

*Δι-ιδρυματικό πρόγραμμα
Τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών
του ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
και
Τμήματος Ναυτικών Επιστημών
της ΣΧΟΛΗΣ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ*

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

Διπλωματική Εργασία

**ONSHORE POWER SUPPLY, ΓΙΑ
ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΟΠΛΟΙΑ ΣΕ ΝΗΣΙΩΤΙΚΟΥΣ
ΛΙΜΕΝΕΣ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΡΟΔΟΥ**

Πιτσόλης Φώτιος
AM25129

Επιβλέπουσα: Δρ. Αναστασία Χριστοδούλου
Επίκουρη Καθηγήτρια

Πειραιάς
Αύγουστος 2026

Δήλωση αυθεντικότητας και ζητήματα copyright

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

Ημερομηνία: _____

Υπογραφή: _____

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

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

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

1. Δρ. Αναστασία Χριστοδούλου, Επιβλέπουσα.
2. Δρ. Ιωάννης Λαγούδης, Μέλος.
3. Δρ. Πέτρος Σταυρουλάκης, Μέλος.

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

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας στηρίχθηκε στην καθοδήγηση, τη συνεργασία και τη συνδρομή ανθρώπων τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Αρχικά, ευχαριστώ θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, κα Αναστασία Χριστοδούλου, για την επιστημονική καθοδήγηση, την άμεση ανταπόκριση και τη διαθεσιμότητά της σε κάθε στάδιο εκπόνησης της εργασίας. Οι παρατηρήσεις, οι συμβουλές και η υποστήριξή της υπήρξαν σημαντικές για την εξέλιξη και την ολοκλήρωσή της.

Ευχαριστώ επίσης τα λοιπά μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής, τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Ιωάννη Λαγούδη, Διευθυντή του ΔΠΜΣ «Διοίκηση στη Ναυτική Επιστήμη και Τεχνολογία», και τον Δρ. Πέτρο Σταυρουλάκη, για τη συμμετοχή τους στην αξιολόγηση της παρούσας εργασίας. Ευχαριστώ ακόμη το σύνολο των διδασκόντων του Προγράμματος για τις γνώσεις και τα ερεθίσματα που μου προσέφεραν. Η σύνδεση της ακαδημαϊκής εκπαίδευσης με τη ναυτιλιακή αγορά, μέσα από σεμινάρια, διαλέξεις προσκεκλημένων επαγγελματιών και εκπαιδευτικές επισκέψεις, εμπλούτισε ουσιαστικά την εκπαιδευτική μου εμπειρία.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στην κα Παναγιώτα Πιτσούνη, Διευθύντρια Κλάδου Αγοράς της Διεύθυνσης Πελατών Δικτύου του ΔΕΔΔΗΕ, και στην κα Κλειώ Παπαϊωάννου, Αναπληρώτρια Τομεάρχη Εκκαθάρισης Εκπροσώπων Φορτίου ΜΔΝ της ίδιας Διεύθυνσης. Τις ευχαριστώ για την παροχή των αναγκαίων στοιχείων, τη συνεργασία και, κυρίως, τη σταθερή υποστήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Ευχαριστώ τους συναδέλφους της Διεύθυνσης Διαχείρισης Νησιών του ΔΕΔΔΗΕ και ειδικότερα τον κ. Ιωάννη Τσώνη, Προϊστάμενο Τομέα Προγραμματισμού Ανάπτυξης Παραγωγής, την κα Αργυρώ Μαγκανώτη, Διευθύντρια Κλάδου Ανάπτυξης Παραγωγής, και την κα Θεοδώρα Αναστοπούλου, για την άμεση ανταπόκριση, τη συνεργασία και τη διάθεση των στοιχείων που απαιτήθηκαν για την ενεργειακή ανάλυση της Ρόδου.

Ευχαριστώ ακόμη τον Δρ. Κωνσταντίνο Σ. Μαμμάση, Σύμβουλο Καινοτομίας στη Διεύθυνση Έρευνας και Καινοτομίας του ΔΕΔΔΗΕ, για την ανταπόκριση και τη συνδρομή του σε ζητήματα σχετικά με την ανάπτυξη του Onshore Power Supply στην Ελλάδα. Οι επιστημονικές δημοσιεύσεις στις οποίες με παρέπεμψε και οι πληροφορίες που μου παρείχε για τον σχεδιασμό υποδομών OPS στον λιμένα της Ρόδου αποτέλεσαν χρήσιμες πηγές τεκμηρίωσης για την εργασία.



Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την υπομονή, την κατανόηση και τη σταθερή υποστήριξή της. Η ολοκλήρωση ενός ακόμη μεταπτυχιακού προγράμματος απαίτησε χρόνο και προσωπική προσπάθεια, περιορίζοντας αναπόφευκτα τον χρόνο που μπορούσα να αφιερώσω στους ανθρώπους μου. Για την κατανόηση και τη στήριξή τους σε όλη αυτή την περίοδο, τους οφείλω ένα ξεχωριστό ευχαριστώ.

Πίνακας περιεχομένων

Δήλωση αυθεντικότητας και ζητήματα copyright.....	i
Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή	ii
Ευχαριστίες.....	iii
Πίνακας περιεχομένων	v
Κατάλογος πινάκων.....	viii
Κατάλογος σχημάτων.....	viii
Κατάλογος συντομογραφιών.....	ix
Ελληνική περίληψη	xi
Abstract.....	xii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Πλαίσιο και σκοπιμότητα.....	1
1.2 Σκοπός και ερευνητικά ερωτήματα	2
1.3 Μεθοδολογική προσέγγιση	3
1.4 Δομή της εργασίας.....	4
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ OPS.....	5
2.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ OPS.....	5
2.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΟΠΛΟΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΕΛΛΙΜΕΝΙΣΜΟ.....	9
2.3 ΟΦΕΛΗ, ΕΜΠΟΔΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ OPS	14
2.3.1 Περιβαλλοντικά οφέλη και όρια.....	14
2.3.2 Οικονομικά οφέλη και κατανομή του κόστους.....	16
2.3.3 Τεχνικά, λειτουργικά και οργανωτικά εμπόδια.....	17
2.3.4 Προϋποθέσεις εφαρμογής σε μη διασυνδεδεμένο νησιωτικό λιμένα	19
3. ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ, ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ PESTEL	21

3.1 ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΟ OPS	21
3.1.1 Από την ευρωπαϊκή πολιτική στις δεσμευτικές υποχρεώσεις.....	21
3.1.2 AFIR: υποχρεώσεις υποδομής στους θαλάσσιους λιμένες	22
3.1.3 FuelEU Maritime: υποχρέωση χρήσης από τα πλοία.....	23
3.1.4 Το TEN-T και η κανονιστική θέση της Ρόδου	25
3.1.5 Συμπληρωματικές ρυθμίσεις και τεχνική εφαρμογή	26
3.1.6 Συνέπειες για τη μελέτη περίπτωσης.....	26
3.2 ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ OPS.....	27
3.2.1 Κριτήρια επιλογής και όρια σύγκρισης	28
3.2.2 Ηγουμενίτσα: ελληνική εμπειρία υλοποίησης και ρόλος του Διαχειριστή	28
3.2.3 Dubrovnik: τουριστικός λιμένας και ανάγκη εκτεταμένης ενίσχυσης δικτύου .	30
3.2.4 California: δεσμευτική ρύθμιση, πραγματική χρήση και τοπικές αιχμές.....	31
3.2.5 Rotterdam: λειτουργικό OPS κρουαζιέρας και σταδιακή ανάπτυξη.....	32
3.2.6 Συμπληρωματικά παραδείγματα: Barcelona και Gothenburg.....	34
3.2.7 Συγκριτική σύνθεση και μεταφερσιμότητα στη Ρόδο	35
3.3 ΑΝΑΛΥΣΗ PESTEL ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ OPS ΣΤΗ ΡΟΔΟ.....	38
3.3.1 Πολιτικοί παράγοντες.....	38
3.3.2 Οικονομικοί παράγοντες	40
3.3.3 Κοινωνικοί παράγοντες	42
3.3.4 Τεχνολογικοί παράγοντες	43
3.3.5 Περιβαλλοντικοί παράγοντες	45
3.3.6 Νομικοί παράγοντες	46
3.3.7 Σύνθεση της ανάλυσης για τη Ρόδο	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	49
4.1 Ερευνητικός σχεδιασμός	49

4.2 Δεδομένα, πηγές και παραδοχές.....	52
4.3 Μέθοδοι επεξεργασίας δεδομένων και ερευνητική μεθοδολογία	57
4.3.1 Επιλογή μεθόδων εκτίμησης	57
4.3.2 Εκτίμηση της ζήτησης και του κόστους ενέργειας OPS	59
4.3.3 Εκτίμηση της μέγιστης απαιτούμενης ισχύος σύνδεσης	64
4.3.4 Συγκριτικά σημεία αναφοράς και περιορισμοί της ανάλυσης.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΤΟΥ ΛΙΜΕΝΑ ΤΗΣ ΡΟΔΟΥ	70
5.1 Χαρακτηριστικά του λιμένα και της κρουαζιέρας στη Ρόδο	70
5.2 Ενεργειακές απαιτήσεις, επίδραση στο φορτίο και κόστος OPS	74
5.3 Αξιολόγηση δυνατοτήτων εφαρμογής και ανάλυση SWOT	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	86
6.1 Συζήτηση των αποτελεσμάτων.....	86
6.2 Απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα	89
6.2.1 Απάντηση στο RQ1	89
6.2.2 Απάντηση στο RQ2	91
6.2.3 Απάντηση στο RQ3	93
6.2.4 Απάντηση στο RQ4	94
6.2.5 Απάντηση στο κύριο ερευνητικό ερώτημα	95
6.3 Συμπεράσματα, περιορισμοί και προτάσεις	96
6.3.1 Συμπεράσματα.....	96
6.3.2 Περιορισμοί της έρευνας	97
6.3.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	98
Βιβλιογραφία	100

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 3.1. Συγκριτική αποτύπωση των διεθνών περιπτώσεων OPS.....	36
Πίνακας 4.1. Αντιστοίχιση ερευνητικών ερωτημάτων, μεθοδολογικών προσεγγίσεων και κύριων δεδομένων	51
Πίνακας 4.2. Ομάδες δεδομένων, κύριες πηγές και ρόλος στην έρευνα.....	52
Πίνακας 5.1. Κατανομή μοναδικών πλοίων ανά κατηγορία ολικής χωρητικότητας	70
Πίνακας 5.2. Κατανομή προσεγγίσεων ανά κατηγορία διάρκειας παραμονής.....	72
Πίνακας 5.3. Μέγιστη εκτιμώμενη λειτουργική ζήτηση OPS.....	75
Πίνακας 5.4. Ετήσια αιχμή συστήματος έναντι μέγιστης συνδυασμένης ζήτησης σε ώρα λειτουργίας OPS	76
Πίνακας 5.5. Εκτιμώμενη ενέργεια, μηνιαία αποτίμηση και κόστος κάλυψης της ενέργειας OPS, 2025	78
Πίνακας 5.6. Σύνθεση του σεναρίου θεωρητικής μέγιστης συνδεδεμένης ισχύος, 5/8/2025, 09:00	80
Πίνακας 5.7. Τεχνικά στοιχεία αναφοράς του ΔΕΔΔΗΕ για την τροφοδότηση OPS.....	81
Πίνακας 5.8. Ανάλυση SWOT για την εφαρμογή OPS στον λιμένα της Ρόδου.....	83

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 5.1. Μηνιαία κατανομή των εξεταζόμενων προσεγγίσεων κρουαζιερόπλοιων, 2025	71
Σχήμα 5.2. Μηνιαία ενέργεια OPS, 2025	74
Σχήμα 5.3. Μηνιαία μέγιστη ζήτηση του Ηλεκτρικού Συστήματος Ρόδου με και χωρίς OPS, 2025	77
Σχήμα 5.4. Μηνιαίο εκτιμώμενο κόστος κάλυψης της ενέργειας OPS, 2025.....	79

Κατάλογος συντομογραφιών

Συντομογραφία	Πλήρης ονομασία και απόδοση
ΑΔΜΗΕ	Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΔΕΔΔΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΜΔΝ	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
AFIR	Alternative Fuels Infrastructure Regulation, Κανονισμός για την ανάπτυξη υποδομών εναλλακτικών καυσίμων
ATA	Actual Time of Arrival, πραγματική ώρα άφιξης
ATD	Actual Time of Departure, πραγματική ώρα αναχώρησης
CMS	Cable Management System, σύστημα διαχείρισης καλωδίων
EMSA	European Maritime Safety Agency, Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Ασφάλεια στη Θάλασσα
FuelEU Maritime	Κανονισμός για τη χρήση ανανεώσιμων καυσίμων και καυσίμων χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών στις θαλάσσιες μεταφορές
GT	Gross Tonnage, ολική χωρητικότητα
HVSC	High Voltage Shore Connection, σύνδεση ξηράς υψηλής τάσης
IEC	International Electrotechnical Commission, Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών
LVSC	Low Voltage Shore Connection, σύνδεση ξηράς χαμηλής τάσης
OPS	Onshore Power Supply, ηλεκτροδότηση πλοίων από ξηρά

Συντομογραφία

Πλήρης ονομασία και απόδοση

PESTEL	Political, Economic, Social, Technological, Environmental and Legal, πολιτικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί, τεχνολογικοί, περιβαλλοντικοί και νομικοί παράγοντες
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats, δυνατά σημεία, αδυναμίες, ευκαιρίες και απειλές
TEN-T	Trans-European Transport Network, Διευρωπαϊκό Δίκτυο Μεταφορών

Ελληνική περίληψη

Η εργασία διερευνά τους όρους και τις προϋποθέσεις εφαρμογής της ηλεκτροδότησης κρουαζιερόπλοιων από ξηρά (Onshore Power Supply, OPS) σε μη διασυνδεδεμένο νησιωτικό λιμένα, με μελέτη περίπτωσης τον λιμένα της Ρόδου και εξεταζόμενη περίοδο το 2025. Εφαρμόζει μικτή μεθοδολογική προσέγγιση, η οποία συνδυάζει βιβλιογραφική ανασκόπηση, εξέταση του κανονιστικού πλαισίου και ανάλυση PESTEL με επεξεργασία πραγματικών δεδομένων λιμενικής δραστηριότητας και ωριαίων δεδομένων φορτίου του τοπικού ηλεκτρικού συστήματος. Οι 386 δυνητικά επιλέξιμες προσεγγίσεις διαμορφώνουν καταγεγραμμένη βάση δυνητικής χρήσης και όχι πραγματικό συντελεστή αξιοποίησης. Η ποσοτική ανάλυση εκτίμησε την ετήσια ενεργειακή απαίτηση OPS σε 6.946,53 MWh και τη μέγιστη εκτιμώμενη λειτουργική ζήτηση σε 9,212 MW. Η θεωρητική μέγιστη συνδεδεμένη ισχύς των 29,734 MW αποτελεί δυσμενές σενάριο τεχνικού σχεδιασμού και όχι πραγματική λειτουργική αιχμή. Το κόστος κάλυψης της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας OPS εκτιμήθηκε σε 2.077.306 €. Η χρονική αντιπαραβολή με το φορτίο του συστήματος δεν αποδεικνύει επάρκεια ή δυνατότητα σύνδεσης. Τα αποτελέσματα υποστηρίζουν την περαιτέρω διερεύνηση του OPS στη Ρόδο υπό τεχνικές, λειτουργικές, οικονομικές και θεσμικές προϋποθέσεις. Η εργασία δεν περιλαμβάνει ειδική μελέτη σύνδεσης, πλήρη οικονομική αξιολόγηση ή ισοζύγιο εκπομπών και, συνεπώς, δεν προσδιορίζει συνολικό οικονομικό ή καθαρό περιβαλλοντικό αποτέλεσμα.

Λέξεις-κλειδιά: Ηλεκτροδότηση πλοίων από ξηρά, νησιωτικοί λιμένες, λιμένας της Ρόδου, ενεργειακή ανάλυση, κόστος ηλεκτρικής ενέργειας

Abstract

This study examines the conditions for applying Onshore Power Supply (OPS) to cruise ships at a non-interconnected island port, using the Port of Rhodes as a case study for 2025. It adopts a mixed-methods approach, combining a literature review, regulatory analysis, and PESTEL analysis with actual port activity data and hourly load data from the local power system. The 386 potentially eligible calls constitute a documented basis for potential use, rather than an actual utilisation rate. The estimated annual OPS energy requirement was 6,946.53 MWh, while the maximum estimated operational demand reached 9.212 MW. The theoretical maximum connected power of 29.734 MW represents an adverse technical planning scenario rather than an actual operational peak. The estimated cost of covering the required OPS electricity amounted to €2,077,306. The temporal comparison with system load does not demonstrate system adequacy or the ability to connect a specific OPS installation. The findings support further investigation of OPS in Rhodes under technical, operational, economic, and institutional conditions. The study does not include a site-specific connection study, a full economic assessment, or an emissions balance and therefore does not determine an overall economic outcome or a net environmental effect.

Keywords: Onshore Power Supply, island ports, Port of Rhodes, energy analysis, electricity cost

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ

Η απανθρακοποίηση της ναυτιλίας αποτελεί βασική κατεύθυνση της διεθνούς και ευρωπαϊκής πολιτικής για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και των ατμοσφαιρικών ρύπων. Η μετάβαση αυτή αφορά τόσο την πλεύση όσο και την παραμονή των πλοίων στους λιμένες (European Maritime Safety Agency and European Environment Agency, 2025). Κατά τον ελλιμενισμό, τα πλοία εξακολουθούν να χρειάζονται ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία των βοηθητικών συστημάτων και των υπηρεσιών τους. Στα κρουαζιερόπλοια, οι ανάγκες αυτές παραμένουν σημαντικές λόγω του μεγέθους τους και της συνεχούς λειτουργίας των εγκαταστάσεων εξυπηρέτησης επιβατών (Brækken et al., 2023).

Η ηλεκτροδότηση πλοίων από ξηρά, Onshore Power Supply, OPS, επιτρέπει στα ελλιμενισμένα πλοία να καλύπτουν τα ηλεκτρικά τους φορτία από το χερσαίο ηλεκτρικό σύστημα αντί να λειτουργούν τις βοηθητικές γεννήτριές τους. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να περιοριστεί η λειτουργία μηχανών εντός της λιμενικής ζώνης και, κατά συνέπεια, οι τοπικές εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων και ο θόρυβος. Η εφαρμογή του OPS απαιτεί, ωστόσο, συμβατότητα μεταξύ της λιμενικής υποδομής, του ηλεκτρικού συστήματος και του εξοπλισμού των πλοίων, καθώς και επαρκή συντονισμό μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων (Abu Bakar et al., 2023; European Maritime Safety Agency, 2022a, 2022b).

Η εφαρμογή της τεχνολογίας αποκτά ιδιαίτερη διάσταση στους νησιωτικούς λιμένες των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών (ΜΔΝ) που τροφοδοτούνται από Θερμικούς Σταθμούς Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η πρόσθετη ζήτηση των πλοίων πρέπει να καλυφθεί από ένα τοπικό σύστημα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά παραγωγής, φορτίου και δικτύου. Η ενεργειακή ζήτηση του OPS δεν μπορεί, επομένως, να εξεταστεί ανεξάρτητα από τη χρονική λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος, το παραγωγικό του μείγμα, τις τεχνικές απαιτήσεις σύνδεσης και το κόστος κάλυψης της απαιτούμενης ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ, 2024).

Παράλληλα, η ανάπτυξη υποδομών OPS επηρεάζεται από το ευρωπαϊκό κανονιστικό πλαίσιο, τις διαθέσιμες πηγές χρηματοδότησης, τις αρμοδιότητες των εμπλεκόμενων

φορέων και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά κάθε λιμένα (European Parliament and Council, 2023a, 2023b, 2024). Η συνύπαρξη αυτών των παραμέτρων καθιστά αναγκαία μια προσέγγιση που συνδέει τη λιμενική δραστηριότητα με το τοπικό ενεργειακό περιβάλλον και τις θεσμικές συνθήκες εφαρμογής. Στο πλαίσιο αυτό εντάσσεται η εξέταση του OPS στον λιμένα της Ρόδου.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ

Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση των όρων και των προϋποθέσεων εφαρμογής της ηλεκτροδότησης κρουαζιερόπλοιων από ξηρά σε έναν μη διασυνδεδεμένο νησιωτικό λιμένα, με μελέτη περίπτωσης τον λιμένα της Ρόδου. Η έρευνα εξετάζει συνδυαστικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας, το κανονιστικό και ευρύτερο μακροπεριβάλλον, τη λιμενική δραστηριότητα, τις ενεργειακές απαιτήσεις των πλοίων, τη χρονική σχέση τους με τη λειτουργία του τοπικού ηλεκτρικού συστήματος, τις τεχνικές προϋποθέσεις σύνδεσης και το κόστος κάλυψης της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας OPS. Η οικονομική διάσταση της έρευνας περιορίζεται στο συγκεκριμένο κόστος ενέργειας και δεν περιλαμβάνει το συνολικό επενδυτικό και λειτουργικό κόστος μιας εγκατάστασης ούτε τον προσδιορισμό τελικού τιμολογίου OPS.

Το κύριο ερευνητικό ερώτημα διατυπώνεται ως εξής:

«Πώς και με ποιες προϋποθέσεις μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνολογία ηλεκτροδότησης κρουαζιερόπλοιων από ξηρά (Onshore Power Supply, OPS) σε έναν μη διασυνδεδεμένο νησιωτικό λιμένα, με μελέτη περίπτωσης τον λιμένα της Ρόδου;»

Για την εξέταση του κύριου ερευνητικού ερωτήματος διατυπώνονται τέσσερα επιμέρους ερευνητικά ερωτήματα:

RQ1, Ποιοτικά χαρακτηριστικά: Ποια είναι τα κύρια περιβαλλοντικά, οικονομικά, τεχνικά και λειτουργικά οφέλη και ποια τα εμπόδια από την εφαρμογή του OPS σε έναν μη διασυνδεδεμένο νησιωτικό λιμένα;

RQ2, Μακροπεριβάλλον, PESTEL: Ποιοι πολιτικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί, τεχνολογικοί, περιβαλλοντικοί και νομικοί παράγοντες επηρεάζουν την υιοθέτηση της τεχνολογίας OPS στην Ευρώπη και την Ελλάδα;

RQ3, Ενεργειακές Απαιτήσεις και Δίκτυο: Ποιες ενεργειακές απαιτήσεις δημιουργεί η εφαρμογή OPS για την εξυπηρέτηση των κρουαζιερόπλοιων στον λιμένα της Ρόδου και πώς αυτές συσχετίζονται με τη δυναμικότητα και τους περιορισμούς του τοπικού ηλεκτρικού συστήματος;

RQ4, Τεχνικές Προϋποθέσεις και Εκτιμώμενο Κόστος Ενέργειας, Case Study: Ποιες τεχνικές και ενεργειακές προϋποθέσεις πρέπει να ικανοποιηθούν για την εφαρμογή του OPS στον λιμένα της Ρόδου και ποιο είναι το εκτιμώμενο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας της λειτουργίας του;

Η Ρόδος επιλέχθηκε ως μελέτη περίπτωσης επειδή συνδυάζει τρία χαρακτηριστικά που συνδέονται άμεσα με τον σκοπό της έρευνας. Αποτελεί νησιωτικό προορισμό, το ηλεκτρικό της σύστημα λειτουργούσε ως μη διασυνδεδεμένο κατά την εξεταζόμενη περίοδο και ο λιμένας της παρουσίαζε σημαντική δραστηριότητα κρουαζιέρας. Ο συνδυασμός αυτών των χαρακτηριστικών επιτρέπει την εξέταση της σχέσης μεταξύ λιμενικής ζήτησης OPS και τοπικού ηλεκτρικού συστήματος σε μια συγκεκριμένη νησιωτική περίπτωση, χωρίς να προϋποθέτει ότι τα ευρήματα μπορούν να γενικευθούν αυτομάτως σε άλλους λιμένες.

1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Η εργασία ακολουθεί συνδυασμένη ποιοτική και ποσοτική προσέγγιση και οργανώνεται ως ενιαία μελέτη περίπτωσης του λιμένα της Ρόδου. Η επιλογή αυτή επιτρέπει την από κοινού εξέταση παραγόντων που αφορούν το θεσμικό πλαίσιο, τη λειτουργία του λιμένα, τα χαρακτηριστικά της κρουαζιέρας, τις ενεργειακές απαιτήσεις των πλοίων και τη λειτουργία του τοπικού ηλεκτρικού συστήματος.

Η ποιοτική ανάλυση περιλαμβάνει βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας OPS, εξέταση του ευρωπαϊκού κανονιστικού πλαισίου και της διεθνούς εμπειρίας, καθώς και ανάλυση του μακροπεριβάλλοντος μέσω του πλαισίου PESTEL. Η ποσοτική ανάλυση αξιοποιεί δεδομένα λιμενικής δραστηριότητας και λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος της Ρόδου για την εκτίμηση της ενεργειακής ζήτησης OPS, των απαιτήσεων ισχύος, της χρονικής σχέσης της πρόσθετης ζήτησης με το φορτίο του συστήματος και του κόστους κάλυψης της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ποιοτικά και ποσοτικά ευρήματα συντίθενται στη μελέτη περίπτωσης και στην ανάλυση SWOT, με στόχο την οργανωμένη αξιολόγηση των παραγόντων που επηρεάζουν την εφαρμογή του OPS, χωρίς η ανάλυση να

υποκαθιστά ειδική μελέτη ηλεκτρικής σύνδεσης ή πλήρη οικονομική αποτίμηση μιας επένδυσης.

1.4 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εργασία οργανώνεται σε έξι κεφάλαια.

Το Κεφάλαιο 2, «Βιβλιογραφική Ανασκόπηση της Τεχνολογίας OPS», παρουσιάζει τη λειτουργία και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του OPS, τις ενεργειακές απαιτήσεις των κρουαζιερόπλοιων κατά τον ελλιμενισμό και τα οφέλη, τα εμπόδια και τις προϋποθέσεις εφαρμογής της τεχνολογίας, με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία.

Το Κεφάλαιο 3, «Κανονιστικό Πλαίσιο, Διεθνής Εμπειρία και Ανάλυση PESTEL», εξετάζει το ευρωπαϊκό κανονιστικό πλαίσιο για το OPS, τη διεθνή εμπειρία εφαρμογής σε άλλους λιμένες και το μακροπεριβάλλον υιοθέτησης της τεχνολογίας στην Ευρώπη και την Ελλάδα μέσω ανάλυσης PESTEL.

Το Κεφάλαιο 4, «Μεθοδολογία», παρουσιάζει τον ερευνητικό σχεδιασμό, τα δεδομένα και τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και τις μεθόδους επεξεργασίας για την εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων, των απαιτήσεων ισχύος και του κόστους ενέργειας του OPS.

Το Κεφάλαιο 5, «Μελέτη Περίπτωσης του Λιμένα της Ρόδου», παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά της κρουαζιερόπλοιας δραστηριότητας του λιμένα, την εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων και του κόστους κάλυψης της απαιτούμενης ενέργειας OPS, καθώς και την αξιολόγηση των δυνατοτήτων εφαρμογής μέσω ανάλυσης SWOT.

Το Κεφάλαιο 6, «Συζήτηση και Συμπεράσματα», συζητά και ερμηνεύει τα αποτελέσματα, απαντά στα ερευνητικά ερωτήματα και παρουσιάζει τα συμπεράσματα, τους περιορισμούς της έρευνας και τις προτάσεις για μελλοντική διερεύνηση.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ OPS

Το κεφάλαιο εξετάζει διαδοχικά τη λειτουργία και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του OPS, τις ενεργειακές απαιτήσεις των κρουαζιερόπλοιων κατά τον ελλιμενισμό και τις προϋποθέσεις υπό τις οποίες η εφαρμογή μπορεί να δημιουργήσει περιβαλλοντικό και οικονομικό όφελος. Η διάρθρωση αυτή συνδέει τον τεχνικό σχεδιασμό με τη ζήτηση που πρέπει να εξυπηρετήσει και, στη συνέχεια, με τους περιορισμούς ενός μη διασυνδεδεμένου νησιωτικού συστήματος. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση δεν προδικάζει τη σκοπιμότητα του έργου στη Ρόδο. Προσδιορίζει τις μεταβλητές και τις σχέσεις που θα ελεγχθούν στη μελέτη περίπτωσης.

2.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ OPS

Η ηλεκτροδότηση πλοίων από ξηρά, Onshore Power Supply, OPS, επιτρέπει σε ένα ελλιμενισμένο πλοίο να καλύπτει τα ηλεκτρικά του φορτία από το χερσαίο δίκτυο αντί να λειτουργεί τις βοηθητικές γεννήτριές του. Στη βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται επίσης οι όροι shore-side electricity, shore-to-ship power, cold ironing και Alternative Maritime Power για την ίδια βασική λειτουργία (Abu Bakar et al., 2023). Η σύνδεση απαιτεί κοινά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μεταξύ λιμένα και πλοίου, ασφαλείς διατάξεις προστασίας και ελεγχόμενη μεταφορά του φορτίου. Επομένως, το OPS δεν είναι ένας απλός ρευματοδότης στην προβλήτα. Αποτελεί σύστημα που συνδέει το ηλεκτρικό δίκτυο, τη λιμενική εγκατάσταση και το ηλεκτρικό σύστημα του πλοίου (IEC and IEEE, 2023).

Το σύστημα περιλαμβάνει τρία μέρη. Η εγκατάσταση της ξηράς λαμβάνει ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο και την προσαρμόζει στις απαιτήσεις του πλοίου. Η διεπαφή σύνδεσης περιλαμβάνει τα καλώδια, τα βύσματα, τη γείωση και τον μηχανισμό χειρισμού των καλωδίων. Η εγκατάσταση του πλοίου παραλαμβάνει την παροχή και τη μεταφέρει με ασφάλεια στον κύριο ηλεκτρικό πίνακα. Μετασχηματιστές, μετατροπείς συχνότητας και διακόπτες χρησιμοποιούνται όπου χρειάζεται για να συμφωνούν η τάση, η συχνότητα και οι απαιτήσεις προστασίας. Η τεχνική δυνατότητα εφαρμογής εξαρτάται, συνεπώς, από το δίκτυο, την προβλήτα και τον εξοπλισμό κάθε πλοίου (Abu Bakar et al., 2023; Abdel Kader et al., 2025; IEC and IEEE, 2023).

Η σύνδεση αρχίζει μετά την πρόσδεση του πλοίου. Το πλήρωμα και ο χειριστής του OPS ελέγχουν την τάση, τη συχνότητα, την ακολουθία φάσεων, τη γείωση και τις προστασίες. Έπειτα συνδέουν τα καλώδια και ενεργοποιούν τις αλληλομανδάλωσεις πριν από την

ηλέκτρισή τους. Ο συγχρονισμός και το κλείσιμο των διακοπών επιτρέπουν τη σταδιακή μεταφορά του φορτίου στην ξηρά. Μετά τη σταθεροποίηση της παροχής, το πλοίο διακόπτει τις βοηθητικές γεννήτριες που κάλυπταν τα ηλεκτρικά φορτία. Η αποσύνδεση ακολουθεί την αντίστροφη ακολουθία, ώστε τα καλώδια να απομονώνονται πριν από την αποσύνδεση (IEC and IEEE, 2023).

Οι εγκαταστάσεις OPS διακρίνονται σε συνδέσεις χαμηλής τάσης, Low Voltage Shore Connection, LVSC, και υψηλής τάσης, High Voltage Shore Connection, HVSC. Η βιβλιογραφία καταγράφει εφαρμογές LVSC στα 380 έως 690 V και HVSC στα 6,6 ή 11 kV (Abu Bakar et al., 2023). Όσο μειώνεται η τάση για την ίδια απαιτούμενη ισχύ, αυξάνεται το ηλεκτρικό ρεύμα και χρειάζονται περισσότερα ή βαρύτερα καλώδια. Η υψηλή τάση επιτρέπει τη μεταφορά μεγάλης ισχύος με μικρότερο ρεύμα. Για αυτό το IEC/IEEE 80005-1 εντάσσει τα κρουαζιερόπλοια στις εφαρμογές HVSC (IEC and IEEE, 2023). Η επιλογή της τάσης δεν προκύπτει μόνο από το μέγεθος του πλοίου. Εξαρτάται από την απαιτούμενη ισχύ, τα χαρακτηριστικά του στόλου, τις θέσεις ελλιμενισμού και τον εξοπλισμό των πλοίων.

Οι μετασχηματιστές προσαρμόζουν την τάση του δικτύου στην τάση σύνδεσης του πλοίου. Η αρχιτεκτονική μπορεί να τοποθετεί τον εξοπλισμό στην ξηρά, στο πλοίο ή και στις δύο πλευρές. Ο σχεδιασμός λαμβάνει υπόψη την ονομαστική ισχύ, τις απώλειες, τα ρεύματα βραχυκύκλωσης και τα μεταβατικά ρεύματα κατά τη ζεύξη. Επομένως, η διαστασιολόγηση δεν μπορεί να βασίζεται μόνο στη μέση ζήτηση ή στην ετήσια κατανάλωση (Abu Bakar et al., 2023; IEC and IEEE, 2023).

Η συχνότητα αποτελεί δεύτερο βασικό πεδίο συμβατότητας. Τα χερσαία ευρωπαϊκά δίκτυα λειτουργούν στα 50 Hz, ενώ μεγάλο μέρος του διεθνούς στόλου χρησιμοποιεί ηλεκτρικά συστήματα 60 Hz. Όταν η συχνότητα του πλοίου διαφέρει από εκείνη του δικτύου, η εγκατάσταση χρειάζεται ηλεκτρονικό μετατροπέα συχνότητας. Ο μετατροπέας μετασχηματίζει την παροχή ώστε το πλοίο να λαμβάνει 50 ή 60 Hz, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του. Μια κεντρική αρχιτεκτονική μπορεί να εξυπηρετεί περισσότερες θέσεις από κοινό μετατροπέα, αλλά δημιουργεί κοινό σημείο αστοχίας. Μια κατανεμημένη αρχιτεκτονική τοποθετεί ανεξάρτητο μετατροπέα σε κάθε θέση, αυξάνοντας τη διαθεσιμότητα και την ευελιξία, αλλά και το επενδυτικό κόστος (Abu Bakar et al., 2023). Η

τελική επιλογή εξαρτάται από τον αριθμό των θέσεων, το προφίλ του στόλου, την απαιτούμενη εφεδρεία και την αποδεκτή συνέπεια μιας αστοχίας.

Για τη Ρόδο, η ασυμβατότητα συχνότητας έχει ήδη επισημανθεί σε τεχνική ενημέρωση του ΔΕΔΔΗΕ: το δίκτυο διανομής λειτουργεί στα 50 Hz, ενώ για τα κρουαζιερόπλοια που εξετάζονται ως φορτία OPS λαμβάνεται συχνότητα 60 Hz (Ε. Λεωνιδάκη, προσωπική επικοινωνία, 3 Αυγούστου 2026). Επομένως, ο σχεδιασμός πρέπει να περιλάβει μετατροπέα συχνότητας για τις συνδέσεις αυτές. Απευθείας σύνδεση χωρίς μετατροπή θα ήταν δυνατή μόνο αν συγκεκριμένο πλοίο διαθέτει συμβατή λειτουργία στα 50 Hz, στοιχείο που πρέπει να επιβεβαιώνεται ανά πλοίο.

Η σύνδεση ενός μεγάλου κρουαζιερόπλοιου προσθέτει στο δίκτυο ένα υψηλό φορτίο μέσα σε σύντομο χρόνο. Η μεταβολή αυτή μπορεί να επηρεάσει την τάση, τη συχνότητα και την ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος. Οι μετατροπείς συχνότητας μπορούν επίσης να προκαλέσουν αρμονικές, δηλαδή παραμορφώσεις της ηλεκτρικής κυματομορφής, αν ο σχεδιασμός δεν προβλέπει κατάλληλα φίλτρα και προστασίες. Οι Lyridis et al. (2023) συνδέουν την ηλεκτροδότηση μεγάλων λιμενικών φορτίων με την ανάγκη ελέγχου της τάσης, της συχνότητας, των αρμονικών και των μεταβατικών φαινομένων. Οι σχετικές μελέτες ελέγχουν αν το δίκτυο και οι προστασίες μπορούν να υποστηρίξουν με ασφάλεια τη σύνδεση. Σε ένα μη διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό σύστημα, ο έλεγχος πρέπει να χρησιμοποιεί πραγματικά στοιχεία φορτίου, παραγωγής και λειτουργικών εφεδρειών. Η τεχνική δυνατότητα κρίνεται από τα πραγματικά όρια λειτουργίας του συστήματος.

Το σύστημα προστασίας και ελέγχου συντονίζει εξοπλισμό ξηράς και πλοίου. Οι βασικές λειτουργίες περιλαμβάνουν την ανίχνευση σφαλμάτων, την απόζευξη, την επιτήρηση γείωσης, τον έλεγχο διακοπών και τη διακοπή έκτακτης ανάγκης. Η ανταλλαγή σημάτων κατάστασης και οι αλληλομανδαλώσεις αποτρέπουν λανθασμένες ενέργειες κατά τη σύνδεση. Ο μετρητικός εξοπλισμός καταγράφει την ισχύ, την ενέργεια και αναγκαία στοιχεία λειτουργικής εποπτείας και τιμολόγησης (IEC and IEEE, 2023). Η κεντρική παρακολούθηση μπορεί να υποστηρίξει τη διαχείριση περισσότερων θέσεων OPS, δεν υποκαθιστά όμως τις ηλεκτρικές προστασίες.

Το σύστημα διαχείρισης καλωδίων, Cable Management System, CMS, μεταφέρει και στηρίζει τα καλώδια μεταξύ προβλήτας και πλοίου. Η διάταξή του πρέπει να ακολουθεί τις

κινήσεις του πλοίου και να περιορίζει τις μηχανικές καταπονήσεις. Για τον λόγο αυτό, ο σχεδιασμός λαμβάνει υπόψη τη γεωμετρία της προβλήτας, τις μεταβολές του ύψους και τη θέση της υποδοχής στο πλοίο (Abu Bakar et al., 2023; IEC and IEEE, 2023). Η θέση αυτή διαφέρει μεταξύ πλοίων και μπορεί να περιορίσει την εξυπηρέτηση από μία σταθερή εγκατάσταση. Η ανάλυση στόλου πρέπει, επομένως, να καταγράφει και τη φυσική θέση της διεπαφής.

Στην πλευρά του πλοίου, το OPS απαιτεί πίνακα υποδοχής, διακόπτες, προστασίες, σύστημα ελέγχου και καλωδίωση προς τον κύριο πίνακα (IEC and IEEE, 2023). Τα πλοία που δεν διαθέτουν συμβατή εγκατάσταση χρειάζονται μετασκευή. Η έκτασή της εξαρτάται από την τάση διανομής, τον διαθέσιμο χώρο, τη θέση της υποδοχής και τη δομή του ηλεκτρικού συστήματος. Η εγκατάσταση της προβλήτας δεν αρκεί από μόνη της. Απαιτούνται επίσης συμβατό πλοίο, κατάλληλη θέση ελλιμενισμού και συμφωνημένη διαδικασία σύνδεσης. Η SSE-ID Card των Prousalidis et al. (2023) οργανώνει τα χαρακτηριστικά συμβατότητας ανά πλοίο και υποστηρίζει τον προγραμματισμό πριν από την άφιξη.

Η σειρά IEC/IEEE 80005 καθορίζει τους κοινούς τεχνικούς κανόνες που επιτρέπουν σε πλοία και λιμένες διαφορετικών κατασκευαστών να συνδέονται με ασφάλεια. Το IEC/IEEE 80005-1:2019, μαζί με τις τροποποιήσεις του 2022 και 2023, καλύπτει τις συνδέσεις υψηλής τάσης. Περιγράφει τις απαιτήσεις για τον εξοπλισμό της ξηράς, τη διεπαφή με το πλοίο, τις προστασίες και τον έλεγχο της σύνδεσης (IEC and IEEE, 2023). Το IEC/IEEE 80005-2:2016 αφορά την ανταλλαγή δεδομένων παρακολούθησης και ελέγχου (IEC and IEEE, 2016). Το IEC/IEEE 80005-3:2025 καθορίζει τις γενικές απαιτήσεις για συνδέσεις χαμηλής τάσης από 400 έως 1.000 V AC, με ισχύ έως 1 MVA (IEC and IEEE, 2025). Τα IEC 62613-1:2019 και IEC 62613-2:2016 ρυθμίζουν τη συμβατότητα των βυσμάτων και των συζευκτών υψηλής τάσης (IEC, 2016; IEC, 2019). Τα πρότυπα εξασφαλίζουν κοινές απαιτήσεις. Η ικανότητα κάθε προβλήτας και δικτύου να εξυπηρετήσει το απαιτούμενο φορτίο χρειάζεται χωριστό τεχνικό έλεγχο.

