



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΙ
ΠΡΑΣΙΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Κρεμμύδας Άγγελος

A.M.: 07503

Επιβλέπων: Δημήτριος Στημονιάρης, Αναπληρωτής Καθηγητής

(Υπογραφή)

.....

ΚΡΕΜΜΥΔΑΣ ΑΓΓΕΛΟΣ

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Τ.Ε., ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

© 2012 – All rights reserved

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι **θαλάσσιες ανεμογεννήτριες**, είναι πλέον από τα ιδανικότερα συστήματα εκμετάλλευσης του ανέμου, καθώς θεωρούνται **τα πιο αποδοτικά συστήματα**. Το σύστημα αυτό μπορεί να προσφέρει **μεγάλες ποσότητες ενέργειας** και παράλληλα **μεγάλη οικονομία**. Η παρακάτω πτυχιακή εργασία στοχεύει στην κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του συστήματος σχετικά με την **ανέγερση – κατασκευή θαλάσσιων ανεμογεννητριών**, αλλά και την ένταξή του πλέον παγκοσμίως στην πράσινη ενέργεια. Η πράσινη ενέργεια είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς αφήνουμε **ένα μέλλον «καθαρό»** και χωρίς μόλυνση η οποία χρόνο με τον χρόνο επηρεάζει τον πλανήτη μας. Συνολικά η πράσινη ενέργεια θα προσφέρει και εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση κόστους από τα νοικοκυριά – απλές οικίες μέχρι και τις τεράστιες βιομηχανίες

ABSTRACT

Marine wind turbines are now one of the most ideal wind systems, as they are considered the most efficient systems. This system can offer large amounts of energy and at the same time great economy. The following dissertation aims to understand how the system works in relation to the construction - construction of marine wind turbines, but also its integration worldwide in green energy. Green energy is particularly important, as we leave a "clean" and pollution-free future that affects our planet year after year. Overall, green energy will also provide savings energy and cost reduction from household-simple homes to huge industries.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας τις σπουδές μου με την παρούσα πτυχιακή εργασία, θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Δημήτριο Στημονιάρη για την υποστήριξη του στην προσπάθειά μου να ολοκληρώσω την πτυχιακή μου εργασία. Επίσης, ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου, τους αξιότιμους καθηγητές μου, και τους συμφοιτητές μου που με στήριξαν σε όλο αυτό το ταξίδι της μόρφωσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.....	1
πτυχιακή εργασία	1
Περίληψη.....	3
Abstract	4
Ευχαριστίες	5
Πίνακας Περιεχομένων	6
Πίνακας Εικόνων.....	7
Κατάλογος Πινάκων.....	8
Εισαγωγή.....	9
Κεφάλαιο 1 : Ανανεώσιμες & Πράσινες μορφές ενέργειας.....	10
1.1 Ανανεώσιμη ενέργεια και οι μορφές της.....	10
1.2 Εφαρμογές – Οφέλοι των ΑΠΕ & Πράσινης ενέργειας.....	11
1.3 Ιστορική αναδρομή – εξέλιξη των ανεμογεννητριών.....	13
1.4 Δομή και λειτουργίας ανεμογεννήτριας	15
1.4.1 Μέρη ανεμογεννήτριας.....	16
1.4.2 Τύποι και συστήματα ανεμογεννητριών.....	18
Κεφάλαιο 2: Θαλάσσιες Ανεμογεννήτριες	20
2.1 Εισαγωγή στις θαλάσσιες ανεμογεννήτριες	20
2.2 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα.....	21
2.3.1 Υπολογισμός συνθηκών ανέμου - Θάλασσας	24
2.4 Σχεδίαση βασισμένη στην κινητική ενέργεια.....	29
2.4.1 Ελαχιστοποίηση κόστους βάση σχεδιασμού	29
2.5 Θεμελίωση & φορέας στήριξης υπεράκτιων ανεμογεννητριών	30
Κεφάλαιο 3 : Ηλεκτρολογική υποδομή offshore wind	34
3.1 Offshore wind σύστημα τροφοδοσίας	34
3.1.1 Μοντέλο και σχεδιασμός καλωδίων.....	37
3.2 Υποθαλάσσιοι & Επίγειοι Υποσταθμοί - (Offshore & Onshore Substations)	39
3.3 Συνολική βασική δομή εξοπλισμού.....	43
3.4 Οικονομική μελέτη.....	44
Κεφάλαιο 4 : London Array offshore wind project	49
4.1 Γενικές πληροφορίες για το έργο London Array ισχύος 630 MW.....	49
4.2 Σχεδιασμός - μεταφορά και εγκατάσταση.....	51
Κεφάλαιο 5 : Net zero & Πράσινη ενέργεια	55
5.1 Net Zero – Χρησιμότητα στον πλανήτη μας	55
5.3 Υποδομές πράσινης ενέργειας.....	59
Κεφάλαιο 6 : Συμπεράσματα	63
Βιβλιογραφία.....	66

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Αιολικό και φωτοβολταϊκό πάρκο (Πηγή : Energia.gr).....	10
Εικόνα 2 ΑΠΕ (Πηγή : apoihtosxoleio.weebly.com).....	11
Εικόνα 3 Ανεμογεννήτρια "Σιστάν" Πηγή : (Wikipedia).....	14
Εικόνα 4 Ανεμογεννήτρια 1887 Πηγή: (Wikipedia).....	14
Εικόνα 5 Δομή Ανεμογεννήτριας (Πηγή : cea.org.cy).....	15
Εικόνα 6 Μέρη κινητήρα ανεμογεννήτριας (Πηγή: okeanis.lib.puas)	17
Εικόνα 7 Βασικά μέρη εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας (Πηγή: apelepalsyrou.weebly.com	18
Εικόνα 8 Θαλάσσιο πάρκο ανεμογεννητριών (Πηγή: Energypress).....	20
Εικόνα 9 Βασικά σχεδιασμού μελέτης (Πηγή: core.ac.uk:).....	23
Εικόνα 10 Φορείς στήριξης (Πηγή: tuffgroup)	30
Εικόνα 11 Μέθοδοι θεμελίωσης (Πηγή: researchgate.net)	31
Εικόνα 12 Σύστημα θαλάσσιας παλασόμπιξης Drilled and grouted piles (Πηγή :offshorewind.biz micropiling-technology)	32
Εικόνα 13 Σύστημα driven piles (Πηγή: sp.dotd.la.go Engineering Pacement Geotechnical)	32
Εικόνα 14 Vibration system (Πηγή: offshorewind.biz vibrations-iwe)	33
Εικόνα 15 : Υποθαλάσσιο καλώδιο (Πηγή : escaeu.org/articles/submarine-power-cables)	35
Εικόνα 16 : Καλώδια M/T&Y/T (Πηγή : Nexans_Offshore_Wind_Farm)	36
Εικόνα 17: Καλώδια συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος (Πηγή :abb.com_ wind_submarine-power-cables--cables-for-offshore-wind-farms)	36
Εικόνα 18: Θαλάσσιος Υποσταθμός (Πηγή : ramboll.com/ transformer-platforms).....	40
Εικόνα 19: Μετασχηματιστής Y/T για offshore wind (Πηγή : siemens energy.com/global/en/offersings/references/hv-products-for-offshore-wind).....	42
Εικόνα 20: Εικόνα 21: Κύριο σύστημα λειτουργίας θαλάσσιας ανεμογεννήτριας (Πηγή : https://www.sciencedirect.com/)	43
Εικόνα 21: Οικονομική ανάπτυξη Θ.Α (Πηγή : https://www.energy.gov/eere/wind/offshore-wind)..	45
Εικόνα 22: London array Πάρκο Θαλάσσιων Ανεμογεννητριών .(Πηγή alchetron.com/London-Array)	49
Εικόνα 23: Τοποθεσία London Array & Χαρακτηριστικά (Πηγή : London_Arrye_UK.pdf)	50
Εικόνα 24: Χαρακτηριστικά offshore Ανεμογεννήτριας Siemens (Πηγή : pdf.archiexpo.com/pdf/siemens-gamesa/swt-36-120).....	51
Εικόνα 25: Τοποθεσία τροφοδοσίας (Πηγή : londonarray.com/wp-content/uploads/2020/07/Non-technical-summary.pdf).....	52
Εικόνα 26: Project planning (Πηγή : londonarray.com/wp-content/uploads/2020/07/Non-technical-summary.pdf)	53
Εικόνα 27: Αποσπάσματα εικόνων κατά την διάρκεια εργασιών (Πηγή : https://www.yumpu.com/en/document/read/37977036/london-array-celebrates-as-final-turbine-is-installed).....	54
Εικόνα 28: Πράσινη Ενέργεια (Πηγή : https://www.prysmiangroup.com/)	57
Εικόνα 29: Πράσινη Ενέργεια με διάφορες μορφές (Πηγή : https://www.dreamstime.com/green-energy-banner-solar-wind-hydro-power-eco-set-technology-ecology	57
Εικόνα 30: Σύστημα Θαλάσσιας ανεμογεννήτριας με Παραγωγή-Διανομή Υδρογόνου (Πηγή : www.offshore-mag.com).....	61
Εικόνα 31: Πράσινη Ενέργεια (Πηγή : weforum.org/agenda/2021/04/renewable-energy-storage)	62

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Συγκριτικές τιμές συστήματος εγκατάστασης (Πηγή : research.net /figure/Share-of-foundation-types-offshore -wind-turbine).....	33
Πίνακας 2 Ποσοστό νέων εγκαταστάσεων από 2006 έως 2030 (Πηγή : weforum.org/agenda/2020/08/offshore-wind-energy-growth-energy-transition	47
Πίνακας 3 Ποσοστιαία έξοδα (Πηγή : link.springer.com).....	48

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι **θαλάσσιες ανεμογεννήτριες** και η **πράσινη ενέργεια**, θα καθορίσει το μέλλον της ενεργειακής οικονομίας και θα αποτελέσει καθοριστικό ρόλο στην παγκόσμια προσπάθεια της μείωσης των ρύπων και της επιβίωσης του περιβάλλοντος και κατ' επέκταση του πλανήτη μας. Παγκοσμίως πραγματοποιούνται από πολλούς φορείς (εταιρίες, βιομηχανίες, οργανισμούς κλπ.), **project** με σκοπό την **ανάπτυξη του τρόπου λειτουργίας** των θαλάσσιων ανεμογεννητριών και παράλληλα την **μείωση του κόστους εγκατάστασης**. Οι θαλάσσιες ανεμογεννήτριες ανοίγουν τους ορίζοντες παγκοσμίως για την **μείωση ρύπων** μέσω της πράσινης ενέργειας και των συνδυασμών που αυτή μπορεί να αποτελέσει!

Κεφάλαιο 1 : Ανανεώσιμες & Πράσινες μορφές ενέργειας



Εικόνα 1: Αιολικό και φωτοβολταϊκό πάρκο (Πηγή : Energia.gr)

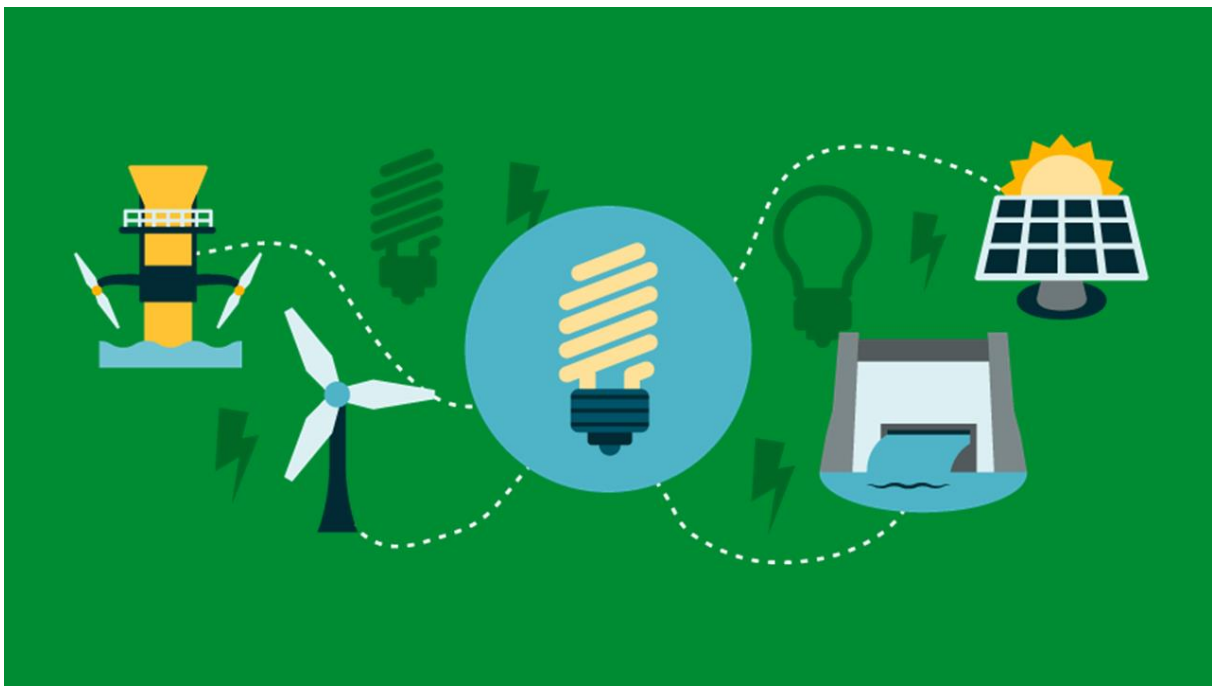
1.1 Ανανεώσιμη ενέργεια και οι μορφές της

Καθώς οι ενεργειακές ανάγκες αυξάνονται, αντίστοιχα αυξάνονται οι ανάγκες μας για πιο καθαρές και πράσινες πηγές ενέργειας. Για να έρθει εις πέρας αυτό κατασκευάζονται παγκόσμια δομές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι οι εναλλακτικοί τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς την χρήση συμβατικών καυσίμων, και ως εκ τούτου διαθέτουν τρία βασικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα:

- **Δεν εξαρτώνται από πόρους που εξαντλούνται.**
- **Δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον**, καθώς δεν απαιτείται η καύση τους και δεν προκαλούν άλλου είδους απόβλητα.
- **Δεν απαιτούν εξόρυξη ή άντληση**, άρα δεν παρεμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον.

Επιπρόσθετα, οι ποικίλες μορφές των ΑΠΕ δίνουν την δυνατότητα εφαρμογής τους, τόσο σε **περισσότερα μέρη**, όσο και στην δυνατότητα δημιουργίας τους με **διαφορετικό κεφάλαιο**. Οι μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι οι εξής:

- **Αιολική Ενέργεια**
- **Υδραυλική Ενέργεια**
- **Βιομάζα**
- **Βιοαέριο**
- **Ηλιακή Ενέργεια**
 - Ενεργητικά ηλιακά συστήματα
 - Βιοκλιματικός σχεδιασμός και παθητικά ηλιακά συστήματα
 - Φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα (Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα)
- **Γεωθερμική Ενέργεια**
- **Κυματική και Παλιρροιακή Ενέργεια**



Εικόνα 2: ΑΠΕ (Πηγή : anoixtosxoleio.weebly.com)

1.2 Εφαρμογές – Οφέλοι των ΑΠΕ & Πράσινης ενέργειας.

Ο τομέας της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση των ΑΠΕ, αποτελεί έναν από τους πιο δυναμικούς και ταχέως αναπτυσσόμενους τομείς της παγκόσμιας οικονομίας, δεδομένου ότι χαρακτηρίζεται από:

- Τη χρονική δέσμευση και υποχρέωση μεγάλης αύξησης παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ, προκειμένου να επιτευχθούν οι συμβατικές υποχρεώσεις της χώρας μας ως προς την **αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής**.
- Το **υψηλό εκμεταλλεύσιμο δυναμικό ΑΠΕ** (αιολικό, υδροηλεκτρικό, ηλιακό, βιομάζα κ.α.) που μπορεί να αξιοποιηθεί υπό τεχνικοοικονομικά ανταγωνιστικούς και βιώσιμους όρους.
- Τη σταδιακή **εξάντληση των αποθεμάτων** των συμβατικών ενεργειακών πόρων (λιγνίτη, πετρέλαιο, φυσικό αέριο).
- Την **ανάπτυξη** αξιόπιστων και εμπορικά ώριμων και ανταγωνιστικών **τεχνολογικών εφαρμογών** για την οικονομική εκμετάλλευση των ανεξάντλητων πόρων, με σεβασμό προς το περιβάλλον. Η **πράσινη ενέργεια** εξασφαλίζει τα ακόλουθα **οφέλη** για το περιβάλλον, την οικονομία αλλά και τις τοπικές κοινωνίες:
- **Περιορισμός των εκπομπών αερίων και λοιπών ρύπων** (CO₂, NO_x, SO₂ κλπ) και κατά συνέπεια περιορισμός των γνωστών καταστροφικών συνεπειών τους στο περιβάλλον.
- **Ελάττωση της εξάρτησης της παραγωγής ενέργειας** από εισαγόμενα συμβατικά καύσιμα, αλλά και η ορθολογικότερη διαχείριση των συμβατικών ενεργειακών πόρων, όπως ο λιγνίτης.
- Εγκατάσταση της παραγωγής ενέργειας **κοντά στην κατανάλωση**, με ευεργετικές συνέπειες τόσο στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού, όσο και στην ενεργειακή αποδοτικότητα.
- Δημιουργία **νέων θέσεων εργασίας**, τόσο κατά την κατασκευή όσο και κατά την λειτουργία έργων ΑΠΕ, σε περιφερειακό και τοπικό επίπεδο.

Με τον όρο πράσινη ενέργεια εννοούμε τον τύπο ενέργειας ο οποίος παράγεται από φυσικές πηγές όπως είναι η ηλιοφάνεια, ο άνεμος και το νερό. Προσεγγίζει θα μπορούσαμε να πούμε τον όρο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχοντας βέβαια μία διαφορά την οποία θα εξηγήσουμε παρακάτω. Το κλειδί για τον συγκεκριμένο τύπο ηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι δεν βλάπτει το περιβάλλον και αυτό επιτυγχάνεται όταν δεν επηρεάζεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου όπου επηρεάζεται από αέρια που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα.

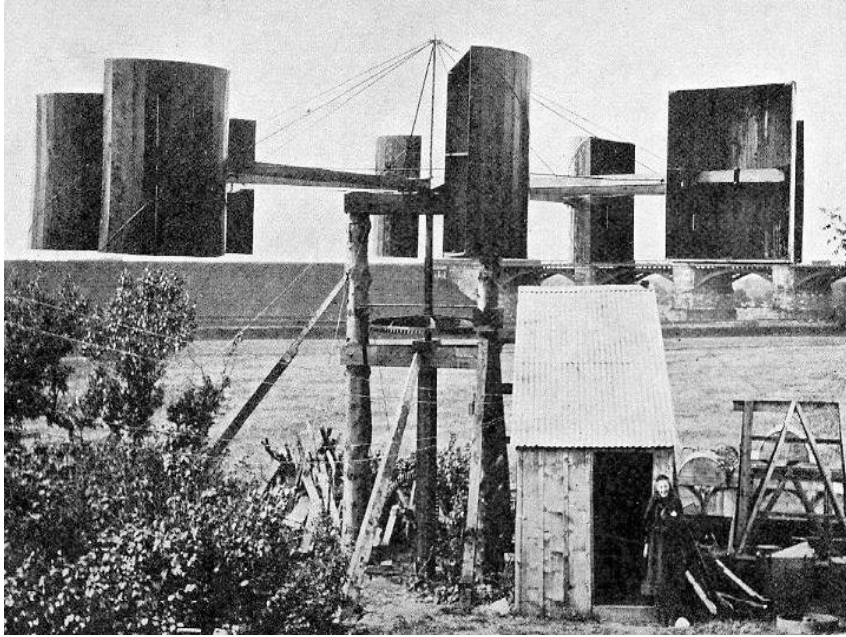
Σαν πηγή ενέργειας χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο σύστημα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως είναι τα φ/β συστήματα, οι ανεμογεννήτριες, η γεωθερμική ενέργεια, η βιομάζα και τα υδροηλεκτρικά.

Με σκοπό να μπορεί μια ενέργεια να θεωρείται πράσινη ενέργεια δεν πρέπει να παράγει ρύπανση όπως των ορυκτών καυσίμων. Αυτό σημαίνει πως δεν θεωρούνται όλες οι πηγές οι οποίες χρησιμοποιούνται σαν ανανεώσιμες, πράσινη ενέργεια. Για παράδειγμα μία γεννήτρια ισχύος η οποία καίει οργανικά υλικά από βιώσιμα δάση μπορεί να είναι ανανεώσιμη αλλά όχι απαραίτητα και πράσινη λόγω του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) όπου παράγεται από την διαδικασία καψίματος. Οι πηγές πράσινης ενέργειας που συνήθως χρησιμοποιούνται αναπληρώνονται σε αντίθεση με ορυκτά καύσιμα όπως το υγραέριο κλπ. Επίσης οι πράσινες πηγές ενέργειας αποφεύγουν τον συνδυασμό εργασιών του τύπου γεωτρήσεις είτε εξορύξεις . Η σημαντικότητα της Πράσινης Ενέργειας είναι ιδιαίτερα φανερή καθώς αντικαθιστά τα αρνητικά φαινόμενα με περισσότερα φιλικές προς το περιβάλλον αντιδράσεις. Πράγμα το οποίο σημαίνει ότι απελευθερώνουν κατά πολύ λιγότερο ποσοστό επικίνδυνα προς το περιβάλλον αέρια το οποίο με την σειρά του έχει σαν αποτέλεσμα την λιγότερη μόλυνση στο περιβάλλον αλλά και σε εμάς. Επίσης η πράσινη ενέργεια μπορεί να ηγηθεί ανάμεσα σε όλες τις τιμές χωρίς να επηρεάζεται από τις γεωπολιτικές κρίσεις. Το οικονομικό όφελος περιλαμβάνεται και στις θέσεις εργασίας ή αλλιώς τις νέες θέσεις που προέκυψαν από την τρομερή ανάπτυξη των κατασκευαστικών, μελετητικών και άλλων επιχειρήσεων. Οι ανανεώσιμες πηγές το 2018 παρουσίασαν παγκοσμίως την δημιουργία έντεκα εκατομμυρίων θέσεων εργασίας.

