



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Ασφάλεια και Υγεία σε εργασίες εγκατάστασης, θεμελίωσης, λειτουργίας και συντήρησης υπεράκτιων συστημάτων ανανεώσιμων πηγών παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.»

---

Γλυκερία- Αγλαΐα Ραδαίου

Επιβλέπων Καθηγητής: Ι. Κ. Χατζηγεωργίου

Αθήνα, Ιούλιος 2019

## **Ευχαριστίες**

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στη Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Με την ολοκλήρωσή της εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Χατζηγεωργίου και τον κύριο Τσαρακλή, Ναυπηγό Μηχανολόγο Μηχανικό και διδάσκοντα στο ΕΜΠ, για την καθοδήγηση τους κατά την διάρκεια εκπόνησης της. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Λίλα, επίκουρο καθηγητή στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου, και τον κύριο Βατίστα, μέλος της επιστημονικής ομάδας του Πανεπιστημίου Αιγαίου, για το πολύτιμο υλικό που μου παρείχαν σε σχέση με το project της Υδριάδας.

## Περίληψη

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται προσπάθεια περιγραφής του τρόπου δημιουργίας του αιολικού δυναμικού και οι βασικές αρχές λειτουργίας της ανεμογεννήτριας. Στη συνέχεια, εστιάζοντας στα παράκτια αιολικά πάρκα αναφέρονται οι τρόποι θεμελίωσης των ανεμογεννητριών στην θάλασσα, οι διαφορετικές παράμετροι που συναντώνται σε σχέση με την ξηρά και γίνεται μια ανάλυση του κόστους ενός παράκτιου αιολικού πάρκου. Ακόμα, αναφέρονται οι δυνατότητες για αιολικά πάρκα στην Ελλάδα.

Αντίστοιχα στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στην δημιουργία της κυματικής ενέργειας και των βασικών χαρακτηριστικών της, καθώς και μια παρουσίαση του διαθέσιμου ενεργειακού δυναμικού και στις προϋποθέσεις αξιοποίησης του. Επίσης, αναφέρονται οι βασικοί τύποι μετατροπών κυματικής ενέργειας και οι βασικές μηχανολογικές αρχές λειτουργίας του. Τέλος, παρατίθενται οι προοπτικές για την εκμετάλλευση του συγκεκριμένου ενεργειακού δυναμικού στην Ελλάδα.

Στη συνέχεια, στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια βασική εισαγωγή στις έννοιες της επικινδυνότητας και διακινδύνευσης, με βάση τα διαφορετικούς ορισμούς που έχουν δοθεί, και στη σημασία διευκρίνησης αυτών όσον αφορά στην καλύτερη κατανόηση επικίνδυνων συνθηκών και στην πρόληψη ατυχημάτων στο μέλλον. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στην έννοια της ανάλυσης - εκτίμησης επικινδυνότητας, στα πλεονεκτήματα που παρέχει και στις διαφορετικές μεθόδους προσέγγισης της. Έπειτα, γίνεται σύνδεση με το αντίστοιχο κομμάτι της νομοθεσίας, όπου σε κάθε χώρα διασφαλίζει την ασφαλή λειτουργία των επιχειρήσεων με στόχο την πρόληψη όσο το δυνατόν περισσότερων ατυχημάτων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ερευνών που έχουν γίνει σε σχέση με τους κινδύνους που μπορεί να προκύψουν κατά τη εγκατάσταση, λειτουργία και συντήρηση των αιολικών πάρκων τόσο για τους άμεσα εμπλεκόμενους εργαζόμενους όσο και για του κατοίκους αλλά και για το περιβάλλον. Επίσης, παρατίθενται τα βασικότερα σημεία και οι συνθήκες που μπορεί να αστοχήσει μια ανεμογεννήτρια και να προκύψουν οι παραπάνω κίνδυνοι. Το συγκεκριμένο ζήτημα λόγω του σύγχρονου του χαρακτήρα του δεν μετράει πολλά χρόνια έρευνας. Οι περισσότεροι ερευνητές αναφέρουν αυτή την έλλειψη που υπάρχει από την άποψη των αποτελεσμάτων ωστόσο τα στοιχεία που υπάρχουν μέχρι στιγμής από διαφορετικές έρευνες φαίνεται να συγκλίνουν.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα που υπάρχουν μέχρι στιγμής όσον αφορά τις επιπτώσεις που μπορεί να έχουν οι μετατροπές της κυματικής ενέργειας. Γίνεται αναφορά στις τεχνικές αστοχίες που μπορεί να προκύψουν και τι συνέπειες μπορεί να έχουν αυτές σε επιμέρους παραμέτρους. Ακόμα, επισημαίνονται οι πιθανές περιβαλλοντικές συνέπειες και οι συνέπειες σε σχέση με τους άμεσα εμπλεκόμενους κατοίκους αλλά και τον τουρισμό.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, δίνονται εξειδικευμένα στοιχεία για την πρώτη παράκτια μονάδα αφαλάτωσης με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το συγκεκριμένο κεφάλαιο εστιάζει στις προδιαγραφές ασφαλείας της μονάδας και αποτελεί συνέχεια και εξειδίκευση των υπολοίπων κεφαλαίων.

## **Abstract**

In the first chapter of the present study, the way of creation of the wind power is being described, and the principals and technical specifications of a wind turbine as well. In addition, the means of anchoring or mooring of the offshore (near-shore) wind turbines are being described and evaluated. Further there is a comparison between the onshore and offshore wind turbines, in regard of their main parameters and differences. A cost breakdown in construction and operation and maintenance of a wind park is being analyzed and in the end of the chapter it is presented the potential of wind energy further development in Greece.

In the second chapter, an effort of describing the development of wave energy is being made, by presenting the main characteristics of this energy source and analyzing the main characteristics of the global wave potential and under what circumstances it can be harnessed. There is an analysis of the main wave energy converters that have a been developed through the previous years and have a commercial or extensive experimental use. In the end of the chapter there is an analysis of the wave potential and the development of such energy converters in the Greek coastline.

The third chapter contains the presentation of the basic concept of the risk, basis the different definition that has derived through studies until today, as well as the analysis of the importance of understanding this concept so to understand it in a better way in order to identify dangerous circumstances and prevent accidents in the future. In addition, there is a presentation of the risk analysis and risk assessments methods and of the advantages that provide. The third chapter also contains the Greek labor law that regards in the accident prevention and the state control on the way that the manufacturing and other businesses, basis on the assessment of the business risk.

In the fourth chapter of the present thesis, the risks that may occur during the installation, the operation and maintenance of a wind park, are being analyzed, basis on the studies and statistics have taken place so far. Further there is a description of the basic components of a wind turbine that may fail during operation or maintenance and how the previous mentioned risks may occur. These studies even though are recent enough, and this field of study is new enough, seem to conclude in common results.

The fifth chapter regards on the developed risk and the failures that have been so far recorded, in the operation of the wave energy converters. In addition, there is an analysis of potential environmental impact of the installation of these devices in the coastal zone.

In the final chapter of this thesis, the first desalination unit that operates on only renewable resources produced electricity, is being presented. This presentation regards on the safety features of this unit summarizing all the previous chapters.

## Πίνακας Περιεχομένων

<b>1. Κεφάλαιο Α'</b> .....	<b>1</b>
1.1. Δημιουργία ανέμου και ισχύς ανέμου .....	1
1.2. Σύστημα ανεμογεννήτριας .....	4
1.3. Υπεράκτια αιολικά πάρκα .....	6
1.3.1. Στοιχεία διαφοροποίησης από τις χερσαίες εγκαταστάσεις .....	6
1.3.2. Τρόποι θεμελίωσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών .....	7
1.3.3. Βασικές παράμετροι αξιολόγησης των αιολικών συνθηκών-οι υπεράκτιες αιολικές συνθήκες .....	11
1.3.4. Υπεράκτιες αιολικές εγκαταστάσεις .....	12
1.3.5. Ανάπτυξη υπεράκτιων αιολικών εγκαταστάσεων .....	13
1.4. Το αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα.....	15
Βιβλιογραφικές Αναφορές Κεφαλαίου Α' .....	18
<b>2. Κεφάλαιο Β'</b> .....	<b>20</b>
2.1. Δημιουργία και ισχύς κυματικής ενέργειας .....	20
2.2. Κριτήρια επιλογής για την εγκατάσταση μετατροπέων κυματικής ενέργειας.....	25
2.3. Μετατροπείς κυματικής ενέργειας .....	27
2.3.1. Ταλαντούμενη Στήλη Κύματος (Oscillating Wave Column - OWS) .....	27
2.3.2. Archimedes Wave Swing (AWS) .....	30
2.3.3. Pelamis .....	33
2.3.4. Wave Dragon .....	37
2.4. Η κυματική ενέργεια στην Ελλάδα.....	41
Βιβλιογραφικές Αναφορές Κεφαλαίου Β' .....	46
<b>3. Κεφάλαιο Γ'</b> .....	<b>47</b>
3.1. Η έννοια του ρίσκου - διακινδύνευσης .....	47
3.1.1. Διάκριση μεταξύ επικινδυνότητας και αβεβαιότητας.....	47
3.1.2. Διάκριση μεταξύ επικινδυνότητας και κινδύνου .....	48
3.2. Επικινδυνότητα και ανάλυση.....	49
3.2.1. Η επικινδυνότητα και τα είδη της .....	49
3.2.2. Εκτίμηση επικινδυνότητας .....	50
3.3. Ανάλυση – Εκτίμηση επικινδυνότητας.....	51
3.3.1. Τρόποι ανάλυσης επικινδυνότητας .....	54
3.3.2. Μεθοδολογία ανάλυσης επικινδυνότητας .....	55
3.4. Μέθοδοι εκτίμησης επικινδυνότητας - ατυχήματος .....	56

3.4.1. Μέθοδος ανάλυσης Δέντρου Σφαλμάτων .....	57
3.4.2. Η μέθοδος Ανάλυσης του Φαινομένου Ντόμινο .....	58
3.4.3. Η μέθοδος MATRIX.....	59
3.4.4. Η μέθοδος Παπιγιόν – Bow Tie .....	60
3.5. Ανάλυση Κινδύνων (Risk Analysis) και εκτίμηση επικινδυνότητας (Risk Assessment).....	62
3.6. Νομοθεσία.....	64
Βιβλιογραφικές Αναφορές Κεφαλαίου Γ' .....	69
<b>4. Κεφάλαιο Δ' .....</b>	<b>71</b>
4.1. Αιτίες πρόκλησης ατυχήματος σε ένα αιολικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας .....	71
4.2. Μηχανολογική αστοχία μιας ανεμογεννήτριας.....	80
4.3. Το ζήτημα της αποδοχής των αιολικών πάρκων από την τοπική κοινωνία .....	84
4.4. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από Παράκτια αιολικά πάρκα .....	87
Βιβλιογραφικές Αναφορές Κεφαλαίου Δ' .....	92
<b>5. Κεφάλαιο Ε' .....</b>	<b>94</b>
5.1. Εκτίμηση αστοχίας ενός μετατροπέα κυματικής ενέργειας .....	94
5.2. Οι περιορισμοί από τη χρήση της κυματικής ενέργειας.....	97
5.2.1. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις .....	98
5.2.2. Επίδραση των μετατροπέων στα χαρακτηριστικά του κύματος .....	103
Βιβλιογραφικές Αναφορές Κεφαλαίου Ε' .....	106
<b>6. Κεφάλαιο ΣΤ' .....</b>	<b>107</b>
6.1. Βασικά χαρακτηριστικά της μονάδας .....	108
6.2. Οικονομικά στοιχεία.....	109
6.3. Ασφάλεια.....	111
6.3.1. Συμπεριφορά της δομής σε καταπονήσεις από το θαλάσσιο περιβάλλον .....	111
6.3.2. Σύστημα Αφαλάτωσης .....	114
6.3.3. Σύστημα Ελέγχου .....	115
6.3.4. Η αποδοχή από την τοπική κοινωνία και το περιβαλλοντικό ζήτημα .....	117
6.3.5. Πρωτόκολλο γενικής επιθεώρησης.....	118
Βιβλιογραφικές Αναφορές Κεφαλαίου ΣΤ' .....	120



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α΄

Στο παρακάτω κεφάλαιο γίνεται προσπάθεια περιγραφής του τρόπου δημιουργίας του αιολικού δυναμικού και οι βασικές αρχές λειτουργίας των ανεμογεννητριών. Στη συνέχεια, εστιάζοντας στα παράκτια αιολικά πάρκα αναφέρονται οι τρόποι θεμελίωσης των ανεμογεννητριών στην θάλασσα, οι διαφορετικές παράμετροι που συναντώνται σε σχέση με την ξηρά και γίνεται μια ανάλυση του κόστους ενός παράκτιου αιολικού πάρκου. Τέλος, αναφέρονται οι δυνατότητες για αιολικά πάρκα στην Ελλάδα.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με τη χρήση των ανεμόμυλων έχει ξεκινήσει ήδη από την αρχαιότητα. Στη σύγχρονη εποχή η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση ανεμογεννητριών, μηχανισμών που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανικό έργο και έπειτα σε ηλεκτρισμό. Από την αρχή της χρήσης υπεράκτιων αιολικών πάρκων στη Δανία στις αρχές της δεκαετίας του 1990, η εκμετάλλευση σταθερότερης και ισχυρότερης αιολικής ενέργειας που απαντάται σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τη στεριά στη θάλασσα, είναι βασικό στοιχείο στην ατζέντα της βιομηχανίας εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας.

### 1.1 Δημιουργία ανέμου και ισχύς ανέμου

Η κυρίαρχη αιτία δημιουργίας του ανέμου είναι η θερμότητα που παρέχεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας. Η αιολική ενέργεια θα μπορούσε να χαρακτηριστεί μια έμμεση μορφή ηλιακής ενέργειας. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από την επιφάνεια της γης και επιστρέφεται στην ατμόσφαιρα που την περιβάλλει. Από τη στιγμή που η επιφάνεια δεν είναι ομοιογενής, η ανομοιογενής απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας προκαλεί μεγάλες διαφορές στην ατμόσφαιρα όσον αφορά στη θερμοκρασία, την πυκνότητα και την πίεση, και έτσι οι προκαλούμενες δυνάμεις μεταφέρουν αέριες μάζες από μια περιοχή σε μια άλλη. Παραδείγματος χάριν, οι τροπικές περιοχές παραλαμβάνουν πολύ μεγαλύτερη ακτινοβολία από ότι οι πόλοι και έτσι υπάρχει ένα τεράστιο μεταφερόμενο ρεύμα μεταξύ αυτών των δύο περιοχών. Επίσης η ίδια η περιστροφή της γης δημιουργεί τέτοιο δυναμικό στις αέριες μάζες όπου συμβάλλει και αυτή στην μετατόπισή τους.

Η δημιουργία ανέμων, ωστόσο μπορεί να οφείλεται και σε τοπικά φαινόμενα και μικρής κλίμακας τοπογραφικές καταστάσεις. Για παράδειγμα πλευρές οροσειρών που έχουν μέτωπο στον ήλιο θερμαίνονται πολύ πιο γρήγορα ή αντίστοιχα δασικές περιοχές θερμαίνονται με διαφορετικό ρυθμό σε σχέση με κοντινές παράκτιες περιοχές. Αυτά τα φαινόμενα έχουν πολύ μεγάλη σημασία για τις τοπικές συνθήκες ανέμου που επικρατούν και θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψιν όταν επιλέγεται ένα πεδίο εγκατάστασης ανεμογεννητριών.

Για τη χρήση της αιολικής ενέργειας και το σχεδιασμό των ανεμογεννητριών, το διάνυσμα της ταχύτητας του ανέμου θεωρείται σύνθεση του σταθερού ανέμου και των διακυμάνσεων αυτού. Ωστόσο, η ισχύς και η ενέργεια που παραλαμβάνεται από τον άνεμο μπορεί να υπολογιστεί μόνο από τον σταθερό άνεμο. Μια τυπική μονάδα μέτρησης της πυκνότητας της ισχύος του ανέμου ή της ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας στην κατεύθυνση του ανέμου είναι:

$$p_w = \frac{1}{2} \rho u_w^3 \text{ (W/m}^2\text{)}$$



Όπου

$\rho$  είναι η πυκνότητα του αέρα σε σταθερή ατμόσφαιρα ( $\text{kg/m}^3$ )

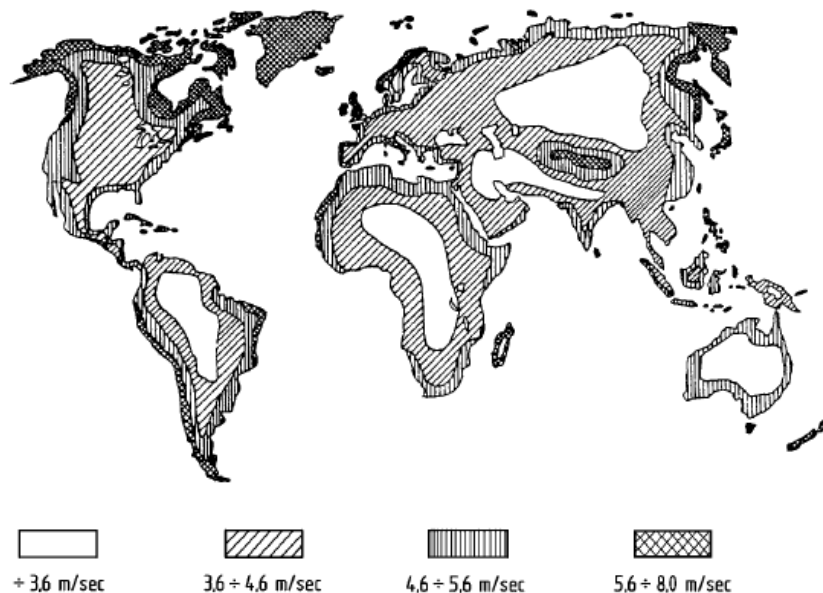
$u_w$  είναι η ταχύτητα του ανέμου ( $\text{m/s}$ )

Λόγω του ότι η βασική πρόθεση της μελέτης του ανέμου είναι η εξαγωγή ενέργειας, ο πιο σημαντικός παράγοντας είναι ο υπολογισμός της ετήσιας μέσης πυκνότητας ισχύος του ανέμου από την εξίσωση που ακολουθεί:

$$\bar{p}_w = \frac{1}{2} \rho \frac{1}{8760} \int_{\text{year}} u_w^3 dt$$

Το κύριο χαρακτηριστικό του ανέμου, ως πόρος, είναι η μεταβλητότητά του. Ο άνεμος είναι ιδιαίτερα μεταβαλλόμενος τόσο γεωγραφικά όσο και χρονικά. Το χαρακτηριστικό του αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ισχύς του ανέμου είναι ανάλογη με τον κύβο της ταχύτητάς του. Σε μεγάλη κλίμακα η παγκόσμια μεταβλητότητα αυταπόδεικτα συνδέεται με τις διαφορετικές κλιματικές περιοχές του πλανήτη.

Επίσης, εντός μια κλιματικής περιοχής υπάρχει μεταβολή του αιολικού δυναμικού σε μικρότερη κλίμακα και αυτό εξαρτάται από τη φυσική γεωγραφία, την τοπογραφία ακόμα και τη βλάστηση των διάφορων περιοχών. Πάνω από περιοχές ανοικτής θάλασσας, οι ταχύτητες του ανέμου είναι υψηλότερες, ενώ αντίθετα μειώνονται σε πολύ μεγάλο βαθμό πάνω από τη στεριά. Η παγκόσμια κατανομή της ετήσιας ταχύτητας του ανέμου φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 1.1. Παγκόσμιος ετήσιος αιολικός χάρτης (Eric Hau σ.455)

Φαίνεται ότι η μέση ταχύτητα του ανέμου στο σύνηθες μετεωρολογικό ύψος μέτρησης (10m) χωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες. Μόνο οι περιοχές με ταχύτητα ανέμου μεγαλύτερη των 4 m/s σε ύψος 10m μπορούν να θεωρηθούν άξιες προς εμπορική εκμετάλλευση. Εάν θεωρηθεί ότι η

εκμετάλλευση του ανέμου θα γίνεται με τη χρήση ανεμογεννητριών, η πραγματική ταχύτητα του ανέμου θεωρείται σταθερή ταχύτητα όταν έχει συγκεκριμένη τιμή σε σχετικά μεγάλες χρονικές περιόδους, υπερθέτοντας σε αυτή τις διάφορες μικρές διακυμάνσεις.

Όπως σε όλα τα γενικά κλίματα έτσι και στην Ευρώπη οι συνθήκες του ανέμου ποικίλουν από τη βόρεια Ευρώπη και τα βρετανικά νησιά στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη και στη Μεσόγειο. Ειδικά όσον αφορά στις συνθήκες του ανέμου διαμορφώνονται οι εξής δύο περιοχές:

- Στις παραθαλάσσιες περιοχές με χαμηλό βαρομετρικό όπου οι άνεμοι κυμαίνονται από δυτικά προς ανατολικά
- Στην περιοχή της νότιας Ευρώπης όπου εν μέρει επηρεάζεται από τις χαμηλές πιέσεις αλλά επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τα θερμικά ρεύματα της Μεσογείου.

Κατά το παρελθόν, τα δεδομένα του ανέμου καταμετρούνταν και αξιολογούνταν αποκλειστικά για μετεωρολογικούς σκοπούς. Τα πρώτα μετεωρολογικά στοιχεία δεν προσφέρουν αρκετά στοιχεία και λεπτομερή πληροφόρηση για την αύξηση στην ταχύτητα του ανέμου σε σχέση με το υψόμετρο ή τις τοπικές συνθήκες ανέμου για μια δεδομένη διαμόρφωση εδάφους. Πλέον μια αξιόπιστη βάση δεδομένων παρέχεται κυρίως από χώρες που εκμεταλλεύονται την αιολική ενέργεια. Παρόλα αυτά, η τοποθέτηση μιας αιολικής εγκατάστασης δεν μπορεί να βασιστεί σε γενικούς αιολικούς χάρτες μια περιοχής αλλά, σε σύγχρονα και ακριβή στοιχεία που αφορούν στη συγκεκριμένη περιοχή.

Για τη χρήση της ταχύτητας του ανέμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, το Ερευνητικό Κέντρο του Riso, στη Δανία, με την υποστήριξη της ευρωπαϊκής επιτροπής, συνέταξε τα τελευταία χρόνια τον Ευρωπαϊκό Αιολικό Άτλα. Η μελέτη αυτή, βασίζεται στην αξιολόγηση των δεδομένων από περισσότερους από 200 μετρητικούς σταθμούς και ιδιαίτερα στην ανάπτυξη μαθηματικών μεθόδων μέσω των οποίων καθορίζεται το τοπικό αιολικό κλίμα σε συγκεκριμένες περιοχές. Από τα τοπικά αυτά δεδομένα, αφαιρούνται οι τοπικές «ιδιαιτερότητες» (τεχνητά εμπόδια, τραχύτητα του εδάφους και ορογραφία) και το αποτέλεσμα αποτελεί τις αιολικές συνθήκες που επικρατούν στην συγκεκριμένη περιοχή. Μέσω αυτού του τοπικού καθορισμού γίνεται δυνατή η εκτίμηση των αιολικών συνθηκών σε συγκεκριμένα υποψήφια πεδία για την τοποθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων.



Εικόνα 1.2. κατανομή ανέμων στην Ευρώπη σε υψόμετρο 50m (Eric Hau σ.456)

Wind resources at 50 m elevation (mean wind speed m/s, wind power density W/m <sup>2</sup> )										
	Forest or urban areas		Flat land		Sea shore		Open sea		Mountains	
	m/s	W/m <sup>2</sup>	m/s	W/m <sup>2</sup>	m/s	W/m <sup>2</sup>	m/s	W/m <sup>2</sup>	m/s	W/m <sup>2</sup>
	> 6.0	> 250	> 7.5	> 500	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 11.5	> 1800
	5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
	4.5-5.5	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	700-1200
	3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0-8.5	400-700
	< 3.5	< 50	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 7.0	< 400

Εικόνα 1.3. Ευρωπαϊκός αιολικός χάρτης (Eric Hau σ. 456)

Η βιομηχανία εκμετάλλευσης της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας, αναπτύσσεται σημαντικά από τα μέσα της δεκαετίας του 2000 διπλασιάζοντας τη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, κάθε περίπου 2-4 χρόνια. Σύμφωνα με το Global Wind 2014 περισσότερο από το 90% του συνόλου των εγκατεστημένων υπεράκτιων ανεμογεννητριών βρίσκεται στην Ευρώπη, κυρίως στη Βόρεια θάλασσα (63,3%), τον Ατλαντικό ωκεανό (22,5%) και τη Βαλτική (14,2%). Το Ηνωμένο βασίλειο διαθέτει περισσότερο από το 50% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος υπεράκτιων αιολικών πάρκων με συνδυασμένη ισχύ 4494 MW. Εκτός Ευρώπης, διάφορες χώρες έχουν θέσει «επιθετικά» σχέδια ανάπτυξης βιομηχανίας εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας, και η υπεράκτια αιολική ενέργεια μπαίνει στο επίκεντρο αυτών. Η Κίνα πιο συγκεκριμένα μόνο το 2014 εγκατέστησε πάρκα εκμετάλλευσης υπεράκτιας αιολικής ενέργειας ισχύος περίπου 230 MW, γεγονός που την ανάγει στην τρίτη αγορά παγκοσμίως μετά τη μεγάλη Βρετανία και τη Γερμανία.

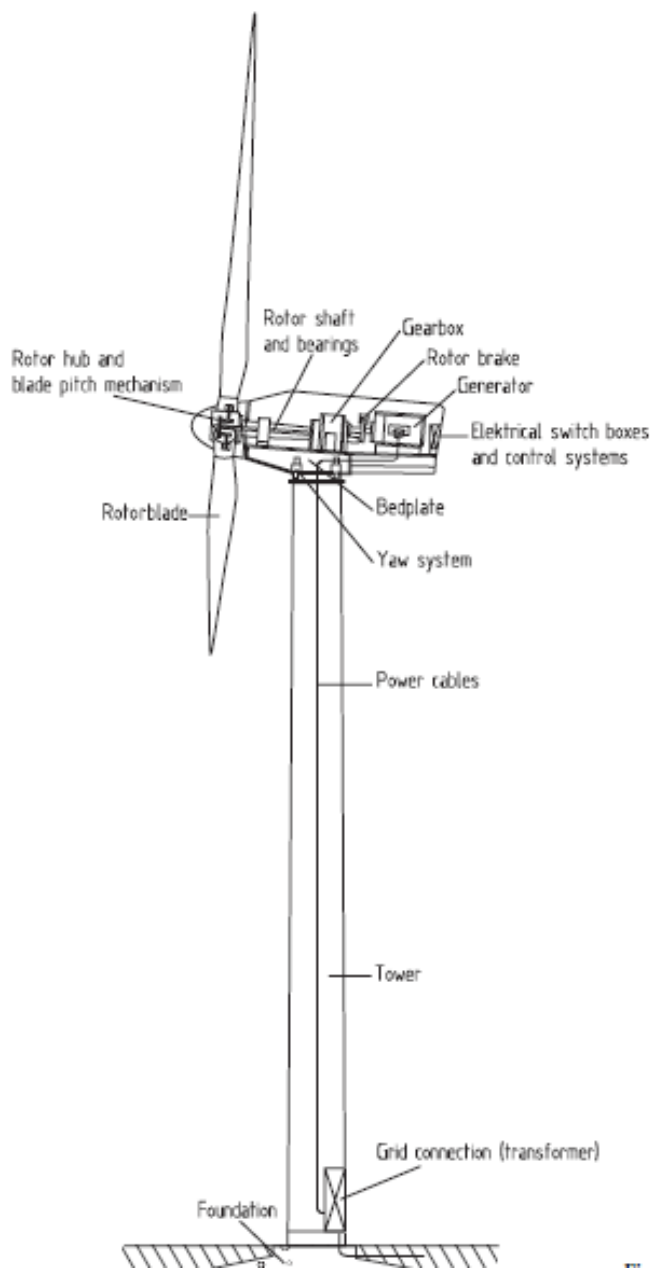
Η ανάπτυξη τέτοιων εγκαταστάσεων βασίζεται στο γεγονός ότι η χρήση των διαθέσιμων εκτάσεων έχει περιοριστεί αρκετά για την ανάπτυξη εγκαταστάσεων αντίστοιχης απόδοσης στην στεριά, ιδιαίτερα στις βόρειες ευρωπαϊκές χώρες (Δανία, Ολλανδία, Γερμανία). Επίσης, μια ακόμα πτυχή αυτής της επιλογής, είναι οι υψηλότερες ταχύτητες ανέμου που επικρατούν στις παράκτιες και υπεράκτιες περιοχές, επομένως και περισσότερη διαθέσιμη ενέργεια προς εκμετάλλευση. Επιπλέον, η ανάπτυξη των χερσαίων εγκαταστάσεων είχε προκαλέσει αντιδράσεις των τοπικών κοινωνιών. Παρόλα αυτά, το κόστος της τοποθέτησης και συντήρησης των υπεράκτιων αιολικών εγκαταστάσεων συγκριτικά με την ενέργεια που μπορεί να παραχθεί, καθιστά και τους δύο τύπους εγκαταστάσεων παρόμοιες όσον αφορά στην οικονομική ανάλυση που τις πλαισιώνει σε όλο τον κύκλο ζωής τους. Ακόμα το γεγονός ότι οι υπεράκτιες εγκαταστάσεις μπορούν να αναπτυχθούν σε μεγαλύτερα μεγέθη -ακόμα και περισσότερα από 1000 MW- μεγάλες ενεργειακές εταιρίες μπαίνουν στη διαδικασία μελέτης και ανάπτυξης τους, καθώς η ενεργειακή παραγωγή τους μπορεί να συγκριθεί με ενεργειακούς σταθμούς άλλου τρόπου παραγωγής.

## 1.2. Σύστημα ανεμογεννήτριας

Οι ανεμογεννήτριες, οι διατάξεις δηλαδή που μετασχηματίζουν την ευθύγραμμη κίνηση του ανέμου σε περιστροφική, χρησιμοποιούνται ήδη εκατοντάδες χρόνια, με τη μορφή ανεμόμυλων. Υπάρχουν διάφορες σχεδιάσεις και διατάξεις ανεμογεννητριών και χωρίζονται σε ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα περιστροφής και οριζόντιου. Η πιο διαδεδομένη μορφή ανεμογεννήτριας καθώς και η πιο αποδοτική τόσο σε σχεδίαση όσο σε πραγματική ενεργειακή απόδοση, είναι η ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα περιστροφής, όπου είναι παράλληλος στο έδαφος και στην κατεύθυνση του ανέμου, με στροφέιο τριών πτερύγων. Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται η διάταξη μια ανεμογεννήτριας τέτοιου τύπου καθώς και τα βασικά της στοιχεία.

Το στροφέιο (rotor) αποτελεί τη διάταξη όπου μετασχηματίζει την ευθύγραμμη κίνηση του ανέμου, μέσω των πτερύγων (rotor blade), σε περιστροφική. Οι πτέρυγες του στροφείου συνδέονται σε αυτό μέσω μια διάταξης μεταβολής του βήματος τους (hub), όπου παρέχει τη δυνατότητα αλλαγής της γωνίας των ελίκων ως προς την κατεύθυνση του ανέμου, για μέγιστη απόδοση σε όλο το φάσμα του

αιολικού δυναμικού μια περιοχής. Το σύστημα μετάδοσης (drive train) της διάταξης, μεταφέρει την περιστροφική κίνηση στη γεννήτρια έτσι ώστε να επιτευχθεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επί της ουσίας, όλα τα μηχανολογικά μέρη που βρίσκονται στο εσωτερικό του θαλάμου (nacelle), αποτελούν το σύστημα μετάδοσης της ανεμογεννήτριας, εξαιρουμένου του ηλεκτρικού συστήματος. Το σύστημα μεταβλητού βήματος, ο άξονας του στροφείου (rotor shaft) που αποκαλείται και άξονας χαμηλής ταχύτητας (low speed shaft), το γραναζοκιβώτιο (πολλαπλασιαστής στροφών – gear box) καθώς και ο άξονας της γεννήτριας (high speed shaft) αποτελούν το σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Το στροφείο και ο θάλαμος, περιστρέφονται για να βρίσκονται παράλληλα με την κατεύθυνση του ανέμου, από ένα σύστημα περιστροφής (yaw system / azimuth drive).



Εικόνα 1.4. Βασικά εξαρτήματα ανεμογεννήτριας (Eric Hau σ.73)

### **1.3 Υπεράκτια αιολικά πάρκα**

#### **1.3.1 Στοιχεία διαφοροποίησης από τις χερσαίες εγκαταστάσεις**

Η τεράστια εμπειρία και η τεχνολογία που αποκτήθηκε στην ξηρά για τις ανεμογεννήτριες μπορεί να εφαρμοσθεί μόνο εν μέρει στο θαλάσσιο περιβάλλον, καθώς υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Η ποικιλία στους τρόπους θεμελίωσης, η προσθήκη υδροδυναμικών φορτίων, τα ακραία διαβρωτικά περιβάλλοντα, η ζωτική ανάγκη να ελαχιστοποιηθεί η συντήρηση περισσότερο από ότι στην ξηρά, λόγω της εξαιρετικά δαπανηρής λειτουργίας και συντήρησης, είναι απλώς λίγες από αυτές τις διαφορές. Ωστόσο, τα παράκτια κλίματα χαρακτηρίζονται γενικά από υψηλότερες μέσες ταχύτητες ανέμου και ως εκ τούτου, αναμένεται μεγαλύτερη ισχύς εξόδου. Οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες προσφέρουν ένα σύνολο δυναμικών πλεονεκτημάτων σε σχέση με τις χερσαίες. Ο άνεμος είναι κατά κανόνα ισχυρότερος και σταθερότερος έξω από την ακτή, επιτρέποντας μεγαλύτερη ηλεκτροπαραγωγή καθώς εμπόδια όπως βουνά, κτίρια και δένδρα δεν υπάρχουν στη θάλασσα. Εξάλλου, οι δυνατότητες ανάπτυξης αιολικών πάρκων στην ξηρά αρχίζουν να περιορίζονται λόγω του μεγάλου μεγέθους των μηχανών, της κατάληψης σημαντικών εκτάσεων γης και της οπτικής και ηχητικής όχλησης. Τα θαλάσσια αιολικά πάρκα γενικά προκαλούν λιγότερες αντιδράσεις του κοινού αναφορικά με τις επιπτώσεις τους στο τοπίο ή το θόρυβο. Επιπλέον, μεγάλα αστικά κέντρα συχνά βρίσκονται κοντά στην ακτή, οπότε η παραγωγή ηλεκτρισμού σε μικρή απόσταση είναι πρόσφορη. Έτσι, αφενός η καλύτερη ποιότητα ανέμου και η μεγάλη δυνατότητα βελτίωσης των τεχνολογιών, αφετέρου η σαφώς μικρότερη επίπτωση στις τιμές της γης και η δυνατότητα ικανοποίησης των υψηλών απαιτήσεων σε ηλεκτρισμό πολλών πυκνοκατοικημένων παράκτιων περιοχών του πλανήτη συντείνουν ώστε η υπεράκτια αιολική ενέργεια να είναι η ελκυστικότερη συνιστώσα της βιομηχανίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η σχετική τεχνολογία έχει ωστόσο μεγάλα περιθώρια ανάπτυξης και θα χρειαστεί η αντιμετώπιση τεχνικών, οικονομικών και πολιτικών προκλήσεων για να μπορέσει ο τομέας να φθάσει σε μεγάλης κλίμακας εμπορικές εφαρμογές.

Η πρώτη προϋπόθεση για την εκμετάλλευση αιολικής ενέργειας με επιτυχία στην ανοικτή θάλασσα είναι ένας κατάλληλος σχεδιασμός και ο τεχνικός εξοπλισμός των ίδιων των ανεμογεννητριών. Μια ανεμογεννήτρια που βρίσκεται στη θάλασσα τυπικά υπόκειται σε διαφορετικές εξωτερικές συνθήκες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό.

#### **Ύψος πύργου**

Για να αξιοποιηθούν οι υψηλές ταχύτητες ανέμου, οι πύργοι των ανεμογεννητριών που είναι τοποθετημένοι σε ανοικτή θάλασσα δεν χρειάζεται να είναι τόσο ψηλοί όσο εκείνοι στην ξηρά. Το προφίλ ταχύτητας του ανέμου έχει μεγαλύτερη ένταση έτσι ώστε τα χαμηλότερα ύψη των πύργων να επαρκούν για την επίτευξη της βέλτιστης οικονομικής αξίας. Το ύψος του πύργου καθορίζεται επίσης από τις ωκεανογραφικές συνθήκες σε σχέση με τη διάμετρο του ρότορα. Παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι το κανονικό βάθος νερού πάνω από τον πυθμένα της θάλασσας, η παλίρροια, το μέγιστο ύψος κύματος που αναμένεται και το επαρκές διάκενο στο ρότορα.

#### **Φόρτιση φάσματος**

Τα φορτία που πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό αντοχής και ακαμψίας της κατασκευής στην υπεράκτια χρήση διαφέρουν σημαντικά από αυτές στην ξηρά :

- Η μέση ταχύτητα ανέμου είναι υψηλότερη.
- Η ένταση στροβιλισμού πάνω από την ανοικτή θάλασσα είναι μικρότερη
- Η κίνηση κύματος επιδρά σημαντικά στη φόρτιση της δομής.

- Η κίνηση του πάγου στη θάλασσα μπορεί να οδηγήσει σε πολύ υψηλά ακραία φορτία, ιδιαίτερα στην Βαλτική. Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπόψη η προσαύξηση πάγου στον στρόβιλο.
- Η μεταβολή του ύψους της στάθμης της θάλασσας λόγω των παλιρροιών μπορεί να επηρεάσει το φάσμα φορτίου.
- Σε ορισμένες θαλάσσιες περιοχές, τα ρεύματα μπορεί να είναι τόσο ισχυρά ώστε να επηρεάζουν το φάσμα του φορτίου.
- Τέλος, η αυξημένη διάβρωση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αντοχή στην κόπωση των συστατικών της δομής.

### **Εξοπλισμός στροβίλων**

Σε σύγκριση με τις τοποθεσίες στην ξηρά, η υπεράκτια εγκατάσταση των ανεμογεννητριών έχει πολύ υψηλότερες απαιτήσεις σε σχέση με τον τεχνικό εξοπλισμό τους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι:

- Μεγαλύτερη αντιδιαβρωτική προστασία σε όλα σχεδόν τα δομικά στοιχεία
- Θάλαμοι με καλύτερη σφράγιση
- Κλειστό σύστημα ψύξης της γεννήτριας
- Συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου που μπορούν να επαναπρογραμματιστούν από την ξηρά
- Βενζινοκίνητο γερανό στη γέφυρα για διευκόλυνση εργασιών συντήρησης και επισκευής
- Ειδικά εργαλεία ανύψωσης στη γέφυρα και στον πύργο για βαριά εξαρτήματα και φορτία
- Πλατφόρμες σύνδεσης για βάρκες συντήρησης με ειδικά βοηθήματα σύνδεσης και βάσεις για προσβασιμότητα σε δύσκολες θάλασσες
- Φωτισμός σύμφωνα με τους κανόνες στη θάλασσα

Ο πλήρης τεχνικός εξοπλισμός των ανεμογεννητριών πρέπει να αναπτυχθεί ως ενιαίο σύνολο μιας ολοκληρωμένης φιλοσοφίας συντήρησης για το εμπορικά υπεράκτια αιολικά πάρκα.

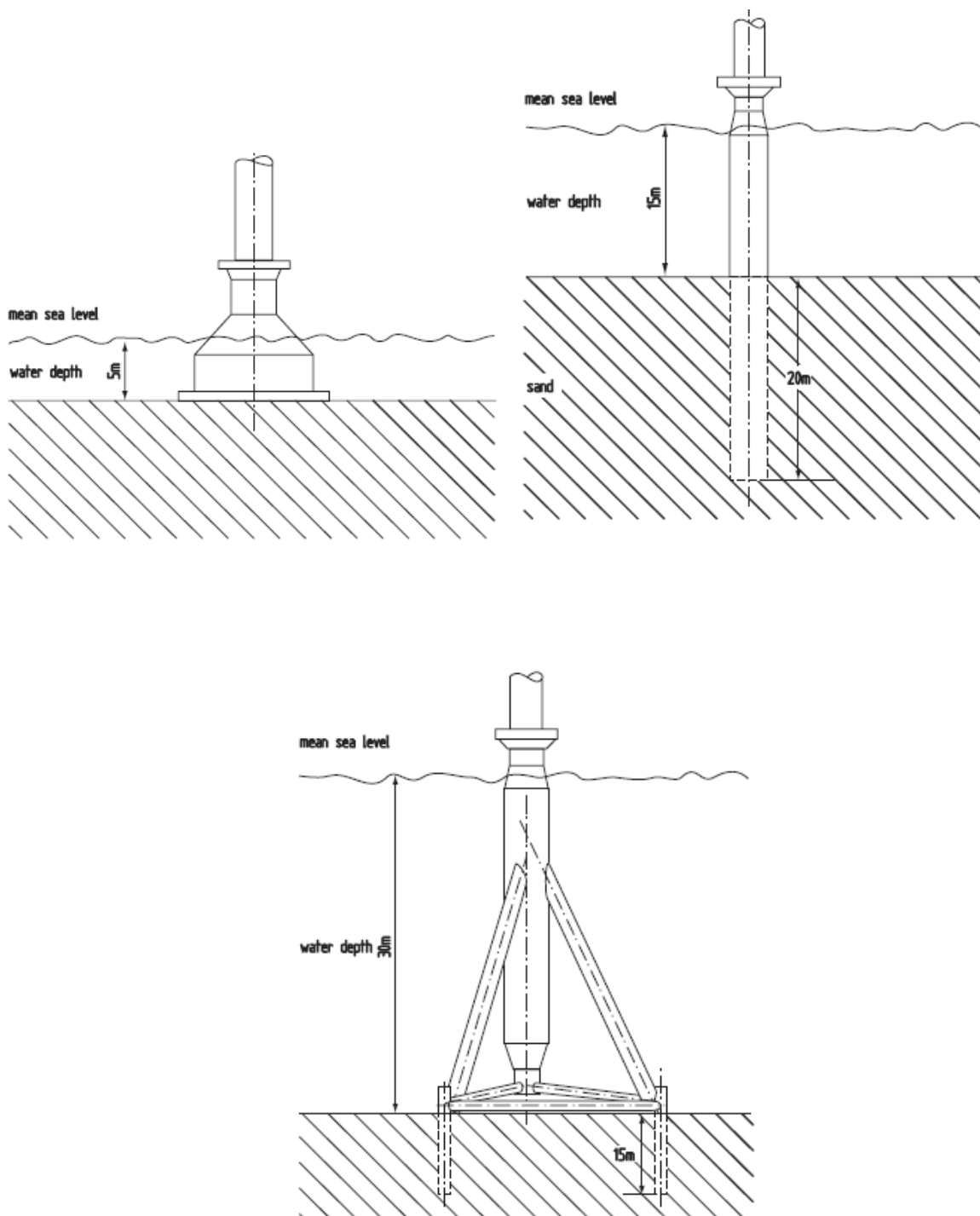
### **1.3.2. Τρόποι θεμελίωσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών**

Η πιο εκτεταμένη προσαρμογή που απαιτείται για την τοποθέτηση σε υπεράκτιες περιοχές συνδέεται με τον πύργο, το σχεδιασμό και την θεμελίωση του στο βυθό της θάλασσας. Αυτή η δομή, είναι κάτι περισσότερο από ένα απλό θεμέλιο όπως βρίσκεται σε μια τοποθεσία γης, γιατί στη θάλασσα οι απαιτούμενες εργασίες δόμησης αντιπροσωπεύουν σημαντικό στοιχείο του κόστους της συνολικής εγκατάστασης. Το βασικό ζητούμενο είναι το κατά πόσο εξασφαλίζεται η σταθερότητα από τη βάση θεμελίωσης της ανεμογεννήτριας. Υπάρχουν τρεις βασικές αρχές σχεδίασης για τα θεμέλια:

#### **Θεμέλια τύπου βαρύτητας με caisson**

Αυτός ο τύπος θεμελίωσης έχει χρησιμοποιηθεί για ρηχά νερά. Ένα κατασκευασμένο σκυρόδεμα ρυμουλκείται από τη στεριά και τοποθετείται στο ενδιαφερόμενο σημείο με τη βοήθεια υλικού πλήρωσης (χαλίκι ή άμμος). Η μάζα ωστόσο που απαιτείται για μια ανεμογεννήτρια ισχύος 2 MW είναι 1500 τόνοι, χωρίς το βάρος του υλικού πλήρωσης. Λόγω της μεγάλης μάζας τους αυτός ο τύπος θεμελίων αποτελεί την πιο αποδοτική λύση μόνο για βάθη νερού από 10 έως 30 μέτρα. Ένα επιπλέον μειονέκτημα είναι ότι το δάπεδο της θάλασσας πρέπει να ισοπεδωθεί και ενδεχομένως να ενισχυθεί γεγονός που απαιτεί εκτεταμένη υποθαλάσσια εργασία. Όσον αφορά τη συμπεριφορά στις δονήσεις, τα θεμέλια τύπου βαρύτητας είναι δύσκαμπτα, γεγονός που καθιστά την αντοχή τους σε

κόπωση μικρή. Από την άλλη, αυτού του τύπου η θεμελίωση είναι εύκολα αφαιρέσιμη, με θετικά αποτελέσματα από περιβαλλοντική σκοπιά.



Εικόνα 1.5. Οι διαφορετικοί τρόποι θεμελίωσης μια ανεμογεννήτριας (Eric Hau σ. 646-647)

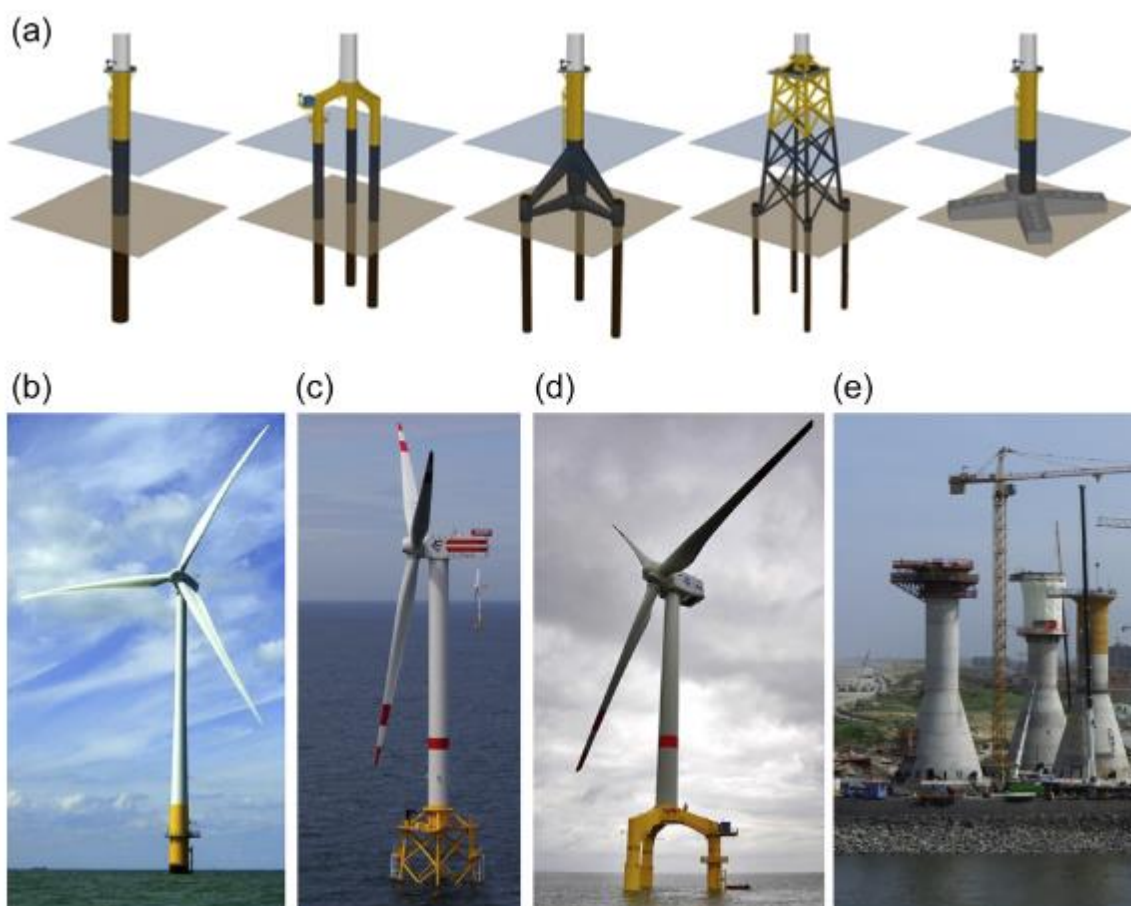
### Βάση θεμελίωσης με τρίποδο

Ένας κεντρικός χαλύβδινος σωλήνας που στηρίζεται σε τρία σκέλη ονομάζεται τρίποδο. Ένας τέτοιος σχεδιασμός, ο οποίος περιστασιακά έχει και υποστηρίγματα, αποτελεί λύση σκληρής δομής με σχετικά μικρό βάρος. Είναι επομένως κατάλληλο για μεγαλύτερα βάθη νερού. Κατά κανόνα, τα

τρία υποστηρίγματα, αγκυροβολούνται στον πυθμένα της θάλασσας μέσω λεπτότερων χαλύβδινων σωλήνων (περίπου 0,9 m διάμετρος). Το βάθος της διείσδυσης μπορεί να είναι έως και 60 μέτρα ανάλογα με το έδαφος θεμελίωσης. Η σταθερότητα είναι επομένως πολύ υψηλή, ακόμη και σε ένα ακόμα και σε μη επίπεδο πυθμένα. Αυτός ο τύπος θεμελίωσης απαιτεί περιορισμένη ποσότητα προπαρασκευαστικών υποθαλάσσιων εργασιών. Το βασικό μειονέκτημα του σχεδιασμού του τρίποδου είναι η υψηλή δαπάνη παραγωγής και η δυσκολία μεταφοράς του.

### Βάση θεμελίωσης μονού πυλώνα

Αποτελεί θεμελίωση με τη χρήση ενός χαλύβδινου σωλήνα, ελεύθερα εδρασμένου, ο οποίος έχει πασσαλωθεί στον θαλάσσιο πυθμένα. Αυτή η απλή λύση προτιμάται σε περιπτώσεις των συνθηκών φόρτισης της κατασκευής το επιτρέπουν, αφού αποτελεί μια σχετικά οικονομική λύση. Η θεμελίωση μονού πυλώνα, απαιτεί μηδενική ως ελάχιστη προετοιμασία του θαλασσιού πυθμένα, υπό την προϋπόθεση ότι ο πυθμένας αποτελείται από άμμο ή χαλίκι, έτσι ώστε να αποφευχθεί η εκτεταμένη διάτρηση. Ανάλογα από το έδαφος της θεμελίωσης, ο σωλήνας τοποθετείται σε βάθος 10 έως 20 μέτρα στον πυθμένα, με τη χρήση υδραυλικού εξοπλισμού από πλωτή εξέδρα. Όσο αφορά στα χαρακτηριστικά δόνησης της κατασκευής, η βάση θεμελίωσης μονού πυλώνα, παρουσιάζει θετικά χαρακτηριστικά. Οι φυσικές συχνότητες που διακρίνουν την κατασκευή, συμβάλλουν στη μείωση των φορτίσεων κόπωσης που επιδρούν σε αυτή. Παρόλα αυτά, η εφαρμογή αυτού του τύπου θεμελίωσης περιορίζεται σε βάθη νερού έως 25 μέτρα.



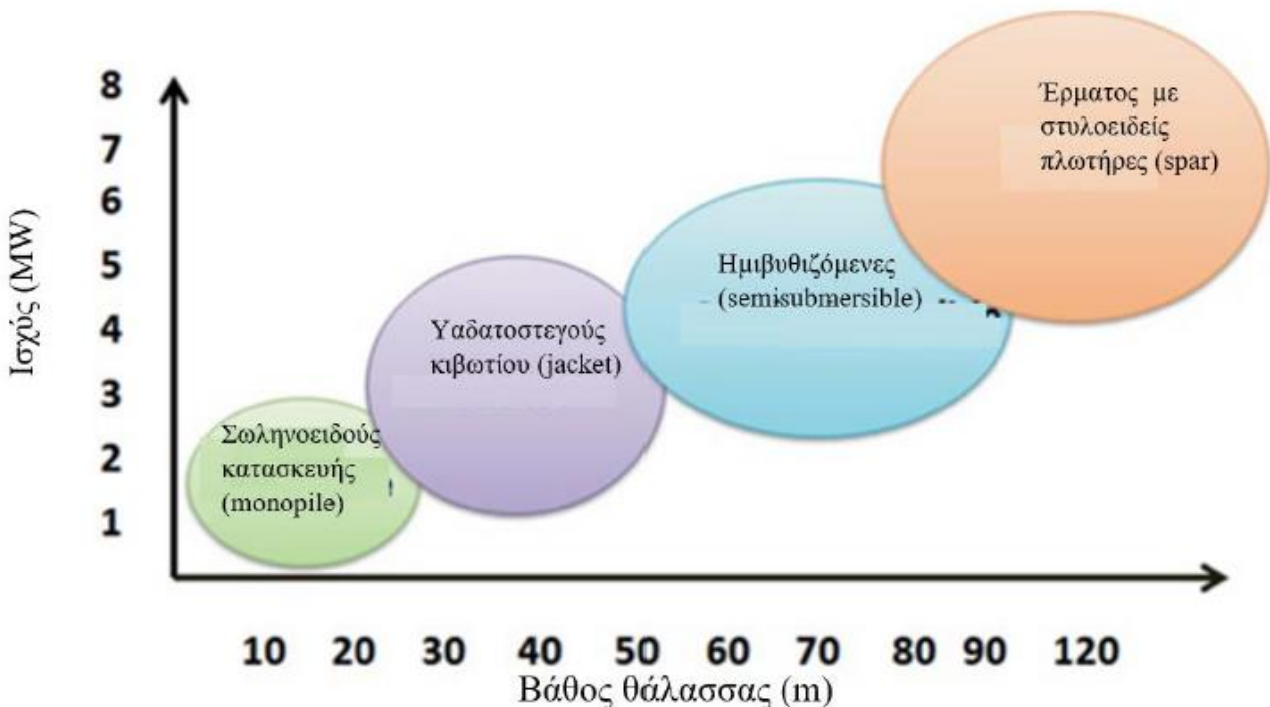
Εικόνα 1.6.Οι διαγορευτικοί τρόποι θεμελίωσης μιας ανεμογεννήτριας( Chong and Ran σ.272)



## Πλωτές πλατφόρμες

Οι πλωτές πλατφόρμες εγκατάστασης ανεμογεννητριών βρίσκονται σε ερευνητικό στάδιο, αλλά αποτελούν μέσα για την αξιοποίηση του μεγάλου αιολικού δυναμικού στην ανοικτή θάλασσα, βάθους άνω των 60 μέτρων. Με την κατασκευή πλωτών πλατφορμών αντιμετωπίζεται το μεγάλο κόστος που θα υπήρχε για την πάκτωση της βάσης τους στο βυθό. Ωστόσο παρουσιάζονται και πλεονεκτήματα αξιοποίησης ισχυρότερου αιολικού δυναμικού.

