συνθήκες, καθώς και στον ρόλο των σχετικών νηογνωμόνων και διεθνών οργανισμών στη διαμόρφωση ενός ρυθμιστικού πλαισίου που προστατεύει τη ναυτιλία από ψηφιακές ή μη απειλές.

Κεφάλαιο 6. Ασφάλεια και Αξιοπιστία

Η ενοποίηση των συστημάτων ναυσιπλοΐας και διοίκησης (όπως το ECDIS και οι υποδομές μηχανοστασίου, επικοινωνιών και αυτοματισμών) δεν συνεπάγεται μόνον θετικά αποτελέσματα· συνεπάγεται επίσης νέους κινδύνους και προκλήσεις που αφορούν τόσο το ζήτημα της ασφάλειας (κυβερνοασφάλεια, προστασία δεδομένων, φυσική προστασία εξοπλισμού) όσο και το επίπεδο αξιοπιστίας των ολοκληρωμένων δικτύων. Η διασύνδεση ECDIS–συστημάτων διοίκησης οδηγεί σε αυξημένο όγκο δεδομένων και σε πιο περίπλοκες αλυσίδες επικοινωνίας, όπου μια μικρή αστοχία μπορεί να επηρεάσει πολλαπλές λειτουργίες του πλοίου. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να αναλυθούν οι πιθανοί κίνδυνοι, οι κύριες απειλές και τα μέτρα που μπορούν να ληφθούν για την προστασία των ναυτιλιακών δικτύων (Liang και Liu, 2024). Παράλληλα, το ζήτημα της αξιοπιστίας, το οποίο συνδέεται άμεσα με τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού και την ορθότητα της λειτουργίας του, καθίσταται υψίστης σημασίας σε έναν κλάδο όπου ακόμη και μία μικρή καθυστέρηση ή βλάβη μπορεί να επιφέρει σοβαρές οικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες.

Στην παρούσα ενότητα, αρχικά εξετάζονται οι κίνδυνοι και οι απειλές που ελλοχεύουν σε ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον πλοίου (λ.χ. κυβερνοεπιθέσεις, βλάβες λογισμικού, ανθρώπινος παράγοντας), κατόπιν παρουσιάζονται τα σημαντικότερα μέτρα ασφαλείας (κρυπτογράφηση δεδομένων, έλεγχος πρόσβασης, ενημέρωση λογισμικού, στρατηγικές ανθεκτικότητας) και, τέλος, διερευνώνται οι πτυχές της αξιοπιστίας (Mean Time Between Failures, προληπτική συντήρηση, διαδικασίες αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης). Με τον τρόπο αυτό, επιχειρείται μια ολιστική προσέγγιση στο ζήτημα της ασφάλειας και της αξιοπιστίας, απαραίτητη για όσους επιθυμούν να εμβαθύνουν στις απαιτήσεις που επιβάλλει η σύγχρονη ολοκληρωμένη ναυτιλιακή πρακτική.

6.1 Κίνδυνοι και Απειλές

Η διείσδυση του ψηφιακού μετασχηματισμού στη ναυτιλία και η συνακόλουθη διασύνδεση πολλαπλών συστημάτων (ECDIS, μηχανοστάσιο, επικοινωνίες κ.λπ.) δημιουργούν ένα σύνθετο οικοσύστημα, το οποίο, ενώ προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, ταυτόχρονα εγκυμονεί νέους κινδύνους. Οι κίνδυνοι αυτοί δεν περιορίζονται σε μία μόνο κατηγορία· αντιθέτως, αφορούν τόσο τις κυβερνοαπειλές και τις ευπάθειες λογισμικού, όσο και τη βλάβη του φυσικού εξοπλισμού ή τον παράγοντα

του ανθρώπινου σφάλματος (DNV, 2020). Η κατανόηση αυτών των κινδύνων αποτελεί προαπαιτούμενο για τη διαμόρφωση κατάλληλων στρατηγικών προστασίας και προληπτικών μέτρων.

6.1.1 Πιθανά Σενάρια Κυβερνοεπιθέσεων

Οι κυβερνοεπιθέσεις στη ναυτιλία εμφανίζουν αλματώδη αύξηση τα τελευταία χρόνια, γεγονός που συνδέεται άμεσα με την εντεινόμενη ψηφιοποίηση και τη χρήση ολοκληρωμένων συστημάτων (ENISA, 2021). Ένα από τα πιο ανησυχητικά σενάρια αφορά την εισαγωγή κακόβουλου λογισμικού (ransomware) στα δίκτυα του πλοίου, όπου οι επιτιθέμενοι κρυπτογραφούν κρίσιμα δεδομένα και ζητούν λύτρα για την αποκατάστασή τους. Σε μια τέτοια περίπτωση, η αδυναμία πρόσβασης σε πληροφορίες του ECDIS ή σε λειτουργίες του μηχανοστασίου μπορεί να παραλύσει το πλοίο και να το καταστήσει ανίκανο να συνεχίσει το ταξίδι του (Potamos et al., 2023).

Παράλληλα, επιθέσεις άρνησης εξυπηρέτησης (DDoS – Distributed Denial of Service) ενδέχεται να πλήξουν τους διακομιστές ή τα δίκτυα εντός του πλοίου, κατακλύζοντάς τα με υπερβολικές αιτήσεις, με αποτέλεσμα την προσωρινή ή μόνιμη παύση λειτουργίας (Mouratidis και Diamantopoulou, 2018). Σε τέτοια συμβάντα, το πλήρωμα ενδέχεται να απολέσει την πρόσβασή του σε ζωτικές εφαρμογές, όπως ο πλοηγικός χάρτης, οι συναγερμοί ασφαλείας ή οι συνδέσεις επικοινωνίας με την ξηρά. Αν και πολλοί υποστηρίζουν ότι οι επιθέσεις DDoS συναντώνται συχνότερα σε χερσαία δίκτυα, εντούτοις η ολοένα και μεγαλύτερη χρήση δορυφορικών και IP επικοινωνιών στη ναυτιλία δημιουργεί περιθώρια εκμετάλλευσης παρόμοιων τρωτών σημείων (Lagouvardou, 2018).

Επιπρόσθετα, οι επιθέσεις στα συστήματα πλοήγησης (spoofing) ή η παρεμβολή στα σήματα GPS μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές αποκλίσεις στην απεικόνιση της θέσης του πλοίου, οδηγώντας σε ενδεχόμενη πλάνη των χειριστών (Bhatti και Humphreys, 2017). Ο κίνδυνος αυτός γίνεται πιο έντονος σε περιοχές με υψηλή κίνηση ή σε δύσκολες καιρικές συνθήκες, όπου η ακρίβεια του ECDIS θεωρείται κρίσιμη για την πρόληψη συγκρούσεων ή προσaráξεων.

6.1.2 Ασυμβατότητες Λογισμικού και Βλάβες Υλικού

Μια ακόμη κατηγορία κινδύνων προέρχεται από τις ασυμβατότητες που εμφανίζονται συχνά σε ολοκληρωμένα ναυτιλιακά συστήματα. Δεδομένου ότι τα πλοία ενσωματώνουν

συσκευές και λογισμικά από διαφορετικούς κατασκευαστές και εποχές, είναι δυνατόν να προκύψουν συγκρούσεις ή ασυμβατότητες κατά τις διαδικασίες ενημέρωσης (patching) ή αναβάθμισης (Latorre et al., 2023). Ακόμη και μικρές διαφορές σε πρωτόκολλα επικοινωνίας (NMEA, Modbus, κ.λπ.) μπορεί να προκαλέσουν αδυναμία συγχρονισμού ή εσφαλμένη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ ECDIS και μηχανοστασίου.

Επιπλέον, βλάβες υλικού (hardware failures) μπορούν να δημιουργήσουν σοβαρά κενά ασφάλειας, ειδικότερα όταν αφορούν βασικούς διακομιστές ή συσκευές routing που διαχειρίζονται το κεντρικό δίκτυο. Ένα ασθενές ή μη επαρκώς προστατευμένο τροφοδοτικό σύστημα, για παράδειγμα, μπορεί να προκαλέσει αιφνίδια διακοπή ηλεκτροδότησης των κρίσιμων υπολογιστών, οδηγώντας σε απώλεια δεδομένων ή σε μη ορθή λειτουργία των συστημάτων πλοήγησης (Melnyk et al., 2023). Τυχόν απουσία εφεδρικών εξαρτημάτων δυσχεραίνει την αποκατάσταση μιας βλάβης, αυξάνοντας τον κίνδυνο να περιέλθει το πλοίο σε κατάσταση αδυναμίας πλοήγησης ή ελέγχου.

Συνεπώς, δεν αρκεί μόνον η εγκατάσταση συστημάτων υψηλής τεχνολογίας· απαιτείται ολιστική θεώρηση που να περιλαμβάνει τη συμβατότητα των εκδόσεων λογισμικού, τον έλεγχο ποιότητας εξαρτημάτων και τις πολιτικές συντήρησης (Qiao et al., 2021). Η απουσία αυτής της συνολικής διαχείρισης μπορεί να οδηγήσει σε απρόβλεπτες συνέπειες και να δημιουργήσει κενά ασφάλειας που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν από κακόβουλους παράγοντες ή να επιφέρουν απλώς λειτουργική αστάθεια.

6.1.3 Ανθρώπινος Παράγοντας (Μη Εξειδικευμένοι Χειριστές, Ελλιπής Εκπαίδευση)

Παρότι οι ψηφιακές λύσεις αναπτύσσονται με στόχο τη μείωση του ανθρώπινου σφάλματος, ο ανθρώπινος παράγοντας παραμένει καθοριστικός για τη διατήρηση της ασφάλειας στο ναυτιλιακό περιβάλλον (Aboul-Dahab, 2021). Η έλλειψη εξειδικευμένων χειριστών, η ελλιπής εκπαίδευση σε νέα λογισμικά ή ακόμη και η υπερβολική εμπιστοσύνη στα αυτοματοποιημένα συστήματα συνιστούν παράγοντες που μπορούν να υπονομεύσουν τη λειτουργία του ECDIS ή την αποτελεσματικότητα της διασύνδεσης με το μηχανοστάσιο (Baldauf και Hong, 2016).

Για παράδειγμα, ένας αξιωματικός γέφυρας που δεν έχει εκπαιδευτεί επαρκώς στις ρυθμίσεις ασφάλειας του ECDIS ίσως να αδυνατεί να αναγνωρίσει πότε τα δεδομένα που προβάλλονται στην οθόνη είναι εσφαλμένα (Car et al., 2021). Επιπλέον, το πλήρωμα μηχανοστασίου που δεν έχει λάβει κατάλληλη εκπαίδευση στη χρήση των νέων

εργαλείων παρακολούθησης ενδέχεται να παραβλέψει συναγερμούς ή προειδοποιητικά σήματα βλάβης. Ακόμη και ζητήματα που αφορούν την κοινωνική μηχανική (social engineering) —όπως παραπλανητικά μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου ή τηλεφωνικές απάτες— μπορούν να καταστήσουν ευάλωτα τα ναυτιλιακά δίκτυα, όταν οι χειριστές δεν έχουν λάβει την απαιτούμενη εκπαίδευση (Symes et al., 2024).

Κατά συνέπεια, η έλλειψη τεχνικής επάρκειας και οι αδυναμίες στο ανθρώπινο στοιχείο συχνά αναφέρονται ως κεντρικές αιτίες ναυτικών ατυχημάτων (EMSA, 2023). Αποτελεί, λοιπόν, ζήτημα υψίστης προτεραιότητας για τις εταιρείες να επενδύσουν στην εκπαίδευση και την κατάρτιση του προσωπικού (IMO, 2019), ώστε να διασφαλίζεται ότι η τεχνολογία χρησιμεύει ως ενισχυτικός παράγοντας της ανθρώπινης κρίσης, αντί να μετατρέπεται σε πηγή σφαλμάτων.

6.2 Μέτρα Ασφαλείας

Λαμβάνοντας υπόψη τον ποικιλόμορφο χαρακτήρα των απειλών, τα μέτρα ασφαλείας που οφείλει να υιοθετήσει μια ναυτιλιακή επιχείρηση διατρέχουν ένα ευρύ φάσμα τεχνικών, οργανωτικών και διοικητικών επιλογών (DNV, 2020). Το ζητούμενο δεν είναι απλώς η εγκατάσταση κάποιων εργαλείων κυβερνοασφάλειας, αλλά η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης στρατηγικής που θα θωρακίζει το πλοίο σε όλα τα επίπεδα — από την κρυπτογράφηση των δεδομένων μέχρι τις διαδικασίες διαχείρισης των εφεδρικών συστημάτων (backups).

6.2.1 Κρυπτογράφηση Δεδομένων, Έλεγχος Πρόσβασης και Firewall Ναυτιλίας

Η κρυπτογράφηση των δεδομένων που διακινούνται εντός του πλοίου και ανάμεσα στο πλοίο και την ξηρά κρίνεται ζωτικής σημασίας. Σε αντίθεση με παλαιότερες πρακτικές, όπου τα ναυτιλιακά πρωτόκολλα επικοινωνίας (NMEA, Modbus) ήταν ανοιχτά και μη κρυπτογραφημένα, οι νέες τάσεις επιτάσσουν τη χρήση ασφαλών εκδόσεων (π.χ. TLS, SSH) ή την ενσωμάτωση VPN (Virtual Private Network) για τις δορυφορικές επικοινωνίες (Lagouvardou, 2018). Η κρυπτογράφηση διασφαλίζει ότι σε περίπτωση υποκλοπής των πακέτων δεδομένων, ο επιτιθέμενος δεν θα μπορεί εύκολα να διαβάσει ή να αλλοιώσει το περιεχόμενο.