1.3 Ιστορική αναδρομή – εξέλιξη των ανεμογεννητριών

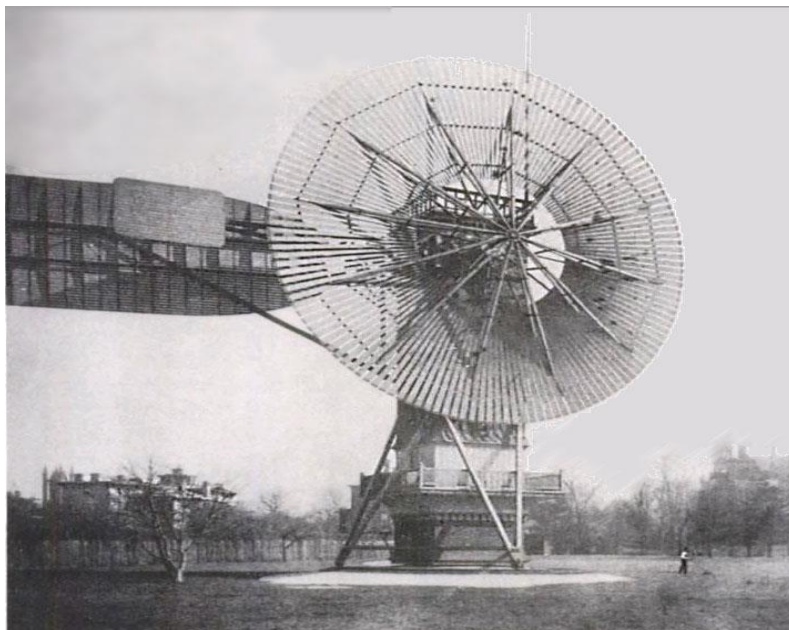
Με τον όρο ανεμογεννήτρια, αναφερόμαστε στην συσκευή η οποία **μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρισμό**. Ένα σύνολο ανεμογεννητριών αποτελεί ένα **αιολικό πάρκο**, το οποίο τροφοδοτεί με ενέργεια το ηλεκτρικό δίκτυο. Ορισμένες μάλιστα χώρες, έχουν κατασκευάσει αιολικά πάρκα με απώτερο σκοπό τη μείωση εκπομπής ρυπογόνων ουσιών και την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα.

Κάνοντας μια ιστορική αναδρομή, διαπιστώνουμε ότι η πρώτη εμφάνιση της αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη παρατηρήθηκε κατά την **περίοδο του Μεσαίωνα**. Στην **Εικόνα 3**, μπορούμε να δούμε την πρώτη κατασκευή, η οποία έγινε γνωστή στο Σιστάν. Αποτελούνταν από **ανεμόνια** τα οποία **ήταν μηχανές κατακόρυφου άξονα** που διαθέτανε **6 έως 12 ημικυλινδρικά πτερύγια**.



Εικόνα 3: Ανεμογεννήτρια "Σιστάν" Πηγή : (Wikipedia)

Η παρακάτω εικόνα της ανεμογεννήτριας που βλέπουμε στην εικόνα 4 δημιουργήθηκε το 1891 από τον Τζέιμς Μπλίθ. Συγκεκριμένα τον Ιούλιο του 1887 ανακαλύφθηκε από τον κ. Μπλίθ στην Σκωτία η πρώτη ανεμογεννήτρια παραγωγής ρεύματος όπου είχε την ικανότητα να φορτίζει μπαταρίες. Παρόλα αυτά, αξίζει να σημειωθεί πως η πρώτη αυτόματη ανεμογεννήτρια κατασκευάστηκε το 1887 από τον Τσάρλς Φ. Μπρας και είχε μόλις 18 μέτρα ύψος, ζύγιζε 4 τόνους και παρήγαγε 12 kW.



Εικόνα 4: Ανεμογεννήτρια 1887 Πηγή: (Wikipedia)

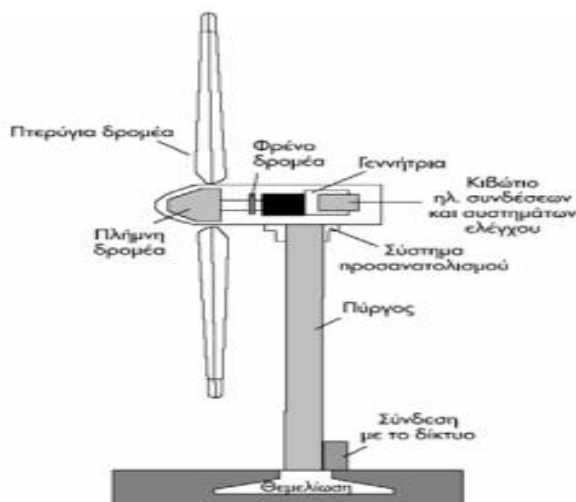
Κατά το πέρασμα των χρόνων παρατηρήθηκε υψηλή εξέλιξη όσο αναφορά τις Ανεμογεννήτριες, ιδιαίτερα στη Γιάλτα το 1931 δημιουργήθηκε μία σύγχρονη ανεμογεννήτρια που είχε δυνατότητα παραγωγής 100 kw με ύψος 30 μέτρων οποία ήταν συνδεδεμένη με τοπικό δίκτυο διανομής 6.3kv. Έπειτα, την δεκαετία του 1970 δημιουργήθηκε μεγάλο σάλο στην Δανία κατά την χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Εν κατακλείδι φτάνοντας στο 2012 η υψηλή δανέζικη εταιρία Vestas ήταν και είναι ο μεγαλύτερος κατασκευαστής ανεμογεννητριών .

1.4 Δομή και λειτουργίας ανεμογεννήτριας

Αξιόλογο είναι να αναφέρουμε τον τρόπο λειτουργίας, την δομή αλλά και τα είδη των ανεμογεννητριών στην παρούσα εποχή. Κατά κύριο λόγο 2 είναι τα βασικά είδη των ανεμογεννητριών με την ανεμογεννήτρια **οριζοντίου άξονα** να κυριαρχεί και να ακολουθεί αυτή του **κάθετου άξονα**. Με το πέρασμα του καιρού δοκιμάστηκαν πολλά είδη τύπων ανεμογεννητριών με σκοπό την καλύτερη ανάπτυξη και παραγωγή ωστόσο τα κύρια δομικά χαρακτηριστικά που επικρατούν ακόμη και σήμερα είναι τα εξής :

- Ο ρότορας
- Η γεννήτρια
- Ο πύργος
- Το σύστημα ελέγχου ταχύτητας.

Στην παρακάτω φωτογραφία μπορούμε να δούμε και να κατανοήσουμε καλύτερα την δομή μίας ανεμογεννήτριας .



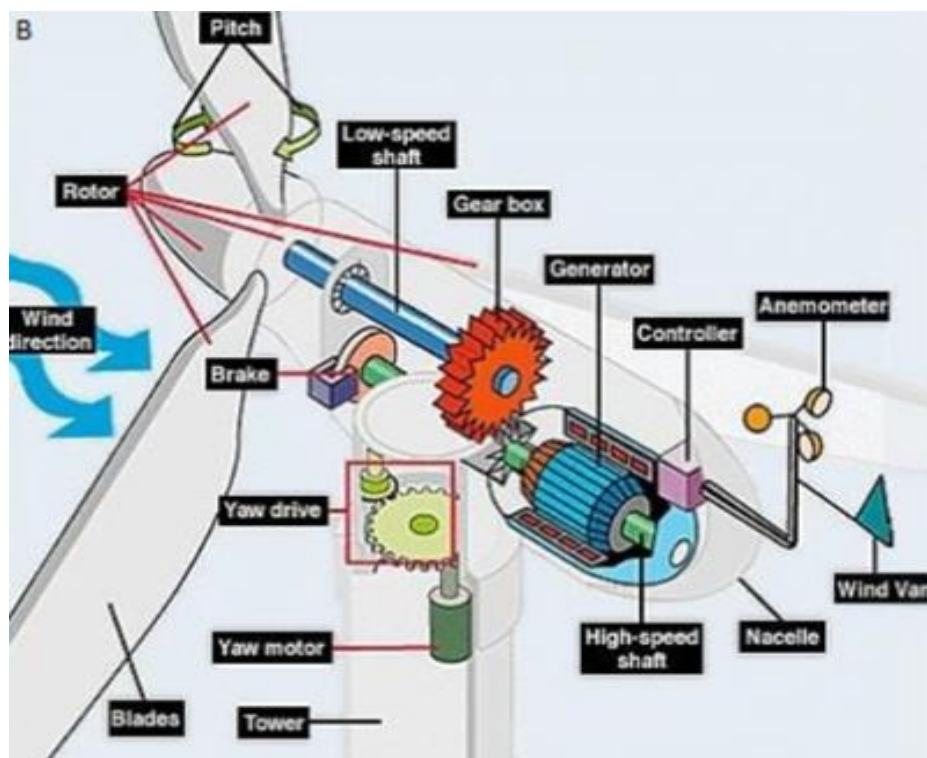
Εικόνα 5: Δομή Ανεμογεννήτριας (Πηγή : cea.org.cy)

1.4.1 Μέρη ανεμογεννήτριας

Πιο αναλυτικά όσο αναφορά τα κομμάτια – μέρη μίας ανεμογεννήτριας είναι τα εξής :

- **Ανεμόμετρο**: Όπου μπορεί να μετρήσει την ταχύτητα του ανέμου και να μεταφέρει τα συγκεκριμένα αρχεία σε κάποιο ελεγκτή.
- **Φρένο** : Η λειτουργία τους είναι μηχανική και χρησιμοποιείται σε περίπτωση ειδικής ανάγκης.
- **Πτερύγια**: Πιο σύνηθες αριθμός πτερυγίων είναι στα 2 με 3 πτερύγια. Σκοπός μέσω του ανέμου να δημιουργηθεί η άνοση (lift) όπου αυτό με την σειρά του φέρνει την λεγόμενη ροπή και εξαναγκάζει τα πτερύγια να περιστραφούν.
- **Ελεγκτής**: Ιδιαίτερος ο ρόλος του ελεγκτή, καθότι κατορθώνει την εκκίνηση του κινητήρια με 8-16 μίλια ανά ώρα και την βγάζει εκτός με 65 μίλια ανά ώρα.
- Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι ανεμογεννήτριες δεν μπορούν να αναπτύξουν ταχύτητα πάνω από τα 65 μίλια διότι η γεννήτρια τους μπαίνει σε κίνδυνο υπερθέρμανσης .
- **Κιβώτιο ταχυτήτων (Gearbox)**: Οι ταχύτητες συνδέουν τον άξονα χαμηλής ταχύτητας με τον άξονα υψηλής ταχύτητας και αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής από τις 30 με 60 στροφές ανά λεπτό στις 1200 με 1500 στροφές ανά λεπτό. Η ταχύτητα περιστροφής απαιτείται από τις περισσότερες γεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι ένα ακριβό (και βαρύ) μέρος μιας ανεμογεννήτριας και οι μηχανικοί μελετούν γεννήτριες οι οποίες θα λειτουργούν σε χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής και δε θα απαιτούνται κιβώτια ταχυτήτων.
- **Γεννήτρια (Generator)**: Συνήθως παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα 60 κύκλων.
- **Άξονας υψηλής ταχύτητας (High-speed Shaft)**: Οδηγεί τη γεννήτρια.
- **Άξονας χαμηλής ταχύτητας (Low-speed Shaft)**: Ο ρότορας κινεί τον άξονα χαμηλής ταχύτητας περίπου στις 30 με 60 στροφές ανά λεπτό.
- **Κέλυφος (Nacelle)**: Ο ρότορας συνδέεται με το κέλυφος, το οποίο βρίσκεται πάνω απ' τον πύργο και περιλαμβάνει το κιβώτιο ταχυτήτων, τους άξονες υψηλής και χαμηλής ταχύτητας, τη γεννήτρια, τον ελεγκτή και το φρένο. Ένα κάλυμμα προστατεύει τα μέρη εντός του κελύφους. Μερικά κελύφη είναι αρκετά μεγάλα ώστε να μπορεί ένας τεχνικός να κάθεται όρθιος μέσα σε αυτό ενώ δουλεύει.

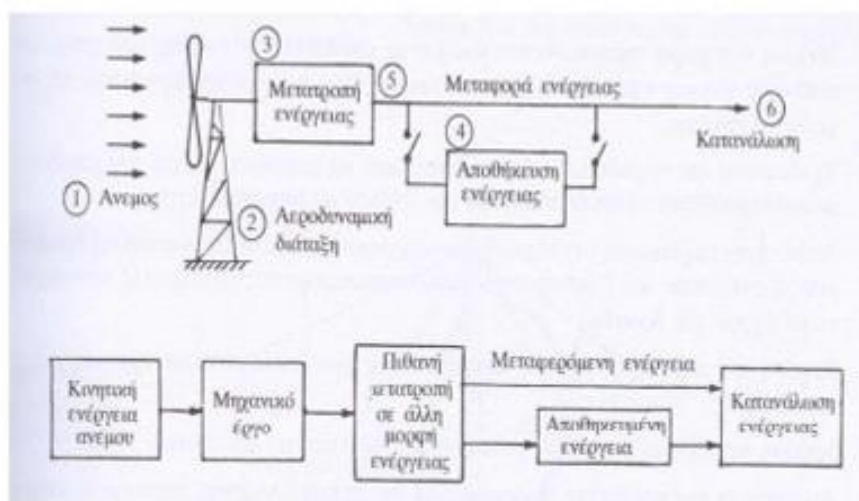
- **Κλίση (Pitch):** Τα περύγια έχουν τη δυνατότητα να γύρω από τον διαμήκη άξονά τους, ώστε να μειώνουν τα αεροδυναμικά φορτία (lift) πάνω στην περύγωση στις μεγάλες ταχύτητες του ανέμου και να τα μειώνουν στις μικρές ταχύτητες.
- **Ρότορας (Rotor):** Τα περύγια και το κεντρικό σημείο ονομάζονται ρότορας.
- **Πύργος (Tower):** Οι πύργοι είναι κατασκευασμένοι από χαλύβδινο κέλυφος ή χωροδικτύωμα. Επειδή η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος, οι υψηλοί πύργοι περιέχουν γεννήτριες που συλλέγουν περισσότερη ενέργεια και παράγουν περισσότερο ηλεκτρισμό.
- **Ανεμοδείκτης (Windvane):** Υπολογίζει την διεύθυνση και επικοινωνεί με τον οδηγό εκτροπής ώστε να προσανατολίζεται στον άνεμο.
- **Οδηγός εκτροπής (Yawdrive):** Φέρνει τις ανεμογεννήτριες προς τον άνεμο. Χρησιμοποιείται για να αφήνει το ρότορα να βρίσκεται προς τον άνεμο καθώς αυτός μεταβάλλεται. Οι ανεμογεννήτριες που λειτουργούν υπήνεμα δεν απαιτούν οδηγό εκτροπής. Ο άνεμος μόνος φέρνει υπήνεμα το ρότορα.
- **Κινητήρας εκτροπής (Yawmotor):** Δίνει ενέργεια στον οδηγό εκτροπής.



Εικόνα 6: Μέρη κινητήρα ανεμογεννήτριας (Πηγή: okeanis.lib.puas)

1.4.2 Τύποι και συστήματα ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες από την εποχή της εμφάνισής τους μέχρι σήμερα έχουν περάσει από πολλά στάδια εξέλιξης, τόσο ως προς τον τύπο τους (οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα) όσο και ως προς τα υποσυστήματά τους (περύγια, κιβώτιο ταχυτήτων, πύργος, αυτοματισμοί, γεννήτρια κ.λπ.). Εξελίξεις έχουν επίσης σημειωθεί και στον τρόπο δέσμευσης, αξιοποίησης, αποθήκευσης ή μεταφοράς της ενέργειας του ανέμου που μετατρέπεται από την ανεμογεννήτρια σε άλλη “αναβαθμισμένη” μορφή ενέργειας. Μια εικόνα των βασικών μερών που αποτελούν μια διάταξη εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας καθώς και της ροής ενέργειας.



Εικόνα 7: Βασικά μέρη εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας (Πηγή: ape1epalsyrou.weebly.com)

Η διάταξη αυτή είναι μία γενική περίπτωση όπου η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με τη βοήθεια μιας αεροδυναμικής διάταξης (π.χ. μιας έλικας). Το μηχανικό έργο με την σειρά του είναι εκμεταλλεύσιμο επί τόπου (π.χ. άντληση νερού). Στη γενικότερη όμως περίπτωση απαιτείται η μετατροπή του σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας, είτε γιατί δεν χρειαζόμαστε μόνο μηχανικό έργο, είτε γιατί ο τόπος της κατανάλωσης δεν συμπίπτει με τον τόπο που είναι εγκατεστημένη η ανεμογεννήτρια, δηλαδή απαιτείται η μεταφορά της δεσμευόμενης αιολικής ενέργειας. Σ’ αυτήν την περίπτωση η πιο πρόσφορη διάταξη είναι εκείνη που μετατρέπει το μηχανικό έργο σε άλλη μορφή ενέργειας,

που μπορεί να μεταφέρεται εύκολα και αποδοτικά στον τόπο κατανάλωσης. Εδώ και πολύ καιρό μάλιστα οι περισσότερες έρευνες στρέφονται προς την κατεύθυνση της μετατροπής του μηχανικού έργου του δρομέα της ανεμογεννήτριας σε ηλεκτρική ενέργεια, λόγω της εύκολης μεταφοράς της, ή της παραγωγής επί τόπου υδρογόνου (με ηλεκτρόλυση) που μπορεί να αποθηκευτεί ή να μεταφερθεί και να καεί ως αέριο καύσιμο. Η τελευταία περίπτωση αποτελεί την βέλτιστη από πολλές απόψεις πρόταση αξιοποίησης γενικότερα των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, δεδομένου ότι είναι οικολογικά αποδεκτή διότι με την καύση του υδρογόνου παράγεται μόνο νερό. Είναι γνωστές οι μεγάλες διακυμάνσεις της ενέργειας του ανέμου με τον χρόνο. Είναι επίσης γεγονός ότι πολλές φορές δεν πνέει καθόλου άνεμος για ορισμένα χρονικά διαστήματα. Αυτά έχουν ως συνέπεια χρονική ασυμφωνία μεταξύ ζήτησης και παραγωγής ενέργειας. Η λύση στο πρόβλημα βρίσκεται βασικά στην αποθήκευση της ενέργειας. Η αποθηκευμένη ενέργεια καλύπτει το ενεργειακό έλλειμμα που παρουσιάζεται, όταν η ισχύς του ανέμου πέφτει κάτω από ένα ορισμένο επίπεδο. Το επίπεδο αυτό εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά ενεργειακής ζήτησης και τα χαρακτηριστικά των άλλων πηγών ενέργειας που υπάρχουν για την ικανοποίηση της ζήτησης αυτής π.χ. “στιβαρότητα του ηλεκτρικού δικτύου”, είδος σταθμών παραγωγής κ.λπ. Σύμφωνα με τα προηγούμενα, ο βέλτιστος σχεδιασμός ενός πλήρους συστήματος εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας περιλαμβάνει:

- Μελέτη των ανέμων με σκοπό την εκλογή της βέλτιστης τοποθεσίας για την εγκατάσταση του άνεμο- κινητήρα και την πρόβλεψη της παραγωγής ενέργειας.
- Σχεδιασμός της αεροδυναμικής διάταξης, που να μετατρέπει κατά τον αποδοτικότερο τρόπο την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανικό έργο.
- Μελέτη της περίπτωσης μετατροπής του μηχανικού έργου σε άλλη πιο συμφέρουσα μορφή ενέργειας και βέλτιστο σχεδιασμό του συστήματος μετατροπής του μηχανικού έργου του δρομέα.
- Εύρεση του καλύτερου τρόπου αντιμετώπισης των διακυμάνσεων της ενέργειας του ανέμου.
- Μελέτη του βέλτιστου τρόπου μεταφοράς ενέργειας, αν απαιτείται.
- Διερεύνηση της καλύτερης προσαρμογής της μεταβαλλόμενης παραγωγής ενέργειας του συστήματος προς την κατανάλωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ



Εικόνα 8: Θαλάσσιο πάρκο ανεμογεννητριών (Πηγή: Energypress)

2.1 Εισαγωγή στις θαλάσσιες ανεμογεννήτριες

Οι θαλάσσιες ανεμογεννήτριες ή αλλιώς τα υπεράκτια αιολικά πάρκα θεωρούνται πλέον η κορυφαία προσπάθεια με σκοπό την συμβολή τους στην παραγωγή ενέργειας βάσει την εκμετάλλευση του ανέμου. Όπως κάθε ανανεώσιμη πηγή ενέργειας έτσι και η αιολική ενέργεια δεν ρυπαίνει το περιβάλλον κατά ένα μεγάλο ποσοστό σε σύγκριση με τον λιγνίτη, το πετρέλαιο. συγκεκριμένη μέθοδος έχει καθιερωθεί πλέον με σκοπό την νέα καινοτομία ανανεώσιμης πηγής ενέργειας η οποία είναι και η πιο κερδοφόρα. Το πρώτο θαλάσσιο πάρκο ανεμογεννητριών κατασκευάστηκε το 1991 στην Δανία και το κόστος εκτιμάτε ότι κυμαίνεται στα 10 εκατομμύρια. Αποτελούνταν από 11 τουρμπίνες όπου η κάθε μία έφτανε τα 450kW. Σε παγκόσμιο επίπεδο η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι σε χαμηλό επίπεδο ακόμα σε αντίθεση με της ανεμογεννήτριες ξηράς. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υπεράκτια αιολικά πάρκα βρίσκεται ακόμα σε χαμηλά επίπεδα σε σχέση με εκείνη που παράγεται από τα πάρκα της ξηράς, ενώ χαρακτηριστικό είναι ότι η Ευρώπη διαθέτει πάνω από το 90% της παγκόσμιας εγκατεστημένης υπεράκτιας αιολικής

2.2 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

Θα ήταν εξίσου αξιόλογο να αναφέρουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα :

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- 1) Έχουν συνήθως την μέγιστη καλύτερη παραγωγικότητα λόγω των θαλάσσιων ανέμων .
- 2) Η μεταφορά των υλικών και των εξαρτημάτων είναι πιο εύκολη σε σχέση με τα χερσαία αιολικά πάρκα .
- 3) Αποφεύγονται οι αντιδράσεις τοπικών κοινωνιών σε σχέση με τα χερσαία αιολικά πάρκα .

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- 1) Το κόστος κατασκευής τους είναι μεγαλύτερο σε σύγκριση με τα χερσαία αιολικά πάρκα .
- 2) Το κόστος συντήρησης είναι πιο υψηλό λόγω της δυσκολίας των συγκεκριμένων ανεμογεννητριών σε σχέση με τις χερσαίες.
- 3) Θα πρέπει να προνοηθεί η εγκατάσταση να μην παρεμποδίζει οποιεσδήποτε τουριστικές-μεταφορικές ναυσιπλοΐες.