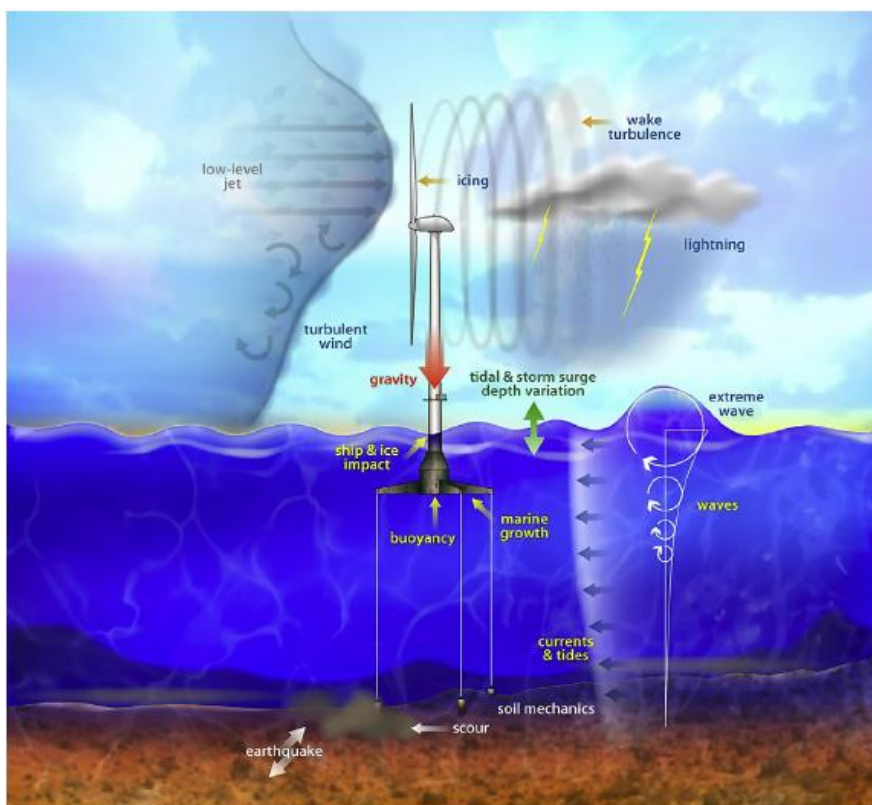
1. Έρματος στυλοειδείς πλωτήρες: είναι πλατφόρμες που επιτυγχάνουν τη σταθερότητα τους με τη χρήση έρματος κάτω από μια κεντρική δεξαμενή άνωσης που δημιουργεί μια ροπή επαναφοράς και υψηλή αντίσταση αδράνειας στις κινήσεις ανατροπής από τους κυματισμούς, καθώς και την επίτευξη του απαιτούμενου βυθίσματος για την ευστάθεια του πλωτού.
2. Άνωσης ή ημιβυθιζόμενες: είναι πλατφόρμες που επιτυγχάνουν την σταθερότητα τους μέσω της χρήσης πλωτήρων που διανέμεται το βάρος και για τη σταθερότητα του πλωτού αξιοποιείται σταθμισμένα η περιοχή της επιφάνειας του νερού που καλύπτουν για τη ροπή επαναφοράς.
3. Αγκυροβόληση με συρματόσχοινα έντασης: είναι πλατφόρμες που η σταθεροποίησή τους επιτυγχάνεται μέσω της πρόσδεσης και έντασης με χρήση συρματόσχοινων.



Εικόνα 1.7. Διάγραμμα παραγωγής ισχύος ανάλογα με τον τρόπο θεμελίωσης μιας ανεμογεννήτριας (Δαγκίνης σ.131)

### 1.3.3. Βασικές παράμετροι αξιολόγησης των αιολικών συνθηκών-οι υπεράκτιες αιολικές συνθήκες

Ο άνεμος είναι το «καύσιμο» των ανεμογεννητριών. Οι αιολικές δυνάμεις ωστόσο, είναι εκείνες οι δυνάμεις που κατά κόρον θα πρέπει να υφίστανται οι αιολικές εγκαταστάσεις έτσι ώστε να λειτουργούν αποτελεσματικά και με αξιοπιστία κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Η αξιολόγηση, του αιολικού δυναμικού είναι η διαδικασία χαρακτηρισμού του περιβάλλοντος μέσω μοντέλων και μετρήσεων έτσι ώστε να καθοριστούν η ανάπτυξη, η κατασκευή και η λειτουργία των αιολικών εγκαταστάσεων. Από την διαδικασία αυτή, προκύπτουν η επιλογή του πεδίου της εγκατάστασης, το δυναμικό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η επιλογή του τύπου των ανεμογεννητριών, η πρόσβαση στο πεδίο κ.λ.π. Η θερμοκρασία του αέρα, η βροχόπτωση, η υγρασία, η ατμοσφαιρική πίεση και άλλες ατμοσφαιρικές παράμετροι, περιλαμβάνονται στην αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής. Με την αξιολόγηση των παραμέτρων αυτών, μπορεί να καθοριστεί τόσο το ποσό της ενέργειας του ανέμου, όσο και η αποδοτικότητα των ανεμογεννητριών όπου εκμεταλλεύονται την ενέργεια αυτή. Επιπλέον, ο κυματισμός, η θερμοκρασία της θάλασσας, και άλλες παράμετροι του νερού, επηρεάζουν επίσης συνολικά τη μελέτη της εγκατάστασης, όχι μόνο για τις φορτίσεις και το ευρύτερο περιβάλλον στο οποίο θα βρίσκεται η θεμελίωση της εγκατάστασης, αλλά και γιατί οι συνθήκες του νερού επηρεάζουν τη φύση και την κατάσταση της ευρύτερης ατμόσφαιρας στην οποία βρίσκεται η εγκατάσταση. Γενικά, η μελέτη του φυσικού περιβάλλοντος και των συνθηκών λειτουργίας, πρέπει να μελετηθούν με ένα συνδυαστικό τρόπο, τόσο μετεωρολογικά όσο και ωκεανογραφικά, εφόσον αυτά τα δύο πεδία αλληλοεπιδρούν. Για παράδειγμα, η ταυτόχρονη επίδραση ακραίων ανέμων και κυμάτων, που προκαλούνται από ισχυρές καταιγίδες, θα πρέπει να συνυπολογιστούν έτσι ώστε να καθοριστεί στη φάση του σχεδιασμού της εγκατάστασης, το περιβάλλον στο οποίο θα πρέπει να λειτουργεί.



Εικόνα 1.8. Παράγοντες του θαλάσσιου περιβάλλοντος που επιδρούν στην ανεμογεννήτρια( Chong and Ran σ.30)

Η προφανέστερη διαφορά μεταξύ του περιβάλλοντος ανοιχτής θάλασσας και στεριάς είναι η έλλειψη εμποδίων και η επιπεδότητα που διακρίνει την πρώτη. Σε πρώτο επίπεδο, τα χαρακτηριστικά αυτά, συμβάλλουν στην ύπαρξη ισχυρότερων ανέμων, με μεγαλύτερη οριζόντια ομοιομορφία, με μικρότερες αλλαγές στην ταχύτητά τους και με χαμηλότερα επίπεδα στροβιλισμού. Για παράδειγμα, το μέσο μήκος τραχύτητας που παρουσιάζει μια ήρεμη θαλάσσια περιοχή μπορεί να πλησιάζει το 0.001m, ενώ αντίστοιχα σε μια περιοχή με μέση βλάστηση το μήκος τραχύτητας μπορεί να κυμανθεί από 0.03 έως 1.0 m. Το μήκος τραχύτητας της επιφάνειας, χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης της τραχύτητας της επιφάνειας στις συνθήκες ανέμου, και προσεγγιστικά αποτελεί το 1/10 του ύψους των αντικειμένων που προκαλούν την τραχύτητα της επιφάνειας (βλάστηση, διαμόρφωση εδάφους κλπ.).

Η ένταση του στροβιλισμού που καθορίζεται ως η τυπική απόκλιση τη ταχύτητας του ανέμου από τη μέση καταγεγραμμένη, κυμαίνεται σε ένα μέσο εύρος 0.05-0.10. τα υψηλά κύματα που προκαλούνται από ισχυρούς ανέμους αυξάνουν την ένταση του στροβιλισμού του ανέμου, παρόλα αυτά ο στροβιλισμός στη στεριά μπορεί να προσεγγίσει τις διπλάσιες τιμές.

Κοντά στην ακτογραμμή και σε νησιά, οι συνθήκες ανέμου επηρεάζονται σημαντικά και με πολλούς τρόπους. Όταν ο άνεμος μεταβαίνει από τη στεριά στη θάλασσα, δημιουργείται μια ζώνη μετάβασης στην περιοχή όπου τα δύο περιβάλλοντα συναντώνται και μπορεί να επεκταθεί στη θαλάσσια περιοχή για αρκετές δεκάδες χιλιόμετρα.

#### **1.3.4. Υπεράκτιες αιολικές εγκαταστάσεις**

Η ανάπτυξη της εκμετάλλευσης της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας μπορεί να διαχωριστεί σε δύο επίπεδα, το επίπεδο του πάρκου και το επίπεδο των γεννητριών. Σε ότι αφορά στο επίπεδο του πάρκου, η ισχύς παράγεται από μεμονωμένες γεννήτριες, και μέσω της διασύνδεσης τους μεταφέρεται σε έναν ή περισσότερους υποσταθμούς στη στεριά. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται μεταφέρεται με τη μορφή εναλλασσόμενου ή και συνεχούς ρεύματος, μέσω ενός υποθαλάσσιου δικτύου, το οποίο πολλές φορές απαρτίζεται από πολλαπλές συνδέσεις για λόγους ασφάλειας και χωρητικότητας του δικτύου.

Τα πρώιμα αιολικά πάρκα, βρίσκονται συνήθως σε απόσταση μικρότερη των 10 χιλιομέτρων από τη στεριά, σε βάθη νερού μικρότερα των 20 μέτρων. Παρόλα αυτά καθώς η διαθεσιμότητα τέτοιων περιοχών εξαντλείται, τα υπεράκτια αιολικά πάρκα μετακινούνται σε μεγαλύτερες αποστάσεις από την στεριά και σε μεγαλύτερα βάθη νερού. Παραδείγματος χάριν, το αιολικό πάρκο “Dogger Bank” ένα από τα μεγαλύτερα υπό ανάπτυξη αιολικά πάρκα στη Μεγάλη Βρετανία, βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη των 100 χιλιομέτρων από την πλησιέστερη ακτή και διαθέτει έκταση μεγαλύτερη των 260 χιλιομέτρων μεταξύ των άκρων του. Γενικά, η ανάπτυξη μεγάλων αιολικών πάρκων, σε όλο και μεγαλύτερες αποστάσεις από τη στεριά, θα μπορούσε να επιτρέψει μεγαλύτερους ρυθμούς συλλογής ενέργειας.

Η αύξηση του μεγέθους των υπεράκτιων αιολικών πάρκων καθώς και η εγκατάστασή τους σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τη στεριά, είναι αναπόφευκτα μελλοντικά βήματα στην υπεράκτια αιολική βιομηχανία. Για να μειωθεί η εξάρτηση από την εγκατάσταση σε μικρά βάθη νερού, και για την εκμετάλλευση μεγάλων αιολικών ενεργειακών αποθεμάτων σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τη στεριά, πλέον μελετάται η εγκατάσταση πλωτών ανεμογεννητριών.

Μία από τις προκλήσεις στην ανάπτυξη μεγαλύτερων υπεράκτιων αιολικών πάρκων, ακόμα πιο μακριά από τη στεριά στο μέλλον, είναι η αποδοτική συλλογή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, από μεμονωμένες ανεμογεννήτριες, και η μεταφορά της ενέργειας αυτής σε σταθμούς στη στεριά προς κατανάλωση. Η συλλογή συλλογή του ηλεκτρισμού σε ένα μεγάλο αιολικό πάρκο, ακόμα μεγαλύτερο από το «Dogger Bank», θα απαιτούσε, πολλαπλούς δευτερεύοντες σταθμούς συγκέντρωσης για τη μείωση του μήκους του καλωδίου μεταφοράς. Λόγω των αβεβαιοτήτων που ενυπάρχουν στη μελλοντική ανάπτυξη της υπεράκτιας βιομηχανίας αιολικής ενέργειας, πολλές πτυχές της σημερινών σχεδίων, προγραμματισμού, ανάπτυξης και λειτουργίας τέτοιων εγκαταστάσεων, θα αποτελέσουν διακύβευμα.

### **1.3.5. Ανάπτυξη υπεράκτιων αιολικών εγκαταστάσεων**

Όπως για τις επίγειες εγκαταστάσεις, έτσι και για τις υπεράκτιες, ο βασικός παράγοντας που καθορίζει το κόστος ανά παραγόμενη μονάδα ηλεκτρισμού, είναι οι αιολικές συνθήκες στη θέση που θα τοποθετείται η κάθε εγκατάσταση, καθορίζει το ποσό της παραγόμενης ενέργειας. Σε γενικές γραμμές, οι αιολικές συνθήκες στο υπεράκτιο περιβάλλον, χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερες μέσες ταχύτητες ανέμου, και από μεγαλύτερη σταθερότητα πνοής ανέμου από ότι στη στεριά. Στα περισσότερα υπεράκτια αιολικά πάρκα, ο μέσος χρόνος λειτουργίας που προβλέπεται είναι περίπου 3000 h ετησίως, συγκριτικά μεγαλύτερος από τον μέσο αναμενόμενο χρόνο λειτουργίας επίγειων εγκαταστάσεων, γεγονός που «συμβιβάζει» σε ένα βαθμό το επιπλέον κόστος στη συνολική εγκατάσταση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων.

#### **Κόστος εγκατάστασης υπεράκτιου αιολικού πάρκου**

Το κόστος εγκατάστασης ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου, συνήθως κατανέμεται σε έναν περιορισμένο αριθμό συνθετικών στοιχείων, που περιλαμβάνουν, το κόστος των γεννητριών, της θεμελίωσης, της εγκατάστασης του διασυνδεδετικού ηλεκτρικού δικτύου κλπ. Οι ίδιες οι γεννήτριες αποτελούν το μεγαλύτερο τμήμα του κόστους αυτού καλύπτοντας το 40 έως 60% του συνολικού κόστους εγκατάστασης. Η τοποθέτηση των γεννητριών αποτελεί το δεύτερο μεγαλύτερο κόστος μετά την κατασκευή των ανεμογεννητριών, αποτελώντας περίπου το 25% του συνολικού κόστους, ενώ η θεμελίωση και καλύπτει το 20% του συνολικού κόστους.

Συνολικά, περίπου το ένα τρίτο του συνολικού κόστους εγκατάστασης ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου είναι εργατικά κόστη, ένα τρίτο είναι η απόκτηση υλικών και εξαρτημάτων, ενώ το υπόλοιπο κατανέμεται σε υπηρεσίες, ασφάλειες και διάφορα επιπλέον κόστη. Το κόστος των υλικών κατασκευής των γεννητριών, κατανέμεται σε fiberglass, χάλυβα, σίδηρο και χαλκό, καλύπτοντας το 90% του κόστους των υλικών.

#### **Κόστος λειτουργίας υπεράκτιου αιολικού πάρκου**

Μετά το κόστος της επένδυσης, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, αποτελεί ένα υπολογίσιμο μέγεθος στο συνολικό κόστος ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου αγγίζοντας το 25-30% του συνολικού κόστους ανά παραγόμενης kWh στον κύκλο ζωής μιας γεννήτριας. Μια καινούργια σχετικά γεννήτρια μπορεί να έχει κόστος λειτουργίας και συντήρησης 20-25% του κόστους εγκατάστασής της, παρόλα αυτά στο τέλος του κύκλου ζωής της το ποσοστό αυτό μπορεί να αγγίξει το 30-35%. Τέτοιου είδους κόστη, τραβούν το ενδιαφέρον των επενδυτών, όσο οι κατασκευαστές γεννητριών προσπαθούν να αναπτύξουν νέες προτάσεις κατασκευής που απαιτούν μικρότερους χρόνους συντήρησης, και επομένως μικρότερους χρόνους όπου οι γεννήτριες θα βρίσκονται εκτός λειτουργίας και παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης μπορεί να χωριστεί στις παρακάτω κατηγορίες:

- Ασφαλιστικά κόστη
- Κόστος τακτικής συντήρησης
- Κόστος επισκευών
- Ανταλλακτικά
- Πρόσβαση στο πεδίο
- Κόστη διαχείρισης

Για τις υπεράκτιες εγκαταστάσεις είναι δύσκολο να υπολογιστεί με ακρίβεια το κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Λόγω των περιορισμών πρόσβασης που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες και τις μεγαλύτερες αποστάσεις των υπεράκτιων εγκαταστάσεων, τα εργατικά κόστη τείνουν να είναι μεγαλύτερα και πιο απρόβλεπτα σε σχέση με τις εγκαταστάσεις στη στεριά. Επίσης τα μακροχρόνια συμβόλαια ασφάλισης και τακτικής συντήρησης που επιτυγχάνονται στις εγκαταστάσεις στεριάς, δεν μπορούν εύκολα να επιτευχθούν στις υπεράκτιες εγκαταστάσεις. Τέλος το κόστος επισκευής και ανταλλακτικών είναι εξίσου δύσκολα να υπολογιστούν. Παρόλα αυτά, όλα τα επιμέρους κόστη τείνουν να αυξάνονται όσο μια εγκατάσταση γίνεται παλιότερη, ειδικότερα το κόστος συντήρησης και ανταλλακτικών επηρεάζεται σημαντικά από την ηλικία της εγκατάστασης.

Στο παρελθόν, το μέσο κόστος λειτουργίας και συντήρησης των εγκαταστάσεων παρουσιάζει μεγάλο εύρος από 15 έως 49 €/MWh. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι τα υπάρχοντα στοιχεία για το κόστος λειτουργίας και συντήρησης για τις υπεράκτιες αιολικές εγκαταστάσεις είναι ασαφή, διότι σε πολλές περιπτώσεις υπάρχουν κόστη επανεπένδυσης και μετασκευών καθώς επίσης διότι πολλές φορές το κόστος εξαρτάται από την κρατική υποστήριξη και επιχορήγηση. Συγκεκριμένα κόστη λειτουργίας και συντήρησης, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την απόσταση από τη στεριά και συγκεκριμένα από τον τρόπο μεταφοράς και προσέγγισης του προσωπικού που θα κάνει τη συντήρηση και προφανώς εξαρτάται από παράγοντες ασφάλειας και υγιεινής.

Το κόστος των υπεράκτιων αιολικών εγκαταστάσεων, μπορεί να χωριστεί σε κόστος επένδυσης εγκατάστασης και κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Άλλα κόστη που αναφέρονται σε άλλους τρόπους παραγωγής ενέργειας, όπως το κόστος καυσίμου ή κόστος εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα δεν αφορούν στην περίπτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Για να συγκριθούν οικονομικά διαφορετικές μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας απλοποιημένος δείκτης κόστους ενέργειας πχ. €/MWh. Παρόλα αυτά, τέτοιου είδους δείκτες, συχνά δεν συμπεκνώνουν πλήρως το κόστος ενσωμάτωσης των αιολικών εγκαταστάσεων στο δίκτυο ενέργειας. Η ενσωμάτωση τους στο ενεργειακό δίκτυο προϋποθέτει επιπλέον κόστος, που εξαρτάται από τις ανάγκες του δικτύου και τις υποδομές του ίδιου του δικτύου.

Αν επικεντρωθούμε στις πτυχές του κόστους που αφορούν στην ανάπτυξη των εγκαταστάσεων, η οικονομία από την οποία εξαρτάται η αιολική ενέργεια, επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως το μέγεθος και η τοποθεσία του έργου, ο τύπος των γεννητριών που θα χρησιμοποιηθούν, ο κύκλος ζωής των διάφορων μηχανημάτων και του εξοπλισμού κλπ. Επίσης εξωτερικοί παράγοντες όπως το κόστος της χρηματοδότησης του έργου, αλλαγές στις ισοτιμίες των νομισμάτων, και γενικότερα στοιχεία της παγκόσμιας οικονομίας. Οι εξωτερικοί παράγοντες δεν μπορούν να καθοριστούν από τους συμμετέχοντες στην ανάπτυξη του έργου και καθορίζονται από την κατάσταση της οικονομίας ευρύτερα.

## **Κόστος ανεμογεννήτριας**

Για τον υπολογισμό του εμπορικού κόστους, πρέπει αυτό να αναλυθεί σε κόστος υλικών, κόστος αγοράς τμημάτων από υποκατασκευαστές, εργατικό κόστος, και έκτακτα κόστη. Παρόλα αυτά, μια περαιτέρω ανάλυση που αφορά στα επιμέρους εξαρτήματα ή υποσυστήματα μπορεί να δώσει μια καλύτερη εικόνα για το πραγματικό κόστος μια ανεμογεννήτριας, από τεχνοοικονομική σκοπιά.

## **Πτέρυγες**

Το κόστος πτερύγων του στροφείου, κυμαίνεται μεταξύ του 16 και 34% του κόστους παραγωγής μιας ανεμογεννήτριας. Τα υψηλότερα επίπεδα τιμής, έχουν οι πτέρυγες στροφείου τριών πτερύγων, με υδραυλικό μηχανισμό αεροδυναμικού φρένου, και τη χαμηλότερη τιμή παρουσιάζουν οι πτέρυγες στροφείου δύο πτερύγων. Βεβαίως, το υλικό κατασκευής παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του κόστους. Παραδείγματος χάριν, πτέρυγες που είναι κατασκευασμένες από ίνες γυαλιού με εποξική, ρητίνη, είναι πολύ πιο ακριβές από πτέρυγες που κατασκευάζονται από ίνες γυαλιού με πολυεστερική ρητίνη, παρόλο που στην πρώτη περίπτωση το βάρος είναι σημαντικά χαμηλότερο.

## **Μηχανισμός μετάδοσης της κίνησης και θάλαμος**

Το κόστος του μηχανισμού μετάδοσης της κίνησης και ο θάλαμος της γεννήτριας, αποτελεί το 40 έως 50% του συνολικού κόστους της κατασκευής. Ένα σημαντικό τμήμα του κόστους αυτού καταλαμβάνεται από το μηχανισμό περιστροφής του στροφείου. Στις σύγχρονες σχεδιάσεις, όπου ο μηχανισμός μετάδοσης της κίνησης και ο θάλαμος είναι μικρότερα σε μέγεθος, το ποσοστιαίο κόστος σε σχέση με το συνολικό κόστος της γεννήτριας, τείνει να μειωθεί.

## **Ηλεκτρικό σύστημα και σύστημα διαχείρισης**

Καταλαμβάνει περίπου το 13 έως 20% του κόστους της γεννήτριας. Στην περίπτωση απλών συστημάτων με γεννήτριες επαγωγής σταθερής ταχύτητας, το ποσοστό είναι μικρότερο. Το μεγαλύτερο ποσοστό αφορά σε συστήματα μεταβλητής ταχύτητας, με σύγχρονες γεννήτριες και μετασχηματιστή συχνότητας.

## **Πυλώνας**

Το ποσοστό του κόστους που αντιστοιχεί στην κατασκευή του πυλώνα παρουσιάζει μεγάλο εύρος αναλόγως με τον τύπο της κατασκευής και το ύψος του πυλώνα (που εξαρτάται από τη διάμετρο του στροφείου). Το ποσοστό κυμαίνεται μεταξύ 12 και 20% του συνολικού κόστους. Σε πιο σύγχρονους σχεδιασμούς για εγκατάσταση στη στεριά και σε πολλές περιπτώσεις με μεγάλο ύψος πυλώνα, το ποσοστό αυτό μπορεί να αυξηθεί σημαντικά.

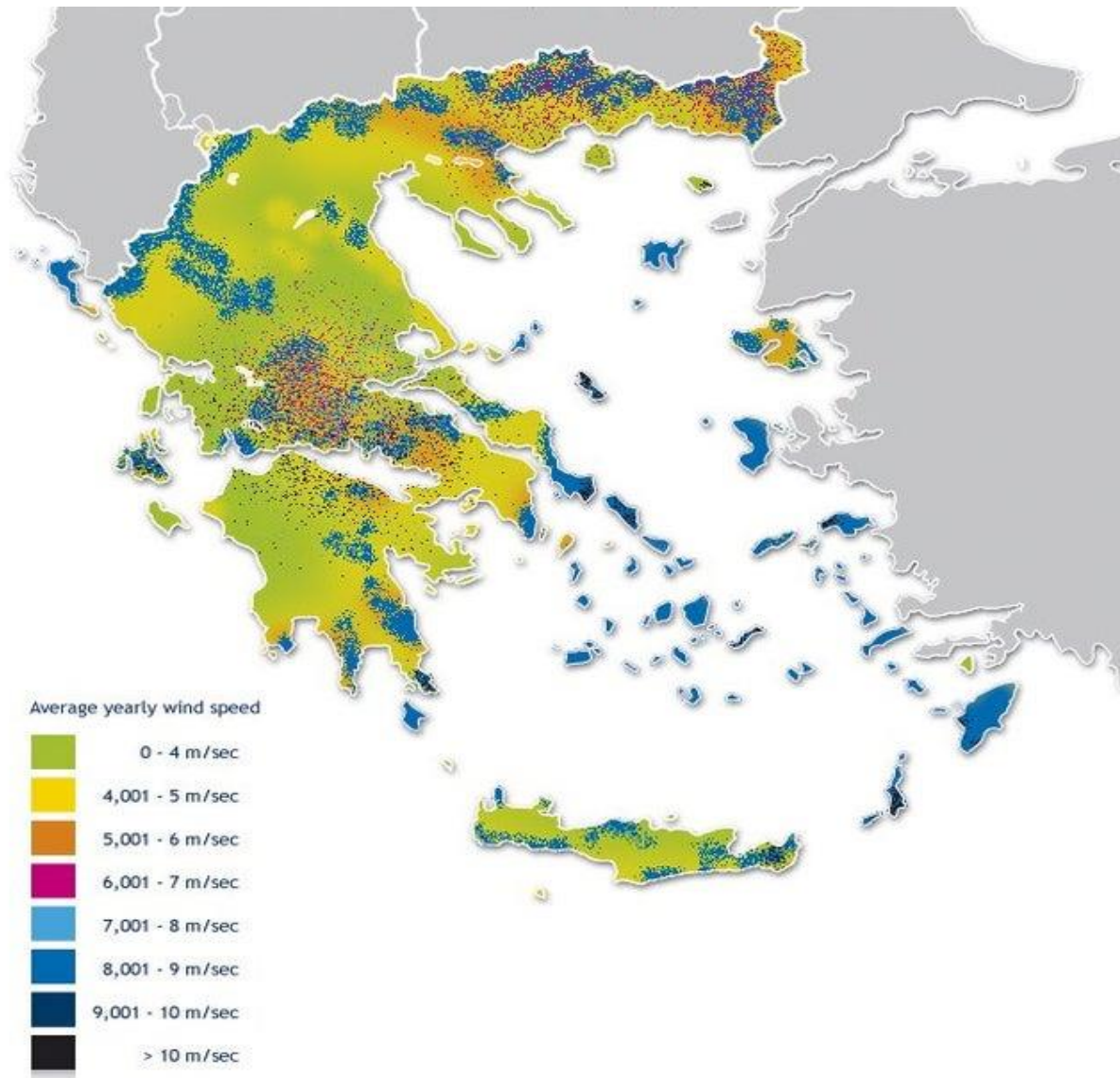
## **1.4. Το αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα**

Το ελληνικό αιολικό δυναμικό είναι υψηλό. Ειδικότερα, σε κάποιες περιοχές των ελληνικών θαλασσών, το τοπικό δυναμικό είναι από τα υψηλότερα της Ευρώπης. Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) εκτιμά ότι το ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα θα μπορούσε να απορροφήσει τουλάχιστον 5500 MW αιολικής ισχύος χωρίς προβλήματα αξιοπιστίας και σταθερότητας. Αυτή η ικανότητα θα μπορούσε να αυξηθεί στα 6000-6200 MW αν συνυπολογιστούν οι ανεμογεννήτριες σε μη διασυνδεδεμένα νησιά.

Στη Μεσόγειο τα δεδομένα μέτρησης του υπεράκτιου ανέμου συλλέγονται κυρίως από τις ακτές και τα νησιά και είναι λιγότερο πλήρη και ακριβή σε σχέση με τις βόρειες θάλασσες. Τα δεδομένα προέρχονται κυρίως από μετρήσεις της περιόδου 1995-2004 και συνιστούν προς το παρόν την καλύτερη διαθέσιμη ανεμολογική πληροφορία. Χρειάζονται όμως συμπληρώσεις, π.χ. ως προς το πώς επιδρούν οι πραγματικές φυσικές συνθήκες και διεργασίες. Η έλλειψη ακρίβειας λόγω ορογραφίας και χαμηλής χωρικής ανάλυσης έχει μεγαλύτερη σημασία στις παράκτιες περιοχές. Το υπεράκτιο αιολικό δυναμικό του ελληνικού χώρου φαίνεται πολύ υψηλό αλλά υπάρχουν πολλές δυσκολίες που συνδέονται με το βάθος των νερών, τις χρονοβόρες, γραφειοκρατικές και αβέβαιες διαδικασίες αδειοδότησης και την αναγκαία κατασκευή ηλεκτρικού δικτύου που να μπορεί να μεταφέρει την παραγόμενη ενέργεια. Τεχνικά προβλήματα υπάρχουν σε κάποιες περιπτώσεις όπου το βάθος της θάλασσας ξεπερνά τα 35 m, ενώ τα μη τεχνικά προβλήματα συνδέονται με τοπικές αντιδράσεις από κοινότητες κατοίκων, οπτική όχληση, ανησυχίες για παρεμπόδιση της τουριστικής ανάπτυξης, αντιρρήσεις από αρχαιολογικές υπηρεσίες ή από υπηρεσίες προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος, στρατιωτικές χρήσεις κ.λπ.

Μέχρι τώρα έχουν γίνει σχέδια για υπεράκτια αιολικά πάρκα ρηχών νερών (θεμελιωμένα στο βυθό) με συνολική ισχύ 2681 MW στις περιοχές: Αλεξανδρούπολη, Πόρτο Λάγος, Λήμνος, Αντίρριο, Οθωνοί, Διαπόντια νησιά, Πεταλιοί, Κύμη, Ναύπακτος. Δεν είναι γνωστές εκτιμήσεις για την συνολική ισχύ μελλοντικών πλωτών πάρκων στις ελληνικές θάλασσες, αλλά πιθανότατα θα είναι πολλαπλάσια της συνολικής ισχύος των ήδη μελετημένων 12 θέσεων υπεράκτιων αιολικών πάρκων ρηχών νερών που αντιστοιχούν σε περίπου 5 GW. Σύμφωνα με στοιχεία της ΡΑΕ, το 2014 υπάρχουν σε ώριμο ή πολύ ώριμο στάδιο αδειοδότησης, αιολικά έργα συνολικής ισχύος 6610 MW. Σύμφωνα με την ΕΛΕΤΑΕΝ, τα έργα αυτά αντιστοιχούν σε συνολική επένδυση πάνω από **10 δις Ευρώ** και θα μπορούσαν να σηματοδοτήσουν μια νέα φάση πράσινης ανάπτυξης με τη δημιουργία μεγάλου αριθμού θέσεων εργασίας. Πρόκειται κατά κανόνα για μεγάλα έργα, πολλά από τα οποία αφορούν και διασυνδέσεις νησιωτικών συμπλεγμάτων με το ηπειρωτικό σύστημα.

Στα νησιά η παραγωγή ηλεκτρισμού μέχρι σήμερα γίνεται κυρίως με τη λειτουργία πετρελαϊκών σταθμών, κατάσταση που αναμένεται να αλλάξει όταν ολοκληρωθούν οι διασυνδέσεις των Κυκλάδων και της Κρήτης με το ηπειρωτικό σύστημα, οι οποίες θα δώσουν περαιτέρω δυνατότητες αξιοποίησης του μεγάλου τοπικού δυναμικού ΑΠΕ και ιδιαίτερα του υπεράκτιου δυναμικού. Κατά την επόμενη δεκαετία οι διασυνδέσεις μπορούν να επεκταθούν ώστε να καλύψουν το σύνολο των νησιών του Αιγαίου καθώς και σημαντικό αριθμό υπεράκτιων αιολικών πάρκων που θα μπορούσαν να αναπτυχθούν.



Εικόνα 1.9.Χάρτης ελληνικού αιολικού δυναμικού( reddit.com)



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ Α΄

### Βιβλία

Kichsteiger C., Christou M.D., Papadakis A.G. (1998), *Risk Assessment and Management in the Context of the Seveso II Directive*. ELSEVIER

Γεωργιάδου Ε. (2018), *ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΑΙΜΑΚΑΣ*, Αθήνα: Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας.

Δρίβας Σ., Ζορμπά Κ., Κουκουλάκη Θ.(2000), *Μεθοδολογικός οδηγός για την εκτίμηση και πρόληψη του επαγγελματικού κινδύνου*. Αθήνα: Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας.

### Άρθρα σε επιστημονικό περιοδικό

Asian, S., Ertek, G., Haksoz, C., Pakter, S., and Ulun, S. (2017), Wind turbine accidents: A data mining study. *IEEE Systems Journal*, 11, 1567-1578.

Jalali L., Bigelow P., McColl S., Majowicz S., Gohari M., Waterhouse R. (2016), Changes in quality of life and perceptions of general health before and after operation of wind turbines. *Environmental pollution*. 216. 608-615.

Jin X., Ju W., Zhang Z., Guo L., Yang X. (2016), System safety analysis of large wind turbines. *Renewable and sustainable energy reviews*. 56. 1293-1307.

Jui-Sheng C. and Wan-Ting T. (2011), Failure analysis and risk management of a collapsed large wind turbine tower. *Engineering failure analysis*.18. 295-314.

Kang J., Sun L., Soares C.G (2018), Fault Tree Analysis of floating wind turbines. *Renewable Energy*. 1-13.

Mentes A. and Turan O. (2018), A new resilient risk management model for Offshore Wind Turbine maintenance, *Elsevier, Safety Science*

Ribrant J. and Bertling L.M. (2007), Survey of Failures in Wind Power Systems with Focus on Swedish Wind Power Plants During 1997–2005, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 22, No. 1, 167-184.

Wagenaar W. A. και Van der Schrier J. (1997), Accident Analysis -The goal and how to det there. *Safety science*, 26. 25-33.

Wymore M.L., Van Dam J. E., Ceyalan H., Qiao D. (2015), A survey of health monitoring systems for wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 52. 977-985.

### Επιστημονικές εργασίες

Δαγκίνης Ι. (2018) , *Μεθοδολογικό πλαίσιο αξιοπιστίας και αποδοτικότητας θαλασσίων κατασκευών για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*, διδακτορική εργασία. Χίος.

Καλπακίδης Α. (2013), *Μελέτη Δυνατοτήτων και προοπτικών εγκατάστασης υπεράκτιων αιολικών πάρκων στην Ελλάδα*, Διπλωματική εργασία. Καβάλα.

Καραχάλιου (2019) , *Τεχνολογίες Αφαλάτωσης και Προοπτικές Εφαρμογής στον Ελληνικό χώρο*, μεταπτυχιακή εργασία. Αθήνα.

Μητσάκου Αικατερίνη (2018), *Τεχνοοικονομική ανάλυση εγκατάστασης υπεράκτιων αιολικών πάρκων*, διπλωματική εργασία. Χανιά

Φραγκιαδάκης Ν. (2015) , *Ανάπτυξη και εφαρμογή μεθοδολογίας εκτίμησης διακινδύνευσης σε ναυπηγεία*, διδακτορική διατριβή. Αθήνα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β΄

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στην δημιουργία της κυματικής ενέργειας και των βασικών χαρακτηριστικών της, καθώς και μια παρουσίαση του διαθέσιμου ενεργειακού δυναμικού και στις προϋποθέσεις αξιοποίησής του. Στη συνέχεια αναφέρονται οι βασικοί τύποι μετατροπών κυματικής ενέργειας και οι βασικές μηχανολογικές αρχές λειτουργίας του. Τέλος, αναφέρονται οι προοπτικές για την εκμετάλλευση του συγκεκριμένου ενεργειακού δυναμικού στην Ελλάδα.

### 2.1. Δημιουργία και ισχύς κυματικής ενέργειας

Η ενέργεια των ωκεανών θεωρείται συμπυκνωμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας. Μέσω των ανέμων που δημιουργούνται, λόγω των διαφορών πίεσης στην ατμόσφαιρα της γης, παράγονται κύματα. Οι διαφορές στην εν λόγω πίεση είναι προϊόν διαφορετικής ηλιακής θέρμανσης. Θεωρητικά, η ενέργεια κύματος είναι μια μορφή τόσο κινητικής όσο και δυναμικής ενέργειας. Συγκεκριμένα η ενέργεια που μεταφέρεται από τον άνεμο στο νερό είναι μορφή δυναμικής ενέργειας, ενώ η κινητική ενέργεια είναι η κίνηση των μορίων ύδατος στα οποία η ποσότητα της μεταφερόμενης ενέργειας εξαρτάται από τρεις παράγοντες: την ταχύτητα του ανέμου, τη διάρκεια του χρόνου που φυσάει και την απόσταση από την οποία ο άνεμος διεγείρει τα κύματα.

Για να κατανοήσουμε την έννοια της παραγωγής ενέργειας κύματος, αυτό πρέπει να περιγραφεί με απλούς μαθηματικούς όρους. Αυτό μπορεί να παρουσιαστεί χρησιμοποιώντας ημιτονοειδή κύματα. Αυτά τα απλά κύματα είναι εύκολο να μετρηθούν και να αναλυθούν λαμβάνοντας υπόψη ότι όλα τα βασικά χαρακτηριστικά τους παραμένουν σταθερά. Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.1., η γραμμή παρακείμενου νερού αφορά το επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας όταν είναι απόλυτα ήρεμη και επίπεδη. Το υψηλότερο σημείο πάνω από τη γραμμή ακίνητων υδάτων είναι η κορυφή του κύματος ενώ το χαμηλότερο σημείο ονομάζεται κοίλο. Η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της κορυφής και του κοίλου είναι το ύψος του κύματος, ενώ η οριζόντια απόσταση μεταξύ διαδοχικών κορυφών ή κοιλοτήτων είναι το μήκος κύματος. Επίσης, το ύψος δεν είναι η μόνη παράμετρος που καθορίζει την ένταση της ενέργειας των κυμάτων, είναι επίσης πολύ σημαντικό να εξεταστεί ο χρόνος που χρειάζεται για να περάσει ένα πλήρες κύμα από συγκεκριμένο σημείο, που ονομάζεται περίοδος. Η συχνότητα εκφράζεται ως ο αριθμός των κυμάτων που περνούν ένα συγκεκριμένο σημείο σε μια δεδομένη περίοδο.



Εικόνα 2.1. Βασικά στοιχεία περιγραφής κύματος (Quitonas and all σ.3)

Όσον αφορά στις στατιστικές, η ενέργεια κύματος έχει τις υψηλότερες δυνατότητες εκτιμώμενων παγκόσμιων πόρων, μεταξύ άλλων μορφών της ωκεανικής ενέργειας. Η λεπτομερής αξιολόγηση των πόρων είναι ένα απαραίτητο βήμα στον εντοπισμό κατάλληλων περιοχών για την ανάπτυξη των μετατροπέων της κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Όταν παρουσιάζεται κυματικό ενεργειακό δυναμικό, ο πόρος συνήθως περιγράφεται από τη ροή ισχύος (KW/m) που περιέχονται στα κύματα. Αυτό είναι το μήκος ισχύος της κορυφογραμμής κύματος, που αντιπροσωπεύει όλη την υδροδυναμική ενέργεια που διασχίζει ένα κατακόρυφο επίπεδο πλάτος μονάδας ανά μονάδα χρόνου.

Η πηγή ενέργειας κυμάτων ( $P_{wave}$ ) χαρακτηρίζεται από το ύψος κύματος ( $H_{sig}$ ) και την περίοδο ενεργειακών κυμάτων ( $T_e$ ) για την άθροιση των σύνθετων θαλάσσιων καταστάσεων πάνω από τη συχνότητα ( $f$ ) και τις περιοχές κατεύθυνσης ( $\theta$ ). Οι περιοχές χαμηλότερου ύψους κύματος περικλείουν χαμηλότερο ενεργειακό δυναμικό. Οι εξισώσεις που ακολουθούν δείχνουν τον τρόπο που υπολογίζεται η ενέργεια των κυμάτων σε μια περιοχή.

$$P_x = \rho g \iint C_{gx} E(f, \theta) df d\theta$$

$$P_y = \rho g \iint C_{gy} E(f, \theta) df d\theta$$

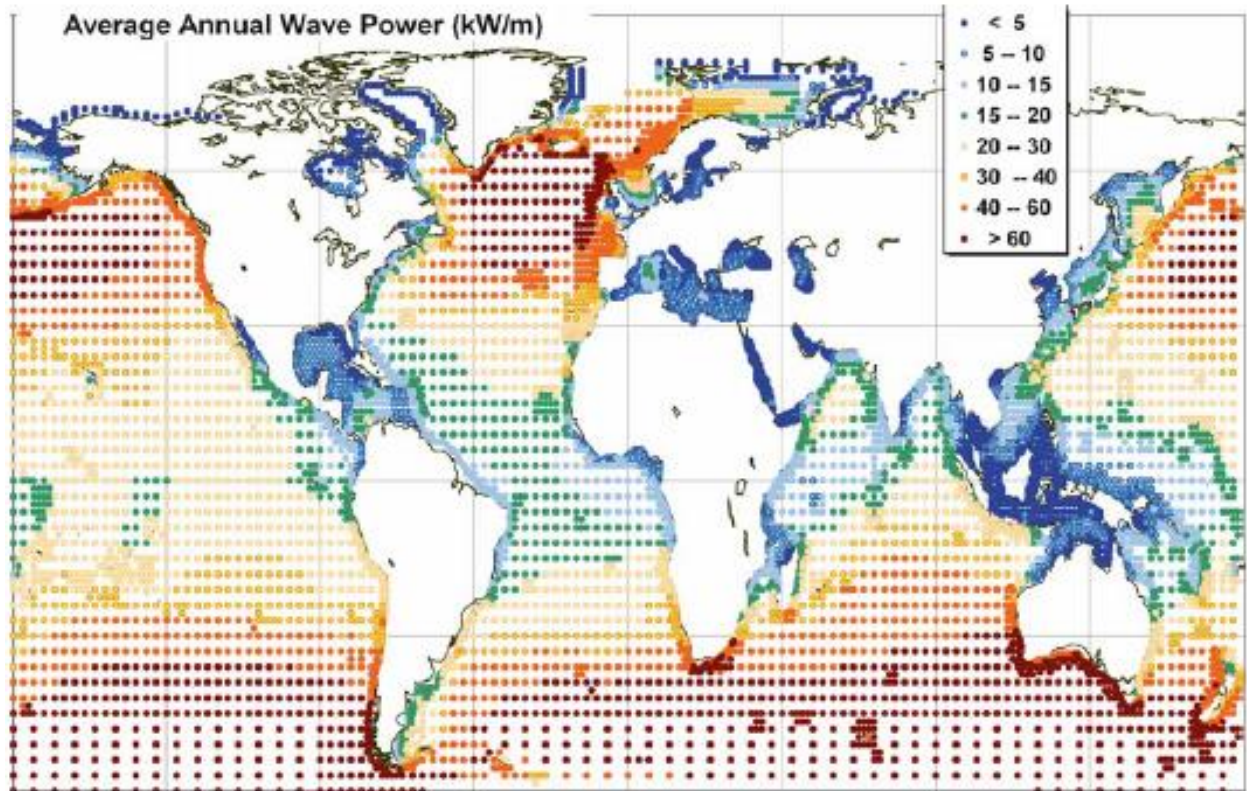
$$P_{wave} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$$

Όπου  $E(f, \theta)$  είναι το φάσμα της ενεργειακής πυκνότητας σε ένα σύστημα  $x, y$  συντεταγμένων,  $C_g$  είναι οι απόλυτες τιμές των ταχυτήτων. Τα στοιχεία  $\rho, g$  είναι η πυκνότητα του νερού και η επιτάχυνση της βαρύτητας αντίστοιχα.

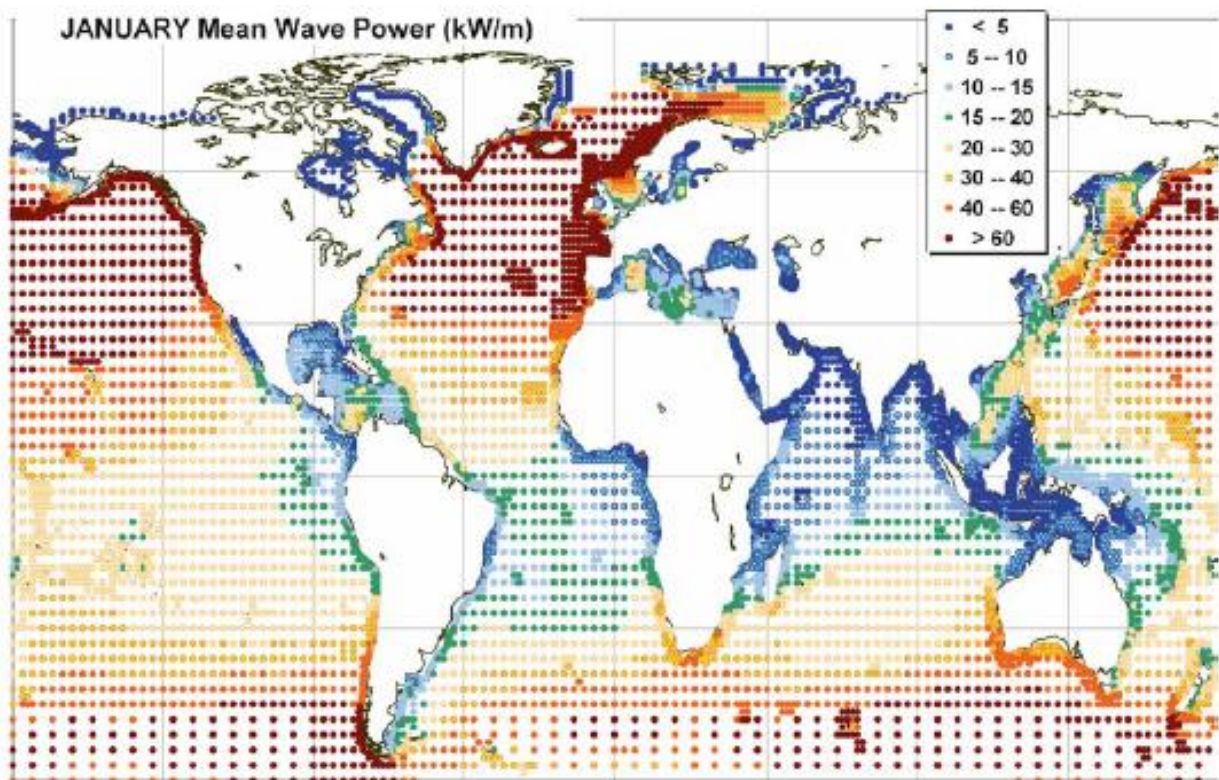
Ο ρυθμός εισαγωγής της ηλιακής ενέργειας στα κύματα κυμαίνεται μεταξύ 0.01 έως 0.1 W/m<sup>2</sup>. Το μέγεθος αυτό αποτελεί πολύ μικρό ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στους ωκεανούς, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει απόδοση περίπου 350 W/m<sup>2</sup>, παρόλα αυτά τα κύματα μπορούν να αναπτυχθούν σε μεγάλες αποστάσεις και να συμπυκνωθούν σε ενέργεια απόδοσης έως και 100kW/m<sup>2</sup> (πρέπει να σημειωθεί ότι η συνήθης μονάδα μέτρησης είναι ισχύς ανά μονάδα μήκους του μετώπου του κύματος). Λόγω της δημιουργίας της κυματικής ενέργειας από την αιολική, τα μεγαλύτερα ποσοστά κυματικής ενέργειας βρίσκονται στα όρια των ωκεανών και των θερμοκρασιακών τους οριακών ζωνών.

Η εκτίμηση των κυματικών πόρων είναι σημαντική όταν επιλέγονται περιοχές για εγκατάσταση μετατροπέων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για την εκτίμηση των διαθέσιμων κυματικών πόρων αξιοποιούνται δορυφορικά συστήματα και συστήματα πλωτήρων που καταγράφουν τις υψομετρικές διαφορές των κυμάτων ανά περιοχές.

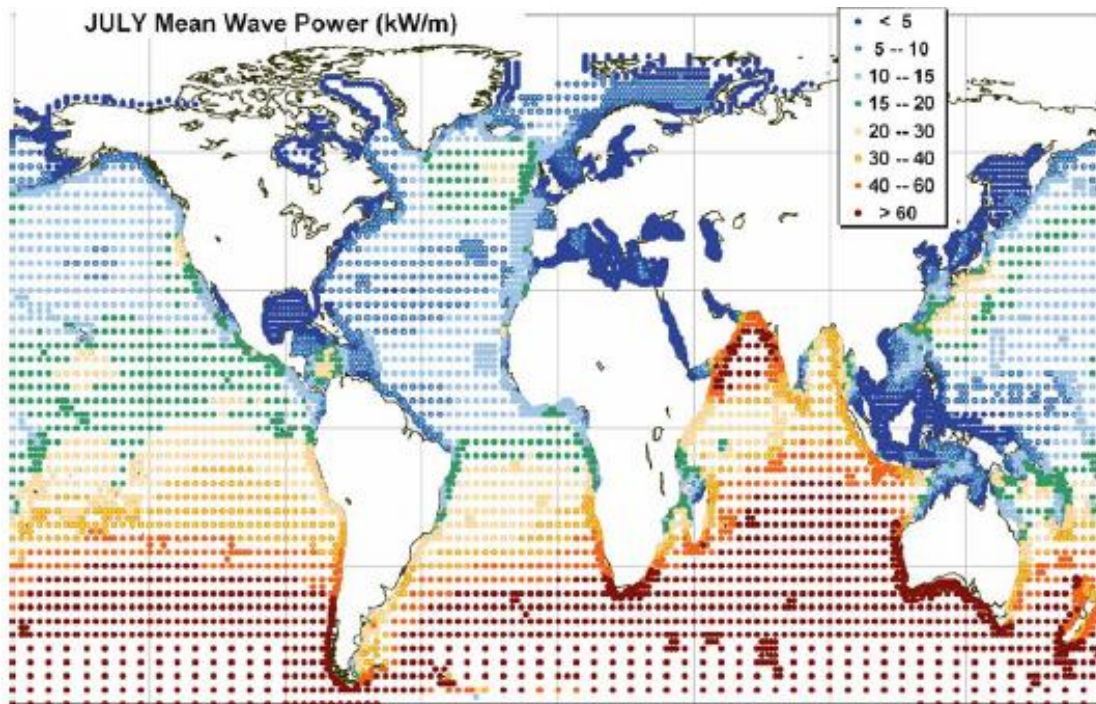
Από τους παρακάτω χάρτες γίνεται ξεκάθαρο ότι οι περιοχές με το μεγαλύτερο δυναμικό, βρίσκονται σε μεσαία έως υψηλά γεωγραφικά πλάτη μεταξύ του 40<sup>ου</sup> και 60<sup>ου</sup> παράλληλου. Αυτά τα μεγέθη δίνουν λανθασμένες εκτιμήσεις ως προς τα σχετικά ενεργειακά επίπεδα και για τα δύο ημισφαίρια. Όπως φαίνεται και στη σύγκριση των παρακάτω διαγραμμάτων, η συγκέντρωση πόρων στο νότιο ημισφαίριο, όπου οι εποχιακές εναλλαγές είναι πολύ ηπιότερες, είναι μεγαλύτερη. Η συγκεντρωτική παράθεση που απεικονίζεται στην Εικόνα 2.2 επιβεβαιώνει την παρατήρηση από τη σύγκριση, αφού η μέση ενεργειακή κατάσταση απεικονίζεται ως συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους τόσο ετήσια όσο και για τις δύο αντιδιαμετρικές εποχές (χειμώνας – καλοκαίρι).