Παράλληλα, ο έλεγχος πρόσβασης, με τη μορφή role-based access control (RBAC) ή άλλων σχεδιασμών διαχείρισης ταυτοτήτων (Identity Management), διασφαλίζει ότι κάθε

χρήστης έχει δικαίωμα πρόσβασης μόνο στις λειτουργίες που σχετίζονται με τα καθήκοντά του (Latorre et al., 2023). Για παράδειγμα, ένας αξιωματικός γέφυρας δεν χρειάζεται —και δεν πρέπει— να έχει πλήρη δικαιώματα διαχείρισης στις παραμέτρους του μηχανοστασίου. Αντίστοιχα, ένας τεχνικός μηχανοστασίου δεν θα πρέπει να τροποποιεί τις ρυθμίσεις πλοήγησης στο ECDIS. Αυτή η διάκριση ελαχιστοποιεί το ρίσκο από λάθος ενέργειες ή από κακόβουλη χρήση λογαριασμών.

Συμπληρωματικά, η χρήση εξειδικευμένων firewall ναυτιλίας (Marine-grade firewalls) και συστημάτων ανίχνευσης εισβολών (IDS/IPS) επιτρέπει τον φιλτράρισμα της εξερχόμενης και εισερχόμενης κυκλοφορίας, εμποδίζοντας μη εξουσιοδοτημένες ή ύποπτες συνδέσεις. Τα firewall αυτά συνήθως είναι σχεδιασμένα να αντέχουν σε δύσκολες συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία) και να υποστηρίζουν τα ιδιότυπα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία (Liang και Liu, 2024). Σε πολλές περιπτώσεις, η εταιρεία μπορεί να επιλέξει ακόμη και τη φυσική διαχωριστική σύνδεση (airgap) συγκεκριμένων κρίσιμων συστημάτων (όπως το δίκτυο ECDIS), ώστε να περιορίσει τον κίνδυνο εξωτερικών επιθέσεων.

6.2.2 Συνεχής Παρακολούθηση και Ενημέρωση Λογισμικών (Patching)

Ένα συχνό λάθος που εντοπίζεται στη ναυτιλία είναι η πεποίθηση ότι η εγκατάσταση ενός συστήματος ασφαλείας αρκεί για να διατηρηθεί ο στόλος προστατευμένος μακροπρόθεσμα. Στην πραγματικότητα, η συνεχής παρακολούθηση (continuous monitoring) των δικτύων και η τακτική ενημέρωση λογισμικού (patching) αποτελούν απαραίτητους πυλώνες μιας ολοκληρωμένης στρατηγικής ασφαλείας (Symes et al., 2024). Καθώς οι επιτιθέμενοι ανακαλύπτουν διαρκώς νέες ευπάθειες, οι κατασκευαστές εκδίδουν ενημερώσεις (updates, patches) για να διορθώσουν τα κενά ασφαλείας· εάν ο χειριστής ή η εταιρεία καθυστερήσει να εγκαταστήσει αυτές τις ενημερώσεις, το σύστημα παραμένει εκτεθειμένο.

Ωστόσο, η διαδικασία ενημέρωσης λογισμικού απαιτεί προσοχή, ειδικά σε ναυτιλιακά περιβάλλοντα όπου μια αστοχία ενημέρωσης θα μπορούσε να διακόψει κρίσιμες λειτουργίες του πλοίου (Melnik et al., 2023). Πριν από την εφαρμογή ενός patch, συνιστάται η διεξαγωγή δοκιμών σε περιβάλλον προσομοίωσης (sandbox) ή η λήψη εφεδρικών αντιγράφων (backups), ώστε να αποφευχθεί η περίπτωση να καταστεί το σύστημα μη λειτουργικό κατά τη διάρκεια ενός μακρινού πλου. Επίσης, η σύναψη συμβολαίων υποστήριξης με τους προμηθευτές λογισμικών (maintenance contracts)

διασφαλίζει ότι θα υπάρχει επαρκής τεχνική βοήθεια σε περίπτωση ασυμβατότητας ή σφάλματος κατά την ενημέρωση (Aboul-Dahab, 2021).

Παράλληλα, η συνεχής παρακολούθηση της δικτυακής δραστηριότητας, μέσω εξειδικευμένων εργαλείων SIEM (Security Information and Event Management), βοηθά στον άμεσο εντοπισμό ύποπτων συμπεριφορών (OCIMF, 2021). Εάν, για παράδειγμα, παρατηρηθεί μαζική μεταφορά δεδομένων τις ώρες που το πλοίο είναι σε λιμάνι ή ασυνήθιστη επικοινωνία με απομακρυσμένες διευθύνσεις IP, τα συστήματα προειδοποιούν τους υπευθύνους ασφαλείας, ώστε να διερευνηθεί το ενδεχόμενο κυβερνοεπίθεσης ή διαρροής δεδομένων.

6.2.3 Στρατηγικές Ανθεκτικότητας (Fault Tolerance) και Εφεδρικά Συστήματα (Backup)

Σε συστήματα ζωτικής σημασίας, όπως είναι οι ναυτιλιακές πλατφόρμες, η έννοια της ανθεκτικότητας (fault tolerance) έρχεται να διασφαλίσει ότι, ακόμη και σε περίπτωση βλάβης ενός εξαρτήματος ή υποσυστήματος, το πλοίο θα παραμείνει λειτουργικό (Mahmoud και Xia, 2013). Οι στρατηγικές ανθεκτικότητας περιλαμβάνουν τη χρήση εφεδρικών γραμμών τροφοδοσίας, την εγκατάσταση εναλλακτικών διακομιστών (redundant servers) και την ύπαρξη παράλληλων συνδέσεων δικτύου που μπορούν να ενεργοποιηθούν σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης.

Ο σχεδιασμός εφεδρικών συστημάτων (backup) είναι εξίσου κρίσιμος. Όχι μόνο απαιτείται η περιοδική λήψη αντιγράφων ασφαλείας των δεδομένων (logfiles, ρυθμίσεις ECDIS, λογισμικό μηχανοστασίου), αλλά και η διατήρηση αυτών των αντιγράφων σε ασφαλές και προσβάσιμο σημείο, ιδανικά εκτός του βασικού δικτύου (Liang και Liu, 2024). Έτσι, εάν συμβεί κυβερνοεπίθεση ή υλική βλάβη σε έναν κεντρικό διακομιστή, τα δεδομένα μπορούν να ανακτηθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα, επαναφέροντας το σύστημα σε λειτουργική κατάσταση.

Οι εφεδρικές διατάξεις, ωστόσο, έχουν και οικονομικό κόστος, καθώς απαιτούν επιπλέον εξοπλισμό, ενέργεια και χώρο στο πλοίο (Lagounardou, 2018). Επομένως, η εταιρεία οφείλει να διενεργεί ενδελεχή μελέτη κόστους-οφέλους, αξιολογώντας ποια συστήματα κρίνονται απολύτως απαραίτητα να διαθέτουν εφεδρική λειτουργία (π.χ. ECDIS, σύστημα ελέγχου μηχανής), και ποια μπορούν να λειτουργούν με πιο βασικές προβλέψεις ανακατάστασης σε περίπτωση βλάβης. Παράλληλα, η εκτέλεση σχετικών ασκήσεων

(drills) κρίνεται απαραίτητη για να επιβεβαιωθεί στην πράξη η αποτελεσματικότητα των εφεδρικών λύσεων.

6.3 Αξιοπιστία

Πέρα από την ασφάλεια που σχετίζεται με την προστασία από εξωτερικές και εσωτερικές απειλές, υπάρχει μια παράλληλη και εξίσου σημαντική διάσταση: η αξιοπιστία του ολοκληρωμένου συστήματος (Xiao, Chen και McNeil, 2022). Ο όρος «αξιοπιστία» αναφέρεται στη δυνατότητα ενός συστήματος να λειτουργεί αδιάλειπτα και ορθά για το μέγιστο δυνατό χρονικό διάστημα, χωρίς να εμφανίζει αστοχίες. Στη ναυτιλία, όπου μια αστοχία εν πλω μπορεί να έχει τεράστιο οικονομικό, περιβαλλοντικό ή και ανθρώπινο κόστος, η αξιοπιστία αποδεικνύεται κρίσιμος παράγοντας.

6.3.1 Κριτήρια Επιλογής Αξιόπιστου Εξοπλισμού και Πρωτοκόλλων (MTBF)

Ένα κεντρικό μέτρο που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία για την εκτίμηση της αξιοπιστίας συστημάτων είναι ο δείκτης Μέσος Χρόνος Μεταξύ Βλαβών (Mean Time Between Failures – MTBF). Ο δείκτης αυτός παρέχει μια στατιστική εκτίμηση του μέσου χρονικού διαστήματος που μπορεί να περάσει μεταξύ δύο διαδοχικών βλαβών (Mahmoud και Xia, 2013). Όσο μεγαλύτερος είναι ο MTBF ενός εξαρτήματος ή υποσυστήματος, τόσο πιο αξιόπιστο κρίνεται.

Κατά τον σχεδιασμό ή την επιλογή εξοπλισμού για την ενοποίηση ECDIS–συστημάτων διοίκησης, οι ναυτιλιακές εταιρείες καλούνται να λαμβάνουν υπόψη τον MTBF που δηλώνουν οι κατασκευαστές, μαζί με άλλους παράγοντες, όπως οι περιβαλλοντικές αντοχές (θερμοκρασία, υγρασία, δονήσεις), η ύπαρξη πιστοποιήσεων (π.χ. IEC 60945 για ναυτιλιακά ηλεκτρονικά) και η δοκιμασμένη απόδοση σε αντίξοες συνθήκες (DNV, 2020). Επιπλέον, οι προμηθευτές που διαθέτουν ιστορικό παραγωγής αξιόπιστου ναυτιλιακού εξοπλισμού θεωρούνται πιο αξιόπιστη επιλογή, παρά το ότι μπορεί να έχουν υψηλότερο κόστος. Η απόφαση οφείλει να βασίζεται στην εκτίμηση κινδύνου και στο οικονομικό μοντέλο της επιχείρησης (Xiao, Chen και McNeil, 2022).

Εξίσου σημαντική θεωρείται και η επιλογή πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Εάν το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται είναι ασταθές ή παλιό (π.χ. μη κρυπτογραφημένο, με γνωστές ευπάθειες), η ενσωμάτωση του συστήματος ακόμη και σε αξιόπιστο υλικό δεν θα αποτρέψει τυχόν αστοχίες ή επιθέσεις (Symes et al., 2024). Συνεπώς, η αξιοπιστία του συνολικού συστήματος δεν είναι απλώς συνάρτηση της ποιότητας ενός μόνο

εξαρτήματος, αλλά της αρμονικής συνύπαρξης όλων των κρίκων της τεχνολογικής αλυσίδας.

6.3.2 Προληπτική Συντήρηση και Διαδικασίες Ελέγχου Ποιότητας

Η προληπτική συντήρηση (preventive maintenance) και οι δομημένες διαδικασίες ελέγχου ποιότητας (quality control procedures) παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση ενός υψηλού επιπέδου αξιοπιστίας. Στα περισσότερα σύγχρονα πλοία, τα συστήματα μηχανοστασίου και πλοήγησης είναι εφοδιασμένα με αισθητήρες που επιτρέπουν την παρακολούθηση διαφόρων παραμέτρων (θερμοκρασία, πίεση, κραδασμοί), ώστε να εντοπίζονται τυχόν αποκλίσεις από το φυσιολογικό εύρος λειτουργίας (Melnyk et al., 2023). Όταν εντοπίζεται τέτοια απόκλιση, το σύστημα ειδοποιεί το πλήρωμα ή τον μηχανικό για να γίνει επιθεώρηση και ενδεχομένως έγκαιρη αντικατάσταση του εξαρτήματος.

Είναι σημαντικό, ωστόσο, οι διαδικασίες αυτές να συνοδεύονται από καταγεγραμμένα πρωτόκολλα ποιότητας: τακτικά διαστήματα επιθεώρησης, λίστες ελέγχου (checklists) για κάθε κρίσιμο υποσύστημα και σαφείς ρόλους και ευθύνες σε περίπτωση εντοπισμού δυσλειτουργίας (Xiao, Chen και McNeil, 2022). Η χρήση ειδικευμένου λογισμικού Computerized Maintenance Management System (CMMS) βοηθά στην οργάνωση και παρακολούθηση όλων των εργασιών συντήρησης, ενώ συνδέεται συχνά με τα δεδομένα του ECDIS και του μηχανοστασίου για μια ενοποιημένη εικόνα.

Επιπλέον, οι εταιρείες που υιοθετούν πρακτικές προληπτικής συντήρησης τείνουν να εμφανίζουν μειωμένα ποσοστά απροόπτων βλαβών και, συνεπώς, μεγαλύτερη επιχειρησιακή συνέχεια (Mahmoud και Xia, 2013). Στατιστικές από τον κλάδο υποδεικνύουν ότι η εφαρμογή προληπτικών ελέγχων μπορεί να μειώσει τις απροσδόκητες βλάβες έως και 40%, εφόσον πραγματοποιείται με συνέπεια και υπάρχει κατάλληλη ανατροφοδότηση δεδομένων.

6.3.3 Βελτίωση της Προσβασιμότητας σε Περιπτώσεις Έκτακτης Ανάγκης

Η έννοια της αξιοπιστίας εμπεριέχει και το ζήτημα της προσβασιμότητας του συστήματος (usability under stress), ιδίως σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης. Εάν, για παράδειγμα, το πλοίο βρεθεί αντιμέτωπο με πυρκαγιά στο μηχανοστάσιο ή με αιφνίδια βλάβη στο κύριο σύστημα πρόωσης, είναι ζωτικής σημασίας η δυνατότητα γρήγορης πρόσβασης στα εφεδρικά αρχεία ή στους ελεγκτές του συστήματος (Qiao et al., 2021). Αν οι διεργασίες

διαχείρισης καταστροφών (disaster recovery) δεν έχουν οργανωθεί με ενιαίο σχεδιασμό, το πλήρωμα μπορεί να βρεθεί σε αδυναμία να ενεργοποιήσει συγκεκριμένες λειτουργίες ή να αποκαταστήσει τα κρίσιμα δεδομένα.

