

## **ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΗΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ. ΜΙΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ**

**Κουρούκλης Αντώνιος**

*Υποψήφιος διδάκτωρ, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας  
Διοίκησης, Κοζάνη, Ελλάδα*  
[dmst00036@uowm.gr](mailto:dmst00036@uowm.gr)

**Χατζηθεοδωρίδης Φώτιος**

*Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Διοίκησης,  
Κοζάνη, Ελλάδα*  
[fxtheodoridis@uowm.gr](mailto:fxtheodoridis@uowm.gr)

**Μπουλούτα Κωνσταντίνα**

*Διδάκτωρ Πολιτικός Επιστήμονας, Σχολή Επιστημών Τροφίμων, Πανεπιστήμιο Δυτικής  
Αττικής, Αιγάλεω, Αθήνα, Ελλάδα*  
[boulouta@uniwa.gr](mailto:boulouta@uniwa.gr)

### **Περίληψη**

*Η απανθρακοποίηση των θαλάσσιων μεταφορών αποτελεί πλέον μία από τις κεντρικές προκλήσεις της παγκόσμιας βιώσιμης ανάπτυξης, λόγω της εντατικοποίησης των κλιματικών δεσμεύσεων, της αυξανόμενης ρυθμιστικής πίεσης και των μεταβαλλόμενων προσδοκιών της αγοράς. Παρότι η ναυτιλία θεωρείται παραδοσιακά ένας από τους πλέον ενεργειακά αποδοτικούς τρόπους μεταφοράς, η αυξανόμενη συνεισφορά της στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου καθιστά αναγκαίο έναν ουσιαστικό μετασχηματισμό των τεχνολογιών πρόωσης, των επιχειρησιακών πρακτικών και των επενδυτικών στρατηγικών. Το παρόν άρθρο παρουσιάζει μια εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση των ρυθμιστικών εξελίξεων, των καθαρών τεχνολογιών πρόωσης και των οικονομικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στη ναυτιλία, με ιδιαίτερη έμφαση στην ελληνική ναυτιλία. Η ανάλυση εξετάζει το εξελισσόμενο ρυθμιστικό πλαίσιο σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο και αξιολογεί τον αντίκτυπό του στη στρατηγική λήψη αποφάσεων των πλοιοκτητών.*

**Λέξεις-κλειδιά:** *Απανθρακοποίηση ναυτιλίας, εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, καθαρές τεχνολογίες πρόωσης, ρυθμιστικό πλαίσιο, ελληνική ναυτιλία, βιωσιμότητα.*

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η ναυτιλία αποτελεί τη ραχοκοκαλιά του παγκόσμιου εμπορίου, διακινώντας περίπου το 90% του διεθνούς φορτίου. Παρά τη συγκριτική ενεργειακή της αποδοτικότητα, η συνεχιζόμενη ανάπτυξη του κλάδου και η εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα έχουν οδηγήσει σε αυξανόμενη συμβολή στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Εκτιμάται ότι η ναυτιλία ευθύνεται σήμερα για περίπου το 3% των παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών.

Υπό το πρίσμα αυτό, ο κλάδος της ναυτιλίας βιώνει τον βαθύτερο μετασχηματισμό του από τη μετάβαση από την ιστιοφόρο στη μηχανοκίνητη πρόωση. Η αυξανόμενη ρυθμιστική πίεση, η τεχνολογική καινοτομία και οι απαιτήσεις της αγοράς διαμορφώνουν ένα νέο επιχειρησιακό περιβάλλον με επίκεντρο την απανθρακοποίηση.

Η ελληνική ναυτιλία, ως η μεγαλύτερη εμπορική ναυτιλιακή δύναμη παγκοσμίως, διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη μετάβαση αυτή. Το παρόν άρθρο στοχεύει στη συστηματική αποτύπωση της σχετικής βιβλιογραφίας, εστιάζοντας στις ρυθμιστικές εξελίξεις, τις τεχνολογικές επιλογές και τις οικονομικές προεκτάσεις της μείωσης των εκπομπών, με ειδική αναφορά στον ελληνικό στόλο.

## **1. Ρυθμιστικό Πλαίσιο που Διέπει την Απανθρακοποίηση της Ναυτιλίας**

Το διεθνές ρυθμιστικό πλαίσιο για την απανθρακοποίηση της ναυτιλίας έχει εξελιχθεί με ταχύ ρυθμό τα τελευταία έτη, μετατρέποντας τη συμμόρφωση με τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις σε κεντρικό παράγοντα στρατηγικού και επενδυτικού σχεδιασμού για τις ναυτιλιακές επιχειρήσεις. Αυτό που στο παρελθόν αντιμετωπιζόταν ως προαιρετική ή δευτερεύουσα τεχνική παράμετρος, σήμερα συνιστά δεσμευτικό επιχειρησιακό και οικονομικό περιορισμό, επηρεάζοντας τον σχεδιασμό των πλοίων, την επιλογή καυσίμων και την καθημερινή λειτουργία τους.

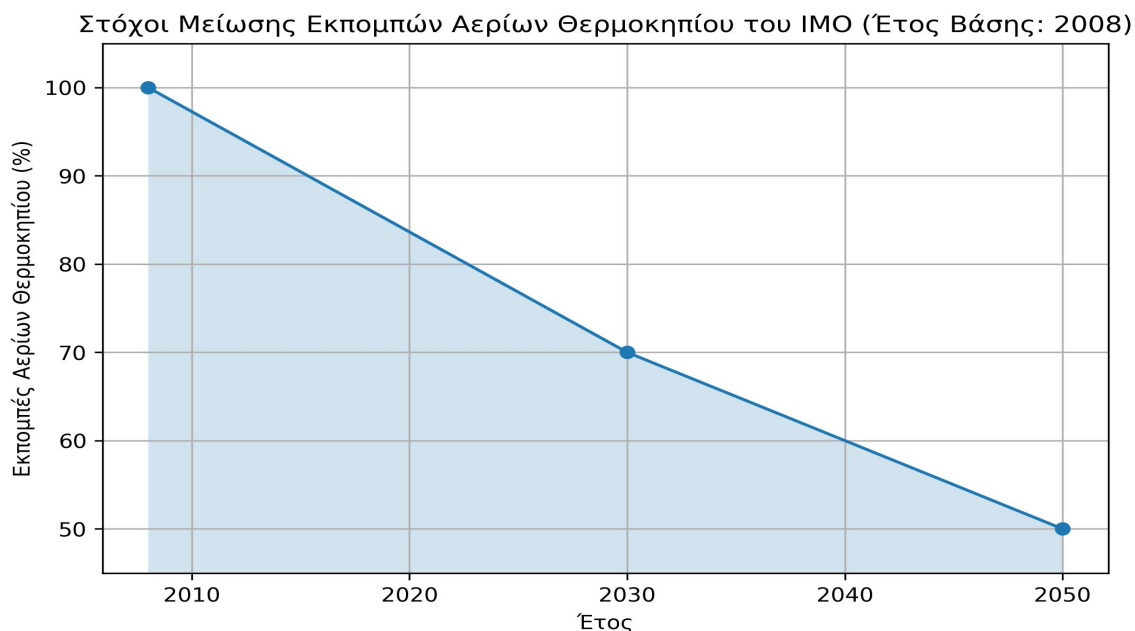
Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organization – IMO) αποτελεί τον βασικό θεσμικό φορέα διαμόρφωσης του ρυθμιστικού πλαισίου για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία. Παράλληλα, περιφερειακοί οργανισμοί και υπερεθνικές ενώσεις, με κυριότερη την Ευρωπαϊκή Ένωση, έχουν υιοθετήσει αυστηρότερες και οικονομικά δεσμευτικές πολιτικές, οι οποίες υπερβαίνουν σε φιλοδοξία τις παγκόσμιες ρυθμίσεις.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ των παγκόσμιων κανονισμών του IMO και των περιφερειακών πολιτικών της Ευρωπαϊκής Ένωσης δημιουργεί ένα σύνθετο και πολυεπίπεδο κανονιστικό περιβάλλον για τους πλοιοκτήτες. Από τη μία πλευρά, οι κανονισμοί του IMO διασφαλίζουν ένα ελάχιστο επίπεδο ομοιομορφίας σε παγκόσμια κλίμακα, ενώ από την άλλη πλευρά, οι ευρωπαϊκές πολιτικές εισάγουν ταχύτερους ρυθμούς συμμόρφωσης και άμεσες οικονομικές επιπτώσεις. Το πλαίσιο αυτό δημιουργεί τόσο προκλήσεις όσο και στρατηγικές ευκαιρίες, επηρεάζοντας τις επενδυτικές αποφάσεις, τον σχεδιασμό στόλου και τη μακροπρόθεσμη ανταγωνιστικότητα των ναυτιλιακών επιχειρήσεων.