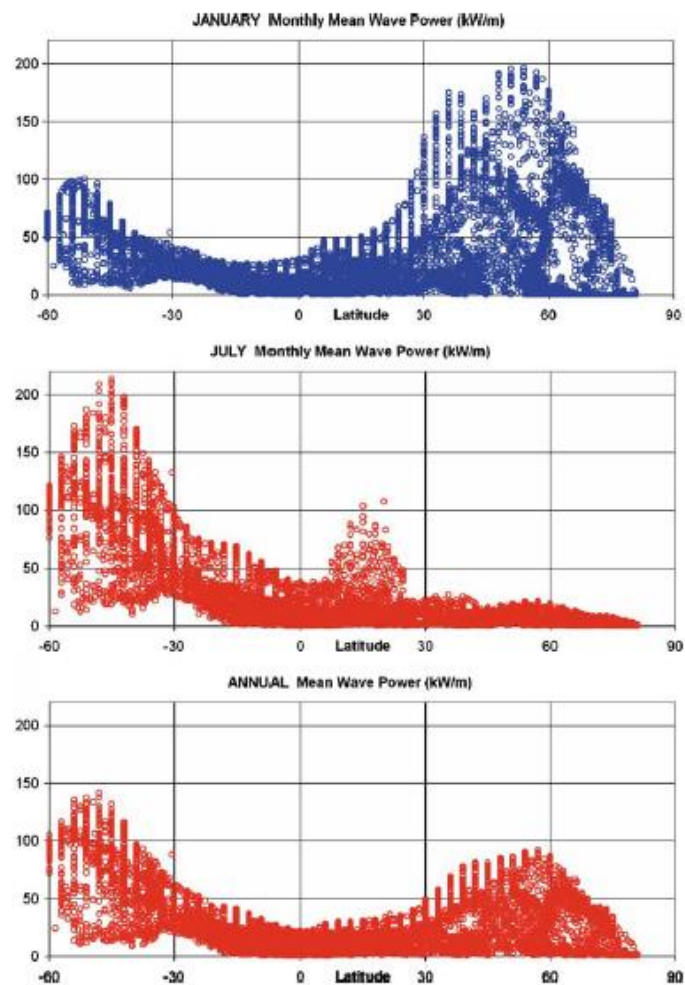
Εικόνα 2.2. Μέσο κυματικό ενεργειακό δυναμικό για διάφορα σημεία ανά τον πλανήτη (Cruz σ.95)



Εικόνα 2.3. Παγκόσμιο ενεργειακό δυναμικό τον Ιανουάριο (Cruz σ.96)



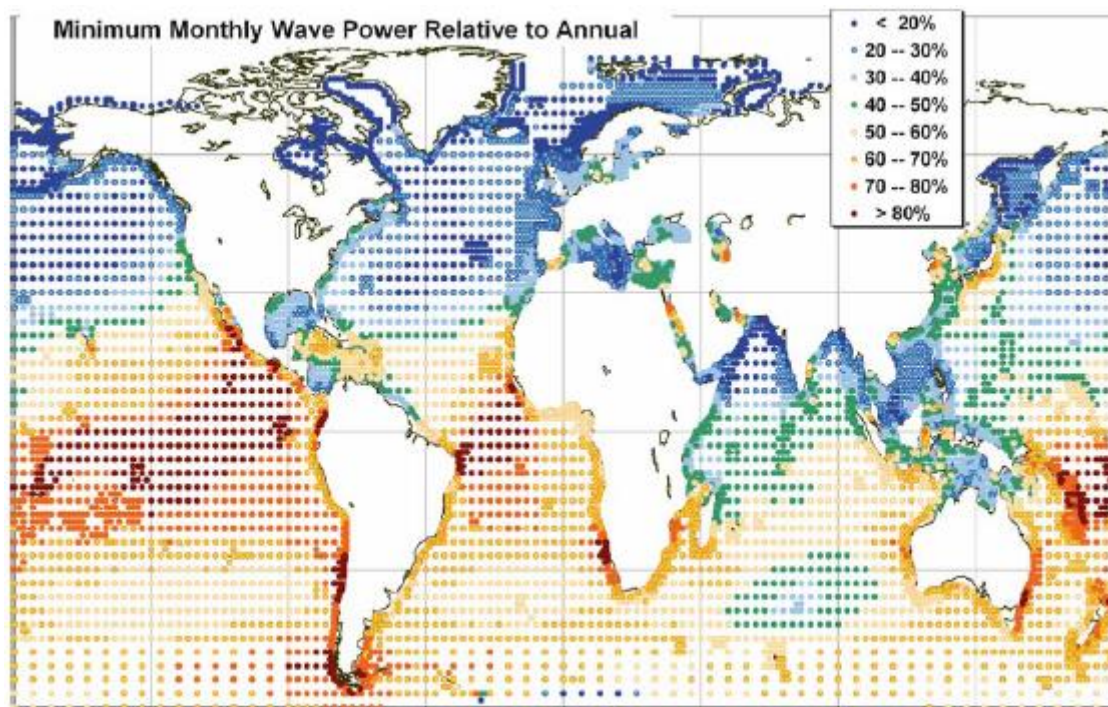
Εικόνα 2.4. Παγκόσμιο ενεργειακό δυναμικό τον Ιούλιο( Cruz σ.97)



Εικόνα 2.5.Μηνιαίο Ενεργειακό Δυναμικό ως προς το γεωγραφικό πλάτος( Cruz σ.98)

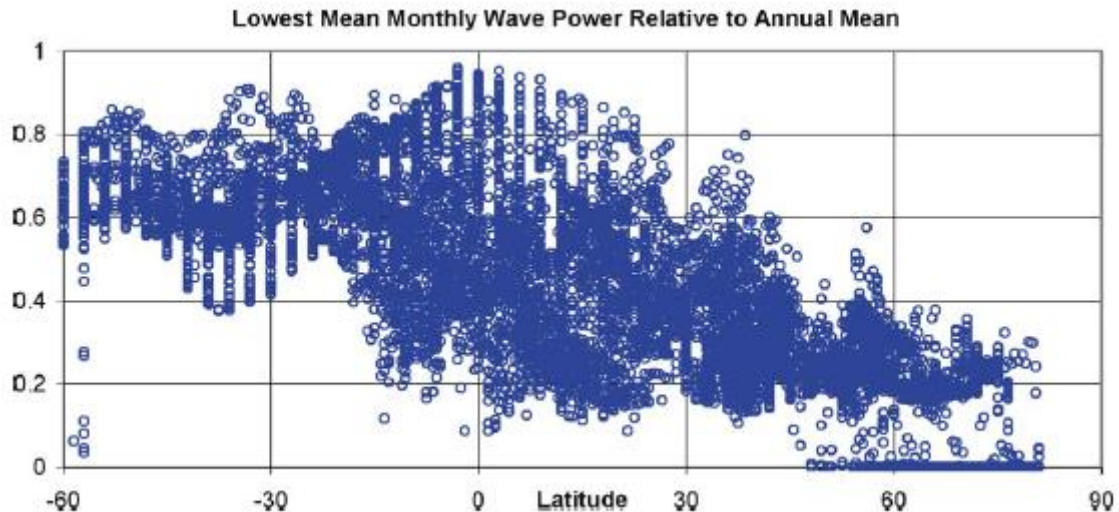
Σε ετήσια βάση, τα υψηλότερα επίπεδα του βορείου ημισφαιρίου συγκεντρώνονται στη θαλάσσια περιοχή των ακτών της Βρετανίας, της Ισλανδίας και της Γροιλανδίας και τα χαμηλότερα βρίσκονται στον Ειρηνικό ωκεανό δυτικά της ακτογραμμής των ΗΠΑ και του Καναδά. Τα υψηλότερα ποσοστά ενεργειακής συγκέντρωσης σε βάθη 50 έως 100 μέτρα, στο νότιο ημισφαίριο, εντοπίζονται στα ανοιχτά της ακτογραμμής της νότιας Χιλής, της Νότιας Αφρικής και σε ολόκληρο το μήκος της ακτογραμμής της νότιας και νοτιοδυτικής Αυστραλίας και Νέας Ζηλανδίας. Στο ύψος του ισημερινού, κυματική ισχύς 15-20 kW/m μπορεί να παρατηρηθεί ως μέσος όρος για διάφορες περιοχές. Σε μεσαία πλάτη, η δυτική Αυστραλία έχει τα μεγαλύτερα αποθεματικά και ακολουθεί η Καλιφόρνια των ΗΠΑ.

Το μεγαλύτερο ενεργειακό δυναμικό συναντάται στο Νότιο Ωκεανό, όπου ο μέσος όρος της ετήσια ισχύος που παρατηρήθηκε είναι 140kW/m. Πρέπει να σημειωθεί ότι, παγκόσμια, οι περιοχές με το μεγαλύτερο δυναμικό δεν είναι αξιοποιήσιμες, καθώς η απόσταση από τη στεριά και το βάθος τους, τις καθιστά ιδιαίτερα δυσπρόσιτες για ενεργειακή εγκατάσταση. Τα παραπάνω διαγράμματα δίνουν μια εικόνα για τη μεταβολή του ενεργειακού δυναμικού αναλόγως της εποχής. Το διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζει το λόγο του ελάχιστου μηνιαίου επιπέδου ενέργειας σε σχέση με τον ετήσιο μέσο όρο, και μπορεί να δώσει μια πιο ξεκάθαρη εικόνα για το πως διακυμαίνεται το ενεργειακό απόθεμα σε ετήσια βάση.



Εικόνα 2. 6 Παγκόσμια ετήσια κατανομή του κυματικού δυναμικού (Cruz σ. 101)

Ενώ το διάγραμμα της επόμενης σελίδας παρουσιάζει την κατανομή του ίδιου μεγέθους κατά το γεωγραφικό πλάτος.



Εικόνα 2. 7 Ελάχιστη μηνιαία κατανομή του ενεργειακού δυναμικού του κυματισμού, σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος (Cruz σ.102)

Γίνεται ξεκάθαρο ότι το ενεργειακό δυναμικό του νότιου ημισφαιρίου είναι σαφώς πιο σταθερό σε σχέση με του βορείου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

## 2.2 Κριτήρια επιλογής για την εγκατάσταση μετατροπέων κυματικής ενέργειας

Όσον αφορά στην εκμετάλλευση αυτού του ενεργειακού πόρου, υπάρχουν πολλές ενδιαφέρουσες περιοχές ανά τον κόσμο. Η μεγάλη πρόκληση είναι να επιλεγεί μια περιοχή η οποία προσφέρει όχι μόνο επαρκή αποθέματα κυματικής ενέργειας, αλλά και τις απαραίτητες συνθήκες που θα εξασφαλίζουν τη συνεχή και αξιόπιστη λειτουργία της εγκατάστασης των μετασηματιστών ενέργειας (wave energy converters). Ένας βασικός παράγοντας που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη είναι η απόσταση από τη στεριά και το ηλεκτρικό δίκτυο, καθώς και με το βάθος της τοποθεσίας της εγκατάστασης, καθώς επηρεάζουν όχι μόνο το κόστος αλλά κυριότερα τη δυνατότητα της ασφαλούς ανάκτησης των συσκευών και της μεταφοράς τους σε τοπικά ναυπηγεία για επισκευές. Όλες αυτές οι παράμετροι (ενεργειακό απόθεμα, κόστος, λειτουργία και συντήρηση) θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να μελετώνται σε βάθος.

Γίνεται λοιπόν σαφές, ότι η απόδοση των μετατροπέων δεν εξαρτάται μόνο από τη μέση ροή ενέργειας κυμάτων, αλλά εξαρτάται επίσης από την κατανομή της ενέργειας των κυμάτων μεταξύ των θαλάσσιων καταστάσεων διαφόρων περιόδων. Ως εκ τούτου, τόσο σημαντικό όσο το διάγραμμα σκέδασης κυμάτων είναι και η διαθέσιμη ποσότητα ενέργειας προς εκμετάλλευση από τις συσκευές μετατροπής. Ενώ πολύ ενεργητικά περιβάλλοντα είναι πολλά υποσχόμενα, επίσης έχουν αυξημένους κινδύνους επιβίωσης που σχετίζονται με σκληρότερα περιβάλλοντα και υψηλότερα ακραία γεγονότα, που μπορεί να έχουν επικίνδυνες επιπτώσεις στους μετατροπείς κυμάτων ενέργειας. Οι μετατροπείς πρέπει να είναι κατάλληλοι για την επιλεγμένη θέση. Αυτή η συμβατότητα μπορεί να εκφραστεί από δύο παράγοντες, την ετήσια παραγωγή ενέργειας( μέσω του συντελεστή ικανότητας) και τη διαθεσιμότητα. Η διαθεσιμότητα εκφράζεται ως το ποσοστό του χρόνου για τον οποίο ο πόρος επιτρέπει τη λειτουργία του μετατροπέα. Αυτοί οι δύο δείκτες επιτρέπουν τον προσδιορισμό της καταλληλότητας μιας περιοχής με βάση χαρακτηριστικά της και την αξιολόγηση του δυναμικού μακροπρόθεσμα. Οι τοποθεσίες υψηλής ενέργειας χαρακτηρίζονται από υψηλότερα ύψη κύματος και μεγαλύτερες διογκώσεις, αλλά έχουν χαμηλότερες τιμές διαθεσιμότητας (ανάλογα πάντα με το εύρος του μετατροπέα λειτουργίας). Επιπλέον, οι πιθανότητες για καταστροφές αυξάνονται. Για το

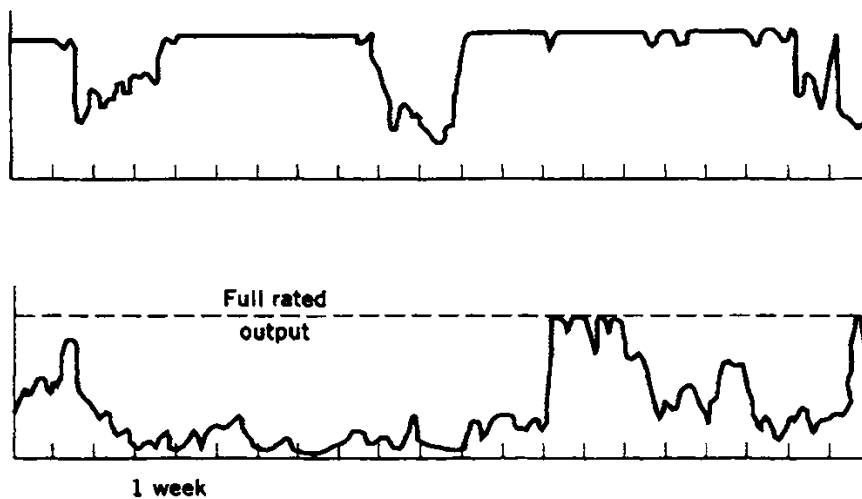


σκοπό αυτό, θα πρέπει να χρησιμοποιείται μετατροπέας κατάλληλου εύρους κάθε φορά και σε ήπιες συνθήκες.

## **Μεταβλητότητα**

Ένας άλλος παράγοντας που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν είναι η μεταβλητότητα που χαρακτηρίζει τα κύματα. Ενώ γενικά η κατάσταση της στάσιμης θάλασσας μπορεί να περιγραφεί από το σημαντικό ύψος κύματος και την περίοδο, το ύψος κάθε κύματος και η περίοδος του ποικίλει λιγότερο ή περισσότερο από το ένα κύμα στο άλλο. Αυτή η μεταβλητότητα είναι περισσότερο τυχαία όταν τα κύματα παράγονται από τοπικούς δυνατούς ανέμους και λιγότερο τυχαία όταν τα κύματα προκύπτουν από μακρινές καταιγίδες. Τα επίπεδα ισχύος της κυματικής ενέργειας αλλάζουν σε όλες τις κλίμακες: από κύμα σε κύμα, μέσα στην διάρκεια της μέρας, από εποχή σε εποχή και από έτος σε έτος. Η απόδοση των συσκευών κυματικής ενέργειας, τείνει να ακολουθεί το προφίλ και τα χαρακτηριστικά των κυμάτων. Αξιοποιώντας τεχνικές «αποθήκευσης» μηχανικής ή υδραυλικής ενέργειας εξομαλύνεται η παροχή ενέργειας με τη μορφή παλμών (λόγω της φύσης του κυματισμού), γεγονός που είναι πολύ σημαντικό για την ομαλή και αποδοτική διασύνδεση της μονάδας παραγωγής ηλεκτρισμού στο ηλεκτρικό δίκτυο και επίσης δίνει τη δυνατότητα χρήσης ηλεκτρολογικού εξοπλισμού χαμηλότερης χωρητικότητας. Μια τέτοιου είδους εξοικονόμηση μπορεί να μειώσει αισθητά το κόστος του εξοπλισμού αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, βελτιώνοντας το συνολικό κόστος της συσκευής. Οι τυχαίοι κυματισμοί που δημιουργούνται από δυνατούς ανέμους έχουν συχνότητα από 0.04 έως 0.25 Hz. Κατά πρώτη προσέγγιση τα στοιχεία του κυματισμού που εμπεριέχουν την ενέργεια, ταξιδεύουν ανεξάρτητα με μια ταχύτητα που εξαρτάται άμεσα από την περίοδό τους. Αυτά τα διάφορα στοιχεία εκκινούν ταυτόχρονα από το σημείο που υπάρχει η διέγερση λόγω του ανέμου. Παρόλα αυτά τα κύματα με τη μεγαλύτερη περίοδο κινούνται ταχύτερα από αυτά με μικρότερη. Σε συνέπεια της διάδοσης του κύματος, μια μονάδα παραγωγής ενέργειας που βρίσκεται στη διεύθυνση των κυματισμών που παράγονται από μια καταιγίδα, θα δεχθεί αρχικά κύματα με μεγάλη περίοδο και στη συνέχεια κυματισμού με μικρή περίοδο.

Έτσι η ανάπτυξη βάσεων δεδομένων με την μεταβολή της ενέργειας των κυμάτων μπορεί να βοηθήσει στη σωστή επιλογή των κατασκευαστικών στοιχείων μια συσκευής κυματικής ενέργειας καθώς και στη σωστή επιλογή εξοπλισμού με τις αντίστοιχες δυνατότητες. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι το επίπεδο της κυματικής ενέργεια μιας περιοχής είναι για μεγάλο χρονικό διάστημα μικρότερο από το μέσο παρεχόμενο δυναμικό, ο στόχος για την εγκατάσταση μιας συσκευής είναι η μέγιστη ετήσια παραγωγή ηλεκτρισμού να επιτυγχάνεται από χαμηλότερα επίπεδα ισχύος των κυμάτων.



Εικόνα 2.8. Απόδοση ισχύος το χειμώνα και το καλοκαίρι (Bhattacharrya and McCormick σ.14)

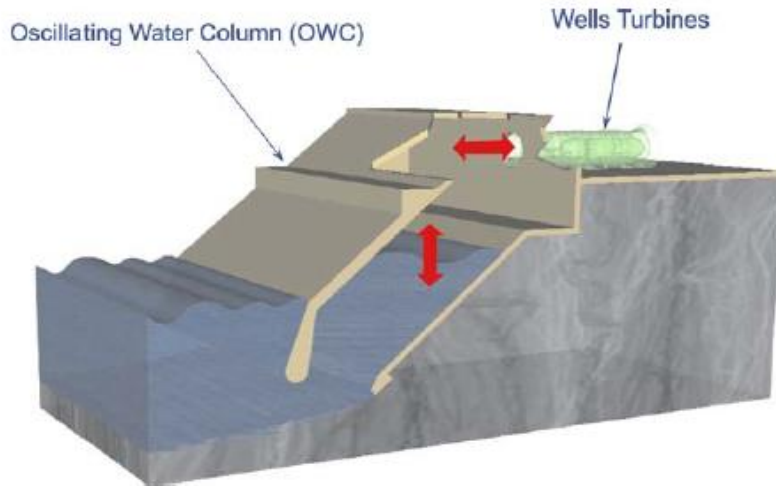
Επομένως, προκείμενου να γίνει η εγκατάσταση ενός μετατροπέα κυματικής ενέργειας, χρειάζονται στοιχεία για την εξεταζόμενη περιοχή, που να μπορούν να προβλέψουν την αποδοτικότητα του σε βάθος είκοσι και τριάντα χρόνων ζωής. Αυτό μπορεί να γίνει με την επιθεώρηση στατιστικών στοιχείων που προέρχονται από μακροχρόνιες σειρές αποτελεσμάτων μοντέλων αιολικών κυμάτων, οπτικών παρατηρήσεων ή ακόμη και μακροπρόθεσμων στατιστικών στοιχείων αιολικής ενέργειας.

### 2.3. Μετατροπείς Κυματικής Ενέργειας

Στις Παραγράφους που ακολουθούν γίνεται μια αναφορά στους σημαντικότερους τύπους μετατροπέων κυματικής ενέργειας και οι βασικές αρχές λειτουργίας τους.

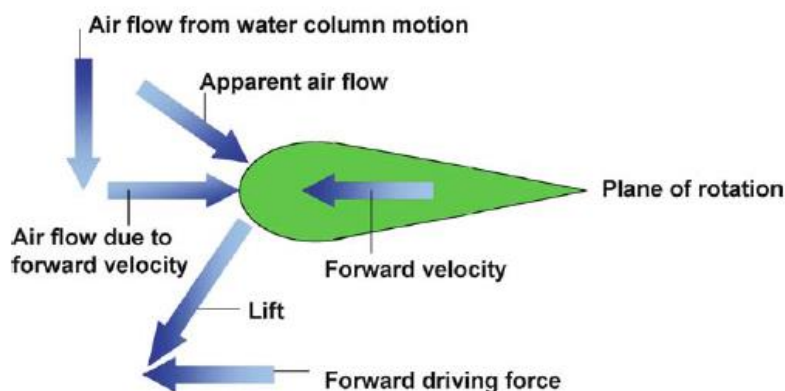
#### 2.3.1. Ταλαντούμενη Στήλη Κύματος (Oscillating Wave Column – OWC)

Αυτή η τεχνολογία εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας, αποτελείται από έναν υδρο-πνευματικό θάλαμο ο οποίος περιέχει ατμοσφαιρικό αέρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και έναν στρόβιλο τύπου Wells. Όταν η στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει λόγω του κυματισμού, ο αέρας που περιέχεται στο θάλαμο συμπιέζεται και εκτονώνεται μέσω του στρόβιλου στην ατμόσφαιρα. Η εκτόνωση αυτή οδηγεί στην περιστροφή του στρόβιλου όπου περιστρέφει μια γεννήτρια και αποτελούν το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος. Με τον τρόπο αυτό παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια. Όταν η στάθμη υποχωρεί (ακολουθώντας την περίοδο του κύματος) δημιουργείται υποπίεση στο θάλαμο και ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται σε αυτόν, πάλι μέσω του στρόβιλου. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η περιστροφή του στρόβιλου καθ' όλη τη διάρκεια του κυματισμού.



Εικόνα 2.9. Σχηματική απεικόνιση Ταλαντωμένης στήλης κύματος τύπου Limpet, (Cruz, σ. 288)

Η τεχνολογία αυτή έχει εμπορικές εφαρμογές και αρκετές εγκαταστάσεις υπάρχουν σε όλο τον κόσμο. Οι εγκαταστάσεις μπορούν να εξοπλιστούν και με άλλους τύπους στροβίλων, αλλά η απλότητα του στροβίλου τύπου Wells, τον καθιστά την πιο συμφέρουσα λύση μετασχηματισμού για τις εγκαταστάσεις τύπου OWC. Η αρχή λειτουργίας των στροβίλων περιγράφεται από το παρακάτω σχήμα.

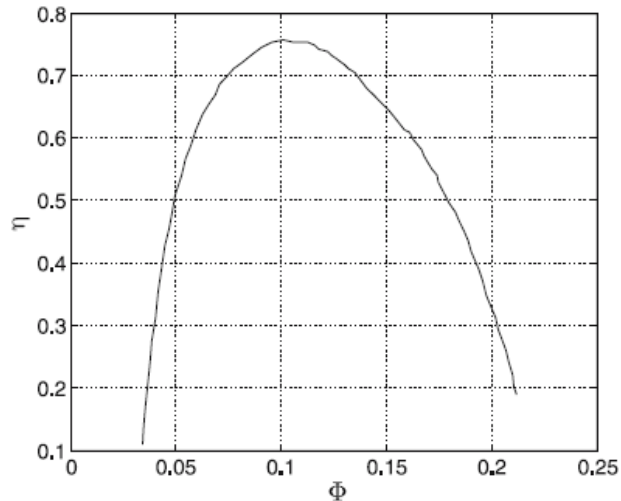


Εικόνα 2.10. Αρχή λειτουργίας πτέρυγας στροβίλου τύπου Wells, (Cruz, σ. 289)

Η γωνία πρόσπτωσης του αέρα κυμαίνεται μεταξύ 0 και 90 μοιρών. Οι αεροτομές του στροβίλου παράγουν ώση όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι 90 μοίρες και έτσι ασχέτως της κατεύθυνσης της κάθετης ροής ο στροβίλος περιστρέφεται με την ίδια φορά περιστροφής. Λαμβάνοντας αυτή την αρχή λειτουργίας υπόψιν, τα συστήματα περιστροφής που περιλαμβάνουν στροβίλο Wells, μπορούν να θεωρηθούν αυτοσυντηρούμενα. Σε πρακτικό επίπεδο, δημιουργούνται κατά τη λειτουργία δυνάμεις οπισθέλκουσας. Σε μικρές γωνίες πρόσπτωσης, η ώση στην κατεύθυνση της περιστροφής είναι ανεπαρκής για να υπερνικήσει την οπισθέλκουσα και ο στροβίλος δεν περιστρέφεται. Το ίδιο συμβαίνει και για μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης ( $>14^\circ$ ). Οι πτέρυγες μπορούν να θεωρηθούν πιο αποδοτικές σε γωνία κοντά στις  $7^\circ$ . Για την αξιολόγηση της κατάστασης ροής στο στροβίλο, χρησιμοποιείται ένα αδιάστατο μέγεθος που ονομάζεται συντελεστής ροής και εκφράζεται από την παρακάτω σχέση.

$$\Phi = \tan(\theta) = \frac{V_x}{V_t} = \frac{V_x}{r\omega}$$

Όπου  $V_x$  είναι η ταχύτητα της ακτινικής ροής του αέρα,  $V_t$  είναι η ταχύτητα της ακμής του στροβίλου,  $r$  η ακτίνα του στροβίλου και  $\omega$  η γωνιακή ταχύτητα.



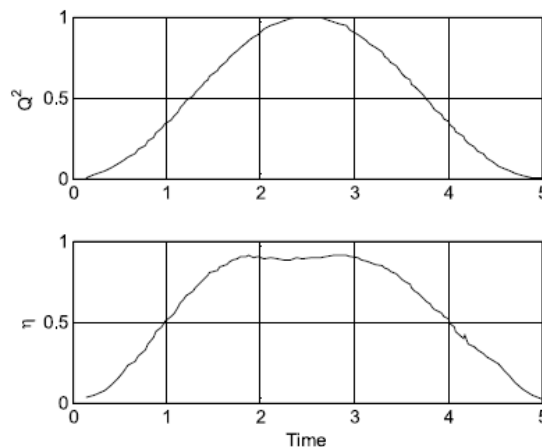
Εικόνα 2.11.Χαρακτηριστική καμπύλη απόδοσης στροβίλου (Cruz, σ. 291)

Η αναλυτική απόδοση του στροβίλου μεταβάλλεται αναλόγως της μορφής της αεροτομής και του μεγέθους του στροβίλου και μπορεί να αγγίξει και το 90%, αλλά το παρακάτω διάγραμμα 2.11 που δείχνει την απόδοση του στροβίλου σε σχέση με τον συντελεστή ροής μπορεί να θεωρηθεί πιο αντιπροσωπευτικό για τέτοιες εφαρμογές.

Μια εκτίμηση για τη συνολική απόδοση του κύκλου μπορεί να γίνει λαμβάνοντας υπόψιν ότι η στιγμιαία πνευματική ισχύς δίνεται από την σχέση παρακάτω.

$$P = cQ^2, c = \frac{P}{Q}$$

Όπου  $Q$  είναι η ροή σε δεδομένη στιγμή,  $P$  είναι η στιγμιαία πίεση και  $c$  είναι ο συντελεστής πτώσης της πίεσης ανά μονάδα ροής. Στα παρακάτω διαγράμματα αντιπαραβάλλεται η ροή και η απόδοση σε σχέση με το χρόνο.



Εικόνα 2.12.Χαρακτηριστικές καμπύλες πνευματικής ισχύος και στιγμιαίας απόδοσης (Cruz, σ. 291)

Αν υποθεθεί ότι η ροή είναι ημιτονοειδούς μορφής, και η ταχύτητα περιστροφής της ακμής του στροβίλου βελτιστοποιείται σε σχέση με τη δεδομένη ταχύτητα της ροής, καθίσταται δυνατή η ανάπτυξη της μορφής της πνευματικής ισχύος και της στιγμιαίας απόδοσης όπως φαίνεται παραπάνω. Επίσης από τα διαγράμματα συμπεραίνεται ότι οι στρόβιλοι Wells μπορούν να έχουν αποδοτική μετατροπή σε τυχαίες συνθήκες ροής.

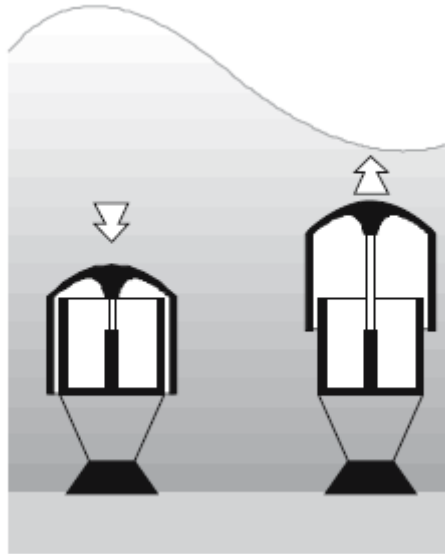
Είναι επίσης άξιο παρατήρησης ότι ο στρόβιλος για να εκμεταλλευτεί στο έπακρο την πνευματική ισχύ, που παράγεται από τη συμπίεση του θαλάμου μέσω της αύξησης της στάθμης κατά τον κυματισμό, να μπορεί να στραγγαλίζει σε ένα βαθμό τη ροή. Είναι ξεκάθαρο ότι υπάρχει ένα βέλτιστο επίπεδο στραγγαλισμού. Ένας στρόβιλος που στραγγαλίζει τη μονάδα λιγότερο ή περισσότερο μπορεί να οδηγήσει σε πτώση της απόδοσης σε μεγάλα επίπεδα. Το σχέδιο του στροβίλου θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να εκμεταλλεύεται την επίδραση που έχει η διασύνδεση μεταξύ της πρώιμης εκμετάλλευσης της ενέργειας (κυματική ενέργεια – αύξηση/μείωση της πίεσης στο θάλαμο) και των ίδιων των χαρακτηριστικών του στροβίλου.

Ένας στρόβιλος για να λειτουργεί αποδοτικά, θα πρέπει να λειτουργεί σε συνθήκες ιδανικής ροής και ταυτόχρονα να στραγγαλίζει με τέτοιο τρόπο τη ροή αυτή έτσι ώστε να παραλαμβάνει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη πνευματική ισχύ. Αυτό θα πρέπει να γίνεται σε όλες τις καταστάσεις κυματισμού σε όλο τον ετήσιο κύκλο εργασιών.

### **2.3.2. Archimedes Wave Swing (AWS)**

Ανάμεσα σε όλες τις συσκευές μετατροπής κυματικής ενέργειας που έχουν αναπτυχθεί σε πραγματική κλίμακα, η AWS αποτελεί μοναδικό κομμάτι, διότι είναι η μοναδική συσκευή που είναι πλήρως βυθισμένη. Ο σχεδιασμός αυτός καθιστά τους μετατροπείς λιγότερο ευπαθείς σε ακραίες καιρικές συνθήκες και καταιγίδες. Επίσης από τη στιγμή που δεν είναι ορατές, οι συσκευές αυτές γίνονται πολύ πιο εύκολα αποδεκτές από το ευρύ κοινό, σε αντίθεση παραδείγματος χάριν με τις ανεμογεννήτριες. Θεωρείται συσκευή τύπου απορρόφησης σημείου (το χαρακτηριστικό μήκος, στην περίπτωση της συσκευής αυτής η διάμετρος, είναι πολύ μικρό συγκρινόμενο με το μήκος κύματος) και, όπως και η συσκευή τύπου Pelamis, τοποθετείται σε ευθύγραμμες σειρές που συστήνουν μια εγκατάσταση μερικών MW.

Η συσκευή AWS, αποτελείται από έναν θάλαμο γεμάτο ατμοσφαιρικό αέρα, μόνιμα αγκυρωμένο στον πυθμένα και ανοιχτό στην κορυφή του (το σιλό), ο οποίος σφραγίζεται από έναν άλλο κύλινδρο (το φλοτέρ ή πλωτήρας). Η σύνδεση μεταξύ των δύο κυλίνδρων είναι στεγανή και έτσι το σιλό δεν μπορεί να γεμίσει με νερό. Ο πλωτήρας μπορεί να κινηθεί ως προς τον διαμήκη του άξονα, λόγω της κίνησης του κυματισμού ακριβώς πάνω από τη συσκευή, όπου στην ουσία μεταβάλλει (αυξάνει/μειώνει) την πίεση στον πυθμένα. Προσθέτοντας μια συσκευή αξιοποίησης ενέργειας (power take off – PTO), αυτή η ταλάντωση μπορεί να μετασχηματιστεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η συσκευή αξιοποίησης ενέργειας είναι μια γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη γραμμικής κίνησης. Ρυθμίζοντας τη συχνότητα του συστήματος ώστε να προσεγγίζει τη μέση συχνότητα κυματισμού, ο εμβολισμός – κατακόρυφη κίνηση της συσκευής – μπορεί να ξεπεράσει το ύψος κύματος.



Εικόνα 2.13. Σχηματική απεικόνιση Archimedes Wave Swing (Cruz, σ. 298)

Μια προσπάθεια εγκατάστασης αυτής της συσκευής, έγινε στο Leixoes, στην Πορτογαλία, όπου εγκαταστάθηκε μια συσκευή πλήρους μεγέθους. Διάφορα πειράματα έγιναν από πολλά ευρωπαϊκά πανεπιστήμια και πειραματικά κέντρα μέχρι να οριστικοποιηθεί ο τελικός σχεδιασμός και η συσκευή αυτή κατηγοριοποιήθηκε στα 2MW.



Εικόνα 2.14. Η AWS σε φυσικό μέγεθος, 2004 (Cruz, σ. 298)

Η διαδρομή εμβολισμού είναι 7 m, και η ταχύτητα κίνησης του πλωτήρα, βάση της μέσης συχνότητας κυματισμού είναι 2.2m/s. Στο σχεδιασμό της συσκευής συμπεριλαμβάνεται και ένα σύστημα «πέδησης» σε περίπτωση που υπάρχει αστοχία ή χρειάζεται να ακινητοποιηθεί η

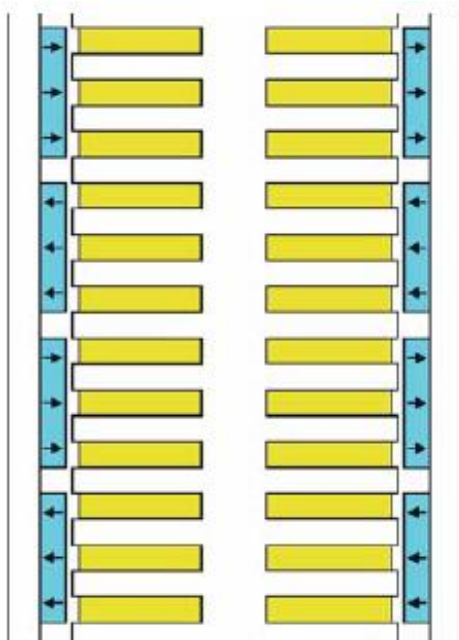
γεννήτρια. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι διαστάσεις των κύριων εξαρτημάτων της συσκευής.

Πίνακας 2. 1 Διαστάσεις της AWS

Description	Length (m)	Diameter (m)	Height (m)	Width (m)	Weight (ton)
Floater	–	9.5	21	–	400
Pontoon	48	–	5.5	28	1200
Guidance Structure	–	–	33.5	–	120

Το σύστημα πέδησης αποτελείται από δύο κυλίνδρους, όπου ο ένας κινείται μέσα στον άλλο, και εξαναγκάζει το νερό που βρίσκεται μεταξύ τους, να εξέρχεται μέσω μια διάταξης στραγγαλισμού της ροής του (orifice). Αλλάζοντας τη διάμετρο αυτής της διάταξης, αλλάζει και η δύναμη της αντίστασης στη σχετική κίνηση μεταξύ των δύο κυλίνδρων.

Στην εικόνα που ακολουθεί, φαίνεται η σχηματική απεικόνιση της τομής της γραμμικής γεννήτριας που χρησιμοποιείται στο σύστημα. Όταν το κινητό μέρος, με τους μόνιμους μαγνήτες τοποθετημένους, μετακινείται κατά το ύψος του στάτορα, ηλεκτρική τάση επάγεται στις περιελίξεις που περιλαμβάνει και παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.



Εικόνα 2.15. Σχηματική απεικόνιση της γεννήτριας ευθύγραμμης κίνησης. Το κίτρινο μέρος είναι ο στάτορας ενώ το μπλε το κινούμενο μέρος. Τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου. (Cruz σ. 303)



Εικόνα 2.16. Η γεννήτρια σε φυσική απεικόνιση. (Cruz, σ. 303)

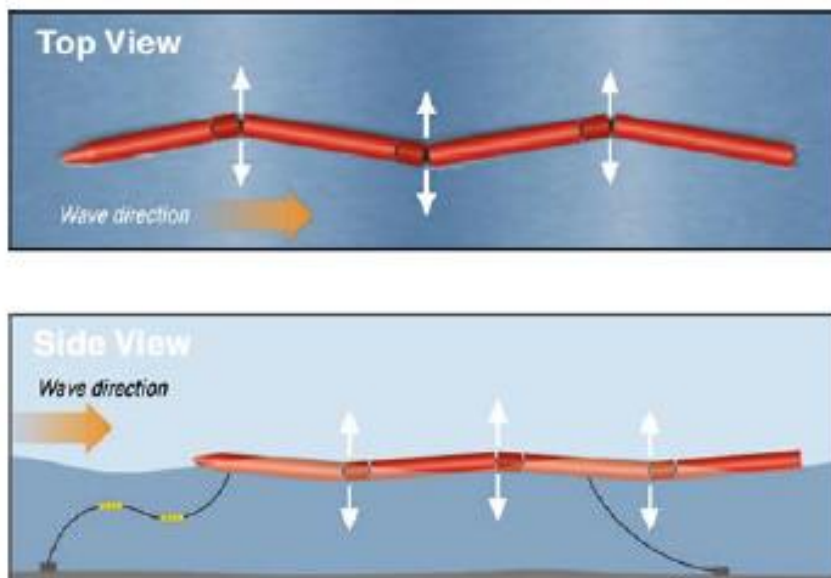
### 2.3.3. Pelamis

Η συσκευή Pelamis, είναι μια ημιβυθιζόμενη, αρθρωτή κατασκευή που αποτελείται από κυλινδρικά τμήματα που συνδέονται με αρθρώσεις. Η διάταξη αυτή συγκρατείται στο πεδίο που τοποθετείται με ανάλογο σύστημα αγκύρωσης, το οποίο της επιτρέπει να ευθυγραμμίζεται με το εισερχόμενο κύμα. Καθώς το κύμα ταξιδεύει κατά το μήκος της διάταξης, η διάταξη εξαναγκάζεται σε ταλάντωση αναλόγως με την ελευθερία που εξασφαλίζουν οι αρθρώσεις. Η κίνηση αυτή παραλαμβάνεται από υδραυλικά έμβολα το οποία με τη σειρά τους δίνουν κίνηση σε υδραυλικούς κινητήρες με τη χρήση υδραυλικού λαδιού. Οι κινητήρες είναι συνδεδεμένοι με γεννήτρια με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Το ηλεκτρικό ρεύμα από όλα τα στοιχεία της συσκευής τροφοδοτείται μέσω ενός αγωγού προς τη στεριά. Κάποια χαρακτηριστικά στοιχεία του συστήματος φαίνονται παρακάτω:

1. Ένα συγκρότημα συσκευών Pelamis μπορεί να τοποθετηθεί σε περιοχές με διάφορα βάθη και καταστάσεις βυθού και επομένως μπορεί να αποτελέσει μια ευέλικτη λύση για την επιλογή της περιοχής για την ανάλογη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Η κατασκευή της συσκευής, η συναρμολόγησή της και η ενεργοποίησή της μπορεί να γίνει σε εγκαταστάσεις στεριάς ή ναυπηγείων και έτσι ο χρόνος εγκατάστασής της, είναι πάρα πολύ μικρός.
3. Η συσκευή Pelamis, έχει εργονομικές διατάξεις αγκύρωσης και ηλεκτρικής διασύνδεσης, έτσι ώστε να μπορεί εύκολα να εγκατασταθεί καθώς και να απομακρυνθεί για εργασίες συντήρησης και επισκευής.

Η πρώτη πλήρους κλίμακας συσκευή κατασκευάστηκε από την Pelamis Wave Energy Ltd, η οποία είναι και η εταιρία που συνέλαβε την ιδέα. Πολλά χρόνια ερευνών και δοκιμών σε εργαστηριακές δεξαμενές οδήγησαν στην κατασκευή του συστήματος αυτού. Η συσκευή κατασκευάζεται από εξαρτήματα που κυκλοφορούν στο εμπόριο (off the shelf), και είναι σχεδιασμένη σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα θαλάσσιων κατασκευών του DNV. Είναι κατασκευασμένη από χάλυβα για την απλοποίηση της κατασκευής και της κατασκευαστικής ανάλυσής της. Το πρωτότυπο έχει μήκος 150m και 3.5m διάμετρο





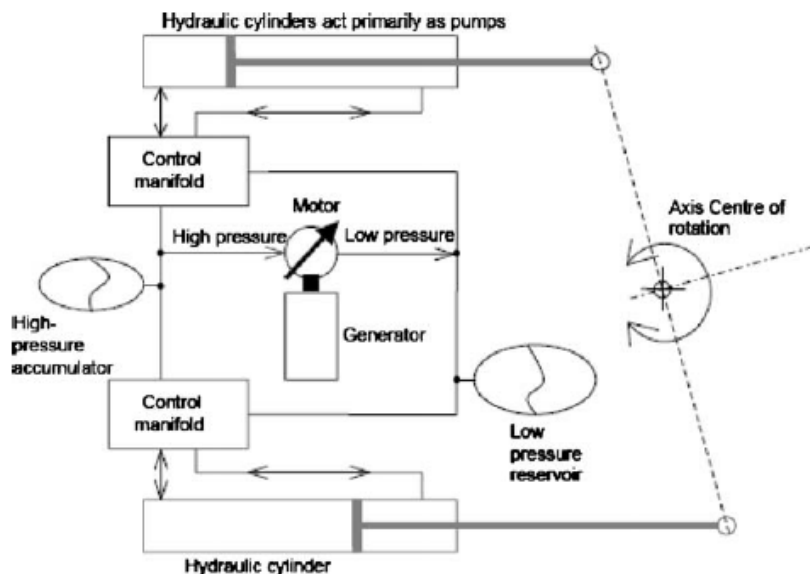
Εικόνα 2.17. Σχηματική απεικόνιση συσκευής τύπου Pelamis(Cruz σ. 305)



Εικόνα 2.18. Η πρώτη πειραματική συσκευή Pelamis (Cruz σ.307)

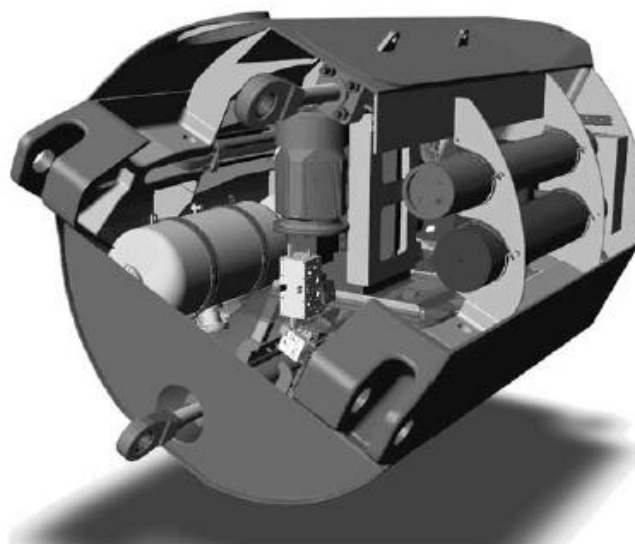
Σε κάθε στοιχείο της αρθρωτής κατασκευής, το υδραυλικό σύστημα είναι τοποθετημένο σε ένα ομόκεντρο στεγανό κύλινδρο, στεγανό σε σχέση με τον χώρο που βρίσκονται τα υδραυλικά έμβολα και η πρόσβαση σε όλα τα συστήματα της συσκευής γίνεται από καταπακτές στο πάνω μέρος του συστήματος μετατροπής της ενέργειας. Το μέγιστο βάρος κάθε στοιχείου της συσκευής είναι 3 τόνοι, με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η αντικατάστασή του από εξοπλισμό χαμηλής ανυψωτικής ικανότητας. Τα υδραυλικά έμβολα λειτουργούν σαν υδραυλικές αντλίες. Το υδραυλικό λάδι αντλείται σε συσσωρευτές εξομάλυνσης (accumulators) έτσι ώστε να ρέει με συνεχή ροή προς τον υδραυλικό κινητήρα που είναι συζευγμένος με την γεννήτρια. Το μέγεθος των συσσωρευτών είναι τέτοιο έτσι ώστε να διασφαλίζεται ομαλή ροή μεταξύ των κυματισμών. Η συνέχεια της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος του συστήματος αυτού μπορεί να συγκριθεί με την ισχύ που παράγεται από ένα συμβατικό θερμικό ζεύγος παραγωγής ενέργειας. Η συνολική απόδοση της συσκευής Pelamis

αγγίζει το 70 με 80%. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η σημαντική απεικόνιση του υδραυλικού συστήματος της συσκευής.



Εικόνα 2.19. Σχηματικό διάγραμμα του υδραυλικού δικτύου. (Cruz, σ. 312)

Οι καμπτικές δυνάμεις που ασκούνται στη συσκευή δίνουν κίνηση στα έμβολα, έτσι εξασφαλίζεται η συμπίεση του υδραυλικού μέσου. Όταν το μέσο περάσει μέσα από τον υδραυλικό κινητήρα επιστρέφει σε ένα δοχείο χαμηλής πίεσης και τροφοδοτείται πάλι στα έμβολα. Ο υδραυλικός κινητήρας είναι μεταβλητός ελέγχοντας έτσι τις στροφές της γεννήτριας. Η γεννήτρια είναι ασύγχρονη και η συνολική παραγόμενη ισχύς του ζεύγους είναι 125 KW. Η συσκευή αποτελείται από τέσσερα τμήματα, τρία από τα οποία είναι στοιχεία παραγωγή ενέργειας.



Εικόνα 2.20. Τομή ενός στοιχείου της συσκευής Pelamis, (Cruz, σ. 312)

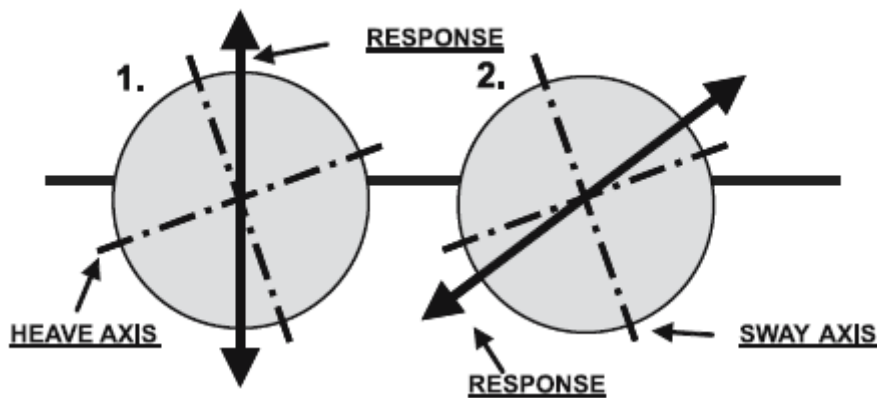
Στο εσωτερικό κάθε στοιχείου, υπάρχουν δύο ξεχωριστά υδραυλικά δίκτυα που λειτουργούν ως αμοιβά ή συνδυαστικά. Κάθε υδραυλικό δίκτυο έχει δύο έμβολα που κατά τον κυματισμό, το ένα αντιστέκεται στην καμπτική δύναμη στον κάθετο άξονα και το άλλο στον οριζόντιο. Με τον τρόπο

αυτό εξασφαλίζεται έλεγχος και στους δύο άξονες του κυματισμού σε περίπτωση που υπάρχει αστοχία σε κάποιο μηχανισμό. Η συσκευή έχει επίσης τη δυνατότητα αποβολής της παραγόμενης ισχύος με τη μορφή θερμότητας στην περίπτωση που υπάρχει αστοχία στο ηλεκτρικό δίκτυο, υποκατανάλωση ή στη σύνδεση του ηλεκτρικού αγωγού, μέσω ανάλλακτων. Κάθε υδραυλικό δίκτυο παράγει 125 KW, όπως έχει αναφερθεί επομένως κάθε στοιχείο παράγει 250 KW.

Σε όλους του τύπους συσκευών, έτσι και στην περίπτωση της Pelamis, η δυνατότητά τους να απορροφούν ενέργεια συνδέεται άμεσα με την ίσαλο επιφάνεια που διαγράφουν σε κανονικές συνθήκες. Γενικά ισχύει η υπόθεση ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ίσαλος επιφάνεια, οι δυνάμεις που εφαρμόζονται είναι μεγαλύτερες και επομένως, θεωρητικά, αυξάνεται η δυναμική της συσκευής στην απορρόφηση ενέργειας. Η υπόθεση αυτή είναι ανάλογη με την επιφάνεια σάρωσης που καλύπτει το στροφείο μιας ανεμογεννήτριας. Παρόλα αυτά η μεγαλύτερη ίσαλος επιφάνεια, θα μπορούσε δυνητικά να οδηγεί σε αύξηση του όγκου της συσκευής συνεπώς της αύξησης της μάζας της και επομένως του κόστους. Στην περίπτωση της Pelamis, η κατανομή του όγκου γίνεται κατά το μήκος της και έτσι επιτυγχάνεται πολύ καλή αναλογία ισάλου επιφάνειας και όγκου. Χαρακτηριστικά για την επίτευξη της ίδιας ισάλου επιφάνειας θα έπρεπε η συσκευή να αντικατασταθεί από σφαιρικό πλωτήρα διαμέτρου 20 m.

Η συσκευή, έχει ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό ως προς τη συμπεριφορά της στους κυματισμούς. Η επιλογή του μήκους είναι ανάλογη του χαρακτηριστικού μήκους κύματος που επικρατεί στην περιοχή, έτσι ώστε η συσκευή να λειτουργεί σαν «γέφυρα» μεταξύ των διαδοχικών κυματισμών. Η σχετική κίνηση της συσκευής ως προς την επιφάνεια της θάλασσας, δημιουργεί μεγάλες καμπτικές ροπές όπου εφαρμόζονται στους συνδέσμους και καταλήγουν στην απορρόφηση της ενέργειας. Όλες οι ασκούμενες δυνάμεις μεταφέρονται στο εσωτερικό της συσκευής και όλα τα εξαρτήματα του συστήματος ταυτόχρονα απορροφούν την ενέργεια και παρέχουν μια πηγή αντίδρασης για την ίδια τη συσκευή. Αυτή η άμεση σύνδεση απορρόφησης ενέργειας και πηγαίας αντίδρασης καθιστούν την ιδέα του Pelamis, μοναδική.

Για τη βέλτιστη απορρόφηση της ενέργειας από τους κυματισμούς, θα πρέπει η φυσική συχνότητα του συστήματος να προσεγγίζει τη συχνότητα της διέγερσης. Η ιδανική διασύνδεση των δύο συχνοτήτων καλείται αντήχηση. Ένα σύστημα έχει μεγάλη φυσική συχνότητα όταν είναι ελαφρύ και στιβαρό. Επομένως για την επίτευξη της πιο αποδοτικής συχνότητας για το σύστημα θα πρέπει η φυσική του συχνότητα να είναι τέτοια έτσι ώστε να προσεγγίζει τη συχνότητα του τοπικού κυματισμού για να επιτυγχάνεται η αντήχηση. Στη συσκευή Pelamis η αντήχηση επιτυγχάνεται με έναν «ανορθόδοξο» τρόπο. Έχει επιλεχθεί μια περίοδος πολύ μικρότερη της περιόδου του κυματισμού. Αυτό γίνεται διότι το σύστημα είναι ιδιαίτερα υδροστατικά στιβαρό σε σχέση με το βάρος του. Παρόλα αυτά η επιλογή των αξόνων ελευθερίας των συνδέσμων της συσκευής είναι έτσι τοποθετημένοι έτσι ώστε να μειώνουν τη στιβαρότητα όταν αυτό απαιτείται. Οι άξονες είναι τοποθετημένοι στις 90° μεταξύ τους, ωστόσο έχουν απόκλιση από τους ορθοκανονικούς άξονες 25 έως 30°, έτσι ώστε να γίνεται δυνατή η «επιλεκτική» κίνηση του συνδέσμου σε έναν από τους δύο αναλόγως της διεύθυνσης της φόρτισης που δέχεται.



