



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΠΜΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΕΡΓΑ**

**Διπλωματική Εργασία**

**Αξιολόγηση υλικού κατασκευής πλωτήρα ανεμογεννητριών και  
καταλληλότητας των Ελληνικών λιμανιών για υλοποίηση πλωτού πάρκου.**

**Συγγραφέας**  
**Άννα Χατζηιορδάνου**  
**ΑΜ: 202129**

**Επιβλέπων**  
**Δρ. Ι.Κ. Καλδέλλης**

**Αθήνα, Ιούλιος 2023**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΠΜΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΕΡΓΑ**

**Αξιολόγηση υλικού κατασκευής πλωτήρα ανεμογεννητριών και καταλληλότητας των  
Ελληνικών λιμανιών για υλοποίηση πλωτού πάρκου**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

<b>A/a</b>	<b>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
1	ΚΑΛΔΕΛΛΗΣ Κ. ΙΩΑΝΝΗΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
2	ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ ΚΟΣΜΑΣ	ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
3	ΠΑΠΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΧΡΙΣΤΙΑΝΑ	ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	

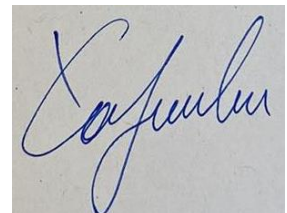
## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Χατζηορδάνου Άννα του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου ΕΕΔ 202129 φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Ενεργειακά και Περιβαλλοντικά Έργα του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



Άννα Χατζηορδάνου

# Περιεχόμενα

Ευχαριστίες .....	6
Abstract .....	7
Κατάλογος Πινάκων .....	8
Κατάλογος Εικόνων .....	9
1. Εισαγωγή.....	12
2. Μορφοποίηση και Ανάγκες ενός Πλωτού Αιολικού Πάρκου .....	17
2.1 Καταλληλότητα περιοχών προς χωροθέτηση υπεράκτιου αιολικού πάρκου.....	17
2.2 Περιγραφή ενός πλωτού αιολικού πάρκου.....	23
2.2.1 Δομή πλωτής ανεμογεννήτριας.....	23
2.2.2 Πλωτές πλατφόρμες .....	24
2.2.3 Ηλεκτρικές Υποδομές.....	26
2.2.4 Καλώδια για Πλωτές Ανεμογεννήτριες.....	26
2.2.5 Υπεράκτιος υποσταθμός.....	27
2.2.6 Αγκυροβόληση .....	27
2.2.7 Σύστημα ελέγχου SCADA .....	28
3. Βιωσιμότητα των υφιστάμενων υποδομών των Ελληνικών λιμανιών.....	29
3.1 Ο ρόλος των λιμανιών στην υποστήριξη υπεράκτιων πλωτών αιολικών πάρκων .....	29
3.2 Εγκατάσταση Κατασκευής.....	30
3.2.1 Λειτουργίες και εξοπλισμός ξηράς.....	30
3.2.2 Χαρτοφυλάκιο Πλοίων.....	35
3.2.3 Κατάλογος Εγκαταστάσεων Κατασκευής Υφιστάμενων Λιμένων.....	37
3.3 Απαιτήσεις Εγκατάστασης Τοποθέτησης .....	44
3.3.2 Χαρτοφυλάκιο Πλοίων.....	47
3.3.3 Κατάλογος Εγκαταστάσεων Τοποθέτησης .....	47
3.4 Λειτουργία και Συντήρηση (Λ&Σ) .....	48
4. Κριτήρια Αξιολόγησης Πλωτήρων Ανεμογεννητριών .....	49
4.1 Τεχνική Αξιολόγηση .....	49
4.1.1 Πλωτές υπεράκτιες κατασκευές από χάλυβα .....	50
4.1.2 Πλωτές υπεράκτιες κατασκευές από σκυρόδεμα .....	51
4.1.3 Παραδείγματα Κατασκευών .....	54
4.1.4 Χρήση σκυροδέματος υψηλής απόδοσης.....	57
4.2 Περιβαλλοντική Αξιολόγηση.....	57
4.2.1 Επίδραση του τρόπου θεμελίωσης στις οικολογικές κοινότητες.....	58
4.2.2 Διοξείδιο του Άνθρακα – CO <sub>2</sub> .....	61
4.3 Οικονομική Αξιολόγηση.....	66
5. Αποτελέσματα – Σχολιασμός.....	71
5.1. Επιλογή Υλικού Κατασκευής του Πλωτήρα .....	71
5.2 Οικονομικά Αποτελέσματα.....	72

5.3 Περιβαλλοντικά Αποτελέσματα.....	73
6. Συμπεράσματα .....	75
Βιβλιογραφία .....	76

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στην επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Αρχικά, θέλω να ευχαριστήσω τον κύριο Ιωάννη Καλδέλλη για την αφοσίωση, την καθοδήγηση και την εμπειρογνωμοσύνη του κατά τη διάρκεια αυτής της διπλωματικής εργασίας. Οι συμβουλές σας και η υποστήριξή σας ήταν καθοριστικές για την επίτευξη των στόχων αυτής της εργασίας.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη συνεχή ενθάρρυνση, τη στήριξη και την απεριόριστη αγάπη που μου προσφέρατε. Οι λέξεις δεν μπορούν να εκφράσουν πλήρως την ευγνωμοσύνη μου για την απλότητα και την αξία που δίνετε στη ζωή μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συνεργάτες μου στην ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ, για την προθυμία τους να συνεισφέρουν στο έργο αυτό και την πολύτιμη συνεργασία μας. Η συνεργασία σας ήταν ζωτικής σημασίας για την επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της διατριβής.

## Abstract

This thesis project aims to conduct a critical assessment of the materials used for the construction of offshore wind farm floaters and evaluate the suitability of Greek ports for the development of an offshore wind project. The rapid growth of offshore wind energy has led to an increased demand for reliable and cost-effective floating structures capable of withstanding harsh marine conditions.

The study will begin with a comprehensive literature review to gather relevant information on the various materials currently utilized in the construction of offshore wind farm floaters. The review will focus on the mechanical properties, durability, corrosion resistance, and environmental impact of these materials. By critically evaluating their strengths and weaknesses, the study will provide insights into selecting the most appropriate materials for floaters in the Greek offshore wind context.

Furthermore, the project will assess the suitability of Greek ports for the development of offshore wind projects. Factors such as water depth, accessibility, existing infrastructure, and logistical considerations will be examined.

The research methodology will involve a combination of desk research and data analysis for Greek ports. The collected data will be analyzed using appropriate quantitative and qualitative techniques to provide a comprehensive assessment of the material suitability and port feasibility.

The expected outcome of this project is to provide valuable insights and recommendations for the selection of materials in the construction of offshore wind farm floaters and to identify the most suitable Greek ports for the development of offshore wind projects. The findings will contribute to the advancement of offshore wind technology in Greece and support the country's renewable energy goals.

**Keywords:** offshore wind farm floaters, material assessment, economic factors, environmental impact, technical suitability, Greek ports, offshore wind projects, sustainability, carbon footprint, renewable energy.

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1:Κριτήρια αποκλεισμού και ζώνες μη συμβατότητας.[55] .....	17
Πίνακας 2:Οφέλη και Προκλήσεις των τεσσάρων κυρίαρχων τύπων πλωτήρων. Πηγή: Stiesdal A/S, NREL, DNV.GL, Carbon Trust, IRENA .....	25
Πίνακας 3:Πλεονεκτήματα και Προκλήσεις των χαλύβδινων πλωτήρων. [36] .....	51
Πίνακας 4:Πλεονεκτήματα και Προκλήσεις πλωτήρων από σκυρόδεμα. [36] .....	51
Πίνακας 5:Σύγκριση των επιπτώσεων των τρόπων θεμελίωσης στις οικολογικές κοινότητες. [51] .....	58
Πίνακας 6: Κατανομή κόστους για δύο τύπους θεμελίωσης μιας Α/Γ 15MW. [32].....	66



## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Το πρώτο υπεράκτιο αιολικό πάρκο στον κόσμο το 1991. [3] .....	13
Εικόνα 2:Σχηματική απεικόνιση διαφορετικών σεναρίων πλωτών ανεμογεννητριών, από αριστερά προς τα δεξιά: TLWT, WindFloat, TLB B, TLB X3, Hywind II, SWAY, Jacket, Monopile και η Onshore αναφορά. [1].....	14
Εικόνα 3 Σύνδεση μιας πλωτής υπεράκτιας ανεμογεννήτριας με τον υποσταθμό και το δίκτυο. [2].....	14
Εικόνα 4:Εκτιμώμενη κλίμακα της αγοράς πλωτών αιολικών μηχανών. [4].....	15
Εικόνα 5:Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς πλωτών υπεράκτιων αιολικών πάρκων (2025-2040). [6] .....	16
Εικόνα 6:Χάρτης Βαθυμετρίας ελλαδικού θαλάσσιου χώρου από τα 100m έως τα 800m (Πηγή: GEODATA). [17] .....	19
Εικόνα 7:Χάρτης Αιολικού Δυναμικού θαλάσσιου χώρου Ελλάδας εντός ΑΟΖ σε υψόμετρο 150m (Πηγή: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). [17] .....	20
Εικόνα 8α,β:Υφιστάμενη κατάσταση και σχεδιασμός υποβρυχίων καλωδίων στον Ελλαδικό θαλάσσιο χώρο. (Πηγή: EMODnet, [56]).....	20
Εικόνα 9:Χάρτης Κύριων Γραμμών Ναυσιπλοΐας Ελλαδικού θαλάσσιου χώρου. (Πηγή: EMODnet).....	21
Εικόνα 10α:Χάρτης περιοχών Natura 2000. (Πηγή: EMODnet) .....	21
Εικόνα 10β:Θεματικός Χάρτης προστατευόμενων θαλάσσιων περιοχών. [17]	
Εικόνα 11:Θεματικός Χάρτης σεισμικών ζωνών. Πηγή: Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.) .....	22
Εικόνα 12:Τέσσερις ανταγωνιστικές ιδέες πλωτών μέσων για Πλωτές Υπεράκτιες Ανεμογεννήτριες. Πηγή (Scheu et al, 2018) .....	24
Εικόνα 13:Τύποι πρόσδεσης - Πηγή (Casal, n.d.) .....	27
Εικόνα 14:Σχέδιο εφοδιαστικής αλυσίδας για την κατασκευή ενός υπεράκτιου πλωτού αιολικού πάρκου. [54].....	29
Εικόνα 15:Κατασκευή εξαρτημάτων ημιβυθιζόμενων πλωτήρων στις εγκαταστάσεις της Navantia (Ferrol) για το έργο WindFloat Atlantic. [20].....	31
Εικόνα 16:Ναυπηγεία κατασκευής και απόπλευσης στη Navantia (Ferrol). Πηγή: Google Earth. ....	32
Εικόνα 17:Προβλεπόμενη εγκατάσταση κατασκευής στο Nigg Bay για την ανάπτυξη FOW στη Σκωτία. [21].....	33
Εικόνα 18:Κατασκευή Ideol floatgen σε φορτηγίδα. [22].....	33
Εικόνα 19:Καθέλκυση και μεταφορά του πλωτήρα WindFloat (Navantia (Ferrol)). [23].....	34
Εικόνα 20:Απόπλευση πλωτήρα WindFloat Atlantic στο Setubal. [25] .....	35
Εικόνα 21:Παράδειγμα πλοίου πολλαπλών φορτίων. [54].....	36
Εικόνα 22:Παράδειγμα πλοίου ανοικτού καταστρώματος. [54] .....	36
Εικόνα 23:Παράδειγμα ημιβυθιζόμενου πλοίου βαρέως φορτίου. [54] .....	36

Εικόνα 24:Παράδειγμα ημιβυθιζόμενου πλοίου βαρέως φορτίου. [54] .....	36
Εικόνα 25:Επισκόπηση των εγκαταστάσεων κατασκευής. [54] .....	38
Εικόνα 26:Επισκόπηση του λιμανιού Σκαραμαγκάς. [54] .....	39
Εικόνα 27:Επισκόπηση 2 του λιμανιού Σκαραμαγκάς. [54] .....	39
Εικόνα 28:Επισκόπηση των ναυπηγείων του λιμανιού Ελευσίνας. [54].....	40
Εικόνα 29:Επισκόπηση των ναυπηγείων Κυνοσούρα Σαλαμίνας. [54] .....	41
Εικόνα 30:Επισκόπηση της ζώνης επιδιόρθωσης πλοίων Περάματος. [54] .....	42
Εικόνα 31:Επισκόπηση της ζώνης πλοίων Κερατσινίου. [54] .....	43
Εικόνα 32:Επισκόπηση 2 της ζώνης επιδιόρθωσης πλοίων Κερατσινίου. [54] .....	43
Εικόνα 33:Άφιξη εξαρτημάτων της Α/Γ στην εγκατάσταση ενσωμάτωσης (Ferrol). [26].....	45
Εικόνα 34:Ενσωμάτωση ημι-βυθιζόμενου πλωτήρα και ανεμογεννήτριας στις εγκαταστάσεις SIF (Ρότερνταμ). [27] [28] .....	45
Εικόνα 35:Ενσωμάτωση πλωτήρα – Α/Γ για το έργο WindFloat Atlantic στο Ferrol. [29] .....	46
Εικόνα 36:Υγρή ρυμούλκηση ολοκληρωμένου πλωτήρα-Α/Γ από την εγκατάσταση ενσωμάτωσης σε τοποθεσία εγκατάστασης. [30] .....	47
Εικόνα 37:Hywind Scotland σε λειτουργία, με χαλύβδινα θεμέλια. Πηγή: Øyvind Gravås/Woldcam/Statoil ASA.....	49
Εικόνα 38:Hywind Tampen υπό κατασκευή, με θεμέλια από σκυρόδεμα. Πηγή: Jan Arne Wold/Woldcam/Equinor. ....	50
Εικόνα 39:Πλατφόρμα Προεντεταμένων Σκελών από σκυρόδεμα. [37] .....	53
Εικόνα 40:Πλωτήρας Σκυροδέματος Βαθιάς Βύθισης.[37] .....	54
Εικόνα 41:Το πρωτότυπο Floatgen 2 MW της BW Ideol που τέθηκε σε λειτουργία το 2016 στις ακτές της Γαλλίας υπό κατασκευή. Πηγή: BW Ideol / Bouygues Travaux Publics / Devisubox .....	54
Εικόνα 42:Το πρωτότυπο Hibiki 3 MW της BW Ideol (γνωστό και ως demo Kitakyushu) τέθηκε σε λειτουργία το 2018. Πηγή: NEDO Website.....	55
Εικόνα 43:Floatgen: α) εργοτάξιο κατασκευής της υποκατασκευής (β) εγκατάσταση Α/Γ, (γ) ρυμούλκηση, δ) αγκυροβολημένη & λειτουργούσα πλωτή Α/Γ. (α–c) Πηγή: IDEOL/ABOVE ALL, αναπαράγεται με άδεια, (d) Πηγή: Valery Joncheray, αδειοδοτημένο υπό CC-BY-SA 4 .....	56
Εικόνα 44:Περιβαλλοντικές επιδράσεις της εγκατάστασης πλωτών αιολικών. [50] .....	58
Εικόνα 45:Εκπομπές ημι-βυθιζομένων θεμελίων από σκυρόδεμα και χάλυβα (τόνοι CO2/θεμέλιο) συμπεριλαμβανομένου του θεμελίου που εναποτίθεται σε χώρο υγειονομικής ταφής στο τέλος του κύκλου ζωής του. [32] .....	62
Εικόνα 46:Εκπομπές από σκυρόδεμα και χαλύβδινα σωληνωτά έρματα (τόνοι CO2/θεμέλιο), συμπεριλαμβανομένου του θεμελίου που εναποτίθεται σε χώρο υγειονομικής ταφής στο τέλος του κύκλου ζωής του. [32] .....	63
Εικόνα 47:Εκπομπές ημι-βυθιζομένων θεμελίων από σκυρόδεμα και χάλυβα (τόνοι CO2/θεμέλιο)	

συμπεριλαμβανομένης της ανακύκλωσης των θεμελίων στο τέλος του κύκλου ζωής τους. [32].....	63
Εικόνα 48:Εκπομπές από σκυρόδεμα και χαλύβδινα σωληνωτά έρματα (τόνοι CO <sub>2</sub> /θεμέλιο), συμπεριλαμβανομένου του θεμελίου που ανακυκλώνεται στο τέλος του κύκλου ζωής του. [32].....	64
Εικόνα 49:Ποσοστιαία συνεισφορά των διαφόρων πρώτων υλών στο συνολικό ανθρακικό αποτύπωμα των πρώτων υλών για τις δύο έννοιες σκυροδέματος. [32].....	65
Εικόνα 50:Ποσοστιαία συνεισφορά των διαφόρων πρώτων υλών στο συνολικό αποτύπωμα άνθρακα των πρώτων υλών για τις δύο έννοιες χάλυβα.[32] .....	65
Εικόνα 51: Χαλύβδινο Σωληνωτό Έρμα – Ανάλυση κόστους στοιχείων. [32] .....	68
Εικόνα 52: Σωληνωτό Έρμα από σκυρόδεμα – Ανάλυση κόστους στοιχείων. [32] .....	69
Εικόνα 53:Χαλύβδινα Ημι-βυθιζόμενα – Ανάλυση κόστους στοιχείων. [32].....	69
Εικόνα 54:Ημι-βυθιζόμενα από σκυρόδεμα – Ανάλυση κόστους στοιχείων. [32] .....	69
Εικόνα 55: Σωληνωτό Έρμα – Σύγκριση κόστους. [32] .....	70
Εικόνα 56:Ημι-βυθιζόμενα – Σύγκριση κόστους. [32].....	70
Εικόνα 57: Σωληνωτό Έρμα – Σύγκριση ολικού κόστους (μαζί με την μεταφορά). [32].....	73
Εικόνα 58:Ημι-βυθιζόμενο – Σύγκριση ολικού κόστους (μαζί με την μεταφορά). [32].....	73

## 1. Εισαγωγή

Το ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970, λόγω των πετρελαϊκών κρίσεων, και παραμένει αμείωτο έως σήμερα. Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα αποτελούν μια σχετικά νέα παγκόσμια προσπάθεια για την αύξηση της παραγωγής ενέργειας και μια ελκυστική λύση για την εκμετάλλευση των δυνατοτήτων της ισχυρής υπεράκτιας αιολικής ενέργειας. Αυτή η μορφή ενέργειας θεωρείται πολλά υποσχόμενη στο μέλλον, ειδικά για χώρες με υψηλή πυκνότητα πληθυσμού, όπου μειώνεται η πιθανότητα εύρεσης γης για την κατασκευή αιολικών πάρκων. Η αιολική ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, δηλαδή η παραγωγή της δεν έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση επιβλαβών ουσιών όπως διοξείδιο του άνθρακα, τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, υδρογονάνθρακες κ.λπ. στο περιβάλλον.

Μέχρι τώρα, ο τρόπος για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας παγκοσμίως ήταν η κατασκευή αιολικών πάρκων (δηλαδή η εγκατάσταση πολλαπλών ανεμογεννητριών σε μια περιοχή) σε διαφορετικές περιοχές της γης. Με αυτή τη νέα πρακτική των υπεράκτιων αιολικών πάρκων, οι ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται σε θαλάσσιες περιοχές, αυξάνοντας έτσι σημαντικά την περιοχή που είναι κατάλληλη για την κατασκευή αιολικών πάρκων. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατή η «πράσινη» παραγωγή ενέργειας για μικρές χώρες όπως η Ελλάδα, η οποία έχει περιορισμένη έκταση κατάλληλη για την κατασκευή αιολικών πάρκων, ενώ από την άλλη πλευρά, έχει ατελείωτες θαλάσσιες εκτάσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτό. Επιπλέον, έχει βρεθεί ότι οι ταχύτητες του ανέμου πάνω από τη θάλασσα είναι γενικά υψηλότερες από ό,τι στην ξηρά, γεγονός που επιτρέπει στις ανεμογεννήτριες να λειτουργούν πιο αποτελεσματικά. [7]

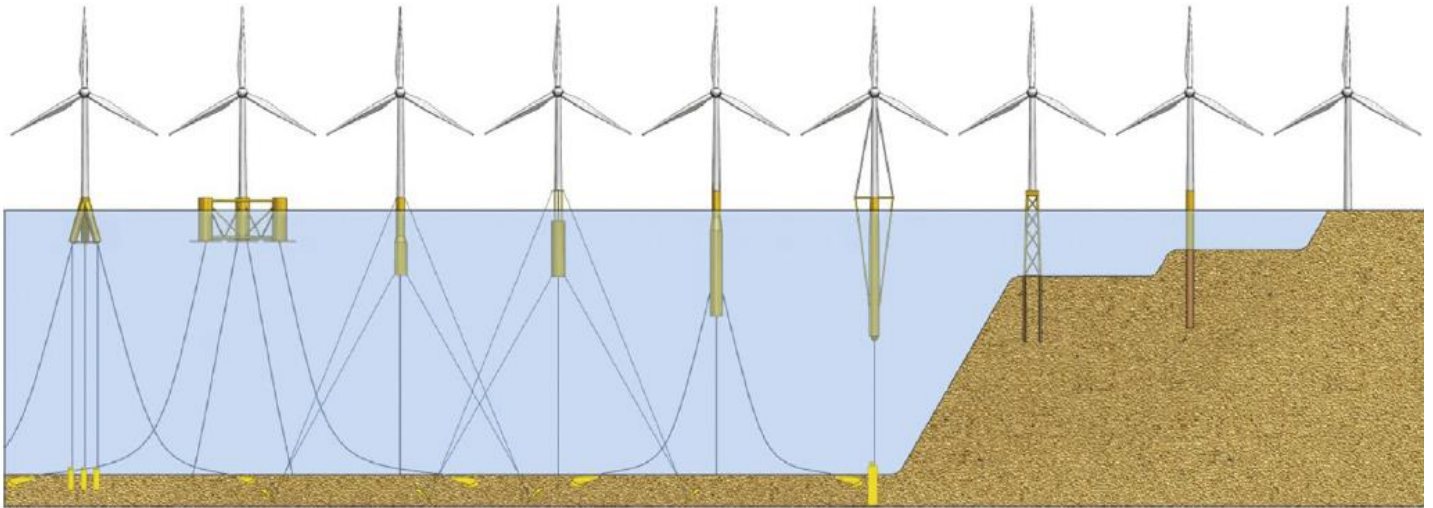
Λόγω του κορεσμού και του γεγονότος ότι συνδεδεμένη με το δίκτυο χωρητικότητα φτάνει στα όριά της στις παράκτιες περιοχές με χαμηλότερο κόστος ανάπτυξης, πολλές χώρες στρέφουν την προσοχή τους στις πλωτές ανεμογεννήτριες. Η ιδέα των πλωτών υπεράκτιων αιολικών πάρκων προήλθε το 1972 από τον καθηγητή William E. Heronemus. Μια πλωτή δομή στήριξης Α/Γ διαφέρει από μια σταθερή δομή στήριξης επειδή δεν έρχεται σε επαφή με το έδαφος. Αποτελείται από μια πλωτή πλατφόρμα και ένα σύστημα αγκύρωσης για την υποστήριξή του. Ωστόσο, η επαφή με το έδαφος γίνεται μέσω γραμμών αγκύρωσης (κλάδων), που προσδένουν την πλατφόρμα στη θέση της. Κατ' αρχήν, ο πλωτήρας έχει σχεδιαστεί για να παρέχει άνωση ικανή να υποστηρίξει το βάρος της Α/Γ και να περιορίζει τις κινήσεις του βήματος και της ανύψωσης σε ικανοποιητικό βαθμό. Το πρώτο υπεράκτιο πάρκο ανεμογεννητριών κατασκευάστηκε στη Δανία με συνολικό δυναμικό 4,95 MW, αποτελούμενο από 11 ανεμογεννήτριες ισχύος 0,45 MW η καθεμία.



*Εικόνα 1: Το πρώτο υπεράκτιο αιολικό πάρκο στον κόσμο το 1991. [3]*

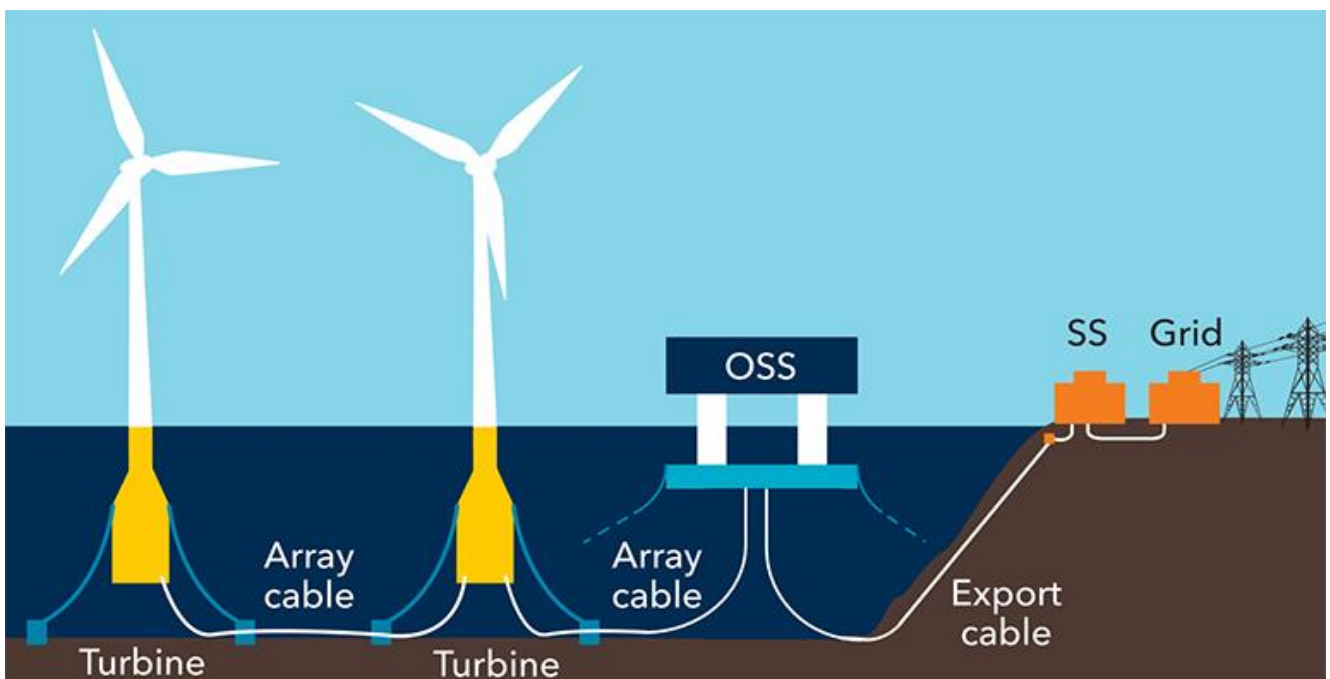
Σε αντίθεση με τις χερσαίες ανεμογεννήτριες (Α/Γ), οι πλωτές ανεμογεννήτριες είναι ουσιαστικά ανεμογεννήτριες που τοποθετούνται στη θάλασσα μακριά από την ξηρά. Η πλωτή κατασκευή αποτελείται από ένα σύστημα αγκύρωσης και μια πλωτή πλατφόρμα. Τα θεμέλια πλωτών Α/Γ ποικίλλουν, αλλά όλες αυτές οι παραλλαγές σχετίζονται με τις έννοιες spar (Σωληνωτό Έρμα) και tension-leg (Προεντεταμένων Σκελών) στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου. Ειδικές κατασκευές υποστηρίζουν την πλατφόρμα και επιτρέπουν στα κύματα να περνούν από κάτω, επιτρέποντας στην εγκατάσταση να επηρεάζεται λιγότερο από την πίεση κυμάτων.

Τα τελευταία χρόνια, δεδομένου ότι η εγκατάσταση υπεράκτιων ανεμογεννητριών σε βαθιά θάλασσα (>100m) έχει περιοριστεί, έχει εφαρμοστεί η έννοια των πλωτών κατασκευών. Οι πλωτές ανεμογεννήτριες έχουν αναπτυχθεί για να λειτουργούν σε πλωτές πλατφόρμες που είναι τοποθετημένες στην ανοικτή θάλασσα, στερεώνονται στο βυθό με χοντρά καλώδια και έτσι μπορούν να τοποθετηθούν σε νερά με βάθος ακόμη και αρκετών εκατοντάδων μέτρων και απέχουν πολύ από την πιο κοντινή στεριά. Η μεταφορά στην ακτή της ενέργειας που έχει παραχθεί πραγματοποιείται συνήθως μέσω υποθαλάσσιων καλωδίων με χρήση τεχνολογίας HVDC. Οι ανεμογεννήτριες συνδέονται με ηλεκτροφόρα καλώδια υψηλής τάσης.



Εικόνα 2: Σχηματική απεικόνιση διαφορετικών σεναρίων πλωτών ανεμογεννητριών, από αριστερά προς τα δεξιά: TLWT, WindFloat, TLB B, TLB X3, Hywind II, SWAY, Jacket, Monopile και η Onshore αναφορά. [1]

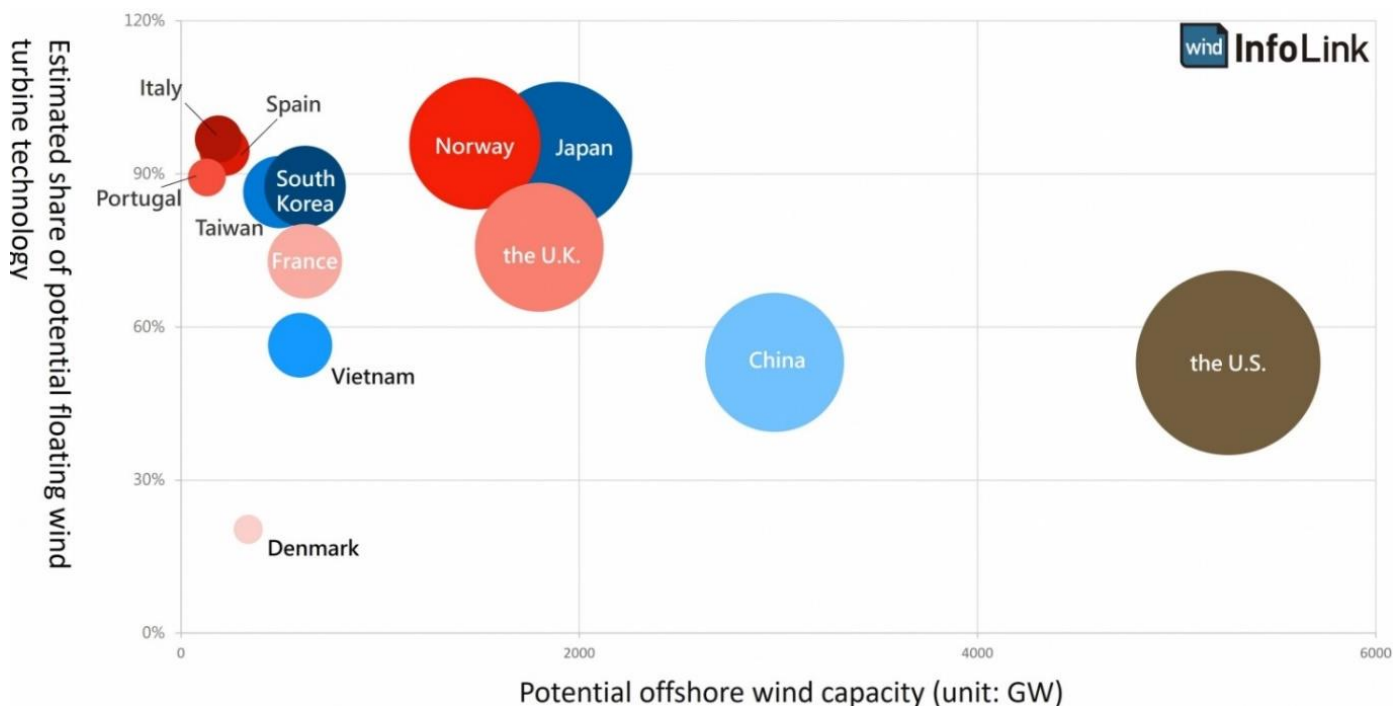
Είναι αξιοσημείωτο ότι μετά από μια δεκαετία δοκιμών στην πλατφόρμα της Βόρειας Θάλασσας σε καταιγίδα κατηγορίας 5, συνεχίζουν να λειτουργούν κανονικά. Κρίθηκε απαραίτητο να παρακολουθούνται οι κινήσεις της πλατφόρμας, η αγκυροβόληση, τα δυναμικά ηλεκτρικά καλώδια και η πιθανότητα ανόδου της στάθμης της θάλασσας λόγω ισχυρότερων ανέμων στην ξηρά. Η αστάθειά τους εξαρτάται από την ισχύ του ανέμου που πνέει στην περιοχή όπου είναι εγκατεστημένες και μπορεί επίσης να επηρεάσει την απόδοση των ανεμογεννητριών, οι οποίες δεν μπορούν να παράγουν την ίδια ισχύ όταν κινούνται με τον άνεμο και στη συνέχεια στην αντίθετη κατεύθυνση. Ως εκ τούτου, η έρευνα επικεντρώνεται στη βελτίωση της απόδοσης των ανεμογεννητριών, ενώ παράλληλα αναπτύσσει τις πλωτές πλατφόρμες στις οποίες βασίζονται.