Για τα κρουαζιερόπλοια, η τεχνική απαίτηση διαφοροποιείται κυρίως λόγω του μεγέθους και της σύνθεσης των φορτίων κατά τον ελλιμενισμό. Η πρόωση παύει, αλλά παραμένουν ενεργά συστήματα κλιματισμού και αερισμού, φωτισμός, μαγειρεία, ψύξη, άντληση, επεξεργασία νερού, ανελκυστήρες, χώροι ενδιαίτησης, ψυχαγωγίας και εξυπηρέτησης

επιβατών. Η ζήτηση δεν είναι σταθερή ούτε εξαρτάται από μία μόνο μεταβλητή, όπως η ολική χωρητικότητα. Επηρεάζεται από το μέγεθος και τον σχεδιασμό του πλοίου, τον αριθμό επιβατών, τις καιρικές συνθήκες, το πρόγραμμα λειτουργίας και τη διάρκεια παραμονής. Η βιβλιογραφία καταγράφει ευρύ εύρος ισχύος και διαφορετικές μεθόδους εκτίμησης, ζήτημα που εξετάζεται αναλυτικά στην ενότητα 2.2 (Espinosa et al., 2016; Brækken et al., 2023). Σε επίπεδο τεχνικού σχεδιασμού, η μεταβλητότητα αυτή απαιτεί διαστασιολόγηση με βάση ρεαλιστικά σενάρια ταυτόχρονης ζήτησης και όχι μόνο ονομαστικές ή μέσες τιμές.

Συνολικά, η εφαρμογή OPS προϋποθέτει ταυτόχρονη τεχνική συμβατότητα σε τέσσερα επίπεδα: επάρκεια του ηλεκτρικού συστήματος ξηράς, κατάλληλη υποδομή στη θέση ελλιμενισμού, συμβατή εγκατάσταση στο πλοίο και ασφαλή λειτουργική διαδικασία. Η επιλογή τάσης, συχνότητας, μετασχηματιστών, μετατροπών, CMS και προστασιών πρέπει να βασίζεται στον αναμενόμενο στόλο και στις πραγματικές συνθήκες του δικτύου. Για τη Ρόδο, ο μη διασυνδεδεμένος χαρακτήρας του συστήματος καθιστά αναγκαίο τον ειδικό έλεγχο της δυνατότητας σύνδεσης. Καθορίζει, όμως, την ανάγκη να εξεταστούν η διαθέσιμη ισχύς, οι λειτουργικές εφεδρείες, οι εποχικές αιχμές, η ποιότητα ισχύος και η απόκριση του συστήματος σε ένα νέο συγκεντρωμένο φορτίο. Οι παράμετροι αυτές συνδέουν την τεχνική περιγραφή του OPS με την εκτίμηση ενεργειακών απαιτήσεων της ενότητας 2.2 και με την ανάλυση του τοπικού ηλεκτρικού συστήματος στη μελέτη περίπτωσης.

2.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΟΠΛΟΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΕΛΛΙΜΕΝΙΣΜΟ

Κατά τον ελλιμενισμό, το κρουαζιερόπλοιο διακόπτει την πρόωση, αλλά συνεχίζει να λειτουργεί ως χώρος διαμονής και παροχής υπηρεσιών. Η ηλεκτρική ζήτηση περιλαμβάνει τον κλιματισμό και τον αερισμό, τον φωτισμό, τα μαγειρεία, τον εξοπλισμό καμπινών και κοινόχρηστων χώρων, τις αντλίες και άλλα βοηθητικά συστήματα. Η βιβλιογραφία χρησιμοποιεί τον όρο hotel load για αυτό το σύνολο φορτίων, χωρίς να εφαρμόζει πάντοτε το ίδιο ακριβώς όριο μεταξύ ηλεκτρικής και θερμικής κατανάλωσης (Brækken et al., 2023). Για την ανάλυση OPS χρειάζεται, επομένως, να οριστεί ποια φορτία θα καλύπτει η παροχή της ξηράς. Η ονομαστική ισχύς της σύνδεσης δεν ταυτίζεται αυτομάτως με την πραγματική ισχύ που θα απορροφά το πλοίο σε όλη τη διάρκεια της παραμονής του.

Η ενεργειακή απαίτηση περιγράφεται με δύο διαφορετικά μεγέθη. Η ισχύς, σε MW, δείχνει πόσο ηλεκτρικό φορτίο ζητά το πλοίο σε μια συγκεκριμένη στιγμή. Η μέγιστη τιμή της καθορίζει πόσο ισχυρή πρέπει να είναι η σύνδεση και αν το δίκτυο μπορεί να την υποστηρίξει. Η ενέργεια, σε MWh, δείχνει τη συνολική κατανάλωση κατά τη διάρκεια της παραμονής και επηρεάζει άμεσα το κόστος λειτουργίας. Αν θεωρηθεί σταθερό φορτίο, υπολογίζεται από τη σχέση $Q = P \times t$.

Q (Energy/Ενέργεια): Είναι η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται (ή παράγεται), εκφρασμένη συνήθως σε MWh (μεγαβατώρες) ή kWh (κιλοβατώρες).

P (Power/Ισχύς): Είναι η στιγμιαία ή μέση ηλεκτρική ισχύς (ο ρυθμός κατανάλωσης), εκφρασμένη σε MW (μεγάβατ) ή kW (κιλόβατ).

t (Time/Χρόνος): Είναι η χρονική διάρκεια (δηλαδή ο χρόνος παραμονής/ηλεκτροδότησης του πλοίου στο λιμάνι), εκφρασμένη συνήθως σε ώρες (*h*).

Η παραδοχή διευκολύνει έναν προκαταρκτικό υπολογισμό, αλλά δεν αποτυπώνει τις μεταβολές μέσα στην ημέρα. Οι Amaral et al. (2023) διαχωρίζουν τη μέγιστη ισχύ, τη μέση ισχύ και τη συνολική ενέργεια, επειδή κάθε μέγεθος εξυπηρετεί διαφορετική απόφαση σχεδιασμού.

Το ηλεκτρικό φορτίο μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της παραμονής. Η πληρότητα, η δραστηριότητα επιβατών και πληρώματος, το πρόγραμμα μαγειρειών και υπηρεσιών, η εξωτερική θερμοκρασία και οι απαιτήσεις θέρμανσης ή ψύξης μεταβάλλουν τη ζήτηση. Οι Brækken et al. (2023) ανέπτυξαν δυναμικό μοντέλο για ένα επιβατηγό πλοίο σε σκανδιναβικές συνθήκες και έδειξαν ότι τα προγράμματα χρήσης και οι κλιματικές συνθήκες επηρεάζουν τα φορτία του ξενοδοχειακού συστήματος. Το εύρημα αφορά ένα συγκεκριμένο πλοίο σε διαφορετικό κλιματικό και λειτουργικό περιβάλλον. Στη Ρόδο στηρίζει μόνο την παραδοχή μεταβλητού φορτίου, όχι συγκεκριμένο αριθμητικό συντελεστή.

Η ηλεκτρική και η θερμική ζήτηση πρέπει επίσης να διακρίνονται. Κατά τη λειτουργία των βοηθητικών μηχανών, μέρος της θερμότητας του πλοίου μπορεί να καλύπτεται από ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας. Όταν το πλοίο συνδέεται σε OPS και οι μηχανές παύουν, αυτή η πηγή περιορίζεται ή χάνεται. Η θερμική απαίτηση μπορεί τότε να καλυφθεί από λέβητες, ηλεκτρικούς λέβητες, αντλίες θερμότητας, θερμική αποθήκευση ή παροχή

θερμότητας από την ξηρά, ανάλογα με την εγκατάσταση του πλοίου (Brækken et al., 2023). Αν ένα ηλεκτρικό σύστημα αναλάβει και θερμικά φορτία, η απαιτούμενη ισχύς OPS αυξάνεται. Για τον λόγο αυτό, κάθε εκτίμηση πρέπει να δηλώνει αν αφορά μόνο τα υφιστάμενα ηλεκτρικά φορτία ή και πρόσθετη ηλεκτροποίηση θερμικών χρήσεων.

Οι δημοσιευμένες τιμές παρουσιάζουν μεγάλο εύρος. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση των Brækken et al. (2023) αναφέρει εκτιμήσεις 1 έως 4 MW για πλοία 500 έως 1.000 επιβατών και 5 έως 10 MW για πλοία 2.000 έως 3.000 επιβατών. Στην ίδια ανασκόπηση, δεδομένα από έντεκα κρουαζιερόπλοια 1.900 έως 3.100 επιβατών έδωσαν φορτία 4,1 έως 11,5 MW. Οι τιμές αυτές προέρχονται από διαφορετικά πλοία, διαδρομές και κλιματικές συνθήκες. Δεν συγκροτούν ενιαία καμπύλη πρόβλεψης. Δείχνουν, όμως, ότι ο αριθμός επιβατών δεν αρκεί ως μοναδική ερμηνευτική μεταβλητή, επειδή ο σχεδιασμός, οι παρεχόμενες υπηρεσίες και η ενεργειακή αρχιτεκτονική διαφοροποιούν το φορτίο.

Η ακριβέστερη βάση εκτίμησης είναι μια μετρημένη καμπύλη ισχύος του συγκεκριμένου πλοίου κατά τον ελλιμενισμό. Οι μετρήσεις αποτυπώνουν τη μέγιστη ζήτηση, τη μέση λειτουργία, τις μεταβολές και την ενέργεια της πραγματικής παραμονής. Η διαθεσιμότητα τέτοιων στοιχείων είναι περιορισμένη. Οι Espinosa et al. (2016) επισημαίνουν ότι η ζήτηση δεν μπορεί να εκτιμηθεί με υψηλή ακρίβεια χωρίς καμπύλες φορτίου κατά τον ελλιμενισμό. Συνεπώς, τα μοντέλα που βασίζονται σε χαρακτηριστικά πλοίου πρέπει να αντιμετωπίζονται ως προσεγγίσεις σχεδιασμού και όχι ως υποκατάστατα μετρήσεων.

Όταν δεν υπάρχουν μετρήσεις, μια δεύτερη προσέγγιση χρησιμοποιεί τεχνικά στοιχεία του πλοίου. Η ονομαστική ισχύς των βοηθητικών γεννητριών, η ισχύς της εγκατάστασης OPS, τα ηλεκτρικά διαγράμματα και οι καταγεγραμμένες λειτουργικές τιμές μπορούν να περιορίσουν την αβεβαιότητα. Ωστόσο, η εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής δεν ισούται με το φορτίο ελλιμενισμού. Περιλαμβάνει εφεδρεία και μπορεί να έχει σχεδιαστεί για διαφορετικές λειτουργικές καταστάσεις. Η καταγραφή των τεχνικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών ανά πλοίο, όπως προτείνει η προσέγγιση SSE-ID Card, υποστηρίζει τον έλεγχο συμβατότητας και τον προγραμματισμό της αναμενόμενης ζήτησης πριν από την άφιξη (Prousalidis et al., 2023). Η προσέγγιση προϋποθέτει συνεργασία με τις εταιρείες ή πρόσβαση σε αξιόπιστα τεχνικά δεδομένα.

Μια τρίτη προσέγγιση χρησιμοποιεί διαθέσιμα χαρακτηριστικά, όπως η ολική χωρητικότητα, το μήκος ή η επιβατική ικανότητα, για να εκτιμήσει τη μέγιστη ισχύ. Οι Espinosa et al. (2016) ανέπτυξαν τέτοια μοντέλα από τιμές αιχμής 40 κρουαζιερόπλοιων που είχαν συνδεθεί στο OPS του Σαν Φρανσίσκο. Τα αρχικά αποτελέσματα έδειξαν σχετικά ισχυρή, αλλά όχι πλήρη, συσχέτιση μεταξύ του φορτίου και του μήκους ή της ολικής χωρητικότητας, με R περίπου 0,80 έως 0,82. Η αφαίρεση πλοίων με ασυνήθιστα χαρακτηριστικά βελτίωσε τη στατιστική προσαρμογή, αλλά περιόρισε το εύρος πλοίων στα οποία μπορούσαν να εφαρμοστούν τα τροποποιημένα μοντέλα. Το αποτέλεσμα δείχνει ότι ένα μοντέλο μπορεί να προσαρμόζεται καλύτερα στο δείγμα χωρίς να γίνεται κατ' ανάγκη καταλληλότερο για έναν διαφορετικό στόλο.

Η μελέτη των Espinosa et al. (2016) δείχνει και τα όρια των παλινδρομήσεων. Οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν τα μοντέλα για να εκτιμήσουν το μέγιστο ξενοδοχειακό φορτίο πλοίων στη Βαρκελώνη και έλαβαν τιμές περίπου 8,8 έως 11,2 MW για μεγάλα κρουαζιερόπλοια του εξεταζόμενου στόλου. Ο σχετικός πίνακας χρησιμοποιεί την ένδειξη kW/h, παρότι το κείμενο και το μοντέλο αφορούν ισχύ. Εδώ οι τιμές αποδίδονται σε kW και μετατρέπονται σε MW. Αφορούν εκτιμώμενη αιχμή σχεδιασμού και όχι σταθερή κατανάλωση σε όλη την παραμονή. Για τη σύνθεση ημερήσιας καμπύλης εφαρμόστηκε συντελεστής λειτουργίας 0,40. Ο συντελεστής αποτελεί παραδοχή της συγκεκριμένης εφαρμογής και δεν τεκμηριώνεται ως καθολική τιμή. Η χρήση του στη Ρόδο χωρίς μετρήσεις ή ανάλυση ευαισθησίας θα δημιουργούσε ψευδή ακρίβεια.

Μια τέταρτη μέθοδος αντιστοιχίζει κατηγορίες πλοίων και κλάσεις ολικής χωρητικότητας σε τυπικές απαιτήσεις ισχύος. Οι Amaral et al. (2023) εφαρμόζουν τέτοιο πίνακα όταν δεν διατίθεται ειδική καμπύλη φορτίου. Για κάθε κλήση χρησιμοποιούν τον τύπο πλοίου, την πραγματική ώρα άφιξης, την πραγματική ώρα αναχώρησης και την ολική χωρητικότητα. Το μοντέλο δημιουργεί προφίλ ανά δεκαπεντάλεπτο και, ελλείψει ειδικών δεδομένων, θεωρεί σταθερή μέση ισχύ κατά τον ελλειμενισμό. Η προσέγγιση είναι διαφανής και εφαρμόζεται με στοιχεία κίνησης που διαθέτουν συνήθως οι λιμένες. Η ακρίβειά της εξαρτάται από την αντιπροσωπευτικότητα των τυπικών τιμών και από την ορθότητα της υπόθεσης σταθερού φορτίου.

Η απαίτηση του λιμένα δεν προκύπτει από ένα μόνο πλοίο, αλλά από το άθροισμα των φορτίων όσων πλοίων είναι ταυτόχρονα συνδεδεμένα. Για χρονικό βήμα Δt , η συνολική ισχύς μπορεί να εκφραστεί ως $P_{\text{λιμένα}}(t) = \sum P_i(t)$, για όλα τα συνδεδεμένα πλοία i .

$P_{\text{λιμένα}}(t)$ (Συνολική Ισχύς Λιμένα τη στιγμή t): Είναι η συνολική ηλεκτρική ισχύς (σε MW) που πρέπει να παρέχει το ηλεκτρικό δίκτυο του λιμένα κατά τη χρονική στιγμή t για να καλύψει ταυτόχρονα όλα τα συνδεδεμένα πλοία.

t (Χρονική στιγμή/Time step): Δείχνει ότι η ισχύς δεν είναι σταθερή, αλλά αλλάζει με τον χρόνο (π.χ. ανά 15 λεπτά ή ανά ώρα) ανάλογα με το ποια πλοία είναι δεμένα και τι φορτία απορροφούν εκείνη τη στιγμή.

Σ (Σίγμα/Άθροισμα): Άθροισμα των τιμών όλων των στοιχείων.

$P_i(t)$: (Ισχύς του πλοίου i τη στιγμή t): Είναι η ηλεκτρική ισχύς που απορροφά το συγκεκριμένο πλοίο i τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή t .

Η συνολική ενέργεια προκύπτει από το άθροισμα της κατανάλωσης σε όλα τα χρονικά βήματα. Οι Amaral et al. (2023) χρησιμοποιούν δεκαπεντάλεπτη ανάλυση για να εντοπίσουν τη μέγιστη ταυτόχρονη ζήτηση, τη μέση ισχύ, τον αριθμό ταυτόχρονων πλοίων και τη συνολική ενέργεια. Οι Frkonić et al. (2024) ενσωματώνουν ωριαία προφίλ κρουαζιερόπλοιων στο περιφερειακό ενεργειακό σύστημα του Dubrovnik, το οποίο προσομοιώνουν ως ολοκληρωμένο ενεργειακό σύστημα. Η ανάλυσή τους εξετάζει από κοινού τη ζήτηση OPS, το τοπικό φορτίο και την παραγωγή ΑΠΕ. Επομένως, η ετήσια ενέργεια δεν επαρκεί για την αξιολόγηση των χρονικών επιπτώσεων στο ηλεκτρικό σύστημα.

Η διάκριση μεταξύ ετήσιας ενέργειας και στιγμιαίας ισχύος επιβεβαιώνεται από την ανάλυση της California. Οι Cho et al. (2025) εκτίμησαν ότι, σε ώρα κατά την οποία βρίσκονταν ταυτόχρονα συνδεδεμένα έξι κρουαζιερόπλοια, αυτά αντιστοιχούσαν σε 69 MW από συνολική αιχμή OPS 97 MW. Παράλληλα, στα σενάρια έως το 2050, η ετήσια ζήτηση του OPS παρέμενε κάτω από το 0,2% της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας της πολιτείας. Το παράδειγμα δείχνει ότι ένα μικρό ετήσιο ενεργειακό μερίδιο μπορεί να συνυπάρχει με υψηλή ωριαία αιχμή. Η California διαθέτει μεγάλο, διασυνδεδεμένο σύστημα και πολλούς λιμένες, επομένως οι απόλυτες τιμές δεν μεταφέρονται στη Ρόδο. Το εύρημα

στηρίζει όμως τη χρήση ωριαίων δεδομένων αφίξεων και τον χωριστό έλεγχο σεναρίων ταυτόχρονης σύνδεσης.

Η χρονική ανάλυση απαιτεί επίσης παραδοχές για τη λειτουργική διαθεσιμότητα του OPS. Η μεθοδολογία των Amaral et al. (2023) χρησιμοποιεί τις πραγματικές ώρες άφιξης και αναχώρησης ως όρια του προφίλ, όταν δεν υπάρχουν λεπτομερέστερα λειτουργικά δεδομένα. Στην παρούσα έρευνα, η ταύτιση της διάρκειας ελλιμενισμού με τη διάρκεια ηλεκτροδότησης θα αποτελούσε παραδοχή και όχι μετρημένο γεγονός. Χρόνοι σύνδεσης και αποσύνδεσης, καθώς και η τεχνική συμβατότητα του στόλου, μπορούν να μειώσουν τις ώρες πραγματικής χρήσης. Η πλήρης σύνδεση όλων των κατάπλων από την άφιξη έως την αναχώρηση μπορεί να υπερεκτιμήσει την ετήσια ενέργεια. Η μεθοδολογία πρέπει, συνεπώς, να εξετάσει βασικό και εναλλακτικά σενάρια ως προς το ποσοστό συμβατών πλοίων, τον χρόνο σύνδεσης και την ταυτόχρονη εξυπηρέτηση.

Η βιβλιογραφία δεν υποστηρίζει έναν καθολικό συντελεστή που να μετατρέπει την ολική χωρητικότητα ή την επιβατική ικανότητα σε πραγματικό φορτίο ελλιμενισμού για κάθε κρουαζιερόπλοιο. Οι μετρημένες καμπύλες παρέχουν την ισχυρότερη τεκμηρίωση, αλλά σπανίως είναι διαθέσιμες. Τα τεχνικά στοιχεία ανά πλοίο μειώνουν την αβεβαιότητα, ενώ οι παλινδρομήσεις και οι πίνακες κατηγοριών επιτρέπουν προκαταρκτική εκτίμηση με μεγαλύτερο σφάλμα. Για τη μελέτη περίπτωσης της Ρόδου, η επιλογή μεθόδου πρέπει να γίνει στην ενότητα της μεθοδολογίας και να συνοδεύεται από εύρος τιμών και ανάλυση ευαισθησίας. Η εκτίμηση πρέπει να παράγει χωριστά τη μέγιστη ισχύ ανά πλοίο, τη χρονική καμπύλη της συνολικής ζήτησης και την ετήσια ενέργεια. Μόνο τότε μπορεί το νέο φορτίο να συγκριθεί με τις αιχμές, τη διαθέσιμη παραγωγή και τους λειτουργικούς περιορισμούς του ηλεκτρικού συστήματος της Ρόδου.

2.3 ΟΦΕΛΗ, ΕΜΠΟΔΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ

OPS

2.3.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΟΡΙΑ

Η τεχνική δυνατότητα σύνδεσης και η εκτίμηση της ενεργειακής ζήτησης δεν αρκούν για να τεκμηριώσουν τη σκοπιμότητα του OPS. Χρειάζεται να εξεταστούν το περιβαλλοντικό

αποτέλεσμα, η οικονομική κατανομή κόστους και οφέλους και οι συνθήκες πραγματικής αξιοποίησης της υποδομής.

Το OPS μεταφέρει την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζεται το ελλιμενισμένο πλοίο από τις βοηθητικές μηχανές προς το χερσαίο ηλεκτρικό σύστημα. Η αλλαγή αυτή μειώνει στο λιμάνι τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου, οξειδίων του θείου και αιωρούμενων σωματιδίων που συνδέονται με την καύση ναυτιλιακού καυσίμου. Περιορίζει επίσης τον θόρυβο και τις δονήσεις από τη λειτουργία των μηχανών. Τα οφέλη αυτά έχουν τοπικό χαρακτήρα και αφορούν άμεσα τους επιβάτες, το πλήρωμα, τους εργαζομένους του λιμένα και τον γειτονικό αστικό πληθυσμό (Abu Bakar et al., 2023; Kizielewicz, 2024). Στη μελέτη του Aberdeen, το σενάριο σύνδεσης όλων των πλοίων που εξετάστηκαν έδωσε ετήσια μείωση 108 τόνων NO_x, 2,7 τόνων αιωρούμενων σωματιδίων και 4.767 τόνων CO₂ (Innes and Monios, 2018). Οι τιμές αφορούν τον συγκεκριμένο στόλο, το ενεργειακό μείγμα και τις παραδοχές της μελέτης. Για έναν λιμένα κρουαζιέρας που βρίσκεται κοντά στην πόλη, όπως ο λιμένας της Ρόδου, η τοπική ποιότητα του αέρα αποτελεί αυτοτελές κριτήριο αξιολόγησης και δεν πρέπει να συγχέεται με τη συνολική επίδραση στο κλίμα.

Η σύνδεση σε OPS δεν εξαλείφει αυτομάτως τις συνολικές εκπομπές. Τις μεταφέρει από το πλοίο στις μονάδες που παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια. Επομένως, η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα εξαρτάται από το μείγμα ηλεκτροπαραγωγής, την απόδοση των μονάδων και τις απώλειες μεταφοράς και μετατροπής. Η περιβαλλοντική επίδοση βελτιώνεται όσο αυξάνεται η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών και επιδεινώνεται όταν το δίκτυο βασίζεται σε παραγωγή υψηλής έντασης άνθρακα (Abu Bakar et al., 2023; Innes and Monios, 2018). Συνεπώς, δεν αρκεί η σύγκριση «μηδενικές εκπομπές στο πλοίο έναντι εκπομπών των βοηθητικών μηχανών». Χρειάζεται σύγκριση των εκπομπών ανά παραγόμενη MWh και στις δύο εναλλακτικές.

Η διάκριση αυτή αποκτά μεγαλύτερη σημασία σε ένα μη διασυνδεδεμένο νησί. Η πρόσθετη ζήτηση του OPS μπορεί να καλυφθεί από διαφορετικό συνδυασμό μονάδων από εκείνον που περιγράφει ο ετήσιος μέσος όρος. Αν η σύνδεση ενός πλοίου ενεργοποιεί πρόσθετη συμβατική παραγωγή, το οριακό περιβαλλοντικό όφελος, δηλαδή το όφελος που αντιστοιχεί ειδικά στην πρόσθετη παραγωγή για το πλοίο, μπορεί να είναι χαμηλότερο από αυτό που δείχνει το μέσο ενεργειακό μείγμα. Αντίθετα, η χρονική σύμπτωση της θερινής κίνησης

κρουαζιέρας με την ηλιακή παραγωγή μπορεί να αυξήσει την αξιοποίηση των φωτοβολταϊκών. Στη μελέτη του Dubrovnik, οι Frković et al. (2024) εξέτασαν ένα απομονωμένο ενεργειακό σύστημα με υψηλή συμμετοχή ΑΠΕ. Στα σενάρια του 2030, η χρήση OPS μείωσε την πλεονάζουσα παραγωγή κατά περίπου 5%, 13% και 22%, ανάλογα με το επίπεδο ζήτησης, ενώ το συνολικό ετήσιο κόστος του συστήματος μειώθηκε κατά περίπου 39%, 61% και 72% σε σύγκριση με τα αντίστοιχα σενάρια παραγωγής επί των πλοίων. Οι ίδιοι συνδέουν τα αποτελέσματα με το προφίλ αφίξεων, το δυναμικό ΑΠΕ και τα δεδομένα του τοπικού συστήματος. Για τη Ρόδο λειτουργούν ως συγκριτική ένδειξη και απαιτούν νέα ανάλυση με τοπικά δεδομένα.

2.3.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

Για την πλοιοκτήτρια εταιρεία, το βασικό οικονομικό κριτήριο είναι η σύγκριση του συνολικού κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά με το κόστος παραγωγής επί του πλοίου. Το δεύτερο περιλαμβάνει το καύσιμο, το κόστος εκπομπών και, όπου υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία, τη λειτουργία και τη συντήρηση των βοηθητικών μηχανών. Το κόστος OPS περιλαμβάνει την τιμή προμήθειας, τις χρεώσεις δικτύου, τους φόρους, τις απώλειες της εγκατάστασης και το περιθώριο του φορέα εκμετάλλευσης. Η αποφυγή κατανάλωσης καυσίμου και η μειωμένη χρήση των μηχανών μπορούν να δημιουργήσουν εξοικονόμηση, αλλά δεν εγγυώνται ότι το OPS θα είναι φθηνότερο σε κάθε λιμένα και χρονική περίοδο (Williamsson et al., 2022; Bignucolo et al., 2025).

Για τον λιμένα και τον φορέα του ηλεκτρικού συστήματος, η επένδυση περιλαμβάνει τη σύνδεση με το δίκτυο, υποσταθμούς, μετασχηματιστές, μετατροπείς συχνότητας, καλώδια, συστήματα διαχείρισης καλωδίων, έργα στην προβλήτα, προστασίες και συστήματα ελέγχου. Μπορεί επίσης να απαιτήσει ενίσχυση του δικτύου. Στην πλευρά του πλοίου, τα μη συμβατά πλοία χρειάζονται μετασκευή. Η κατανομή αυτών των δαπανών μεταξύ λιμένα, διαχειριστή δικτύου, παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας, δημόσιου φορέα και πλοιοκτήτη επηρεάζει τη βιωσιμότητα για κάθε μέρος (Williamsson et al., 2022). Ο επενδυτής αναλαμβάνει άμεσα μεγάλο μέρος του κόστους, ενώ οι κάτοικοι, οι εργαζόμενοι και οι χρήστες του λιμένα λαμβάνουν μέρος των οφελών από τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Για αυτόν τον λόγο, μια αξιολόγηση που εξετάζει μόνο τις χρηματοροές του επενδυτή μπορεί να απορρίψει έργο με θετική κοινωνική αξία.

Η αξιοποίηση της εγκατάστασης αποτελεί κρίσιμο παράγοντα. Περισσότερες συνδέσεις και περισσότερες ώρες χρήσης κατανέμουν το σταθερό κόστος σε μεγαλύτερη ποσότητα πωλούμενης ενέργειας. Αντίθετα, η εποχικότητα, η περιορισμένη συμβατότητα του στόλου ή η μικρή διάρκεια σύνδεσης αυξάνουν το μοναδιαίο κόστος. Οι Bignucolo et al. (2025) έδειξαν ότι η ανταγωνιστικότητα επηρεάζεται έντονα από την τιμή ηλεκτρικής ενέργειας, το καύσιμο αναφοράς, το κόστος άνθρακα, τις φορολογικές ρυθμίσεις, τις χρεώσεις και το μοντέλο διαχείρισης. Στον λιμένα της Λισαβόνας, οι Amaral et al. (2023) υπολόγισαν χρόνο αποπληρωμής 36 ετών για την ηλεκτροδότηση έξι τερματικών, αλλά 23 ετών όταν η εγκατάσταση περιορίστηκε στα τρία τερματικά με τη μεγαλύτερη ενεργειακή ζήτηση. Το αποτέλεσμα βασίζεται στις τιμές και στις παραδοχές της συγκεκριμένης μελέτης. Δεν αποτελεί εκτίμηση για τη Ρόδο, αλλά τεκμηριώνει την ανάγκη να εξεταστούν εναλλακτικά επίπεδα ανάπτυξης και χρήσης.

2.3.3 ΤΕΧΝΙΚΑ, ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΑ ΕΜΠΟΔΙΑ

Το πρώτο τεχνικό εμπόδιο είναι η επάρκεια του ηλεκτρικού συστήματος. Το OPS προσθέτει υψηλό και συγκεντρωμένο φορτίο, το οποίο μπορεί να συμπέσει με την τοπική αιχμή. Το δίκτυο πρέπει να διατηρεί αποδεκτή τάση, συχνότητα, θερμικά όρια και εφεδρείες κατά τη σύνδεση ενός ή περισσότερων πλοίων. Η ετήσια ενεργειακή επάρκεια δεν συνεπάγεται επάρκεια ισχύος την ώρα σύνδεσης. Στη Λισαβόνα, οι Pereira et al. (2026) υπολόγισαν ότι η πλήρης ηλεκτροδότηση των υπηρεσιών κρουαζιέρας θα αύξανε τη φόρτιση ορισμένων γραμμών έως το 130% της μεταφορικής τους ικανότητας. Εξέτασαν μετατόπιση φορτίου, κατανομή ισχύος, ενίσχυση δικτύου και αποθήκευση ως μέτρα αντιμετώπισης. Για τη Ρόδο απαιτείται αντίστοιχος έλεγχος με τα πραγματικά χαρακτηριστικά του μη διασυνδεδεμένου συστήματος και όχι εξαγωγή συμπεράσματος από τη μελέτη της Λισαβόνας.

Το δεύτερο εμπόδιο αφορά τη συμβατότητα και τη φυσική διάταξη της προβλήτας. Το πλοίο και η εγκατάσταση πρέπει να συμφωνούν ως προς την τάση, τη συχνότητα, την ισχύ, τις προστασίες, τα βύσματα και τη θέση σύνδεσης. Παράλληλα, ο λιμένας χρειάζεται χώρο για τον εξοπλισμό και ασφαλή διαδρομή καλωδίων χωρίς να εμποδίζει την πρόσδεση, την επιβίβαση, τις εργασίες εξυπηρέτησης και τις διαδρομές έκτακτης ανάγκης. Η μελέτη του Aberdeen έδειξε ότι η διασπορά πολλών θέσεων, οι μεγάλες αποστάσεις καλωδίωσης και ο περιορισμένος χώρος μπορούν να αυξήσουν το κόστος και να αποκλείσουν ορισμένες θέσεις από την αρχική φάση εφαρμογής (Innes and Monios, 2018). Επομένως, η τεχνική

τυποποίηση μειώνει προβλήματα διαλειτουργικότητας, αλλά δεν αίρει τους τοπικούς χωρικούς περιορισμούς.

Το τρίτο εμπόδιο είναι λειτουργικό. Η πραγματική χρήση εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα της θέσης και του εξοπλισμού, τον χρόνο που απαιτούν η σύνδεση και η αποσύνδεση, την εκπαίδευση προσωπικού, τις διαδικασίες ασφαλείας και την απόφαση του πλοίου να συνδεθεί. Μια εγκατάσταση μπορεί να διαθέτει επαρκή ισχύ αλλά να υποχρησιμοποιείται επειδή λίγα πλοία έχουν συμβατό εξοπλισμό ή επειδή το πρόγραμμα αφίξεων δεν επιτρέπει αρκετές ώρες λειτουργίας. Δημιουργείται έτσι αλληλεξάρτηση: οι λιμένες διστάζουν να επενδύσουν χωρίς βέβαιη ζήτηση και οι πλοιοκτήτες διστάζουν να μετασκευάσουν πλοία χωρίς επαρκές δίκτυο συμβατών λιμένων. Οι Williamsson et al. (2022) χαρακτηρίζουν αυτή την αλληλεξάρτηση ως κεντρικό εμπόδιο και συνδέουν την αντιμετώπισή της με συντονισμένες επενδύσεις, κοινά πρότυπα και σταθερά κίνητρα.

Η εμπειρία της California δείχνει επίσης ότι η κανονιστική συμμόρφωση δεν ταυτίζεται με καθολική χρήση του OPS. Το 2024, η αρμόδια αρχή έλεγξε πάνω από το 99% των επισκέψεων που υπάγονταν στον κανονισμό και κατέγραψε ποσοστό συμμόρφωσης 97%. Ωστόσο, OPS χρησιμοποίησε το 75% των ελεγμένων επισκέψεων, ενώ το 22% έλαβε επιτρεπόμενη εξαίρεση και το 3% χρησιμοποίησε εναλλακτικό εγκεκριμένο μέτρο ελέγχου εκπομπών. Οι Cho et al. (2025) εκτίμησαν επίσης ότι η πλήρης εξάλειψη των εκπομπών των βοηθητικών μηχανών κατά τον ελλιμενισμό θα μπορούσε να αποτρέψει περίπου 30 πρόωρους θανάτους ετησίως στην πολιτεία. Τα αποτελέσματα τεκμηριώνουν τον ρόλο της επιβολής, των εξαιρέσεων και της πραγματικής χρήσης, αλλά δεν παρέχουν αριθμητική πρόβλεψη για τη Ρόδο.

Η εμπειρία του Gothenburg επιβεβαιώνει ότι η ύπαρξη υποδομής δεν ταυτίζεται με την πραγματική χρήση της. Ο λιμένας διαθέτει OPS σε συγκεκριμένες κατηγορίες πλοίων και θέσεις, επομένως η δυνατότητα σύνδεσης εξαρτάται από τη συμβατότητα του πλοίου και τη θέση ελλιμενισμού. Για την αξιολόγηση μιας εγκατάστασης πρέπει να καταγράφονται χωριστά το συμβατό πλοίο, η διαθέσιμη θέση, η τεχνική δυνατότητα σύνδεσης, η πραγματική σύνδεση, οι ώρες λειτουργίας και η παρεχόμενη ενέργεια (Port of Gothenburg, 2025).

Η εφαρμογή απαιτεί επίσης συνεργασία μεταξύ λιμενικής αρχής, διαχειριστή δικτύου, παραγωγών και προμηθευτών ηλεκτρικής ενέργειας, πλοιοκτητριών εταιρειών, τεχνικών προμηθευτών και δημόσιων αρχών. Οι φορείς αυτοί δεν αναλαμβάνουν το ίδιο κόστος ούτε λαμβάνουν το ίδιο όφελος. Η μελέτη KAJ-EL, η οποία βασίστηκε σε συνεντεύξεις και εργαστήρια με φορείς της λιμενικής και ενεργειακής αλυσίδας στη Σουηδία, δείχνει ότι πριν επιλεγεί ο εξοπλισμός πρέπει να εξεταστούν η διαθέσιμη ισχύς, τα μελλοντικά σενάρια ζήτησης, η κατανομή του επενδυτικού κόστους, η ιδιοκτησία και λειτουργία της εγκατάστασης, η μέθοδος τιμολόγησης και η αναμενόμενη δέσμευση των χρηστών (Costa et al., 2022). Χωρίς αυτές τις αποφάσεις, ένα έργο μπορεί να παραμένει τεχνικά εφικτό αλλά λειτουργικά ή οικονομικά αδρανές. Το ζήτημα της διακυβέρνησης εξετάζεται αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 3.

2.3.4 ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΝΗΣΙΩΤΙΚΟ ΛΙΜΕΝΑ

Η βιβλιογραφία δείχνει ότι το OPS δεν αποτελεί από μόνο του περιβαλλοντικά ή οικονομικά αποδοτική λύση. Η αξιολόγηση χρειάζεται να συνδέσει πέντε προϋποθέσεις.

- **Επάρκεια δικτύου:** Το τοπικό σύστημα πρέπει να καλύπτει με ασφάλεια την αιχμή του OPS μαζί με το φορτίο του νησιού.
- **Καθαρό περιβαλλοντικό όφελος:** Το ενεργειακό μείγμα και ιδίως η παραγωγή που ενεργοποιείται τη συγκεκριμένη ώρα πρέπει να προσφέρουν πραγματική μείωση εκπομπών έναντι των βοηθητικών μηχανών.
- **Βιώσιμη αξιοποίηση:** Η εγκατάσταση πρέπει να εξυπηρετεί επαρκή αριθμό συμβατών πλοίων και ώρες σύνδεσης ώστε να επιμερίζεται το σταθερό κόστος.
- **Αποδεκτή τιμολόγηση:** Η κατανομή του επενδυτικού κόστους και τα τέλη χρήσης πρέπει να δημιουργούν αμοιβαία αποδεκτό οικονομικό αποτέλεσμα.
- **Θεσμικός συντονισμός και δέσμευση χρηστών:** Ο λιμένας, ο διαχειριστής του ηλεκτρικού συστήματος, ο προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας και οι εταιρείες κρουαζιέρας πρέπει να συμφωνήσουν εγκαίρως για την απαιτούμενη ισχύ, τις ευθύνες επένδυσης και λειτουργίας, τη διαθεσιμότητα της υπηρεσίας και την αναμενόμενη χρήση της εγκατάστασης (Costa et al., 2022).



Για τη Ρόδο, η μελέτη πρέπει να συνδυάσει το πρόγραμμα αφίξεων και την ταυτόχρονη παρουσία κρουαζιερόπλοιων με τα φορτία του νησιού, τη συμβατική παραγωγή, τις ΑΠΕ και τις διαθέσιμες εφεδρείες. Πρέπει επίσης να εξετάσει σενάρια διαφορετικής ισχύος, ποσοστού συμβατών πλοίων, διάρκειας σύνδεσης και τιμής ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι θα ελεγχθούν οι πέντε προϋποθέσεις χωρίς να θεωρηθεί εκ των προτέρων ότι η εφαρμογή είναι περιβαλλοντικά ή οικονομικά συμφέρουσα.

3. ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ, ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ

PESTEL

Το κεφάλαιο εξετάζει το περιβάλλον εφαρμογής του OPS σε τρία διαδοχικά επίπεδα. Αρχικά αποσαφηνίζει τις υποχρεώσεις που προκύπτουν από το ευρωπαϊκό κανονιστικό πλαίσιο και τη θέση της Ρόδου σε αυτό. Στη συνέχεια αξιολογεί τη διεθνή εμπειρία ως προς τη μεταφερσιμότητα τεχνικών, οργανωτικών και μεθοδολογικών επιλογών. Τέλος, συνθέτει τα ευρήματα σε ανάλυση PESTEL, ώστε να προσδιορίσει τους εξωτερικούς παράγοντες και τις αλληλεξαρτήσεις που πρέπει να εξεταστούν στη μεθοδολογία και στη μελέτη περίπτωσης.