Εικόνα 2.21. Κατανομή των αξόνων της κίνησης. (Cruz σ.315)

Το Pelamis, είναι μια συσκευή που μελετάται σαν μια γραμμή δυναμικά συνδεδεμένων πλωτήρων, τοποθετημένη κατά την κατεύθυνση του εισερχόμενου κυματισμού. Αυτός ο μοναδικός σχεδιασμός, εξασφαλίζει, σε θεωρητικό επίπεδο, ότι έχει εύρος λειτουργίας μισό μήκος κύματος, τρεις φορές μεγαλύτερο από μια συσκευή που εκμεταλλεύεται μόνο την κατακόρυφη κίνηση του κυματισμού. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι για τον ίδιο όγκο, η συσκευή Pelamis μπορεί να απορροφήσει τρεις φορές περισσότερη ενέργεια από ότι μια συσκευή μονού πλωτήρα.

Όσον αφορά στον περιορισμό της απορρόφησης ενέργειας, κατά μέσο όρο, κατά το 90% μια χρονιάς το τυπικό ύψος του εκμεταλλευόμενου κυματισμού είναι περίπου 4 m. Για το 10% του υπολειπόμενου χρόνου, όπου επικρατούν ακραίες καιρικές συνθήκες, θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι η κάθε συσκευή θα είναι έτσι σχεδιασμένη υδροδυναμικά, ώστε να περιορίζεται η φόρτιση που μεταφέρεται στο σύστημα παραλαβής της ενέργειας (power take off). Η Pelamis, είναι έτσι σχεδιασμένη έτσι ώστε όταν ο κυματισμός αυξάνεται περαιτέρω των προδιαγραφών του συστήματος απορρόφησης ενέργειας, αυτή να βυθίζεται και να ανεβαίνει στην επιφάνεια. Με τον τρόπο αυτό, περιορίζονται οι ακραίες φορτίσεις και καμπτικές ροπές που εφαρμόζονται στο σύστημα. Επίσης αυξάνεται σημαντικά η βιωσιμότητα του συστήματος.

Όλα τα συστήματα τα οποία είναι κρίσιμα για τη σωστή λειτουργία της συσκευής, είναι έτσι σχεδιασμένα, ώστε να εξασφαλίζεται η αδιάκοπη λειτουργία της ακόμα και σε περίπτωση αστοχίας ενός από αυτά. Παραδείγματος χάριν, το υδραυλικό δίκτυο μπορεί να διαχωριστεί και σε περίπτωση διαρροής να συνεχίσει να λειτουργεί. Όλες οι ηλεκτρονικές επικοινωνίες είναι διπλές και με μηχανικό τρόπο διασφαλίζεται η συνεχής λειτουργία του. Το όφελος από έναν τέτοιο σχεδιασμό είναι η μειωμένη ανάγκη για συντήρηση και τεχνικές παρεμβάσεις. Το σύστημα διαχείρισης της απορροφούμενης ενέργειας της συσκευής είναι έτσι σχεδιασμένο ώστε να μην διακόπτεται η λειτουργία του μονομερώς, δηλαδή σε περίπτωση βλάβης ενός από τα εξαρτήματά του.

#### 2.3.4. Wave Dragon

Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες σχεδιάσεις η συσκευή αυτή δεν εκμεταλλεύεται την ταλάντωση των κυμάτων αλλά απορροφά την κυματική ενέργεια παθητικά, χρησιμοποιώντας την αρχή της υπερπλήρωσης. Η εμπρόσθια όψη της συσκευής έχει διαμόρφωση επικλινούς κυρτής ράμπας, πίσω από την οποία υπάρχει μια δεξαμενή συγκέντρωσης του νερού που περνά από αυτή. Στη δεδομένη στιγμή το συγκεντρωμένο νερό έχει μεγαλύτερη δυναμική ενέργεια από το περιβάλλον. Η συσκευή

έχει προσαρμοσμένους ανακλαστήρες οι οποίοι κατευθύνουν τα κύματα προς τη ράμπα. Η ενέργεια απορροφάται από το σύστημα, όταν το συγκεντρωμένο νερό διαρρέει προς τη θάλασσα διαμέσου υδραυλικών στροβίλων μέσα στη δεξαμενή.

Η συσκευή Wave Dragon, είναι σχεδιασμένη ως πλωτή συσκευή που τοποθετείται σε θαλάσσιες περιοχές με βάθος νερού τουλάχιστον 20 m. Η συσκευή βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο πλήρους κλίμακας και το πρωτότυπο είναι τοποθετημένο σε περιοχή της βόρειας Δανίας.

Τα βασικά στοιχεία της συσκευής είναι τα παρακάτω:

1. Δύο ανακλαστήρες κύματος όπου κατευθύνουν τη ροή του κυματισμού προς την κατάλληλα διαμορφωμένη επικλινή ράμπα. Οι ανακλαστήρες επιβεβαιωμένα αυξάνουν το ύψος κύματος τοπικά και αυξάνουν την απορρόφηση της ενέργειας.
2. Η κύρια κατασκευή αποτελείται από μια διπλά κυρτή ράμπα και μια δεξαμενή νερού κατασκευασμένα από σκυρόδεμα. Η κατασκευή τους βασίζεται στις αρχές κατασκευής πλοίων από σκυρόδεμα που χρησιμοποιήθηκαν κατά κόρον στον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο και πολλά από τα οποία υπάρχουν μέχρι σήμερα.
3. Ένα ζεύγος από υδραυλικούς στροβίλους στον πυθμένα της δεξαμενής όπου μετατρέπουν τη διαρροή του νερού σε κίνηση και παράγουν ρεύμα με τον ίδιο τρόπο που παράγεται στα υδροηλεκτρικά εργοστάσια.

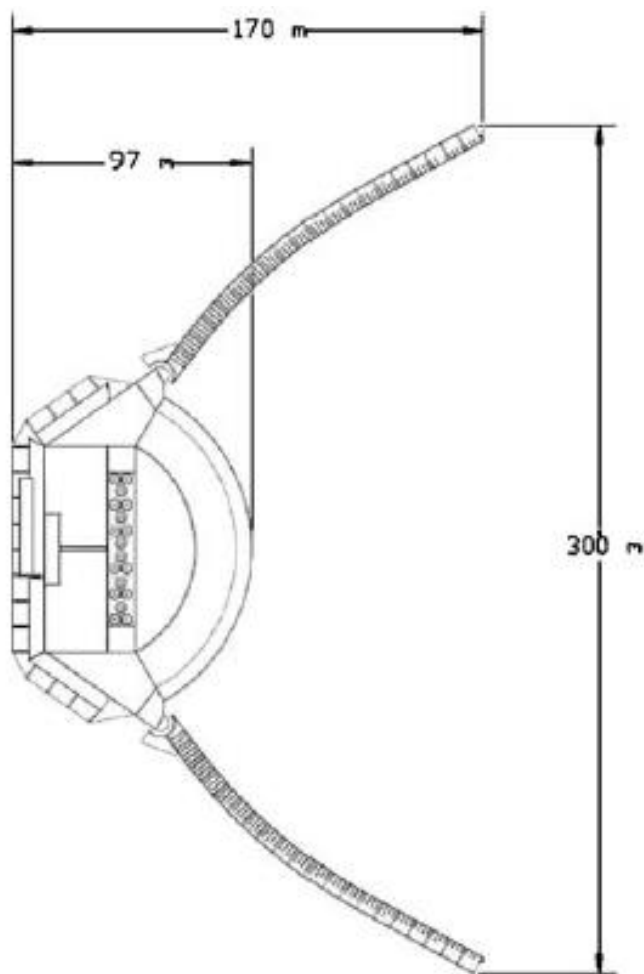
Η βασική πρόκληση στο σχεδιασμό της συσκευής αυτής είναι ο ορθός συνδυασμός των υποσυστημάτων αυτών διασφαλίζοντας ταυτόχρονα την επιβιωσιμότητά της στις ακραίες συνθήκες που επικρατούν στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η συσκευή Wave Dragon είναι μακράν η μεγαλύτερη σε διαστάσεις συσκευή μετατροπής κυματικής ενέργειας. Κάθε μονάδα έχει σχεδιαστεί να έχει εύρος παραγωγής 4 έως 11 MW ή ακόμα περισσότερο αναλόγως του ενεργητικού του κυματικού κλίματος της περιοχής. Έχει εκτόπισμα 30000 τόνους και διαστάσεις που φαίνονται στην Εικόνα 2.23. Το μέγεθος αυτό εξασφαλίζει διάφορα πλεονεκτήματα. Η συσκευή αρχικά έχει μικρή ή ελάχιστη ανταπόκριση στον κυματισμό, γεγονός που μειώνει διάφορα προβλήματα κόπωσης. Επίσης, καθώς είναι μεγάλη και σταθερή θα είναι δυνατόν να εργαστεί κάποιος πάνω στη συσκευή, και με τον τρόπο αυτό μειώνεται δραματικά το κόστος συντήρησης και ο χρόνος που μένει εκτός λειτουργίας. Καθώς είναι μια συσκευή που βασίζεται στην αρχή της υπερπλήρωσης, έχει επίσης αρκετά πλεονεκτήματα ως προς τη στιβαρότητα της, υπό την έννοια του ότι σε περιπτώσεις μεγάλης θαλασσοταραχής τα κύματα θα περνούν πάνω από αυτή.



Εικόνα 2.22. Σχηματική απεικόνιση της αγκύρωσης της συσκευής Wave Dragon. (Cruz σ. 323)

Η ανάπτυξη του συστήματος ξεκίνησε το 1986 και μέχρι το 1999 έγιναν πολλές μελέτες για τη δομική αντοχή του, το σχέδιο της δεξαμενής, την απόδοση των ανακλαστήρων, διάφορους οικονομικούς παράγοντες, τη γεωμετρία και τον τελικό σχεδιασμό του υδραυλικού στροβίλου. Το πρώτο μικρής μοντέλο χρηματοδοτήθηκε από κρατικό πρόγραμμα της Δανίας για την κυματική

ενέργεια και οι έρευνες πάνω στα διάφορα συστήματα τη συσκευής έγιναν από το πανεπιστήμιο του Aalborg.



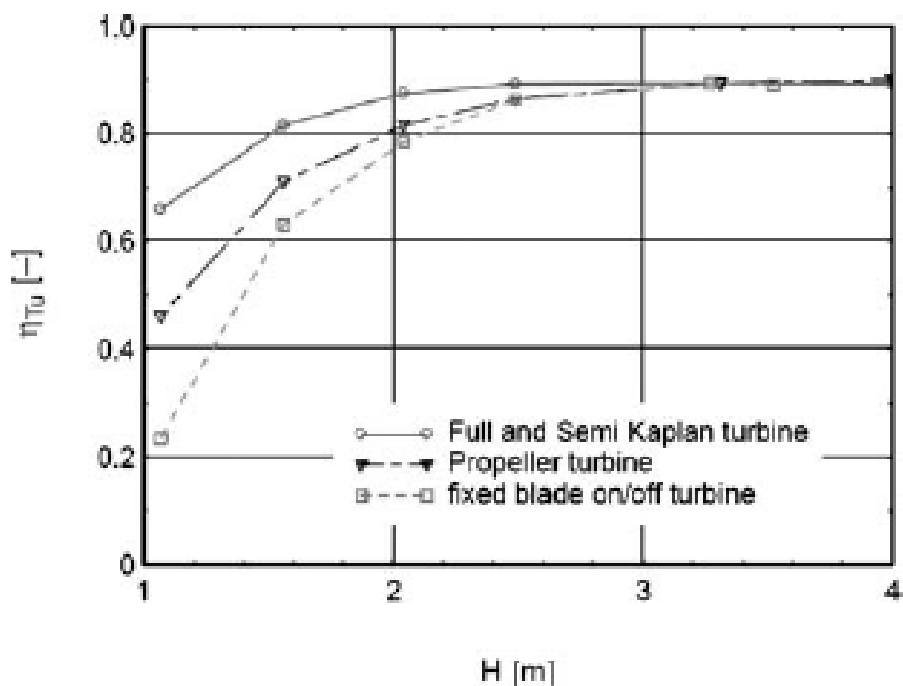
Εικόνα 2.23. Κάτοψη της συσκευής Wave Dragon και οι διαστάσεις της, (Cruz, σ. 323)

Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά στοιχεία του Wave Dragon είναι οι δύο πλωτές πτέρυγες που έχουν σαν σκοπό την κατεύθυνση των κυμάτων προς το κέντρο της συσκευής. Ένα μεγάλο εύρος κυματισμών μπορεί να είναι διαχειρίσιμο από πτέρυγες ενός σχεδιασμού, με μικρή μόνο αύξηση του κόστους. Ο όγκος υπερπλήρωσης εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το ύψος κύματος και έτσι μια μικρή αύξηση του μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της προς δέσμευση ενέργειας. Για την επιλογή του κατάλληλου μήκους των πτερύγων, της σωστής γωνίας τοποθέτησής τους χρησιμοποιούνται υπολογιστικά μοντέλα στα οποία εξετάζονται πολλοί συνδυασμοί.

Οι κατάλληλοι στρόβιλοι για την εκμετάλλευση της ενέργειας στην περίπτωση αυτής της συσκευής είναι όμοιοι με αυτούς που χρησιμοποιούνται σε υδροηλεκτρικά εργοστάσια χαμηλού ύψους. Στη Γαλλία το εργοστάσιο La Rance, που αξιοποιεί την παλιρροιακή ενέργεια, χρησιμοποιεί τέτοιου είδους στρόβιλους ήδη από το 1967. Επομένως, σε αντίθεση με άλλου τύπου συσκευές, η Wave Dragon, χρησιμοποιεί μια τεχνολογία που είναι αρκετά ώριμη και μελετημένη έτσι ώστε να θεωρείται αξιόπιστη. Βέβαια σε μια συσκευή κυματικής ενέργειας υπάρχουν σημαντικές διαφορές από ότι σε μια υδροηλεκτρική μονάδα. Το ύψος που εκμεταλλεύεται ο στρόβιλος κυμαίνεται από 1 έως 4m και το εύρος αυτό είναι στα χαμηλότερα όρια των, χαμηλού ύψους εκμετάλλευσης, στρόβιλων. Επίσης στην περίπτωση των υδροηλεκτρικών μονάδων υπάρχουν μικρές μεταβολές στη

ροή και το δυναμικό της παρεχόμενης ενέργειας, αντίθετα στην περίπτωση της Wave Dragon, υπάρχουν ισχυρές στοχαστικές μεταβολές του δυναμικού από τη στιγμή που η πηγή της ενέργειας είναι φυσικό φαινόμενο.

Για τη συγκεκριμένη συσκευή ο καταλληλότερος τύπος στροβίλου ισχύος είναι ο τύπος Kaplan. Ένα διάγραμμα της απόδοσης του στροβίλου αυτού του τύπου, στις διάφορες εκδοχές του, σε σχέση με το ύψος εκμετάλλευσης φαίνεται παρακάτω.

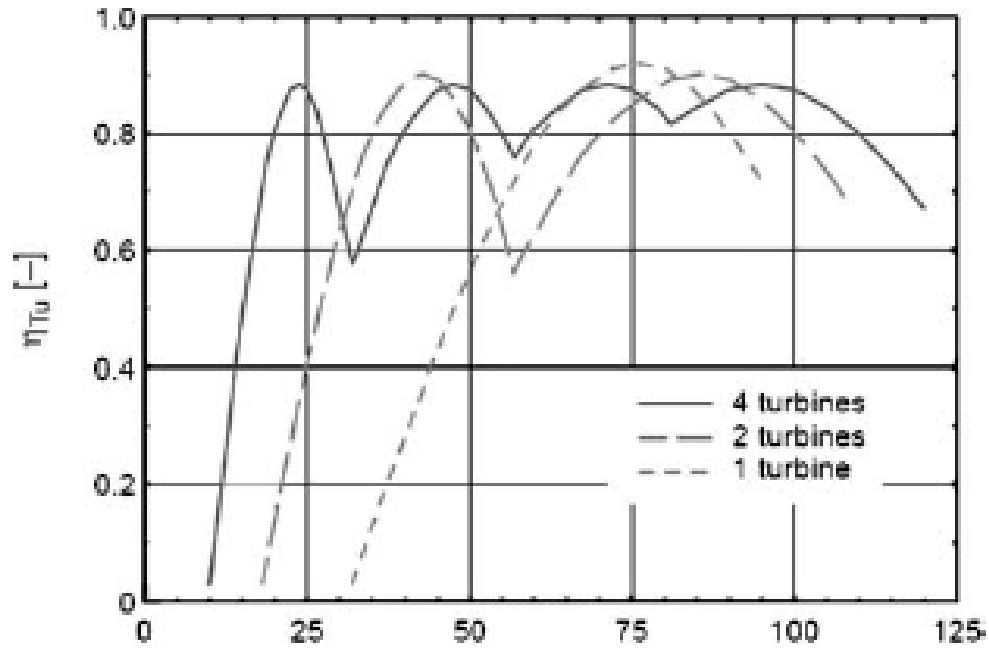


Διάγραμμα 2. 1. Απόδοση του στροβίλου σε σχέση με το μανομετρικό ύψος, (Cruz, σ. 332)

Επίσης, σε μια συσκευή μεγάλου μεγέθους προτείνεται η τοποθέτηση πολλαπλών στροβίλων μικρότερου μεγέθους σε σχέση με την τοποθέτηση ενός μεγάλου διότι:

- i) Κατά τις περιόδους που δεν υπάρχει μεγάλο απόθεμα ενέργειας προς εκμετάλλευση, μπορεί να βγουν εκτός λειτουργίας κάποιοι από τους στροβίλους, να ρυθμιστεί κατά τέτοιο τρόπο η ροή έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση.
- ii) Η επισκευή και η συντήρηση δεν προϋποθέτει να τεθεί όλη η συσκευή εκτός λειτουργίας
- iii) Η ανυψωτική ικανότητα και η χωρητικότητα των πλωτών μέσων που θα αξιοποιούνται για τη συντήρηση μπορεί να μειωθεί και έτσι να μειωθεί και το κόστος.
- iv) Οι μικρότεροι στροβίλοι λειτουργούν σε υψηλότερες ταχύτητες και έτσι υπάρχει συμβατότητα με τις υπάρχουσες γεννήτριες μειώνοντας το κόστος.

Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει συγκριτικά την απόδοση πολλαπλών στροβίλων σε σχέση με την παροχή.



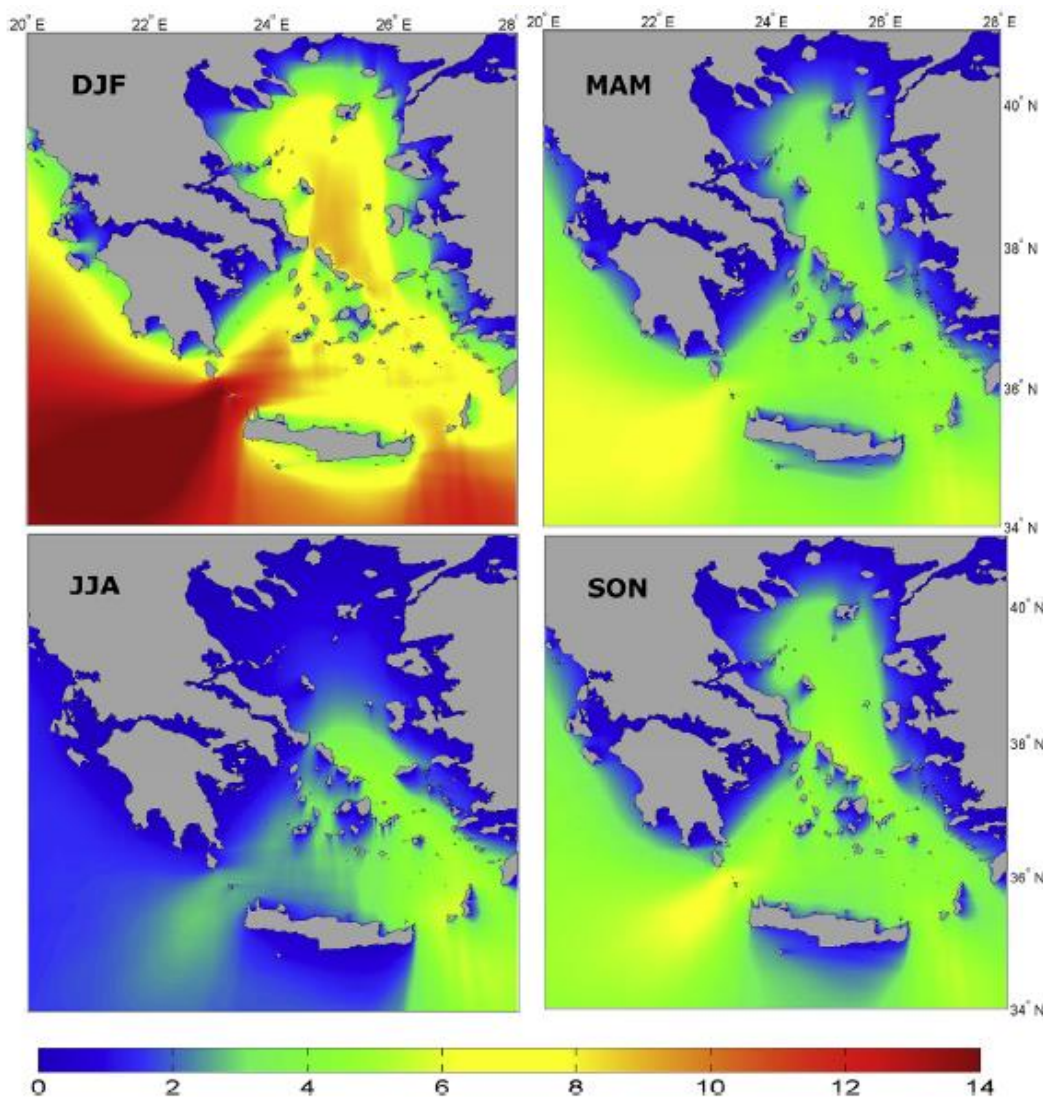
Διάγραμμα 2. 2 Απόδοση στροβίλου σε σχέση με την παροχή για ένα και πολλαπλούς εγκατεστημένους στροβίλους (Cruz σ. 333)

#### 2.4. Η κυματική ενέργεια στην Ελλάδα

Η ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα βασίζεται κυρίως σε προϊόντα του άνθρακα και πετρελαίου με αποτέλεσμα οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και αερίων του θερμοκηπίου να είναι υψηλές για την ελληνική περιφέρεια. Το σύστημα ηλεκτρισμού της μπορεί να διαιρεθεί σε δύο κατηγορίες: τη διασυνδεδεμένη (ηπειρωτική Ελλάδα) και την αυτόνομη (νησιωτικές περιοχές). Μεγάλος όγκος της παραγωγής ενέργειας προέρχεται από ορυκτά που τροφοδοτούν την ηπειρωτική Ελλάδα με τα νησιά να βασίζονται σε επιδοτούμενες μεταφορές ορυκτών καυσίμων, γεγονός που αυξάνει πολύ το κόστος ενέργειας μερικές φορές φτάνοντας σε τιμές 270 ευρώ/MWh. Τα παραπάνω έχουν οδηγήσει στη λήψη μέτρων για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η αιολική και η ηλιακή (φωτοβολταϊκά) κυριαρχούν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ακολουθούν η γεωθερμική και η εκμετάλλευση τοπικής βιομάζας σε μικρότερες χωρητικότητες. Ωστόσο, μετά από οικονομοτεχνική έρευνα του Γιώργου Λαβίδα (2017) η κυματική ενέργεια είναι μια μορφή ανανεώσιμης πηγής που θα μπορούσε να ευδοκιμήσει στην Ελλάδα.



## Ετήσια παραγωγή ενέργειας



Εικόνα 2.24. εποχιακός ενεργειακός χάρτης Αιγαίου( Λαβίδας σ.3)

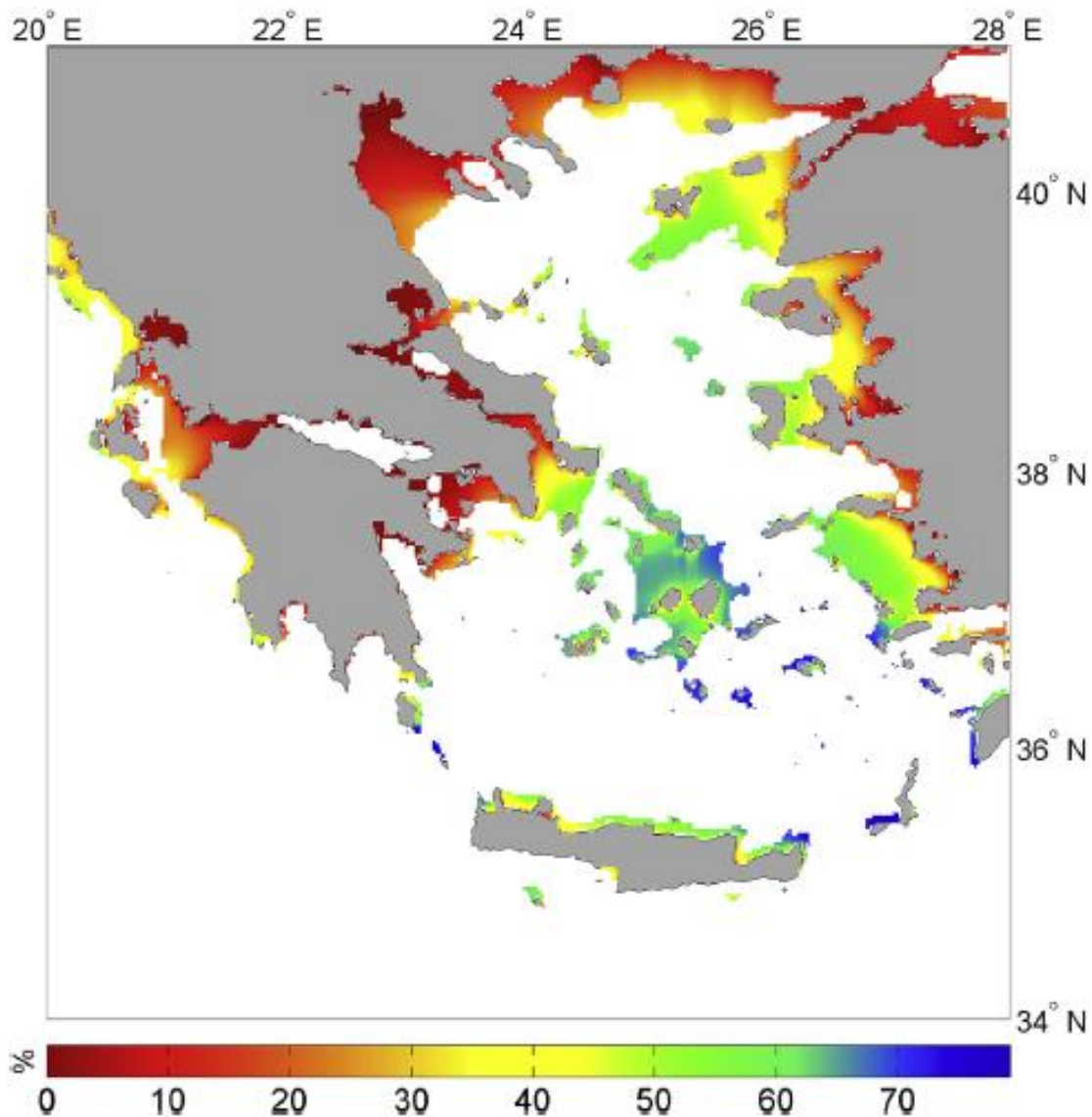
Με βάση στοιχεία για τον πόρο στην Ελλάδα που έχουν συλλεγεί τα τελευταία τριανταπέντε χρόνια, ο εποχιακός ενεργειακός χάρτης του Αιγαίου παρουσιάζεται στα παρακάτω διαγράμματα (Δεκέμβριος-Ιανουάριος-Φεβρουάριος (DJF), Μάρτιος-Απρίλιος-Μάϊος(MAM), Ιούνιος-Ιούλιος-Αύγουστος(JJA) και Σεπτέμβριος-Οκτώβριος-Νοέμβριος(SON)).

Σημαντικές περιοχές, για την εκμετάλλευση του ενεργειακού δυναμικού των κυμάτων είναι η Κρήτη και το Κεντρικό Αιγαίο. Το JJA έχει το χαμηλότερο εποχιακό δυναμικό, με εξαίρεση την περιοχή του νοτιοανατολικού Αιγαίου όπου η  $P_{wave}$  είναι υψηλότερη. Οι κοινές διανομές στο Αιγαίο δείχνουν ότι τα κυρίαρχα περιβάλλοντα κύματος είναι χαμηλής  $H_{sig}$  και υψηλών συχνοτήτων (χαμηλές περιόδους), πληθυσμιακές σειρές  $H_{sig}$  από 1 έως 3.5m και 3-8 s για την περίοδο ενέργειας  $T_e$ . Οι διαιρεμένες διανομές δείχνουν ότι οι περισσότερες οι ευνοϊκοί σταθμοί για τους μετατροπείς θα είναι εκείνοι που θα αποκτήσουν υψηλότερη ονομαστική χωρητικότητα σε ήπια έως χαμηλά ύψη κύματος.

## Διαθεσιμότητα

Ένας άλλος δείκτης που πρέπει να καθοριστεί είναι η διαθεσιμότητα, γεγονός που θα βοηθήσει στην αναγνώριση των περιφερειών που είναι κατάλληλες για λειτουργία των μετατροπέων, για την οποία ο πόρος αντιστοιχεί στην ποσοστιαία ετήσια λειτουργία ενός μετατροπέα ενέργειας. Για ένα μετατροπέα, η ισχύς παράγεται βάσει ενός συγκεκριμένου συνδυασμού λειτουργικών αρχών σημαντικού ύψους κύματος και περιόδου κύματος. Όπως και άλλοι ανανεώσιμοι μετατροπείς οι μετατροπείς της κυματικής ενέργειας έχουν τα ειδικά χαρακτηριστικά που αφορούν την έναρξη λειτουργίας ( $H_{cut-in}$ ) και το τέλος της ( $H_{cut-off}$ ). Εφόσον οι κατάλληλοι μετατροπείς για τις εξεταζόμενες περιοχές έχουν εύρος λειτουργίας από 0,5 έως 3,5, σε αυτή τη μελέτη η διαθεσιμότητα εκφράζεται ως όρος δύο λειτουργικών ορίων (χαμηλό και υψηλό), με περιορισμό ασφαλείας από  $H_{sigcut}=0,5m$  και  $H_{sigcut-Off}=4m$ . Τα κατώτατα όρια καθώς και ο περιορισμός βάθους ανάπτυξης (<150m) έχουν εφαρμοστεί στη βάση δεδομένων hindcast, προκειμένου να εμφανιστούν οι πόροι και οι κατάλληλες περιοχές ανάπτυξης. Όπως και στην περίπτωση μέσου πόρου ενέργειας κύματος οι τοποθεσίες της νότιας Ελλάδας και του Κεντρικού Αιγαίου επιτυγχάνουν υψηλότερα επίπεδα διαθεσιμότητας. Οι ακτές των Κυκλάδων έχουν διαθεσιμότητα μεγαλύτερη 60%, η Κρήτη έχει μεγαλύτερη 45%, ενώ οι βόρειες ακτές έχουν σημαντικά χαμηλότερη διαθεσιμότητα. Εξαίρεση είναι η Λήμνος, νησί του οποίου τα επίπεδα διαθεσιμότητας είναι περίπου 50%, υποδηλώνοντας μια πιθανή βόρεια περιοχή με ευνοϊκά επίπεδα εκμετάλλευσης κυματικής ενέργειας. Στη Νότια Κεντρική Ελλάδα, κοντά στην Αττική και την Εύβοια τα επίπεδα διαθεσιμότητας κυμαίνονται από 30 έως 50%, συμπεριλαμβανομένου και του χαμηλότερου  $P_{wave}$ . Στη Δυτική πλευρά, τα Ιόνια νησιά έχουν χαμηλότερα επίπεδα από 15% έως 40%, ενώ τα υπόλοιπα παράκτια τμήματα της Ελλάδας (ηπειρωτικά, όχι νησιά) έχουν παρόμοια επίπεδα διαθεσιμότητας περίπου 20%. Πρέπει να σημειωθεί, ότι στην περίπτωση της Ελλάδας η χαμηλότερη διαθεσιμότητα συχνά αντιστοιχεί σε χαμηλότερα επίπεδα πόρου, όπως επίσης υποδεικνύεται από τα επίπεδα  $P_{wave}$ . Τα βόρεια τμήματα είναι συχνά κάτω από τα κατώτατα όρια λόγω των πολύ χαμηλών συνθηκών ενεργειακού πόρου μειώνοντας έτσι τη διαθεσιμότητα.

Η απόδοση ισχύος μπορεί να προσδιοριστεί ποσοτικά από την ποσότητα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ( $E_o$ ) με τη χρήση ποσοστών την εμφάνιση με διμερή κατανομή του ύψους και των περιόδων κύματος. Το τελικό αποτέλεσμα μπορεί να εκφραστεί στην αξία ενός συντελεστή χωρητικότητας. Κατάλληλες τοποθεσίες κυματικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι το Κεντρικό Αιγαίο και η Κρήτη. Στις περιοχές αυτές οι μέσοι συντελεστές χωρητικότητας κυμαίνονται από 10% έως 20%, τα οποία είναι συγκρίσιμα με τα τρέχοντα επίπεδα από τα φωτοβολταϊκά. Επιπλέον, οι μετατροπείς κυματικής ενέργειας μπορούν να αποκτήσουν αυξημένη διαθεσιμότητα, κάτι που δεν είναι δυνατό στην περίπτωση του ηλιακού πόρου λόγω του συγκεκριμένου χρονικού περιορισμού που τον χαρακτηρίζει.



Εικόνα 2.25. Διαθεσιμότητα ενεργειακού δυναμικού στην Ελλάδα( Λαβίδας σ.5)

### Ανάπτυξη κυματικής ενέργειας και θέσεις εργασίας

Η ανάπτυξη ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, πέρα από την ενεργειακή ασφάλεια, προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες στην απασχόληση και την τοπική ανάπτυξη. Οι θέσεις εργασίας που δημιουργούνται ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες: τις έμμεσες και τις άμεσες, με τις άμεσες να έχουν να κάνουν με την εγκατάσταση, τη συντήρηση και την λειτουργία των μετατροπέων, ενώ οι έμμεσες σχετίζονται με εξαρτημένες δραστηριότητες για την άμεση απασχόληση, όπως περισσότερη τοπική απασχόληση για να ικανοποιήσει τις αναδυόμενες ανάγκες των άμεσων εργαζομένων. Προηγούμενες μελέτες δείχνουν ότι οι θέσεις εργασίας της βιομηχανίας κυμάτων είναι παρόμοιες με αυτές για αιολικούς σταθμούς ανοικτής θάλασσας. Έτσι, αναμένεται οι θέσεις εργασίας να υπόκεινται σε ίδιες αξίες με την υπεράκτια αιολική βιομηχανία και βασίζονται στην τελική σωρευτική εγκατεστημένη ισχύ. Εκτιμάται ότι οι θέσεις εργασίας που θα προκύψουν είναι περίπου 10 θέσεις εργασίας / MW για ενέργεια κύματος. Ωστόσο αυτό το σενάριο προφανώς συνδέεται με αβεβαιότητες, λόγω του σύγχρονου του χαρακτήρα του. Παρακάτω παρουσιάζεται η κατανομή των εκτιμώμενων εργασιών.

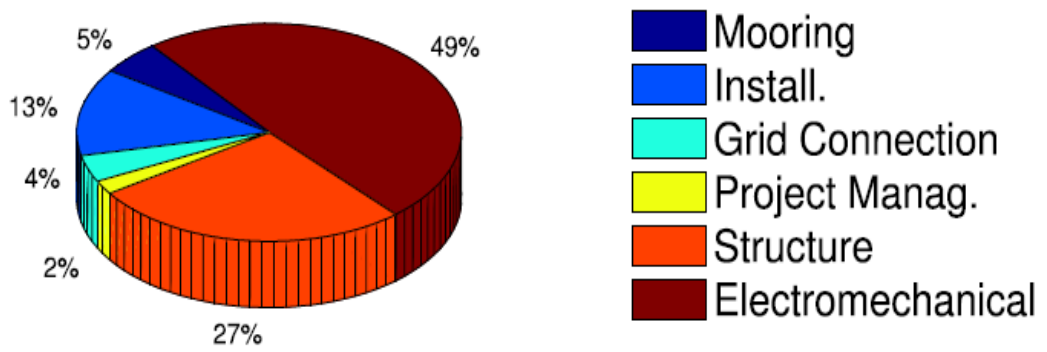


Fig. 9. Employment multiplier effects.

Εικόνα 2.26 Κατανομή θέσεων εργασίας κατά τη εγκατάσταση αιολικού πάρκου (Λαβίδας σ.8)

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ Β'

### Από βιβλία

Bhattacharyya R. and McCormick M.E. (2003), *WAVE ENERGY CONVERSION – ENGINEERING COMMITTEE ON OCEANIC RESOURCES*, Oxford: Elsevier.

Cruz J. (2008), *Ocean Wave Energy- Current Status and Future Perspectives*, Berlin: Springer.

### Άρθρα σε επιστημονικό περιοδικό

Clement A., McCullen P., Falcao A., Fiorentino A., Gardner F., Hammarlund K., Lemonis G., Lewis T., Nielsen K., Petroncini S., Pontes M., Schild P., Sjoström B., Sorensen C. and Thorpe T. (2002), Wave energy in Europe: current status and perspectives. *Renewable and sustainable energy reviews*. 6. 405-431.

Dalton G.J., Alcorn R. and Lewis T. (2009), Case study feasibility of the Pelamis wave energy converter in Ireland, Portugal and North America. *Renewable Energy*. 35. 443-455.

Henderson R. (2006), Design, simulation and testing of a novel hydraulic power take off system for the Pelamis wave energy converter. *Renewable energy*. 31. 271-283.

Lavidas G. (2019), Energy and socio-economic benefits from the development of wave energy in Greece. *Renewable Energy*. 132. 1290-1300.

O'Connor M., Lewis T. and Dalton G. (2013), Techno-economic performance of the Pelamis P1 and Wavestar at different ratings and various locations in Europe. *Renewable Energy*. 50. 889-900.

Okoro U., Kolios A. and Cui L. (2016), Multi-criteria assessment approach for components risk ranking- The case study of an offshore wave energy converter. *International journal of marine energy*. 17. 21-39.

Palha A., Mentés L., Fortes C. J., Brito-Melo A. and Sarmiento A. (2010), The impact of wave energy farms in the shoreline wave climate: Portuguese pilot zone case study using Pelamis energy wave devices. *Renewable Energy*. 35. 62-77.

Quitoras Marvin R. D., Abundo Michael L. S. and Danao Louis Angelo M. (2018), A techno-economic assessment of wave energy resources in Philippines. *Renewable and sustainable energy reviews*. 88. 68-81.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ΄

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια βασική εισαγωγή στις έννοιες της επικινδυνότητας και διακινδύνευσης, με βάση τους διαφορετικούς ορισμούς που έχουν δοθεί, και στη σημασία διευκρίνησης αυτών όσον αφορά στην καλύτερη κατανόηση επικίνδυνων συνθηκών και στην πρόληψη ατυχημάτων στο μέλλον. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στην έννοια της ανάλυσης - εκτίμησης επικινδυνότητας, στα πλεονεκτήματα που παρέχει και στις διαφορετικές μεθόδους προσέγγισης της. Τέλος γίνεται σύνδεση με το αντίστοιχο κομμάτι της νομοθεσίας, όπου σε κάθε χώρα διασφαλίζει την ασφαλή λειτουργία των επιχειρήσεων με στόχο την πρόληψη όσο το δυνατόν περισσότερων ατυχημάτων.

### 3.1. Η έννοια του ρίσκου-διακινδύνευσης

Η διακινδύνευση είναι μια έννοια που χρησιμοποιείται ευρέως τόσο στην καθημερινή ζωή όσο και στον επιστημονικό κόσμο. Για παράδειγμα σε μια καθημερινή κουβέντα θα μπορούσε να ακουστεί ότι το ρίσκο- διακινδύνευση να πεθάνει κάποιος από την πτώση μετεωρίτη είναι πολύ μικρό , ενώ να κρυώσει το χειμώνα, πολύ μεγαλύτερο. Βλέπουμε λοιπόν πως ενώ είναι μια έννοια που χρησιμοποιούμε όλοι , δεν είναι ξεκάθαρο ποια είναι ακριβώς ποια είναι η ετυμολογία της.

#### Διαφορετικοί ορισμοί για το ρίσκο

Σύμφωνα με τους Hauptmanns και Werner κάθε πιθανότητα του να προκληθεί βλάβη θεωρείται διακινδύνευση *“if there is uncertainty on whether this damage will be realized or not”*.

Άλλος ένας ορισμός σύμφωνα με τον Rowe είναι πως *“διακινδύνευση είναι η πιθανότητα πραγματοποίησης ενός περιστατικού με ανεπιθύμητες συνέπειες από ένα μια ανεξέλεγκτη κατάσταση”*.

Το Βρετανικό Ίδρυμα Χημικών Μηχανικών ορίζει την έννοια του ρίσκου ως" την πιθανότητα να επισυμβούν συγκεκριμένα ανεπιθύμητα γεγονότα, σε καθορισμένη χρονική περίοδο ή σε καθορισμένες συνθήκες. Μπορεί να οριστεί ως η συχνότητα των γεγονότων (αριθμός συμβάντων στη μονάδα του χρόνου) ή η πιθανότητα (η πιθανότητα ενός συγκεκριμένου συμβάντος μετά από ένα καθορισμένο γεγονός αναλόγως των περιστάσεων. Στις παραπάνω προσπάθειες να ορίσουν τη διακινδύνευση παρατηρούμε δύο βασικούς άξονες:

- την πρόκληση ανεπιθύμητων συνεπειών , και
- την αβεβαιότητα σε σχέση με το αν αυτές οι συνέπειες θα εμφανιστούν ή όχι.

#### 3.1.1. Διάκριση μεταξύ επικινδυνότητας και αβεβαιότητας

Οι ανεπιθύμητες συνέπειες και η αβεβαιότητα, που συνδέεται με αυτές, μπορούν να θεωρηθούν, όπως προείπαμε, οι κύριες συνιστώσες της επικινδυνότητας. Επομένως όταν θέλουμε να προσδιορίσουμε την επικινδυνότητα ενός τεχνολογικού συστήματος ή μιας επικίνδυνης δραστηριότητας είναι αναγκαίο να υπολογιστούν και οι δύο παράμετροι. Αν μία από τις παραπάνω συνιστώσες δεν υφίσταται, τότε επίσης δεν υφίσταται και η επικινδυνότητα.

Ας πάρουμε για παράδειγμα την κλήρωση του ΛΟΤΤΟ: Όταν κάποιος έχει επενδύσει πολλά χρήματα και αναμένει το αποτέλεσμα της προσεχούς κλήρωσης με σκοπό να κερδίσει, χωρίς αμφιβολία είναι μέσα στην αβεβαιότητα. Όμως, δύσκολα μπορεί να ειπωθεί ότι αυτό το άτομο αντιμετωπίζει μια κατάσταση επικινδυνότητας. Αυτό που λείπει σε αυτή την περίπτωση είναι οι ανεπιθύμητες συνέπειες. Χωρίς τις ανεπιθύμητες συνέπειες, δεν υφίσταται επικινδυνότητα.

Από την άλλη πλευρά, χωρίς αβεβαιότητα δεν υφίσταται επικινδυνότητα. Αν κάποιος γνωρίζει με βεβαιότητα ότι ένας εκτεταμένος σεισμός θα συμβεί, ας πούμε αύριο, και ότι η οροφή του σπιτιού του θα καταρρεύσει, χωρίς αμφιβολία θα λάβει τα αναγκαία μέτρα για να αποφύγει τις ανεπιθύμητες συνέπειες αυτού του γεγονότος, τουλάχιστον αποφεύγοντας να μείνει μέσα στο σπίτι του εκείνη την ημέρα, ως εκ τούτου δεν υφίσταται σε αυτή την περίπτωση επικινδυνότητα.

Άρα, η αρχική μας διαπίστωση μπορεί να περιληφθεί μέσα στη συμβολική εξίσωση:

$$\text{Επικινδυνότητα} = \text{Αβεβαιότητα} \times \text{Ανεπιθύμητες Συνέπειες}$$

Ή κατά μία άλλη εκδοχή

$$\text{Επικινδυνότητα} = \text{Πιθανότητα πραγματοποίησης ενός επεισοδίου} \times \text{το Κόστος (οικονομικό ή άλλο) που θα προκύψει}$$

### 3.1.2. Διάκριση μεταξύ επικινδυνότητας και κινδύνου

Η σύγχυση μεταξύ επικινδυνότητας (Risk) και κινδύνου (Hazard) είναι πολύ συνήθης. Λαμβάνοντας υπόψη μας τα λεξικά, ο κίνδυνος συχνά περιγράφεται ως «η πηγή της επικινδυνότητας», ενώ η επικινδυνότητα ως «η ευκαιρία να συμβεί ένα περιστατικό με ανεπιθύμητες συνέπειες». Έτσι, ο κίνδυνος απλά υφίσταται ως μια πηγή. Αντίθετα, η επικινδυνότητα περιέχει την πιθανότητα, όπου υπό την επίδρασή της η πηγή κινδύνου μπορεί να προκαλέσει (να οδηγήσει σε) μια πραγματική βλάβη.

Επί παραδείγματι, ο ωκεανός είναι αναμφίβολα μια πηγή επικινδυνότητας, ένας κίνδυνος. Αν κάποιος προσπαθήσει να τον διασχίσει με μια βάρκα, τότε βρίσκεται σε κατάσταση μεγάλης επικινδυνότητας. Αντίθετα, αν κάποιος τον διασχίσει με ένα μεγάλο πλοίο, τότε η επικινδυνότητα είναι κατ' ουσία ανύπαρκτη. Με τη χρήση αρκετών προστατευτικών μέτρων, η επικινδυνότητα ελαττώνεται. Συνεπώς, εξαρτάται όχι μόνο από τον κίνδυνο αλλά και από τα υπάρχοντα προστατευτικά μέτρα, που λαμβάνονται ενάντια στον κίνδυνο. Επομένως καταλήγουμε στην ακόλουθη συμβολική εξίσωση:

$$\text{Επικινδυνότητα} = \frac{\text{Κίνδυνος}}{\text{Προστατευτικά Μέτρα}}$$

Η παραπάνω εξίσωση εισάγει την ιδέα της ανθρώπινης επέμβασης και της διαχείρισης της επικινδυνότητας. Η ερώτηση για το ποια θα ήταν τα επαρκή προστατευτικά μέτρα ώστε το επίπεδο

της επικινδυνότητας, για ένα δεδομένο κίνδυνο, να ήταν αρκετά χαμηλό, είναι σίγουρα ουσιώδες. Φυσικά, εξετάζοντας πάλι το πιο πάνω παράδειγμα, το μεγάλο πλοίο θα ήταν αρκετό για να διασχίσει κάποιος τον ωκεανό, αλλά αν χρησιμοποιούταν για να διασχίσουμε μια ήρεμη λίμνη θα ήταν σπατάλη πόρων. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται ξεκάθαρη η διαφορά μεταξύ κινδύνου και επικινδυνότητας, ενώ παράλληλα επισημαίνεται η αβέβαιη φύση της.

Ο κίνδυνος είναι πάντα πηγή επικινδυνότητας, είναι μια κατάσταση με την δυνατότητα να προκαλέσει ανεπιθύμητες επιπτώσεις στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Ενώ η επικινδυνότητα είναι η κατάσταση του κινδύνου ή αλλιώς *Επικινδυνότητα (risk)*, συνήθως ορίζεται ως το μέτρο του κινδύνου σε συνδυασμό με το ενδεχόμενο ενός επικίνδυνου γεγονότος και το μέγεθος των συνεπειών του.

Φυσικοί κίνδυνοι	Τεχνολογικοί κίνδυνοι
Σεισμοί	Μηχανολογικός τομέας
Πλημμύρες	Βιομηχανική παραγωγή
Τυφώνες	Χημική τεχνολογία
	Μεταφορές
	Κατασκευαστικός τομέας

## 3.2 Επικινδυνότητα και ανάλυση

### 3.2.1. Η επικινδυνότητα και τα είδη της

Έτσι βλέπουμε πως η Επικινδυνότητα (*risk*), συνήθως ορίζεται ως το μέτρο του κινδύνου σε συνδυασμό με το ενδεχόμενο ενός επικίνδυνου γεγονότος και το μέγεθος των συνεπειών του. Αντίθετα, κίνδυνος (*hazard*), ονομάζεται μια κατάσταση επιβλαβής στον άνθρωπο, την κοινωνία ή το περιβάλλον.

Γενικότερα η *Επικινδυνότητα (risk)*, συνήθως ορίζεται ως το μέτρο του κινδύνου σε συνδυασμό με το ενδεχόμενο ενός επικίνδυνου γεγονότος και το μέγεθος των συνεπειών του. Αντίθετα, *κίνδυνος (hazard)*, ονομάζεται μια κατάσταση επιβλαβής για τον άνθρωπο, την κοινωνία ή το περιβάλλον. Το ενδεχόμενο της ανεπιθύμητης κατάστασης μετριέται από την πιθανότητα εμφάνισής του σε δεδομένο χρόνο ή τη συχνότητα του δηλαδή το ρυθμό εμφάνισής του. Άρα πρόκειται για μία μεταβλητή ικανή να κρίνει ή να αξιολογήσει τη σοβαρότητα των αιτιών πρόκλησης ατυχημάτων.

Άρα, η επικινδυνότητα  $r$  είναι συνάρτηση της κρισιμότητας των πιθανών συνεπειών  $c$  και της πιθανότητας  $p$ , να συμβεί κάποιο ανεπιθύμητο γεγονός.

$$r = f(c,p)$$

Και οι δύο παράμετροι της συνάρτησης,  $c$  και  $p$  εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι η ανθρώπινη συμπεριφορά, οι παράγοντες λειτουργίας, διοίκησης, μηχανικής και χρόνου.

Το  $r$  υπολογίζεται από το γινόμενο μεταξύ της πιθανότητας και των συνεπειών:

$$r = c p$$

Δεδομένης αυτής της σχέσης είναι πιο εύκολο να κατανοηθεί πότε γίνεται αναφορά σε ενδεχόμενα υψηλού κινδύνου, τα οποία ίσως κριθούν μη αποδεκτά (ως προς την ασφάλεια). Κάποιες φορές αποδοχή υφίσταται όταν συνδυάζεται η χαμηλή πιθανότητα να συμβεί το γεγονός, με υψηλή ή χαμηλή σοβαρότητα συνεπειών (Δείκτης ALARP – As Low As Reasonably Practicable).



Εδώ πρέπει να γίνει μια μικρή υποσημείωση σχετικά με τα είδη της επικινδυνότητας.

Στο χώρο όμως των επιχειρήσεων και των κατασκευών, η επικινδυνότητα λαμβάνεται περισσότερο ως *ευκαιρία για ανάπτυξη*, ή η έναρξη μιας προσπάθειας σε κάτι νέο, δηλαδή κάτι θετικό. Αυτό προκύπτει διότι στην πλειοψηφία των *επιχειρηματικών δραστηριοτήτων*, σε οποιοδήποτε επιχειρηματικό περιβάλλον, το μέγεθος της επικινδυνότητας ή το πλήθος αυτών είναι ισοδύναμο του μεγέθους ή του πλήθους των πλεονεκτημάτων που αποκομίζονται ως αποτέλεσμα της.

Πολλοί μελετητές διαχωρίζουν την επικινδυνότητα σε αυτήν που έχει μόνο *αρνητική επίπτωση* (π.χ. αστοχία υλικού) και την ονομάζει *ασφαλίσιμη (insurable risk)*, και σε αυτήν που μπορεί να έχει θετική ή αρνητική επίπτωση, και την ονομάζει (*business risk*), που μια καλή μετάφραση της θα ήταν επιχειρηματική διακινδύνευση ή ρίσκο.

Ωστόσο η παραπάνω πτυχή δεν είναι αντικείμενο μελέτης στην παρούσα εργασία, που θα εστιάσει κυρίως στην επικινδυνότητα από την πτυχή της ασφάλειας εργαζομένων και του περιβάλλοντος.

### 3.2.2. Εκτίμηση επικινδυνότητας

Επομένως η επικινδυνότητα είναι μια παράμετρος στην οποία μπορεί να παρέμβει ο άνθρωπος με στόχο την μείωση της, δηλαδή με μέτρα που θα μειώνουν την πιθανότητα να συμβεί το ανεπιθύμητο γεγονός (την αβεβαιότητα) είτε με μέτρα που θα μειώνουν τις συνέπειες αυτού το γεγονότος μετά από την πρόκληση του. Δηλαδή ένας από τους στόχους της ανάλυσης κινδύνου είναι το η ασφάλεια ή αλλιώς η κατάσταση αποδεκτής διακινδύνευσης.

Προφανώς ο παραπάνω στόχος δεν μπορεί να μετρηθεί αντικειμενικά, έτσι υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι εκτίμησης της διακινδύνευσης- επικινδυνότητας, αναλόγως με το που ο μελετητής επικεντρώνεται κάθε φορά. Οι βασικότερες παράμετροι για την μέτρηση της επικινδυνότητας είναι:

1. Το ατομικό ρίσκο (individual risk)
2. Το κοινωνικό ρίσκο (societal risk), και
3. Το ρίσκο περιοχής (area risk).