Στο πλαίσιο αυτό, οι περισσότεροι νηογνώμονες και διεθνείς οργανισμοί (IMO, 2021) προτείνουν την ύπαρξη ολοκληρωμένων εγχειριδίων αντιμετώπισης εκτάκτων καταστάσεων (emergency procedures). Τα εγχειρίδια αυτά οφείλουν να συμπεριλαμβάνουν συγκεκριμένες οδηγίες για την πρόσβαση σε εφεδρικά τερματικά ECDIS, για τη χειροκίνητη λειτουργία του πηδαλίου ή για τη σύνδεση εφεδρικών γεννητριών. Επιπλέον, συνιστώνται τακτικές ασκήσεις (drills) που προσομοιώνουν ρεαλιστικά σενάρια βλάβης ή επίθεσης, με στόχο τη διατήρηση ενός ικανού επιπέδου ετοιμότητας στο πλήρωμα (Melnyk et al., 2023).

Επιπρόσθετα, η διασύνδεση ECDIS–συστημάτων διοίκησης οφείλει να λαμβάνει υπόψη την επικοινωνία με τις χερσαίες βάσεις υποστήριξης: σε αρκετές περιπτώσεις, η αποκατάσταση μιας βλάβης ενδέχεται να απαιτεί συντονισμό με ειδικευμένους τεχνικούς ή προμηθευτές λογισμικού που βρίσκονται στην ξηρά (Baldauf και Hong, 2016). Εάν έχουν προαποφασιστεί εναλλακτικά κανάλια επικοινωνίας (λ.χ. δορυφορικά τηλέφωνα εκτός του κύριου δικτύου του πλοίου), η αποτελεσματική ανταπόκριση σε κρίση καθίσταται σαφώς ευκολότερη.

6.4 Συμπέρασμα: Ολιστική Προσέγγιση για Ασφάλεια και Αξιοπιστία

Συνοψίζοντας, η ενοποίηση των συστημάτων ναυσιπλοΐας και διοίκησης προσφέρει αναμφισβήτητα ουσιαστικά πλεονεκτήματα σε επίπεδο αποδοτικότητας, ασφάλειας πλοήγησης και λειτουργικής επίδοσης. Εντούτοις, τα νέα τεχνολογικά οικοσυστήματα εγκυμονούν μια πληθώρα απειλών — από κυβερνοεπιθέσεις (ransomware, DDoS) μέχρι ασυμβατότητες λογισμικού και ζητήματα που σχετίζονται με την ανθρώπινη αδυναμία ή τη βλάβη φυσικού εξοπλισμού. Καθίσταται, συνεπώς, επιτακτική η ανάγκη ανάπτυξης στρατηγικών που να συνθέτουν όλα τα επίπεδα της ασφάλειας: τεχνική, οργανωτική, ανθρώπινη και διαδικαστική (ENISA, 2021).

Οι προτάσεις για θωράκιση και ενίσχυση της αξιοπιστίας περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα πρακτικών. Αφενός, η εγκατάσταση μηχανισμών κρυπτογράφησης και ελέγχου πρόσβασης (RBAC) διασφαλίζει ότι οι κρίσιμες λειτουργίες δεν θα βρεθούν εκτεθειμένες σε μη εξουσιοδοτημένους χρήστες ή κακόβουλους εισβολείς (Lagouvardou, 2018). Αφετέρου, η συνεχής παρακολούθηση και το συχνό patching λογισμικού περιορίζουν τις

ευπάθειες που αναπόφευκτα προκύπτουν σε δυναμικά περιβάλλοντα ψηφιακών επικοινωνιών. Παράλληλα, η αρχιτεκτονική ανθεκτικότητας (fault tolerance) και η ύπαρξη εφεδρικών συστημάτων συντελούν στην ταχεία ανάκαμψη από πιθανές βλάβες ή κρίσεις.

Ταυτόχρονα, η διάσταση της αξιοπιστίας αναδεικνύει τη σημασία προληπτικής συντήρησης, υψηλής ποιότητας εξοπλισμού και σχεδιασμού διαδικασιών αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης. Η επιλογή υποσυστημάτων με υψηλό MTBF, ο περιοδικός έλεγχος ποιότητας και οι τακτικές ασκήσεις ετοιμότητας διασφαλίζουν τη μείωση του ρίσκου και τον περιορισμό των λειτουργικών αστοχιών (Qiao et al., 2021). Και, σε τελική ανάλυση, η ενσωμάτωση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας δεν αποτελεί μεμονωμένο έργο· συνιστά έναν κύκλο συνεχούς βελτίωσης, όπου οι εταιρείες οφείλουν να επικαιροποιούν τις διαδικασίες τους, να εκπαιδεύουν το προσωπικό και να αφουγκράζονται τις διεθνείς εξελίξεις σε θέματα ψηφιακής προστασίας (EMSA, 2023).

Σε ένα τόσο ραγδαία μεταβαλλόμενο περιβάλλον, όπου η ναυτιλία συνενώνεται διαρκώς με τις τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών, οι έννοιες της ασφάλειας και της αξιοπιστίας αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για την επιτυχία και τη βιώσιμη ανάπτυξη της βιομηχανίας. Στα επόμενα κεφάλαια, η παρούσα εργασία θα επικεντρωθεί περαιτέρω στο νομικό πλαίσιο και τους κανονισμούς που πλαισιώνουν την ενοποίηση ECDIS–συστημάτων διοίκησης, καθώς και σε πραγματικά παραδείγματα βέλτιστων πρακτικών, επιδιώκοντας να συνεισφέρει σε μια πληρέστερη εικόνα για το πώς οι ναυτιλιακές επιχειρήσεις μπορούν να ανταπεξέλθουν σε κάθε είδους πρόκληση.

Κεφάλαιο 7. Νομικό Πλαίσιο και Κανονισμοί

Η σημασία της θεσμικής ρύθμισης στον ναυτιλιακό κλάδο καθίσταται όλο και πιο προφανής, ειδικότερα όταν εξετάζονται πολυσύνθετες τεχνολογικές καινοτομίες (όπως η διασύνδεση του ECDIS με άλλα συστήματα διοίκησης). Η ναυτιλία, ως δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα σε διεθνές περιβάλλον, υπόκειται σε ένα πολύπλοκο πλέγμα νομοθετικών και κανονιστικών διατάξεων, οι οποίες προέρχονται από παγκόσμιους οργανισμούς (π.χ. ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός – IMO), από υπερεθνικούς θεσμούς (π.χ. η Ευρωπαϊκή Ένωση) και από εθνικές αρχές (π.χ. υπουργεία και λιμενικές αρχές). Παράλληλα, ο ρόλος των νηογνωμόνων (classification societies), όπως η DNV και ο Lloyd's Register, προσθέτει ένα επιπλέον επίπεδο τυποποίησης και ποιοτικού ελέγχου, το οποίο καλούνται να τηρήσουν οι ναυτιλιακές επιχειρήσεις.

Στο παρόν κεφάλαιο, εξετάζονται οι βασικές προβλέψεις του νομικού πλαισίου που διέπει τη χρήση του ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) και την ολοκληρωμένη διασύνδεσή του με άλλα ναυτιλιακά συστήματα. Αρχικά, εστιάζει στα διεθνή κανονιστικά όργανα –ιδίως τον IMO και τη Συνθήκη SOLAS– και στη συνέχεια διερευνά τις εθνικές νομοθεσίες και τις διαφοροποιήσεις που εμφανίζονται ανά σημαία. Ακολούθως, παρατίθενται οι απαιτήσεις των κυριότερων νηογνωμόνων, αναλύονται οι διαδικασίες πιστοποίησης και επιθεώρησης, ενώ τέλος παρουσιάζονται οι πιθανές μελλοντικές αλλαγές και οι αντίστοιχες επιπτώσεις για τις ναυτιλιακές επιχειρήσεις (Melnyk et al., 2023; DNV, 2020). Ο στόχος είναι η ανάδειξη της πολυδιάστατης φύσης του νομικού πλαισίου και η κριτική διερεύνηση των προκλήσεων που αντιμετωπίζουν όσοι δραστηριοποιούνται στη ναυτιλιακή βιομηχανία.

7.1 Ισχύον Νομοθετικό Πλαίσιο

Η υιοθέτηση και εφαρμογή του ECDIS έχει καθιερωθεί διεθνώς ως υποχρεωτική πρακτική στη ναυτιλία, κυρίως χάρη στις τροποποιήσεις που ενσωματώθηκαν στη Διεθνή Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα (SOLAS). Ωστόσο, το πώς ακριβώς υλοποιείται η απαίτηση αυτή και ποιοι επιμέρους κανόνες διέπουν τη διασύνδεση με άλλα συστήματα ποικίλλει, αναλόγως του δικαίου που ισχύει σε κάθε σημαία ή σε κάθε γεωγραφική περιφέρεια (Liang και Liu, 2024).

7.1.1 Διεθνείς Οργανισμοί (IMO, SOLAS) και Σχετικές Αποφάσεις

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organization – IMO) αποτελεί τον θεμελιώδη διαμορφωτή των διεθνών ναυτιλιακών κανονισμών (DNV, 2020). Μεταξύ των εννέα Συνθηκών που διαχειρίζεται, η κυριότερη για ζητήματα ασφαλείας είναι η Συνθήκη SOLAS (Safety of Life at Sea), στην οποία περιλαμβάνονται διατάξεις για την υποχρεωτική χρήση του ECDIS σε πλοία συγκεκριμένων κατηγοριών (π.χ. δεξαμενόπλοια, επιβατηγά, φορτηγά άνω ενός ορισμένου κόρου) (EMSA, 2023). Οι τροποποιήσεις της SOLAS (Κεφάλαιο V) εισήγαγαν σταδιακά την υποχρέωση εγκατάστασης και χρήσης του ECDIS σε όλα σχεδόν τα εμπορικά πλοία διεθνών πλόων, σύμφωνα με προκαθορισμένο χρονοδιάγραμμα (IMO, 2021).

Το παράρτημα V/19 της SOLAS ορίζει σαφώς ότι τα πλοία υποχρεούνται να διαθέτουν εγκεκριμένο σύστημα ηλεκτρονικών χαρτών, αντικαθιστώντας έτσι την παραδοσιακή απαίτηση για έντυπους χάρτες, υπό την προϋπόθεση ότι εφαρμόζεται κατάλληλη εφεδρεία (IMO, 1974). Επιπρόσθετα, ο IMO εξέδωσε το **MSC.232(82)**, ένα ψήφισμα που καθορίζει τα πρότυπα λειτουργίας (performance standards) για τα ECDIS, προβλέποντας, μεταξύ άλλων, τις τεχνικές προδιαγραφές για την ολοκλήρωσή τους με άλλα συστήματα και αισθητήρες (DNV, 2020; EMSA, 2023). Σύμφωνα με αυτές τις διατάξεις, τα πλοία υποχρεούνται όχι μόνο να έχουν το ECDIS, αλλά και να διασφαλίζουν ότι όλα τα συναφή υποσυστήματα (π.χ. γυροσκοπική πυξίδα, δέκτης GPS, αυτόματος πιλότος) συνδέονται με διαλειτουργικό τρόπο, ώστε η πλοήγηση να γίνεται με μέγιστη δυνατή ασφάλεια (Σπηλιάκος, 2024).

Πέραν των δεσμευτικών κειμένων, ο IMO εκδίδει και συμπληρωματικές εγκυκλίους (circulars) για τη χρήση του ECDIS. Χαρακτηριστική είναι η **MSC.1/Circ.1503**, γνωστή ως “ECDIS Guidance for Good Practice”, η οποία παρέχει αναλυτικές οδηγίες σχετικά με τις αναβαθμίσεις λογισμικού, την ορθή χρήση των ηλεκτρονικών χαρτών (ENC), καθώς και τις προϋποθέσεις εκπαίδευσης του προσωπικού (IMO, 2021). Αν και οι εγκύκλιοι δεν έχουν την τυπική δεσμευτικότητα των Συνθηκών, εντούτοις υιοθετούνται και εφαρμόζονται εκτενώς από τα Κράτη Μέλη του IMO και τους νηογνώμονες (Tabish και Chaur-Luh, 2024).

Ως προς το σκέλος της διασύνδεσης με άλλα συστήματα, οι προδιαγραφές του IMO προβλέπουν ότι το ECDIS θα πρέπει να μπορεί να επικοινωνεί με τις συσκευές αισθητήρων ναυσιπλοΐας χρησιμοποιώντας κοινά πρωτόκολλα (π.χ. NMEA 0183,

IEC61162), ενθαρρύνοντας την ενιαία διαχείριση δεδομένων στη γέφυρα (DNV, 2020). Στο Πλαίσιο της γενικότερης πρωτοβουλίας e-Navigation, ο IMO στηρίζει τεχνολογίες που επιτρέπουν στον αξιωματικό γέφυρας να έχει «συγκεντρωτική εικόνα» (common operational picture) μέσω του ECDIS (Korres, 2024). Ωστόσο, δεν υπάρχει ακόμη υποχρεωτική ρύθμιση που να καλύπτει κάθε μορφή ολοκλήρωσης με τα συστήματα διοίκησης του πλοίου· το νομικό πεδίο παραμένει εν μέρει ανοιχτό, αφήνοντας σε αρκετές περιπτώσεις την πρωτοβουλία στους νηογνώμονες ή στις εθνικές διοικήσεις.

7.1.2 Εθνικές Νομοθεσίες και Αποκλίσεις Ανά Σημαία Πλοίου

Παρότι οι περισσότεροι διεθνείς κανόνες που σχετίζονται με το ECDIS και τη διασύνδεσή του ενσωματώνονται στο εθνικό δίκαιο όλων των συμβαλλόμενων κρατών στη SOLAS, εντούτοις διακρίνονται κάποια σημεία απόκλισης ανά σημαία πλοίου (Badokhon, 2018). Στην πράξη, κάθε κράτος εφαρμόζει και εξειδικεύει τις διατάξεις του IMO ή ακόμη θέτει επιπρόσθετες απαιτήσεις στο πλαίσιο του **Flag State Control** (Aboul-Dahab, 2021).