3.1 ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΟ OPS

Η ευρωπαϊκή ρύθμιση της ηλεκτροδότησης πλοίων από ξηρά στηρίζεται σε δύο συμπληρωματικούς κανονισμούς. Ο Κανονισμός (ΕΕ) 2023/1804 για την ανάπτυξη υποδομών εναλλακτικών καυσίμων, γνωστός ως AFIR, καθορίζει τις υποχρεώσεις των κρατών μελών για τη διαθεσιμότητα υποδομών OPS στους λιμένες. Ο Κανονισμός (ΕΕ) 2023/1805, FuelEU Maritime, καθορίζει πότε τα πλοία οφείλουν να συνδέονται με αυτές τις υποδομές και να τις χρησιμοποιούν. Ο Κανονισμός (ΕΕ) 2024/1679 για το διευρωπαϊκό δίκτυο μεταφορών, TEN-T, προσδιορίζει ποιοι λιμένες εντάσσονται στα σχετικά δίκτυα. Η συνδυαστική ανάγνωση των τριών πράξεων είναι αναγκαία, επειδή η ένταξη ενός λιμένα στο TEN-T δεν δημιουργεί από μόνη της ανεπιφύλακτη υποχρέωση εγκατάστασης OPS, ενώ η ύπαρξη υποδομής δεν συνεπάγεται σε κάθε περίπτωση υποχρέωση σύνδεσης του πλοίου.

3.1.1 ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΣΤΙΣ ΔΕΣΜΕΥΤΙΚΕΣ ΥΠΟΧΡΕΩΣΕΙΣ

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία και το νομοθετικό πακέτο Fit for 55 έθεσαν το γενικό πλαίσιο για τη μείωση των εκπομπών από τις μεταφορές. Στον τομέα της ναυτιλίας, η πολιτική αυτή μετατράπηκε σε συγκεκριμένες υποχρεώσεις μέσω του AFIR και του FuelEU Maritime. Οι δύο κανονισμοί εφαρμόζονται άμεσα στα κράτη μέλη και δεν απαιτούν μεταφορά στο εθνικό δίκαιο. Η διάκριση από στρατηγικά κείμενα και τεχνικές κατευθύνσεις έχει σημασία για την παρούσα έρευνα. Οι στρατηγικές εξηγούν τον πολιτικό στόχο, ενώ οι

κανονισμοί καθορίζουν το πεδίο εφαρμογής, τις ημερομηνίες, τα όρια κίνησης και τις εξαιρέσεις που κρίνουν τη νομική θέση κάθε λιμένα και πλοίου.

Η ρυθμιστική λογική επιδιώκει να συντονίσει την προσφορά με τη ζήτηση. Ο AFIR περιορίζει τον κίνδυνο να υποχρεωθούν τα πλοία να χρησιμοποιούν υποδομές που δεν υπάρχουν. Αντίστοιχα, το FuelEU Maritime περιορίζει τον κίνδυνο εγκατάστασης ακριβών υποδομών χωρίς επαρκή χρήση. Παρά ταύτα, το κανονιστικό πλαίσιο δεν εγγυάται την οικονομική βιωσιμότητα κάθε έργου. Η τελική σκοπιμότητα εξαρτάται από την πραγματική κίνηση, τη διάρκεια παραμονής, την απαιτούμενη ισχύ, το κόστος σύνδεσης και την ικανότητα του τοπικού ηλεκτρικού συστήματος να εξυπηρετήσει το φορτίο.

3.1.2 AFIR: ΥΠΟΧΡΕΩΣΕΙΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΣΤΟΥΣ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥΣ ΛΙΜΕΝΕΣ

Το άρθρο 9 του AFIR επιβάλλει στα κράτη μέλη να εξασφαλίσουν ελάχιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από ξηρά για πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και επιβατηγά πλοία στους θαλάσσιους λιμένες TEN-T. Για τα κρουαζιερόπλοια κρίσιμη είναι η περίπτωση του άρθρου 9 παράγραφος 1 στοιχείο γ, η οποία αφορά θαλασσοπλούντα επιβατηγά πλοία άνω των 5.000 GT, πλην των επιβατηγών οχηματαγωγών και των ταχύπλοων επιβατηγών. Όταν ο μέσος ετήσιος αριθμός επιλέξιμων προσεγγίσεων κατά την τελευταία τριετία υπερβαίνει τις 25, ο λιμένας πρέπει, έως τις 31 Δεκεμβρίου 2029, να διαθέτει υποδομή ικανή να εξυπηρετεί κάθε έτος τουλάχιστον το 90% αυτών των προσεγγίσεων (European Parliament and Council, 2023a, Article 9(1)(c)).

Το ποσοστό του 90% δεν σημαίνει ότι κάθε θέση ελλιμενισμού πρέπει να εξοπλιστεί ούτε ότι κάθε καταγεγραμμένη άφιξη προσμετράται. Το άρθρο 9 παράγραφος 2 παραπέμπει στις εξαιρέσεις του άρθρου 6 παράγραφος 5 του FuelEU Maritime και αφαιρεί από τον υπολογισμό, μεταξύ άλλων, προσεγγίσεις με παραμονή κάτω των δύο ωρών, μη προγραμματισμένες προσεγγίσεις για λόγους ασφάλειας ή διάσωσης, περιπτώσεις κινδύνου για τη σταθερότητα του ηλεκτρικού δικτύου και καταστάσεις ανάγκης. Στην πλήρη καταγραφή των 418 προσεγγίσεων κρουαζιερόπλοιων στη Ρόδο για το 2025, τέσσερις εγγραφές αφορούν ακυρωμένες προσεγγίσεις, 27 προσεγγίσεις πραγματοποιήθηκαν από πλοία έως 5.000 GT και δύο ακόμη πραγματοποιημένες προσεγγίσεις είχαν διάρκεια μικρότερη των δύο ωρών. Μετά τις αφαιρέσεις αυτές, 386 προσεγγίσεις ικανοποιούν τα

διαθέσιμα κριτήρια χωρητικότητας, διάρκειας και πραγματοποίησης. Επειδή το αρχείο δεν περιλαμβάνει θέση ή τρόπο ελλιμενισμού ούτε πληροφορίες για όλες τις λοιπές κανονιστικές εξαιρέσεις, οι 386 χαρακτηρίζονται δυνητικά και όχι οριστικά επιλέξιμες.

Ιδιαίτερη σημασία για τη Ρόδο έχει το άρθρο 9 παράγραφος 3. Όταν λιμένας TEN-T βρίσκεται σε νησί και δεν συνδέεται άμεσα με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο, η υποχρέωση της παραγράφου 1 δεν εφαρμόζεται μέχρι να ολοκληρωθεί η σύνδεση ή μέχρι να υπάρχει επαρκής τοπικά παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από μη ορυκτές πηγές για την κάλυψη των αναγκών του νησιού (European Parliament and Council, 2023a, Article 9(3)). Η διάταξη δεν θεσπίζει μόνιμη εξαίρεση για όλους τους νησιωτικούς λιμένες. Συνδέει την εξαίρεση με δύο εναλλακτικές και μεταβαλλόμενες συνθήκες, τη διασύνδεση με το ηπειρωτικό δίκτυο ή την επάρκεια τοπικής μη ορυκτής παραγωγής.

Ο κανονισμός δεν ορίζει ποσοτικό κριτήριο για την έννοια της επαρκούς τοπικής παραγωγικής ικανότητας ούτε εξειδικεύει τον τρόπο με τον οποίο θα αποδεικνύεται ότι αυτή καλύπτει τις ανάγκες του νησιού. Για τον λόγο αυτό, δεν αρκεί η ύπαρξη εγκατεστημένων μονάδων ΑΠΕ. Χρειάζεται αξιολόγηση της διαθέσιμης ισχύος, της χρονικής σύμπτωσης παραγωγής και φορτίου, της δυνατότητας ελέγχου του συστήματος και της κάλυψης των αιχμών. Στη Ρόδο, η νομική εξαίρεση και η τεχνική δυνατότητα υλοποίησης αποτελούν διαφορετικά ζητήματα. Η εξαίρεση μπορεί να αίρει την άμεση υποχρέωση εγκατάστασης, χωρίς να απαγορεύει εθελοντική ανάπτυξη OPS ή ένταξη του έργου σε μελλοντικό σχεδιασμό.

3.1.3 FUELEU MARITIME: ΥΠΟΧΡΕΩΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΑ ΠΛΟΙΑ

Το FuelEU Maritime εφαρμόζεται, ανεξαρτήτως σημαίας, σε πλοία άνω των 5.000 GT που μεταφέρουν επιβάτες ή φορτίο για εμπορικούς σκοπούς, ως προς την ενέργεια που χρησιμοποιούν κατά την παραμονή τους σε λιμένα κράτους μέλους και κατά τα ταξίδια που εμπίπτουν στο πεδίο του κανονισμού (European Parliament and Council, 2023b, Article 2). Για το OPS, το άρθρο 6 παράγραφος 1 ορίζει ότι από την 1η Ιανουαρίου 2030 το πλοίο που βρίσκεται προσδεδεμένο σε λιμένα καλυπτόμενο από το άρθρο 9 του AFIR πρέπει να συνδέεται με OPS και να το χρησιμοποιεί για το σύνολο της ηλεκτρικής ζήτησης κατά τον

ελλιμενισμό. Η υποχρέωση αφορά πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και επιβατηγά πλοία, άρα περιλαμβάνει τα κρουαζιερόπλοια που υπερβαίνουν το όριο χωρητικότητας.

Από την 1η Ιανουαρίου 2035, η υποχρέωση επεκτείνεται σε λιμένες κράτους μέλους που δεν καλύπτονται από το άρθρο 9 του AFIR, εφόσον η συγκεκριμένη θέση ελλιμενισμού διαθέτει διαθέσιμο OPS. Επιπλέον, κατά την περίοδο 2030 έως 2034 ένα κράτος μέλος μπορεί, μετά από διαβούλευση και προηγούμενη κοινοποίηση στην Επιτροπή, να επιβάλει αντίστοιχη υποχρέωση σε άλλους λιμένες ή σε τμήματά τους (European Parliament and Council, 2023b, Article 6(2)-(3)). Επομένως, η εξαίρεση ενός νησιωτικού λιμένα από τον υποχρεωτικό στόχο υποδομής του AFIR δεν αποκλείει την εφαρμογή υποχρέωσης χρήσης στο μέλλον, αν εγκατασταθεί διαθέσιμη υποδομή ή αν το κράτος μέλος λάβει ειδική απόφαση.

Το άρθρο 6 παράγραφος 5 προβλέπει συγκεκριμένες εξαιρέσεις από τη σύνδεση. Περιλαμβάνει παραμονή μικρότερη των δύο ωρών, χρήση άλλης πιστοποιημένης τεχνολογίας μηδενικών εκπομπών για όλη την ηλεκτρική ζήτηση, απρογραμμάτιστη προσέγγιση για λόγους ασφάλειας ή διάσωσης, μη διαθεσιμότητα σημείου σύνδεσης, κίνδυνο για τη σταθερότητα του δικτύου, ασυμβατότητα της χερσαίας εγκατάστασης με πιστοποιημένο εξοπλισμό του πλοίου, κατάσταση ανάγκης και αναγκαίες δοκιμές συντήρησης ή λειτουργίας. Οι εξαιρέσεις αυτές δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται ως μόνιμες εναλλακτικές συμμόρφωσης. Από το 2035, οι περιπτώσεις μη διαθεσιμότητας, κινδύνου δικτύου και ασυμβατότητας επιτρέπονται μόνο μέχρι το χαμηλότερο από δύο όρια, το 10% των συνολικών προσεγγίσεων του πλοίου κατά την περίοδο αναφοράς ή δέκα προσεγγίσεις.

Η εφαρμογή στηρίζεται σε υποχρέωση εκ των προτέρων ενημέρωσης, καταγραφή στη βάση FuelEU, επαλήθευση και οικονομικές κυρώσεις. Το πλοίο δηλώνει πριν από την είσοδο στον λιμένα αν προτίθεται να συνδεθεί και πόση ισχύ αναμένει να χρειαστεί. Η αρμόδια αρχή ή εξουσιοδοτημένος φορέας επιβεβαιώνει τη διαθεσιμότητα και καταγράφει κάθε εξαίρεση ή παράβαση. Για μη συμμορφούμενη προσέγγιση, το άρθρο 23 παράγραφος 5 υπολογίζει την κύρωση ως γινόμενο 1,5 ευρώ, της προσδιορισμένης συνολικής ηλεκτρικής ζήτησης του πλοίου σε ισχύ και των ωρών μη συμμόρφωσης, στρογγυλοποιημένων προς τα πάνω. Η διάταξη δημιουργεί άμεσο οικονομικό κίνητρο χρήσης, αλλά προϋποθέτει διαθέσιμη και συμβατή υποδομή.

3.1.4 ΤΟ TEN-T ΚΑΙ Η ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΡΟΔΟΥ

Ο Κανονισμός (ΕΕ) 2024/1679 αναδιοργάνωσε το TEN-T σε κεντρικό, εκτεταμένο κεντρικό και εκτεταμένο δίκτυο. Στο αγγλικό κείμενο χρησιμοποιούνται οι όροι core, extended core και comprehensive network. Το άρθρο 10 παράγραφος 2 διευκρινίζει ότι οι αναφορές του AFIR στο comprehensive network νοούνται ως αναφορές τόσο στο extended core όσο και στο comprehensive network του νέου κανονισμού (European Parliament and Council, 2024, Article 10(2)). Η διευκρίνιση διατηρεί το πεδίο εφαρμογής του AFIR μετά την αλλαγή της δομής του TEN-T.

Στο Παράρτημα II, η Ρόδος καταγράφεται ως αστικός κόμβος και ο θαλάσσιος λιμένας Ρόδου ως λιμένας της κατηγορίας Comprehensive. Η εγγραφή τεκμηριώνει ότι ο λιμένας βρίσκεται στο πεδίο των λιμένων TEN-T που εξετάζει το άρθρο 9 του AFIR. Δεν αρκεί, όμως, για να θεμελιώσει υποχρέωση εγκατάστασης. Χρειάζεται σωρευτικά να επιβεβαιωθούν το όριο των επιλέξιμων προσεγγίσεων με μέσο όρο τριετίας και η μη εφαρμογή της νησιωτικής εξαίρεσης. Σήμερα, η Ρόδος λειτουργεί ως μη διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό σύστημα. Με βάση αυτό το πραγματικό δεδομένο, ενεργοποιείται κατ' αρχήν η εξαίρεση του άρθρου 9 παράγραφος 3, εκτός αν αποδειχθεί επαρκής τοπική παραγωγική ικανότητα από μη ορυκτές πηγές.

Το αριθμητικό συμπέρασμα μπορεί να διατυπωθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια. Ο AFIR απαιτεί μέσο ετήσιο αριθμό άνω των 25 επιλέξιμων προσεγγίσεων κατά την τελευταία τριετία, δηλαδή περισσότερες από 75 προσεγγίσεις συνολικά. Οι 386 δυνητικά επιλέξιμες προσεγγίσεις του 2025 δίνουν μέσο όρο 128,7 ακόμη και υπό την ακραία υπόθεση μηδενικής κίνησης στα άλλα δύο έτη της τριετίας ($386/3 = 128,7$). Συνεπώς, δεν απαιτούνται στοιχεία των δύο προηγούμενων ετών για να αποδειχθεί η αριθμητική υπέρβαση του ορίου, εφόσον επιβεβαιωθούν τουλάχιστον 76 από τις προσεγγίσεις του 2025 ως επιλέξιμες κατά τον κανονισμό. Η διαπίστωση αυτή δεν υποκαθιστά τον επίσημο έλεγχο της σχετικής τριετίας κατά τον χρόνο εφαρμογής ούτε την επιβεβαίωση της πρόσδεσης σε προβλήτα. Ακόμη και αν το κριτήριο κίνησης επιβεβαιωθεί, η μη διασύνδεση της Ρόδου με το ηπειρωτικό σύστημα ενεργοποιεί κατ' αρχήν την ειδική εξαίρεση του άρθρου 9 παράγραφος 3. Δεν τεκμηριώνεται, επομένως, ανεπιφύλακτη υποχρέωση εγκατάστασης OPS έως το τέλος του 2029.

Το AFIR και το FuelEU Maritime δεν λειτουργούν απομονωμένα. Το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης αυξάνει σταδιακά το κόστος των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τη ναυτιλία, ενώ οι στόχοι έντασης αερίων του θερμοκηπίου του FuelEU Maritime ενισχύουν τη χρήση ενέργειας χαμηλότερου ανθρακικού αποτυπώματος. Η ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνει το πλοίο από OPS εξαιρείται από τον υπολογισμό της ετήσιας ενέργειας επί του πλοίου για τον δείκτη του άρθρου 4, όμως το πραγματικό περιβαλλοντικό όφελος για το ενεργειακό σύστημα εξαρτάται από το μείγμα ηλεκτροπαραγωγής. Η κανονιστική συμμόρφωση και η συνολική μείωση εκπομπών δεν είναι ταυτόσημες έννοιες, ιδίως σε νησί με σημαντική συμβατική παραγωγή.

Ο AFIR παραπέμπει επίσης σε κοινές τεχνικές προδιαγραφές για τη διαλειτουργικότητα των συστημάτων σύνδεσης. Οι οδηγίες της EMSA για τη χερσαία ηλεκτροδότηση δεν αποτελούν δεσμευτική νομοθεσία. Παρέχουν, όμως, πρακτική καθοδήγηση για τον σχεδιασμό, την ασφάλεια, την κατανομή αρμοδιοτήτων, τη διαχείριση κινδύνων και την εφαρμογή των προτύπων της σειράς IEC/IEEE 80005 (EMSA, 2022a; EMSA, 2022b). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται ως τεχνική πηγή και όχι ως βάση νομικής υποχρέωσης. Η διάκριση αποτρέπει τη σύγχυση μεταξύ κανονιστικών απαιτήσεων και προτεινόμενων πρακτικών εφαρμογής.

3.1.6 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

Το ευρωπαϊκό πλαίσιο προσδιορίζει τέσσερις ελέγχους για τη Ρόδο:

- **Επιβεβαίωση επιλέξιμων προσεγγίσεων:** Επιβεβαίωση ότι τουλάχιστον 76 από τις 386 δυνητικά επιλέξιμες προσεγγίσεις πραγματοποιήθηκαν σε θέση προβλήτας και δεν εμπίπτουν σε άλλη κανονιστική εξαίρεση.
- **Καθεστώς διασύνδεσης:** Επιβεβαίωση της ισχύουσας κατάστασης και του χρονικού ορίζοντα ηλεκτρικής διασύνδεσης της Ρόδου.
- **Επάρκεια μη ορυκτής παραγωγής:** Τεχνική αξιολόγηση της διαθέσιμης τοπικής παραγωγικής ικανότητας από μη ορυκτές πηγές κατά τις ώρες ελλειμνισμού.

- **Εθελοντική ανάπτυξη:** Εξέταση της τεχνικής και οικονομικής βιωσιμότητας του OPS πριν από τη δημιουργία δεσμευτικής υποχρέωσης.

Στοιχεία κίνησης του 2023 και του 2024 θα βελτίωναν την ιστορική ανάλυση, αλλά δεν αποτελούν αναγκαία προϋπόθεση για το συγκεκριμένο αριθμητικό συμπέρασμα.

Η κανονιστική ανάλυση απαντά κυρίως στο ερώτημα υπό ποιες προϋποθέσεις μπορεί να απαιτηθεί η εγκατάσταση και χρήση OPS. Δεν απαντά από μόνη της αν ο λιμένας και το ηλεκτρικό σύστημα της Ρόδου μπορούν να εξυπηρετήσουν ένα ή περισσότερα κρουαζιερόπλοια, ούτε ποιο θα είναι το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά τα ζητήματα απαιτούν ανάλυση αφίξεων, εκτίμηση φορτίου πλοίων, εξέταση ταυτοχρονισμού και αξιολόγηση της ισχύος του μη διασυνδεδεμένου συστήματος. Η εξαίρεση του AFIR, επομένως, δεν ακυρώνει το ερευνητικό αντικείμενο. Καθορίζει ότι η σκοπιμότητα του OPS στη Ρόδο πρέπει να εξεταστεί ως τεχνική, ενεργειακή και οικονομική επιλογή υπό μεταβαλλόμενες κανονιστικές συνθήκες, όχι ως ήδη δεδομένη υποχρέωση συμμόρφωσης.

3.2 ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ OPS

Η διεθνής εμπειρία δείχνει ότι η ανάπτυξη του OPS δεν ακολουθεί ένα ενιαίο τεχνικό ή οργανωτικό πρότυπο. Η κλίμακα της εγκατάστασης, η κατηγορία των πλοίων, η συχνότητα των προσεγγίσεων, η διάρκεια παραμονής, η διαθέσιμη ισχύς του δικτύου και το κανονιστικό καθεστώς μεταβάλλουν τόσο τον σχεδιασμό όσο και το επιχειρηματικό μοντέλο. Για τον λόγο αυτό, η ενότητα δεν αντιμετωπίζει τις διεθνείς περιπτώσεις ως λύσεις που μπορούν να αντιγραφούν στη Ρόδο. Τις χρησιμοποιεί για να εντοπίσει επιλογές σχεδιασμού, αναγκαίες προϋποθέσεις και κινδύνους που πρέπει να ελεγχθούν στη μελέτη περίπτωσης.

Η συγκριτική ανάλυση οργανώνεται γύρω από τέσσερις κύριες περιπτώσεις. Η Ηγουμενίτσα αποτυπώνει την ελληνική εμπειρία υλοποίησης και τον ρόλο του Διαχειριστή Δικτύου. Το Dubrovnik αποτελεί το πλησιέστερο παράδειγμα τουριστικού λιμένα με έντονη κίνηση κρουαζιέρας και σημαντικούς περιορισμούς ηλεκτρικού δικτύου. Η California παρέχει εμπειρία δεσμευτικής ρύθμισης, πραγματικής χρήσης και ωριαίας εκτίμησης φορτίου σε πολλούς λιμένες. Το Rotterdam τεκμηριώνει τη λειτουργία OPS κρουαζιέρας από το 2025 και ένα οργανωμένο μοντέλο σταδιακής ανάπτυξης. Η Barcelona και το Gothenburg εξετάζονται συντομότερα, επειδή προσφέρουν χρήσιμα στοιχεία στρατηγικού σχεδιασμού

και ωριμότητας, αλλά δεν αποτελούν άμεσα ανάλογα κρουαζιέρας για τη Ρόδο. Η Lisbon αξιοποιείται μόνο ως μεθοδολογική αναφορά για την προσομοίωση επιπτώσεων στο δίκτυο, όχι ως εφαρμοσμένο έργο.

3.2.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΟΡΙΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ

Η επιλογή των περιπτώσεων βασίστηκε σε τέσσερα κριτήρια: συνάφεια με την κρουαζιέρα, διαθεσιμότητα τεχνικών και λειτουργικών δεδομένων, σαφής σύνδεση του έργου με το ηλεκτρικό δίκτυο και δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων για τη Ρόδο. Δεν απαιτείται κάθε περίπτωση να ικανοποιεί εξίσου όλα τα κριτήρια. Η αξία της σύγκρισης προκύπτει από τη συμπληρωματικότητα. Το Dubrovnik και το Rotterdam αφορούν άμεσα κρουαζιερόπλοια, ενώ η Ηγουμενίτσα, η California και τα συμπληρωματικά παραδείγματα φωτίζουν διαφορετικές διαστάσεις, όπως η διακυβέρνηση, η ρύθμιση, η κλιμάκωση και η τυποποίηση.

Η μεταφερσιμότητα αξιολογείται χωριστά για τις τεχνικές, οργανωτικές και μεθοδολογικές επιλογές. Απόλυτα μεγέθη ισχύος ή κόστους δεν μεταφέρονται χωρίς προσαρμογή, επειδή οι λιμένες εξυπηρετούν διαφορετικούς στόλους και συνδέονται με διαφορετικά ηλεκτρικά συστήματα. Αντίθετα, μπορούν να μεταφερθούν διαδικασίες, όπως ο έγκαιρος έλεγχος επάρκειας του δικτύου, η ανάλυση ταυτόχρονων αφίξεων, η σταδιακή ανάπτυξη υποδομών, η σύναψη συμφωνιών με χρήστες και η παρακολούθηση της πραγματικής χρήσης. Αυτή η διάκριση περιορίζει τον κίνδυνο να χρησιμοποιηθούν εντυπωσιακά, αλλά μη συγκρίσιμα, διεθνή μεγέθη ως τεχνικές παραδοχές για τη Ρόδο.

3.2.2 ΗΓΟΥΜΕΝΙΤΣΑ: ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗ

Το έργο ALFION ξεκίνησε ως δράση μελετών και τεχνικού σχεδιασμού για τη μετατροπή του λιμένα Ηγουμενίτσας σε ενεργειακό κόμβο. Η συνέχεια ALFION-INFRA πέρασε από τον σχεδιασμό στην κατασκευή υποδομών. Το έργο προβλέπει τρία σημεία OPS, δύο ονομαστικής ισχύος 3 MVA και ένα 0,5 MVA, για την τροφοδότηση επιβατηγών και RoPax πλοίων. Περιλαμβάνει επίσης τεχνικές και περιβαλλοντικές μελέτες για μελλοντική θέση κρουαζιερόπλοιων. Τον Φεβρουάριο του 2026 ο ΔΕΔΔΗΕ ανακοίνωσε την υπογραφή της

σύμβασης κατασκευής των τριών σημείων, με προβλεπόμενη ολοκλήρωση εντός δεκαοκτώ μηνών (HEDNO, 2026; Enlit, 2026).

Το ALFION-INFRA έχει συνολικό προϋπολογισμό 8.925.000 ευρώ και χρηματοδοτείται κατά 85% από το Connecting Europe Facility - CEF 2 Transport, Cohesion Envelope. Συντονιστής είναι ο Οργανισμός Λιμένος Ηγουμενίτσας και η κοινοπραξία περιλαμβάνει έξι εταίρους, μεταξύ των οποίων ο ΔΕΔΔΗΕ και το ΕΜΠ. Η ίδια παρουσίαση καταγράφει χωριστά προϋπολογισμό 7,5 εκατ. ευρώ για την κατασκευή των τριών θέσεων OPS, δύο των 3 MVA και μίας των 0,5 MVA (ΔΕΔΔΗΕ, 2026a). Επομένως, τα 8,925 εκατ. ευρώ αφορούν το σύνολο του χρηματοδοτούμενου έργου, ενώ τα 7,5 εκατ. ευρώ το κατασκευαστικό αντικείμενο των θέσεων OPS. Η παρουσίαση δεν παρέχει πλήρη ανάλυση της διαφοράς ανά κατηγορία δαπάνης. Για τη σύγκριση με τη Ρόδο πρέπει να χρησιμοποιούνται ποσά με αντίστοιχο φυσικό αντικείμενο.

Η περίπτωση έχει ιδιαίτερη θεσμική σημασία επειδή ο Διαχειριστής Δικτύου συμμετέχει ενεργά στην ανάπτυξη της υποδομής και στην εξέταση επιχειρηματικού μοντέλου για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία. Η υλοποίηση δεν περιορίζεται στην εγκατάσταση εξοπλισμού πάνω στην προβλήτα. Απαιτεί αναβάθμιση του ενεργειακού δικτύου του λιμένα, συντονισμό με τον Οργανισμό Λιμένος, τεχνική τυποποίηση, διαχείριση φορτίου και εξασφάλιση χρηματοδότησης. Η σύνδεση του ALFION-INFRA με προηγούμενες μελέτες FEED δείχνει επίσης ότι η μετάβαση από τη σκοπιμότητα στην κατασκευή απαιτεί διαδοχικά στάδια τεχνικής ωρίμανσης.

Η μεταφερσιμότητα στη Ρόδο είναι υψηλή ως προς τη διαδικασία και χαμηλότερη ως προς τα αριθμητικά μεγέθη. Τα σημεία ισχύος 3 MVA σχεδιάστηκαν κυρίως για RoPax πλοία και δεν καλύπτουν από μόνα τους το ενδεικτικό φορτίο 8 έως 11 MW ενός μεγάλου κρουαζιερόπλοιου που εξετάζει η παρούσα εργασία. Συνεπώς, η Ηγουμενίτσα δεν αποτελεί τεχνικό πρότυπο διαστασιολόγησης για τη Ρόδο. Αποτελεί, όμως, ελληνικό πρότυπο συνεργασίας μεταξύ λιμένα, Διαχειριστή και ερευνητικών φορέων, καθώς και τεκμήριο ότι η εξέταση του δικτύου πρέπει να προηγείται της τελικής προμήθειας του εξοπλισμού.

3.2.3 DUBROVNIK: ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΟΣ ΛΙΜΕΝΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΓΚΗ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

Ο λιμένας Gruž στο Dubrovnik παρουσιάζει την ισχυρότερη λειτουργική ομοιότητα με τη Ρόδο ως προς τον τουριστικό χαρακτήρα, την εποχικότητα και την παρουσία μεγάλων κρουαζιερόπλοιων κοντά στον αστικό ιστό. Η μελέτη προκαταρκτικής σκοπιμότητας εξέτασε σύστημα τριών συνδέσεων των 15 MVA, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 45 MVA. Η ίδια μελέτη κατέληξε ότι το υφιστάμενο δίκτυο διανομής στην περιοχή Gruž δεν μπορούσε να υποστηρίξει φορτίο αυτού του μεγέθους και ότι απαιτούνταν αναβάθμιση του συστήματος μεταφοράς και διανομής (Dubrovnik Port Authority, 2019).

Η προτεινόμενη λύση περιλάμβανε νέο υποσταθμό 110/20 kV στην περιοχή Lapad, μετασχηματιστική ικανότητα για τις ανάγκες του λιμένα και του Διαχειριστή, καθώς και νέες γραμμές 110 kV και 20 kV. Η απαίτηση τήρησης του κριτηρίου ασφάλειας N-1 αύξανε την πολυπλοκότητα, επειδή ο σχεδιασμός έπρεπε να προβλέψει δύο γραμμές 110 kV ή μία διπλή γραμμή. Η πυκνή αστική δόμηση και η έλλειψη ελεύθερου διαδρόμου για καλώδια προσέθεταν χωροταξικό και κατασκευαστικό περιορισμό. Το παράδειγμα επιβεβαιώνει ότι η εγγύτητα μιας θέσης ελλιμενισμού σε υφιστάμενο δίκτυο μέσης τάσης δεν αποδεικνύει επάρκεια για φορτία κρουαζιέρας.

Η μελέτη εξέτασε επίσης εναλλακτικά συστήματα διαχείρισης καλωδίων, κινητό ή σταθερό cable management, τάσεις 6,6 και 11 kV και μετατροπή συχνότητας 50/60 Hz. Η επιλογή σταθερού εξοπλισμού μειώνει το κόστος, αλλά περιορίζει την ευελιξία ως προς το σημείο σύνδεσης διαφορετικών πλοίων. Η επιλογή κινητού εξοπλισμού αυξάνει την προσαρμοστικότητα, αλλά προσθέτει κόστος και λειτουργική πολυπλοκότητα. Το εύρημα έχει άμεση σημασία για τη Ρόδο, όπου η θέση πρόσδεσης, το μήκος των πλοίων και η πλευρά του ship-side connection πρέπει να αποτυπωθούν πριν επιλεγεί σύστημα καλωδίων.

Η οικονομική ανάλυση του Dubrovnik κατέταξε το έργο ως χρηματοοικονομικά μη αποδοτικό χωρίς σημαντική συγχρηματοδότηση, αλλά κοινωνικά ωφέλιμο λόγω της μείωσης εκπομπών και των εξωτερικών επιπτώσεων στην πόλη (Dubrovnik Port Authority, 2019). Το συμπέρασμα αφορά το Dubrovnik και τις τιμές ενέργειας, τα κόστη και τις κανονιστικές συνθήκες της περιόδου μελέτης. Δείχνει, όμως, ότι η κοινωνική αξία του OPS

και η χρηματοοικονομική απόδοση του φορέα επένδυσης αποτελούν διαφορετικά μεγέθη. Μια αξιολόγηση που τα συγγέει μπορεί να χαρακτηρίσει ένα έργο βιώσιμο χωρίς να προσδιορίζει ποιος αναλαμβάνει το κόστος και ποιος αποκομίζει το όφελος.

Οι Frkonić et al. (2024) εξέτασαν συμπληρωματικά τη λειτουργία OPS για κρουαζιερόπλοια στο ενεργειακό σύστημα της περιοχής με ωριαία προσομοίωση και σενάρια αυξημένης συμμετοχής ΑΠΕ. Η μελέτη δείχνει ότι το OPS μπορεί υπό συγκεκριμένες συνθήκες να αξιοποιήσει πλεονάζουσα ανανεώσιμη παραγωγή και να μειώσει λειτουργικό κόστος και εκπομπές. Ωστόσο, τα αποτελέσματα βασίζονται σε σενάρια για το 2030 και σε απλοποιημένη εκτίμηση των φορτίων πλοίων. Για τη Ρόδο, η αξία της μελέτης βρίσκεται στη συνεξέταση χρονικού προφίλ ζήτησης και παραγωγής, όχι στην άμεση μεταφορά των αποτελεσμάτων της.

3.2.4 CALIFORNIA: ΔΕΣΜΕΥΤΙΚΗ ΡΥΘΜΙΣΗ, ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΕΣ ΑΙΧΜΕΣ

Η California αποτελεί διαφορετικό τύπο περίπτωσης. Δεν αφορά ένα μεμονωμένο λιμάνι, αλλά ένα πολιτειακό κανονιστικό σύστημα που επιβάλλει μέτρα μείωσης εκπομπών σε πλοία κατά τον ελλιμενισμό. Ο αναθεωρημένος At-Berth Regulation καλύπτει σταδιακά πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, επιβατηγά πλοία, ψυγεία και, σε επόμενες φάσεις, δεξαμενόπλοια. Τα πλοία και οι τερματικοί σταθμοί οφείλουν να χρησιμοποιούν εγκεκριμένη στρατηγική ελέγχου εκπομπών, η οποία συνήθως είναι η σύνδεση με OPS. Τα στοιχεία επιβολής της California Air Resources Board κατέγραψαν ποσοστό συμμόρφωσης άνω του 95% για το 2024, γεγονός που αποδεικνύει ότι η υποχρεωτική χρήση μπορεί να επιτύχει υψηλή συμμόρφωση όταν συνδυάζεται με διαθέσιμη υποδομή, παρακολούθηση και κυρώσεις (CARB, 2025).

Η μελέτη των Cho, Meng και Sturup (2025) εκτίμησε την ωριαία ζήτηση OPS για όλους τους λιμένες της California σε 8.760 ώρες και ανέπτυξε σενάρια έως το 2050. Για το σενάριο ευρείας εφαρμογής, η ετήσια ζήτηση εκτιμήθηκε σε 524 GWh και η μέγιστη ισχύς σε 121 MW για το 2022, ενώ για το 2050 οι αντίστοιχες τιμές αυξάνονταν σε 660 GWh και 152 MW. Παρά τα μεγέθη αυτά, η ετήσια κατανάλωση παρέμενε κάτω από 0,2% της προβλεπόμενης συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας της πολιτείας. Το εύρημα

διαχωρίζει δύο επίπεδα επίδρασης: μικρή συμμετοχή στη συνολική ετήσια κατανάλωση, αλλά σημαντική στιγμιαία ισχύς σε συγκεκριμένους λιμένες και ώρες.

Η κρουαζιέρα επηρεάζει ιδιαίτερα την αιχμή. Σε επιμέρους σενάριο της μελέτης, έξι ταυτόχρονα κρουαζιερόπλοια αντιστοιχούσαν σε 69 MW από συνολική αιχμή 97 MW. Επομένως, ο αριθμός των ταυτόχρονων πλοίων μπορεί να είναι σημαντικότερος από την ετήσια ενέργεια για τη διαστασιολόγηση της σύνδεσης. Η παρατήρηση στηρίζει άμεσα την επιλογή της παρούσας εργασίας να εξετάσει χωριστά ένα μεγάλο κρουαζιερόπλοιο και δύο ταυτόχρονες αφίξεις στη Ρόδο. Η ημερήσια ή ετήσια άθροιση αφίξεων δεν επαρκεί, επειδή αποκρύπτει την ώρα εμφάνισης της αιχμής και τη σύμπτωσή της με το φορτίο του νησιού.

Η μελέτη εκτίμησε επίσης ουσιαστικά οφέλη δημόσιας υγείας από τη μείωση PM_{2.5}, περίπου 30 αποτρεπόμενους πρόωρους θανάτους ετησίως στο εξεταζόμενο σενάριο. Το αποτέλεσμα δεν μεταφέρεται ποσοτικά στη Ρόδο, λόγω διαφορών στον πληθυσμό, στο μείγμα πλοίων, στις μετεωρολογικές συνθήκες και στο ενεργειακό σύστημα. Μεταφέρεται όμως η ανάγκη να διαχωρίζονται τα τοπικά οφέλη ποιότητας αέρα από τη συνολική μεταβολή εκπομπών του ηλεκτρικού συστήματος. Ένα OPS που τροφοδοτείται από συμβατικές μονάδες μπορεί να μειώνει τις εκπομπές δίπλα στον λιμένα, χωρίς ισόποση μείωση σε επίπεδο νησιού.

Η California έχει χαμηλή άμεση συγκρισιμότητα με τη Ρόδο, επειδή διαθέτει μεγάλο διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό σύστημα, πολλούς λιμένες και δεκαετίες κανονιστικής εφαρμογής. Παρέχει, όμως, ισχυρό μεθοδολογικό πρότυπο για ωριαία ανάλυση, ταυτόχρονες αφίξεις, διάκριση ενέργειας και ισχύος, καθώς και έλεγχο πραγματικής χρήσης. Δείχνει επίσης ότι η κατασκευή υποδομής δεν αποτελεί επαρκή δείκτη επιτυχίας. Χρειάζονται στοιχεία για τον αριθμό επιλέξιμων προσεγγίσεων, τις συνδέσεις που πραγματοποιήθηκαν, τις εξαιρέσεις και τη συμμόρφωση.

3.2.5 ROTTERDAM: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ OPS ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΑΣ ΚΑΙ ΣΤΑΔΙΑΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Το Rotterdam αποτελεί την πιο πρόσφατη κύρια ευρωπαϊκή περίπτωση λειτουργικού OPS κρουαζιέρας. Η εγκατάσταση στο Holland Amerikakade τέθηκε επίσημα σε λειτουργία στις 31 Μαρτίου 2025, μετά από περίοδο κατασκευής 22 μηνών, και το AIDAnova ήταν το

πρώτο κρουαζιερόπλοιο που συνδέθηκε. Το έργο περιλαμβάνει καλωδιοδιάδρομο μήκους 230 m και ειδικό κινητό όχημα σύνδεσης, ώστε το σημείο παροχής να προσαρμόζεται στη θέση του ship-side connection διαφορετικών πλοίων (Port of Rotterdam Authority, 2025). Η λύση αντιμετωπίζει ένα πρακτικό πρόβλημα που εμφανίζεται και στη Ρόδο, τη μεταβολή της γεωμετρίας σύνδεσης ανάλογα με το μήκος, τη διάταξη και τη θέση πρόσδεσης του κρουαζιερόπλοιου.

Η κατασκευή συνδέθηκε με νέα ηλεκτρική σύνδεση μήκους περίπου 1,5 km και με συνεργασία της Λιμενικής Αρχής, του Δήμου, του Διαχειριστή Δικτύου, του αναδόχου και εξειδικευμένων τεχνικών εταιρειών. Το αναφερόμενο κόστος κατασκευής ανήλθε περίπου σε 15 εκατ. ευρώ. Η χρηματοδότηση και η διακυβέρνηση δεν περιορίστηκαν σε διμερή σχέση λιμένα και ναυτιλιακής εταιρείας. Το έργο απαιτούσε συντονισμό δημόσιων φορέων, Διαχειριστή, τεχνικών αναδόχων και χρηστών. Αυτό αποτελεί σημαντικότερο εύρημα για τη Ρόδο από το ίδιο το ποσό της επένδυσης, το οποίο δεν είναι άμεσα συγκρίσιμο λόγω διαφορετικής κλίμακας, δικτύου και κατασκευαστικού περιβάλλοντος.

Κατά την έναρξη λειτουργίας είχε τεθεί στόχος σύνδεσης άνω του 75% των κρουαζιερόπλοιων κατά το πρώτο έτος. Ο στόχος αυτός αποτελεί πρόβλεψη και όχι μετρημένο συντελεστή αξιοποίησης. Η διάκριση είναι κρίσιμη, επειδή οι ανακοινώσεις έργων συχνά συγχέουν την τεχνική διαθεσιμότητα με την πραγματική χρήση. Η αξιολόγηση του Rotterdam θα χρειαστεί μεταγενέστερα στοιχεία για τις επιλέξιμες προσεγγίσεις, τις επιτυχείς συνδέσεις, τις ασυμβατότητες και τις ώρες παροχής. Μέχρι να δημοσιευθούν τέτοια δεδομένα, το case τεκμηριώνει την επιχειρησιακή έναρξη και τη διαδικασία υλοποίησης, όχι ακόμη τη μακροχρόνια απόδοση της επένδυσης.