2.3 Ανάλυση – μελέτη ηλεκτρομηχανολογικής δομής θαλάσσιων ανεμογεννητριών

Αυτό το κεφάλαιο εισάγει σχετικές πτυχές από τη διαδικασία σχεδιασμού **υπεράκτιων ανεμογεννητριών (OWTs)**. Ιδιαίτερη εντύπωση αποτελεί ο συνδυασμός μελετών που αποτελούν την πλήρη – ασφαλές παραγωγή μίας θαλάσσιας ανεμογεννήτριας. Μία τυπική δομή ενός πάρκου θαλάσσιων ανεμογεννητριών αποτελείται από ανεμογεννήτριες οι οποίες είναι τοποθετημένες στο νερό και συνδέονται με αρκετά μεγάλο σύστημα καλωδιώσεων σε θαλάσσιους σταθμούς μετασχηματιστών όπου με την σειρά τους οδηγούνται μέσω ενός υποθαλάσσιου καλωδίου στον σταθμό μετασχηματιστών (επίγειοι μετασχηματιστές) όπου από εκεί μεταφέρονται σε κάποιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα **O.W.T. (Offshore Wind Turbine)** είναι πολύπλοκα συστήματα που παρουσιάζουν σημαντικές αλληλεπιδράσεις των επιμέρους υποσυστημάτων, των φορτίων και του περιβάλλοντος. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν πολλές παραλλαγές στην πρακτική

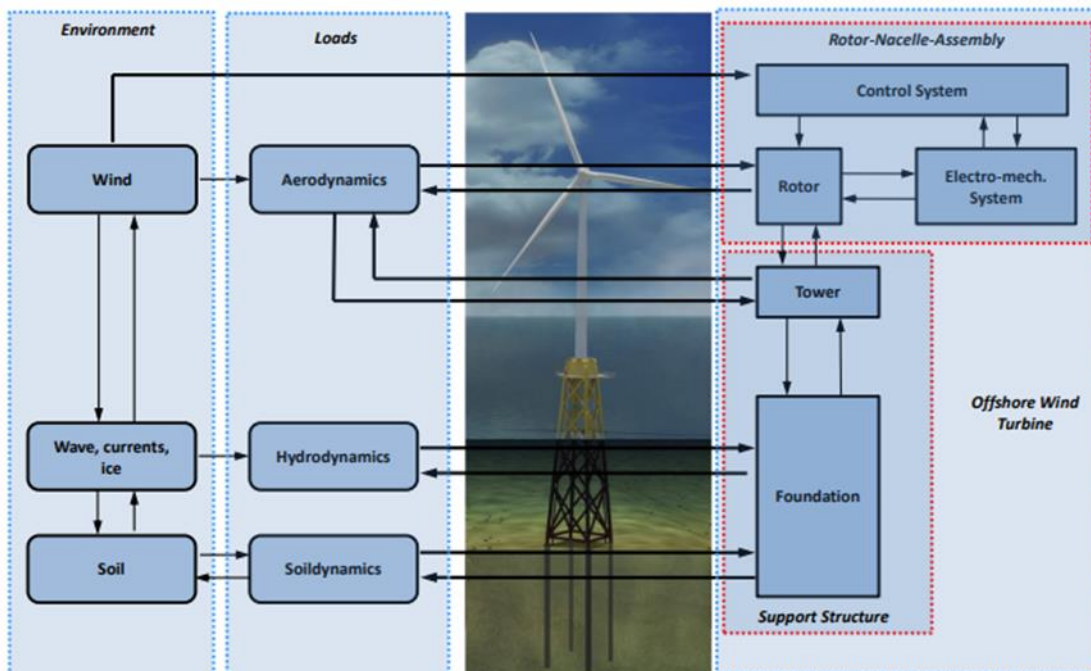
σχεδιασμού. Γενικά, αυτές οι παραλλαγές εξαρτώνται από το ίδιο το έργο τους περιορισμούς του και εμπλεκόμενα μέρη σχεδιασμού. Εξαιρετικά εξειδικευμένα εργαλεία σχεδιασμού και προσεγγίσεις που βασίζονται σε εμπειριστατωμένη τεχνογνωσία στους αντίστοιχους τομείς του απαιτείται τεχνολογία για έναν ασφαλή και οικονομικό σχεδιασμό των επιμέρους υποσυστημάτων. Ως εκ τούτου, ο σχεδιασμός τους είναι μια επαναληπτική διαδικασία που περιλαμβάνει πολυάριθμες εργασίες και περιλαμβάνει πολλούς ειδικούς για την κατασκευή στροβίλων (**WTM: Wind Turbine Generator**), σχεδιαστής θεμελίων (FD), ειδικοί στον τομέα των ωκεανών, ειδικός γεωτεχνίας, κατασκευαστής, εργολάβος εγκατάστασης και πιστοποίησης. Τα παρακάτω είναι οι παράγοντες οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη *n* και αφιερώνεται ιδιαίτερος χρόνος για την εκάστοτε μελέτη :

- Αεροδυναμική
- Υδροδυναμική
- Εδαφοδυναμική
- Σύστημα ελέγχου
- Rotor Electro-mech.
- Σύστημα
- Πύργος
- Rotor-Nacelle-Συναρμολόγηση
- θεμέλιο
- Άνεμος
- Κύμα, ρεύματα
- Πάγος
- Εδαφος
- Δομή Υποστήριξης
- Offshore Wind
- Τουρμπίνα
- Φορτία Περιβάλλοντος

Ωστόσο, ο σχεδιασμός των κύριων υποσυστημάτων, δηλαδή της θεμελίωσης, η συναρμολόγηση πύργου και ρότορα από διαφορετικά μέρη. Ως εκ τούτου, σε ορισμένα

σημεία κατά την διάρκεια του σχεδιασμού, τα μεμονωμένα μέρη σχεδιασμού πρέπει να περιλαμβάνουν επαρκή μοντέλα υποσυστημάτων, περιβαλλοντικών παραμέτρων και περιορισμών.

Οι πιο καινοτόμες προσεγγίσεις σχεδίασης στοχεύουν σε μια ισχυρότερη ενοποίηση μεμονωμένων πτυχών και υποσυστημάτων για διαδικασία σχεδιασμού.



Εικόνα 9: Βασικά σχεδιασμού μελέτης (Πηγή: core.ac.uk:)

Όσο αναφορά το κομμάτι σχεδιασμού, συνήθως ακολουθούνται κάποια βήματα που παίζουν σημαντικό ρόλο για την σωστό σχεδιασμό μίας θαλάσσιας ανεμογεννήτριας.

Βήμα 1: Επιλογή τοποθεσίας. Κύριος παράγοντας είναι η κατάλληλη επιλογή τοποθεσίας σε συνδυασμό με κριτήρια όπως την απόσταση από την στεριά, την αποφυγή εμπόδισης σε πλοία μεταφοράς, την απόσταση από τοπικά αεροδρόμια κ.α.

Βήμα 2 : Εκτίμηση εξωτερικών συνθηκών. Μία θαλάσσια ανεμογεννήτρια βασίζεται ιδιαίτερα στις συνθήκες περιβάλλοντος όπου είναι εκτεθειμένη , δηλαδή την δύναμη του αέρα των κυμάτων , την γεωλογία της τοποθεσίας .

Βήμα 3 :Σχεδιασμός φορτίου. Λόγω της θάλασσας οι συγκεκριμένες ανεμογεννήτριες έχουν διαφορετικό δυναμικό όπως επίσης και διαφορετικά ρεύματα φορτίου. Ο σχεδιασμός του φορτίου έχει να κάνει με μόνιμα είτε μεταβαλλόμενα “φορτία” που έχουν να κάνουν με το περιβάλλον .

Βήμα 3.1 : Μόνιμα φορτία : το βάρος της δομής, το βάρος του έρματος και του εξοπλισμού, την εσωτερική και εξωτερική υδροστατική πίεση

Βήμα 3.2 : Μεταβλητά φορτία: εκείνα τα οποία έχουν να κάνουν με το μέγεθος , την θέση την κατεύθυνση. Φορτία τα οποία προκύπτουν κατά την κατασκευή και εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας ταξινομούνται επίσης ως μεταβλητά . Πιο αναλυτικά και με βάση το πρότυπο IEC 61400-3 γίνονται κάποιοι υπολογισμοί και σύμφωνα και με κάποιες προβλέψεις για τον υπολογισμό φορτίου του ανέμου.

Θα μπορούσαμε να διακρίνουμε το φορτίο του ανέμου σε δύο κατηγορίες , **1) σε κανονικές συνθήκες ανέμου (normal wind conditions)** και **2) σε ακραίες συνθήκες (extreme wind conditions)**. Η τελική κατάληξη ενός προφίλ ταχύτητας ανέμου προκύπτει από την επαλληλία μέσου/ κανονικού προφίλ και με ένα προφίλ ριπής ανέμου ή αλλιώς τυρβώδους ροής. Ας αναλύσουμε καλύτερα τις συνθήκες ανέμου. Να λάβουμε υπόψιν την απόκλιση της διεύθυνσης του ανέμου +/- 15μοίρες από την αρχική διεύθυνση του.

2.3.1 Υπολογισμός συνθηκών ανέμου - Θάλασσας

1) NORMAL WIND PROFILE - NWP

Η αλλιώς κανονικές συνθήκες ανέμου υπολογίζεται απο τον τύπο :

$$V(z) = V_{hub} (Z/Z_{hub})^{\alpha}$$

$$\text{Με } \alpha = 0.20$$

V_{hub} = Εξαρτώμενο από την κλάση της ανεμογεννήτριας

Αξιοσημείωτο βέβαια είναι το γεγονός ότι ένα μοντέλο τυρβώδους ροής προκύπτει από την σύνθεση ενός προφίλ κανονικής ροής ανέμου και ενός μοντέλου τυρβώδους ροής του Mann:

$$[NTM] = [NWP] + [TM_{Mann}(\sigma_1)]$$

Με μία απόκλιση της τύρβης του ανέμου σ_1 που δίνεται απο τον τύπο:

$$\sigma_1 = I_{ref}(0.75V_{hub} + b) , \text{ με } b=5.6\text{m/s.}$$

2) Extreme Wind Model - EWM

Η αλλιώς ακραίες συνθήκες ανέμου οι οποίες υπολογίζονται με τον τύπο :

$$V_{e50}(z) = 1.4V_{ref}(Z/Z_{hub})^{0.11}$$

$$V_{e1}(z) = 0.8V_{e50}(z)$$

V_{e50} : Η ακραία ταχύτητα ανέμου περίοδο επαναφοράς 50 έτη.

V_{e1} : Η ακραία ταχύτητα ανέμου με περίοδο επαναφοράς 1 έτος.

Z : Το ύψος πάνω από το δάπεδο της θάλασσας.

Τυρβώδες μοντέλο ακραίας ταχύτητας ανέμου EWM-turbulent:

Το συγκεκριμένο μοντέλο προκύπτει από τον συνδυασμό με το μοντέλο τυρβώδους ροής και την μέση ταχύτητα ανέμου δεκάλεπτου με περίοδο επαναφοράς 50 έτη ή 1 έτος. Πιο συγκεκριμένα :

$$V_{50}(z) = V_{ref}(z/z_{hub})^{0.11}$$

$$V_{1(z)} = 0.8V_{50}(Z)$$

$$\sigma_1 = 0.11V_{hub}$$

EXTREME OPERATING GUST – EOG

Ή αλλιώς το μοντέλο ακραίας ριπής ανέμου , με τύπο :

$$V_{gust} = \text{Min} \{ 1.35(V_{e1} - V_{hub}) * 3.3 (\sigma_1/1 + 0.1 * (D/\Lambda_1)) \}$$

$$\sigma_1 = I_{ref}(0.75V_{hub} + b)$$

$$\text{Με } \Lambda_1 = \{ 0.7z, z \leq 60 \text{m και } 42 \text{m}, z \leq 60 \text{m}'$$

Και D διάμετρος του ρότορα.

Το τελικό προφίλ ταχύτητας ανέμου με ακραία ριπή ανέμου ή αλλιώς EOG δίνεται από τον τύπο:

$$V(z,t) = \{ V(z) - 0.3v_{gust}\sin(3\pi t/T) * (1 - \cos(2\pi t)), 0 \leq t \leq T \}$$

Ακραία κατάσταση ταυτόχρονης ριπής και απότομης αλλαγής κατεύθυνσης ανέμου
(*Extreme coherent gust with direction change – ECD*)

Το μέγεθος της ριπής του ανέμου δίνεται από τον τύπο

$$V(z,t) = \begin{cases} V(z), t < 0 \\ V(z) + 0.5V_{cg} \left(1 - \cos\left(\frac{\pi t}{T}\right) \right), 0 \leq t \leq T \\ V(z) + V_{cg}, t > T \end{cases}$$

Με $T=10s$: όπου είναι το χρονικό διάστημα που πραγματοποιείται η αύξηση ταχύτητας ανέμου και $V(z)$ με κανονικό προφίλ ανέμου (NWP).

Η αύξηση ταχύτητας του ανέμου γίνεται ταυτόχρονα με την αλλαγή κατεύθυνσης του ανέμου με τον τύπο :

$$\theta(t) = \begin{cases} 0, t < 0 \\ \pm 0.5\theta_{cg} \left(1 - \cos\left(\frac{\pi t}{T}\right) \right), 0 \leq t \leq T \\ \pm \theta_{cg}, t > T \end{cases}$$

όπου η τιμή θ_{cg} λαμβάνεται:

$$\theta_{cg}(V_{hub}) = \begin{cases} 180^\circ, & \text{for } V_{hub} < 4 \text{ m/s} \\ \left(\frac{720}{V_{hub}} \right)^\circ, & \text{for } 4 < V_{hub} < V_{ref} \end{cases}$$

Τέλος έχουμε το λεγόμενο *Extreme Wind Shear – EWS* ή αλλιώς *Απότομη Χρονική Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου* όπου χωρίζεται σε δύο σχέσεις το *Οριζόντιο επίπεδο* και το *Κατακόρυφο επίπεδο* όπου το κάθε επίπεδο έχει τον δικό του τύπο υπολογισμού .

Οριζόντιο επίπεδο:

$$V(y, z, t) = \begin{cases} V_{hub} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha \pm \left(\frac{y}{D} \right) (2.5 + 0.2\beta\sigma_1 \left(\frac{D}{\Lambda_1} \right)^{1/4}) (1 - \cos \left(\frac{2\pi t}{T} \right)) \\ V_{hub} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha \end{cases}$$

Κατακόρυφο επίπεδο:

$$V(z, t) = \begin{cases} V_{hub} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha \pm \left(\frac{z - z_{hub}}{D} \right) (2.5 + 0.2\beta\sigma_1 \left(\frac{D}{\Lambda_1} \right)^{1/4}) (1 - \cos \left(\frac{2\pi t}{T} \right)) \\ V_{hub} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha \end{cases}$$

α 0.2

β 6.4

T 12 s

$\sigma_1 = I_{ref} (0.75V_{hub} + b)$, $b=5.6$ m/s

$\Lambda_1 = \begin{cases} 0.7z , z \leq 60\text{m} \\ 42\text{m} , z \geq 60\text{m} \end{cases}$,

D διάμετρος του ρότορα

Οι παραπάνω μεταβολές σε κατακόρυφο και οριζόντιο επίπεδο, δεν λαμβάνονται υπόψη ταυτόχρονα.

Εκτός από τα φορτία του ανέμου κύριο ρόλο παίζουν και τα Θαλάσσια φορτία κυμάτων, όπου για να σχεδιαστεί το φορτίο μίας υπεράκτιας ανεμογεννήτριας είναι απαραίτητο να αναλυθούν οι θαλάσσιες συνθήκες κυμάτων που επικρατούν. Τα φορτία θαλασσιών κυμάτων χωρίζονται σε 2 κατηγορίες .

1) Κανονικές συνθήκες θάλασσας.

(Normal Sea State- Nss)

Έχει να κάνει με ένα σύνηθες ύψος κύματος και μία σύνηθες περίοδο κορυφής αλλά και ην κατεύθυνση του κυματισμού και παίζει ουσιαστικό ρόλο για την ταυτόχρονη μέση ταχύτητα του ανέμου. Σε μία κανονική κατάσταση θάλασσας είναι εφικτό να γίνουν οι υπολογισμοί των

οριακών φορτίων ελέγχου αντοχής καθώς και των φορτίων ελέγχου κόπωσης .Είναι βέβαιο ότι για τον υπολογισμό των φορτίων ελέγχου κόπωσης θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται μια σειρά κανονικών συνθηκών θάλασσας όπου με διαφορετικές μέσες ταχύτητες ανέμου να πλέουν στην συγκεκριμένη υπο μελέτη περιοχή.

Πιο αναλυτικά στην συγκεκριμένη συνθήκη μπορούμε να διακρίνουμε το κανονικό ύψος κύματος (Normal Wave Height -NWH) όπου ορίζεται ως η αναμενόμενη τιμή του ύψους κύματος με βάση την ταυτόχρονη μέση ταχύτητα του ανέμου .

2) Ακραίες Συνθήκες θάλασσας.

Extreme Sea State -ESS

Οι ακραία κατάσταση θάλασσας βασίζεται επίσης από το ύψος κύματος , την περίοδο κορυφής αλλά και την κατεύθυνση δράσης του κυματισμού .Το χαρακτηριστικό ύψος κύματος H_s ,ESS, εκφράζει το μη- συσχετισμένο μέγιστο χαρακτηριστικό ύψος κύματος με μία καθορισμένη περίοδο επαναφοράς .Το Ακραίο Ύψος Κύματος (Extreme Wave Height - EWH), HEWH, είναι το ύψος κύματος με μία συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς. Μπορεί να καθοριστεί από την κατανομή του μεγίστου ετήσιου ύψους των κυμάτων. Στα βαθιά ύδατα, μπορεί να εκτιμηθεί με βάση το χαρακτηριστικό Διαδικασία Σχεδιασμού 29 Προκαταρκτικός Σχεδιασμός Μονοπάσσαλης Θαλάσσιας Ανεμογεννήτριας ύψος κύματος H_s ,ESS για την αντίστοιχη περίοδο επαναφοράς. Το ακραίο ύψος κύματος χρησιμοποιείται για περιόδους επαναφοράς ενός (1) και πενήντα (50) ετών, και τα αντίστοιχα ύψη κύματος συμβολίζονται με H_{1-yr} και H_{50-yr} , αντίστοιχα. Το εύρος τιμών των περιόδων του κύματος, T , θα λαμβάνεται όπως για το δριμύ ύψος κύματος. Για τις ανάγκες του σχεδιασμού οι υπολογισμοί θα πρέπει να βασίζονται στις τιμές της περιόδου του κυματισμού στο εύρος τιμών που δίδουν ως αποτέλεσμα τα υψηλότερα φορτία ή τις δυσμενέστερες επιπτώσεις φόρτισης στην κατασκευή. Ειδικότερα, για την περίπτωση κυμάτων στα βαθιά, η περίοδος κύματος που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί με το ακραίο ύψος κύματος,

$$11.1\sqrt{H_{s,ESS}(U_{10})/g} \leq T \leq 14.3\sqrt{H_{s,ESS}(U_{10})/g}$$

Θεωρώντας ότι τα ύψη κύματος ακολουθούν την κατανομή Rayleigh

$$H_{50-yr} = 1.86H_{50}$$

$$H_{1-yr} = 1.86H_{51}$$

2.4 Σχεδίαση βασισμένη στην κινητική ενέργεια

Η κινητική ενέργεια είναι ο βασικός παράγοντας για την παραγωγή και την λειτουργία μίας ανεμογεννήτριας στην οποία περιλαμβάνεται η μελέτη και η σχεδίαση της αεροδυναμικής ενέργειας .

Η αεροδυναμική σχεδίαση αποτελεί βασική προϋπόθεση για το σχεδιασμό ενός συστήματος δέσμευσης και μετατροπής της ενέργειας του ανέμου .Παρακάτω θα δούμε την αιολική ισχύ το βαθμό εκμετάλλευσης της , το συντελεστή C_p και το μηχανικό έλεγχο πτερυγίων .

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να γνωρίζουμε την εκτίμηση τόσο της ισχύς του ανέμου που παράγεται από τον αέρα όσο και το ποσοστό εκμετάλλευσης της ισχύς αυτής .

Βέβαια από όλη την ισχύ δεσμεύεται ένα μέρος διότι ο αέρας πρέπει να απομακρύνεται με κάποια ταχύτητα από την ανεμογεννήτρια. Για να υπολογίσουμε την ισχύ που δεσμεύουμε χρησιμοποιούμε το συντελεστή ισχύος της ανεμογεννήτριας $C_P=PM_{PA}=PM_{12RS.V 3}$

Ο συντελεστής C_P είναι στην πραγματικότητα κάτι πιο σύνθετο. Είναι μία συνάρτηση που εξαρτάται από γωνία προσβολής β και της παραμέτρου με,

$$\lambda = \omega \text{rotor} r^2$$

β = γωνία βήματος πτερυγίου.

Ο A.Benz απέδειξε ότι για μια ιδανική ανεμογεννήτρια η μέγιστη τιμή C_P θεωρείται το 0,593. Επι του πρακτέου βέβαια λόγω των συνθηκών και έστω μικρών αστοχιών η τιμή προσεγγίζει το 0,45. Λόγω των τριβών και ατελειών που αναφέρθηκαν η ηλεκτρική ισχύς μειώνεται ακόμα περισσότερο.