Για παράδειγμα, κάποια κράτη-σημαίες μπορεί να απαιτούν από τα πλοία τους την εγκατάσταση συστημάτων ECDIS σε περισσότερες κατηγορίες πλοίων από ό,τι η SOLAS, ή να επιβάλλουν πιο αυστηρές προδιαγραφές για τη διπλή εγκατάσταση ECDIS (double ECDIS) με ανεξάρτητο ηλεκτρικό εφοδιασμό (Latorre et al., 2023) . Επιπροσθέτως, διαφορές ανακύπτουν και στη διαδικασία έγκρισης ή πιστοποίησης του εξοπλισμού: ορισμένες σημαίες διαθέτουν κρατικό φορέα που διενεργεί ελέγχους, ενώ άλλες αναθέτουν τον έλεγχο σε νηογνώμονες (Korres, 2024).

Στην ελληνική περίπτωση, το νομικό πλαίσιο εδραιώθηκε με την κύρωση της Σύμβασης SOLAS μέσω του Ν.1045/1980 (και των επόμενων Νόμων που κυρώνουν τα Πρωτόκολλα και τροποποιήσεις), καθιστώντας υποχρεωτική τη συμμόρφωση των ελληνόκτητων πλοίων στις διατάξεις για χρήση ECDIS (Qi, 2021). Επιπλέον, το Υπουργείο Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής εκδίδει εγκυκλίους και οδηγίες που διευκρινίζουν τον τρόπο συμμόρφωσης, σε συνεργασία με την Υδρογραφική Υπηρεσία του Πολεμικού Ναυτικού (Badokhon, 2018). Πάντως, οι ελληνικές απαιτήσεις δεν διαφοροποιούνται ουσιωδώς από τα διεθνή πρότυπα, παρά μόνο σε επιμέρους ζητήματα, όπως η εκπαίδευση των αξιωματικών σε προσομοιωτές ECDIS και η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών γέφυρας.

Ένα ακόμη σημαντικό επίπεδο εθνικής ρύθμισης αφορά τις **Port State Control** αρχές: τα κράτη διενεργούν ελέγχους (inspections) στα ξένα πλοία που καταπλέουν σε λιμάνια

τους, επιβεβαιώνοντας τη συμμόρφωση με τη SOLAS. Όταν ανιχνεύονται σοβαρές ελλείψεις (π.χ. μη ενημερωμένο λογισμικό ECDIS, έλλειψη εκπαίδευσης αξιωματικών), οι αρχές μπορούν να κρατήσουν το πλοίο ή να επιβάλουν κυρώσεις (OCIMF, 2021). Συνεπώς, παρότι ο IMO θέτει το γενικό πλαίσιο, η εφαρμογή του σε εθνικό επίπεδο μπορεί να έχει ιδιαιτερότητες: κάποια κράτη εμφανίζονται πιο αυστηρά στους ελέγχους, ενώ άλλα εμφανίζουν ελαστικότητα. Ωστόσο, σε γενικές γραμμές, οι αποκλίσεις δεν αφορούν την ουσία της χρήσης ECDIS (που είναι υποχρεωτική), αλλά συγκεκριμένους διαδικαστικούς τρόπους πιστοποίησης και αξιολόγησης της συμμόρφωσης.

7.2 Απαιτήσεις των Νηογνωμόνων

Ο ρόλος των νηογνωμόνων στη ναυτιλία υπερβαίνει την απλή κλασική έννοια της επιθεώρησης για την καταλληλότητα πλοίων (Class). Οι νηογνώμονες (classification societies) αναπτύσσουν δικούς τους τεχνικούς κανόνες για την ασφάλεια και την αξιοπιστία των ναυτιλιακών συστημάτων, οι οποίοι συχνά είναι πιο λεπτομερείς από τις διατάξεις του IMO. Επομένως, η συμμόρφωση ενός πλοίου με τη SOLAS δεν σημαίνει αυτόματα και την κλάση του πλοίου· απαιτείται, δηλαδή, η τήρηση επιπρόσθετων κανόνων που θεσπίζουν νηογνώμονες όπως η DNV, ο Lloyd's Register, η ABS και η Class NK (Σπηλιάκος, 2024).

7.2.1 Κύριοι Νηογνώμονες (π.χ. DNV, Lloyd's Register) και οι Απαιτήσεις τους για την Ασφάλεια και τη Διασύνδεση

Η Det Norske Veritas (DNV) διαμορφώνει πλειάδα κανονισμών και προτύπων για τα ενσωματωμένα συστήματα γέφυρας. Στο πλαίσιο αυτό, προβλέπονται κλάσεις (notations) όπως **NAUT-OC** ή **NAUT-C**, οι οποίες αφορούν την εργονομία και την ασφάλεια της γέφυρας (DNV, 2020). Μεταξύ άλλων, στις απαιτήσεις εντάσσονται:

1. **Διπλή εγκατάσταση ECDIS** (dual ECDIS) ή εφεδρική λύση σε περίπτωση βλάβης του κύριου συστήματος.
2. **Πλήρης συμβατότητα** του ECDIS με αισθητήρες (GPS, gyrocompass) μέσω αναγνωρισμένων πρωτοκόλλων (NMEA 0183, IEC 61162-1/2).
3. **Σχεδιασμός διεπαφών** που διευκολύνει το πλήρωμα στη χρήση του ECDIS και μειώνει τον κίνδυνο σύγχυσης ή κούρασης.

4. **Έλεγχος παραμέτρων** (alarm settings), προκειμένου να αποφεύγεται η υπερβολική εμφάνιση συναγερμών.

Αντίστοιχες αρχές ακολουθούν και οι άλλοι σημαντικοί νηογνώμονες (ABS, LR, Class NK). Οι κανονισμοί τους υπογραμμίζουν ότι η διασύνδεση ECDIS με τα υπόλοιπα υποσυστήματα (π.χ. ραντάρ, αυτόματος πιλότος) πρέπει να υλοποιείται με τρόπο που διασφαλίζει την αυτονομία και την ανεξαρτησία των συστημάτων· τυχόν βλάβη σε ένα τμήμα δεν πρέπει να επιφέρει αλυσιδωτές αστοχίες στη γέφυρα (Dubrova, 2013).

Στο ίδιο πλαίσιο, τα Integrated Bridge Systems (IBS) πιστοποιούνται από τους νηογνώμονες με επιπλέον κριτήρια, που αφορούν την ανθρώπινη εργονομία, την ασφάλεια κυβερνο-συνδεσιμότητας και τη δυνατότητα επίδειξης προδιαγεγραμμένων διαδικασιών σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης (DNV, 2020). Συνεπώς, η υιοθέτηση ολοκληρωμένων συστημάτων πλοήγησης –όπου το ECDIS ενοποιείται με την αυτόματη διόρθωση πορείας, το AIS κ.ο.κ.– συνοδεύεται από μια πιο απαιτητική διαδικασία πιστοποίησης, μέσα από την οποία διασφαλίζεται ότι οι τεχνικές λύσεις πληρούν τις διεθνείς και ιδιωτικές (κλασσιακές) προδιαγραφές.

7.2.2 Διαφορές στις Διαδικασίες Πιστοποίησης

Αν και οι νηογνώμονες αναγνωρίζουν γενικά ο ένας τους κανόνες του άλλου, στην πράξη οι διαδικασίες πιστοποίησης μπορεί να εμφανίσουν κάποιες διαφοροποιήσεις. Για παράδειγμα, η Lloyd's Register ακολουθεί συγκεκριμένα κριτήρια αξιολόγησης (Rules and Regulations for the Classification of Ships), τα οποία περιλαμβάνουν τόσο λειτουργικές δοκιμές όσο και επιθεώρηση της αρχιτεκτονικής των συστημάτων (EMSA, 2023). Ο βαθμός ανάλυσης συχνά ποικίλλει· ορισμένοι νηογνώμονες ζητούν επιπλέον μελέτες κινδύνου (risk assessment), ειδικά αν το ECDIS παρεμβαίνει άμεσα στον έλεγχο της πορείας με track control (Symes et al., 2024).

Επιπλέον, ενώ σε όλες τις περιπτώσεις το ECDIS οφείλει να διαθέτει έγκριση τύπου (type approval) από έναν αναγνωρισμένο φορέα, ορισμένοι νηογνώμονες ζητούν και συμπληρωματική επίδειξη της διασύνδεσης μέσα σε πραγματικές συνθήκες (sea trials) ή σε εγκεκριμένο προσομοιωτή, προτού εκδώσουν την τελική κλάση (Korres, 2024). Αυτή η διπλή αξιολόγηση διασφαλίζει ότι η θεωρητική συμμόρφωση μεταφράζεται σε ουσιαστική ασφάλεια· δεν αρκεί, δηλαδή, το ECDIS να αναγράφει συμβατότητα με πρωτόκολλα· πρέπει να αποδειχθεί ότι εντός του συγκεκριμένου πλοίου και με το

συγκεκριμένο λογισμικό, η ολοκληρωμένη λειτουργία ανταποκρίνεται στα πρότυπα του νηογνώμονα.

Παράλληλα, η πιστοποίηση δεν είναι στατική. Οι νηογνώμονες διενεργούν περιοδικές επιθεωρήσεις (annual surveys, intermediate ή special surveys), ελέγχοντας εάν το ECDIS και τα συνδεδεμένα συστήματα εξακολουθούν να λειτουργούν σωστά και αν έχουν εγκατασταθεί οι ενημερώσεις (patches) για το λογισμικό (Latorre et al., 2023). Εάν διαπιστώσουν σημαντικές ελλείψεις (π.χ. μη ενημερωμένα ηλεκτρονικά χαρτογραφικά δεδομένα, ασυμβατότητα λογισμικού, παράκαμψη συναγερμών ασφαλείας), μπορεί να θέσουν το πλοίο σε κατάσταση “Condition of Class” ή, σε ακραίες περιπτώσεις, να ανακαλέσουν την κλάση. Συνεπώς, η συμμόρφωση απαιτεί συνεχή μέριμνα και ανανέωση των δικαιολογητικών.

7.3 Προοπτικές για Μελλοντικές Αλλαγές

Όπως δείχνει η εμπειρία των τελευταίων ετών, η νομοθεσία και οι κανονισμοί για το ECDIS και την ολοκληρωμένη διασύνδεση δεν παραμένουν στάσιμοι. Ο IMO προβαίνει σε τακτικές αναθεωρήσεις των προτύπων, λαμβάνοντας υπόψη τις ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις στη ναυτιλία (Σπηλιάκος, 2024). Ταυτόχρονα, οι ευρωπαϊκές νομοθεσίες, τα εθνικά πλαίσια και οι εσωτερικοί κανονισμοί των εταιρειών αναμορφώνονται, επιδιώκοντας τη μέγιστη ασφάλεια και αποδοτικότητα.

7.3.1 Αναμενόμενη Εξέλιξη Διεθνών Κανονισμών με Βάση τις Τεχνολογικές Εξελίξεις

Ο Διεθνής Υδρογραφικός Οργανισμός (IHO) έχει αναπτύξει τα νεότερα πρότυπα χαρτογραφικών δεδομένων S-100, τα οποία φιλοδοξούν να ενσωματώσουν πολλαπλά είδη θαλάσσιων πληροφοριών (π.χ. μετεωρολογικά, βαθυμετρικά, ωκεανογραφικά) σε ένα ενιαίο περιβάλλον (Wang, Xiao και Chen, 2024). Από την πλευρά του, ο IMO, με το ψήφισμα MSC.530(106), κινείται στην καθιέρωση των S-100 ως νέας γενιάς πρότυπων για το ECDIS· προβλέπεται ότι, σε βάθος μερικών ετών, όλα τα νέα ECDIS θα κληθούν να υποστηρίζουν τις προδιαγραφές S-100 (IMO, 2021). Η αλλαγή αυτή ανοίγει τον δρόμο για μια πιο ολοκληρωμένη διασύνδεση συστημάτων, όπου το ECDIS θα λειτουργεί ως κεντρική πλατφόρμα που προσφέρει δυναμικά δεδομένα (π.χ. ζωντανές πληροφορίες παλίρροιας, θαλάσσιων ρευμάτων, ανέμων κ.λπ.). Απευθείας συνέπεια είναι η αύξηση

του όγκου διασυνδεδεμένων υποσυστημάτων και η ανάγκη επανασχεδιασμού των πρωτοκόλλων ασφάλειας (Korres, 2024).

Πέραν της χαρτογραφίας, προβλέπεται επίσης περαιτέρω νομοθετική εδραίωση της **κυβερνοασφάλειας** στη ναυτιλία. Η κύρια κίνηση του IMO με το ψήφισμα MSC.428(98) κατέστησε υποχρεωτική τη συμπερίληψη των κυβερνοκινδύνων στο Safety Management System, ενώ αρκετές ευρωπαϊκές ρυθμίσεις έχουν προσανατολιστεί σε αυστηρότερα μέτρα προστασίας δεδομένων (Symes et al., 2024). Μελλοντικές τροποποιήσεις ενδέχεται να απαιτούν διακριτές «ζώνες ασφαλείας» εντός των ολοκληρωμένων συστημάτων, ώστε οι επιπτώσεις μιας κυβερνοεπίθεσης στο μηχανοστάσιο να μην διαχέονται στη γέφυρα. Επιπλέον, οι εταιρείες ίσως χρειαστεί να αναπτύξουν συστηματικά προγράμματα παρακολούθησης (monitoring) και συνεχούς ενημέρωσης (patching), προκειμένου να διατηρείται η κλάση και να λαμβάνονται οι απαραίτητες εγκρίσεις (Liang και Liu, 2024).