Η Shore Power Strategy 2025-2035 του Rotterdam οργανώνει την ανάπτυξη ανά κατηγορία πλοίου και τμήμα του λιμένα, αντί να προτείνει μία ομοιόμορφη λύση. Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει διαφορετικά χρονοδιαγράμματα, βαθμό ωριμότητας και οργανωτικά μοντέλα για κρουαζιέρα, επιβατηγά, εμπορευματοκιβώτια και άλλες δραστηριότητες (Municipality of Rotterdam and Port of Rotterdam Authority, 2025). Η προσέγγιση αναγνωρίζει ότι η κανονιστική προθεσμία του 2030 δεν εξαλείφει τις διαφορές μεταξύ terminals. Για τη Ρόδο, αυτό στηρίζει μια σταδιακή στρατηγική που ξεκινά από τις θέσεις και τις αφίξεις με τη μεγαλύτερη πιθανότητα χρήσης, αντί για ταυτόχρονη ηλεκτροδότηση όλων των θέσεων.

Η μεταφερσιμότητα είναι υψηλή ως προς το cable management, τη διακυβέρνηση, τον συντονισμό με το δίκτυο και τη σταδιακή ανάπτυξη. Είναι χαμηλότερη ως προς την ηλεκτρική επάρκεια και τη χρηματοδότηση, επειδή το Rotterdam είναι μεγάλος διασυνδεδεμένος βιομηχανικός λιμένας. Η λειτουργία του δείχνει ότι ένα σύστημα OPS κρουαζιέρας μπορεί να ενσωματωθεί σε υφιστάμενη αστική προβλήτα. Η καταλληλότητα της ίδιας λύσης για μη διασυνδεδεμένο νησιωτικό σύστημα παραμένει αντικείμενο τοπικού ελέγχου.

3.2.6 ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ: BARCELONA ΚΑΙ GOTHENBURG

Η Barcelona εφαρμόζει σταδιακή ανάπτυξη μέσω του προγράμματος Nexigen. Το πιλοτικό OPS στο container terminal BEST παρέχει έως 8 MW, συνδέει ταυτόχρονα δύο πλοία και μετατρέπει την τάση από 25 kV σε 6,6 kV, με υποστήριξη 50 και 60 Hz. Προηγήθηκαν νέο εσωτερικό δίκτυο μέσης τάσης περίπου 3 km και πιλοτική εγκατάσταση, πριν από την προβλεπόμενη επέκταση σε άλλους τερματικούς σταθμούς (Port of Barcelona, 2024). Για τη Ρόδο, το χρήσιμο στοιχείο είναι η σταδιακή ανάπτυξη μετά τον έλεγχο του δικτύου και της αναμενόμενης χρήσης. Η κλίμακα του Barcelona και ο προσανατολισμός του πιλοτικού έργου σε εμπορευματοκιβώτια περιορίζουν την άμεση τεχνική σύγκριση.

Το Gothenburg λειτουργεί OPS από το 2000, κυρίως σε τακτικές γραμμές RoRo και επιβατηγών πλοίων. Ο λιμένας συνδυάζει συμφωνίες με ναυτιλιακές εταιρείες, χερσαία υποδομή και περιβαλλοντικές εκπτώσεις στα λιμενικά τέλη. Οι επαναλαμβανόμενες προσεγγίσεις σταθερών γραμμών μειώνουν τον κίνδυνο χαμηλής χρήσης, συνθήκη που δεν ισχύει στον ίδιο βαθμό για τον ετερογενή και εποχικό στόλο κρουαζιέρας της Ρόδου.

Η λύση Green Cable για δεξαμενόπλοια παρέχει έως 2 MW ανά προβλήτα στα 6,6 kV και 50 Hz, με εξοπλισμό για ATEX Zone 1. Μαζί με τη μελέτη KAJ-EL, αναδεικνύει την ανάγκη έγκαιρης συνεργασίας λιμένα, ναυτιλιακών εταιρειών, Διαχειριστή, προμηθευτών και ρυθμιστικών αρχών, καθώς και ελέγχου ισχύος, ζήτησης, κόστους και επιχειρηματικού μοντέλου πριν από την επένδυση (Costa et al., 2022). Η περίπτωση προσφέρει οργανωτικό πρότυπο, όχι βάση διαστασιολόγησης κρουαζιερόπλοιων στη Ρόδο.

Η συγκριτική εξέταση δεν αναδεικνύει ένα κυρίαρχο πρότυπο, αλλά μια κοινή ακολουθία αποφάσεων. Το OPS αντιμετωπίζεται πρώτα ως νέο ηλεκτρικό φορτίο, στη συνέχεια ως λιμενική εγκατάσταση και τέλος ως υπηρεσία προς τα πλοία. Όπου αντιστρέφεται αυτή η σειρά, υπάρχει κίνδυνος να επιλεγεί εξοπλισμός χωρίς εξασφαλισμένη ισχύ ή χωρίς επαρκή χρήση. Το Dubrovnik δείχνει το μέγεθος των αναγκών ενισχύσεων όταν το υφιστάμενο δίκτυο δεν επαρκεί. Η California δείχνει ότι η ετήσια ενέργεια μπορεί να είναι μικρή σε επίπεδο συστήματος, ενώ η ωριαία τοπική αιχμή παραμένει υψηλή. Το Rotterdam δείχνει την ανάγκη προσαρμοσμένου cable management και πολυμερούς διακυβέρνησης. Η Ηγουμενίτσα δείχνει πώς ο Διαχειριστής μπορεί να συμμετάσχει από το στάδιο σχεδιασμού και κατασκευής.

Από τις περιπτώσεις προκύπτουν έξι προϋποθέσεις που πρέπει να ελεγχθούν στη Ρόδο:

- **Πραγματική ζήτηση:** Απαιτείται αντιστοίχιση κάθε άφιξης με πλοίο, GT, διάρκεια παραμονής, δυνατότητα OPS, εκτιμώμενο φορτίο και θέση ελλιμενισμού. Ο συνολικός αριθμός αφίξεων δεν αρκεί.
- **Ταυτόχρονη ισχύς:** Η διαστασιολόγηση πρέπει να βασιστεί στην ώρα αιχμής και να εξετάσει τουλάχιστον τα σενάρια ενός πλοίου 8 έως 11 MW και δύο πλοίων 16 έως 22 MW.
- **Έλεγχος ηλεκτρικού συστήματος:** Ο Διαχειριστής πρέπει να αξιολογήσει επίπεδο σύνδεσης, διαθέσιμη ισχύ, κριτήριο ασφάλειας, αναγκαίες ενισχύσεις, απώλειες και επίδραση στις θερινές αιχμές του νησιού.
- **Σταδιακή ανάπτυξη:** Η πρώτη φάση πρέπει να στοχεύσει στις θέσεις και στα πλοία με υψηλότερη πιθανότητα χρήσης και να επιτρέπει μελλοντική επέκταση χωρίς πρόωρη κατασκευή πλήρους υποδομής.
- **Συμφωνίες και τιμολόγηση:** Πριν από την επένδυση χρειάζονται ενδείξεις δέσμευσης από εταιρείες κρουαζιέρας, σαφής κατανομή κόστους και μηχανισμός τιμολόγησης της ηλεκτρικής ενέργειας και της υπηρεσίας σύνδεσης.

- **Δείκτες λειτουργίας:** Η αξιολόγηση πρέπει να διακρίνει διαθέσιμες θέσεις, συμβατά πλοία, επιλέξιμες προσεγγίσεις, επιτυχείς συνδέσεις, ώρες παροχής, ενέργεια και εξαιρέσεις.

Η Lisbon συμπληρώνει αυτή τη σύνθεση σε μεθοδολογικό επίπεδο. Οι Pereira, Amaro και Lopes (2026) χρησιμοποίησαν πραγματικά δεδομένα 296 κρουαζιερόπλοιων, φορτία υποσταθμών ανά 15 λεπτά και μοντέλο του δικτύου διανομής για να εξετάσουν ροές φορτίου, συμφόρηση, αποθήκευση και αναβάθμιση δικτύου. Η μελέτη δεν τεκμηριώνει λειτουργικό OPS στη Lisbon και επομένως δεν παρουσιάστηκε ως ισότιμη διεθνής εφαρμογή. Παρέχει όμως το πλησιέστερο πρότυπο για το επόμενο αναλυτικό βήμα της Ρόδου, τη χρονική σύζευξη αφίξεων, φορτίου OPS και καμπύλης ζήτησης του τοπικού συστήματος.

Η διεθνής εμπειρία υποστηρίζει τελικά μια περιορισμένη, αλλά σαφή θέση. Η εφαρμογή OPS στη Ρόδο δεν μπορεί να κριθεί μόνο από την ευρωπαϊκή υποχρέωση, τον αριθμό αφίξεων ή μια τυπική τιμή ισχύος κρουαζιερόπλοιου. Χρειάζεται συνδυασμός ωριαίας ανάλυσης ζήτησης, ελέγχου του μη διασυνδεδεμένου συστήματος, τεχνικής προσαρμογής στη γεωμετρία του λιμένα και εκ των προτέρων συμφωνίας για χρήση και χρηματοδότηση. Οι διεθνείς περιπτώσεις προσδιορίζουν τους ελέγχους που απαιτούνται για τη Ρόδο, χωρίς να επιτρέπουν οριστική οικονομική αξιολόγηση του έργου.

Πίνακας 3.1. Συγκριτική αποτύπωση των διεθνών περιπτώσεων OPS

Λιμένας / περίπτωση	Ισχύς	Τάση	Στάδιο	Μεταφερσιμότητα στη Ρόδο
Ηγουμενίτσα	2×3 MVA και $1 \times 0,5$ MVA	Δεν προσδιορίζεται στις πηγές της ενότητας	Υπό κατασκευή	Υψηλή ως προς διαδικασία και ρόλο Διαχειριστή, χαμηλή ως προς διαστασιολόγηση κρουαζιέρας

Λιμένας / περίπτωση	Ισχύς	Τάση	Στάδιο	Μεταφερσιμότητα στη Ρόδο
Dubrovnik	3 × 15 MVA, 45 MVA συνολικά	110/20 kV δίκτυο, 6,6 ή 11 kV προς πλοίο	Προκαταρκτι κή μελέτη	Υψηλή ως προς τουριστικό χαρακτήρα, εποχικότητα και ανάγκη ενίσχυσης δικτύου
California	Διαφέρει ανά λιμένα, αιχμή συστήματος 121 MW στο σενάριο 2022	Διαφέρει ανά εγκατάσταση	Ωριμη ρυθμιζόμενη λειτουργία	Μέση, κυρίως για ωριαία ανάλυση, ταυτόχρονες αφίξεις και δείκτες χρήσης
Rotterdam	Δεν προσδιορίζεται στις πηγές της ενότητας	Δεν προσδιορίζεται στις πηγές της ενότητας	Λειτουργικό από το 2025	Μέση προς υψηλή για cable management, διακυβέρνηση και σταδιακή ανάπτυξη
Barcelona	Έως 8 MW στο πilotικό BEST	25 kV προς 6,6 kV, 50/60 Hz	Πilotική λειτουργία	Μέση για σταδιακή ανάπτυξη, χαμηλή για άμεση σύγκριση κρουαζιέρας
Gothenburg	Έως 2 MW ανά προβλήτα στη λύση Green Cable	6,6 kV, 50 Hz	Ωριμη λειτουργία σε επιλεγμένες κατηγορίες πλοίων	Μέση ως προς συμφωνίες χρηστών και επιχειρηματικό μοντέλο, χαμηλή για διαστασιολόγηση κρουαζιέρας

3.3 ΑΝΑΛΥΣΗ PESTEL ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ OPS ΣΤΗ

ΡΟΔΟ

Η ανάλυση PESTEL χρησιμοποιείται για να οργανώσει τους εξωτερικούς παράγοντες που επηρεάζουν την υιοθέτηση του OPS στη Ρόδο σε έξι διαστάσεις: πολιτική, οικονομική, κοινωνική, τεχνολογική, περιβαλλοντική και νομική. Δεν αποτελεί αυτοτελή απόδειξη σκοπιμότητας και δεν υποκαθιστά την ποσοτική ανάλυση ισχύος, ενέργειας και κόστους που ακολουθεί. Λειτουργεί ως πλαίσιο σύνθεσης των ευρημάτων της βιβλιογραφίας, του κανονιστικού πλαισίου και της διεθνούς εμπειρίας, με έμφαση στους παράγοντες που πρέπει να ενσωματωθούν στη λήψη απόφασης για έναν μη διασυνδεδεμένο νησιωτικό λιμένα.

Οι έξι διαστάσεις δεν λειτουργούν ανεξάρτητα. Η ευρωπαϊκή πολιτική δημιουργεί κίνητρα και μελλοντικές υποχρεώσεις, αλλά η εφαρμογή εξαρτάται από τη χρηματοδότηση, την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, τη διαθεσιμότητα ισχύος, τη συμβατότητα πλοίου και λιμένα και τη συνεργασία των εμπλεκόμενων φορέων. Αντίστοιχα, ένα έργο μπορεί να μειώνει τις τοπικές εκπομπές, χωρίς να επιτυγχάνει αντίστοιχη μείωση των συνολικών εκπομπών, όταν η πρόσθετη ηλεκτρική ενέργεια παράγεται κυρίως από ορυκτά καύσιμα. Η ανάλυση, επομένως, εξετάζει τις αλληλεξαρτήσεις και όχι μια απλή καταγραφή ευκαιριών και απειλών.

3.3.1 ΠΟΛΙΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, το OPS εντάσσεται στην πολιτική απανθρακοποίησης της ναυτιλίας και στην ανάπτυξη υποδομών εναλλακτικών καυσίμων. Ο AFIR κατευθύνει την ανάπτυξη χερσαίων υποδομών στους λιμένες του TEN-T, ενώ το FuelEU Maritime δημιουργεί σταδιακά υποχρέωση χρήσης για επιβατηγά πλοία και πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Για τη Ρόδο, η πολιτική πίεση για έγκαιρη προετοιμασία παραμένει ουσιαστική, ακόμη και αν η ειδική εξαίρεση του AFIR για μη διασυνδεδεμένα νησιά αναστέλλει σήμερα την άμεση υποχρέωση εγκατάστασης. Η εξαίρεση δεν αποτελεί μακροχρόνια στρατηγική. Οι συνθήκες μπορούν να μεταβληθούν με τη διασύνδεση του νησιού, την αύξηση της τοπικής μη ορυκτής παραγωγής ή νεότερες εθνικές αποφάσεις εφαρμογής (European Parliament and Council, 2023a, 2023b).

Στην Ελλάδα, το Σχέδιο Ανάπτυξης Δικτύου 2026 έως 2030 καταγράφει κοινή ομάδα εργασίας του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας και του Υπουργείου Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής, με συμμετοχή των Διαχειριστών, και αναφέρει πρόταση χρηματοδότησης εγκαταστάσεων OPS και συνοδών έργων δικτύου από το Ταμείο Απανθρακοποίησης Νησιών. Το ίδιο σχέδιο εντάσσει τη Ρόδο στους λιμένες όπου απαιτούνται εκτεταμένες ενισχύσεις δικτύου (ΔΕΔΔΗΕ, 2025). Το στοιχείο τεκμηριώνει πολιτικό και τεχνικό προγραμματισμό, όχι εγκεκριμένη χρηματοδότηση ή οριστική επενδυτική απόφαση για τον λιμένα της Ρόδου.

Εσωτερική σύνθεση του ΔΕΔΔΗΕ για ευρωπαϊκές περιπτώσεις OPS καταγράφει άνισο βαθμό ωριμότητας: περίπου οι μισές χώρες του δείγματος είχαν προχωρήσει σε μερική ανάπτυξη υποδομών και λίγες πλησίαζαν την πλήρη ανάπτυξη. Η ίδια ανάλυση διακρίνει τρία επιχειρηματικά μοντέλα, τα οποία κατανέμουν διαφορετικά την κυριότητα, τη λειτουργία και τις ροές εσόδων μεταξύ λιμένα, προμηθευτή ενέργειας, Διαχειριστή Δικτύου και πλοιοκτητήριας εταιρείας. Οι κύριοι κίνδυνοι αφορούν την τιμολόγηση, τη σταθερότητα του δικτύου και τη συνέχεια της υπηρεσίας (ΔΕΔΔΗΕ, 2026a).

Η ανάλυση αναφέρει επίσης ότι η τελική τιμή OPS συνήθως υπερβαίνει τη συνήθη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας, επειδή ενσωματώνει κόστος υποδομής και υπηρεσιών. Για αυτό χρησιμοποιούνται φορολογικές απαλλαγές, κρατικές ενισχύσεις και συγχρηματοδότηση που συχνά καλύπτει το 50% έως 90% του κόστους υποδομής. Τα συστήματα συνδέονται συνήθως απευθείας με τον τοπικό Διαχειριστή Δικτύου, ο οποίος διαχειρίζεται τις αναβαθμίσεις και, σε ορισμένες περιπτώσεις, συμμετέχει στην εγκατάσταση, τη λειτουργία ή τη συντήρηση. Ο ΔΕΔΔΗΕ προβάλλει αυτή τη διεθνή πρακτική ως επιχείρημα υπέρ κεντρικού δικού του ρόλου στην Ελλάδα. Πρόκειται για θεσμική πρόταση του Διαχειριστή και όχι για ανεξάρτητη απόδειξη ότι το συγκεκριμένο μοντέλο είναι καταλληλότερο για τη Ρόδο (ΔΕΔΔΗΕ, 2026a).

Η πολιτική διάσταση περιλαμβάνει επίσης το μοντέλο διακυβέρνησης. Η ανάπτυξη OPS απαιτεί κατανομή αρμοδιοτήτων μεταξύ λιμενικού φορέα, Διαχειριστή Δικτύου, προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας, ναυτιλιακών εταιρειών και αρμόδιων υπουργείων. Η βιβλιογραφία δείχνει ότι η απουσία σαφούς φορέα συντονισμού και δεσμεύσεων χρήσης διατηρεί το πρόβλημα αμοιβαίας αναμονής: ο λιμένας διστάζει να επενδύσει χωρίς

εξασφαλισμένη ζήτηση και οι εταιρείες διστάζουν να εξοπλίσουν τα πλοία χωρίς διαθέσιμες συνδέσεις (Williamsson et al., 2022; Ennis et al., 2025). Για τη Ρόδο, η πολιτική ωρίμανση πρέπει να περιλαμβάνει κοινό χρονοδιάγραμμα, ορισμό φορέα υλοποίησης και έγκαιρη διαβούλευση με τις εταιρείες κρουαζιέρας.

Οι Ennis et al. (2026) εξετάζουν το ζήτημα με πολυκριτηριακό μοντέλο βελτιστοποίησης, το οποίο συνδυάζει συναρτήσεις ελαστικότητας της ζήτησης με δυναμική εξίσωση ταλάντωσης του ηλεκτρικού συστήματος. Η μελέτη εντοπίζει κίνδυνο μονοπωλιακής τιμολόγησης και αναποτελεσματικών επενδύσεων στα μοντέλα με ενδιάμεσο φορέα, ενώ το μοντέλο Facilitator βελτιώνει την κοινωνική ευημερία αλλά μπορεί να υποβαθμίσει την ευστάθεια του δικτύου. Ως εναλλακτική προτείνει το Extension-to-Grid, στο οποίο ο Διαχειριστής Δικτύου αναλαμβάνει τον συντονισμό, με στόχο καλύτερη ισορροπία μεταξύ αποδοτικότητας, ευστάθειας και προστασίας των χρηστών. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε ενδεικτικά σενάρια, πραγματικά δεδομένα τιμών και εφαρμογή σε δύο ελληνικούς λιμένες. Δεν αποδεικνύουν αυτομάτως ότι το μοντέλο είναι κατάλληλο για τη Ρόδο, αλλά παρέχουν το βασικό πλαίσιο αξιολόγησής του.

Σύμφωνα με τον κ. Μαμμάση, ο ΔΕΔΔΗΕ εξετάζει το Extension-to-Grid ως μοντέλο που στοχεύει να εφαρμόσει στην Ελλάδα (Κ. Μαμμάσης, προσωπική επικοινωνία, 3 Αυγούστου 2026). Η πληροφορία αποτυπώνει κατεύθυνση του Διαχειριστή, όχι εγκεκριμένο ρυθμιστικό πλαίσιο ή οριστική απόφαση εφαρμογής.

3.3.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Η οικονομική βιωσιμότητα εξαρτάται από δύο διαφορετικές αξιολογήσεις. Η πρώτη αφορά τη χρηματοοικονομική απόδοση του φορέα που επενδύει και λειτουργεί την υποδομή. Η δεύτερη αφορά την κοινωνικοοικονομική αξία από τη μείωση εκπομπών, θορύβου και επιπτώσεων στην υγεία. Οι δύο αξιολογήσεις δεν ταυτίζονται. Ένα έργο μπορεί να παρουσιάζει θετικό κοινωνικό αποτέλεσμα, αλλά ανεπαρκείς χρηματοροές για τον λιμένα, ιδιαίτερα όταν το κόστος σύνδεσης και ενίσχυσης δικτύου είναι υψηλό και η χρήση περιορίζεται από την εποχικότητα της κρουαζιέρας (Innes and Monios, 2018; Williamsson et al., 2022).

Για τη Ρόδο, κρίσιμοι οικονομικοί παράγοντες είναι το αρχικό κόστος του υποσταθμού, των μετασχηματιστών, των μετατροπέων συχνότητας και του συστήματος διαχείρισης καλωδίων, καθώς και το κόστος των απαιτούμενων ενισχύσεων του δικτύου. Προστίθενται το κόστος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, οι ρυθμιζόμενες χρεώσεις, οι απώλειες, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, το κόστος ισχύος αιχμής και η απόδοση κεφαλαίου. Από την πλευρά του πλοίου, η χρήση εξαρτάται από τη σύγκριση της τελικής τιμής OPS με το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τις βοηθητικές μηχανές, στο οποίο επιδρούν η τιμή καυσίμου, το EU ETS και οι τυχόν φορολογικές ελαφρύνσεις (Bignucolo et al., 2025).

Σε προκαταρκτική τεχνικοοικονομική ενημέρωση για τη Ρόδο εξετάζεται διάταξη τεσσάρων θέσεων κρουαζιέρας, συνολικής ονομαστικής ικανότητας 64 MVA, με ενδεικτικό κόστος 28,5 εκατ. ευρώ. Οι τιμές αποτελούν βάση προκαταρκτικού σχεδιασμού και δεν τεκμηριώνουν εγκεκριμένο προϋπολογισμό ή τελική διαστασιολόγηση. Η οικονομική ανάλυση πρέπει, συνεπώς, να ελέγξει αν η πραγματική ζήτηση και ο αναμενόμενος βαθμός χρήσης δικαιολογούν την πλήρη ανάπτυξη τεσσάρων θέσεων ή μια σταδιακή υλοποίηση (Κ. Μαμμάσης, προσωπική επικοινωνία, 3 Αυγούστου 2026).

Η εποχικότητα και οι ταυτόχρονες αφίξεις δημιουργούν αντίρροπες επιδράσεις. Μεγαλύτερος αριθμός συνδέσεων αυξάνει τις πωλήσεις ενέργειας και μειώνει το μοναδιαίο κόστος της υποδομής. Ωστόσο, η συγκέντρωση της ζήτησης σε θερινούς μήνες και σε περιορισμένες ώρες αυξάνει την απαιτούμενη ισχύ και μπορεί να επιβάλλει επενδύσεις που παραμένουν υποχρησιμοποιημένες για μεγάλο μέρος του έτους. Το οικονομικό αποτέλεσμα δεν μπορεί συνεπώς να εξαχθεί από τον ετήσιο αριθμό αφίξεων. Χρειάζεται συνδυασμός διάρκειας παραμονής, εκτιμώμενου φορτίου, ταυτοχρονισμού και ρεαλιστικού ποσοστού σύνδεσης. Η δημόσια ή ευρωπαϊκή συγχρηματοδότηση μπορεί να περιορίσει το κεφαλαιουχικό βάρος, αλλά δεν διορθώνει ένα μη βιώσιμο μοντέλο λειτουργίας ούτε εξασφαλίζει επαρκή χρήση.

Η επιλογή επιχειρηματικού μοντέλου επηρεάζει άμεσα την τελική τιμή OPS και την κατανομή του επενδυτικού κινδύνου. Η ανάλυση των Ennis et al. (2026) δείχνει ότι η αποδοτικότητα δεν εξαρτάται μόνο από το ύψος της ζήτησης και το CAPEX, αλλά και από το ποιος ορίζει τις τιμές, ποιος συντονίζει τις επενδύσεις δικτύου και ποιος φέρει τον κίνδυνο μη διαθεσιμότητας. Για τη Ρόδο, η οικονομική αξιολόγηση πρέπει να συγκρίνει το

Extension-to-Grid με εναλλακτικά μοντέλα και όχι να το θεωρήσει εκ των προτέρων βέλτιστο.

3.3.3 ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Η κοινωνική διάσταση συνδέεται πρωτίστως με την έκθεση του πληθυσμού σε ατμοσφαιρικούς ρύπους από πλοία και λιμενικές δραστηριότητες. Η διεθνής βιβλιογραφία συσχετίζει αυτή την έκθεση με πρόωρη θνησιμότητα και καρδιοαναπνευστική νοσηρότητα, με εντονότερη επιβάρυνση σε πληθυσμούς κοντά σε λιμένες και διαδρομές υψηλής ναυτιλιακής κίνησης (Mueller et al., 2023). Επειδή το OPS επιτρέπει την παύση των βοηθητικών ηλεκτρομηχανών κατά τον ελλιμενισμό, μπορεί να περιορίσει τις τοπικές εκπομπές στην περιοχή επαφής λιμένα και πόλης. Το όφελος έχει ιδιαίτερη σημασία για έναν τουριστικό λιμένα κοντά στον αστικό ιστό, αλλά δεν μπορεί να ποσοτικοποιηθεί για τη Ρόδο χωρίς τοπική απογραφή εκπομπών, μοντέλο διασποράς και δεδομένα πληθυσμιακής έκθεσης.

Το OPS μπορεί επίσης να μειώσει τον θόρυβο και τους κραδασμούς που προέρχονται από τη λειτουργία των βοηθητικών μηχανών. Δεν εξαλείφει το σύνολο του λιμενικού θορύβου, επειδή συνεχίζουν να λειτουργούν συστήματα κλιματισμού, αντλίες, λέβητες, οχήματα και λοιπός εξοπλισμός πλοίου και λιμένα (Abu Bakar et al., 2023; Wang et al., 2024). Επομένως, η επίδραση στην ποιότητα ζωής πρέπει να παρουσιάζεται ως δυνητικό όφελος και όχι ως μετρημένο αποτέλεσμα για τη Ρόδο.

Η κοινωνική αποδοχή αποτελεί διακριτό ζήτημα. Δεν υπάρχουν διαθέσιμα τοπικά δεδομένα από κατοίκους, εργαζομένους ή επαγγελματικούς φορείς που να αποδεικνύουν ότι η εγκατάσταση OPS θα αυξήσει την αποδοχή της κρουαζιέρας στη Ρόδο. Ούτε τεκμηριώνεται εφαρμογή της έννοιας social license to operate. Η λήψη απόφασης πρέπει, παρ' όλα αυτά, να περιλαμβάνει ενημέρωση και διαβούλευση, επειδή το κόστος, οι κατασκευαστικές παρεμβάσεις, οι περιβαλλοντικές προσδοκίες και τα οφέλη κατανέμονται άνισα μεταξύ φορέων. Η συνεργασία κυβέρνησης, λιμένα, Διαχειριστή και ναυτιλιακών εταιρειών αποτελεί τεκμηριωμένη προϋπόθεση εφαρμογής, ενώ η στάση της τοπικής κοινωνίας παραμένει πεδίο που απαιτεί πρωτογενή έρευνα (Wang et al., 2024).

Η τεχνολογική διάσταση αφορά τη διαθεσιμότητα ισχύος, τη διαλειτουργικότητα και τη λειτουργική προσαρμογή της εγκατάστασης στον στόλο. Τα μεγάλα κρουαζιερόπλοια μπορούν να δημιουργήσουν φορτία αρκετών MW, ενώ δύο ταυτόχρονες συνδέσεις πολλαπλασιάζουν τη στιγμιαία απαίτηση. Η διεθνής εμπειρία δείχνει ότι η συνολική ετήσια ενέργεια μπορεί να είναι μικρή σε σχέση με ένα ηλεκτρικό σύστημα, αλλά η τοπική αιχμή να απαιτεί σημαντική ενίσχυση υποσταθμών και γραμμών. Για αυτό, η επάρκεια του δικτύου πρέπει να ελεγχθεί πριν από την τελική επιλογή εξοπλισμού (Cho et al., 2025; Costa et al., 2022).

Στη Ρόδο, το ΣΑΔ 2026 έως 2030 αναγνωρίζει ανάγκη εκτεταμένων ενισχύσεων δικτύου για την εξυπηρέτηση OPS, χωρίς να οριστικοποιεί την ισχύ της εγκατάστασης (ΔΕΔΔΗΕ, 2025). Συμπληρωματική τεχνική ενημέρωση της Διεύθυνσης Διαχείρισης Νησιών περιγράφει, σε προκαταρκτικό επίπεδο, τροφοδότηση από το δίκτυο μέσης τάσης των 20 kV και ονομαστική ικανότητα έως 16 MVA για μία μεγάλη θέση κρουαζιερόπλοιου. Για τη σύνδεση αναφέρει ένα ή δύο υπόγεια καλώδια XLPE 20 kV, διατομής 400 mm², ανάλογα κυρίως με την απόσταση από τον υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ. Η αναφορά δεν αποτελεί οριστική μελέτη σύνδεσης (Ε. Λεωνιδάκη, προσωπική επικοινωνία, 3 Αυγούστου 2026).

Ξεχωριστά, εσωτερική βιντεοσκοπημένη παρουσίαση του ΔΕΔΔΗΕ περιλαμβάνει συγκεντρωτικό πίνακα για τους ελληνικούς λιμένες που εξετάζονται στο πλαίσιο του AFIR. Για τη Ρόδο καταγράφει ονομαστική ισχύ εξοπλισμού 72 MVA, μέγιστη εκτιμώμενη ζήτηση 70 MVA, τρέχουσα ισχύ 4,7 MVA, πρόσθετη απαιτούμενη ισχύ δικτύου 22 MVA έως το 2030, κόστος υποδομών OPS 36,1 εκατ. ευρώ και κόστος ενίσχυσης του ανάντη δικτύου 4,2 εκατ. ευρώ (ΔΕΔΔΗΕ, 2026b). Η παρουσίαση αυτή δεν είναι δημόσια προσβάσιμη και δεν μπορεί να επαληθευτεί ανεξάρτητα από τρίτο αναγνώστη, τα στοιχεία παρατίθενται όπως κοινοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Τα 72 MVA ισούνται με το άθροισμα των τεσσάρων θέσεων κρουαζιέρας των 64 MVA και των δύο θέσεων επιβατηγών και οχηματαγωγών των 8 MVA που κοινοποιήθηκαν χωριστά. Αντίστοιχα, τα επιμέρους κόστη 28,5 και 7,5 εκατ. ευρώ αθροίζονται σε 36,0 εκατ. ευρώ, τιμή πρακτικά ίση με τα 36,1 εκατ. ευρώ του πίνακα (Κ. Μαμμάσης, προσωπική επικοινωνία, 3 Αυγούστου 2026). Η συμφωνία δείχνει εσωτερική αριθμητική συνέπεια, όχι

ανεξάρτητη διασταύρωση, επειδή τα στοιχεία συνδέονται με την ίδια υποκείμενη προκαταρκτική μελέτη.

Η ονομαστική ικανότητα των 16 MVA εκφράζει το ανώτατο επίπεδο σχεδιασμού μιας θέσης και όχι τη σταθερή κατανάλωση κάθε πλοίου. Για αυτό, η τεχνική αξιολόγηση πρέπει να συνδυάσει τη μέγιστη ισχύ κάθε πλοίου, τις ώρες ταυτόχρονης παρουσίας και το φορτίο του νησιού στις ίδιες ώρες. Το σενάριο δύο μεγάλων πλοίων λειτουργεί ως έλεγχος ακραίας φόρτισης και όχι ως πρόβλεψη καθημερινής ζήτησης. Η ονομαστική παραγωγική ικανότητα του νησιού δεν ισοδυναμεί με διαθέσιμη ισχύ στο συγκεκριμένο σημείο και χρόνο.

Η ευστάθεια δεν ταυτίζεται με την επάρκεια εγκατεστημένης ισχύος. Το μοντέλο των Ennis et al. (2026) ενσωματώνει τη δυναμική απόκριση του συστήματος, ώστε να συνδέσει τις αποφάσεις αγοράς και τιμολόγησης με τον κίνδυνο διαταραχών ή διακοπής τροφοδότησης. Στη Ρόδο, η διαθέσιμη ωριαία καμπύλη φορτίου επιτρέπει έλεγχο χρονικής σύμπτωσης και περιθωρίου ισχύος, όχι πλήρη δυναμική μελέτη ευστάθειας. Μια τέτοια μελέτη απαιτεί πρόσθετα ηλεκτροτεχνικά δεδομένα και προσομοίωση από τον Διαχειριστή.

Η πρόσθετη ισχύς των 22 MVA για τη Ρόδο αντιστοιχεί στο 15,7% των περίπου 140 MVA που ο ΔΕΔΔΗΕ εκτιμά ότι μπορεί να διαθέσει συνολικά έως το 2030 στους εξεταζόμενους ελληνικούς λιμένες. Η αναλογία κατατάσσει τη Ρόδο στις περιπτώσεις με υψηλή απαίτηση ενίσχυσης, αλλά δεν προσδιορίζει σειρά προτεραιότητας. Ο πίνακας χαρακτηρίζεται ως προκαταρκτική ανάλυση βάσει στοιχείων κίνησης του 2023 και παραπέμπει σε μελέτη τεχνικού συμβούλου για λογαριασμό του ΥΝΑΝΠ και του ΤΑΠΠΕΔ. Η πλήρης μελέτη υπόκειται σε συμφωνία εμπιστευτικότητας και δεν χρησιμοποιείται ως αυτοτελής βιβλιογραφική πηγή. Τα συγκεντρωτικά στοιχεία λειτουργούν ως αρχικές εκτιμήσεις και όχι ως εγκεκριμένη μελέτη σύνδεσης (ΔΕΔΔΗΕ, 2026b; Κ. Μαμμάσης, προσωπική επικοινωνία, 3 Αυγούστου 2026).

Η διαλειτουργικότητα περιλαμβάνει τάση σύνδεσης, συχνότητα 50 ή 60 Hz, σύστημα γείωσης, προστασίες, επικοινωνία πλοίου και ξηράς και θέση του ship-side connection. Η ανομοιογένεια του στόλου μπορεί να απαιτήσει μετατροπείς συχνότητας και ευέλικτο σύστημα διαχείρισης καλωδίων, αυξάνοντας το κόστος και τη λειτουργική πολυπλοκότητα. Τα πρότυπα της σειράς IEC/IEEE 80005 περιορίζουν τον τεχνικό κίνδυνο, αλλά δεν καταργούν την ανάγκη καταγραφής των χαρακτηριστικών των πλοίων που προσεγγίζουν τη

Ρόδο. Συμπληρωματικά, η ενσωμάτωση ΑΠΕ, αποθήκευσης, συστημάτων διαχείρισης ενέργειας και ελέγχου φορτίου μπορεί να μειώσει αιχμές ή εκπομπές, αλλά απαιτεί ξεχωριστή τεχνικοοικονομική αξιολόγηση και δεν πρέπει να θεωρηθεί δεδομένο μέρος του βασικού έργου (Lyridis et al., 2023).

3.3.5 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Το άμεσο περιβαλλοντικό πλεονέκτημα του OPS είναι η μετατόπιση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τις βοηθητικές μηχανές του πλοίου προς το χερσαίο ηλεκτρικό σύστημα. Στον λιμένα, αυτό μειώνει τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου, οξειδίων του θείου, αιωρούμενων σωματιδίων και, ανάλογα με το σύστημα αναφοράς, διοξειδίου του άνθρακα. Η τοπική βελτίωση της ποιότητας του αέρα παραμένει ουσιαστική ακόμη και όταν η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται εκτός της λιμενικής ζώνης. Ωστόσο, το συνολικό ισοζύγιο αερίων του θερμοκηπίου εξαρτάται από το ενεργειακό μείγμα, τις αποδόσεις παραγωγής και μεταφοράς και το καύσιμο που υποκαθίσταται στο πλοίο (Zis, 2019; European Maritime Safety Agency and European Environment Agency, 2025).

Η διάκριση αυτή είναι κρίσιμη για τη Ρόδο. Σε μη διασυνδεδεμένο σύστημα με σημαντική συμβατική παραγωγή, το OPS δεν είναι εξ ορισμού λύση μηδενικών εκπομπών. Πρέπει να συγκριθούν οι εκπομπές της πρόσθετης χερσαίας παραγωγής με τις εκπομπές των βοηθητικών μηχανών, κατά τις πραγματικές ώρες ελλιμενισμού. Η αυξημένη συμμετοχή ΑΠΕ μπορεί να βελτιώσει το αποτέλεσμα. Μελέτες απομονωμένων συστημάτων δείχνουν ότι η θερινή ζήτηση κρουαζιέρας μπορεί, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, να συμπίπτει με υψηλή ηλιακή παραγωγή και να περιορίζει την απόρριψη ανανεώσιμης ενέργειας. Το εύρημα αποτελεί υπόθεση προς έλεγχο για τη Ρόδο και όχι μεταφέρσιμο αποτέλεσμα, επειδή εξαρτάται από το ωριαίο ισοζύγιο και τη δομή του τοπικού συστήματος (Frković et al., 2024).

Η περιβαλλοντική αξιολόγηση πρέπει επίσης να λάβει υπόψη τις επιπτώσεις των έργων δικτύου και λιμενικής υποδομής, όπως νέους υποσταθμούς, καλωδιακές οδεύσεις, μετατροπείς και παρεμβάσεις στις προβλήτες. Η συγκέντρωση της ανάλυσης μόνο στις εκπομπές κατά τον ελλιμενισμό θα υποεκτιμούσε τα κατασκευαστικά και χωροταξικά

ζητήματα. Στο επίπεδο της παρούσας εργασίας, τα ζητήματα αυτά αναγνωρίζονται ως προϋποθέσεις αδειοδότησης και σχεδιασμού, χωρίς ποσοτική ανάλυση κύκλου ζωής.

3.3.6 ΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Η νομική διάσταση καθορίζει το πεδίο και τον χρόνο των υποχρεώσεων. Η Ρόδος καταγράφεται ως αστικός κόμβος και ο λιμένας Ρόδου ως λιμένας του εκτεταμένου δικτύου TEN-T. Η ταξινόμηση τον εντάσσει στο πεδίο εξέτασης του άρθρου 9 του AFIR, αλλά δεν δημιουργεί αυτοτελώς υποχρέωση OPS (European Parliament and Council, 2024). Χρειάζεται να συντρέχουν το όριο των επιλέξιμων προσεγγίσεων και οι λοιπές προϋποθέσεις του AFIR. Επιπλέον, η Ρόδος καλύπτεται κατ' αρχήν από την ειδική εξαίρεση για νησιά που δεν συνδέονται άμεσα με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο, μέχρι να ολοκληρωθεί η διασύνδεση ή να υπάρχει επαρκής τοπική ηλεκτρική ενέργεια από μη ορυκτές πηγές (European Parliament and Council, 2023a).