### ***1.1 Η εξέλιξη της στρατηγικής του IMO για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου***

Το ρυθμιστικό πλαίσιο του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) για την αντιμετώπιση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου βασίζεται στη Σύμβαση MARPOL και ειδικότερα στο Παράρτημα VI, το οποίο ρυθμίζει την ατμοσφαιρική ρύπανση από τα πλοία. Η υιοθέτηση της Αρχικής Στρατηγικής του IMO για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου το 2018 αποτέλεσε σημείο καμπής για τη διεθνή ναυτιλία, καθώς για πρώτη φορά τέθηκαν συγκεκριμένοι ποσοτικοί στόχοι σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η στρατηγική αυτή προέβλεπε τη μείωση της έντασης άνθρακα της διεθνούς ναυτιλίας κατά τουλάχιστον 40% έως το 2030, καθώς και τη μείωση των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 50% έως το 2050, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2008. Οι στόχοι αυτοί σηματοδότησαν μια σαφή μετατόπιση από τις αποσπασματικές τεχνικές παρεμβάσεις προς μια πιο ολιστική προσέγγιση, η οποία συνδέει τον σχεδιασμό των πλοίων, τη λειτουργική τους απόδοση και τη μακροπρόθεσμη στρατηγική του κλάδου όπως φαίνεται σχήμα 1.



Σχήμα 1: Στόχοι μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου του IMO σε σχέση με τα επίπεδα του 2008. Πηγή: IMO (2023).

Η αναθεώρηση της στρατηγικής του IMO το 2023 αύξησε περαιτέρω το επίπεδο φιλοδοξίας, εισάγοντας τον στόχο επίτευξης καθαρών μηδενικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου «γύρω στο 2050». Ιδιαίτερης σημασίας είναι η υιοθέτηση της προσέγγισης well-to-wake, η οποία λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τις εκπομπές που παράγονται κατά τη λειτουργία του πλοίου, αλλά και εκείνες που προκύπτουν κατά την παραγωγή, μεταφορά και διάθεση των ναυτιλιακών καυσίμων. Η μετατόπιση αυτή μεταβάλλει ουσιαστικά την αξιολόγηση των εναλλακτικών καυσίμων, καθώς δίνει έμφαση στη συνολική περιβαλλοντική τους επίδοση και όχι αποκλειστικά στις εκπομπές επί του πλοίου.

Η σταδιακή αυστηροποίηση της στρατηγικής του IMO έχει ενισχύσει την κανονιστική προβλεψιμότητα, αλλά ταυτόχρονα έχει αυξήσει την αβεβαιότητα ως προς τα μέσα επίτευξης των στόχων. Η απουσία σαφούς καθοδήγησης σχετικά με τις τεχνολογίες και τα καύσιμα που θα κυριαρχήσουν στο μέλλον ωθεί τους πλοιοκτήτες στην υιοθέτηση ευέλικτων επενδυτικών στρατηγικών, οι οποίες επιτρέπουν προσαρμογή σε ένα μεταβαλλόμενο ρυθμιστικό και τεχνολογικό περιβάλλον.

### **1.2 MARPOL Παράρτημα VI: Από τον σχεδιασμό στον επιχειρησιακό έλεγχο**

Το Παράρτημα VI της Σύμβασης MARPOL αποτέλεσε το βασικό θεσμικό εργαλείο του IMO για τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία, αρχικά εστιάζοντας στις εκπομπές οξειδίων του θείου ( $SO_x$ ) και οξειδίων του αζώτου ( $NO_x$ ). Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου, το ρυθμιστικό πεδίο εφαρμογής του επεκτάθηκε σημαντικά, ενσωματώνοντας μηχανισμούς που στοχεύουν άμεσα στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Ένα από τα σημαντικότερα μέτρα που εισήχθησαν ήταν ο Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Σχεδιασμού (Energy Efficiency Design Index – EEDI), ο οποίος εφαρμόζεται στα νεότευκτα πλοία και θέτει ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης ανά τύπο και μέγεθος πλοίου. Ο EEDI συνέβαλε στην ενσωμάτωση της ενεργειακής αποδοτικότητας ήδη από το στάδιο του σχεδιασμού, επηρεάζοντας την επιλογή μηχανών, τη βελτιστοποίηση της υδροδυναμικής μορφής και τη χρήση τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας.

Παράλληλα, το Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου (Ship Energy Efficiency Management Plan – SEEMP) καθιέρωσε την ενεργειακή διαχείριση ως διαρκή επιχειρησιακή διαδικασία. Μέσω του SEEMP, οι πλοιοκτήτες και οι διαχειριστές πλοίων υποχρεούνται να παρακολουθούν συστηματικά την κατανάλωση καυσίμων, να εφαρμόζουν μέτρα βελτιστοποίησης της λειτουργίας και να αξιολογούν την αποτελεσματικότητά τους σε συνεχή βάση.

Η εισαγωγή του Συστήματος Συλλογής Δεδομένων Κατανάλωσης Καυσίμων (Fuel Oil Data Collection System – DCS) ενίσχυσε περαιτέρω τη διαφάνεια και τη δυνατότητα ελέγχου, καθώς κατέστησε υποχρεωτική τη συστηματική καταγραφή και αναφορά στοιχείων κατανάλωσης καυσίμων και εκπομπών. Τα δεδομένα αυτά αποτέλεσαν τη βάση για την ανάπτυξη μεταγενέστερων ρυθμιστικών εργαλείων, επιτρέποντας τη μετάβαση από κανονισμούς που βασίζονται αποκλειστικά σε τεχνικά χαρακτηριστικά σε κανονισμούς που αξιολογούν την πραγματική περιβαλλοντική επίδοση των πλοίων.