Τέλος, η έλευση μερικώς ή πλήρως αυτόνομων πλοίων (autonomous ships) αναμένεται να επιφέρει ριζικές τροποποιήσεις στη SOLAS. Ήδη διεξάγονται πιλοτικά προγράμματα στη Νορβηγία, τη Φινλανδία και άλλες χώρες, όπου εξετάζεται η λειτουργία μη επανδρωμένων πλοίων με ψηφιακό έλεγχο (Aboul-Dahab, 2021). Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, το ECDIS και τα λοιπά υποσυστήματα (ραντάρ, AIS, μηχανές) θα πρέπει να ενοποιηθούν πλήρως σε ένα αυτοματοποιημένο σύστημα, με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Οι μελλοντικοί κανονισμοί θα εστιάσουν στην ευθύνη για τυχόν σφάλματα του λογισμικού, στην ασφαλή σύνδεση με χερσαία κέντρα ελέγχου, και σε νέες πρακτικές επιθεώρησης συστημάτων (Korres, 2024). Είναι πιθανό, λοιπόν, ότι οι επόμενες αναθεωρήσεις θα τροποποιήσουν εκ νέου το νομικό πλαίσιο, συνάπτοντας υποχρεωτικές απαιτήσεις για πλήρη διαλειτουργικότητα, αυτόματη διαχείριση κινδύνων και ενισχυμένη κυβερνοάμυνα.

7.3.2 Επιπτώσεις των Αλλαγών στις Ναυτιλιακές Επιχειρήσεις (π.χ. Οικονομικές, Οργανωτικές)

Η συνεχιζόμενη εξέλιξη του νομικού πλαισίου καθιστά επιτακτική την ανάγκη προσαρμογής για τις ναυτιλιακές επιχειρήσεις, τόσο σε οικονομικό όσο και σε οργανωτικό επίπεδο. Η αναμενόμενη μετάβαση στα πρότυπα S-100 πιθανότατα θα απαιτήσει την αναβάθμιση του εξοπλισμού ECDIS, προκειμένου να μπορεί το σύστημα να επεξεργάζεται τα νέα χαρτογραφικά δεδομένα (Dubrova, 2013). Ανάλογη ήταν η

περίπτωση μετατροπής από S-57 σε διαδοχικές βελτιωμένες εκδόσεις· πολλές εταιρείες αναγκάστηκαν να πληρώσουν για επιπλέον άδειες λογισμικού και υπηρεσίες ενημέρωσης (Symes et al., 2024). Συνεπώς, οι νέες απαιτήσεις συνεπάγονται υπολογίσιμες επενδύσεις, όπως η αγορά αδειών χρήσης, οι συμφωνίες συντήρησης, πιθανές προσθήκες σε αισθητήρες, αλλά και η εκπαίδευση του προσωπικού στη χρήση των νέων δεδομένων.

Σε οργανωτικό επίπεδο, οι απαιτήσεις για περαιτέρω ασφάλεια και αξιόπιστη διασύνδεση υποδηλώνουν ότι οι εταιρείες θα πρέπει να οργανώσουν ειδικά τμήματα ψηφιακής υποστήριξης, να αναπτύξουν διαδικασίες διαχείρισης κινδύνου και να επενδύσουν σε συνεχή επιμόρφωση του προσωπικού (Korres, 2024). Επιπλέον, ο χρόνος συμμόρφωσης με νέες διατάξεις (π.χ. deadlines που θέτει ο IMO ή η ΕΕ) συχνά είναι περιορισμένος, καθιστώντας τον προγραμματισμό ακινησίας ή δεξαμενισμού του πλοίου δύσκολο ζήτημα (DNV, 2020). Οι εταιρείες υποχρεώνονται να αναζητούν ισορροπίες ανάμεσα στην ελαχιστοποίηση του κόστους και στη διατήρηση της επιχειρησιακής συνέχειας.

Παράλληλα, κάποιες εταιρείες ενδέχεται να δουν στις επικείμενες αλλαγές μια ευκαιρία στρατηγικού εκσυγχρονισμού. Η μετάβαση σε ένα περισσότερο αυτοματοποιημένο περιβάλλον πλοήγησης θα μπορούσε να μειώσει τα μακροπρόθεσμα λειτουργικά έξοδα (π.χ. λιγότερες βλάβες, οικονομία καυσίμου χάρη στην ακριβή χαρτογράφηση ρευμάτων) και να προσδώσει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, ιδίως σε μια εποχή όπου η πράσινη ναυτιλία αναζητεί συνεχώς μεθόδους βελτιστοποίησης (Wang, Xiao και Chen, 2024). Σε κάθε περίπτωση, η συμμόρφωση με τις μελλοντικές τροποποιήσεις δεν είναι επιλογή, αλλά υποχρέωση. Η επιτυχής εφαρμογή τους κρίνεται καθοριστική για την αποφυγή νομικών και οικονομικών κυρώσεων, αλλά και για τη συνολική βιωσιμότητα της ναυτιλιακής επιχείρησης.

7.4 Κριτική Επισκόπηση και Συμπεράσματα

Η μελέτη του νομικού πλαισίου και των κανονισμών αναφορικά με το ECDIS και τη διασύνδεσή του με άλλα συστήματα πλοίου καταδεικνύει τη συνύπαρξη πολλαπλών επιπέδων ρύθμισης: από τη μία πλευρά, οι **διεθνείς κανόνες** (IMO, SOLAS) θέτουν τις γενικές αρχές και τις υποχρεωτικές ελάχιστες απαιτήσεις· από την άλλη πλευρά, **εθνικές νομοθεσίες** και **νηογνώμονες** εξειδικεύουν και ενίοτε αυστηροποιούν τις προβλέψεις, διαμορφώνοντας ένα σύνθετο πεδίο εφαρμογής. Αυτή η πολυεπίπεδη πραγματικότητα

δύναται να προκαλέσει σύγχυση ή υψηλό κόστος συμμόρφωσης, ιδίως για τις μικρότερες ναυτιλιακές επιχειρήσεις (Σπηλιάκος, 2024).

Ωστόσο, το σύνολο των προβλέψεων λειτουργεί στην πράξη ως ένας ισχυρός μηχανισμός εγγύησης της ασφαλούς λειτουργίας και της διαφύλαξης της ανθρώπινης ζωής. Οι απαιτήσεις για πιστοποίηση του ECDIS, χρήση εγκεκριμένων ηλεκτρονικών χαρτών (ENC), συνεχή ενημέρωση του λογισμικού και ελάχιστες προδιαγραφές εκπαίδευσης στοχεύουν στη μείωση του ανθρώπινου λάθους και στην εξοικονόμηση πόρων (EMSA, 2023). Η αναμενόμενη μετάβαση στα νέα πρότυπα χαρτογραφίας (S-100) και η συνεχής έμφαση στην κυβερνοασφάλεια δείχνουν ότι το νομικό πλαίσιο προσπαθεί να παραμείνει ευθυγραμμισμένο με τις ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις (Symes et al., 2024).

Σε κάθε περίπτωση, η επιτυχής ολοκλήρωση του ECDIS και η διασύνδεσή του με τα λοιπά συστήματα διοίκησης απαιτεί ναυτιλιακές εταιρείες πρόθυμες να επενδύσουν σε σύγχρονο εξοπλισμό, σε ανθρώπινους πόρους με κατάλληλη εκπαίδευση, καθώς και σε διαδικασίες που απηχούν τις βέλτιστες πρακτικές ασφάλειας. Ταυτόχρονα, οι νηογνώμονες αποδεικνύουν ότι διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο, καθώς οι κανόνες τους (συχνά τεχνικά λεπτομερέστεροι από εκείνους του IMO) εξασφαλίζουν ότι η διασύνδεση συστημάτων πλοίου εφαρμόζεται κατά τρόπο αξιόπιστο και με γνώμονα τη μείωση κινδύνων (Dubrova, 2013).

Από οργανωτική οπτική, οι νέες εξελίξεις σηματοδοτούν την ανάγκη συνεχούς «εγρήγορσης» των ναυτιλιακών επιχειρήσεων. Τα πρόστιμα για μη συμμόρφωση, η πιθανή κράτηση πλοίου σε λιμένα (Port State Control) και οι αστικές ή και ποινικές ευθύνες σε περιπτώσεις ατυχημάτων απειλούν άμεσα τη φήμη και την οικονομική βιωσιμότητά τους (DNV, 2020). Παράλληλα, η αυξανόμενη κυβερνοεξάρτηση, σε συνδυασμό με την ολοκλήρωση πολλαπλών αισθητήρων και συσκευών, επιβάλλει την ενίσχυση της κυβερνοασφάλειας ως βασικού στοιχείου λειτουργίας, ένα πεδίο που το νομοθετικό πλαίσιο παρακολουθεί αλλά δεν έχει ακόμη καλύψει πλήρως (Korres, 2024).

Σε τελική ανάλυση, το νομικό πλαίσιο και οι κανονισμοί παραμένουν αλληλένδετοι με τις τεχνολογικές εξελίξεις και τις οικονομικές-κοινωνικές πιέσεις. Η αναβάθμιση των προτύπων χαρτογράφησης, η έλευση αυτόνομων πλοίων και η ενοποίηση ναυτιλιακών δεδομένων προοιωνίζονται περαιτέρω τροποποιήσεις στους διεθνείς κανόνες (Melnyk et al., 2023). Οι ναυτιλιακές εταιρείες που θα επενδύσουν έγκαιρα σε ψηφιακή υποδομή, σε καινοτομία και σε οργανωτικές μεταρρυθμίσεις είναι πιθανότερο να ανταποκριθούν

επιτυχώς στις μελλοντικές απαιτήσεις, αποκτώντας ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε μια βιομηχανία όπου η συμμόρφωση προς τους κανόνες αποτελεί στοιχείο επιβίωσης και όχι απλώς κριτήριο αξιολόγησης (Tabish και Chaur-Luh, 2024).

Κεφάλαιο 8. Συμπεράσματα

Η προηγηθείσα ανάλυση (από τα εισαγωγικά κεφάλαια έως και τις νομικές-κανονιστικές πτυχές) ανέδειξε τη σύνθετη φύση της διασύνδεσης του ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) με τα υπόλοιπα συστήματα διοίκησης σε ένα πλοίο. Η πολυπλοκότητα αυτή δεν επιδρά μονοδιάστατα στις διαδικασίες ναυτιλίας· αντιθέτως, αγγίζει πολλαπλούς άξονες: την τεχνολογική εξέλιξη, τις απαιτήσεις ασφαλείας (κυβερνοασφάλεια, προστασία δικτύων), τις οικονομικές-οργανωτικές επιπτώσεις και το πολυεπίπεδο νομικό πλαίσιο (DNV, 2020). Στο παρόν καταληκτικό κεφάλαιο, επιχειρείται μια συνολική αποτίμηση των κύριων διαπιστώσεων και ευρημάτων που προέκυψαν από τη βιβλιογραφική έρευνα και τη θεωρητική διερεύνηση.

Παράλληλα, διατυπώνεται εκτίμηση της συμβολής της εργασίας στα υφιστάμενα γνωσιακά κενά, καθώς και κριτικός σχολιασμός όσων στοιχείων παραμένουν ασαφή ή ανεπαρκώς μελετημένα. Επιπροσθέτως, προτείνονται ορισμένες κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα, με στόχο την περαιτέρω εμβάθυνση στη δυναμική—αλλά ταυτόχρονα απαιτητική—πραγματικότητα της ολοκληρωμένης ναυτιλιακής πληροφορίας.

Τα συμπεράσματα που ακολουθούν αντλούν από όλα τα προηγούμενα κεφάλαια (εισαγωγικό, μεθοδολογικό, θεωρητικού υποβάθρου, ανάλυση προκλήσεων και βέλτιστων πρακτικών, ασφάλειας και αξιοπιστίας, νομικό πλαίσιο), προκειμένου να αναδείξουν εντέλει τη σημασία της διασύνδεσης ECDIS–συστημάτων διοίκησης. Κατ’ αυτόν τον τρόπο, το κεφάλαιο επιδιώκει να επαναφέρει στη συζήτηση τις κύριες μεταβλητές της έρευνας (τεχνική, οργανωτική, νομοθετική, ανθρώπινη) και να καταλήξει σε έναν συμπυκνωμένο αλλά περιεκτικό απολογισμό της μελέτης.

8.1 Συνοπτική Παρουσίαση των Κυριότερων Σημείων

Η παρούσα εργασία ξεκίνησε με μια επισκόπηση της ιστορικής εξέλιξης του ECDIS και τη σημαντική αλλαγή που επέφερε στον τρόπο χαρτογράφησης και πλοήγησης στη ναυτιλία

(Lundetal., 2018). Πιο συγκεκριμένα, τονίστηκε πως ο μετασχηματισμός από τον έντυπο χάρτη στον ηλεκτρονικό είχε πολλαπλές συνέπειες:

1. **Ακρίβεια Πλοήγησης:** Τα ηλεκτρονικά χαρτογραφικά δεδομένα (ENCs) ενσωματώνουν πληροφορίες υψηλής ανάλυσης, επιτρέποντας στον αξιωματικό να έχει συνεχώς ακριβή απεικόνιση της θέσης του πλοίου, παράλληλα με τις δέουσες προειδοποιήσεις για κινδύνους όπως αβαθή ή εμπόδια.
2. **Αυτοματοποιημένες Ενημερώσεις και Συναγερμοί:** Η δυνατότητα λήψης ενημερώσεων σε πραγματικό χρόνο και η ύπαρξη ενσωματωμένων συναγερμών αναβαθμίζουν την ασφάλεια, μειώνοντας την εξάρτηση από τον ανθρώπινο παράγοντα.
3. **Νέες Λειτουργικές Απαιτήσεις:** Το ECDIS δεν αποτελεί απλά μια ψηφιακή αναπαράσταση χάρτη, αλλά αναδεικνύεται σε κεντρικό κόμβο δεδομένων, αφού ενσωματώνει αισθητήρες (AIS, ραντάρ, GPS) και επιτρέπει την τροφοδότηση του συστήματος διοίκησης με κρίσιμότες πληροφορίες για την πορεία και τις συνθήκες (Mondal, 2018).

Από την άλλη πλευρά, η έρευνα για τα συστήματα διοίκησης πλοίου κατέδειξε τη σταδιακή τους ωρίμανση, περνώντας από μεμονωμένους αυτοματισμούς σε ολοκληρωμένες πλατφόρμες (Ship Management Systems). Τα συστήματα αυτά καλύπτουν όλο το φάσμα της λειτουργίας του πλοίου: από τον έλεγχο μηχανής και καυσίμων, έως τη διαχείριση επικοινωνιών και την υποστήριξη διοικητικών διαδικασιών (Bhardwaj, 2013). Έτσι, η διασύνδεση με το ECDIS γίνεται φυσικό επακόλουθο, εφόσον τα συστήματα διοίκησης μπορούν να αξιοποιήσουν σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες σχετικές με την πλοήγηση, βελτιώνοντας παράλληλα την επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα.