**Ατομική επικινδυνότητα (Individual Risk).** Αφορά στην επικινδυνότητα που αντιμετωπίζουν τα άτομα όταν δρουν εντός ενός συστήματος, την πιθανότητα αυτή η επικινδυνότητα να υλοποιηθεί με τη μορφή ατυχήματος, καθώς επίσης, και τη χρονική περίοδο εντός τη οποίας το ατυχές συμβάν μπορεί να λάβει χώρα. Μπορεί να κατηγοριοποιηθεί περαιτέρω ως ατομική επικινδυνότητα θνησιμότητας, στην περίπτωση που τα ατυχή συμβάντα αφορούν στον θάνατο ενός ατόμου, ατομική επικινδυνότητα τραυματισμού, όταν ο τραυματισμός το ατόμου είναι το αποτέλεσμα του συμβάντος, καθώς και στην επικινδυνότητα έκθεσης σε τοξικό περιβάλλον.

**Κοινωνική Επικινδυνότητα (Societal Risk).** Στην περίπτωση που επιμέρους ατυχήματα συντίθενται τότε η επικινδυνότητα προκύπτει από τη σχέση

$$R = P_i \times C_i$$

Όπου  $P_i$  είναι η πιθανότητα να συμβεί ένα ατυχές σενάριο και  $C_i$  είναι οι συνέπειες του. Κατά συνέπεια, μια ατομική επικινδυνότητα με αριθμό 0.01 θα μπορούσε να μεταφραστεί ως 99 περιπτώσεις με καμία συνέπεια και μια περίπτωση με συνέπειες που αντιστοιχούν σε 1 μονάδα, Επίσης θα μπορούσε να μεταφραστεί ως 999999 περιπτώσεις με καμία συνέπεια και 1 περίπτωση με συνέπειες που αντιστοιχούν σε 10000 μονάδες.

Η κοινωνική επικινδυνότητα, είναι η επικινδυνότητα-ρίσκο, που αντιμετωπίζεται από μια ομάδα ατόμων που επηρεάζεται από το συμβάν. Εκφράζεται ως η σχέση μεταξύ της συχνότητας του συμβάντος και του αριθμού των ατόμων που επηρεάζονται από αυτό, υπό τη μορφή μια συγκεκριμένης «φθοράς» σε δεδομένο αριθμό ατόμων. Εξαρτάται όχι μόνο από το είδος του ατυχήματος αλλά και από την κατανομή του πληθυσμού γύρω από το σύστημα η λειτουργία του οποίου οδήγησε στο ατύχημα. Η κοινωνική επικινδυνότητα, αναπαριστά την έκταση των συνεπειών των πιθανών ατυχημάτων και αποτυπώνεται σε καμπύλες F-N (Frequency-number of consequences), οι οποίες είναι γραφικές παραστάσεις που αποτυπώνουν τη συχνότητα του συμβάντος σε σχέση με τον αριθμό των συνεπειών που μπορούν αν συμβούν.

**Επικινδυνότητα Περιοχής (Area Risk).** Είναι μια μορφή επικινδυνότητας που αποτελείται από μια ή περισσότερες πηγές κινδύνου σε μια ευρύτερη γεωγραφική περιοχή. Στην περίπτωση αυτή, τα μέτρα της επικινδυνότητας που προκύπτουν από διάφορες πηγές, θα πρέπει να συνδυαστούν, έτσι ώστε να αποτυπωθεί τόσο το γεωγραφικό ρίσκο, στην περιοχή ενδιαφέροντος, όσο και η κατανομή των απωλειών. Επίσης, μέσα από ενδελεχή ανάλυση μπορεί να αποτυπωθεί η «συνεισφορά» της κάθε πηγής επικινδυνότητας στη συνολική επικινδυνότητα μια περιοχής. Με αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να καταστεί δυνατή η ιεράρχηση των κινδύνων καθώς και η ιεράρχηση των μέτρων μείωσης κινδύνου. Η επικινδυνότητα περιοχή μπορεί να αποτυπωθεί σε ιστογράμματα I-N, στα οποία αποτυπώνονται ο αριθμός των ατόμων N που εκτίθενται σε έναν ατομικό κίνδυνο σε μια περιοχή, εντός ενός συγκεκριμένου εύρους I (π.χ. 10.7 θάνατοι ανά χρόνο). Οι καμπύλες αυτές μπορούν να αποτελέσουν ένα χρήσιμο εργαλείο για την λήψη αποφάσεων.

### 3.3. Ανάλυση-εκτίμηση επικινδυνότητας

Όπως έχει γίνει σαφές από τα παραπάνω η επικινδυνότητα είναι μια σύνθετη συνάρτηση :

- ❖ **των κινδύνων**, που συνδέονται με ένα συγκεκριμένο τεχνολογικό ή περιβαλλοντικό σύστημα.
- ❖ **της πιθανότητας ενός κινδύνου να καταλήξει σε ανεπιθύμητο συμβάν.**
- ❖ **του βαθμού που θα επηρεαστεί το περιβάλλον**, όπου εμφανίστηκε το ανεπιθύμητο συμβάν, το οποίο ενδεχομένως να αναπτύξει τις συνέπειές του.

Η ανάγκη του ανθρώπου να γνωρίζει τι επιπτώσεις θα μπορούσε να έχει μια ενέργεια του προφανώς δεν είναι σύγχρονο φαινόμενο. Ωστόσο , με την αύξηση της ευαισθητοποίησης της κοινής γνώμης σε σχέση με την αξία της ζωής, την ποιότητα αυτής αλλά και η αναβάθμιση της αξίας της προστασίας του περιβάλλοντος αποτελούν βασικά στοιχεία που οδήγησαν στο να γίνει η ανάλυση και η εκτίμηση επικινδυνότητας βασικό συστατικό σε κάθε επιχειρηματική και παραγωγική δραστηριότητα.

Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και του μηχανολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται από πληθώρα εταιρειών και επιχειρήσεων στο πρώτο σκαλοπάτι της νέας χιλιετίας που διανύουμε, καθώς και η ύπαρξη χώρων εργασίας οι οποίοι πολλές φορές δεν αποτελούν το ιδανικό εργασιακό περιβάλλον, έχουν οδηγήσει σε επισφαλείς συνθήκες εργασίας θέτοντας πολλές φορές σε κίνδυνο τη σωματική ασφάλεια και υγεία των εργαζομένων.

Στη χημική βιομηχανία έχουν συμβεί πολλά μεγάλα ατυχήματα σε παγκόσμιο επίπεδο. Η αυξανόμενη εκβιομηχάνιση, μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, έχει οδηγήσει στην αύξηση των ατυχημάτων που εμπεριέχουν επικίνδυνες χημικές ουσίες. Στις τέσσερις πρώτες δεκαετίες μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, τα 28 από τα 100 αναφερθέντα ατυχήματα είχαν σαν αποτέλεσμα τη

δημιουργία τοξικών νεφών που κόστισαν τη ζωή 360 ανθρώπων και οδήγησαν σε τεράστιες φυσικές και περιβαλλοντικές καταστροφές.

Στην Ευρώπη, τη δεκαετία του '70 δύο μεγάλα ατυχήματα συνέβαλαν στην επίσπευση της δημιουργίας ειδικής νομοθεσίας όπου στόχευε στην πρόληψη και τον έλεγχο τέτοιων ατυχημάτων. Η περίπτωση του ατυχήματος στο Flixborough στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1974 είναι ένα ιδιαίτερα "θεαματικό" παράδειγμα. Μια μεγάλη έκρηξη οδήγησε σε 28 θανάτους, τραυματισμούς εντός και εκτός του πεδίου εργασίας και ολοκληρωτική καταστροφή της συγκεκριμένης βιομηχανικής ζώνης. Επίσης, με τη λογική του ντόμινο επηρέασε τη βιομηχανική δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή, αφού η έκρηξη οδήγησε στην απώλεια ψυκτικού μέσου σε κοντινή βιομηχανία χάλυβα όπου θα μπορούσε να οδηγήσει σε περαιτέρω σοβαρά ατυχήματα.

Επίσης το 1976 συνέβη ένα σοβαρό ατύχημα σε ένα εργοστάσιο φυτοφαρμάκων και ζιζανιοκτόνων στο Seveso της βόρειας Ιταλίας. Ένα πυκνό νέφος ατμών που περιείχαν τετραχλωροδιβενζοπαραδιοξίνη (TCDD), απελευθερώθηκε στην ατμόσφαιρα από έναν χημικό αντιδραστήρα, που χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή τριχλωροφαινόλης. Η ουσία αυτή κοινώς γνωστή ως διοξίνη, είναι ιδιαίτερα δηλητηριώδες και καρκινογόνο προϊόν μιας ανεξέλεγκτης εξώθερμης αντίδρασης. Παρόλο που καμία απώλεια δεν σημειώθηκε άμεσα, πολλά κιλά της ουσίας αυτής, θανατηφόρου για τον άνθρωπο ακόμα και σε δόσεις μικρού του γραμμαρίου, απλώθηκαν σε μικρό χρονικό διάστημα, γεγονός που οδήγησε σε άμεση μόλυνση δεκάδων τετραγωνικών μιλίων γης και χλωρίδας. Περισσότεροι από 600 άνθρωποι εκκένωσαν τα σπίτια τους και πάνω από 2000 χρειάστηκε να λάβουν αγωγή για δηλητηρίαση από διοξίνη. Έπειτα από τρία χρόνια διαπραγματεύσεων μεταξύ τοπικού Συμβουλίου και του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου, υιοθετήθηκε η οδηγία "Seveso I" το 1982. Μέσα σε μια δεκαετία από την υιοθέτηση της οδηγίας περισσότερα από 130 ατυχήματα χαρακτηρίστηκαν ως "μεγάλα" σε επίπεδο ευρωπαϊκής ένωσης. Υπό το πρίσμα των μεγάλων ατυχημάτων, άξια αναφοράς είναι το ατύχημα στο εργοστάσιο Union Carbide στο Bhopal της Ινδίας, όπου η διαρροή ισοκυανικού μεθυλίου οδήγησε στο θάνατο 2500 ανθρώπων καθώς και το συμβάν στην αποθήκη Sandoz στο Basel της Ελβετίας, όπου πυροσβεστικό υγρό διέρρευσε στον Ρήνο ποταμό με αποτέλεσμα τεράστια ρύπανση και το θάνατο μισού εκατομμυρίου ψαριών.

Επίσης, στη ναυτιλία, έχουν συμβεί μεγάλα ατυχήματα, με τεράστιες περιβαλλοντικές συνέπειες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περίπτωση του πετρελαιοφόρου πλοίου Exxon Valdez το 1989. Το συγκεκριμένο πλοίο μεταφέροντας αργό πετρέλαιο από την Αλάσκα στην Καλιφόρνια, προσάραξε στον κόλπο του Bligh Reef με αποτέλεσμα να διαρρεύσουν στη θάλασσα, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις 35000 τόνοι πετρελαίου με ανυπολόγιστες οικολογικές συνέπειες που με τη σειρά τους κατέστρεψαν την οικονομία της τοπικής κοινωνίας όπου κυρίαρχη ενασχόληση των κατοίκων ήταν η αλιεία. Το συγκεκριμένο ατύχημα οφείλεται σε συνδυασμό ελλιπούς συντήρησης του εξοπλισμού ναυσιπλοΐας και ανθρώπινου παράγοντα. Η άρνηση της εταιρίας να αλλάξει το πλήρωμα που έκανε πολλές φορτώσεις στην περιοχή, με μικρές περιόδους ύπνου καθώς και η έλλειψη λειτουργικού συστήματος προειδοποίησης σύγκρουσης ήταν οι βασικές αιτίες του ατυχήματος. Οι συνέπειες του ατυχήματος ήταν τόσο μεγάλες, όπου οι αμερικάνικες αρχές θέσπισαν τους πρώτους κανονισμούς για την υποχρεωτική σχεδίαση και κατασκευή πετρελαιοφόρων πλοίων με διπλά τοιχώματα, που υιοθετήθηκαν από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό και σήμερα αποτελούν κατασκευαστική απαίτηση όλων των πετρελαιοφόρων.



Εικόνα 2. 1 Ρύπανση της ακτογραμμής της Αλάσκα, από τη διαρροή πετρελαίου του Exxon Valdez([https://www.google.com/search?q=exxon+valdez&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewjsrOTVofriAhVQZIAKHW7NBkwQ\\_AUIESqC&biw=1366&bih=695#imgrc=UucV8-q0joUqpM:](https://www.google.com/search?q=exxon+valdez&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewjsrOTVofriAhVQZIAKHW7NBkwQ_AUIESqC&biw=1366&bih=695#imgrc=UucV8-q0joUqpM:))

Ένα ακόμα ατύχημα που αφορά στον τομέα της ναυτιλίας είναι η καταστροφή της πλατφόρμας εξόρυξης πετρελαίου Deerwater Horizon. Στις 20 Απριλίου 2010 η πλατφόρμα εξερράγη και κατά συνέπεια κήκε, 40 μίλια νοτιοανατολικά των ακτών της Λουϊζιάνα. Η πυρκαγιά οδήγησε εν τέλει στη βύθιση της πλατφόρμας, και κατά τη διάρκεια της έκρηξης έχασαν τη ζωή τους 11 εργάτες και 17 τραυματίστηκαν. Επίσης, αποτέλεσμα της καταστροφής ήταν η τεράστια διαρροή πετρελαίου στη θάλασσα του Κόλπου του Μεξικό, όπου θεωρείται η μεγαλύτερη περιβαλλοντική καταστροφή στην ιστορία των Η.Π.Α.



Εικόνα 2. 2 Προσπάθεια κατάσβεσης της πυρκαγιάς στην εξέδρα Deerwater Horizon. ([https://www.google.com/search?q=deep+water+horizon&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewjoqtampfriAhUJY1AKHcimCrsQ\\_AUIECqB#imgrc=RqO1qPON8m3zSM:](https://www.google.com/search?q=deep+water+horizon&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewjoqtampfriAhUJY1AKHcimCrsQ_AUIECqB#imgrc=RqO1qPON8m3zSM:))

Με δεδομένο ότι η διαχείριση του ανθρώπινου δυναμικού είναι μία βασική παράμετρος που εμπλέκεται στη βέλτιστη διαχείριση των πόρων μιας επιχείρησης/ εταιρείας, η ασφάλεια και η υγιεινή των εργαζομένων αποτελεί την κύρια μέριμνα κάθε εργοδότη, τόσο για τη βιωσιμότητα όσο και για την αποτελεσματική απόδοση και επιτυχία της επιχείρησης/ εταιρείας.

Επομένως, κρίνεται αναγκαία η αναφορά της παρούσας εργασίας σε βασικά στοιχεία και μεθόδους εκτίμησης και ανάλυσης της επικινδυνότητας.

### **3.3.1. Τρόποι ανάλυσης επικινδυνότητας**

Σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, υπάρχουν τρεις κύριες μορφές ανάλυσης οι οποίες χρησιμοποιούνται από όσους ασχολούνται με το αντικείμενο της μελέτης ασφάλειας (safety engineering). Η ανάλυση της αστοχίας όπου επικεντρώνεται στις αιτίες ενός συμβάντος, ανάλυση της αξιοπιστίας όπου στοχεύει στην ποσοτικοποίηση της πιθανότητας να υπάρξει ένα συμβάν λόγω σχεδιαστικού ή κατασκευαστικού ελλείματος. Η ανάλυση της επικινδυνότητας όπου συνδυάζει τις δύο παραπάνω διαδικασίες υπό το πρίσμα της βέλτιστης λήψης απόφασης. Για το πεδία της αιολικής ενέργειας η μέθοδος της ανάλυσης της επικινδυνότητας είναι ο περιεκτικός τρόπος για την αντιμετώπιση ζητημάτων που αφορούν στην ασφάλεια.

#### **1. Ανάλυση αστοχίας**

Η ανάλυση αστοχίας είναι η διαδικασία της συλλογής και της ανάλυσης δεδομένων για τον καθορισμό της αιτίας της αστοχίας. Είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας, όπου είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την ανάπτυξη νέων προϊόντων καθώς και για τη βελτίωση των ήδη υπάρχοντων. Οι διάφορες αστοχίες σε προϊόντα και εξαρτήματα που αντιμετωπίζονται καθημερινά σε όλους τους τομείς της βιομηχανικής παραγωγής, καθώς και η δημιουργία όλο και πιο πολύπλοκων βιομηχανικών προϊόντων καθιστούν την ανάλυση αστοχίας μια διαδικασία ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη προϊόντων και διαδικασιών παραγωγής.

#### **2. Ανάλυση αξιοπιστίας**

Η αξιοπιστία ορίζεται ως η πιθανότητα ένα αντικείμενο να επιτελέσει το σκοπό για τον οποίο σχεδιάστηκε, για μια συγκεκριμένη περίοδο υπό ένα συγκεκριμένο σύνολο συνθηκών. Για το λόγο αυτό, διάφορες πιθανοθεωρητικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για να αναλύσουν ή να αξιολογήσουν, τη συνεχή παροχή ισχύος ενός αιολικού συστήματος, στη βάση ενός προτύπου ποιότητας ισχύος. Η ανάλυση αξιοπιστίας, αξιοποιείται για την ποσοτικοποίηση, της πιθανότητας να αστοχήσουν διάφορα συστήματα, και με τη χρήση της, αναζητούνται τρόποι και μέθοδοι για την ενίσχυση την αξιοπιστία του συστήματος. Η ανάλυση της αξιοπιστίας ενός συστήματος, μπορεί να συμβάλει στην ασφαλή λειτουργία και χειρισμό του συστήματος. Επίσης με την ανάλυση της αξιοπιστίας, γίνεται δυνατή, η ποσοτικοποίηση, η παγίωση και η προτυποποίηση διαφόρων στόχων διαχείρισης. Τέλος με την ανάλυση της αξιοπιστίας ενός συστήματος, είναι δυνατή και η βέλτιστη αξιοποίηση ενός συστήματος από οικονομική σκοπιά.

#### **3. Ανάλυση επικινδυνότητας**

Η ανάλυση της επικινδυνότητας είναι μια διαδικασία αναγνώρισης, ανάλυσης και αξιολόγησης της επικινδυνότητας που ενέχει μια ενέργεια. Η επικινδυνότητα συχνά εκφράζεται μέσω της διασύνδεσης των συνεπειών ενός γεγονότος με την αντίστοιχη πιθανότητα να επισυμβεί. Σε όλα τα σύνθετα συστήματα της μηχανικής, συστήματα ανάλυσης της επικινδυνότητας χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας ενεργειών που σχετίζονται με την ανθρώπινη ζωή,

το περιβάλλον ή την χρήση εξοπλισμού. Στην πυρηνική βιομηχανία, στην αεροναυπηγική, στην πετρελαϊκή βιομηχανία στους σιδηροδρόμους, η ανάλυση της επικινδυνότητας χρησιμοποιείται για πάρα πολλά χρόνια. Επίσης υπάρχει πολύ μεγάλη εφαρμογή στην ιατροφαρμακευτική περίθαλψη και στην βιομηχανία τροφίμων. Λόγω των διαφορετικών κινδύνων που ενυπάρχουν στην οικονομολογία το περιβάλλον την οικολογία, και τη δημόσια υγεία, υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι αξιολόγησης της επικινδυνότητας για διάφορους τομείς της οικονομίας.

### 3.3.2.Μεθοδολογία ανάλυσης επικινδυνότητας

Στόχος της ανάλυσης επικινδυνότητας είναι να προλαμβάνει τη δημιουργία ατυχημάτων στο μέλλον και όχι απλά να αποδίδει ευθύνες από νομική ή οργανωτική άποψη. Επομένως η ανάλυση ατυχημάτων θα πρέπει να είναι μια λίστα πραγμάτων που μπορούν ή πρέπει να αλλάξουν στην λειτουργία ενός οποιουδήποτε συστήματος παραγωγής, βασιζόμενα σε παράγοντες μόνιμου χαρακτήρα που μπορούν να οδηγήσουν και σε μελλοντική πρόκληση ατυχημάτων

*Η Ανάλυση επικινδυνότητας (Risk Analysis) συνίσταται από την ανάλυση και μελέτη ενός συστήματος σύμφωνα με τους κινδύνους που εμπεριέχονται σ' αυτό. Τα ατυχήματα των τελευταίων χρόνων, εξώθησαν στην αναζήτηση λύσεων και δράσεων με σκοπό την εισαγωγή καινοτομιών στο χώρο της ασφάλειας, αποδεικνύοντας ότι ήταν αναγκαία η υιοθέτηση διαδικασιών διάγνωσης στις αδυναμίες των συστημάτων αλλά και των περιθωρίων βελτίωσής τους.*

Η αναγνώριση της επικινδυνότητας προφανώς συνεισφέρει στην μείωση των ατυχημάτων στο μέλλον. Έτσι η διαδικασία αναγνώρισης επικινδυνότητας στοχεύει στην αναγνώριση της εξάρτησης που μπορεί να έχει ένα επικίνδυνο γεγονός με επιμέρους στοιχειώδη και μικρότερης σημασίας συμβάντα. Αυτά τα βασικά γεγονότα μπορεί να περιλαμβάνουν αστοχία εξοπλισμού σε συγκεκριμένες καταστάσεις λειτουργίας, ανθρώπινη παρέμβαση και εξωτερικά του υπό μελέτη συστήματος συμβάντα. Η αναπαράσταση που προσφέρει η ανάλυση της επικινδυνότητας ενός συστήματος χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της αλληλουχίας του συστήματος, δηλαδή κατά πόσο τα επιμέρους συμβάντα και συστατικά του καλύπτουν τις απαιτήσεις ελάχιστης διακινδύνευσης. Αυτή η αξιολόγηση μπορεί να είναι ποσοτική ή ποιοτική. Ένας διαφορετικός ορισμός της ανάλυσης-εκτίμησης επικινδυνότητας θα μπορούσε να είναι η συστηματική και σύνθετη διαδικασία προσδιορισμού, υπολογισμού, αντίληψης, αξιολόγησης και διαχείρισης της επικινδυνότητας των διαφόρων κινδύνων για την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων κατά την εργασία, καθώς και όσων επηρεάζονται έμμεσα ή άμεσα από αυτή. Αφορά επίσης στην αξιοπιστία και την αποδοτική λειτουργία του ίδιου του συστήματος (εξοπλισμός κ.λ.π.).

Στόχος της ανάλυσης – εκτίμησης κινδύνου είναι η αξιολόγηση της πιθανότητας αστοχίας του συστήματος συμπεριλαμβανομένων και του «κόστους» των συνεπειών. Αναλυτικά θα λέγαμε πως η ανάλυση επικινδυνότητας στοχεύει:

**1. Στην αναγνώριση των πηγών κινδύνου (hazard identification).** Υπάρχουν αρκετές τεχνικές, όπως η Ανάλυση Κινδύνου & Λειτουργικότητας (Hazard and Operability Study - HAZOP), η Μέθοδος Αστοχίας & Συνέπειας (Failure Mode and Effect Analysis - FMEA), οι Λίστες Ελέγχου (Check – lists) κ.α. Σε αυτή τη φάση της ανάλυσης, είναι χρήσιμη η μελέτη ατυχημάτων που έχουν συμβεί στο παρελθόν σε συναφείς εγκαταστάσεις, από βάσεις δεδομένων και βιβλιογραφικές πηγές.

**2. Στην ανάπτυξη πιθανών σεναρίων ατυχημάτων (ακολουθίες ατυχημάτων) που μπορεί να βασίζεται:** σε ιστορικά ατυχημάτων (π.χ. accident databases) ή και σε συστηματική ανάλυση που

στοχεύει στο να παρουσιάσει την εξάρτηση ενός ανεπιθύμητου γεγονότος από μικρότερα, πιο βασικά γεγονότα. Οι πιο γνωστές τεχνικές είναι: τα Δένδρα Σφαλμάτων (Fault Tree analysis), τα Δένδρα Γεγονότων (Event Tree analysis), η μέθοδος των Λογικών Διαγραμμάτων (Master logic diagrams), η μέθοδος ανάλυσης ανθρώπινου σφάλματος (Human error analysis). Δύο βασικές έννοιες που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία αυτή είναι:

(α) **η αξιοπιστία** (reliability), δηλαδή η πιθανότητα ένα σύστημα να εκτελεί μια επιθυμητή λειτουργία, κάτω από ορισμένες συνθήκες και για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, και

(β) **η διαθεσιμότητα** (availability), δηλαδή η πιθανότητα ένα σύστημα να βρίσκεται σε κατάσταση ώστε να εκτελεί μια ορισμένη λειτουργία κάτω από ορισμένες συνθήκες σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

**3. Στην εκτίμηση των επιπτώσεων στον άνθρωπο και το περιβάλλον**, καθώς και τις κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις από ένα ατύχημα μεγάλης έκτασης. Για το σκοπό αυτό μοντελοποιούνται τα φυσικά φαινόμενα που ακολουθούν, π.χ. η έκλυση μιας επικίνδυνης ουσίας (εκροή, εξάτμιση, διασπορά, φωτιά, έκρηξη, επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση σε τοξικές ουσίες, από θερμική ακτινοβολία και ωστικό κύμα). Παρόλο που στη βιβλιογραφία υπάρχει πλήθος μοντέλων, οι αβεβαιότητες και οι δυσκολίες που σχετίζονται με την εκτίμηση επιπτώσεων είναι αρκετές και οφείλονται από τη μια στο ότι γίνονται πολλές παραδοχές, καθώς δεν είναι δυνατό να προβλεφθούν πλήρως τα φαινόμενα (π.χ. καιρικές συνθήκες), και από την άλλη στην έλλειψη πληροφορίας για κάθε βήμα της ανάλυσης.

**4. Στον ποσοτικό καθορισμό της επίπτωσης ενός ατυχήματος στην υγεία.** Οι πιο γνωστοί ποσοτικοί δείκτες κινδύνου που χρησιμοποιούνται είναι η ατομική και η συλλογική επικινδυνότητα. Μια βασική δυσκολία που αντιμετωπίζει ο αναλυτής είναι η ύπαρξη μιας ποικιλίας προσεγγίσεων και μεθοδολογιών όσον αφορά στην εκτίμηση της επικινδυνότητας (ποιοτική ή ποσοτική προσέγγιση, μεγάλος αριθμός μοντέλων εκτίμησης επιπτώσεων, ύπαρξη πολλών πηγών αβεβαιότητας). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η διαφοροποίηση ως προς τη μεθοδολογία εκτίμησης στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

**5. Τέλος, θα πρέπει να αναφέρεται στον βαθμό εφαρμογής και αξιολόγησης της επάρκειας των προληπτικών μέτρων και των μέτρων ελέγχου λειτουργίας και περιορισμού των επιπτώσεων.**

### **3.4. Μέθοδοι εκτίμησης επικινδυνότητας-ατυχήματος**

Η ανάλυση ατυχήματος με οποιαδήποτε από τις μεθόδους θα πρέπει να τηρεί συγκεκριμένες προδιαγραφές για να δώσει αντικειμενικά συμπεράσματα και να μπορεί να συμβάλει στην λήψη μέτρων για την εξουδετέρωση σε μεγάλο βαθμό των κινδύνων.

1. Θα πρέπει να είναι <<ουσιαστική>>: δηλαδή να μπορεί να διαχωρίζει / διακρίνει τα γεγονότα από τις πραγματικές αιτίες, ώστε να μην μένει σε μεμονωμένα περιστατικά, που συχνά δεν βοηθούν στον πραγματικό εντοπισμό των κινδύνων.

2. Θα πρέπει να είναι «ποσοτική»: δηλαδή τα συμπεράσματα που παρέχει να μην καλύπτουν μόνο το συγκεκριμένο περιστατικό , αλλά να μπορούν να χρησιμεύσουν στην ανάλυση και άλλων ατυχημάτων.
3. Θα πρέπει να είναι «έγκυρη» : δηλαδή οι αιτίες που θα αποκαλυφθούν να μπορούν να βοηθήσουν και σε μελλοντικά ατυχήματα και στην πρόληψη αυτών.
4. Θα πρέπει να είναι «αξιόπιστη»: δηλαδή πολλοί αναλυτές να μπορούν να φτάνουν στο ίδιο συμπέρασμα χρησιμοποιώντας τη.
5. Θα πρέπει να είναι «πρακτική»: δηλαδή να μην χρειάζεται υπερεξειδικευμένο προσωπικό, να μην είναι χρονοβόρα και πολύ ακριβή.
6. Και τέλος θα πρέπει να έχει «σωστή ακολουθία»: δηλαδή τα συμπεράσματα να μην χρησιμεύουν μόνο στον εντοπισμό των αιτιών αλλά να μπορούν με την αντίστροφη ανάλυση να εξυπηρετήσουν και σε μια διαδικασία αποφυγή ατυχημάτων.

Για πρακτικούς λόγους η ανάλυση-εκτίμηση επικινδυνότητας πρέπει συχνά να βασιστεί στην υπόθεση ότι τα επιμέρους στοιχειώδη γεγονότα που συνθέτουν ένα συμβάν, είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Εάν η υπόθεση αυτή είναι αληθής, η σχέση μεταξύ των ιδιοτήτων του συστήματος και των βασικών του συστατικών μπορεί να αξιολογηθεί με άμεσο τρόπο. Σε αυτή την περίπτωση η αναπαράσταση του συστήματος μπορεί να δώσει μια πλήρη εικόνα των αποτελεσμάτων. Εάν η υπόθεση είναι λανθασμένη τότε απαιτείται μια πιο σύνθετη αναπαράσταση διαφορετικά η ανάλυση θα οδηγήσει σε λανθασμένες εκτιμήσεις.

Οι βασικές σχέσεις που μπορούν να συνδέσουν δύο συμβάντα είναι η τομή και ένωση των πιθανοτήτων που έχουν να επισυμβούν.

Για δύο ανεξάρτητα γεγονότα 1 και 2 με πιθανότητες να επισυμβούν  $P_1$  και  $P_2$ , η πιθανότητα της τομής  $P(1 \text{ and } 2)$  δίνεται από την σχέση

$$P(1 \text{ and } 2) = P_1 \times P_2$$

Η πιθανότητα της ένωσης δίνεται από τη σχέση

$$P(1 \text{ or } 2) = P_1 + P_2 - (P_1 \times P_2)$$

Στην άνω σχέση, η αφαίρεση του γινομένου γίνεται διότι στο άθροισμα  $P_1 + P_2$ , η τομή, έχει υπολογιστεί δύο φορές.

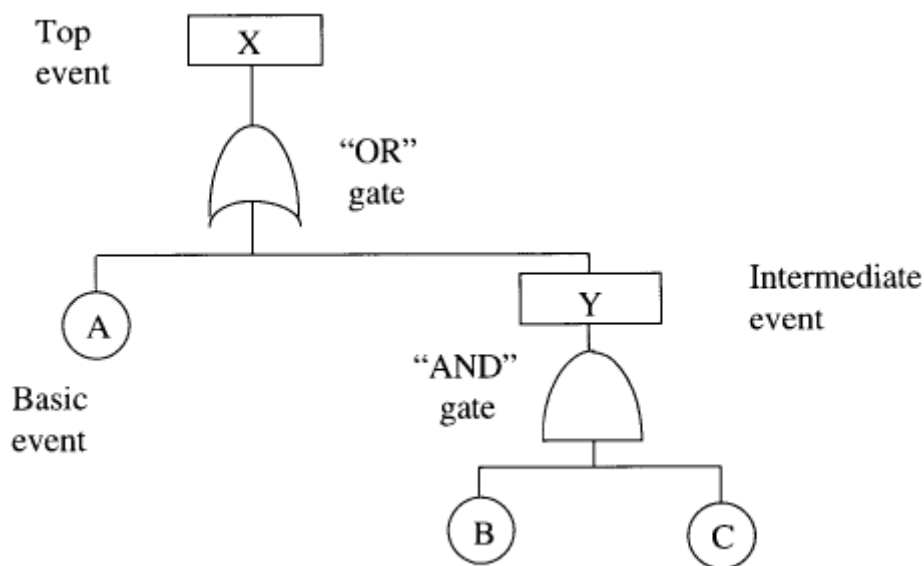
Γενικά υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που ασχολούνται με τον εντοπισμό κινδύνων και την εκτίμηση επαγγελματικού κινδύνου ,όποτε κρίνεται αναγκαίο να γίνει και μία αναφορά σε αυτές.

### 3.4.1. Η μέθοδος ανάλυσης Δέντρου Σφαλμάτων

Η μέθοδος fault tree analysis (FTA) είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για την ανάλυση της αξιοπιστίας και της ασφάλειας και στον τομέα της αιολικής ενέργειας λόγω της δυνατότητας της να περιγράφει τα βασικά συστατικά και τις πιθανές αιτίες αστοχίας μιας διαδικασίας. Είναι μια μέθοδος εδραιωμένη, και εύκολα κατανοήσιμη για αυτό και χρησιμοποιείται ευρέως για να καθορίσει την αξιοπιστία ενός συστήματος ή διαδικασίας. Σε μια ανάλυση δέντρου σφαλμάτων , η σύνδεση μεταξύ των επιμέρους στοιχείων και τον πιθανών αστοχιών αναπαρίσταται γραφικά. Ένα δέντρο σφάλματος είναι ένα λογικό διάγραμμα ροής στον οποίο παρουσιάζονται οι λογικοί συνδυασμοί βασικών γεγονότων που είναι απαραίτητοι και επαρκείς για να προκαλέσουν ένα γεγονός αστοχίας ενδιαφέροντος. Το συμβάν αποτυχίας ενδιαφέροντος ονομάζεται "κορυφαίο γεγονός" .Ένα



ολοκληρωμένο δέντρο πρέπει να αποτελείται από βασικά γεγονότα συνδεδεμένα μέσω ενδιάμεσων συμβάντων στο κορυφαίο συμβάν. Κάτω από το επάνω συμβάν και κάτω από κάθε ενδιάμεσο συμβάν, υπάρχει μια "πύλη" που περιγράφει τη λογική του τρόπου με τον οποίο τα χαμηλότερα συμβάντα μπορούν να οδηγήσουν στο υψηλότερο συμβάν. Οι σημαντικότεροι δύο τύποι πύλης είναι πύλες OR και AND. Μια πύλη OR δηλώνει ότι ένα (ή περισσότερα) από τα χαμηλότερα συμβάντα είναι επαρκή για να οδηγήσει στο υψηλότερο συμβάν. Μια πύλη AND υποδεικνύει ότι όλα τα (και μόνο όλα) τα χαμηλότερα συμβάντα είναι επαρκή για οδηγούν σε υψηλότερο συμβάν. Δηλαδή, οι πύλες OR δίνουν μια έξοδο εάν πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε είσοδος, και οι πύλες AND δίνουν μια έξοδο αν πραγματοποιηθούν όλες οι είσοδοι.



Η σωστή δημιουργία δέντρων σφαλμάτων απαιτεί προσεκτική εξέταση:

1. των ενδιάμεσων γεγονότων,
2. του τι θεωρείται ως βασικό σφάλμα,
3. συμπερίληψη όλων των βασικών σφαλμάτων.

Μέσω της μεθόδου του δέντρου σφαλμάτων εμφανίζονται τόσο οι συγκυριακές όσο και η βαθύτερες συνθήκες πρόκλησης ατυχημάτων και διαβάζοντας το δημιουργούμενο <<δέντρο>> ο μελετητής μπορεί να προτείνει μέτρα προστασίας και πρόληψης ατυχημάτων στο μέλλον και παράλληλα να εξηγήσει τις αιτίες πρόκλησης του υπό μελέτη ατυχήματος.

### 3.4.2. Η Μέθοδος Ανάλυσης του Φαινομένου Ντόμινο

Μία ακόμα μέθοδος που έχει προταθεί είναι αυτή του Ντόμινο όπου αναφέρει ότι τα γεγονότα που καταλήγουν σε ένα ατύχημα εμφανίζονται όπως πέφτουν τα πούλια σε μια σειρά ντόμινο. Με τη θεωρία αυτή είναι εύκολο να ανακαλυφθούν τα αρχικά αλλά και τα βαθύτερα αίτια που προκάλεσαν ένα συμβάν.



Από τη θεωρία του Ντόμινο προκύπτει ότι είναι ατελέσφορο να επικεντρωθεί κανείς στο ντόμινο C, αν οι ελλοχεύουσες αιτίες στα ντόμινο A και B δεν εξαλειφθούν. Τα ντόμινο A και B μπορούν να δημιουργήσουν ή να οδηγήσουν στην επισφαλείς πράξεις/συνθήκες του ντόμινο C.

### 3.4.3. Η μέθοδος MATRIX

Σε αυτή τη μέθοδο η έμφαση δίνεται στην ποιοτική εκτίμηση της επικινδυνότητας και περιγράφεται μέσω πινάκων. Το μέγεθος των πινάκων έχει να κάνει με το πόσα στοιχεία θέλει να αναφέρει και πόσο μεγάλη διαβάθμιση θέλει να δώσει ο αναλυτής.

Για παράδειγμα ο αναλυτής μπορεί να επιλέξει να εξετάσει την σοβαρότητα που θα προκληθεί από έναν κίνδυνο και την πιθανότητα που υπάρχει να συμβεί ατύχημα από την συγκεκριμένη πηγή κινδύνου. Τότε ο πίνακας θα διαμορφωνόταν ως εξής:

ΒΑΘΜΟΣ ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑΣ	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
A	Θάνατος/ Σοβαρός τραυματισμός/ Σοβαρή ζημία/ απώλεια περιουσιακών στοιχείων/ εξοπλισμού
B	Τραυματισμός διάρκειας άνω των 3 ημερών/ ζημία σε περιουσιακά στοιχεία/ εξοπλισμό
C	Ελαφρύς τραυματισμός/ Μικρή ζημία σε περιουσιακά στοιχεία/ εξοπλισμό

ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
1	Εξαιρετικά πιθανό να συμβεί
2	Πιθανό ή ενδεχόμενο να συμβεί
3	Μικρή πιθανότητα να συμβεί

Ο πίνακας που ακολουθεί συνοψίζει τους δύο παραπάνω και αποτελεί και το αποτέλεσμα της έρευνας αφού δίνει ποια στοιχεία πρέπει να βελτιωθούν σε ένα σύστημα.

ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ	ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑ A	ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑ B	ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑ C
1	A1	B1	C1
2	A2		C2
3		B3	C3

	Καταστρεπτικός βαθμός κίνδυνου - Απαράδεκτη Επικινδυνότητα. Απαιτείται άμεση αντιμετώπιση για εξάλειψή /μείωση του κινδύνου
	Υψηλός βαθμός κίνδυνου - Επείγουσα Επικινδυνότητα. Απαιτείται να δοθεί πρόνοια όσο το δυνατόν ταχύτερα για μείωση του κινδύνου .
	Μέτριου βαθμού κίνδυνος - Μέτρια Επικινδυνότητα. Πρέπει να εξεταστεί εάν η «επικίνδυνη κατάσταση» (A) ή ο «κίνδυνος» μπορεί να ελαττωθεί καθώς και η επάρκεια των υπαρχόντων προφυλακτικών μέτρων / μεγάλη προτεραιότητα.
	Χαμηλού βαθμού κίνδυνος- Μικρή επικινδυνότητα. Μικρή προτεραιότητα για την λήψη προστατευτικών μέτρων.

Προφανώς η παραπάνω μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με περισσότερες διαβαθμίσεις όπως για παράδειγμα μεγαλύτερη κλίμακα αξιολόγησης της επικινδυνότητας( π.χ. A-E και αντίστοιχα 1-5). Ακόμα μπορεί ο παραπάνω πίνακας να μοιραστεί σε τρεις στήλες όπου θα αναφέρεται ξεχωριστά η πιθανότητα να συμβεί το ατύχημα από την συχνότητα έκθεσης των εμπλεκόμενων. Σημαντική σημείωση για την παραπάνω μέθοδο αποτελεί πως είναι μια μέθοδος ποιοτική που προφανώς δίνει χρήσιμα αποτελέσματα αλλά όχι μετρήσιμα.

#### 3.4.4. Η μέθοδος Παπιγιόν- Bow tie

Άλλη μια τεχνική ανάλυσης κινδύνου, είναι η μέθοδος bow tie, μια μέθοδος αρκετή σύγχρονη και δημοφιλής αφού συνδυάζει σε ένα διάγραμμα το μοντέλο του ατυχήματος συμπεριλαμβανομένων των αιτιών και των συνεπειών. Είναι μια μέθοδος καθαρά ποιοτική, η οποία μπορεί να παρέχει ποσοτικά αποτέλεσμα είτε συνδυαστικά με κάποια άλλη μέθοδο είτε προσθέτοντας αποτελέσματα ερευνών και στατιστικά ατυχημάτων.

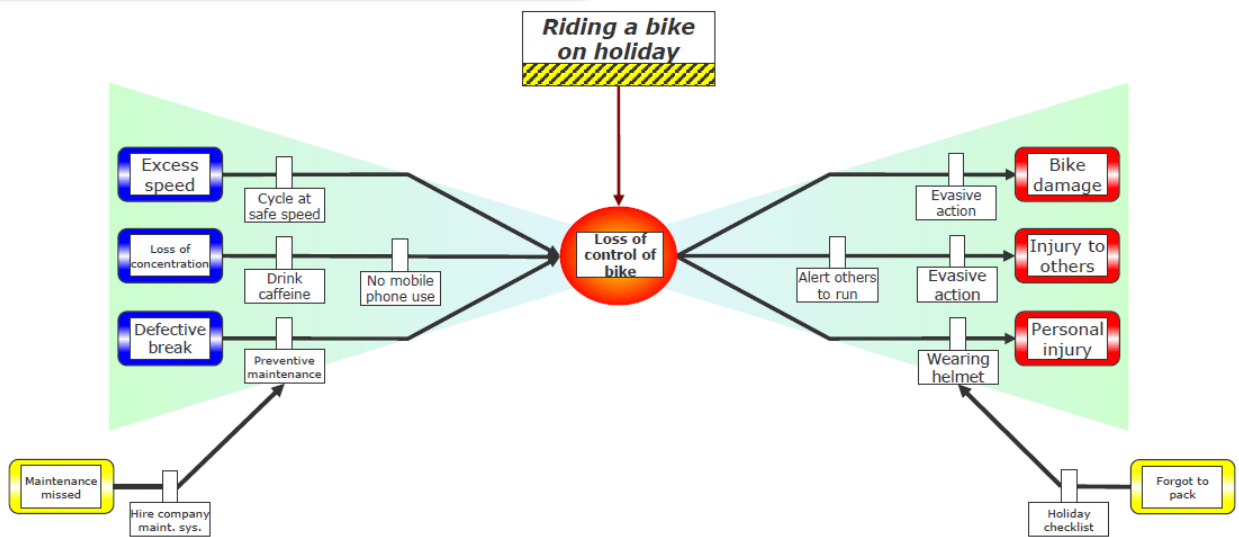
Όπως παρουσιάζεται παρακάτω το κύριο-βασικό συμβάν παρουσιάζεται με τη μορφή κύκλου στο κέντρο του διαγράμματος, με αριστερά να βρίσκεται το δέντρο σφαλμάτων και δεξιά το δέντρο συνέπειων, στο καθένα από τα οποία μπαίνουν από την μεριά του μελετητή τα αντίστοιχα εμπόδια (barriers) , είτε προκειμένου να αποφευχθεί το βασικό συμβάν (αποτρεπτικά – preventive barriers) είτε προκειμένου να μειωθούν οι συνέπειες από τη στιγμή που έχει προκληθεί το ατύχημα (ανάκαμψης – recovery barriers). Στις απειλές ( γεγονότα εκκίνησης που μπορούν μεμονωμένα ή συνδυαστικά να οδηγήσουν σε κίνδυνο) συμπεριλαμβάνει ανάμεσα σε άλλα :

- Επικίνδυνη ατμόσφαιρα ( αέρια, επίπεδα οξυγόνου, αναθυμιάσεις κ.α.)
- Εύφλεκτη ατμόσφαιρα – φωτιά – Έκρηξη
- Ανεπαρκής εμπειρία – προγραμματισμός εργασίας
- Χρήση εργαλείων- Ενέργειας
- Ηλεκτρισμός
- Ακτινοβολία
- Θόρυβος – Δόνηση
- Κόπωση
- Υψηλή θερμοκρασία – Υγρασία

Στις συνέπειες (αποτέλεσμα ενός ατυχήματος που οδηγεί σε βλάβη- απώλεια) μπορεί να συμπεριλαμβάνει ανάμεσα σε άλλα :

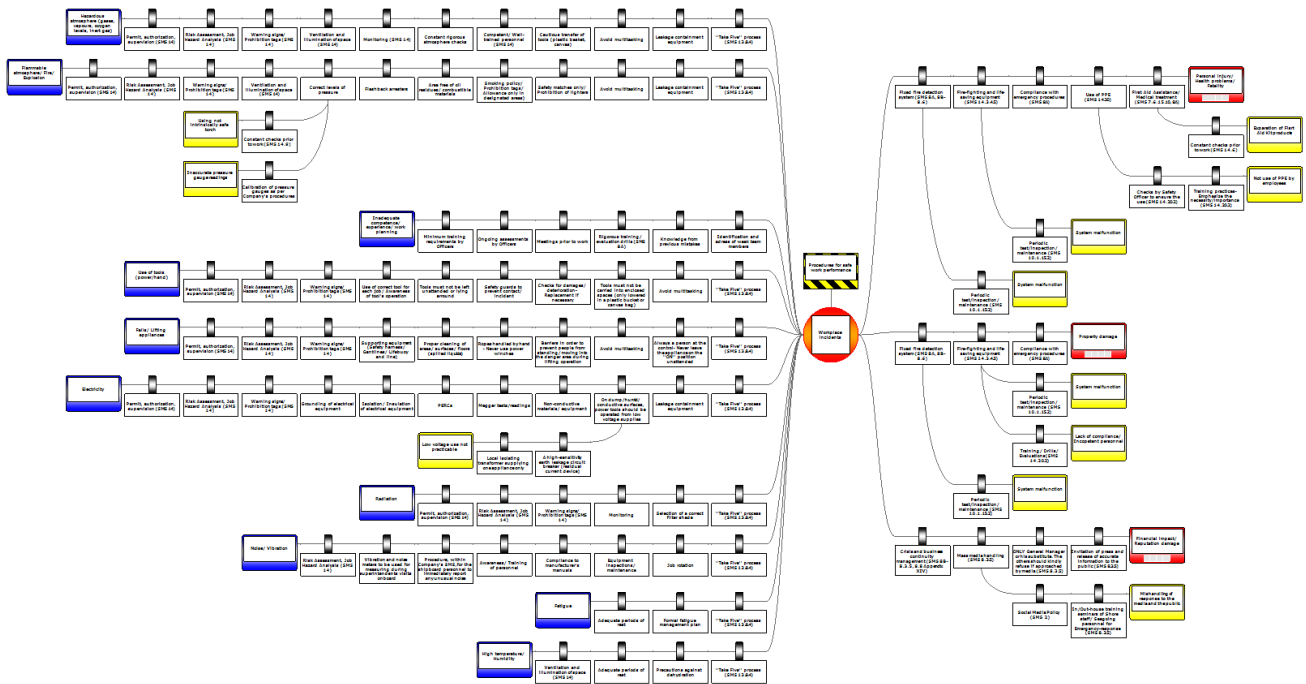
- Τραυματισμός – προβλήματα υγείας – θάνατος
- Βλάβη – καταστροφή περιουσίας
- Οικονομικές επιπτώσεις- Ζημία στη φήμη

A visual communication tool which tells the story of a risk event and how the risk is managed



Εικόνα 2. 3 Μέθοδος Bow Tie (Pantheon Tankers Ltd.)

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι πολλά αφού συνδυάζει σε ένα διάγραμμα το πλήρες φάσμα των γενεσιουργών αιτιών, παρουσιάζει με σαφήνεια τις διατάξεις ασφαλείας και μετριασμού των ενδεχόμενων συνεπειών, τον πραγματικό τρόπο σύνδεσης και κλιμάκωσης αιτιών και συνεπειών και καθορίζει τις πιθανές εκβάσεις των ενδεχόμενων συνεπειών.



Εικόνα 2. 4 Αναλυτικό Διάγραμμα Bow Tie (Pantheon Tankers Ltd.)

### 3.5. Ανάλυση Κινδύνων (Risk analysis) και Εκτίμηση επικινδυνότητας (Risk assessment)

Οι κίνδυνοι μπορούν να αξιολογηθούν σε επίπεδο οργανωτικό, σε επίπεδο τμημάτων, σε έργα ή προγράμματα, σε επιμέρους δραστηριότητες ή σε συγκεκριμένους κινδύνους, με διάφορα εργαλεία και τεχνικές που θα να είναι κατάλληλα στις διάφορες καταστάσεις.

Η αξιολόγηση του κινδύνου, η οποία προέκυψε ως ανάγκη από τα ατυχήματα των τελευταίων ετών μερικά εκ των οποίων ήταν καταστροφικά, είναι η συνολική διαδικασία του προσδιορισμού του κινδύνου, της ανάλυσης και της εκτίμησής του. Παρέχει την κατανόηση των κινδύνων, τα αίτιά τους, τις συνέπειες, τις πιθανότητες τους και στοιχεία για αποφάσεις σχετικά με :

- κατά πόσον θα πρέπει να αναληφθεί μια δραστηριότητα
- πώς να μεγιστοποιηθούν οι ευκαιρίες ανάπτυξης
- πότε οι κίνδυνοι πρέπει να αντιμετωπίζονται
- την επιλογή μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων με διαφορετικούς κινδύνους
- την πιο κατάλληλη επιλογή των στρατηγικών αντιμετώπισης κινδύνου που θα αποφέρουν αναπόφευκτους κινδύνους σε ανεκτό επίπεδο.

Η εκτίμηση επικινδυνότητας (risk assessment) παρέχει στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων μία βελτιωμένη κατανόηση των κινδύνων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την επίτευξη των στόχων, καθώς και την επάρκεια και την αποτελεσματικότητα των ελέγχων που ήδη εφαρμόζονται. Η εκτίμηση επικινδυνότητας αποτελεί ένα εργαλείο αξιολόγησης του μεγέθους του κινδύνου. Αυτό δημιουργεί τη βάση στη λήψη αποφάσεων σχετικά με την πλέον κατάλληλη προσέγγιση που πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση των κινδύνων, ενώ τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του κινδύνου συμβάλλουν αποτελεσματικά στη λήψη αποφάσεων των εμπλεκόμενων μερών σε μια διαδικασία.

Ο ρόλος της εκτίμησης επικινδυνότητας και της διαχείρισης επικινδυνότητας στη λήψη αποφάσεων άρχισε να γίνεται αποδεκτός μόλις στη δεκαετία του '80 και αυτό όταν ξεκίνησε να αναγνωρίζεται το πρόβλημα των τοξικών αποβλήτων και να αναζητούνται λύσεις.

Ως εκ τούτου η εκτίμηση της επικινδυνότητας είναι η συνολική διαδικασία στον προσδιορισμό του κινδύνου (risk identification), την ανάλυση του κινδύνου (risk analysis) και την αξιολόγησή του (risk evaluation)

Σκοπός της εκτίμησης της επικινδυνότητας είναι, η παροχή τεκμηριωμένων πληροφοριών και η ανάλυση ώστε να παρθούν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τον τρόπο που θα αντιμετωπιστούν ιδιαίτερα επικίνδυνες καταστάσεις καθώς και η λήψη της κατάλληλης απόφασης μεταξύ διαφόρων εναλλακτικών λύσεων. Ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζεται η διαδικασία εξαρτάται όχι μόνο από το πλαίσιο των διεργασιών της διαχείρισης κινδύνων, αλλά και από τις μεθόδους και τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στη διεξαγωγή της εκτίμησής τους.

Μερικά από τα κύρια οφέλη από την εκτέλεση της εκτίμησης της επικινδυνότητας, όπως αναφέρονται στο IEC (International Electrotechnical Commission)- Final Draft International Standard, 2009, είναι:

- Η κατανόηση του κινδύνου και των πιθανών επιπτώσεων σε συστήματα ή αντικείμενα
- Η παροχή πληροφοριών για τους ιθύνοντες
- Η συμβολή στην κατανόηση των κινδύνων, προκειμένου να βοηθήσει την επιλογή του τρόπου αντιμετώπισης
- Ο προσδιορισμός σημαντικών συντελεστών σε κινδύνους και των αδύναμων κρίκων σε συστήματα και οργανισμούς
- Η σύγκριση των κινδύνων σε εναλλακτικά συστήματα, τεχνολογίες ή προσεγγίσεις
- Η παροχή βοήθειας στον καθορισμό των προτεραιοτήτων
- Οι κίνδυνοι στην επικοινωνία και σε αβεβαιότητες
- Η συμβολή στην πρόληψη συμβάντων που βασίζονται στη διερεύνηση μετά το συμβάν
- Η επιλογή των διαφόρων μορφών αντιμετώπισης του κινδύνου
- Η τήρηση στις απαιτήσεις των ρυθμιστικών αρχών
- Η παροχή πληροφοριών που θα βοηθήσουν στο να αξιολογηθεί κατά πόσον θα πρέπει να γίνει αποδεκτός ο κίνδυνος, σε σύγκριση με προκαθορισμένα κριτήρια
- Η αξιολόγηση των κινδύνων για τη διάθεση ενός συστήματος μετά το τέλος του κύκλου ζωής του.