Συνολικά, η εξέλιξη του Παραρτήματος VI της MARPOL αντικατοπτρίζει τη σταδιακή μετατόπιση της διεθνούς ναυτιλιακής πολιτικής από τον σχεδιασμό προς τον επιχειρησιακό έλεγχο, καθιστώντας την ενεργειακή απόδοση και τη μείωση των εκπομπών αναπόσπαστο μέρος της καθημερινής λειτουργίας των πλοίων.

### ***1.3 EEXI και CII: Ένα διττό καθεστώς συμμόρφωσης***

Μία από τις πλέον καθοριστικές ρυθμιστικές εξελίξεις των τελευταίων ετών ήταν η εισαγωγή του Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης Υφιστάμενων Πλοίων (Energy Efficiency Existing Ship Index – EEXI) και του Δείκτη Έντασης Άνθρακα (Carbon Intensity Indicator – CII), οι οποίοι εφαρμόζονται στο υφιστάμενο παγκόσμιο στόλο. Τα δύο αυτά εργαλεία συνιστούν ένα διττό καθεστώς συμμόρφωσης που συνδυάζει τεχνικές και επιχειρησιακές απαιτήσεις.

Ο EEXI αφορά την τεχνική ενεργειακή απόδοση των πλοίων και θέτει ελάχιστα όρια αποδοτικότητας, αντίστοιχα με εκείνα του EEDI για τα νεότευκτα πλοία. Η συμμόρφωση με τον EEXI συχνά απαιτεί τεχνικές παρεμβάσεις, όπως περιορισμό της ισχύος της κύριας μηχανής, εγκατάσταση συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας ή βελτιώσεις στην υδροδυναμική απόδοση του πλοίου. Πρόκειται για μέτρο στατικού χαρακτήρα, το οποίο αξιολογείται ανεξάρτητα από τον τρόπο λειτουργίας του πλοίου.

Αντίθετα, ο CII επικεντρώνεται στην πραγματική επιχειρησιακή επίδοση, αξιολογώντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά μονάδα μεταφερόμενου φορτίου και απόστασης. Τα πλοία κατατάσσονται ετησίως σε κλίμακα από A έως E, με βάση την επίδοσή τους, γεγονός που συνδέει άμεσα τη συμμόρφωση με την καθημερινή λειτουργία, τον σχεδιασμό ταξιδιών, τη διαχείριση ταχύτητας και την κατανάλωση καυσίμων. Η διατήρηση ικανοποιητικής κατάταξης CII έχει αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία, όχι μόνο για κανονιστικούς λόγους, αλλά και για την εμπορική ελκυστικότητα και την αποτίμηση των πλοίων.

### ***1.4 Πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την κλιματική μετάβαση της ναυτιλίας***

Σε αντίθεση με το παγκόσμιο πλαίσιο του IMO, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει υιοθετήσει μια πιο φιλόδοξη και οικονομικά δεσμευτική προσέγγιση στην απανθρακοποίηση της ναυτιλίας. Η ένταξη της ναυτιλίας στο Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (EU Emissions Trading System – ETS) από το 2024 εισάγει άμεσο κόστος άνθρακα, υποχρεώνοντας τους πλοιοκτήτες να προμηθεύονται δικαιώματα εκπομπών για τα ταξίδια που σχετίζονται με λιμένες της ΕΕ.

Παράλληλα, ο κανονισμός FuelEU Maritime, ο οποίος τίθεται σε ισχύ από το 2025, επιβάλλει σταδιακά αυστηρότερα όρια στην ένταση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου των ναυτιλιακών καυσίμων. Ο κανονισμός αυτός εντάσσεται στο ευρύτερο πακέτο πολιτικών «Fit

for 55», το οποίο στοχεύει στην επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας σε ολόκληρη την ευρωπαϊκή οικονομία.

Για τα πλοία που δραστηριοποιούνται έντονα σε ευρωπαϊκές εμπορικές γραμμές, τα μέτρα αυτά μεταβάλλουν ριζικά την οικονομική εξίσωση, επιταχύνοντας τη μετάβαση σε καθαρότερες τεχνολογίες πρόωσης και ενισχύοντας τη σημασία της στρατηγικής συμμόρφωσης.

#### ***1.4 Εθνικές και περιφερειακές διαστάσεις: Η ελληνική περίπτωση***

Σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο, η Ελλάδα έχει ξεκινήσει πρωτοβουλίες που στηρίζουν την απανθρακοποίηση της ναυτιλίας, με έμφαση στην ανάπτυξη λιμενικών υποδομών, την ηλεκτροδότηση από ξηράς (shore power) και τη δημιουργία υποδομών εναλλακτικών καυσίμων. Λιμένες στρατηγικής σημασίας, όπως ο Πειραιάς και η Ηγουμενίτσα, προσανατολίζονται σταδιακά στην υποστήριξη καυσίμων χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών.

Για τους Έλληνες πλοιοκτήτες, η ταυτόχρονη έκθεση σε παγκόσμιους κανονισμούς του IMO και σε αυστηρότερες ευρωπαϊκές πολιτικές δημιουργεί ένα σύνθετο περιβάλλον συμμόρφωσης. Η βιβλιογραφία αναδεικνύει τη ρυθμιστική ευθυγράμμιση και τον μακροπρόθεσμο στρατηγικό σχεδιασμό ως κρίσιμους παράγοντες για τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας του ελληνικού στόλου.

## **2. Καθαρές Τεχνολογίες Πρόωσης: Υφιστάμενη Κατάσταση και Μελλοντικές Προοπτικές**

Η απανθρακοποίηση των θαλάσσιων μεταφορών συνιστά πρωτίστως τεχνολογική πρόκληση, η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό αβεβαιότητας και πολυπλοκότητας. Η ποικιλομορφία των τύπων πλοίων, των επιχειρησιακών προφίλ και των εμπορικών διαδρομών καθιστά αδύνατη την υιοθέτηση μίας ενιαίας τεχνολογικής λύσης. Ως εκ τούτου, η σύγχρονη βιβλιογραφία συγκλίνει στην υιοθέτηση μιας προσέγγισης «χαρτοφυλακίου», η οποία συνδυάζει μεταβατικά καύσιμα, εναλλακτικές λύσεις μηδενικών εκπομπών και μέτρα ενεργειακής αποδοτικότητας, με στόχο την επίτευξη τόσο βραχυπρόθεσμης συμμόρφωσης όσο και μακροπρόθεσμης κλιματικής ουδετερότητας.

Οι ρυθμιστικές εξελίξεις σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο έχουν επιταχύνει την τεχνολογική πειραματική εφαρμογή, ενώ οι πιέσεις της αγοράς και των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων ενισχύουν περαιτέρω τα κίνητρα για έγκαιρη υιοθέτηση καθαρότερων τεχνολογιών. Ωστόσο, η τεχνολογική ωριμότητα, η διαθεσιμότητα καυσίμων, η ετοιμότητα υποδομών και η αξιολόγηση εκπομπών σε όλο τον κύκλο ζωής παραμένουν καθοριστικοί παράγοντες στη λήψη επενδυτικών αποφάσεων.