Καίριες διαπιστώσεις που εντοπίστηκαν στα ενδιάμεσα κεφάλαια:

- **Δυναμική Ενοποίηση Δεδομένων:** Μέσω της διασύνδεσης ECDIS–συστημάτων διοίκησης, οι ναυτιλιακές επιχειρήσεις είναι σε θέση να συγκεντρώνουν μεγάλο όγκο πληροφοριών, από την πορεία του πλοίου και τις καιρικές συνθήκες, έως την κατανάλωση καυσίμου και την πρόγνωση πιθανών βλαβών (Lyridis και Papaleonidas, 2019).

- **Οργανωτικές και Τεχνικές Προκλήσεις:** Η ολοκλήρωση συχνά προσκρούει σε ασυμβατότητες λογισμικού, ζητήματα κυβερνοασφάλειας και κόσθη εγκατάστασης-αναβάθμισης, τα οποία δεν πρέπει να υποτιμώνται σε επίπεδο στρατηγικού σχεδιασμού (Kolios, 2024).
- **Οικονομικά και Περιβαλλοντικά Οφέλη:** Στην επιτυχημένη πλευρά των πραγμάτων, η εύρυθμη ενοποίηση οδηγεί σε βέλτιστη κατανάλωση καυσίμου, μεγαλύτερη ασφάλεια πλοήγησης, ταχεία αντίδραση σε βλάβες και μείωση του ανθρώπινου λάθους (Coraddu et al., 2017).

Εξάλλου, το σκέλος της ασφάλειας και της αξιοπιστίας υπογράμμισε τους πιθανούς κινδύνους (ransomware, DDoS, spoofing GPS) και την ανάγκη για μέτρα θωράκισης σε επίπεδο κρυπτογράφησης, συνεχούς παρακολούθησης και σχεδιασμού εφεδρικών συστημάτων. Επιπρόσθετα, το νομικό πλαίσιο που αναλύθηκε (Κεφάλαιο 7) απεδείχθη εξίσου περίπλοκο, μια και οι διεθνείς συμβάσεις (IMO, SOLAS) έχουν θέσει τις γενικές βάσεις, ενώ οι νηογνώμονες (DNV, Lloyd's Register κ.ά.) εισάγουν περαιτέρω τεχνικά κριτήρια· έτσι, η συμμόρφωση των ναυτιλιακών εταιρειών καθίσταται σύνθετη, αλλά παράλληλα εξασφαλίζει ότι τηρούνται υψηλά πρότυπα ασφάλειας και λειτουργικότητας.

8.2 Αποτίμηση της Συμβολής της Εργασίας

Η παρούσα εργασία, με την οπτική μιας συγκεντρωτικής αλλά κριτικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης, επιχείρησε να συνδυάσει τεχνολογικές, οικονομικές, οργανωτικές και ρυθμιστικές διαστάσεις του θέματος. Συνεπώς, μπορεί να κριθεί ότι συνεισφέρει τόσο θεωρητικά όσο και πρακτικά:

1. Θεωρητική Συνεισφορά:

- Ανακεφαalaίωσε τη μετάβαση από τους έντυπους χάρτες στο ECDIS, εστιάζοντας στις τυποποιήσεις (S-57 και S-100) και στη συνακόλουθη ανάγκη για συνεχή αναβάθμιση του εξοπλισμού (IHO, 2021).
- Παρουσίασε αναλυτικά τις λειτουργικές δυνατότητες του ECDIS, δείχνοντας ότι η απλή εγκατάσταση ηλεκτρονικών χαρτών δεν επαρκεί για να αποδώσει τα πλήρη οφέλη. Αντιθέτως, η ουσιαστική αξιοποίηση απαιτεί διασύνδεση με άλλους αισθητήρες και συστήματα (AIS, μηχανοστάσιο, επικοινωνίες).

- Τεκμηρίωσε τη σημασία των συστημάτων διοίκησης πλοίου, τα οποία καλύπτουν ευρύ φάσμα λειτουργιών, και ανέδειξε τον ρόλο της αυτοματοποίησης στην επιχειρησιακή συνέχεια (Bhardwaj, 2013; Rizzuto και Soares, 2011).

2. Πρακτική Συνεισφορά:

- Αποτύπωσε τις **προκλήσεις** που συναντά η ναυτιλιακή βιομηχανία κατά την επιδίωξη ενοποίησης του ECDIS με τα υπόλοιπα υποσυστήματα, τόσο σε τεχνικό επίπεδο (ασυμβατότητες, ζητήματα ασφαλείας) όσο και σε οργανωτικό/οικονομικό (έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού, υψηλό κόστος υλοποίησης).
- Πρότεινε **συγκεκριμένες βέλτιστες πρακτικές** (π.χ. κεντρική αρχιτεκτονική έναντι αποκεντρωμένης, υλοποίηση dual ECDIS, διασφάλιση patching διαδικασιών) και ανέδειξε τα οφέλη τους στην αποδοτικότητα και στην ασφάλεια του πλοίου (Coraddu et al., 2017).
- Ανέλυσε το **νομικό πλαίσιο** (διεθνείς κανονισμοί SOLAS, IMO εγκύκλιοι) και τους επιμέρους κανόνες νηογνωμόνων (DNV, LR), υπογραμμίζοντας ότι η συμμόρφωση καθίσταται ολοένα πιο απαιτητική, ειδικά ενόψει των νεότερων προτύπων (S-100) και της έμφασης στην κυβερνοασφάλεια (DNV, 2020).

Εν ολίγοις, η ανασκόπηση συνέδεσε διαφορετικές αφετηρίες (τεχνικές, διοικητικές, κανονιστικές) ώστε να προσφέρει μια σφαιρική εικόνα του αντικειμένου. Πρόκειται για συμβολή που δύναται να υποστηρίξει είτε ερευνητές που επιθυμούν να μελετήσουν περαιτέρω τις τεχνολογικές εξελίξεις, είτε ναυτιλιακά στελέχη που επιδιώκουν να αξιολογήσουν το επιχειρηματικό μοντέλο της ολοκληρωμένης διασύνδεσης (Shehata, Aly και Ibrahim, 2023).

8.3 Επισήμανση Περιορισμών της Μελέτης

Παρόλο που η εργασία επιδιώκει μια ολιστική θεώρηση, δεν παρακάμπτει ορισμένους αδιόρατους (ή και ευδιάκριτους) περιορισμούς:

1. **Έλλειψη Πρωτογενών Δεδομένων:** Η έρευνα βασίστηκε κατά κύριο λόγο σε δευτερογενείς πηγές (επιστημονικά άρθρα, εκθέσεις νηογνωμόνων, κανονιστικά κείμενα κ.λπ.). Δεν πραγματοποιήθηκε πρωτογενής συλλογή δεδομένων (π.χ.

συνεντεύξεις με αξιωματικούς γέφυρας ή υπεύθυνους τεχνολογίας στις ναυτιλιακές εταιρείες), οπότε η ανάλυση παραμένει θεωρητική και δεν περιλαμβάνει εμπειρικά στατιστικά από τη ζωντανή λειτουργία της διασύνδεσης (Weintrit, 2011).

2. **Δυναμική Τεχνολογίας:** Οι εξελίξεις στο πεδίο του ECDIS, των προτύπων S-100 και της κυβερνοασφάλειας κινούνται με ταχείς ρυθμούς (IHO, 2021). Συνεπώς, κάποια από τα συμπεράσματα σχετικά με τη συγκεκριμένη τεχνολογία ενδέχεται να χρειαστούν επικαιροποίηση σε σύντομο χρονικό διάστημα.
3. **Ποικιλία Αγοράς:** Οι εφαρμογές και οι λύσεις που προτείνονται ενδέχεται να μην είναι εξίσου εφαρμόσιμες σε όλους τους τύπους πλοίων ή σε όλες τις κατηγορίες ναυτιλιακών επιχειρήσεων, λόγω διαφορών στη μεταφορική ικανότητα, στο αντικείμενο (π.χ. δεξαμενόπλοια, containerships, LNG carriers) ή στις οικονομικές δυνατότητες (Gritsenko και Roe, 2019).
4. **Κυβερνοασφάλεια ως Κρίσιμο Σημείο:** Παρότι καταγράφηκαν κυβερνοαπειλές και επισημάνθηκε η ανάγκη για αντίμετρα, το ζήτημα της ενδελεχούς περιγραφής των λύσεων κυβερνοασφάλειας (π.χ. τεχνικών intrusion detection, sandboxing) δεν καλύφθηκε διεξοδικά· αποτελεί πεδίο για πιο εξειδικευμένη περαιτέρω έρευνα (ENISA, 2021).

Οι περιορισμοί αυτοί, ωστόσο, δεν ακυρώνουν τη χρησιμότητα της μελέτης· αντιθέτως, υπογραμμίζουν την ανάγκη για περαιτέρω εμπλουτισμό της προσέγγισης, με εμπειρικά στοιχεία και βαθύτερες τεχνικές αναλύσεις, ιδίως στα θέματα της κυβερνοασφάλειας, της ανθρώπινης-μηχανικής αλληλεπίδρασης (human-machine interface) και του οικονομικού κόστους.

8.4 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Η διερεύνηση των βέλτιστων πρακτικών για τη διασύνδεση ECDIS-συστημάτων διοίκησης διανοίγει πολλά ερευνητικά πεδία. Μερικές ενδεικτικές κατευθύνσεις που ανακύπτουν:

1. **Εμπειρικές Μελέτες Περίπτωσης (Case Studies):**
 - Θα ήταν χρήσιμο να συγκεντρωθούν και να αναλυθούν λεπτομερώς στοιχεία από εταιρείες που έχουν επιτύχει υψηλό βαθμό ολοκλήρωσης ECDIS-συστημάτων διοίκησης (establish best practices). Η καταγραφή

ποσοτικών μετρήσεων (π.χ. μείωση καυσίμου, ταχύτητα απόκρισης σε βλάβες, αριθμός σοβαρών συναγερμών) δύναται να τεκμηριώσει καλύτερα τα οφέλη της διασύνδεσης (Lyridis και Papaleonidas, 2019).

2. Κυβερνοασφάλεια στη Ναυτιλία:

- Παρά τις κατευθύνσεις του IMO (MSC.428(98)), οι εταιρείες εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν αβεβαιότητα σε ζητήματα όπως ο καθορισμός ζωνών ασφαλείας, η κλιμάκωση των DDoS επιθέσεων σε θαλάσσια δίκτυα και η προστασία κρίσιμων υποδομών (Liang και Liu, 2024). Μια ενδεδειγμένη τεχνική μελέτη θα μπορούσε να προτείνει τυποποιημένα μοντέλα ασφαλείας για ολοκληρωμένα συστήματα πλοίου, βασιζόμενη σε βιομηχανικά πρότυπα (IEC 62443 κ.ο.κ.).

3. Ανθρωποκεντρική Πλοήγηση και Γέφυρα:

- Οι παράγοντες της ανθρώπινης κόπωσης, της υπερβολικής εμπιστοσύνης στο ECDIS και της έλλειψης εξειδίκευσης αναφέρονται επανειλημμένα ως παθογένειες, οι οποίες απαιτούν περαιτέρω ανάλυση (Lee και Seppelt, 2012). Πιθανή έρευνα στο πεδίο του Human Factors Engineering θα μπορούσε να προτείνει μια καλύτερη εργονομία της γέφυρας, συνυπολογίζοντας τις βέλτιστες πρακτικές οπτικής παρουσίασης δεδομένων και την αποτελεσματική διαχείριση των συναγερμών.

4. Νομοθετικές Εξελίξεις και Αυτόνομα Πλοία:

- Με τη ραγδαία ανάπτυξη πιλοτικών αυτόνομων πλοίων στη Βόρεια Ευρώπη, εγείρεται το ερώτημα πώς θα ενσωματωθούν οι αρχές του ECDIS σε περιβάλλοντα που ενδεχομένως λειτουργούν πλήρως αυτοματοποιημένα (Korres, 2024). Στη συγκυρία αυτή, απαιτούνται ερευνητικές προσπάθειες που θα αποτυπώνουν τη μετάβαση του ECDIS από εργαλείο υποστήριξης ανθρώπου σε κεντρικό «εγκέφαλο» αυτόνομης ναυτιλίας. Επιπλέον, χρειάζεται μελέτη των θεσμικών επιπτώσεων για τη SOLAS, το STCW και τα πρότυπα εκπαίδευσης των πληρωμάτων (ειδικά όταν ο ρόλος του ανθρώπου ενδέχεται να περιοριστεί σε καθαρά εποπτικό επίπεδο).

5. Περιβαλλοντικές Μεταβλητές και Ανάλυση Μεγάλης Κλίμακας (Big Data):

- ο Μέσω προηγμένων τεχνικών Big Data, τα συστήματα διοίκησης θα μπορούσαν να συλλέγουν σε πραγματικό χρόνο πληθώρα περιβαλλοντικών, λειτουργικών και οικονομικών δεδομένων (π.χ. τιμές καυσίμου, καιρικές προγνώσεις, σύγκριση εναλλακτικών διαδρομών). Μελλοντική έρευνα μπορεί να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη ευφυών αλγορίθμων που ενοποιούν τα δεδομένα από το ECDIS (S-100) με άλλα ροές πληροφορίας (Σπηλιάκος, 2024). Μια τέτοια ολιστική προσέγγιση θα υποστηρίξει καλύτερα την «πράσινη» στρατηγική μείωσης εκπομπών και τη βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας σε παγκόσμιο επίπεδο.