2.4.1 Ελαχιστοποίηση κόστους βάση σχεδιασμού

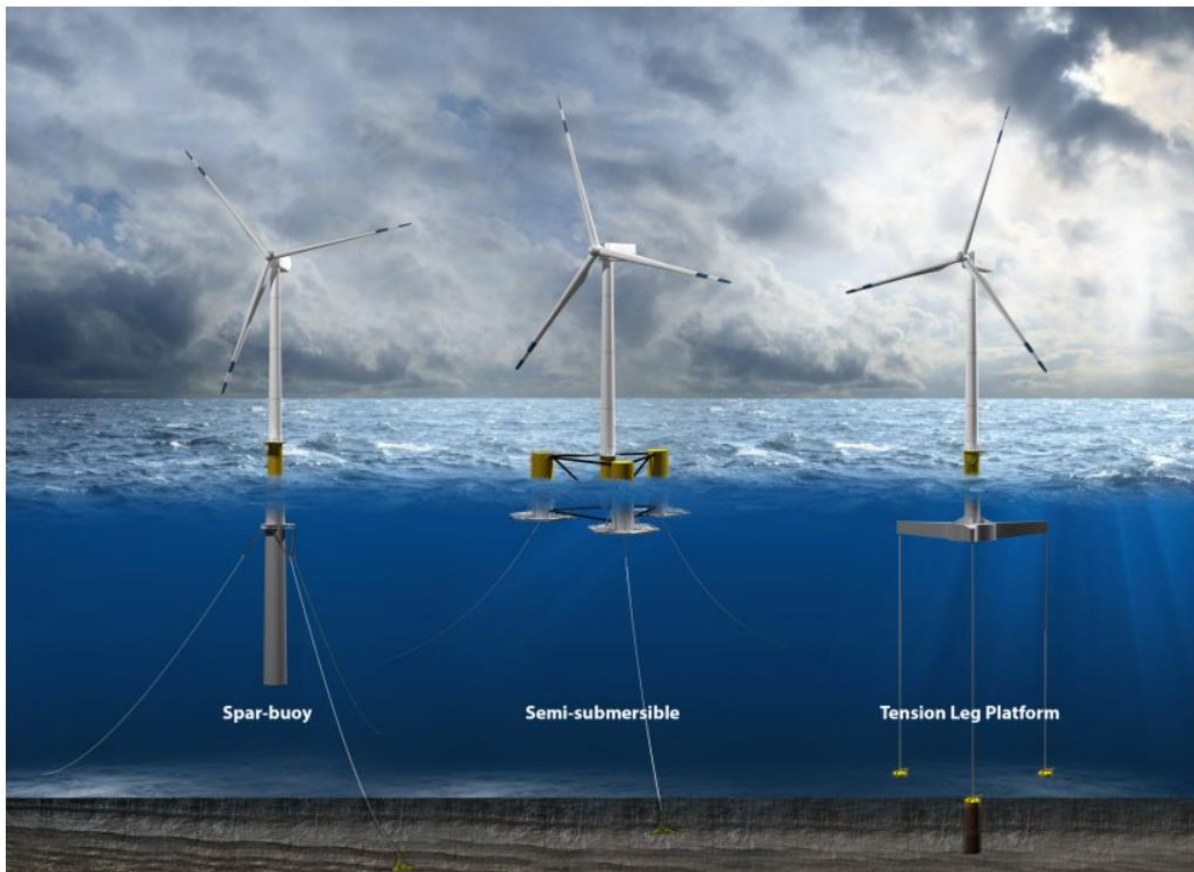
Κύριος στόχος του σχεδιασμού για το σύστημα παραγωγής ενέργειας αποτελεί η ελαχιστοποίηση του κόστους ανα παραγμένη κιλοβατώρα . Ο τυπικός σχεδιασμός της ανεμογεννήτριας είναι τέτοιος όπου η ανεμογεννήτρια αποδίδει την μέγιστη ισχύ σε ταχύτητες ανέμου 12 με 15m/s.

Οι ειδικοί προβλέπουν μειώσεις κόστους 17%–35% έως το 2035 και 37%–49% έως το 2050 σύμφωνα με ένα σενάριο μεσαίας ή καλύτερης εικασίας, λόγω μεγαλύτερων και πιο αποτελεσματικών ανεμογεννητριών, χαμηλότερου κεφαλαίου και λειτουργικού κόστους και άλλων εξελίξεων.

2.5 Θεμελίωση & φορέας στήριξης υπεράκτιων ανεμογεννητριών

Ύψηγμα το οποίο καλείται να λύσει η μηχανική σε τέτοιου είδους έργα είναι ο φορέας στήριξης της κατασκευής και το θεμελίωμα της σε συστήματα πλωτών ανεμογεννητριών

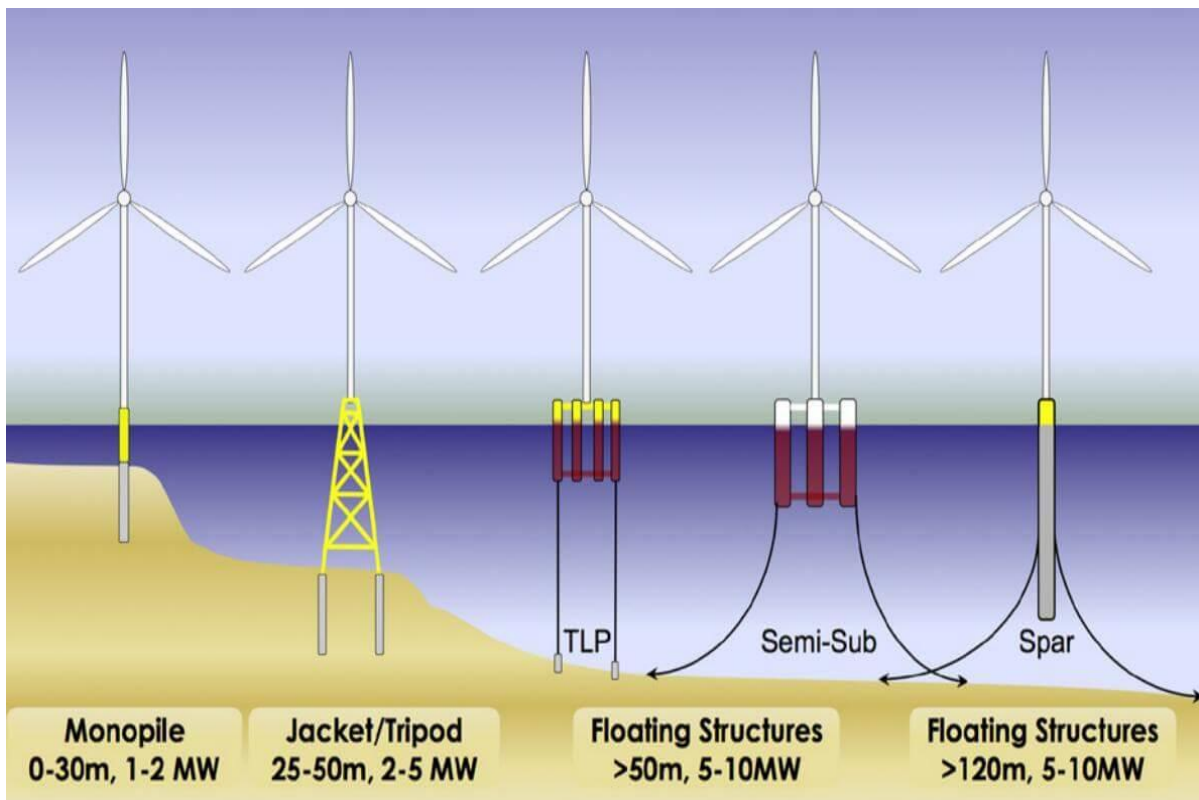
Πιο αναλυτικά ο σχεδιασμός “σημαντήρα ιστού (*Spar-Buoy*) φέρνει εις πέρας την στατική ευστάθεια με τη χρήση έρματος , το οποίο χαμηλώνει το κέντρο βάρους ώστε να βρίσκεται κάτω από το κέντρο της άνωσης και αποτελείται απο διατάξεις πολλαπλών κλάδων , άλλο ένα σύστημα είναι η *εξέδρα με εντεταμένα σκέλη (Tension Leg Platform- TLP)* όπου φέρει ευθύνη για την αποτελεσματική στατική ευστάθεια μέσω σκελών με σκοπό την αυξημένη άνωσης της πλατφόρμας .Τέλος η *εξέδρα τύπου φορτηγίδας (Barge Platform)* σκοπός της η στατική αστάθεια μέσω ισάλου της επιφάνειας της .



Εικόνα 10: Φορείς στήριξης (Πηγή: tuffgroup)

Οπότε για τον σχεδιασμό των συγκεκριμένων ανεμογεννητριών καταλαβαίνουμε ότι σημαντικό ρόλο έχει να κάνει το βάθος της θάλασσας διότι αυτό θα κρίνει και τον σχεδιασμό του στηρίγματος και την επιλογή θεμελίωσης που θα τοποθετηθεί , πιο συγκεκριμένα :

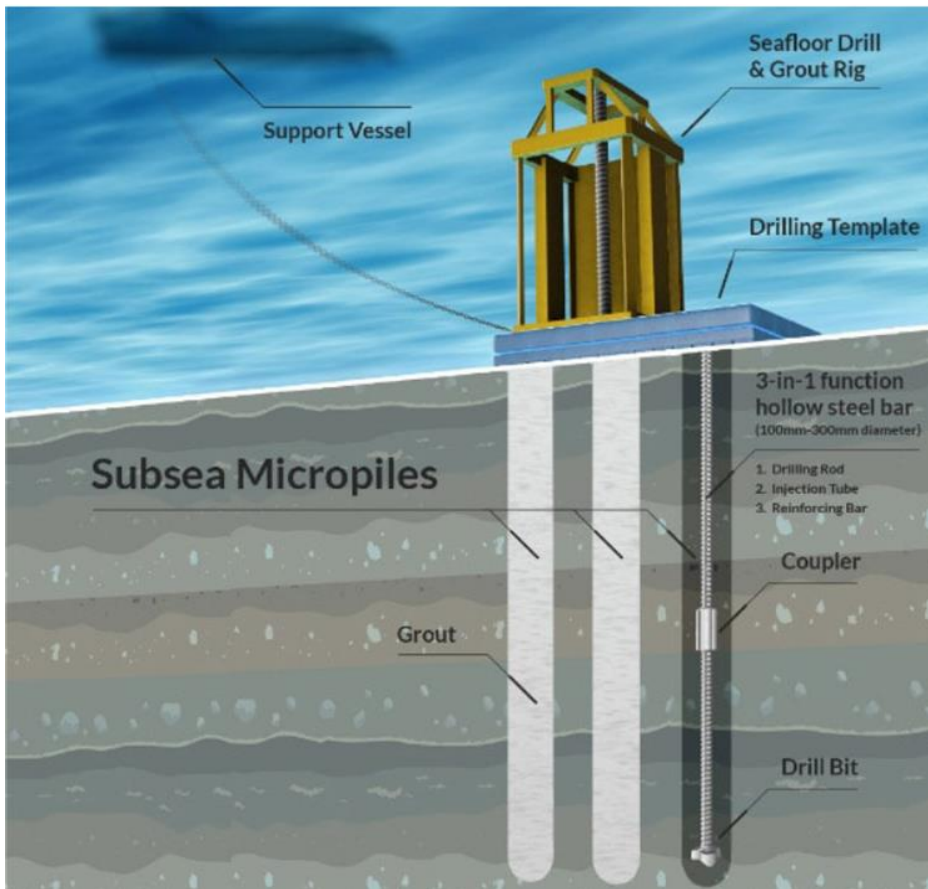
- Σε μικρό βάθος χρησιμοποιούνται **μονοπάσαλα στηρίγματα (monopile)** τα οποία τοποθετούνται στον πυθμένα της θάλασσας μέσω φρεατίων αναρρόφησης είτε θεμελίων βαρύτητας, κυρίως για βάθη έως 30 - 35m. Βάση των στοιχείων από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Αιολικής Ενέργειας το 80% του συνόλου των ανεμογεννητριών μέχρι και το 2021.
- Άλλος φορέας στήριξης είναι αυτός του **τριπόδου (Space frame-Tripod)** όπου εξίσου θεμελιώνεται στον πυθμένα της θάλασσας αλλά χρησιμοποιείται για 20 έως 50m.
- **Πλωτήρες και πλατφόρμες (εξέδρες)** μέσω ειδικών καλωδίων καταλήγουν στον πάτο της θάλασσας σε περισσότερα από 50 m βάθος.



Εικόνα 11: Μέθοδοι θεμελίωσης (Πηγή: researchgate.net)

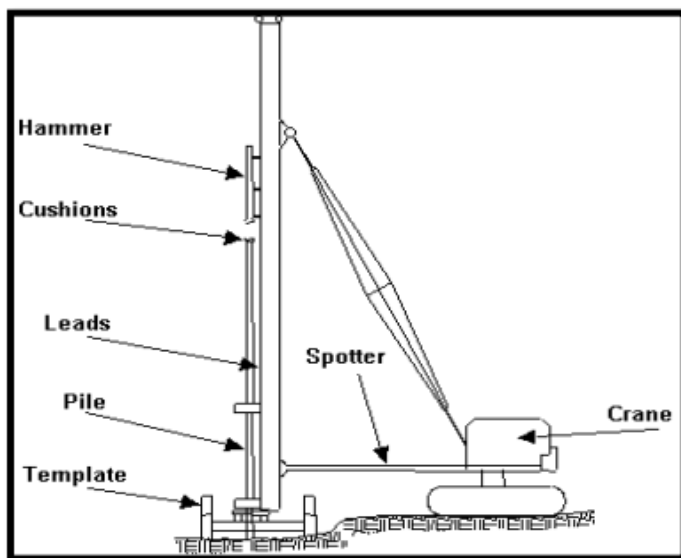
Πιο αναλυτικά όπως φαίνεται ξεκάθαρα η δομή των συστημάτων στήριξης και ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα για τον σχεδιασμό της. Βάση προτύπων ISO 19902 κυριαρχούν την δεδομένη οι 3 κύριοι τρόποι εγκατάστασης πασσάλων σε θαλάσσια ανεμογεννήτρια :

A) Έμψη πασσάλων μέσω εκσκαφής και ενίσχυσης (Drilled and grouted piles)



Εικόνα 12: Σύστημα θαλάσσιας παλασόμπιξης Drilled and grouted piles (Πηγή :offshorewind.biz micropiling-technology)

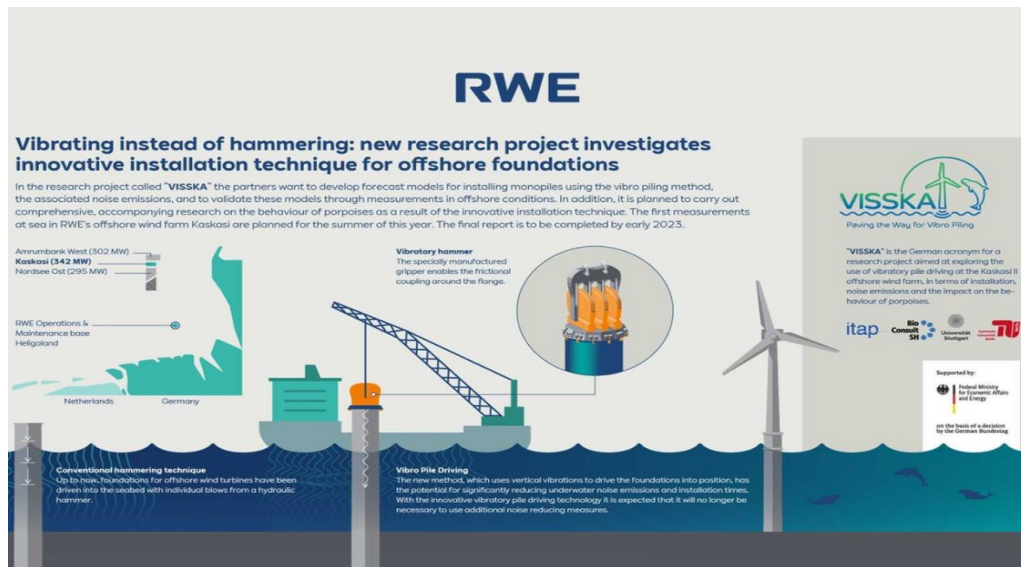
B) Έμψη πασσάλων μέσω ειδικών σφυριών(Driven piles)



Typical Pile Driving System

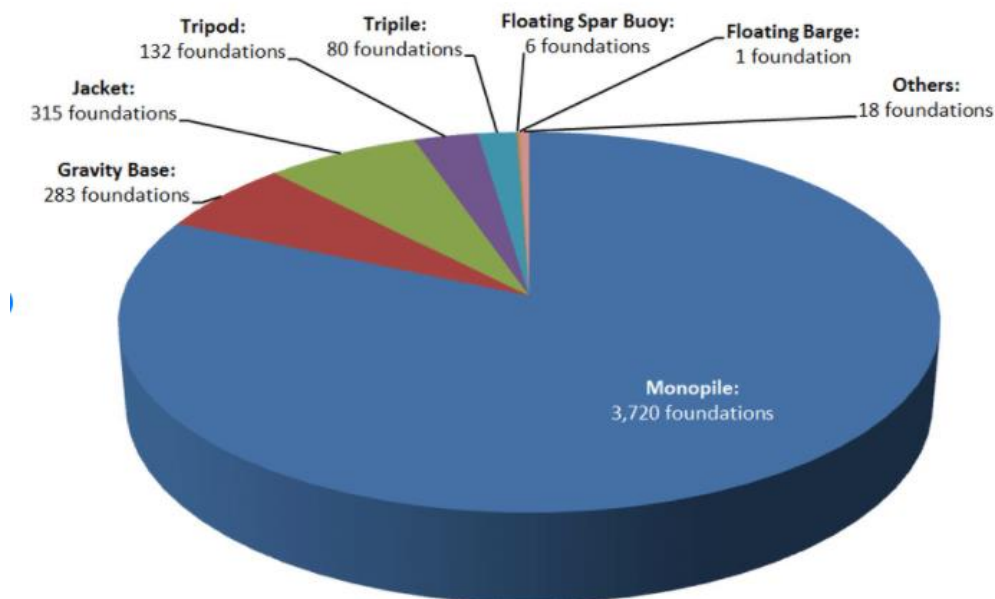
Εικόνα 13: Σύστημα driven piles (Πηγή: sp.dotd.la.go Engineering Pacement Geotechnical)

Γ) Έμψη πασσάλων σε συνδιασμό με ειδικά δονητικά σφυριά.(Vibro /Driven piles).



Εικόνα 14: Vibration system (Πηγή: offshorewind.biz vibrations-iwe)

Μπορούμε πολύ εύκολα να διαπιστώσουμε μέχρι και το 2021 το μεγαλύτερο ποσοστό κατασκευής θαλάσσιων ανεμογεννητριών δημιουργήθηκε με το μονοπάσσαλο (monopile) σύστημα θεμελίωσης, έχοντας 2 σε σειρά το σύστημα Jacket. Άρα καταλαβαίνουμε ότι παρά της αντικειμενικής δυσκολίας υλοποίησης της θεμελίωσης πασσάλου έχουμε καταφέρει να χτίσουμε μεγάλη ισχύ offshore ανεμογεννητριών με τις μονοπάσσαλες θεμελιώσεις να επικρατούν στο 74,8% ενώ ακολουθούν οι jacket με ένα 10% ποσοστό.



Πίνακας 1: Συγκριτικές τιμές συστήματος εγκατάστασης (Πηγή: researchgate.net/figure/Share-of-foundation-types-in-offshore-wind-turbine)

Κεφάλαιο 3 : Ηλεκτρολογική υποδομή offshore wind

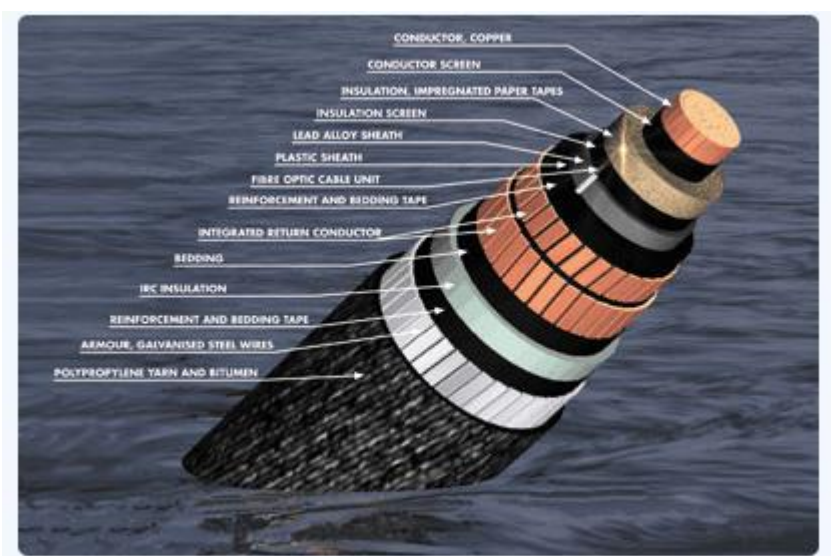
Είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί ότι ένα μεγάλο κόστος προέρχεται από την ηλεκτρολογική προμήθεια – εγκατάσταση όπου θα φέρει σε λειτουργία την εγκατεστημένη δομή. Περίπου το 20% (1/5) τού συνολικού κόστους δαπανείται στο σύστημα ηλεκτρολογικής μελέτης – εγκατάστασης παρέχοντας τους μετασχηματιστές , συνδέσεις offshore υποσταθμού , θαλάσσια καλωδίωση. Την στιγμή που αυξήθηκε και η κατασκευή αυτόματα αυξήθηκε και η ζήτηση υποθαλάσσιων καλωδίων με σκοπό την σύνδεση ενός θαλάσσιου υποσταθμού προς το σταθερό δίκτυο όπως επίσης και τις καλωδιώσεις του πίνακα που συνδέονται στις ανεμογεννήτριες τροφοδοτώντας τον υποσταθμό.