Εικόνα 3 Σύνδεση μιας πλωτής υπεράκτιας ανεμογεννήτριας με τον υποσταθμό και το δίκτυο. [2]



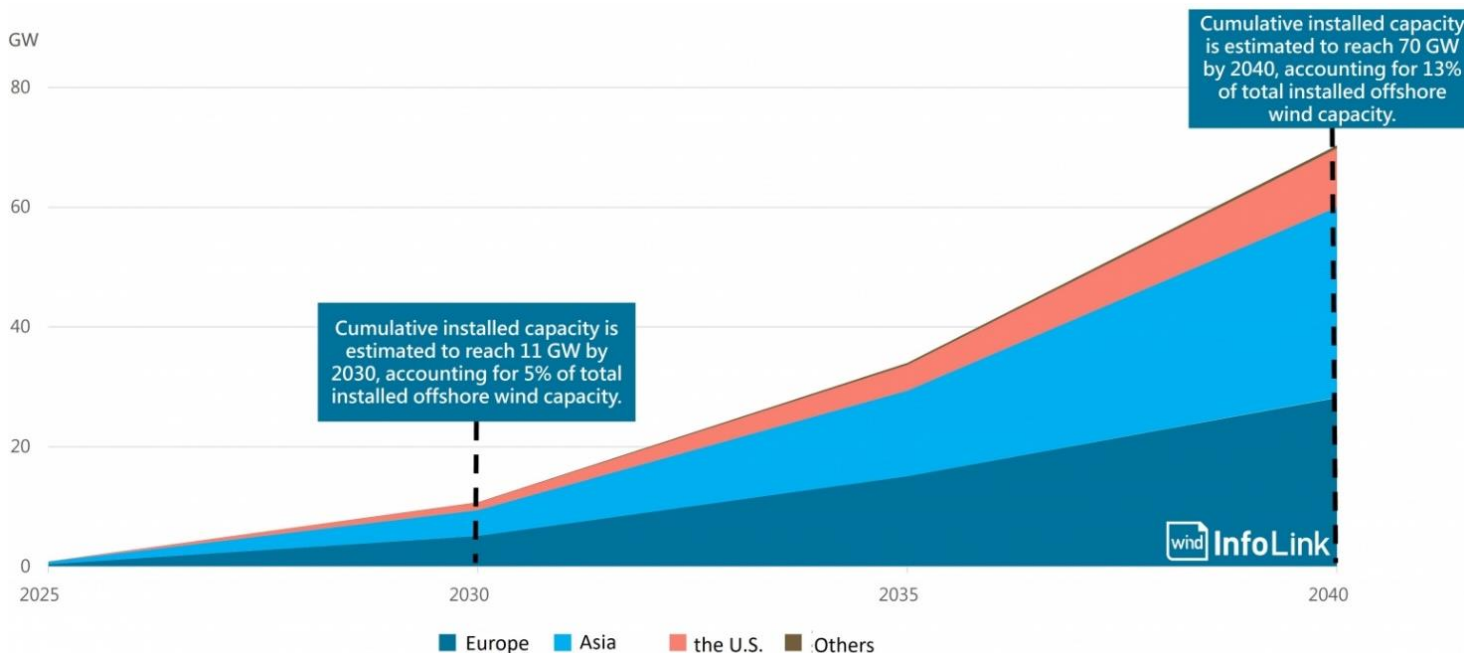
Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν ορισμένα προφανή μειονεκτήματα σε αυτόν τον συγκεκριμένο τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως η δυσκολία κατασκευής πύργων ανεμογεννητριών σε μεγάλα βάθη, η αύξηση του κόστους κατασκευής και συντήρησης, η υπεράκτια αιολική ενέργεια έχει πολλά πλεονεκτήματα.



Εικόνα 4: Εκτιμώμενη κλίμακα της αγοράς πλωτών αιολικών μηχανών. [4]

Στην Ευρώπη σήμερα, βάσει του δημόσιου Ευρωπαϊκού χάρτη πλωτών αιολικών πάρκων, λειτουργούν τα εξής πλωτά αιολικά πάρκα:[57]

- “PivotBoy (PLOCAN)” – Έτος Εκκίνησης 2021, Χωρητικότητα: 0.2MW, Ισπανία – Γκραν Κανάρια
- “DemoSATH (BIMEP)” – Έτος Εκκίνησης 2022, Χωρητικότητα: 2.0MW, Ισπανία
- “Windfloat Atlantic” – Έτος Εκκίνησης 2019, Χωρητικότητα: 25.0MW, Πορτογαλία
- “Floatgen (SEM-REV)” – Έτος Εκκίνησης 2018, Χωρητικότητα: 2.0MW, Γαλλία
- “SeaTwirl S1” – Έτος Εκκίνησης 2015, Χωρητικότητα: 0.3MW, Σουηδία
- “Hywind Demonstrator” – Έτος Εκκίνησης 2009, Χωρητικότητα: 2.3MW, Νορβηγία
- “Hywind Scotldand-Pilot Plant” – Έτος Εκκίνησης 2017, Χωρητικότητα: 30.0MW, Ηνωμένο Βασίλειο
- “Kincardine Pilot” – Έτος Εκκίνησης Φάσης I 2018, Χωρητικότητα: 2.0MW, Έτος Εκκίνησης Φάσης II 2021, Χωρητικότητα: 30MW, Ηνωμένο Βασίλειο
- “Tetraspar Demonstration” – Έτος Εκκίνησης 2021, Χωρητικότητα: 3.6MW, Νορβηγία



Εικόνα 5: Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς πλωτών υπεράκτιων αιολικών πάρκων (2025-2040). [6]

Η αιολική ενέργεια έχει σημαντικό ρόλο στις δυνατότητες επένδυσης και στην Ελλάδα. Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα της Ελλάδας συνηγορεί υπέρ της αιολικής ενέργειας συνολικά 7 GW μέχρι τη δεκαετία του 2030. Η Ελλάδα διαθέτει σήμερα 4 GW χερσαίας αιολικής ενέργειας, που αντιπροσωπεύει το 12% των συνολικών αναγκών της σε ηλεκτρική ενέργεια.[5] Οι εξαιρετικές δυνατότητες ανέμου της χώρας είναι από τις πιο ελκυστικές στην Ευρώπη, η μέση ταχύτητα ανέμου στη χώρα είναι πάνω από 8 m/s σε αρκετά σημεία της χώρας. Προκειμένου να διευκολυνθεί η εγκατάσταση υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στις ελληνικές θάλασσες, υπάρχουν τέσσερις τομείς ανησυχίας που θα πρέπει να αντιμετωπίσει η ελληνική κυβέρνηση όπως η συνεργασία με άλλες χώρες, οι διασυνδέσεις, οι κανονισμοί και οι υποδομές.



## 2. Μορφοποίηση και Ανάγκες ενός Πλωτού Αιολικού Πάρκου

### 2.1 Καταλληλότητα περιοχών προς χωροθέτηση υπεράκτιου αιολικού πάρκου

Η περιοχή του Αιγαίου θεωρείται ότι είναι ικανή να φιλοξενήσει πλωτούς αιολικούς σταθμούς. Τα θαλάσσια νερά που έχουν αναγνωρισθεί ως ιδανικά για τις Κυκλάδες είναι στο Βόρειο Αιγαίο (μεταξύ Λήμνου και Αγίου Ευστράτιου), στα Δωδεκάνησα (στον άξονα Ικαρίας - Πάτμου - Λέρου) και μεταξύ Κρήτης και Καρπάθου. Συγκεκριμένα, στον Πιν. 1 παρακάτω εμφανίζονται ενδεικτικά ορισμένα κριτήρια που χρησιμοποιούνται προς αποκλεισμό μιας περιοχής από το ενδεχόμενο υλοποίησης ενός ελληνικού υπεράκτιου πλωτού αιολικού πάρκου.

Πίνακας 1: Κριτήρια αποκλεισμού και ζώνες μη συμβατότητας. [55]

Αρ.	Κριτήριο Αποκλεισμού	Παράγοντας	Ζώνες μη συμβατότητας
1	Αποκλειστικά Οικονομικές Ζώνες	Νομικός	Εκτός των ορίων
2	Ταχύτητα ανέμου	Οικονομικός	<6m/s
3	Βάθος νερού	Οικονομικός / Τεχνικός	>500 m
4	Στρατιωτικές ζώνες	Πολιτικός / Περιοριστικός	Όλες
5	Σεισμικές ζώνες	Προστατευτικός/ Περιοριστικός	Ζώνη III (0,36g)
6	Υποθαλάσσια καλώδια	Προστατευτικός/ Τεχνικός / Περιοριστικός	Όλες
7	Απόσταση από λιμάνι	Οικονομικός/ Τεχνικός	>100 km
8	Απόσταση από ηλεκτρικό δίκτυο	Οικονομικός / Τεχνικός	>100 km
9	Προστασία τοπίου/ Οπτική και ακουστική όχληση	Κοινωνικός/ Πολιτικός/ Προστατευτικός	≤ 20 km
10	Απόσταση από γραμμές ταξιδιού καραβιών	Κοινωνικός/ Πολιτικός/ Προστατευτικός	≤ 5 km (≤ 3 miles)
11	Απόσταση από προστατευόμενες θαλάσσιες περιοχές	Περιβαλλοντικός/ Προστατευτικός	≤ 2 km
12	Απόσταση από διαύλους μετανάστευσης και καταφύγια άγριας ζωής	Περιβαλλοντικός/ Προστατευτικός	≤ 3 km
13	Απόσταση από κατοικήσιμο δίκτυο	Νομικός. Κοινωνικός/ Προστατευτικός	≤ 1,5 km

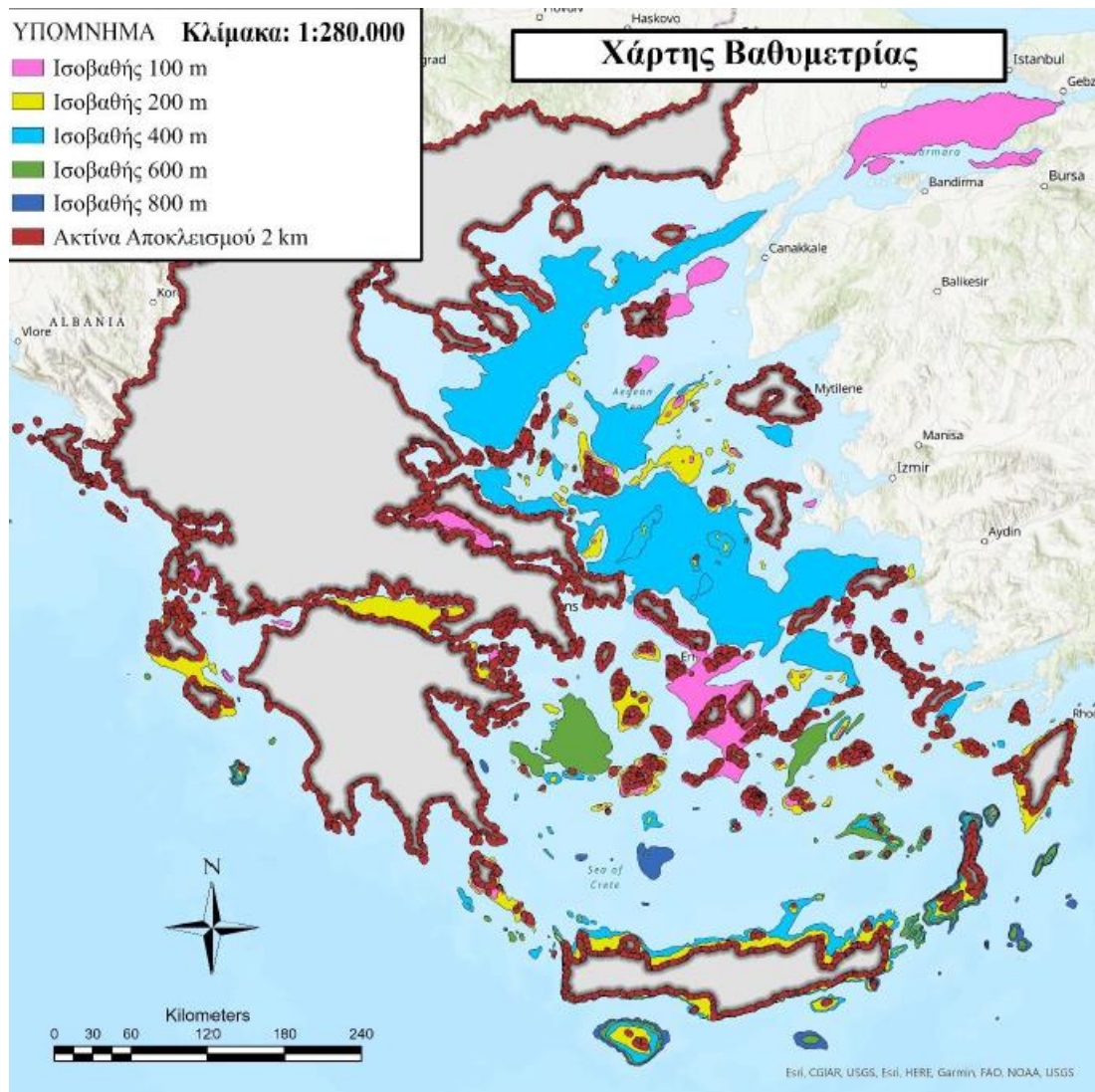
Πιο συγκεκριμένα, τα ψηφιακά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των κατωτέρω χαρτών [55] σε αντιστοιχία με τον υπεύθυνο φορέα/πηγή είναι τα εξής:

- i. Δεδομένα βάθους νερού από την Υδρογραφική Υπηρεσία του Ελληνικού Πολεμικού Ναυτικού [8],
- ii. Δεδομένα ταχύτητας ανέμου από το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών [9],
- iii. Δεδομένα της ΑΟΖ της Ελλάδας, της Μεσογείου και της Ελλάδας από την ηλεκτρονική βάση δεδομένων της Ευρωπαϊκής Στατιστικής Υπηρεσίας [11],
- iv. Δεδομένα των εθνικών θαλάσσιων περιβαλλοντικών πάρκων, των παράκτιων υδάτων κολύμβησης, των κολυμβητικών παραλιών και των υγροτόπων διεθνούς σημασίας που ελήφθησαν από τον επίσημο εθνικό ιστότοπο "GEODATA" [12],
- v. Δεδομένα των υποθαλάσσιων τηλεπικοινωνιακών καλωδίων εντός της ΑΟΖ της Ελλάδας, μέσω του επίσημου ευρωπαϊκού δικτυακού τόπου "EMODnet" [13].

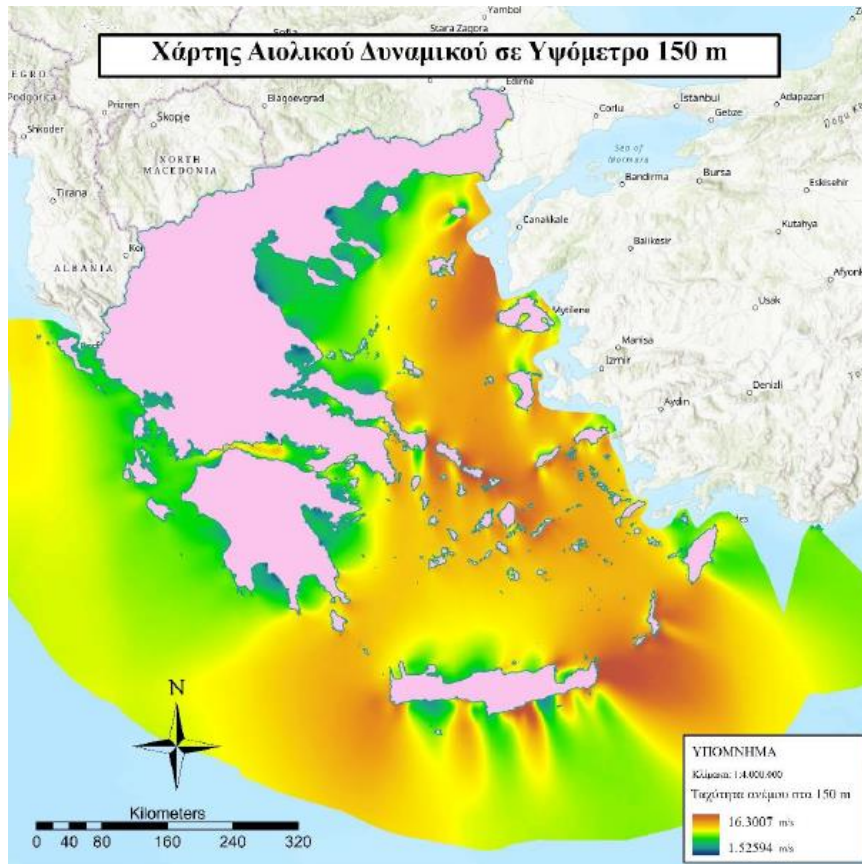
Εκτός από τα παραπάνω, εντοπίστηκαν, συλλέχθηκαν και χαρτογραφήθηκαν τα ακόλουθα δεδομένα:

- i. Οι επαληθευμένες ναυτιλιακές διαδρομές (χαρτογραφικό εργαλείο ArcGIS),
- ii. Οι μεταναστευτικοί διάδρομοι, με τη λήψη αντίστοιχου χάρτη από την Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρεία [14],
- iii. Τα εγχώρια λιμάνια [15],
- iv. Οι ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας της χώρας, που παρέχονται από σχετικό χάρτη του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος [16],
- v. Τα στοιχεία που αφορούν τα υποβρύχια καλώδια [8].

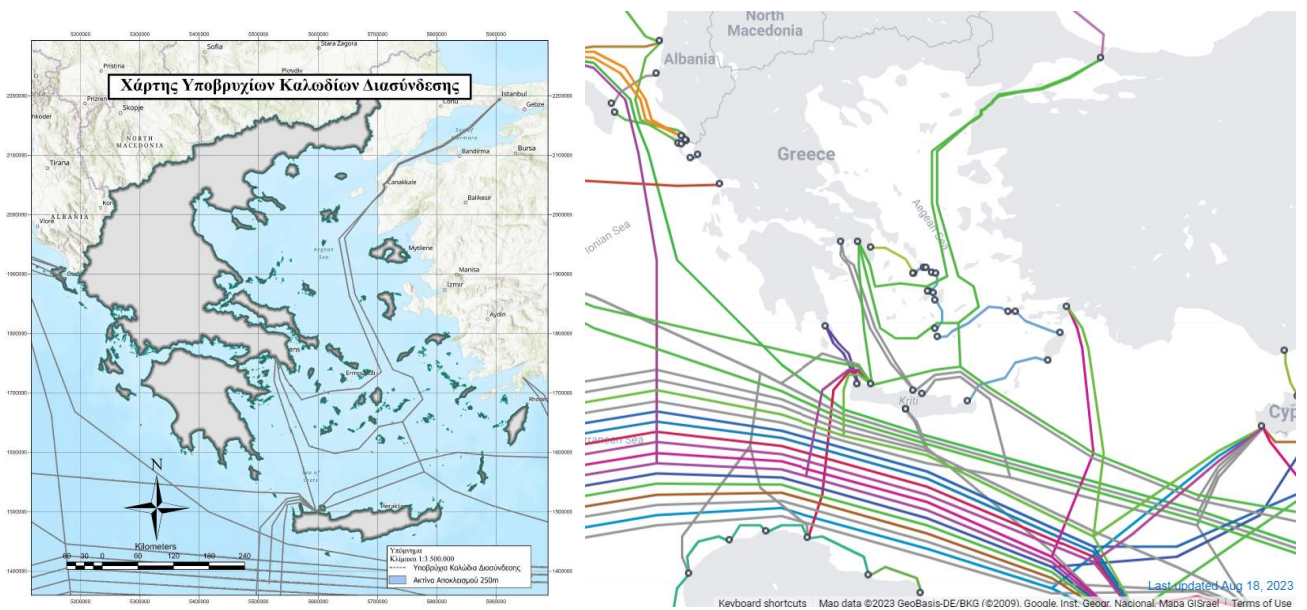
Τα κατωτέρω σχήματα παρουσιάζουν ενδεικτικά τους θεματικούς χάρτες που αναπτύχθηκαν από τους αρμόδιους φορείς ([17], [56], EMODnet, Ο.Α.Σ.Π.) για τον εντοπισμό θαλάσσιων περιοχών κατάλληλων για τη χωροθέτηση υπεράκτιων αιολικών πάρκων στην Ελλάδα, και αντιστοιχούν σε χάρτες ταχύτητας ανέμου, προστατευόμενες περιοχές Natura 2000, βάθος νερού, ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας, αιολικού δυναμικού, γραμμές υποβρύχιων καλωδίων διασύνδεσης και γραμμές ναυσιπλοΐας.



Εικόνα 6: Χάρτης Βαθμετρίας ελλαδικού θαλάσσιου χώρου από τα 100m έως τα 800m (Πηγές: GEODATA, [17])

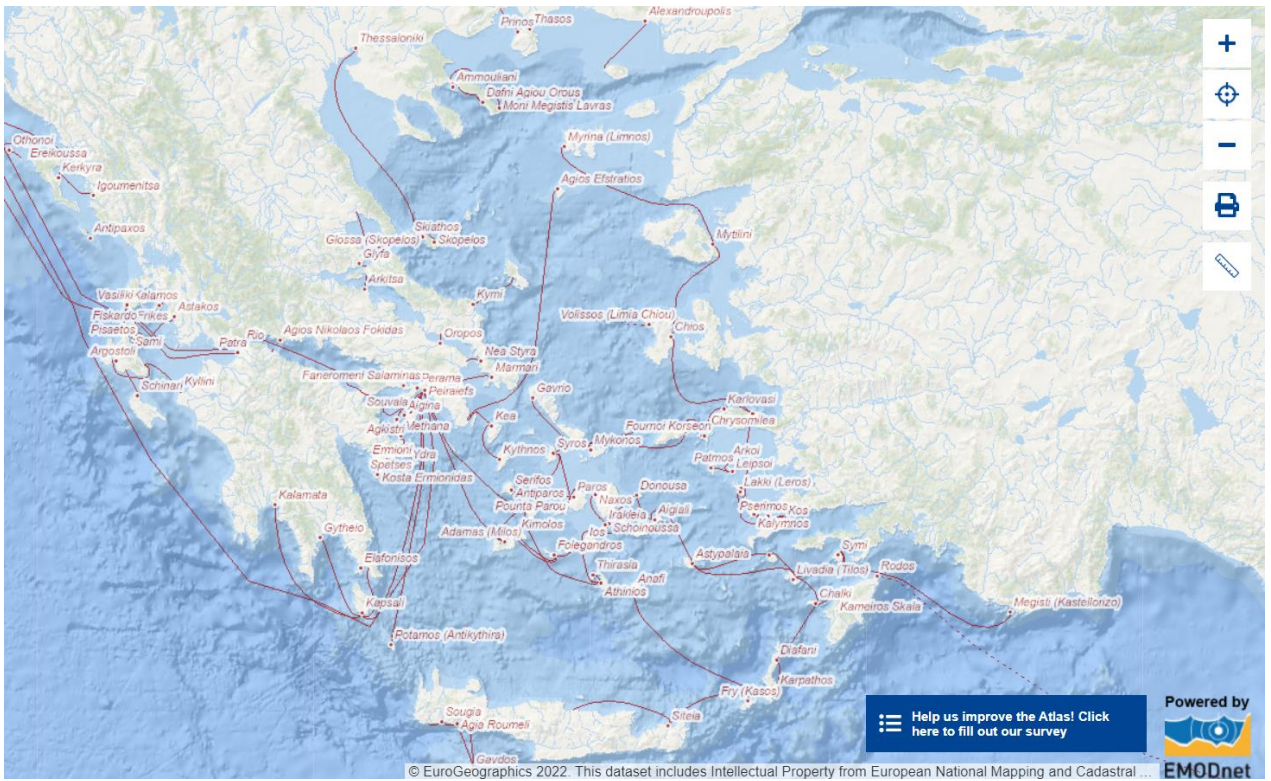


Εικόνα 7: Χάρτης Αιολικού Δυναμικού θαλάσσιου χώρου Ελλάδας εντός ΑΟΖ σε υψόμετρο 150m (Πηγές: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), [17])

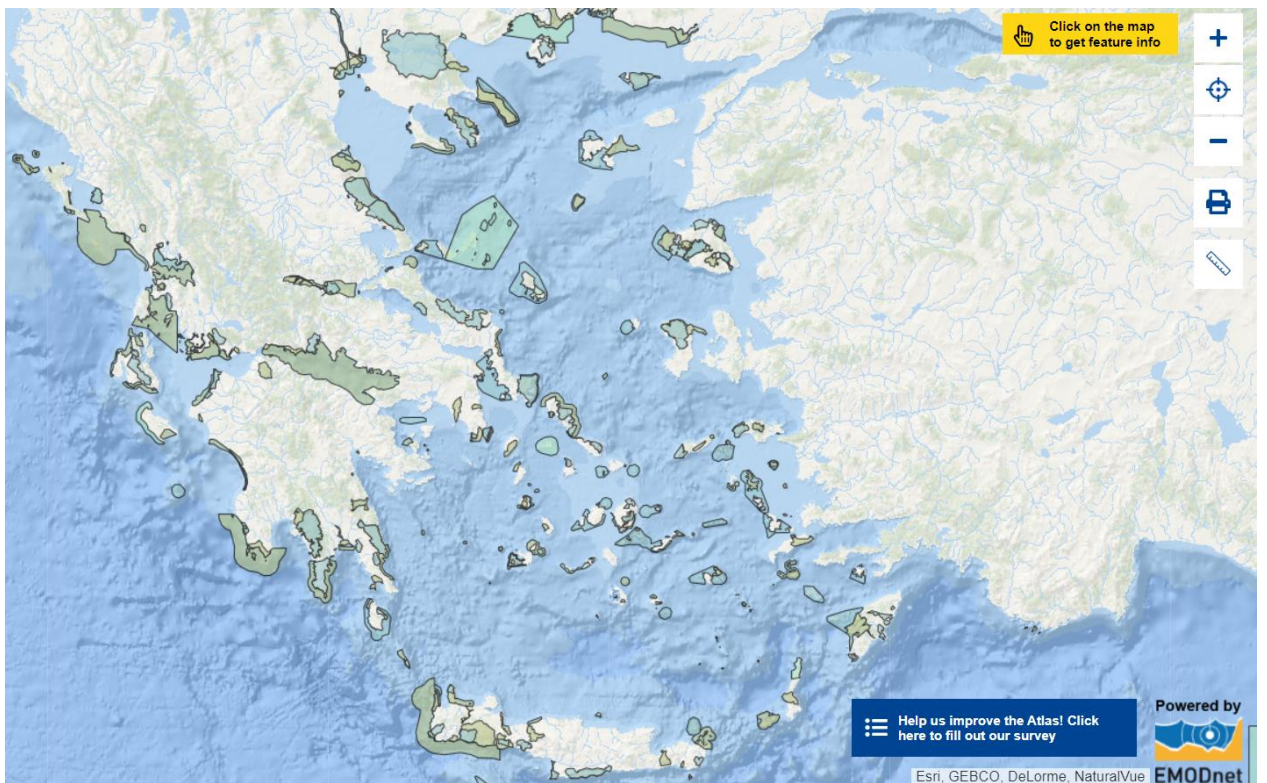


Εικόνα 8α,β: Υφιστάμενη κατάσταση και σχεδιασμός υποβρυχίων καλωδίων στον Ελλαδικό θαλάσσιο χώρο. (Πηγές: EMODnet, [56])





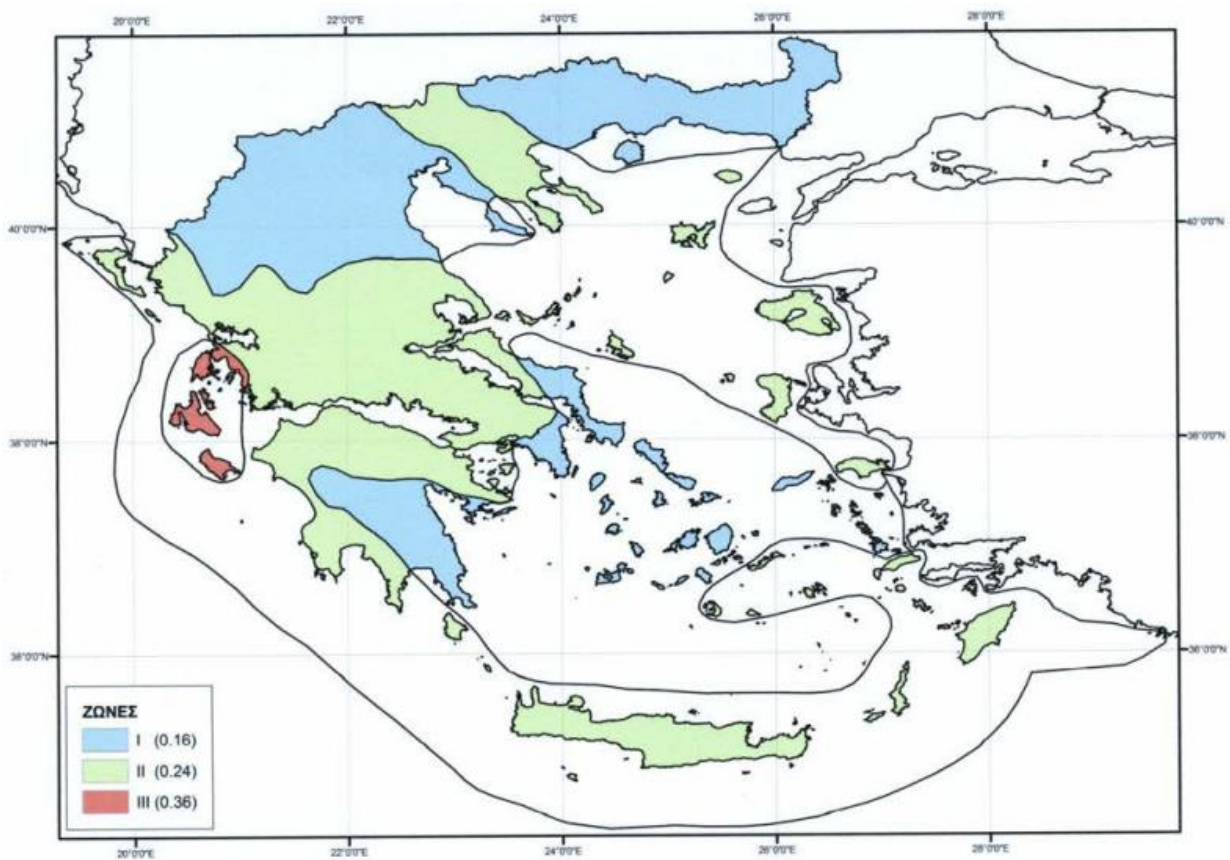
Εικόνα 9:Χάρτης Κύριων Γραμμών Ναυσιπλοΐας Ελλαδικού θαλάσσιου χώρου. (Πηγή: EMODnet)



Εικόνα 10α:Χάρτης περιοχών Natura 2000. (Πηγή: EMODnet)



Εικόνα 10β: Θεματικός Χάρτης προστατευόμενων θαλάσσιων περιοχών. [17]



Εικόνα 11: Θεματικός Χάρτης σεισμικών ζωνών. Πηγή: Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.)