Τεχνολογία	Εκτιμώμενο Κόστος (εκατ. \$)	Μείωση Εκπομπών ΑΘ (%)	Εμπορική Διαθεσιμότητα
Scrubbers	2,5	10	Υψηλή
Μετασκευή LNG	10,0	20	Μέτρια
Μετάβαση σε Βιοκαύσιμα	1,0	60	Μέτρια
Ηλεκτρική Πρόωση	12,0	80	Χαμηλή
Κυψέλη Καυσίμου Υδρογόνου	15,0	100	Χαμηλή
Μηχανή Αμμωνίας	14,0	100	Πειραματική

Πίνακας 1: Κόστος, αποτελεσματικότητα και βαθμός ωριμότητας επιλεγμένων τεχνολογιών καθαρής πρόωσης. Πηγή: OECD/ITF (2022)· DNV (2023).

### **2.1 Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG) ως μεταβατική λύση**

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (Liquefied Natural Gas – LNG) αναγνωρίζεται ευρέως ως μεταβατικό ναυτιλιακό καύσιμο, καθώς προσφέρει σημαντική μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου και του αζώτου, καθώς και περιορισμένη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε σύγκριση με το μαζούτ. Η τεχνολογική του ωριμότητα και η αυξανόμενη διαθεσιμότητα υποδομών ανεφοδιασμού το καθιστούν ελκυστική επιλογή για συμμόρφωση με υφιστάμενους κανονισμούς.

Ωστόσο, η βιβλιογραφία επισημαίνει σοβαρές ανησυχίες σχετικά με τις εκπομπές μεθανίου (methane slip), οι οποίες μειώνουν σημαντικά το περιβαλλοντικό όφελος του LNG σε επίπεδο κύκλου ζωής. Καθώς το ρυθμιστικό ενδιαφέρον μετατοπίζεται προς την προσέγγιση well-to-wake, η μακροπρόθεσμη συμβατότητα του LNG με τους στόχους μηδενικών εκπομπών παραμένει αμφισβητούμενη.

### **2.2 Βιοκαύσιμα: Ευελιξία άμεσης εφαρμογής και προκλήσεις βιωσιμότητας**

Τα προηγμένα βιοκαύσιμα προσφέρουν ένα ιδιαίτερα ευέλικτο μονοπάτι απανθρακοποίησης, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υφιστάμενες μηχανές χωρίς εκτεταμένες τεχνικές τροποποιήσεις. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει τη γρήγορη εφαρμογή τους με περιορισμένο επενδυτικό κόστος.

Παρά τις δυνατότητές τους, τα βιοκαύσιμα αντιμετωπίζουν προκλήσεις που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα πρώτων υλών, το κόστος και την πιστοποίηση βιωσιμότητας. Η βιβλιογραφία τονίζει ότι, χωρίς αυστηρά κριτήρια, υπάρχει κίνδυνος οι έμμεσες επιπτώσεις χρήσης γης να αναιρέσουν τα περιβαλλοντικά οφέλη τους.

### **2.3 Υδρογόνο και τεχνολογίες κυψελών καυσίμου**

Το υδρογόνο αποτελεί μία από τις πλέον υποσχόμενες επιλογές για τη μετάβαση σε ναυτιλία μηδενικών εκπομπών, υπό την προϋπόθεση ότι παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (πράσινο υδρογόνο). Όταν χρησιμοποιείται σε κυψέλες καυσίμου, το υδρογόνο δεν παράγει εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά τη λειτουργία του πλοίου, γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα ελκυστικό από περιβαλλοντική άποψη.

Ωστόσο, η εφαρμογή του στη ναυτιλία συνοδεύεται από σημαντικές τεχνικές και οικονομικές προκλήσεις. Η χαμηλή ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα του υδρογόνου απαιτεί αποθήκευση είτε σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες είτε σε υψηλή πίεση, αυξάνοντας τις

απαιτήσεις χώρου και πολυπλοκότητας στον σχεδιασμό των πλοίων. Παράλληλα, οι τεχνολογίες κυψελών καυσίμου, όπως οι κυψέλες ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC) και οι κυψέλες στερεού οξειδίου (SOFC), βρίσκονται ακόμη σε στάδιο ανάπτυξης και πιλοτικής εφαρμογής, με περιορισμένη μέχρι σήμερα εμπορική διάδοση. Ως εκ τούτου, οι εφαρμογές υδρογόνου περιορίζονται κυρίως σε πλοία μικρών αποστάσεων, πορθμεία και εσωτερικές πλωτές μεταφορές.

#### **2.4 Αμμωνία ως μακροπρόθεσμο καύσιμο για υπερωκεάνιες μεταφορές**

Η αμμωνία αναδεικνύεται στη βιβλιογραφία ως ένας από τους πλέον ισχυρούς υποψηφίους για την απανθρακοποίηση των υπερωκεάνιων και μεγάλων αποστάσεων θαλάσσιων μεταφορών. Ως καύσιμο χωρίς περιεκτικότητα σε άνθρακα, δεν παράγει εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά την καύση, ενώ ταυτόχρονα διαθέτει συγκριτικά ανεπτυγμένη παγκόσμια εφοδιαστική αλυσίδα λόγω της εκτεταμένης χρήσης της στη χημική βιομηχανία.

Παρά τα πλεονεκτήματα αυτά, η χρήση της αμμωνίας συνοδεύεται από σοβαρές προκλήσεις ασφάλειας, καθώς πρόκειται για ουσία υψηλής τοξικότητας που απαιτεί αυστηρά πρωτόκολλα διαχείρισης και αποθήκευσης. Επιπλέον, η καύση αμμωνίας μπορεί να οδηγήσει σε εκπομπές οξειδίων του αζώτου, γεγονός που καθιστά αναγκαία την εφαρμογή προηγμένων συστημάτων επεξεργασίας καυσαερίων. Αν και οι κατασκευαστές μηχανών αναπτύσσουν εντατικά μηχανές διπλού καυσίμου με δυνατότητα χρήσης αμμωνίας, η ευρεία εμπορική εφαρμογή τους αναμένεται μετά τα μέσα της δεκαετίας του 2020.

#### **2.5 Μεθανόλη: Ένα ταχέως αναδύμενο εναλλακτικό καύσιμο**

Η μεθανόλη έχει προσελκύσει αυξανόμενο ενδιαφέρον ως εναλλακτικό ναυτιλιακό καύσιμο, κυρίως λόγω της ευκολίας αποθήκευσης και διαχείρισής της σε σύγκριση με το υδρογόνο και την αμμωνία. Η χαμηλότερη τοξικότητά της και η δυνατότητα χρήσης της σε μηχανές διπλού καυσίμου την καθιστούν τεχνολογικά ώριμη επιλογή.

Ιδιαίτερης σημασίας είναι το γεγονός ότι η μεθανόλη μπορεί να παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές, προσφέροντας σημαντικές μειώσεις εκπομπών σε επίπεδο κύκλου ζωής. Η αυξανόμενη παραγγελιοληψία πλοίων με καύσιμο μεθανόλη, ιδίως στον τομέα των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, καταδεικνύει την αυξανόμενη εμπιστοσύνη της αγοράς. Παρόλα αυτά, η χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα της μεθανόλης συνεπάγεται αυξημένες απαιτήσεις καυσίμου, ενώ η διαθεσιμότητα υποδομών ανεφοδιασμού παραμένει άنيση σε παγκόσμιο επίπεδο.

#### **2.6 Ηλεκτροκίνηση και υβριδικά συστήματα πρόωσης**

Η ηλεκτροκίνηση μέσω συσσωρευτών αποτελεί την πλέον ενεργειακά αποδοτική λύση απανθρακοποίησης για πλοία μικρών αποστάσεων, όπως πορθμεία και πλοία εσωτερικών πλωτών μεταφορών. Τα πλοία αυτά επιτυγχάνουν μηδενικές εκπομπές κατά τη λειτουργία, μειωμένο θόρυβο και χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης.