Βέβαια η εκτίμηση της επικινδυνότητας δεν είναι αυτοτελής διαδικασία, ειδικά σε έργα όπως η κατασκευή και διαχείριση ΣΑΔ-ΑΠΕ. Για μια ολοκληρωμένη διαδικασία θα πρέπει να ενσωματωθεί πλήρως σε όλες τις άλλες συνιστώσες της διαδικασίας διαχείρισης των κινδύνων (risk management process). Οι συνιστώσες αυτές είναι:

- Η *Επικοινωνία και διαβούλευση* με τους ενδιαφερόμενους φορείς. Η συμμετοχή των φορέων στη διαδικασία διαχείρισης κινδύνου βοηθάει στην ανάπτυξη ενός επικοινωνιακού σχεδίου, με

καθορισμό του κατάλληλου πλαισίου, εξασφαλίζοντας ότι οι διαφορετικές απόψεις λαμβάνονται υπόψη, οι κίνδυνοι εντοπίζονται σε ικανοποιητικό βαθμό και έχει εξασφαλιστεί η έγκριση και η υποστήριξη του σχεδίου. Η επικοινωνία και διαβούλευση διασυνδέει την αξιολόγηση των κινδύνων με άλλους κλάδους της διαχείρισης συμπεριλαμβάνοντας στη διαδικασία τις αλλαγές των διαχειριστών, την ποικιλία των προγραμμάτων και των έργων καθώς και την οικονομική διαχείριση.

- Η *Θέσπιση του πλαισίου*. Καθορίζει τις βασικές παραμέτρους για τη διαχείριση των κινδύνων και καθορίζει το πεδίο εφαρμογής και τα κριτήρια για το υπόλοιπο της διαδικασίας. Η Θέσπιση πλαισίου περιλαμβάνει την εξέταση των εσωτερικών και εξωτερικών παραμέτρων που σχετίζονται με το φορέα, την επιχείρηση ή και τη δομή ως σύνολο, καθώς και το ιστορικό των ιδιαίτερων κινδύνων που αξιολογούνται. Κατά τον καθορισμό του πλαισίου, το αντικείμενο των κινδύνων που αξιολογούνται, τα κριτήρια του κινδύνου και το πρόγραμμα αξιολόγησης καθορίζονται και συμφωνούνται.

- Η *αντιμετώπιση- διαχείρισης κινδύνου*, περιλαμβάνει τις διεργασίες αντιμετώπισης κινδύνου που θα εφαρμοστούν όταν έχει ολοκληρωθεί μια αξιολόγηση των κινδύνων. Οι τρόποι αντιμετώπισης κινδύνου ενδέχεται να αντιπροσωπεύονται από την υλοποίηση μιας ή περισσότερων εναλλακτικών λύσεων, οι οποίες όμως θα είναι κοινής αποδοχής και θα μεταβάλλουν (μειώνουν) την πιθανότητα της εμφάνισης ή των αποτελεσμάτων του κινδύνου ή και τα δύο μαζί. Αυτό ακολουθείται από μια κυκλική διαδικασία της επαναξιολόγησης το νέο επίπεδο κινδύνου, με σκοπό τον προσδιορισμό της *ανεκτικότητας (tolerability)* βάσει των κριτηρίων του που είχαν οριστεί στο προηγούμενο στάδιο, προκειμένου να αποφασιστεί εάν απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία για την εύρεση νέων εναλλακτικών λύσεων.

- Η *Παρακολούθηση και αναθεώρηση*, με την οποία οι κίνδυνοι και οι έλεγχοι θα πρέπει να παρακολουθούνται και να αναθεωρούνται σε τακτική βάση ώστε:

1. να επαληθεύεται ότι οι υποθέσεις σχετικά με τους κινδύνους εξακολουθούν να ισχύουν
2. οι παραδοχές στις οποίες βασίζεται η εκτίμηση των κινδύνων συμπεριλαμβανομένου του εξωτερικού και εσωτερικού πλαισίου εξακολουθούν να ισχύουν
3. τα αναμενόμενα αποτελέσματα να επιτυγχάνονται
4. τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των κινδύνων να συνάδουν με την πραγματική εμπειρία
5. οι τεχνικές εκτίμησης του κινδύνου να εφαρμόζονται σωστά και οι αποφάσεις που υλοποιούνται για την αντιμετώπιση του κινδύνου να είναι αποτελεσματικές.

### **3.6. Νομοθεσία**

Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται ανεμογεννήτριες μεγαλύτερες σε μέγεθος και αντιστοίχως σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό σημαίνει πως κάθε ανεμογεννήτρια είναι πηγή μεγαλύτερων οικονομικών οφελών, και η άμβλυση του χρόνου διακοπής λειτουργίας της καθίσταται πολύ σοβαρό ζήτημα. Επιπλέον τα μεγαλύτερα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται είναι ακριβότερα στην επισκευή και την αντικατάστασή τους. Επιπροσθέτως, όλο και περισσότερες μονάδες εγκαθίστανται παράκτια, έτσι η παρακολούθηση και η εποπτεία από απόσταση είναι απαραίτητη. Τέλος, οι ανεμογεννήτριες καταλαμβάνουν αυξανόμενο ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας, έτσι η ομαλή λειτουργία τους καθίσταται μεγαλύτερης αξίας. Με δεδομένα όλα τα παραπάνω είναι προφανής η ανάγκη που προκύπτει και σε νομοθετικό επίπεδο για τις συνθήκες που πρέπει να τηρούνται στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τη στιγμή που μιλάμε για μεγάλες

εγκαταστάσεις όπου οι διαδικασίες εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης μπορεί να ενέχουν μεγάλους κινδύνους για τους εμπλεκόμενους.

Σύμφωνα με το νόμο 3850 του 2010 για την υγεία και ασφάλεια των εργαζομένων και στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, υπεράκτιες κα μη, θα πρέπει να έχει γίνει μελέτη από καταρτισμένο ειδικό ασφαλείας για της πηγές κινδύνου που υπάρχουν στην εκάστοτε εγκατάσταση. Παρακάτω παρατίθενται αυτούσια τα κεφάλαια Δ και Ε που αφορούν στις Κτιριολογικές Απαιτήσεις και στην Πρόληψη Επαγγελματικού Κινδύνου από Μηχανές όπως καταγράφονται στο Φύλλο Εφημερίδας της Κυβέρνησης 84 / Ιούνιος 2010.

### **Κεφάλαιο Δ: Πρόληψη Επαγγελματικού Κινδύνου**

#### *Άρθρο 29 :Σχεδιασμός χώρων εργασίας*

1. Η μελέτη των χώρων εργασίας πρέπει να αποβλέπει στη δημιουργία ασφαλούς και υγιεινού περιβάλλοντος και ακώλυτης ροής της εργασίας. Οι διαστάσεις των χώρων εργασίας πρέπει να είναι ανάλογες με το είδος της παραγωγικής διαδικασίας και τον αριθμό των εργαζομένων.
2. Σε κάθε θέση εργασίας πρέπει να υπολογίζεται ελεύθερη επιφάνεια ώστε ο εργαζόμενος να μπορεί να κινείται ανεμπόδιστα κατά την εκτέλεση της εργασίας του.
3. Σε θέσεις εργασίας με αυξημένο κίνδυνο ατυχήματος, που δεν εποπτεύονται και που βρίσκονται έξω από το οπτικό ή το ακουστικό πεδίο των υπόλοιπων θέσεων εργασίας, κατά την κρίση του τεχνικού ασφαλείας, πρέπει να υπάρχουν συστήματα με τα οποία, σε περίπτωση κινδύνου, να μπορούν να ειδοποιηθούν πρόσωπα για παροχή βοήθειας.
4. Χώροι εργασίας, που δεν είναι κλειστοί από κάθε πλευρά, επιτρέπονται μόνο εφόσον αυτό είναι απαραίτητο για λόγους λειτουργίας ή παραγωγής. Το ίδιο ισχύει και για χώρους εργασίας, όπου οι πύλες ή οι θύρες οδηγούν άμεσα στην ύπαιθρο και παραμένουν συνέχεια ανοιχτές. Οι θέσεις εργασίας των χώρων εργασίας που δεν είναι κλειστοί από κάθε πλευρά ή εκείνων που παραμένουν συνέχεια ανοιχτοί διευθετούνται έτσι, ώστε οι εργαζόμενοι να προφυλάσσονται από τις καιρικές συνθήκες.
5. Με προεδρικά διατάγματα, που εκδίδονται με πρόταση του Υπουργού Εργασίας και Κοινωνικής Ασφάλισης και του κατά περίπτωση συναρμόδιου Υπουργού, ύστερα από γνώμη του Σ.Υ.Α.Ε., ορίζονται:
  - α) το ελάχιστο ύψος των χώρων εργασίας, σε συνάρτηση με την επιφάνεια τους, ο ελάχιστος απαιτούμενος όγκος κατά εργαζόμενο και εργασία, η ελάχιστη ελεύθερη επιφάνεια κίνησης στη θέση εργασίας ή γύρω από αυτή, καθώς και ο απαιτούμενος εξοπλισμός και εφοδιασμός των χώρων εργασίας για την εφαρμογή των διατάξεων του παρόντος,
  - β) οι απαιτούμενοι χώροι υγιεινής, ενδίαιτησης και παροχής ιατρικών υπηρεσιών και
  - γ) οι κατασκευαστικές απαιτήσεις των διαφόρων στοιχείων των κτιριακών εγκαταστάσεων, ώστε να αποτρέπεται ο επαγγελματικός κίνδυνος που προέρχεται από αυτές.



### *Άρθρο 30: Σχέδιο διαφυγής και διάσωσης – Οδός διάσωσης και έξοδοι κινδύνου*

1. Ο εργοδότης οφείλει να καταρτίσει σχέδιο διαφυγής και διάσωσης από τους χώρους εργασίας, εφόσον απαιτείται από τη θέση, την έκταση και το είδος της εκμετάλλευσης. Το σχέδιο διαφυγής και διάσωσης πρέπει να αναρτάται σε κατάλληλες θέσεις στους χώρους εργασίας. Το σχέδιο πρέπει να δοκιμάζεται τακτικά, με ασκήσεις ή άλλο πρόσφορο τρόπο, ώστε σε περίπτωση κινδύνου ή καταστροφής να μπορούν οι εργαζόμενοι να διασωθούν.
2. Η χάραξη, οι διαστάσεις και η διευθέτηση των οδών διάσωσης και των εξόδων κινδύνου πρέπει να είναι ανάλογες με τις εγκαταστάσεις, τη χρήση και την επιφάνεια των χώρων εργασίας, καθώς και με τον αριθμό των εργαζομένων. Οι οδοί διάσωσης επισημαίνονται κατάλληλα και πρέπει να οδηγούν σε ελεύθερο ή ασφαλή χώρο από το συντομότερο δυνατό δρόμο.

### *Άρθρο 31 :Συντήρηση – Έλεγχος*

1. Ο εργοδότης οφείλει να συντηρεί τους τόπους εργασίας και να μεριμνά για την κατά το δυνατό άμεση αποκατάσταση των ελλείψεων, που έχουν σχέση με την υγεία και ασφάλεια των εργαζομένων. Αν από τις ελλείψεις αυτές προκαλείται άμεσος και σοβαρός κίνδυνος για την υγεία και ασφάλεια των εργαζομένων, πρέπει να διακόπτεται αμέσως η εργασία, στο σημείο που εμφανίζονται οι ελλείψεις, μέχρι την αποκατάστασή τους.
2. Τα συστήματα ασφάλειας για την πρόληψη και την άρση του επαγγελματικού κινδύνου πρέπει να συντηρούνται τακτικά και να ελέγχονται για την ικανότητα λειτουργίας τους, τουλάχιστο μια φορά το εξάμηνο, εκτός αν ορίζεται διαφορετικά από τις ισχύουσες διατάξεις ή επιβάλλεται από τους κανόνες της επιστήμης και της τεχνικής εμπειρίας. Η χρονολογία συντήρησης και ελέγχου καθώς και οι σχετικές παρατηρήσεις πρέπει να καταχωρούνται ενυπόγραφα από τον αρμόδιο, που έκανε τη συντήρηση ή τον έλεγχο, σε ειδικό βιβλίο.
3. Οι εγκαταστάσεις και τα μέσα παροχής πρώτων βοηθειών πρέπει να ελέγχονται τακτικά με μέριμνα του εργοδότη για την πληρότητα και την ικανότητα χρησιμοποίησής τους.

### *Άρθρο 32 :Ανεμπόδιση κυκλοφορία στους χώρους εργασίας*

1. Οι διάδρομοι κυκλοφορίας πρέπει να διατηρούνται συνεχώς ελεύθεροι. Ιδιαίτερα δεν πρέπει να κλειδώνονται, να φράζονται ή να μειώνεται η δυνατότητα διάκρισης των θυρών, που βρίσκονται στην πορεία των οδών διάσωσης.
2. Στις θέσεις εργασίας επιτρέπεται η διατήρηση υλικών ή ουσιών μόνο σε τέτοιες ποσότητες, ώστε να μη δημιουργούνται κίνδυνοι από αυτές.
3. Στους χώρους υγιεινής, ενδιαίτησης και πρώτων βοηθειών δεν επιτρέπεται η διαφύλαξη υλικών και ουσιών, που δεν ανήκουν στο λειτουργικό εξοπλισμό τους.

### *Άρθρο 33: Κριτήρια διαμόρφωσης των χώρων και θέσεων εργασίας*

#### 1. Αερισμός – Εξαερισμός

Στους χώρους εργασίας ο αέρας πρέπει να ανανεώνεται κατάλληλα, ανάλογα με τη φύση εργασίας και τη σωματική προσπάθεια που απαιτείται για την εκτέλεσή της (καθιστική εργασία, ελαφρά). Σε

περίπτωση που η ανανέωση επιτυγχάνεται με τεχνητά μέσα ή συστήματα (εξαερισμός – κλιματισμός), τότε αυτά πρέπει να λειτουργούν συνεχώς. Κάθε βλάβη του συστήματος πρέπει να επισημαίνεται κατάλληλα από αυτόματη διάταξη, ενσωματωμένη στο σύστημα ή το μέσο.

## 2. Θερμοκρασία

Οι χώροι εργασίας, καθώς και οι βοηθητικοί χώροι σε όλη τη διάρκεια του ωραρίου εργασίας πρέπει να έχουν θερμοκρασία ανάλογη με τη φύση της εργασίας και τη σωματική προσπάθεια που απαιτείται για την εκτέλεσή της. Περιοχές θέσεων εργασίας που βρίσκονται υπό την επίδραση υψηλών θερμοκρασιών που εκλύονται από τις εγκαταστάσεις, πρέπει να ψύχονται μέχρι μια ανεκτή θερμοκρασία, όσο αυτό είναι πρακτικά δυνατό.

## 3. Φωτισμός

α) Οι χώροι εργασίας, διαλείμματος και πρώτων βοηθειών πρέπει να έχουν άμεση οπτική επαφή με εξωτερικό χώρο, εκτός αν ορίζεται διαφορετικά από ειδική διάταξη. Εξαιρούνται οι:

1) χώροι εργασίας, στους οποίους τεχνικοί λόγοι παραγωγής δεν επιτρέπουν άμεση οπτική επαφή με τον εξωτερικό χώρο και

2) χώροι εργασίας, με επιφάνεια κάτοψης πάνω από 2.000 τετραγωνικά μέτρα, εφόσον υπάρχουν επαρκή διαφανή ανοίγματα στην οροφή.

β) Οι εγκαταστάσεις φωτισμού των χώρων εργασίας και διαδρόμων κυκλοφορίας κατασκευάζονται ή διευθετούνται με τρόπο, ώστε να μη δημιουργούνται κίνδυνοι για την ασφάλεια και την υγεία των εργαζομένων. Ειδικότερα ο τεχνητός φωτισμός πρέπει να είναι ανάλογος με το είδος και τη φύση της εργασίας, να έχει χαρακτηριστικά φάσματος παραπλήσια με του φυσικού φωτισμού, να ελαχιστοποιεί τη θάμβωση, να μη δημιουργεί αντιθέσεις και εναλλαγές φωτεινότητας και να διαχέεται, διευθύνεται και κατανέμεται σωστά.

γ) Οι ανάγκες σε φωτισμό γενικό ή τοπικό ή συνδυασμένο γενικό και τοπικό, καθώς και η ένταση του φωτισμού εξαρτώνται από το είδος και τη φύση της εργασίας και την οπτική προσπάθεια που απαιτεί.

δ) Αν από το είδος απασχόλησης των εργαζομένων και τα άλλα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της επιχείρησης είναι δυνατό να προκύψουν κίνδυνοι ατυχήματος από απρόοπτη διακοπή του γενικού φωτισμού, πρέπει να υπάρχει εφεδρικός φωτισμός ασφάλειας. Η ένταση του εφεδρικού φωτισμού είναι το 1/100 της έντασης του γενικού και οπωσδήποτε όχι μικρότερη από το 1 λουξ (lux).

ε) Οι διακόπτες του τεχνητού φωτισμού πρέπει να είναι εύκολα προσιτοί, ακόμα και στο σκοτάδι και να είναι τοποθετημένοι κοντά στις εισόδους και εξόδους, καθώς και κατά μήκος των διαδρόμων κυκλοφορίας και των θυρίδων προσπέλασης.

## **Κεφάλαιο Ε' : Πρόληψη του Επαγγελματικού Κινδύνου από Μηχανές**

*Άρθρο 34 : Υποχρεώσεις κατασκευαστών, εισαγωγέων και προμηθευτών μηχανών, εργαλείων και συσκευών*

Οι κατασκευαστές, εισαγωγείς και προμηθευτές:

- α) μεριμνούν ώστε τα μηχανήματα, εργαλεία, συσκευές, τα οποία παράγουν, εισάγουν ή διαθέτουν στο εμπόριο, να είναι σύμφωνα με τις ισχύουσες κάθε φορά προδιαγραφές υγείας και ασφάλειας και τους κανόνες της τεχνικής κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή τους και
- β) χορηγούν τις απαιτούμενες γραπτές οδηγίες χρήσης και συντήρησης, επισημαίνοντας τους πιθανούς κινδύνους από τη χρήση των προϊόντων τους.

*Άρθρο 35 : Προστασία από μηχανικούς και ηλεκτρικούς κινδύνους*

1. Μηχανές, συσκευές και εργαλεία με την έννοια του παρόντος είναι τα αντικείμενα που χρησιμοποιούνται στους τόπους εργασίας και που κινούνται με οποιαδήποτε άλλη ενέργεια, εκτός από την ανθρώπινη.
2. Οι μηχανές, συσκευές και εργαλεία πρέπει να έχουν κατασκευασθεί έτσι, ώστε με την ορθή τοποθέτηση και χρήση τους να μη δημιουργούν κινδύνους για τους εργαζομένους.
3. Οι μηχανές, συσκευές και εργαλεία πρέπει να είναι κατασκευασμένα έτσι, ώστε τα κινούμενα στοιχεία τους, που είναι δυνατό να δημιουργήσουν κινδύνους για τους εργαζομένους, να μην είναι προσιτά ή να αποκλείεται τυχαία επαφή μαζί τους στο μέτρο που αυτό δεν παρακωλύει τη λειτουργία και χρήση τους.
4. Αν δεν είναι δυνατό να αποτραπεί η ύπαρξη εξωτερικών και προσιτών στους εργαζομένους περιστρεφόμενων στοιχείων ή στοιχείων μετάδοσης της κίνησης, πρέπει να λαμβάνονται ιδιαίτερα μέτρα προστασίας των εργαζομένων από αυτά.
5. Στις μηχανές, συσκευές και εργαλεία και στο μέτρο που δεν παρακωλύεται ο σκοπός χρήσης τους, πρέπει να αποφεύγονται οι αιχμηρές γωνίες και ακμές, καθώς και οι τραχείες επιφάνειες.
6. Αν κατά τη λειτουργία των μηχανών, συσκευών και εργαλείων είναι δυνατό να εκσφενδονισθούν στοιχεία ή τεμάχιά τους ή υποπαράγωγα της λειτουργίας τους (ρινίσματα, σκόνες ή άλλα) και στο μέτρο που δημιουργούνται κίνδυνοι για τους εργαζομένους, πρέπει να λαμβάνονται ιδιαίτερα προστατευτικά μέτρα, όπως προστατευτικές καλύπτρες, εγκαταστάσεις αναρρόφησης και άλλα.
7. Οι ηλεκτρικές μηχανές, συσκευές και εργαλεία πρέπει να έχουν κατασκευασθεί έτσι, ώστε κατά τη χρήση τους να υπάρχει επαρκής προστασία από τους κινδύνους της ηλεκτρικής ενέργειας.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ Γ΄**

### **Βιβλία**

Kichsteiger C., Christou M.D., Papadakis A.G.(1998), *Risk Assessment and Management in the Context of the Seveso II Directive*, ELSEVIER

Γεωργιάδου Ε. (2008), *ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΑΙΜΑΚΑΣ*, Αθήνα: Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας

Δρίβας Σ., Ζορμπά Κ., Κουκουλάκη Θ. (2000), *Μεθοδολογικός οδηγός για την εκτίμηση και πρόληψη του επαγγελματικού κινδύνου*, Αθήνα: Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας

### **Άρθρα σε επιστημονικό περιοδικό**

Jalali L., Bigelow P., McColl S., Majowicz S., Gohari M., Waterhouse R. (2016), Changes in quality of life and perceptions of general health before and after operation of wind turbines. *Environmental pollution*. 216. 608-615.

Jin X., Ju W., Zhang Z., Guo L., Yang X. (2016), System safety analysis of large wind turbines. *Renewable and sustainable energy reviews*. 56. 1293-1307.

Kang J., Sun L., Soares C.G (2018), Fault Tree Analysis of floating wind turbines. *Renewable Energy*. xxx. 1-13.

Mentes A. και Turan O. (2018), A new resilient risk management model for Offshore Wind Turbine maintenance, *Safety Science*, Elsevier.

Ribrant J. και Bertling L.M. (2017), Survey of Failures in Wind Power Systems with Focus on Swedish Wind Power Plants During 1997–2005, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol 22:1, 167-184.

Wagenaar W. A. και Van der Schrier J. (1997), Accident Analysis -The goal and how to det there. *Safety science*, 26. 25-33.

Wymore M.L., Van Dam J. E., Ceyalan H., Qiao D. (2015), A survey of health monitoring systems for wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 52. 977-985.

### **Επιστημονικές εργασίες**

Δαγκίνης Ι.(2018), *Μεθοδολογικό πλαίσιο αξιοπιστίας και αποδοτικότητας θαλασσίων κατασκευών για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*, διδακτορική εργασία. Χίος

Καλπακίδης Α. (2013), *Μελέτη Δυνατοτήτων και προοπτικών εγκατάστασης υπεράκτιων αιολικών πάρκων στην Ελλάδα*, Διπλωματική εργασία. Καβάλα

Καραχάλου (2010) , *Τεχνολογίες Αφαλάτωσης και Προοπτικές Εφαρμογής στον Ελληνικό χώρο*, μεταπτυχιακή εργασία. Αθήνα

Μητσάκου Αι. (2018), *Τεχνοοικονομική ανάλυση εγκατάστασης υπεράκτιων αιολικών πάρκων*, διπλωματική εργασία. Χανιά

Φραγκιαδάκης Ν. (2015) , *Ανάπτυξη και εφαρμογή μεθοδολογίας εκτίμησης διακινδύνευσης σε ναυπηγεία*, διδακτορική διατριβή. Αθήνα

### **Μελέτες – Έργα**

E-ARION A.E.B.E, «*Εκπόνηση Μελέτης Αντιμετώπισης Κρίσεων*» στα πλαίσια του Έργου *Ασφαλές Διασυννοριακό Λιμενικό Σύστημα (Cross – border Safe port – Network)*» και ακρόνυμο «*SAFEPORT*» του Προγράμματος *Εδαφικής Συνεργασίας Ελλάδα – Κύπρος 2007 – 2013*, 2013, Αθήνα

### **Παρουσιάσεις**

PANTHEON TANKERS MANAGEMENT LTD, *Bow Tie Analysis – Workplace Incidents* , 2018, Αθήνα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ΄

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ερευνών που έχουν γίνει σε σχέση με τους κινδύνους που μπορεί να προκύψουν κατά τη εγκατάσταση, λειτουργία και συντήρηση των αιολικών πάρκων τόσο για τους άμεσα εμπλεκόμενους εργαζόμενους όσο και για του κατοίκους αλλά και για το περιβάλλον. Επίσης αναφέρονται τα βασικότερα σημεία και οι συνθήκες που μπορεί να αστοχήσει μια ανεμογεννήτρια και να προκύψουν οι παραπάνω κίνδυνοι. Το συγκεκριμένο ζήτημα λόγω του σύγχρονου του χαρακτήρα του δεν μετράει πολλά χρόνια έρευνας. Οι περισσότεροι ερευνητές αναφέρουν αυτή την έλλειψη που υπάρχει από την άποψη των αποτελεσμάτων ωστόσο τα στοιχεία που υπάρχουν μέχρι στιγμής από διαφορετικές έρευνες φαίνεται να συγκλίνουν.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η αιολική ενέργεια παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη βελτίωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και στη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας. Η αιολική ενέργεια είναι η πιο σταθερά αναπτυσσόμενη ανανεώσιμη μορφή ενέργειας. Για τις υπεράκτιες αιολικές εγκαταστάσεις, όπου λειτουργούν υπό αντίξοες καιρικές συνθήκες, είναι απαραίτητη η χρήση ασφαλέστερων και πιο αξιόπιστων ανεμογεννητριών αφού τόσο η συντήρηση όσο και τα κόστη αποκατάστασης των βλαβών είναι σημαντικά υψηλότερα σε σχέση με τις εγκαταστάσεις ξηράς.

Παρόλο που η χρήση των ανεμογεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αυξάνεται σε παγκόσμιο επίπεδο με πολύ γρήγορους ρυθμούς, και σημαντικές επενδύσεις γίνονται στον τομέα της αιολικής ενέργειας, υπάρχει ένα σεβαστό ερευνητικό κενό στην αναγνώριση και την ανάπτυξη του καταλληλότερου μοντέλου εκτίμησης επικινδυνότητας και αξιολόγησης της ασφάλειας, όσον αφορά στη λειτουργία και στη συντήρηση αιολικών συστημάτων. Στο παρόν κεφάλαιο, θα γίνει αναφορά σε έρευνες που αφορούν στις πιθανές βλάβες και τις αστοχίες ενός τέτοιου συστήματος, με πιθανές επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή και ασφάλεια, καθώς και στο κομμάτι της αποδοχής από τις τοπικές κοινωνίες. Τέλος θα γίνει μια αναφορά στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα τέτοιων εγκαταστάσεων.

### **4.1. Αιτίες πρόκλησής ατυχήματος σε ένα σύστημα αιολικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας**

Η ανεμογεννήτρια είναι ένα σύστημα που αξιοποιεί την κινητική ενέργεια του ανέμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αποτελείται τουλάχιστον από 8000 εξαρτήματα. Είναι προφανές ότι σε μια τόσο σύνθετη κατασκευή, είναι πολύ πιθανή η ύπαρξη μια αστοχίας σε κάποιο υποσύστημά της.

Όπως είναι αναμενόμενο, όσο περισσότερες ανεμογεννήτριες κατασκευάζονται και εγκαθίστανται, τόσο περισσότερα ατυχήματα θα καταγράφονται κατά τη λειτουργία τους. Χαρακτηριστικά, την περίοδο 1998 έως 2002 (CWIF) καταγράφονταν κατά μέσο όρο 33 ατυχήματα το χρόνο, ενώ την περίοδο 2013 έως 2017 έχουν καταγραφεί 167 ατυχήματα. Σύμφωνα με τα μέχρι τώρα δεδομένα, το 2017 αναφέρθηκαν 9 θανατηφόρα ατυχήματα. Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ του πλήθους των ατυχημάτων ανά κατηγορία ατυχήματος για την προηγούμενη δεκαετία.

Πίνακας 4. 1 Κατηγορίες ατυχημάτων και πλήθος ατυχημάτων ανά κατηγορία

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Σύνολο Ατυχημάτων	125	131	132	120	170	168	174	164	154	165	182
Θανατηφόρα Ατυχήματα	5	11	8	8	15	16	4	2	7	6	9
Τραυματισμός Ανθρώπινη Υγεία	16	16	9	14	12	15	9	8	2	10	13
Βλάβη Πτερυγών	-	-	-	-	-	6	27	19	13	17	36
Πυρκαγιά	23	20	26	20	20	28	35	31	19	21	16
Δομική αστοχία	21	17	18	13	20	19	24	19	19	28	24
Πτώση Πάγου	13	9	16	9	13	10	14	13	12	11	14
Λόγω μεταφοράς	0	3	4	1	1	1	0	1	1	3	1
Περιβαλλοντική Καταστροφή	19	10	11	11	24	17	12	17	14	15	19
Άλλα	10	21	13	19	20	20	16	21	18	22	16
	18	24	27	25	43	36	33	33	42	32	34

*Ανθρώπινη υγεία.* Αφορά σε καταγεγραμμένα περιστατικά, ασθενείας και διάφορες άλλες επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία, λόγω του θορύβου που προκαλείται από τις ανεμογεννήτριες, τις επισκιάσεις κλπ. Τέτοιου είδους περιστατικά αυξάνονται όσο αυξάνονται οι εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες, σε ακατάλληλες τοποθεσίες κοντά σε κατοικημένες περιοχές.

*Βλάβη πτερυγών.* Η συγκεκριμένη κατηγορία συνδέεται με το μεγαλύτερο αριθμό καταγεγραμμένων περιστατικών. Μπορεί να οφείλεται σε διάφορες αιτίες και οδηγεί σε «εκτόξευση» ολόκληρων πτερυγών ή τμημάτων αυτών σε αποστάσεις έως και 1.5 χιλιομέτρου. Υπάρχουν καταγεγραμμένα περιστατικά στη Γερμανία, όπου τμήματα πτερυγών έχουν διαπεράσει σκεπές και τοίχους παραπλήσιων κτιρίων. Σύμφωνα με τα προηγούμενα, οι αιολικές εγκαταστάσεις, θα πρέπει να τοποθετούνται σε απόσταση τουλάχιστον 2 χιλιομέτρων από κατοικημένες περιοχές.

*Πυρκαγιά.* Αποτελεί τη δεύτερη μεγαλύτερη κατηγορία ατυχημάτων που καταγράφεται στο σύνολο των συμβάντων. Πολλές μπορεί να είναι οι αιτίες που προκαλούν πυρκαγιές στις ανεμογεννήτριες, και φαίνεται ότι σε κάποιους τύπους ανεμογεννητριών είναι πιο συχνή από άλλους. Το ύψος των ανεμογεννητριών κάνει πιο δύσκολη την αντιμετώπιση των πυρκαγιών και η επικινδυνότητα εξάπλωσης φλεγόμενων τμημάτων αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό.

*Δομική Αστοχία.* Περιλαμβάνει τις κατηγορίες αστοχίας εξαρτημάτων και τμημάτων της κατασκευής, σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας. Ενώ η κατηγορία αυτή θεωρείται πιο καταστροφική από την βλάβη των πτερυγών, οι συνέπειες των ατυχημάτων και η επικινδυνότητα για την ανθρώπινη υγεία είναι πιθανόν χαμηλότερη. Εφόσον αυξάνεται ο αριθμός των μικρού μεγέθους ανεμογεννητριών που τοποθετούνται κοντά σε κατοικημένες περιοχές, εκτιμάται ότι τα περιστατικά που εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία θα αρχίσουν να αυξάνονται.

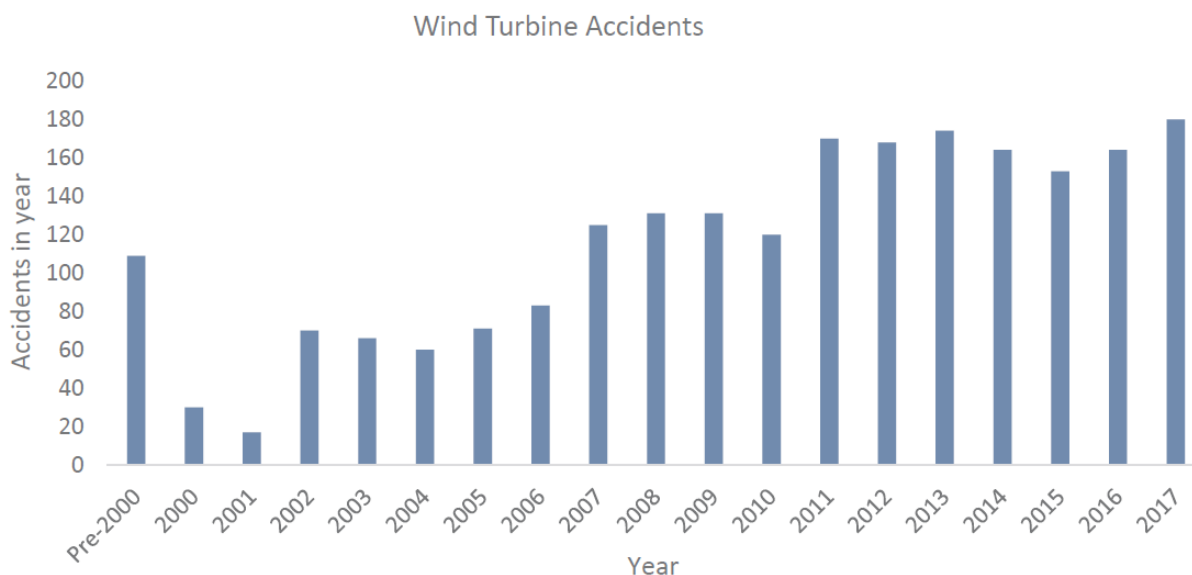
*Πτώση πάγου.* Υπάρχουν καταγεγραμμένα περιστατικά ρίψης πάγου σε αποστάσεις έως και 140 μέτρα. Σε διάφορα αιολικά πάρκα του Καναδά, τοποθετούνται προειδοποιητικές πινακίδες για τήρηση ασφαλούς απόστασης τουλάχιστον 300 μέτρα.

*Λόγω μεταφοράς.* Αφορά σε περιστατικά που αφορούν σε απώλεια τμημάτων ανεμογεννητριών κατά τη μεταφορά τους (πτώση από διατάξεις μεταφοράς.) Τα περιστατικά αυτά συνδέονται με τους περισσότερους τραυματισμούς και απώλειες ανθρώπινης ζωής.

*Περιβαλλοντική Καταστροφή.* Περιλαμβάνει περιστατικά που αφορά στην καταστροφή του φυσικού τοπίου ή σε καταγεγραμμένες καταστροφές της άγριας ζωής. Τουλάχιστον 75 περιστατικά αφορούν σε επιβεβαιωμένους θανάτους προστατευμένων ειδών.

*Άλλα.* Αφορά περιστατικά που δεν υπάγονται στις παραπάνω κατηγορίες. Μηχανολογικές βλάβες και βλάβες εξαρτημάτων που δεν καταλήγουν σε δομική αστοχία μπορούν να ενταχθούν σε αυτή την κατηγορία. Επίσης, ηλεκτρολογικές βλάβες που δεν οδηγούν σε ηλεκτροπληξία ή πυρκαγιά. Τα ατυχήματα κατά την κατασκευή επίσης εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί αποτυπώνεται η κατανομή 2186 ατυχημάτων που έχουν καταγραφεί στον τομέα των ανεμογεννητριών.



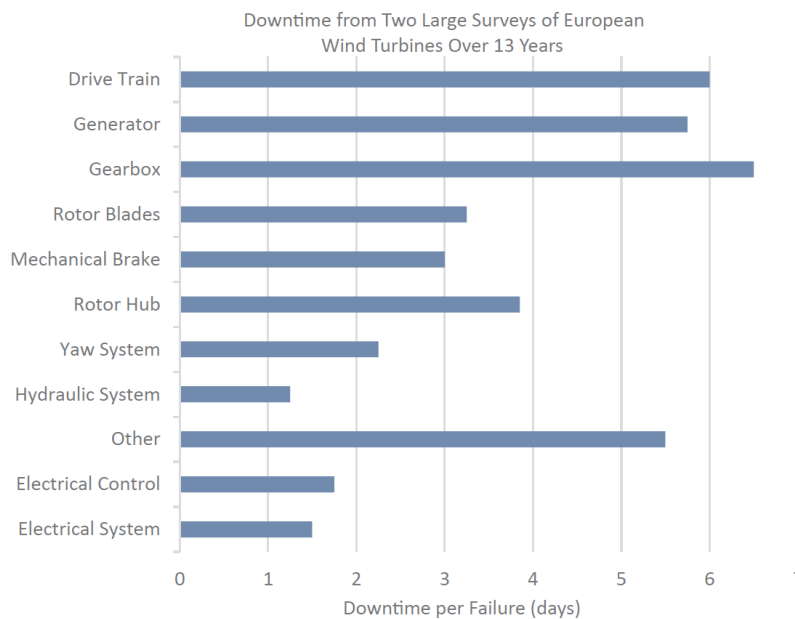
*Διάγραμμα 4. 1 Διάγραμμα κατανομής ατυχημάτων έως το 2017(Mentes σ. 3)*

Συμπερασματικά από το διάγραμμα, φαίνεται η σταδιακή αύξηση των καταγεγραμμένων ατυχημάτων, όλων των κατηγοριών, αλλά και η σχετική σταθεροποίηση που παρουσιάζουν τα τελευταία χρόνια. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι η αριθμητική αύξηση των ατυχημάτων δεν σχετίζεται με την ποσοστιαία, αφού ο αριθμός των ηλεκτρογεννητριών έχει αυξηθεί σημαντικά ανά τα χρόνια.

Σύμφωνα με στοιχεία, που έχουν συλλεγεί από τις ασφαλιστικές αξιώσεις που αφορούν σε αιολικές εγκαταστάσεις στις ΗΠΑ, βλάβες που αφορούν στις πτέρυγες και στο σύστημα μετάδοσης αποτελούν τις συχνότερες βλάβες που μιας ανεμογεννήτριας με ποσοστό 41.4% και 35.1% αντίστοιχα. Ακολουθούν οι βλάβες στα συστήματα μετατροπής ενέργειας (generators) με ποσοστό 10.2% και στους μετασχηματιστές με ποσοστό 5.1 %. Επίσης, παρατηρείται ότι οι δύο βασικότερες αιτίες απώλειας ισχύος στα συστήματα των ανεμογεννητριών είναι σε ποσοστό 25.4% η ανεπαρκής συντήρηση και σε ποσοστό 23.4% οι κεραυνοί. Ακολουθούν οι σχεδιαστικές ατέλειες (11.5%), η φθορά κατά τη λειτουργία (9.3%) και οι μηχανικές βλάβες. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται ότι οι



βλάβες στο σύστημα μετάδοσης μπορεί να κρατήσει μια ανεμογεννήτρια εκτός λειτουργίας για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε σχέση με τις υπόλοιπες κατηγορίες βλαβών. Το διάγραμμα που ακολουθεί, δείχνει το μέσο χρόνο που τίθενται οι ανεμογεννήτριες εκτός λειτουργίας, ανάλογα με το σύστημα στο οποίο παρουσιάζουν βλάβη.



Διάγραμμα 4. 2 Μέσο χρονικό διάστημα εκτός λειτουργίας σε σχέση με το είδος της βλάβης(Mentes σ.3)

Στον πίνακα που παρατίθεται παρακάτω, φαίνονται οι αστοχίες που μπορούν να προκύψουν από τις κύριες πηγές κινδύνου που εμπλέκονται στη λειτουργία των υπεράκτιων αιολικών εγκαταστάσεων.

Πίνακας 4. 2 Αστοχίες που συναντώνται στις ανεμογεννήτριες( Mentes σ.6)

Potential main results of an offshore wind turbine hazard.

No.	Results
1	Blade failure
2	Rotor (Hub) failure
3	Bearing and shaft failure
4	Main shaft gearbox coupling failure
5	Gearbox failure
6	Generator failure
7	Tower and foundation failure
8	Power electronics and electric controls failure
9	Yaw and pitch control failure
10	Meteorological measurement system failure
11	Grid connection failure

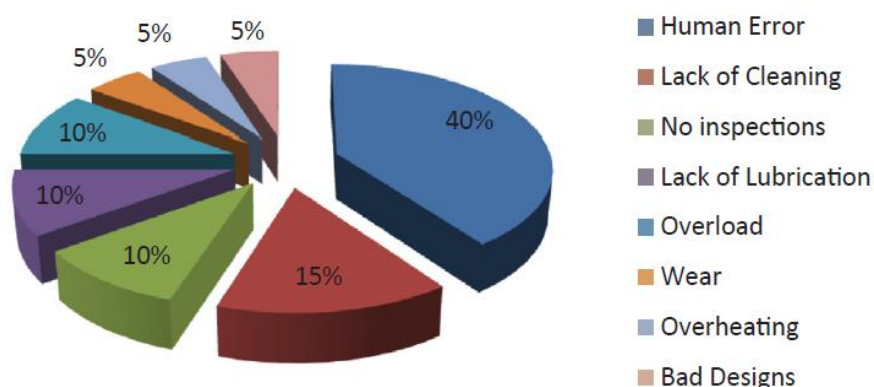
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αστοχίες που συνδέονται με το σύστημα του μειωτήρα, είναι από τις πιο συχνές αιτίες απώλειας ισχύος σε μια ανεμογεννήτρια. Ο παρακάτω πίνακας παραθέτει τις κύριες αιτίες που σχετίζονται με τη συντήρηση του συστήματος μετάδοσης της κίνησης και οδηγούν σε αστοχία αυτού.

Πίνακας 4. 3 Κύριες αιτίες αστοχίας του κιβωτίου του μειωτήρα (Mentes σ.6)

Main direct causes of maintenance related gearbox failures.	
No.	Cause of failure
1	Shaft gearbox coupling failure
2	Gearbox generator coupling failure
3	Thermal instability
4	Torsional and lateral vibrations
5	Unexpected load
6	Lubrication failure
7	Foreign object in gearbox
8	Misalignments
9	Manufacturing error
10	Material degradation
11	Erosion induced failure
14	Fatigue
15	Gear eccentricity
16	Corrosion induced failure
17	External factors (weather)
18	Human error

Η συντήρηση των συστημάτων αυτών, είναι ιδιαίτερα «ευπαθής» σε λανθασμένες ενέργειες, καθώς περιλαμβάνει εργασίες, συχνά σύνθετες, που απαιτούν τη συχνή, αφαίρεση και αντικατάσταση πληθώρας εξαρτημάτων σε περιορισμένο διάστημα.

Η αξιολόγηση του ανθρώπινου παράγοντα, είναι πολύ σημαντική στην ανάλυση των ατυχημάτων που μπορούν να επισυμβούν στον τομέα των ανεμογεννητριών. Στη βιομηχανία της αιολικής ενέργειας, το 40% των αστοχιών που παρουσιάζονται, μπορούν να καταλογιστούν στον ανθρώπινο παράγοντα.



Διάγραμμα 4. 3 Ποσοστιαία κατανομή παραγόντων που οδηγούν σε ατύχημα (Mentes σ.3)

Ο άνθρωπος εμπλέκεται στο σχεδιασμό, την εγκατάσταση, την παραγωγή, τη συντήρηση, και τη λειτουργία αυτών των συστημάτων. Το ανθρώπινο λάθος, είναι ίσως η κυριότερη αιτία των ατυχημάτων και της αστοχίας των εξαρτημάτων. Κατά τη διάρκεια της συντήρησης, το ανθρώπινο λάθος υπό τη μορφή λανθασμένων επιθεωρήσεων, επισκευής, συντήρησης ή εγκατάστασης του

εξοπλισμού. Ένα πολύ χαρακτηριστικό ανθρώπινο λάθος που σχετίζεται με την επιθεώρηση τέτοιων συστημάτων είναι η μη ακριβής ή λανθασμένη βαθμονόμηση των μηχανημάτων μέτρησης και διάγνωσης.

Πιο συγκεκριμένα τα ανθρώπινα λάθη μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής (Swain & Guttman – 1983):

- i) Λάθη παράλειψης: κατά την λειτουργία και τη συντήρηση παραλείπονται απαιτούμενες εργασίες ή τμήματα αυτών.
- ii) Λάθη εργασιών: οι απαιτούμενες εργασίες – ενέργειες δεν πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις απαιτούμενες διαδικασίες και προδιαγραφές. Δηλαδή μπορεί να αφορούν σε λάθος επιλογή διορθωτικής ενέργειας, σε λάθος αλληλουχία μεταξύ ενεργειών, σε λάθος χρονικής αλληλουχίας των εργασιών, είτε σε ποιοτικά λάθη.
- iii) Εξωτερικά λάθη: λανθασμένες ή περιττές ενέργειες. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει το σύνολο των παραπάνω, αλλά καλύπτει το σύνολο των εύκολα παρατηρήσιμων παραλείψεων και λαθών.

Όπως αναφέρθηκε, υπάρχει ένα μεγάλο κενό στην ακαδημαϊκή βιβλιογραφία όσον αφορά στην ανάλυση των ατυχημάτων που προκύπτουν στις αιολικές εγκαταστάσεις. Οι S. Asian G. Ertek C. Haksoz, S. Pakter, S. Ulun, στην εργασία τους με τίτλο «Wind Turbine accidents: A data mining study», κάνουν εκτενή μελέτη της όποιας υπάρχουσας βιβλιογραφίας και συλλέγοντας στατιστικά στοιχεία από αιολικές εγκαταστάσεις παγκοσμίως εξάγουν πολύ χρήσιμα συμπεράσματα για το είδος των ατυχημάτων και τις κρίσιμες κατηγορίες ατυχημάτων που απαντώνται σε τέτοιες εγκαταστάσεις. Η συλλογή των στοιχείων έγινε από 240 παγκοσμίως καταγεγραμμένα ατυχήματα και με τη μέθοδο του data mining, δημιουργούνται κατηγορίες ατυχημάτων, πιθανοί παράγοντες που συμβάλουν σε αυτά. Τα ατυχήματα εντάσσονται σε μια βάση δεδομένων, η οποία αποτελείται από τα παρακάτω.

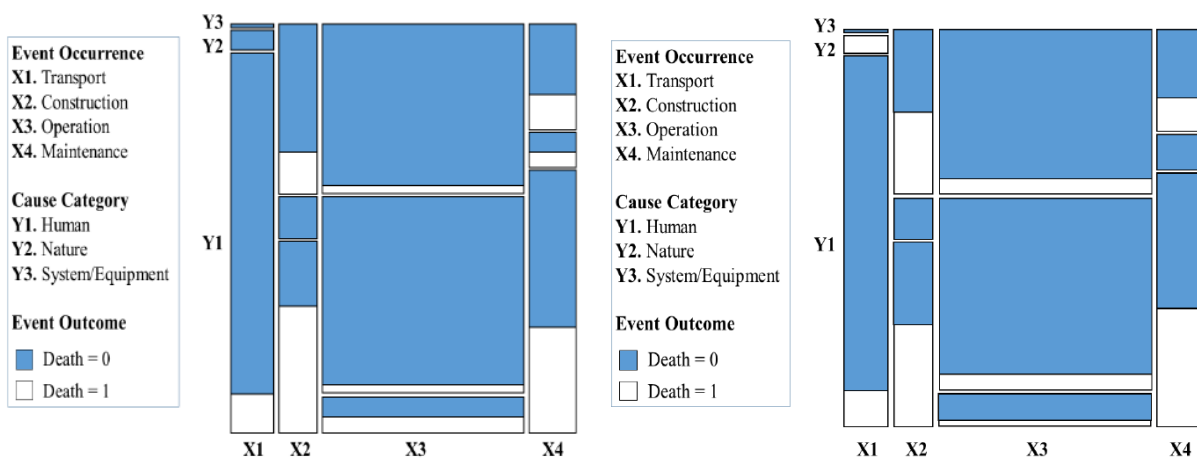
- i) Αύξων αριθμός ατυχήματος
- ii) Χώρα συμβάντος
- iii) Τύπος ανεμογεννήτριας
- iv) Κατασκευαστής
- v) Ισχύς ανεμογεννήτριας
- vi) Συνολική εγκατεστημένη ισχύς συγκροτήματος
- vii) Απώλεια ανθρώπινης ζωής από το ατύχημα ή όχι
- viii) Τραυματισμός από το ατύχημα ή όχι
- ix) Ύπαρξη φωτιάς από το ατύχημα ή όχι
- x) Πρόκληση μηχανολογικής καταστροφής από το ατύχημα ή όχι
- xi) Πρόκληση δομικής καταστροφής από το ατύχημα ή όχι
- xii) Επίδραση στον άνθρωπο ή όχι

- xiii) Ατύχημα κατά τη μεταφορά του εξοπλισμού ή όχι
- xiv) Αιτία ατυχήματος - π.χ. Άνθρωπος (ανάμειξη στο σύστημα ελέγχου)
- xv) Κατηγορία αιτίας – π.χ. «Άνθρωπος», «Φύση», «Σύστημα/Εξοπλισμός»
- xvi) Υπεράκτια ή επίγεια εγκατάσταση
- xvii) Κατάσταση εγκατάστασης – Κατά την κατασκευή, κατά τη συντήρηση, κατά τη λειτουργία, κατά τη μεταφορά
- xviii) Έτος, μήνας, ημέρα ατυχήματος

Πίνακας 4. 4 Κατανομή αιτιών των ατυχημάτων που οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα. (Asian and all σ.11)

DISTRIBUTION OF REASONS FOR ACCIDENTS CAUSED BY HUMANS	
Cause	Count
Human (other)	23
Human (transportation)	18
Human (negligence)	4
Human (wrong action)	4
Human (interference in control systems)	2
Human (fall)	1
Human (heart attack)	1
Human (plane crash)	1

Τα παρακάτω μωσαϊκά διαγράμματα, μπορούν να συνοψίσουν, το πως επιδρά η λειτουργική κατάσταση, σε συνδυασμό με την αιτία του ατυχήματος στην ύπαρξη θανάτου ή τραυματισμού σε ένα ατύχημα σε μια ανεμογεννήτρια. Όπως αποτυπώνεται, στην περίπτωση των ατυχημάτων κατά την μεταφορά απαρτιών (X1) προς το σημείο συναρμολόγησης, ο παράγοντας «Άνθρωπος» (Y1) εμφανίζει την μεγαλύτερη βαρύτητα. Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να ερμηνευθούν αυτά τα διαγράμματα. Προφανώς, οι επιφάνεια που καλύπτει κάθε συνδυασμός (X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>), αποτυπώνει το πλήθος των ατυχημάτων που συμβαίνουν στην εκάστοτε κατηγορία συμβάντος.



Διάγραμμα 4. 4 Αποτύπωση του συσχετισμού της λειτουργικής κατάστασης και της αιτίας του ατυχήματος στην ύπαρξη θανάτου (αριστερά) ή τραυματισμού (δεξιά) σε ατυχήματα στις ανεμογεννήτριες. (Asian and all σ13)

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τη συγκεκριμένη μελέτη μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω:

1. Τα ατυχήματα που οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα, είναι κυρίως ατυχήματα που συμβαίνουν κατά τη μεταφορά του εξοπλισμού. Πιθανώς τα ατυχήματα τέτοιου είδους μπορούν να αποφευχθούν μελετώντας την ακολουθούμενη διαδρομή ή χρησιμοποιώντας προσομοιωτές εικονικής πραγματικότητας.
2. Οι φυσικές αιτίες που οδηγούν σε ατυχήματα είναι κυρίως οι δυνατοί άνεμοι και οι κεραυνοί.
3. Τα κύρια ατυχήματα στην κατηγορία Σύστημα/Εξοπλισμός, οφείλονται στο ηλεκτρολογικό σύστημα, σε κόπωση και σε ελαττωματικά υλικά
4. Σε περίπτωση ατυχήματος, οι πτέρυγες, και ο πυλώνας, έχουν τις μεγαλύτερες πιθανότητες να επηρεαστούν. Κατά την κατασκευή, οι κατηγορίες αιτιών, Σύστημα/Εξοπλισμός και Άνθρωπος, έχουν μεγαλύτερη επίδραση από ότι η κατηγορία Φύση
5. Κατά τη συντήρηση, ο πιο σημαντικός παράγοντας είναι επίσης ο Άνθρωπος
6. Στα ατυχήματα κατά την κατασκευή, εάν η κατηγορία του ατυχήματος είναι Σύστημα/Εξοπλισμός ή Άνθρωπος, η πιθανότητα αυτό το ατύχημα να είναι θανατηφόρο είναι 0.5
7. Οι περισσότεροι θάνατοι συμβαίνουν κατά την κατασκευή και τη συντήρηση της ανεμογεννήτριας.
8. Κατά τη συντήρηση, ο αριθμός των ατυχημάτων εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή όταν η κατηγορία των αιτιών είναι Άνθρωπος ή Σύστημα/Εξοπλισμός
9. Κατά τη μεταφορά, όσον αφορά στα ποσοστά, ο Άνθρωπος έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στην πρόκληση τραυματισμών
10. Όταν γίνεται προσπάθεια να προβλεφθεί η πιθανή ύπαρξη θανάτου σε ένα συμβάν, οι περισσότερες πληροφορίες, μπορούν να εξαχθούν από την Ισχύ του Στροβίλου.

DISTRIBUTION OF REASONS FOR ACCIDENTS CAUSED BY NATURE

Cause	Count
Nature (strong wind)	32
Nature (lightning strike)	9
Nature (storm)	4
Nature (other)	3
Nature (cyclone)	2
Nature (tornado)	2
Nature (cold)	1
Nature (due to collision)	1
Nature (strong wind, lightning strike)	1
Nature (strong wind, snow)	1
Structural (bolt failure)	1
Structural (smashed barge)	1

Πίνακας 4. 5 Κατανομή αιτιών ατυχημάτων που οφείλονται σε φυσικά φαινόμενα(Asian and all σ.13)

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται 62 ατυχήματα την περίοδο 1997-2009, που καταγράφηκαν σε παγκόσμιο επίπεδο και είχαν ως αποτέλεσμα την κατάρρευση του πυλώνα της γεννήτριας.

Πίνακας 4. 6 Ατυχήματα όπου κατέληξαν στην κατάρρευση του πυλώνα για την περίοδο 1997-2009 (Jui-Sheng and Wan-Ting σ.8)

Details of 62 accidents of tower collapse (1997–2009 inclusive).