## 2.2 Περιγραφή ενός πλωτού αιολικού πάρκου

### 2.2.1 Δομή πλωτής ανεμογεννήτριας

Η δομή των πλωτών ανεμογεννητριών σε ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο δεν διαφέρει από αυτήν στην ξηρά. Οι τεχνικές διαφορές μεταξύ των δύο αιολικών πάρκων αντικατοπτρίζονται στο μέγεθος (παραγωγή ενέργειας) και τη θεμελίωση των ανεμογεννητριών, το ύψος των πύργων και τις μεθόδους συντήρησης. Για οικονομικούς λόγους, συνηθίζεται οι υπεράκτιες πλωτές ανεμογεννήτριες να είναι μεγαλύτερες. Καθώς το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης των ανεμογεννητριών αυξάνεται, είναι λογικό να εγκατασταθούν ανεμογεννήτριες που παράγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια. Το θεμέλιο αλλάζει καθώς πρέπει να αντέχει τα φορτία κυμάτων και τα τρέχοντα φορτία. Τα πλωτά αιολικά πάρκα τείνουν να έχουν χαμηλότερα ύψη πύργων από τα χερσαία αιολικά πάρκα, επειδή η ταχύτητα του ανέμου εξαρτάται λιγότερο από το ύψος σε σχέση με την ξηρά.

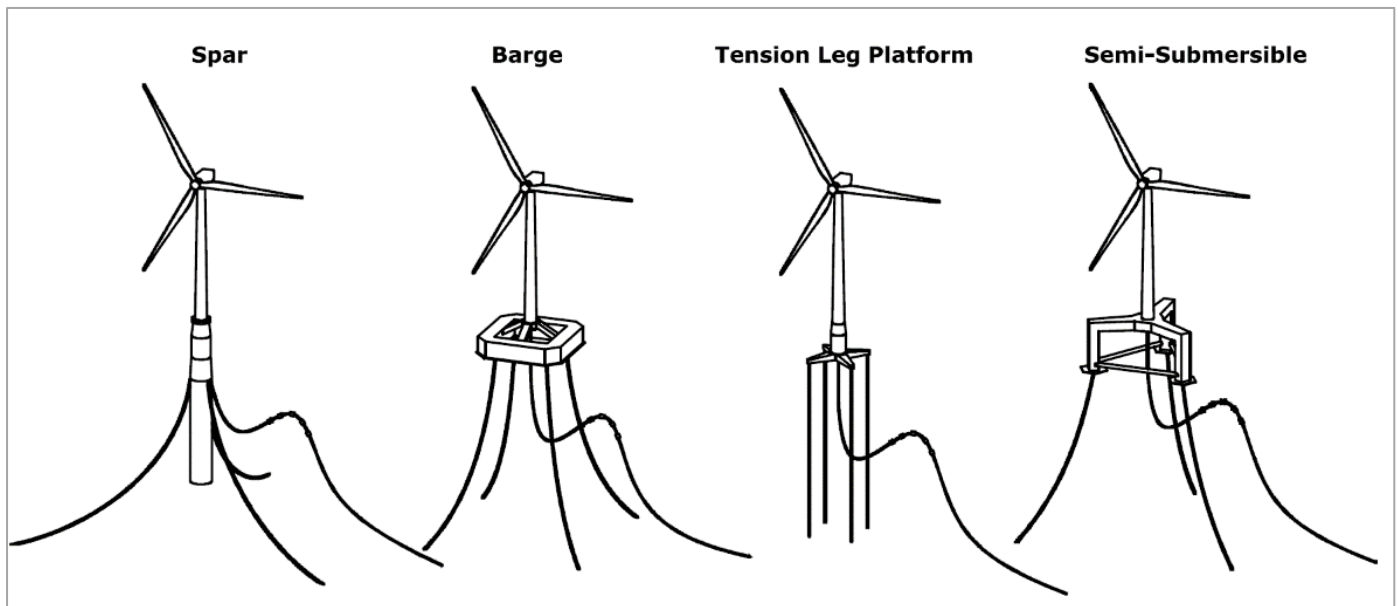
Επίσης, η πρόσβαση σε πλωτές ανεμογεννήτριες για το προσωπικό συντήρησης ποικίλλει και γίνεται πιο ακριβή και πιο πολύπλοκη. Για το λόγο αυτό, οι ανεμογεννήτριες έχουν συχνά σχεδιασμένο ένα σημείο για να εξασφαλίσουν την αποβίβαση με ασφάλεια βαρκών και караβιών, όπως επίσης και ένα διάδρομο προσγείωσης ελικοπτέρων. Πολλές ανεμογεννήτριες διαθέτουν έναν διαμορφωμένο χώρο που παρέχει καταφύγιο για τα συνεργεία συντήρησης κατά τη διάρκεια ξαφνικών αλλαγών στις καιρικές συνθήκες. Οι υπεράκτιες πλωτές ανεμογεννήτριες διαθέτουν συστήματα παρακολούθησης κατάστασης (Condition Monitoring System, CMS) για την ανίχνευση ηλεκτρολογικών και μηχανικών προβλημάτων πριν προέλθει η αστοχία των αντίστοιχων υλικών.[18] Αυτός ο τρόπος καθιστά δυνατό τον προγραμματισμό επισκευών ανεμογεννητριών λαμβάνοντας υπόψιν τις καιρικές συνθήκες, μειώνοντας τις απρογραμμάτιστες διακοπές λειτουργίας και αυξάνοντας την αξιοπιστία. Επιπλέον στα υπεράκτια πλωτά πάρκα είναι σύνηθες να χρησιμοποιούνται περισσότερα ανταλλακτικά, αφού η συντήρησή τους είναι πιο δύσκολη εξαιτίας της μειωμένης δυνατότητας πρόσβασης του προσωπικού.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό των πλωτών ανεμογεννητριών είναι το εξαιρετικά διαβρωτικό περιβάλλον στο οποίο γίνεται η εγκατάστασή τους. Ως εκ τούτου, οι ζημιές λόγω του αλμυρού νερού και της διαβρωτικής ατμόσφαιρας είναι συχνές. Για την αποφυγή αυτών των βλαβών, τα εξωτερικά χαλύβδινα μέρη των πλωτών ανεμογεννητριών προστατεύονται με συστήματα βαφής με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς για τις υπεράκτιες πλωτές πλατφόρμες. Ιδιαίτερη σημασία έχει και η προστασία του εσωτερικού περιβάλλοντος της πλωτής ανεμογεννήτριας, όπου απαιτούνται βελτιωμένα συστήματα βαφής για να διατηρηθεί ξηρό. Επιπρόσθετα, η εγκατάσταση μεγάλων πλωτών ανεμογεννητριών για τη βελτιστοποίηση της χρήσης της αιολικής ενέργειας απαιτεί την ανάλυση ειδικών παραμέτρων σχεδιασμού, καθώς το αυξημένο μέγεθός τους συμβάλει στη δημιουργία περίπλοκων ζητημάτων εγκατάστασης και μεταφοράς.

## 2.2.2 Πλωτές πλατφόρμες

Οι περισσότερες από τις πλατφόρμες που βρίσκονται σε εξέλιξη κατατάσσονται σε τέσσερις κύριους τύπους (Εικ.12):

- Φορτηγίδα (Barge)
- Ημι-βυθιζόμενο (Semi-submersible)
- Σωληνωτό Έρμα (Spar buoy)
- Προεντεταμένων Σκελών (Tension Leg Platform - TLP)



Εικόνα 12: Τέσσερις ανταγωνιστικοί τύποι πλωτών μέσων για Πλωτές Υπεράκτιες Ανεμογεννήτριες. Πηγή (Scheu et al, 2018)

Παρόλο που η έννοια του σωληνωτού έρματος (spar) βρίσκεται στο ίδιο ή και σε ακόμη υψηλότερο επίπεδο ωριμότητας, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται κυρίως στα ημι-βυθιζόμενα (semi-sub) και στις φορτηγίδες (barge) τύπου πλωτών μέσων. Δεδομένου του αρκετά απαιτητικού βυθίσματος σε προστατευμένη τοποθεσία (>95 m) και της απαίτησης για βαρέα ανυψωτικά σκάφη για τη σύνδεση με την Α/Γ, ο τύπος σωληνωτού έρματος (spar) θεωρείται μη εφαρμόσιμος για χρήση στην Ελλάδα. Από τη μία πλευρά, η ευστάθεια του πλωτού μέσου τύπου φορτηγίδας (barge) εξασφαλίζεται κυρίως από τη ροπή της επιφάνειας του υδάτινου επιπέδου της, δεδομένου του μεγάλου αποτυπώματος και του μικρού βυθίσματος. Η παραγωγή της δομής ολοκληρώνεται στην ξηρά και ρυμουλκείται στη θέση της. Η δομή αγκυροβολείται με τη χρήση αγκυροβολίων. Το τυπικό βάρος των σημερινών πλωτήρων είναι περίπου 5400t για μια ανεμογεννήτρια 2MW. Αναμένεται ότι τα μεγέθη των φορτηγίδων (barges) θα αυξηθούν ώστε να μπορούν να φιλοξενήσουν ανεμογεννήτριες 8MW, γεγονός που θα οδηγήσει σε κατασκευές βάρους περίπου 12.600t. Από την άλλη πλευρά, ο ημι-βυθιζόμενος τύπος πλωτήρα (semi-sub) σταθεροποιείται με τη διατήρηση του κέντρου βάρους κάτω από το κέντρο άνωσης μέσω της προσθήκης μαζικού φορτίου νερού. Εκτελείται ως διάφορα ξεχωριστά κύτη/σκαριά (hulls) που συνδέονται μεταξύ τους με μια δομή μανδύα ή πλαισίου με την



A/Γ τοποθετημένη στο κέντρο ή σε μια από τις γωνίες. Έχει επίσης μεγαλύτερο βύθισμα από τον τύπο της φορτηγίδας και χρησιμοποιεί συμβατικούς κλάδους αγκύρωσης (catenary mooring). [19]

Πίνακας 2: Οφέλη και Προκλήσεις των τεσσάρων κυρίαρχων τύπων πλωτήρων. Πηγή: Stiesdal A/S, NREL, DNV.GL, Carbon Trust, IRENA

Σωληνωτό Έρμα - Spar	Ημι-Βυθιζόμενο - Semi-submersible	Προεντεταμένων Σκελών - TLP	Φορτηγίδα - Barge
<b>Οφέλη</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Εγγενής σταθερότητα</li> <li>• Κατάλληλο για ακόμη υψηλότερες θαλάσσιες στάθμες</li> <li>• Μη ευαίσθησία στην κατάσταση του βυθού</li> <li>• Φτηνό &amp; απλό σύστημα πρόσδεσης και αγκύρωσης</li> <li>• Απλή διαδικασία κατασκευής</li> <li>• Χαμηλό ρίσκο λειτουργίας</li> <li>• Ελάχιστα ευαίσθητο στη διάβρωση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πλάκες ανύψωσης για μείωση της απόκρισης ανύψωσης</li> <li>• Ευρύ παράθυρο καιρού για την εγκατάσταση</li> <li>• Ανεξαρτησία βάθους</li> <li>• Μη ευαίσθησία στην κατάσταση του βυθού</li> <li>• Φτηνό &amp; απλό σύστημα πρόσδεσης και αγκύρωσης</li> <li>• Γενικώς χαμηλό ρίσκο</li> <li>• Απλή εγκατάσταση και αποξήλωση του εξοπλισμού καθώς απαιτείται εξειδικευμένο σκάφος</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υψηλή σταθερότητα, μικρές κινήσεις</li> <li>• Καλή ευελιξία σε βάθος νερού</li> <li>• Μικρό αποτύπωμα στο βυθό και μικρές γραμμές πρόσδεσης</li> <li>• Απλή &amp; ελαφριά δομή, εύκολη για Λ&amp;Σ</li> <li>• Χαμηλότερο κόστος υλικών λόγω του δομικού βάρους της υποκατασκευής</li> <li>• Πιθανή συναρμολόγηση στην ξηρά ή σε ξηρή αποβάθρα</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Λειτουργεί σε βάθη που ξεκινούν από τα 30m. για την αντιμετώπιση πολύπλοκων συνθηκών βυθού</li> <li>• Κατασκευάζεται από χάλυβα ή σκυρόδεμα ή υβρίδια χάλυβα και σκυροδέματος, προσφέροντας ευελιξία στη χρήση του υψηλότερου τοπικού περιεχομένου κοντά στο έργο.</li> <li>• Το απλό σχήμα θα χρησιμοποιεί εξίσου απλές τεχνικές κατασκευής</li> <li>• Επεκτάσιμη για την υποστήριξη βαρέων υποσταθμών</li> </ul>
<b>Προκλήσεις</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υψηλό κόστος, 5-8εκατ. €/MW (ντέμο 30 MW)</li> <li>• Μεγάλο βάρος, με μακριές γραμμές πρόσδεσης και μακριά και βαριά δομή</li> <li>• Σχετικά μεγάλες κινήσεις</li> <li>• Συναρμολόγηση σε προστατευμένα βαθιά νερά,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μη βιομηχανοποιημένη κατασκευή</li> <li>• Η υψηλότερη έκθεση στα κύματα οδηγεί σε χαμηλότερη σταθερότητα και επιπτώσεις στην A/Γ</li> <li>• Εντατική εργασία και μεγάλος χρόνος παράδοσης</li> <li>• Μεγάλη και πολύπλοκη δομή,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ασταθής κατά τη συναρμολόγηση, απαιτείται η χρήση ειδικού πλοίου</li> <li>• Αγκύρωση υψηλού κατακόρυφου φορτίου</li> <li>• Πολύπλοκο και δαπανηρό σύστημα πρόσδεσης και αγκύρωσης που το καθιστά τον πιο ακριβό τύπο πλωτού</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ιδιαίτερα εκτεθειμένα στα κύματα, οπότε έχουν μεγαλύτερες κινήσεις</li> <li>• Απαιτούν πιο ισχυρά συστήματα πρόσδεσης, αυξάνοντας την πολυπλοκότητα</li> </ul>

<p>πρόκληση και χρονοβόρα διαδικασία</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Υψηλά φορτία κόπωσης στη βάση του πύργου</li> <li>Απαιτούνται εξειδικευμένα σκάφη εγκατάστασης</li> </ul>	<p>πολύ περίπλοκη στην κατασκευή</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Το θεμέλιο κατασκευάζεται πάντα σε ένα κομμάτι, απαιτώντας ξηρή αποβάθρα ή ειδικό ναυπηγείο κατασκευής με εγκαταστάσεις ολίσθησης</li> <li>Η πλευρική μετακίνηση δημιουργεί πιθανά προβλήματα για το καλώδιο εξαγωγής</li> </ul>	<p>σχεδιασμού</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Οι τέντονες πρόσδεσης παρουσιάζουν υψηλότερο λειτουργικό κίνδυνο σε περίπτωση αστοχίας πρόσδεσης και προσθέτουν απαιτήσεις σχετικά με τις συνθήκες του βυθού της περιοχής.</li> </ul>	
---	--	--	--

### 2.2.3 Ηλεκτρικές Υποδομές

Στα πλωτά αιολικά πάρκα, η ηλεκτρική υποδομή είναι ένα ανεξάρτητο σύστημα που είναι πολύ πιο περίπλοκο από τις αντίστοιχες εγκαταστάσεις σύνδεσης ανεμογεννητριών στην ξηρά. Υπάρχουν τρεις πτυχές που πρέπει να λάβουμε υπόψιν πολύ περισσότερο από ό,τι στην ξηρά, όπως η αξιοπιστία του συστήματος, το υψηλότερο κόστος υλικών και εγκατάστασης στη θάλασσα και η μεγαλύτερη απόσταση για τη μετάδοση της ενέργειας στη στεριά.[7] Οι ηλεκτρικές υποδομές υποδιαιρούνται ως εξής:

1. Το εσωτερικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Ο υπεράκτιος σταθμός μετατροπής τάσης.
3. Το κύκλωμα καλωδίων συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης.

### 2.2.4 Καλώδια για Πλωτές Ανεμογεννήτριες

Για τη συλλογή της ενέργειας που παράγεται από τις πλωτές ανεμογεννήτριες, χρησιμοποιούνται υποβρύχια καλώδια που ονομάζονται «δυναμικά καλώδια». Αυτά τα καλώδια έχουν σχεδιαστεί για να αντέχουν τη μηχανική καταπόνηση της συνεχούς κίνησης της πλατφόρμας κατά την αναμενόμενη διάρκεια ζωής της. Τα υποβρύχια καλώδια που χρησιμοποιούνται σε υπεράκτια αιολικά πάρκα χρησιμοποιούν ενσωματωμένη μόνωση. [7] Η μόνωση των καλωδίων αποτελείται από ειδικά πολυμερή υλικά όπως για παράδειγμα καουτσούκ αιθυλενίου και προπυλενίου (EPR) ή δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (XLPE). Συνολικά, οι ενώσεις XLPE έχουν χαμηλότερες διηλεκτρικές απώλειες, καλύτερη αντίσταση υπερτάσεων και είναι εγγενώς πιο κατάλληλες για καλώδια υψηλής τάσης από τα EPR. Από την άλλη το EPR έχει καλύτερη απόδοση όσον αφορά την υγρασία. [58] [59] Παρακάτω παρουσιάζονται οι τεχνολογίες των υποβρύχιων καλωδίων:

1. Καλώδια ελαίου (Oil-filled cables, OF)
2. Καλώδια αερίου υπό πίεση (Gas-pressurized cables, GP)

3. Καλώδια χαρτιού εμβαπτισμένου σε λάδι (Mass-impregnated cables, MI)
4. Καλώδια δικτυωμένου πολυαιθυλενίου (Cross-linked Polyethylene, XLPE)

### 2.2.5 Υπεράκτιος υποσταθμός

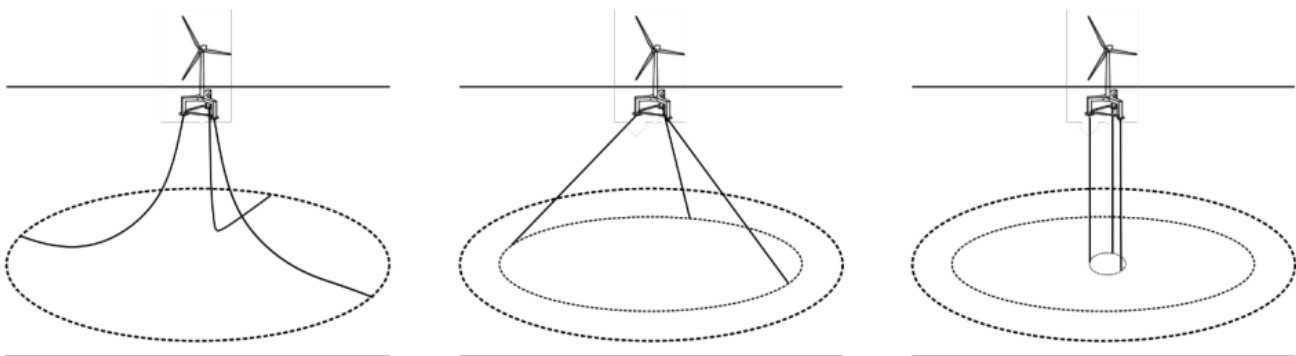
Με την ύπαρξη μεγάλων αποστάσεων από την ηπειρωτική χώρα προτιμάται η μεταφορά της ενέργειας από το θαλάσσιο πάρκο σε επίπεδο υψηλής τάσης. Συνεπώς, απαιτείται ένας υποσταθμός μετασχηματισμού στην περιοχή του πλωτού αιολικού πάρκου, στον οποίο καταλήγουν σε ένα κεντρικό σημείο όλες οι γραμμές από τις ανεμογεννήτριες προκειμένου η ενέργεια να μετασχηματιστεί σε υψηλής τάσης. Εκτός αυτού, ο υποσταθμός περιέχει όλους τους απαραίτητους πίνακες μεταγωγής και άλλες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις όπως, το συστήματα διόρθωσης του συντελεστή ισχύος.

### 2.2.6 Αγκυροβόληση

Καθώς οι κατασκευές επιπλέον, θα πρέπει να διασφαλίζεται η μη μετακίνησή τους από τη θέση εγκατάστασής περισσότερο από όσο επιτρέπει η αντίστοιχη υποδομή (όπως καλώδια διασύνδεσης). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω συστημάτων διατήρησης θέσης, τα οποία είναι γενικά παθητικά και συνδέονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Αλυσοειδής αγκύρωση (Catenary mooring)
- Ημι-τεταμένη και Τεταμένη αγκύρωση (Semi-taut/ taut lines)
- Προεντεταμένα σκέλη (Tendon Legs)

Ο πρώτος τύπος πρόσδεσης είναι πιο απλός και πιο οικονομικός, αλλά έχει το μειονέκτημα της μεγάλης ανοχής στη θέση του, αφού ποικίλλει ανάλογα με τον άνεμο που επικρατεί και τη δύναμή του. Τα ημι-τεταμένα και τεντωμένα αγκυροβόλια προσφέρουν μεγαλύτερη σταθερότητα, ωστόσο, αυτό απαιτεί βελτιωμένο σύστημα αγκύρωσης και είναι δύσκολο να στερεωθεί και να αποσυνδεθεί η πλατφόρμα.



Εικόνα 13: Τύποι πρόσδεσης - Πηγή (Casal, n.d.)

Η αγκυροβόληση των πλωτών πλατφόρμων πιο συχνά πραγματοποιείται με συμβατικούς κλάδους αγκύρωσης (catenary moorings) και με συρματόσχοινα υπό προένταση (taut-leg moorings). Οι άγκυρες που

χρησιμεύουν στη σταθεροποίηση της κατασκευής με τη βοήθεια των καλωδίων αγκύρωσης εξαρτώνται από τις δυνάμεις που πρέπει να υπομείνει η κατασκευή, το βάθος της εγκατάστασης και τις συνθήκες του βυθού. Στην περίπτωση που η δύναμη εφαρμόζεται παράλληλα στον πυθμένα, η άγκυρα δεν χρειάζεται να είναι βαθιά θαμμένη για να είναι αποτελεσματική. Τα συστήματα αγκύρωσης με καμπύλα συρματόσχοινα που μοιάζουν με αλυσίδα επωφελείται επίσης από αυτό. Στην πραγματικότητα, τα καμπύλα αλυσοειδή αγκυροβόλια στη λήψη οριζόντιων δυνάμεων απαιτούν λιγότερη ακρίβεια, μειώνοντας έτσι το κόστος εγκατάστασης. Οι πλατφόρμες με τέτοια αγκυροβόληση μπορούν να κατευθύνονται προς όλες τις διευθύνσεις σε αντίθεση με τη χρήση τεντωμένων συρματόσχοινων. Οι αγκυρώσεις κάθετης δύναμης βασίζονται στη βαθιά ταφή για να σφηνωθούν στον βυθό, γι' αυτό και είναι πιο ακριβές στην εγκατάσταση. Το μειονέκτημα της αγκύρωσης με συμβατικούς κλάδους αγκύρωσης είναι ότι η κατακόρυφη δύναμη στην άγκυρα είναι ανεπαρκής για να διασφαλίσει ότι η πλατφόρμα δεν ανατρέπεται, ειδικά όταν το βάρος της Α/Γ και οι οριζόντιες δυνάμεις εφαρμόζονται μακριά από το κέντρο άνωσης. Το πλεονέκτημα της αγκύρωσης με τεντωμένα συρματόσχοινα είναι ότι παρέχει μεγαλύτερη σταθερότητα καθώς είναι σε θέση να βυθίσει ένα μεγάλο μέρος των κατασκευών κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Επιπλέον, η αγκύρωση με τεντωμένα συρματόσχοινα μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγαλύτερα βάθη από ό,τι η αλυσοειδής αγκύρωση, η οποία προτιμάται σε σχετικά ρηχά νερά.[7] Οι βασικές κατηγορίες αγκυρών είναι οι εξής:

- Άγκυρες βασισμένες στη βαρύτητα (gravity-base anchor)
- Άγκυρες που εμφυτεύονται καθώς σύρονται (drag-embedded anchor)
- Άγκυρες οδηγούμενες από στύλο (driven pile anchor)
- Άγκυρες αναρρόφησης (suction anchor)
- Άγκυρες που εμφυτεύονται με τορπίλη (torpedo embedded anchor)
- Άγκυρες οδηγούμενες από στύλο όπου απαιτείται η διάνοιξη οπής (drilled and grouted pile)

### 2.2.7 Σύστημα ελέγχου SCADA

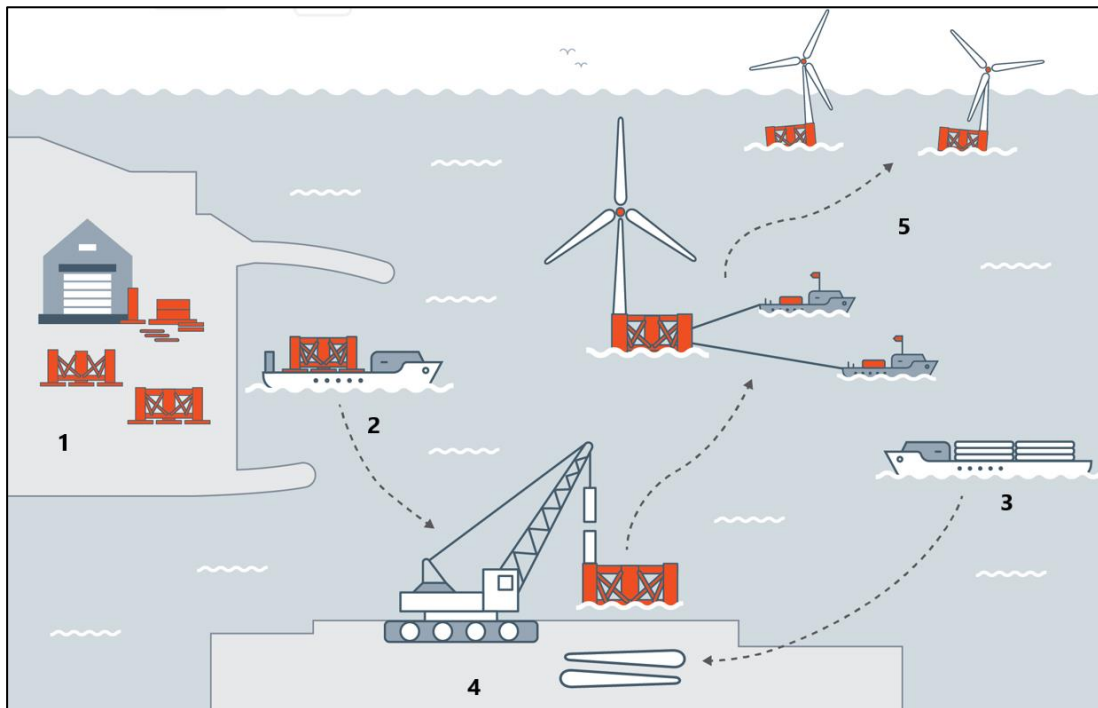
Είναι ένα σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου που συνδέει ανεμογεννήτριες, μετεωρολογικούς σταθμούς και υποσταθμούς με έναν κεντρικό υπολογιστή, επιτρέποντας στους χειριστές να παρακολουθούν και να ελέγχουν τη λειτουργία των ανεμογεννητριών και των αιολικών πάρκων. Με την παροχή και αποθήκευση πληροφοριών σχετικά με τη λειτουργία του αιολικού πάρκου από το σύστημα, μπορούν να εντοπιστούν σφάλματα ή προβλήματα στη λειτουργία μιας συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας.

### 3. Βιωσιμότητα των υφιστάμενων υποδομών των Ελληνικών λιμανιών

Ο σκοπός της παρούσας ενότητας είναι να εξαχθεί ένα σημείο αναφοράς και να διενεργηθεί μια αξιολόγηση της υφιστάμενης λιμενικής υποδομής στην Ελλάδα ως προς την πιθανή καταλληλότητά της για την εξυπηρέτηση των πλωτών υπεράκτιων αιολικών εγκαταστάσεων στην Ελλάδα.

#### 3.1 Ο ρόλος των λιμανιών στην υποστήριξη υπεράκτιων πλωτών αιολικών πάρκων

Τα λιμάνια διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην κατασκευή και τη λειτουργία των πλωτών υπεράκτιων ανεμογεννητριών, όπως συμβαίνει και με τις ανεμογεννήτριες που είναι τοποθετημένες στον πυθμένα (bottom-fixed). Τα βασικά στοιχεία της αλυσίδας εφοδιασμού όσον αφορά την κατασκευή πλωτών υπεράκτιων αιολικών πάρκων παρουσιάζονται στην Εικόνα 14.



Εικόνα 14: Σχέδιο εφοδιαστικής αλυσίδας για την κατασκευή ενός υπεράκτιου πλωτού αιολικού πάρκου. [54]

1. Η κατασκευή των πλωτήρων πραγματοποιείται συνήθως σε ναυπηγείο ή σε βιομηχανικό πάρκο με πρόσβαση στην προκυμαία (για πλωτήρες από χάλυβα). Κάθε έτοιμος πλωτήρας κατελκύεται με τη χρήση ξηράς αποβάθρας, ημι-βυθιζόμενου σκάφους ή άλλου παρόμοιου εξοπλισμού.
2. Οι πλωτήρες μπορούν να μεταφερθούν στο λιμάνι εγκατάστασης με ημι-βυθιζόμενα σκάφη ή με υγρή ρυμούλκηση.
3. Τα εξαρτήματα των Α/Γ αποστέλλονται στο λιμάνι εγκατάστασης με πλοία γενικού φορτίου (εναλλακτικά οδικώς, εάν η παραγωγή βρίσκεται στην ενδοχώρα του λιμένα). Τα εξαρτήματα περιλαμβάνουν πτερύγια, άτρακτο, πύργο και άλλα μικρότερα μέρη της Α/Γ.
4. Στο λιμάνι εγκατάστασης, ένας πλωτήρας αγκυροβολεί κατά μήκος της προκυμαίας, ενώ η Α/Γ

εγκαθίσταται με τη χρήση γερανών μεγάλης χωρητικότητας.