Τα υβριδικά συστήματα, τα οποία συνδυάζουν συσσωρευτές με συμβατικές ή εναλλακτικές μηχανές, προσφέρουν αυξημένη επιχειρησιακή ευελιξία και δυνατότητα βελτιστοποίησης της κατανάλωσης καυσίμου. Παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις, οι περιορισμοί στην ενεργειακή πυκνότητα των συσσωρευτών περιορίζουν την εφαρμογή τους σε μικρές αποστάσεις, αν και η συνεχής πρόοδος της τεχνολογίας αναμένεται να διευρύνει το πεδίο εφαρμογής τους.

### **2.7 Δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα επί του πλοίου (CCS)**

Οι τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα επί του πλοίου (Carbon Capture and Storage – CCS) στοχεύουν στη σύλληψη των εκπομπών πριν την απελευθέρωσή τους στην ατμόσφαιρα. Πιλοτικές εφαρμογές δείχνουν ότι είναι εφικτή η δέσμευση σημαντικού ποσοστού των εκπομπών, γεγονός που καθιστά την τεχνολογία δυνητικά ελκυστική για τον υφιστάμενο στόλο.

Παρά ταύτα, τα συστήματα CCS επιβαρύνουν την ενεργειακή απόδοση των πλοίων, απαιτούν πρόσθετο χώρο και αυξάνουν την επιχειρησιακή πολυπλοκότητα. Επιπλέον, η απουσία σαφούς κανονιστικού πλαισίου για την απόρριψη και αποθήκευση του δεσμευμένου διοξειδίου του άνθρακα περιορίζει προς το παρόν τη δυνατότητα ευρείας εφαρμογής τους.

### **2.8 Συγκριτική αξιολόγηση καυσίμων και στρατηγικές επιπτώσεις**

Η επιλογή καυσίμου διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη συνολική περιβαλλοντική επίδοση των πλοίων. Τα συμβατικά καύσιμα εμφανίζουν τις υψηλότερες εκπομπές σε επίπεδο κύκλου ζωής, ενώ τα εναλλακτικά καύσιμα παρουσιάζουν διαφοροποιημένες επιδόσεις ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τους. Η σύγχρονη βιβλιογραφία υπογραμμίζει τη σημασία της αξιολόγησης well-to-wake, προκειμένου να αποφεύγεται η μεταφορά των εκπομπών σε προηγούμενα στάδια της αλυσίδας αξίας.

Για την ελληνική ναυτιλία, το τεχνολογικό τοπίο υποδεικνύει μια σταδιακή και πολυεπίπεδη στρατηγική: βραχυπρόθεσμη αξιοποίηση μεταβατικών λύσεων, επένδυση σε πλοία με δυνατότητα μελλοντικής μετατροπής (fuel-ready) και προετοιμασία για την υιοθέτηση καυσίμων μηδενικών εκπομπών σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα.

## **3. Οικονομικές και Επιχειρησιακές Επιπτώσεις για τους Πλοιοκτήτες**

Η μετάβαση προς τη ναυτιλία χαμηλών και μηδενικών εκπομπών δεν συνιστά απλώς μια τεχνολογική μεταβολή, αλλά έναν βαθύ οικονομικό και επιχειρησιακό μετασχηματισμό. Οι στρατηγικές απανθρακοποίησης επηρεάζουν άμεσα την κατανομή κεφαλαίων, το λειτουργικό κόστος, την εμπορική ανταγωνιστικότητα και την πρόσβαση στη χρηματοδότηση. Για τους πλοιοκτήτες, και ιδίως για όσους διαχειρίζονται διαφοροποιημένους στόλους, όπως οι ελληνικές ναυτιλιακές εταιρείες, οι επενδυτικές αποφάσεις καλούνται να ισορροπήσουν μεταξύ κανονιστικής συμμόρφωσης, αβεβαιότητας της αγοράς και διατήρησης της μακροπρόθεσμης αξίας των περιουσιακών στοιχείων.

### **3.1 Κεφαλαιουχικές Δαπάνες και Στρατηγικές Ανανέωσης Στόλου**

Η υιοθέτηση εναλλακτικών τεχνολογιών πρόωσης συνεπάγεται σημαντικές προσαυξήσεις κεφαλαιουχικών δαπανών (Capital Expenditure – CAPEX) σε σύγκριση με τα συμβατικά σχέδια πλοίων. Εμπειρικά δεδομένα από συμβάσεις ναυπήγησης καταδεικνύουν ότι πλοία με προετοιμασία για χρήση LNG συνεπάγονται αύξηση CAPEX της τάξης του 10–20%, ενώ σχεδιασμοί έτοιμοι για μεθάνολη ή αμμωνία ενδέχεται να αυξήσουν το αρχικό επενδυτικό κόστος έως και 25–30%. Οι προσαυξήσεις αυτές δεν αφορούν μόνο τα συστήματα καυσίμου, αλλά και διαρθρωτικές τροποποιήσεις, συστήματα ασφαλείας και απαιτήσεις κατανομής χώρου.

Οι Έλληνες πλοιοκτήτες έχουν παραδοσιακά επιδείξει συνετή επενδυτική συμπεριφορά, δίνοντας προτεραιότητα στη στρατηγική ευελιξία και την προαιρετικότητα. Ως εκ τούτου, πολλές παραγγελίες νεότευκτων πλοίων ενσωματώνουν διαμορφώσεις «fuel-ready» ή μηχανές διπλού καυσίμου, αντί της δέσμευσης σε μία μοναδική μακροπρόθεσμη διαδρομή καυσίμου. Η προσέγγιση αυτή περιορίζει τον κίνδυνο τεχνολογικού εγκλωβισμού και τη

δημιουργία απαξιωμένων περιουσιακών στοιχείων σε ένα διαρκώς εξελισσόμενο κανονιστικό περιβάλλον.

### **3.2 Λειτουργικές Δαπάνες και Κόστη Συμμόρφωσης**

Πέραν των κεφαλαιουχικών δαπανών, η απανθρακοποίηση επηρεάζει ουσιωδώς και τις λειτουργικές δαπάνες (Operating Expenditure – OPEX). Η ένταξη της ναυτιλίας στο Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU ETS) εισάγει επαναλαμβανόμενο κόστος άνθρακα για τα πλοία που προσεγγίζουν λιμένες της ΕΕ, ενσωματώνοντας το κόστος των εκπομπών στη λειτουργική δαπάνη. Ο κανονισμός FuelEU Maritime εντείνει περαιτέρω τις πιέσεις αυτές, επιβάλλοντας σταδιακά αυστηρότερα όρια στην ένταση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου των ναυτιλιακών καυσίμων.

Σε ανταπόκριση, οι πλοιοκτήτες υιοθετούν ολοένα και περισσότερο μέτρα επιχειρησιακής βελτιστοποίησης, όπως η μείωση ταχύτητας (slow steaming), ο βελτιστοποιημένος σχεδιασμός δρομολογίων με βάση τις καιρικές συνθήκες, η βελτίωση της απόδοσης γάστρας και προπέλας, καθώς και η ψηφιακή παρακολούθηση απόδοσης. Οι πρακτικές αυτές μειώνουν τόσο την κατανάλωση καυσίμου όσο και τις εκπομπές, ενώ παράλληλα υποστηρίζουν τη συμμόρφωση με τον Δείκτη Έντασης Άνθρακα (CII), συνδέοντας άμεσα τις καθημερινές επιχειρησιακές αποφάσεις με τις κανονιστικές αξιολογήσεις.