Η εξαίρεση αυτή έχει μεταβατικό χαρακτήρα στην περίπτωση της Ρόδου. Σύμφωνα με το Πρόγραμμα Ανάπτυξης Παραγωγής ΜΔΝ 2024-2030 του ΔΕΔΔΗΕ, η διασύνδεση της Ρόδου εντάσσεται στην Α' Φάση Διασύνδεσης των Νήσων του Νοτιοανατολικού Αιγαίου με το ΕΣΜΗΕ και αναμένεται να ολοκληρωθεί εντός του 2028 (ΔΕΔΔΗΕ, 2024). Το αντίστοιχο έργο στο Δεκαετές Πρόγραμμα Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς 2025-2034 του ΑΔΜΗΕ προσδιορίζει εκτιμώμενη ολοκλήρωση κατασκευής τον Ιούνιο του 2028, με το χρονοδιάγραμμα να έχει ήδη αναθεωρηθεί μία φορά (ΑΔΜΗΕ, 2024). Ο συνολικός προϋπολογισμός της διασύνδεσης των Δωδεκανήσων με το ηπειρωτικό σύστημα ανέρχεται σε 1,45 δισ. € (Προεδρία της Κυβέρνησης, 2023). Επομένως, η σημερινή δυνατότητα εφαρμογής της εξαίρεσης του άρθρου 9(3) του AFIR πρέπει να εξετάζεται σε συνδυασμό με τον προγραμματισμένο μετασχηματισμό του ηλεκτρικού καθεστώτος του νησιού, με την ακριβή χρονική ολοκλήρωση της διασύνδεσης να εξακολουθεί να υπόκειται σε αβεβαιότητα λόγω του ήδη καταγεγραμμένου επαναπρογραμματισμού.

Η νομική εξαίρεση από τον στόχο υποδομής δεν απαγορεύει εθελοντική εγκατάσταση και δεν αίρει την ανάγκη παρακολούθησης του FuelEU Maritime. Από το 2035, επιβατηγά πλοία άνω των 5.000 GT οφείλουν να χρησιμοποιούν διαθέσιμο OPS και σε άλλους λιμένες κράτους μέλους, υπό τις προϋποθέσεις και εξαιρέσεις του κανονισμού. Επομένως, μια

επένδυση στη Ρόδο πρέπει να σχεδιαστεί με συμβατότητα προς το ενωσιακό πλαίσιο, ακόμη και αν δεν υφίσταται σήμερα ανεπιφύλακτη υποχρέωση εγκατάστασης έως το τέλος του 2029 (European Parliament and Council, 2023b).

Πέρα από τους δύο κανονισμούς, απαιτούνται σαφείς όροι σύνδεσης, αδειοδότησης και λειτουργίας, κατανομή ευθύνης για την ηλεκτρική ασφάλεια, συμμόρφωση με τεχνικά πρότυπα και συμβατικό πλαίσιο για την προμήθεια και τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Πρέπει επίσης να καθοριστούν η κυριότητα της υποδομής, η πρόσβαση των χρηστών, η μέτρηση, η εκκαθάριση και η αντιμετώπιση περιπτώσεων μη διαθεσιμότητας ή ασυμβατότητας. Η ανάπτυξη μιας ανοικτής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας για λιμένες μπορεί να στηρίξει διαφάνεια και ανταγωνισμό, αλλά τα προτεινόμενα μοντέλα παραμένουν σε μεγάλο βαθμό εννοιολογικά και χρειάζονται προσαρμογή στο ελληνικό ρυθμιστικό πλαίσιο (Manos et al., 2023).

3.3.7 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΡΟΔΟ

Η ανάλυση δείχνει ότι η υιοθέτηση OPS στη Ρόδο δεν κρίνεται από έναν μεμονωμένο παράγοντα. Η ευρωπαϊκή πολιτική και η μελλοντική κανονιστική κατεύθυνση δημιουργούν λόγο έγκαιρης προετοιμασίας, ενώ ο ελληνικός σχεδιασμός αναγνωρίζει τόσο τη δυνατότητα χρηματοδότησης όσο και την ανάγκη εκτεταμένων ενισχύσεων δικτύου. Παράλληλα, η μη διασύνδεση του νησιού περιορίζει την άμεση νομική πίεση και αυξάνει την τεχνική και περιβαλλοντική αβεβαιότητα. Το κύριο ζήτημα δεν είναι αν το OPS παρουσιάζει γενικά οφέλη, αλλά αν μπορεί να παρέχει επαρκή και ανταγωνιστικά τιμολογημένη ηλεκτρική ενέργεια στις πραγματικές ώρες ζήτησης χωρίς να θέτει σε κίνδυνο το τοπικό σύστημα.

Με βάση τα παραπάνω, το Extension-to-Grid αποτελεί βασικό υποψήφιο μοντέλο για την ελληνική εφαρμογή και ειδικά για μια περίπτωση με αυξημένους περιορισμούς δικτύου. Στην παρούσα εργασία, το Extension-to-Grid εξετάζεται ως μοντέλο διακυβέρνησης και λειτουργίας που εντοπίζεται στη βιβλιογραφία, χωρίς αυτοτελή αξιολόγηση της εφαρμογής του στη Ρόδο. Η ανάλυση δεν το αντιμετωπίζει ως ήδη θεσμοθετημένη ή αποδεδειγμένα βέλτιστη λύση για τη Ρόδο.

Τρεις αλληλεξαρτήσεις καθορίζουν την επόμενη φάση της αξιολόγησης. Πρώτον, η ισχύς και ο ταυτοχρονισμός των αφίξεων καθορίζουν τις απαιτήσεις δικτύου και το κεφαλαιουχικό κόστος. Δεύτερον, η τιμή και το μείγμα της χερσαίας ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζουν τόσο την οικονομική ελκυστικότητα για τα πλοία όσο και το πραγματικό περιβαλλοντικό όφελος. Τρίτον, η χρηματοδότηση και το μοντέλο διακυβέρνησης καθορίζουν ποιος αναλαμβάνει την επένδυση και αν η υποδομή θα χρησιμοποιείται επαρκώς. Οι σχέσεις αυτές συνδέουν τα ευρήματα της PESTEL με ζητήματα που πρέπει να εξετάσει ο σχεδιασμός μιας εγκατάστασης OPS, όπως η ταυτόχρονη εξυπηρέτηση πλοίων, οι απαιτήσεις σύνδεσης, ο βαθμός χρήσης της υποδομής και τα σχήματα χρηματοδότησης. Η παρούσα εργασία εξετάζει όσα από τα ζητήματα αυτά καλύπτουν τα διαθέσιμα δεδομένα και η επιλεγμένη μεθοδολογία, ενώ τα υπόλοιπα αποτελούν πεδία περαιτέρω διερεύνησης.

Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία, δεν τεκμηριώνεται ακόμη οριστική θετική ή αρνητική απόφαση για OPS στη Ρόδο. Τεκμηριώνεται, όμως, ότι η τεχνική προμελέτη δικτύου, η επίσημη επιβεβαίωση των επιλέξιμων προσεγγίσεων, περιλαμβανομένης της θέσης ελλιμενισμού και των κανονιστικών εξαιρέσεων, η αποτύπωση της συμβατότητας του στόλου και η διαμόρφωση επιχειρηματικού μοντέλου αποτελούν αναγκαία επόμενα βήματα. Η ποσοτική ανάλυση της εργασίας εξετάζει τα δύο πρώτα τεχνικοοικονομικά επίπεδα, δηλαδή τη ζήτηση ισχύος και ενέργειας και τη σχέση της με το σύστημα και το κόστος της Ρόδου. Δεν επιχειρεί να αποδώσει μετρημένα υγειονομικά οφέλη ή κοινωνική αποδοχή χωρίς πρωτογενή τοπικά δεδομένα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Η παρούσα έρευνα εξετάζει τη δυνατότητα εφαρμογής συστήματος ηλεκτροδότησης κρουαζιερόπλοιων από ξηρά στον λιμένα της Ρόδου. Η ανάλυση ακολουθεί διαδοχική λογική. Αρχικά προσδιορίζει το θεσμικό, οικονομικό, τεχνικό και λειτουργικό πλαίσιο εφαρμογής του OPS και στη συνέχεια εξετάζει τις ενεργειακές και τεχνικές προϋποθέσεις του στο επίπεδο του συγκεκριμένου λιμένα και του τοπικού ηλεκτρικού συστήματος.

Η Ρόδος επιλέχθηκε ως μελέτη περίπτωσης επειδή συνδυάζει χαρακτηριστικά που συνδέονται άμεσα με τον σκοπό και τα ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας. Αποτελεί νησιωτικό προορισμό με σημαντική δραστηριότητα κρουαζιέρας, ενώ, κατά την εξεταζόμενη περίοδο του 2025, ο λιμένας και το ηλεκτρικό σύστημα λειτουργούσαν σε συνθήκες διαφορετικές από εκείνες ενός διασυνδεδεμένου ηπειρωτικού λιμένα. Η πιθανή λειτουργία του OPS δεν αφορά επομένως μόνο την εγκατάσταση λιμενικού εξοπλισμού. Δημιουργεί πρόσθετη ηλεκτρική ζήτηση, η οποία πρέπει να εξεταστεί σε σχέση με τη χρονική κατανομή των αφίξεων, την ταυτόχρονη παρουσία πλοίων και τις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Ρόδου. Η επιλογή της περίπτωσης δεν αποσκοπεί στη στατιστική γενίκευση των συμπερασμάτων σε όλους τους νησιωτικούς λιμένες, αλλά στη λεπτομερή εξέταση της σχέσης μεταξύ λιμενικής δραστηριότητας, ζήτησης OPS και τοπικού ηλεκτρικού συστήματος σε μία συγκεκριμένη περίπτωση.

Η επιλογή μίας ενιαίας μελέτης περίπτωσης αποτελεί κατάλληλη ερευνητική στρατηγική, επειδή το εξεταζόμενο πρόβλημα είναι σύνθετο και εξαρτάται από τη συνδυασμένη επίδραση παραγόντων που δεν μπορούν να αξιολογηθούν επαρκώς ως ανεξάρτητα μεγέθη. Η εφαρμογή του OPS συνδέεται ταυτόχρονα με το θεσμικό πλαίσιο, τη λειτουργία του λιμένα, τα χαρακτηριστικά της κρουαζιέρας, τις ενεργειακές απαιτήσεις των πλοίων και τη δυνατότητα τροφοδότησής τους από το τοπικό σύστημα. Η απομόνωση ενός μόνο από αυτά τα στοιχεία θα παρείχε αποσπασματική εικόνα του ερευνητικού προβλήματος.

Ο ερευνητικός σχεδιασμός διακρίνει την ποιοτική από την ποσοτική διάσταση της έρευνας. Η ποιοτική διάσταση βασίζεται στη βιβλιογραφική ανασκόπηση, στην εξέταση του

θεσμικού πλαισίου και στην ανάλυση PESTEL, με σκοπό την οργανωμένη αξιολόγηση των παραγόντων που επηρεάζουν την εφαρμογή του OPS. Η ποσοτική διάσταση βασίζεται στην επεξεργασία πραγματικών δεδομένων για τη δραστηριότητα κρουαζιέρας στον λιμένα της Ρόδου και τη λειτουργία του τοπικού ηλεκτρικού συστήματος. Ο συνδυασμός τους επιτρέπει να εξεταστούν τόσο οι συνθήκες υιοθέτησης της τεχνολογίας όσο και το μέγεθος και η χρονική διάσταση των ενεργειακών απαιτήσεων που αυτή δημιουργεί.

Βασική μεθοδολογική επιλογή της ποσοτικής διερεύνησης αποτελεί η χρονική αντιστοίχιση δύο συνόλων πραγματικών λειτουργικών δεδομένων. Η εκτίμηση της ζήτησης OPS βασίζεται στις πραγματικές ώρες άφιξης και αναχώρησης των κρουαζιερόπλοιων, ATA και ATD, στον λιμένα της Ρόδου. Επομένως, η διάρκεια παραμονής και η χρονική συνύπαρξη των πλοίων προκύπτουν από την καταγεγραμμένη λιμενική κίνηση και όχι από υποθετικά πρότυπα αφίξεων. Αντίστοιχα, η εκτιμώμενη ζήτηση OPS συσχετίζεται με πραγματικά ωριαία δεδομένα λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος της Ρόδου, τα οποία προέρχονται από τον ΔΕΔΔΗΕ. Η επιλογή αυτή περιορίζει την εξάρτηση της ανάλυσης από γενικευμένες παραδοχές και ενισχύει την αντιστοίχισή της με τις χρονικές και λειτουργικές συνθήκες της εξεταζόμενης περίπτωσης. Επιπλέον, η ποσοτική ανάλυση διακρίνει δύο διαφορετικά μεγέθη με ανεξάρτητη μεθοδολογική αντιμετώπιση: τη μέση ισχύ και ενέργεια, που τροφοδοτούν την εκτίμηση κατανάλωσης και κόστους, και τη μέγιστη απαιτούμενη ισχύ, που τροφοδοτεί την αξιολόγηση των αναγκών σύνδεσης και διαστασιολόγησης. Η μεθοδολογική βάση αυτής της διάκρισης αναλύεται στην ενότητα 4.3.

Η αντιστοίχιση των ερευνητικών ερωτημάτων με τις επιμέρους μεθοδολογικές προσεγγίσεις διασφαλίζει ότι κάθε στάδιο της έρευνας εξυπηρετεί συγκεκριμένο αναλυτικό σκοπό. Τα δύο πρώτα ερωτήματα εξετάζονται κυρίως ποιοτικά, επειδή αφορούν κατηγορίες παραγόντων και συνθήκες υιοθέτησης. Το τρίτο εξετάζεται κυρίως ποσοτικά, καθώς απαιτεί εκτίμηση της ενεργειακής ζήτησης και συσχέτισή της με τα λειτουργικά μεγέθη του συστήματος. Το τέταρτο απαιτεί συνδυαστική προσέγγιση, επειδή συνδέει την τεχνική αξιολόγηση των προϋποθέσεων τροφοδότησης με την ποσοτική εκτίμηση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 4.1. Αντιστοίχιση ερευνητικών ερωτημάτων, μεθοδολογικών προσεγγίσεων και κύριων δεδομένων

Ερευνητικό ερώτημα	Μεθοδολογική προσέγγιση	Κύρια δεδομένα και πηγές δεδομένων
RQ1	Ποιοτική σύνθεση και θεματική ταξινόμηση των τεκμηριωμένων οφελών, εμποδίων και προϋποθέσεων εφαρμογής, με εστίαση στα χαρακτηριστικά των μη διασυνδεδεμένων νησιωτικών λιμένων.	Επιστημονική βιβλιογραφία και μελέτες εφαρμογής OPS
RQ2	Ποιοτική ανάλυση PESTEL του ευρωπαϊκού και ελληνικού περιβάλλοντος και εφαρμογή των επιμέρους παραγόντων στην περίπτωση της Ρόδου.	Επιστημονική βιβλιογραφία, ευρωπαϊκό και ελληνικό θεσμικό πλαίσιο
RQ3	Ποσοτική επεξεργασία πραγματικών δεδομένων λιμενικής κίνησης και λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος, εκτίμηση της ζήτησης ενέργειας και ισχύος και χρονική συσχέτισή της με τη λειτουργία του συστήματος.	Cruise Dataset Ρόδου 2025, ATA και ATD, ωριαία λειτουργικά δεδομένα ΔΕΔΔΗΕ
RQ4	Συνδυαστική τεχνική και ποσοτική αξιολόγηση των απαιτήσεων τροφοδότησης, συμπεριλαμβανομένης της μέγιστης απαιτούμενης ισχύος σύνδεσης, και εκτίμηση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας με βάση την εκτιμώμενη λειτουργία του OPS.	Τεχνικά στοιχεία OPS, δεδομένα λιμενικής κίνησης και δεδομένα ΔΕΔΔΗΕ

4.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ, ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Η εμπειρική διερεύνηση συνδυάζει πρωτογενή λειτουργικά δεδομένα με δευτερογενείς βιβλιογραφικές, τεχνικές και κανονιστικές πηγές. Το ερευνητικό υλικό οργανώνεται σε τέσσερις ομάδες: δεδομένα δραστηριότητας κρουαζιέρας, δεδομένα λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος, βιβλιογραφικές πηγές εκτίμησης ενεργειακών απαιτήσεων και τεχνικές και κανονιστικές πηγές. Οι αναγκαίες παραδοχές, οι οποίες απορρέουν από ελλείψεις ή περιορισμούς των διαθέσιμων δεδομένων, παρουσιάζονται στο τέλος της ενότητας.

Πίνακας 4.2. Ομάδες δεδομένων, κύριες πηγές και ρόλος στην έρευνα

Ομάδα δεδομένων	Περιεχόμενο	Κύριες πηγές	Ρόλος στην έρευνα
Δεδομένα δραστηριότητας κρουαζιέρας	Προσεγγίσεις κρουαζιερόπλοιων στον λιμένα της Ρόδου το 2025, ώρες άφιξης και αναχώρησης, διάρκεια παραμονής, λειτουργική κατάσταση και τεχνικά χαρακτηριστικά πλοίων	Greek Cruise, VesselFinder, CruiseMapper και MarineTraffic	Προσδιορισμός του αριθμού και της χρονικής κατανομής των δυνητικά επιλέξιμων προσεγγίσεων και διαμόρφωση των σεναρίων ζήτησης OPS
Δεδομένα λειτουργίας ηλεκτρικού συστήματος	Ωριαίο φορτίο, εγκατεστημένη ισχύς, παραγωγή συμβατικών μονάδων και ΑΠΕ, μηνιαίο κόστος συμβατικής παραγωγής και μεσοσταθμική τιμή παραγωγής ΑΠΕ για την περίοδο 2023 έως 2025	ΔΕΔΔΗΕ, Διεύθυνση Διαχείρισης Νησιών και Διεύθυνση Πελατών Δικτύου, Τομέας Εκκαθάρισης	Αποτύπωση των λειτουργικών, παραγωγικών και οικονομικών συνθηκών του τοπικού ηλεκτρικού συστήματος

Ομάδα δεδομένων	Περιεχόμενο	Κύριες πηγές	Ρόλος στην έρευνα
		Εκπροσώπων Φορτίου ΜΔΝ	
Βιβλιογραφικές πηγές εκτίμησης ενεργειακών απαιτήσεων	Δημοσιευμένα δεδομένα και σχέσεις εκτίμησης της ζήτησης ισχύος των κρουαζιερόπλοιων κατά τον ελλιμενισμό	Amaral et al. (2023), Espinosa et al. (2016), Abu Bakar et al. (2023) και Brækken et al. (2023)	Εκτίμηση των απαιτήσεων ισχύος και ενέργειας OPS ανά πλοίο και προσέγγιση και σύγκριση της τάξης μεγέθους των αποτελεσμάτων.
Τεχνικές και κανονιστικές πηγές	Πρότυπα σύνδεσης πλοίου και ξηράς, τεχνικές παράμετροι τροφοδότησης και ευρωπαϊκές υποχρεώσεις για την παροχή και χρήση OPS	IEC/IEEE 80005, τεχνικά στοιχεία ΔΕΔΔΗΕ, Prousalidis et al., Κανονισμοί (ΕΕ) 2023/1804 και 2023/1805	Τεχνική και κανονιστική οριοθέτηση της ανάλυσης και προκαταρκτική αξιολόγηση των προϋποθέσεων εφαρμογής του OPS

Δεδομένα δραστηριότητας κρουαζιέρας

Το Cruise Dataset Ρόδου 2025 αποτελεί το κύριο λειτουργικό σύνολο δεδομένων της έρευνας. Τα στοιχεία των προσεγγίσεων προέρχονται από το Greek Cruise. Το σύνολο περιλαμβάνει 418 προσεγγίσεις και 80 μοναδικά κρουαζιερόπλοια. Για κάθε προσέγγιση καταγράφει το πλοίο, την ημερομηνία, τις διαθέσιμες ώρες άφιξης και αναχώρησης, τη διάρκεια παραμονής και τη λειτουργική κατάστασή της. Το αρχικό σύνολο διατηρεί τις ακυρωμένες ή μη πραγματοποιηθείσες προσεγγίσεις, διασφαλίζοντας την ιχνηλασιμότητα των αρχικών εγγράφων.

Το αρχείο μοναδικών πλοίων περιλαμβάνει τον αριθμό IMO, την εταιρεία κρουαζιέρας, την ολική χωρητικότητα, το ολικό μήκος, τη χωρητικότητα επιβατών και το έτος κατασκευής. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πλοίων προέρχονται από τις βάσεις VesselFinder, CruiseMapper και MarineTraffic.

Δεδομένα λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος

Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τις ωριαίες τιμές φορτίου του Ηλεκτρικού Συστήματος Ρόδου για τα έτη 2023 έως 2025, οι οποίες προέρχονται από τη Διεύθυνση Διαχείρισης Νησιών του ΔΕΔΔΗΕ. Τα δεδομένα καλύπτουν πλήρως και τα τρία έτη και επιτρέπουν τη διαχρονική εξέταση της εποχικής και ημερήσιας διακύμανσης του φορτίου και των αιχμών του συστήματος. Οι τιμές του 2025 χρησιμοποιούνται επιπλέον για τη χρονική αντιστοίχιση του φορτίου του συστήματος με τις προσεγγίσεις κρουαζιερόπλοιων του ίδιου έτους.

Τα στοιχεία εγκατεστημένης ισχύος και παραγωγής των συμβατικών μονάδων και των μονάδων ΑΠΕ για την περίοδο 2023 έως 2025 προέρχονται από τη Διεύθυνση Πελατών Δικτύου του ΔΕΔΔΗΕ. Τα στοιχεία αποτυπώνουν τη σύνθεση και τη διαχρονική εξέλιξη του τοπικού παραγωγικού δυναμικού, χωρίς να υποκαθιστούν ειδική μελέτη επάρκειας ή σύνδεσης.

Επιπλέον, η ομάδα αυτή περιλαμβάνει μηνιαία στοιχεία κόστους παραγωγής, τα οποία προέρχονται από τον Τομέα Εκκαθάρισης Εκπροσώπων Φορτίου ΜΔΝ της Διεύθυνσης Πελατών Δικτύου του ΔΕΔΔΗΕ. Για τη συμβατική παραγωγή χρησιμοποιείται το Μέσο Πλήρες Κόστος Παραγωγής ΜΔΝ (ΜΠΚΠ_ΜΔΝ), το οποίο υπολογίζεται, σε μηνιαία βάση, ως ο λόγος του συνολικού κόστους συμβατικής παραγωγής προς την αντίστοιχη παραγόμενη ενέργεια. Για την παραγωγή από ΑΠΕ χρησιμοποιείται η μεσοσταθμική τιμή παραγωγής, η οποία υπολογίζεται ως ο λόγος του συνολικού τιμήματος προς τη συνολική ενέργεια ΑΠΕ ανά μήνα. Η ανάλυση δεν χρησιμοποιεί το Μέσο Μεταβλητό Κόστος Παραγωγής ΜΔΝ (ΜΜΚ_ΜΔΝ).

Βιβλιογραφικές πηγές εκτίμησης ενεργειακών απαιτήσεων

Η απουσία πραγματικών μετρήσεων κατανάλωσης ανά πλοίο καθιστά αναγκαία την προσφυγή σε δημοσιευμένες πηγές. Οι Amaral et al. (2023), Espinosa et al. (2016), Abu

Bakar et al. (2023) και Brækken et al. (2023) παρέχουν δημοσιευμένα δεδομένα και σχέσεις για την εκτίμηση της ζήτησης ισχύος των κρουαζιερόπλοιων κατά τον ελλιμενισμό. Η ενότητα 4.3 παρουσιάζει τον ειδικό ρόλο και την εφαρμογή κάθε βιβλιογραφικής προσέγγισης.

Τεχνικές και κανονιστικές πηγές

Η σειρά προτύπων IEC/IEEE 80005 αποτελεί την κύρια τεχνική αναφορά για τη σύνδεση πλοίου και ξηράς, τη συμβατότητα του εξοπλισμού και την ασφαλή λειτουργία. Τα ειδικά στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ προσδιορίζουν προκαταρκτικές τεχνικές παραμέτρους τροφοδότησης OPS στη Ρόδο. Οι Prousalidis et al. τεκμηριώνουν συμπληρωματικά τα χαρακτηριστικά τάσης, συχνότητας και ισχύος των συστημάτων OPS για κρουαζιερόπλοια.

Οι Κανονισμοί (ΕΕ) 2023/1804, AFIR, και 2023/1805, FuelEU Maritime, χρησιμοποιούνται από κοινού για την κανονιστική οριοθέτηση του δείγματος. Ο AFIR προσδιορίζει την κατηγορία και την ολική χωρητικότητα των πλοίων που λαμβάνονται υπόψη για την αξιολόγηση της σχετικής υποχρέωσης σε επίπεδο λιμένα. Η εξαίρεση των προσεγγίσεων με διάρκεια παραμονής μικρότερη των δύο ωρών προβλέπεται στο άρθρο 6 παράγραφος 5 στοιχείο α του FuelEU Maritime και ενσωματώνεται στον υπολογισμό του AFIR μέσω της ρητής παραπομπής του άρθρου 9 παράγραφος 2. Η πλήρωση των κριτηρίων χαρακτηρίζει μια προσέγγιση ως δυνητικά επιλέξιμη, χωρίς να αποδεικνύει την τεχνική δυνατότητα σύνδεσης του συγκεκριμένου πλοίου.

Παραδοχές της ανάλυσης

1. Η δυνητική διάρκεια ηλεκτροδότησης ισούται με την καταγεγραμμένη διάρκεια παραμονής, όπως προκύπτει από τις διαθέσιμες ώρες άφιξης και αναχώρησης.
2. Η ανάλυση θεωρεί το OPS πλήρως διαθέσιμο κατά τις προσεγγίσεις που πληρούν τα κριτήρια του δείγματος. Δεν αφαιρεί χρόνο για πρόσδεση, σύνδεση, αποσύνδεση ή άλλους λειτουργικούς χειρισμούς.

3. Το δείγμα περιλαμβάνει πραγματοποιηθείσες προσεγγίσεις πλοίων άνω των 5.000 GT με διάρκεια παραμονής τουλάχιστον δύο ωρών. Εξαιρούνται οι ακυρωμένες ή μη πραγματοποιηθείσες προσεγγίσεις.

4. Επειδή δεν υπάρχουν πλήρη στοιχεία κατανομής ανά θέση ελλιμενισμού, η έρευνα χαρακτηρίζει τις προσεγγίσεις που πληρούν τα κριτήρια ως δυνητικά και όχι οριστικά επιλέξιμες για OPS.

5. Όπου δεν υπάρχουν πραγματικές μετρήσεις ισχύος ή κατανάλωσης ανά πλοίο, εφαρμόζονται βιβλιογραφικά τεκμηριωμένες τιμές και σχέσεις.

6. Τα τεχνικά στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ και της βιβλιογραφίας αποτελούν προκαταρκτικές παραμέτρους και δεν υποκαθιστούν αναλυτική μελέτη σύνδεσης.

7. Η αντιστοίχιση κατηγοριών ολικής χωρητικότητας και μήκους εφαρμόζεται μόνο για συγκριτικούς σκοπούς. Οι δύο ταξινομήσεις δεν θεωρούνται πλήρως ισοδύναμες, καθώς αποτυπώνουν διαφορετικά χαρακτηριστικά του πλοίου.

8. Η εκτίμηση του κόστους βασίζεται σε απολογιστικά στοιχεία ΜΠΚΠ_ΜΔΝ, τα οποία δεν έχουν ακόμη εγκριθεί επισήμως στο πλαίσιο της διαδικασίας καθορισμού του Ανταλλάγματος ΥΚΩ για τα ΜΔΝ. Η διαδικασία αυτή ολοκληρώνεται με πολυετή χρονική υστέρηση.

9. Η μεσοσταθμική τιμή παραγωγής ΑΠΕ υπολογίζεται χωρίς την ενέργεια των φωτοβολταϊκών του Ειδικού Προγράμματος και των εγκαταστάσεων ενεργειακού συμψηφισμού, Net Metering, επειδή δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για το αντίστοιχο τίμημα. Οι δύο κατηγορίες αντιπροσωπεύουν μεταξύ 2,5% και 3,2% της συνολικής ετήσιας παραγωγής ΑΠΕ, ανάλογα με το έτος, κατά την εξεταζόμενη περίοδο 2023 έως 2025.

Οι παραπάνω πηγές και παραδοχές οριοθετούν το πληροφοριακό υπόβαθρο της ποσοτικής διερεύνησης. Η ενότητα 4.3 παρουσιάζει τον έλεγχο, την επεξεργασία και τη χρονική αντιστοίχιση των δεδομένων, την εφαρμογή των βιβλιογραφικών προσεγγίσεων και τους περιορισμούς της ανάλυσης.

4.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.3.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ

Η έρευνα δεν διαθέτει πραγματικές μετρήσεις της ηλεκτρικής ισχύος ή της κατανάλωσης ενέργειας των κρουαζιερόπλοιων κατά τον ελλιμενισμό τους στη Ρόδο. Η έλλειψη αυτή συνδέεται άμεσα με το αντικείμενο της μελέτης, καθώς στον λιμένα δεν λειτουργεί ακόμη σύστημα ηλεκτροδότησης πλοίων από την ξηρά. Επομένως, δεν υπάρχουν καταγεγραμμένα προφίλ ζήτησης OPS, δεδομένα παρεχόμενης ενέργειας ή μετρήσεις αιχμής ανά πλοίο και προσέγγιση. Για να διερευνηθούν οι ενεργειακές και τεχνικές απαιτήσεις μιας μελλοντικής εγκατάστασης, απαιτείται η χρήση βιβλιογραφικά τεκμηριωμένων μεθόδων εκτίμησης, οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν στα διαθέσιμα χαρακτηριστικά των πλοίων και στα στοιχεία των προσεγγίσεων του 2025.

Η επιλογή των μεθόδων βασίζεται στη διάκριση μεταξύ δύο διαφορετικών μεγεθών: της μέσης απαιτούμενης ισχύος κατά τον ελλιμενισμό και της μέγιστης απαιτούμενης ισχύος σύνδεσης. Τα δύο μεγέθη δεν είναι εναλλάξιμα, επειδή εξυπηρετούν διαφορετικούς ερευνητικούς σκοπούς. Η μέση απαιτούμενη ισχύς αποτυπώνει την αναμενόμενη συνεχή ηλεκτρική ζήτηση του πλοίου κατά την παραμονή του στον λιμένα. Σε συνδυασμό με τη διάρκεια της προσέγγισης, επιτρέπει την εκτίμηση της ενέργειας που θα μπορούσε να παρέχει το OPS και, στη συνέχεια, του αντίστοιχου κόστους ηλεκτροδότησης. Αντίθετα, η μέγιστη απαιτούμενη ισχύς σύνδεσης αφορά την ανώτερη ισχύ που πρέπει να μπορεί να εξυπηρετήσει η εγκατάσταση. Αποτελεί επομένως παράμετρο τεχνικής διαστασιολόγησης και όχι εκτίμηση της συνήθους κατανάλωσης ενέργειας.

Για την εκτίμηση της μέσης απαιτούμενης ισχύος επιλέγεται ως κύρια προσέγγιση η μεθοδολογία των Amaral et al. (2023). Η συγκεκριμένη επιλογή αιτιολογείται, πρώτον, από την άμεση συνάφεια της μεθόδου με τον σχεδιασμό συστημάτων OPS σε επίπεδο λιμένα. Οι συγγραφείς ανέπτυξαν τη μεθοδολογία με στόχο την εκτίμηση της πρόσθετης ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος και ενέργειας που δημιουργεί η ηλεκτροδότηση ελλιμενισμένων πλοίων και την εφάρμοσαν σε πραγματικά δεδομένα λιμενικής κίνησης. Συνεπώς, η προσέγγιση δεν εξετάζει ένα μεμονωμένο πλοίο αποκομμένο από το λειτουργικό πλαίσιο του λιμένα, αλλά

συνδέει τα χαρακτηριστικά των πλοίων με τη διάρκεια και τη χρονική κατανομή των προσεγγίσεων.

Δεύτερον, η μέθοδος των Amaral et al. (2023) είναι συμβατή με τη δομή των διαθέσιμων δεδομένων της παρούσας έρευνας. Το Cruise Dataset Ρόδου 2025 περιλαμβάνει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πλοίων, τις πραγματοποιηθείσες προσεγγίσεις και τη διάρκεια παραμονής τους. Η μέθοδος μπορεί επομένως να εφαρμοστεί με ενιαίο τρόπο στο σύνολο του δείγματος, χωρίς να απαιτεί εμπιστευτικές μετρήσεις από τις ναυτιλιακές εταιρείες ή αναλυτικά δεδομένα του ηλεκτρικού εξοπλισμού κάθε πλοίου.

Τρίτον, η προσέγγιση προσφέρει διαφανές πλαίσιο εκτίμησης. Η εφαρμογή κοινών βιβλιογραφικών παραμέτρων στις εγγραφές του δείγματος περιορίζει την ανάγκη για αυθαίρετες παραδοχές ανά πλοίο. Δεν εξαλείφει την αβεβαιότητα που προκαλεί η απουσία μετρήσεων, αλλά επιτρέπει να εντοπιστούν με σαφήνεια οι πηγές της και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα ως εκτιμήσεις μέσης λειτουργικής ζήτησης. Για τον λόγο αυτό, η μέθοδος επιλέγεται για την ενεργειακή και οικονομική ανάλυση και όχι για τον καθορισμό της απαιτούμενης ονομαστικής ικανότητας της εγκατάστασης.

Για την εκτίμηση της μέγιστης απαιτούμενης ισχύος σύνδεσης επιλέγεται η προσέγγιση των Espinosa et al. (2016). Η μελέτη αφορά ειδικά τις απαιτήσεις ισχύος των κρουαζιερόπλοιων κατά τον ελλιμενισμό και αναπτύχθηκε για την υποστήριξη του σχεδιασμού εγκαταστάσεων σύνδεσης υψηλής τάσης. Η εμπειρική της βάση περιλαμβάνει καταγεγραμμένες τιμές αιχμής ξενοδοχειακού φορτίου από 40 κρουαζιερόπλοια, ενώ οι συγγραφείς εξέτασαν τη σχέση της μέγιστης ζήτησης με διαθέσιμα χαρακτηριστικά των πλοίων, όπως η ολική χωρητικότητα. Η επιλογή της συγκεκριμένης προσέγγισης εξυπηρετεί συνεπώς τον τεχνικό σκοπό της παρούσας έρευνας: την εκτίμηση της ισχύος που θα πρέπει να μπορεί να εξυπηρετεί μία σύνδεση OPS και την αξιολόγηση της συνολικής απαίτησης όταν ελλιμενίζονται ταυτόχρονα περισσότερα πλοία.

Η προσέγγιση των Espinosa et al. (2016) δεν χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της συνήθους κατανάλωσης ή του κόστους. Επειδή προσανατολίζεται στην κάλυψη της μέγιστης ζήτησης, η εφαρμογή της ως σταθερής ισχύος σε όλη τη διάρκεια του ελλιμενισμού θα μπορούσε να υπερεκτιμήσει την καταναλισκόμενη ενέργεια. Αντίστοιχα, η μέση ισχύς

που προκύπτει από τη μέθοδο των Amaral et al. (2023) δεν επαρκεί για τεχνική διαστασιολόγηση, διότι μια εγκατάσταση πρέπει να καλύπτει ισχύ υψηλότερη από τη μέση λειτουργική ζήτηση. Η παράλληλη χρήση των δύο προσεγγίσεων αποφεύγει τη σύγχυση μεταξύ ενεργειακής κατανάλωσης και απαιτούμενης ικανότητας σύνδεσης.

Ως κύρια βάση εκτίμησης δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν πραγματικές μετρήσεις ανά πλοίο, επειδή τέτοια δεδομένα δεν υπάρχουν για τη Ρόδο. Επίσης, δεν είναι διαθέσιμα για το σύνολο των 80 μοναδικών πλοίων αναλυτικά στοιχεία για την εγκατεστημένη ισχύ των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών, τη σύνθεση των επιμέρους φορτίων και τη λειτουργία του εξοπλισμού κατά τον ελλιμενισμό. Τέλος, ο πίνακας των Abu Bakar et al. (2023) δεν επιλέγεται ως κύρια μέθοδος εκτίμησης. Παρότι το ολικό μήκος είναι διαθέσιμο για το σύνολο του δείγματος, οι δημοσιευμένες τιμές του αποτελούν στατικές βιβλιογραφικές τιμές ανά κατηγορία πλοίου και δεν συνοδεύονται από ολοκληρωμένη μεθοδολογική διαδικασία εκτίμησης συμβατή με τον σχεδιασμό της παρούσας έρευνας. Αντίθετα, η προσέγγιση των Amaral et al. (2023) παρέχει μεθοδολογία εκτίμησης της μέσης απαιτούμενης ισχύος, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί συστηματικά στο σύνολο του δείγματος και να συνδυαστεί με τα πραγματικά δεδομένα άφιξης και αναχώρησης των πλοίων για την παραγωγή της χρονικής ζήτησης, της κατανάλωσης ενέργειας και του κόστους λειτουργίας.

Οι επιλεγμένες μεθοδολογικές προσεγγίσεις εφαρμόζονται στις επόμενες δύο ενότητες. Η ενότητα 4.3.2 παρουσιάζει τη διαδικασία εκτίμησης της μέσης ισχύος, της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και του κόστους λειτουργίας του OPS, ενώ η ενότητα 4.3.3 παρουσιάζει τη διαδικασία εκτίμησης της μέγιστης απαιτούμενης ισχύος σύνδεσης και της θεωρητικής αιχμής ζήτησης.

4.3.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ OPS

Η εκτίμηση της ζήτησης και του κόστους ενέργειας OPS πραγματοποιείται σε έξι διαδοχικά στάδια. Αρχικά προσδιορίζονται οι δυνητικά επιλέξιμες προσεγγίσεις. Στη συνέχεια αντιστοιχίζεται σε κάθε πλοίο μία εκτιμώμενη μέση ισχύς OPS, υπολογίζεται η ενέργεια ανά προσέγγιση και κατανέμεται η ζήτηση στα ωριαία διαστήματα του 2025. Τέλος, η ενέργεια ομαδοποιείται ανά μήνα και αποτιμάται με βάση τη μηνιαία μέση σύνθεση του παραγωγικού μείγματος της Ρόδου.

A. Επιλογή των δυνητικά επιλέξιμων προσεγγίσεων

Η ανάλυση βασίζεται στις πραγματικές προσεγγίσεις κρουαζιερόπλοιων στον λιμένα της Ρόδου κατά το 2025. Από το αρχικό σύνολο αφαιρούνται οι ακυρωμένες προσεγγίσεις και όσες εμφανίζουν διάρκεια παραμονής μικρότερη των δύο ωρών. Οι ακυρωμένες προσεγγίσεις δεν αντιπροσωπεύουν πραγματική παρουσία πλοίου στον λιμένα.

Η δεύτερη εξαίρεση εφαρμόζει το κριτήριο ελάχιστης διάρκειας παραμονής που προβλέπεται στο άρθρο 6 παράγραφος 5 στοιχείο α του FuelEU Maritime και ενσωματώνεται στον υπολογισμό του AFIR μέσω του άρθρου 9 παράγραφος 2, όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.2.

Οι προσεγγίσεις που παραμένουν μετά την εφαρμογή των φίλτρων χαρακτηρίζονται ως δυνητικά επιλέξιμες. Ο χαρακτηρισμός αυτός δεν σημαίνει ότι όλα τα αντίστοιχα πλοία διαθέτουν τεχνική δυνατότητα σύνδεσης σε OPS ή ότι θα χρησιμοποιούσαν υποχρεωτικά την υποδομή.

B. Εκτίμηση της μέσης ισχύος OPS ανά πλοίο

Για κάθε μοναδικό πλοίο του δείγματος εκτιμάται μία μέση ισχύς λειτουργίας κατά την παραμονή του στον λιμένα. Η εκτίμηση αφορά τις ηλεκτρικές ανάγκες του πλοίου κατά τον ελλιμενισμό και όχι τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ των μηχανών ή τη μέγιστη ονομαστική ισχύ σύνδεσης της υποδομής OPS.

Η αντιστοίχιση βασίζεται στην ολική χωρητικότητα (Gross Tonnage, GT) κάθε πλοίου και στις αντίστοιχες κατηγορίες μέσης ισχύος που προτείνουν οι Amaral et al. (2023), όπως παρουσιάστηκαν στην ενότητα 4.2. Για να αποφεύγεται η δημιουργία διαφορετικής εκτίμησης για κάθε προσέγγιση του ίδιου πλοίου, η μέση ισχύς προσδιορίζεται μία φορά ανά μοναδικό πλοίο και εφαρμόζεται σε όλες τις προσεγγίσεις του κατά το 2025.