No.	Date	Country	Failure type	Turbine type	Cause of failure
1	1997/08/01	USA	Fatal	500 kW	Unidentified
2	1998/12/27	UK	Structural failure	WEG MS-3 300 kW	Unidentified
3	1999/01/16	Germany	Structural failure	Enercon E-40	Material fatigue
4	1999/03/01	Germany	Structural failure	Enercon E-40	Material fatigue
5	1999/12/03	Denmark	Structural failure	Various, including Windmatic, Wincon, Bonus, and Vestas	Storm
6	1999/12/12	Germany	Structural failure	Sudwind S 46/600 kW	Unidentified
7	2000	France	Structural failure	500 kW	Storm
8	2000/01/20	Germany	Fire	Sudwind S 46/600 kW	Lightning strike
9	2000/02/10	Germany	Structural failure	Enercon E32	Unidentified
10	2000/02/15	Holland	Structural failure	Lagerwey	Storm
11	2000/03/11	Holland	Structural failure	Newinco in Rhenen, 30 m tower	Storm
12	2000/12/09	Spain	Structural failure	GamesaEólica G-47 660 kW	Being struck by blade
13	2001/01/15	Spain	Structural failure	GamesaEólica G-47 660 kW	Unidentified
14	2002/01/28	Germany	Structural failure	Windrad HSW 250	Storm
15	2002/05/15	USA	Structural failure	WTC	Being struck by blade
16	2002/06/12	Germany	Fire	N/A	Fire
17	2002/10/27	Germany	Structural failure	GET 41a 600 kW. Hub height 70 m, rotor diameter 41 m	Storm
18	2002/11/19	USA	Structural failure	Anemometer	Ice storm
19	2002/12/18	Germany	Structural failure	Vestas V80 2.0 MW	Faulty welding
20	2002/12/28	France	Blade failure	600 kW, 75 m total height	Storm
21	2003/02/02	Germany	Fire	Enercon	Fire
22	2003/03/01	USA	Structural failure	Anemometer	Ice storm
23	2003/07/28	Germany	Miscellaneous	80 ton, 25 m total height	Unidentified
24	2004/01/01	France	Structural failure	Lagerwey 750 kW	Storm
25	2004/03/20	France	Structural failure	Lagerwey 300 kW	Storm
26	2004/09/26	Germany	Fire	N/A	Fire
27	2005/05/06	USA	Structural failure	GE Wind 1.5 MW	Unidentified
28	2005/06/20	Canada	Structural failure	N/A	Storm
29	2005/12/16	Germany	Structural failure	Small private turbine, 15 m high	Storm
30	2006/01/10	Holland	Structural failure	Nedwind, 1 MW, 55 m diameter, 63 m tower	Unidentified
31	2006/02/21	USA	Structural failure	120 foot tower	Unidentified
32	2006/03/28	Holland	Structural failure	Lagerwey LW 18/80, 31 M tower	Unidentified
33	2006/07/06	Holland	Miscellaneous	Nedwind	Lightning strike
34	2006/10/31	Holland	Fire	Vestas NM 48/750	Fire
35	2006/11/20	USA	Structural failure	Small turbine	Material fatigue
36	2006/12/04	France	Structural failure	30 m height	Strong winds
37	2006/12/08	USA	Structural failure	School turbine 150 kW	The braking system failed
38	2007/01/08	Japan	Structural failure	Vestas	Strong winds
39	2007/01/09	Germany	Fire	N/A	Fire
40	2007/01/13	Germany	Structural failure	HSW 100	Storm
41	2007/03/08	USA	Structural failure	N/A	Unidentified
42	2007/05/11	UK	Structural failure	N/A	Strong winds
43	2007/07/30	Holland	Human injury	N/A	Unidentified
44	2007/08/25	USA	Fatal	Siemens 2.3 MW	Unidentified
45	2007/11/08	UK	Structural failure	Vestas V47	Strong winds
46	2007/12/21	USA	Structural failure	N/A	Storm
47	2007/12/31	Japan	Structural failure	N/A	Faulty welding
48	2008/01/02	UK	Structural failure	Vestas V25	Strong winds
49	2008/01/08	UK	Structural failure	Domestic wind turbine	Storm
50	2008/02/22	Denmark	Structural failure	Vestas (Nordtank NKT600 - 180/43)	The braking system failed
51	2008/03/03	Holland	Structural failure	Lagerwey LW 18/80	Unidentified
52	2008/03/04	USA	Structural failure	N/A	Ice storm
53	2008/03/30	Holland	Miscellaneous	Vestas V90 3 MW	Unidentified
54	2008/09/28	Taiwan	Structural failure	Z72-2000-2B 2 kW	Strong winds
55	2008/10/16	USA	Structural failure	N/A	Strong winds
56	2008/10/25	UK	Structural failure	N/A	Strong winds
57	2008/11/09	USA	Fatal	N/A	Unidentified
58	2009/02/07	USA	Blade failure	ReDriven Power turbine, 20 kW, 20 foot blades	Being struck by blade
59	2009/09/22	USA	Human injury	N/A	Unidentified
60	2009/12/01	UK	Structural failure	N/A	Unidentified
61	2009/12/17	USA	Structural failure	N/A	Storm
62	2009/12/28	USA	Structural failure	N/A	Ice storm

Από τον πίνακα φαίνεται ότι σε παγκόσμιο επίπεδο για την συγκεκριμένη περίοδο, για τις 44 παρατηρήσεις των περιστατικών που βρέθηκε η αιτία κατάρρευσης, το 34.1% είχαν σαν αιτία καταιγίδες και το 18.1% ισχυρούς ανέμους. Από αυτό μπορεί με ασφάλεια να διαπιστωθεί ότι όταν υπολογίζεται η επικινδυνότητα, στον κύκλο ζωής μιας ανεμογεννήτριας, πρέπει να υπολογίζονται σοβαρά οι παραπάνω αιτίες και γενικότερα η επίδραση του περιβάλλοντος. Επίσης τα παραπάνω, πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν τόσο κατά το σχεδιασμό, όσο και στην κατασκευή και τη λειτουργία της μονάδας. Άλλες αιτίες που οδήγησαν σε κατάρρευση της γεννήτριας, για την ίδια περίοδο, ήταν πυρκαγιά, χιονοθύελλα, κόπωση υλικών, κεραυνός, πρόσπτωση πτέρυγας άλλης μονάδας, ελαττωματικές συγκολλήσεις και τέλος αστοχία του συστήματος πέδησης. Αυτά μπορούν να συνοψιστούν στον πίνακα που ακολουθούν.

Πίνακας 4. 7 Αιτίες ατυχημάτων που κατέληξαν στην κατάρρευση του πυλώνα( Jui-Shengand Wan-Ting σ.9)

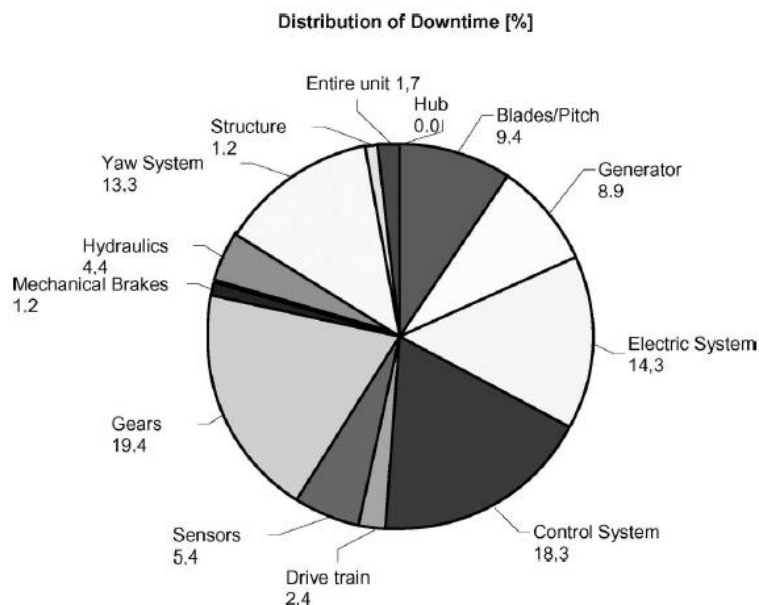
Cause of failure	Case(s)	Occurrence (%)
Storm	15	34.1
Strong winds	8	18.1
Fire	5	11.3
Ice storm	4	9.1
Material fatigue	3	6.8
Being struck by blade	3	6.8
Lightning strike	2	4.6
Faulty welding	2	4.6
The braking system failed	2	4.6

Όπως συμπεραίνεται από τους δύο παραπάνω πίνακες, τα φυσικά φαινόμενα αποτελούν την κύρια αιτία κατάρρευσης μια ανεμογεννήτριας. Επίσης παρατηρείται ότι οι κατασκευαστικές αστοχίες δεν αποτελούν τον κύριο παράγοντα κατάρρευσης, και πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση ακραίων καιρικών συνθηκών, κατέρρευσαν θεωρητικά άρτια σχεδιασμένες και κατασκευασμένες μονάδες. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να εγείρει ερωτήματα σχετικά με την αναθεώρηση των κατασκευαστικών προδιαγραφών των ανεμογεννητριών σε συνδυασμό με περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν.

#### 4.2. Μηχανολογική αστοχία μιας ανεμογεννήτριας

Σύμφωνα με την εργασία των J. Ribrant και L. M. Berling, με τίτλο *Survey of Failures in Wind Power Systems With Focus on Swedish Wind Power Plants During 1997–2005*, το σύστημα που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διάρκεια στην επισκευή του είναι το σύστημα του μειωτήρα. Η εργασία αυτή πραγματοποιείται από στατιστική σκοπιά το σύνολο των αστοχιών που εμφανίστηκαν σε διαφορετικές εγκαταστάσεις στην περιοχή της Σκανδιναβίας. Στην εργασία αυτή αποτυπώνεται ότι το 20% της χρονικής περιόδου που μια ανεμογεννήτρια βρίσκεται εκτός λειτουργίας οφείλεται σε προβλήματα που παρουσιάστηκαν στο σύστημα του μειωτήρα. Σε μια τυπική ανεμογεννήτρια προβλήματα που παρουσιάζονται στο σύστημα του μειωτήρα απαιτούν κατά μέσο όρο 256 εργατοώρες για να αποκατασταθούν.

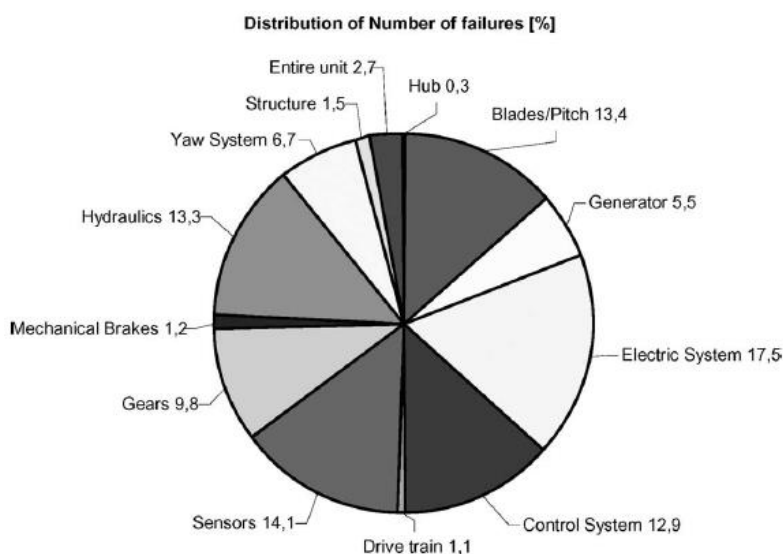
Στο επόμενο διάγραμμα αποτυπώνεται η ποσοστιαία κατανομή του χρόνου που μια ανεμογεννήτρια μένει εκτός λειτουργίας λόγω κάποιας αστοχίας που εμφανίζεται σε ένα σύστημά της



Διάγραμμα 4. 5 Ποσοστιαία κατανομή του χρόνου παραμονής εκτός λειτουργίας (Ribrant and Bertling σ.3)

Παρατηρείται όντως ότι αστοχίες που εμφανίζονται στο σύστημα του μειωτήρα θέτουν την ανεμογεννήτρια εκτός λειτουργίας για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, ενώ ακολουθούν το σύστημα ελέγχου και το ηλεκτρολογικό σύστημα της γεννήτριας. Σημαντικό ποσοστό καταλαμβάνει επίσης το σύστημα της ατράκτου.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί μπορούμε να παρατηρήσουμε την ποσοστιαία κατανομή του πλήθους των αστοχιών ανά σύστημα της ανεμογεννήτριας για όλη την περίοδο που μελετήθηκε

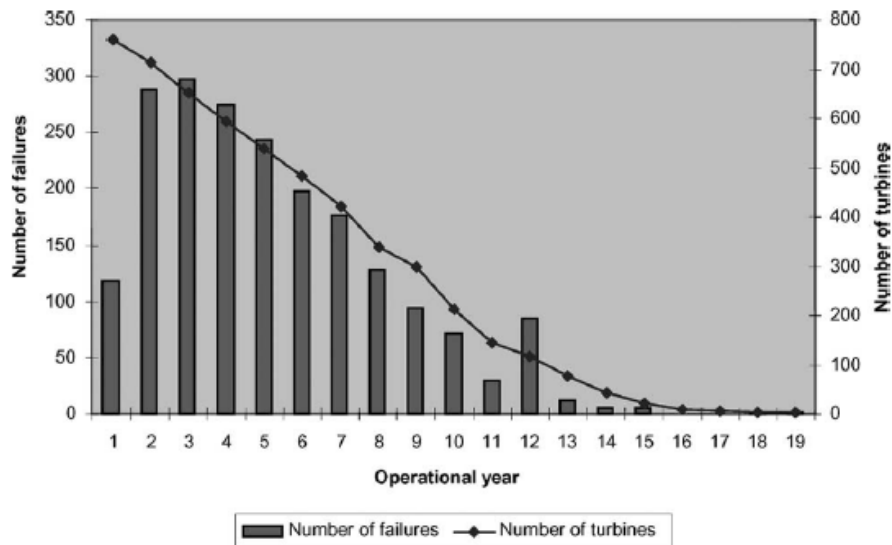


Διάγραμμα 4. 6 Κατανομή του πλήθους των αστοχιών ανά σύστημα (Ribrant and Bertling σ.3)

Παρατηρείται ότι πιο συνηθισμένες βλάβες παρουσιάζονται στα ηλεκτρολογικά συστήματα και στο σύστημα των αισθητήρων.

Παρακάτω φαίνεται η κατανομή των συνολικών αστοχιών που παρουσιάστηκαν ανάλογα με τα χρόνια υπηρεσιακής λειτουργίας των ανεμογεννητριών.





Διάγραμμα 4. 7 Κατανομή των συνολικών αστοχιών που παρουσιάστηκαν ανάλογα με τα χρόνια υπηρεσιακής λειτουργίας των ανεμογεννητριών (Ribrant and Bertling σ.3)

Οι J Kang, L. Sun και C. G. Soares στην εργασία τους με τίτλο “Fault tree analysis of offshore wind turbines” αναπτύσσουν ένα δέντρο σφαλμάτων που αντικατοπτρίζει τη λειτουργία μιας υπεράκτιας ανεμογεννήτριας και των υποσυστημάτων της. Σύμφωνα με την εργασία αυτή, μια ανεμογεννήτρια αποτελείται από οχτώ κύρια υποσυστήματα:

1. Αγκυρώσεις και υποστήριξη
2. Υδραυλικό σύστημα μεταβλητού βήματος.
3. Σύστημα Μειωτήρα
4. Γεννήτρια
5. Σύστημα Μετάδοσης Κίνησης
6. Ηλεκτρονικά συστήματα
7. Σύστημα περυγών
8. Σύστημα περιστροφής ατράκτου

Στο σύστημα αγκύρωσης και υποστήριξης η συχνότερη αστοχία που συναντάται είναι η αποκοπή των σχοινιών αγκύρωσης, και οφείλεται κυρίως σε μη συνηθισμένες τάσεις που συγκεντρώνονται στην κατασκευή. Επίσης, αστοχία των αγκυρών και των όκιων είναι η δεύτερη και τρίτη συχνότερη αστοχία που συναντάται. Η συνηθέστερη αιτία αστοχίας της βάσης στήριξης των πλωτών ανεμογεννητριών, είναι η πρόσκρουση αντικειμένων, τα οποία φέρονται από τυφώνες, ακραίες καιρικές συνθήκες στην περιοχή από εναέρια μέσα. Σε δεύτερο επίπεδο, η φθορά ή η ανατροπή του πυλώνα στήριξης, είναι η επόμενη συνηθέστερη αστοχία που εμφανίζεται στο σύστημα στήριξης των ανεμογεννητριών. Ως αποτέλεσμα αυτού, απαιτούνται μέσα προστασίας από πρόσκρουση, καθώς και περιοδικός έλεγχος της στατικότητας του πυλώνα για να διασφαλίζεται η ακεραιότητα αυτού. Επίσης οι ακραίες καιρικές συνθήκες που επικρατούν στις περιοχές εγκατάστασης των πλωτών ανεμογεννητριών, αποτελούν την κύρια αιτία του συστήματος στήριξης των ανεμογεννητριών. Για το λόγο αυτό, απαιτείται η χρήση εξεζητημένων μοντέλων πρόγνωσης των καιρικών συνθηκών, καθώς και σχεδιασμός άμεσης επέμβασης για την αποκατάσταση των βλαβών, για να μειωθούν οι απώλειες που οφείλονται στις καιρικές συνθήκες.

Τα υδραυλικά συστήματα της ανεμογεννήτριας, είναι τα πιο «ευάλωτα» σε φθορές και η ποιότητα του υδραυλικού λαδιού είναι ο κύριος παράγοντας που συντελεί σε αστοχίες του συστήματος. Το υδραυλικό σύστημα της ανεμογεννήτριας χρήζει ενδεδειγμένης ανάλυσης αξιοπιστίας και επικινδυνότητας.

Η αστοχία στο σύστημα μειωτήρα στροφών (γρاناζοκιβώτιο) οδηγεί σε εκτεταμένα χρονικά διαστήματα όπου η ανεμογεννήτρια βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Η αστοχία που δημιουργεί τους μεγαλύτερους χρόνους αποκατάστασης, είναι η εμφάνιση ρωγμών σε κάποιον από τους οδοντωτούς τροχούς του συστήματος, διότι στις περισσότερες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε εκτεταμένη φορά του συστήματος και στην ολική αστοχία της μονάδας. Επίσης η διάβρωση λόγω της ύπαρξης υγρασίας θαλασσινού νερού μπορεί είναι πολύ συχνή στην περίπτωση των συστημάτων μετάδοσης. Η ανάπτυξη γεννητριών με άμεσης σύνδεση με τον άξονα του στροφείου θα μπορούσε να ελαττώσει σημαντικά το κόστος κύκλου ζωής μιας ανεμογεννήτριας αφού η εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων, θα καταργούσε την ανάγκη εγκατάστασης συστήματος μετάδοσης κίνησης με τη μορφή γρاناζοκιβωτίου.

Όσον αφορά στη γεννήτρια, περιπτώσεις βραχυκύκλωσης ή ανοιχτού κυκλώματος είναι οι συνηθέστερες μορφές αστοχίας. Οι δύο αυτές περιπτώσεις, οφείλονται, σε αστοχία της περιέλιξης είτε του ρότορα είτε του στάτορα και καταλήγουν συνήθως σε υπερθέρμανση του συστήματος. Επίσης, σε σχέση με τις αστοχίες που εμφανίζονται στο μηχανολογικό τμήμα της γεννήτριας, η φθορά των εδράνων, η φραγή των αυλών λίπανσης, καθώς και η ανάγκη αντικατάστασης της έλικας ψύξης, είναι κάποιες από τις πιο βασικές. Η αστοχία των εδράνων, οφείλεται τις κυρίως σε φθορά, κόπωση και έλλειψη ευθυγράμμισης.

Το αξονικό σύστημα της ανεμογεννήτριας, είναι ευπαθές σε αστοχίες που οφείλονται σε φθορά και κόπωση και μπορούν να εμφανιστούν τόσο στο τμήμα χαμηλής όσο και στο τμήμα υψηλής ταχύτητας. Η φθορά, η κόπωση, η αλλά και η έλλειψη ευθυγράμμισης μπορεί να οδηγήσουν σε έναρξη και μετάδοση ρωγμών στο σύστημα. Επίσης το σύστημα πέδησης, εμφανίζει αστοχίες κυρίως στο υδραυλικό του τμήμα είτε λόγω διαρροών ή υπερπίεσης.

Τα ηλεκτρονικά συστήματα και εξαρτήματα της ανεμογεννήτριας εμφανίζουν αστοχίες είτε λόγω φορτίου, δηλαδή αυξομειώσεις φορτίου ή βραχυκυκλώματα, είτε λόγω της αυξημένης υγρασίας του θαλασσινού νερού που δρα εξαιρετικά διαβρωτικά.

Το σύστημα των πτερύγων εμφανίζει αστοχίες στο τμήμα του συνδέσμου (rotor hub), όπου λόγω του μεγάλου φορτίου που φέρει, μπορεί να εμφανιστεί αλλαγή των ανοχών και επιφανειακή τραχύτητα. Επίσης, τα έδρανα όπου αρμολούνται οι πτέρυγες μπορούν να εμφανίσουν μεγάλες φθορές όπως, βελονοειδούς διάβρωσης, υπερθέρμανσης και παραμόρφωσης των επιφανειών διεπαφής. Οι ίδιες οι πτέρυγες όντας φτιαγμένες από σύνθετα υλικά και πολυμερή, μπορούν να εμφανίσουν φθορές με τη μορφή σχάσης κατά φυλλώσεις, ρωγμών αιχμής, ακμής και κελύφους, και κόπωσης του σύνθετου υλικού.

Το σύστημα περιστροφής της ατράκτου, δέχεται μεγάλες αυξομειώσεις δυναμικού φορτίου λόγω της αυξομείωσης της ροπής που δημιουργείται από την περιστροφή του συστήματος της ατράκτου καθώς και από τις φορτίσεις που δημιουργούνται από την περιστροφή τα ατράκτου. Οι φθορές στο σύστημα αυτό, μπορεί να οδηγήσουν σε αυξήσεις τις δυναμικές φορτίσεις που δέχεται το σύστημα και συμβάλουν στην αύξηση των δονήσεων και της καταπόνησης που δέχονται τα συστήματα των πτερύγων της ατράκτου, και του πυλώνα στήριξης. Τέτοιου είδους φθορές, αποτελούν κίνδυνο για τη συνολική ασφάλεια της ανεμογεννήτριας.

### 4.3. Το ζήτημα της αποδοχής των αιολικών πάρκων από την τοπική κοινωνία

Παρά τα τεράστια οφέλη που μπορεί να έχει η εγκατάσταση αιολικών πάρκων, παράκτιων και μη, τόσο σε οικονομικό επίπεδο, όσο και για την βελτίωση της ζωής των κατοίκων και την προστασία του περιβάλλοντος έχουν προκύψει σοβαρά ερωτηματικά. Ένα από αυτά είναι η αντιμετώπιση των κατοίκων σε σχέση με αυτές τις εγκαταστάσεις και κατά πόσο μπορούν να επηρεάσουν την καθημερινότητα τους από την άποψη του θορύβου, των δονήσεων αλλά και από την αισθητική πλευρά που είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ψυχολογία των ατόμων. Μέχρις στιγμής υπάρχει ερευνητικό κενό για το κατά πόσο μπορεί να υπάρχει σύνδεση των αιολικών πάρκων με την ψυχολογία των κατοίκων που βρίσκονται σε περιοχές κοντά σε αυτά, λόγω του σχετικά πρόσφατου χαρακτήρα τους. Ωστόσο, οι έρευνες που έχουν γίνει σε συγκεκριμένες περιοχές φαίνονται να συγκλίνουν. Στη συγκεκριμένη εργασία θα γίνει αναφορά της έρευνας των L. Jalali, Ph. Bigelow, S. McColl, S. Majowicz, M. Gohari, R Waterhouse.

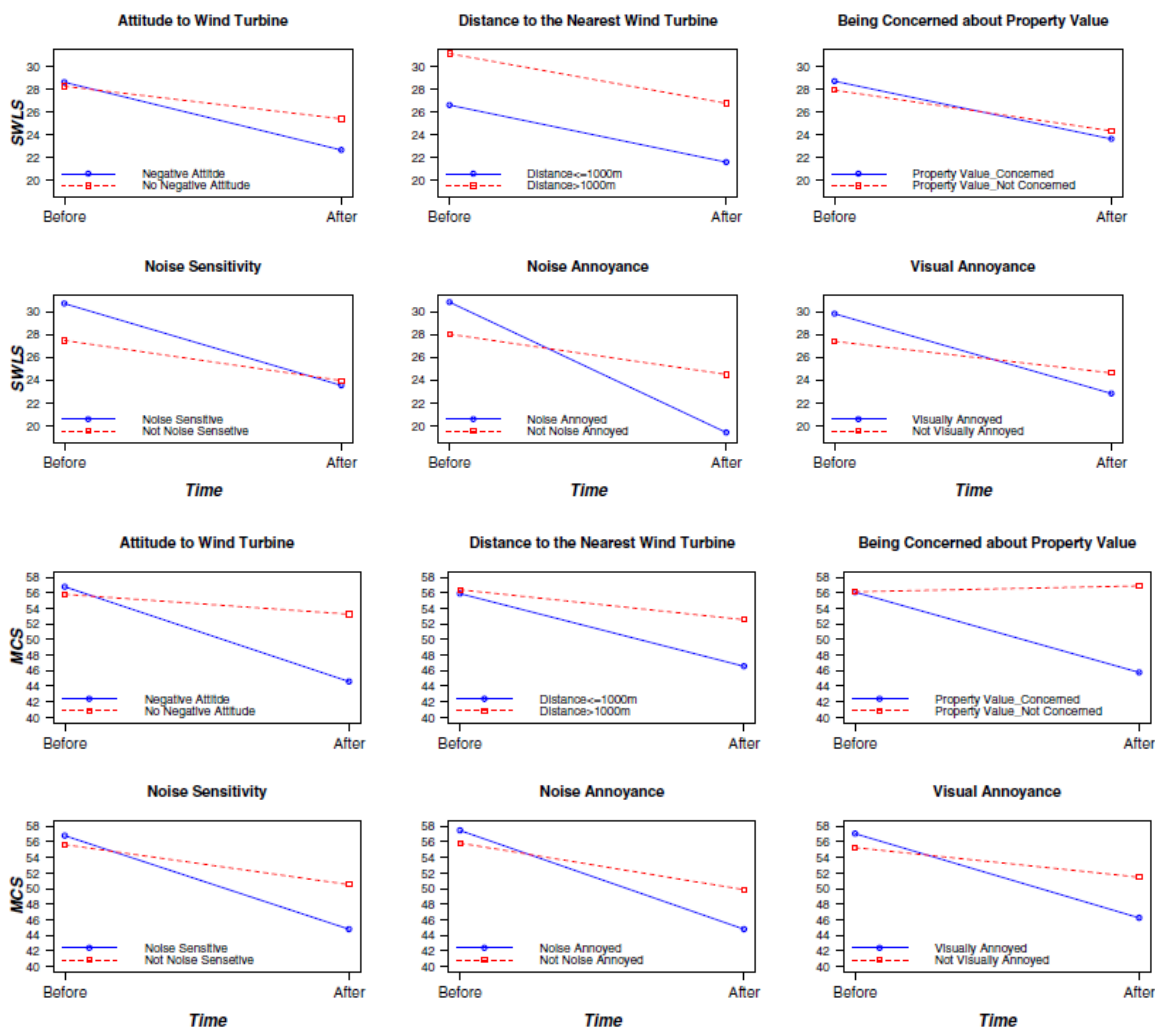
Η επαρχία του Οντάριο στον Καναδά έχει εγκατάσταση γεννητριών μετατροπής αιολικής σε ηλεκτρική ενέργεια πάνω από 4GW, με πάνω από 2302 γεννήτριες εγκατεστημένες και παροχή ηλεκτρικού ρεύματος μεγαλύτερη από το 5% των αναγκών της περιοχής. Είναι γνωστό πως αυτή η μεθοδολογία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να ωφελήσει στην υγεία των Καναδών καθώς και να μειώσει την ατμοσφαιρική ρύπανση. Παρόλα αυτά ένα μέρος των κατοίκων της συγκεκριμένης επαρχίας αναφέρουν επιπτώσεις στην υγεία τους όπως πονοκεφάλους, ζαλάδες, ναυτία, έλλειψη συγκέντρωσης και διαταραχή κατά τον ύπνο. Στη συγκεκριμένη έρευνα χρησιμοποιώντας δεδομένα που συγκεντρώθηκαν πριν και μετά την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου αντιστοίχως, εξετάζεται η επίδραση των ατομικών ιδιομορφιών και της γενικότερης δυσaráεσκείας όσον αφορά στη σχέση μεταξύ της ποιότητας ζωής και της γενικής υγείας των πληθυσμών που ζουν σε περιοχές όπου είναι εγκατεστημένα αιολικά πάρκα. Στην προαναφερθείσα έρευνα το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε είχε σαν μέσο όρο ηλικίας τα 53,6 χρόνια, εκ των οποίων τα ποσοστά γυναικών και αντρών ήταν πολύ κοντινά. Όλοι οι συμμετέχοντες ήταν κάτοικοι της ίδιας περιοχής και όλοι τους είχαν οπτική επαφή με το αιολικό πάρκο από το σπίτι τους.

Χαρακτηριστικά αποτελέσματα της έρευνας ήταν ότι το 45,2% του πληθυσμού δήλωσε αρκετά ή πολύ ευαίσθητο στην οπτική επαφή με το πάρκο, ενώ το 19,4% δήλωσε αρκετά ή πολύ ευαίσθητο και ακουστικά ανεξάρτητα από τον χρόνο που περνούσαν σπίτι τους. Το 16,1% ανέφερε την αρνητική επίδραση στην ψυχική υγεία και την ποιότητα ζωής του μετά την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών, ενώ αρχικά το 54,8% είχε δηλώσει ανησυχία για την εξέλιξη της ψυχικής του υγείας.

Στα επόμενα διαγράμματα φαίνεται αποτυπώνεται η πνευματική κατάσταση (Mental Component Scale – MCS) καθώς και η ευχαρίστηση από το βιοτικό επίπεδο (Satisfaction of life as a whole – SWLS) των κατοίκων μια περιοχή, σχετικά με την αρνητική ή θετική τους τοποθέτηση για τις εξής κατηγορίες: Γενική αντίληψη για τις ανεμογεννήτριες, απόσταση από αιολικές εγκαταστάσεις, ανησυχία για την αξία της ιδιοκτησίας, ευαισθησία στο θόρυβο, ενόχληση από θόρυβο, οπτική ενόχληση. Σημειώνεται ότι οι μετρήσεις που έγιναν στο δείγμα, πραγματοποιήθηκαν πριν και μετά την τοποθέτηση της αιολικής εγκατάστασης.

Σύμφωνα με τις μετρήσεις, τόσο για όσους είχαν θετική τοποθέτηση όσο και για όσους είχαν αρνητική τοποθέτηση για όλες τις παραπάνω κατηγορίες, παρατηρείται πτώση της πνευματικής τους κατάσταση όσο και της συνολικής τους ευχαρίστηση για το βιοτικό τους επίπεδο, μετά την τοποθέτηση της αιολικής εγκατάστασης. Εξαιρέση αποτελεί η κατηγορία που αφορά στην ανησυχία για την αξία της ακίνητης περιουσίας, όπου η πνευματική κατάσταση σημείωσε άνοδο σε όσους δεν έδειχναν ανησυχία. Επίσης, άξιο παρατήρησης είναι ότι για όσους είχαν θετική άποψη ή δεν

επηρεάζονταν από όλες τις παραπάνω κατηγορίες, ενώ παρατηρείται πτώση τόσο στην πνευματική κατάσταση όσο και στην αντίληψη για το βιοτικό τους επίπεδο είναι αναλογικά μικρότερη από ότι σε όσους εξέφραζαν εξ αρχής αρνητική άποψη.



Διάγραμμα 4. 8 Διάφορες αποτυπώσεις αποδοχής αιολικών εγκαταστάσεων(jalali and all σ.6)

Η παραπάνω μελέτη κατέληξε ότι η οπτική και ηχητική ενόχληση, η ανησυχία για την αξία της ιδιοκτησίας και γενικά η αρνητική στάση απέναντι στις ανεμογεννήτριες σχετίζεται άμεσα με την αναφορά αρνητικών καταστάσεων υγείας. Συγκεκριμένα οι κάτοικοι που εξ αρχής είχαν αρνητική διάθεση σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες για οποιοδήποτε από τα παραπάνω ζητήματα, όντως βίωσαν χειρότερα επίπεδα ψυχικής υγείας σε σχέση με τους κατοίκους που ήταν θετικά προδιατεθειμένοι, πριν την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών. Επομένως, σύμφωνα με την αυτή την έρευνα στη συγκεκριμένη περιοχή, ο οπτικός και ηχητικός παράγοντας αλλά και η ανησυχία για την αξία της περιουσίας από την πλευρά των κατοίκων, μπορεί όντως να επηρεάσει την ψυχική υγεία τους, χωρίς όμως να διευκρινίζεται αν όντως το αίτιο είναι οι ίδιες οι ανεμογεννήτριες ή αρνητική προκατάληψη σε σχέση με αυτές. Άμεση σχέση εντοπίζεται στον ρόλο που έχει η προβολή

του ζητήματος των ανεμογεννητριών αφού στο Οντάριο υπήρχαν διάφορες εφημερίδες και ιστοσελίδες που αντιτίθεντο στο ζήτημα της εγκατάστασης.

Ωστόσο, γενικά, τα τρέχοντα ευρήματα παρουσιάζουν συνάφεια με τα αποτελέσματα προηγούμενων μελετών. Η συσχέτιση μεταξύ των επιπτώσεων στην υγεία και των παραγόντων ενόχλησης ή υποκειμενικών παραγόντων, όπως η γενική στάση απέναντι στα WT, η στάση απέναντι στις οπτικές επιπτώσεις και η ευαισθησία στον θόρυβο, επιβεβαιώθηκε σε προηγούμενες μελέτες. Υπάρχουν αναφορές για μεγάλες διαφορές στα αποτελέσματα που αφορούν στη φυσική κατάσταση και στη διανοητική κατάσταση κατοίκων που αντιμετώπισαν την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών με θετικό τρόπο σε σχέση με όσους αντέδρασαν αρνητικά. Επίσης χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι για τους κατοίκους που εξετάστηκαν, η γενική διάθεσή τους απέναντι στην εγκατάσταση των ανεμογεννητριών καθόριζε σε μεγάλο βαθμό τις αναφορές για ένταση ή νευρικότητα. Ένας πιθανός μηχανισμός που να εξηγεί τις επιπτώσεις στην υγεία μετά την «έκθεση σε περιβάλλον ανεμογεννητριών» μπορεί να είναι ένα εύρος κοινωνικών και ψυχολογικών παραγόντων όπου η επίδρασή τους μπορεί να αυξήσει την ανησυχία για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών και κατά συνέπεια την πιθανότητα να αναφέρονται συμπτώματα που σχετίζονται με αυτές.

Άλλη μια έρευνα, μελετά το ζήτημα αποδοχής τέτοιων εγκαταστάσεων σε σχέση με τα καλώδια μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην ξηρά (power cable ή undersea cable). Αυτά τα καλώδια είναι ένας παράγοντας που θα μπορούσε να προκαλέσει αντιστάσεις από την τοπική κοινωνία λόγω της οπτικής ενόχλησης, ανησυχία για την αξία της ιδιοκτησίας και ανασφάλεια για πιθανές επιπτώσεις στην υγεία. Συγκρίνοντας διαφορετικά μέρη που έχουν πρόσβαση σε αυτά τα καλώδια θα μπορούσαμε να πούμε ότι και εδώ η έρευνα καταλήγει σε αντίστοιχα συμπεράσματα με προηγούμενες, αφού οι ερωτηθέντες που ήταν ενήμεροι για την χαμηλή επικινδυνότητα και τη λειτουργία των καλωδίων θεωρούσαν στα μεγαλύτερα ποσοστά πως αυτή η διαδικασία δεν μπορεί να τους βλάψει και αντίθετα μπορεί να αυξήσει τις θέσεις εργασίας. Αντίθετα οι υπόλοιποι που δεν είχαν επίγνωση και ενημέρωση, ήταν ανοίκειοι ως προς το ζήτημα ή ήταν επηρεασμένοι αρνητικά από τα Μ.Μ.Ε φαίνεται να ενοχλήθηκαν περισσότερο και να ανησυχούν περισσότερο για το κατά πόσο τα καλώδια μπορούν να τους βλάψουν.

Πίνακας 4. 8 Η αντίδραση της τοπικής κοινωνίας στα υποθαλάσσια καλώδια.

Believed Harms and Benefits of Submarine Power Cables.

Item	Coastal Delaware				Greater Atlantic City			
	Harm (%)	No effect (%)	Benefit (%)	Unsure (%)	Harm (%)	No effect (%)	Benefit (%)	Unsure (%)
Local fishing industry	6.8	67	0.3	26	12	61	1.4	25
Recreational fishing	8.7	73	1.5	17	11.6	69	1.6	18
Recreational boating	6.2	85	0.9	8.4	6.7	78	3.0	12
Local job creation	2.4	29	47	21	0.0	21	64	15
The reliability of electricity	3.2	22	52	23	0.4	20	57	23
Sand extraction for nourishment	19	29	15	37	12	33	20	35
Safety of people in water	3.7	67	5.1	24	13.5	65	4.8	17
Safety of people on beach	3.1	72	4.5	21	8.8	75	3.4	13
Human health	2.9	58	10	29	5.3	58	8.5	28

Η οπτική όχληση είναι κάτι υποκειμενικό και δύσκολα μπορούν να τεθούν κοινά αποδεκτοί κανόνες. Από έρευνες σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης προκύπτει ότι κάποιος που είναι ευνοϊκά διατεθειμένος απέναντι στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, αποδέχεται τις ανεμογεννήτριες και

οπτικά πολύ πιο εύκολα από κάποιον που είναι αρνητικός εξαρχής. Από τις ίδιες μελέτες, προκύπτει ότι τα αιολικά πάρκα είναι πιο αποδεκτά από αισθητικής άποψης σε ανθρώπους που είναι ενημερωμένοι για τα οφέλη που προέρχονται από την χρήση τους. Δεδομένου βεβαίως ότι οι ανεμογεννήτριες είναι κατ' ανάγκη ορατές από απόσταση, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι ιδιαιτερότητες κάθε τόπου εγκατάστασης και να γίνεται προσπάθεια ενσωμάτωσής τους στο τοπίο.

Η οπτική όχληση επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου χώρου εγκατάστασης και εξαρτάται από ένα αριθμό παραγόντων, όπως:

1. Το φυσικό μέγεθος των ανεμογεννητριών
2. Η απόσταση των ανεμογεννητριών από τον παρατηρητή
3. Ο αριθμός και ο σχεδιασμός των ανεμογεννητριών
4. Η διάταξη του αιολικού πάρκου
5. Η πυκνότητα του τοπικού πληθυσμού μέσα στη ζώνη της οπτικής επιρροής του αιολικού πάρκου
6. Ο αριθμός των επισκεπτών της γύρω περιοχής
7. Το είδος του τοπίου και η ύπαρξη εναλλακτικών "μη υποβαθμισμένων" περιοχών
8. Οι καιρικές συνθήκες και η τοπική τοπογραφία
9. Η στάση των ατόμων όσο αφορά στο τοπίο και στο φυσικό κάλλος
10. Η αντίληψη των ατόμων για το υπάρχον επίπεδο της οπτικής καλαισθησίας
11. Η στάση των ατόμων ως προς την αιολική ενέργεια

Προφανώς ο οπτικός αντίκτυπος μικραίνει με την απόσταση από την ακτή, και γενικά υποτίθεται ότι ο οπτικός αντίκτυπος στους θεατές στη στάθμη της θάλασσας είναι αμελητέος όταν βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 8 χιλιομέτρων από την ακτή.

#### **4.4. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από Παράκτια Αιολικά Πάρκα**

Οι επιπτώσεις των παράκτιων αιολικών πάρκων στο περιβάλλον διαφέρουν σημαντικά, ανάλογα με τη θέση, τον αριθμό, τη διάταξη των ανεμογεννητριών, το είδος θεμελίωσης και τα χρησιμοποιούμενα κατασκευαστικά υλικά. Βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις θα προκύψουν κατά τα στάδια κατασκευής και απεγκατάστασης του αιολικού πάρκου, ενώ μικρότερες, αλλά μεγαλύτερης διάρκειας κατά την φάση λειτουργίας του.

##### **1. Επαναιώρηση Ιζημάτων και Θολότητα Νερού**

Κατά τη διάρκεια εγκατάστασης και απεγκατάστασης του αιολικού πάρκου, ο πυθμένας προφανώς διαταράσσεται από την εγκατάσταση των θεμελίων των ανεμογεννητριών και την τοποθέτηση των υποθαλάσσιων καλωδίων που συνδέουν τις ανεμογεννήτριες με τους σταθμούς συλλογής της ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που προκαλεί την μεταφορά ιζήματος. Φυσικά η μετατόπιση του ιζήματος σχετίζεται με το μέγεθος των κόκκων των ιζημάτων, την πυκνότητα του υλικού και την ενέργεια που απαιτείται για τον μηχανισμό μεταφοράς. Κατά την διάρκεια του συγκεκριμένου φαινομένου παρατηρείται αύξηση στην θολότητα του νερού εξαιτίας των αιωρούμενων σωματιδίων, το μέγεθος της οποίας εξαρτάται από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται, τα μέτρα που λαμβάνονται για την αποφυγή της επαναιώρησης, το είδος του ιζήματος και τις υδρογραφικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή την περίοδο κατασκευής του έργου. Κάτι τέτοιο οδηγεί σε μείωση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στο υδάτινο περιβάλλον με επακόλουθα αρνητικά αποτελέσματα στην θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα. Ωστόσο, η επίδραση αυτή είναι παροδική με αποτέλεσμα να είναι αμελητέα η απώλεια που μπορεί να έχει το οικοσύστημα. Αντίθετα, η

εγκατάσταση των θεμελίων των ανεμογεννητριών στον πυθμένα, λειτουργούν ως τεχνικοί σκόπελοι δημιουργώντας ένα νέο τεχνητό οικοσύστημα για τους θαλάσσιους οργανισμούς που διαβιούν σε αυτή την περιοχή επομένως η επίδραση της εγκατάστασης των αιολικών πάρκων μπορεί να θεωρηθεί έως και θετική.

## **2. Μορφολογία του πυθμένα**

Κατά τη λειτουργία του υπεράκτιου αιολικού πάρκου μπορεί να επηρεαστεί η μορφολογία του πυθμένα, γεγονός που επίσης εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών, τη διάμετρο τους και την τυρβώδη ροή που δημιουργείται γύρω από τις θεμελιώσεις των ανεμογεννητριών. Όταν η απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών αυξάνεται τότε μειώνεται η έκταση της περιοχής του πυθμένα που επηρεάζεται, λόγω της μεγαλύτερης κυκλοφορίας των υδάτων, ενώ όσο αυξάνεται η διάμετρος των ανεμογεννητριών, τόσο αυξάνεται και η περιοχή του πυθμένα που διαταράσσεται, εφόσον αυξάνεται και η έκταση που εμποδίζει τη ροή του νερού. Επιπλέον, το τυρβώδες καθεστώς με την σειρά του, στις πλησιέστερες κατάντη ζώνες του κάθε εμποδίου – πύργου ανεμογεννητριών, δημιουργεί υποσκαφή και αφαίρεση υλικού από τον πυθμένα ώστε να παρατηρούνται εμβαθύνσεις στα σημεία αυτά. Συγκεκριμένα, το υποθαλάσσιο ρεύμα βρίσκει ένα εμπόδιο με αποτέλεσμα της αύξησης της πίεσης πάνω στο «μέτωπο» του εμποδίου και συγχρόνως την μείωση της ταχύτητας μεταφοράς του υλικού. Σαν άμεσο επακόλουθο του φαινομένου αυτού είναι η εναπόθεση ιζήματος στα ανάντη του κάθε εμποδίου. Συγχρόνως, στα κατάντη του κάθε εμποδίου, πριν η ροή των ρευμάτων ξαναγίνει ομαλή και παράλληλη με την αρχική, παρατηρούνται φαινόμενα υποπίεσης (αρνητικής πίεσης), με αποτέλεσμα την επικράτηση σχηματισμού τύρβης στις ζώνες αυτές.

## **3. Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία**

Τα υποβρύχια καλώδια που χρησιμοποιούνται για την σύνδεση των ανεμογεννητριών μεταξύ τους, αλλά και για την μεταφορά ενέργειας από το αιολικό πάρκο στον σταθμό συλλογής ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκεται στην ξηρά παράγουν ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Ανάλογα με τον τύπο των καλωδίων τα πεδία που δημιουργούνται είναι ισχυρά ή ασθενή και προκαλούν επιπτώσεις στους θαλάσσιους οργανισμούς. Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία μπορεί να επηρεάσουν τα ψάρια καθώς και τα θαλάσσια θηλαστικά που χρησιμοποιούν το μαγνητικό πεδίο της γης για την μετακίνησή τους. Παραδείγματος χάριν, ένα μαγνητικό πεδίο ίσο με αυτό της γης (περίπου 50μΤ) που εκπέμπεται από καλώδια συνεχούς ρεύματος, υψηλής τάσης μπορεί να ανιχνευθεί στην Βαλτική θάλασσα σε μια απόσταση περίπου 6 m. Ένα τέτοιο πεδίο είναι ικανό να επηρεάσει τις πυξίδες των πλοίων και να αλληλοεπιδράσει με τον προσανατολισμό οποιουδήποτε οργανισμού βασίζεται στο μαγνητικό πεδίο της γης. Τα ευαίσθητα στα ηλεκτρικά πεδία είδη μπορεί να προσελκυσθούν ή να απωθηθούν από τα ηλεκτρικά πεδία. Πιθανό είναι να συγκεντρωθούν ή να διασκορπιστούν εξαρτώμενα από την έκταση του ηλεκτρικού περιβάλλοντος όπου υπάρχουν πολλαπλές παρατάξεις καλωδίων. Επομένως η έρευνα γίνεται επιτακτική, όταν το υπεράκτιο αιολικό πάρκο θα εγκατασταθεί σε περιοχές ιδιαίτερης σημασίας για την τροφή και την αναπαραγωγή των ευαίσθητων ειδών.

## **4. Ρύποι**

Ρύποι μπορεί να διοχετευτούν στο θαλάσσιο περιβάλλον από τα παράκτια αιολικά πάρκα με δύο τρόπους, είτε ως τυχαίο γεγονός – ατύχημα, είτε ως φυσική φθορά των υλικών των ανεμογεννητριών. Ατυχήματα μπορεί να προκληθούν κατά την διάρκεια συντήρησης των ανεμογεννητριών, από τη σύγκρουση πλοίων με τις ανεμογεννήτριες, αλλά και κατά την κατασκευή και λειτουργία τους. Ζημιά στα θαλάσσια καλώδια, μπορεί να οδηγήσει σε απελευθέρωση ποσοτήτων ορυκτελαίου που χρησιμοποιείται σαν μονωτικό υλικό στα καλώδια. Σαν παράδειγμα,

κατά την εγκατάσταση του παράκτιου αιολικού πάρκου στο Middelgrunden, τα θαλάσσια καλώδια υπέστησαν ζημιά τρεις φορές, αλλά παρόλα αυτά δεν υπήρξαν περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αφού τα καλώδια δεν περιείχαν πετρέλαιο σαν μονωτικό υλικό. Γενικά όλοι οι παραπάνω κίνδυνοι με σωστή μελέτη των χρησιμοποιούμενων υλικών (με την αποφυγή χρήσης χημικών για την κάλυψη των θεμελίων, του πύργου και των τουρμπινών) και τήρηση των προδιαγραφών κατά την διάρκεια εγκατάστασης και συντήρησης των ανεμογεννητριών μπορεί να ελαχιστοποιηθούν.

## **5. Θόρυβος και Δόνηση**

Κατά την διάρκεια εγκατάστασης, λειτουργίας και απεγκατάστασης ενός παράκτιου αιολικού πάρκου, παράγεται θόρυβος. Ο θόρυβος διαδίδεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, αλλά και κάτω από αυτή και διακρίνεται σε δύο κατηγορίες, τον αεροδυναμικό και τον μηχανικό θόρυβο.

### **Θόρυβος πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας**

Ο αεροδυναμικός θόρυβος είναι συνδεδεμένος με την αλληλεπίδραση της τύρβης με την επιφάνεια των πτερυγίων και είναι ο κύριος μηχανισμός παραγωγής ακουστικού θορύβου. Ο μηχανικός θόρυβος προέρχεται κυρίως από τα μεταλλικά εξαρτήματα που βρίσκονται σε κίνηση ή τριβή μεταξύ τους, δημιουργείται δηλαδή από τον πολλαπλασιαστή, το σύστημα μετάδοσης κίνησης, και τη γεννήτρια. Ο θόρυβος μεταδίδεται μέσω των δομικών στοιχείων της μηχανής και εκπέμπεται από επιφάνειες όπως ο πύργος, τα πτερύγια και η άτρακτος.

Κατά τη διάρκεια εγκατάστασης του αιολικού πάρκου, ο θόρυβος και οι δονήσεις από τις εργασίες που λαμβάνουν χώρα μπορεί να επηρεάσουν τα πουλιά και τα θαλάσσια θηλαστικά, η επίδραση όμως αυτή θα είναι προσωρινή αφού οι εργασίες είναι μικρής διάρκειας. Κατά τη λειτουργία του αιολικού πάρκου ο θόρυβος δεν φτάνει ως την ακτή, ώστε να αποτελέσει κίνδυνο ηχορύπανσης για τον άνθρωπο. Συγκεκριμένα, οι κατασκευαστές των ανεμογεννητριών δεν δίνουν έμφαση στον έλεγχο του θορύβου εφόσον οι ανεμογεννήτριες είναι τοποθετημένες σε μεγάλη απόσταση από την ακτή και τα επίπεδα θορύβου που φτάνουν σε αυτή είναι αμελητέα. Κατά την απεγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου οι επιπτώσεις από το θόρυβο και τις δονήσεις είναι οι ίδιες με τη φάση της εγκατάστασης.

### **Θόρυβος κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας**

Κατά την εγκατάσταση και την απεγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου ο θόρυβος και οι δονήσεις προέρχονται από τις μηχανές και τα πλοία που συμμετέχουν στις εργασίες, τα εργαλεία για την τοποθέτηση των θεμελίων και την τοποθέτηση των ανεμογεννητριών. Από μελέτες που πραγματοποιηθήκαν στο Ηνωμένο Βασίλειο, κατά την διάρκεια εγκατάστασης αιολικού πάρκου, προέκυψαν επίπεδα θορύβου 250 dB στο 1 m κατά την διάρκεια της τοποθέτησης των πασσάλων. Αυτά τα υψηλά επίπεδα θορύβου μπορεί να προκαλέσουν μεγάλη ή μόνιμη βλάβη στο ακουστικό σύστημα των ζώων που βρίσκονται στη ζώνη επίδρασης της περιοχής εγκατάστασης του αιολικού πάρκου. Παρόλα αυτά δεν υπάρχει αρκετή επιστημονική γνώση για να καθοριστούν τα όρια του θορύβου που επιτρέπονται για την αποτροπή των συνεπειών.

Κατά τη φάση εγκατάστασης του αιολικού πάρκου είναι πιθανό να διαταραχθούν πολλά είδη οργανισμών, και οι επιπτώσεις θα εξαρτηθούν από τη συχνότητα του ήχου, τη διάρκεια του, αλλά κυρίως από την ευαισθησία των ειδών που διαβιούν σε αυτή. Κατά τη διάρκεια των εργασιών εγκατάστασης του αιολικού πάρκου, ο θόρυβος μπορεί να εκπέμπεται σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 80 km. Οι επιδράσεις στη συμπεριφορά των θαλάσσιων οργανισμών είναι φανερές και ύστερα από πολλά χιλιόμετρα παρόλα αυτά, ο θόρυβος και οι δονήσεις κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης θα παύσουν μετά το τέλος των εργασιών. Κατά τη



διάρκεια λειτουργίας του αιολικού πάρκου, ο ήχος παράγεται μέσα στο κιβώτιο ταχυτήτων και μεταδίδεται μέσα στο νερό διαμέσου της γεννήτριας.

Οι μετρήσεις των επιπέδων θορύβου που έγιναν στον αέρα στο παράκτιο αιολικό πάρκο Horns Rev της Δανίας, όσο αφορά τις ανεμογεννήτριες και τους μεταφορείς, έδειξαν μια αμελητέα συμβολή στα επίπεδα θορύβου που παράγονται μέσα στο νερό. Ο θόρυβος που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες στον αέρα, δεν είναι μεγαλύτερος από την συχνότητα των 1 kHz, ενώ μέσα στο νερό ξεπερνά τη συχνότητα αυτή. Η απόσταση ανίχνευσης εξαρτάται από το μέγεθος και τον αριθμό των ανεμογεννητριών, τα ακουστικά όργανα των ψαριών, το βάθος του νερού και το στρώμα του πυθμένα. Τα ψάρια παράγουν μια ποικιλία ήχων για να επικοινωνούν μεταξύ τους, και οι ήχοι αυτοί μπορεί να ανακατευτούν με τον ήχο που εκπέμπουν οι ανεμογεννήτριες, με αποτέλεσμα να επηρεαστεί ο βαθμός αποτελεσματικότητας επικοινωνίας των ψαριών. Παρόλα αυτά, δεν υπάρχουν στοιχεία ότι ο ήχος από τις ανεμογεννήτριες προκαλεί ζημιά στο ακουστικό σύστημα των ψαριών, ακόμη και σε μικρές αποστάσεις των λίγων μέτρων. Μια από τις μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στα αιολικά πάρκα Horns Rev και Nysted προκύπτει, ότι τα επίπεδα θορύβου δεν φαίνεται να προκαλούν ζημιά στα ακουστικά όργανα των θαλάσσιων θηλαστικών και δεν επηρεάζουν την συμπεριφορά τους στην περιοχή γύρω από τις ανεμογεννήτριες.