### **3.3 Ανταγωνιστικότητα της Αγοράς και Δυναμικές Ναυλώσεων**

Η απανθρακοποίηση έχει καταστεί καθοριστικός παράγοντας εμπορικής ανταγωνιστικότητας στις αγορές ναυλώσεων. Μεγάλοι ναυλωτές —ιδίως στους τομείς της ενέργειας, της μεταποίησης και των καταναλωτικών αγαθών— δίνουν πλέον προτεραιότητα σε πλοία με ανώτερη περιβαλλοντική επίδοση και διαφανή αναφορά εκπομπών. Η τάση αυτή είναι ιδιαίτερα εμφανής στις μακροχρόνιες ναυλώσεις, όπου οι ναυλωτές επιδιώκουν τον περιορισμό κανονιστικών και φήμης κινδύνων.

Για τους Έλληνες πλοιοκτήτες, η δυνατότητα προσφοράς πλοίων συμμορφούμενων με τον CII και υψηλής ενεργειακής αποδοτικότητας μεταφράζεται ολοένα και περισσότερο σε βελτιωμένες προοπτικές ναύλωσης και σταθερότητα εσόδων. Αντιθέτως, πλοία με χαμηλή περιβαλλοντική επίδοση αντιμετωπίζουν αυξανόμενο κίνδυνο μειωμένης αξιοποίησης, χαμηλότερων ναυλωτικών τιμών ή αποκλεισμού από ορισμένες αγορές.

### **3.4 Χρηματοδότηση, Κριτήρια ESG και Πρόσβαση σε Κεφάλαια**

Η χρηματοοικονομική διάσταση της απανθρακοποίησης της ναυτιλίας συνδέεται στενά με τα κριτήρια Περιβάλλοντος, Κοινωνίας και Διακυβέρνησης (Environmental, Social, and Governance – ESG). Τραπεζικά ιδρύματα που υιοθετούν τις Αρχές του Ποσειδώνα (Poseidon Principles) αξιολογούν τα ναυτιλιακά χαρτοφυλάκια βάσει των τροχιών απανθρακοποίησης του IMO, επηρεάζοντας άμεσα τους όρους δανεισμού. Παράλληλα, οι θεσμικοί επενδυτές ενσωματώνουν ολοένα και περισσότερο δείκτες ανθρακικής επίδοσης στις επενδυτικές τους αποφάσεις.

Οι ελληνικές ναυτιλιακές εταιρείες που παρουσιάζουν αξιόπιστες στρατηγικές απανθρακοποίησης απολαμβάνουν βελτιωμένη πρόσβαση σε δάνεια συνδεδεμένα με δείκτες βιωσιμότητας, πράσινα ομόλογα και ευνοϊκότερους χρηματοδοτικούς όρους. Αντιθέτως, πλοία που δεν ευθυγραμμίζονται με τις μελλοντικές κανονιστικές απαιτήσεις αντιμετωπίζουν αυξημένο κόστος χρηματοδότησης ή περιορισμένη διαθεσιμότητα κεφαλαίων. Η βιβλιογραφία υπογραμμίζει ότι η συμμόρφωση με τα κριτήρια ESG μεταβαίνει πλέον από ζήτημα φήμης σε θεμελιώδη χρηματοοικονομική απαίτηση.

### **3.5 Επιχειρησιακή Πολυπλοκότητα και Απαιτήσεις Ανθρώπινου Κεφαλαίου**

Η υιοθέτηση εναλλακτικών καυσίμων εισάγει νέες μορφές επιχειρησιακής πολυπλοκότητας που σχετίζονται με την ασφάλεια, τη συντήρηση και την επάρκεια των πληρωμάτων. Καύσιμα όπως η αμμωνία, το υδρογόνο και η μεθανόλη απαιτούν εξειδικευμένες διαδικασίες χειρισμού, αναθεωρημένα συστήματα διαχείρισης ασφάλειας και προηγμένες τεχνολογίες παρακολούθησης. Ως εκ τούτου, η εκπαίδευση και η αναβάθμιση δεξιοτήτων των πληρωμάτων αναδεικνύονται σε κρίσιμες συνιστώσες επιτυχών στρατηγικών απανθρακοποίησης.

Μελέτες επισημαίνουν ότι η ετοιμότητα του ανθρώπινου κεφαλαίου μπορεί να λειτουργήσει είτε ως καταλύτης είτε ως περιοριστικός παράγοντας στην υιοθέτηση νέων τεχνολογιών. Οι Έλληνες πλοιοκτήτες, με τη στήριξη ναυτικών εκπαιδευτικών ιδρυμάτων και νηογνομόνων, επενδύουν ολοένα και περισσότερο σε προγράμματα εκπαίδευσης, διασφαλίζοντας την επιχειρησιακή ασφάλεια και τη συμμόρφωση με το κανονιστικό πλαίσιο κατά τη μετάβαση σε καθαρότερα συστήματα πρόωσης.

### **3.6 Στρατηγικά Αντισταθμίσιμα και Διαχείριση Κινδύνου**

Τελικά, οι αποφάσεις απανθρακοποίησης ενσωματώνουν στρατηγικά αντισταθμίσιμα μεταξύ βραχυπρόθεστων κόστους και μακροπρόθεσμης ανθεκτικότητας. Παρότι οι «πράσινες» επενδύσεις αυξάνουν τις κεφαλαιουχικές και λειτουργικές δαπάνες σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα, η αδυναμία προσαρμογής εκθέτει τους πλοιοκτήτες σε κανονιστικές κυρώσεις, υποβάθμιση της αξίας των πλοίων και περιορισμό της πρόσβασης στην αγορά. Η βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι οι προδραστικές στρατηγικές απανθρακοποίησης, σε συνδυασμό με τεχνολογική ευελιξία και ψηφιακή βελτιστοποίηση, ενισχύουν τη μακροπρόθεσμη ανταγωνιστικότητα.

Για την ελληνική ναυτιλία, η οποία δραστηριοποιείται στο μεταίχμιο παγκόσμιων και ευρωπαϊκών κανονιστικών καθεστώτων, η αποτελεσματική διαχείριση κινδύνου προϋποθέτει συνεχή παρακολούθηση των πολιτικών εξελίξεων, των αγορών καυσίμων και της τεχνολογικής καινοτομίας. Η σταδιακή προσαρμογή, αντί των απότομων τεχνολογικών μεταβάσεων, φαίνεται να αποτελεί την κυρίαρχη στρατηγική για τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας σε συνθήκες αβεβαιότητας.