Η μέση ισχύς OPS του πλοίου i συμβολίζεται ως P_i^{OPS} και εκφράζεται σε MW. Πρόκειται για εκτιμώμενη τιμή και όχι για πραγματική μέτρηση κατανάλωσης. Επομένως, τα

αποτελέσματα αποτυπώνουν την αναμενόμενη ζήτηση σύμφωνα με τις παραδοχές της μεθόδου και όχι την καταγεγραμμένη κατανάλωση των πλοίων.

Γ. Υπολογισμός της ενέργειας ανά προσέγγιση

Η ενέργεια OPS κάθε προσέγγισης υπολογίζεται από τη μέση ισχύ που έχει αντιστοιχιστεί στο πλοίο και από την πραγματική διάρκεια παραμονής του στον λιμένα:

$$Q_j^{OPS} = P_i^{OPS} \times T_j$$

όπου Q_j^{OPS} είναι η εκτιμώμενη ενέργεια OPS της προσέγγισης j, σε MWh, P_i^{OPS} είναι η εκτιμώμενη μέση ισχύς OPS του πλοίου i, σε MW, και T_j είναι η διάρκεια παραμονής της προσέγγισης j, σε ώρες.

Η διάρκεια παραμονής προκύπτει από τη διαφορά μεταξύ της ημερομηνίας και ώρας αναχώρησης και της αντίστοιχης ημερομηνίας και ώρας άφιξης. Όταν η αναχώρηση πραγματοποιείται την επόμενη ημερολογιακή ημέρα, ο υπολογισμός λαμβάνει υπόψη την αλλαγή ημερομηνίας. Η εξίσωση προϋποθέτει ότι η μέση ισχύς παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια της παραμονής.

Δ. Ωριαία κατανομή της ζήτησης OPS

Η ενέργεια κάθε προσέγγισης κατανέμεται στα ωριαία διαστήματα του 2025. Η κατανομή βασίζεται στον πραγματικό χρόνο κατά τον οποίο κάθε πλοίο βρίσκεται στον λιμένα μέσα σε κάθε ωριαίο διάστημα.

Όταν η παρουσία του πλοίου καλύπτει ολόκληρη την ώρα, καταλογίζεται η ενέργεια που αντιστοιχεί σε μία πλήρη ώρα λειτουργίας με τη συγκεκριμένη μέση ισχύ. Όταν η άφιξη ή η αναχώρηση πραγματοποιείται εντός της ώρας, η ενέργεια κατανέμεται αναλογικά προς το μέρος του διαστήματος κατά το οποίο το πλοίο βρίσκεται στον λιμένα. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται ο καταλογισμός πλήρους ωριαίας κατανάλωσης σε πλοία που παρέμειναν στον λιμένα μόνο για μέρος της συγκεκριμένης ώρας.

Η συνολική ωριαία ισχύς OPS κατά το ωριαίο διάστημα h υπολογίζεται από το άθροισμα των φορτίων όλων των πλοίων που βρίσκονται ταυτόχρονα στον λιμένα:

$$P_h^{OPS} = \sum_i P_{i,h}^{OPS}$$

Οι χρονικές συμπτώσεις προσδιορίζονται από τα πραγματικά δεδομένα άφιξης και αναχώρησης. Η διαδικασία οδηγεί στην κατασκευή συγκεντρωτικής ωριαίας καμπύλης ζήτησης OPS για ολόκληρο το έτος. Η καμπύλη αυτή αντιπαραβάλλεται στη συνέχεια με την αντίστοιχη ωριαία καμπύλη φορτίου του ηλεκτρικού συστήματος της Ρόδου. Τα στοιχεία φορτίου του συστήματος δεν χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της ζήτησης των πλοίων. Χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την αξιολόγηση της επίδρασης που θα είχε η προσθήκη του φορτίου OPS στο υφιστάμενο ηλεκτρικό φορτίο.

Μετά την ολοκλήρωση της ωριαίας κατανομής πραγματοποιείται έλεγχος συνέπειας, ώστε η συνολική ενέργεια που υπολογίζεται από τις επιμέρους προσεγγίσεις να συμφωνεί με τη συνολική ενέργεια της συγκεντρωτικής ωριαίας καμπύλης. Τυχόν αποκλίσεις περιορίζονται σε αμελητέα επίπεδα και οφείλονται αποκλειστικά σε αριθμητική στρογγυλοποίηση.

Ε. Υπολογισμός της μηνιαίας μέσης τιμής του παραγωγικού μείγματος

Για την αποτίμηση της ενέργειας OPS υπολογίζεται χωριστή σταθμισμένη τιμή για κάθε μήνα του 2025. Ο υπολογισμός λαμβάνει υπόψη τη μηνιαία παραχθείσα ενέργεια από συμβατικές μονάδες, το αντίστοιχο απολογιστικό Μέσο Πλήρες Κόστος Παραγωγής του Συστήματος ΜΔΝ Ρόδου, τη μηνιαία παραχθείσα ενέργεια από μονάδες ΑΠΕ και τη μεσοσταθμική τιμή αποζημίωσής τους.

Η μηνιαία μέση τιμή υπολογίζεται ως εξής:

$$C_\mu = \frac{Q_{SM,\mu} \times MPKP_{MDN,\mu} + Q_{APE,\mu} \times T_{APE,\mu}}{Q_{SM,\mu} + Q_{APE,\mu}}$$

όπου $Q_{SM,\mu}$ είναι η μηνιαία παραχθείσα ενέργεια από συμβατικές μονάδες στο Σύστημα ΜΔΝ Ρόδου κατά τον μήνα μ , σε MWh, $MPKP_{MDN,\mu}$ είναι το απολογιστικό Μέσο Πλήρες Κόστος Παραγωγής από συμβατικές μονάδες στο Σύστημα ΜΔΝ Ρόδου για τον μήνα μ , σε €/MWh, $Q_{APE,\mu}$ είναι η μηνιαία παραχθείσα ενέργεια από μονάδες ΑΠΕ στο Σύστημα ΜΔΝ

Ρόδου κατά τον μήνα μ , σε MWh, $T_{ΑΠΕ,\mu}$ είναι η μηνιαία μεσοσταθμική τιμή αποζημίωσης των ΑΠΕ κατά τον μήνα μ , σε €/MWh, και C_μ είναι η μηνιαία μέση αποτίμηση του παραγωγικού μείγματος, σε €/MWh.

Από τον υπολογισμό εξαιρούνται η ενέργεια των φωτοβολταϊκών του Ειδικού Προγράμματος και η έγχυση των εγκαταστάσεων ενεργειακού συμψηφισμού. Οι συγκεκριμένες κατηγορίες δεν αποτιμώνται με τον ίδιο τρόπο με τη συμβατική παραγωγή και τις λοιπές ΑΠΕ που περιλαμβάνονται στον υπολογισμό. Η προσθήκη τους χωρίς αντίστοιχη και ομοιογενή κοστολογική βάση θα περιόριζε τη συνέπεια του υπολογισμού.

Η αποκλειστική εφαρμογή του ΜΠΚΠ_ΜΔΝ στο σύνολο της ενέργειας OPS δεν υιοθετείται. Μια τέτοια εφαρμογή θα αποτιμούσε ολόκληρη την πρόσθετη κατανάλωση με το πλήρες κόστος της συμβατικής παραγωγής, χωρίς να συνυπολογίζει την καταγεγραμμένη συμμετοχή και την αντίστοιχη αποτίμηση των ΑΠΕ στο μηνιαίο παραγωγικό μείγμα.

Η σταθμισμένη τιμή αποτυπώνει τη μέση αποτίμηση του παραγωγικού μείγματος κατά τον μήνα κατανάλωσης. Δεν αποτελεί οριακό κόστος και δεν προσδιορίζει ποια μονάδα θα κάλυπτε στην πράξη κάθε πρόσθετη MWh ζήτησης OPS. Επίσης, δεν αποδεικνύει ότι η πρόσθετη ζήτηση θα καλυπτόταν με την ίδια αναλογία συμβατικής παραγωγής και ΑΠΕ που καταγράφηκε στο συνολικό μηνιαίο μείγμα. Αποτελεί μέση λογιστική αποτίμηση, η οποία επιλέγεται με βάση τον σκοπό της έρευνας και τα διαθέσιμα δεδομένα.

ΣΤ. Χρονική κατανομή της ενέργειας και υπολογισμός του κόστους

Πριν από τον υπολογισμό του κόστους, η ωριαία ενέργεια OPS ομαδοποιείται ανά ημερολογιακό μήνα. Η ενέργεια που αντιστοιχεί σε κάθε μήνα πολλαπλασιάζεται με τη μέση αποτίμηση του παραγωγικού μείγματος του ίδιου μήνα:

$$K_{OPS,\mu} = Q_{OPS,\mu} \times C_\mu$$

όπου $K_{OPS,\mu}$ είναι το εκτιμώμενο κόστος της ενέργειας OPS κατά τον μήνα μ , σε €, $Q_{OPS,\mu}$ είναι η συνολική ενέργεια OPS κατά τον ίδιο μήνα, σε MWh, και C_μ είναι η μηνιαία μέση

αποτίμηση του παραγωγικού μείγματος, σε €/MWh. Το ετήσιο κόστος προκύπτει από την άθροιση των μηνιαίων αποτελεσμάτων.

Αν μία προσέγγιση εκτείνεται σε δύο διαδοχικούς μήνες, η ενέργειά της κατανέμεται χρονικά στους αντίστοιχους μήνες και κάθε τμήμα αποτιμάται με τη μηνιαία τιμή που του αντιστοιχεί.

Το αποτέλεσμα ορίζεται ως «εκτιμώμενο κόστος κάλυψης της ενέργειας OPS με βάση τη μηνιαία μέση αποτίμηση του παραγωγικού μείγματος της Ρόδου». Δεν αποτελεί τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας προς το πλοίο ούτε συνολικό κόστος λειτουργίας εγκατάστασης OPS.

Η εκτίμηση δεν περιλαμβάνει χρεώσεις χρήσης δικτύου, φόρους, τέλη, εμπορικό περιθώριο, κόστος σύνδεσης, λειτουργικές δαπάνες ή κεφαλαιουχικό κόστος κατασκευής της υποδομής. Επομένως, χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την αποτίμηση της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας και όχι για τον προσδιορισμό τελικού τιμολογίου OPS ή για πλήρη χρηματοοικονομική αξιολόγηση της επένδυσης.

4.3.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

Η παρούσα ενότητα εκτιμά τη θεωρητική μέγιστη ισχύ σύνδεσης που θα απαιτούσε η ταυτόχρονη εξυπηρέτηση των κρουαζιερόπλοιων στον λιμένα της Ρόδου. Ο υπολογισμός βασίζεται στην πραγματική χρονική επικάλυψη των προσεγγίσεων και στη δυσμενή παραδοχή ότι κάθε παρόν πλοίο εμφανίζει συγχρόνως τη δική του εκτιμώμενη αιχμή. Επομένως, το αποτέλεσμα αποτελεί σενάριο τεχνικού σχεδιασμού και όχι πρόβλεψη της πραγματικής λειτουργικής ζήτησης.

A. Εκτίμηση της μέγιστης ισχύος ανά πλοίο

Για κάθε μοναδικό πλοίο του δείγματος εκτιμάται αρχικά η μέγιστη ισχύς που θα μπορούσε να απαιτήσει κατά τη σύνδεσή του με την εγκατάσταση OPS. Ο υπολογισμός πραγματοποιείται με το Model 3 των Espinosa et al. (2016):

$$P_i^{peak} = 84,71 \times GT_i^{0,3964}$$

$$P_{i,MW}^{peak} = \frac{P_{i,kW}^{peak}}{1000}$$

όπου P_i^{peak} είναι η εκτιμώμενη μέγιστη ισχύς του πλοίου i , σε kW, $P_{i,MW}^{peak}$ είναι η ίδια ισχύς μετά τη μετατροπή, σε MW, και GT_i είναι η ολική χωρητικότητα του πλοίου i .

Το Model 3 εκτιμά τη μέγιστη και όχι τη μέση ισχύ του πλοίου κατά τον ελλιμενισμό. Ως ανεξάρτητη μεταβλητή χρησιμοποιεί την ολική χωρητικότητα, η οποία είναι διαθέσιμη για όλα τα πλοία του εξεταζόμενου δείγματος. Οι Espinosa et al. (2016) επέλεξαν το συγκεκριμένο μοντέλο για την εφαρμογή τους στον λιμένα της Βαρκελώνης, επειδή εξυπηρετούσε μια συντηρητική προσέγγιση τεχνικού σχεδιασμού.

Το Model 3 δεν εμφανίζει την υψηλότερη στατιστική προσαρμογή μεταξύ των πέντε μοντέλων που εξετάζονται στο ίδιο άρθρο. Η επιλογή του στην παρούσα έρευνα δεν βασίζεται, συνεπώς, στην υπεροχή του ως προς την πρόβλεψη της συνήθους λειτουργικής κατανάλωσης. Βασίζεται στη συμβατότητά του με τον σκοπό του συγκεκριμένου υπολογισμού, ο οποίος αφορά την εκτίμηση απαιτήσεων σύνδεσης και διαστασιολόγησης υπό δυσμενείς συνθήκες.

Η αιχμή υπολογίζεται μία φορά για κάθε μοναδικό πλοίο. Η ίδια τιμή εφαρμόζεται σε όλες τις προσεγγίσεις του συγκεκριμένου πλοίου κατά το 2025, ώστε ο υπολογισμός να παραμένει ενιαίος και να μην εξαρτάται από τον αριθμό ή τη χρονική θέση των επιμέρους προσεγγίσεών του.

B. Υπολογισμός της ταυτόχρονης συνδεδεμένης ισχύος

Η ταυτόχρονη συνδεδεμένη ισχύς υπολογίζεται με βάση τις ακριβείς ημερομηνίες και ώρες άφιξης και αναχώρησης, όπως καταγράφονται στα πεδία ATA και ATD. Η διαδικασία εξετάζει διαδοχικά τα χρονικά σημεία στα οποία φτάνει ή αναχωρεί ένα πλοίο. Μεταξύ δύο διαδοχικών τέτοιων γεγονότων, το σύνολο των πλοίων που βρίσκονται στον λιμένα παραμένει αμετάβλητο.

Η θεωρητική συνδεδεμένη ισχύς προκύπτει από το άθροισμα των εκτιμώμενων αιχμών όλων των πλοίων που είναι πράγματι παρόντα:

$$P_{connected}(t) = \sum_{i \in S(t)} P_i^{peak}$$

όπου $P_{connected}(t)$ είναι η θεωρητική συνδεδεμένη ισχύς στη χρονική στιγμή t και $S(t)$ είναι το σύνολο των πλοίων που βρίσκονται ταυτόχρονα στον λιμένα τη χρονική στιγμή t . Κάθε πλοίο που ανήκει σε αυτό το σύνολο προσμετράται με ολόκληρη την εκτιμώμενη αιχμή του.

Η ταυτόχρονη παρουσία δεν προσδιορίζεται με βάση την απλή ένταξη δύο πλοίων στο ίδιο ωριαίο διάστημα. Απαιτείται πραγματική επικάλυψη των χρονικών διαστημάτων από το ATA έως το ATD κάθε προσέγγισης. Η διάκριση αυτή αποτρέπει τη δημιουργία τεχνητών συμπτώσεων. Για παράδειγμα, αν ένα πλοίο αναχωρήσει στα πρώτα λεπτά μιας ώρας και ένα άλλο φτάσει αργότερα εντός της ίδιας ώρας, η απλή ωριαία δυαδική καταγραφή θα μπορούσε να τα χαρακτηρίσει εσφαλμένα ως ταυτόχρονα παρόντα, παρότι τα διαστήματα παραμονής τους δεν επικαλύπτονται.

Γ. Προσδιορισμός της θεωρητικής μέγιστης συνδεδεμένης ισχύος

Ο προσδιορισμός της θεωρητικής μέγιστης συνδεδεμένης ισχύος αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη αθροιστική ισχύ των πλοίων που βρίσκονται πράγματι ταυτόχρονα στον λιμένα, υπό την υπόθεση ότι όλα εμφανίζουν την ίδια χρονική στιγμή την ατομική τους αιχμή.

Μαζί με τη μέγιστη τιμή μπορούν να καταγραφούν η ημερομηνία και η ακριβής ώρα εμφάνισής της, τα πλοία που συμμετέχουν σε αυτή, ο αριθμός των ταυτόχρονα παρόντων πλοίων και η επιμέρους εκτιμώμενη αιχμή κάθε πλοίου. Οι πληροφορίες αυτές επιτρέπουν την αναγνώριση της σύνθεσης του δυσμενέστερου σεναρίου. Τα αριθμητικά αποτελέσματα της εφαρμογής παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5.

Δ. Ερμηνεία του αποτελέσματος

Η θεωρητική μέγιστη συνδεδεμένη ισχύς διαφέρει από τη λειτουργική ωριαία ζήτηση που υπολογίζεται στην ενότητα 4.3.2. Η λειτουργική ζήτηση βασίζεται σε εκτιμώμενες μέσες ισχύεις και χρησιμοποιείται για τη χρονική κατανομή της ζήτησης και τον υπολογισμό της ενέργειας. Αντίθετα, η παρούσα εκτίμηση αθροίζει τις πλήρεις ατομικές αιχμές των πλοίων που συνυπάρχουν πραγματικά στον λιμένα.

Η μέγιστη τιμή δεν αποτελεί πρόβλεψη του φορτίου που θα εμφανιστεί στην πράξη και δεν προκύπτει από μετρημένες καμπύλες ισχύος των πλοίων. Η ταυτόχρονη εμφάνιση όλων των

επιμέρους αιχμών αποτελεί δυσμενή παραδοχή σχεδιασμού. Το αποτέλεσμα χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την αξιολόγηση της απαιτούμενης ισχύος σύνδεσης και των αναγκών διαστασιολόγησης της υποδομής OPS. Δεν χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό ενέργειας ή κόστους.

4.3.4 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Η παρούσα ενότητα δεν εισάγει πρόσθετη μέθοδο ή νέο υπολογισμό, αλλά προσδιορίζει τα όρια ερμηνείας των εκτιμήσεων που παράγονται στις Ενότητες 4.3.2 και 4.3.3. Παράλληλα, διακρίνει τη σύγκριση με τιμές της βιβλιογραφίας από την εμπειρική επαλήθευση των αποτελεσμάτων, καθώς οι διαθέσιμες πηγές δεν παρέχουν μετρήσεις για τα ίδια πλοία και τις ίδιες συνθήκες ελλιμενισμού με εκείνες της Ρόδου.

Οι βιβλιογραφικές τιμές χρησιμοποιούνται αποκλειστικά ως συγκριτικά σημεία αναφοράς για την εξέταση της τάξης μεγέθους των αποτελεσμάτων. Οι συγκρίσεις πραγματοποιούνται μετά την ολοκλήρωση των υπολογισμών και δεν επηρεάζουν την εφαρμογή της μεθόδου ή τα παραγόμενα αποτελέσματα. Ειδικότερα, οι τιμές των Abu Bakar et al. (2023) παρέχουν ένα ενδεικτικό εύρος ζήτησης ισχύος, αλλά η άμεση αντιπαραβολή τους με τις εκτιμήσεις της παρούσας έρευνας απαιτεί επιφύλαξη, επειδή η ταξινόμηση των κρουαζιερόπλοιων βασίζεται στο μήκος και όχι στην ολική χωρητικότητα (GT). Αντίστοιχα, οι Brækken et al. (2023) παρέχουν μια γενική ένδειξη της τάξης μεγέθους της ηλεκτρικής ζήτησης των κρουαζιερόπλοιων, χωρίς να προσδιορίζουν με επαρκή σαφήνεια αν οι αναφερόμενες τιμές αντιστοιχούν σε μέση ή μέγιστη ισχύ κατά τον ελλιμενισμό. Για τον λόγο αυτό, οι συγκεκριμένες τιμές δεν αποτελούν ανεξάρτητη επαλήθευση των αποτελεσμάτων.

Η ίδια διάκριση ισχύει για τα δύο εμπειρικά μοντέλα που εφαρμόζονται στην ανάλυση. Η σχέση των Amaral et al. (2023) χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της μέσης απαιτούμενης ισχύος, ενώ το μοντέλο των Espinosa et al. (2016) εκτιμά τη ζήτηση αιχμής. Τα δύο μοντέλα αναφέρονται, επομένως, σε διαφορετικά μεγέθη και εξυπηρετούν διαφορετικούς αναλυτικούς σκοπούς. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων τους μπορεί να εξετάσει τη μεταξύ τους συνέπεια, αλλά δεν συνιστά διασταύρωση της εκτιμώμενης μέσης ισχύος μέσω δεύτερης ανεξάρτητης μεθόδου.

Ο πρώτος περιορισμός των δεδομένων αφορά την απουσία πραγματικών μετρήσεων της ηλεκτρικής ισχύος και της κατανάλωσης ενέργειας των εξεταζόμενων πλοίων κατά τον ελλιμενισμό τους στη Ρόδο. Συνεπώς, η ανάλυση βασίζεται σε εκτιμήσεις που προκύπτουν από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πλοίων και από εμπειρικές σχέσεις της βιβλιογραφίας. Ο δεύτερος περιορισμός αφορά τη χρονική κάλυψη των στοιχείων προσεγγίσεων, τα οποία αντιστοιχούν αποκλειστικά στο 2025. Το συγκεκριμένο έτος παρέχει αναλυτική εικόνα των αφίξεων, της διάρκειας παραμονής και της ταυτόχρονης παρουσίας πλοίων, αλλά δεν αποτυπώνει ενδεχόμενες μεταβολές της κρουαζιέρας μεταξύ διαφορετικών ετών. Τα αποτελέσματα περιγράφουν, συνεπώς, τις συνθήκες του έτους αναφοράς και δεν αποτελούν πρόβλεψη της μελλοντικής κίνησης του λιμένα.

Πρόσθετοι περιορισμοί απορρέουν από την εφαρμοζόμενη μέθοδο. Πρώτον, η μέση ισχύς κάθε πλοίου εκτιμάται μέσω της εμπειρικής σχέσης των Amaral et al. (2023) και όχι μέσω άμεσης μέτρησης. Η μεταφορά της σχέσης σε διαφορετικό στόλο και διαφορετικές λειτουργικές συνθήκες εισάγει αβεβαιότητα, ενώ δεν εφαρμόζεται δεύτερο ανεξάρτητο μοντέλο που να εκτιμά το ίδιο μέγεθος. Δεύτερον, η μέγιστη ισχύς εκτιμάται μέσω του μοντέλου των Espinosa et al. (2016), το οποίο επίσης προέρχεται από διαφορετικό δείγμα και διαφορετικές λιμενικές συνθήκες. Στις περιπτώσεις ταυτόχρονης παρουσίας περισσότερων πλοίων, η άθροιση των ατομικών τιμών αιχμής προϋποθέτει ότι αυτές εμφανίζονται συγχρόνως. Τρίτον, ο υπολογισμός της ενέργειας βασίζεται στην εφαρμογή σταθερής μέσης ισχύος σε όλη τη διάρκεια της επιλέξιμης παραμονής. Η παραδοχή επιτρέπει την εκτίμηση της συνολικής κατανάλωσης, αλλά δεν αναπαράγει τις μεταβολές του ηλεκτρικού φορτίου κατά τις επιμέρους φάσεις εξυπηρέτησης του πλοίου.

Η έρευνα δεν αποτελεί λεπτομερή ηλεκτροτεχνική μελέτη σύνδεσης και λειτουργίας εγκατάστασης OPS. Κατά συνέπεια, δεν προσδιορίζει την τελική διαμόρφωση των υποσταθμών, των γραμμών τροφοδότησης, των συστημάτων μετατροπής τάσης και συχνότητας ή των απαιτούμενων ενισχύσεων του δικτύου. Επίσης, δεν εκπονεί πλήρη χρηματοοικονομική αξιολόγηση συγκεκριμένης επένδυσης, καθώς δεν υπολογίζει το συνολικό κεφαλαιουχικό κόστος, τις λειτουργικές δαπάνες, τις πηγές χρηματοδότησης ή δείκτες επενδυτικής απόδοσης. Οι εκτιμήσεις κόστους αφορούν την ενέργεια που απαιτεί η

λειτουργία του OPS υπό τις παραδοχές της ανάλυσης και δεν ταυτίζονται με το συνολικό κόστος υλοποίησης και λειτουργίας της υποδομής.

Εκτός του ερευνητικού πεδίου παραμένει και το σενάριο αποθήκευσης ενέργειας για την υποστήριξη της ζήτησης OPS. Υβριδικοί σταθμοί ΑΠΕ-αποθήκευσης λειτουργούν ήδη σε επιλεγμένα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, όπως ο Άγιος Ευστράτιος, η Τήλος και η Ικαρία, αφορούν όμως νέες, σκόπιμα σχεδιασμένες εγκαταστάσεις. Δεν υφίσταται αντίστοιχο πλαίσιο εφαρμογής για την ενσωμάτωση αποθήκευσης σε ήδη υφιστάμενους, ανεξάρτητους σταθμούς ΑΠΕ, όπως αυτοί που λειτουργούν σήμερα στη Ρόδο.

Τέλος, η ανάλυση δεν εξετάζει το ενδεχόμενο μείωσης των περικοπών παραγωγής από ΑΠΕ λόγω της προβλέψιμης ζήτησης που δημιουργούν οι προγραμματισμένες αφίξεις πλοίων. Η διερεύνηση αυτού του ενδεχομένου θα απαιτούσε χρονικά αναλυτικά στοιχεία πραγματικών περικοπών ΑΠΕ στο ηλεκτρικό σύστημα της Ρόδου, τα οποία δεν ήταν διαθέσιμα. Εφόσον η ζήτηση OPS συνέπιπτε χρονικά με διαθέσιμη παραγωγή ΑΠΕ που διαφορετικά θα περικοπτόταν, η αξιοποίησή της θα μπορούσε να οδηγήσει σε χαμηλότερη εκτίμηση ενεργειακού κόστους από εκείνη που προκύπτει με τη σταθμισμένη τιμή του καταγεγραμμένου μείγματος παραγωγής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΤΟΥ ΛΙΜΕΝΑ ΤΗΣ ΡΟΔΟΥ

5.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΛΙΜΕΝΑ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΑΣ ΣΤΗ ΡΟΔΟ

Η ανάλυση των λειτουργικών χαρακτηριστικών της κρουαζιέρας στη Ρόδο βασίζεται στις καταγεγραμμένες προσεγγίσεις κρουαζιερόπλοιων κατά το 2025. Το αρχικό σύνολο περιλάμβανε 418 προσεγγίσεις. Μετά την εφαρμογή των κριτηρίων που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 4, το εξεταζόμενο δείγμα διαμορφώθηκε σε 386 δυνητικά επιλέξιμες προσεγγίσεις, οι οποίες αντιστοιχούν σε 70 μοναδικά πλοία. Η διάκριση μεταξύ προσεγγίσεων και πλοίων είναι αναγκαία, καθώς ένα πλοίο μπορεί να έχει προσεγγίσει τον λιμένα περισσότερες από μία φορές κατά τη διάρκεια του έτους.

Ο Πίνακας 5.1 παρουσιάζει την κατανομή των 70 μοναδικών πλοίων ανά κατηγορία ολικής χωρητικότητας, σύμφωνα με την ταξινόμηση των Amaral et al. (2023). Περιλαμβάνει επίσης τη μέση ισχύ ανά κατηγορία, η οποία χρησιμοποιείται στην επόμενη ενότητα για την εκτίμηση της ενεργειακής ζήτησης.

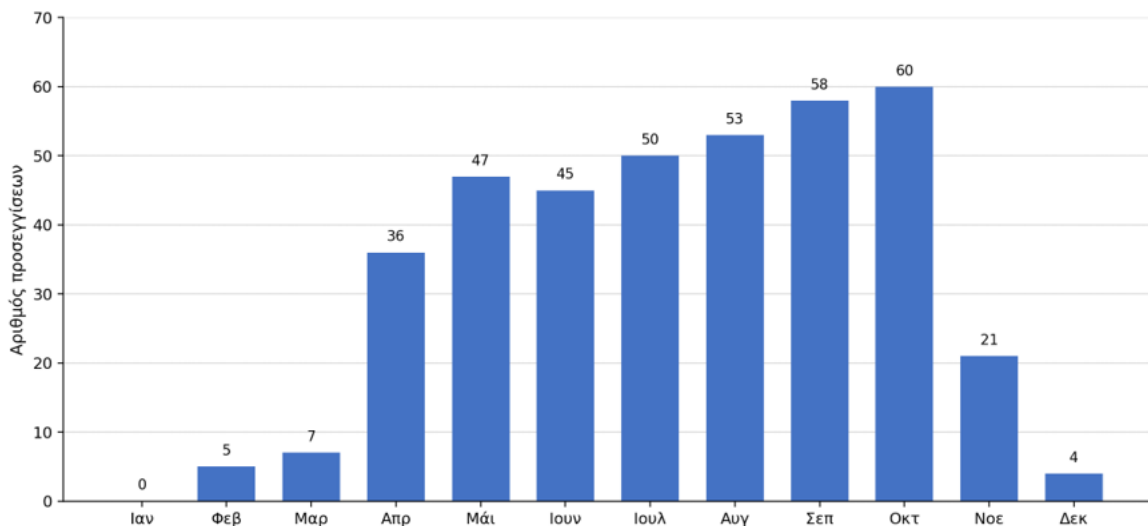
Πίνακας 5.1. Κατανομή μοναδικών πλοίων ανά κατηγορία ολικής χωρητικότητας

Κατηγορία ολικής χωρητικότητας (GT)	Μοναδικά πλοία	Μέση ισχύς κατά Amaral et al. (2023) (kW)
5.000–9.999	5	272
10.000–24.999	6	570
25.000–49.999	24	1.194
50.000–99.999	25	2.100
≥100.000	10	2.912
Σύνολο	70	

Οι δύο πολυπληθέστερες κατηγορίες είναι εκείνες των 25.000–49.999 GT και των 50.000–99.999 GT, στις οποίες ανήκουν 24 και 25 πλοία αντίστοιχα. Στην κατηγορία των τουλάχιστον 100.000 GT εντάσσονται 10 πλοία. Η σύνθεση του στόλου καλύπτει, επομένως, διαφορετικές κατηγορίες χωρητικότητας και αντίστοιχα διαφορετικά επίπεδα μέσης ισχύος κατά τον ελλιμενισμό.

Η δραστηριότητα της κρουαζιέρας δεν κατανέμεται ομοιόμορφα στη διάρκεια του 2025. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1, τον Ιανουάριο δεν καταγράφηκε εξεταζόμενη προσέγγιση. Στη συνέχεια, η δραστηριότητα αυξήθηκε και συγκεντρώθηκε κυρίως κατά την κύρια περίοδο κρουαζιέρας. Ο Οκτώβριος παρουσίασε τη μεγαλύτερη μηνιαία τιμή, με 60 προσεγγίσεις, ενώ προς το τέλος του έτους καταγράφηκε υποχώρηση. Η χρονική αυτή κατανομή συνεπάγεται αντίστοιχη συγκέντρωση της δυνητικής χρήσης OPS στους μήνες με αυξημένη κίνηση κρουαζιερόπλοιων.

Σχήμα 5.1. Μηνιαία κατανομή των εξεταζόμενων προσεγγίσεων κρουαζιερόπλοιων, 2025



Η διάρκεια παραμονής αποτελεί δεύτερο βασικό λειτουργικό χαρακτηριστικό του δείγματος. Στις 386 εξεταζόμενες προσεγγίσεις, η μέση διάρκεια παραμονής ανήλθε σε 11,5 ώρες. Η ελάχιστη καταγεγραμμένη διάρκεια ήταν 6 ώρες και η μέγιστη 64 ώρες. Το ελάχιστο των 6 ωρών αποτελεί την πραγματική κατώτατη τιμή του τελικού δείγματος και δεν πρέπει να συγχέεται με το κατώφλι των δύο ωρών που χρησιμοποιήθηκε για την οριοθέτησή του.

Ο Πίνακας 5.2 παρουσιάζει την κατανομή των προσεγγίσεων ανά κατηγορία διάρκειας. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση εντοπίζεται στην κατηγορία από 10 έως λιγότερο από 14 ώρες, η οποία περιλαμβάνει 209 προσεγγίσεις. Ακολουθεί η κατηγορία από 6 έως λιγότερο από 10 ώρες, με 115 προσεγγίσεις.

Πίνακας 5.2. Κατανομή προσεγγίσεων ανά κατηγορία διάρκειας παραμονής

Κατηγορία διάρκειας παραμονής	Προσεγγίσεις
2 έως <6 ώρες	0
6 έως <10 ώρες	115
10 έως <14 ώρες	209
14 έως <24 ώρες	50
≥24 ώρες	12
Σύνολο	386

Σε 12 προσεγγίσεις καταγράφηκε διάρκεια παραμονής τουλάχιστον 24 ωρών, ενώ η μέγιστη διάρκεια έφθασε τις 64 ώρες. Οι συγκεκριμένες εγγραφές ελέγχθηκαν στο αρχικό σύνολο δεδομένων και διατηρήθηκαν ως καταγεγραμμένες παρατεταμένες παραμονές, χωρίς να αποδίδεται σε αυτές ειδικός λειτουργικός χαρακτηρισμός.

Πέρα από τον αριθμό και τη διάρκεια των προσεγγίσεων, η πραγματική χρονική επικάλυψη των διαστημάτων παραμονής αποτυπώνει την ταυτόχρονη παρουσία πλοίων στον λιμένα. Σε 125 ημέρες καταγράφηκε κάποια χρονική στιγμή με τουλάχιστον δύο πλοία ταυτόχρονα στον λιμένα. Αντίστοιχα, σε 60 ημέρες καταγράφηκαν τουλάχιστον τρία πλοία και σε 10 ημέρες τέσσερα πλοία. Η μέγιστη ταυτόχρονη παρουσία στο εξεταζόμενο σύνολο ήταν τέσσερα πλοία.

Οι αριθμοί αυτοί αφορούν ημέρες κατά τις οποίες τα καταγεγραμμένα διαστήματα παραμονής παρουσίασαν πραγματική χρονική επικάλυψη. Δεν εκφράζουν απλώς τον αριθμό των πλοίων που προσέγγισαν τον λιμένα μέσα στην ίδια ημερολογιακή ημέρα. Η διάκριση αυτή αποτυπώνει τη λειτουργική ταυτόχρονη παρουσία, χωρίς να προϋποθέτει ότι όλα τα πλοία θα χρησιμοποιούσαν OPS.

Ο αριθμός και η εποχικότητα των δυνητικά επιλέξιμων προσεγγίσεων, η διάρκεια παραμονής, η σύνθεση του στόλου και η ταυτόχρονη παρουσία πλοίων συγκροτούν τη λειτουργική βάση για την ενεργειακή ανάλυση. Με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά, η Ενότητα 5.2 εξετάζει την ενεργειακή ζήτηση που θα προέκυπτε από τη δυνητική χρήση OPS στον λιμένα της Ρόδου.

5.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ, ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ

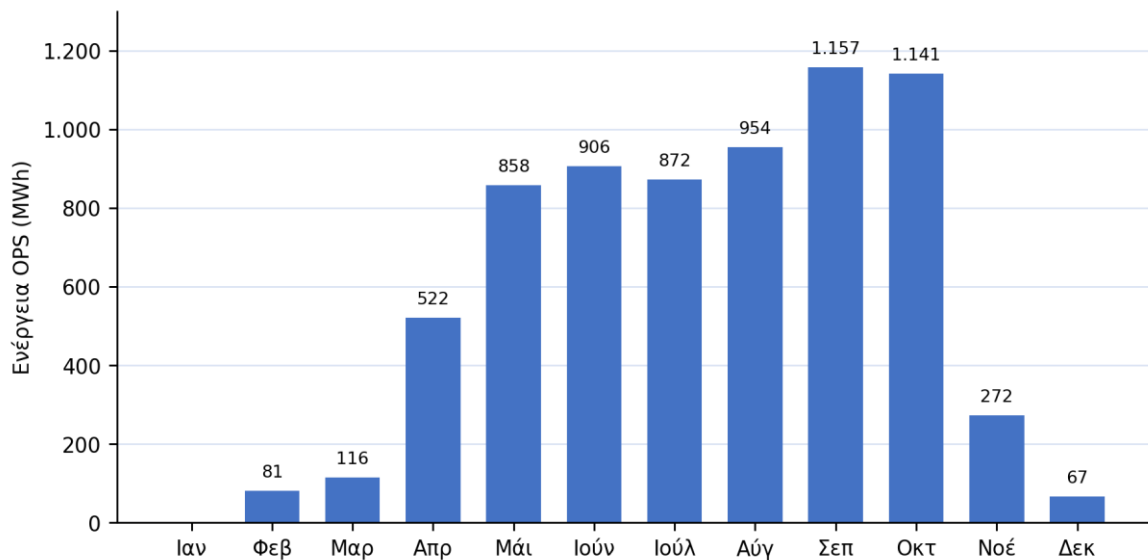
OPS

Η παρούσα ενότητα παρουσιάζει τα αποτελέσματα της εκτίμησης της ενεργειακής ζήτησης OPS, της χρονικής αντιπροβολής της με το φορτίο του Ηλεκτρικού Συστήματος Ρόδου, του κόστους κάλυψης της απαιτούμενης ενέργειας και της μέγιστης ισχύος σύνδεσης για το εξεταζόμενο δείγμα του 2025. Οι υπολογισμοί ακολουθούν τις μεθόδους και τις παραδοχές των Ενοτήτων 4.3.2 και 4.3.3.

Ενεργειακή ζήτηση OPS

Η εκτιμώμενη ετήσια ενεργειακή απαίτηση OPS για τη δυνητική εξυπηρέτηση των εξεταζόμενων προσεγγίσεων ανέρχεται σε 6.946,53 MWh. Η μηνιαία κατανομή της, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.2, ακολουθεί τη χρονική συγκέντρωση των προσεγγίσεων, αλλά δεν καθορίζεται αποκλειστικά από τον αριθμό τους. Η διάρκεια παραμονής και η σύνθεση των πλοίων ανά κατηγορία ολικής χωρητικότητας επηρεάζουν επίσης το μηνιαίο αποτέλεσμα.

Σχήμα 5.2. Μηνιαία ενέργεια OPS, 2025



Η μεγαλύτερη μηνιαία ενέργεια καταγράφεται τον Σεπτέμβριο και ανέρχεται σε 1.157,28 MWh. Τον Οκτώβριο η αντίστοιχη τιμή διαμορφώνεται σε 1.141,42 MWh, παρότι οι εξεταζόμενες προσεγγίσεις είναι περισσότερες από εκείνες του Σεπτεμβρίου, 60 έναντι 58. Η διαφοροποίηση αυτή δείχνει ότι ο αριθμός των προσεγγίσεων δεν αρκεί για την εκτίμηση

της μηνιαίας ενεργειακής ζήτησης, καθώς το αποτέλεσμα εξαρτάται και από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά κάθε προσέγγισης.

Η μέγιστη εκτιμώμενη λειτουργική ζήτηση OPS ανέρχεται σε 9,212 MW και εμφανίζεται στις 5 Αυγούστου 2025, στις 09:00, όπως φαίνεται στον πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3. Μέγιστη εκτιμώμενη λειτουργική ζήτηση OPS

Πλοίο	GT	ATA	ATD	Ατομική μέση ισχύς P_avg (Amaral) (MW)
MEIN SCHIFF 5	98.785	05/08/2025 08:00	05/08/2025 22:00	2,100
MARELLA DISCOVERY 2	69.472	05/08/2025 08:00	05/08/2025 14:00	2,100
CRYSTAL SYMPHONY	51.044	05/08/2025 08:00	05/08/2025 19:00	2,100
RESILENT LADY	108.232	05/08/2025 09:00	05/08/2025 18:00	2,912
ΑΘΡΟΙΣΜΑ (= μέγιστη λειτουργική ζήτηση OPS)				9,212

Η τιμή προκύπτει από την ωριαία καμπύλη ζήτησης και εκφράζει τη μεγαλύτερη ταυτόχρονη ζήτηση με βάση τις μέσες ισχύεις των πλοίων που βρίσκονταν στον λιμένα τη συγκεκριμένη ώρα. Αποτελεί εκτιμώμενη λειτουργική ζήτηση και όχι μετρημένη κατανάλωση, καθώς στον λιμένα της Ρόδου δεν λειτουργούσε εγκατάσταση OPS κατά το εξεταζόμενο έτος. Επίσης, δεν αποτελεί την απαιτούμενη ισχύ σύνδεσης, η οποία εξετάζεται χωριστά στο τελευταίο μέρος της ενότητας.

