



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ»**

**ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΔΙΟΙΚΗΣΗ LOGISTICS**

**Μεταπτυχιακή Διατριβή**

«Logistics και Εφοδιαστική Αλυσίδα Ανταλλακτικών σε LNG Carriers:  
Θεωρητική Ανάλυση Πρακτικών και Κριτική Επισκόπηση της Προμηθευτικής Αποδοτικότητας»

«Logistics and Spare Parts Supply Chain in LNG Carriers:  
Theoretical Analysis of Practices and Critical Review of Procurement Efficiency»

**ΚΑΡΑΧΡΗΣΤΟΥ ΕΙΡΗΝΗ**

A.M.:TML2413

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**ΜΟΣΧΟΥΡΗΣ ΣΩΚΡΑΤΗΣ**

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 2026

## ΔΗΛΩΣΗ

Η εργασία αυτή είναι πρωτότυπη και εκπονήθηκε αποκλειστικά και μόνο για την απόκτηση του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού τίτλου.

Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του μη πρωτότυπου υλικού της ΜΔΕ ανήκουν στον/στη μεταπτυχιακό/ή φοιτητή/τρια και στο επιβλέπον μέλος ΔΕΠ εις ολόκληρο, δηλαδή εκάτερος μπορεί να κάνει χρήση αυτών χωρίς τη συναίνεση άλλου. Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του πρωτότυπου μέρους της ΜΔΕ ανήκουν στον/στη μεταπτυχιακό/ή φοιτητή/τρια και στον/στην επιβλέποντα/ουσα από κοινού, δηλαδή δεν μπορεί ο ένας από τους δύο να κάνει χρήση αυτού χωρίς τη συναίνεση του άλλου. Κατ' εξαίρεση, επιτρέπεται η δημοσίευση του πρωτότυπου μέρους της διπλωματικής εργασίας σε επιστημονικό περιοδικό ή πρακτικά συνεδρίου από τον ένα εκ των δύο, με την προϋπόθεση ότι αναφέρονται τα ονόματα και των δύο (ή των τριών σε περίπτωση συνεπιβλέποντα/ουσας) ως συν-συγγραφέων. Στην περίπτωση αυτή προηγείται γραπτή ενημέρωση του/της μη συμμετέχοντα/ουσας στη συγγραφή του επιστημονικού άρθρου. Δεν επιτρέπεται η κατά οποιοδήποτε τρόπο δημοσιοποίηση υλικού το οποίο έχει δηλωθεί εγγράφως ως απόρρητο.

Ο/Η Φοιτητής/Φοιτήτρια

Καραχρήστου Ειρήνη

Ο/Η Επιβλέπων/Επιβλέπουσα

Μοσχούρης Σωκράτης

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Καθηγητή κ. Μοσχούρη Σωκράτη για την ουσιαστική του καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η συμβολή του υπήρξε ιδιαίτερα σημαντική στη διαμόρφωση της ερευνητικής προσέγγισης, μέσω των παρατηρήσεων και της επιστημονικής του καθοδήγησης. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το αντικείμενο της εργασίας ήταν σύνθετο, με πολύπλευρο χαρακτήρα και ποικίλες βιβλιογραφικές αναφορές, τα παραπάνω συνέβαλαν στην αξιολόγηση των πηγών πριν από την χρήση τους.

Ιδιαίτερη αναφορά θα ήθελα να κάνω στην οικογένεια μου, που με την στήριξη τους καθ'όλη τη διάρκεια των ακαδημαϊκών μου χρόνων, με την εμπιστοσύνη και την κατανόηση τους, αποτέλεσαν πηγή δύναμης για την ολοκλήρωση και αυτού του κύκλου σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εφοδιαστική αλυσίδα και η διαχείριση των logistics στον τομέα των LNG Carriers αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για την αποδοτική λειτουργία, την ασφάλεια και τη βιωσιμότητα των θαλάσσιων μεταφορών φυσικού αερίου. Η παρούσα διπλωματική εργασία θα εστιάσει στην ανάλυση της εφοδιαστικής αλυσίδας ανταλλακτικών που απαιτείται για τη συντήρηση και την απρόσκοπτη λειτουργία των LNG Carriers, με έμφαση τόσο στις θεωρητικές προσεγγίσεις όσο και στις πρακτικές που εφαρμόζονται στη ναυτιλιακή βιομηχανία.

Στόχος της εργασίας είναι να εξεταστεί η αποτελεσματικότητα των υφιστάμενων πρακτικών προμηθειών, να αναλυθούν οι προκλήσεις που σχετίζονται με τον χρόνο παράδοσης, το κόστος, την αξιοπιστία των προμηθευτών και τη διαχείριση αποθεμάτων, και να αξιολογηθεί η συμβολή τους στη συνολική επιχειρησιακή απόδοση. Η μεθοδολογία βασίζεται σε βιβλιογραφική επισκόπηση, ανάλυση περιπτώσιολογικών μελετών και κριτική αξιολόγηση διεθνών πρακτικών logistics, με σκοπό την ανάδειξη βέλτιστων πρακτικών και στρατηγικών βελτίωσης.

Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι η επιτυχής διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας ανταλλακτικών στα LNG Carriers εξαρτάται από την ισορροπία μεταξύ κόστους, ταχύτητας και ποιότητας. Παράλληλα, η ψηφιοποίηση, η χρήση συστημάτων παρακολούθησης (tracking systems) και οι στρατηγικές συνεργασίες με αξιόπιστους προμηθευτές αναδεικνύονται ως βασικοί παράγοντες που ενισχύουν την αποδοτικότητα και μειώνουν τους κινδύνους. Η εργασία καταλήγει ότι η ενσωμάτωση καινοτόμων τεχνολογιών και η υιοθέτηση μιας πιο ευέλικτης στρατηγικής προμηθειών μπορούν να συμβάλουν καθοριστικά στη βιώσιμη ανάπτυξη του κλάδου.

**Λέξεις-κλειδιά:** logistics, εφοδιαστική αλυσίδα, LNG Carriers, προμηθευτική αποδοτικότητα



## Abstract

The supply chain and logistics management in the LNG Carrier sector are critical factors for operational efficiency, safety, and sustainability in maritime natural gas transportation. This thesis focuses on the analysis of the spare parts supply chain necessary for the maintenance and uninterrupted operation of LNG Carriers, emphasizing both theoretical frameworks and practical approaches applied in the shipping industry.

The aim is to assess the effectiveness of existing procurement practices, analyze challenges related to delivery times, costs, supplier reliability, and inventory management, and evaluate their contribution to overall operational performance. The methodology is based on an extensive literature review, case study analysis, and a critical assessment of international logistics practices, aiming to highlight best practices and strategies for improvement.

Findings indicate that successful spare parts supply chain management for LNG Carriers depends on balancing cost, speed, and quality. Furthermore, digitalization, the use of tracking systems, and strategic partnerships with reliable suppliers emerge as key factors enhancing efficiency and mitigating risks. The thesis concludes that the integration of innovative technologies and the adoption of more flexible procurement strategies can significantly contribute to the sustainable development of the sector.

**Keywords:** logistics, supply chain, LNG Carriers, spare parts, procurement efficiency



## Πίνακας περιεχομένων

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>
1.1. Σκοπός και στόχοι της εργασίας	2
1.2. Αντικείμενο και ερευνητικά ερωτήματα	3
1.3. Σημασία της μελέτης για τη ναυτιλία και την ακαδημαϊκή κοινότητα	3
1.4. Δομή της εργασίας	4
<b>2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ</b>	<b>5</b>
2.1. Ορισμοί και βασικές έννοιες	5
2.2. Ιστορική εξέλιξη της εφοδιαστικής αλυσίδας στη ναυτιλία	8
2.3. Ο ρόλος της διαχείρισης αποθεμάτων και των ανταλλακτικών	10
2.4. Στρατηγικές προμηθειών και διαχείρισης κόστους	13
2.5. Δείκτες απόδοσης (KPIs) στην εφοδιαστική αλυσίδα	15
2.6. Case Studies και Παραδείγματα	17
2.7. LNG Carries και Τεχνικές Ιδιαιτερότητες	20
<b>3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</b>	<b>21</b>
3.1. Ερευνητικό πλαίσιο και σκοπός της ανάλυσης	22
3.2. Βιβλιογραφική προσέγγιση και επιλογή πηγών	23
3.3. Εννοιολογική ανάλυση αντί χρήσης πρωτογενών Case Studies	24
3.4. Κριτική ανάλυση και περιορισμοί της μελέτης	25
<b>4. Ανάλυση και Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων</b>	<b>25</b>
4.1. Δομή και λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας ανταλλακτικών στη ναυτιλία LNG	26

4.2.	<i>Παράγοντες που επηρεάζουν την προμήθεια (κόστος, χρόνος, αξιοπιστία)</i>	27
4.3.	<i>Τεχνολογικές λύσεις: ERP, IoT, predictive maintenance, tracking systems</i>	29
4.4.	<i>Συνεργασίες με προμηθευτές και ναυτιλιακούς οργανισμούς</i>	31
4.5.	<i>Σύγχρονες τάσεις και βέλτιστες πρακτικές</i>	33
4.6.	<i>Ανάλυση πλεονεκτημάτων των υφιστάμενων πρακτικών</i>	35
4.7.	<i>Εντοπισμός αδυναμιών και περιορισμών</i>	37
4.8.	<i>Συγκριτική ανάλυση με άλλους κλάδους της ναυτιλίας (containerships, tankers)</i>	38
4.9.	<i>Διδάγματα από διεθνείς περιπτωσιολογικές μελέτες (case studies)</i>	39
5.	<i>Συμπεράσματα και Προτάσεις</i>	41
5.1.	<i>Σύνοψη βασικών ευρημάτων</i>	41
5.2.	<i>Κριτική αξιολόγηση της αποδοτικότητας</i>	42
5.3.	<i>Προτάσεις βελτίωσης για τη ναυτιλία LNG</i>	43
5.4.	<i>Προοπτικές μελλοντικής έρευνας</i>	46
6.	<i>Βιβλιογραφία</i>	48



## ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<i>Εικόνα 1: Πλοίο τύπου LNG Carrier στο Johor, Μαλαισία.</i>	7
<i>Εικόνα 2: Το LNG bunkering vessel "Brassanova" κατά την πρώτη υπηρεσία τροφοδοσίας LNG σε bulk carrier στο λιμάνι της Σιγκαπούρης, Φεβρουάριος 2024. Πηγή: Mitsui O.S.K. Lines (MOL), <a href="https://www.mol.co.jp/en/pr/2024/24025.html">https://www.mol.co.jp/en/pr/2024/24025.html</a></i>	10
<i>Διάγραμμα 1: Πηγή: Προσαρμογή από Rodrigue et al. (2020), Heaver (2011), Lam &amp; Yar (2021), BIMCO (2020), Starford (2009), Christopher (2016).</i>	16
<i>Διάγραμμα 2: Διάγραμμα εφοδιαστικής αλυσίδας ανταλλακτικών LNG Carrier. Απεικονίζει τη ροή υλικών από τους OEMs προς τα πλοία και την αντίστροφη ροή δεδομένων μέσω ψηφιακών συστημάτων.</i>	33

## ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ, ΣΥΜΒΟΛΩΝ &amp; ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ

## Συντομογραφίες

Συντομογραφία	Επεξήγηση (Ελληνικά)	Explanation (English)
AI	Τεχνητή Νοημοσύνη	Artificial Intelligence
BIMCO	Baltic and International Maritime Council	Baltic and International Maritime Council
CO <sub>2</sub>	Διοξείδιο του άνθρακα	Carbon Dioxide
ERP	Σύστημα Ολοκληρωμένου Προγραμματισμού Επιχειρησιακών Πόρων	Enterprise Resource Planning
GPS	Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης	Global Positioning System
IMO	Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός	International Maritime Organization
IoT	Διαδίκτυο των Πραγμάτων	Internet of Things
KPI	Δείκτης Απόδοσης	Key Performance Indicator
LNG	Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο	Liquefied Natural Gas
LTSA	Μακροχρόνια Συμβόλαια Υποστήριξης	Long-Term Service Agreement
OEM	Κατασκευαστής Πρωτότυπου Εξοπλισμού	Original Equipment Manufacturer
OTD	Ποσοστό Έγκαιρης Παράδοσης	On-Time Delivery
RFID	Αναγνώριση μέσω Ραδιοσυχνοτήτων	Radio Frequency Identification
3PL	Πάροχος Υπηρεσιών Τρίτου Μέρους στη Διαχείριση Logistics	Third-Party Logistics Provider

## Λεξιλόγιο Τεχνικών Όρων

Όρος (Ελληνικά)	Όρος (Αγγλικά)	Επεξήγηση
Αλυσίδα Εφοδιασμού	Supply Chain	Το σύνολο των διαδικασιών που περιλαμβάνει τη ροή υλικών, πληροφοριών και υπηρεσιών από τον προμηθευτή έως τον τελικό χρήστη.
Ανταλλακτικά	Spare Parts	Εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για τη συντήρηση και επισκευή του εξοπλισμού των πλοίων.
Ψηφιακός Δίδυμος	Digital Twin	Ψηφιακό μοντέλο που προσομοιώνει την πραγματική λειτουργία ενός πλοίου ή συστήματος.
Προγνωστική Συντήρηση	Predictive Maintenance	Τεχνική που χρησιμοποιεί δεδομένα και αλγόριθμους για την πρόβλεψη βλαβών πριν αυτές συμβούν.
Ανθεκτικότητα Εφοδιαστικής	Supply Chain Resilience	Ικανότητα του συστήματος να ανταποκρίνεται και να ανακάμπτει από κρίσεις ή διαταραχές.
Ναυτιλιακά Hubs	Maritime Hubs	Κομβικά σημεία σε λιμένες όπου συγκεντρώνονται δραστηριότητες logistics και διανομής.
Πράσινα Logistics	Green Logistics	Πρακτικές που στοχεύουν στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των εφοδιαστικών διαδικασιών.
Συμβόλαια Υποστήριξης OEM	OEM Support Agreements	Συμφωνίες που διασφαλίζουν την παροχή γνήσιων ανταλλακτικών και τεχνικής υποστήριξης από τον κατασκευαστή.
Blockchain	Blockchain	Ψηφιακή τεχνολογία καταγραφής δεδομένων με ασφάλεια και διαφάνεια, που χρησιμοποιείται για έλεγχο και ιχνηλασιμότητα.
Ενσωμάτωση Δεδομένων	Data Integration	Η διαδικασία ενοποίησης πληροφοριών από διαφορετικές πηγές για βελτίωση της λήψης αποφάσεων.
Ναυτιλιακή Εφοδιαστική	Maritime Logistics	Οργάνωση, μεταφορά και διαχείριση προμηθειών και ανταλλακτικών στη ναυτιλία.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εφοδιαστική αλυσίδα και τα logistics αποτελούν θεμελιώδη στοιχεία για την ομαλή λειτουργία των σύγχρονων επιχειρησιακών και εμπορικών δραστηριοτήτων. Στον ναυτιλιακό κλάδο, και ειδικότερα στον εξειδικευμένο τομέα των πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG Carriers), η αποτελεσματική διαχείριση των ανταλλακτικών αναδεικνύεται σε κρίσιμο παράγοντα για την ασφάλεια, τη λειτουργικότητα και την οικονομική βιωσιμότητα των πλοίων. (Christopher, 2016· DNV, 2021· Sharples, 2019) Το ερευνητικό ενδιαφέρον της παρούσας εργασίας εστιάζει ακριβώς σε αυτό το σημείο: πώς η οργάνωση και η αποδοτικότητα των διαδικασιών προμήθειας μπορούν να ενισχύσουν την επιχειρησιακή αξιοπιστία ενός τόσο απαιτητικού κλάδου. (Stopford, 2009· OECD, 2018) Η εργασία έχει ως βασικό σκοπό την ανάλυση και την επισκόπηση των πρακτικών logistics που εφαρμόζονται στη διαχείριση ανταλλακτικών των LNG Carriers. Ιδιαίτερα, επιχειρείται η διερεύνηση της προμηθευτικής αποδοτικότητας, με έμφαση σε παραμέτρους όπως ο χρόνος παράδοσης, το κόστος, η ποιότητα των συνεργασιών με τους προμηθευτές και η διαθεσιμότητα κρίσιμων εξαρτημάτων. (Panayides & Song, 2013· Notteboom, Pallis & Rodrigue, 2022) Παράλληλα, αναδεικνύεται η συμβολή των νέων τεχνολογιών, όπως τα πληροφοριακά συστήματα, το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) και η προγνωστική συντήρηση, στη βελτιστοποίηση των διαδικασιών. (Zeng et al., 2025· Saafi et al., 2022)

Η αιτιολόγηση για την εκπόνηση της μελέτης στηρίζεται τόσο σε πρακτικές όσο και σε ακαδημαϊκές ανάγκες. Σε επιχειρηματικό πλαίσιο, η αδυναμία έγκαιρης προμήθειας ανταλλακτικών μπορεί να οδηγήσει σε επιχειρησιακές καθυστερήσεις, αυξημένο κόστος ή ακόμη και σε κινδύνους για την ασφάλεια πλοίων και πληρωμάτων. (Lloyd's Register, 2021· Tang & Tomlin, 2008) Από ακαδημαϊκής πλευράς, η συγκεκριμένη θεματική δεν έχει εξεταστεί εκτενώς στη βιβλιογραφία, γεγονός που δημιουργεί την ανάγκη για περαιτέρω ανάλυση και τεκμηρίωση. (Eriksen, 2022· Hussein & Song, 2023)

Η εργασία είναι οργανωμένη σε πέντε κύρια κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται η εισαγωγή στο θέμα, διατυπώνονται οι στόχοι και παρουσιάζεται η σημασία της μελέτης. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η σχετική βιβλιογραφία, με έμφαση στις θεωρητικές βάσεις των logistics και τις διεθνείς πρακτικές. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία που

ακολουθήθηκε, ενώ στο τέταρτο παρουσιάζονται και ερμηνεύονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα και διατυπώνονται προτάσεις για τον κλάδο και για μελλοντική έρευνα.

### 1.1. Σκοπός και στόχοι της εργασίας

Η εφοδιαστική αλυσίδα και τα logistics έχουν αναδειχθεί σε κρίσιμους πυλώνες για την ομαλή λειτουργία των παγκόσμιων αγορών. Στον ναυτιλιακό κλάδο, και ιδιαίτερα στον εξειδικευμένο τομέα των LNG Carriers (Liquefied Natural Gas Carriers), η ανάγκη για αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας ανταλλακτικών είναι θεμελιώδης. Τα πλοία αυτά αποτελούν σύνθετες τεχνολογικές μονάδες, με αυξημένες απαιτήσεις συντήρησης, οι οποίες συνδέονται άμεσα με την ασφάλεια, την αξιοπιστία και την εμπορική τους αποδοτικότητα (Stopford, 2009).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να εξεταστούν θεωρητικά και κριτικά οι πρακτικές logistics και εφοδιαστικής αλυσίδας που εφαρμόζονται στη διαχείριση ανταλλακτικών των LNG Carriers. Ειδικότερα, στόχος είναι να αναλυθεί η αποδοτικότητα των προμηθειών μέσα από παραμέτρους όπως ο χρόνος παράδοσης, το κόστος, η αξιοπιστία των προμηθευτών και η διαθεσιμότητα των κρίσιμων εξαρτημάτων.