3.1 Offshore wind σύστημα τροφοδοσίας .

Αρμόδιοι και υπεύθυνοι για την παροχή θαλάσσιων καλωδιώσεων εγκαταστάσεων έχει οριστεί παγκόσμια η United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS) όπου κινείται βάση προτύπων και θα καθορίσει όλους τους παράγοντες για να ολοκληρωθεί τέτοιου είδους εγκατάσταση. Τα υποθαλάσσια καλώδια για ένα πάρκο θαλάσσιων ανεμογεννητριών αποτελούνται κατά κύριο λόγο από τα **inter-array cables** και τα **export cables**. Ο σχεδιασμός τέτοιου είδους καλωδιώσεων κρίνεται από πολλούς παράγοντες όπως την τάση (Voltage) την χωρητικότητα (Capacity) , το μέγεθος της τουρμπίνας και την απόσταση από την στεριά. Είναι ειδικά σχεδιασμένα να μεταφέρουν ηλεκτρικό ρεύμα (Current), κάποια καλώδια συνεχές (Direct current) και κάποια άλλα εναλλασσόμενο (Alternative Current) στα πλαίσια τέτοιων είδους έργων. Η επιλογή των καλωδίων έχει να κάνει άμεσα από το αν η κατασκευή απαιτεί μονοπολικό (monopolar) , διπολικό (bipolar) ή τριπολικό σύστημα καλωδίων με διάμετρο να φτάνει από 5 έως 30cm και να ζυγίζει από 15 έως 120 kgm⁻¹ . Λόγω των συνθηκών όπου θα είναι εκτεθειμένο το καλώδιο υπάρχει μέριμνα για την αποτελεσματικότερη μόνωση με σκοπό την μείωση βλαβών .Γι'αυτό τον λόγο έχουν δημιουργηθεί κάποια είδη εξειδικευμένων μονώσεων όπως είναι το λεγόμενο EPR (Ethylene Propylene Rubber) ή το XLPE (Cross-Linked Polyethylene) . Σε κάποια καλώδια υψηλής τάσης (High Voltage) τοποθετείται ειδικό λάδι στο καλώδιο αλλά δεν είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον λαμβάνοντας υπόψη ν το ρίσκο όπου μεσολαβή για κάποια διαρροή λαδιού ρυπαίνοντας έτσι το περιβάλλον. Βέβαια σχεδόν σε όλα τα project για θαλάσσιες ανεμογεννήτριες χρησιμοποιείται η μόνωση XLPE για

τα καλώδια, παρόλα αυτά το σύστημα μόνωσης EPR προσφέρει καλύτερη αντίσταση νερού (water resistance) αλλά δεν χρησιμοποιείται λόγω της διηλεκτρικής απώλειας σε σύγκριση με το XLPE. Επίσης λαμβάνοντας υπόψη ν το περιβάλλον και την μείωση ρίσκου για κάποια βλάβη του καλωδίου με κάποια δραστηριότητα όπως είναι η αγκυροβόληση είτε το ψάρεμα , τοποθετείται στρώμα σήμανσης στον βυθό της θάλασσας μεριμνώντας βέβαια την απόσταση από το κεντρικό σημείο του έργου. Η χρήση των **καλωδίων array** είναι να παίρνουν την ηλεκτρική ενέργεια από την ανεμογεννήτρια και να την μεταφέρουν σε offshore υποσταθμούς. Η λειτουργική τάση των συγκεκριμένων καλωδίων είναι συνήθως στα 33kV με 3 πόλους (φάσεις) αλουμινίου είτε χαλκού είτε και με 66kV αντίστοιχα. Μπορεί να είναι θαμμένα για παραπάνω από 200km συνδέοντας επίσης και τις ανεμογεννήτριες μεταξύ τους μέχρι και τον υποθαλάσσιο υποσταθμό όπου βρίσκονται θαμμένα γύρω στο 1.5 m κάτω από τον πυθμένα. Ενώ τα **export καλώδια** χρησιμοποιούνται με σκοπό να μεταφέρουν από τον υποθαλάσσιο υποσταθμό προς το δίκτυο της στεριάς ηλεκτρισμό. Χρησιμοποιούνται για περισσότερα από 100kV με τριφασικό σύστημα σύνδεσης. Σχεδιασμένα και οι δύο τύποι καλωδίων για μεταφορά υψηλής τάσης για μεγάλες διαδρομές το οποίο τα χαρακτηρίζει ως ιδανικά για έργα σαν τα offshore wind farm (πάρκο θαλάσσιων ανεμογεννητριών) .

Τα μέσα στερέωσης αγωγών και τα τερματικά θα πρέπει να είναι ικανά να αντέχουν το θερμικές και δυναμικές επιδράσεις βραχυκυκλωμάτων. Όταν καλώδια μονού πυρήνα, με ονομαστική ένταση ρεύματος μεγαλύτερη από 250A πρέπει να εγκατασταθεί κοντά σε ένα χαλύβδινο διάφραγμα, το διάκενο μεταξύ καλωδίου και μεταλλικής επιφάνειας πρέπει να είναι τουλάχιστον 50 mm.



Εικόνα 15 : Υποθαλάσσιο καλώδιο (Πηγή : escaeu.org/articles/submarine-power-cables)

Medium-voltage cables



- Cost-efficient submarine 3-core cables with integrated fiber optic elements and customized armor designs up to 66 kV voltage level

> Nexans has provided the world's first 66 kV inter-array for the Blyth Offshore Demonstrator Windfarm

High-voltage export cables



- Offshore HVAC transmission: submarine cables ranging from 123 kV to 420 kV with various designs available: qualified for up to 420 kV for both single and 3-core XLPE cables

- Offshore DC transmission applicable for high transmission requirements and long distances: mass-impregnated cables qualified for up to 525 kV and XLPE insulated DC cables qualified for up to 400 kV

- Onshore transmission: HVAC and HVDC land cables solution qualified up to 525 kV

> Nexans has developed, supplied and installed 2x70 km of 245 kV XLPE 3-core submarine cables and 6x20 km of HVAC land cables for the Beatrice offshore wind farm

> Nexans will supply and install the 320 kV XLPE HVDC export cables for the Dolwin 6 project, connecting German offshore windfarms to the shore

Εικόνα 16: Καλώδια M/T&Y/T (Πηγή : Nexans_Offshore_Wind_Farm)



Εικόνα 17: Καλώδια συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος (Πηγή :abb.com_ wind_submarine-power-cables--cables-for-offshore-wind-farms)

3.1.1 Μοντέλο και σχεδιασμός καλωδίων

Υπάρχουν πολλοί μαθηματικοί τύποι καλωδίων που για να περιγράψουμε την γραμμής μεταφοράς η οποία έχει να κάνει από πολλούς παράγοντες αλλά κατά κύριο λόγο το σύστημα ενέργειας. Η γραμμή μεταφοράς είναι λιγότερη από 240 km(χιλιόμετρα) και μπορεί να αναλυθεί με το μοντέλο Lumped Element-π-model ως γνωστόν το οποίο χρησιμοποιείται για υπόγεια είτε υποθαλάσσια συστήματα καλωδιώσεων για απόσταση λιγότερη από 100km οπότε για μεγαλύτερες αποστάσεις πρέπει να γίνει η μοντελοποίηση βάση αυτών των παραμέτρων . Ο πυρήνας του του π-model , με το οποίο υπολογίζει την απώλεια ενέργειας του καλωδίου βασίζεται στην μέθοδο του Ander και Brakelann. Τα καλώδια HVDC μπορούν να μεταφέρουν μεσαία και υψηλή ισχύ (100 MWέως 1.000MW), με τάσεις άνω των 600 kVσε αποστάσεις άνω των 50km. Παγκοσμίως εγκατεστημένα από το 1996 έως το 2005 8.000 χιλιόμετρα. Για την Ελλάδα ο ΑΔΜΗΕ είναι αρμόδιος για τις μεγάλες διασύνδεσης υψηλής τάσης .

- Series parameters:

- R_s : series resistance per kilometer of cable and per phase, measured in $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$.
- X_s : series reactance per kilometer of cable and per phase, measured in $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$.

- Shunt parameters:

- B_p : shunt susceptance per kilometer of cable and per phase, measured in $\text{S} \cdot \text{km}^{-1}$.
- G_p : shunt conductance per kilometer of cable and per phase, measured in $\text{S} \cdot \text{km}^{-1}$.

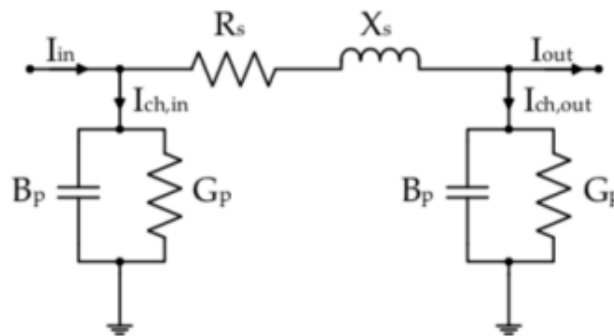


Figure 10: Lumped element π -model of a power cable.

Όσο αναφορά την αντίσταση του καλωδίου του αγωγού υπάρχει σχεδιασμένη παράμετρος η οποία θα κάνει εκτίμηση για την αντίστοιχη και ασφαλή μεταφορά ρεύματος κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, αυτό βέβαια έχει να κάνει και με το αν ο αγωγός θα μεταφέρει

εναλλασσόμενο ή συνεχές ρεύμα όπου με το εναλλασσόμενο έχουμε υψηλότερες συχνότητες (Hz) ενώ με το συνεχές έχουμε μικρότερες συχνότητες. Πρέπει βέβαια να συνυπολογιστεί και το λεγόμενο ως “proximity effect” γνωστό για την απόσταση μεταξύ δύο ή παραπάνω αγωγούς διότι όσο πιο κοντά βρίσκονται δύο ή περισσότεροι αγωγοί μεταξύ τους τόσο αυξάνεται το μαγνητικό πεδίο στο οποίο περιβάλλονται. Κατά την διάρκεια της συγκεκριμένης αντίδρασης το ρεύμα είναι συγκεντρωμένο σε περιοχές του αγωγού οι οποίες είναι σε απόσταση από αγωγούς όπου μεταφέρουν ρεύμα στην ίδια κατεύθυνση ενώ μεταφέροντας το ρεύμα σε απέναντι κατεύθυνση μεταξύ των αγωγών το μαγνητικό πεδίο ακυρώνει τον έναν αγωγό με τον άλλον και το ρεύμα γίνεται μηδενικό σε απόσταση μεγαλύτερη από την μισή του αγωγού.



Figure 12: Representation of current density if the current flows (a) in the same direction, (b) in the opposite direction.

Βάση του αναγνωρισμένου διεθνώς προτύπου IEC 60287 -1-1 δημιουργήθηκε μαθηματική φόρμουλα η οποία θα μπορεί να μας καθορίσει βάση καλωδίου, διατομής, μήκος και συχνότητας στα 50Hz την αντίσταση των AC καλωδίων σε συνδυασμό το σύστημα μόνωσης XLPE όπου όπως αναφέραμε χρησιμοποιείτε κατά κύριο λόγο .

$$R_{AC} = R_{DC}(1 + y_s + y_p) \quad [\Omega m^{-1}]$$

Ενώ αντίστοιχα οι υπολογιστικές φόρμουλες για τα καλώδια παροχής DC ρεύματος είναι η εξής :

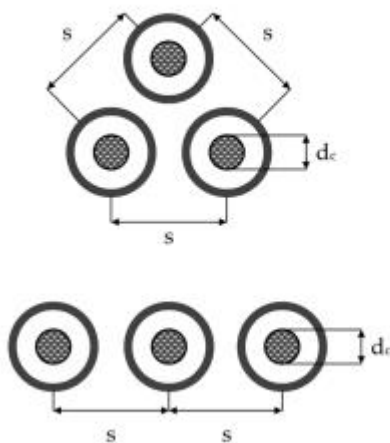
$$R_{DC,\theta} = \frac{\rho_{20}}{S} [1 + \alpha_{20}(\theta - \theta_0)]$$

Επίσης αξιοσημείωτο θα ήταν να αναφέρουμε την επαγωγή και την χωρητικότητα του καλωδίου. Η επαγωγή ανα μέτρο [H/m] μπορεί να υπολογιστεί από τους 3 αγωγούς του καλωδίου, μπορεί να υπολογιστεί από εξισώσεις και υπολογισμούς σε συνδυασμό με την διάμετρο του αγωγού (d_c) και την απόσταση μεταξύ των αγωγών (s). Μερικές τυπικές τιμές της σταθεράς και για διαφορετικούς αγωγούς φαίνεται στο παρακάτω πίνακάκι:

Typical values for constant K	
Number of wires in conductor	K
3	0.0778
7	0.0642
19	0.0554
37	0.0528
61 and over	0.0514
1 (solid)	0.0500
Hollow-core conductor, 12mm duct	0.0383

Table 1: Typical values for constant K for different stranded conductors at 50Hz

$$L = \left(K + 0.2 \ln \left(\frac{2Ns}{d_c} \right) \right) 10^{-6}$$



Trefoil and Flat formation of three single-core cables

3.2 Υποθαλάσσιοι & Επίγειοι Υποσταθμοί - (Offshore & Onshore Substations) .

Αξιοπρόσεκτο είναι το πως επιτυγχάνεται η διανομή / μεταφορά δικτύου κάτω υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες. Για να έρθει εις πέρας όλη η μεταφορά δικτύου χρησιμοποιείται ένας

υποθαλάσσιος υποσταθμός λεγόμενος ως offshore substation όπου έχει σαν κύριο ρόλο την συλλογή ενέργειας τροφοδοσίας (ισχύς που παράγεται) από τις ανεμογεννήτριες και να τις μεταφέρουν από την μέση τάσης [MVAC : Medium Voltage Alternating Current] σε υψηλής τάσης [HVAC: High Voltage Alternating Current] με σκοπό να γίνει η μεταφορά ηλεκτρισμού στο επίγειο δίκτυο και να μειώσει τις ηλεκτρικές απώλειες στην συγκεκριμένη μεταφορά. Στους υποσταθμούς περιλαμβάνονται οι μετασχηματιστές , διακόπτες ,εξοπλισμός ασφαλείας , σύστημα αποθήκευσης ενέργειας ως backup.



Εικόνα 18: Θαλάσσιος Υποσταθμός (Πηγή : ramboll.com/transformer-platforms)

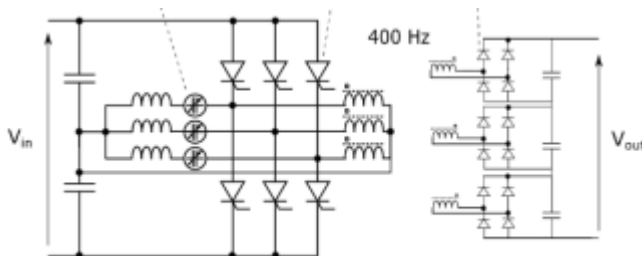
Τα περισσότερα θαλάσσια πάρκα ανεμογεννητριών ξεκινούν από λίγα MW και φτάνουν έως τα 5GW. Πλέον οι υποθαλάσσιοι υποσταθμοί ζυγίζουν από 10.000 έως 22.000 τόνους. Μπορούν να τοποθετηθούν σε monopoles , jackets , floating στηρίγματα. Τα κύρια υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται εντός του υποσταθμού για την εξασφάλιση της σωστής και ασφαλούς λειτουργίας είναι :

A) Γεννήτριες (Generators)

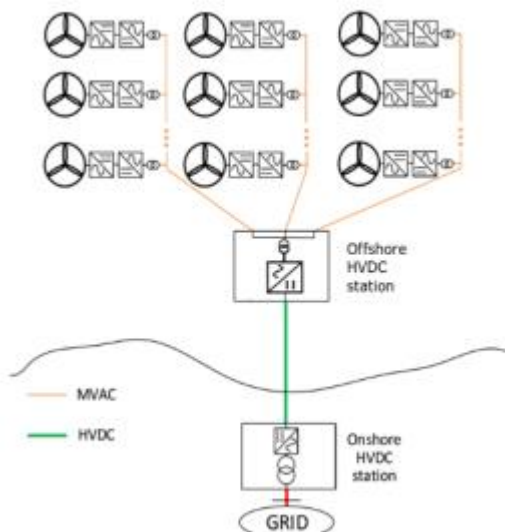
Οι οποίες βάση παραγόντων όπως την απαιτούμενη ισχύ όπου χρειάζεται ο υποσταθμός είναι αυτές που θα αναλάβουν την παροχή τροφοδοσίας στο σύστημα είτε στο δίκτυο όταν δεν θα υπάρχει παροχή τροφοδοσίας στο σύστημα. Συνήθως η ισχύς των γεννητριών είναι μεγαλύτερες από 10 MW ειδικά την παρούσα εποχή όπου η ανάπτυξη τεχνολογίας είναι ταχεία αναπτυσσόμενη .

B) Μετατροπείς (Converters).

Κατά καιρούς έχουν σχεδιαστεί κάποια πρότυπα για την αποδοτικότερη λειτουργία των μετατροπέων αλλά κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται το εξής DC – DC μετατροπέας ισχύος .Με την συγκεκριμένη μέθοδο καταφέρνουμε να φέρουμε την παραγόμενη ενέργεια πίσω στην ακτή. Ιδανική σχεδόν για τοποθεσίες αρκετά μακριά από την στεριά, λαμβάνοντας υπόψη ν ότι η HVDC πλευρά απαιτείται να μεταφέρεται με όσο το δυνατόν χαμηλότερες απώλειες .Για να επιτευχθεί αυτό η ισχύς περνάει από το MVDC δίκτυο και έπειτα μέσω του μετατροπέα γίνεται η ανύψωση σε HVDC.



Proposed DC-DC converter: detailed cell diagram



1: AC collection offshore wind farm (left),

Γ) Μετασχηματιστής (Transformer)

Οι μετασχηματιστές είναι το κλειδί για την εξασφάλιση μεταφοράς ενέργειας στο δίκτυο. Τα κριτήρια που μεσολαβούν για την τελική επιλογή ενός μετασχηματιστή είναι τα εξής :

- 1) Βασική απαίτηση / ζήτηση του ηλεκτρικού συστήματος.
- 2) Συνθήκες περιβάλλοντος .
- 3) Κύκλος φόρτωσης και υπερφόρτωση.
- 4) Σύστημα ψύξης .
- 5) Ενεργειακή αποδοτικότητα.
- 6) Αντοχή θερμοκρασιών υλικών .
- 7) Περιορισμό μεταφοράς.

Ο μετασχηματιστής χρησιμοποιείται στα πλαίσια onshore και offshore ηλεκτρικού δικτύου. Η τάση του πρωτεύον και του δευτερεύον προσδιορίζεται βάση των αναγκών και του σχεδιασμού. Παραδοσιακά χρησιμοποιείται μετασχηματιστής ελαίου βέβαια το λάδι έχει κηρυχθεί εδώ και μεγάλο διάστημα ως επιβλαβές στοιχείο – υλικό για το περιβάλλον με αποτέλεσμα οι κατευθυντήριες γραμμές των θαλάσσιων ανεμογεννητριών να υποστηρίζουν την μέθοδο των υδρόψυκτων μετασχηματιστών .



Εικόνα 19: Μετασχηματιστής Y/T για offshore wind (Πηγή : [siemens energy.com/global/en/offersings/references/hv-products-for-offshore-wind](https://www.siemens-energy.com/global/en/offersings/references/hv-products-for-offshore-wind))

Δ) Διακόπτης (Switchgear)

Οι διακόπτες χρησιμοποιούνται για ένα μεγάλο εύρος εργασιών στις θαλάσσιες ανεμογεννήτριες. Εξαρτάται από τις απαιτήσεις του συστήματος διαμορφώνεται και επιλέγεται ο κατάλληλος switchgear. Τα καλώδια μεταφέρουν την παραγόμενη ενέργεια στον υποσταθμό όταν το switchgear Μέσης Τάσης προστατεύει τις θαλάσσιες ανεμογεννήτριες από την μία πλευρά και τον μετασχηματιστή από την άλλη. Περιλαμβάνει διακόπτες, circuit breaker (CB) ασφάλειες κ.α.

3.3 Συνολική βασική δομή εξοπλισμού



Εικόνα 20: Κύριο σύστημα λειτουργίας θαλάσσιας ανεμογεννήτριας (Πηγή : <https://www.sciencedirect.com/>)

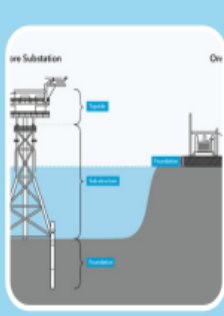
Άρα η δομή των θαλάσσιων πάρκων ανεμογεννητριών περιλαμβάνεται από τα εξής :

- 1) ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΟΥΡΜΠΙΝΑ & ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΑΝΕ/ΝΝΗΤΡΙΑ.

Offshore:

- rotor-nacelle assembly
- support structure
- tower
- sub-structure
- foundation
- installations / equipment

2) ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ ΘΑΛΑΣΣΙΟΙ & ΕΠΙΓΙΟΙ .



The diagram shows a cross-section of an onshore substation and an offshore substation. Onshore, it labels the 'Substation' (tower and equipment), 'On' (land surface), 'Substructure' (ground level), and 'Foundation' (below ground). Offshore, it labels 'Substation' (tower and equipment), 'On' (sea surface), 'Substructure' (underwater), and 'Foundation' (deep seabed).

Substation components

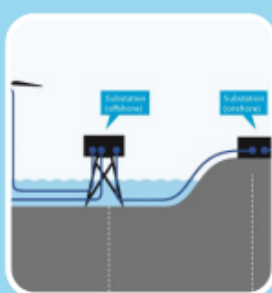
Onshore:

- transformer station
- support structure
- foundation
- installations / equipment

Offshore:

- topside including installations and equipment
- support structure
- substructure
- foundation
- installations / equipment

3) ΚΑΛΩΔΙΑ ΙΣΧΥΟΣ (ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΓΟΙΑ) .



The diagram shows a cross-section of power cables. Onshore, it labels 'Substation' (tower and equipment) and 'On' (land surface). Offshore, it labels 'Substation' (tower and equipment) and 'On' (sea surface).

Power cables

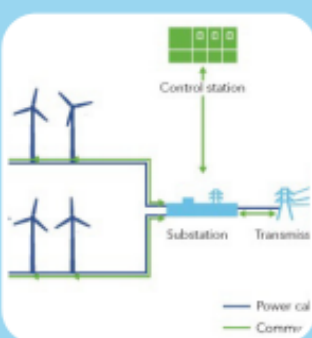
Onshore:

- asset power cable
- array power cable
- installation, termination, accessories and supporting structures

Offshore:

- asset power cable
- array power cable
- export power cable
- installation, termination, accessories and supporting structures

4) ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ SCADA .



The diagram shows a control station system. It includes a 'Control station' (top), a 'Substation' (middle), and 'Transmission' (right). Wind turbines are shown on the left. A legend indicates 'Power cal' (blue line) and 'Comm' (green line).

Control station systems

- condition monitoring systems
- communication systems
- operational systems (incl. SCADA)
- protection systems
- condition monitoring

3.4 Οικονομική μελέτη

Συγκριτικά με τις onshore ανεμογεννήτριες οι offshore ανεμογεννήτριες έχουν υψηλότερο κόστος εγκατάστασης. Η εγκατάσταση και η λειτουργία σε σχέση με το σκληρό περιβάλλον

όπου γίνεται η κατασκευή τους αυξάνει το κόστος. Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του project είναι υψηλότερη όπως και ο χρόνος παράδοσης είναι μεγαλύτερος. Οι πληροφορίες συλλέγονται από τα χαρακτηριστικά του βυθού και από τις συγκεκριμένες τοποθεσίες εγκατάστασης ενώ η αδειοδοτήσεις που θα επιτρέψουν την ανέγερση τους είναι πιο πολύ χρονοβόρες και συνάμα πιο πολύ κοστοφόρες. Οι θαλάσσιες ανεμογεννήτριες παρόλα αυτά έχουν ως πλεονέκτημα την ανάπτυξη της οικονομικής κλίμακας το οποίο σημαίνει ότι κάποια από αυτά τα κόστη δεν είναι δυσανάλογα υψηλά σε σχέση με τις επίγειες ανεμογεννήτριες. Την ίδια στιγμή οι υψηλότεροι συντελεστές χωρητικότητας εξασφαλίζουν ότι η ενεργειακή έξοδος (energy output) των θαλάσσιων ανεμογεννητριών έχει υψηλότερη αξία σε σχέση με τις onshore turbines. Από το 2010 έως και 2020 ο μέσος όρος των θαλάσσιων ανεμογεννητριών έχει αυξηθεί κατά 121% από 136 MW σε 301 MW, ενώ υπάρχουν έργα μετά το 2020 όπου η ενεργειακή χωρητικότητα τους ανέρχεται παραπάνω από 1GW. Ο παγκόσμιος μέσος όρος του συνολικού κόστους των εγκατεστημένων θαλάσσιων πάρκων αυξήθηκε από περίπου 2.375,36 ευρώ/KW το 2000 στα 5.040 ευρώ /KW το 2008 ενώ η τιμή παρουσίασε μία αναπήδηση από το 2015 έως το 2020 παρόλες τις εγκαταστάσεις όπου γινόντουσαν σε μεγαλύτερο βάθος.