5. Μετά τον προ-λειτουργικό έλεγχο, η πλωτή Α/Γ ρυμουλκείται στην υπεράκτια τοποθεσία, όπου έχουν ήδη τοποθετηθεί οι γραμμές πρόσδεσης και τα καλώδια τροφοδοσίας.

Άλλες δραστηριότητες που σχετίζονται με το λιμάνι κατά τη φάση λειτουργίας του έργου συμπεριλαμβάνουν τη λειτουργία και συντήρηση (Λ&Σ) και τον παροπλισμό/αποξήλωση.[19]

## 3.2 Εγκατάσταση Κατασκευής

### 3.2.1 Λειτουργίες και εξοπλισμός ξηράς

Η διαδικασία κατασκευής χαλύβδινων πλωτήρων περιλαμβάνει:

- κατασκευή διαφόρων χαλύβδινων εξαρτημάτων,
- μεταφορά των υποσυνόλων στο ναυπηγείο,
- ένωση των υποσυνόλων στο πλωτό σκάφος ενοποίησης,
- φινίρισμα (προσθήκη δευτερογενών και τριτογενών στοιχείων, επίστρωση κ.λπ.),
- καθέλκυση του πλωτού μέσου (ή μεταφορά σε άλλες εγκαταστάσεις).

Η κατασκευή των υποσυνόλων συχνά ολοκληρώνεται σε στέγαστρα. Δραστηριότητες όπως η συγκόλληση και η βαφή μπορεί να απαιτούν σε ορισμένες περιπτώσεις στεγασμένο χώρο. Το μέγεθος του υπόστεγου θα πρέπει ιδανικά να παρέχει περίμετρο 5m γύρω από τα εξαρτήματα ή το συναρμολογημένο πλωτό μέσο. Τα μεγέθη των υπόστεγων ποικίλλουν ανάλογα με την προσέγγιση συναρμολόγησης και το μέγεθος των εξαρτημάτων. Οι διάφοροι σταθμοί κατασκευής και συναρμολόγησης, καθώς και οι αποθήκες θα πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους με λωρίδες κυκλοφορίας. Το πλάτος των λωρίδων κυκλοφορίας εξαρτάται από το μέγεθος των εξαρτημάτων. Για τη μεταφορά υποσυγκροτημάτων/εξαρτημάτων, το πλάτος των λωρίδων κίνησης είναι συνήθως περίπου 3m. Η λωρίδα κυκλοφορίας για ένα πλήρως συναρμολογημένο πλωτό σκάφος υπολογίζεται σε 100m. Η ανύψωση και ο χειρισμός των υλικών και των υποσυνόλων γίνεται με τη χρήση σταθερών γερανών ναυπηγείου, οι οποίοι υποβοηθούνται από κινητούς γεραμούς.

Τα ναυπηγεία της Navantia (Ferrol) στην Ισπανία αποτελούν ένα χρήσιμο παράδειγμα για την απεικόνιση των βασικών χαρακτηριστικών και λειτουργιών μιας εγκατάστασης κατασκευής. Αυτό το ναυπηγείο χρησιμοποιήθηκε για τα έργα WindFloat (Atlantic και Kincardine), καθένα από τα οποία αποτελείται από 3-4 πλωτήρες. Τα διάφορα στάδια της κατασκευής παρουσιάζονται στην Εικόνα 15.





Subassemblies fabrication



Subassemblies transport to launching area



Floater assembly

Launching berth

Εικόνα 15: Κατασκευή εξαρτημάτων ημι-βυθιζόμενων πλοητών στις εγκαταστάσεις της Navantia (Ferrol) για το έργο WindFloat Atlantic. [20]



*Εικόνα 16: Ναυπηγεία κατασκευής και απόπλευσης στη Navantia (Ferrol). Πηγή: Google Earth.*

Το ανατολικό κόκκινο πολύγωνο στην Εικ.16 υποδηλώνει τις εγκαταστάσεις κατασκευής, το δυτικό κόκκινο πολύγωνο υποδηλώνει τις εγκαταστάσεις απόπλευσης και συναρμολόγησης, το πράσινο πολύγωνο υποδηλώνει τις αποθήκες, η πορτοκαλί γραμμή υποδηλώνει τη διαδρομή (λωρίδα κυκλοφορίας) μεταξύ των χώρων κατασκευής και συναρμολόγησης και η μπλε γραμμή υποδηλώνει την προβλήτα – θέση προσόδου (berth).

Οι πλωτήρες μετακινούνται από τον ένα σταθμό στον επόμενο για την ολοκλήρωση μιας ομάδας εργασιών, συμπεριλαμβανομένης της απόπλευσης. Τα μεγέθη των περιοχών και η οργάνωση εξαρτώνται από τους ρυθμούς παραγωγής και τους απαιτούμενους ρυθμούς εγκατάστασης για το συγκεκριμένο έργο. Η απεικόνιση ενός τέτοιου χώρου παρουσιάζεται στην Εικόνα 17.





Εικόνα 17: Προβλεπόμενη εγκατάσταση κατασκευής στο Nigg Bay για την ανάπτυξη FOW στη Σκωτία. [21]

Πολλές από τις εκτιμήσεις θα ήταν παρόμοιες εάν ο πλωτήρας κατασκευαζόταν από σκυρόδεμα και όχι από χάλυβα. Το μεγαλύτερο βάρος των υποσυγκροτημάτων (εάν υπάρχει) θα έθετε πρακτικούς περιορισμούς στη μετακίνηση στο ναυπηγείο. Ωστόσο, άλλες δυνατότητες, όπως η κατασκευή στη φορτηγίδα, παραμένουν πιθανά (βλέπε Εικ.18).

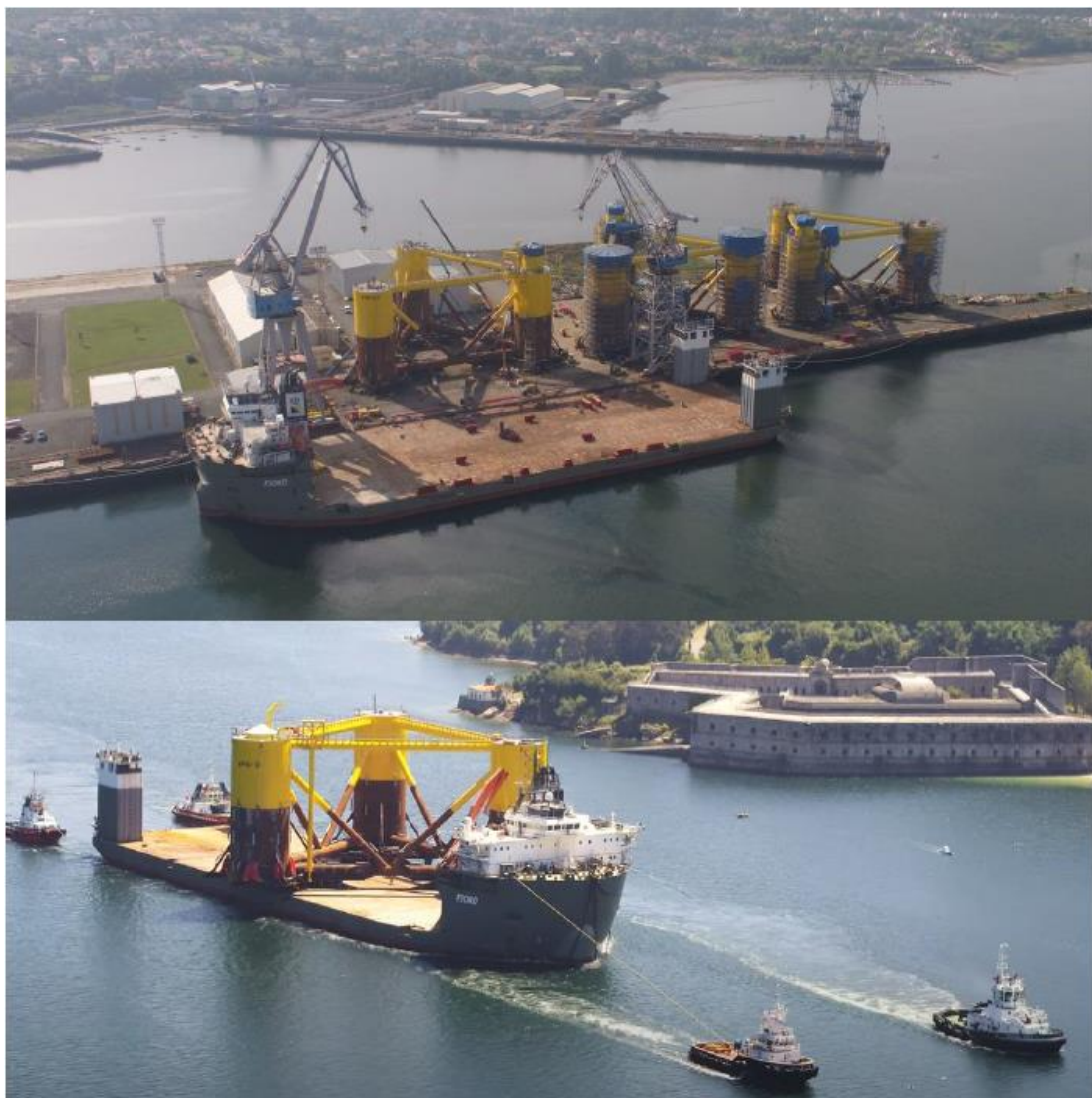


Εικόνα 18: Κατασκευή Ideol floatgen σε φορτηγίδα. [22]

Μετά την κατασκευή, ο πλωτήρας πρέπει να καθέλκυστεί (να επιπλεύσει). Αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση διαφόρων μεθόδων και εξοπλισμού, όπως:

- ημιβυθιζόμενο σκάφος βαριάς ανύψωσης,
- θαλάσσιος σιδηρόδρομος,
- ολισθητήρας / ολίσθηση,
- ανελκυστήρες πλοίων

Η χρήση ενός ημι-βυθιζόμενου σκάφους βαρέως τύπου αποφεύγει την ανάγκη για ειδικό χώρο καθέλκυσης και έχει μικρότερο αποτύπωμα. Το πλοίο μπορεί επίσης να μεταφέρει τα πλωτά μέσα στην εγκατάσταση ενσωμάτωσης (βλ. Εικ.19), η οποία θα μπορούσε να είναι ταχύτερη / πιο αξιόπιστη σε σύγκριση με την υγρή ρυμούλκηση (wet towage).



*Εικόνα 19: Καθέλκυση και μεταφορά του πλωτήρα WindFloat (Navantia (Ferrol)). [23]*

Οι δεξαμενές ανύψωσης των μόνιμων δεξαμενών (graving dry-docks) αποτελούνται από μια στενή λεκάνη που μπορεί να πλημμυρίσει για να επιτρέψει στα σκάφη να επιπλεύσουν. Τα συστήματα αυτά



χρησιμοποιούνται για την κατασκευή και τη συντήρηση πλοίων. Οι πλωτές δεξαμενές έχουν τον ίδιο σκοπό αλλά μπορούν να ρυμουλκούνται από χώρο σε χώρο. Ένα παράδειγμα πλωτού ναυπηγείου που κατασκευάστηκε και κατελκύστηκε από ένα στεγανό ναυπηγείο παρουσιάζεται στην Εικόνα 20 (ναυπηγείο Setubal για την WindFloat Atlantic). Οι διαστάσεις της ξηράς αποβάθρας είναι περίπου 75 x130 m (πλάτος x μήκος). Το ελάχιστο βύθισμα της ξηράς αποβάθρας είναι 4,6 m και το μέγιστο βύθισμα είναι 7,6 m. [24]



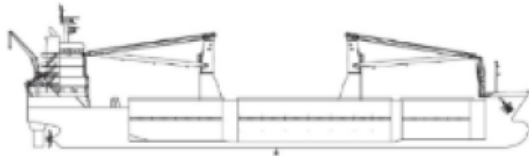
*Εικόνα 20: Απόπλευση πλωτήρα WindFloat Atlantic στο Setubal. [25]*

Η κύρια πρόκληση στη χρήση οποιουδήποτε από τα συστήματα απόπλευσης που υπάρχουν στα ναυπηγεία είναι οι διαστάσεις ή οι περιορισμοί βάρους τους. Το πλάτος ενός τυπικού φορτηγού πλοίου, το οποίο διέπει την κατασκευή των υφιστάμενων συστημάτων απόπλευσης, είναι μικρότερο από το πλάτος των πλωτήρων για μεγαλύτερες Α/Γ.

### 3.2.2 Χαρτοφυλάκιο Πλοίων

Η μεταφορά των υλικών μπορεί να γίνει με μεταφορείς πολλαπλών φορτίων (multi-cargo) ή μεταφορείς ανοικτού καταστρώματος (open deck). Τα πλοία μπορούν να μεταφέρουν τόσο βαριά φορτία όσο και να τα ανυψώνουν με τους δικούς τους γερανούς.

### Multi-cargo vessel



Name: M/V Pacifica  
LOA (overall length): 138.5 m  
Beam: 21 m  
Draft: 8 m  
Comment: Geared to 300t (2 X 150t)

Εικόνα 21: Παράδειγμα πλοίου πολλαπλών φορτίων. [54]

### Open deck carrier



Name: M/S Meri  
LOA: 105,5 m  
Beam: 18.8 m  
Draft: 4.7 m  
Comment: 1660 m<sup>2</sup> deck area

Εικόνα 22: Παράδειγμα πλοίου ανοικτού καταστρώματος. [54]

### Heavy lift semi-submersible vessel



Name: Fjord  
LOA: 159.24 m  
Beam: 45.50 m  
Summer Draft: 6.09 m  
Comment: Draft submerged at fpp / app 19.00 m

Εικόνα 23: Παράδειγμα ημι-βυθιζόμενου πλοίου βαρέως φορτίου. [54]

### Heavy lift semi-submersible vessel



Name: Blue Marlin  
LOA: 224.80 m  
Beam: 63.00 m  
Summer Draft: 10.24 m  
Comment: Draft submerged 24.72 m

Εικόνα 24: Παράδειγμα ημι-βυθιζόμενου πλοίου βαρέως φορτίου. [54]

Άλλα πλοία που εμπλέκονται στις δραστηριότητες κατασκευής τα οποία είναι συνήθως μικρότερα, και επομένως οι διαστάσεις τους δεν είναι οι ίδιες κινητήριοι παράγοντες για τις απαιτήσεις των λιμένων, είναι τα κατωτέρω:

- Φορηγίδες μεταφοράς,
- Πλοία εγκατάστασης καλωδίων,
- Πλοία εφοδιασμού πλατφορμών,
- Ρυμουλκά και πλοία εφοδιασμού,
- Πλοίο ασφαλείας / εφεδρικό πλοίο,
- Πλοίο πολλαπλών χρήσεων.

### 3.2.3 Κατάλογος Εγκαταστάσεων Κατασκευής Υφιστάμενων Λιμένων

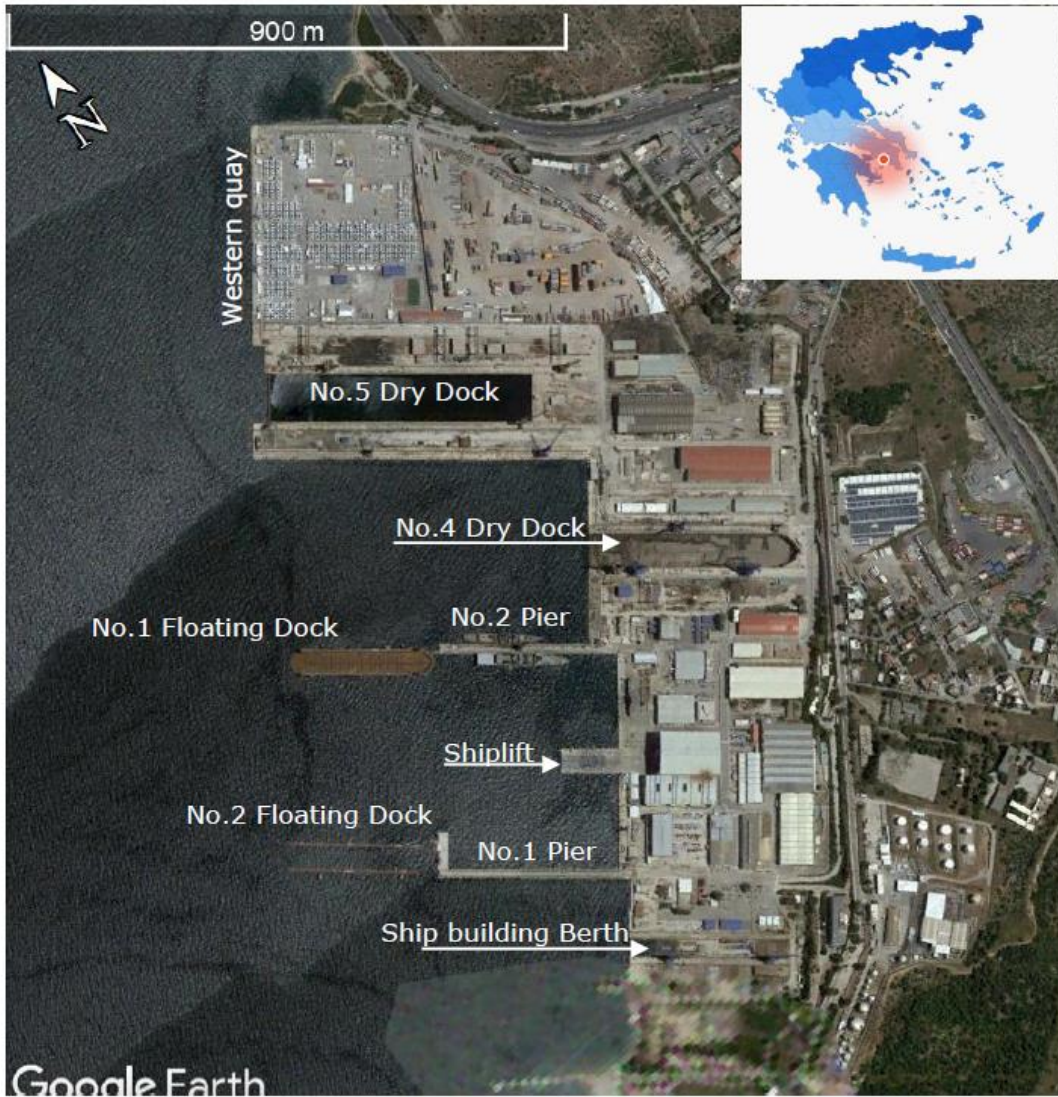
Οι εγκαταστάσεις που έχουν ελεγχθεί από ενδιαφερόμενους επενδυτές (π.χ. ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ) [54] ως προς τη δυνητική καταλληλότητά τους για να φιλοξενήσουν την κατασκευή του πλωτήρα στην περιφέρεια Αττικής είναι:

- Σκαραμαγκάς,
- Ελευσίνα,
- Τα ναυπηγεία της Κυνόσουρας,
- Ζώνη επισκευής πλοίων Περάματος,
- Ζώνη επισκευής πλοίων Κερατσινίου.



*Εικόνα 25:Επισκόπηση των εγκαταστάσεων κατασκευής. [54]*





Εικόνα 26:Επισκόπηση του λιμανιού Σκαρμαγκάς. [54]



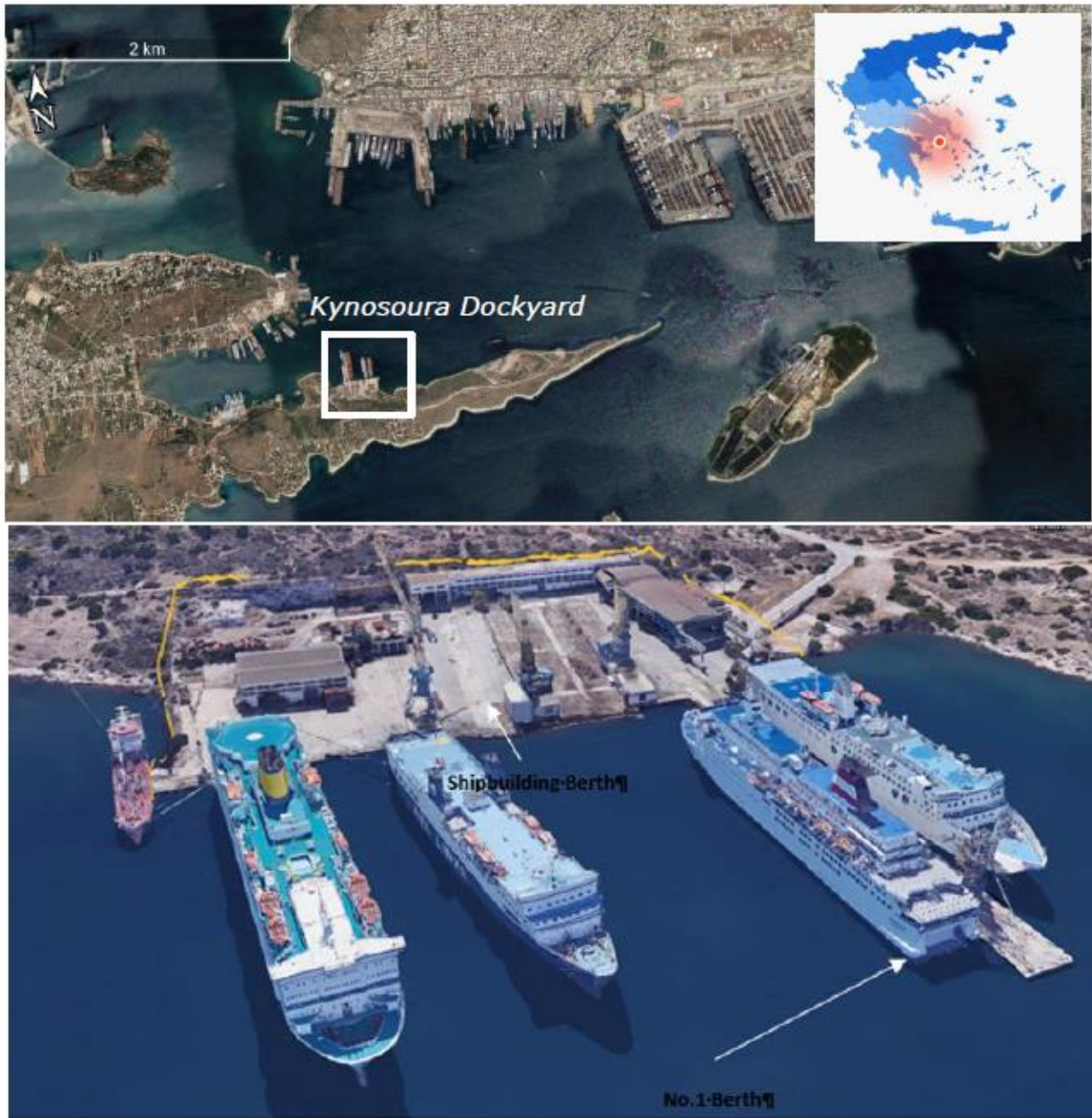
Εικόνα 27:Επισκόπηση 2 του λιμανιού Σκαρμαγκάς. [54]



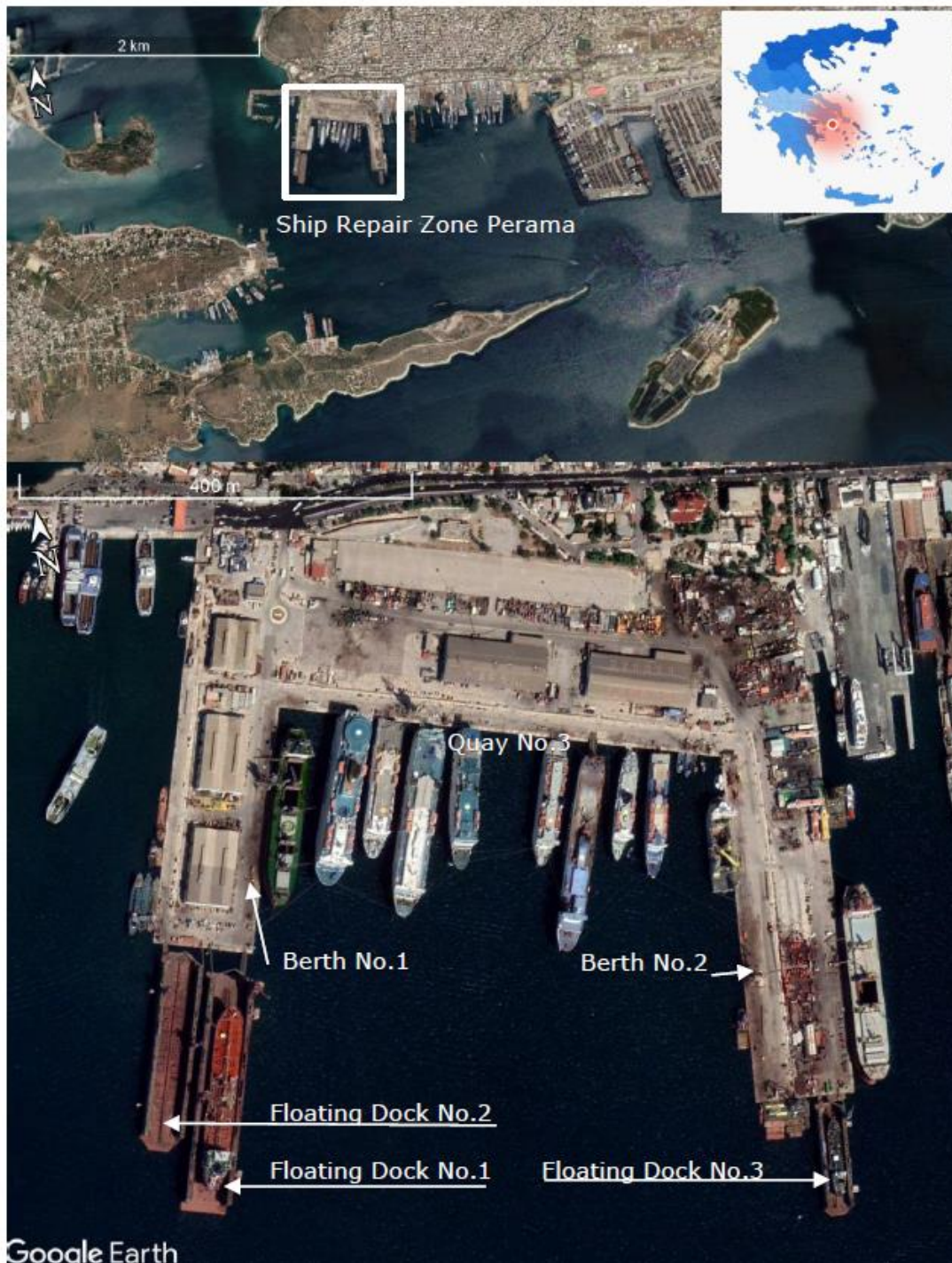


Εικόνα 28:Επισκόπηση των ναυπηγείων του λιμανιού Ελευσίνας. [54]



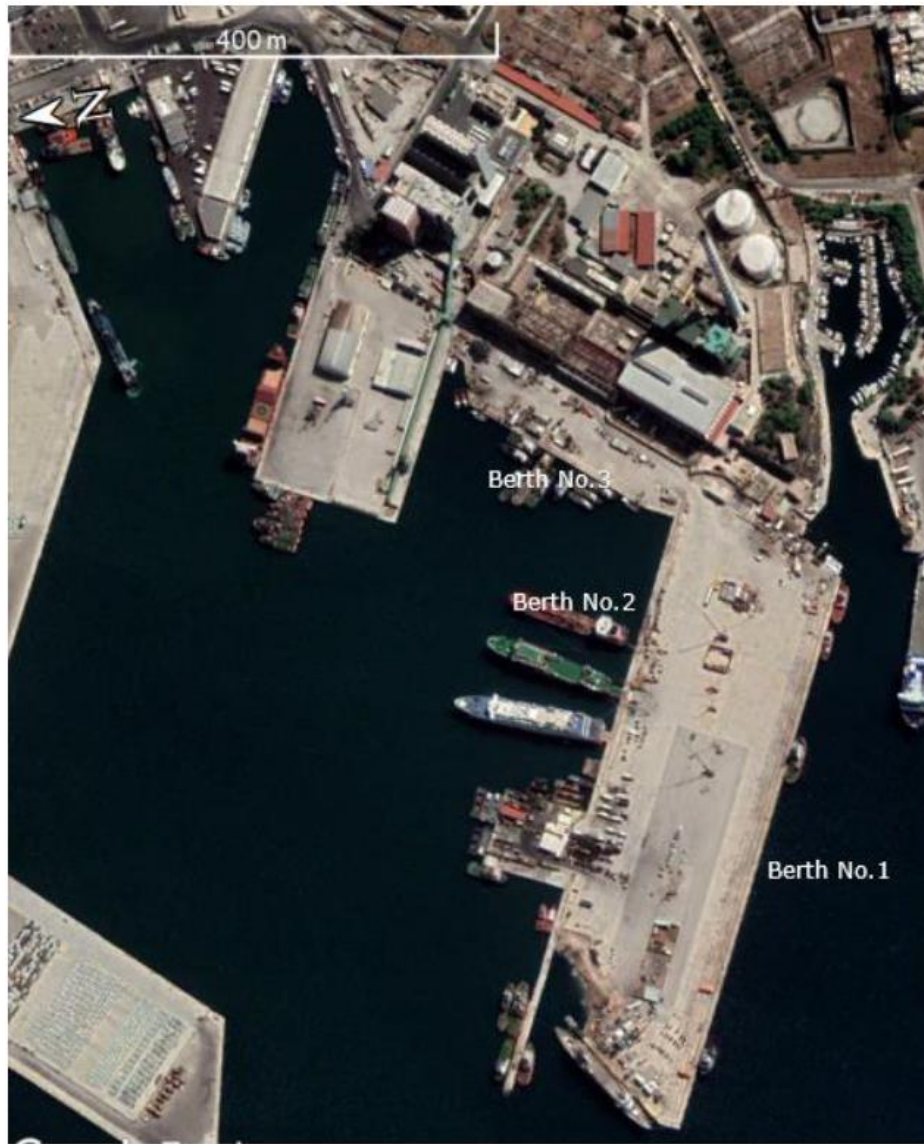


Εικόνα 29:Επισκόπηση των ναυπηγείων Κυνοσούρα Σαλαμίνας. [54]



Εικόνα 30:Επισκόπηση της ζώνης επιδιόρθωσης πλοίων Περάματος. [54]





Εικόνα 31:Επισκόπηση της ζώνης πλοίων Κερατσινίου. [54]



Εικόνα 32:Επισκόπηση 2 της ζώνης επιδιόρθωσης πλοίων Κερατσινίου. [54]

### 3.3 Απαιτήσεις Εγκατάστασης Τοποθέτησης

Η γενική παραδοχή είναι ότι ο λιμένας κατασκευής δεν θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις που απαιτούνται για να διευκολυνθεί επίσης η ενσωμάτωση με την Α/Γ (μεγαλύτερο βύθισμα) και η ρυμούλκηση στη θέση (απόσταση). Για το λόγο αυτό, θεωρείται ότι η ενσωμάτωση θα γίνει σε διαφορετική εγκατάσταση, την οποία και ονομάζουμε λιμένα εγκατάστασης. Ενδέχεται η ίδια εγκατάσταση να μπορεί να καλύψει και τις δύο λειτουργίες, γεγονός που λαμβάνεται υπόψη στις καταληκτικές παρατηρήσεις μιας μελέτης. Ο λιμένας εγκατάστασης μπορεί επίσης να εξυπηρετεί άλλες λειτουργίες, όπως η τοποθέτηση των γραμμών πρόσδεσης και των καλωδίων μεταφοράς ενέργειας. Επίσης, υπάρχουν και άλλες λειτουργίες όπως ο υπεράκτιος συντονισμός, ο ανεφοδιασμός καυσίμων κ.λπ. Ωστόσο, στην παρούσα εργασία θεωρείται ότι η ενσωμάτωση της Α/Γ είναι πιο περιοριστική όσον αφορά τις απαιτήσεις των εγκαταστάσεων.