Οι επιμέρους στόχοι περιλαμβάνουν:

- Την παρουσίαση των θεωρητικών βάσεων της εφοδιαστικής αλυσίδας και των logistics, όπως ορίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία.
- Τη διερεύνηση των ιδιαιτεροτήτων των LNG Carriers σε σχέση με τις ανάγκες συντήρησης και την εξάρτηση από ανταλλακτικά.
- Την ανάλυση των διεθνών πρακτικών logistics, συμπεριλαμβανομένων των στρατηγικών διαχείρισης αποθεμάτων, συνεργασιών με προμηθευτές και εφαρμογής συστημάτων ERP.
- Την αξιολόγηση της επίδρασης της ψηφιοποίησης, του IoT και της προγνωστικής συντήρησης (predictive maintenance) στη βελτίωση της αποδοτικότητας.

- Τη διατύπωση προτάσεων για τη βελτίωση της προμηθευτικής αποδοτικότητας, με στόχο τη μείωση κόστους, χρόνου και κινδύνων.

## **1.2. Αντικείμενο και ερευνητικά ερωτήματα**

Η εφοδιαστική αλυσίδα ανταλλακτικών στη ναυτιλία δεν περιορίζεται σε μια απλή διαδικασία προμήθειας, αλλά αποτελεί ένα σύνθετο δίκτυο το οποίο περιλαμβάνει κατασκευαστές εξοπλισμού, προμηθευτές, διαμεταφορείς, τεχνικούς παρόχους και τις ίδιες τις ναυτιλιακές εταιρείες. Η αποτελεσματική λειτουργία αυτού του συστήματος επηρεάζει την επιχειρησιακή συνέχεια και την ανταγωνιστικότητα των εταιρειών LNG.

Τα βασικά ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας είναι:

1. Ποιες είναι οι θεωρητικές προσεγγίσεις και τα βασικά χαρακτηριστικά της εφοδιαστικής αλυσίδας ανταλλακτικών;
2. Ποιες είναι οι ιδιαίτερες απαιτήσεις των LNG Carriers σε σχέση με τη συντήρηση και την προμήθεια ανταλλακτικών;
3. Πώς εφαρμόζονται διεθνώς τα logistics στον τομέα αυτό και ποια είναι τα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα των πρακτικών αυτών;
4. Πώς η ψηφιοποίηση, το IoT και η προγνωστική επηρεάζουν την προμηθευτική αποδοτικότητα;
5. Ποιες στρατηγικές βελτίωσης μπορούν να υιοθετήσουν οι ναυτιλιακές εταιρείες για να ενισχύσουν την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα της εφοδιαστικής τους αλυσίδας;

## **1.3. Σημασία της μελέτης για τη ναυτιλία και την ακαδημαϊκή κοινότητα**

Η σημασία της παρούσας μελέτης μπορεί να αποτιμηθεί τόσο σε πρακτικό όσο και σε ακαδημαϊκό επίπεδο.

Σε πρακτικό επίπεδο, η αποτυχία στην έγκαιρη προμήθεια ενός κρίσιμου ανταλλακτικού μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερήσεις, αύξηση του κόστους, απώλειες φορτίου ή ακόμα και

σε ατυχήματα. Το LNG, ως φορτίο υψηλής επικινδυνότητας, απαιτεί αυστηρούς κανόνες ασφάλειας, γεγονός που καθιστά τη συντήρηση των LNG Carries ακόμη πιο απαιτητική (DNV, 2021). Επομένως, η μελέτη συμβάλλει στη βελτίωση της επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας και της ασφάλειας των ναυτιλιακών εταιρειών.

Σε ακαδημαϊκό επίπεδο, η συμβολή αφορά την ανάδειξη ενός τομέα που δεν έχει μελετηθεί εκτενώς στη βιβλιογραφία. Αν και η διεθνής έρευνα γύρω από τα logistics είναι εκτεταμένη (Christopher, 2016), η εστίαση στην εφοδιαστική αλυσίδα ανταλλακτικών LNG Carries είναι περιορισμένη. Συνεπώς, η εργασία επιχειρεί να καλύψει αυτό το κενό, παρέχοντας θεωρητική και κριτική επισκόπηση που μπορεί να αποτελέσει βάση για μελλοντική έρευνα.

#### 1.4. Δομή της εργασίας

Η εργασία θα είναι οργανωμένη σε πέντε βασικά κεφάλαια, εκτός της βιβλιογραφίας και των παραρτημάτων.

- **Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή:** Παρουσιάζεται το υπόβαθρο της μελέτης, οι στόχοι, τα ερευνητικά ερωτήματα και η σημασία του θέματος.
- **Κεφάλαιο 2 - Βιβλιογραφική Ανασκόπηση:** Παρουσιάζονται οι θεωρητικές βάσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας και των logistics, η σημασία των ανταλλακτικών, οι τεχνικές ιδιαιτερότητες των LNG Carries και οι διεθνείς πρακτικές.
- **Κεφάλαιο 3 - Μεθοδολογία:** Περιγράφεται η ερευνητική προσέγγιση, η βιβλιογραφική επισκόπηση, η χρήση μελετών περίπτωσης και οι περιορισμοί μέσα από παραδείγματα και case studies.
- **Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση και Παρουσίαση Αποτελεσμάτων:** Αναλύονται τα χαρακτηριστικά της εφοδιαστικής αλυσίδας ανταλλακτικών, οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα, τα εργαλεία logistics και οι μελέτες περιπτώσεων.
- **Κεφάλαιο 5 - Συμπεράσματα και Προτάσεις:** Συνοψίζονται τα κύρια ευρήματα, διατυπώνονται κριτικές παρατηρήσεις και προτείνονται βελτιώσεις για τον κλάδο LNG

## 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η μελέτη της εφοδιαστικής αλυσίδας και των logistics αποτελεί βασικό πυλώνα για την κατανόηση της διαχείρισης ανταλλακτικών στη ναυτιλία και ιδιαίτερα στον εξειδικευμένο τομέα των LNG Carriers. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν οι βασικοί ορισμοί και οι θεμελιώδεις έννοιες που σχετίζονται με τα logistics. Παρουσιάζεται η ιστορική εξέλιξη της εφοδιαστικής αλυσίδας στον χώρο της ναυτιλίας, εξετάζεται ο ρόλος της διαχείρισης αποθεμάτων και των ανταλλακτικών, αναλύονται οι στρατηγικές προμηθειών και κόστους, και τέλος, γίνεται αναφορά στους δείκτες απόδοσης που χρησιμοποιούνται διεθνώς για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της εφοδιαστικής διαδικασίας.

### 2.1. Ορισμοί και βασικές έννοιες

Το LNG (Liquefied Natural Gas), ή υγροποιημένο φυσικό αέριο, είναι φυσικό αέριο που έχει μετατραπεί σε υγρή μορφή μέσω ψύξης στους περίπου  $-162^{\circ}\text{C}$ , μειώνοντας τον όγκο του κατά περίπου 600 φορές σε σχέση με την αέρια κατάσταση. Αυτή η διαδικασία καθιστά δυνατή τη μεταφορά του φυσικού αερίου σε μεγάλες αποστάσεις, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα την ασφάλεια και την ενεργειακή απόδοση (IGU, 2022).

Τα LNG Carriers είναι ειδικά σχεδιασμένα πλοία που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του LNG. Διαθέτουν μονωμένες δεξαμενές υψηλής τεχνολογίας και συστήματα ψύξης, ώστε το φορτίο να διατηρείται σε σταθερά χαμηλή θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια της μεταφοράς. Η λειτουργία τους απαιτεί αυστηρή τήρηση των πρωτοκόλλων ασφαλείας, συνεχή παρακολούθηση των συστημάτων και προγραμματισμένη συντήρηση, καθιστώντας κρίσιμη τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας ανταλλακτικών και τεχνολογικού εξοπλισμού (Stopford, 2009).

Η έννοια των logistics έχει απασχολήσει την ακαδημαϊκή κοινότητα και τον επιχειρηματικό κόσμο για περισσότερες από πέντε δεκαετίες, εξελισσόμενη από μια καθαρά λειτουργική δραστηριότητα σε στρατηγικό εργαλείο επιχειρησιακής ανάπτυξης. Σύμφωνα με το Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP), τα logistics ορίζονται ως «η διαδικασία σχεδιασμού, εφαρμογής και ελέγχου της αποτελεσματικής και αποδοτικής ροής

και αποθήκευσης αγαθών, υπηρεσιών και πληροφοριών από το σημείο προέλευσης στο σημείο κατανάλωσης, με στόχο την ικανοποίηση των απαιτήσεων του πελάτη» (CSCMP, 2021). Ο ορισμός αυτός αναδεικνύει τρεις κρίσιμες πτυχές: τον σχεδιασμό των διαδικασιών, την υλοποίηση των επιχειρησιακών ενεργειών και τον έλεγχο της συνολικής αποτελεσματικότητας.

Ο Christopher (2016) ορίζει τα logistics ως «τη διαδικασία στρατηγικής διαχείρισης της προμήθειας, της μεταφοράς και της αποθήκευσης υλικών, ανταλλακτικών και τελικών προϊόντων, με σκοπό τη βελτιστοποίηση του κόστους και του χρόνου παράδοσης». Ο ορισμός αυτός δίνει έμφαση στον στρατηγικό χαρακτήρα των logistics, τα οποία δεν περιορίζονται πλέον σε λειτουργικές δραστηριότητες, αλλά ενσωματώνονται στον συνολικό σχεδιασμό της επιχείρησης ως πηγή ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος.

Αντίστοιχα, ο Ballou (2004) προσεγγίζει τα logistics ως «μια ολοκληρωμένη διαδικασία που περιλαμβάνει τον συντονισμό όλων των δραστηριοτήτων που απαιτούνται για τη μετακίνηση και αποθήκευση προϊόντων, πρώτων υλών και πληροφοριών, με στόχο την επίτευξη οικονομίας και ικανοποίησης του πελάτη». Στον ορισμό αυτό διαφαίνεται η ολιστική προσέγγιση των logistics, όπου κάθε επιμέρους λειτουργία – από την προμήθεια μέχρι τη διανομή – αντιμετωπίζεται ως κρίκος μιας ενιαίας αλυσίδας αξίας.

Η εφοδιαστική αλυσίδα (supply chain), σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, αναφέρεται στο σύνολο των ενεργειών που απαιτούνται για τη δημιουργία ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας και την παράδοσή του στον τελικό καταναλωτή. Όπως επισημαίνουν οι Chopra και Meindl (2019), η εφοδιαστική αλυσίδα περιλαμβάνει δίκτυα προμηθευτών, κατασκευαστών, μεταφορέων, διανομέων και λιανεμπόρων, καθώς και τις πληροφοριακές ροές που τα συνδέουν. Ενώ τα logistics επικεντρώνονται κυρίως στη διαχείριση της ροής αγαθών και πληροφοριών, η εφοδιαστική αλυσίδα εστιάζει στον στρατηγικό συντονισμό και τη συνεργασία μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων φορέων, ώστε να δημιουργείται προστιθέμενη αξία σε κάθε στάδιο της διαδικασίας.

Η λειτουργία των πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG Carriers) παρουσιάζει μια σειρά από τεχνικές και επιχειρησιακές ιδιαιτερότητες που καθιστούν την εφοδιαστική αλυσίδα ανταλλακτικών ιδιαίτερα απαιτητική. Τα πλοία αυτά συνιστούν εξειδικευμένα τεχνολογικά συστήματα, των οποίων η αποτελεσματική λειτουργία εξαρτάται

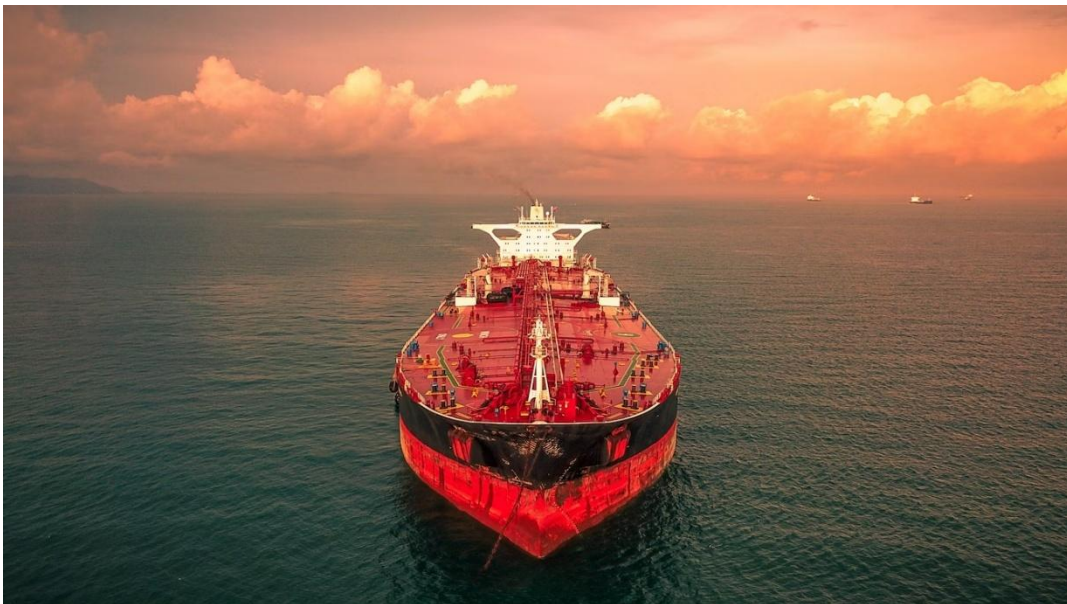
από την άψογη συντήρηση, την αξιοπιστία του εξοπλισμού και την έγκαιρη προμήθεια κρίσιμων εξαρτημάτων.

Με βάση τα παραπάνω, μπορούν να εντοπιστούν τρεις βασικές διαστάσεις που καθορίζουν την πολυπλοκότητα και τις προκλήσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας ανταλλακτικών στα LNG Carriers:

1. **Παγκόσμια διάσταση:** τα πλοία ταξιδεύουν σε διεθνείς θαλάσσιες οδούς και εξυπηρετούν λιμάνια διαφορετικών χωρών, με διαφορετικά κανονιστικά πλαίσια.
2. **Υψηλές απαιτήσεις αξιοπιστίας:** μια καθυστέρηση στην προμήθεια ανταλλακτικών μπορεί να οδηγήσει σε δαπανηρές καθυστερήσεις ή ακόμη και ακινητοποίηση πλοίου.
3. **Εξειδικευμένες ανάγκες:** τα LNG Carriers διαθέτουν σύνθετα συστήματα μεταφοράς και αποθήκευσης φυσικού αερίου που απαιτούν ειδικά ανταλλακτικά και εξειδικευμένες τεχνικές υποστηρίξεις.

Έτσι, οι θεωρητικές έννοιες των logistics και της εφοδιαστικής αλυσίδας μετατρέπονται σε κρίσιμα εργαλεία στρατηγικής σημασίας για τις ναυτιλιακές επιχειρήσεις.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα πλοίου τύπου **LNG Carrier**, το οποίο χρησιμοποιείται για τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG).



*Εικόνα 1: Πλοίο τύπου LNG Carrier στο Johor, Μαλαισία.*

*Πηγή: Φωτογραφία του DJI από το Unsplash*

## 2.2. Ιστορική εξέλιξη της εφοδιαστικής αλυσίδας στη ναυτιλία

Η ναυτιλία αποτελεί έναν από τους παλαιότερους και πλέον καθοριστικούς πυλώνες της παγκόσμιας οικονομίας, καθώς υπήρξε ο βασικός μηχανισμός μεταφοράς αγαθών, πρώτων υλών και τεχνολογιών ανά τους αιώνες (Stopford, 2009). Από τις πρώτες θαλάσσιες εμπορικές διαδρομές της Μεσογείου και της Ερυθράς Θάλασσας κατά την αρχαιότητα, η ανάγκη για οργανωμένη προμήθεια πλοίων και διαχείριση πόρων αναδείχθηκε ως προϋπόθεση για την επιτυχή ολοκλήρωση ταξιδιών μεγάλης διάρκειας (Rodrigue & Notteboom, 2020).

Κατά την εποχή των ιστιοφόρων πλοίων (17ος–18ος αιώνας), η έννοια της εφοδιαστικής είχε κυρίως επιχειρησιακό χαρακτήρα και επικεντρωνόταν στη διασφάλιση βασικών εφοδίων, όπως τρόφιμα, νερό, πυρομαχικά και εργαλεία συντήρησης (Hummels, 2007). Οι αποστολές μπορούσαν να διαρκέσουν μήνες ή και χρόνια, και η αδυναμία σωστού ανεφοδιασμού συχνά είχε καταστροφικά αποτελέσματα, τόσο για την αποστολή όσο και για το πλήρωμα. Αυτή η πρώιμη μορφή logistics βασιζόταν σε τοπικούς πράκτορες και αποθήκες σε στρατηγικά λιμάνια, προάγοντας τις πρώτες μορφές εφοδιαστικών δικτύων.

Η Βιομηχανική Επανάσταση του 19ου αιώνα άλλαξε ριζικά τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόταν η ναυτιλιακή εφοδιαστική. Η εισαγωγή του ατμού και αργότερα των μηχανών εσωτερικής καύσης μετέβαλε το προφίλ των αναγκών: πλέον, η εφοδιαστική αλυσίδα έπρεπε να διαχειρίζεται μεγάλες ποσότητες καυσίμων (άνθρακα και πετρελαίου), λιπαντικών, και εξαρτημάτων μηχανολογικού εξοπλισμού (Stopford, 2009). Στο δεύτερο μισό του αιώνα, η ανάπτυξη ναυτικών σταθμών καυσίμων σε διεθνή λιμάνια συνέβαλε στη θεμελίωση των πρώτων οργανωμένων συστημάτων προμηθειών, που λειτούργησαν ως προάγγελοι των σύγχρονων logistics centers (Fremont, 2009).

Η δεκαετία του 1960 αποτέλεσε ορόσημο για τη ναυτιλιακή βιομηχανία με την εισαγωγή της τεχνολογίας των εμπορευματοκιβωτίων (containerization). Ο συνδυασμός τυποποίησης φορτίων, αυτοματοποίησης λιμενικών διαδικασιών και προγραμματισμένων δρομολογίων άλλαξε ριζικά τη ροή της εφοδιαστικής αλυσίδας, επιτρέποντας την αποτελεσματικότερη διαχείριση πόρων, χρόνου και κόστους (Levinson, 2006). Η μεταφορά αγαθών απέκτησε παγκόσμιο χαρακτήρα και οι ναυτιλιακές επιχειρήσεις άρχισαν να εφαρμόζουν τις αρχές της διοικητικής επιστήμης και της βιομηχανικής μηχανικής στη διαχείριση εφοδίων.

Στην ίδια περίοδο, εμφανίστηκαν και τα πρώτα LNG Carriers, τα οποία σχεδιάστηκαν για τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου υπό θερμοκρασίες που έφταναν τους  $-162^{\circ}\text{C}$  (DNV, 2021). Η ανάπτυξή τους συνδέθηκε με την αυξανόμενη ζήτηση για καθαρότερες μορφές ενέργειας και τη δημιουργία εξειδικευμένων εφοδιαστικών δομών, ικανών να υποστηρίζουν την τεχνολογική πολυπλοκότητα των νέων πλοίων. Η συντήρηση και η προμήθεια ανταλλακτικών για τα πλοία αυτά απαιτούσε αυστηρή τεκμηρίωση, έλεγχο ποιότητας και εξειδικευμένο προσωπικό (Lloyd's Register, 2021).