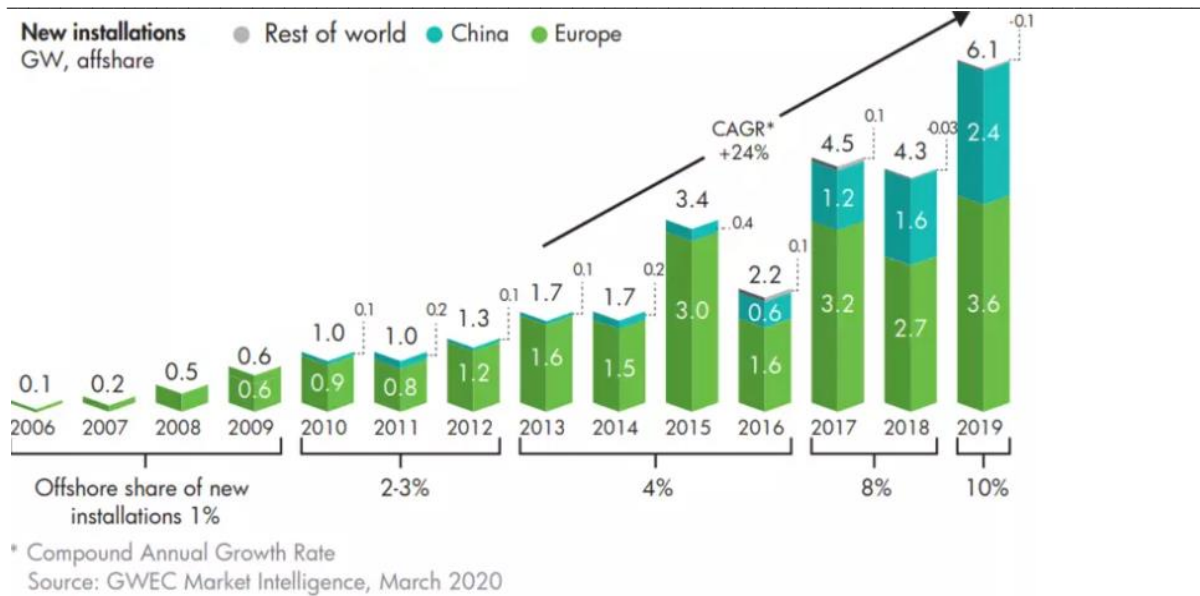


Εικόνα 21: Οικονομική ανάπτυξη Θ.Α (Πηγή : <https://www.energy.gov/eere/wind/offshore-wind>)

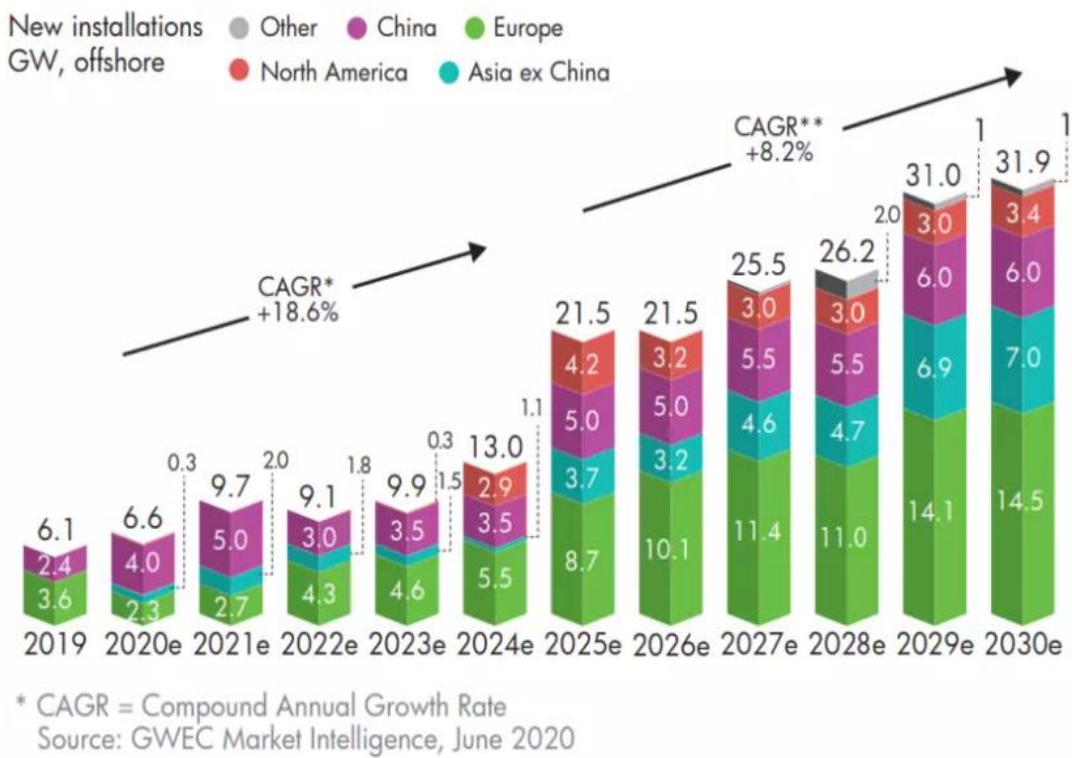
Η σημαντικότερη δεκαετία όσο αναφορά τον κλάδο της οικονομίας από τα ΑΠΕ θεωρείται παγκοσμίως το 2010 έως το 2020 με το συνολικό κόστος εγκατάστασης να παρουσιάζει πτώση κατά 32% από 4.312 euros/KW σε 2.912 euros/KW. Οι τελευταίες αναλύσεις μετά το 2020 έδειξαν ότι το ισοπεδωμένο κόστος ενέργειας [Level - ized Cost Of Energy : LCOE] έπεσε

από 28 έως 49% για διάστημα παραπάνω από δεκαετία ξεκινώντας από το 2010 . Η μείωση κόστους οφείλεται από διάφορους παράγοντες όπως την αύξηση ισχύος της ανεμογεννήτριας, τον αποτελεσματικότερο σχεδιασμό για τους έλικες . Όσο αναφορά την συντήρηση και τις εργασίες που απαιτείται να γίνεται κατά διαστήματα είναι πιο κοστοφόρο από την ανεμογεννήτριες ξηράς. Αυτό οφείλεται στον τρόπο πρόσβασης για τις ανεμογεννήτριες με σκοπό την συντήρηση είτε της γεννήτριας είτε των καλωδίων . Ο βαθμός δυσκολίας αυξάνεται ιδιαίτερα με τις καιρικές δυσκολίες, την διαθεσιμότητα κατάλληλου εκπαιδευμένου προσωπικού και την διαθεσιμότητα σκαφών. Παρόλα αυτά το κόστος συντήρησης / εργασιών αποσβένεται σε μικρό σχετικά διάστημα από την ενεργειακή έξοδο όπου προμηθεύουν ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο , το οποίο σημαίνει ότι οι εργασίες / συντήρηση των θαλάσσιων ανεμογεννητριών κυμαίνεται στα 16 - 25 % του LCOE. Υπάρχει βέβαια μία αβεβαιότητα για το κομμάτι του O&M λόγω της περιορισμένης εμπειρίας σε τέτοιου συντηρήσεις . Γι αυτό το λόγο ξεκίνησε η μεγάλη τροφοδοσία σε σεμινάρια και πρακτικές ασκήσεις για την συντήρηση και την λειτουργία αυτών. Με αποτέλεσμα να υπάρχει μείωση του κόστους στο κομμάτι O&M/KW. Βάση των αναλύσεων του IRENA (International Renewable Energy Agency, Διεθνής Οργανισμός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) προβλέπεται ότι για τα ανατεθειμένα έργα για πάροδος χρόνου γύρω σε μία πενταετία (5) το κόστος συντήρησης θα κυμαίνεται από 0.017 USD /kWh έως 0.030 USD/kWh² με το χαμηλότερο κόστος να κυριαρχεί σε Ευρωπαϊκές χώρες και στην Κίνα και με μεγαλύτερο κόστος οι χώρες με την λιγότερη καθιέρωση στον χώρο της συγκεκριμένης αγοράς – κατασκευής .

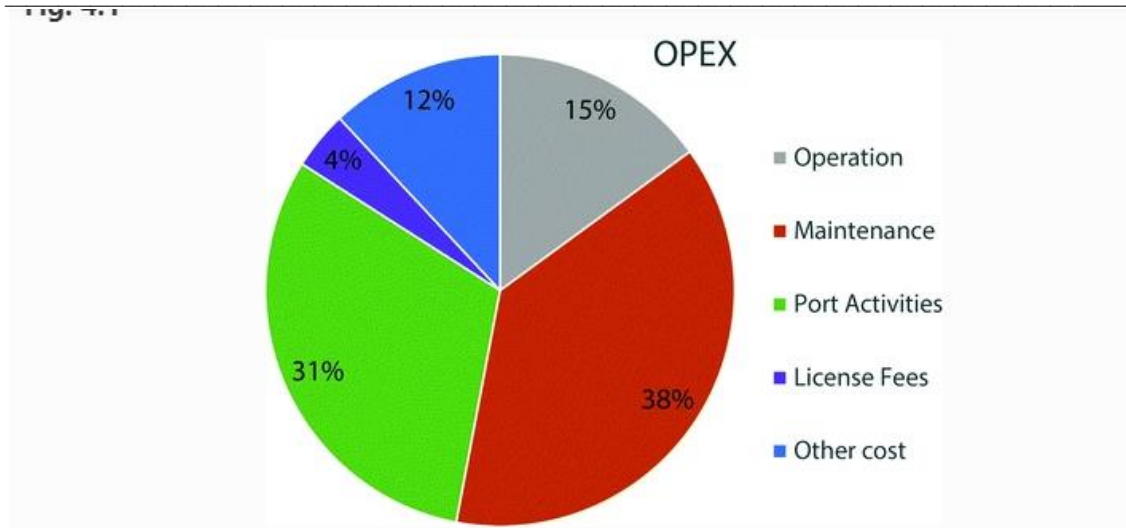
Στην Ελλάδα το προκαταρκτικό δεκαετές σχέδιο ανάπτυξης του εθνικού συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας 2020 – 2029 ο ΑΔΜΗΕ έχει ήδη εντάξει την ηλεκτρική διασύνδεση των Δωδεκανήσων με το ηπειρωτικό σύστημα. Project το οποίο έχει σαν προϋπολογισμό 1.5 δις. Ευρώ με ορίζοντα ολοκλήρωσης το 2027 προβλέποντας την διασύνδεση της Κω με το ηπειρωτικό σύστημα μεταφοράς . Θα “τρέξει” υποθαλάσσιο καλώδιο συνεχούς ρεύματος μήκους 380 χλμ. και μεταφορικής ικανότητας 900MW. Στην συνέχεια θα ακολουθήσει η διασύνδεση της Κω με τη Ρόδο και της Ρόδου με την Κάρπαθο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα οικονομικά οφέλη από την επέκταση του δικτύου εφόσον θα υπάρξει εξάλειψη του τεράστιου κόστους και την μείωση των ρυπογόνων μονάδων .Το τελικό ετήσιο ποσό που πληρώνουν οι πολίτες μέσω της χρέωσης υπηρεσιών κοινής ωφέλειας (ΥΚΩ) ανέρχεται περίπου στα 800εκ. ευρώ , ενώ πρέπει να σημειωθεί πως μόνο στην Κρήτη η συγκεκριμένη χρέωση αγγίζει τα 300εκ. ευρώ.



Global offshore wind growth to 2030



Πίνακας 2: Ποσοστό νέων εγκαταστάσεων από 2006 έως 2030 (Πηγή : weforum.org/agenda/2020/08/offshore-wind-energy-growth-energy-transition)



Πίνακας 3: Ποσοστιαία έξοδα (Πηγή :link.springer.com)

Όσο αναφορά το σημερινό κόστος από το 2021 έως και το 2022 κυμαίνεται \$2,6 – \$4 εκατομμύρια ανά μεσαίου μεγέθους εμπορική ανεμογεννήτρια. Το τυπικό κόστος είναι 1,3 εκατομμύρια δολάρια ανά μεγαβάτ (MW) δυναμικότητας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι περισσότερες εμπορικές ανεμογεννήτριες έχουν χωρητικότητα 2-3 MW, αλλά οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες μπορεί να είναι έως και 12 MW. Το κόστος αυξάνεται καθώς αυξάνεται το μέγεθος του στροβίλου, αν και υπάρχουν πλεονεκτήματα από τη χρήση λιγότερων, μεγαλύτερων στροβίλων – η πολυπλοκότητα και η κατασκευή του συνολικού εργοταξίου μειώνεται σημαντικά με ολοένα και μεγαλύτερους στροβίλους, με την λειτουργία και συντήρηση να ανέρχεται στα 42 με 48 χιλιάδες δολάρια (\$) ανά έτος. Σύμφωνα με την Διοίκηση Ενεργειακών Πληροφοριών (Energy Information Administration EIA) η θαλάσσια ανεμογεννήτρια είναι κατά 2.6 φορές ακριβότερη από την επίγεια ανεμογεννήτρια έχοντας βέβαια μεγαλύτερη και ταχύτερη απόσβεση .

Κεφάλαιο 4 : London Array offshore wind project

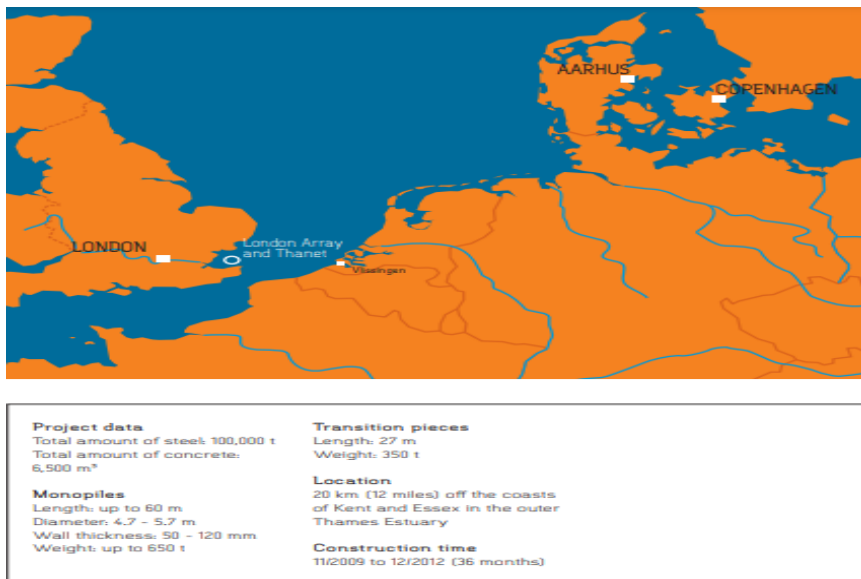
4.1 Γενικές πληροφορίες για το έργο London Array ισχύος 630 MW

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε ένα από τα μεγαλύτερα μέχρι στιγμής project θαλάσσιων ανεμογεννητριών. Το λεγόμενο **London Array Project** όπως γνωρίζουμε αποτελείται από πάρκο offshore ανεμογεννητριών με τοποθεσία το Thames Estuary στην Ηνωμένο Βασίλειο (UK). Το συγκεκριμένο πάρκο εγκαινιάστηκε το 2013 από τον τότε πρωθυπουργό της Βρετανίας Ντέιβιντ Κάμερον. Η κατασκευή και η εκτέλεση έγινε με πρωτοβουλία κοινοπραξίας εταιριών με 25 % να ανήκει στην Ørsted , 30% στην E.ON, 25 % στην La Caisse de dépôt et placement du Québec και το υπόλοιπο 20% ανήκει στην Masdar. Συνολική ισχύς ανέρχεται στα 630 MW και αποτελείται από 175 ανεμογεννήτριες Vestas SWT και 2 θαλάσσιους υποσταθμούς, καταλαμβάνοντας έκταση γύρω στα 100 τετραγωνικά χιλιόμετρα και απόσταση 20 χιλιομέτρων από την ακτή του Κέντ , νοτιοανατολικά της Αγγλίας με οικονομική δαπάνη να φτάνει στα 2.2 δισεκατομμύρια ευρώ. Η κατασκευή ξεκίνησε τον Ιούλιο του 2009 με το κτίριο ενός νέου χερσαίου υποσταθμού στο βόρειο Κεντακή. Αυτό επέτρεψε την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το Λονδίνο κατευθείαν στο εθνικό πλέγμα. Το πρώτο υπερράκτιο θεμέλιο τέθηκε τον Μάρτιο του 2011, η 175η και τελευταία τουρμπίνα Siemens 3,6MW ήταν εγκαταστάθηκε τον Δεκέμβριο του 2012. Περισσότεροι από 75 οργανισμοί και 6.700 εργαζόμενοι βοήθησε στην κατασκευή του London Array.



Εικόνα 22: London array Πάρκο Θαλάσσιων Ανεμογεννητριών .(Πηγή alchetron.com/London-Array)

Η ανεμογεννήτριες είναι ανεμογεννήτριες ειδικά σχεδιασμένες για να είναι υποθαλάσσιες , πιο συγκεκριμένα είναι του οίκου Siemens Wind Power SWT-3.6 turbines και όπως είπαμε παραπάνω με τον συνδυασμό και των 2 υποσταθμών δίνει στο δίκτυο ισχύς των 630 M.W. Η εγκατάσταση κάθε τουρμπίνας πραγματοποιήθηκε με το σύστημα monopile έχοντας συνδεδεμένα καλώδια τύπου array γύρω στα 210 χιλιόμετρα με τάση 33kV. Οι 2 θαλάσσιοι υποσταθμοί είναι συνδεδεμένοι σε υποσταθμό ξηράς στην τοποθεσία Cleve Hill έχοντας 4 καλώδια τύπου export με τάση να ανέρχεται στα 150kV με συνολικό αριθμό χιλιομετρικής απόστασης στα 220km .



Εικόνα 23: Τοποθεσία London Array & Χαρακτηριστικά (Πηγή : London_Arrye_UK.pdf)

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ SiemensSWT- 3.6



Nacelle arrangement

- | | |
|------------------|-------------------|
| 1. Spinner | 9. Brake disc |
| 2. Blade | 10. Coupling |
| 3. Pitch bearing | 11. Generator |
| 4. Rotor hub | 12. Yaw gear |
| 5. Main bearing | 13. Tower |
| 6. Main shaft | 14. Yaw ring |
| 7. Gearbox | 15. Generator fan |
| 8. Service crane | 16. Canopy |

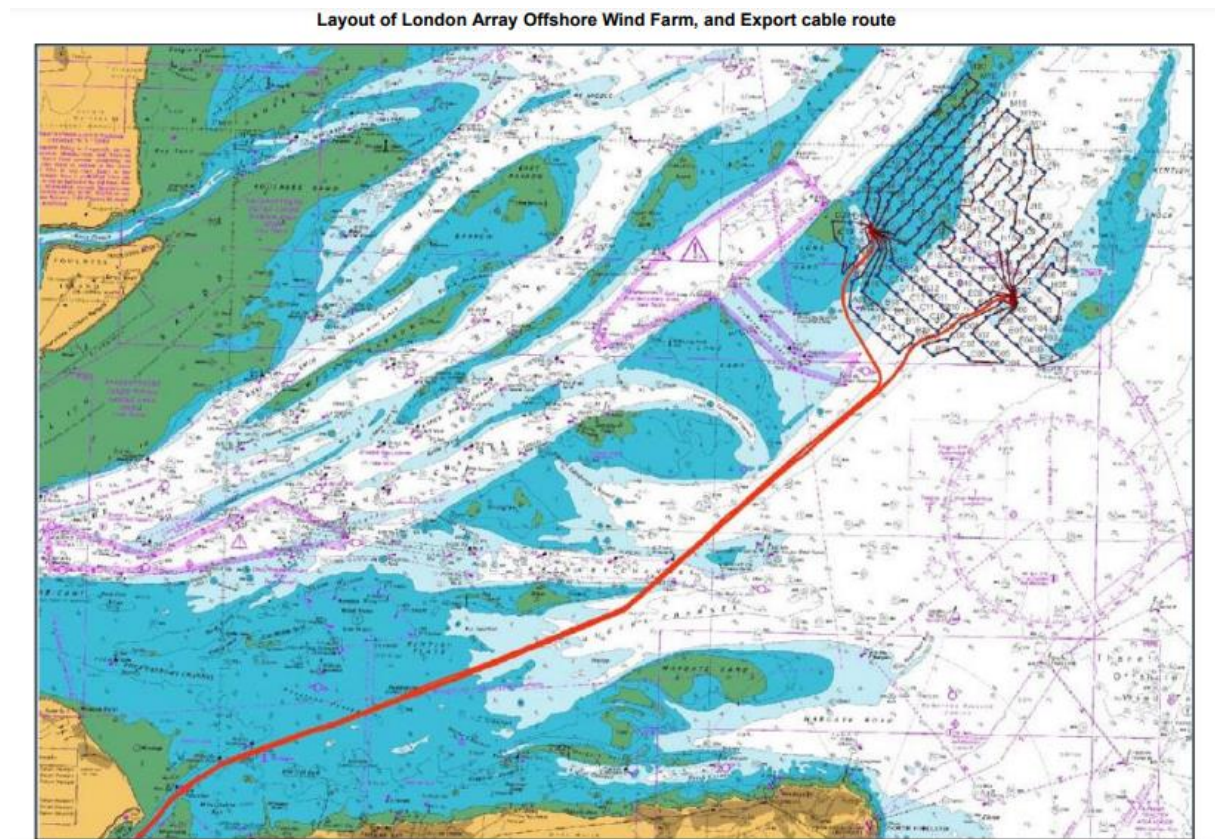
Rotor		Transmission system	
Type	3-bladed, horizontal axis	Coupling hub – shaft	Flange
Position	Upwind	Coupling shaft – gearbox	Shrink disc
Diameter	120 m	Gearbox type	3-stage planetary/helical
Swept area	11,300 m ²	Gearbox ratio	1:119
Nominal rotor speed	5–13 rpm	Gearbox lubrication	Forced lubrication
Power regulation	Pitch regulation with variable speed	Oil volume	Approx. 750 l
Rotor tilt	6 degrees	Gearbox cooling	Separate oil cooler
Blades		Gearbox designation	PZAB 3540
Type	B58	Gearbox manufacturer	Winergy AG
Blade length	58.5 m	Coupling gear – generator	Double-flexible coupling
Root chord	4.2 m	Mechanical brake	
Aerodynamic profile	NACA63.xxx, FFAxxx	Type	Hydraulic disc brake
Material	GRE	Position	High-speed shaft
Surface gloss	Semi-matte, < 30/ISO2813	Number of calipers	2
Surface color	Light grey, RAL 7035	Generator	
Aerodynamic brake		Type	Asynchronous
Type	Full span pitching	Nominal power	3,600 kW
Activation	Active, hydraulic	Protection	IP 54
Load-supporting parts		Cooling	Integrated heat exchanger
Hub	Nodular cast iron	Insulation class	F
Main bearings	Spherical roller bearings	Canopy	
Main shaft	Alloy steel	Type	Totally enclosed
Nacelle bed plate	Cast iron	Material	Steel/aluminium
		Surface gloss	Semi-gloss, 30–50, ISO2813
		Color	Light grey, RAL 7035

Εικόνα 24: Χαρακτηριστικά offshore Ανεμογεννήτριας Siemens (Πηγή : pdf.archiexpo.com/pdf/siemens-gamesa/swt-36-120).