#### 3.3.1 Λειτουργίες και εξοπλισμός ξηράς

Ένα λιμάνι εγκατάστασης πρέπει να παρέχει τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Παραλαβή των κύριων εξαρτημάτων της Α/Γ, επιθεώρηση ασφάλειας και αποθήκευση.
- Παραλαβή των δευτερευόντων εξαρτημάτων, επιθεώρηση και αποθήκευση (σε κτίρια αν οι καιρικές συνθήκες είναι ευαίσθητες).
- Προετοιμασία των κύριων εξαρτημάτων στο χώρο αποθήκευσης.
- Υποσυναρμολόγηση των δευτερογενών εξαρτημάτων (σε κτίρια).
- Βύθιση του πλωτήρα και πρόσδεση στην προκυμαία.
- Υποσυναρμολόγηση του πύργου και τοποθέτηση στον πλωτήρα.
- Έλεγχος ποιότητας και τεκμηρίωση παράδοσης.
- Υγρή ρυμούλκηση της πλωτής ανεμογεννήτριας στο χώρο.



Εικόνα 33: Άφιξη εξαρτημάτων της Α/Γ στην εγκατάσταση ενσωμάτωσης (Ferrol). [26]



Εικόνα 34: Ενσωμάτωση ημι-βυθιζόμενου πλωτήρα και ανεμογεννήτριας στις εγκαταστάσεις SIF (Ρότερνταμ). [27] [28]





*Εικόνα 35:Ενσωμάτωση πλωτήρα – Α/Γ για το έργο WindFloat Atlantic στο Ferrol. [29]*



*Εικόνα 36: Υγρή ρυμούλκηση ολοκληρωμένου πλωτήρα-Α/Γ από την εγκατάσταση ενσωμάτωσης σε τοποθεσία εγκατάστασης. [30]*

Η συναρμολόγηση της ανεμογεννήτριας στην κορυφή του πλωτού σκάφους γίνεται με τη χρήση βαρέως ανυψωτικού γερανού με ύψος ανύψωσης 140-150m με φορτία γάντζου έως 750t. Τα σημειακά φορτία κάτω από τις ερπύστριες κατά την ανύψωση βαρέων φορτίων με τέτοιους γερανούς μπορεί να φθάσουν τα 800 kN/m<sup>2</sup>. Τέτοια φορτία κατανέμονται συνήθως με τη χρήση διανομέων ή «χαλιών», τα οποία μειώνουν τα φορτία σε περίπου 100 - 200 kN/m<sup>2</sup> μέσης πίεσης στο ίχνος του γερανού.

### 3.3.2 Χαρτοφυλάκιο Πλοίων

Τα πλοία που μεταφέρουν τα εξαρτήματα της Α/Γ και το βαρέως τύπου ημι-βυθιζόμενο σκάφος που μεταφέρει τον πλωτήρα που αναμένεται στο λιμάνι εγκατάστασης είναι τα ίδια που περιγράφονται στην παράγραφο 3.3.2 ανωτέρω.

### 3.3.3 Κατάλογος Εγκαταστάσεων Τοποθέτησης

Η εξέταση των λιμενικών εγκαταστάσεων, η οποία έχει λάβει χώρα από ενδιαφερόμενους επενδυτές (π.χ. ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ), στην Ελλάδα περιλαμβάνει δημόσια και ιδιωτικά λιμάνια.[54] Ως σημείο εκκίνησης, όλα τα λιμάνια στην Ελλάδα θεωρήθηκαν βιώσιμα ως εγκαταστάσεις εγκατάστασης. Πολλοί από τους μικρότερους δημόσιους λιμένες αφαιρέθηκαν από την εξέταση κατά την προεπιλογή. Για παράδειγμα, πολλά ελληνικά λιμάνια περιβάλλονται στενά από αστικούς οικισμούς και οι περισσότερες λιμενικές περιοχές είναι αφιερωμένες στην επιβατική κίνηση (πορθμεία), η οποία αυξάνεται κατά την τουριστική περίοδο. Θεωρήθηκε ότι οι εν λόγω μικρότεροι λιμένες δεν θα μπορούσαν να δεχτούν νέα φορτία και εργασίες συναρμολόγησης ούτε να προσφέρουν δυνατότητα επέκτασης. Επίσης, οι λιμένες που

αποκλείστηκαν από τον έλεγχο θα είχαν κάτω από την ελάχιστη τιμή σε αρκετές από τις παραμέτρους αξιολόγησης του ελέγχου, οι οποίες δεν επιτρέπουν εύκολη (ή εφικτή) αναβάθμιση. Οι λιμένες που έχουν ελεγχθεί ως προς την πιθανή καταλληλότητά τους να εξυπηρετήσουν την ενσωμάτωση της Α/Γ και των πλωτήρων είναι οι εξής:

- Θεσσαλονίκη;
- Βόλος;
- Πειραιάς;
- Ελευσίνα;
- Λαύριο;
- Σύρος (Ερμούπολη);
- Ηγουμενίτσα;
- Αλεξανδρούπολη;
- Πάτρα (Βόρειο & Νότιο);
- Πλατυγιάλι;
- Ναύπλιο;
- Ηράκλειο;
- Καβάλα (Εμπορικό Λιμάνι – Φίλιππος Β).

### 3.4 Λειτουργία και Συντήρηση (Λ&Σ)

Οι βάσεις Λ&Σ δεν έχουν απαιτητικές ανάγκες λιμενικής υποδομής. Για το λόγο αυτό, η διαλογή απλοποιείται μόνο για να δείξει τους λιμένες που πληρούν όλα τα ελάχιστα κριτήρια και να τους κατατάξει ανάλογα με την απόσταση από την τοποθεσία. Οι μαρίνες που εξυπηρετούν κυρίως σκάφη αναψυχής έχουν εξαιρεθεί από τη διαλογή, όπως και τα λιμάνια πόλεων που περιβάλλονται στενά από αστική ανάπτυξη και ως εκ τούτου θεωρείται απίθανο να διαθέτουν επαρκή προαύλιο χώρο για την κατασκευή της αποθήκης. Παράδειγμα τέτοιων λιμένων που αποκλείστηκαν κατά τον προ-έλεγχο είναι τα εξής: Παλαιά Φώκαια, Ερμιόνη, Κάρυστος, Μαρμάρι, Νέα Στύρα και Ραφήνα.

## 4. Κριτήρια Αξιολόγησης Πλωτήρων Ανεμογεννητριών

### 4.1 Τεχνική Αξιολόγηση

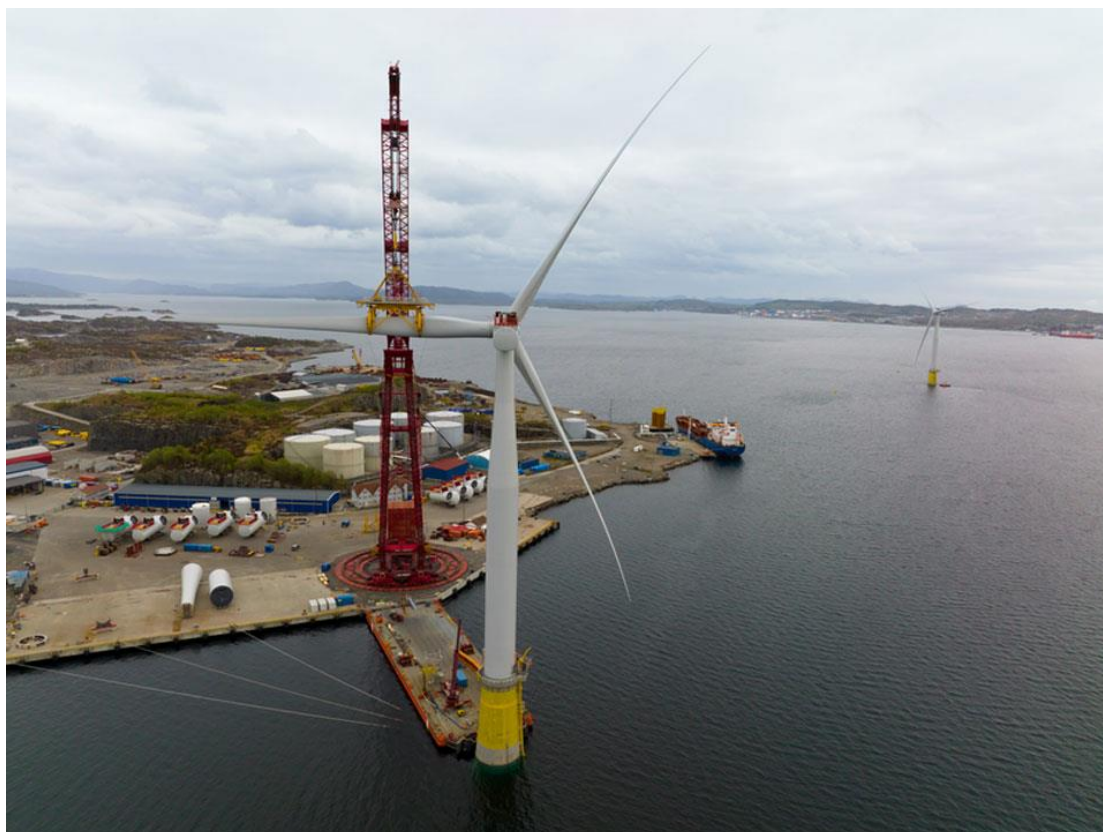
Γενικότερα, οι υπεράκτιες κατασκευές από σκυρόδεμα κατασκευάζονται για να εκτίθενται στο ανοιχτό ωκεάνιο περιβάλλον. Οι υπεράκτιες κατασκευές έχουν σχεδιαστεί για να παραμένουν ημιμόνιμα ή μόνιμα αγκυρωμένες στον πυθμένα της θάλασσας με κατάλληλα μέσα, όπως η εφαρμογή σωληνωτών ερμάτων, αγκυρώσεων ή βαρύτητας, ή να παραμένουν πλωτές και σταθερά αγκυρωμένες. Οι υπεράκτιες κατασκευές από σκυρόδεμα έχουν πληθώρα εφαρμογών, όπως η εξερεύνηση και παραγωγή υδρογονανθράκων και φυσικού αερίου και άλλες ειδικές χρήσεις. Σε όλα τα σχέδια, οι σημερινές πλωτές κατασκευές χρησιμοποιούν σκυρόδεμα ή χάλυβα ή συνδυασμό και των δύο υλικών. Γενικά, τα ημι-βυθιζόμενα (semi-sub) απαιτούν χάλυβα, ενώ οι φορτηγίδες (barges) και τα σωληνωτά έρματα (spar) απαιτούν σκυρόδεμα. Ωστόσο, πολλοί τύποι πλωτήρων μπορούν να κατασκευαστούν σχεδόν εναλλακτικά με σκυρόδεμα ή χάλυβα. [31]

Πολλοί τύποι πλωτήρων μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να κατασκευαστούν είτε από σκυρόδεμα είτε από χάλυβα, ανάλογα με παράγοντες, όπως η τοπική αγορά ή οι προτιμήσεις των ενδιαφερομένων. Αν και ο χάλυβας κυριάρχησε στην υπεράκτια αιολική βιομηχανία την τελευταία δεκαετία, η χρήση σκυροδέματος για τα μελλοντικά υπεράκτια αιολικά πάρκα είναι πιθανό να αυξηθεί. Σύμφωνα με την DNV [32] οι πλωτήρες από σκυρόδεμα είναι μια εναλλακτική λύση έναντι των πλωτήρων από χάλυβα από τη σύγκριση του κόστους και του αποτυπώματος άνθρακα.



Εικόνα 37: Hywind Scotland σε λειτουργία, με χαλύβδινα θεμέλια. Πηγή: Øyvind Gravås/Woldcam/Statoil ASA.





*Εικόνα 38: Hywind Tampen υπό κατασκευή, με θεμέλια από σκυρόδεμα. Πηγή: Jan Arne Wold/Woldcam/Equinor.*

Η Έρευνα & Ανάπτυξη (E&A) για τις υψηλές επιδόσεις και των δύο υλικών βρίσκεται σε εξέλιξη για τη βελτίωση της λειτουργίας τους για πλωτά αιολικά θεμέλια (π.χ. ειδικό σκυρόδεμα [35], ειδικός χάλυβας). Η προσθετική κατασκευή μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης (3D) διερευνάται επίσης για πλωτά θεμέλια ώστε να εξαλειφθούν οι περιορισμοί της συμβατικής κατασκευής. Η πολυπλοκότητα των κατασκευών θα αυξηθεί με την ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων. Οι συναφείς εξελίξεις στην επιλογή υλικών προσφέρουν μεγάλες ευκαιρίες για τις τοποθεσίες έργων να συντονιστούν με την τοπική ικανότητα, ειδικά τώρα που το τοπικό περιεχόμενο αποτελεί προτεραιότητα για τις κυβερνήσεις προκειμένου να επιτύχουν τους στόχους τους για την πλωτή αιολική ενέργεια.

Επιπλέον, η διαχείριση των κινδύνων παραμένει υψίστης σημασίας για την αποφυγή απρόβλεπτων προβλημάτων που μπορεί να προκαλέσουν καθυστερήσεις στην παραγωγή και να οδηγήσουν σε πρόσθετο κόστος [10]. Τελικά, η ιδέα του πλωτού συστήματος και το σχετικό υλικό βασίζονται στις ειδικές συνθήκες του έργου, όπως το βάθος του νερού, οι γεωτεχνικές συνθήκες, ο τύπος της ανεμογεννήτριας κ.λπ. Η ικανότητα της αλυσίδας εφοδιασμού, οι διαδικασίες παραγωγής και εγκατάστασης [36], ο δομικός σχεδιασμός και οι πτυχές της ανθεκτικότητας (ιδίως στο πλαίσιο της διαχείρισης του κινδύνου) επηρεάζουν επίσης αυτή την απόφαση.[31]

#### 4.1.1 Πλωτές υπεράκτιες κατασκευές από χάλυβα

Από τα 33 διαφορετικά υποστυλώματα που παρουσιάζονται στην επιθεώρηση "Floating Offshore Wind: Market and Technology Review" της Carbon Trust [36], μόνο έξι χρησιμοποιούν το σκυρόδεμα ως κύριο



υλικό τους, καθιστώντας τον χάλυβα το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό.

Πίνακας 3: Πλεονεκτήματα και Προκλήσεις των χαλύβδινων πλωτήρων. [36]

Πλεονεκτήματα	Προκλήσεις
Καθιερωμένη στην υπεράκτια αιολική βιομηχανία: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Υπάρχουσα τεχνική γνώση</li> <li>○ Αποδεδειγμένες λύσεις και πρότυπα για την αποφυγή ζητημάτων διάβρωσης λόγω αλμυρού νερού και αλμυρού αέρα, φορτίου ανεμογεννήτριας κ.λπ.</li> </ul>	Εξαρτήματα/μέρη μεγάλων διαστάσεων: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ανάγκη κατασκευής σε σπάνια χαλυβουργεία μεγάλης κλίμακας, συνήθως όχι στο εργοτάξιο, συνεπώς πρόκληση για τη μαζική παραγωγή.</li> <li>○ Τα βαριά/μεγάλα εξαρτήματα πρέπει να μεταφερθούν στο εργοτάξιο, απαιτείται κατάλληλη πρόσβαση (οδικές, σιδηροδρομικές, πλωτές).</li> <li>○ Απαιτείται κατάλληλος χώρος αποθήκευσης στο λιμάνι</li> </ul>
Η συναρμολόγηση μπορεί να είναι σχετικά γρήγορη εάν τα εξαρτήματα είναι προκατασκευασμένα (αποτελείται μόνο από εργασίες συγκόλλησης και τοποθέτησης των εξαρτημάτων).	Ακριβό υλικό, κυμαινόμενη τιμή, δύσκολος προγραμματισμός
Κατασκευή ελαφρύτερων υποστυλωμάτων (συγκριτικά με το σκυρόδεμα)	Απαιτείται εξειδικευμένος εξοπλισμός (π.χ. μηχανήματα συγκόλλησης μεγάλης κλίμακας και γερανοί με επαρκή ανυψωτική ικανότητα), κατά προτίμηση ναυπηγείο

#### 4.1.2 Πλωτές υπεράκτιες κατασκευές από σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα των υπεράκτιων κατασκευών παρασκευάζεται χρησιμοποιώντας τοπικά διαθέσιμα υλικά και η αντοχή σε θλίψη κυμαίνεται μεταξύ 25 και 65 MPa. Είναι εξαιρετικά σημαντικό να κατασκευαστούν ανθεκτικές κατασκευές, διότι όχι μόνο η συντήρηση των υπεράκτιων κατασκευών είναι ασύμφορη, αλλά και πολύ δύσκολη σε “εχθρικό” περιβάλλον.[37] Η χρήση σκυροδέματος επιτρέπει συνήθως την επιλογή μεταξύ προκατασκευασμένων τμημάτων σκυροδέματος ή επιτόπου σκυροδέματος. Για παράδειγμα τα έργα Floatgen και ο υποσταθμός για το πλωτό αιολικό πάρκο Fukushima FORWARD χρησιμοποιούν σκυρόδεμα ως πρωτογενές υλικό. Και τα δύο έργα επέλεξαν την επιτόπου κατασκευή σκυροδέματος αντί του προκατασκευασμένου σκυροδέματος.[36]

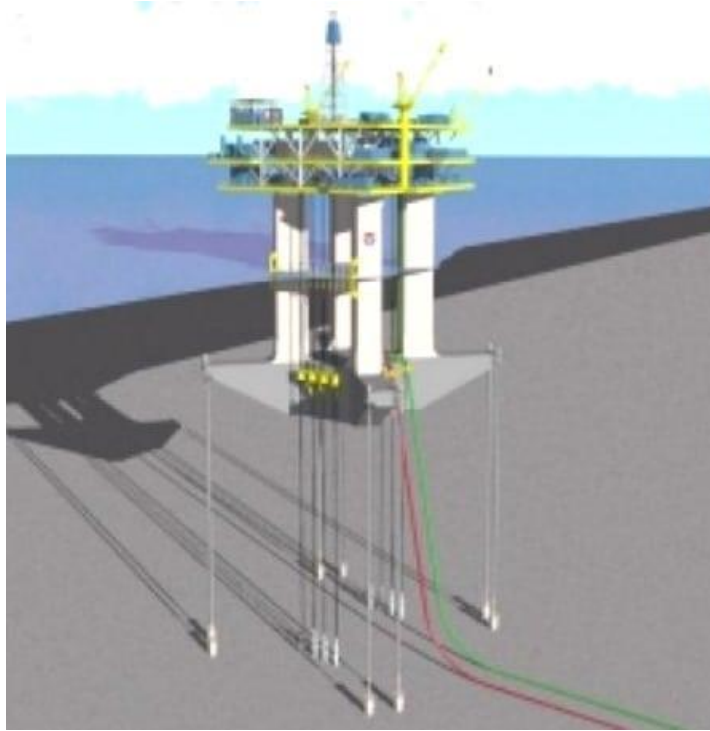
Πίνακας 4: Πλεονεκτήματα και Προκλήσεις πλωτήρων από σκυρόδεμα. [36]

Πλεονεκτήματα	Προκλήσεις
Προμήθεια σκυροδέματος προσαρμόσιμη στις τοπικές συνθήκες και στις απαιτήσεις του έργου: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Έτοιμο/Επιτόπου σκυρόδεμα</li> <li>○ Κινητή μονάδα δοσομέτρησης σκυροδέματος</li> <li>○ Εγκατάσταση σταθερής μονάδας δοσομέτρησης στο εργοτάξιο</li> </ul>	Περιορισμένη χρήση στην υπεράκτια αιολική βιομηχανία, με αποτέλεσμα λιγότερη εμπειρία με τα στάδια παραγωγής, τη λειτουργία και τη διαχείριση, τις διαδικασίες παροπλισμού.

Εξασφαλίζεται τοπικό περιεχόμενο (τοπικό εργατικό δυναμικό, τοπική αλυσίδα εφοδιασμού)	Οι μεγάλες διαστάσεις των πλωτήρων σκυροδέματος απαιτούν μεγάλο χώρο κατασκευής για μαζική παραγωγή
Δεν απαιτείται εξειδικευμένος εξοπλισμός, όπως μηχανήματα συγκόλλησης μεγάλης κλίμακας (κατασκευή με χαμηλότερο κόστος)	Υψηλό βάρος των πλωτήρων σκυροδέματος (περιορισμοί για την επιλογή του εργοταξίου λόγω της φέρουσας ικανότητας και του χώρου)
Χαμηλό κόστος του σκυροδέματος ως πρώτης ύλης	Το σκυρόδεμα δεν αντέχει φορτία εφελκυσμού, επομένως απαιτούνται πρόσθετες διαδικασίες (π.χ. προένταση, αποφυγή ενεργειών ανατροπής).
Απλή εφαρμογή προσαρμογών λόγω της μεταβλητότητας της διαδικασίας προετοιμασίας/έγχυσης του σκυροδέματος στο εργοτάξιο	Μεγάλο εύρος καιρικών περιορισμών για τη διαδικασία κατασκευής (π.χ. όχι κατασκευές κατά τη διάρκεια παγετού ή έντονης βροχής)
Μόνο έτοιμο/επιτόπου σκυρόδεμα: απαιτείται λιγότερος αποθηκευτικός χώρος (δεν απαιτείται αποθήκευση πρώτων υλών για τη δοσομέτρηση στο λιμάνι)	Διαδικασία ανάμιξης στο εργοτάξιο ενδεχομένως πιο ανακριβής (απαιτείται πρόσθετη διασφάλιση ποιότητας)

#### 1. Πλατφόρμα Προεντεταμένων Σκελών από σκυρόδεμα (TLPs)

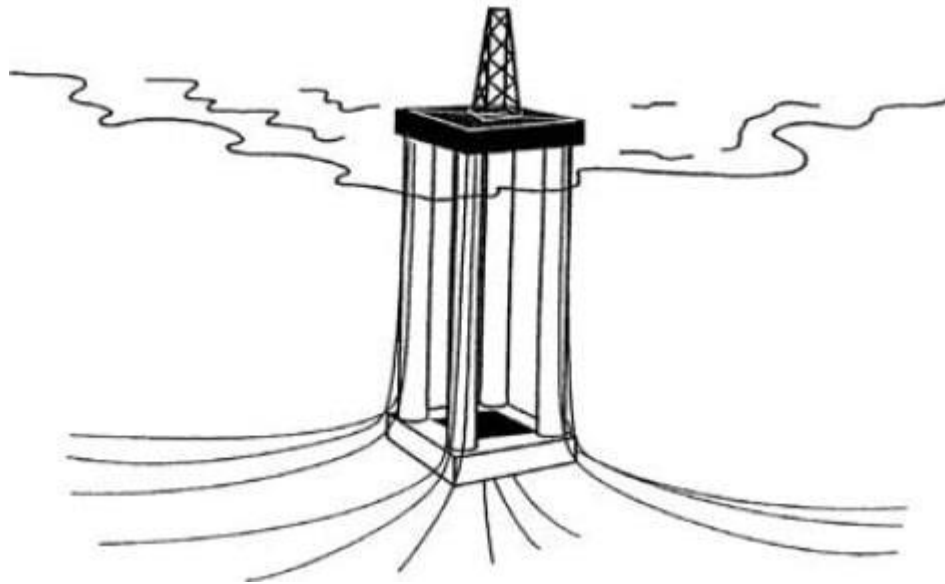
Αποτελείται από τη “σχεδία βάσης” (base pontoon) και τα υποστυλώματα που εκτείνονται από τη βάση έως το κατάστρωμα και όλα τα στοιχεία μπορούν να κατασκευαστούν από σκυρόδεμα. Η κατασκευή διατηρείται στη θέση της με μακριούς μάντες που συνδέονται με τις μεγάλες άγκυρες στον πυθμένα της θάλασσας στο ένα άκρο και στερεώνονται στις γωνίες της κατασκευής στο άλλο άκρο. Η τάση στους μάντες καθορίζεται πριν από την εφαρμογή της. Το πρακτικό βάθος νερού για τη χρήση αυτού του τύπου δομής είναι μεταξύ 300-1.500m. Το μέγεθος της πλατφόρμας προεντεταμένων σκελών από σκυρόδεμα διέπεται από την ποσότητα του επιχειρησιακού βάρους που πρέπει να μεταφερθεί. Στην Εικόνα 39 παρουσιάζεται η πλατφόρμα προεντεταμένων σκελών από σκυρόδεμα.[37]



*Εικόνα 39:Πλατφόρμα Προεντεταμένων Σκελών από σκυρόδεμα. [37]*

## 2. Πλατφόρμες Σκυροδέματος Βαθιάς Βύθισης (DDCFs)

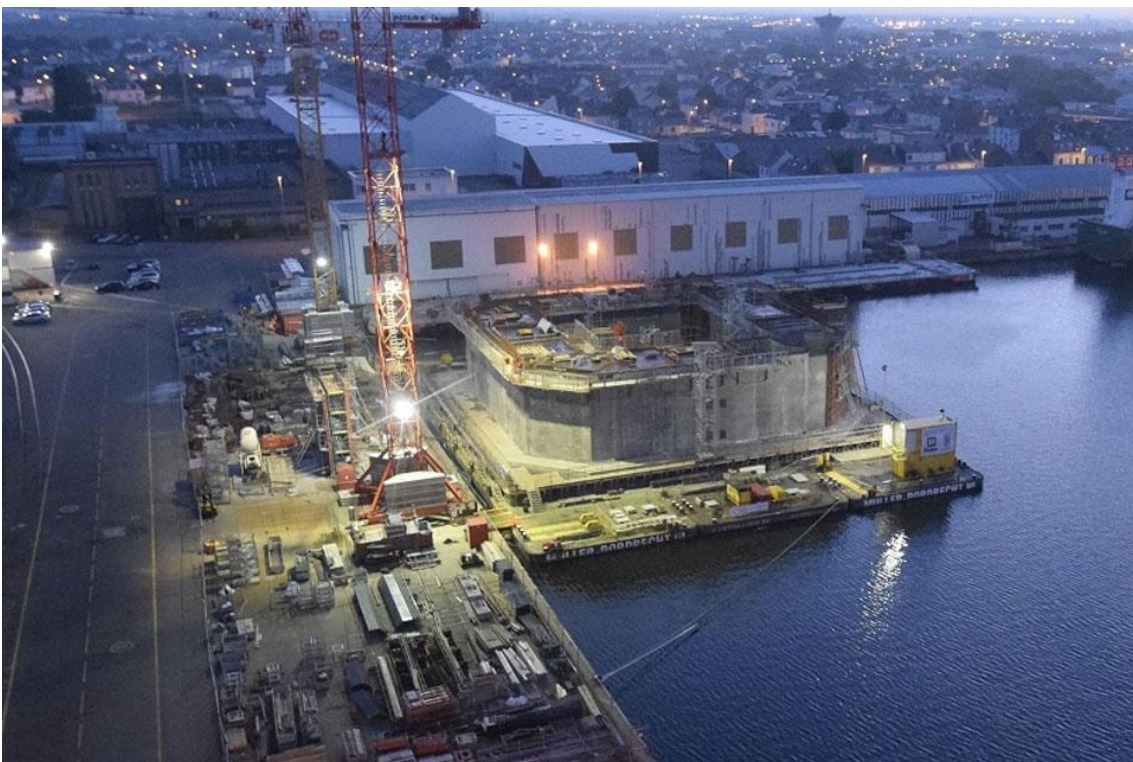
Αυτός ο τύπος δομής που αποτελείται από πλωτό κύτος, υποστύλωμα και οποιαδήποτε αντιστήριξη, είναι παρόμοιος με την πλατφόρμα προεντεταμένων σκελών από σκυρόδεμα, εκτός από τη χρήση κανονικού συστήματος πρόσδεσης σε πλωτά σκάφη από σκυρόδεμα μεγάλου βάθους. Σε συνθήκες λειτουργίας, τα DDCF παραμένουν στη θέση τους με ένα σημαντικά μεγάλο βύθισμα που αγκυροβολεί από το κάτω μέρος του κύτους. Το μήκος του βυθίσματος, το οποίο υπερβαίνει τα 130m, το μεγάλο βάρος του και το χαμηλό κέντρο βάρους σταθεροποιούν τη δομή σε βαθμό που να μην είναι σχεδόν ευαίσθητη στις θαλάσσιες κινήσεις. Η πλατφόρμα αυτή μπορεί να λειτουργήσει σε βάθος νερού 300-900m. Η Εικόνα 40 παρουσιάζει την πλατφόρμα DDCF.[37]



*Εικόνα 40: Πλωτήρας Σκυροδέματος Βαθιάς Βύθισης.[37]*

#### 4.1.3 Παραδείγματα Κατασκευών

Ο πλωτήρας (Εικ. 41) ανεγέρθηκε με σκυρόδεμα πάνω σε τρεις διασυνδεδεμένες φορτηγίδες αγκυροβολημένες στην προκουμαία. Μόλις ολοκληρώθηκε η κατασκευή, ο πλωτήρας απελευθερώθηκε αφού ρυμουλκήθηκαν προσωρινά οι φορτηγίδες και βυθίστηκαν. Η θεμελίωση (Εικ. 42) είναι κατά κύριο λόγο κατασκευασμένη από χάλυβα και κατασκευάστηκε σε αποβάθρα με τη συναρμολόγηση μπλοκ από χαλύβδινες πλάκες που έχουν κοπεί και συγκολληθεί μεταξύ τους. Ο πλωτήρας απελευθερώθηκε με την κατάκλιση της αποβάθρας. [31]



*Εικόνα 41: Το πρωτότυπο Floatgen 2 MW της BW Ideol που τέθηκε σε λειτουργία το 2016 στις ακτές της Γαλλίας υπό*





Εικόνα 42: Το πρωτότυπο Hibiki 3 MW της BW Ideol (γνωστό και ως demo Kitakyushu) τέθηκε σε λειτουργία το 2018.  
Πηγή: NEDO Website

Μια σημαντική εξέλιξη στις πλωτές κατασκευές από σκυρόδεμα είναι η εγκατάσταση, το 2018, του ημιβυθιζόμενου πρωτοτύπου Floatgen της Ideol με ισχύ Α/Γ 2 MW στα ανοικτά των γαλλικών ακτών του Ατλαντικού. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτής της ιδέας είναι ότι η πλατφόρμα διαθέτει ένα κεντρικό άνοιγμα ως κιβώτιο απόσβεσης για τη μείωση της κίνησης της κατασκευής λόγω κυματικών φορτίων [38]. Το πρωτότυπο αυτό αποτελείται από ένα τετράγωνο πλαίσιο, κατασκευασμένο από οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα, με μήκος πλευράς 36m και ύψος 9,5m. Έγινε χρήση αυτοσυμπυκνούμενου ελαφροσκυροδέματος (ΑΣΕΣ ή Lightweight SCC) με κατηγορία αντοχής C55/67 και πυκνότητα  $2000\text{kg/m}^3$ , που επιτυγχάνεται με τη χρήση ελαφρών αδρανών υλικών.[39] Το υποσύλωμα κατασκευάστηκε σε τρεις φορτηγίδες που ήταν στερεωμένες μεταξύ τους σε μια προκυμαία στο λιμάνι του Saint-Nazaire (βλ. Εικ. 43α). Όταν η υποκατασκευή ολοκληρώθηκε, ρυμουλκήθηκε σε μια ξηρά αποβάθρα, όπου οι φορτηγίδες γέμισαν με νερό και βυθίστηκαν, και η υποκατασκευή επέπλευσε ενώ η ξηρά αποβάθρα γέμιζε με νερό.