Κατά τις επόμενες δεκαετίες, η εφοδιαστική αλυσίδα στη ναυτιλία συνέχισε να εξελίσσεται μέσα από την ενσωμάτωση πληροφοριακών συστημάτων (ERP, MRP II) και τη διεθνοποίηση των προμηθευτικών αγορών, γεγονός που βελτίωσε τη διαφάνεια και τη δυνατότητα παρακολούθησης των αποθεμάτων σε πραγματικό χρόνο (Christopher, 2016). Η διασύνδεση προμηθευτών, ναυπηγείων, πλοιοκτητών και τεχνικών τμημάτων σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα logistics επέτρεψε τη μείωση καθυστερήσεων και την αύξηση της αποδοτικότητας.

Σήμερα, η ναυτιλιακή εφοδιαστική έχει εισέλθει στην εποχή της ψηφιοποίησης και της βιωσιμότητας. Τεχνολογίες όπως το Internet of Things (IoT), η προγνωστική συντήρηση (predictive maintenance) και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων (big data analytics) συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση των ροών πληροφοριών, στη μείωση του κόστους και στην ενίσχυση της ασφάλειας των επιχειρήσεων (Acciaro & Sys, 2020). Παράλληλα, η τεχνολογία blockchain αρχίζει να χρησιμοποιείται για την καταγραφή και επαλήθευση των προμηθειών, ενισχύοντας τη διαφάνεια και την ιχνηλασιμότητα (DNV, 2021). Η συνεχής αναβάθμιση των συστημάτων logistics αποτελεί πλέον στρατηγική προτεραιότητα για τις ναυτιλιακές εταιρείες που επιδιώκουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και λειτουργική βιωσιμότητα.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το LNG bunkering vessel "Brassavola", το πρώτο membrane-type πλοίο τροφοδοσίας LNG της Σγκαπούρης, το οποίο εξοπλίζεται με προηγμένα τεχνικά χαρακτηριστικά και φιλικά προς το περιβάλλον πρότυπα.



*Εικόνα 2: Το LNG bunkering vessel "Brassavola" κατά την πρώτη υπηρεσία τροφοδοσίας LNG σε bulk carrier στο λιμάνι της Σιγκαπούρης, Φεβρουάριος 2024. Πηγή: Mitsui O.S.K. Lines (MOL), <https://www.mol.co.jp/en/pr/2024/24025.html>*

### **2.3. Ο ρόλος της διαχείρισης αποθεμάτων και των ανταλλακτικών**

Η διαχείριση αποθεμάτων αποτελεί θεμελιώδη συνιστώσα της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθορίζοντας σε μεγάλο βαθμό τη λειτουργική αποδοτικότητα, την οικονομική ισορροπία και την επιχειρησιακή ευελιξία κάθε οργανισμού (Christopher, 2016). Στον ναυτιλιακό κλάδο και ειδικότερα στη βιομηχανία των πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG Carriers) η ορθολογική διαχείριση των αποθεμάτων αποκτά ακόμη μεγαλύτερη σημασία, καθώς οι επιχειρησιακές δραστηριότητες πραγματοποιούνται σε ένα εξαιρετικά πολύπλοκο και γεωγραφικά διάσπαρτο περιβάλλον (Stopford, 2009).

Η φύση των ναυτιλιακών επιχειρήσεων επιβάλλει τη διατήρηση επαρκών ποσοτήτων ανταλλακτικών για την κάλυψη απρόβλεπτων βλαβών ή προγραμματισμένων συντηρήσεων, ανεξάρτητα από το πού βρίσκεται το πλοίο. Σε αντίθεση με άλλους βιομηχανικούς κλάδους, όπου οι προμήθειες μπορούν να αναπληρωθούν σχετικά εύκολα μέσω τοπικών δικτύων, στη ναυτιλία η καθυστέρηση στην παραλαβή ενός κρίσιμου εξαρτήματος μπορεί να οδηγήσει σε ολική ακινητοποίηση του πλοίου (Lloyd's Register, 2021). Η συνέπεια είναι διττή: οικονομική, λόγω απώλειας εσόδων και επιπλέον κόστους καθυστερήσεων, αλλά και

λειτουργική, καθώς διαταράσσεται η αξιοπιστία του πλοίου στο πλαίσιο των ναυλοσυμφώνων (Stopford, 2009).

Αντίθετα, η υπερσυσσώρευση αποθεμάτων δεν αποτελεί βιώσιμη λύση. Η υπερβολική διατήρηση ανταλλακτικών οδηγεί σε δέσμευση κεφαλαίων και αυξημένα λειτουργικά κόστη (Axsäter, 2015). Επιπλέον, πολλά ναυτιλιακά εξαρτήματα έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής ή υπόκεινται σε τεχνολογική απαξίωση, καθώς οι κατασκευαστές αναβαθμίζουν συνεχώς τον εξοπλισμό τους ή αλλάζουν τα πρότυπα σύμφωνα με νέους διεθνείς κανονισμούς, όπως αυτούς του International Maritime Organization (IMO, 2020). Συνεπώς, η επίτευξη ισορροπίας μεταξύ διαθεσιμότητας και κόστους αποτελεί στρατηγικό στόχο κάθε ναυτιλιακής εταιρείας που επιδιώκει υψηλή αποδοτικότητα.

### **Κατηγοριοποίηση ανταλλακτικών στα LNG Carriers:**

Στα LNG Carriers, όπου η τεχνολογική πολυπλοκότητα είναι ιδιαίτερα υψηλή, τα ανταλλακτικά κατατάσσονται συνήθως σε τρεις κύριες κατηγορίες:

#### **1. Κρίσιμα ανταλλακτικά (critical spares):**

Αφορούν εξαρτήματα απολύτως αναγκαία για τη συνεχή και ασφαλή λειτουργία του πλοίου. Η έλλειψή τους μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές επιχειρησιακές συνέπειες, όπως αδυναμία μεταφοράς φορτίου ή ακόμη και απώλεια πιστοποιητικών αξιοπλοΐας.

#### **2. Μη κρίσιμα αλλά σημαντικά ανταλλακτικά:**

Πρόκειται για υλικά που, αν και δεν προκαλούν άμεση ακινητοποίηση του πλοίου, είναι απαραίτητα για τη διατήρηση της αποδοτικότητας και της ενεργειακής απόδοσης. Η προμήθειά τους επιτρέπει κάποια χρονική ευχέρεια, χωρίς όμως να αίρεται η ανάγκη έγκαιρης πρόβλεψης.

#### **3. Καταναλώσιμα υλικά:**

Περιλαμβάνουν είδη που χρησιμοποιούνται καθημερινά, όπως λιπαντικά, φίλτρα, καθαριστικά ή άλλα αναλώσιμα. Η ζήτηση για αυτά είναι σταθερή και προβλέψιμη, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για προμήθεια μέσω τυποποιημένων διαδικασιών. Η διάκριση

αυτή διευκολύνει τον στρατηγικό σχεδιασμό της προμήθειας και της αποθήκευσης, καθώς και τη διαμόρφωση διαφορετικών πολιτικών ανάλογα με το επίπεδο κρισιμότητας.

### **Σύγχρονα εργαλεία και τεχνολογίες:**

Η βέλτιστη διαχείριση απαιτεί μια ισορροπία μεταξύ διαθεσιμότητας και κόστους, κάτι που καθίσταται εφικτό χάρη σε σύγχρονα πληροφοριακά συστήματα. Ειδικότερα:

**ERP (Enterprise Resource Planning):** Ενοποιούν όλες τις λειτουργίες της επιχείρησης και παρέχουν ενιαία εικόνα για τις ανάγκες, τις προμήθειες και τα διαθέσιμα αποθέματα.

**CMMS (Computerized Maintenance Management Systems):** Επιτρέπουν την παρακολούθηση των ανταλλακτικών σε συνάρτηση με τις εργασίες συντήρησης, διευκολύνοντας τον προγραμματισμό και την ελαχιστοποίηση απρογραμμάτιστων επισκευών.

**Συστήματα ανάλυσης δεδομένων (Big Data & Predictive Analytics):** Μέσω της συλλογής και ανάλυσης μεγάλου όγκου δεδομένων από προηγούμενες χρήσεις και συντηρήσεις, οι εταιρείες μπορούν να προβλέπουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις μελλοντικές ανάγκες.

### **Προηγμένες πρακτικές διαχείρισης:**

Η condition-based maintenance (CBM), δηλαδή η συντήρηση βάσει κατάστασης, αποτελεί πλέον διεθνή πρακτική για τον κλάδο. Μέσω αισθητήρων, αυτόματων συστημάτων διάγνωσης και τεχνολογιών IoT (Internet of Things), οι ναυτιλιακές εταιρείες μπορούν να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο την κατάσταση εξαρτημάτων και να γνωρίζουν πότε αυτά πλησιάζουν στο τέλος της διάρκειας ζωής τους. Έτσι, οι παραγγελίες ανταλλακτικών γίνονται ακριβώς όταν χρειάζονται, μειώνοντας τόσο τον κίνδυνο αιφνιδιαστικών βλαβών όσο και τα κόστη αποθήκευσης.

Επιπλέον, η χρήση μεθόδων ABC analysis (κατάταξη αποθεμάτων με βάση την αξία και τη σημασία τους) και XYZ analysis (κατάταξη με βάση τη σταθερότητα της ζήτησης) επιτρέπει πιο στοχευμένη πολιτική αποθεμάτων. Για παράδειγμα, τα κρίσιμα και υψηλής αξίας ανταλλακτικά εντάσσονται στην κατηγορία A, απαιτώντας συνεχή παρακολούθηση και στρατηγικά αποθέματα ασφαλείας, ενώ τα καταναλώσιμα μπορούν να ελέγχονται με τυποποιημένες παραγγελίες χαμηλού κόστους.

### **Στρατηγική σημασία στη ναυτιλία LNG:**

Η ορθή διαχείριση ανταλλακτικών και αποθεμάτων στα LNG Carries συμβάλλει όχι μόνο στη μείωση κόστους, αλλά και στη διασφάλιση της αξιοπιστίας του στόλου, στην ελαχιστοποίηση λειτουργικών διακοπών και στη συμμόρφωση με τους κανονισμούς ασφαλείας και περιβαλλοντικής προστασίας. Σε έναν κλάδο όπου η ακινητοποίηση ακόμη και για λίγες ώρες μπορεί να μεταφραστεί σε εκατοντάδες χιλιάδες δολάρια απωλειών, η στρατηγική διαχείριση αποθεμάτων αποτελεί αναπόσπαστο εργαλείο επιχειρησιακής ανθεκτικότητας και ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος.

### **2.4. Στρατηγικές προμηθειών και διαχείρισης κόστους**

Η αποτελεσματική στρατηγική προμηθειών αποτελεί ουσιαστικό παράγοντα για τη λειτουργία και τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα της ναυτιλιακής εφοδιαστικής αλυσίδας. Η προμήθεια υλικών, ανταλλακτικών, καυσίμων και υπηρεσιών δεν είναι μια απλή διαδικασία συναλλαγής αλλά ένας σύνθετος μηχανισμός που επηρεάζει άμεσα τόσο την επιχειρησιακή συνέχεια όσο και την ανταγωνιστικότητα της ναυτιλιακής επιχείρησης. Παραδοσιακά, η επιλογή προμηθευτή βασιζόταν κυρίως στο κριτήριο της χαμηλότερης τιμής. Ωστόσο, η σύγχρονη πραγματικότητα έχει αναδείξει μια σειρά από νέες παραμέτρους που καθιστούν αναγκαία την πολυδιάστατη αξιολόγηση των προμηθευτών. Πλέον, σημαντικό ρόλο παίζουν η αξιοπιστία, η ευελιξία, η συμμόρφωση με διεθνείς κανονισμούς, η ικανότητα άμεσης και ασφαλούς παράδοσης, η διασφάλιση ποιότητας, καθώς και η παροχή τεχνικής υποστήριξης και υπηρεσιών μετά την πώληση. (Stopford, 2009; Rodrigue et al., 2020)

### **Κύριες στρατηγικές προμηθειών στη ναυτιλία**

Στο πλαίσιο αυτό, έχουν διαμορφωθεί και υιοθετηθεί διάφορες στρατηγικές προμηθειών, οι οποίες αντανακλούν τις ανάγκες του κλάδου και την αυξανόμενη πολυπλοκότητα των εφοδιαστικών διαδικασιών:

1. **Συμβάσεις - πλαίσιο (framework agreements):** Πρόκειται για μακροχρόνιες συμφωνίες συνεργασίας με επιλεγμένους προμηθευτές, οι οποίες εξασφαλίζουν

σταθερές τιμές, βελτιωμένους όρους πληρωμής και παράδοσης, αλλά και προτεραιότητα σε περιόδους έντονης ζήτησης. Μέσω αυτών, η επιχείρηση αποκτά προβλεψιμότητα κόστους και περιορίζει τον κίνδυνο αιφνίδιων διακυμάνσεων στις τιμές της αγοράς. (Christopher, 2016)

2. **Just-in-time logistics:** Η εφαρμογή αυτής της στρατηγικής στοχεύει στη διατήρηση ελάχιστων αποθεμάτων με σκοπό τη μείωση των εξόδων αποθήκευσης και τη βελτιστοποίηση της ρευστότητας. Ωστόσο, η μεθοδολογία αυτή ενέχει υψηλό επιχειρησιακό ρίσκο, καθώς ακόμη και μικρές καθυστερήσεις στις παραδόσεις μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές λειτουργικές ανατροπές ή ακινησία πλοίων. (Chopra & Meindl, 2019)
3. **Συγκεντρωμένες προμήθειες (centralized purchasing):** Η ενοποίηση των αγορών για ολόκληρο τον στόλο μιας ναυτιλιακής εταιρείας παρέχει τη δυνατότητα επίτευξης οικονομιών κλίμακας. Με τον τρόπο αυτό, η εταιρεία μπορεί να διαπραγματευτεί πιο ευνοϊκούς όρους με προμηθευτές, να ενισχύσει τη διαφάνεια στη διαδικασία αγορών και να μειώσει τον κατακερματισμό των προμηθειών. (Heaver, 2011)
4. **Συνεργασία με 3PLs (third-party logistics providers):** Η ανάθεση μέρους ή ακόμη και του συνόλου των logistics σε εξωτερικούς συνεργάτες με εξειδικευμένα δίκτυα και τεχνογνωσία επιτρέπει στη ναυτιλιακή επιχείρηση να επικεντρωθεί στις κύριες δραστηριότητές της. Παράλληλα, η συνεργασία αυτή μπορεί να προσφέρει πρόσβαση σε καινοτόμες τεχνολογίες, προηγμένα πληροφοριακά συστήματα και καλύτερη διαχείριση ρίσκου. (Lam & Yap, 2021)

### Διαχείριση κόστους στη ναυτιλιακή εφοδιαστική

Η διαχείριση κόστους στο ναυτιλιακό περιβάλλον υπερβαίνει το απλό κόστος αγοράς των ανταλλακτικών ή των υλικών. Στην πραγματικότητα, περιλαμβάνει ένα πλέγμα επιμέρους κατηγοριών κόστους που επηρεάζουν τη συνολική λειτουργία:

- Μεταφορικά και έξοδα logistics, τα οποία αυξάνονται ανάλογα με τις γεωγραφικές αποστάσεις και τις συνθήκες της αγοράς.
- Κόστος καθυστερήσεων λόγω ελλείψεων, που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια εσόδων, επιβολή ποινικών ρητρών ή και φθορά της φήμης της επιχείρησης.

- Κόστος αποθήκευσης και διατήρησης αποθεμάτων, το οποίο περιλαμβάνει τόσο τις φυσικές υποδομές όσο και τις διαδικασίες ασφαλείας και διαχείρισης.
- Κόστος συμμόρφωσης με διεθνείς κανονισμούς, όπως οι IMO και SOLAS, το οποίο συχνά συνεπάγεται επενδύσεις σε εξοπλισμό, τεχνολογία και εξειδικευμένο προσωπικό.

Σύμφωνα με τον BIMCO (2020), το κόστος συντήρησης και επισκευών σε έναν LNG Carrier κυμαίνεται μεταξύ 15–20% των συνολικών λειτουργικών εξόδων, γεγονός που αναδεικνύει τη βαρύτητα της στρατηγικής προμηθειών στη διασφάλιση της οικονομικής βιωσιμότητας. Ένα αποτελεσματικό σύστημα προμηθειών δεν εξασφαλίζει μόνο μείωση κόστους αλλά και μεγαλύτερη ανθεκτικότητα απέναντι σε διαταραχές της εφοδιαστικής αλυσίδας, προσδίδοντας στην επιχείρηση συγκριτικό πλεονέκτημα στην παγκόσμια ναυτιλιακή αγορά. (Stopford, 2009)

## 2.5. Δείκτες απόδοσης (KPIs) στην εφοδιαστική αλυσίδα

Η μέτρηση της αποδοτικότητας είναι ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία τόσο στην ναυτιλία όσο και σε όλους τους οργανισμούς-εταιρείες. Εν προκειμένω, αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο για τη βελτίωση της εφοδιαστικής αλυσίδας, ειδικά σε ένα δυναμικό και πολύπλοκο περιβάλλον όπως η ναυτιλία. Οι δείκτες απόδοσης KPIs (Key Performance Indicators) προσφέρουν ποσοτικοποιημένα δεδομένα που βοηθούν τις ναυτιλιακές εταιρείες να εντοπίζουν αδυναμίες, να αξιολογούν προμηθευτές και να προγραμματίζουν πιο αποδοτικά τις λειτουργίες τους (Christopher, 2016; Chopra & Meindl, 2019).

Κύριοι δείκτες που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία:

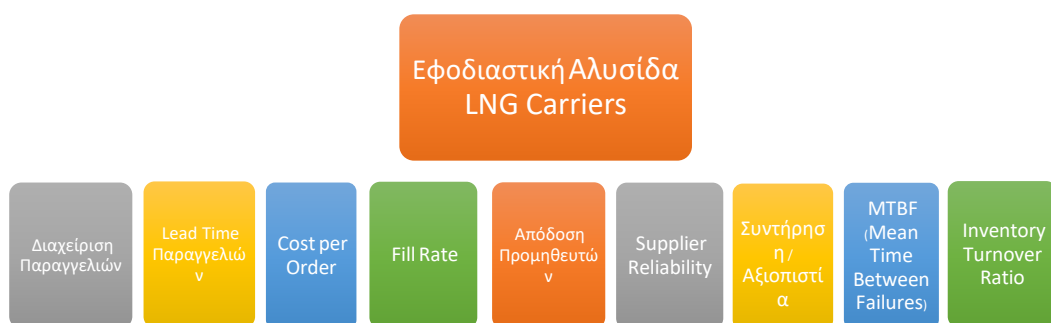
- **Lead Time Παραγγελιών:** Ο χρόνος από την τοποθέτηση παραγγελίας μέχρι την παράδοση στο πλοίο. Η μείωση του lead time συνδέεται άμεσα με την αυξημένη επιχειρησιακή ευελιξία και τη μείωση του κόστους (Rodrigue et al., 2020).
- **Fill rate:** Το ποσοστό κάλυψης αναγκών από τα διαθέσιμα αποθέματα. Υψηλό fill rate υποδεικνύει καλή διαχείριση αποθεμάτων και μειώνει τις πιθανότητες καθυστερήσεων ή ακινησίας πλοίων (Heaver, 2011)
- **Cost per Order:** Το συνολικό κόστος ανά παραγγελία, που περιλαμβάνει μεταφορικά, τέλη και διαχείριση αποθεμάτων. Η παρακολούθηση αυτού του δείκτη

επιτρέπει στις εταιρείες να βελτιστοποιούν την οικονομική αποδοτικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας (Lam & Yap, 2021).