4.2 Σχεδιασμός - μεταφορά και εγκατάσταση

Στην κατασκευή περιλαμβάνεται ο σχεδιασμός των υλικών και των προϊόντων που θα χρησιμοποιηθούν. Όπως αναφέραμε η εγκατάσταση πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο monopile και μετριέται γύρω στα 60 μέτρα σε μήκος. Οι πάσσαλοι έχουν διάμετρο από 4.7 έως 5.7 μέτρα και ο μεγαλύτερος πάσσαλος ζυγίζει 650 τόνους. Οι μονοπάσσαλοι οδηγήθηκαν σε τοποθεσία με βάθος μεγαλύτερο των 25 μέτρων. Η θεμελίωση σχεδιάστηκε από την κοινοπραξία της COWIA/S και IMS Ingenieur baugesells chaft mbH. Χρειάστηκαν 100.000 τόνοι από σίδηρο για την εγκατάσταση το οποίο σίδηρο ήταν ειδικά σχεδιασμένο ώστε να διαβρώνεται λιγότερο με αποτέλεσμα την λιγότερη απαίτηση συντήρησης. Οι μονοπάσσαλοι κατασκευάστηκαν στο EEW στο Rostock στην Γερμανία. Κατά την διάρκεια της μεταφοράς μεταφέρθηκαν και παραδόθηκαν στο Aalborgστην Δανία σε 4 x 30.5 metres x 100.5 metres. Η μετάβαση των κομματιών κατασκευάστηκε στην βιομηχανία Bladtστην Aalborgτης Δανίας. Με πλήρη χωρητικότητα το projectσχεδιάστηκε με σκοπό να παράγει ανανεώσιμη πηγή

ενέργειας για μισό εκατομμύριο (500.000 households) σπίτια. Η αντιστοιχία αυτή ισοδυναμεί με 900.000 τόνους από διοξείδιο του άνθρακα ανά έτος. Γι' αυτό τον λόγο έγινε η εγκατάσταση δύο θαλάσσιων υποσταθμών στην βόρεια ακτή και κατά κεντρικά του συνολικού έργου. Ο ηλεκτρισμός που παράγεται πρώτος συσσωρεύεται σε ένα μεγάλο μετασχηματιστή στην θάλασσα και μεταφέρεται στην στεριά με υψηλής τάσης καλώδια. Σύμφωνα με την εταιρία Siemens η τυποποίηση της διαδικασίας για την κατασκευή και μεταφορά και την εγκατάσταση βελτιώθηκε περαιτέρω κατά την διάρκεια εκτέλεσης των εργασιών. Σκοπός του συγκεκριμένου project ήταν και είναι να βοηθήσει το Ηνωμένο Βασίλειο (UK) να πετύχει ένα ποσοστό 15.4 % όπου θα υπάρχει παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας όπου και έχει επιτευχθεί .



Εικόνα 25: Τοποθεσία τροφοδοσίας (Πηγή : londonarray.com/wp-content/uploads/2020/07/Non-technical-summary.pdf)

Υπάρχουν βέβαια συγκεκριμένοι λόγοι όπου αποφασίστηκε η εγκατάσταση να γίνει σε συγκεκριμένη τοποθεσία (Thames Estuary) και έγινε για τις υψηλές ταχύτητες του ανέμου, πρόσβαση σε κοντινές θύρες για την μετάβαση στο έργο, ιδανικές συνθήκες εδάφους και ιδανικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Με αποτέλεσμα ο ηλεκτρισμός να χρησιμοποιείται τοπικά για να υπάρχει μείωση απώλειας μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Αναλυτικά παρακάτω παρουσιάζεται πίνακας με τους συντελεστές μέσης χωρητικότητας για τις offshore ανεμογεννήτριες βασιζόμενες σε εγκαταστάσεις του Ηνωμένου Βασιλείου βάση τον Μάρτιο του 2021.

The Project Construction Process

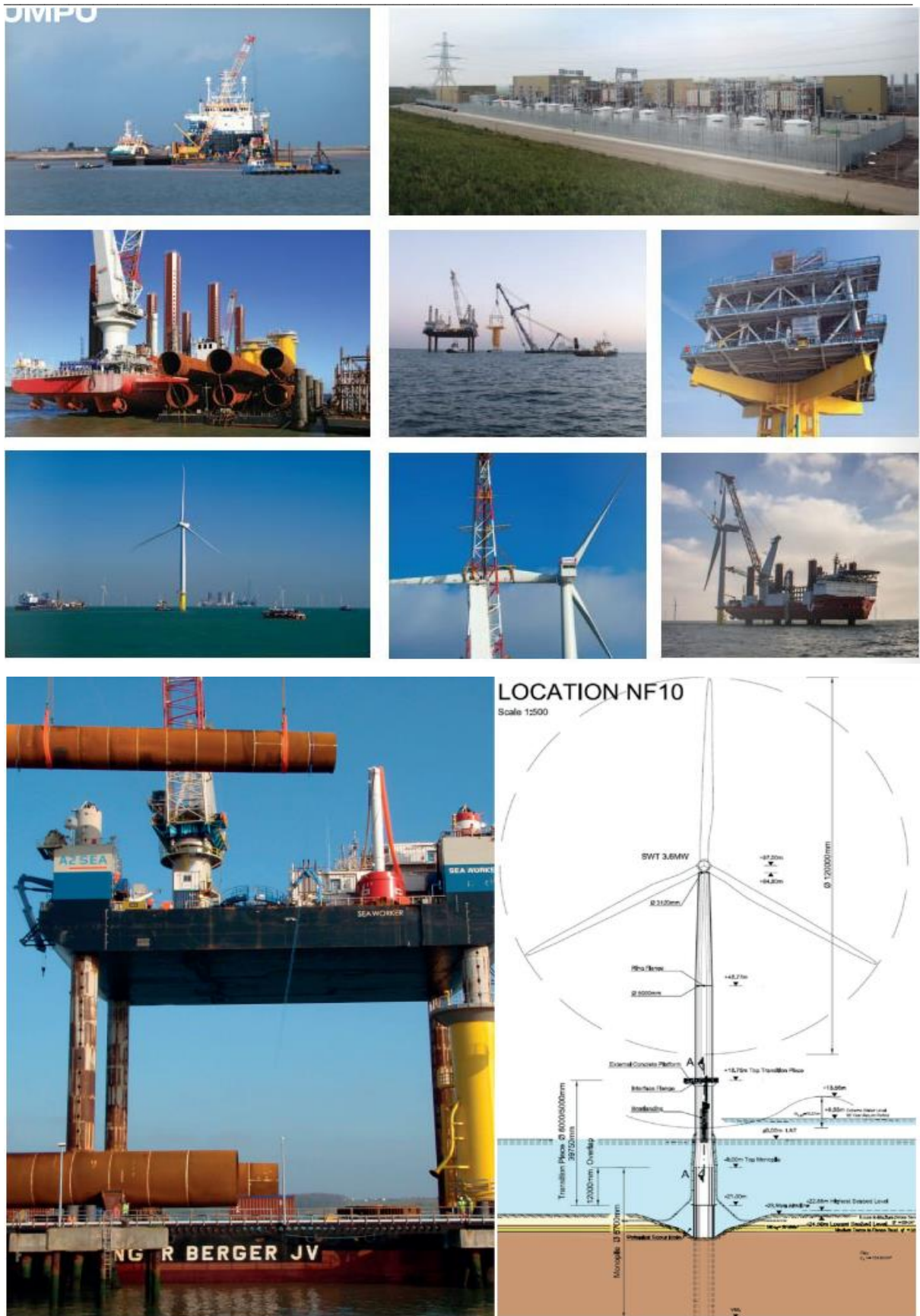
The key components of the London Array wind farm are:

- Up to 271 offshore wind turbine generators;
- Up to five offshore substations;
- Up to four meteorological masts (one is already installed);
- Undersea cabling between the turbines;
- Up to six undersea cables (export cables) from the wind farm to shore;
- An onshore substation.

The turbines will be built over a three to four year period. The table below shows a likely construction programme for the wind farm. The actual construction programme will depend on several factors, including the date that full consent is granted.

Phase	Start of construction	Commissioning and completion
1	April 2007	October 2008
2	April 2008	October 2009
3	April 2008	October 2009
4	April 2009	October 2010

Εικόνα 26: Project planning (Πηγή : [londonarray.com/wp-content/uploads/2020/07/Non-technical-summary.pdf](https://www.londonarray.com/wp-content/uploads/2020/07/Non-technical-summary.pdf))



Εικόνα 27: Αποσπάσματα εικόνων κατά την διάρκεια εργασιών (Πηγή : <https://www.yumpu.com/en/document/read/37977036/london-array-celebrates-as-final-turbine-is-installed>)

Κεφάλαιο 5 : Net zero & Πράσινη ενέργεια

5.1 Net Zero – Χρησιμότητα στον πλανήτη μας

Χώρες, πόλεις και εταιρείες δεσμεύονται όλο και περισσότερο να φτάσουν το καθαρό μηδέν έως το 2050 – αφαιρώντας όσο CO₂ παράγουν για να περιορίσουν την υπερθέρμανση του πλανήτη. Οι βραχυπρόθεσμοι και μακροπρόθεσμοι στόχοι μείωσης των εκπομπών, σύμφωνα με τη **Συμφωνία του Παρισιού**, έχουν τεθεί σε όλο τον κόσμο για την εξάλειψη των χειρότερων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής αυτή τη δεκαετία. Σύμφωνα λοιπόν με τη Συμφωνία του Παρισιού το 2015, 197 χώρες δεσμεύτηκαν να διατηρήσουν την άνοδο της θερμοκρασίας «πολύ κάτω» από 1,5°C για να αποφύγουν σοβαρές συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) διαπίστωσε στην έκθεσή της για το 2018 ότι «οι παγκόσμιες καθαρές ανθρωπογενείς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα θα πρέπει να μειωθούν κατά περίπου 45% από τα επίπεδα του 2010 έως το 2030, φτάνοντας το καθαρό μηδέν περίπου το 2050. Αυτό σημαίνει ότι οι υπόλοιπες εκπομπές που προκαλούνται από την ανθρώπινη δραστηριότητα που δεν μπορούν να περιοριστούν, θα πρέπει να εξισορροπηθούν με την απομάκρυνση του CO₂ από την ατμόσφαιρα. Η ΕΕ στοχεύει να είναι η πρώτη καθαρή μηδενική ήπειρος στον κόσμο και ως εκ τούτου, αυστηροποιεί την ενεργειακή πολιτική και τους κανονισμούς της, όντας η πρώτη περιοχή που θέτει σε νόμο τον καθαρό μηδενικό στόχο. Η πρωτοβουλία «Net Zero Tracker» έχει χαρτογραφήσει τον αριθμό των χωρών, πόλεων, περιοχών και οργανισμών, όπου πλησιάζουν την μηδενική ρύπανση για να αποκτήσει μια εντύπωση πόσο μεγάλο αντίκτυπο μπορεί να έχουν αυτές οι οντότητες στην επίτευξη του παγκόσμιου καθαρού μηδενικού στόχου. Σύμφωνα με το Net Zero Tracker, το 90% της παγκόσμιας οικονομίας έχει δεσμευτεί να φτάσει στο καθαρό μηδέν. Το Πρότυπο Καθαρής Μηδενικής Πρωτοβουλίας Επιστημονικών Στόχων (SBTi) είναι ένα τέτοιο πρότυπο που δίνει ουσία και καθοδήγηση σε καθαρούς μηδενικούς στόχους. Το SBTi Net Zero Standard παρέχει μια κοινή, ισχυρή και βασισμένη στην επιστήμη κατανόηση του καθαρού μηδέν. Το πρότυπο είναι το πρώτο στον κόσμο που παρέχει μια μέθοδο για τις εταιρείες να συμμετάσχουν στο να προσεγγίσουν την παγκόσμια ενεργειακή οικονομία να φτάσει το καθαρό μηδέν. Οι εταιρικοί καθαροί μηδενικοί στόχοι διαφέρουν σε τρεις διαστάσεις: το όριο του στόχου, τις επιλεγμένες στρατηγικές μετριασμού και το χρονικό πλαίσιο για την επίτευξη του στόχου. Οι εταιρείες που

θέλουν να ευθυγραμμιστούν με το Net Zero Standard πρέπει να θέσουν μακροπρόθεσμους και βραχυπρόθεσμους στόχους, στοχεύοντας σε βαθιές περικοπές εκπομπών τουλάχιστον κατά 90% πριν από το 2050 και μειώνοντας στο μισό τις εκπομπές τους έως το 2030. Με βάση τις κατευθυντήριες αρχές της Καθοδήγησης Net Zero, η επίτευξη του καθαρού μηδενός ευθυγραμμισμένη με τον περιορισμό της θέρμανσης στους 1,5°C περιλαμβάνει δύο συνθήκες:

1. Η επίτευξη μείωσης οποιαδήποτε ενέργειας που αυξάνει την θερμοκρασία του πλανήτη.
2. Εξουδετέρωση των επιπτώσεων οποιασδήποτε πηγής υπολειμματικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα .

Οι εταιρικοί καθαροί μηδενικοί στόχοι αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό εργαλείο για τις εταιρείες που σηματοδοτούν ότι ο ιδιωτικός τομέας έχει τη δύναμη να οδηγήσει στην πρόοδο στον αγώνα κατά της κλιματικής αλλαγής. Η δέσμευση για επίτευξη του καθαρού μηδενός είναι μέρος μιας αυξανόμενης τάσης, αλλά η δέσμευση για έναν καθαρό μηδενικό στόχο που βασίζεται στην επιστήμη δείχνει υπευθυνότητα. Η παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σχεδόν διπλασιάζεται τις επόμενες τρεις δεκαετίες, αυξάνοντας από περίπου 26.800 Τεραβατώρες (TWh) το 2020 σε πάνω από 50.000 TWh το 2050. Οι πηγές ενέργειας χαμηλών εκπομπών παρέχουν όλη την αύξηση. Το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται από 29% το 2020 σε σχεδόν 70% το 2050, καθώς τα ηλιακά φωτοβολταϊκά και τα αιολικά παλεύουν μπροστά από όλες τις άλλες πηγές ενέργειας. Μέχρι το 2050, τα ηλιακά φωτοβολταϊκά και τα αιολικά μαζί αντιπροσωπεύουν σχεδόν το ήμισυ της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια συνεχίζει επίσης να επεκτείνεται, αναδεικνύοντας την τρίτη μεγαλύτερη πηγή ενέργειας στο μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας έως το 2050. Η πυρηνική ενέργεια αυξάνεται επίσης σταθερά, διατηρώντας το μερίδιο της στην παγκόσμια αγορά περίπου 10%, με αποτέλεσμα τις αυξήσεις στην Κίνα. Το μερίδιο του άνθρακα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πέφτει από περίπου 35% το 2020 σε κάτω από 10% το 2050. Το 20% της υπόλοιπης παραγωγής με καύση άνθρακα προέρχεται από μονάδες εξοπλισμένες με **CCU (Δέσμευση και Χρήση Διοξειδίου του Άνθρακα)** . Το υδρογόνο και η αμμωνία θα αρχίζουν να εμφανίζονται ως εισροές καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2030. Αυτό παρατείνει τη διάρκεια ζωής των υφιστάμενων περιουσιακών στοιχείων, συμβάλλει στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και επαρκεί για να μειώσει το συνολικό κόστος μετασχηματισμού των τομέων ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλές χώρες. Η συνολική χωρητικότητα της μπαταρίας αυξάνεται επίσης σημαντικά, φτάνοντας τα 1.600 γιγαβάτ (GW) σε 2050, 70% περισσότερο από το 2021-2022.



Εικόνα 28: Πράσινη Ενέργεια (Πηγή : <https://www.prysmiangroup.com/>)

5.2 Συνδυαστικά παραδείγματα πράσινης ενέργειας

Υπάρχουν βέβαια πολλών ειδών εφαρμογές οι οποίες βασιζόμενες στην ανανεώσιμη μορφή ενέργειας και στην πράσινη ενέργεια προσπαθούν να πλησιάσουν το λεγόμενο Net Zero.



1) Υδρό - ενέργεια αντλίας αποθήκευσης

Η υδροηλεκτρική ενέργεια με αντλία αποθήκευσης (**PSH: Pumped Storage Hydropower**) είναι ένας τύπος αποθήκευσης υδροηλεκτρικής ενέργειας. Πρόκειται για διαμόρφωση δύο δεξαμενών νερού σε διαφορετικά υψόμετρα που μπορούν να παράγουν ισχύ καθώς το νερό μετακινείται από τη μία στην άλλη (εκκένωση), περνώντας μέσα από έναν στρόβιλο. Το σύστημα απαιτεί επίσης ρεύμα καθώς αντλεί νερό πίσω στην επάνω δεξαμενή (επαναφόρτιση). Το PSH δρα παρόμοια με μια γιγάντια μπαταρία, επειδή μπορεί να αποθηκεύσει ενέργεια και στη συνέχεια να την απελευθερώσει όταν χρειάζεται. Οι πρώτες γνωστές περιπτώσεις βρέθηκαν στην Ιταλία και την Ελβετία τη δεκαετία του 1890, και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1930. Πλέον οι εγκαταστάσεις PSH μπορούν να βρεθούν σε όλο τον κόσμο! Σύμφωνα με την έκδοση του 2021 της Έκθεσης Υδροηλεκτρικής Αγοράς, η PSH αντιπροσωπεύει επί του παρόντος το 93% του συνόλου της αποθήκευσης ενέργειας σε κλίμακα κοινής ωφέλειας στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η Αμερική διαθέτει επί του παρόντος 43 μονάδες και έχει τη δυνατότητα να προσθέσει αρκετές νέες εγκαταστάσεις για να υπερδιπλασιάσει την τρέχουσα χωρητικότητά της σε PSH.

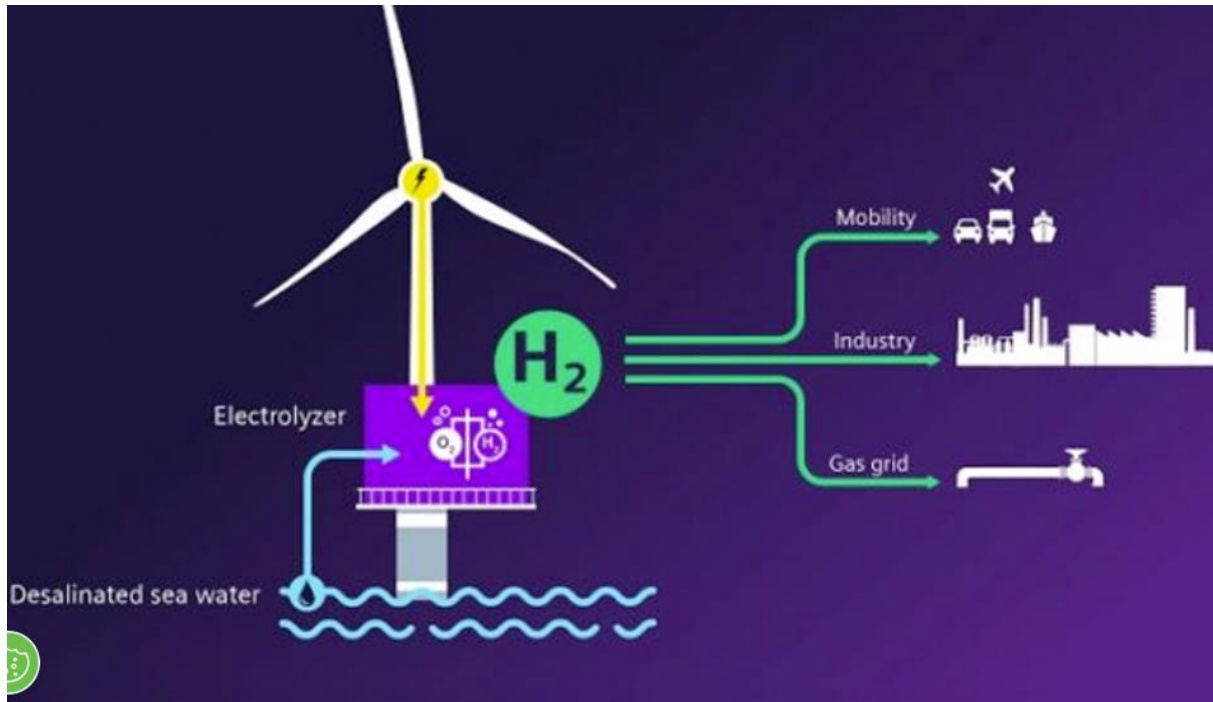
2) Πλωτά Ηλιακά Φωτοβολταϊκά

Ένα πλωτό ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα (**FPV: Floating Solar Photovoltaic**) είναι μια αναδυόμενη τεχνολογία στην οποία ένα ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα (**PV: Photovoltaic**) τοποθετείται απευθείας πάνω από ένα υδάτινο σώμα, σε αντίθεση με το έδαφος ή σε στέγες κτιρίων. Τα συστήματα FPV κερδίζουν έδαφος σε όλο τον κόσμο (π.χ. στο Ηνωμένο Βασίλειο και τις Σεϋχέλλες). Μια πρόσφατη έκθεση έρευνας αγοράς από την Technavio προβλέπει ότι η αγορά FPV θα αναπτυχθεί με σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης άνω του 31% από το 2018-2022. Το 52% της ανάπτυξης θα προέλθει από την Αμερική. Παρά την ωρίμανση και την ένταξη της αγοράς FPV, δεν έχει διεξαχθεί ολοκληρωμένη μελέτη των τεχνικών δυνατοτήτων του FPV στις ηπειρωτικές Ηνωμένες Πολιτείες.