Έπειτα, το μεταβατικό κομμάτι (transition piece - TP) και η Α/Γ των 2MW συναρμολογήθηκαν σε μια αποβάθρα (Εικ. 43β). Τέλος, η πλωτή Α/Γ μεταφέρθηκε στην τελική της θέση με δύο ρυμουλκά (Εικ. 43γ) και η αγκυροβολήση έγινε 22km. από την ακτή Le Croisic στη Γαλλία όπου το βάθος νερού ήταν 33m (Εικ. 43δ). Στη συνέχεια του έργου αυτού ακολούθησε η κατασκευή ενός άλλου πρωτοτύπου στα ανοικτά των βορειοδυτικών ακτών του Kitakyushu της Ιαπωνίας, το οποίο βασίστηκε στην ίδια ιδέα, αλλά αυτή τη φορά χρησιμοποιήθηκε ως υλικό ο χάλυβας. [40]

Μια συγκριτική μελέτη σχεδίων από σκυρόδεμα και χάλυβα του πλωτήρα της Ideol για μια Α/Γ 6 MW [33]

έδειξε ότι ο σχεδιασμός από σκυρόδεμα είχε 50% πιο χαμηλό κόστος υλικών συγκριτικά με την εναλλακτική λύση από χάλυβα και μείωσε τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (CO<sub>2</sub>e) κατά 40-50%. Και οι δύο πλατφόρμες είχαν παρόμοιες εξωτερικές διαστάσεις, ήταν ισοδύναμες όσον αφορά τις επιδόσεις διατήρησης στη θάλασσα, και παρά το γεγονός ότι η πλατφόρμα από σκυρόδεμα ήταν σχεδόν τέσσερις φορές βαρύτερη από τη χαλύβδινη, και οι δύο έφθασαν περίπου στο ίδιο βάρος μετά την φόρτωση μαζικού φορτίου (ballasting).[33]



(a)



(b)



(c)



(d)

Εικόνα 43: Floatgen: α) εργοτάξιο κατασκευής της υποκατασκευής (β) εγκατάσταση Α/Γ, (γ) ρυμούλκηση, δ) αγκυροβολημένη & λειτουργούσα πλωτή Α/Γ. (α-ε) Πηγή: IDEOL/ABOVE ALL, αναπαράγεται με άδεια, (d) Πηγή: Valery Joncheray, αδειοδοτημένο υπό CC-BY-SA 4

Με βάση την εμπειρία των έργων Hywind Demo και Hywind Pilot Park, ξεκίνησε η κατασκευή του αιολικού πάρκου Hywind Tampen τον Οκτώβριο του 2020, το οποίο στηρίζεται στην ίδια πλωτή τεχνολογία, αλλά χρησιμοποιεί πυλώνες από σκυρόδεμα αντί για χάλυβα. Επιλέχθηκε η χρήση σκυροδέματος ως μέρος μιας στρατηγικής μείωσης του κόστους κατά 40% σε σύγκριση με το προηγούμενο έργο Hywind Pilot Park [41]. Το Hywind Tampen αποτελείται από έντεκα ανεμογεννήτριες ισχύος 8 MW,

εγκατεστημένες σε υποστυλώματα από σκυρόδεμα στη Βόρεια Θάλασσα, 140km από τις ακτές της Νορβηγίας, σε βάθη νερού μεταξύ 260 και 30m. Το Horizon 2020 FLAGSHIP είναι ένα χρηματοδοτούμενο από την Ευρωπαϊκή Ένωση έργο για την παρουσίαση μιας πλωτής υπεράκτιας Α/Γ 10 MW βασισμένης στην ιδέα της ημι-βυθιζόμενης πλατφόρμας σκυροδέματος OO-Star. [42]

Όπως το Hywind και τα υποστυλώματα Floatgen, αρκετές από τις πλωτές έννοιες έχουν τη δυνατότητα κατασκευής σχεδόν εναλλακτικά από σκυρόδεμα ή χάλυβα. Εκτός αυτού, αναπτύσσονται υβριδικές λύσεις που συνδυάζουν σκυρόδεμα και χάλυβα, όπως το υβριδικό πλωτό σύστημα που υποστηρίζει την υπεράκτια ανεμογεννήτρια Haenkaze των 2 MW, στα ανοικτά των ακτών της Kabashima Goto, Nagasaki το 2013, το οποίο αποτελείται από ένα πλωτό σύστημα με ένα κάτω μέρος από σκυρόδεμα και ένα άνω μέρος από χάλυβα με μέγιστη διάμετρο 7,8m [43].

#### 4.1.4 Χρήση σκυροδέματος υψηλής απόδοσης

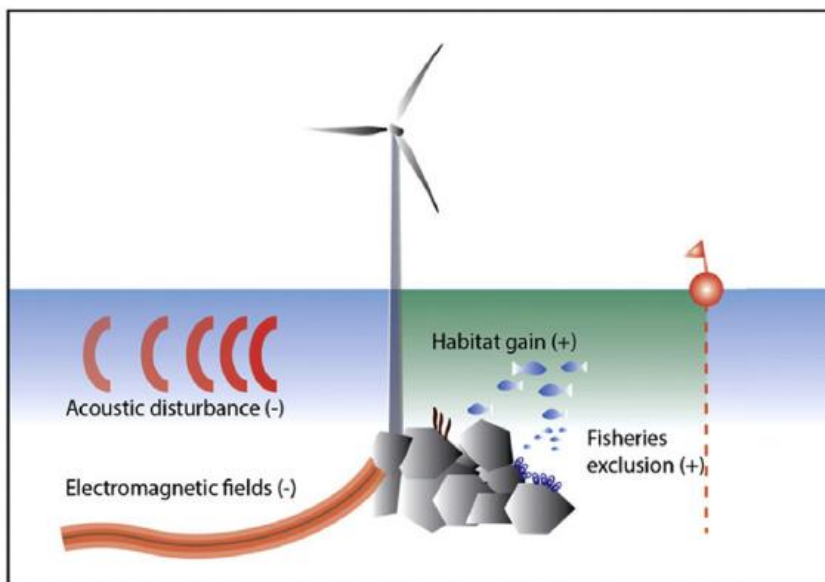
Μέχρι σήμερα, τα υποστυλώματα από σκυρόδεμα κατασκευάζονταν συνήθως από σκυρόδεμα κανονικής αντοχής (κυρίως σκυρόδεμα κατηγορίας αντοχής C45/55) προκειμένου να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των οικοδομικών προτύπων. Υπάρχει μια τάση προς τη χρήση σκυροδέματος υψηλότερης αντοχής, καθώς οι νέες ιδέες που αναπτύσσονται συχνά βασίζονται σε σκυρόδεμα υψηλής αντοχής (χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη δηλαδή  $f_{ck}$  μεγαλύτερη από 50 MPa [44], [45]), π.χ., η υποδομή Floatgen [46], ή σε σκυρόδεμα εξαιρετικά υψηλών επιδόσεων ( $f_{ck}$  άνω των 120 MPa [47]), π.χ., η υποδομή HyConCast [48]. Η χρήση αυτών των τύπων σκυροδέματος μπορεί να μειώσει το βάρος της υποδομής για ευκολότερη μεταφορά ή να επιτύχει μείωση του μεγέθους των πλωτών κατασκευών. Ωστόσο, η εμπειρία χρήσης σκυροδέματος εξαιρετικά υψηλής απόδοσης εξακολουθεί να είναι ελλιπής και τα σχετικά πρότυπα σχεδιασμού δεν είναι ακόμη επαρκή για την εφαρμογή αυτού του υλικού.[49]

## 4.2 Περιβαλλοντική Αξιολόγηση

Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων, εξακολουθεί να υπάρχει έλλειψη εμπειρίας από πραγματικές εφαρμογές και αυτή η ασάφεια, σε συνδυασμό με την έλλειψη πραγματικής εμπειρίας, απειλεί να γίνει εμπόδιο στη διαδικασία αδειοδότησης για τα πλωτά υπεράκτια αιολικά πάρκα. Πριν από τη χορήγηση άδειας σχεδιασμού, όλες οι εθνικές νομοθεσίες απαιτούν μια ΜΠΕ (Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων), η οποία κανονικά θα πρέπει να περιλαμβάνει εκτίμηση και αξιολόγηση των αναμενόμενων επιπτώσεων σε:

1. ανθρώπινα όντα, πανίδα και χλωρίδα.
2. το έδαφος, το νερό, ο αέρας, το κλίμα και το τοπίο.
3. υλικά αγαθά και πολιτιστική κληρονομιά.
4. η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των παραγόντων που αναφέρονται.





Εικόνα 44: Περιβαλλοντικές επιδράσεις της εγκατάστασης πλωτών αιολικών. [50]

#### 4.2.1 Επίδραση του τρόπου θεμελίωσης στις οικολογικές κοινότητες

Ο Πίνακας 5 συνοψίζει τις οικολογικές επιπτώσεις στις κοινότητες από την εγκατάσταση και την παρουσία δύο τύπων θεμελίων. Ο συνηθέστερος τύπος θεμελίωσης που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα για υπεράκτια αιολικά πάρκα είναι ο μονός πυλώνας (monopile). Για να συγκριθούν οι οικολογικές επιπτώσεις μεταξύ των τύπων θεμελίωσης, ο Πίνακας 5 περιγράφει πρώτα τις πιθανές επιπτώσεις από μια αντιπροσωπευτική θεμελίωση μονού πυλώνα και στη συνέχεια συζητά πώς οι επιπτώσεις αυτές θα διέφεραν για τον πλωτό τύπο θεμελίωσης. Στην πράξη, οι επιπτώσεις θα διέφεραν επίσης σε μέγεθος λόγω των ειδικών για το έργο δομικών, βυθολογικών και οικολογικών λεπτομερειών. [51]

Πίνακας 5: Σύγκριση των επιπτώσεων των τρόπων θεμελίωσης στις οικολογικές κοινότητες. [51]

Τύπος Επίδρασης	Μονός πυλώνας (Monopile)	Πλωτά (Floating)
<b>Απώλεια οικοτόπων:</b> -Μετατόπιση ή/και θνησιμότητα ειδών -Απώλεια οικοτόπων μαλακού πυθμένα	Περίπου 1.960 m <sup>2</sup> απώλειας οικοτόπων. Τα αποτυπώματα θεμελίωσης και προστασίας απόξεσης (scour <sup>(1)</sup> ) είναι μικρότερα από το 1% περίπου της συνολικής έκτασης του αιολικού πάρκου.	Περίπου έως 113 m <sup>2</sup> απώλειας οικοτόπων ανά θεμέλιο. Ποσοστό διαταραχής της συνολικής έκτασης του αιολικού πάρκου παρόμοιο με του μονού πυλώνα (monopile).



<p><b>Επιπτώσεις τεχνητών υφάλων:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Εισαγωγή οργανισμών που αναπτύσσονται στις επιφάνειες των θεμελίων</li> <li>-Αύξηση της πηγής τροφής και αύξηση της πηγής θηραμάτων</li> </ul>	<p>Ενδεχομένως ευεργετικά αποτελέσματα για ορισμένα είδη λόγω της δημιουργίας οικοτόπων στη στήλη του νερού και της εισαγωγής σκληρών επιφανειών από θεμελίωση και προστασία από απόξεση.</p>	<p>Παρόμοια αποτελέσματα με του μονού πυλώνα (monopile) ή δυναμικά μεγαλύτερα ευεργετικά αποτελέσματα, ανάλογα με το βάθος και τις διαμέτρους των βυθισμένων κατασκευών (σωληνωτά έρματα, ημι-βυθιζόμενα, προεντεταμένων σκελών).</p>
<p><b>Επιπτώσεις εξάπλωσης χωροκατακτητικών ειδών:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Εισαγωγή χωροκατακτητικών ειδών</li> </ul>	<p>Ο αποικισμός περιορίζεται στην επιφάνεια της θεμελίωσης/του μαξιλαριού απόξεσης - ο περιφερειακός κίνδυνος εξάπλωσης "σκαλοπατιών ("stepping stone") ποικίλλει ανάλογα με τη γεωγραφική θέση.</p>	<p>Μεγαλύτερος κίνδυνος από του μονού πυλώνα (monopile) επειδή η δομή μπορεί να ρυμουλκηθεί από το λιμάνι στη θέση του αιολικού πάρκου, μπορεί επίσης να ρυμουλκηθεί πίσω για μεγάλη συντήρηση.</p>
<p><b>Αποδέσμευση αιωρούμενων ιζημάτων και επιπτώσεις απόθεσης ιζημάτων:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Μειωμένη ποιότητα νερού λόγω αύξησης των αιωρούμενων ιζημάτων</li> <li>-Πνιγμός ειδών και οικοτόπων από τα αποτιθέμενα ιζήματα</li> <li>-Αποφυγή περιοχής από τα είδη λόγω αύξησης των ιζημάτων</li> <li>-Αλλαγές στην περιεκτικότητα των ιζημάτων σε οργανική ύλη που σχετίζονται με το μέγεθος των σωματιδίων των ιζημάτων</li> <li>-Εκθεση σε τοξικούς ρυπαντές εντός του ιζήματος</li> </ul>	<p>Οι επιδράσεις εμφανίζονται κυρίως κατά την εγκατάσταση με πασσαλότοιχο, με σχετικά μεγαλύτερες επιδράσεις εάν χρησιμοποιείται γεώτρηση αντίστροφης κυκλοφορίας. Κατά τη διάρκεια των εργασιών, οι επιδράσεις περιορίζονται στην περιοχή της θεμελίωσης, στο βαθμό που εκτείνονται οι επιδράσεις από τις μάζες αερίου.</p>	<p>Μικρότερες επιπτώσεις από του μονού πυλώνα (monopile) αν εγκατασταθεί με σωληνωτά έρματα (πολύ μικρότερα σωληνωτά έρματα) ή άγκυρες έλξης- λιγότερες επιπτώσεις αν εγκατασταθεί με άγκυρες νεκρού βάρους δυναμικά ενσωματωμένες άγκυρες. Ενδεχομένως παρόμοιες επιπτώσεις κατά τη διάρκεια των εργασιών λόγω της συνεχιζόμενης διαταραχής του πυθμένα από το σχοινί της άγκυρας.</p>
<p><b>Αποτελέσματα έλξης:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Καταφύγιο/περιοχές ανάπαυσης για προστασία από τα ρεύματα ή/και τη θήρευση</li> <li>-Αυξημένη διαθεσιμότητα θηραμάτων λόγω του φαινομένου του τεχνητού υφάλου και του φαινομένου των κυμάτων</li> <li>-Αυξημένα ποσοστά θήρευσης λόγω μεγαλύτερης αφθονίας θηρευτών</li> </ul>	<p>Μεγάλη επιφάνεια (διάμετρος ποδιού 10 m) για την ανάπτυξη θαλάσσιων οργανισμών. Μεγάλος όγκος της δομής για φαινόμενα μαζών αερίου.</p>	<p>Πιθανώς παρόμοια αποτελέσματα έλξης στην επιφάνεια, αλλά λιγότερα αποτελέσματα έλξης σε μεγαλύτερα βάθη, όπου οι μόνες δομές στη στήλη του νερού είναι τα καλώδια και οι άγκυρες.</p>
<p><b>Επιπτώσεις αποφυγής:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Επιπτώσεις διαταραχής</li> <li>-Διακοπή των μεταναστευτικών</li> </ul>	<p>Κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης, προσωρινή μετατόπιση ειδών από την περιοχή</p>	<p>Πιθανώς παρόμοια αποτελέσματα αποφυγής στην επιφάνεια, αλλά λιγότερα αποτελέσματα αποφυγής</p>

διαδρομών (επιπτώσεις φραγμού)	των θεμελίων και/ή του χώρου του αιολικού πάρκου. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, οι επιπτώσεις περιορίζονται στην περιοχή του αιολικού πάρκου.	σε μεγαλύτερα βάθη, όπου οι μόνες δομές στη στήλη του νερού είναι καλώδια και άγκυρες.
<b>Ακουστικά αποτελέσματα:</b> -Θνησιμότητα ή σωματικές βλάβες από θόρυβο -Μεταβολές στη συμπεριφορά, όπως τρομάγματα, φυγή ή κρύψιμο -Κάλυψη βιολογικά σημαντικών ήχων	Κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης, οι δραστηριότητες που δημιουργούν θόρυβο ενδέχεται να βλάψουν ή να εκτοπίσουν θαλάσσια ζώα. Η κρουστική διάνοιξη σωληνωτών ερμάτων δημιουργεί τις μεγαλύτερες επιπτώσεις και οι επιπτώσεις από την αντίστροφη κυκλική διάτρηση ή τη δονητική διάνοιξη σωληνωτών ερμάτων θα ήταν μικρότερες.	Μικρότερες επιδράσεις από του μονού πυλώνα (monopile) αν εγκατασταθεί με σωληνωτά έρματα (πολύ μικρότερα σωληνωτά έρματα)- μικρότερες επιδράσεις αν εγκατασταθεί με άγκυρες νεκρού βάρους, άγκυρες έλξης, δυναμικά ενσωματωμένες άγκυρες ή φρεάτια αναρρόφησης πυλώνων.

#### Σημείωση:

<sup>(1)</sup> Scour = Αυλάκι που δημιουργείται δια ροής της άμμου γύρω από το πυλώνα στο πυθμένα της θάλασσας.

Οι άμεσες επιδράσεις από την παρουσία της δομής θεμελίωσης στα βενθικά είδη και ενδιαίτηματα είναι συνήθως μεγαλύτερες στα θεμέλια μονού πυλώνα και μικρότερες στα πλωτά θεμέλια. Ωστόσο, οι επιπτώσεις σε όλους τους τύπους θεμελίωσης είναι ελάχιστες, αν ληφθεί υπόψη ότι συνήθως λιγότερο από το 1% της έκτασης ενός υπεράκτιου αιολικού έργου στην οποία αναπτύσσονται οι ανεμογεννήτριες καλύπτεται από τα ίχνη των κατασκευών, συμπεριλαμβανομένης της προστασίας από την απόπλυση [53]. Ωστόσο, η προετοιμασία του πυθμένα για ορισμένα σχέδια θεμελίωσης βαρύτητας μπορεί να διαταράξει προσωρινά μια περιοχή αρκετές φορές μεγαλύτερη από το ίδιο το αποτύπωμα του θεμελίου.

Τα θεμέλια μπορούν να λειτουργήσουν ως τεχνητές δομές που μοιάζουν με υφάλους, γεγονός που μπορεί να έχει ευεργετικά οικολογικά αποτελέσματα για ορισμένα είδη. Σε σύγκριση με τα θεμέλια μονού πυλώνα, αυτές οι ευεργετικές επιδράσεις μπορεί να είναι μεγαλύτερες με ορισμένους τύπους πλωτών θεμελίων ανάλογα με το βάθος και την επιφάνεια των βυθισμένων κατασκευών.

Ο κίνδυνος εξάπλωσης χωροκατακτητικών ειδών ποικίλλει κυρίως ανάλογα με τη γεωγραφική θέση. Για παράδειγμα, η δυναμική των ωκεάνιων ρευμάτων μπορεί να επηρεάσει τη μεταφορά χωροκατακτητικών ειδών στις περιοχές αιολικών πάρκων και η παρουσία χωροκατακτητικών ειδών στην περιοχή μπορεί να αυξήσει την πιθανότητα εξάπλωσης σε νέες κατασκευές. Οι κίνδυνοι είναι μεγαλύτεροι για τα πλωτά θεμέλια, σε σύγκριση με άλλους τύπους θεμελίων, επειδή συνήθως ρυμουλκούνται στην τοποθεσία από λιμάνια, γεγονός που αυξάνει την πιθανότητα εισαγωγής χωροκατακτητικών ειδών στην τοποθεσία του αιολικού πάρκου.

Οι επιπτώσεις που σχετίζονται με την απελευθέρωση αιωρούμενων ιζημάτων συνδέονται κυρίως με τις δραστηριότητες εγκατάστασης.

Ορισμένα είδη αναζητούν τα θεμέλια των ανεμογεννητριών για χώρους ανάπαυσης ή για βελτιωμένες ευκαιρίες διατροφής. Ωστόσο, αυτή η προσέλευση θα μπορούσε να τα θέσει σε αυξημένο κίνδυνο θήρευσης, σύγκρουσης με ανεμογεννήτριες ή αλληλεπίδρασης με αλιευτικά εργαλεία. Για τα μεταναστευτικά είδη, υπάρχει ανησυχία ότι η εισαγωγή θεμελίων στο κατά τα άλλα αχαρτογράφητο υπεράκτιο περιβάλλον θα μπορούσε να μεταβάλει τα μεταναστευτικά πρότυπα των ειδών προσελκύνοντάς τα να παραμείνουν σε περιοχές αιολικών πάρκων. Αυτό το φαινόμενο προσέλευσης αναμένεται να είναι παρόμοιο σε όλους τους τύπους θεμελίων, εκτός από τα πλωτά θεμέλια, τα οποία έχουν σχετικά λιγότερες υποδομές που εκτείνονται σε ολόκληρη τη στήλη νερού.

Για τα είδη που είναι ευαίσθητα στις οπτικές ή χωρικές διαταραχές, οι επιπτώσεις αποφυγής μπορεί να οδηγήσουν σε πραγματική απώλεια χρησιμοποιούμενων ενδιαιτημάτων εντός της περιοχής ενός υπεράκτιου αιολικού έργου ή σε εκτόπιση των ειδών από αυτήν, αλλά συνήθως υπάρχει αφθονία διαθέσιμων ενδιαιτημάτων γύρω από την περιοχή. Όπως και το φαινόμενο της προσέλευσης, αυτό το φαινόμενο αποφυγής αναμένεται να είναι παρόμοιο για τους περισσότερους τύπους θεμελίων, αλλά πιθανότατα θα είναι μικρότερο για τα πλωτά θεμέλια, τα οποία εγκαθίστανται σε πολύ βαθιά νερά και έχουν σχετικά μικρότερο όγκο υποδομής που εκτείνεται σε ολόκληρη τη στήλη νερού.

Ο υποβρύχιος θόρυβος, ιδίως ο θόρυβος που προκαλείται από τις δραστηριότητες εγκατάστασης θεμελίων, μπορεί να προκαλέσει θνησιμότητα ή τραυματισμό σε θαλάσσια θηλαστικά, ψάρια, ασπόνδυλα και θαλάσσιες χελώνες. Κατά τη διάρκεια δραστηριοτήτων εγκατάστασης θεμελίων, όπως η διάνοιξη σωληνωτών ερμάτων, μπορεί να εμφανιστούν αλλαγές στη συμπεριφορά από ακουστικές επιδράσεις, όπως τρομάγματα, φυγή ή απόκρυψη. Η κρούση της πασσαλοποίησης παράγει ακουστικές επιδράσεις που αναμένεται να είναι σχετικά παρόμοιες σε όλους τους τύπους θεμελίων. Οι πλωτές άγκυρες θεμελίωσης μπορούν επίσης να εγκατασταθούν με κρουστικούς πασσάλους, με μικρότερες αναμενόμενες επιπτώσεις που σχετίζονται με μικρότερους πασσάλους. Ο λειτουργικός θόρυβος που παράγεται από τις ηλεκτρογεννήτριες μπορεί να ακτινοβολεί μέσω του θεμελίου και στη στήλη του νερού. Αυτός ο λειτουργικός θόρυβος μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα επιπτώσεις στη συμπεριφορά των θαλάσσιων οργανισμών. Σε αντίθεση με τον θόρυβο από σταθερά θεμέλια, ο λειτουργικός θόρυβος που σχετίζεται με τα πλωτά θεμέλια δεν θα επηρεάσει τα βενθικά είδη, καθώς ο θόρυβος δεν θα ακτινοβολεί στον πυθμένα και θα έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη χωρική κλίμακα επιπτώσεων για τα μη βενθικά είδη.

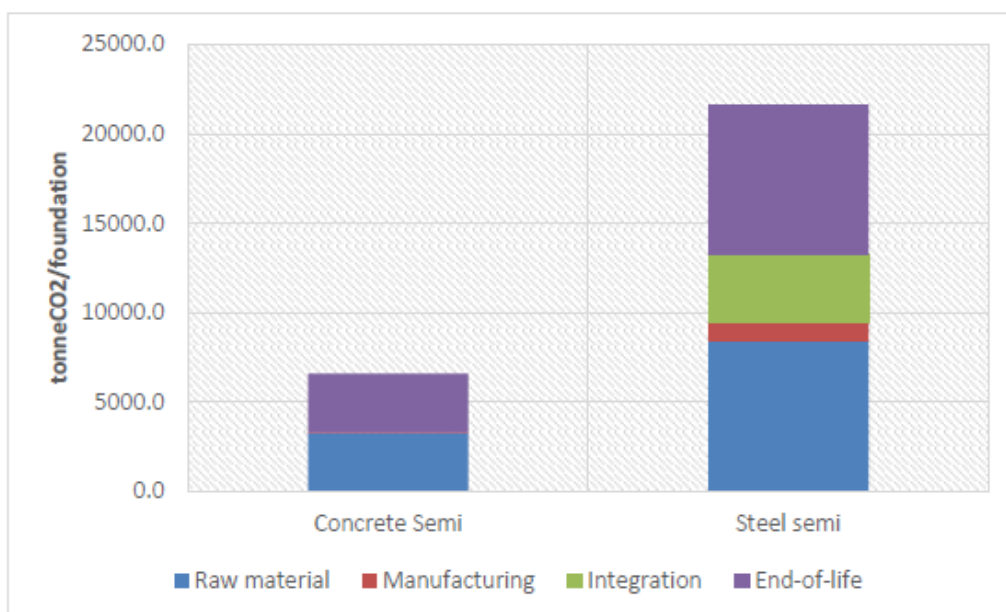
#### 4.2.2 Διοξείδιο του Άνθρακα – CO<sub>2</sub>

Δεδομένου ότι ένας από τους κύριους στόχους των ανεμογεννητριών είναι η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά την παραγωγή ενέργειας, αξίζει να συγκριθούν οι εκπομπές CO<sub>2</sub> που σχετίζονται με την κατασκευή των βασικών υλικών των δύο επιλογών. Η σύγκριση στηρίζεται σε μια προσέγγιση κύκλου ζωής, λαμβάνοντας υπόψη τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (Greenhouse Gases -GHG) για κάθε στάδιο του κύκλου ζωής από την εξόρυξη πρώτων υλών έως το τέλος του κύκλου ζωής τους. Σημειώνεται πως εξαιτίας

των ίδιων επιπέδων εκπομπών GHG, οι φάσεις «Εγκατάσταση» και «Λειτουργία» δεν περιλαμβάνονται στη σύγκριση. Επιπλέον, κατά τη φάση της «Ολοκλήρωσης», λήφθηκαν υπόψιν μόνο οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που αφορούν την μεταφορά του χαλύβδινου θεμελίου από την Κίνα στον τόπο ολοκλήρωσης. Τέλος, σχετιζόμενες με τη μεταφορά επεξεργασμένων πρώτων υλών στο εργοτάξιο παραγωγής εκπομπές έχουν αντιστοιχιστεί στη φάση της «Κατασκευής». Οι εκπομπές που σχετίζονται με τη χρήση υλικών και την κατασκευή εγκαταστάσεων υποδομής δεν περιλαμβάνονται στον υπολογισμό.