- **Supplier Reliability:** Η αξιοπιστία και συνέπεια ενός προμηθευτή βάσει προηγούμενων συνεργασιών. Η συστηματική παρακολούθηση αυτού του KPI βοηθά στον εντοπισμό αξιόπιστων προμηθευτών και στη μείωση λειτουργικών κινδύνων (BIMCO, 2020)
- **Mean Time Between Failures (MTBF):** Η μέση χρονική διάρκεια μεταξύ βλαβών, συνδεδεμένη με την πρόβλεψη αναγκών σε ανταλλακτικά. Ο δείκτης αυτός είναι κρίσιμος για τον προγραμματισμό συντήρησης και την αποφυγή ακινησίας πλοίων (Stopford, 2009).
- **Inventory Turnover Ratio:** Δείκτης ανανέωσης αποθεμάτων, που δείχνει πόσο αποτελεσματικά διαχειρίζεται μια εταιρεία τα ανταλλακτικά της. Ένας υψηλός δείκτης υποδηλώνει αποτελεσματική διαχείριση αποθεμάτων και μειώνει το κόστος αποθήκευσης (Christopher, 2016).

Η χρήση KPIs, σε συνδυασμό με Data Analytics, δίνει τη δυνατότητα στις ναυτιλιακές επιχειρήσεις να λαμβάνουν αποφάσεις βασισμένες σε πραγματικά δεδομένα και όχι σε υποθέσεις. Επιπροσθέτως, δίνει την δυνατότητα στα στελέχη να προβλέψουν μελλοντικές καταστάσεις μέσα από τα δεδομένα των KPIs. Είναι γεγονός ότι η τεχνολογία αποτελεί σύμμαχο σε όλους τους κλάδους και μέσα από τις μετρήσεις μπορούν να αποφευχθούν ενδεχόμενα λάθη από αποφάσεις.

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζονται οι βασικοί Δείκτες Απόδοσης (KPIs) που χρησιμοποιούνται στην εφοδιαστική αλυσίδα των LNG Carriers, ταξινομημένοι ανάλογα με τη λειτουργική τους περιοχή. Η ομαδοποίηση αυτή συμβάλλει στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι δείκτες αυτοί επηρεάζουν την αποδοτικότητα, την αξιοπιστία και το κόστος λειτουργίας στη ναυτιλιακή διαχείριση.



Δ  
 διάγραμμα  
 1: Πηγή :  
 Προσαρμογή  
 από  
 Rodrigue et

*al. (2020), Heaver (2011), Lam & Yap (2021), BIMCO (2020), Stopford (2009), Christopher (2016).*

## 2.6. Case Studies και Παραδείγματα

Η θεωρητική ανάλυση της εφοδιαστικής αλυσίδας αποκτά ιδιαίτερο νόημα όταν εξετάζεται υπό το πρίσμα πραγματικών περιπτώσεων. Οι ναυτιλιακές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον τομέα των LNG Carriers αντιμετωπίζουν μοναδικές προκλήσεις που σχετίζονται με την πολυπλοκότητα των τεχνολογικών συστημάτων και τις αυστηρές απαιτήσεις ασφάλειας. Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τρία χαρακτηριστικά παραδείγματα: οι επιπτώσεις καθυστερήσεων στην προμήθεια ανταλλακτικών, η συγκριτική προσέγγιση με άλλους τύπους πλοίων, και οι δυνατότητες βελτίωσης μέσω της τεχνολογίας IoT και της προγνωστικής συντήρησης (Stopford, 2009; Rodrigue et al., 2020).

Η λειτουργία ενός LNG Carrier εξαρτάται από τη συνεχή διαθεσιμότητα κρίσιμων ανταλλακτικών. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αφορά τις αντλίες φορτίου (cargo pumps), οι οποίες είναι απαραίτητες για την εκφόρτωση του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Εάν προκύψει βλάβη και το απαιτούμενο ανταλλακτικό δεν είναι διαθέσιμο εγκαίρως, το πλοίο μπορεί να καθλωθεί σε λιμάνι ή σε αγκυροβόλιο για μέρες, με σημαντικές συνέπειες (Clarksons Research, 2021; Heaver, 2011).

Αυτή η καθυστέρηση έχει πολλαπλές επιπτώσεις:

- **Οικονομικές απώλειες:** κάθε ημέρα ακινησίας ενός LNG Carrier μπορεί να κοστίζει από 100.000 έως 150.000 δολάρια σε χαμένα ναύλα (Clarksons Research, 2021).
- **Συμβατικές ποινές:** καθυστερήσεις στις παραδόσεις φορτίων LNG μπορούν να οδηγήσουν σε ρήτρες που φτάνουν εκατομμύρια δολάρια.
- **Ασφάλεια και κανονιστική συμμόρφωση:** η προσωρινή λειτουργία με υποκατάστατα ανταλλακτικά ενδέχεται να παραβιάσει τους κανονισμούς του International Gas Carrier (IGC) Code, με αποτέλεσμα νομικές κυρώσεις.

Υπήρξαν περιπτώσεις όπου πλοία αναγκάστηκαν να εκφορτώσουν με μειωμένο ρυθμό λόγω βλάβης σε συστήματα αντλιών, γεγονός που μείωσε την αποδοτικότητα του τερματικού και προκάλεσε συμφόρηση στο λιμάνι. Αυτό δείχνει ότι η έγκαιρη και αξιόπιστη προμήθεια ανταλλακτικών δεν είναι απλώς θέμα κόστους, αλλά κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει ολόκληρη αλυσίδα αξίας του LNG. (Stopford, 2009; Rodrigue et al., 2020)

Η διαχείριση ανταλλακτικών σε LNG Carriers παρουσιάζει ουσιώδεις διαφορές από άλλους τύπους πλοίων, όπως τα bulk carriers και τα containerships.

- **Bulk carriers:** Πρόκειται για απλούστερα πλοία, με λιγότερα εξειδικευμένα συστήματα. Οι βασικές ανάγκες σε ανταλλακτικά σχετίζονται κυρίως με τις μηχανές πρόωσης και τα συστήματα φόρτωσης/εκφόρτωσης. Επομένως, οι απαιτήσεις εφοδιαστικής είναι πιο ευέλικτες και το ρίσκο καθυστέρησης μικρότερο. Ένα bulk carrier μπορεί να παραμείνει σε λιμάνι χωρίς σοβαρές οικονομικές επιπτώσεις για λίγες ημέρες, καθώς τα ναύλα είναι χαμηλότερα και η ζήτηση λιγότερο ευαίσθητη στον χρόνο.
- **Containerships:** Εδώ οι απαιτήσεις είναι πιο αυστηρές λόγω της μεγάλης αξίας του φορτίου και της ανάγκης για τήρηση χρονοδιαγραμμάτων. Ωστόσο, τα containerships δεν έχουν το ίδιο επίπεδο τεχνικής πολυπλοκότητας με τα LNG Carriers. Ένα πρόβλημα με σύστημα ψύξης σε container μπορεί να αντιμετωπιστεί σε επίπεδο φορτίου, όχι πλοίου, ενώ σε LNG Carrier οποιαδήποτε βλάβη επηρεάζει το σύνολο της μεταφοράς.
- **LNG carriers:** Σε αντίθεση με τους παραπάνω τύπους, τα LNG Carriers εξαρτώνται από εξελιγμένα συστήματα πρόωσης (συντά dual-fuel), συστήματα ψύξης φορτίου και αντλίες αερίου. Η αποτυχία οποιουδήποτε κρίσιμου εξαρτήματος οδηγεί σε πλήρη αδυναμία εκφόρτωσης ή και μεταφοράς φορτίου. Επιπλέον, η αξία του φορτίου LNG είναι πολλαπλάσια σε σχέση με τον άνθρακα ή τα containers, καθιστώντας κάθε καθυστέρηση εξαιρετικά δαπανηρή.

Η συγκριτική αυτή ανάλυση αναδεικνύει γιατί η διαχείριση ανταλλακτικών στα LNG Carriers είναι τόσο απαιτητική και γιατί απαιτούνται εξειδικευμένες στρατηγικές logistics. Ο συνδυασμός υψηλής τεχνολογικής πολυπλοκότητας, αυστηρών κανονιστικών απαιτήσεων και περιορισμένης διαθεσιμότητας εξαρτημάτων καθιστά αναγκαία την ανάπτυξη ευέλικτων, προγνωστικών και τεχνολογικά υποστηριζόμενων συστημάτων εφοδιασμού. Σε αντίθεση με άλλους τύπους πλοίων, η λειτουργική αξιοπιστία των LNG Carriers εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ακρίβεια και ταχύτητα στην προμήθεια κρίσιμων εξαρτημάτων. (Stopford, 2009; Rodrigue et al., 2020; DNV, 2022)

Οι νέες τεχνολογίες προσφέρουν λύσεις για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων καθυστέρησης στην εφοδιαστική αλυσίδα ανταλλακτικών.

1. **Internet of Things (IoT):** Η εγκατάσταση αισθητήρων σε κρίσιμα μηχανήματα (π.χ. αντλίες, βαλβίδες, συστήματα πρόωσης) επιτρέπει την παρακολούθηση της λειτουργίας τους σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα μεταδίδονται στο κέντρο ελέγχου της ναυτιλιακής εταιρείας, το οποίο μπορεί να εντοπίσει πιθανές βλάβες πριν συμβούν. Έτσι, η παραγγελία ανταλλακτικού μπορεί να γίνει έγκαιρα, μειώνοντας τον χρόνο ακινησίας.
2. **Predictive maintenance:** Η προγνωστική συντήρηση χρησιμοποιεί big data, machine learning και ιστορικά δεδομένα βλαβών για να προβλέψει πότε ένα εξάρτημα θα χρειαστεί αντικατάσταση. Για παράδειγμα, με βάση τις δονήσεις μιας αντλίας φορτίου, το σύστημα μπορεί να προβλέψει με πιθανότητα 90% ότι η αντλία θα παρουσιάσει αστοχία εντός 200 ωρών λειτουργίας. Αυτό επιτρέπει στον υπεύθυνο logistics να προγραμματίσει την αποστολή του ανταλλακτικού πολύ πριν παρουσιαστεί το πρόβλημα.
3. **Digital twins:** Τα «ψηφιακά δίδυμα» πλοίων ή συστημάτων επιτρέπουν την προσομοίωση σε πραγματικό χρόνο και την αναπαράσταση της λειτουργίας. Μέσω αυτών μπορούν να δοκιμαστούν σενάρια προμήθειας και να εντοπιστούν αδύναμα σημεία της εφοδιαστικής αλυσίδας.
4. **Blockchain:** Η εφαρμογή blockchain στις διαδικασίες προμηθειών αυξάνει τη διαφάνεια και μειώνει τον χρόνο διεκπεραίωσης παραγγελιών, καθώς όλα τα μέρη (ναυτιλιακή, προμηθευτές, λιμάνια, τελωνεία) έχουν άμεση πρόσβαση σε κοινή βάση δεδομένων.

Η εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών έχει αποδείξει ότι μειώνει το downtime κατά 20–30% και εξασφαλίζει σημαντική μείωση κόστους στις ναυτιλιακές επιχειρήσεις (DNV, 2021).

Επιπλέον, η ενσωμάτωση εργαλείων όπως το predictive maintenance και τα digital twins συμβάλλει όχι μόνο στη βελτίωση της επιχειρησιακής αποδοτικότητας, αλλά και στην αύξηση της ασφάλειας του στόλου, μέσω της έγκαιρης ανίχνευσης πιθανών αστοχιών και της προληπτικής συντήρησης κρίσιμων συστημάτων (ABS, 2022; IHS Markit, 2021).

Παράλληλα, οι εταιρείες επωφελούνται από καλύτερη κατανομή πόρων και ακριβέστερο

προγραμματισμό εργασιών, ενισχύοντας τη συνολική αξιοπιστία της εφοδιαστικής αλυσίδας των LNG Carriers.

## 2.7. LNG Carriers και Τεχνικές Ιδιαιτερότητες

Τα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG Carriers) αποτελούν μια από τις πλέον εξειδικευμένες κατηγορίες πλοίων στη διεθνή ναυτιλία, καθώς συνδυάζουν πολύπλοκα τεχνικά συστήματα με αυστηρές απαιτήσεις ασφαλείας. Η βασική τους λειτουργία είναι η μεταφορά φυσικού αερίου σε υγροποιημένη μορφή, σε θερμοκρασίες που αγγίζουν τους  $-162^{\circ}\text{C}$ . Για τον σκοπό αυτόν, ενσωματώνουν ειδικά σχεδιασμένα συστήματα αποθήκευσης, τα οποία διακρίνονται κυρίως σε δύο τεχνολογίες: τα σφαιρικά κρυογενικά δεξαμενόπλοια τύπου Moss και τα δεξαμενόπλοια με μεμβράνη (membrane type). Κάθε τύπος παρουσιάζει διαφορετικές απαιτήσεις σε ό,τι αφορά τη συντήρηση, την παρακολούθηση των συστημάτων και τη διαχείριση των ανταλλακτικών (Foss, 2012).

Η λειτουργία των LNG Carriers εξαρτάται από πολύπλοκες εγκαταστάσεις πρόωσης, συστήματα ελέγχου της θερμοκρασίας, μονάδες αδρανοποίησης αερίων και ειδικούς μηχανισμούς ασφαλείας. Η υψηλή τεχνολογική τους φύση τα καθιστά ιδιαίτερα ευαίσθητα σε τεχνικές βλάβες, με αποτέλεσμα η ανάγκη για άμεση διαθεσιμότητα ανταλλακτικών να είναι ακόμη πιο πιεστική σε σχέση με άλλα είδη πλοίων, όπως τα bulk carriers ή τα tankers.

Παράλληλα, τα LNG Carriers υπόκεινται σε αυστηρό ρυθμιστικό πλαίσιο, με τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) να θέτει κανονισμούς για τη διαχείριση επικίνδυνων φορτίων, την πρόληψη ατυχημάτων και την προστασία του περιβάλλοντος. Οι τεχνικές απαιτήσεις που απορρέουν από αυτούς τους κανονισμούς επιβαρύνουν ακόμη περισσότερο την εφοδιαστική αλυσίδα, καθώς κάθε ανταλλακτικό πρέπει να πληροί συγκεκριμένες πιστοποιήσεις και προδιαγραφές (IMO, 2020).

Η εξάρτηση των LNG Carriers από εξειδικευμένα ανταλλακτικά σημαίνει ότι η εφοδιαστική τους αλυσίδα χαρακτηρίζεται από περιορισμένη γεωγραφική διαθεσιμότητα προμηθευτών, αυξημένα κόστη και ανάγκη για στενή συνεργασία με κατασκευαστές εξοπλισμού. Το γεγονός αυτό δημιουργεί ιδιαίτερες προκλήσεις στη διαχείριση αποθεμάτων: από τη μια πλευρά η ύπαρξη εκτεταμένων αποθεμάτων αυξάνει το λειτουργικό κόστος, ενώ από την

άλλη η έλλειψη κρίσιμων εξαρτημάτων μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερήσεις, απώλειες εσόδων ή και σε περιστατικά μη συμμόρφωσης με κανονισμούς.

### 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μεθοδολογία αποτελεί ίσως το σημαντικότερο κεφάλαιο κάθε ακαδημαϊκής έρευνας, καθώς καθορίζει το πλαίσιο μέσα στο οποίο θα εξεταστούν τα ερευνητικά ερωτήματα, θα αναλυθούν τα δεδομένα και θα διαμορφωθούν τα τελικά συμπεράσματα (Creswell, 2014). Στην παρούσα εργασία, η μεθοδολογική προσέγγιση διαμορφώνεται μέσα από τέσσερις βασικούς άξονες:

**Καθορισμός του ερευνητικού πλαισίου:** Η μελέτη επικεντρώνεται στον τομέα της ναυτιλιακής εφοδιαστικής, με έμφαση στη διαχείριση ανταλλακτικών στα LNG Carriers. Το πλαίσιο αυτό οριοθετείται από τις τεχνικές, οικονομικές και κανονιστικές παραμέτρους που καθορίζουν την αποδοτικότητα και την ασφάλεια των ναυτιλιακών επιχειρήσεων (Stopford, 2009; Rodrigue et al., 2020). Η επιλογή αυτού του πλαισίου καθιστά δυνατή την εστίαση σε κρίσιμους παράγοντες, όπως η πολυπλοκότητα των συστημάτων πρόωσης, η ευαισθησία του φορτίου LNG σε καθυστερήσεις και η σημασία της προγνωστικής συντήρησης.

**Βιβλιογραφική προσέγγιση και επιλογή πηγών:** Ο περιορισμένος αριθμός πρωτογενών δεδομένων για LNG Carriers οδηγεί στην ανάγκη εκτενούς βιβλιογραφικής έρευνας. Η εργασία αντλεί πληροφορίες από επιστημονικά άρθρα, ερευνητικές αναφορές, εκθέσεις ναυτιλιακών οργανισμών (π.χ. Clarksons Research, DNV) και διεθνών φορέων όπως ο IMO. Η σύνθεση διαφορετικών πηγών επιτρέπει την παρουσίαση ενός ολοκληρωμένου πλαισίου γνώσης, ενσωματώνοντας θεωρητικές έννοιες, πρακτικά παραδείγματα και τεχνολογικές εξελίξεις (Christopher, 2016; Chopra & Meindl, 2019).

**Χρήση εννοιολογικών και συγκριτικών εργαλείων:** Δεδομένων των περιορισμών στην πρόσβαση σε πρωτογενή δεδομένα, η μεθοδολογία βασίζεται σε εννοιολογικές αναλύσεις και συγκριτικές προσεγγίσεις. Συγκεκριμένα, η εργασία χρησιμοποιεί παραδείγματα από διαφορετικούς τύπους πλοίων (bulk carriers, containerships, LNG Carriers) για να καταδείξει τις διαφορές στη διαχείριση ανταλλακτικών και να εξαγάγει συμπεράσματα σχετικά με την πολυπλοκότητα και τον αντίκτυπο των καθυστερήσεων (Heaver, 2011; Lam & Yap, 2021). Η

συγκριτική αυτή προσέγγιση ενισχύει την κατανόηση των κρίσιμων παραμέτρων της εφοδιαστικής αλυσίδας και επιτρέπει την εξαγωγή γενικεύσιμων συμπερασμάτων.

Κριτική ανάλυση και εντοπισμός περιορισμών: Η εργασία δεν περιορίζεται στην παρουσίαση δεδομένων αλλά προχωρά σε κριτική αξιολόγηση των πηγών και των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται. Επισημαίνονται οι περιορισμοί της έρευνας, όπως η έλλειψη πρόσβασης σε εμπιστευτικά δεδομένα των ναυτιλιακών εταιρειών, η διαφοροποίηση στις πρακτικές logistics μεταξύ εταιρειών και η ταχεία τεχνολογική εξέλιξη που καθιστά ορισμένες μελέτες παρωχημένες (DNV, 2021; IMO, 2020). Η κριτική θεώρηση διασφαλίζει ότι τα συμπεράσματα δεν είναι απλώς περιγραφικά αλλά αντικατοπτρίζουν τη δυναμική και τις προκλήσεις του κλάδου.

### 3.1. Ερευνητικό πλαίσιο και σκοπός της ανάλυσης

Η ναυτιλία LNG είναι ένας κλάδος που αναπτύχθηκε ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες, υποστηριζόμενος από τη ζήτηση φυσικού αερίου ως μεταβατικού καυσίμου προς την απανθρακοποίηση της παγκόσμιας οικονομίας. Τα LNG Carries είναι πολύπλοκα τεχνολογικά συστήματα, με αυξημένες απαιτήσεις συντήρησης και ασφάλειας. Η ανάλυση της εφοδιαστικής αλυσίδας ανταλλακτικών τους είναι κομβικής σημασίας, καθώς επηρεάζει όχι μόνο την επιχειρησιακή συνέχεια αλλά και τη συμμόρφωση με αυστηρά κανονιστικά πλαίσια.