Επίδραση στο φορτίο του Ηλεκτρικού Συστήματος Ρόδου

Η ετήσια αιχμή του Ηλεκτρικού Συστήματος Ρόδου κατά το 2025 ανήλθε σε 256,141 MW και καταγράφηκε στις 25 Ιουλίου, στις 15:00. Κατά τη συγκεκριμένη ώρα, η εκτιμώμενη

ζήτηση OPS ήταν μηδενική. Επομένως, η προσθήκη της ωριαίας καμπύλης OPS δεν μεταβάλλει την απόλυτη ετήσια αιχμή του συστήματος.

Η μέγιστη συνδυασμένη ζήτηση σε ώρα κατά την οποία λειτουργεί OPS εμφανίζεται στις 26 Ιουλίου 2025, στις 15:00. Εκείνη την ώρα, το φορτίο του συστήματος ανέρχεται σε 247,538 MW και η εκτιμώμενη ζήτηση OPS σε 2,912 MW. Το άθροισμά τους διαμορφώνει συνολική ζήτηση 250,450 MW. Ο Πίνακας 5.4 παρουσιάζει χωριστά την ετήσια αιχμή του συστήματος και τη μέγιστη συνδυασμένη ζήτηση σε ώρα λειτουργίας OPS.

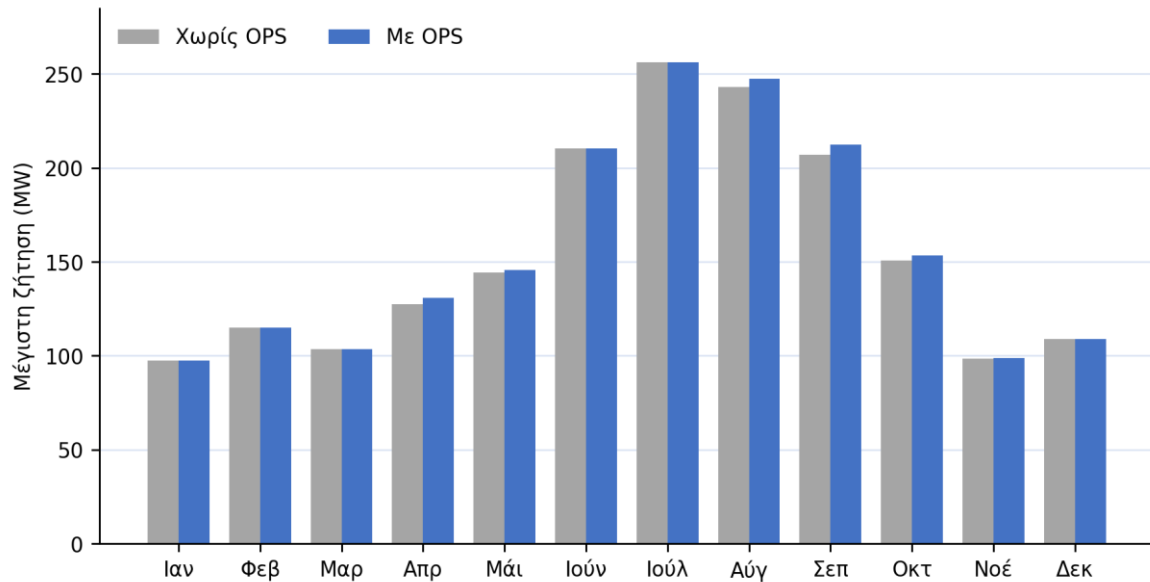
Πίνακας 5.4. Ετήσια αιχμή συστήματος έναντι μέγιστης συνδυασμένης ζήτησης σε ώρα λειτουργίας OPS

Χρονική περίπτωση	Ημερομηνία και ώρα	Φορτίο Ρόδου (MW)	Εκτιμώμενη ζήτηση OPS (MW)	Συνολικό φορτίο (MW)
Ετήσια μέγιστη ζήτηση συστήματος	25/07/2025, 15:00	256,141	0,000	256,141
Μέγιστη συνδυασμένη ζήτηση σε ώρα λειτουργίας OPS	26/07/2025, 15:00	247,538	2,912	250,450

Η διαφορά των 5,691 MW μεταξύ των δύο τιμών συνολικού φορτίου εκφράζει αποκλειστικά τη χρονική μη σύμπτωση της ετήσιας αιχμής του συστήματος με τη μέγιστη συνδυασμένη ζήτηση σε ώρα λειτουργίας OPS. Δεν αποτελεί διαθέσιμο περιθώριο ισχύος, εφεδρεία παραγωγής ή ένδειξη τεχνικής επάρκειας του δικτύου.

Το Σχήμα 5.3 παρουσιάζει τις μέγιστες μηνιαίες τιμές του φορτίου του συστήματος πριν και μετά την προσθήκη της εκτιμώμενης ζήτησης OPS. Η αντιπαραβολή αποτυπώνει τη χρονική επίδραση του OPS στις μηνιαίες μέγιστες τιμές, χωρίς να τεκμηριώνει από μόνη της δυνατότητα σύνδεσης ή επάρκεια του ηλεκτρικού συστήματος.

Σχήμα 5.3. Μηνιαία μέγιστη ζήτηση του Ηλεκτρικού Συστήματος Ρόδου με και χωρίς OPS, 2025



Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ του ωριαίου φορτίου του συστήματος και της εκτιμώμενης ζήτησης OPS ισούται με $r = 0,445$ για το σύνολο των ωρών του έτους. Όταν ο υπολογισμός περιορίζεται στις ώρες με μη μηδενική ζήτηση OPS, ο συντελεστής μειώνεται σε $r = 0,311$. Οι θετικές τιμές δείχνουν χρονική συνύπαρξη υψηλότερου φορτίου συστήματος και αυξημένης δραστηριότητας OPS σε μέρος του έτους. Δεν αποδεικνύουν αιτιώδη σχέση και δεν επιτρέπουν πρόβλεψη της σύμπτωσης των αντίστοιχων αιχμών σε άλλα έτη.

Η μη μεταβολή της ετήσιας αιχμής κατά το 2025 δεν αποτελεί τεκμήριο επάρκειας του ηλεκτρικού συστήματος ούτε επιβεβαιώνει τη δυνατότητα σύνδεσης εγκατάστασης OPS. Η αξιολόγηση αυτών των ζητημάτων απαιτεί ειδική μελέτη σύνδεσης, η οποία δεν υποκαθίσταται από την ωριαία αντιπαραβολή των δύο καμπυλών.

Κόστος ενέργειας OPS

Με βάση την ετήσια ενεργειακή απαίτηση OPS των 6.946,53 MWh, το εκτιμώμενο κόστος κάλυψης της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας OPS ανέρχεται σε 2.077.306 €. Η ετήσια σταθμισμένη μέση αποτίμηση της ενέργειας διαμορφώνεται σε 299,04 €/MWh. Η τιμή αυτή προκύπτει από τον λόγο του συνολικού ετήσιου κόστους προς τη συνολική ετήσια ενέργεια και όχι από τον απλό αριθμητικό μέσο των μηνιαίων τιμών.

Ο Πίνακας 5.5 παρουσιάζει τη μηνιαία ενέργεια OPS, τη μέση αποτίμηση του παραγωγικού μείγματος και το αντίστοιχο εκτιμώμενο κόστος κάλυψης.

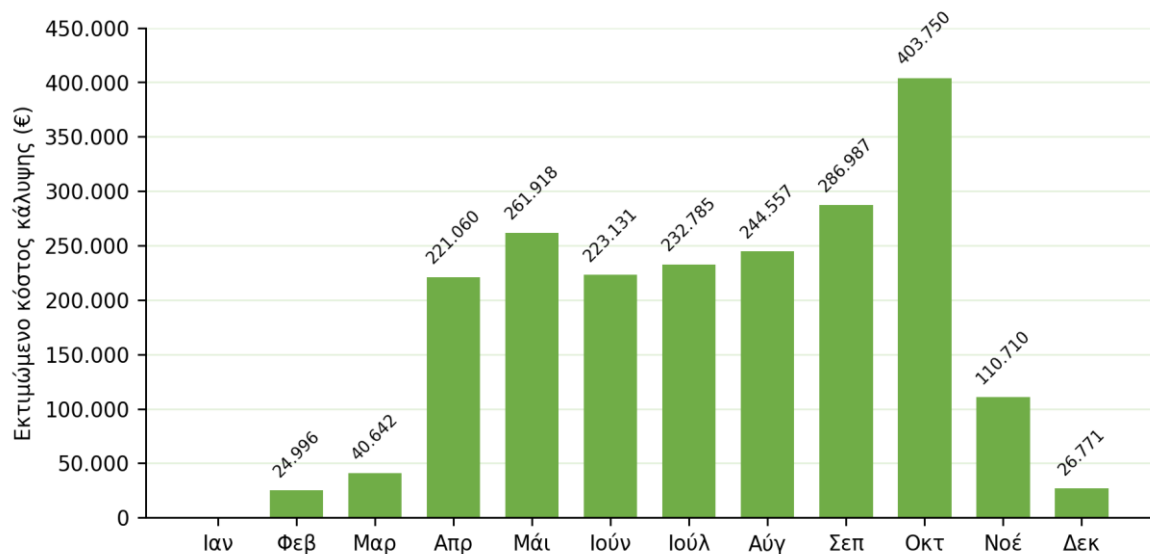
Πίνακας 5.5. Εκτιμώμενη ενέργεια, μηνιαία αποτίμηση και κόστος κάλυψης της ενέργειας OPS, 2025

Μήνας	Ενέργεια OPS (MWh)	Μέση αποτίμηση παραγωγικού μείγματος (€/MWh)	Εκτιμώμενο κόστος κάλυψης (€)
Ιανουάριος	0,00	346,06	0
Φεβρουάριος	81,18	307,92	24.996
Μάρτιος	115,51	351,86	40.642
Απρίλιος	521,63	423,79	221.060
Μάιος	858,42	305,12	261.918
Ιούνιος	905,68	246,37	223.131
Ιούλιος	872,46	266,81	232.785
Αύγουστος	953,72	256,43	244.557
Σεπτέμβριος	1.157,28	247,98	286.987
Οκτώβριος	1.141,42	353,73	403.750
Νοέμβριος	272,14	406,82	110.710
Δεκέμβριος	67,10	398,99	26.771
Σύνολο/σταθμισμένη μέση τιμή	6.946,53	299,04	2.077.306

Το υψηλότερο μηνιαίο κόστος καταγράφεται τον Οκτώβριο και ανέρχεται σε 403.750 €, παρότι η μέγιστη μηνιαία ενέργεια εμφανίζεται τον Σεπτέμβριο. Τον Σεπτέμβριο, ενέργεια

1.157,28 MWh και μέση αποτίμηση 247,98 €/MWh διαμορφώνουν κόστος 286.987 €. Τον Οκτώβριο, ενέργεια 1.141,42 MWh και υψηλότερη μέση αποτίμηση, 353,73 €/MWh, διαμορφώνουν κόστος 403.750 €. Επομένως, η μηνιαία διαφοροποίηση του κόστους εξαρτάται από τον συνδυασμό της ποσότητας ενέργειας και της μηνιαίας αποτίμησης του παραγωγικού μείγματος.

Σχήμα 5.4. Μηνιαίο εκτιμώμενο κόστος κάλυψης της ενέργειας OPS, 2025



Τα παραπάνω ποσά εκφράζουν το εκτιμώμενο κόστος κάλυψης της ενέργειας OPS σύμφωνα με τη μέθοδο της Ενότητας 4.3.2. Δεν αποτελούν τιμή πώλησης προς τα πλοία, τιμολόγιο παροχής OPS ή συνολικό κόστος κατασκευής και λειτουργίας της εγκατάστασης.

Μέγιστη απαιτούμενη ισχύς σύνδεσης

Η θεωρητική μέγιστη συνδεδεμένη ισχύς ανέρχεται σε 29,734 MW και εμφανίζεται στις 5 Αυγούστου 2025, στις 09:00, όταν βρίσκονται ταυτόχρονα στον λιμένα τέσσερα πλοία. Ο υπολογισμός προκύπτει από την άθροιση των εκτιμώμενων ατομικών αιχμών των συγκεκριμένων πλοίων, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.6.

**Πίνακας 5.6. Σύνθεση του σεναρίου θεωρητικής μέγιστης συνδεδεμένης ισχύος,
5/8/2025, 09:00**

Πλοίο	GT	Εκτιμώμενη ατομική αιχμή (Espinosa Model 3) (MW)
RESILENT LADY	108.232	8,3860
MEIN SCHIFF 5	98.785	8,0878
MARELLA DISCOVERY 2	69.472	7,0344
CRYSTAL SYMPHONY	51.044	6,2254
Άθροισμα		29,7336

Το άθροισμα των ατομικών τιμών ισούται με 29,7336 MW και παρουσιάζεται στρογγυλοποιημένο ως 29,734 MW. Το μέγεθος αυτό αποτελεί συντηρητικό μέγεθος τεχνικού σχεδιασμού, καθώς προϋποθέτει την ταυτόχρονη εμφάνιση των εκτιμώμενων ατομικών αιχμών και των τεσσάρων πλοίων. Δεν αποτελεί πρόβλεψη πραγματικού ταυτόχρονου φορτίου.

Η θεωρητική μέγιστη συνδεδεμένη ισχύς των 29,734 MW διαφέρει ως προς τον σκοπό και τον τρόπο υπολογισμού από τη μέγιστη εκτιμώμενη λειτουργική ζήτηση των 9,212 MW. Η δεύτερη βασίζεται στις μέσες ισχύεις που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της ωριαίας λειτουργίας και της ενέργειας. Η πρώτη αθροίζει τις εκτιμώμενες ατομικές αιχμές για να αποτυπώσει ένα συντηρητικό σενάριο σχεδιασμού της σύνδεσης. Συνεπώς, οι δύο τιμές δεν είναι εναλλακτικές εκτιμήσεις του ίδιου μεγέθους.

Ο Πίνακας 5.7 παραθέτει χωριστά τα τεχνικά στοιχεία αναφοράς που παρείχε ο ΔΕΔΔΗΕ. Το πρώτο μέρος αφορά ενδεικτικές απαιτήσεις ενεργού ισχύος σε MW. Το δεύτερο αφορά ονομαστικές ισχύεις τεχνικού σχεδιασμού σε MVA.

Πίνακας 5.7. Τεχνικά στοιχεία αναφοράς του ΔΕΔΔΗΕ για την τροφοδότηση OPS

A. Ενδεικτικές απαιτήσεις ενεργού ισχύος

Σενάριο	Ενδεικτική απαίτηση
Ένα μεγάλο κρουαζιερόπλοιο	8 έως 11 MW
Δύο μεγάλα κρουαζιερόπλοια	16 έως 22 MW

B. Ονομαστικές ισχύεις τεχνικού σχεδιασμού

Στοιχείο	Ονομαστική ισχύς
Ενδεικτική απαίτηση σύνδεσης ανά πλοίο	16 MVA
4 θέσεις κρουαζιέρας και 2 θέσεις RoPax	72 MVA

Τα MW και τα MVA αποτελούν διαφορετικά ηλεκτρικά μεγέθη. Επιπλέον, οι παραπάνω τιμές αφορούν διαφορετικά σενάρια αναφοράς. Για τον λόγο αυτό παρατίθενται σε χωριστά μέρη και δεν συγκρίνονται ή μετατρέπονται αριθμητικά. Τα στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ λειτουργούν ως τεχνικά μεγέθη αναφοράς και δεν αποτελούν αξιολόγηση της επάρκειας του συστήματος ή επιβεβαίωση της δυνατότητας σύνδεσης του εξεταζόμενου σεναρίου.

Αξιολόγηση δυνατοτήτων εφαρμογής

Η μελέτη περίπτωσης καταδεικνύει τεκμηριωμένη δυνητική βάση ζήτησης OPS στον λιμένα της Ρόδου, με βάση τα χαρακτηριστικά της κρουαζιερόπλοιας δραστηριότητας που παρουσιάστηκαν στην Ενότητα 5.1.

Η εκτίμηση θεωρητικής μέγιστης συνδεδεμένης ισχύος 29,734 MW υπό το δυσμενές σενάριο ταυτόχρονης εξυπηρέτησης αναδεικνύει σημαντική απαίτηση ισχύος, χωρίς όμως να προσδιορίζει από μόνη της τη δυνατότητα σύνδεσης της εγκατάστασης στο ηλεκτρικό σύστημα της Ρόδου.

Τα διαθέσιμα στοιχεία, ωστόσο, δεν επιτρέπουν οριστικό συμπέρασμα για τη δυνατότητα σύνδεσης ή τις απαιτούμενες ενισχύσεις. Η αξιολόγηση αυτών των ζητημάτων απαιτεί ειδική μελέτη σύνδεσης, προσομοίωση του ηλεκτρικού δικτύου και τις αναγκαίες επιμέρους ηλεκτροτεχνικές μελέτες για συγκεκριμένη εγκατάσταση OPS.

Τα χαρακτηριστικά που ενισχύουν ή περιορίζουν την εφαρμογή OPS στη Ρόδο, καθώς και οι σχετικές εξωτερικές ευκαιρίες και απειλές, συστηματοποιούνται στη συνέχεια μέσω ανάλυσης SWOT.

Πίνακας 5.8. Ανάλυση SWOT για την εφαρμογή OPS στον λιμένα της Ρόδου

Εσωτερικό περιβάλλον	Εξωτερικό περιβάλλον
Δυνατά σημεία, Strengths S1. Υψηλή καταγεγραμμένη δραστηριότητα κρουαζιέρας S2. Μεγάλη διάρκεια παραμονής των πλοίων, με επαρκές χρονικό παράθυρο για χρήση OPS S3. Υψηλή συγκέντρωση του στόλου σε πλοία μεγαλύτερων κατηγοριών GT	Ευκαιρίες, Opportunities O1. Ευρωπαϊκό κανονιστικό πλαίσιο που ενισχύει την ανάπτυξη και χρήση OPS O2. Διαθεσιμότητα ευρωπαϊκών χρηματοδοτικών εργαλείων και ύπαρξη ελληνικού προηγούμενου συγχρηματοδότησης OPS O3. Δυνατότητα διερεύνησης εναλλακτικών μοντέλων ανάπτυξης και διακυβέρνησης, όπως το Extension-to-Grid
Αδύνατα σημεία, Weaknesses W1. Έντονη εποχικότητα της δυνητικής ζήτησης OPS W2. Πρόσθετες τεχνικές απαιτήσεις σύνδεσης και προσαρμογής της ηλεκτρικής τροφοδότησης	Απειλές, Threats T1. Δυνατότητα εφαρμογής της εξαίρεσης του άρθρου 9(3) του AFIR για μη διασυνδεδεμένα νησιωτικά συστήματα T2. Αβεβαιότητα ως προς τις απαιτούμενες ενισχύσεις και τη δυνατότητα σύνδεσης χωρίς ειδική μελέτη T3. Υψηλή απαίτηση ισχύος σε σενάρια ταυτόχρονης εξυπηρέτησης πολλών πλοίων T4. Υψηλή εξάρτηση του ηλεκτρικού συστήματος από θερμική παραγωγή και σημαντική μεταβλητότητα του εκτιμώμενου κόστους κάλυψης της ενέργειας OPS

Τα δυνατά σημεία αφορούν τη διαπιστωμένη βάση δυνητικής ζήτησης και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του στόλου. Οι 386 δυνητικά επιλέξιμες προσεγγίσεις αντιστοιχούν σε 70 μοναδικά πλοία. Από τις προσεγγίσεις αυτές, οι 271, ποσοστό 70,2%, είχαν διάρκεια τουλάχιστον 10 ώρες, γεγονός που παρέχει σημαντικό χρονικό περιθώριο σύνδεσης και χρήσης OPS. Παράλληλα, 59 από τα 70 μοναδικά πλοία, ποσοστό 84,3%, ανήκουν σε κατηγορίες τουλάχιστον 25.000 GT. Τα στοιχεία αυτά τεκμηριώνουν τη δυνητική βάση ζήτησης OPS και τη σημαντική παρουσία πλοίων μεγαλύτερων κατηγοριών GT, χωρίς να αποδεικνύουν πλήρη αξιοποίηση της υποδομής ή να επιτρέπουν πλήρη οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης.

Τα αδύνατα σημεία συνδέονται με τη χρονική κατανομή της ζήτησης και την ανάγκη τεχνικής προσαρμογής. Η συγκέντρωση της κρουαζιερόπλοιας δραστηριότητας σε συγκεκριμένους μήνες δημιουργεί έντονα εποχικό προφίλ δυνητικής χρήσης, χωρίς να προσδιορίζει τον πραγματικό συντελεστή αξιοποίησης μιας μελλοντικής εγκατάστασης. Παράλληλα, οι απαιτήσεις διαλειτουργικότητας πλοίου και υποδομής αυξάνουν την τεχνική πολυπλοκότητα, χωρίς να τεκμηριώνουν αδυναμία εφαρμογής.

Οι ευκαιρίες προκύπτουν κυρίως από το ευρωπαϊκό κανονιστικό και χρηματοδοτικό περιβάλλον. Ο AFIR, το FuelEU Maritime και τα διαθέσιμα χρηματοδοτικά εργαλεία δημιουργούν ευνοϊκές εξωτερικές συνθήκες για την ανάπτυξη OPS, χωρίς να εξασφαλίζουν χρηματοδότηση ή εφαρμογή έργου στη Ρόδο (European Parliament and Council, 2023a, 2023b· ΔΕΔΔΗΕ, 2026a). Παράλληλα, το Extension-to-Grid κατατάσσεται ως εναλλακτικό μοντέλο ανάπτυξης και διακυβέρνησης προς διερεύνηση και όχι ως θεσμοθετημένο ή εγκεκριμένο μοντέλο εφαρμογής για τη Ρόδο (Ennis et al., 2026).

Οι απειλές συγκεντρώνουν κανονιστικές, τεχνικές και ενεργειακές αβεβαιότητες. Το μεταβατικό καθεστώς της εξαίρεσης του άρθρου 9(3) του AFIR δημιουργεί κανονιστική αβεβαιότητα για τη Ρόδο, όπως αναλύθηκε στην §3.3.6. Σε τεχνικό επίπεδο, η απουσία ειδικής μελέτης σύνδεσης διατηρεί ανοικτές τη δυνατότητα σύνδεσης και τις απαιτούμενες ενισχύσεις, χωρίς να αποδεικνύει ανεπάρκεια του δικτύου. Η θεωρητική μέγιστη συνδεδεμένη ισχύς των 29,734 MW αποτελεί συντηρητικό μέγεθος σχεδιασμού και όχι πρόβλεψη πραγματικού φορτίου. Τέλος, στο άθροισμα της συμβατικής παραγωγής και των κατηγοριών ΑΠΕ που περιλήφθηκαν στην αποτίμηση, η συμβατική παραγωγή

αντιστοιχούσε στο 85,92% το 2025, ενώ η μηνιαία αποτίμηση και το εκτιμώμενο κόστος κάλυψης της ενέργειας OPS παρουσίασαν σημαντική μεταβλητότητα. Τα δύο στοιχεία αποτελούν διακριτά χαρακτηριστικά του ενεργειακού περιβάλλοντος και η ανάλυση δεν τεκμηριώνει αιτιώδη ποσοτική σχέση μεταξύ τους.

Συνολικά, η ανάλυση SWOT δεν οδηγεί σε μονοσήμαντη αξιολόγηση υπέρ ή κατά της εφαρμογής OPS στη Ρόδο. Αναδεικνύει αφενός συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της λιμενικής δραστηριότητας και εξωτερικές συνθήκες που μπορούν να υποστηρίξουν την ανάπτυξη υποδομών OPS και αφετέρου τεχνικές, κανονιστικές και ενεργειακές αβεβαιότητες που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση. Δεν εφαρμόστηκε στάθμιση των παραγόντων SWOT. Συνεπώς, η ανάλυση δεν υποστηρίζει κατάταξη των παραγόντων ούτε συμπέρασμα ότι τα δυνατά σημεία και οι ευκαιρίες υπερσχύουν των αδύνατων σημείων και των απειλών.

6.1 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Οι 386 δυνητικά επιλέξιμες προσεγγίσεις, οι οποίες αντιστοιχούν σε 70 μοναδικά πλοία, εξειδικεύουν τον συνολικό αριθμό αφίξεων ως προς τη δυνητική λειτουργική βάση OPS στη Ρόδο. Η διαφορά μεταξύ των δύο μεγεθών δείχνει ότι μέρος του στόλου προσέγγισε τον λιμένα επανειλημμένα το 2025, χωρίς να αποδεικνύει πρόθεση χρήσης OPS ή διατήρηση των ίδιων δρομολογίων. Παράλληλα, 271 προσεγγίσεις διήρκεσαν τουλάχιστον 10 ώρες. Το εύρημα εξειδικεύει για τη Ρόδο τη βιβλιογραφική σχέση μεταξύ διάρκειας παραμονής και δυνητικά παρεχόμενης ενέργειας, η οποία εξαρτάται από την ισχύ και τη διάρκεια παροχής. Ωστόσο, η διάρκεια ελλιμενισμού δεν ταυτίζεται με τη διάρκεια ηλεκτροδότησης, καθώς μεσολαβούν οι διαδικασίες σύνδεσης και αποσύνδεσης, ενώ η χρήση προϋποθέτει διαθέσιμη θέση και συμβατό εξοπλισμό πλοίου και λιμένα (Amaral et al., 2023). Οι παρατεταμένες παραμονές παρέχουν επομένως δυνητικό χρονικό περιθώριο λειτουργίας OPS, χωρίς να προσδιορίζουν την πραγματική αξιοποίησή του.

Η σύνθεση του στόλου προσθέτει δεύτερη διάσταση στη λειτουργική εικόνα, καθώς 59 από τα 70 μοναδικά πλοία ανήκουν σε κατηγορίες τουλάχιστον 25.000 GT. Η ηλεκτρική ζήτηση κατά τον ελλιμενισμό διαφοροποιείται ανάλογα με το μέγεθος, τον σχεδιασμό και τις λειτουργίες του πλοίου, αλλά η βιβλιογραφία δεν τεκμηριώνει καθολική σχέση που να μετατρέπει την ολική χωρητικότητα σε πραγματικό φορτίο. Όταν δεν υπάρχουν μετρημένες καμπύλες φορτίου, οι κατηγορίες GT επιτρέπουν προκαταρκτική διαφοροποίηση των εκτιμώμενων ενεργειακών απαιτήσεων, χωρίς να υποκαθιστούν τα τεχνικά στοιχεία κάθε πλοίου (Espinosa et al., 2016; Brækken et al., 2023; Amaral et al., 2023). Συνεπώς, η συγκέντρωση στις μεγαλύτερες κατηγορίες GT ενισχύει την ανάγκη διαφοροποίησης των ενεργειακών εκτιμήσεων, αλλά δεν αποδεικνύει εξοπλισμό ή συμβατότητα OPS.

Ο συνδυασμός επαναλαμβανόμενων προσεγγίσεων, παρατεταμένων παραμονών και διαφορετικών κατηγοριών στόλου διαμορφώνει καταγεγραμμένη βάση δυνητικής χρήσης. Η βιβλιογραφία συνδέει την κατανομή του σταθερού κόστους με τις συνδέσεις και τις ώρες

παροχής, αλλά αναγνωρίζει ότι η εποχικότητα, η περιορισμένη συμβατότητα και η μικρότερη πραγματική διάρκεια σύνδεσης περιορίζουν τη χρήση της εγκατάστασης (Williamsson et al., 2022; Bignucolo et al., 2025). Η εμπειρία της California και του Gothenburg καταδεικνύει επίσης τη διάκριση μεταξύ επιλέξιμης προσέγγισης, διαθέσιμης υποδομής και πραγματικής σύνδεσης (Cho et al., 2025; Port of Gothenburg, 2025). Τα δεδομένα της Ρόδου προσδιορίζουν το δυνητικό πεδίο εξυπηρέτησης, αλλά δεν περιλαμβάνουν στοιχεία συμβατότητας, θέσης ελλιμενισμού, επιτυχών συνδέσεων ή ωρών παροχής.

Η μετάβαση στην ενεργειακή αποτύπωση δείχνει ότι ο αριθμός των προσεγγίσεων δεν αρκεί για να περιγράψει τη ζήτηση OPS. Η εκτιμώμενη ετήσια ενεργειακή απαίτηση των 6.946,53 MWh συνδυάζει την ισχύ που αποδίδεται στα πλοία με τη διάρκεια παρουσίας τους. Επομένως, η συμβολή κάθε προσέγγισης διαφοροποιείται ανάλογα με τη διάρκεια παραμονής και την εκτιμώμενη ισχύ της. Το αποτέλεσμα εξειδικεύει για τη Ρόδο τη βιβλιογραφική διάκριση μεταξύ ισχύος, δηλαδή φορτίου σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, και ενέργειας, δηλαδή σωρευτικής κατανάλωσης κατά τη λειτουργία (Amaral et al., 2023). Οι 6.946,53 MWh εκφράζουν το συνολικό ενεργειακό μέγεθος υπό τις παραδοχές της ανάλυσης, όχι μετρημένη κατανάλωση ή ομοιόμορφη ζήτηση στη διάρκεια του έτους.

Η εποχικότητα της κρουαζιερόπλοιας δραστηριότητας μεταφέρεται στο ενεργειακό προφίλ, αλλά η μηνιαία ζήτηση δεν ακολουθεί τον αριθμό των προσεγγίσεων. Η διάρκεια παραμονής και η εκτιμώμενη ισχύς μεταβάλλουν την ενέργεια κάθε περιόδου, ενώ η επικάλυψη των παραμονών καθορίζει το ωριαίο φορτίο. Η μέγιστη εκτιμώμενη λειτουργική ζήτηση των 9,212 MW προέκυψε από το άθροισμα των εκτιμώμενων λειτουργικών φορτίων των πλοίων που ήταν ταυτόχρονα παρόντα κατά την ώρα του μέγιστου της λειτουργικής καμπύλης OPS. Η βιβλιογραφία θεωρεί τον ταυτοχρονισμό κρίσιμη μεταβλητή, καθώς η απαίτηση του λιμένα προκύπτει από τα φορτία των πλοίων που λειτουργούν ταυτόχρονα και όχι από την απλή άθροιση των προσεγγίσεων (Amaral et al., 2023; Cho et al., 2025).

Οι 6.946,53 MWh και τα 9,212 MW δεν αποτελούν εναλλακτικές εκτιμήσεις, αλλά διαφορετικές διαστάσεις του ίδιου λειτουργικού ενεργειακού προφίλ. Η ετήσια ενέργεια αποτυπώνει τη συνολική δυνητική κατανάλωση, ενώ η μέγιστη λειτουργική ισχύς το χρονικά εντοπισμένο μέγιστο που διαμόρφωσε ο ταυτοχρονισμός. Επειδή το ετήσιο

άθροισμα δεν αποκαλύπτει τη συγκέντρωση της ζήτησης σε συγκεκριμένους μήνες και ώρες, η αξιολόγηση της ενεργειακής επίδρασης του OPS απαιτεί χωριστή εξέταση της χρονικής κατανομής και της λειτουργικής ισχύος.

Η χρονική αντιπαράβολή της εκτιμώμενης λειτουργικής ζήτησης OPS με το πραγματικό φορτίο του Ηλεκτρικού Συστήματος Ρόδου έδειξε ότι οι μέγιστες επιβαρύνσεις δεν συνέπεσαν το 2025. Η ετήσια αιχμή ανήλθε σε 256,141 MW, αλλά κατά την ώρα εμφάνισής της δεν υπήρχε λειτουργία OPS, οπότε η προσθήκη της εκτιμώμενης ζήτησης των πλοίων δεν τη μετέβαλε. Η μέγιστη συνδυασμένη ζήτηση κατά τις ώρες λειτουργίας OPS διαμορφώθηκε σε 250,450 MW. Η διαφορά εκφράζει αποκλειστικά τη διαφορετική χρονική στιγμή εμφάνισης των δύο μεγεθών. Το αποτέλεσμα εξειδικεύει για τη Ρόδο τη σημασία της ωριαίας εξέτασης της ζήτησης OPS σε σχέση με τις τοπικές αιχμές (Cho et al., 2025).

Η μη σύμπτωση αποτελεί χρονικό εύρημα για το 2025 και όχι τεχνική αξιολόγηση του συστήματος. Δεν τεκμηριώνει επάρκεια παραγωγής ή δικτύου, διαθέσιμο περιθώριο ισχύος στο σημείο σύνδεσης ή δυνατότητα σύνδεσης συγκεκριμένης εγκατάστασης OPS. Όπως επισημαίνει η Ενότητα 3.3.4, η ωριαία καμπύλη επιτρέπει έλεγχο της χρονικής σύμπτωσης, αλλά δεν υποκαθιστά τη μελέτη σύνδεσης ή τη δυναμική εξέταση του δικτύου, οι οποίες απαιτούν πρόσθετα ηλεκτροτεχνικά δεδομένα και διερεύνηση από τον αρμόδιο Διαχειριστή. Η σύγκριση δείχνει πότε εμφανίστηκε η εξεταζόμενη επιβάρυνση, όχι αν το σύστημα μπορεί να την εξυπηρετήσει με ασφάλεια, και δεν στηρίζει συμπέρασμα περί δυνατότητας ηλεκτρικής σύνδεσης.

Η θεωρητική μέγιστη συνδεδεμένη ισχύς των 29,734 MW αποτυπώνει συντηρητικό σενάριο τεχνικού σχεδιασμού για την ταυτόχρονη παρουσία τεσσάρων πλοίων. Προϋποθέτει ότι όλα εμφανίζουν συγχρόνως τις εκτιμώμενες ατομικές αιχμές τους και δεν προβλέπει πραγματικό λειτουργικό φορτίο. Το μέγεθος παρέχει δυσμενές επίπεδο αναφοράς για τον τεχνικό σχεδιασμό, χωρίς να τεκμηριώνει δυνατότητα σύνδεσης ή επάρκεια του τοπικού δικτύου. Η ερμηνεία συμφωνεί με τη βιβλιογραφική θέση ότι ο σχεδιασμός OPS πρέπει να εξετάζει τις αιχμές της ταυτόχρονης εξυπηρέτησης και τα χαρακτηριστικά του δικτύου στο σημείο σύνδεσης (Cho et al., 2025; Costa et al., 2022).

Το ενεργειακό και οικονομικό περιβάλλον του 2025 καθορίζει το πλαίσιο αποτίμησης. Στο άθροισμα της συμβατικής παραγωγής και των κατηγοριών ΑΠΕ που περιλήφθηκαν στην

αποτίμηση, η συμβατική παραγωγή αντιστοιχούσε στο 85,92% το 2025. Το ποσοστό αφορά αποκλειστικά τον συγκεκριμένο παρονομαστή και όχι το σύνολο των καταγεγραμμένων κατηγοριών παραγωγής και έγχυσης στη Ρόδο, ούτε προσδιορίζει ποιες μονάδες θα κάλυπταν την πρόσθετη ζήτηση OPS. Αναδεικνύει τη σημασία της βιβλιογραφικής θέσης ότι το συνολικό περιβαλλοντικό αποτέλεσμα εξαρτάται από την πηγή της χερσαίας ηλεκτρικής ενέργειας (Abu Bakar et al., 2023; Innes and Monios, 2018; Zis, 2019). Χωρίς σύγκριση των εκπομπών της χερσαίας παραγωγής και των βοηθητικών μηχανών, δεν επιτρέπει συμπέρασμα για καθαρό περιβαλλοντικό όφελος ή επιβάρυνση.

Το εκτιμώμενο κόστος κάλυψης της ενέργειας OPS ανήλθε σε 2.077.306 €, με ετήσια σταθμισμένη αποτίμηση 299,04 €/MWh. Τα μεγέθη αφορούν τις ενεργειακές και οικονομικές συνθήκες του 2025 και δεν αποτελούν τιμολόγιο OPS, συνολικό κόστος επένδυσης ή πλήρη οικονομική αξιολόγησή της. Η προγραμματισμένη διασύνδεση της Ρόδου, όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 3.3.6, θα μεταβάλει το ενεργειακό και κανονιστικό πλαίσιο του νησιού (ΔΕΔΔΗΕ, 2024; ΑΔΜΗΕ, 2024). Τα αποτελέσματα του 2025 δεν μεταφέρονται επομένως αυτομάτως σε μεταγενέστερη περίοδο. Η εργασία δεν ποσοτικοποιεί τις επιδράσεις της διασύνδεσης και δεν τεκμηριώνει ότι αυτή θα καταστήσει το OPS φθηνότερο, καθαρότερο ή τεχνικά ευκολότερο.

6.2 ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ

6.2.1 ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΣΤΟ RQ1

RQ1, Ποιοτικά χαρακτηριστικά: Ποια είναι τα κύρια περιβαλλοντικά, οικονομικά, τεχνικά και λειτουργικά οφέλη και ποια τα εμπόδια από την εφαρμογή του OPS σε έναν μη διασυνδεδεμένο νησιωτικό λιμένα;

Ως προς την περιβαλλοντική διάσταση, το κύριο όφελος του OPS είναι η παύση λειτουργίας των βοηθητικών μηχανών των πλοίων κατά τον ελλιμενισμό. Με αυτόν τον τρόπο περιορίζονται εντός της λιμενικής ζώνης οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου, οξειδίων του θείου και αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς και ο θόρυβος και οι δονήσεις. Το συνολικό περιβαλλοντικό αποτέλεσμα δεν είναι, ωστόσο, δεδομένο. Εξαρτάται από το παραγωγικό μείγμα του χερσαίου συστήματος, την απόδοση των μονάδων και τις απώλειες παραγωγής,

μεταφοράς και μετατροπής. Σε ένα μη διασυνδεδεμένο σύστημα με υψηλή συμμετοχή θερμικής παραγωγής, η μείωση των εκπομπών στον λιμένα δεν συνεπάγεται αυτομάτως αντίστοιχη μείωση των συνολικών εκπομπών.

Στην οικονομική διάσταση, η χρήση OPS μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ναυτιλιακού καυσίμου, τη χρήση των βοηθητικών μηχανών και το σχετικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης του πλοίου. Μπορεί επίσης να δημιουργήσει κοινωνικά οφέλη μέσω της βελτίωσης της ποιότητας του αέρα στη λιμενική περιοχή. Τα οφέλη αυτά πρέπει να συγκριθούν με το κόστος της χερσαίας ηλεκτρικής ενέργειας, το επενδυτικό και λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης, τις απαιτούμενες ενισχύσεις δικτύου και το κόστος μετασκευής των μη συμβατών πλοίων. Η εποχικότητα, η περιορισμένη χρήση και η αβεβαιότητα ως προς την κατανομή του κόστους μεταξύ λιμένα, Διαχειριστή, παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας και πλοιοκτητών αποτελούν βασικά οικονομικά εμπόδια.

Σε τεχνικό επίπεδο, το OPS παρέχει τυποποιημένη χερσαία τροφοδότηση και περιορίζει την ανάγκη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επί του πλοίου κατά τον ελλιμενισμό. Η εφαρμογή του απαιτεί, όμως, επαρκή ισχύ παραγωγής και δικτύου, διατήρηση αποδεκτών ορίων τάσης και συχνότητας, κατάλληλους μετασχηματιστές και μετατροπείς, ασφαλή καλωδιακή σύνδεση και συμβατότητα μεταξύ πλοίου και λιμενικής εγκατάστασης. Στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, η συγκεντρωμένη πρόσθετη ζήτηση και η περιορισμένη δυνατότητα ανταλλαγής ενέργειας με άλλο σύστημα αυξάνουν τη σημασία της ειδικής μελέτης σύνδεσης και της διαχείρισης της αιχμής.

Σε λειτουργικό επίπεδο, το OPS περιορίζει τη λειτουργία μηχανών μέσα στον λιμένα και μπορεί να ενταχθεί σε σταθερές διαδικασίες εξυπηρέτησης των πλοίων. Η πραγματική αξιοποίησή του εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα κατάλληλης θέσης, τον χρόνο σύνδεσης και αποσύνδεσης, τη διάρκεια παραμονής, την εκπαίδευση του προσωπικού, τις διαδικασίες ασφαλείας και την προθυμία των πλοίων να χρησιμοποιήσουν την υπηρεσία. Η ύπαρξη υποδομής δεν εξασφαλίζει πραγματική χρήση, ιδιαίτερα όταν ο στόλος δεν είναι πλήρως συμβατός ή όταν η δραστηριότητα παρουσιάζει έντονη εποχικότητα.