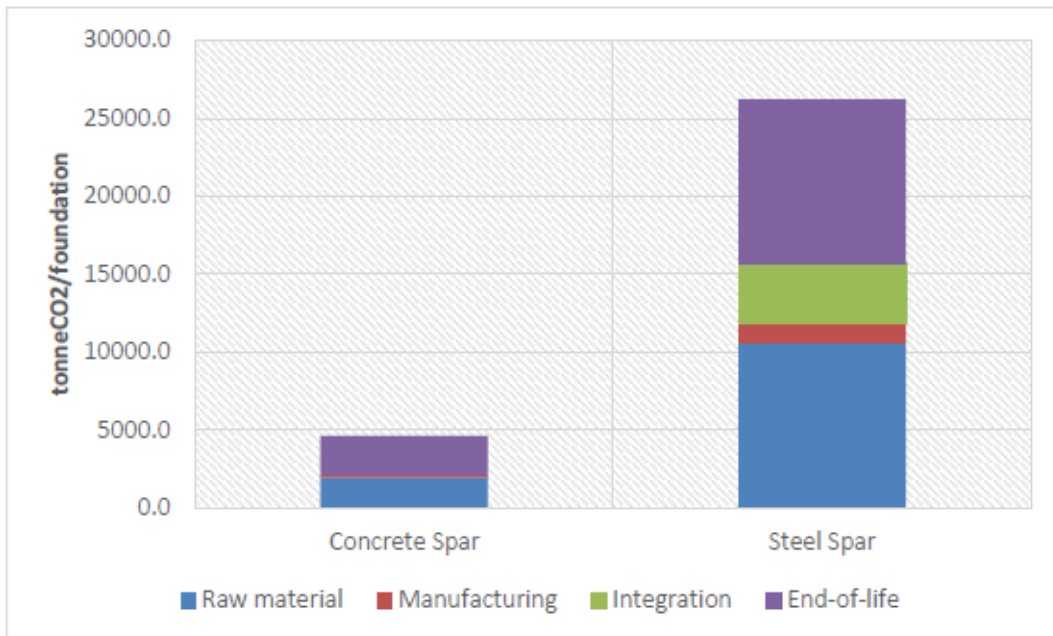
Τα αποτελέσματα σύγκρισης του αποτυπώματος άνθρακα δείχνουν ότι, το αποτύπωμα άνθρακα του σωληνωτού έρματος από σκυρόδεμα αντιπροσωπεύει την επιλογή με τη χαμηλότερη εκπομπή CO<sub>2</sub>, ενώ το χαλύβδινο σωληνωτό έρμα αντιπροσωπεύει την επιλογή με την υψηλότερη εκπομπή CO<sub>2</sub>. Τα βασικά αποτελέσματα των σεναρίων υγειονομικής ταφής και ανακύκλωσης στο τέλος του κύκλου ζωής των θεμελίων είναι παρόμοια (Εικ. 45 έως 48). Το αποτύπωμα άνθρακα της ιδέας θεμελίωσης από ημι-βυθιζόμενο σκυρόδεμα είναι περίπου 3 φορές πιο χαμηλό συγκριτικά με το χαλύβδινο με απόθεση σε χωματερή στο τέλος του κύκλου ζωής τους. [32]

Η ανακύκλωση στο τέλος του κύκλου ζωής ωφελεί επίσης την έννοια των ημι-βυθιζόμενων θεμελίων από σκυρόδεμα. Το αποτύπωμα άνθρακα του ημι-βυθιζόμενου σκυροδέματος είναι περίπου 2,5 φορές χαμηλότερο από αυτό ενός ημι-βυθιζόμενου από χάλυβα. Το αποτύπωμα άνθρακα της ιδέας του σωληνωτού έρματος σκυροδέματος είναι περίπου 5 φορές χαμηλότερο στο σενάριο της υγειονομικής ταφής στο τέλος του κύκλου ζωής του και περίπου 4 φορές χαμηλότερο στο σενάριο ανακύκλωσης στο τέλος του κύκλου ζωής του σε σχέση με το σχέδιο σωληνωτών ερμάτων από χάλυβα. Για όλες τις έννοιες, οι πρώτες ύλες συνεισφέρουν περισσότερο στο αποτύπωμα άνθρακα. [52]

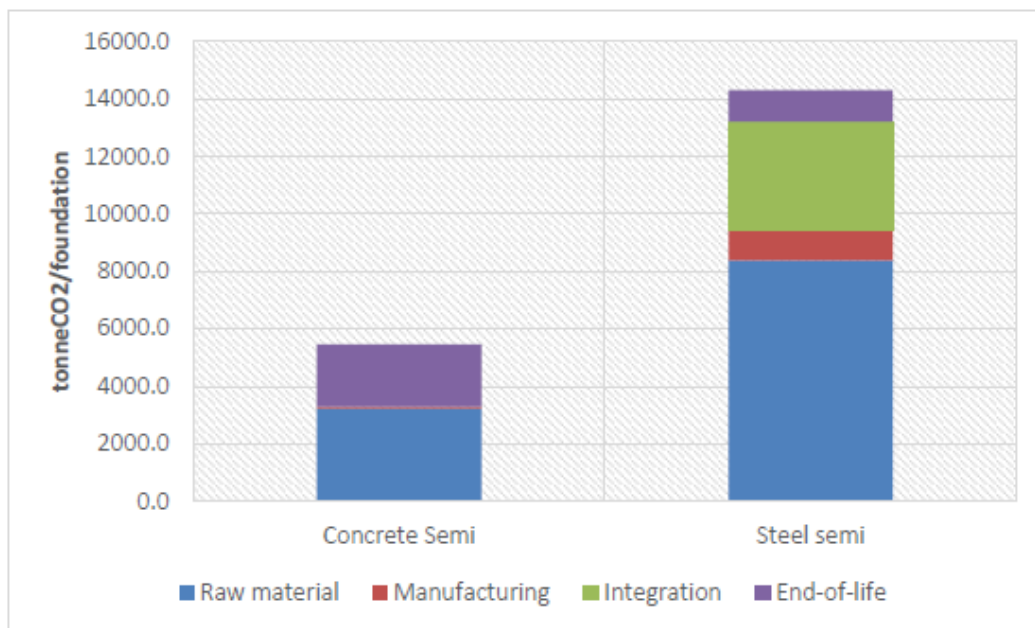


Εικόνα 45: Εκπομπές ημι-βυθιζόμενων θεμελίων από σκυρόδεμα και χάλυβα (τόνοι CO<sub>2</sub>/θεμέλιο) συμπεριλαμβανομένου του θεμελίου που εναποτίθεται σε χώρο υγειονομικής ταφής στο τέλος του κύκλου ζωής του. [32]

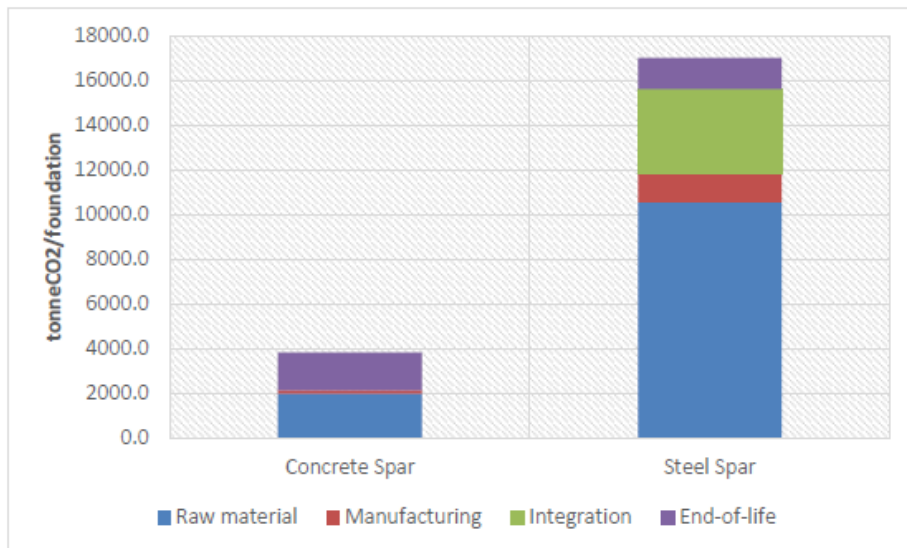




Εικόνα 46: Εκπομπές από σκυρόδεμα και χαλύβδινα σωληνωτά έρματα (τόνοι CO<sub>2</sub>/θεμέλιο), συμπεριλαμβανομένου του θεμελίου που εναποτίθεται σε χώρο υγειονομικής ταφής στο τέλος του κύκλου ζωής του. [32]



Εικόνα 47: Εκπομπές ημι-βυθιζομένων θεμελίων από σκυρόδεμα και χάλυβα (τόνοι CO<sub>2</sub>/θεμέλιο) συμπεριλαμβανομένης της ανακύκλωσης των θεμελίων στο τέλος του κύκλου ζωής τους. [32]



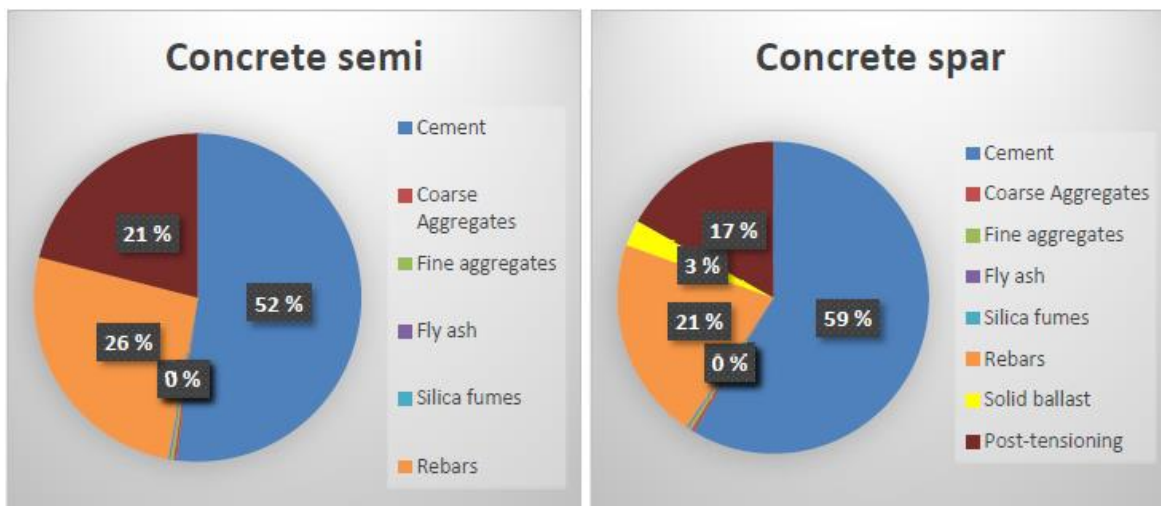
Εικόνα 48: Εκπομπές από σκυρόδεμα και χαλύβδινα σωληνωτά έρματα (τόνοι CO<sub>2</sub>/θεμέλιο), συμπεριλαμβανομένου του θεμελίου που ανακυκλώνεται στο τέλος του κύκλου ζωής του. [32]

Αναφορικά με την έννοια του ημι-βυθιζόμενου σκυροδέματος, η παραγωγή τσιμέντου οδηγεί στο 52% του αποτυπώματος άνθρακα των πρώτων υλών, ενώ το 21% και το 26% προέρχονται από την παραγωγή υλικού μεταέντασης (post - tensioning)<sup>(2)</sup> και οπλισμού, αντίστοιχα (Σχ. 49). Τα αδρανή, η ιπτάμενη τέφρα και οι πυριτικές αναθυμιάσεις έχουν μικρή επίδραση στις εκπομπές πρώτων υλών. Για την έννοια του σωληνωτού έρματος σκυροδέματος, το 59% του αποτυπώματος άνθρακα της πρώτης ύλης σχετίζεται με την παραγωγή τσιμέντου, το 21% με την παραγωγή οπλισμού και το 17% με υλικά μεταέντασης (Σχ. 49). Το στερεό έρμα του σωληνωτού έρματος σκυροδέματος ευθύνεται για το 3% των εκπομπών CO<sub>2</sub> πρώτων υλών, ενώ τα αδρανή, η ιπτάμενη τέφρα και τα υπολείμματα μετάλλων συμβάλλουν ελάχιστα στις εκπομπές πρώτων υλών. Και για τις δύο έννοιες χάλυβα, η ένταση άνθρακα του δομικού χάλυβα αντιπροσωπεύει το 99% του συνολικού αποτυπώματος άνθρακα της πρώτης ύλης (Εικόνα 50). Το σκυρόδεμα και το μαζικό ισορροπητικό φορτίο (bulk ballast)<sup>(3)</sup> δεν συμβάλλουν σημαντικά στις εκπομπές πρώτων υλών. [32]

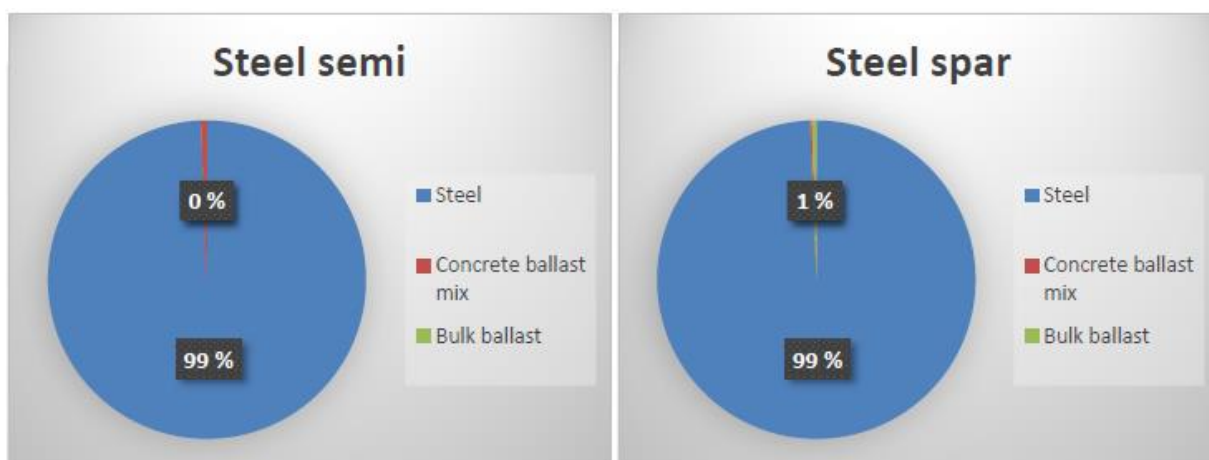
Σημείωση:

<sup>(2)</sup>Post – tensioning – Μεταένταση = Η μετατεντωτική ενίσχυση ή μεταένταση είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται στον τομέα της κατασκευής για να ενισχύσει και να συγκρατήσει σε τάση στοιχεία κατασκευών, όπως δοκοί, πλάκες, θεμέλια και στύλοι. Η διαδικασία περιλαμβάνει τον τοποθετημένο χάλυβα ή συρματοσχοινία (γνωστό ως τάσινα) εντός του στοιχείου και την εφαρμογή τάσης μετά την εγκατάσταση του. Η τάση επιτυγχάνεται με τη χρήση ειδικών εξαρτημάτων και συστημάτων.

<sup>(3)</sup>Bulk ballast = Ο όρος αναφέρεται σε μεγάλα ποσά από αδρανές υλικό που χρησιμοποιούνται για να προσθέσουν βάρος ή να ισορροπήσουν μια δομή ή ένα πλοίο. Συνήθως, το bulk ballast αποτελείται από άμμο, χαλίκι, πέτρες ή άλλα ανάλογα υλικά που μπορούν να φορτωθούν ή εκφορτωθούν εύκολα.



Εικόνα 49: Ποσοστιαία συνεισφορά των διαφόρων πρώτων υλών στο συνολικό ανθρακικό αποτύπωμα των πρώτων υλών για τις δύο έννοιες σκυροδέματος. [32]



Εικόνα 50: Ποσοστιαία συνεισφορά των διαφόρων πρώτων υλών στο συνολικό αποτύπωμα άνθρακα των πρώτων υλών για τις δύο έννοιες χάλυβα. [32]

Για τις έννοιες σκυροδέματος ημι-βυθιζόμενου, και στα δύο σενάρια τέλους ζωής, η κατασκευή (ανάμιξη και προετοιμασία του σκυροδέματος) συμβάλλει σε λιγότερο από το 1% του συνολικού αποτυπώματος άνθρακα, ενώ για την ιδέα σωληνωτού έρματος σκυροδέματος, το στάδιο κατασκευής συμβάλλει στο 3-4% αντίστοιχα. Για τις χάλυβδινες έννοιες, η κατασκευή (κατασκευή και συγκόλληση χάλυβδινων πλακών) συμβάλλει στο 5% του συνολικού ανθρακικού αποτυπώματος στο σενάριο απόθεσης σε χωματερές στο τέλος του κύκλου ζωής, ενώ συμβάλλει στο 7% (χάλυβδινο ημι-βυθιζόμενο) και στο 8% (χάλυβδινο σωληνωτό έρμα) στο σενάριο ανακύκλωσης στο τέλος του κύκλου ζωής. [32]

Η ιδέα του σκυροδέματος θεωρείται ότι δεν έχει πρόσθετο αποτύπωμα άνθρακα που να σχετίζεται με το στάδιο ολοκλήρωσης σε σύγκριση με του χάλυβα. Αντίθετα, ο χάλυβας έχει σημαντικό αποτύπωμα άνθρακα που σχετίζεται με αυτή τη φάση, καθώς οι εκπομπές από τη μεταφορά των υποκατασκευών με πλοίο από την Ασία στην τοποθεσία ολοκλήρωσης δεν σχετίζονται με τη συγκεκριμένη περίπτωση. Για τα χάλυβδινα ημι-βυθιζόμενα, το 17% των συνολικών εκπομπών σχετίζεται με τη θαλάσσια μεταφορά στη φάση ολοκλήρωσης στο σενάριο απόθεσης σε χώρους υγειονομικής ταφής στο τέλος του κύκλου ζωής, και

το 26% στο σενάριο ανακύκλωσης στο τέλος του κύκλου ζωής. Για την ιδέα του χαλύβδινου σωληνωτού έρματος, η θαλάσσια μεταφορά στο στάδιο ολοκλήρωσης αντιπροσωπεύει το 14% του αποτυπώματος άνθρακα στο σενάριο απόθεσης σε ΧΥΤΑ στο τέλος του κύκλου ζωής του και το 22% στο σενάριο ανακύκλωσης στο τέλος του κύκλου ζωής του. [32]

Τέλος, οι έννοιες από σκυρόδεμα έχουν χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα από τις αντίστοιχες έννοιες από χάλυβα για όλα τα στάδια του κύκλου ζωής που αξιολογήθηκαν, εκτός από το τέλος του κύκλου ζωής, όταν τα υλικά ανακυκλώνονται. Η ανακύκλωση των υλικών για τις έννοιες χάλυβα αντιπροσωπεύει 87% μείωση των εκπομπών για το τέλος του κύκλου ζωής, ενώ η ανακύκλωση υλικών μειώνει τις εκπομπές στο τέλος του κύκλου ζωής μόνο κατά 33-34% για τις έννοιες σκυροδέματος. [32]

### 4.3 Οικονομική Αξιολόγηση

Ενώ η προμήθεια βασικού χάλυβα δεν είναι ο μοναδικός παράγοντας επιρροής του κόστους των μεταλλικών κατασκευών, η μεταβλητότητά του καθιστά δυνατή τη διακύμανση των μεταλλικών κατασκευών +/- 25% σε σύντομο διάστημα μηνών. Οι κατασκευές από σκυρόδεμα, αντιθέτως, επηρεάζονται λιγότερο από τις διακυμάνσεις της προσφοράς, επειδή οι κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιούν περίπου τρεις φορές λιγότερο χάλυβα, ενώ τα υπόλοιπα συστατικά του παρουσιάζουν σταθερές τιμές. Από τα ανωτέρω στοιχεία μπορεί να θεωρηθεί ένα ενδεικτικό κόστος σκυροδέματος στα 1.300 €/m<sup>3</sup> και κόστος χάλυβα στα 4.000 €/tn. Αυτό σημαίνει ότι για κατασκευές στην Ευρώπη, αυτές από χάλυβα κοστίζουν περίπου το διπλάσιο από τις αντίστοιχες από σκυρόδεμα. Ωστόσο, όταν η παραγωγικότητα της χαλυβουργίας είναι υψηλότερη και τα αδρανή δεν είναι άμεσα διαθέσιμα (όπως συμβαίνει σε κάποια μέρη όπως είναι τα νησιωτικά κράτη), η αναλογία διαφέρει.

Η DNV [32] διεξήγαγε μια συγκριτική μελέτη το 2022 για να αξιολογήσει τη διαφορά κόστους μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος σωληνωτού έρματος και ημι-βυθιζόμενων θεμελίων. Ο ακόλουθος πίνακας (Πιν. 6) και τα διαγράμματα παρουσιάζουν την κατανομή του κόστους για δύο τύπους θεμελίωσης. Η κατανομή στα παρακάτω σχήματα (Εικ. 51 έως 56) περιλαμβάνει μόνο τα στοιχεία κόστους που διαφέρουν κατά τη σύγκριση των χαλύβδινων εννοιών με τις έννοιες από σκυρόδεμα. Προστίθεται ένα επιπλέον 10% του συνολικού εκτιμώμενου κόστους ανά τύπο θεμελίωσης ("Λοιπές δαπάνες") για να ληφθούν υπόψη η διαχείριση του έργου, τα απρόβλεπτα κ.λπ.

Πίνακας 6: Κατανομή κόστους για δύο τύπους θεμελίωσης μιας A/T 15MW. [32]

Ανάλυση Κόστους Σωληνωτού Έρματος				
Αποτελέσματα Κόστους		Μονάδα	Χαλύβδινο σωληνωτό έρμα	Τσιμεντένιο σωληνωτό έρμα
Κόστος	πρωτογενούς	[€]	7.789.000	-
χάλυβα				



Συγκόλληση πρωτογενούς χάλυβα	[€]	132.000	-
Σκυρόδεμα	[€]	-	2.255.900
Ενίσχυση	[€]	-	1.890.000
Ενισχύσεις μεταέντασης	[€]	-	600.000
Άνοδοι	[€]	200.000	-
Επίστρωση	[€]	300.000	-
Έρμα	[€]	981.000	840.000
Άλλα	[€]	939.900	558.600
<b>Συνολικό</b>	<b>[€]</b>	<b>10.338.900</b>	<b>6.144.500</b>
<b>Ανάλυση Κόστους Ημι-βυθιζόμενου</b>			
<b>Αποτελέσματα Κόστους</b>	<b>Μονάδα</b>	<b>Χαλύβδινο Ημι-βυθιζόμενο</b>	<b>Τσιμεντένιο Ημι-βυθιζόμενο</b>
Κόστος πρωτογενούς χάλυβα	[€]	4.983.600	-
Συγκόλληση πρωτογενούς χάλυβα	[€]	339.300	-
Σκυρόδεμα	[€]	-	2.557.400
Ενίσχυση	[€]	-	3.172.500
Ενισχύσεις μεταέντασης	[€]	-	1.000.000
Άνοδοι <sup>(4)</sup>	[€]	200.000	-
Επίστρωση <sup>(5)</sup>	[€]	300.000	-
Έρμα	[€]	216.700	-
Άλλα	[€]	604.000	673.000
<b>Συνολικό</b>	<b>[€]</b>	<b>6.643.600</b>	<b>7.402.900</b>

Σημείωση:

<sup>(4)</sup>Άνοδοι (Anodes): Οι άνοδοι είναι μεταλλικά στοιχεία που τοποθετούνται στα θεμέλια των πλωτών αιολικών πάρκων και λειτουργούν ως ηλεκτροδίοδοι. Στο πλαίσιο της ηλεκτροχημικής προστασίας, οι άνοδοι προσελκύνουν τη διάβρωση προστατεύοντας έτσι τα μεταλλικά μέρη των θεμελίων από την επιθετική δράση του θαλάσσιου νερού.

<sup>(5)</sup>Επίστρωση (Coating): Η επίστρωση αναφέρεται στη διαδικασία και το υλικό που χρησιμοποιείται για να επικαλυφθούν οι επιφάνειες των θεμελίων. Αυτό το επικάλυμμα μπορεί να είναι από ειδικές σκληρές ή ανθεκτικές σε αλάτι ουσίες που προστατεύουν το μέταλλο από τη διάβρωση, την κατάρρευση και τη θαλάσσια φθορά.

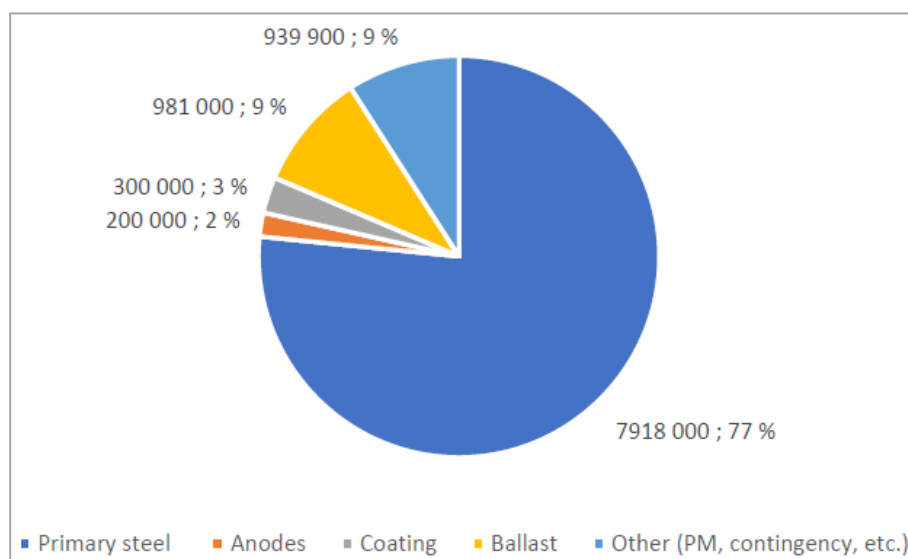
Η βασική υπόθεση προϋποθέτει ότι οι μονάδες χάλυβα θα κατασκευαστούν στην Ασία και στη συνέχεια θα αποσταλούν στην Ευρώπη για ενοποίηση. Λαμβάνοντας υπόψη το κόστος μεταφοράς από την Ασία, τα ημι-

βυθιζόμενα από χάλυβα και τα σωληνωτά έρματα από χάλυβα είναι 163% και 69% ακριβότερα από το σκυρόδεμα, αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται στο μεγάλο ταξίδι και στα υψηλά ημερομίσθια στο πλοίο. Η μελέτη έδειξε επίσης ότι όταν αποκλείεται η ναυτιλία από την Ασία, ο χάλυβας εξακολουθεί να είναι περίπου 68% ακριβότερος από το σκυρόδεμα, και για την κατασκευή στην Ευρώπη, αυτό θα πρόσθετε περίπου 25% έως 30% στο κόστος της μεταλλικής υποδομής, χωρίς να συμπεριλαμβάνονται τα έξοδα μεταφοράς.

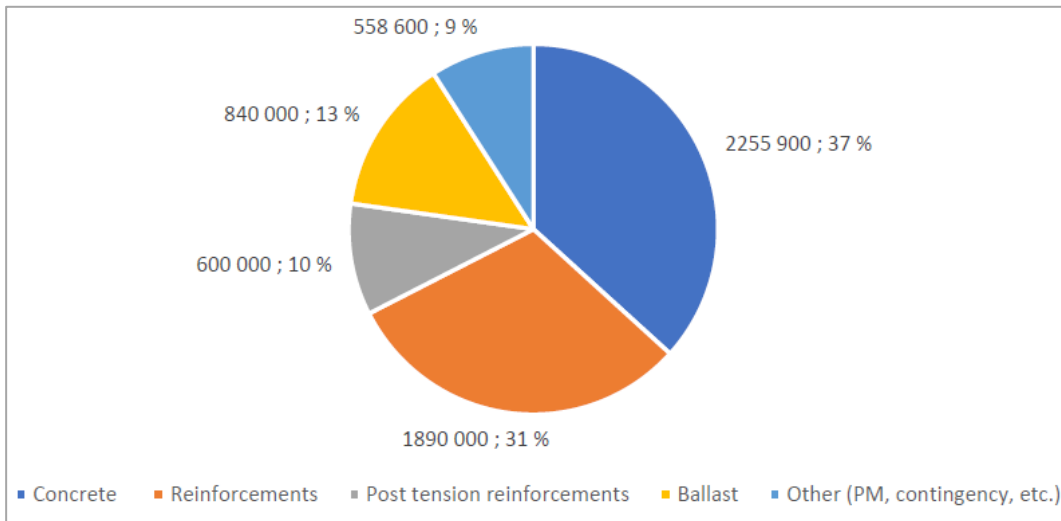
Ωστόσο, τα ημι-βυθιζόμενα από σκυρόδεμα είναι 11% πιο ακριβά από τα εναλλακτικά από χάλυβα, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το κόστος μεταφοράς. Οι εκτιμήσεις κόστους που παρέχονται περιλαμβάνουν μόνο τις φάσεις του κύκλου ζωής και τα στοιχεία υποδομής που συμβάλλουν περισσότερο στη διαφορά μεταξύ λύσεων σκυροδέματος και χάλυβα, αλλά δεν περιλαμβάνουν κόστος που σχετίζεται με ολόκληρο τον κύκλο ζωής της υποδομής, όπως λειτουργία και συντήρηση, παροπλισμός /αποξήλωση κ.λπ. [32]

Αρκετά στοιχεία κόστους που αναμένεται να είναι παρόμοια τόσο για τα χαλύβδινα θεμέλια όσο και για τα θεμέλια από σκυρόδεμα δεν περιλαμβάνονται στη μελέτη σύγκρισης κόστους, δεδομένου ότι δεν υποδεικνύουν διαφορές κόστους μεταξύ των αναλυθέντων εννοιών. Κάποια από αυτά τα στοιχεία είναι:

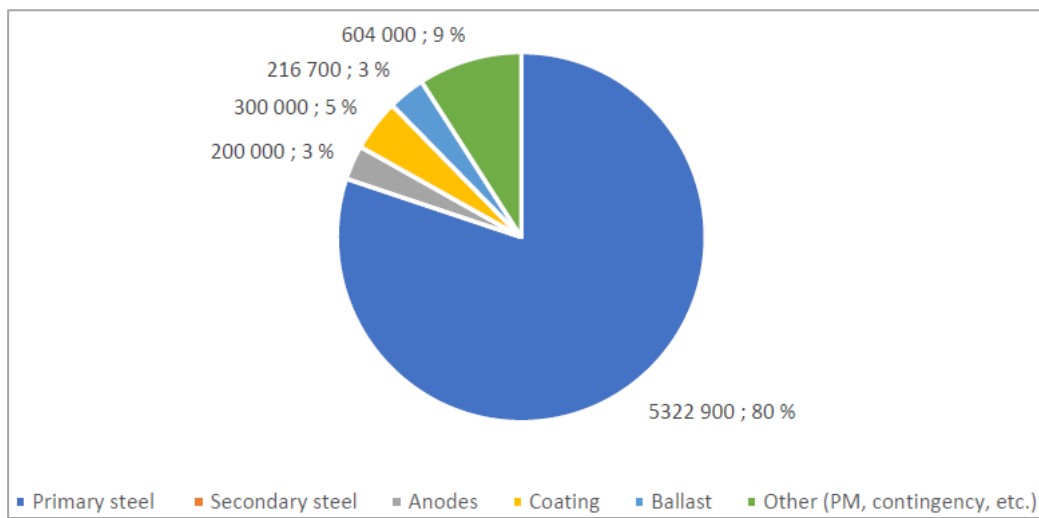
- Δευτερογενής χάλυβας
- Πρόσδεση και Αγκυροβόληση
- Σωληνώσεις και εξοπλισμός συστήματος έρματος
- Ηλεκτρικός εξοπλισμός και εξοπλισμός ασφάλειας
- Μηχανικός εξοπλισμός π.χ. γερανοί
- Μεταφορά στον χώρο και Εγκατάσταση
- Κόστη Λειτουργίας και Συντήρησης
- Παροπλισμός



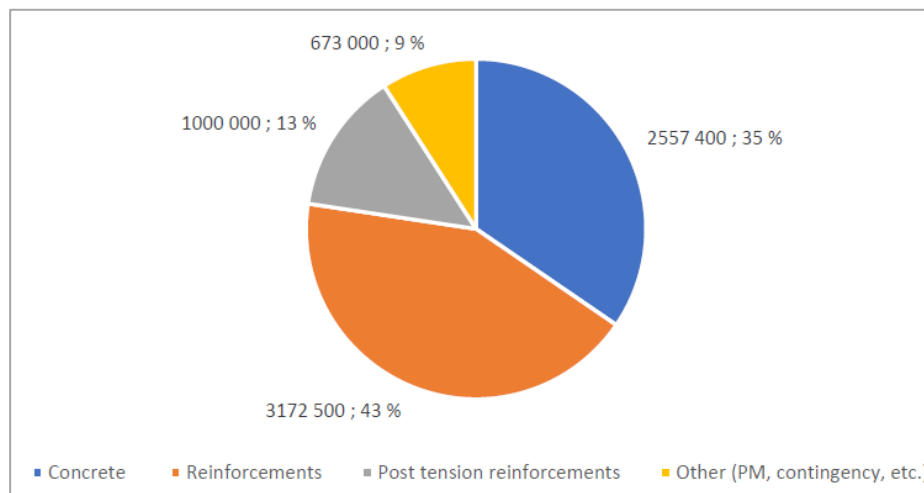
Εικόνα 51: Χαλύβδινο Σωληνωτό Έρμα – Ανάλυση κόστους στοιχείων. [32]



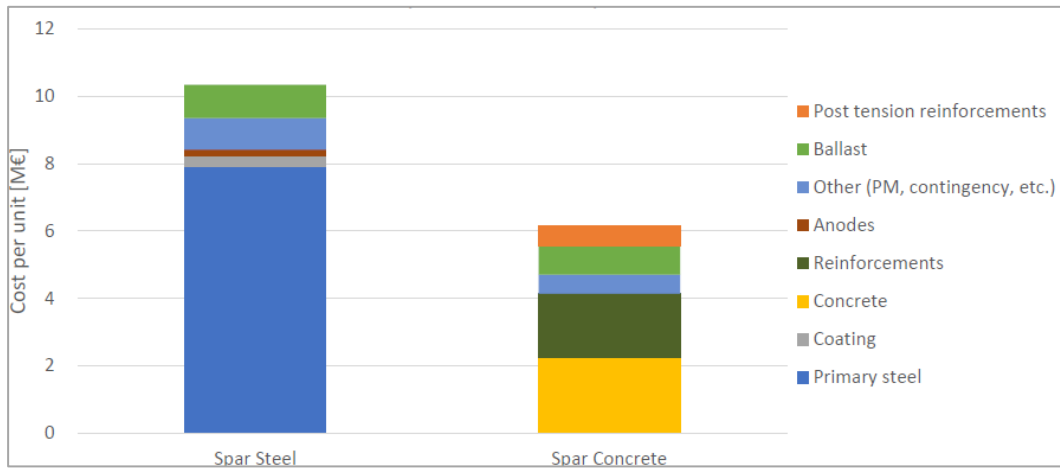
Εικόνα 52: Σωληνωτό Έρμα από σκυρόδεμα – Ανάλυση κόστους στοιχείων. [32]



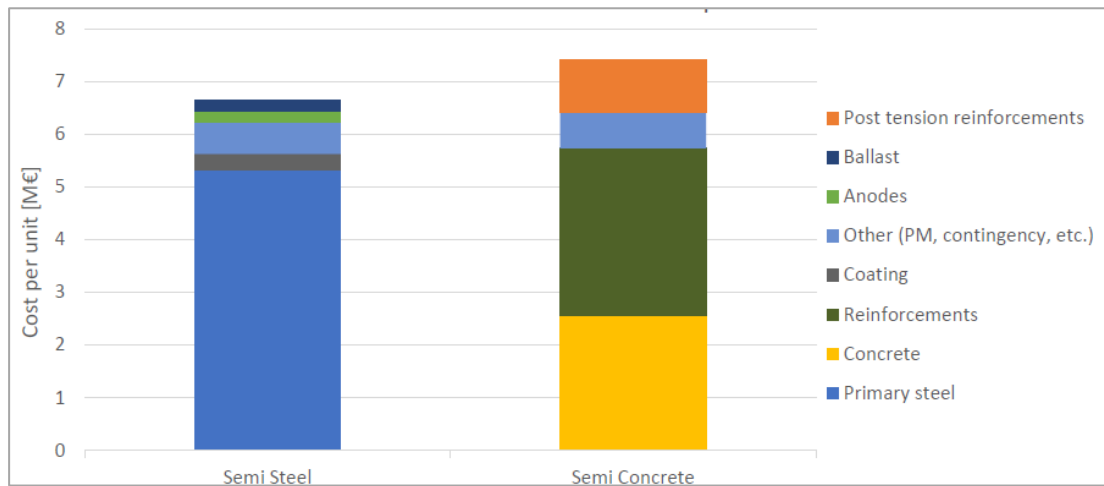
Εικόνα 53: Χαλύβδινα Ημι-βυθιζόμενα – Ανάλυση κόστους στοιχείων. [32]



Εικόνα 54: Ημι-βυθιζόμενα από σκυρόδεμα – Ανάλυση κόστους στοιχείων. [32]



Εικόνα 55: Σωληνωτό Έρμα – Σύγκριση κόστους. [32]



Εικόνα 56: Ημι-βυθιζόμενα – Σύγκριση κόστους. [32]



## 5. Αποτελέσματα – Σχολιασμός

### 5.1. Επιλογή Υλικού Κατασκευής του Πλωτήρα

Σίγουρα δεν υπάρχει μία και μοναδική βέλτιστη δομή στήριξης για όλους τους τύπους έργων, λόγω των διαφορετικών συνθηκών που συναντώνται (βάθος νερού, γεωτεχνικές συνθήκες, τύπος ανεμογεννήτριας, περιβαλλοντικές συνθήκες κ.λπ.), οι οποίες επηρεάζουν την επιλογή της δομής στήριξης, το σχεδιασμό της και τις μεθόδους παραγωγής και εγκατάστασης. Ως εκ τούτου, οι πτυχές αυτές πρέπει να αποφασίζονται κατά περίπτωση. Ως εκ τούτου, οι ακόλουθες πτυχές είναι επίσης πολύ σημαντικές για τη λήψη τεχνολογικών επιλογών όσον αφορά τις δομές στήριξης: προηγούμενες εμπειρίες με την τεχνολογία, την αλυσίδα εφοδιασμού της, τις διαδικασίες παραγωγής και υπεράκτιας εγκατάστασης (για παράδειγμα, τον απαιτούμενο εξοπλισμό εγκατάστασης και τον καιρό) και τις πτυχές του δομικού σχεδιασμού και της ανθεκτικότητας. Ωστόσο, καθώς οι συνθήκες για τα υπεράκτια πλωτά αιολικά πάρκα αλλάζουν, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τις εναλλακτικές επιλογές και να αναπτύσσουμε εκείνες που είναι δυνητικά φθηνότερες και αποτελεσματικότερες. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα καθώς οι αρχικές εφαρμογές μιας νέας τεχνολογίας συνδέονται αναπόφευκτα με υψηλότερο κόστος. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε τεχνολογικό εγκλωβισμό σε κατώτερες υφιστάμενες λύσεις που έχουν αναπτυχθεί και βελτιστοποιηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη κοινωνικά και περιβαλλοντικά ζητήματα κατά την επιλογή των δομών στήριξης, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι αρνητικές και να ενισχύονται οι θετικές συναφείς επιπτώσεις κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των δομών (π.χ. αποτύπωμα άνθρακα, επιπτώσεις στη θαλάσσια ζωή, αποδοχή από τις τοπικές κοινότητες).