Το ερευνητικό πλαίσιο της παρούσας μελέτης είναι ποιοτικό και θεωρητικό. Δεν επιδιώκεται η συλλογή πρωτογενών δεδομένων μέσω συνεντεύξεων ή ερωτηματολογίων, αλλά η εις βάθος κατανόηση των υπάρχουσών πρακτικών μέσω της βιβλιογραφίας. Η προσέγγιση αυτή θεωρείται καταλληλότερη για δύο λόγους:

1. **Περιορισμός πρόσβασης σε πρωτογενή δεδομένα:** Οι ναυτιλιακές εταιρείες είναι συχνά απρόθυμες να κοινοποιήσουν στοιχεία που αφορούν τα logistics και την προμήθεια ανταλλακτικών, καθώς αυτά συνδέονται με εμπορικά απόρρητα.
2. **Στόχος θεωρητικής και κριτικής επισκόπησης:** Η εργασία αποσκοπεί όχι απλώς στη χαρτογράφηση της κατάστασης, αλλά και στην κριτική αποτίμηση των

πρακτικών, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί με συνδυασμό διαφορετικών θεωρητικών προσεγγίσεων.

Ο σκοπός της ανάλυσης είναι να συνδεθούν τα θεωρητικά μοντέλα της εφοδιαστικής αλυσίδας με τις ιδιαιτερότητες που χαρακτηρίζουν τη λειτουργία και διαχείριση των LNG Carriers. Η θεωρητική επισκόπηση παρέχει το πλαίσιο εννοιών και εργαλείων που επιτρέπουν την κατανόηση της ροής αγαθών, πληροφοριών και υπηρεσιών εντός της ναυτιλιακής εφοδιαστικής αλυσίδας (Christopher, 2016). Η εστίαση στη ναυτιλία LNG προσδίδει τη συγκεκριμένη εφαρμογή αυτών των αρχών σε ένα ιδιαίτερα εξειδικευμένο περιβάλλον, όπου η τεχνολογική πολυπλοκότητα, οι υψηλές απαιτήσεις ασφάλειας και οι ρυθμιστικοί περιορισμοί διαμορφώνουν ένα μοναδικό πλαίσιο λειτουργίας (Stopford, 2009; Rodrigue et al., 2020). Μέσα από αυτή τη σύνδεση, επιδιώκεται η κατανόηση των κρίσιμων παραγόντων που επηρεάζουν την αποδοτικότητα, την ευελιξία και τη βιωσιμότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας στον κλάδο των LNG Carriers.

### 3.2. Βιβλιογραφική προσέγγιση και επιλογή πηγών

Η βασική μέθοδος συλλογής δεδομένων ήταν η βιβλιογραφική έρευνα. Η διαδικασία περιλάμβανε αναζήτηση σε επιστημονικές βάσεις δεδομένων (Scopus, Web of Science, Google Scholar), πρόσβαση σε εξειδικευμένες ναυτιλιακές εκδόσεις και αξιοποίηση αναφορών διεθνών οργανισμών.

Η επιλογή των πηγών ακολούθησε συγκεκριμένα βήματα:

- **Αρχικός εντοπισμός λέξεων-κλειδιών:** logistics, supply chain management, spare parts, LNG carriers, maritime logistics, predictive maintenance.
- **Φιλτράρισμα βάσει επικαιρότητας:** δόθηκε προτεραιότητα σε πηγές της τελευταίας εικοσαετίας, ώστε να αντανακλώνται οι σύγχρονες τάσεις (Christopher, 2016· DNV, 2021).
- **Έλεγχος εγκυρότητας:** επιλέχθηκαν πηγές από αναγνωρισμένα περιοδικά (*Maritime Policy & Management, Journal of Shipping and Trade*) και διεθνείς οργανισμούς (IMO, OECD).
- **Θεματική κατηγοριοποίηση:**

- Οι πηγές οργανώθηκαν σε πέντε άξονες:
  1. Θεωρητικές βάσεις logistics και SCM.
  2. Ιστορική εξέλιξη της εφοδιαστικής στη ναυτιλία.
  3. Διαχείριση ανταλλακτικών και αποθεμάτων.
  4. Τεχνολογίες και καινοτομίες (IoT, big data).
  5. Εξειδίκευση στον κλάδο LNG.

Η επιλογή αυτής της προσέγγισης επιτρέπει την ανάπτυξη ενός πολυδιάστατου θεωρητικού υποβάθρου, ικανού να συνδέσει τη γενική θεωρία με τις πρακτικές προκλήσεις της ναυτιλίας LNG.

### 3.3. Εννοιολογική ανάλυση αντί χρήσης πρωτογενών Case Studies

Παρά την αξία των case studies, η παρούσα εργασία δεν στηρίζεται σε πρωτογενείς περιπτώσιολογικές μελέτες. Αντί αυτού, εφαρμόζεται εννοιολογική και συγκριτική ανάλυση, όπου οι πρακτικές που περιγράφονται στη βιβλιογραφία αξιολογούνται ως προς την εφαρμογή τους στα LNG Carriers.

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει:

- **Συγκριτική μελέτη διαφορετικών τύπων πλοίων:** εξετάζονται οι διαφορές μεταξύ LNG Carriers, bulk carriers και containerships όσον αφορά την εξάρτηση από ανταλλακτικά.
- **Ανάλυση κρίσιμων παραμέτρων:** χρόνος παράδοσης, κόστος, αξιοπιστία προμηθευτών, επίπεδα αποθεμάτων.
- **Διασταύρωση θεωρίας και πράξης:** η γενική βιβλιογραφία για logistics συγκρίνεται με τις ιδιαιτερότητες της ναυτιλίας LNG, ώστε να διαπιστωθούν αποκλίσεις.

Η επιλογή αυτής της μεθόδου αιτιολογείται από το γεγονός ότι η ναυτιλία LNG παραμένει ένας κλάδος με περιορισμένα δημοσιευμένα case studies. Η εννοιολογική ανάλυση επιτρέπει τη δημιουργία ενός συνθετικού πλαισίου χωρίς να απαιτείται πρόσβαση σε εμπιστευτικά δεδομένα εταιρειών.

### 3.4. Κριτική ανάλυση και περιορισμοί της μελέτης

Καμία μεθοδολογική προσέγγιση δεν είναι πλήρως απαλλαγμένη από περιορισμούς. Στην παρούσα εργασία αναγνωρίζονται οι εξής:

1. **Εξάρτηση από δευτερογενή δεδομένα:** Η έλλειψη πρωτογενών συνεντεύξεων ή ερευνών περιορίζει τη δυνατότητα εξαγωγής εμπειρικών συμπερασμάτων.
2. **Περιορισμένη εστίαση στη βιβλιογραφία LNG:** Ενώ η βιβλιογραφία για logistics είναι εκτενής, οι μελέτες για spare parts σε LNG Carriers είναι σποραδικές. Αυτό οδηγεί στην ανάγκη γενικεύσεων.
3. **Τεχνολογική ταχύτητα:** Οι εξελίξεις σε IoT, predictive maintenance και big data είναι ραγδαίες· έτσι, συμπεράσματα που είναι έγκυρα σήμερα ενδέχεται να καταστούν ξεπερασμένα σε λίγα χρόνια.
4. **Δυσκολία συγκρισιμότητας:** Τα LNG Carriers δεν αποτελούν ομοιογενή κατηγορία· διαφορετικοί τύποι δεξαμενών, μηχανών και συστημάτων ασφαλείας δημιουργούν διαφοροποιήσεις στις ανάγκες ανταλλακτικών.
5. **Ακαδημαϊκή εστίαση:** Η παρούσα μελέτη προσεγγίζει το θέμα κυρίως θεωρητικά και όχι από τη σκοπιά επιχειρησιακών στελεχών που λαμβάνουν καθημερινές αποφάσεις.

## 4. Ανάλυση και Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων

Η ανάλυση της εφοδιαστικής αλυσίδας ανταλλακτικών στη ναυτιλία LNG αποτελεί κεντρικό άξονα για την κατανόηση των προκλήσεων, των περιορισμών και των δυνατοτήτων βελτίωσης που χαρακτηρίζουν τον κλάδο. Η σημασία της έγκαιρης προμήθειας ανταλλακτικών και της αποτελεσματικής διαχείρισής τους γίνεται ακόμη πιο εμφανής, καθώς οι καθυστερήσεις ή οι βλάβες μπορούν να επηρεάσουν άμεσα την επιχειρησιακή συνέχεια και την αποδοτικότητα των LNG Carriers (Stopford, 2009). Στην παρούσα ενότητα επιχειρείται μια εις βάθος παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη μελέτη της βιβλιογραφίας, των διεθνών πρακτικών και των περιπτωσιολογικών αναφορών, με στόχο να καταδειχθεί η υφιστάμενη κατάσταση, οι κρίσιμες αδυναμίες, αλλά και οι στρατηγικές που μπορούν να ενισχύσουν την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η ανάλυση αυτή παρέχει, παράλληλα, ένα πλαίσιο για την ανάπτυξη προτάσεων

βελτίωσης και για την κατεύθυνση μελλοντικής έρευνας (Rodrigue et al., 2020; IHS Markit, 2021).

#### **4.1. Δομή και λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας ανταλλακτικών στη ναυτιλία LNG**

Η εφοδιαστική αλυσίδα ανταλλακτικών στα LNG Carries αποτελεί ένα σύνθετο και πολυεπίπεδο σύστημα, το οποίο συνδέει πολλαπλούς φορείς από την παραγωγή μέχρι την τελική χρήση των ανταλλακτικών. Η αποτελεσματική λειτουργία της αλυσίδας είναι κρίσιμη, καθώς οι LNG Carries εξαρτώνται από εξειδικευμένα συστήματα πρόωσης, ψύξης και δεξαμενών που απαιτούν εξαρτήματα υψηλής ακρίβειας και αξιοπιστίας (Stopford, 2009; Rodrigue et al., 2020).

Η αλυσίδα αυτή περιλαμβάνει τους ακόλουθους κύριους κρίκους

##### **- Κατασκευαστές και προμηθευτές εξοπλισμού:**

Οι κατασκευαστές παρέχουν τα εξειδικευμένα ανταλλακτικά, τα οποία συχνά παράγονται κατά παραγγελία για συγκεκριμένα συστήματα LNG Carriers. Τα ανταλλακτικά αυτά πρέπει να πληρούν αυστηρές τεχνικές προδιαγραφές, όπως πρότυπα ISO, ASTM και DNV, προκειμένου να διασφαλίζεται η ασφάλεια και η αποδοτικότητα των πλοίων (DNV, 2021). Επιπλέον, η συνεργασία με πολλαπλούς προμηθευτές εξασφαλίζει τη συνέχιση της τροφοδοσίας σε περίπτωση καθυστερήσεων ή ελλείψεων.

##### **- Διανομείς και μεσάζοντες:**

Οι διανομείς και οι μεσάζοντες αναλαμβάνουν την αποθήκευση, τυποποίηση και διανομή των ανταλλακτικών. Η στρατηγική τοποθέτηση αυτών των κόμβων σε διεθνή ναυτιλιακά hubs όπως η Σιγκαπούρη, το Ρότερνταμ και ο Πειραιάς, εξασφαλίζει ταχεία παράδοση και μειώνει τον κίνδυνο καθυστερήσεων λόγω γεωγραφικών αποστάσεων (Christopher, 2016; Heaver, 2011).

#### - **Ναυτιλιακές εταιρείες:**

Οι ναυτιλιακές εταιρείες, μέσω των τμημάτων τεχνικής διαχείρισης, συντονίζουν την προμήθεια και τη διαχείριση των αποθεμάτων. Αυτό περιλαμβάνει προγραμματισμό συντήρησης, παρακολούθηση κρίσιμων ανταλλακτικών και εφαρμογή συστημάτων ERP (Enterprise Resource Planning) για την ενοποιημένη διαχείριση της αλυσίδας (Chopra & Meindl, 2019).

#### - **Λιμένες και logistics providers:**

Οι λιμένες και οι πάροχοι logistics λειτουργούν ως κόμβοι υποστήριξης, εξασφαλίζοντας ότι τα ανταλλακτικά φτάνουν έγκαιρα στα πλοία είτε αυτά βρίσκονται σε ναυπηγεία είτε σε εμπορικές διαδρομές. Οι υπηρεσίες αυτές περιλαμβάνουν μεταφορές, αποθήκευση υπό ειδικές συνθήκες και συντονισμό με τις τεχνικές ομάδες επί των πλοίων (Lam & Yap, 2021).

#### - **Πληρώματα και τεχνικοί:**

Τα πληρώματα και οι τεχνικοί αναλαμβάνουν την εγκατάσταση των ανταλλακτικών και τη διασφάλιση της σωστής λειτουργίας τους. Η εκπαίδευση και η εμπειρία των τεχνικών είναι κρίσιμη για την αποφυγή σφαλμάτων εγκατάστασης που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε απώλειες χρόνου ή ζημιές στο πλοίο (IMO, 2020).

Η πολυπλοκότητα αυτής της αλυσίδας οφείλεται όχι μόνο στις υψηλές τεχνολογικές απαιτήσεις των LNG Carries αλλά και στην ανάγκη για αδιάλειπτη λειτουργία. Κάθε καθυστέρηση στην αλυσίδα μπορεί να έχει σημαντικές οικονομικές συνέπειες λόγω της υψηλής αξίας των πλοίων και των φορτίων LNG. Επομένως, η διαχείριση της αλυσίδας απαιτεί συντονισμό, προβλεπτική συντήρηση και στρατηγική επιλογή προμηθευτών και logistics hubs (Stopford, 2009; Christopher, 2016).

## **4.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την προμήθεια (κόστος, χρόνος, αξιοπιστία)**

Η αποτελεσματική προμήθεια ανταλλακτικών σε LNG Carries αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη διασφάλιση της απρόσκοπτης λειτουργίας των πλοίων. Η πολυπλοκότητα των συστημάτων πρόωσης, ψύξης και χειρισμού φορτίου σε αυτά τα πλοία, σε συνδυασμό με την υψηλή αξία του μεταφερόμενου φορτίου, καθιστούν την έγκαιρη και αξιόπιστη προμήθεια

αναγκαία (Stopford, 2009). Η αποδοτικότητα της διαδικασίας αυτής επηρεάζεται κυρίως από τρεις παράγοντες: κόστος, χρόνο και αξιοπιστία, οι οποίοι συνδέονται στενά μεταξύ τους και απαιτούν ισορροπημένη διαχείριση.

### **Κόστος:**

Το κόστος προμήθειας δεν περιορίζεται στην τιμή αγοράς του ανταλλακτικού. Περιλαμβάνει επίσης τα έξοδα μεταφοράς, αποθήκευσης, δασμών και ασφαλιστικών καλύψεων, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για κρίσιμα εξαρτήματα που απαιτούν ειδικούς χειρισμούς ή αερομεταφορές για να φτάσουν έγκαιρα στο πλοίο (Stopford, 2009). Επιπλέον, το κόστος «downtime», δηλαδή ο χρόνος που το LNG Carries παραμένει ανενεργό λόγω έλλειψης ανταλλακτικού, συχνά ξεπερνά κατά πολύ την αξία του εξαρτήματος. Για παράδειγμα, μια αντλία φορτίου σε LNG Carries, αν παραμείνει εκτός λειτουργίας για μερικές ημέρες, μπορεί να προκαλέσει οικονομικές απώλειες εκατοντάδων χιλιάδων δολαρίων ημερησίως (Clarksons Research, 2021). Ως εκ τούτου, η στρατηγική αποθήκευση κρίσιμων ανταλλακτικών και η συνεργασία με αξιόπιστους προμηθευτές υψηλής τεχνολογίας αποτελούν επενδύσεις που μειώνουν τον συνολικό οικονομικό κίνδυνο.

### **Χρόνος:**

Η έγκαιρη προμήθεια ανταλλακτικών αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη διατήρηση της ομαλής λειτουργίας των LNG Carries. Καθυστερήσεις μπορεί να προκληθούν από γεωγραφική απόσταση των προμηθευτών, τελωνειακές διαδικασίες ή απρόβλεπτες ανάγκες για επείγοντα ανταλλακτικά. Ακόμη και μικρές καθυστερήσεις μπορεί να οδηγήσουν σε αλυσιδωτές καθυστερήσεις σε ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα, επηρεάζοντας τον τερματικό εξοπλισμό και τη διαχείριση φορτίου (Christopher, 2016). Η χρήση τεχνολογιών όπως IoT και predictive maintenance επιτρέπει την πρόβλεψη πιθανών βλαβών και τη διασφάλιση έγκαιρης παραγγελίας, μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο αντίδρασης (DNV, 2021).

### **Αξιοπιστία:**

Η αξιοπιστία των προμηθευτών είναι κρίσιμη για τη λειτουργία των LNG Carries, καθώς επηρεάζει την ποιότητα των ανταλλακτικών, τη συνέπεια παράδοσης και την ικανότητα αντιμετώπισης έκτακτων αναγκών. Δείκτες όπως το ποσοστό έγκαιρης παράδοσης (On Time

Delivery – OTD), η συχνότητα βλαβών μετά την εγκατάσταση και η διαθεσιμότητα εξαρτημάτων σε αποθήκες στρατηγικών κόμβων χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας (Gunasekaran et al., 2004). Η συνεργασία με αξιόπιστους προμηθευτές μειώνει τον κίνδυνο ακινησίας και αυξάνει την προβλεψιμότητα λειτουργίας, επιτρέποντας τη βελτιστοποίηση της αποθήκευσης και του κόστους.

Η αλληλεπίδραση αυτών των τριών παραγόντων δείχνει ότι η διαχείριση της προμήθειας σε LNG Carries δεν μπορεί να βασίζεται σε μεμονωμένα κριτήρια. Η εστίαση αποκλειστικά στη μείωση του κόστους μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένο downtime, ενώ η προτεραιοποίηση μόνο του χρόνου παράδοσης μπορεί να αυξήσει σημαντικά τις δαπάνες. Η βέλτιστη στρατηγική απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, όπου κόστος, χρόνος και αξιοπιστία λαμβάνονται υπόψη ταυτόχρονα, δημιουργώντας ένα ισορροπημένο και αποτελεσματικό σύστημα εφοδιασμού. Η χρήση τεχνολογιών όπως Big Data Analytics, digital twins και blockchain υποστηρίζει αυτή την ισορροπία, επιτρέποντας στις ναυτιλιακές εταιρείες να λαμβάνουν αποφάσεις βάσει δεδομένων και να μειώνουν τους κινδύνους καθυστερήσεων και οικονομικών απωλειών (Ivanov et al., 2019).

#### **4.3. Τεχνολογικές λύσεις: ERP, IoT, predictive maintenance, tracking systems**

Η τεχνολογία λειτουργεί ως καθοριστικός καταλύτης για την αναβάθμιση της εφοδιαστικής αλυσίδας στα LNG Carries, επιτρέποντας στις ναυτιλιακές εταιρείες να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα, να μειώσουν το κόστος και να αυξήσουν την αξιοπιστία των προμηθειών (Christopher, 2016). Η συνεχής εξέλιξη των πληροφοριακών συστημάτων και των αισθητήρων έχει δημιουργήσει εργαλεία που επιτρέπουν την ακριβή παρακολούθηση των ανταλλακτικών, τον προγραμματισμό συντήρησης και τη διαχείριση κρίσεων, ενισχύοντας την ανθεκτικότητα ολόκληρης της εφοδιαστικής αλυσίδας (Ivanov et al., 2019).