8.5 Τελική Επισκόπηση: Από τον Ψηφιακό Μετασχηματισμό στην Ολοκληρωμένη Ναυτιλία

Η θεματική της παρούσας εργασίας—η διασύνδεση του ECDIS με τα συστήματα διοίκησης—αποτελεί μέρος του ευρύτερου πλαισίου που ονομάζεται ψηφιακός μετασχηματισμός της ναυτιλίας (BIMCO, 2022). Ενώ παλιότερα η ναυτιλία χαρακτηριζόταν από έντονο συντηρητισμό και εξάρτηση από αναλογικά μέσα, σήμερα βλέπουμε μια ραγδαία στροφή προς τις ψηφιακές τεχνολογίες, με όλες τις ευκαιρίες και τις προκλήσεις που συνεπάγεται.

Η επιτυχία αυτής της στροφής δεν εξαρτάται απλώς από την αγορά και την εγκατάσταση ψηφιακών εργαλείων. Απαιτεί **συστημική ολοκλήρωση**: το ECDIS πρέπει να λειτουργεί συνέργεια με την κεντρική υποδομή δικτύου, τους αισθητήρες του πλοίου, τα πληροφοριακά συστήματα της εταιρείας στην ξηρά και φυσικά με το ανθρώπινο δυναμικό (Rizzuto και Soares, 2011). Η ασφάλεια των πληροφοριακών υποδομών, η αξιοπιστία του εξοπλισμού, η εκπαίδευση του προσωπικού και η συμμόρφωση με τα πολυεπίπεδα νομοθετικά πλαίσια φανερώνουν τη διεπιστημονική φύση της σύγχρονης ναυτιλιακής διαχείρισης.

Με βάση το σύνολο των συμπερασμάτων, μπορούμε να θέσουμε ορισμένους **καίριους άξονες επιτυχίας**:

1. **Ολοκληρωμένος Σχεδιασμός**: Οι επιχειρήσεις οφείλουν να εκπονούν πλάνα ολοκληρωμένης αρχιτεκτονικής, εξετάζοντας αν θα επιλέξουν κεντρικό ή αποκεντρωμένο μοντέλο, ποιες διασυνδέσεις θεωρούνται κρίσιμες και πώς θα εφαρμοστούν τα μέτρα ασφάλειας.

2. **Συνεχής Εκπαίδευση:** Δίχως επαρκώς εκπαιδευμένο ανθρώπινο δυναμικό (ειδικά σε αντικείμενα ECDIS, κυβερνοασφάλεια και predictive maintenance), η ψηφιακή μετάβαση ενέχει κινδύνους σοβαρών ατυχημάτων και αστοχιών (Weintrit, 2011).
3. **Διαδικασίες Ενημέρωσης και Patching:** Η εμπειρία των κυβερνοεπιθέσεων και η συνεχής ανάγκη για αναβαθμίσεις λογισμικού υποδεικνύουν ότι απαιτείται τακτικό χρονοδιάγραμμα ενημερώσεων και εξειδικευμένο προσωπικό που θα το εφαρμόζει με ασφάλεια (ENISA, 2021).
4. **Συμμόρφωση και Εναρμόνιση με Κανονισμούς:** Δεδομένων των διαφορετικών νηογνωμόνων, του SOLAS, της MED (Marine Equipment Directive) στην ΕΕ κτλ., οι εταιρείες χρειάζεται να παρακολουθούν εξαιρετικά στενά τις εξελίξεις, ώστε να μην αντιμετωπίζουν καθυστερήσεις ή κυρώσεις. Παράλληλα, πρέπει να αποκομίζουν και ανταγωνιστικά οφέλη, αξιοποιώντας την έγκαιρη προσαρμογή (DNV, 2020).
5. **Ανάδειξη Καινοτομιών και Future-Ready Προσεγγίσεων:** Η επερχόμενη εισαγωγή των προτύπων S-100, η σταδιακή ώθηση προς αυτόνομα πλοία και ο συνδυασμός Big Data για μετεωρολογική/ωκεανογραφική βελτιστοποίηση επιτάσσουν μία στρατηγική προσέγγιση. Τα πλοία που θα εκσυγχρονιστούν έγκαιρα θα αποκτήσουν δομές ικανές να υποδεχτούν τα νεότερα τεχνολογικά κύματα (Liang και Liu, 2024).

Συνολικά, η εικόνα που προκύπτει είναι αισιόδοξη, αφού η τεχνολογία του ECDIS, σε συνδυασμό με τους αυτόματους ελέγχους και τις βελτιστοποιήσεις, μπορεί να μετασχηματίσει τη ναυτιλία σε έναν κλάδο ασφαλέστερο, αποδοτικότερο και περιβαλλοντικά φιλικότερο. Ωστόσο, όπως συμβαίνει σε κάθε διαδικασία ψηφιακού μετασχηματισμού, η επιτυχία εξαρτάται από μία αρμονική σύζευξη τεχνολογικής υποδομής, ανθρώπινης τεχνογνωσίας και ρεαλιστικού κανονιστικού πλαισίου.

8.6 Συνολική Επισκόπηση και Τελικό Σχόλιο

Η υπόθεση εργασίας που διερευνήθηκε—ότι η διασύνδεση ECDIS–συστημάτων διοίκησης δύναται να επιφέρει ουσιώδη οφέλη στην ασφάλεια και την αποδοτικότητα των ναυτιλιακών επιχειρήσεων—φαίνεται να επιβεβαιώνεται με σαφήνεια από τη βιβλιογραφία και τα παραδείγματα που παρουσιάστηκαν (BIMCO, 2022; Coraddu et al.,

2017). Ταυτόχρονα, εντούτοις, αναδεικνύεται και η προϋπόθεση ύπαρξης κατάλληλων συνθηκών (τεχνικών, οικονομικών και νομικών), καθώς η πρακτική εφαρμογή της διασύνδεσης δεν είναι μια αυτόματη ή «φθηνή» διαδικασία.

1. **Στρατηγική Σημασία:** Ο αυξημένος ανταγωνισμός, οι περιβαλλοντικές πιέσεις (π.χ. μείωση εκπομπών CO₂) και οι εντεινόμενες ανάγκες ασφάλειας στη θάλασσα δείχνουν ότι η ναυτιλιακή βιομηχανία έχει κάθε λόγο να επενδύσει σε ολοκληρωμένα τεχνολογικά συστήματα (DNV, 2020).
2. **Τεχνολογική Ετοιμότητα και Ανθρώπινο Δυναμικό:** Οι εταιρείες που διαθέτουν πόρους και προγραμματίζουν δεόντως τη μετάβαση, επιτυγχάνουν σύγκλιση ECDIS και συστημάτων διοίκησης με σχετικά ομαλό τρόπο, ενισχύοντας την ενδοεπιχειρησιακή συνεργασία και αναδιατάσσοντας ρόλους και αρμοδιότητες (Svilicic et al., 2019).
3. **Παράγοντας Κυβερνοασφάλειας:** Η ψηφιοποίηση συνεπάγεται αναπόφευκτη έκθεση σε κινδύνους κυβερνοεπίθεσης, πειρατείας ή αλλοίωσης δεδομένων ναυσιπλοΐας (ENISA, 2021). Οι εταιρείες δεν μπορούν να αγνοήσουν την παράμετρο αυτή, γι' αυτό και η ενίσχυση μέτρων προστασίας, η διαρκής ενημέρωση λογισμικού και η ορθή εκπαίδευση του προσωπικού καθίστανται ακρογωνιαίος λίθος.
4. **Νομοθετική και Κανονιστική Εναρμόνιση:** Από τις αποφάσεις του IMO, έως τις εσωτερικές πολιτικές των νηογνωμόνων, βλέπουμε μια σαφή τάση διαρκούς αυστηροποίησης των κανόνων, με αιχμή την ασφάλεια, τη συμβατότητα και την κυβερνοθωράκιση (DNV, 2020). Επομένως, η ικανότητα των εταιρειών να προσαρμόζονται εγκαίρως σε αυτές τις απαιτήσεις—χωρίς να διαταράσσουν υπερβολικά τις επιχειρησιακές δραστηριότητές τους—θα αποτελέσει παράγοντα επιτυχίας στην αγορά.

Εν κατακλείδι, το μέλλον της ναυτιλίας διαγράφεται άμεσα συνυφασμένο με την πρόοδο της ψηφιακής τεχνολογίας και με το όραμα της ευέλικτης, έξυπνης και ασφαλούς γέφυρας. Το ECDIS, ως κομβική πλατφόρμα απεικόνισης χαρτογραφικών δεδομένων και συλλογής πολλαπλών εισροών, θα διατηρήσει κεντρικό ρόλο, αλλά θα πρέπει να συνεργάζεται απρόσκοπτα με το σύστημα διοίκησης πλοίου. Εφόσον επιτευχθεί αυτή η διασύνδεση σε ικανοποιητικό βαθμό, οι επιχειρήσεις μπορούν να αποκομίσουν

ασύγκριτα οφέλη σε οικονομία πόρων, μείωση κινδύνων, βέλτιστη διαχείριση φορτίων και βεβαίως, ενισχυμένη ασφάλεια του ανθρώπινου δυναμικού.

Παρόμοια βελτίωση δεν είναι ένα μεμονωμένο project· συνιστά μια διαρκή διαδικασία προσαρμογής και εξέλιξης, όπου η καινοτομία συναντά την τεχνογνωσία και τον ρυθμιστικό έλεγχο. Με ανάλογη προσέγγιση, η ναυτιλιακή βιομηχανία δύναται να διατηρήσει και να ενισχύσει τη θέση της ως νευραλγικού τομέα στη διεθνή οικονομία, υιοθετώντας τεχνολογίες και πρακτικές που αντικατοπτρίζουν τις σύγχρονες απαιτήσεις του 21^{ου} αιώνα.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Aboul-Dahab, K.M., 2021. The Readiness of the Maritime Education for the Autonomous Shipping Operations. *Arab Academy for Science, Technology and Maritime Transport*, 18.

Adhane, G.W. and Kim, D.S., 2017. Distributed control system for ship engines using dual fieldbus. *Computer Standards & Interfaces*, 50, pp.83-91.

Alderton, P.M. and Saieva, G., 2013. *Port management and operations*. Taylor & Francis.

Androjna, A., Brcko, T., Pavic, I. and Greidanus, H., 2020. Assessing cyber challenges of maritime navigation. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(10), p.776.

Androjna, A., Perkovič, M., Pavic, I. and Mišković, J., 2021. AIS data vulnerability indicated by a spoofing case-study. *Applied Sciences*, 11(11), p.5015.

Badokhon, O.H.O., 2018. Development of a model for integrating resilience engineering principles to ship management system [sic] to enhance navigational bridge operation.

Baldauf, M. and Hong, S.B., 2016. Improving and Assessing the Impact of e-Navigation applications. *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, 4, pp.1-12.

Bhardwaj, S., 2013. Challenges and potential of technology integration in modern ship management practices.

Bhatti, J. and Humphreys, T.E., 2017. Hostile control of ships via false GPS signals: Demonstration and detection. *NAVIGATION: Journal of the Institute of Navigation*, 64(1), pp.51-66.

BIMCO, 2022. *Digitalization in Shipping: Annual Report 2022*. [online] BIMCO. Available at: <https://www.bimco.org/media/nbgdh5gu/sustainability-report-2022-23.pdf> [Accessed 6 Feb. 2025].

Brčić, D., Žuškin, S., Valčić, S. and Rudan, I., 2019. ECDIS transitional period completion: analyses, observations and findings. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 18, pp.359-377.

Brefort, D., Shields, C., Jansen, A.H., Duchateau, E., Pawling, R., Droste, K., Jasper, T., Sypniewski, M., Goodrum, C., Parsons, M.A. and Kara, M.Y., 2018. An architectural framework for distributed naval ship systems. *Ocean Engineering*, 147, pp.375-385.

Bui, V.D. and Nguyen, H.P., 2021. A Comprehensive Review on Big Data-Based Potential Applications in Marine Shipping Management. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol*, 11(3), pp.1067-1077.

Car, M., Tominca-Coslovich, S., Brčić, D. and Žuškin, S., 2021. Cross-section of ECDIS education and training worldwide and in the Republic of Croatia: Relations Between Programs and User Perceptions. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 15.

Chen, H., Wen, Y., Huang, Y., Xiao, C. and Dai, H., 2024. From integrated bridge system to marine bridge domain: A computational perspective. *Ocean Engineering*, 298, p.117171.

Claramunt, C., Ray, C., Salmon, L., Camossi, E., Hadzagic, M., Joussetme, A.L., Andrienko, G., Andrienko, N., Theodoridis, Y. and Vouros, G., 2017. Maritime data integration and analysis: recent progress and research challenges. *Advances in Database Technology-EDBT*, 2017, pp.192-197.

CLIA, 2021. *CLIA Releases 2021 Environmental Technologies and Practices Inventory and Oxford Economics Environmental Report*. [online] Cruise Line Industry Association. Available at: <https://cruising.org/en-gb/news-and-research/press-room/2021/november/clia-releases-2021-environmental-technologies-and-practices-inventory> [Accessed 4 Feb. 2025].

Coraddu, A., Oneto, L., Baldi, F. and Anguita, D., 2017. Vessels fuel consumption forecast and trim optimisation: A data analytics perspective. *Ocean Engineering*, 130, pp.351-370.

Damman, S. and Steen, M., 2021. A socio-technical perspective on the scope for ports to enable energy transition. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 91, p.102691.

Dias, G., 2023. Extending ECDIS content: A process for producing Ice Information MIOS based on S-57 Ice objects.

Dion, D. and Alexander, L., 1998. Legal Issues and Implications of ECDIS. *J. Mar. L. & Com.*, 29, p.615.

DNV, 2020. *Cyber Security*. [online] DNV. Available at: <https://www.dnv.us/training/cyber-security-in-the-maritime-industry-171054/> [Accessed 3 Feb. 2025].

Dubrova, E., 2013. *Fault-tolerant design* (Vol. 8). New York: Springer.

EMSA, 2023. *Latest News - Annual Overview of Marine Casualties and Incidents report published - EMSA - European Maritime Safety Agency*. [online] Europa.eu. Available at: <https://emsa.europa.eu/thetis-mrv/items.html?cid=2&id=5055> [Accessed 1 Feb. 2025].