## **4. Μελέτη Περίπτωσης: Η Ελληνική Ναυτιλία στο Πλαίσιο της Απανθρακοποίησης**

Η ελληνική ναυτιλιακή βιομηχανία κατέχει κυρίαρχη θέση στις παγκόσμιες θαλάσσιες μεταφορές, ελέγχοντας σημαντικό ποσοστό της παγκόσμιας χωρητικότητας σε όρους νεκρού βάρους (deadweight tonnage) σε βασικά τμήματα της αγοράς, όπως τα δεξαμενόπλοια, τα πλοία μεταφοράς χύδην ξηρού φορτίου και τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Το μέγεθος αυτό προσδίδει στους Έλληνες πλοιοκτήτες τόσο αυξημένη στρατηγική επιρροή όσο και ενισχυμένη ευθύνη στη διεθνή προσπάθεια περιορισμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases – GHG). Καθώς οι κανονιστικές και αγοραίες πιέσεις εντείνονται, ο ελληνικός στόλος συνιστά ιδιαίτερα ενδεικτική περίπτωση για την εξέταση της πρακτικής εφαρμογής στρατηγικών απανθρακοποίησης.

### **4.1 Χαρακτηριστικά Στόλου και Επενδυτικά Πρότυπα**

Οι στόλοι ελληνικών συμφερόντων χαρακτηρίζονται από σχετικά χαμηλό μέσο όρο ηλικίας και έντονο προσανατολισμό στην ανανέωση του ενεργητικού. Κατά την τελευταία δεκαετία, οι επενδυτικές στρατηγικές ενσωματώνουν ολοένα και περισσότερο κριτήρια

περιβαλλοντικής επίδοσης, παράλληλα με τα παραδοσιακά εμπορικά κριτήρια. Τα συμβόλαια ναυπήγησης νέων πλοίων περιλαμβάνουν συχνά μηχανές διπλού καυσίμου ή σχεδιασμούς τύπου «fuel-ready», οι οποίοι επιτρέπουν μελλοντική μετατροπή σε εναλλακτικά καύσιμα, όπως το LNG, η μεθανόλη ή η αμμωνία.

Η επενδυτική αυτή συμπεριφορά αντανακλά μια ρεαλιστική προσέγγιση στη διαχείριση της αβεβαιότητας. Αντί της πρόωρης δέσμευσης σε μία και μοναδική διαδρομή απανθρακοποίησης, οι Έλληνες πλοιοκτήτες δίνουν προτεραιότητα στη στρατηγική ευελιξία, περιορίζοντας τον κίνδυνο τεχνολογικού εγκλωβισμού και τη δημιουργία απαξιωμένων περιουσιακών στοιχείων (stranded assets). Η σχετική βιβλιογραφία αναγνωρίζει σταθερά αυτή τη στρατηγική βασισμένη στην προαιρετικότητα ως καθοριστικό παράγοντα της μακροπρόθεσμης ανταγωνιστικότητας της ελληνικής ναυτιλίας.

#### **4.2 Υιοθέτηση Καθαρών Τεχνολογιών και Επιχειρησιακών Μέτρων**

Οι ελληνικές ναυτιλιακές εταιρείες έχουν διαδραματίσει πρωταγωνιστικό ρόλο στην υιοθέτηση καθαρότερων τεχνολογιών πρόωσης, ιδίως σε τομείς όπου τα κανονιστικά και εμπορικά κίνητρα είναι ισχυρότερα. Ο στόλος ελληνικών συμφερόντων κατέχει σημαντικό μερίδιο της παγκόσμιας χωρητικότητας πλοίων μεταφοράς LNG και έχει επεκτείνει τις επενδύσεις του σε πλοία με καύσιμο LNG και πλοία διπλού καυσίμου. Παράλληλα, επιχειρησιακά μέτρα, όπως η βελτιστοποίηση ταχύτητας, η ψηφιακή παρακολούθηση κατανάλωσης καυσίμων και οι παρεμβάσεις βελτίωσης της απόδοσης της γάστρας, εφαρμόζονται ευρέως με σκοπό τη συμμόρφωση με τον Δείκτη Έντασης Άνθρακα (CII).

Τα μέτρα αυτά καταδεικνύουν ότι η απανθρακοποίηση του ελληνικού στόλου δεν βασίζεται αποκλειστικά σε τεχνολογικές επιλογές, αλλά ενσωματώνεται ουσιαστικά στη λειτουργική διαχείριση των πλοίων. Η αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων επιτρέπει τη συνεχή βελτιστοποίηση της απόδοσης, υποστηρίζοντας ταυτόχρονα τη μείωση των εκπομπών και την οικονομική αποδοτικότητα.

#### **4.3 Συμμετοχή σε Έρευνα, Καινοτομία και Συνεργασίες**

Πέραν των επενδύσεων στον στόλο, η ελληνική ναυτιλία συμμετέχει ενεργά σε διεθνείς πρωτοβουλίες έρευνας και καινοτομίας. Ελληνικές ναυτιλιακές εταιρείες, λιμένες και ναυτιλιακά οικοσυστήματα συμμετέχουν σε προγράμματα χρηματοδοτούμενα από την Ευρωπαϊκή Ένωση, όπως το Horizon Europe, με έμφαση στην πρόωση με υδρογόνο, τα εναλλακτικά καύσιμα, την ηλεκτροδότηση λιμένων και τη ψηφιακή βελτιστοποίηση. Η συνεργασία με νηογνώμονες και παρόχους τεχνολογίας διευκολύνει περαιτέρω τη μεταφορά τεχνογνωσίας και τον επιμερισμό κινδύνου.

Η συμμετοχή αυτή ενισχύει την ικανότητα απορρόφησης καινοτομίας (absorptive capacity) του ελληνικού ναυτιλιακού τομέα, επιτρέποντας την έγκαιρη έκθεση σε αναδυόμενες τεχνολογίες, ενώ ταυτόχρονα περιορίζει τους επενδυτικούς κινδύνους. Η βιβλιογραφία υπογραμμίζει τον καθοριστικό ρόλο αυτών των συνεργατικών δικτύων στην επιτάχυνση της διάχυσης βιώσιμων ναυτιλιακών τεχνολογιών.

#### **4.4 Λιμενικές Υποδομές και Εθνική Ετοιμότητα**

Η ετοιμότητα των λιμενικών υποδομών αποτελεί κρίσιμο παράγοντα διευκόλυνσης της απανθρακοποίησης της ναυτιλίας. Μεγάλοι ελληνικοί λιμένες, όπως ο Πειραιάς και η Ηγουμενίτσα, έχουν δρομολογήσει έργα που αφορούν την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από ξηράς (shore-side electricity), τον ανεφοδιασμό LNG και την προετοιμασία για εναλλακτικά καύσιμα. Οι εξελίξεις αυτές υποστηρίζουν τη συμμόρφωση με τις ευρωπαϊκές πολιτικές για

το κλίμα και ενισχύουν τη στρατηγική θέση της Ελλάδας στο πλαίσιο των αναδυόμενων ευρωπαϊκών «πράσινων διαδρόμων» ναυτιλίας.

Παρά ταύτα, η ανάπτυξη υποδομών παραμένει άνιση και η διαθεσιμότητα εναλλακτικών καυσίμων είναι περιορισμένη σε σύγκριση με λιμένες της Βόρειας Ευρώπης. Η αντιμετώπιση του χάσματος αυτού προϋποθέτει συντονισμένες δημόσιες και ιδιωτικές επενδύσεις, καθώς και μακροπρόθεσμο στρατηγικό σχεδιασμό σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο.