3) Σύστημα θαλάσσιας ανεμογεννήτριας σε συνδυασμό με παραγωγή υδρογόνου .

Οι θαλάσσιες ανεμογεννήτριες οι οποίες παράγουν ηλεκτρισμό ο οποίος με την σειρά του μπορεί να μετατραπεί μέσω ενός συστήματος ηλεκτρόλυσης από το θαλασσινό νερό και να μεταφερθεί και μετατραπεί μέσω θαλάσσιων σωληνώσεων σε υδρογόνο. Το οποίο υδρογόνο

μεταφέρεται σε διάφορες βιομηχανίες είτε αποθηκεύεται σε δεξαμενές υδρογόνου. Από την στιγμή όπου το υδρογόνο παράγεται από είδος ανανεώσιμης ενέργειας είτε πράσινης ενέργειας θεωρείται και αυτό είδος – μορφή ανανεώσιμης ενέργειας εφόσον δεν παράγεται με την σύζευξη του CO₂ .



Εικόνα 30: Σύστημα Θαλάσσιας ανεμογεννήτριας με Παραγωγή-Διανομή Υδρογόνου (Πηγή : www.offshore-mag.com)

5.3 Υποδομές πράσινης ενέργειας

Οι πράσινες υποδομές είναι ένα στρατηγικά σχεδιασμένο δίκτυο από φυσικές περιοχές όπου είναι σχεδιασμένες για να χειρίζονται και να μεταφέρουν ένα ευρύ φάσμα του οικοσυστήματος. Η στρατηγική για τις πράσινες υποδομές που προτείνει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, προωθεί την ανάπτυξη της πράσινης υποδομής σε ολόκληρη την ΕΕ οικονομικά, κοινωνικά και οικολογικά ωφελεί και συμβάλει στη βιώσιμη ανάπτυξη. Ένα κύριο χαρακτηριστικό της Στρατηγικής για τις Πράσινες Υποδομές είναι την ενσωμάτωσή του σε σχετικές πολιτικές μέσω: προσαρμογής με βάση το οικοσύστημα σε πολιτικές για την κλιματική αλλαγή· λύσεις που βασίζονται στη φύση στην έρευνα και την καινοτομία. Το δίκτυο Natura 2000 παίζει σημαντικό ρόλο στην προστασία πολλών περιοχών από τις βασισμένο σε υγιά οικοσυστήματα. Στο πλαίσιο της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ, μπορούν να επιτευχθούν σημαντικά οφέλη

συμπεριλαμβανομένης της Πράσινης Υποδομής στις Εκτιμήσεις Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων και Στρατηγικές Περιβαλλοντικές Εκτιμήσεις για τις υποδομές μεταφοράς ενέργειας έργα ή προγράμματα, διασφαλίζοντας έτσι την κλιματική αλλαγή και τη βιοποικιλότητα καλύπτονται. Καθώς η Πράσινη Υποδομή μπορεί να συμβάλει σημαντικά σε πολλούς τομείς και οι στόχοι πολιτικής της ΕΕ, η Πράσινη Υποδομή ενσωματώνεται σε πολλές χρηματοδοτήσεις ροές συμπεριλαμβανομένων των διαρθρωτικών ταμείων (Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ)· Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο (ΕΚΤ)), το Ταμείο Συνοχής (ΤΣ), το Ευρωπαϊκό Ναυτιλιακό Ταμείο και το Ταμείο Αλιείας (ΕΤΘΑ), το Ευρωπαϊκό Γεωργικό Ταμείο Αγροτικής Ανάπτυξης ΕΓΤΑΑ), κεφάλαια έργων LIFE+ και Horizon 2020 και Χρηματοδότηση Φυσικού Κεφαλαίου.

Ο ενεργειακός τομέας - η καύση άνθρακα, φυσικού αερίου και πετρελαίου για ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα - είναι η μεγαλύτερη ενιαία πηγή παγκόσμιας εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ευθύνεται για πάνω από το ένα τέταρτο όλων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της ΕΕ. Η μετάδοση ενέργειας βάση των υποδομών επίσης οδηγεί σε κατακερματισμό του φυσικού ενδιαίτημα, καταστροφή οικοσυστημάτων και εξάντληση του οικοσυστήματος Υπηρεσίες. Η Πράσινη Υποδομή μπορεί να παίζει ρόλο στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων του ενεργειακού τομέα, με: (1) μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης (2) παροχή βιοενέργειας, και (3) παροχή άνθρακα πρόσληψη και αποθήκευση (μετριασμός της κλιματικής αλλαγής). Αυτές οι αρνητικές επιπτώσεις μπορούν να μετριαστούν με τη δημιουργία ή την αποκατάσταση Πράσινη Υποδομή. Για παράδειγμα, αστικές περιοχές πρασίνου όπως κάποια αστικά πάρκα και οι δρόμοι κ.α μπορούν να παίξουν ρόλο στη μείωση της συνολικής ενεργειακής ζήτησης και έτσι συμβάλλουν στον μετριασμό της.

Το φαινόμενο της «αστικής θερμικής νησίδας». Δέντρα, πράσινες στέγες και άλλα Πράσινα τα χαρακτηριστικά υποδομής μπορούν να δροσίσουν τις αστικές περιοχές σκιάζοντας τα κτίρια επιφάνειες, εκτρέποντας την ακτινοβολία από τον ήλιο και απελευθερώνοντας υγρασία στην ατμόσφαιρα. Τα κτίρια ευθύνονται για το 40% της κατανάλωσης ενέργειας και το 36% των εκπομπών CO₂ στην ΕΕ. Ένα μεγάλο μέρος αυτής της ενέργειας χρησιμοποιείται για τη διατήρηση των εσωτερικών θερμοκρασιών του κτιρίου μέσω θέρμανσης και συστήματα ψύξης. Πράσινα στοιχεία υποδομής όπως το πράσινο οι στέγες μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και συνεπώς τις εκπομπές CO₂ που σχετίζονται με τα κτίρια αλλά και όχι μόνο. Οι οικονομικά αποδοτικές βελτιώσεις της ενεργειακής απόδοσης μπορούν να έχουν θετικές μακροοικονομικές επιπτώσεις, ενισχύοντας την οικονομική δραστηριότητα και συχνά οδηγώντας σε αύξηση της απασχόλησης. Η ενεργειακή απόδοση μειώνει την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την παροχή υπηρεσιών, όπως η

κινητικότητα, ο φωτισμός, η θέρμανση και η ψύξη. Η μείωση του κόστους των ενεργειακών υπηρεσιών απελευθερώνει πόρους για τα νοικοκυριά, τις επιχειρήσεις και τις κυβερνήσεις. Η μακροοικονομική αξιολόγηση είναι ένας κύριος κλάδος της οικονομικής ανάλυσης που έχει δημιουργήσει μεγάλο όγκο γνώσεων και αποδεικτικών στοιχείων για πολλά χρόνια. Ωστόσο, ο αντίκτυπος των πολιτικών ενεργειακής απόδοσης στις μακροοικονομικές επιδόσεις πρέπει ακόμη να γίνει καλύτερα κατανοητός και να μετρηθεί συστηματικά. Οι βελτιώσεις της ενεργειακής απόδοσης μπορούν να αποφέρουν οφέλη σε ολόκληρη την οικονομία, με άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στην οικονομική δραστηριότητα (μετρούμενη μέσω του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος [ΑΕΠ]), την απασχόληση, τα εμπορικά ισοζύγια και τις τιμές της ενέργειας. Το 2017, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή μοντελοποίησε τέσσερα διαφορετικά σενάρια που αξιολογούν αυξημένους στόχους για τον στόχο ενεργειακής απόδοσης της ΕΕ για το 2030. Η ανάλυση εκτιμά τις επιπτώσεις των βελτιώσεων στην ενεργειακή απόδοση σε διάφορα επίπεδα φιλοδοξίας έως το 2030 σε σύγκριση με τη βασική γραμμή του 2007. Όσον αφορά τον αντίκτυπο στο ΑΕΠ, κάθε σενάριο που διαμορφώθηκε είχε ως αποτέλεσμα θετική αλλαγή, που κυμαινόταν από 0,1% αύξηση του ΑΕΠ στο λιγότερο φιλόδοξο σενάριο, έως και 2,0% αύξηση στο πιο φιλόδοξο σενάριο αυξημένης ενεργειακής απόδοσης. Επιπλέον, η αγορά ενεργειακών υπηρεσιών παρέχει μια περαιτέρω πηγή απασχόλησης. Οι εταιρείες ενεργειακών υπηρεσιών (ESCO) που έχουν συνάψει σύμβαση για την παροχή πλεονεκτημάτων ενεργειακής απόδοσης σε πελάτες σε συνεχή βάση και οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας ενέργειας που υποχρεούνται να παρέχουν ενεργειακή απόδοση από τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής είναι οι δύο κύριοι παίκτες στον τομέα, ο οποίος απασχολεί περισσότερους από 1 εκατομμύριο ανθρώπους παγκοσμίως. Η ΕΕ πέτυχε τον στόχο της για το 2020, με την κατανάλωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να αυξάνεται από 19,9% της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας το 2019 σε 22,1% το 2020. Αυτό οφείλεται στη διαρκή ανάπτυξη της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), που αυξήθηκε από 34,1% σε 37,5% το 2020. Το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις μεταφορές και τα κτίρια (θέρμανση και ψύξη) επίσης αυξήθηκε την ίδια περίοδο, αν και με χαμηλότερο ρυθμό. Δεδομένου ότι το μερίδιο ΑΠΕ εξαρτάται από το μέγεθος του συνόλου, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η συνολική ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας μειώθηκε σημαντικά μεταξύ 2019 και 2020 (-8%) λόγω των επιπτώσεων των μέτρων για τον περιορισμό της πανδημίας Covid-19. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ είχε συχνά προτεραιότητα λόγω του χαμηλότερου λειτουργικού κόστους και της προτιμησιακής αποστολής. Εξετάζοντας τις πιο μακροπρόθεσμες τάσεις, το μερίδιο ΑΠΕ υπερδιπλασιάστηκε μεταξύ 2005 και 2020, λόγω των ειδικών πολιτικών και προγραμμάτων στήριξης, καθώς και της αυξημένης οικονομικής

ανταγωνιστικότητας. Αυτό ισοδυναμούσε με μέση ετήσια αύξηση 0,8 ποσοστιαίων μονάδων κατά τη διάρκεια της 15ετούς περιόδου. Η αύξηση που παρατηρήθηκε το 2020 (κατά 2,2 ποσοστιαίες μονάδες) ήταν η μεγαλύτερη στη σειρά πλήρους χρόνου. Παρά το γεγονός ότι η ΕΕ έχει επιτύχει τον στόχο της για το 2020, η συνεχής δράση παραμένει απαραίτητη .



Εικόνα 31: Πράσινη Ενέργεια (Πηγή : weforum.org/agenda/2021/04/renewable-energy-storage)

Κεφάλαιο 6 : Συμπεράσματα

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα είναι μεγάλες ποσότητες ανεμογεννητριών που αναφέρονται στην ανοικτή θάλασσα και η μόνη διαφορά μεταξύ των υπεράκτιων πάρκων και των χερσαίων πάρκων είναι ότι αυτά τα αιολικά πάρκα βρίσκονται πάνω από υδάτινα σώματα. Ο υπεράκτιος άνεμος μπορεί να προσφέρει μεγάλες ποσότητες καθαρής, ανανεώσιμης ενέργειας καλύπτοντας έτσι τις ηλεκτρολογικές ανάγκες των πόλεων κατά μήκος των ακτών των ΗΠΑ. Το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας εκτιμά ότι το δυναμικό τεχνικών πόρων για την υπεράκτια αιολική ενέργεια των ΗΠΑ είναι περισσότερο από 2000 γιγαβάτ χωρητικότητας ή 7200 τεραβατώρες ανά έτος παραγωγής. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από υπεράκτιες ανεμογεννήτριες ταξιδεύει πίσω στη στεριά μέσω μιας σειράς των καλωδιακών συστημάτων που είναι θαμμένα στον πυθμένα της θάλασσας. Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται μέσω παράκτιων κέντρων φόρτωσης που δίνουν προτεραιότητα στο πού πρέπει να πάει η ηλεκτρική ενέργεια και τη διανέμει στο ηλεκτρικό δίκτυο για να τροφοδοτήσει τα σπίτια, τα σχολεία και τις επιχειρήσεις μας

Πλεονεκτήματα

Η υπεράκτια αιολική ενέργεια έχει πολλά πλεονεκτήματα:

- Οι ταχύτητες των θαλάσσιων ανέμων είναι μεγαλύτερες από ό,τι στην ξηρά και μικρές αυξήσεις στην ταχύτητα του ανέμου θα επιφέρουν μεγάλες αυξήσεις στην παραγωγή ενέργειας. Για παράδειγμα, μια τουρμπίνα με άνεμο 15 mph μπορεί να παράγει διπλάσια ενέργεια από μια τουρμπίνα σε άνεμο 12 mph. Μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου στην ανοικτή θάλασσα σημαίνει ότι μπορεί να παραχθεί πολύ περισσότερη ενέργεια.
- Οι ταχύτητες των υπεράκτιων ανέμων είναι επίσης πιο σταθερές από ό,τι στην ξηρά, γεγονός που οδηγεί σε μια πιο αξιόπιστη πηγή ενέργειας.
- Οι παράκτιες περιοχές έχουν πολύ υψηλές ενεργειακές ανάγκες και η υπεράκτια αιολική ενέργεια μπορεί να παρέχει αυτή την ενέργεια.
- Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα έχουν πολλά από τα ίδια πλεονεκτήματα με τα χερσαία αιολικά πάρκα.
- Δημιουργούν πολλές θέσεις εργασίας στην περιοχή τόσο για εμπόρους όσο και για τοπικές επιχειρήσεις.

Μειονεκτήματα

Υπάρχουν επίσης μερικά μειονεκτήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

- Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα μπορεί να είναι ακριβά και δύσκολο να κατασκευαστούν και να συντηρηθούν, λόγω των κυμάτων, του ισχυρού ανέμου, των ισχυρών καταιγίδων και της εγκατάστασης κάτω από τον τυθμένα της θάλασσας.
- Οι θαλάσσιες ανεμογεννήτριες μπορεί να είναι μη δημοφιλή στους κατοίκους της περιοχής, καθώς και να επηρεάζουν τον τουρισμό και τις αξίες ακινήτων.

Επιπτώσεις στον κλάδο

Το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (DOE) συνεργάζεται με τη βιομηχανία και τον ακαδημαϊκό κόσμο για να αντιμετωπίσει ερευνητικές προκλήσεις που είναι μοναδικές στον υπεράκτιο άνεμο των ΗΠΑ (όπως οι τυφώνες) και να κατανοήσει και να αντιμετωπίσει τα εμπόδια της αγοράς όπως περιβαλλοντικές επιπτώσεις, υλικοτεχνικές προκλήσεις, χωροθέτηση και αδειοδότηση και ανάπτυξη υποδομών. Τέλος, η DOE εργάζεται επίσης για την επίδειξη προηγμένων τεχνολογιών. Ειδικότερα, το Ηνωμένο Βασίλειο σημειώνει νέα εθνικά ρεκόρ αιολικής ενέργειας, με τη συνολική αιολική ενέργεια που παράγεται τον Δεκέμβριο του 2013 να φτάνει τις 2.841.080 MWh, που είναι αρκετή για να τροφοδοτήσει 5,7 εκατομμύρια βρετανικά σπίτια ή το 10% της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας της Βρετανίας. Η Βρετανία λαμβάνει περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από υπεράκτια αιολικά πάρκα από όλες τις άλλες χώρες μαζί. Στις ΗΠΑ, το State Pier μετατρέπεται σε μια σύγχρονη, βαριά εγκατάσταση ανύψωσης που υποστηρίζει την υπεράκτια αιολική ανάπτυξη και θα παρέχει ευκαιρίες σε συγκολλητές, ηλεκτρολόγους, ξυλουργούς και άλλα επαγγέλματα. Μόλις ολοκληρωθεί η προβλήτα, θα χρειαστεί το ίδιο εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό για να πραγματοποιηθούν οι εργασίες συναρμολόγησης στην προβλήτα για υπεράκτιες ανεμογεννήτριες, υπόσχοντας οικονομική απόδοση τουλάχιστον για την επόμενη δεκαετία. Τοπικοί κατασκευαστές και προμηθευτές έχουν ήδη αρχίσει να βάζουν τις βάσεις για την ανάπτυξη και την υποστήριξη μιας τοπικής υπεράκτιας αλυσίδας εφοδιασμού αιολικής ενέργειας. Καθώς περισσότερες πολιτείες προχωρούν στις δεσμεύσεις τους για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, θα αυξάνονται οι ευκαιρίες για ανάπτυξη θαλάσσιων αιολικών πηγών, που σημαίνει περισσότερη δραστηριότητα στην State Pier και μεγαλύτερα κίνητρα για τους προμηθευτές και τους κατασκευαστές υπεράκτιων αιολικών να έρθουν στο νοτιοανατολικό Κονέκτικατ και να βάλουν κάτω ρίζες. Συμπερασματικά, τα υπεράκτια αιολικά πάρκα έχουν πολλά από τα οφέλη των χερσαίων πάρκων, συν πολλά άλλα. Η θαλάσσια αιολική ενέργεια

είναι μια βιώσιμη επιλογή για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και μπορούμε να περιμένουμε ότι η βιομηχανία θα αναπτυχθεί περαιτέρω σε αυτόν τον τομέα στο μέλλον. Είναι σαφές ότι υπάρχει έντονη ανάγκη για ενσωμάτωση περισσότερων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο του μέλλοντος. Αυτού του είδους οι πηγές ενέργειας, όταν συνδυάζονται με την αποθήκευση ενέργειας, μπορούν να ωφελήσουν σημαντικά το δίκτυο προσφέροντας μια ποικιλία βοηθητικών υπηρεσιών και καθημερινές μειώσεις φορτίου αιχμής. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης θα ποικίλλουν ανάλογα με τις διαφορετικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και μια μεγαλύτερη ποικιλία πηγών θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη σταθερότητα του δικτύου (όσον αφορά τα μικροδίκτυα – πρέπει να κάνω περισσότερη έρευνα για αυτό). Επίσης, έχουν προταθεί μοντέλα ελαχιστοποίησης κόστους που μπορούν να χρησιμοποιήσουν δεδομένα πραγματικής ισχύος και τιμών από έξι διαφορετικές πηγές παραγωγής ενέργειας σε ένα μικροδίκτυο για να ελαχιστοποιήσουν το συνολικό κόστος αγοράς ισχύος[1]. Όλα αυτά βασίζονται στην κατασκευή νέων και περισσότερων συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ώστε να μπορούν να ενσωματωθούν στο δίκτυο με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Με την τρέχουσα ποσότητα αποθήκευσης στο δίκτυο (χρειάζεται περισσότερη έρευνα για αυτό και εισαγωγή στατιστικών), οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν έναν πολύ δύσκολο δρόμο για την πλήρη ενσωμάτωση στο δίκτυο. Αλλά αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί να διαδραματίσουν πολύ μεγαλύτερο ρόλο σε αποκεντρωμένα ή κατακεντρωμένα συστήματα ισχύος (μικροδίκτυα) από ό,τι στο γιγάντιο κεντρικό σύστημα ισχύος που έχουμε σήμερα. Παρόλο που αυτή η εργασία επικεντρώθηκε κυρίως στην εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για σκοπούς αρμπιτράζ (δηλαδή αποθήκευση φθηνής ενέργειας τη νύχτα για χρήση κατά τις ώρες αιχμής), υπάρχουν πολλές νέες ευκαιρίες στην αγορά βοηθητικών υπηρεσιών που καθιστούν αυτά τα έργα πιο οικονομικά βιώσιμα καθώς και με τις αυξανόμενες κυβερνητικές πολιτικές για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου καθώς και την αυξημένη οικονομική βιωσιμότητα σε συνδυασμό με την αποθήκευση, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και οι τεχνολογίες αποθήκευσης αναμφίβολα θα αυξηθούν σημαντικά την επόμενη δεκαετία. Το να καταλάβουμε πώς θα φαίνεται και θα λειτουργήσει αυτό το «Πλέγμα του Μέλλοντος» είναι μια παγκόσμια πρόκληση που κάθε χώρα θα πρέπει να αντιμετωπίσει με τον δικό της τρόπο. Αυτό εξακολουθεί να είναι ένα σημαντικό θέμα μελλοντικής έρευνας, καθώς οι αναπτυσσόμενες έναντι των αναπτυσσόμενων χωρών αντιμετωπίζουν πολύ διαφορετικές προκλήσεις όσον αφορά τα συστήματα ενέργειας και ενέργειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αναφορά σε ιστοσελίδα:

[1] Report of European commission ffshore wind:

https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/swd2021_307_en_autre_document_t_ravail_service_part2_v2

[2] Αναφορά στις ανεμογεννήτριες

<https://el.wikipedia.org/wiki/>

[3] Αναφορά σε offshore wind park

<https://ramboll.com/projects/taiwan/two-hvac-transformer-platforms>

[4] Details about offshore wind

<https://www.evwind.es/2020/09/28/new-transmission-technology-is-helping-uk-offshore-wind-farms-go-bigger-farther/77425>

[5] Αναφορά σε συνδυασμό θαλάσσιων ανεμογεννητριών με παραγωγή & διανομή υδρογόνου

<https://www.enlit.world/hydrogen/siemens-energy-in-146m-bid-to-harvest-hydrogen-from-offshore-wind/>

Αναφορά σε δημοσίευση σε επιστημονικό περιοδικό:

[1] Ηλεκτρολόγος

www.hlektrologos.gr

[2] Report Offshore Wind Turbine Foundations

https://www.maine.gov/energy/sites/maine.gov.energy/files/inline-files/Akers_ME%20OSW_Floating%20Technology%20101%202025_21_0.pdf