**ERP (Enterprise Resource Planning):** Τα συστήματα ERP αποτελούν τον πυρήνα της ψηφιακής ολοκλήρωσης των λειτουργιών μιας ναυτιλιακής εταιρείας. Στα LNG Carries, τα ERP ενσωματώνουν δεδομένα από διαφορετικά τμήματα, όπως προμήθειες, αποθήκες, συντήρηση και τεχνική διαχείριση (Gunasekaran et al., 2004). Μέσω αυτής της ενοποίησης, μειώνονται οι επικαλύψεις παραγγελιών, βελτιώνεται η παρακολούθηση των αποθεμάτων και παρέχεται μεγαλύτερη ακρίβεια στη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη διανομή

ανταλλακτικών. Επιπλέον, τα σύγχρονα ERP συστήματα επιτρέπουν την ανάλυση τάσεων και προβλέψεων, όπως η ζήτηση για συγκεκριμένα εξαρτήματα, υποστηρίζοντας την στρατηγική διαχείριση αποθεμάτων και μειώνοντας το κόστος «downtime» (Christopher, 2016).

**IoT (Internet of Things):** Οι αισθητήρες IoT τοποθετούνται σε κρίσιμα συστήματα των LNG Carries, όπως αντλίες φορτίου, συστήματα πρόωσης και δεξαμενές αποθήκευσης LNG. Αυτοί οι αισθητήρες παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για θερμοκρασία, πίεση, δονήσεις και άλλες παραμέτρους λειτουργίας (DNV, 2021). Μέσω αυτών των πληροφοριών, οι τεχνικοί μπορούν να προγραμματίσουν την παραγγελία ανταλλακτικών πριν εμφανιστούν βλάβες, μειώνοντας σημαντικά τον κίνδυνο απρογραμματίστης ακινησίας του πλοίου. Η αξιοποίηση IoT συμβάλλει επίσης στην παρακολούθηση της κατάστασης των ήδη αποθηκευμένων ανταλλακτικών, διασφαλίζοντας ότι αυτά παραμένουν σε κατάλληλες συνθήκες για άμεση χρήση (Ivanov et al., 2019).

**Predictive maintenance:** Η προγνωστική συντήρηση αξιοποιεί αλγόριθμους μηχανικής μάθησης και μεγάλα σύνολα δεδομένων (big data) για να εντοπίσει μοτίβα φθοράς και πιθανούς κινδύνους βλάβης (Lee et al., 2018). Στα LNG Carries, η εφαρμογή αυτή είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για τα συστήματα πρόωσης και τις αντλίες φορτίου, όπου μια μη προγραμματισμένη βλάβη μπορεί να προκαλέσει σοβαρές οικονομικές απώλειες και καθυστερήσεις στη διανομή καυσίμου ή εμπορευμάτων. Η δυνατότητα πρόβλεψης βλαβών επιτρέπει στις εταιρείες να προγραμματίσουν συντηρήσεις κατά τρόπο που μειώνει το downtime και βελτιστοποιεί τη χρήση ανταλλακτικών, διατηρώντας παράλληλα υψηλά επίπεδα ασφάλειας και αξιοπιστίας (Zhang et al., 2020).

**Tracking systems:** Τα συστήματα παρακολούθησης, όπως RFID και GPS, προσφέρουν πλήρη διαφάνεια στη διακίνηση των ανταλλακτικών από τους προμηθευτές μέχρι τα LNG Carries (Christopher, 2016). Η δυνατότητα σε πραγματικό χρόνο εντοπισμού μειώνει τον κίνδυνο απώλειας ή καθυστέρησης και υποστηρίζει την άμεση λήψη διορθωτικών μέτρων σε περίπτωση προβλήματος στη μεταφορά. Επιπλέον, οι πληροφορίες από τα tracking systems

μπορούν να συνδυαστούν με τα δεδομένα ERP και IoT, δημιουργώντας ένα ολοκληρωμένο οικοσύστημα διαχείρισης προμηθειών που βελτιώνει την ακρίβεια των παραγγελιών και την προσαρμοστικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας σε απρόβλεπτες καταστάσεις (Gunasekaran et al., 2004).

Η ενσωμάτωση όλων αυτών των τεχνολογιών στα LNG Carriers μετατρέπει την παραδοσιακή εφοδιαστική αλυσίδα σε ένα εύελικτο, διαφανές και ανθεκτικό σύστημα, ικανό να ανταποκριθεί σε υψηλές απαιτήσεις λειτουργίας, τεχνολογικές προκλήσεις και οικονομικές πιέσεις (Ivanov et al., 2019; Lee et al., 2018). Η σύγχρονη ναυτιλιακή διαχείριση δεν περιορίζεται πλέον στην αποθήκευση και μεταφορά ανταλλακτικών, αλλά αξιοποιεί δεδομένα και τεχνολογικά εργαλεία για να διασφαλίσει ότι κάθε κρίκος της αλυσίδας λειτουργεί αποδοτικά και με μέγιστη αξιοπιστία.

#### **4.4. Συνεργασίες με προμηθευτές και ναυτιλιακούς οργανισμούς**

Οι συνεργασίες αποτελούν θεμέλιο για την αποδοτική προμήθεια ανταλλακτικών στα LNG Carriers. Λόγω της υψηλής τεχνολογικής πολυπλοκότητας και εξειδίκευσης των συστημάτων τους, οι εταιρείες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από Original Equipment Manufacturers (OEMs), που παρέχουν κρίσιμα ανταλλακτικά και εξειδικευμένη τεχνική υποστήριξη (Storford, 2009). Η συνεργασία αυτή δεν περιορίζεται σε μεμονωμένες παραγγελίες, αλλά συχνά εκδηλώνεται μέσα από μακροχρόνια συμβόλαια υποστήριξης (Long-Term Service Agreements – LTSA), τα οποία διασφαλίζουν τη σταθερή διαθεσιμότητα ανταλλακτικών, την ταχεία ανταπόκριση σε βλάβες και τη συνεχή αναβάθμιση των τεχνολογικών συστημάτων (BIMCO, 2020). Τα LTSAs επιτρέπουν στις ναυτιλιακές εταιρείες να προγραμματίσουν αποτελεσματικά τη συντήρηση και να μειώσουν το ρίσκο απρογραμμάτιστης ακινησίας, γεγονός που είναι κρίσιμο για τη διατήρηση της οικονομικής αποδοτικότητας και της ασφάλειας των LNG Carriers (DNV, 2021).

Οι συνεργασίες με third-party logistics providers (3PLs) αποτελούν έναν επιπλέον κρίκο στην εφοδιαστική αλυσίδα. Οι 3PLs αναλαμβάνουν τη μεταφορά, αποθήκευση και διανομή των ανταλλακτικών, αξιοποιώντας εκτεταμένα δίκτυα παγκόσμιας εμβέλειας και ειδικευμένο προσωπικό (Christopher, 2016). Μέσω αυτών των συνεργασιών, οι ναυτιλιακές εταιρείες

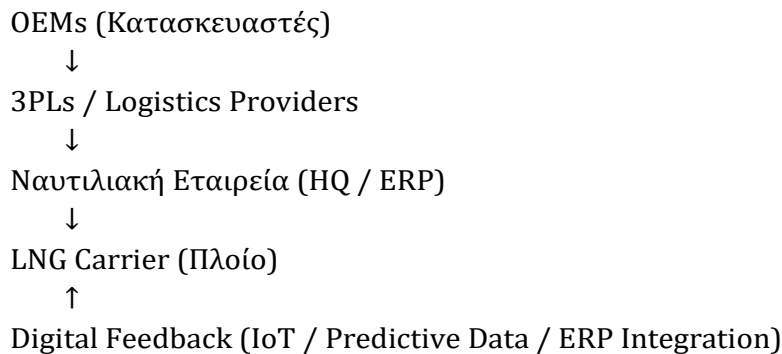
μπορούν να εξασφαλίσουν ότι τα ανταλλακτικά φτάνουν εγκαίρως στα LNG Carriers, ακόμα και σε απομακρυσμένες αγορές ή κατά τη διάρκεια πολύπλοκων δρομολογίων. Επιπλέον, η ανάθεση logistics σε εξωτερικούς φορείς επιτρέπει στις εταιρείες να επικεντρωθούν στις βασικές λειτουργίες τους, όπως η τεχνική διαχείριση πλοίων και η ασφάλεια φορτίου, βελτιώνοντας τη συνολική απόδοση της αλυσίδας (Gunasekaran et al., 2004).

Η συμμετοχή σε ναυτιλιακές ενώσεις και οργανισμούς, όπως η International Chamber of Shipping (ICS) και η BIMCO, ενισχύει περαιτέρω την αποτελεσματικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας των LNG Carriers. Μέσω αυτών των οργανισμών, οι εταιρείες έχουν πρόσβαση σε βέλτιστες πρακτικές, πρότυπα ασφαλείας και ενημερώσεις σχετικά με κανονισμούς και τεχνολογικές εξελίξεις (Storford, 2009). Επιπλέον, οι συνεργασίες με άλλες εταιρείες μέλη των οργανισμών αυτών επιτρέπουν τη δημιουργία συνεργιών και την κατανομή κόστους σε κοινές υποδομές, όπως λιμενικές υπηρεσίες ή κοινά αποθέματα κρίσιμων ανταλλακτικών, μειώνοντας έτσι σημαντικά τα λειτουργικά έξοδα (BIMCO, 2020).

Η στρατηγική συνεργασία με προμηθευτές και ναυτιλιακούς οργανισμούς έχει επίσης θετική επίδραση στην αξιοπιστία της αλυσίδας. Οι LNG Carriers, εξαιτίας της πολυπλοκότητας του εξοπλισμού τους και της υψηλής τεχνολογικής εξειδίκευσης, απαιτούν εγγυημένη πρόσβαση σε αυθεντικά και υψηλής ποιότητας ανταλλακτικά. Οι μακροχρόνιες συμφωνίες και οι συνεργασίες με οργανισμούς διασφαλίζουν ότι η ροή ανταλλακτικών δεν διακόπτεται, ενώ ταυτόχρονα παρέχουν στους τεχνικούς πρόσβαση σε εκπαιδευτικά προγράμματα και τεχνική καθοδήγηση που βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα της συντήρησης (DNV, 2021; Zhang et al., 2020).

Εν κατακλείδι, η στρατηγική συνεργασία αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της διαχείρισης εφοδιαστικής για τα LNG Carriers, καθώς συνδυάζει τεχνογνωσία, τεχνολογία και ευέλικτα δίκτυα logistics. Η ολοκληρωμένη προσέγγιση που περιλαμβάνει OEMs, 3PLs και ναυτιλιακούς οργανισμούς εξασφαλίζει την αξιοπιστία, μειώνει το κόστος, αυξάνει την ταχύτητα ανταπόκρισης και ενισχύει τη συνολική ασφάλεια των πλοίων. Η επένδυση σε τέτοιες συνεργασίες αποτελεί στρατηγική επιλογή που διασφαλίζει τη βιωσιμότητα και την ανταγωνιστικότητα των LNG Carriers σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο παγκόσμιο περιβάλλον ναυτιλίας (Christopher, 2016; Ivanov et al., 2019).

### Στάδια Εφοδιαστικής Αλυσίδας:



*Διάγραμμα 2: Διάγραμμα εφοδιαστικής αλυσίδας ανταλλακτικών LNG Carrier. Απεικονίζει τη ροή υλικών από τους OEMs προς τα πλοία και την αντίστροφη ροή δεδομένων μέσω ψηφιακών συστημάτων.*

#### 4.5. Σύγχρονες τάσεις και βέλτιστες πρακτικές

Η εφοδιαστική αλυσίδα των LNG Carriers υπόκειται σε συνεχή εξέλιξη, με στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας, τη μείωση του κόστους και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας απέναντι σε εξωτερικούς κινδύνους. Η διεθνής βιβλιογραφία αναδεικνύει ότι οι εταιρείες υιοθετούν σταδιακά καινοτόμες πρακτικές, αξιοποιώντας νέες τεχνολογίες και στρατηγικές διαχείρισης για να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις του σύγχρονου ναυτιλιακού περιβάλλοντος (Christopher, 2016; Ivanov et al., 2019).

Μία από τις πιο σημαντικές τάσεις είναι τα πράσινα logistics, που στοχεύουν στη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος κατά τη διακίνηση ανταλλακτικών. Οι εταιρείες χρησιμοποιούν βιοκαύσιμα, ενεργειακά αποδοτικά μεταφορικά μέσα και βελτιστοποιημένα δρομολόγια προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν τις εκπομπές CO<sub>2</sub> (McKinnon et al., 2015). Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι οι LNG Carriers προγραμματίζουν τις παραδόσεις ανταλλακτικών με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώνονται οι άσκοπες μετακινήσεις, ενώ ταυτόχρονα αξιοποιούνται τοπικά κέντρα αποθήκευσης και logistics hubs για τη μείωση των χιλιομέτρων μεταφοράς. Η εφαρμογή πράσινων logistics συμβάλλει όχι μόνο στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα, αλλά και στη μείωση κόστους, καθώς η αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας οδηγεί σε

εξοικονόμηση καυσίμων και βελτιώνει τη φήμη της ναυτιλιακής εταιρείας σε διεθνές επίπεδο (BIMCO, 2020).

Η τεχνολογία blockchain έχει αρχίσει να εισάγεται στην εφοδιαστική των LNG Carriers, με στόχο τη διαφάνεια και την αυτοματοποίηση διαδικασιών. Μέσω εφαρμογών smart contracts, οι συναλλαγές γίνονται άμεσα και ασφαλώς, περιορίζοντας καθυστερήσεις που συνδέονται με τελωνειακούς ελέγχους ή γραφειοκρατικά εμπόδια (Kshetri, 2018). Επιπλέον, η χρήση blockchain διευκολύνει την παρακολούθηση της προέλευσης των ανταλλακτικών, εξασφαλίζοντας ότι τα εξαρτήματα είναι αυθεντικά και πληρούν τα πρότυπα ποιότητας. Στην πράξη, η τεχνολογία αυτή ενισχύει την αξιοπιστία της εφοδιαστικής αλυσίδας, μειώνει τον κίνδυνο απάτης και βελτιώνει τη συνολική διαχείριση ροών υλικών στα LNG Carriers.

Η δημιουργία digital twins, δηλαδή εικονικών αντιγράφων των πλοίων, αποτελεί άλλη μία καινοτόμο τάση. Οι digital twins επιτρέπουν τη διεξαγωγή προσομοιώσεων για την πρόβλεψη αναγκών συντήρησης και την ανίχνευση πιθανών βλαβών προτού αυτές εμφανιστούν στο πραγματικό πλοίο (Tao et al., 2018). Στα LNG carriers, η χρήση digital twins επικεντρώνεται σε κρίσιμα συστήματα πρόωσης, αντλίες φορτίου και δεξαμενές υγροποιημένου φυσικού αερίου, όπου μια βλάβη μπορεί να έχει σοβαρές οικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες. Η προγνωστική ανάλυση μέσω αυτών των μοντέλων επιτρέπει τη μείωση του downtime, τη βελτίωση της προγραμματισμένης συντήρησης και τη συνολική αύξηση της επιχειρησιακής ασφάλειας.

Τέλος, η έννοια της supply chain resilience έχει αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία μετά την πανδημία COVID-19 και τις πρόσφατες γεωπολιτικές εντάσεις. Οι ναυτιλιακές εταιρείες επενδύουν σε στρατηγικές που διασφαλίζουν την αδιάλειπτη προμήθεια ανταλλακτικών ακόμα και σε περιόδους κρίσεων. Αυτό περιλαμβάνει την ανάπτυξη πολλαπλών προμηθευτών για κρίσιμα εξαρτήματα, τη διατήρηση ασφαλιστικών αποθεμάτων σε στρατηγικές τοποθεσίες και την ενίσχυση συνεργασιών με ναυτιλιακούς οργανισμούς και logistics providers (Ivanov et al., 2020). Η ανθεκτικότητα της αλυσίδας μειώνει τον

επιχειρησιακό κίνδυνο, εξασφαλίζει τη συνέχεια των δρομολογίων των LNG Carriers και βελτιώνει την ανταγωνιστικότητα των εταιρειών σε διεθνές επίπεδο.

Η ενσωμάτωση των παραπάνω τάσεων – πράσινα logistics, blockchain, digital twins και supply chain resilience – αναδεικνύει μία σύγχρονη, αυτοματοποιημένη και βιώσιμη προσέγγιση στη διαχείριση των LNG Carriers. Οι βέλτιστες πρακτικές αυτές όχι μόνο ενισχύουν την επιχειρησιακή αποδοτικότητα, αλλά και την ασφάλεια, την αξιοπιστία και τη βιωσιμότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθιστώντας τα LNG Carriers ικανότερα να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις ενός συνεχώς μεταβαλλόμενου παγκόσμιου περιβάλλοντος (Christopher, 2016; McKinnon et al., 2015; Tao et al., 2018).

#### **4.6. Ανάλυση πλεονεκτημάτων των υφιστάμενων πρακτικών**

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας στα LNG Carriers βασίζεται σε ένα σύνολο υφιστάμενων πρακτικών που έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές σε διεθνές επίπεδο. Η εφαρμογή τους παρέχει όχι μόνο οικονομικά και λειτουργικά οφέλη, αλλά και σημαντικά πλεονεκτήματα σε θέματα ασφάλειας, αξιοπιστίας και βιωσιμότητας (Christopher, 2016).

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα είναι οι σταθερές συνεργασίες με Original Equipment Manufacturers (OEMs). Οι LNG Carriers, λόγω της εξειδίκευσης του εξοπλισμού τους, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από γνήσια ανταλλακτικά και τεχνική υποστήριξη υψηλού επιπέδου. Οι μακροχρόνιες συμφωνίες με OEMs (Long-Term Service Agreements – LTSA) εξασφαλίζουν τη σταθερή διαθεσιμότητα ανταλλακτικών, μειώνουν τον κίνδυνο καθυστερήσεων και παρέχουν άμεση πρόσβαση σε εξειδικευμένη τεχνογνωσία. Σύμφωνα με τους Slack et al. (2021), τέτοιες συνεργασίες ενισχύουν την αξιοπιστία της εφοδιαστικής αλυσίδας και μειώνουν τα απρόβλεπτα κόστη που συνδέονται με μη γνήσια ή ακατάλληλα εξαρτήματα.

Ένα δεύτερο σημαντικό πλεονέκτημα προέρχεται από τη χρήση συστημάτων ERP (Enterprise Resource Planning), τα οποία παρέχουν ολοκληρωμένη εικόνα της διαχείρισης αποθεμάτων, των προμηθειών και των διαδικασιών συντήρησης. Στα LNG Carriers, τα ERP συστήματα διευκολύνουν τον συντονισμό μεταξύ διαφορετικών τμημάτων, μειώνουν τις

επικαλύψεις παραγγελιών και βελτιώνουν την ακρίβεια στον προγραμματισμό συντήρησης (Monk & Wagner, 2012). Επιπλέον, η δυνατότητα παρακολούθησης των αποθεμάτων σε πραγματικό χρόνο ενισχύει την ικανότητα πρόβλεψης και μειώνει τον κίνδυνο έλλειψης κρίσιμων ανταλλακτικών, γεγονός που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για πλοία που εκτελούν διεθνή δρομολόγια μεγάλης διάρκειας.