EMSA, 2023. *Latest News - Annual Overview of Marine Casualties and Incidents report published - EMSA - European Maritime Safety Agency*. [online] Europa.eu. Available at: <https://emsa.europa.eu/thetis-mrv/items.html?cid=2&id=5055> [Accessed 23 Feb. 2025].

ENISA, 2021. IDENTIFYING EMERGING CYBER SECURITY THREATS AND CHALLENGES FOR 2030 MARCH 2023 IDENTIFYING EMERGING CYBER SECURITY THREATS AND CHALLENGES FOR 2030 ABOUT ENISA AUTHORS. *European Union Agency for Cybersecurity*. [online] doi:<https://doi.org/10.2824/117542>.

Ford, D.N., Housel, T.J. and Mun, J., 2012. *Naval ship maintenance: An analysis of the Dutch shipbuilding industry using the knowledge value-added, systems dynamics, and integrated risk management methodologies*. Acquisition Research Program.

Ford, D.N., Housel, T.J. and Mun, J., 2012. *Naval ship maintenance: An analysis of the Dutch shipbuilding industry using the knowledge value added, systems dynamics, and integrated risk management methodologies*. Acquisition Research Program.

Gavalas, D., Boviatsis, M. and Katsounis, I., 2024. The Role of Automation and Robotics in Minimizing Vessel and Port Accidents.

Gritsenko, D. and Roe, M., 2019. Quality standards in polycentric systems: A case of shipping. *Geoforum*, 103, pp.138-147.

Guidance Notes on Smart Function Implementation, 2018. *Smart Function Implementation*. [online] Guidance Notes on Smart Function Implementation. Available at: <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/304-gn-smartfunctionimplementation-2018/smart-functions-gn-nov18.pdf> [Accessed 6 Feb. 2025].

Guo, X., Lang, X., Yuan, Y., Tong, L., Shen, B., Long, T. and Mao, W., 2024. Energy management system for hybrid ship: Status and perspectives. *Ocean Engineering*, 310, p.118638.

Hareide, O.S., 2013. *Control of position sensor input to ECDIS on High-Speed Craft* (Master's thesis).

IHO, 2000. *Publication S-57: IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data*. [online] Available at: <https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-57/31Main.pdf> [Accessed 6 Feb. 2025].

IHO, 2021. *S-100 Universal Hydrographic Data Model | IHO*. [online] iho.int. Available at: <https://iho.int/en/s-100-universal-hydrographic-data-model> [Accessed 6 Feb. 2025].

IMO (2024). *IMO documents related to shipborne radiocommunication and navigation equipment and systems*. [online] Imo.org. Available at: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/Docs-ShipborneRC-NavigationEquipment.aspx> [Accessed 7 Feb. 2025].

IMO, 1974. *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974*. [online] Imo.org. Available at: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\)](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS)) [Accessed 6 Feb. 2025].

IMO, 2019. *International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW)*. [online] IMO.org. Available at: <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-on-Standards-of-Training> [Accessed 6 Feb. 2025].

IMO, 2021. *ECDIS – GUIDANCE FOR GOOD PRACTICE*. [online] Available at: <https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/ism/imo/msc1-circ1503-rev1.pdf> [Accessed 1 Feb. 2025].

INTERTANKO, 2021. *INTERTANKO Guidance*. [online] Intertanko.com. Available at: <https://www.intertanko.com/info-centre/intertanko-guidance/guidancenotearticle/intertanko-competence-management-guidance-icmg> [Accessed 1 Feb. 2025].

Kapidani, N., 2023. *Intelligent use of maritime info-communication systems in developing environments* (Doctoral dissertation).

- Kechagias, E.P., Chatzistelios, G., Papadopoulos, G.A. and Apostolou, P., 2022. Digital transformation of the maritime industry: A cybersecurity systemic approach. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 37, p.100526.
- Kolios, A., 2024. Retrofitting Technologies for Eco-Friendly Ship Structures: A Risk Analysis Perspective. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(4), p.679.
- Kolios, A., 2024. Retrofitting Technologies for Eco-Friendly Ship Structures: A Risk Analysis Perspective. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(4), p.679.
- Korevanov, F., 2024. *Human-Centred Design in Modern ECDIS Systems* (Bachelor's thesis, NTNU).
- Krile, S., Kezić, D. and Dimc, F., 2013. NMEA communication standard for shipboard data architecture. *NAŠE MORE: znanstveničasopis za more ipomorstvo*, 60(3-4), pp.68-81.
- Krile, S., Kezić, D. and Dimc, F., 2013. NMEA communication standard for shipboard data architecture. *NAŠE MORE: znanstveničasopis za more ipomorstvo*, 60(3-4), pp.68-81.
- Kristić, M., Žuškin, S., Brčić, D. and Car, M., 2021. Overreliance on ECDIS technology: A challenge for safe navigation. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 15(2), pp.277-288.
- Korres, N., 2024. *Technological developments in modern e-navigation systems* (Master's thesis, ΠανεπιστήμιοΠειραιώς).
- Lagouvardou, S., 2018. Maritime Cyber Security: concepts, problems and models. *Kongens Lyngby, Copenhagen*.
- Lai, K. and Illindala, M.S., 2018. A distributed energy management strategy for resilient shipboard power system. *Applied Energy*, 228, pp.821-832.
- Lambrou, M., Watanabe, D. and Iida, J., 2019. Shipping digitalization management: conceptualization, typology and antecedents. *Journal of Shipping and Trade*, 4(1), pp.1-17.
- Latorre, A., Soeiro, T.B., Geertsma, R., Coraddu, A. and Polinder, H., 2023. Shipboard DC systems—A critical overview: Challenges in primary distribution, power-electronics-based protection, and power scalability. *IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society*, 4, pp.259-286.

- Lawson, L., 2018. An Analysis of the factors inhibiting ECDIS from effectually achieving its intended primary function of contributing to safe navigation.
- Lee, J.D. and Seppelt, B.D., 2012. Human factors and ergonomics in automation design. *Handbook of human factors and ergonomics*, pp.1615-1642.
- Li, M., Zhou, J., Chattopadhyay, S. and Goh, M., 2024. Maritime Cybersecurity: A Comprehensive Review. *arXiv preprint arXiv:2409.11417*.
- Liang, J. and Liu, J., 2024. Maritime transportation risk assessment: A multilevel node relationship-based fuzzy bayesian network. *Ocean Engineering*, 312, p.119204.
- Lu, C.W., Hsueh, C.K., Chuang, Y.L., Lai, C.M. and Yang, F.S., 2023. Marine Collision Avoidance Route Planning Model for MASS Based on Domain-Based Predicted Area of Danger. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(9), p.1724.
- Lund, M.S., Gulland, J.E., Hareide, O.S. and Weum, K.O.C., 2018, May. Integrity of integrated navigation systems. In *2018 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS)* (pp. 1-5). IEEE.
- Lyridis, D.V. and Papaleonidas, C., 2019. Organization and management of tanker shipping companies. In *The Routledge handbook of maritime management* (pp. 58-79). Routledge.
- Madsen, A.N., 2024. Decision Transparency during Autonomous Collision Avoidance: On Human-AI Compatibility and Autonomous Ships.
- Mahmoud, M.S. and Xia, Y., 2013. *Analysis and synthesis of fault-tolerant control systems*. John Wiley & Sons.
- Mba, J.U., 2024. Advancing sustainability and efficiency in maritime operations: Integrating green technologies and autonomous systems in global shipping. *Int J Sci Res Arch*, 13(02), pp.2059-2079.
- Melnyk, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Lohinov, O. and Ocheretna, V., 2023. Integral approach to vulnerability assessment of ship's critical equipment and systems. *Transactions on Maritime Science*, 12(01).
- Mišković, J., Pavić, I., Vidan, P. and Vukša, S., 2023. Overview of the Development of Nautical Charts. *Journal of Maritime Sciences/Casopis Pomorskog Fakulteta Kotor*, 24(2).

Mondal, R., 2018. Enhancing safety of navigation by incorporation of additional data by automatic identification system.

Mouratidis, H. and Diamantopoulou, V., 2018. A security analysis method for industrial Internet of Things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(9), pp.4093-4100.

Nielsen, M.R., 2016. How a ship's bridge knows its position-ECDIS assisted accidents from a contemporary human factors perspective.

NMEA (2024). *NMEA 2000 Standards*. [online] National Marine Electronics Association (NMEA) - Marine Electronics Standards, Training & Certification. Available at: <https://www.nmea.org/nmea-2000.html> [Accessed 7 Feb. 2025].

OCIMF, 2021. *Industry publishes new and improved cyber security guidelines*. [online] Ocimf.org. Available at: <https://www.ocimf.org/fr/news-and-events-4/news/bulletins/middle-east-news/industry-publishes-new-and-improved-cyber-security-guidelines> [Accessed 23 Feb. 2025].

Orciuolo, P., Severini, D., Bosich, D. and Sulligoi, G., 2024, September. The Impact of Dashboard Redesign on the Onboard Management in Maritime Applications: An User Experience Approach. In *2024 AEIT International Annual Conference (AEIT)* (pp. 1-5). IEEE.

Orlandi, A., Cappugi, A., Mari, R., Pasi, F. and Ortolani, A., 2021. Meteorological navigation by integrating metocean forecast data and ship performance models into an ecdis-like e-navigation prototype interface. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(5), p.502.

Pollari, E., 2018. *Variations in Maritime Vessel Alert Systems* (Master's thesis).

Potamos, G., Stavrou, E. and Stavrou, S., 2024. Enhancing Maritime Cybersecurity through Operational Technology Sensor Data Fusion: A Comprehensive Survey and Analysis. *Sensors*, 24(11), p.3458.

Potamos, G., Theodoulou, S., Stavrou, E. and Stavrou, S., 2023, March. Building maritime cybersecurity capacity against ransomware attacks. In *Proceedings of the International Conference on Cybersecurity, Situational Awareness and Social Media: Cyber Science 2022; 20–21 June; Wales* (pp. 87-101). Singapore: Springer Nature Singapore.

Qi, J., 2021. The review of implication and development of digital technologies in maritime sector.

Qiao, W., Liu, Y., Ma, X. and Lan, H., 2021. Cognitive gap and correlation of safety-I and safety-II: A case of maritime shipping safety management. *Sustainability*, 13(10), p.5509.

Rakoma, S.K., 2021. A review of digital maturity models for shipping companies.

Rasmussen, H.L., 2021. The challenge of integrating operational knowledge in building and ship design. *Facilities*, 39(3/4), pp.136-155.

Rizzuto, E. and Soares, C.G. eds., 2011. *Sustainable maritime transportation and exploitation of sea resources*. CRC Press.

Roberts, G.N., 2008. Trends in marine control systems. *Annual reviews in control*, 32(2), pp.263-269.

Shah, I.A., 2024. Autonomous Shipping: Security Issues and Challenges. *Cybersecurity in the Transportation Industry*, pp.187-210.

Shehata, M.S., Aly, S. and Ibrahim, A.M., 2023. A Decade of ECDIS: Analytical Review of the ECDIS Effect towards the Safety of Maritime Shipping. *AIN Journal*, (46).

Svilicic, B., Kamahara, J., Celic, J. and Bolmsten, J., 2019. Assessing ship cyber risks: A framework and case study of ECDIS security. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 18, pp.509-520.

Symes, S., Blanco-Davis, E., Graham, T., Wang, J. and Shaw, E., 2024. Cyberattacks on the Maritime Sector: A Literature Review. *Journal of Marine Science and Application*, 23(4), pp.689-706.

Tabish, N. and Chaur-Luh, T., 2024. Maritime Autonomous Surface Ships: A Review of Cybersecurity Challenges, Countermeasures, and Future Perspectives. *IEEE Access*.

Tabish, N. and Chaur-Luh, T., 2024. Maritime Autonomous Surface Ships: A Review of Cybersecurity Challenges, Countermeasures, and Future Perspectives. *IEEE Access*.

Tijan, E., Jović, M., Aksentijević, S. and Pucihar, A., 2021. Digital transformation in the maritime transport sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 170, p.120879.

Vickers, O.G., Culmer, P.R., Isaac, G.H., Kay, R.W., Shuttleworth, M.P., Board, T. and Williams, S., 2021. Is in vivo sensing in a total hip replacement a possibility? A review on past systems and future challenges. *Progress in Biomedical Engineering*, 3(4), p.042004.

Visky, G., Šiganov, A., ur Rehman, M., Vaarandi, R., Bahşi, H., Bahsi, H. and Tsiopoulos, L., 2024, September. Hybrid Cybersecurity Research and Education Environment for Maritime Sector. In *2024 IEEE International Conference on Cyber Security and Resilience (CSR)* (pp. 644-651). IEEE.

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

Ward, R., Gahnström, J., Hägg, M., Olindersson, F., Lind, M. and Green, S., 2020. Decision Support for Voyaging. In *Maritime Informatics* (pp. 187-203). Cham: Springer International Publishing.

Weintrit, A., 2011. *International Recent Issues about ECDIS, e-Navigation and Safety at Sea*. CRC Press/Balkema.

Weintrit, C.A. and FRIN, F., 2016. International Standardization of Maritime Education, Training, Scientific Research and Technological Advances related to Development of e-Navigation Strategy in Order to Enhance the Cooperation for Maritime Safety and Security and Protection of Ocean Environment. *IAMU AGA 17*, p.8.

Xiao, Y., Chen, Z. and McNeil, L., 2022. Digital empowerment for shipping development: A framework for establishing a smart shipping index system. *Maritime Policy & Management*, 49(6), pp.850-863.

Xu, L., Guerrero, J.M., Lashab, A., Wei, B., Bazmohammadi, N., Vasquez, J.C. and Abusorrah, A., 2021. A review of DC shipboard microgrids—Part II: Control architectures, stability analysis, and protection schemes. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 37(4), pp.4105-4120.

Σπηλιάκος, Γ., 2024. A Framework for the Collection, Storage and Visualisation of Big Maritime Data.