Μέχρι στιγμής, δύο υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή δομών στήριξης για υπεράκτιες ανεμογεννήτριες το σκυρόδεμα και ο χάλυβας. Είναι πιθανό ότι η σημερινή σαφής διάκριση μεταξύ υποστυλωμάτων από χάλυβα και σκυρόδεμα θα γίνει λιγότερο σαφής στο μέλλον, με την ανάπτυξη πλωτών κατασκευών (για τις περισσότερες από τις οποίες είναι κατάλληλες τόσο ο χάλυβας όσο και το σκυρόδεμα) και υβριδικών κατασκευών (για τις οποίες χρησιμοποιούνται τα δύο υλικά σε συνδυασμό). Επιπλέον, η διάκριση μεταξύ των διαφόρων τύπων δομών υποστήριξης γίνεται επίσης πιο περίπλοκη λόγω της εμφάνισης λύσεων που συνδυάζουν διάφορες πτυχές των προηγουμένως καλά διαφοροποιημένων τύπων.

Η εκτεταμένη εμπειρία των θαλάσσιων κατασκευών από σκυρόδεμα από άλλους τομείς (π.χ. πετρέλαιο και φυσικό αέριο, γέφυρες και λιμενικές υποδομές) είναι ευεργετική. Οι κατασκευές από σκυρόδεμα παρουσιάζουν καλύτερη ανθεκτικότητα και απαιτούν λιγότερα μέτρα προστασίας και λιγότερη συντήρηση (π.χ. επιφανειακή επίστρωση) σε σχέση με τις χαλύβδινες κατασκευές σε επιθετικά θαλάσσια περιβάλλοντα. Οι κατασκευές από σκυρόδεμα θα μπορούσαν σίγουρα να διατηρηθούν σε χρήση πολύ περισσότερο από την τρέχουσα λειτουργική διάρκεια ζωής σχεδιασμού των κατασκευών αιολικής ενέργειας, η οποία είναι συνήθως 20-25 έτη, όπως αποδεικνύεται από την εμπειρία άλλων τύπων θαλάσσιων κατασκευών από σκυρόδεμα. Ωστόσο, η παράταση της διάρκειας ζωής σχεδιασμού των δομών στήριξης είναι απίθανη στο

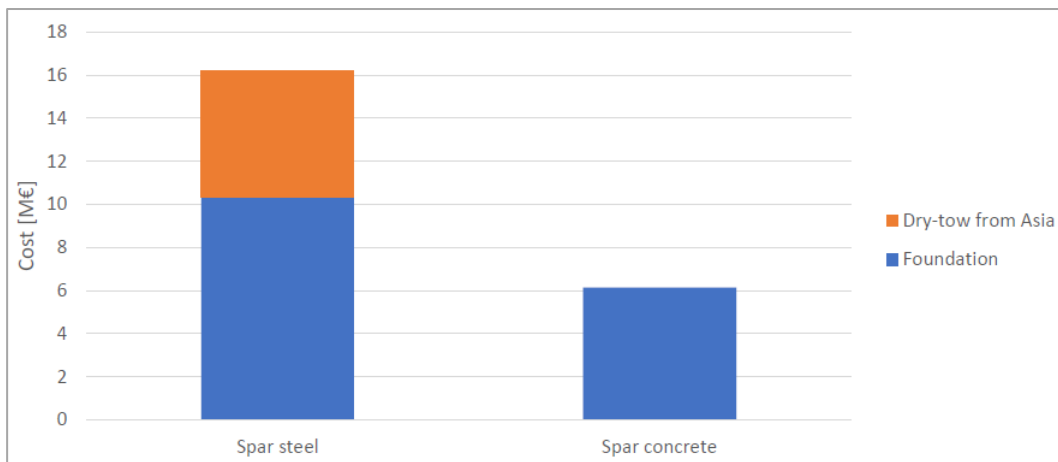
εγγύς μέλλον λόγω της ταχείας εξέλιξης του μεγέθους των ανεμογεννητριών, η οποία καθιστά την ανακαίνιση ή την αντικατάσταση ανεμογεννητριών με μικρό μέγεθος οικονομικά μη ελκυστική.

Οι κατασκευές στήριξης από σκυρόδεμα είναι φθηνότερες στην παραγωγή από τις αντίστοιχες χαλύβδινες, αλλά απαιτούν πιο σύνθετη διαδικασία παραγωγής και ποιοτικό έλεγχο. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η πρόσβαση σε κατάλληλες χερσαίες υποδομές με επαρκή χώρο και φέρουσα ικανότητα για την παραγωγή αυτών των βαρέων και ογκωδών κατασκευών. Για την παραγωγή των κατασκευών απαιτούνται ενεργοβόρες και χρονοβόρες κατασκευαστικές δραστηριότητες (π.χ. τοποθέτηση οπλισμού, ξυλότυποι, χύτευση και σκλήρυνση σκυροδέματος), αλλά η παραγωγή μπορεί να προσαρμοστεί οπουδήποτε και είναι πιο επωφελής για την τοπική οικονομία από εκείνη των χαλύβδινων κατασκευών. Οι διαφορές μεταξύ των σχεδίων από χάλυβα και σκυρόδεμα δεν είναι πολύ σημαντικές όταν πρόκειται για πλωτές κατασκευές και πολλές έννοιες μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να κατασκευαστούν είτε με σκυρόδεμα είτε με χάλυβα, ανάλογα με άλλους παράγοντες όπως η τοπική αγορά ή οι προτιμήσεις των ενδιαφερομένων μερών. Όλοι οι άλλοι τύποι δομών στήριξης που εφαρμόζονται σήμερα και οι ιδέες που αναπτύσσονται για νέες ανεμογεννήτριες βρίσκονται ακόμη σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να συνεχιστεί η ανάπτυξη και η δοκιμή εναλλακτικών λύσεων που θα μπορούσαν να αποδειχθούν κατάλληλες σε συγκεκριμένες συνθήκες.

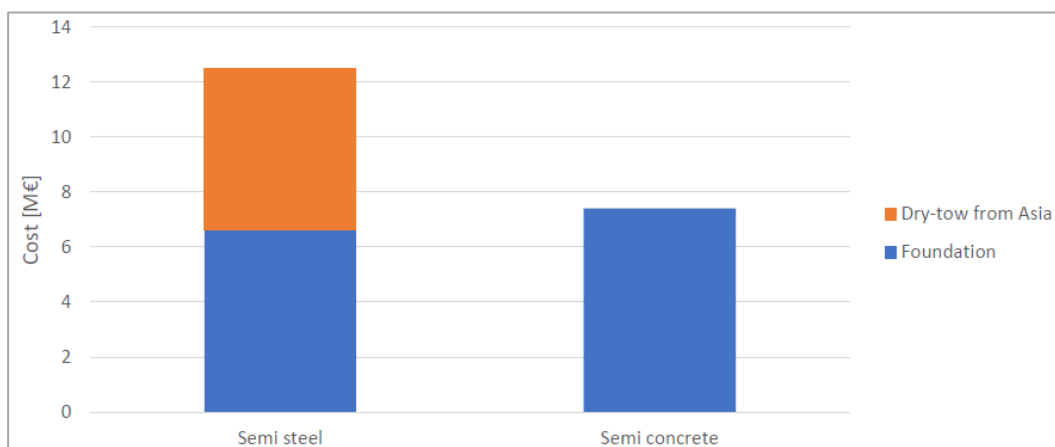
## 5.2 Οικονομικά Αποτελέσματα

Όπως φαίνεται και για τα δύο σενάρια, το κόστος του απαιτούμενου πρωτογενούς χάλυβα είναι σημαντικά υψηλότερο από εκείνο του σκυροδέματος, γεγονός που επηρεάζει σημαντικά το κόστος των μεταλλικών κατασκευών. Στα χαλύβδινα θεμέλια αυξάνεται το συνολικό κόστος κατά €0,5εκατ/θεμέλιο καθώς χρειάζονται πρόσθετες απαιτήσεις, όπως οι άνοδοι και η επίστρωση. Το ημι-βυθιζόμενο σε σύγκριση με το σωληνωτό έρμα απαιτεί περισσότερες συγκολλήσεις λόγω του μεγαλύτερου αριθμού συνδέσεων, συνεπώς το κόστος κατασκευής αναμένεται να είναι πιο υψηλό. Επίσης, σε αντίθεση με το ημι-βυθιζόμενο θεμέλιο στο οποίο απαιτείται χειροκίνητη συγκόλληση, στο θεμέλιο σωληνωτού έρματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτόματη συγκόλληση.

Όσον αφορά τις κατασκευές από σκυρόδεμα, το μεγαλύτερο μέρος του κόστους κατανέμεται μεταξύ σκυροδέματος και οπλισμού, με τον τελευταίο να είναι ελαφρώς υψηλότερος για την ημι-βυθιζόμενη κατασκευή. Το κόστος έρματος περιλαμβάνεται στην εκτίμηση μόνο για σωληνωτό έρμα από σκυρόδεμα, καθώς για το ημι-βυθιζόμενο από σκυρόδεμα αναμένεται ότι θα χρησιμοποιηθεί μόνο θαλασσινό νερό για την επίτευξη του λειτουργικού βυθίσματος. Το κόστος του έρματος για το χαλύβδινο σωληνωτό έρμα αντιπροσωπεύει περίπου το 9% του εκτιμώμενου κόστους. Μια αύξηση κατά 50% στον όγκο του έρματος θα οδηγήσει σε αύξηση κατά λιγότερο από 5% στο χαλύβδινο σωληνωτό έρμα, αυξάνοντας οριακά το χάσμα μεταξύ χαλύβδινων και τσιμεντένιων σωληνωτών ερμάτων.[32]. Τα ακόλουθα διαγράμματα παρέχουν μια επισκόπηση των συνολικών διαφορών κόστους των δύο τύπων θεμελίωσης.



Εικόνα 57: Σωληνωτό Έρμα – Σύγκριση ολικού κόστους (μαζί με την μεταφορά). [32]



Εικόνα 58: Ημι-βυθιζόμενο – Σύγκριση ολικού κόστους (μαζί με την μεταφορά). [32]

### 5.3 Περιβαλλοντικά Αποτελέσματα

Ο τύπος του υπεράκτιου αιολικού θεμελίου που χρησιμοποιείται εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις γεωλογικές συνθήκες και τα βάθη νερού της περιοχής του αιολικού πάρκου. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των θεμελίων των υπεράκτιων ανεμογεννητριών περιορίζονται γενικά στην άμεση περιοχή γύρω από τα θεμέλια και την περιοχή του αιολικού πάρκου. Το μέγεθος των επιπτώσεων μπορεί να διαφέρει μεταξύ των τύπων θεμελίωσης, κυρίως λόγω των υποθαλάσσιων επιφανειών κάθε τύπου, του όγκου που καταλαμβάνει στη στήλη νερού και του αποτυπώματός του στον πυθμένα. Τα συγκεκριμένα συμπεράσματα έχουν ως εξής:

- Οι άμεσες επιδράσεις στα βενθικά είδη και ενδιαιτήματα είναι συνήθως μικρότερες στα πλωτά θεμέλια.
- Συγκριτικά με τα θεμέλια μονού πυλώνα, ορισμένοι τύποι πλωτών θεμελίων έχουν ευεργετικά οικολογικά αποτελέσματα για ορισμένα είδη.
- Ο κίνδυνος εξάπλωσης χωροκατακτητικών μεγαλύτερος για τα πλωτά θεμέλια.
- Οι επιπτώσεις των κυμάτων είναι παρόμοιες στους περισσότερους τύπους θεμελίων.
- Το φαινόμενο προσέλκυσης και το φαινόμενο αποφυγής αναμένεται να είναι μικρότερο στα πλωτά

θεμέλια.

- Οι ακουστικές επιδράσεις αναμένεται να είναι σχετικά παρόμοιες σε όλους τους τύπους θεμελίων. Σε αντίθεση με τον θόρυβο από σταθερά θεμέλια, ο λειτουργικός θόρυβος που σχετίζεται με τα πλωτά θεμέλια δεν θα επηρεάσει τα βενθικά είδη.

Αναφορικά με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα προκύπτουν τα εξής:

- Το ανθρακικό αποτύπωμα της έννοιας του σωληνωτού έρματος από σκυρόδεμα εκτιμάται ότι είναι περίπου 4-5 φορές χαμηλότερο από το αντίστοιχο χαλύβδινο αποτύπωμα, ανάλογα με τη στρατηγική τερματισμού του κύκλου ζωής.
- Το ανθρακικό αποτύπωμα της έννοιας του ημι-βυθιζόμενου θεμελίου από σκυρόδεμα εκτιμάται ότι είναι περίπου 2,5-3 φορές χαμηλότερο από εκείνο του αντίστοιχου χαλύβδινου, ανάλογα με τη στρατηγική για το τέλος του κύκλου ζωής του.



## 6. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, παρουσιάστηκε μια επισκόπηση των πλωτών αιολικών πάρκων, των συστατικών τους και των διαφορετικών τύπων πλωτήρων. Εξηγήθηκαν οι τεχνικές πτυχές, οι απαιτήσεις και οι προκλήσεις που σχετίζονται με την κατασκευή και τη λειτουργία των πλωτήρων αυτών. Η κατανόηση αυτών των στοιχείων αποτελεί ουσιαστική βάση για την ανάπτυξη και τη βελτιστοποίηση θαλάσσιων αιολικών πάρκων σε παγκόσμιο επίπεδο.

Επίσης, μελετήθηκε η καταλληλότητα των υφιστάμενων λιμένων στην Ελλάδα για την ανάπτυξη πλωτών αιολικών πάρκων. Με βάση τις τεχνικές προδιαγραφές και τις ανάγκες για την κατασκευή και τη συντήρηση των πάρκων αυτών, αξιολογήθηκε η δυνατότητα προσαρμογής των υφιστάμενων Ελληνικών λιμένων στις απαιτήσεις τους. Η ανάλυση αυτή παρείχε σημαντική εισαγωγή για την ανάπτυξη θαλάσσιων αιολικών πάρκων στην Ελλάδα και προσέφερε πληροφορίες για την κατάλληλη τοποθεσία και υποδομή.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε μια κριτική αξιολόγηση του υλικού (σκυρόδεμα ή χάλυβας) που χρησιμοποιείται για τον πλωτήρα της ανεμογεννήτριας σε πλωτά αιολικά πάρκα. Εξετάστηκαν οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και τεχνικές επιπτώσεις του κάθε υλικού. Μέσω συγκριτικής ανάλυσης, παρουσιάστηκαν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε υλικού, λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, το κόστος, την ανθεκτικότητα στις θαλάσσιες συνθήκες και την τεχνολογική εφαρμογή.

Συνολικά, η παρούσα διπλωματική εργασία παρέχει σημαντικές πληροφορίες και αναλύσεις για την ανάπτυξη πλωτών αιολικών πάρκων, καθώς και για την επιλογή του υλικού του φλοτέρ και την καταλληλότητα των λιμένων στην Ελλάδα. Οι πληροφορίες αυτές αποτελούν σημαντική συνεισφορά για την περαιτέρω ανάπτυξη της θαλάσσιας αιολικής ενέργειας στον τομέα της βιώσιμης ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος.

## Βιβλιογραφία

- [1] Myhr, A., Bjerkseter, C., Ågotnes, A. & Nygaard, T. A., 2014. Levelised cost of energy for offshore floating wind turbines in a life cycle perspective. *Renewable Energy*, Volume 66, pp. 714-728.
- [2] Rouxel, N., n.d. DNV. [Online] Available at: <https://www.dnv.com/article/floating-substations-the-next-challenge-on-the-path-to-commercial-scale-floating-windfarms-199213> [Accessed 12 July 2022].
- [3] WindEurope, n.d. [Online] Available at: <https://windeurope.org/about-wind/history/timeline/one-of-the-first-wind-turbines-2-2-2-2-2-2/> [Accessed 12 July 2022].
- [4] Global Wind Energy Council, n.d. Global Wind Energy Council. [Online] Available at: <https://gwec.net/> [Accessed 2022 July 12]
- [5] WindEurope, 2021. WindEurope. [Online] Available at: <https://windeurope.org/newsroom/news/offshore-wind-is-coming-to-greece/> [Accessed 10 February 2022].
- [6] Carbon Trust, n.d. [Online] Available at: <https://www.carbontrust.com/> [Accessed 12 July 2022].
- [7] Αθανασιάδης, Γ. Γ., 2015. Ανάλυση Πλωτών Ανεμογεννητριών, s.l.: s.n.
- [8] Hellenic Navy Hydrographic Service. Available online: [https://www.hnhs.gr/el/?option=com\\_opencart&Itemid=269&route=common/home/](https://www.hnhs.gr/el/?option=com_opencart&Itemid=269&route=common/home/) (accessed on 12 July 2018).
- [9] Hellenic Centre for Marine Research. Available online: <http://www.hcmr.gr/el/> (accessed on 12 July 2018).
- [10] Mathern, A.; von der Haar, C.; Marx, S. Concrete Support Structures for Offshore Wind Turbines: Current Status, Challenges, and Future Trends. *Energies* 2021, 14, 1995. <https://doi.org/10.3390/en14071995> .
- [11] European statistical service: Eurostat. Available online: <https://ec.europa.eu/eurostat/> (accessed on 23 August 2018).
- [12] GEODATA: Digital data. Available online: <https://web.archive.org/web/20180315103323/http://geodata.gov.gr/> (accessed on 15 March 2018).
- [13] EMODnet: Your gateway to marine data in Europe. Available online: <http://www.emodnet-humanactivities.eu/view-data.php/> (accessed on 15 July 2018).
- [14] Hellenic Ornithological Society. Available online: <http://www.ornithologiki.gr/> (accessed on 10 July 2018).
- [15] MarineTraffic: Global Ship Tracking Intelligence | AIS Marine Traffic. Available online: <https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:25.7/centery:36.3/zoom:11> (accessed on 6 July 2018).
- [16] Technical Chamber of Greece: Official seismic hazard map.
- [17] Πλούταρχος Γ. Μαρίνης, 2021, Μεθοδολογία Χωροθέτησης Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου με Χρήση Μεθόδων GIS και Αξιολόγησή του για Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών της νήσου Ρόδου, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών.
- [18] Κανελλάς, Π., 2016. Μελέτη Εγκατάστασης Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου 240MW στον κόλπο της Αλεξανδρούπολης, s.l.: s.n.
- [19] “Quest Floating Wind Energy”, [Online]. Available: <http://questfwe.com/>. [Accessed May 2021]
- [20] Navantia, “Navantia WindFloat Atlantic video,” Navantia, 2 July 2020. [Online]. Available: [https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=bekqd3z\\_tws](https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=bekqd3z_tws). [Accessed September 2021].
- [21] The Carbon Trust, “Floating Wind Joint Industry Project Phase 1 Summary Report,” 2018.

- [22] B. Ideol. [Online]. Available: <https://www.bw-ideol.com/en>. [Accessed May 2021].
- [23] Offshorewind.biz, “Offshorewind.biz Foundations for FOW ready to load out,” September 2020. [Online]. Available: <https://www.offshorewind.biz/2020/09/21/foundations-for-worlds-largest-floating-wind-farm-ready-for-load-out/>. [Accessed September 2021].
- [24] Lisnave Estaleiros Navais S.A, “trusteddocks.com,” [Online]. Available: <https://www.trusteddocks.com/shipyards/6404-lisnave-estaleiros-navais-s-a#equipment>.
- [25] Principle Power, “Business2Sea Ocean observation and Marine Technologies,” November 2019. [Online]. Available: <http://business2sea.org/wp-content/uploads/2020/04/Clara-de-Moura-Santos-Principle-Power.pdf>. [Accessed September 2021].
- [26] Engie, “WindFloat Atlantic platform departs for final destination off the coast of Portugal,” Engie, [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=jA4w1q3kwbo>.
- [27] Energyfacts.eu, “www.energyfacts.eu,” November 2020. [Online]. Available: <https://www.energyfacts.eu/first-ever-v164-9-5-mw-turbine-installed-on-a-floating-wind-project/>. [Accessed September 2021].
- [28] offshorewind.biz, “offshorewind.biz Floating Foundation for Kincardine,” October 2020. [Online]. Available: <https://www.offshorewind.biz/2020/10/15/first-floating-foundation-for-kincardine-9-6-mw-turbines-arrives-in-rotterdam/>. [Accessed September 2021].
- [29] “Windfair.net,” [Online]. Available: [https://w3.windfair.net/uploads/notice/preview/32120/edpr\\_20190718.jpg](https://w3.windfair.net/uploads/notice/preview/32120/edpr_20190718.jpg).
- [30] Transporte XXI, “www.transportexxi.com” May 2020. [Online]. Available: <https://www.transportexxi.com/ferrol-despide-la-tercera-turbina-de-windfloat-atlantic/>. [Accessed September 2021].
- [31] Efthimiou, L., Mehta, A. & WFO, 2022. World Forum Offshore Wind. [Online] Available at: <https://wfo-global.org/crash-course-floating-offshore-wind-a-blog-series/> [Accessed 14 February 2023].
- [32] DNV, 2022. *Comparative study of concrete and steel substructures for FOWT. (Διαθέσιμο έπειτα από σχετικό αίτημα στον συντάκτη)*
- [33] Ideol S.A., Choisnet, T., Geschier, B. & Vetrano, G., 2016. INITIAL COMPARISON OF CONCRETE AND STEEL HULLS IN THE CASE OF IDEOL’S SQUARE RING FLOATING SUBSTRUCTURE.
- [34] Ship&Bunker, Global 20 Ports Average Bunker Prices - Ship & Bunker (shipandbunker.com), information [Accessed 3 February 2022].
- [35] Stümpel, Marina & Marx, Steffen. (2017). An Innovative Hybrid Substructure Made of High-Strength Concrete and Ductile Cast Iron for Offshore Wind Turbines.
- [36] Denis Matha, Christopher Brons-Illig, Alexander Mitzlaff, Ron Scheffler, Fabrication and installation constraints for floating wind and implications on current infrastructure and design, Energy Procedia, Volume 137, 2017, Pages 299-306, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.354>.
- [37] The Constructor, n.d. The Constructor - Building Ideaw. [Online] Available at: <https://theconstructor.org/structures/types-of-offshore-concrete-structures/15415/>
- [38] Présentation du Chantier de Construction de la Première Eolienne en Mer en France; Bouygues Travaux Publics: Paris, France, 2017.
- [39] Jestin, N.; Modiano, P.; Bigard, R.; Cremona, C.; Dumas, B. Floatgen – Design and Construction of the First FloatingWind Turbine in France. In Proceedings of the 40th IABSE Symposium, Nantes 2018: Tomorrow’s Megastructures, Nantes, France, 19–21 September 2018; pp. S15-59–S15-66.

- [40] Hannon, M.; Topham, E.; Dixon, J.; Mcmillan, D.; Collu, M. Offshore Wind, Ready to Float? Global and UK Trends in the Floating Offshore Wind Market; University of Strathclyde: Glasgow, UK, 2019.
- [41] Equinor ASA. Construction Starts on the World's Largest Floating Offshore Wind Farm—Equinor.com. Available online: <https://www.equinor.com/en/news/20201001-construction-start-hywind-tampen.html> (accessed on 5 December 2020).
- [42] Publications Office of the European Union. Floating offshore wind optimization for commercialization—FLAGSHIP Project, H2020, CORDIS, European Commission. Available online: <https://cordis.europa.eu/project/id/952979> (accessed on 3 December 2020).
- [43] Tanaka, K.; Sato, I.; Utsunomiya, T.; Kakuya, H. Validation of Dynamic Response of a 2-MW Hybrid-spar Floating Wind Turbine during Typhoon Using Full-scale Field Data. *Ocean Eng.* 2020, 218, 108262. [CrossRef]
- [44] NSAI Standards. CEN. Concrete—Specification, Performance, Production and Conformity. Available online: [https://infostore.saiglobal.com/preview/98704302873.pdf?sku=878211\\_SAIG\\_NSAI\\_NSAI\\_2087062](https://infostore.saiglobal.com/preview/98704302873.pdf?sku=878211_SAIG_NSAI_NSAI_2087062) (accessed on 1 April 2021).
- [45] Fib Model Code for Concrete Structures 2010; International Federation for Structural Concrete (FIB): Lausanne, Switzerland, 2013; ISBN 978-3-433-03061-5.
- [46] Jestin, N.; Modiano, P.; Bigard, R.; Cremona, C.; Dumas, B. Floatgen – Design and Construction of the First Floating Wind Turbine in France. In Proceedings of the 40th IABSE Symposium, Nantes 2018: Tomorrow's Megastructures, Nantes, France, 19–21 September 2018; pp. S15-59–S15-66.
- [47] Bulletin 51: Structural Concrete—Textbook on Behaviour, Design and Performance, 2nd ed.; Balázs, G.L. (Ed.) International Federation for Structural Concrete (FIB): Lausanne, Switzerland, 2009; ISBN 978-2-88394-091-8.
- [48] Stümpel, M.; Marx, S.; Schaumann, P.; Seidl, G.; Göhlmann, J. An Innovative Hybrid Substructure for Offshore Wind Turbines. In Proceedings of the 27th International Ocean and Polar Engineering Conference, San Francisco, CA, USA, 25-30 June 2017; International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE): Mountain View, CA, USA, 2017; pp. 1003–1010.
- [49] Abbas, S.; Nehdi, M.L.; Saleem, M.A. Ultra-High Performance Concrete: Mechanical Performance, Durability, Sustainability and Implementation Challenges. *Int. J. Concr. Struct. Mater.* 2016, 10, 271–295. [CrossRef]
- [50] Kaldellis, J., Apostolou, D., Kapsali, M. & Kondili, E., 2016. Environmental and social footprint of offshore wind energy. Comparison with onshore counterpart. *Renewable Energy*, pp. 543-556.
- [51] ICF. 2021. Comparison of Environmental Effects from Different Offshore Wind Turbine Foundations. U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management, Headquarters, Sterling, VA. OCS Study BOEM 2021-053. 48 pp.
- [52] Norwegian Oil and Gas Association, 2020., Handbook – Impact assessment for offshore decommissioning, 01.06.2020
- [53] English, P.A., T.I. Mason, J.T. Backstrom, B.J. Tibbles, A.A. Mackay, M.J. Smith, and T. Mitchell. 2017. Improving Efficiencies of National Environmental Policy Act Documentation for Offshore Wind Facilities Case Studies Report. US Department of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management, Office of Renewable Energy Programs; OCS Study – BOEM 2017-026. March. Prepared by Fugro Marine GeoServices, Inc. and Fugro GB Marine Ltd., under BOEM Contract M16PC00007.3
- [54] TEPNA ΕΝΕΠΓΕΙΑΚΗ, 2022



- [55] Sofia Spyridonidou, Dimitra G. Vagiona, & Eva Loukogeorgaki, « Strategic Planning of Offshore Wind Farms in Greece», Sustainability – MDPI, Published: 26 January 2020
- [56] Submarine Cable Map, [Online], Accessed on 10 June 2023, <https://www.submarinemap.com/>.
- [57] Wind Europe – European Offshore Wind Farms Map Public, [Online], Accessed on 10 June 2023, <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/european-offshore-wind-farms-map-public/>.
- [58] Πανώρη Αναστασία, 2010, «HVDC Συστήματα Μεταφοράς Ενέργειας» - Διπλωματική Εργασία, ΑΠΘ
- [59] Ηλιοπούλου Γεωργία, 2018, «Υπογειοποίηση καλωδίων υψηλής και υπερύψηλης τάσης με χρήση λογισμικού γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων και έμφαση στους γεωκινδύνους» - Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