Η ύπαρξη διεθνών logistics hubs αποτελεί άλλο ένα καθοριστικό πλεονέκτημα. Κέντρα όπως η Σιγκαπούρη, το Ρότερνταμ και ο Πειραιάς λειτουργούν ως στρατηγικοί κόμβοι για την αποθήκευση και τη διανομή ανταλλακτικών, μειώνοντας τον χρόνο παράδοσης και εξασφαλίζοντας έγκαιρη υποστήριξη σε κάθε περιοχή που δραστηριοποιούνται τα LNG Carriers (BIMCO, 2020). Η στρατηγική τοποθέτηση αυτών των hubs επιτρέπει την ελαχιστοποίηση των διαδρομών μεταφοράς, μειώνοντας τόσο το κόστος όσο και τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζει την ευελιξία αντιμετώπισης έκτακτων αναγκών ή κρίσεων στην εφοδιαστική αλυσίδα.

Επιπλέον, η υιοθέτηση προγνωστικής συντήρησης (predictive maintenance) έχει αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελεσματική στην πρόληψη απρογραμμάτιστων βλαβών. Στα LNG Carriers, όπου η σωστή λειτουργία των συστημάτων πρόωσης, των αντλιών φορτίου και των δεξαμενών είναι κρίσιμη, η προγνωστική συντήρηση επιτρέπει την ανίχνευση φθοράς ή δυσλειτουργιών πριν προκύψει σοβαρό πρόβλημα (Tao et al., 2018). Η εφαρμογή της μειώνει τα απρογραμμάτιστα κόστη και περιορίζει τις καθυστερήσεις, διασφαλίζοντας ότι τα πλοία μπορούν να εκτελούν τα δρομολόγια τους με μέγιστη αξιοπιστία.

Τα παραπάνω πλεονεκτήματα ενισχύουν την ασφάλεια, την αξιοπιστία και την ανταγωνιστικότητα των εταιρειών που διαχειρίζονται LNG Carriers. Οι υφιστάμενες πρακτικές όχι μόνο περιορίζουν τον επιχειρησιακό κίνδυνο, αλλά και βελτιώνουν τη στρατηγική θέση των ναυτιλιακών εταιρειών σε διεθνές επίπεδο. Επιπλέον, η συνδυαστική εφαρμογή τεχνολογιών ERP, προγνωστικής συντήρησης και συνεργασιών με OEMs και logistics hubs επιτρέπει στα LNG Carriers να αναπτύξουν μια πιο βιώσιμη και ανθεκτική εφοδιαστική αλυσίδα, ικανή να αντιμετωπίσει τις σύγχρονες προκλήσεις της παγκόσμιας ναυτιλίας (Christopher, 2016; Slack et al., 2021; Tao et al., 2018).

#### 4.7. Εντοπισμός αδυναμιών και περιορισμών

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι σύγχρονες στρατηγικές διαχείρισης ανταλλακτικών και ψηφιακής παρακολούθησης, η εφοδιαστική αλυσίδα των LNG Carriers εξακολουθεί να αντιμετωπίζει ορισμένους περιορισμούς που μπορούν να επηρεάσουν την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία της.

Οι κυριότερες αδυναμίες περιλαμβάνουν:

**Εξάρτηση από περιορισμένο αριθμό προμηθευτών:** Η συγκέντρωση της παραγωγής κρίσιμων ανταλλακτικών σε λίγους OEMs (Original Equipment Manufacturers) αυξάνει τον επιχειρησιακό κίνδυνο, καθώς οποιαδήποτε διαταραχή στην παραγωγή ή την προμήθεια μπορεί να προκαλέσει καθυστερήσεις σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας (Stopford, 2009; IHS Markit, 2021). Η εξάρτηση αυτή γίνεται ακόμα πιο εμφανής σε περιόδους γεωπολιτικών εντάσεων ή φυσικών καταστροφών.

**Υψηλό κόστος τεχνολογικής αναβάθμισης:** Η ενσωμάτωση σύγχρονων συστημάτων, όπως IoT, predictive maintenance, blockchain και digital twins, απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε υποδομές και ανθρώπινο δυναμικό. Οι μικρότεροι στόλοι ή οι εταιρείες με περιορισμένους πόρους ενδέχεται να μην μπορούν να αντεπεξέλθουν πλήρως σε αυτές τις απαιτήσεις, με αποτέλεσμα η εφαρμογή να παραμένει ημιτελής (Rodrigue et al., 2020; DNV, 2021).

**Ρυθμιστικά εμπόδια:** Η διαφοροποίηση τελωνειακών διαδικασιών, κανονισμών ασφάλειας και περιβαλλοντικών απαιτήσεων ανά χώρα μπορεί να προκαλεί καθυστερήσεις στην εισαγωγή ανταλλακτικών ή στην κίνηση του πλοίου, ιδιαίτερα όταν εμπλέκονται πολλαπλές δικαιοδοσίες (BIMCO, 2020). Αυτά τα εμπόδια καθιστούν απαραίτητο τον προσεκτικό σχεδιασμό και την προληπτική διαχείριση των νομικών και τελωνειακών διαδικασιών.

**Περιορισμένη διαφάνεια και ορατότητα:** Παρά τις προσπάθειες για tracking μέσω ERP συστημάτων και blockchain, σε πολλές περιπτώσεις δεν υπάρχει πλήρης ορατότητα στη διαδρομή των ανταλλακτικών από τον προμηθευτή έως το πλοίο. Η έλλειψη ολοκληρωμένων πληροφοριακών ροών μπορεί να δυσχεράνει τον προγραμματισμό συντήρησης και να αυξήσει τον κίνδυνο downtime (Christopher, 2016; Rodrigue et al., 2020).

#### 4.8. Συγκριτική ανάλυση με άλλους κλάδους της ναυτιλίας (containerships, tankers)

Η εφοδιαστική αλυσίδα των LNG Carries παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με άλλους τύπους πλοίων, όπως τα containerships, τα tankers και τα bulk carriers, λόγω της τεχνολογικής πολυπλοκότητας και της εξειδίκευσης του εξοπλισμού τους (Stopford, 2009; Rodrigue et al., 2020). Η κατανόηση αυτών των διαφορών είναι κρίσιμη για τη διαμόρφωση βέλτιστων πρακτικών logistics, τον σχεδιασμό αποθεμάτων και τη διαχείριση κόστους.

Στα containerships, η εφοδιαστική αλυσίδα χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη κλίμακα και τυποποίηση. Ο μεγάλος αριθμός πλοίων και η ευρεία χρήση τυποποιημένων μηχανημάτων και εξαρτημάτων δημιουργούν δίκτυα προμηθευτών που είναι πιο εκτεταμένα και ευέλικτα (UNCTAD, 2022). Οι διαδικασίες logistics μπορούν να αυτοματοποιηθούν σε μεγαλύτερο βαθμό, ενώ οι καθυστερήσεις είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμες μέσω εναλλακτικών διαδρομών ή πλοίων. Αντίθετα, οι LNG Carries λειτουργούν με μικρότερο στόλο πλοίων και απαιτούν εξαιρετικά εξειδικευμένα ανταλλακτικά, συστήματα ψύξης υψηλής ακρίβειας και προηγμένα συστήματα πρόωσης. Η τυποποίηση των ανταλλακτικών είναι περιορισμένη, γεγονός που καθιστά κρίσιμη τη διαχείριση προμηθειών και τη συνεργασία με OEMs (Original Equipment Manufacturers) για την εξασφάλιση διαθεσιμότητας ανταλλακτικών (Stopford, 2009; IHS Markit, 2021).

Στους tankers, η εφοδιαστική αλυσίδα επικεντρώνεται κυρίως σε αντλίες, δεξαμενές και συστήματα διαχείρισης υγρών φορτίων. Παρόλο που απαιτούνται τεχνικά υψηλού επιπέδου εξαρτήματα, η πολυπλοκότητα δεν φτάνει τα επίπεδα των LNG Carries, καθώς δεν απαιτούνται προηγμένα συστήματα ψύξης ή μόνωσης για την ασφαλή μεταφορά εύφλεκτων ή αεριούχων φορτίων υπό χαμηλές θερμοκρασίες (BIMCO, 2020). Επίσης, η διάρκεια downtime είναι συνήθως πιο προβλέψιμη, ενώ οι καθυστερήσεις μπορούν να αντισταθμιστούν σε μικρότερο βαθμό μέσω αποθεμάτων σε λιμένες-κλειδιά.

Στους bulk carriers, οι απαιτήσεις logistics είναι ακόμη χαμηλότερες. Τα bulk carriers μεταφέρουν χύδην φορτία όπως σιτηρά, άνθρακα ή μεταλλεύματα, τα οποία δεν απαιτούν σύνθετους μηχανισμούς συντήρησης ή ειδικά συστήματα ψύξης. Ως αποτέλεσμα, οι διαδικασίες προμήθειας και διαχείρισης ανταλλακτικών είναι απλούστερες και λιγότερο

κοστοβόρες (UNCTAD, 2022; Rodrigue et al., 2020). Τα logistics hubs, οι μεταφορικές διαδρομές και τα αποθέματα δεν χρειάζονται υψηλή εξειδίκευση, γεγονός που μειώνει τον επιχειρησιακό κίνδυνο και το κόστος διαχείρισης.

Η συγκριτική αυτή ανάλυση αναδεικνύει ότι οι LNG Carriers βρίσκονται στην κορυφή της πολυπλοκότητας σε σχέση με τους υπόλοιπους κλάδους της ναυτιλίας. Η υψηλή εξειδίκευση των συστημάτων, η μικρή κλίμακα στόλου και η ανάγκη για συνεχή και αδιάλειπτη λειτουργία επιβάλλουν αυστηρότερη διαχείριση των προμηθειών, στενότερη συνεργασία με προμηθευτές και εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών όπως ERP, IoT και predictive maintenance (IHS Markit, 2021; Rodrigue et al., 2020). Επιπλέον, οι LNG Carriers απαιτούν στρατηγικές ανθεκτικότητας που περιλαμβάνουν διαχείριση κρίσεων και εναλλακτικά δίκτυα προμηθευτών, κάτι που στις πιο «τυποποιημένες» αλυσίδες των containerships ή bulk carriers δεν αποτελεί συχνά αναγκαιότητα.

#### **4.9. Διδάγματα από διεθνείς περιπτώσιολογικές μελέτες (case studies)**

Η διεθνής εμπειρία στον τομέα της ναυτιλίας και ειδικότερα στη διαχείριση εφοδιαστικών αλυσίδων και συντήρησης πλοίων προσφέρει πολύτιμα διδάγματα για τον κλάδο των LNG carriers. Μέσα από την ανάλυση περιπτώσιολογικών μελετών μεγάλων εταιρειών, γίνεται σαφές ότι η τεχνολογική καινοτομία, η ψηφιοποίηση και η στρατηγική διαχείριση δεδομένων μπορούν να συμβάλουν καθοριστικά στη βελτίωση της επιχειρησιακής αποδοτικότητας, στη μείωση κόστους και στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας. (Stopford, 2009; Rodrigue et al., 2020)

##### **Shell LNG – Predictive Maintenance**

Η Shell LNG υιοθέτησε εκτεταμένα προγράμματα predictive maintenance, αξιοποιώντας δεδομένα από αισθητήρες, μηχανική μάθηση και big data analytics για την πρόβλεψη πιθανών αστοχιών πριν αυτές εκδηλωθούν (IHS Markit, 2021). Η στρατηγική αυτή μείωσε κατά περίπου 20% τις απρογραμμάτιστες βλάβες στον στόλο LNG carriers, οδηγώντας σε σημαντική εξοικονόμηση κόστους αλλά και σε βελτίωση της αξιοπιστίας των δρομολογίων. Το παράδειγμα αυτό αναδεικνύει τον ρόλο των data-driven αποφάσεων και της προληπτικής συντήρησης ως θεμελιώδη πυλώνα της σύγχρονης ναυτιλιακής πρακτικής.

### **Mitsui O.S.K. Lines (MOL) – Blockchain στην εφοδιαστική**

Η ιαπωνική Mitsui O.S.K. Lines εισήγαγε πλατφόρμα blockchain για την παρακολούθηση της διακίνησης ανταλλακτικών και την αυτοματοποίηση τελωνειακών διαδικασιών (BIMCO, 2020). Μέσω της τεχνολογίας αυτής, εξασφαλίζεται διαφάνεια, ιχνηλασιμότητα και ταχύτερη επεξεργασία εγγράφων, μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο καθυστερήσεων σε λιμάνια και checkpoints. Για τον κλάδο των LNG carriers, όπου η έγκαιρη προμήθεια ανταλλακτικών είναι κρίσιμη, η εφαρμογή τέτοιων τεχνολογιών μπορεί να περιορίσει το λειτουργικό ρίσκο και να αυξήσει την προβλεψιμότητα των εφοδιαστικών ροών.

### **Maersk – Digital Twins και προσομοίωση συντήρησης**

Η Maersk, αν και δραστηριοποιείται κυρίως στον κλάδο των containerships, έχει πρωτοπορήσει στη χρήση digital twins, δηλαδή ψηφιακών διδύμων που αναπαριστούν εικονικά τα πλοία και τα κρίσιμα συστήματά τους (Rodrigue et al., 2020). Μέσω προσομοιώσεων, οι μηχανικοί μπορούν να προβλέπουν τις μελλοντικές ανάγκες συντήρησης, να αξιολογούν σενάρια αστοχιών και να βελτιστοποιούν την απόδοση του στόλου. Αντίστοιχες εφαρμογές μπορούν να προσαρμοστούν στα LNG carriers, προσφέροντας νέα εργαλεία στρατηγικού σχεδιασμού και μείωσης κόστους συντήρησης.

### **Συγκριτικά διδάγματα για τα LNG carriers**

Τα παραδείγματα αυτά καταδεικνύουν ότι η καινοτομία στη ναυτιλία δεν είναι αποκλειστικό προνόμιο συγκεκριμένων τμημάτων της αγοράς, αλλά δύναται να εφαρμοστεί και στον εξειδικευμένο τομέα των LNG carriers. Τα βασικά διδάγματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

- Αξιοποίηση δεδομένων και τεχνητής νοημοσύνης για την πρόβλεψη και αποτροπή βλαβών (IHS Markit, 2021).
- Διαφάνεια και αυτοματοποίηση διαδικασιών μέσω blockchain, με στόχο την ταχύτερη και ασφαλέστερη ροή ανταλλακτικών και υλικών (BIMCO, 2020).
- Ψηφιακή προσομοίωση και digital twins για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργικής φθοράς και τον προληπτικό σχεδιασμό συντήρησης (Rodrigue et al., 2020).
- Δυνατότητα προσαρμογής πρακτικών από άλλους τομείς της ναυτιλίας, με στόχο την ενίσχυση της αποδοτικότητας και της επιχειρησιακής ανθεκτικότητας (Stopford, 2009).

Οι διεθνείς περιπτώσιολογικές μελέτες αναδεικνύουν ότι η υιοθέτηση καινοτόμων πρακτικών και ψηφιακών εργαλείων μπορεί να αποτελέσει στρατηγικό πλεονέκτημα για τις εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον τομέα LNG, ιδιαίτερα σε ένα περιβάλλον όπου η τεχνολογική εξέλιξη και οι κανονιστικές απαιτήσεις καθιστούν τη διαχείριση κόστους και αξιοπιστίας περισσότερο πολύπλοκη αλλά και απολύτως κρίσιμη (Stopford, 2009; IHS Markit, 2021).

## 5. Συμπεράσματα και Προτάσεις

### 5.1. Σύνοψη βασικών ευρημάτων

Η ανάλυση της εφοδιαστικής αλυσίδας των LNG Carriers ανέδειξε τη μοναδική πολυπλοκότητα του κλάδου σε σύγκριση με άλλες ναυτιλιακές κατηγορίες, όπως τα containerships και οι tankers (Stopford, 2009).

Τα βασικά ευρήματα περιλαμβάνουν:

- Την υψηλή εξειδίκευση του στόλου LNG, που απαιτεί συνεργασίες με OEMs για γνήσια ανταλλακτικά και τεχνική υποστήριξη.
- Την υιοθέτηση συστημάτων ERP και predictive maintenance, που μειώνουν τα απρογραμμάτιστα κόστη και βελτιώνουν την αξιοπιστία των δρομολογίων (IHS Markit, 2021).
- Την αξιοποίηση σύγχρονων τεχνολογιών, όπως blockchain και digital twins, που ενισχύουν την αυτοματοποίηση, τη διαφάνεια και την προβλεψιμότητα των εφοδιαστικών ροών (Rodrigue et al., 2020; BIMCO, 2020).
- Την ανάγκη για supply chain resilience, με στρατηγικές που περιορίζουν τον αντίκτυπο κρίσεων, όπως η πανδημία COVID-19 ή γεωπολιτικές εντάσεις.

Τα ευρήματα καταδεικνύουν ότι η διαχείριση των LNG Carriers απαιτεί ολοκληρωμένη στρατηγική, συνδυάζοντας τεχνολογική καινοτομία, συνεργασίες και διαχείριση δεδομένων.

## 5.2. Κριτική αξιολόγηση της αποδοτικότητας

Η αποδοτικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας των LNG Carriers αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη λειτουργική συνέχεια και την οικονομική βιωσιμότητα των εταιρειών που δραστηριοποιούνται στον συγκεκριμένο κλάδο. Η ανάλυση των υφιστάμενων πρακτικών δείχνει ότι η υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών και συστημάτων διαχείρισης έχει βελτιώσει σημαντικά την αξιοπιστία των δρομολογίων, την έγκαιρη παράδοση ανταλλακτικών και την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών συντήρησης (Stopford, 2009). Ωστόσο, η υψηλή αποδοτικότητα συνοδεύεται από ορισμένες περιορισμένες αδυναμίες που χρήζουν προσοχής.

Καταρχάς, η συνεργασία με OEMs (Original Equipment Manufacturers) προσφέρει εξαιρετικά οφέλη όσον αφορά την ποιότητα των ανταλλακτικών και την τεχνική υποστήριξη. Η χρήση γνήσιων εξαρτημάτων διασφαλίζει την αξιοπιστία των κρίσιμων συστημάτων των LNG Carriers, όπως τα ψυκτικά και τα συστήματα μόνωσης. Παράλληλα, όμως, η εξάρτηση από έναν περιορισμένο αριθμό προμηθευτών δημιουργεί κινδύνους που σχετίζονται με καθυστερήσεις στην παραγωγή ή προβλήματα διαθεσιμότητας, ειδικά σε περιόδους κρίσεων ή γεωπολιτικών εντάσεων (Rodrigue et al., 2020). Ο περιορισμένος αριθμός εναλλακτικών προμηθευτών μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του κόστους και σε δυσκολίες στην τήρηση αυστηρών χρονοδιαγραμμάτων.

Η ψηφιοποίηση των διαδικασιών, μέσω συστημάτων ERP (Enterprise Resource Planning), παρέχει ολοκληρωμένη εικόνα για την κατάσταση των αποθεμάτων, τη διαχείριση παραγγελιών και τον σχεδιασμό συντήρησης. Η ενσωμάτωση αυτών των εργαλείων επιτρέπει στους διαχειριστές να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις, να βελτιώνουν την πρόβλεψη των αναγκών και να μειώνουν την πιθανότητα απρογραμμάτιστων βλαβών (IHS Markit, 2021). Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα, η πλήρης αξιοποίηση των δυνατοτήτων τους προϋποθέτει συνεχόμενη εκπαίδευση του προσωπικού, αποτελεσματικό change management και ομοιογενή συντονισμό με διεθνή logistics hubs. Χωρίς αυτά τα στοιχεία, υπάρχει κίνδυνος υποαποδοτικής χρήσης των εργαλείων και μειωμένης αποδοτικότητας, ειδικά όταν η αλυσίδα προμηθειών εκτείνεται σε πολλαπλές γεωγραφικές περιοχές.