#### **4.5 Βασικές Προκλήσεις και Στρατηγικές Προοπτικές**

Παρά τη σημαντική πρόοδο που έχει σημειωθεί, οι Έλληνες πλοιοκτήτες εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν επίμονες προκλήσεις, όπως το υψηλό κεφαλαιουχικό κόστος των «πράσινων» πλοίων, η αβεβαιότητα σχετικά με τη μελλοντική διαθεσιμότητα και τιμολόγηση των καυσίμων, καθώς και η ανάγκη εξειδικευμένης εκπαίδευσης πληρωμάτων. Παράλληλα, η ταυτόχρονη έκθεση σε παγκόσμιους κανονισμούς του IMO και σε προηγμένες ευρωπαϊκές πολιτικές για το κλίμα αυξάνει την πολυπλοκότητα της συμμόρφωσης.

Η σχετική βιβλιογραφία υποστηρίζει ότι η στρατηγική αντίδραση της ελληνικής ναυτιλίας χαρακτηρίζεται από σταδιακή προσαρμογή και όχι από ριζικές τεχνολογικές μετατοπίσεις. Μέσω του συνδυασμού ευέλικτου σχεδιασμού στόλου, επιχειρησιακής βελτιστοποίησης και ενεργούς συμμετοχής σε δίκτυα καινοτομίας, οι Έλληνες πλοιοκτήτες τοποθετούνται στρατηγικά ώστε να διαχειριστούν τη μετάβαση προς τη ναυτιλία χαμηλών και μηδενικών εκπομπών, διατηρώντας παράλληλα τη μακροπρόθεσμη ανταγωνιστικότητά τους.

## **ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

Η ανάλυση του ρυθμιστικού πλαισίου, των τεχνολογικών επιλογών και των οικονομικών επιπτώσεων καταδεικνύει ότι η απανθρακοποίηση της ναυτιλίας δεν μπορεί να επιτευχθεί μέσω μιας μονοδιάστατης προσέγγισης. Αντίθετα, η βιβλιογραφία συγκλίνει στην ανάγκη υιοθέτησης μιας πολυπαραγοντικής στρατηγικής, η οποία συνδυάζει τεχνολογικές καινοτομίες, κανονιστική συμμόρφωση και επιχειρησιακή προσαρμογή.

Οι παγκόσμιοι κανονισμοί του IMO παρέχουν ένα ελάχιστο επίπεδο κανονιστικής συνοχής, ωστόσο οι περιφερειακές πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης επιταχύνουν τη μετάβαση μέσω οικονομικών κινήτρων και κυρώσεων. Η ταυτόχρονη εφαρμογή διαφορετικών καθεστώτων συμμόρφωσης δημιουργεί προκλήσεις, αλλά και ευκαιρίες για τους πλοιοκτήτες που μπορούν να κινηθούν έγκαιρα και στρατηγικά.

Σε τεχνολογικό επίπεδο, καμία λύση δεν εμφανίζεται ως καθολικά κυρίαρχη. Τα μεταβατικά καύσιμα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη βραχυπρόθεσμη συμμόρφωση, ενώ τα καύσιμα μηδενικών εκπομπών απαιτούν περαιτέρω τεχνολογική ωρίμανση και ανάπτυξη υποδομών. Υπό αυτό το πρίσμα, η προσέγγιση χαρτοφυλακίου αναδεικνύεται ως η πλέον ρεαλιστική στρατηγική για τη διαχείριση της αβεβαιότητας και τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας.

Για την ελληνική ναυτιλία, η έγκαιρη προσαρμογή και η επένδυση σε ευέλικτες λύσεις μπορούν να λειτουργήσουν ως ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Η ικανότητα συνδυασμού εμπειρίας, κλίμακας και στρατηγικού σχεδιασμού θα καθορίσει τον ρόλο της χώρας στη διαμορφούμενη ναυτιλία μηδενικών εκπομπών.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η απανθρακοποίηση της ναυτιλίας αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που έχει αντιμετωπίσει ποτέ ο κλάδος, καθώς συνδυάζει αυστηρότερους περιβαλλοντικούς στόχους, τεχνολογική αβεβαιότητα και σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις. Η ανάλυση του διεθνούς και ευρωπαϊκού ρυθμιστικού πλαισίου καταδεικνύει ότι η συμμόρφωση δεν αποτελεί πλέον μελλοντική απαίτηση, αλλά άμεση επιχειρησιακή και στρατηγική αναγκαιότητα.

Οι κανονισμοί του IMO, σε συνδυασμό με τις πιο φιλόδοξες πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης, διαμορφώνουν ένα πολυεπίπεδο καθεστώς συμμόρφωσης που επηρεάζει τόσο τον σχεδιασμό των πλοίων όσο και την καθημερινή τους λειτουργία. Η εισαγωγή δεικτών όπως ο EEXI και ο CII, καθώς και η τιμολόγηση του άνθρακα μέσω του EU ETS, μετατρέπουν την ενεργειακή απόδοση σε κρίσιμο παράγοντα ανταγωνιστικότητας.

Σε τεχνολογικό επίπεδο, η έλλειψη μίας μοναδικής, καθολικά αποδεκτής λύσης καθιστά αναγκαία την υιοθέτηση μιας προσέγγισης χαρτοφυλακίου. Ο συνδυασμός μεταβατικών καυσίμων, εναλλακτικών λύσεων μηδενικών εκπομπών και μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας επιτρέπει τη βραχυπρόθεσμη συμμόρφωση, ενώ ταυτόχρονα προετοιμάζει τον στόλο για τη μακροπρόθεσμη επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας.

Για την ελληνική ναυτιλία, οι προκλήσεις είναι σημαντικές, αλλά συνοδεύονται από ουσιαστικές ευκαιρίες. Η διεθνής εμπειρία, η κλίμακα του στόλου και η στρατηγική ευελιξία μπορούν να λειτουργήσουν ως καταλύτες για την επιτυχή προσαρμογή στο νέο περιβάλλον. Η έγκαιρη επένδυση σε ευέλικτες τεχνολογικές λύσεις και η ενεργή συμμετοχή στη διαμόρφωση πολιτικών αναμένεται να καθορίσουν τη θέση της ελληνικής ναυτιλίας στη μετάβαση προς ένα βιώσιμο και κλιματικά ουδέτερο μέλλον.

### Βιβλιογραφία-Αναφορές

- International Maritime Organization (IMO). (2018). *Initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships*. IMO, London.
- International Maritime Organization (IMO). (2023). *Revised IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships*. IMO, London.
- European Commission. (2021). *Fit for 55: Delivering the EU's 2030 climate target on the way to climate neutrality*. Brussels.
- European Commission. (2023). *FuelEU Maritime Regulation*. Official Journal of the European Union.
- DNV. (2023). *Maritime Forecast to 2050*. Det Norske Veritas.
- IEA. (2023). *The future of hydrogen*. International Energy Agency, Paris.
- Bouman, E. A., Lindstad, E., Riialand, A. I., & Strømman, A. H. (2017). State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping – A review. *Transportation Research Part D*, 52, 408–421.
- Smith, T. W. P., Jalkanen, J. P., Anderson, B. A., et al. (2015). *Third IMO GHG Study 2014*. International Maritime Organization.
- Brynnolf, S., Fridell, E., & Andersson, K. (2014). Environmental assessment of marine fuels: liquefied natural gas, liquefied biogas, methanol and bio-methanol. *Journal of Cleaner Production*, 74, 86–95.
- Ritchie, H., & Roser, M. (2020). CO<sub>2</sub> and greenhouse gas emissions. *Our World in Data*.