Συνεπώς, το OPS προσφέρει σαφή τοπικά περιβαλλοντικά και λειτουργικά οφέλη, αλλά η συνολική περιβαλλοντική και οικονομική επίδοσή του παραμένει εξαρτημένη από το ενεργειακό μείγμα, το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας, την τεχνική επάρκεια και τον

πραγματικό βαθμό χρήσης της υποδομής. Στους μη διασυνδεδεμένους νησιωτικούς λιμένες, τα εμπόδια αυτά αποκτούν μεγαλύτερη βαρύτητα λόγω των περιορισμών του τοπικού ηλεκτρικού συστήματος και της απουσίας άμεσης υποστήριξης από διασυνδεδεμένο δίκτυο.

6.2.2 ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΣΤΟ RQ2

RQ2, Μακροπεριβάλλον, PESTEL: Ποιοι πολιτικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί, τεχνολογικοί, περιβαλλοντικοί και νομικοί παράγοντες επηρεάζουν την υιοθέτηση της τεχνολογίας OPS στην Ευρώπη και την Ελλάδα;

Οι πολιτικοί παράγοντες αφορούν κυρίως την ευρωπαϊκή πολιτική απανθρακοποίησης των μεταφορών, τον εθνικό ενεργειακό σχεδιασμό, την προτεραιοποίηση των λιμένων και τον συντονισμό μεταξύ δημόσιων αρχών, λιμενικών φορέων και Διαχειριστών. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η ανάπτυξη OPS εντάσσεται στη στρατηγική περιορισμού των εκπομπών της ναυτιλίας. Στην Ελλάδα, το Σχέδιο Ανάπτυξης Δικτύου 2026 έως 2030 και η συνεργασία των αρμόδιων υπουργείων με τους Διαχειριστές δείχνουν ότι το OPS έχει ενταχθεί στον τεχνικό και χρηματοδοτικό σχεδιασμό. Η ύπαρξη σχεδιασμού δεν ισοδυναμεί με εγκεκριμένη χρηματοδότηση ή επενδυτική απόφαση για κάθε λιμένα.

Οι οικονομικοί παράγοντες περιλαμβάνουν το υψηλό αρχικό κόστος των λιμενικών εγκαταστάσεων και των έργων δικτύου, το κόστος μετασκευής των πλοίων, την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, τον βαθμό αξιοποίησης της υποδομής και την κατανομή κόστους και κινδύνου μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων. Τα ευρωπαϊκά χρηματοδοτικά εργαλεία μπορούν να περιορίσουν το αρχικό επενδυτικό βάρος, αλλά δεν επαρκούν για την πλήρη οικονομική αξιολόγηση μιας επένδυσης. Στην Ελλάδα, η εμπειρία της Ηγουμενίτσας δείχνει ότι υπάρχουν διαθέσιμες κατευθύνσεις χρηματοδότησης, όχι όμως διασφαλισμένη χρηματοδότηση για τη Ρόδο.

Οι κοινωνικοί παράγοντες συνδέονται με τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, τον περιορισμό του θορύβου και τις πιθανές επιδράσεις στη δημόσια υγεία και στην ποιότητα ζωής των περιοχών γύρω από τους λιμένες. Περιλαμβάνουν επίσης την κοινωνική αποδοχή των έργων, την κατανομή του κόστους και των οφελών και τη συμμετοχή των τοπικών φορέων στη λήψη αποφάσεων. Για τη Ρόδο δεν υπάρχουν πρωτογενή δεδομένα που να τεκμηριώνουν τη στάση των κατοίκων, των εργαζομένων ή των επαγγελματιών φορέων.

Επομένως, η κοινωνική αποδοχή παραμένει πεδίο που απαιτεί τοπική διερεύνηση και διαβούλευση.

Οι τεχνολογικοί παράγοντες αφορούν την επάρκεια του ηλεκτρικού συστήματος, τη διαλειτουργικότητα πλοίου και ξηράς, την τυποποίηση, τη μετατροπή τάσης και συχνότητας, τα συστήματα προστασίας και ελέγχου και τις δυνατότητες διαχείρισης φορτίου. Τα πρότυπα της σειράς IEC/IEEE 80005 περιορίζουν τον κίνδυνο ασυμβατότητας, αλλά δεν καταργούν την ανάγκη εξέτασης των χαρακτηριστικών κάθε λιμένα και στόλου. Στην Ελλάδα, και ειδικά στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, η ανάγκη ενίσχυσης του δικτύου και η διαχείριση υψηλών ταυτόχρονων φορτίων αποτελούν κρίσιμους τεχνολογικούς παράγοντες.

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες περιλαμβάνουν τα τοπικά οφέλη από τη μείωση των εκπομπών και του θορύβου, αλλά και το παραγωγικό μείγμα που καλύπτει την πρόσθετη ηλεκτρική ζήτηση. Σε συστήματα με υψηλή συμμετοχή ΑΠΕ, το OPS μπορεί να προσφέρει μεγαλύτερο συνολικό περιβαλλοντικό όφελος. Αντίθετα, σε συστήματα που βασίζονται κυρίως σε θερμική παραγωγή, απαιτείται σύγκριση των εκπομπών της πρόσθετης χερσαίας παραγωγής με τις εκπομπές των βοηθητικών μηχανών των πλοίων. Πρέπει επίσης να εξεταστούν οι περιβαλλοντικές και χωροταξικές επιπτώσεις των υποσταθμών, των καλωδιακών οδεύσεων και των παρεμβάσεων στις προβλήτες.

Οι νομικοί παράγοντες καθορίζονται κυρίως από τους Κανονισμούς AFIR και FuelEU Maritime, το καθεστώς του δικτύου TEN-T, τις τεχνικές προδιαγραφές και τις απαιτήσεις αδειοδότησης και λειτουργίας. Το ευρωπαϊκό πλαίσιο δημιουργεί συμπληρωματικές υποχρεώσεις για την ανάπτυξη λιμενικών υποδομών και τη χρήση OPS από τα πλοία. Για την Ελλάδα, ιδιαίτερη σημασία έχει η δυνατότητα εξαίρεσης των μη διασυνδεδεμένων νησιωτικών συστημάτων από τον στόχο υποδομής του AFIR, υπό τις προϋποθέσεις του Κανονισμού. Η εξαίρεση δεν απαγορεύει την εθελοντική ανάπτυξη OPS και δεν αναιρεί την ανάγκη συμβατότητας με το FuelEU Maritime και το υπόλοιπο ενωσιακό πλαίσιο.

Συνολικά, η ανάλυση PESTEL δείχνει ότι η υιοθέτηση OPS στην Ευρώπη και την Ελλάδα ενισχύεται από την κανονιστική κατεύθυνση, τη διαθεσιμότητα χρηματοδοτικών εργαλείων και τα τοπικά περιβαλλοντικά οφέλη. Περιορίζεται από το υψηλό κόστος, τις τεχνικές απαιτήσεις, την αβεβαιότητα πραγματικής χρήσης, την ανάγκη συντονισμού πολλών

φορέων και, στην περίπτωση των μη διασυνδεδεμένων νησιών, από το ειδικό νομικό καθεστώς και τους περιορισμούς του τοπικού ηλεκτρικού συστήματος.

6.2.3 ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΣΤΟ RQ3

RQ3, Ενεργειακές Απαιτήσεις και Δίκτυο: Ποιες ενεργειακές απαιτήσεις δημιουργεί η εφαρμογή OPS για την εξυπηρέτηση των κρουαζιερόπλοιων στον λιμένα της Ρόδου και πώς αυτές συσχετίζονται με τη δυναμικότητα και τους περιορισμούς του τοπικού ηλεκτρικού συστήματος;

Για τις 386 δυνητικά επιλέξιμες προσεγγίσεις του 2025, η εκτιμώμενη ετήσια ενεργειακή απαίτηση OPS ανέρχεται σε 6.946,53 MWh. Η ζήτηση παρουσιάζει έντονη εποχικότητα, με συγκέντρωση κυρίως κατά την περίοδο αυξημένης κρουαζιερόπλοιας δραστηριότητας. Η μέγιστη εκτιμώμενη λειτουργική ζήτηση των 9,212 MW εμφανίστηκε πρώτη φορά στις 09:00 της 5ης Αυγούστου 2025 και διατηρήθηκε έως και τις 13:00. Οι τιμές αυτές αποτελούν εκτιμήσεις βάσει της πραγματικής χρονικής παρουσίας των πλοίων και βιβλιογραφικών παραδοχών μέσης ισχύος, όχι μετρήσεις πραγματικής λειτουργίας OPS.

Η ωριαία αντιπαραβολή έδειξε ότι η μέγιστη λειτουργική ζήτηση OPS δεν συνέπεσε με την ετήσια αιχμή του Ηλεκτρικού Συστήματος Ρόδου. Η ετήσια αιχμή παρέμεινε στα 256,141 MW, επειδή κατά τη συγκεκριμένη ώρα δεν υπήρχε εκτιμώμενη λειτουργία OPS. Η μέγιστη συνδυασμένη ζήτηση κατά τις ώρες λειτουργίας OPS ανήλθε σε 250,450 MW και παρέμεινε χαμηλότερη από την ετήσια αιχμή. Η συσχέτιση μεταξύ του ωριαίου φορτίου του συστήματος και της ζήτησης OPS ήταν μέτρια θετική για το σύνολο του έτους, με συντελεστή ($r = 0,445$), και χαμηλότερη όταν εξετάστηκαν μόνο οι ώρες λειτουργίας OPS, με ($r = 0,311$). Τα αποτελέσματα δείχνουν χρονική συνύπαρξη της εποχικής ζήτησης OPS με περιόδους αυξημένου φορτίου, αλλά όχι ισχυρή ή σταθερή σύμπτωση των δύο καμπυλών.

Η παραπάνω συσχέτιση αφορά αποκλειστικά τη χρονική σχέση της ζήτησης OPS με το συνολικό ωριαίο φορτίο του συστήματος το 2025. Δεν αξιολογήθηκαν η επάρκεια παραγωγής, το διαθέσιμο περιθώριο στο σημείο σύνδεσης, τα θερμικά όρια, οι εφεδρείες, η ευστάθεια ή οι αναγκαίες ενισχύσεις. Συνεπώς, η εργασία προσδιορίζει το μέγεθος και τη χρονική κατανομή της πρόσθετης ενεργειακής ζήτησης, χωρίς να εξάγει συμπέρασμα για τα παραπάνω τεχνικά ζητήματα.

6.2.4 ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΣΤΟ RQ4

RQ4, Τεχνικές Προϋποθέσεις και Εκτιμώμενο Κόστος Ενέργειας, Case Study: Ποιες τεχνικές και ενεργειακές προϋποθέσεις πρέπει να ικανοποιηθούν για την εφαρμογή του OPS στον λιμένα της Ρόδου και ποιο είναι το εκτιμώμενο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας της λειτουργίας του;

Σε τεχνικό επίπεδο, η εφαρμογή προϋποθέτει σύνδεση με το δίκτυο μέσης τάσης των 20 kV, κατάλληλο μετασχηματισμό τάσης, μετατροπή συχνότητας όπου απαιτείται και εξοπλισμό προστασίας, ελέγχου και διαχείρισης καλωδίων. Απαιτεί επίσης συμβατότητα μεταξύ πλοίου και ξηράς ως προς την τάση, τη συχνότητα, την ισχύ, τη γείωση, τα βύσματα, την επικοινωνία και τη θέση σύνδεσης, σύμφωνα με τα σχετικά τεχνικά πρότυπα. Ο σχεδιασμός πρέπει να καθορίσει τον αριθμό των θέσεων OPS, το επίπεδο ταυτόχρονης εξυπηρέτησης, τις λειτουργικές διαδικασίες και τις απαιτήσεις ασφάλειας.

Η θεωρητική μέγιστη συνδεδεμένη ισχύς εκτιμήθηκε σε 29,734 MW για το δυσμενές σενάριο ταυτόχρονης εξυπηρέτησης τεσσάρων πλοίων. Η τιμή αποτελεί συντηρητικό μέγεθος τεχνικού σχεδιασμού και όχι πρόβλεψη πραγματικής λειτουργικής ζήτησης. Η τελική ισχύς της εγκατάστασης δεν μπορεί να καθοριστεί μόνο από αυτό το σενάριο. Απαιτεί ειδική μελέτη σύνδεσης, εξέταση εναλλακτικών αριθμών θέσεων, αξιολόγηση της ταυτόχρονης ζήτησης και προσδιορισμό των αναγκαίων ενισχύσεων του δικτύου.

Σε ενεργειακό επίπεδο, πρέπει να εξασφαλιστεί η ασφαλής κάλυψη της ζήτησης OPS κατά τις πραγματικές ώρες προσέγγισης, σε συνδυασμό με το φορτίο του νησιού, τις διαθέσιμες μονάδες παραγωγής και τις απαιτούμενες εφεδρείες. Πρέπει επίσης να εξεταστούν η χρονική μεταβολή του παραγωγικού μείγματος, η επίδραση της πρόσθετης ζήτησης στις θερμικές μονάδες και οι δυνατότητες διαχείρισης φορτίου. Η ωριαία ανάλυση της εργασίας παρέχει αρχική ποσοτική βάση, αλλά δεν υποκαθιστά τη σχετική τεχνική μελέτη του Διαχειριστή.

Για το εξεταζόμενο σενάριο του 2025, τα 2.077.306 € και η ετήσια σταθμισμένη μέση αποτίμηση των 299,04 €/MWh αφορούν αποκλειστικά το εκτιμώμενο κόστος κάλυψης της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας OPS για το 2025. Δεν αποτελούν τιμολόγιο OPS, συνολικό λειτουργικό κόστος, συνολικό κόστος επένδυσης ή πλήρη οικονομική αξιολόγηση.

6.2.5 ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΣΤΟ ΚΥΡΙΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΩΤΗΜΑ

«Πώς και με ποιες προϋποθέσεις μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνολογία ηλεκτροδότησης κρουαζιερόπλοιων από ξηρά (Onshore Power Supply, OPS) σε έναν μη διασυνδεδεμένο νησιωτικό λιμένα, με μελέτη περίπτωσης τον λιμένα της Ρόδου;»

Η εφαρμογή OPS σε έναν τέτοιο λιμένα απαιτεί σταδιακό και συντονισμένο σχεδιασμό που συνδέει τη λιμενική ζήτηση με το τοπικό ηλεκτρικό σύστημα, την τεχνική συμβατότητα, το ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτέλεσμα, το οικονομικό μοντέλο και το θεσμικό πλαίσιο. Δεν αρκεί η εγκατάσταση εξοπλισμού στην προβλήτα ούτε η διαπίστωση μεγάλου αριθμού προσεγγίσεων. Πρέπει να επιβεβαιωθούν η πραγματική ζήτηση και η συμβατότητα του στόλου, να επιλεγούν οι θέσεις και το επίπεδο ταυτόχρονης εξυπηρέτησης, να ολοκληρωθεί ειδική μελέτη σύνδεσης, να διερευνηθεί και να διαμορφωθεί το κατάλληλο επιχειρηματικό και χρηματοδοτικό μοντέλο και να αξιολογηθεί το καθαρό περιβαλλοντικό αποτέλεσμα.

Για τη Ρόδο, η εργασία τεκμηριώνει σημαντική δυνητική βάση ζήτησης και ποσοτικοποιεί την ετήσια ενέργεια, τη λειτουργική ζήτηση, ένα συντηρητικό σενάριο ισχύος σχεδιασμού και το κόστος κάλυψης της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα αποτελέσματα δικαιολογούν τη συνέχιση της διερεύνησης σε επίπεδο τεχνικής προμελέτης και αξιολόγησης εναλλακτικών σεναρίων ανάπτυξης. Δεν επαρκούν, όμως, για να επιβεβαιώσουν ότι συγκεκριμένη εγκατάσταση μπορεί να συνδεθεί με ασφάλεια, ότι έχει προσδιοριστεί το πλήρες οικονομικό αποτέλεσμα της επένδυσης, ή ότι θα επιτύχει καθαρή μείωση των συνολικών εκπομπών.

Συνεπώς, τα αποτελέσματα υποστηρίζουν ότι το OPS μπορεί να εξεταστεί στη Ρόδο μόνο ως υπό όρους επιλογή ενεργειακής και λιμενικής υποδομής. Η μετάβαση από την καταγεγραμμένη βάση δυνητικής χρήσης σε πραγματική εφαρμογή προϋποθέτει επαλήθευση της ζήτησης και της συμβατότητας του στόλου, ειδική μελέτη σύνδεσης και ασφαλούς τροφοδότησης, επιλογή του κατάλληλου επιπέδου ισχύος και αριθμού θέσεων, πρόσθετη διερεύνηση της ανταγωνιστικότητας και της διαφάνειας του οικονομικού μοντέλου, πρόσθετη αξιολόγηση του καθαρού περιβαλλοντικού αποτελέσματος και σαφή κατανομή αρμοδιοτήτων, κόστους και κινδύνου μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων.

6.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.3.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εργασία εξέτασε την εφαρμογή του OPS σε έναν μη διασυνδεδεμένο νησιωτικό λιμένα, συνδέοντας τη διεθνή βιβλιογραφία και το ευρωπαϊκό κανονιστικό πλαίσιο με δεδομένα κρουαζιερόπλοιας δραστηριότητας και λειτουργίας του Ηλεκτρικού Συστήματος Ρόδου. Με αυτή την προσέγγιση εξέτασε το OPS ως ζήτημα λιμενικού, ενεργειακού και θεσμικού σχεδιασμού και όχι μόνο ως τεχνική εγκατάσταση ηλεκτροδότησης.

Οι 386 δυνητικά επιλέξιμες προσεγγίσεις του 2025, η παρατεταμένη διάρκεια σημαντικού μέρους των παραμονών και η σύνθεση του στόλου διαμορφώνουν καταγεγραμμένη βάση δυνητικής χρήσης, η οποία δικαιολογεί περαιτέρω διερεύνηση. Τα στοιχεία δεν αποδεικνύουν πραγματική μελλοντική χρήση. Η αξιοποίηση μιας εγκατάστασης θα εξαρτηθεί από τη συμβατότητα των πλοίων, τη διαθεσιμότητα των θέσεων, τις λειτουργικές διαδικασίες και τους όρους παροχής της υπηρεσίας.

Η ποσοτική ανάλυση εκτίμησε την ετήσια ενεργειακή απαίτηση OPS σε 6.946,53 MWh και ανέδειξε την εποχική και ωριαία διαφοροποίησή της. Η αντιπαράβολή με το φορτίο του Ηλεκτρικού Συστήματος Ρόδου έδειξε ότι, το 2025, η εκτιμώμενη λειτουργική ζήτηση OPS δεν συνέπεσε με την απόλυτη ετήσια αιχμή του συστήματος. Το αποτέλεσμα περιγράφει τη χρονική σχέση των δύο καμπυλών για το συγκεκριμένο έτος. Δεν τεκμηριώνει επάρκεια παραγωγής ή δικτύου, διαθέσιμο περιθώριο ισχύος στο σημείο σύνδεσης ή δυνατότητα σύνδεσης συγκεκριμένης εγκατάστασης.

Η μέγιστη εκτιμώμενη λειτουργική ζήτηση των 9,212 MW και η θεωρητική μέγιστη συνδεδεμένη ισχύς των 29,734 MW εξυπηρετούν διαφορετικούς αναλυτικούς σκοπούς. Η πρώτη αποτυπώνει το μέγιστο της εκτιμώμενης λειτουργικής καμπύλης, ενώ η δεύτερη αποτελεί δυσμενές σενάριο ταυτόχρονης εμφάνισης των ατομικών αιχμών τεσσάρων πλοίων. Η διάκριση δείχνει ότι η μελλοντική επιλογή ισχύος δεν μπορεί να βασιστεί σε ένα μόνο μέγεθος ζήτησης και απαιτεί εξέταση εναλλακτικών σεναρίων ταυτόχρονης εξυπηρέτησης.

Το εκτιμώμενο κόστος κάλυψης της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας OPS ανήλθε σε 2.077.306 €, με ετήσια σταθμισμένη τιμή 299,04 €/MWh. Τα μεγέθη αυτά αφορούν

αποκλειστικά το κόστος κάλυψης της εκτιμώμενης ενέργειας OPS για το 2025. Αντίστοιχα, η σύνθεση του παραγωγικού μείγματος καθιστά αναγκαία τη χωριστή εξέταση των τοπικών και συνολικών περιβαλλοντικών επιδράσεων. Η εργασία δεν υπολόγισε το ισοζύγιο εκπομπών και, συνεπώς, δεν προσδιορίζει καθαρό περιβαλλοντικό αποτέλεσμα για τη Ρόδο. Η βασική συμβολή της έγκειται στη διαμόρφωση ποσοτικής και αναλυτικής βάσης για ειδικότερες τεχνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές αξιολογήσεις.

6.3.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Ο πρώτος περιορισμός αφορά τη χρήση δεδομένων ενός έτους και μίας μελέτης περίπτωσης, καθώς και την απουσία μετρήσεων πραγματικής λειτουργίας OPS. Η ποσοτική ανάλυση βασίζεται στην κρουαζιερόπλοια δραστηριότητα και στη λειτουργία του Ηλεκτρικού Συστήματος Ρόδου κατά το 2025. Τα δεδομένα αφίξεων και αναχωρήσεων είναι πραγματικά, αλλά οι τιμές ενέργειας και ισχύος προκύπτουν από βιβλιογραφικά μοντέλα και παραδοχές για τη μέση και τη μέγιστη ισχύ των πλοίων. Επομένως, η εποχικότητα, ο ταυτοχρονισμός και η χρονική σχέση με την αιχμή του συστήματος αφορούν το συγκεκριμένο έτος. Δεν αποτελούν μετρημένες καταναλώσεις, ή ευρήματα που μπορούν να μεταφερθούν αυτομάτως σε άλλους νησιωτικούς λιμένες.

Ο δεύτερος περιορισμός αφορά την αξιολόγηση του ηλεκτρικού συστήματος και την απουσία στοιχείων για την πραγματική χρήση της υποδομής. Η ωριαία ανάλυση εξετάζει τη σχέση της εκτιμώμενης ζήτησης OPS με το συνολικό φορτίο του συστήματος, χωρίς να περιλαμβάνει ροές φορτίου, έλεγχο τάσης και συχνότητας, θερμικά όρια γραμμών και μετασχηματιστών, ανάλυση βραχυκύκλωσης, δυναμική ευστάθεια ή αξιολόγηση συγκεκριμένου σημείου σύνδεσης. Η εργασία δεν διαθέτει επίσης πρωτογενή δεδομένα για την τεχνική συμβατότητα των πλοίων και την πρόθεση των ναυτιλιακών εταιρειών να χρησιμοποιήσουν OPS στη Ρόδο. Συνεπώς, δεν προσδιορίζει τη δυνατότητα σύνδεσης, τις απαιτούμενες ενισχύσεις του δικτύου ή τον πραγματικό συντελεστή αξιοποίησης μιας εγκατάστασης.

Ο τρίτος περιορισμός αφορά το πεδίο της οικονομικής ανάλυσης. Το υπολογισμένο ποσό περιλαμβάνει μόνο το εκτιμώμενο κόστος κάλυψης της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Δεν περιλαμβάνει το κόστος κατασκευής και χρηματοδότησης, τις ενισχύσεις του δικτύου, τις λοιπές λειτουργικές δαπάνες, τις χρεώσεις δικτύου, τους φόρους, το κόστος συντήρησης,

το περιθώριο του φορέα εκμετάλλευσης ή τα έσοδα από την παροχή της υπηρεσίας. Για τον λόγο αυτό, η ανάλυση δεν υπολογίζει δείκτες οικονομικού αποτελέσματος της επένδυσης και δεν προσδιορίζει τελικό τιμολόγιο OPS.

Ο τέταρτος περιορισμός αφορά την περιβαλλοντική αξιολόγηση. Η εργασία δεν υπολόγισε τις εκπομπές των βοηθητικών μηχανών των πλοίων, τις εκπομπές της πρόσθετης χερσαίας ηλεκτροπαραγωγής κατά τις ώρες λειτουργίας OPS ή τις εκπομπές κύκλου ζωής των απαιτούμενων υποδομών. Επομένως, δεν προσδιορίζει το καθαρό περιβαλλοντικό αποτέλεσμα του OPS για τη Ρόδο.

6.3.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Πρώτη προτεραιότητα αποτελεί η διεύρυνση της χρονικής και συγκριτικής βάσης της ανάλυσης. Η αξιοποίηση πολυετών δεδομένων κρουαζιερόπλοιας δραστηριότητας και φορτίου του Ηλεκτρικού Συστήματος Ρόδου θα επιτρέψει τον έλεγχο της σταθερότητας της εποχικότητας, του ταυτοχρονισμού και των ωριαίων αιχμών. Η συλλογή μετρημένων δεδομένων λειτουργίας OPS, εφόσον αυτά καταστούν διαθέσιμα, θα επιτρέψει την επαλήθευση των εκτιμήσεων ενέργειας και ισχύος. Η εφαρμογή της ίδιας μεθόδου σε άλλους μη διασυνδεδεμένους νησιωτικούς λιμένες μπορεί να υποστηρίξει συγκριτική αξιολόγηση και να ελέγξει τη μεταφερσιμότητα των ευρημάτων.

Δεύτερη προτεραιότητα αποτελεί η εκπόνηση ειδικής ηλεκτροτεχνικής μελέτης σύνδεσης και η συλλογή πρωτογενών στοιχείων από τον λιμένα, τον Διαχειριστή και τις ναυτιλιακές εταιρείες. Η μελέτη πρέπει να εξετάσει εναλλακτικά σενάρια αριθμού θέσεων και ταυτόχρονης εξυπηρέτησης, τις ροές φορτίου, τα όρια τάσης και συχνότητας, τις εφεδρείες, τη δυναμική συμπεριφορά του συστήματος και τις απαιτούμενες ενισχύσεις του δικτύου. Παράλληλα, η καταγραφή της τεχνικής συμβατότητας των πλοίων, των θέσεων ελλιμενισμού και της πρόθεσης χρήσης OPS θα επιτρέψει ακριβέστερη εκτίμηση του αναμενόμενου συντελεστή αξιοποίησης.

Τρίτη προτεραιότητα αποτελεί η διευρυνόμενη οικονομική και επενδυτική αξιολόγηση. Η ανάλυση πρέπει να ενσωματώσει το επενδυτικό κόστος, το κόστος ενίσχυσης του δικτύου, τις λειτουργικές δαπάνες, τη χρηματοδότηση, τις χρεώσεις και τα αναμενόμενα έσοδα. Χρειάζεται επίσης να συγκρίνει εναλλακτικά επίπεδα ανάπτυξης και μοντέλα κυριότητας, λειτουργίας και τιμολόγησης. Στο πλαίσιο αυτό μπορεί να εξεταστεί και το Extension-to-

Grid ως ένα από τα εναλλακτικά μοντέλα, χωρίς να θεωρηθεί εκ των προτέρων καταλληλότερο.

Τέταρτη προτεραιότητα αποτελεί η ποσοτική περιβαλλοντική ανάλυση. Η σύγκριση πρέπει να περιλάβει τις εκπομπές των βοηθητικών μηχανών και τις εκπομπές της πρόσθετης χερσαίας παραγωγής κατά τις πραγματικές ώρες ζήτησης. Η χρήση ωριαίου ή οριακού συντελεστή εκπομπών, αντί ετήσιου μέσου όρου, μπορεί να αποδώσει ακριβέστερα τις συνθήκες ενός μη διασυνδεδεμένου συστήματος. Συμπληρωματικά, η ανάλυση μπορεί να εξετάσει σενάρια αυξημένης συμμετοχής ΑΠΕ, αποθήκευσης και διαχείρισης φορτίου.

Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία

Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) (2024) *Δεκαετής Πρόγραμμα Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς 2025-2034: Τεύχος Έργων*. Ιανουάριος, Έκδοση 0.1, Δημόσια Διαβούλευση. <https://www.admie.gr/sites/default/files/news/attached-files/2024/03/%CE%94%CE%A0%CE%91%202025-2034%20%CE%A4%CE%B5%CF%8D%CF%87%CE%BF%CF%82%20%CE%88%CF%81%CE%B3%CF%89%CE%BD.pdf>

Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) (2024) *Επταετής Πρόγραμμα Ανάπτυξης Παραγωγής Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών περιόδου 2024-2030*. Διεύθυνση Διαχείρισης Νησιών. <https://www.deddie.gr/wp-content/uploads/2025/04/1.-%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%93%CE%A1%CE%91%CE%9C%CE%9C%CE%91-%CE%91%CE%9D%CE%91%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%9E%CE%97%CE%A3-%CE%9C%CE%94%CE%9D-2024-2030.pdf>.

Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) (2025) *Σχέδιο Ανάπτυξης Δικτύου 2026 έως 2030: Κύριο τεύχος*. https://www.deddie.gr/wp-content/uploads/2025/08/%CF%83%CE%B1%CE%B4-2026-2030-%CE%BA%CF%85%CF%81%CE%B9%CE%BF-%CF%84%CE%B5%CF%85%CF%87%CE%BF%CF%83_07_08_25_v10.pdf.

Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) (2026a) *Ηλεκτροδότηση πλοίων από ξηράς (Onshore Power Supply / Cold Ironing): Θεσμικό πλαίσιο και επιχειρηματικά μοντέλα* [μη δημοσιευμένη εσωτερική παρουσίαση, αρχείο PowerPoint]. Κ. Μαμμάσης, Διεύθυνση Έρευνας και Καινοτομίας, ΔΕΔΔΗΕ, 30 Απριλίου. Μη δημοσίως προσβάσιμο.

Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) (2026b) *Project @ The Spotlight Event Series #13: Cold Ironing, Onshore Power Supply*

[βιντεοσκοπημένη εσωτερική παρουσίαση]. Διεύθυνση Έρευνας και Καινοτομίας. Διαθέσιμο εσωτερικά, με εταιρικό λογαριασμό ΔΕΔΔΗΕ, στο: https://hedno.sharepoint.com/sites/Spot/SitePages/Project%2013_Cold%20Ironing.aspx. Μη δημοσίως προσβάσιμο εκτός εταιρικού δικτύου ΔΕΔΔΗΕ.

Προεδρία της Κυβέρνησης (2023) *500+ έργα για το Νότιο Αιγαίο του 2030*. 12 Μαΐου. https://www.government.gov.gr/wp-content/uploads/2023/05/notio_aigaio.pdf.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Abdel Kader, C., Aït-Ahmed, N., Houari, A., Aït-Ahmed, M., Yao, G. and El-Bah, M. (2025) ‘Robust model-free control for MMC inverters in cold ironing systems’, *Applied Sciences*, 15(13), 7343. <https://doi.org/10.3390/app15137343>

Abu Bakar, N. N., Bazmohammadi, N., Vasquez, J. C. and Guerrero, J. M. (2023) ‘Electrification of onshore power systems in maritime transportation towards decarbonization of ports: A review of the cold ironing technology’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 178, 113243. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113243>

Amaral, M., Amaro, N. and Arsénio, P. (2023) ‘Methodology for assessing power needs for onshore power supply in maritime ports’, *Sustainability*, 15(24), 16670. <https://doi.org/10.3390/su152416670>.

Bignucolo, F., Visentin, M., De Pieri, D., Augello, C. and Faggioni, N. (2025) ‘Technical and economic feasibility of cold ironing in Italy: A detailed case study’, *Energies*, 18(22), 5950. <https://doi.org/10.3390/en18225950>.

Brækken, A., Gabriellii, C. and Nord, N. (2023) ‘Energy use and energy efficiency in cruise ship hotel systems in a Nordic climate’, *Energy Conversion and Management*, 288, 117121. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117121>.

California Air Resources Board (CARB) (2025) *Shore power enforcement: 2024 enforcement data*. <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/enforcement-policy-reports/enforcement-data-portal/shore-power-enforcement>, τελευταία επίσκεψη: 20/08/2026

- Cho, H. J., Meng, Z. and Sturup, E. (2025) *Shore power in California: Impact on statewide grid and public health benefits*. Washington, DC: International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/shore-power-in-california-impact-on-statewide-grid-and-public-health-benefits-dec25/>.
- Costa, N., Williamsson, J., Ekholm, J., Santén, V., Rogerson, S. and Borgh, M. (2022) *Connecting vessels to shoreside electricity in Sweden*. KAJ-EL final report. Gothenburg: SSPA. <https://fudinfo.trafikverket.se/fudinfoexternwebb/pages/PublikationVisa.aspx?PublikationId=5889>.
- Dubrovnik Port Authority (2019) *High Voltage Shore Connection (HVSC) Pre-Feasibility Study*. Dubrovnik: Dubrovnik Port Authority. <https://www.portdubrovnik.hr/images/DownloadEng/High%20Voltage%20Shore%20Connection%20%28HVSC%29%20Pre-Feasibility%20Study.pdf>.
- Enlit (2026) *ALFION-INFRA and a DSO-driven business model for onshore power supply*. 7 April. <https://www.enlit.world/library/the-alfion-infra-project-and-a-dso-driven-business-model-for-onshore-power-supply>, τελευταία επίσκεψη: 20/08/2026
- Ennis, S., Mammassis, C., Markellos, R., Prousalidis, J., Manos, A., Loukos, G. and Tracey, N. (2025) *Regulatory and Business Innovation in Uncharted Waters: Mandatory Cold-Ironing*. CCP Working Paper 25/5. University of East Anglia. <https://competitionpolicy.ac.uk/publications/regulatory-and-business-innovation-in-uncharted-waters-mandatory-cold-ironing/>.
- Ennis, S.F., Mammassis, C., Markellos, R.N. and Wood, G. (2026) 'Predicting optimal grid stability and welfare in onshore power supply (OPS)', *Journal of the Operational Research Society*. <https://doi.org/10.1080/01605682.2026.2691129>.
- Espinosa, S., Casals-Torrens, P. and Castells, M. (2016) 'Hoteling cruise ship's power requirements for high voltage shore connection installations', *Journal of Maritime Research*, 13(2), pp. 19-28. <https://www.jmr.unican.es/index.php/jmr/article/view/447>

European Maritime Safety Agency (EMSA) (2022a) *Shore-side electricity: Guidance to port authorities and administrations, Part 1: Equipment and technology*. Version 1. Lisbon: EMSA.

<https://www.emsa.europa.eu/electrification/sse/download/7259/4799/23.html>

European Maritime Safety Agency (EMSA) (2022b) *Shore-side electricity: Guidance to port authorities and administrations, Part 2: Planning, operations and safety*. Version 2. Lisbon: EMSA.

<https://www.emsa.europa.eu/publications/reports/download/7272/4799/23.html>

European Maritime Safety Agency and European Environment Agency (2025) *European Maritime Transport Environmental Report 2025*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/maritime-transport-2025/th-01-24-020-en-n_emter_2025_final_web_0303.pdf/@@download/file

European Parliament and Council (2023a) Regulation (EU) 2023/1804 of 13 September 2023 on the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU. *Official Journal of the European Union*, L 234, pp. 1-47. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1804/oj>.

European Parliament and Council (2023b) Regulation (EU) 2023/1805 of 13 September 2023 on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC. *Official Journal of the European Union*, L 234, pp. 48-100. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1805/oj>.

European Parliament and Council (2024) Regulation (EU) 2024/1679 of 13 June 2024 on Union guidelines for the development of the trans-European transport network, amending Regulations (EU) 2021/1153 and (EU) No 913/2010 and repealing Regulation (EU) No 1315/2013. *Official Journal of the European Union*, L 2024/1679. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1679/oj>.

Frković, L., Ćosić, B., Falkoni, A., Pukšec, T. and Vladimir, N. (2024) ‘Shore-to-ship: Enabling the electrification sustainability of maritime transport with the nexus between berthed cruise ships and renewables in the isolated energy systems’, *Ocean Engineering*, 302, 117537. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117537>.

- Hellenic Electricity Distribution Network Operator (HEDNO) (2026) *HEDNO signs contract for three Onshore Power Supply connection points at the Igoumenitsa Port.* 12 February. <https://www.deddie.gr/wp-content/uploads/2026/02/HEDNO-signs-contract-for-three-Onshore-Power-Supply-OPS-connection-points-at-the-Igoumenitsa-Port.pdf>.
- IEC (2016) *IEC 62613-2:2016, Plugs, socket-outlets and ship couplers for high-voltage shore connection systems (HVSC-systems) - Part 2: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for accessories to be used by various types of ships.* Geneva: International Electrotechnical Commission. <https://webstore.iec.ch/en/publication/26149>.
- IEC (2019) *IEC 62613-1:2019, Plugs, socket-outlets and ship couplers for high-voltage shore connection (HVSC) systems - Part 1: General requirements.* Geneva: International Electrotechnical Commission. <https://webstore.iec.ch/en/publication/59924>.
- IEC and IEEE (2016) *IEC/IEEE 80005-2:2016, Utility connections in port - Part 2: High and low voltage shore connection systems - Data communication for monitoring and control.* Geneva: International Electrotechnical Commission. <https://webstore.iec.ch/en/publication/25265>.
- IEC and IEEE (2023) *IEC/IEEE 80005-1:2019+AMD1:2022+AMD2:2023 CSV, Utility connections in port - Part 1: High voltage shore connection (HVSC) systems - General requirements.* Geneva: International Electrotechnical Commission. <https://webstore.iec.ch/en/publication/88253>.
- IEC and IEEE (2025) *IEC/IEEE 80005-3:2025, Utility connections in port - Part 3: Low-voltage shore connection (LVSC) systems - General requirements.* Geneva: International Electrotechnical Commission. <https://webstore.iec.ch/en/publication/30632>.
- Innes, A. and Monios, J. (2018) 'Identifying the unique challenges of installing cold ironing at small and medium ports: The case of Aberdeen', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, pp. 298-313. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.02.004>.

- Kizielewicz, J. (2024) ‘Onshore power supply: Trends in research studies’, *Frontiers in Energy Research*, 12, 1383142. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1383142>.
- Lyridis, D. V., Prousalidis, J. M., Lekka, A.-M., Georgiou, V. and Nakos, L. (2023) ‘Holistic energy transformation of ports: The Proteus plan’, *IEEE Electrification Magazine*, 11(1), pp. 8-17. <https://doi.org/10.1109/MELE.2022.3232923>.
- Manos, A., Lyridis, D. and Prousalidis, J. (2023) ‘Establishing a framework of the open maritime electric energy market’, *Energies*, 16(14), 5276. <https://doi.org/10.3390/en16145276>.
- Mueller, N., Westerby, M. and Nieuwenhuijsen, M. (2023) ‘Health impact assessments of shipping and port-sourced air pollution on a global scale: A scoping literature review’, *Environmental Research*, 216, 114460. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114460>.
- Municipality of Rotterdam and Port of Rotterdam Authority (2025) *Shore Power Strategy 2025-2035*. Rotterdam. <https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2025-11/shore-power-strategy-2025-2035.pdf>.
- Pereira, M. G., Amaro, N. and Lopes, R. A. (2026) ‘Study of the impact of a shore power installation for ships on the distribution network of the city of Lisbon’, *e-Prime: Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 17, 201195. <https://doi.org/10.1016/j.eprime.2026.201195>.
- Port of Barcelona (2024) *Annual Report 2024*. Barcelona: Port of Barcelona. <https://www.portdebarcelona.cat/memoria2024/pdf/eng-memoria-anual-2024-port-de-barcelona.pdf>.
- Port of Gothenburg (2025) *Onshore Power Supply*. https://www.portofgothenburg.com/globalassets/dokument/publikationer/engelska/sustainability_report_2025_eng.pdf.
- Port of Rotterdam Authority (2025) *Cruise Port Rotterdam shore power installation commissioned*. 31 March. <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/cruise-port-rotterdam-shore-power-installation-commissioned>, τελευταία επίσκεψη: 20/08/2026

- Prousalidis, J., D'Agostino, F., Manos, A. and Bosich, D. (2023) 'The SSE-ID card of ships in the sustainable maritime framework', in 2023 IEEE International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles and International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC), Venice, Italy, 28-31 March 2023. <https://doi.org/10.1109/ESARS-ITEC57127.2023.10114812>.
- Wang, J., Li, H., Yang, Z. and Ge, Y.-E. (2024) 'Shore power for reduction of shipping emission in port: A bibliometric analysis', *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 188, 103639. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103639>.
- Williamsson, J., Costa, N., Santén, V. and Rogerson, S. (2022) 'Barriers and drivers to the implementation of onshore power supply: A literature review', *Sustainability*, 14(10), 6072. <https://doi.org/10.3390/su14106072>.
- Zis, T. (2019) 'Prospects of cold ironing as an emissions reduction option', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 119, pp. 82-95. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.11.003>.