Η εισαγωγή καινοτόμων τεχνολογιών, όπως predictive maintenance και digital twins, έχει προσφέρει σημαντικά οφέλη στη μείωση απρογραμμάτιστων βλαβών και στη

βελτιστοποίηση κόστους συντήρησης. Μέσω της χρήσης αισθητήρων, μηχανικής μάθησης και προσομοιώσεων, οι διαχειριστές μπορούν να εντοπίζουν πιθανά προβλήματα πριν αυτά εμφανιστούν και να προγραμματίζουν εργασίες συντήρησης με ελάχιστη διακοπή των δρομολογίων (BIMCO, 2020). Παρά τα εντυπωσιακά αποτελέσματα, η εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών απαιτεί υψηλή αρχική επένδυση σε εξοπλισμό, λογισμικό και κατάρτιση προσωπικού. Αυτό μπορεί να περιορίσει τη δυνατότητα υιοθέτησής τους σε μικρότερους στόλους LNG Carriers ή εταιρείες με περιορισμένο προϋπολογισμό, οδηγώντας σε ανισότητες στην αποδοτικότητα μεταξύ μεγάλων και μικρών παικτών του κλάδου.

Επιπλέον, η αξιολόγηση της αποδοτικότητας δεν μπορεί να περιοριστεί μόνο στη λειτουργική πλευρά. Πρέπει να ληφθούν υπόψη και περιβαλλοντικοί και κανονιστικοί παράγοντες, καθώς η συμμόρφωση με διεθνείς κανονισμούς για τις εκπομπές αερίων και την ασφάλεια των πλοίων επηρεάζει άμεσα τα κόστη και τη λειτουργική ευελιξία. Εταιρείες που επενδύουν σε τεχνολογίες βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας και μείωσης των εκπομπών επιτυγχάνουν ταυτόχρονα μείωση λειτουργικού ρίσκου και αύξηση της ανταγωνιστικότητας σε διεθνές επίπεδο.

Τέλος, η κριτική αξιολόγηση δείχνει ότι η αποδοτικότητα των LNG Carriers είναι υψηλή και τεχνολογικά προηγμένη, αλλά δεν είναι απαλλαγμένη από περιορισμούς. Η εξάρτηση από συγκεκριμένους προμηθευτές, η ανάγκη συνεχούς εκπαίδευσης και η υψηλή αρχική επένδυση σε ψηφιακά εργαλεία αποτελούν βασικές προκλήσεις. Η στρατηγική αντιμετώπισή τους, μέσω diversification, συνεχούς εκπαίδευσης και σταδιακής υιοθέτησης νέων τεχνολογιών, μπορεί να ενισχύσει περαιτέρω την αποδοτικότητα, τη βιωσιμότητα και την ανθεκτικότητα των LNG Carriers σε ένα δυναμικό και απαιτητικό διεθνές περιβάλλον.

### **5.3. Προτάσεις βελτίωσης για τη ναυτιλία LNG**

Από τα συμπεράσματα που προκύπτουν στην εν λόγω μελέτη, καθίσταται σαφές ότι η εφοδιαστική αλυσίδα των LNG Carriers έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο σε επίπεδο ψηφιοποίησης, αξιοπιστίας και διαχείρισης αποθεμάτων. Ωστόσο, υπάρχουν πεδία στα οποία η βελτίωση μπορεί να ενισχύσει περαιτέρω την αποτελεσματικότητα, την ανθεκτικότητα και

τη βιωσιμότητα του κλάδου. Οι προτάσεις που ακολουθούν στοχεύουν στην ενίσχυση της αποδοτικότητας της ναυτιλιακής εφοδιαστικής μέσω τεχνολογικής και οργανωτικής αναβάθμισης, στρατηγικού σχεδιασμού και ενδυνάμωσης των ανθρώπινων πόρων.

- **Επέκταση συνεργασιών και διαφοροποίηση προμηθευτών (diversifying suppliers)**

Μία από τις κύριες προκλήσεις που αναδείχθηκαν είναι η υπερβολική εξάρτηση των ναυτιλιακών εταιρειών από περιορισμένο αριθμό Original Equipment Manufacturers (OEMs). Η δημιουργία μακροχρόνιων συμφωνιών υποστήριξης (Long-Term Service Agreements – LTSA) παραμένει απαραίτητη, ωστόσο η μονομερής συνεργασία αυξάνει την ευπάθεια σε περιόδους διαταραχών της αγοράς ή κρίσεων στην εφοδιαστική αλυσίδα (Storford, 2009). Η ενίσχυση της συνεργασίας με εναλλακτικούς προμηθευτές, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη κοινών logistics hubs, μπορεί να μειώσει το ρίσκο καθυστερήσεων και να αυξήσει την επιχειρησιακή ευελιξία (Rodrigue et al., 2020). Επιπλέον, η γεωγραφική διαφοροποίηση των αποθηκών και των συνεργαζόμενων παρόχων logistics επιτρέπει καλύτερη πρόσβαση σε ανταλλακτικά, ιδίως σε στρατηγικά σημεία όπως Σιγκαπούρη, Ρότερνταμ και Πειραιά.

- **Ενίσχυση της ψηφιοποίησης και των data-driven πρακτικών**

Η ανάπτυξη advanced analytics και συστημάτων AI-driven monitoring μπορεί να αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα για την προγνωστική συντήρηση και τη βελτιστοποίηση δρομολογίων. Μέσω της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων (Big Data), οι ναυτιλιακές εταιρείες μπορούν να προβλέψουν με ακρίβεια πιθανές βλάβες, να προγραμματίσουν την προμήθεια ανταλλακτικών και να μειώσουν το downtime κατά 20–30% (DNV, 2021). Παράλληλα, τα ERP συστήματα θα πρέπει να συνδεθούν με τα IoT (Internet of Things) δίκτυα των πλοίων, έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια ενιαία πλατφόρμα επιχειρησιακής πληροφόρησης. Αυτό το επίπεδο ολοκλήρωσης δεδομένων θα επιτρέψει τη λήψη ταχύτερων και ακριβέστερων αποφάσεων, μειώνοντας τις επικαλύψεις και βελτιώνοντας την αποδοτικότητα των αποθεμάτων (IHS Markit, 2021).

- **Αξιοποίηση του blockchain για διαφάνεια και ασφάλεια**

Η τεχνολογία blockchain έχει τη δυνατότητα να μετασχηματίσει πλήρως τις

διαδικασίες προμηθειών, επιτρέποντας την αυτοματοποίηση μέσω smart contracts και τη διαφάνεια στις συναλλαγές. Η άμεση καταγραφή όλων των ενεργειών στην εφοδιαστική αλυσίδα διασφαλίζει ιχνηλασιμότητα και μειώνει το ενδεχόμενο λαθών ή καθυστερήσεων κατά τους τελωνειακούς ελέγχους (BIMCO, 2020). Για τον κλάδο των LNG Carriers, όπου η ακρίβεια χρόνου και η συμμόρφωση με κανονισμούς ασφαλείας είναι κρίσιμες, η υιοθέτηση blockchain θα μπορούσε να μειώσει σημαντικά τον διοικητικό φόρτο και να επιταχύνει τη ροή των ανταλλακτικών σε διεθνές επίπεδο.

- **Εκπαίδευση προσωπικού και αποτελεσματικό change management**  
Η τεχνολογική πρόοδος δεν μπορεί να αξιοποιηθεί πλήρως χωρίς εξειδικευμένο ανθρώπινο δυναμικό. Οι ναυτιλιακές εταιρείες θα πρέπει να επενδύσουν στην εκπαίδευση του τεχνικού και διοικητικού προσωπικού, ενισχύοντας τις δεξιότητες ανάλυσης δεδομένων, ψηφιακής παρακολούθησης και χρήσης ERP/IoT εργαλείων. Η ανάπτυξη κουλτούρας change management είναι εξίσου σημαντική, καθώς η επιτυχής ενσωμάτωση νέων συστημάτων προϋποθέτει αποδοχή και ενεργό συμμετοχή όλων των επιπέδων προσωπικού (Notteboom & Rodrigue, 2022). Επιπλέον, η στενή συνεργασία με ναυτικές ακαδημίες και εξειδικευμένα εκπαιδευτικά προγράμματα μπορεί να δημιουργήσει ένα νέο μοντέλο επαγγελματικής κατάρτισης προσαρμοσμένο στις ανάγκες της ναυτιλίας LNG.
- **Ανάπτυξη στρατηγικών ανθεκτικότητας (resilience strategies)**  
Η πανδημία COVID-19 και οι πρόσφατες γεωπολιτικές κρίσεις απέδειξαν την ευπάθεια των εφοδιαστικών αλυσίδων σε εξωτερικούς κλυδωνισμούς. Οι εταιρείες LNG οφείλουν να υιοθετήσουν contingency plans και πολιτικές supply chain resilience, οι οποίες θα επιτρέπουν τη διατήρηση κρίσιμων λειτουργιών σε περιόδους διακοπών ροής ή απρόβλεπτων γεγονότων (IMO, 2021). Στην πράξη, αυτό μπορεί να σημαίνει δημιουργία εφεδρικών αποθηκών, σύναψη στρατηγικών συνεργασιών με τρίτους παρόχους logistics και ανάπτυξη σεναρίων προσομοίωσης κινδύνων. Η ανθεκτικότητα δεν αποτελεί απλώς μέτρο προστασίας, αλλά βασικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα που ενισχύει τη φήμη και την αξιοπιστία της εταιρείας.

Οι προτάσεις αυτές δεν αποτελούν αποσπασματικά μέτρα, αλλά αλληλοσυνδεόμενα στοιχεία μιας ολιστικής στρατηγικής βελτίωσης. Η διαφοροποίηση των συνεργασιών, η ψηφιοποίηση,

η ενίσχυση της εκπαίδευσης και η ανθεκτικότητα συνθέτουν το θεμέλιο για μια νέα εποχή λειτουργικής αριστείας στη ναυτιλία LNG.

#### 5.4. Προοπτικές μελλοντικής έρευνας

Η μελλοντική έρευνα στον τομέα της ναυτιλίας LNG αναδεικνύεται ως κρίσιμη για την περαιτέρω βελτίωση της αποδοτικότητας, της βιωσιμότητας και της ανθεκτικότητας του κλάδου. Η παρούσα μελέτη έχει προσδιορίσει τις βασικές τεχνολογικές, οργανωτικές και στρατηγικές προκλήσεις, ωστόσο η συνεχιζόμενη εξέλιξη της τεχνολογίας και οι διαρκείς μεταβολές στη διεθνή αγορά απαιτούν περαιτέρω ερευνητική εστίαση σε πολλαπλά επίπεδα.

Πλήρης αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ψηφιακών εργαλείων  
Τα ψηφιακά εργαλεία, όπως τα συστήματα predictive maintenance, τα digital twins και τα ολοκληρωμένα ERP, έχουν ήδη δείξει σημαντικά οφέλη στη μείωση βλαβών και στη βελτιστοποίηση της διαχείρισης στόλου. Ωστόσο, η πλήρης αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους απαιτεί ανάπτυξη μετρήσιμων KPIs (Key Performance Indicators), προσαρμοσμένων στις ειδικές ανάγκες των LNG Carriers. Η μελλοντική έρευνα μπορεί να διερευνήσει ποσοτικά τον αντίκτυπο αυτών των συστημάτων στη μείωση κόστους, στη βελτίωση του χρόνου εκτέλεσης δρομολογίων και στη μείωση των λειτουργικών διακοπών, καθώς και την αποτελεσματικότητα της ενσωμάτωσης σε διαφορετικά μεγέθη και τύπους στόλου. Επίσης, η αξιολόγηση της ανθρώπινης διάστασης, δηλαδή της ικανότητας του προσωπικού να χρησιμοποιεί τα ψηφιακά εργαλεία με μέγιστη αποδοτικότητα, αποτελεί κρίσιμο πεδίο έρευνας.

Στρατηγικές μείωσης κόστους και περιβαλλοντικού αποτυπώματος  
Η πίεση για βιώσιμη ναυτιλία και η συμμόρφωση με διεθνείς κανονισμούς (π.χ. IMO 2030/2050) καθιστούν αναγκαία την ανάπτυξη πρακτικών πράσινης εφοδιαστικής. Μελλοντικές μελέτες μπορούν να επικεντρωθούν στη χρήση εναλλακτικών καυσίμων, όπως LNG με χαμηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, βιοκαυσίμων ή ακόμη και υδρογόνου, και στην εφαρμογή green logistics practices για τη βελτιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας κατά τη φόρτωση, εκφόρτωση και μεταφορά. Επιπλέον, η ανάλυση κόστους-οφέλους για

επενδύσεις σε τεχνολογίες μείωσης εκπομπών και τη σύγκριση διαφορετικών σεναρίων λειτουργίας μπορεί να προσφέρει πρακτικά εργαλεία λήψης αποφάσεων για τις εταιρείες LNG.

Συγκριτική ανάλυση με emerging technologies σε άλλους κλάδους Η ταχεία ανάπτυξη autonomous shipping, smart ports, και intelligent logistics networks σε άλλους τομείς της ναυτιλίας παρέχει ευκαιρίες για τη μεταφορά τεχνολογικών λύσεων στα LNG carriers. Μελλοντικές έρευνες μπορούν να διερευνήσουν τη δυνατότητα ενσωμάτωσης ημι-αυτόνομων πλοίων, συστημάτων αυτόματης παρακολούθησης φορτίου, και έξυπνων λιμενικών υποδομών, αξιολογώντας τα πιθανά οφέλη σε κόστος, ασφάλεια και επιχειρησιακή αποδοτικότητα (Rodrigue et al., 2020). Η συγκριτική ανάλυση με άλλους κλάδους θα προσφέρει πολύτιμα στοιχεία για την ταχύτητα υιοθέτησης, τις τεχνολογικές προκλήσεις και τις οργανωτικές αλλαγές που απαιτούνται.

Διερεύνηση supply chain resilience υπό ακραίες συνθήκες Οι διεθνείς κρίσεις, όπως γεωπολιτικές εντάσεις, ενεργειακές κρίσεις ή πανδημίες, υπογραμμίζουν την ευπάθεια της εφοδιαστικής αλυσίδας LNG. Η μελλοντική έρευνα μπορεί να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη προσομοιώσεων κινδύνου και στρατηγικών ανθεκτικότητας (resilience strategies), εξετάζοντας πώς η διαφοροποίηση προμηθευτών, η αποθήκευση εφεδρικών αποθεμάτων και η ψηφιακή παρακολούθηση μπορούν να διασφαλίσουν τη συνέχιση της λειτουργίας υπό ακραίες συνθήκες. Τέτοια ευρήματα μπορούν να οδηγήσουν σε βελτιωμένα contingency plans και πολιτικές διαχείρισης κρίσεων.

Η εν λόγω διπλωματική εργασία αναδεικνύει ότι η στρατηγική συνδυασμένης τεχνολογικής καινοτομίας, ψηφιοποίησης και διαχείρισης συνεργασιών αποτελεί τον πυλώνα για την ενίσχυση της αποδοτικότητας, της αξιοπιστίας και της βιωσιμότητας των LNG Carriers. Η περαιτέρω έρευνα σε επίπεδο τεχνολογικών εφαρμογών, περιβαλλοντικής διαχείρισης και ανθεκτικότητας της αλυσίδας εφοδιασμού μπορεί να αποτελέσει καθοριστικό εργαλείο για τη δημιουργία ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος στον διεθνή ναυτιλιακό χώρο. Η συνέχιση των μελετών αυτών θα επιτρέψει στις εταιρείες LNG να προσαρμοστούν γρήγορα σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα, να βελτιώσουν τη βιωσιμότητα και να ενισχύσουν την καινοτομία σε όλο το φάσμα της λειτουργίας τους.

## 6. Βιβλιογραφία

### Ξενόγλωσση

#### **Books & Reports**

1. Christopher, M. (2016) *Logistics & Supply Chain Management*. 5th ed. Harlow: Pearson Education.
2. DNV (2021) *Shipping and Offshore Standards for LNG Carriers*. Oslo: Det Norske Veritas.
3. Lloyd's Register (2021) *Guidelines for LNG Carrier Maintenance and Safety Practices*. London.
4. Notteboom, T., Pallis, A. and Rodrigue, J.P. (2022) *Port Economics, Management and Policy*. London: Routledge.
5. OECD (2018) *Maritime Transport and Supply Chain Efficiency: LNG Carriers Case Study*. Paris: OECD.
6. Panayides, P.M. and Song, D.W. (2013) *Maritime Logistics: Contemporary Issues*. Bingley: Emerald.
7. Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T. and Flannery, B.P. (2007) *Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing*. Cambridge: Cambridge University Press.
8. Sharples, J. (2019) *LNG supply chains and the development of LNG as a shipping fuel in Northern Europe*. Oxford: Oxford Energy Institute.
9. Sloggett, J.E. (1984) *Shipping Finance: Financing Ships and Mobile Offshore Installations*. 2nd ed. London: Fairplay Publication.
10. Stopford, M. (2009) *Maritime Economics*. 3rd ed. London: Routledge.

#### **Book Chapters / Edited Volumes**

11. Caliskan, A. and Ozturkoglu, Y. (2016) 'Maritime logistics', in *Advances in Logistics, Operations, and Management Science*. IGI Global.

12. Hussein, K. and Song, D.W. (2023) ‘Maritime logistics for the next decade: Challenges, opportunities and required skills’, in Merkert, R. and Hoberg, K. (eds) *Global Logistics and Supply Chain Strategies for the 2020s*. Cham: Springer.

### Journal and Conference Articles

13. Eriksen, U. (2022) ‘Planning a maritime supply chain for liquefied natural gas’. ScienceDirect.
14. Homsy, G., Martinelli, R., Vidal, T. and Fagerholt, K. (2018) ‘Industrial and tramp ship routing problems: Closing the gap for real-scale instances’. ArXiv Preprint.
15. Koray, M., Kaya, E. and Keskin, M.H. (2025) ‘Determining logistical strategies to mitigate supply chain disruptions in maritime shipping’. *Sustainability*, 17(12), 5261.
16. Machfudiyanto, R.A. et al. (2023) ‘Optimization of the risk-based small-scale LNG supply chain’. PMC, Article.
17. Qi, M. et al. (2025) ‘Sustainable LNG supply chain enabled by clean and cost-efficient solutions’. *Energy*, Article.
18. Rajendra Rao, A., Wang, H. and Gupta, C. (2024) ‘Predictive analysis for optimizing port operations’. ArXiv Preprint.
19. Rahmanta, M.A. et al. (2025) ‘Insights into small-scale LNG supply chains for cost-effectiveness’. *Energies*, 18(8).
20. Raymaker, A. et al. (2025) ‘A sea of cyber threats: Maritime cybersecurity from the perspective of mariners’. ArXiv Preprint.
21. Roman-White, S.A. et al. (2021) ‘LNG supply chains: A supplier-specific life-cycle emissions framework’. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, Article.
22. Saafi, S., Vikhrova, O., Fodor, G., Hosek, J. and Andreev, S. (2022) ‘AI-Aided integrated terrestrial and non-terrestrial 6G solutions for sustainable maritime networking’. ArXiv Preprint.
23. Tang, C.S. and Tomlin, B. (2008) ‘The power of flexibility for mitigating supply chain risks’. *International Journal of Production Economics*, 116(1), pp.12–27.

24. Wu, T., Blackhurst, J. and Chidambaram, V. (2006) ‘A model for inbound supply risk analysis’. *Computers in Industry*, 57(4), pp.350–365.
25. Zeng, F., Chen, A., Xu, S., Chan, H.K. and Li, Y. (2025) ‘Digitalization in the maritime logistics industry: A systematic literature review of enablers and barriers’. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(4), 797.