## 6. Αλιεία

Οι εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων, θα μπορούσαν να ενισχύσουν τα επίπεδα της τοπικής αλιείας στις εκάστοτε περιοχές. Κάτι τέτοιο πραγματοποιείται λόγω της δημιουργίας νέων ενδιαιτημάτων στις περιοχές θεμελιώσεων των ανεμογεννητριών. Τα νέα ενδιαιτήματα, θα προσελκύσουν νέα είδη ψαριών, τα οποία με την σειρά τους μπορεί να αποτελέσουν εμπορικά εκμεταλλεύσιμα είδη. Από την άλλη μεριά, το ψάρεμα μπορεί να απαγορευθεί στην περιοχή του αιολικού πάρκου αλλά και στην έκταση που εκτείνονται τα καλώδια προς την ξηρά. Η περιοχή που είναι απαγορευτική για το ψάρεμα μπορεί να έχει μικρή έκταση, αλλά οι επιπτώσεις στην αλιεία είναι σημαντικές. Θετικές, αναφορικά στους ίδιους τους πληθυσμούς των ψαριών οι οποίοι θα αυξηθούν λόγω της δημιουργίας επιπλέον ενδιαιτημάτων και αρνητικές για τους αλιείς που θα αποκλειστούν από αυτές τις περιοχές ψαρέματος.

## 7. Πτηνά

Οι επιπτώσεις των αιολικών πάρκων στην ορνιθοπανίδα είναι ποικίλες και εξαρτώνται, όπως έχει αναφερθεί από πολλούς παράγοντες, όπως τα ειδικά χαρακτηριστικά του έργου, οι βιότοποι, καθώς και τα είδη και οι πληθυσμοί των πουλιών που επηρεάζονται. Οι δυνητικές επιπτώσεις ενός αιολικού πάρκου στους πληθυσμούς των πουλιών, μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

1. Άμεση θανάτωση λόγω πρόσκρουσης στα πτερύγια των τουρμπινών (ωστόσο και πάλι έρευνα που έγινε καταλήγει πως ο αριθμός θανάτωσης από πρόσκρουση είναι πολύ μικρός)
2. Ενόχληση που οδηγεί σε εκτόπιση των πουλιών και των γραμμών πτήσεων που αυτά χρησιμοποιούν μακριά από το αιολικό πάρκο, το αποκαλούμενο ως "φράγμα ανάσχεσης" (barrier effect).
3. Άμεση απώλεια βιοτόπου σαν αποτέλεσμα της κατασκευής των τουρμπινών και των βοηθητικών τους εγκαταστάσεων.

Συνοψίζοντας, όπως και κάθε μηχανολογική εγκατάσταση, έτσι και η δημιουργία των αιολικών πάρκων μπορεί δυνητικά να επηρεάσει ποικιλοτρόπως την ομαλή λειτουργία του κάθε βιότοπου και του περιβάλλοντος γενικότερα. Ωστόσο οι μέχρι στιγμής έρευνες για όλους τους πιθανούς περιβαλλοντικούς κινδύνους που αναφέρθηκαν παραπάνω καταλήγουν πως οι ανεμογεννήτριες δεν μπορούν να θεωρηθούν με κάποιο τρόπο «βλαβερές» για το περιβάλλον και πως με σωστή χρήση

υλικών και προβλεπόμενες διαδικασίες οι κίνδυνοι που προκύπτουν από αυτές μπορούν να θεωρηθούν ελάχιστοι.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ Δ΄**

### **Βιβλία**

Kichsteiger C., Christou M.D., Papadakis A.G. (1998), *Risk Assessment and Management in the Context of the Seveso II Directive*. ELSEVIER

Γεωργιάδου Ε. (2018), *ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΑΙΜΑΚΑΣ*, Αθήνα: Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας.

Δρίβας Σ., Ζορμπά Κ., Κουκουλάκη Θ.(2000), *Μεθοδολογικός οδηγός για την εκτίμηση και πρόληψη του επαγγελματικού κινδύνου*. Αθήνα: Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας.

### **Άρθρα σε επιστημονικό περιοδικό**

Asian, S., Ertek, G., Haksoz, C., Pakter, S., and Ulun, S. (2017), Wind turbine accidents: A data mining study. *IEEE Systems Journal*, 11, 1567-1578.

Jalali L., Bigelow P., McColl S., Majowicz S., Gohari M., Waterhouse R. (2016), Changes in quality of life and perceptions of general health before and after operation of wind turbines. *Environmental pollution*. 216. 608-615.

Jin X., Ju W., Zhang Z., Guo L., Yang X. (2016), System safety analysis of large wind turbines. *Renewable and sustainable energy reviews*. 56. 1293-1307.

Jui-Sheng C. and Wan-Ting T. (2011), Failure analysis and risk management of a collapsed large wind turbine tower. *Engineering failure analysis*.18. 295-314.

Kang J., Sun L., Soares C.G (2018), Fault Tree Analysis of floating wind turbines. *Renewable Energy*. 1-13.

Mentes A. and Turan O. (2018), A new resilient risk management model for Offshore Wind Turbine maintenance, *Elsevier, Safety Science*

Ribrant J. and Bertling L.M. (2007), Survey of Failures in Wind Power Systems with Focus on Swedish Wind Power Plants During 1997–2005, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 22, No. 1, 167-184.

Wagenaar W. A. και Van der Schrier J. (1997), Accident Analysis -The goal and how to det there. *Safety science*, 26. 25-33.

Wymore M.L., Van Dam J. E., Ceyalan H., Qiao D. (2015), A survey of health monitoring systems for wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 52. 977-985.

### **Επιστημονικές εργασίες**

Δαγκίνης Ι. (2018) , *Μεθοδολογικό πλαίσιο αξιοπιστίας και αποδοτικότητας θαλασσίων κατασκευών για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*, διδακτορική εργασία. Χίος.

Καλπακίδης Α. (2013), *Μελέτη Δυνατοτήτων και προοπτικών εγκατάστασης υπεράκτιων αιολικών πάρκων στην Ελλάδα*, Διπλωματική εργασία. Καβάλα.

Καραχάλιου (2019) , *Τεχνολογίες Αφαλάτωσης και Προοπτικές Εφαρμογής στον Ελληνικό χώρο*, μεταπτυχιακή εργασία. Αθήνα.

Μητσάκου Αικατερίνη (2018), *Τεχνοοικονομική ανάλυση εγκατάστασης υπεράκτιων αιολικών πάρκων*, διπλωματική εργασία. Χανιά

Φραγκιαδάκης Ν. (2015) , *Ανάπτυξη και εφαρμογή μεθοδολογίας εκτίμησης διακινδύνευσης σε ναυπηγεία*, διδακτορική διατριβή. Αθήνα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε΄

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα που υπάρχουν μέχρι στιγμής όσον αφορά τις επιπτώσεις που μπορεί να έχουν οι μετατροπές της κυματικής ενέργειας. Γίνεται αναφορά στις τεχνικές αστοχίες που μπορεί να προκύψουν και τι συνέπειες μπορεί να έχουν αυτές σε επιμέρους παραμέτρους. Επιπλέον, επισημαίνονται οι πιθανές περιβαλλοντικές συνέπειες και οι συνέπειες σε σχέση με τους άμεσα εμπλεκόμενους κατοίκους αλλά και τον τουρισμό.

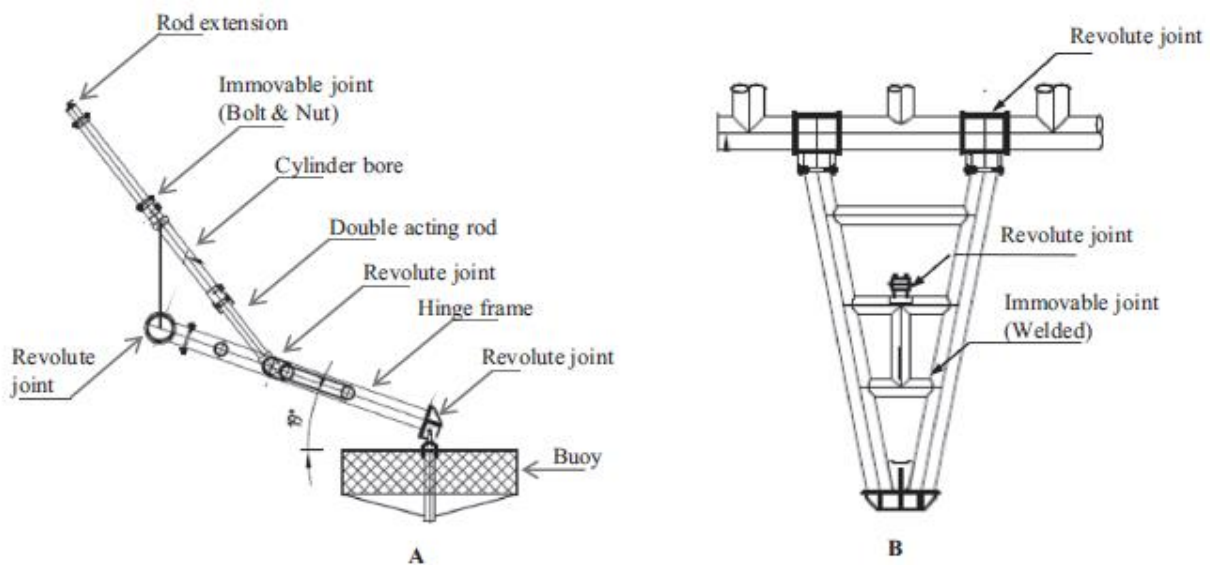
Το ζήτημα της ασφάλειας είναι ιδιαίτερος σημαντικό και όσον αφορά της υπεράκτιες συσκευές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και όπως έχει αναφερθεί λόγο του συγχρόνου χαρακτήρα τους η εκτίμηση κινδύνου κρίνεται αναγκαία. Γενικά, το κόστος των διαδικασιών ασφάλειας, όπως η επιθεώρηση, επισκευή και συντήρηση για τις υπεράκτιες δομές ενέργειας είναι υψηλό σε σύγκριση με εκείνα στις χερσαίες τοποθεσίες. Ένα αποτελεσματικό σχέδιο συντήρησης συναντά περιορισμένους σε σχέση με τους χρηματικούς πόρους έτσι θα πρέπει να διερευνηθεί ποιες καταστάσεις είναι επικίνδυνες και να ληφθούν υπόψιν όλες οι πιθανές συνθήκες αστοχίας ώστε να αξιολογηθούν και να προβλεφθούν ώστε να μειωθεί το κόστος συντήρησης αργότερα. Ωστόσο η λήψη τέτοιων αποφάσεων είναι δύσκολη, καθώς είναι δύσκολο να προβλεφθούν οι συνέπειες μιας απόφασης, ειδικά όταν συνεπάγεται υψηλό κίνδυνο και μεγάλες αβεβαιότητες.

### 5.1. Εκτίμηση αστοχίας ενός μετατροπέα κυματικής ενέργειας

Ένας μετατροπέας, απορροφά το ενεργειακό δυναμικό των κυμάτων και μπορεί και το μετασχηματίζει σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω ηλεκτρομηχανικών διαδικασιών μετατροπής. Το κύριο σύστημα δέσμευσης της ενέργειας είναι ένας πλωτήρας ημισφαιρικού σχήματος, όπου συνδέεται στο άκρο μια αρθρωτής κατασκευής. Όταν δέχεται το ερέθισμα από ένα θαλάσσιο κύμα, ο πλωτήρας ανυψώνεται ενώ η αρθρωτή κατασκευή ακολουθεί μια τοξωτή τροχιά γύρω από έναν άξονα περιστροφής. Αυτή η περιστροφική τροχιά, μετασχηματίζεται σε ευθύγραμμη κίνηση μιας υδραυλικής διάταξης διπλής ενέργειας, μέσω της οποίας τροφοδοτείται ένας υδραυλικός κινητήρας συνδεδεμένος με μια γεννήτρια. Στο υδραυλικό δίκτυο παρεμβάλλεται μια διάταξη απορρόφησης ενέργειας (accumulator) αερίου όπου χρησιμεύει στη διασφάλιση της σταθερής ροής του υπό πίεση υδραυλικού ρευστού. Το υδραυλικό λάδι επιστρέφει σε μια δεξαμενή επιστροφών και αποβάλλει την εναπομένουσα ενέργεια του με τη μορφή θερμότητας.

- Πλωτήρας: κατασκευάζεται από σύνθετα υλικά (με ενίσχυση ινών γυαλιού). Μπορεί να αστοχήσει λόγω υπερφόρτισης από κρουστικά φορτία που δημιουργούνται σε ακραίες συνθήκες κυματισμού. Σε συνθήκες χαμηλής ποιότητας κατασκευής ο πλωτήρας μπορεί να αστοχήσει λόγω κόπωσης.
- Αρθρωτό πλαίσιο: κατασκευάζεται από μεταλλικά υλικά, συνήθως σιδηρούχα και έτσι δημιουργείται η πιθανότητα εξωτερικής ή εσωτερικής διάβρωσης. Μια λύση μπορεί να δοθεί από την εφαρμογή σιλικονούχων βαφών (biofouling paints). Λιγότερο συνηθισμένη αστοχία είναι η κόπωση στην περιοχή των συγκολλήσεων και των διάφορων ενώσεων των κατασκευαστικών του στοιχείων.

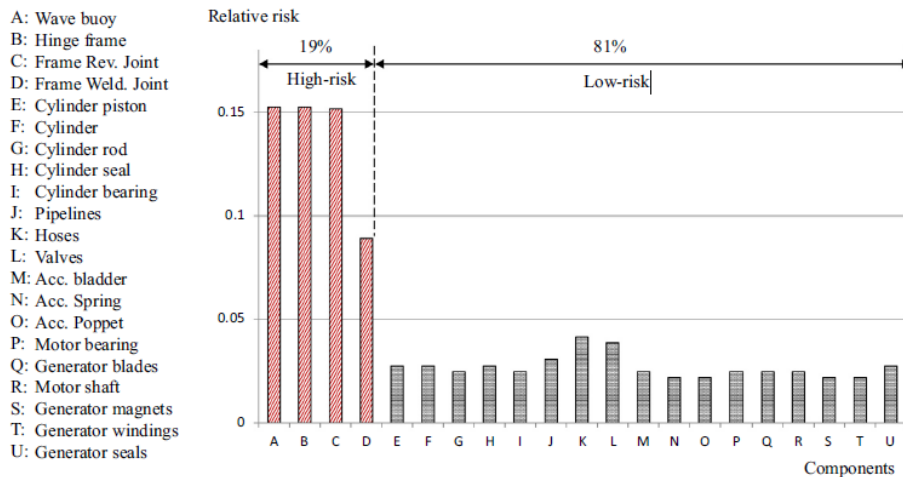
Εικόνα 5.1. Longitudinal cross-section of double-rod double-acting cylinder (Okoro and all σ.12)



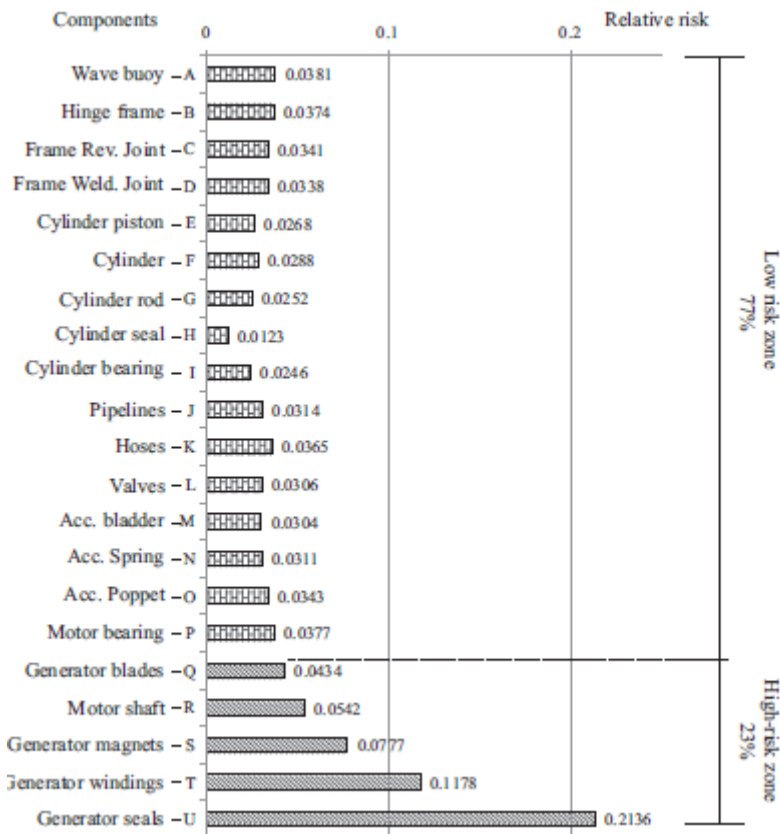
- Υδραυλικός κύλινδρος / έμβολο διπλής ενέργειας. το έμβολο συνήθως είναι κατασκευασμένο από κραματωμένο χάλυβα χρωμίου νικελίου που είναι εξαιρετικά ανθεκτικός στη διάβρωση. Παρόλα αυτά η υπερφόρτιση του συστήματος από ακραίους κυματισμούς υποβάλει τη ράβδο του εμβόλου σε εναλλασσόμενο λυγισμό και μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία είτε αυτής είτε του ίδιου του εμβόλου. Άλλες πηγές αστοχίας είναι αφορούν κυρίως στις διατάξεις στεγάνωσης των υδραυλικών ενώσεων (o-rings, glands, σημεία επαφής με έδρανα κλπ). Τέτοιες αστοχίες δημιουργούν αλλαγές στα διάκενα και τις ανοχές του κυλίνδρου και επομένως σε διαρροές.
- Υδραυλικός κινητήρας / γεννήτρια: όσον αφορά στον κινητήρα, η υπερβολική διαρροή, η αστοχία των στεγανωτικών διατάξεων και ο θόρυβος είναι τα κύρια σφάλματα και αστοχίες που παρατηρούνται. Επίσης η διάβρωση, οι ρωγμές, η υπερφόρτιση και η κρούση, η λανθασμένη ρύθμιση των διάκενων κατά τη συγκόλληση των εξαρτημάτων, της κατασκευής και της παραγωγής μπορεί να οδηγήσει σε μη ευθυγραμμισμένο άξονα, σε ασυμμετρίες του ρότορα και των υποδοχών των εδράνων κύλισης κλπ.
- Υδραυλικό δίκτυο: πάσχει από ρωγμές λόγω κατασκευής ή υπερπίεσης. Αυτό μπορεί να οξυνθεί από εξωτερική ή εσωτερική διάβρωση των σωληνώσεων όπου εξαρτώνται από την θερμοκρασία και την υγρασία του υδραυλικού μέσου, την διαβρωτικότητά του κλπ. Η κόπωση μπορεί να οφείλεται από τα δυναμικά φαινόμενα που δημιουργούνται λόγω της ροής των υδραυλικού μέσου ή λόγω των δονήσεων που δημιουργούνται από τη λειτουργία του κινητήρα, του κυματισμού κλπ.
- Accumulator (συσσωρευτής): στο εσωτερικό του βρίσκεται μια εύκαμπτη μεμβράνη όπου συγκρατεί το υπό πίεση αέριο και το διαχωρίζει από το υπό πίεση υδραυλικό λάδι. Κύρια πηγή αστοχίας είναι η διάρρηξη της διαχωριστική μεμβράνης λόγω ακραίων διακυμάνσεων της πίεσης. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε καιρικές συνθήκες και αλλαγές στο υδραυλικό σύστημα.
- - Επιστόμια (βαλβίδες): η αστοχία τους οφείλεται στη φυσιολογική φθορά που συμβαίνει κατά τη λειτουργία τους. Επιταχυντικός παράγοντας στην φθορά τους είναι η λανθασμένη σύνδεση τους με το δίκτυο, η διάβρωση η ελαττωματική κατασκευή, η μηχανική αστοχία, η κόπωση των εξαρτημάτων τους.

Στην εργασία “Multi-criteria risk assessment approach for components risk ranking – The case study of an offshore wave energy converter” μελετήθηκαν 21 εξαρτήματα από ένα σύστημα κυματικής ενέργειας, υπό το πρίσμα 112 παραμέτρων, των εννέα κύριων μηχανισμών που το αποτελούν. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.

Εικόνα 5.2. Δείκτες επιδόσεων κινδύνου για διάφορα συστατικά από την έκθεση σε μικροβιακή επαγόμενη εξωτερική διάβρωση(Clement σ.14)



Εικόνα 5.3. Κατανομή επικινδυνότητας στα διάφορα στοιχεία του μετατροπέα(Clement and all σ.15)



Όπως φαίνεται από το διάγραμμα περίπου το 50% της επικινδυνότητας για αστοχία συγκεντρώνεται στο 23% των εξαρτημάτων. Σφάλματα στις συγκολλήσεις, κατασκευαστική αστοχία και συναρμολόγηση, αποτελούν τις πιο συχνές πηγές κινδύνων και τις βασικές αιτίες αστοχίας για τους

πλωτήρες, το πλαίσιο, τις αρθρώσεις και τον κύλινδρο. Θα πρέπει λοιπόν να τεθούν διαδικασίες ελέγχου των παραπάνω στοιχείων της κατασκευής. Επίσης μέσω αυτού μπορεί να δημιουργηθεί ένα μοτίβο παρακολούθησης για κάθε εξάρτημα του συστήματος. μέσω της ανάλυσης αυτής οι μηχανικοί μπορούν να κατηγοριοποιήσουν τους κινδύνους και τα εξαρτήματα που θα πρέπει να ελεγχθούν και μέσω αυτών των κατανομών να στοιχειοθετήσουν ένα σχέδιο τακτικής συντήρησης όπου θα προλαμβάνει αστοχίες.

## 5.2. Οι περιορισμοί από τη χρήση της κυματικής ενέργειας

Οι κύριοι φραγμοί της ενέργειας κυμάτων προκύπτουν από τον ίδιο τον φορέα ενέργειας, τη θάλασσα. Αρχικά, ο λόγος κορυφής προς το μέσο όρο φορτίου στη θάλασσα είναι πολύ υψηλός και δύσκολος να προβλεφθεί. Είναι, για παράδειγμα, δύσκολο να καθοριστεί με ακρίβεια η περίοδος επιστροφής κύματος 50 ετών για μια συγκεκριμένη τοποθεσία, όταν η συστηματική καταγραφή των ιδιοτήτων των κυμάτων ξεκίνησε πριν από λίγα χρόνια. Το αποτέλεσμα είναι είτε η υποεκτίμηση είτε η υπερεκτίμηση των φορτίων σχεδιασμού για μια συσκευή. Στην πρώτη περίπτωση, η ολική ή μερική καταστροφή των εγκαταστάσεων είναι αναμενόμενη, με μαθηματική ακρίβεια. Στην τελευταία περίπτωση, το υψηλό το κόστος κατασκευής προκαλεί υψηλό κόστος παραγωγής ενέργειας, καθιστώντας έτσι την τεχνολογία μη ανταγωνιστική. Αυτοί οι περιορισμοί, μαζί με την παραπληροφόρηση και την έλλειψη κατανόησης της τεχνολογίας των κυμάτων από τη βιομηχανία, την κυβέρνηση και το κοινό, έχουν συχνά επιβραδύνει την ανάπτυξη της ενέργειας των κυμάτων.

Οι πιο σημαντικές δυσκολίες που προκύπτουν από την χρήση της κυματικής ενέργειας είναι:

- αποκλίσεις στο εύρος, τη φάση και την κατεύθυνση κύματος, γεγονός που καθιστά δύσκολο το να επιτευχθεί μέγιστη απόδοση μιας συσκευής σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων διέγερσης
- Η δομική φόρτιση σε περίπτωση ακραίων καιρικών συνθηκών, όπως οι τυφώνες, μπορεί να είναι τόσο υψηλό όσο 100 φορές το μέσο φορτίο

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται συγκεντρωτικά οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορεί να έχουν τέτοιες συσκευές, ανάλογα με το σημείο εγκατάστασης τους(υπεράκτια, στην ακτογραμμή είτε στην ξηρά). Είναι προφανές ότι ενώ υπάρχουν κίνδυνοι, δεν υπάρχει πουθενά μεγάλη επίδραση στο περιβάλλον, και επιπλέον στους παράγοντες που υπάρχει υπάρχουν τρόποι ελαχιστοποίησης τους.

Πίνακας 5.1. Περιβαλλοντικές Συνέπειες Μετατροπένων Κυματικής Ενέργειας(Clement and all σ.5)

Περιβαλλοντικές συνέπειες	Στην ξηρά	Παραθαλάσσια	Υπεράκτια
Εκμετάλλευση της γης	ΜΙΚΡΗ		
Κατασκευή και συντήρηση χώρων	ΜΙΚΡΗ		
Αναυχή	ΜΙΚΡΗ	ΜΙΚΡΗ	
Παράκτια διάβρωση	ΜΙΚΡΗ	ΜΙΚΡΗ-ΜΕΣΑΙΑ	ΜΙΚΡΗ-ΜΕΣΑΙΑ
Ιζηματογενής ροή		ΜΙΚΡΗ	ΜΙΚΡΗ
Κίνδυνος ναυσιπλοΐας		ΜΙΚΡΗ	ΜΙΚΡΗ



Ψάρια και υποθαλάσσια βλάστηση	ΜΙΚΡΗ	ΜΙΚΡΗ	ΜΙΚΡΗ
Ηχητική ρύπανση	ΜΙΚΡΗ		
Χαμηλές απώλειες υγρού		ΜΙΚΡΗ	ΜΙΚΡΗ
Απειλούμενα είδη	ΜΙΚΡΗ	ΜΙΚΡΗ	
Βλάβη συσκευής και βλάβη αγκυροβόλησης		ΜΙΚΡΗ-ΜΕΣΑΙΑ	ΜΙΚΡΗ-ΜΕΣΑΙΑ

### 5.2.1. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των συσκευών μετατροπής κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική είναι ότι οι ίδιες οι συσκευές δεν παράγουν κατά τη λειτουργία τους αέρια θερμοκηπίου, επιβλαβή απόβλητα και ρύπους. Ωστόσο χωρίς να υποτιμώνται τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πρέπει να γίνει και έρευνα στο κομμάτι των επιπτώσεων που μπορεί να έχουν, προκείμενου να είναι ευκολότερη και η αντιμετώπιση και μείωση τους. Προφανώς το πεδίο μέχρι στιγμής είναι θολό αφού όχι μόνο μιλάμε και μια σύγχρονη μέθοδο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά επίσης η γνώση των επιπτώσεων που μπορεί να έχει στο θαλάσσιο στοιχείο είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με τη γνώση που υπάρχει για την ξηρά.

Πίνακας 5.2. Οι εκπομπές του κύκλου ζωής μιας συσκευής κυματικής κύματος σε σχέση με μια μονάδα που λειτουργεί με άνθρακα ( *Bhattacharyya. and McCormick σ.60*)

Gas	Wave Energy Plant Emissions (g/kWh)	Coal Fired Plant* Emissions (g/kWh)
CO <sub>2</sub>	24.6	955
SO <sub>2</sub>	0.24	11.8
NO <sub>x</sub>	0.1	4.34

Αρχικά θα πρέπει να αναφερθεί ότι ενώ οι συσκευές δεν παράγουν καυσαέρια κατά τη λειτουργία τους, υπάρχει παραγωγή ρύπων κατά τις διαδικασίες εγκατάστασης, λειτουργίας (κυρίως συνδεδεμένη με την περίπτωση ατυχήματος), συντήρησης και απεγκατάστασης. Άλλα ζητήματα που θα πρέπει να αναφερθούν είναι οι πιθανές επιπτώσεις που θα μπορούσε μια εγκατάσταση τέτοιων συσκευών να προκαλέσει. Ανάμεσα σε άλλα υπάρχει το ζήτημα το θορύβου, της επίδρασης που θα μπορούσε να έχει η εγκατάσταση στον θαλάσσιο βιότοπο, στα θαλάσσια θηλαστικά, ψάρια και πτηνά, το ζήτημα της ποιότητας νερού και τέλος ζητήματα που έχουν να κάνουν με την τοπική κοινωνία όπως το ψάρεμα, η θαλάσσια κυκλοφορία αλλά και η αποδοχή από τους κάτοικους. Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τις πιθανές επιπτώσεις που θα μπορούσε να έχει μια εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 5.3. Πιθανές επιπτώσεις ενός πάρκου μετατροπής κυματικής ενέργειας (Bhattacharyya. and McCormick σ.58)

Issue/Aspect	Impact(s)
Sedimentary flow patterns	Changes in sediment transport and deposition may occur due to the siting and operation of wave power plants; flow patterns are difficult to predict and will require site-specific studies.
Coastal erosion	Near-shore schemes may affect coastal erosion by modifying wave activity; usually a beneficial effect.
Construction/maintenance sites	Possible visual and acoustic impacts; existing construction facilities should be used where possible.
Device moorings	Potential for impacts, e.g. on shipping, if moorings break away; careful design minimizes this.
Acoustic noise	Noise from onshore and near-shore installations may annoy some persons in nearby dwellings; and also may affect livestock, etc. Noise emissions, including those from offshore installations, will be directed mainly into the atmosphere and hence are unlikely to have major impacts on whales, etc.
Recreation	Visual impacts of large-scale shoreline projects may impact tourism; however, offshore schemes could enhance water sports by providing sheltered waters
Hazards to navigation	Easily minimized using conventional technology; note that project lights of wave power plants could be an aid to navigation.
Marine biota	While construction of wave power plants may have some initial adverse effects, installations can have a positive impact over the long term by serving as artificial reefs
Fishing	Exclusion zones around offshore devices could impact fishing operations, but they may prove beneficial to the resource; near-shore installations can assist mariculture operations through creation of sheltered conditions.
Endangered species	Marine mammals may be vulnerable, e.g. structures may act as a barrier; possible impacts avoided by not siting in habitats important to such species.

Όπως αναφέρθηκε οι εκπομπές από εγκαταστάσεις κυματικής ενέργειας ενδέχεται να προκύψουν ως αποτέλεσμα κακής πρακτικής ή ατυχημάτων, π.χ., οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν υδραυλικά συστήματα θα μπορούσαν να έχουν διαρροή λαδιού σε περίπτωση παραβίασης των υδραυλικών κυκλωμάτων. Ορισμένες εξελίξεις ενδέχεται να απαιτούν τη χρήση αντιρρυπαντικών παραγόντων, πολλά από τα οποία είναι τοξικά για τα υδρόβια είδη. Περιβαλλοντικά ασφαλείς επιλογές για αντιρρυπαντικές επιχρίσεις και τοξικές αντιρρυπαντικά μέσα υπάρχουν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια. Σε αντίθεση με τις συμβατικές τεχνολογίες ορυκτών καυσίμων, οι εγκαταστάσεις κυματικής ενέργειας δεν παράγουν αέρια θερμοκηπίου ή άλλους ατμοσφαιρικούς ρύπους ενώ παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, οι εκπομπές προέρχονται από άλλες στα στάδια του κύκλου ζωής τους (δηλ. κατά τη διάρκεια της αλυσίδας των διαδικασιών που απαιτούνται για την κατασκευή, τη μεταφορά, συντήρηση κ.λ.π). Οι εκπομπές από αυτά τα προ-λειτουργικά στάδια έχουν αξιολογηθεί ώστε να προκύψουν δίκαιες συγκρίσεις με αυτές εκπομπές από παραγωγή με βάση τα ορυκτά καύσιμα. Ο πίνακας 5.2. δείχνει τις σχετικές εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα

από μια αντιπροσωπευτική συσκευή ενεργείας κοντά στην ακτή (ταλαντευόμενη στήλη ύδατος) και τις ακόλουθες συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής και τις αντίστοιχες εκπομπές από μια συσκευή που λειτουργεί με καύση άνθρακα. Είναι επομένως σαφές πως η ενέργεια των κυμάτων προσφέρει σημαντικά περιθώρια για μειωμένες εκπομπές αυτού του αερίου και παρόμοια υπάρχουν οφέλη για άλλους ρύπους, όπως τα όξινα αέρια, το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου.

### **Εκπομπές ήχου**

Η παραγωγή θορύβου είναι ένα ζήτημα και ενδεχόμενο πρόβλημα που προκύπτει κατά τη λειτουργία των συσκευών μετατροπής κυματικής ενέργειας. Ο ένας τρόπος μεταφοράς του θορύβου είναι μέσω του αέρα, αλλά οι εκτιμήσεις και οι έρευνες μέχρι στιγμής δείχνουν ότι το ο ήχος των κυμάτων και του αέρα αντισταθμίζουν αυτό το ζήτημα και προσφέρουν ηχομόνωση. Ο άλλος τρόπος μεταφοράς θορύβου είναι διαμέσου του νερού και οι ενστάσεις που έχουν προκύψει έχουν να κάνουν με το γεγονός ότι οι συχνότητες που παράγουν οι συσκευές μπορεί να επηρεάσουν την ισορροπία και την επικοινωνία των θαλάσσιων θηλαστικών. Ωστόσο, σε αναλογία και με τις συσκευές μετατροπής αιολικής ενέργειας, και σε αυτή την περίπτωση μπορεί να ελεγχθεί η συχνότητα του παραγόμενου ήχου ώστε να μην επηρεάζει την υποθαλάσσια ζωή. Επίσης η παραγωγή ήχου μπορεί να μειωθεί με προσεκτική σχεδίαση.

### **Ποιότητα του νερού**

Όπως και στις συσκευές μετατροπής κυματικής ενέργειας, η διαδικασία εγκατάστασης είναι συνδεδεμένη με την αύξηση της θολότητας του νερού, γεγονός που κρίνεται σημαντικό αφού μετά από ένα χρονικό διάστημα επανέρχεται στην αρχική της κατάσταση. Ζητήματα που μπορεί να προκύψουν έχουν να κάνουν με πιθανά ατυχήματα και εκροή λαδιών ή λιπαντικών κατά τη λειτουργία ή συντήρηση, γεγονός που πάλι αντιμετωπίζεται από τη χρήση αντιρρυπαντικών και βιοαποικοδομήσιμων υλικών.

Τα κύματα και τα ρεύματα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην κίνηση μικρών στερεών αντικειμένων, ειδικότερα άμμου, στο βυθό της θάλασσας και στην ακτογραμμή. Αυτή η διαδικασία "παραλίμνιας ολίσθησης" έχει ως αποτέλεσμα τη διάβρωση της ακτογραμμής σε ορισμένες τοποθεσίες και την οικοδόμηση νέων ακτών σε άλλες. Ανάλογα με τον τύπο, το μέγεθος και τη θέση τους, οι εγκαταστάσεις μετατροπής κυματικής ενέργειας μπορούν να επηρεάσουν αυτές τις παράκτιες μεταφορές. Οι πλωτές συσκευές θα έχουν μοναδικό αντίκτυπο στις σταθερές κατασκευές κοντά στην ξηρά, επειδή το υπόλοιπο ενέργειας κάθε κύματος που δεν απορροφάται από την πλωτή συσκευή θα είναι διαθέσιμο για να ενεργοποιήσει τη διαδικασία της "παραλίμνιας ολίσθησης" χωρίς να την επηρεάζει ιδιαίτερα.

Αντίθετα, οι συσκευές με βάση Caisson έχουν μεγαλύτερο αντίκτυπο από τις πλωτές συσκευές, επειδή οι πυλώνες βάσης αντικατοπτρίζουν οποιαδήποτε ενέργεια προσπίπτοντος κύματος που δεν απορροφάται και υπό συνθήκες μπορεί να δημιουργηθεί μια "ζώνη σκιάς" χαμηλής ενέργειας πίσω από μια σειρά τέτοιων συσκευών. Όμως και αυτό το ζήτημα θα μπορούσε να επιλυθεί με προσεκτική επιλογή της τοποθεσίας τέτοιων συσκευών και συνιστάται για εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας που θα μπορούσαν να επηρεάσουν σοβαρά να υποβάλλονται σε δοκιμή βάσει μοντέλου στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων που προηγούνται του έργου.

## Επίδραση στον θαλάσσιο βιότοπο

Η εγκατάσταση κυματικών ενεργειακών συσκευών, ιδιαίτερα των σχεδίων στην ξηρά και κοντά στην ξηρά, θα μπορούσε να έχει επιπτώσεις στα ψάρια, δεδομένου ότι η κατασκευαστική δραστηριότητα θα διαταράξει τη θάλασσα. Ειδικότερα, η δραστηριότητα αυτή θα είναι πιθανόν να επηρεάσει τα βενθικά είδη, όπου οι διαταραχές θα μπορούσαν να μεταβάλουν τη σύνθεση της κοινότητας μια χρονική περίοδο, και μπορεί επίσης να μειώσει τη διαφάνεια του νερού, επηρεάζοντας έτσι τις άλλες τοπικές χλωρίδα και πανίδα. Ωστόσο, οι επιπτώσεις γενικά δεν είναι πιθανόν να παραμείνουν για περισσότερο από μία εποχή με την προϋπόθεση ότι οικολογικά ευαίσθητες περιοχές, όπως οι περιοχές αναπαραγωγής για τα ψάρια και άλλα θαλάσσια είδη, καθώς και εμπορικές καλλιέργειες οστρακοειδών, αποφεύγονται. Μια ακόμα πρόταση για την επίλυση του παραπάνω ζητήματος είναι η δημιουργία τεχνητών υφάλων που θα μπορούσε να αυξήσει την αποδοτικότητα της θαλάσσιας περιοχής. Ο σχεδιασμός των υφάλων αυτών θα μπορούσε να αυξήσει την ποικιλία των ειδών στην περιοχή, και θα ευνοούσε την αποίκηση από ψάρια και θαλάσσια είδη που βρίσκονται υπό απειλή. Επιπλέον, αναμένεται ότι από την εισαγωγή θαλάσσιας πανίδας και χλωρίδας στον πυθμένα, θα αυξηθεί η τροφή για τα τοπικά είδη αλιείας όπου με την σειρά της η αύξηση αυτή θα ευνοήσει τα θαλάσσια θηλαστικά και πτηνά. Υπάρχουν μελέτες για τη χρήση πλατφορμών εξόρυξης σαν τεχνητοί ύφαλοι μετά τη βύθιση τους. Οι συσκευές αυτές, είναι επιθυμητό να παραμείνουν στην τοποθεσία της εγκατάστασής τους για μεγάλο χρονικό διάστημα, αλλά η πρόβλεψη της επιχειρησιακής τους ζωής περιπλέκεται λόγω της αλληλεπίδρασης των υλικών κατασκευής με το θαλάσσιο περιβάλλον. Η επιτυχία σε αυτό, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες: τον προσανατολισμό της τοποθεσίας εγκατάστασης (λόγω του ότι καθορίζει την έκθεση της συσκευής σε θαλάσσια ρεύματα - κάποια πεδία εγκατάστασης θα μπορούσαν να έχουν μεγαλύτερη εισροή τροφής για κάποια είδη), την ροή οξυγόνου και την παροχή πλακτόν. Η απόσυρση των εγκαταστάσεων, πρέπει να μελετηθεί ενδελεχώς, λόγω του ότι μπορεί να έχει συνέπειες στους τοπικούς πληθυσμούς, ή σε πιο απομακρυσμένους πληθυσμούς λόγω οικολογικής διασύνδεσης.

Εκτός από τις πιθανές επιπτώσεις που προκύπτουν από την κατασκευή της εγκατάστασης, επιπτώσεις θα μπορούσαν να προκύψουν από την τοποθέτηση ηλεκτρικών καλωδίων μετάδοσης. Το συγκεκριμένο ζήτημα θα μπορούσε να επιλυθεί με γνώσεις από την εμπειρία της υπεράκτιας πετρελαϊκής βιομηχανίας στον τομέα των αγωγών πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η τοποθέτηση τέτοιων αγωγών προκαλούν διάδρομο διαταραχών πλάτους περίπου πέντε μέτρων και οι επιπτώσεις λόγω των αιωρούμενων επιπέδων ιζημάτων από τις συναφείς εργασίες βυθοκόρησης ενδέχεται να επηρεάσουν οργανισμούς σε μια ευρύτερη περιοχή. Ωστόσο, μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης του αγωγού η περιοχή είναι συνήθως εκ νέου αποικισμένη. Κατά συνέπεια, αναμένεται μικρή μακροπρόθεσμη βλάβη από την τοποθέτηση καλωδίων στην θάλασσα. Φυσικά ο αριθμός, η δύναμη των καλωδίων μετάδοσης ο τύπος καλωδίου που χρησιμοποιείται, ο τύπος του περιβλήματος του καλωδίου, καθώς και το βάθος στο οποίο είναι καλυμμένο το καλώδιο, όλα αντιπροσωπεύουν παράγοντες που θα επηρεάσουν το βαθμό στον οποίο επηρεάζονται τα ευαίσθητα είδη από ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Επιπλέον, ενδέχεται να υπάρχουν πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις για τα θαλάσσια θηλαστικά καθώς και για τα χερσαία θηλαστικά. Πολλά είδη θαλάσσιων θηλαστικών, αλλά και θαλάσσια πτηνά, είναι μεταναστευτικά και, ως εκ τούτου, μπορεί να επηρεαστούν από τα συστήματα ενέργειας κυμάτων. Οι συσκευές μπορούν από τη μια πλευρά να παρέχουν τεχνητό χώρο φωλεοποίησης για τα θαλάσσια πτηνά και να έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση των πληθυσμών αυτών των ειδών σε μεγαλύτερο βαθμό από ό, τι θα συνέβαινε κατά την απουσία. Από την άλλη πλευρά, πολλά είδη θαλάσσιων πτηνών προσελκύονται από το τεχνητό φως και μεγάλη θνησιμότητα πουλιών έχει τεκμηριωθεί από φάρους, φώτα ναυσιπλοΐας, υπεράκτιες πετρελαϊκές πλατφόρμες κυρίως κατά τη διάρκεια συννεφιασμένων βράχων με ψιλόβροχο και ομίχλη. Επιπλέον, τα περισσότερα πουλιά

μεταναστεύουν τη νύχτα επομένως, υπάρχει μια πιθανή, αν και χαμηλή, πιθανότητα σύγκρουσης πουλιών με τις προεξέχουσες συσκευές πάνω από την επιφάνεια.

Μία από τις κυριότερες πηγές ανησυχίας για τις πιθανές επιπτώσεις της ενέργειας των κυμάτων αφορούν στον υποβρύχιο θόρυβο και τις δονήσεις, οι οποίες ενδέχεται να διαταράξουν ορισμένες θαλάσσιες δραστηριότητες των θηλαστικών και των ψαριών σε σχέση με το δικό τους εύρος συχνοτήτων. Έχει αποδειχθεί ότι τα θαλάσσια θηλαστικά είναι σε θέση να ανιχνεύσουν τον ήχο χαμηλής συχνότητας που παράγεται από υπεράκτιες ανεμογεννήτριες και μπορεί να υπάρχει να είναι μια παρόμοια επίδραση από συσκευές ενέργειας κύματος. Οι επιπτώσεις στα θαλάσσια θηλαστικά μπορεί να περιλαμβάνουν έλξη, εκτόπιση ή βραχυπρόθεσμες αλλαγές συμπεριφοράς. Επιπλέον, θα μπορούσαν να μεταβάλουν τις μεταναστευτικές διαδρομές ειδών με εμπορική αξία. Υπάρχει επίσης η πιθανότητα η ακουστική παραγωγή να καλύπτει σημαντικούς φυσικούς ήχους, να προκαλέσει άγχος ή απώλεια ακοής. Υπάρχει ανάγκη να εξεταστεί χωριστά ο αντίκτυπος θορύβου από την εγκατάσταση, τη συντήρηση και τις επιχειρησιακές δραστηριότητες, και χρειάζεται περισσότερη εργασία για να ενημερωθούν σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις του θορύβου. Οι γενικές προσδοκίες είναι ότι αυτές οι εκπομπές θα είναι χαμηλές και ότι τα θηλαστικά θα προσαρμοστούν σε αυτές. Ένα άλλο σημείο ανησυχίας είναι ότι μπορεί να υπάρχει κίνδυνος σύγκρουσης θαλάσσιων θηλαστικών με τις εγκαταστάσεις. Κάποιες έρευνες που έγιναν δείχνουν πως υπάρχουν τεχνικές που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να προειδοποιήσουν τα θηλαστικά για την παρουσία ανθρωπογενών εγκαταστάσεων, γεγονός που θα μπορούσε να μειώσει το ενδεχόμενο σύγκρουσης.

### **Επίδραση στην αλιεία**

Οι ενεργειακές εγκαταστάσεις κυμάτων καταλαμβάνουν μια μικρή περιοχή της θάλασσας που τυπικά αποκλείεται από άλλες χρήσεις όπως η αλιεία. Αυτή η περιοχή περιλαμβάνει όχι μόνο το γενικό "αποτύπωμα" αυτών των συσκευών, όπως τα θεμέλια και τα αγκυροβόλια τους, αλλά και μια μικρή ζώνη αποκλεισμού ασφαλείας γύρω από τις συσκευές. Επιπλέον, υπάρχουν περιοχές του θαλάσσιου στρώματος δίπλα σε οποιαδήποτε υποθαλάσσια καλώδια μετάδοσης που επίσης πρέπει να οριστούν εκτός των ορίων της εμπορικής αλιείας λόγω της πιθανότητας βλάβης των καλωδίων με τα αλιευτικά εργαλεία βυθού. Η δημιουργία περιοχών όπου περιορίζεται η αλιεία μπορεί στην πραγματικότητα να είναι ευεργετική, δεδομένου ότι έχει πρόσφατα αυξηθεί το ενδιαφέρον για τον καθορισμό προστατευόμενων θαλάσσιων περιοχών, δηλαδή περιοχές που είναι κλειστές για εμπορική αλιεία με στόχο την αναζωογόνηση των πληθυσμών των ψαριών. Είναι πιθανό τα προγράμματα κυματικής ενέργειας να αποκλείονται από σημαντικές αλιευτικές ζώνες, αλλά εξακολουθούν να υπάρχουν επαρκείς παράκτιες περιοχές διαθέσιμες για την εκμετάλλευση των πηγών ενέργειας κύματος. Στην πράξη, τα υποθαλάσσια τμήματα εγκαταστάσεων κυματικής ενέργειας θα μπορούσαν να αποτελέσουν ένα ευεργετικό καταφύγιο για τα ψάρια, αυξάνοντας έτσι την αφθονία των ψαριών γύρω από μια εγκατάσταση. Συνολικά, η ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας δεν αναμένεται να έχει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην αλιεία εάν αποφευχθούν ευαίσθητες παράκτιες περιοχές.

### **Επίδραση στην θαλάσσια κυκλοφορία**

Οι υπεύθυνοι σχεδιασμού συστημάτων μετατροπής κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική θα πρέπει να λάβουν υπόψη τα επίπεδα της θαλάσσιας κυκλοφορίας, υπάρχον και δυνητικό, όταν λαμβάνεται απόφαση για εγκατάσταση σε συγκεκριμένη τοποθεσία. Συγκεκριμένα, οι εγκαταστάσεις δεν πρέπει να βρίσκονται κοντά σε λωρίδες θαλάσσης, εισόδους λιμανιών, πλησίον πιλοτικών σταθμών ή στα παράκτια ύδατα όπου η θαλάσσια κυκλοφορία είναι συχνή. Η επιβολή των ζωνών ασφαλείας, καθώς και η χρήση των φώτων πλοήγησης και των ανακλαστήρων ραντάρ, είναι απαραίτητη προκειμένου

να ελαχιστοποιήσει τον κίνδυνο σύγκρουσης. Η επάρκεια των αγκυροβόλων θα πρέπει να αποτελεί προϋπόθεση για την απόκτηση της αναγκαίας ασφάλειας για τις πλωτές συσκευές καθώς αν μια τέτοια συσκευή απομακρυνθεί από τα αγκυροβόλια, ενδέχεται να αποτελέσει σοβαρό κίνδυνο σύγκρουσης με άλλα μέσα.

### **Οπτική ενόχληση**

Οι βυθισμένες συσκευές και οι πλωτές κινητές διατάξεις με χαμηλό ύψος δεν θα είναι να είναι ορατές από την ακτή ή θα είναι ορατές μόνο σε εξαιρετικά ήρεμες και καιρικές συνθήκες. Οι σταθερές συσκευές με υψηλό ύψος εξάλων θα είναι περισσότερο ορατές συχνότερα. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα ορισμένες επιπτώσεις των συσκευών κατά τη διάρκεια της ημέρας, και των σχετικών φώτων ναυσιπλοΐας κατά τη διάρκεια του νύχτας που συνδέονται με την οπτική ενόχληση. Αυτό αποτελεί γεγονός που θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν ειδικά όταν μπορεί να έχει ψυχολογική επίδραση στους κατοίκους των γύρω περιοχών αλλά και επίδραση στον τουρισμό. Ωστόσο το παραπάνω ζήτημα μπορεί να επιλυθεί αν κατά τη σχεδίαση τέτοιων εγκαταστάσεων επιλεγούν περιοχές που δεν είναι ευκολά ορατές από τη στεριά αλλά και αν γίνει σωστή προώθηση της εγκατάστασης ώστε να μπορέσει και η ίδια να προσελκύει το τουριστικό ενδιαφέρον. Ιδιαίτερα σε ότι έχει να κάνει με την ψυχολογική επίδραση στους κάτοικους όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, καθοριστικής σημασίας είναι η προβολή των πλεονεκτημάτων της εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας και των οφελών που μπορεί να έχει για την τοπική κοινωνία.

### **5.2.2. Επίδραση των μετατροπών στα χαρακτηριστικά του κύματος**

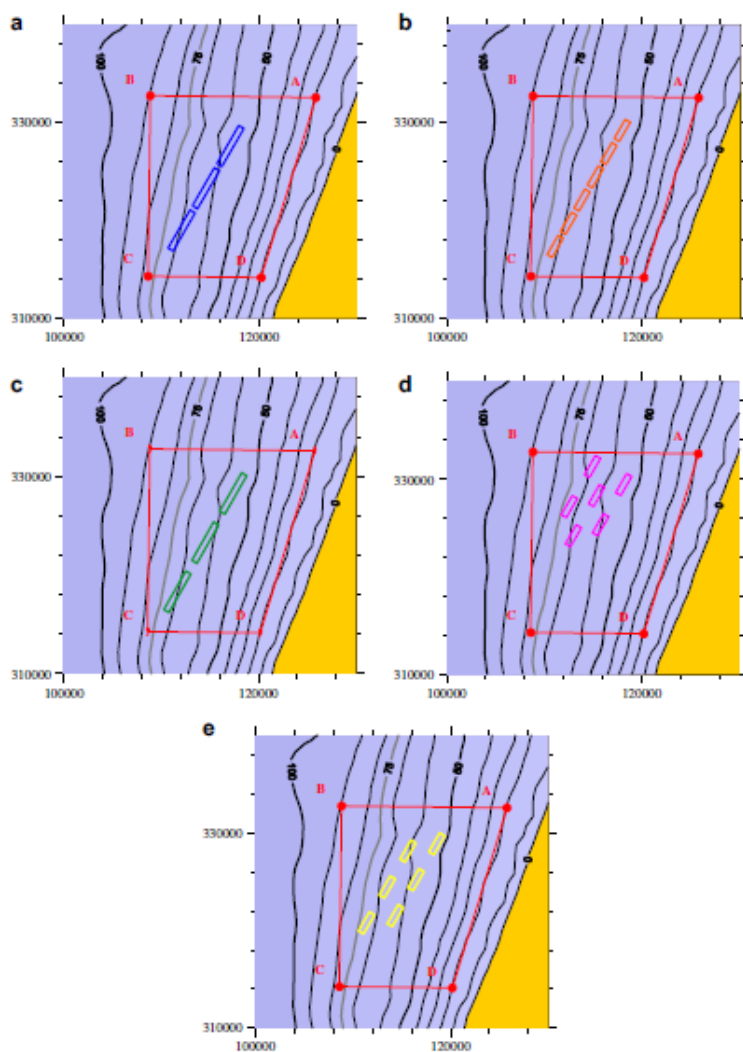
Τον Ιανουάριο του 2008 δημιουργήθηκε από την πορτογαλική κυβέρνηση μια θαλάσσια πειραματική ζώνη για την εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας στα πλαίσια της υποστήριξης της ανάπτυξης της υπεράκτιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η ζώνη βρίσκεται στη δυτική ακτή του Sao Pedro de Moel σε βάθος από 30 μέχρι 90 μέτρα, επιφάνειας 320 km<sup>2</sup> και συνολικής ισχύος 250MW. Η συγκεκριμένη έρευνα, με βάση αυτή την πιλοτική ζώνη, μελετά τις πιθανές επιπτώσεις που μπορεί να έχει μια εγκατάσταση ενός συνόλου συσκευών κυματικής ενέργειας *relamis* στις θαλάσσιες συνθήκες κοντά στη ακτογραμμή καθώς και στη μορφοδυναμική της θαλάσσιας περιοχής.

Δεδομένου ότι ο στόχος της έρευνας είναι να δείξει πως θα μπορούσε να επηρεάσει μια εγκατάσταση συσκευών μετατροπής κυματικής ενέργειας τις συνθήκες κύματος κοντά στην ακτή, παρουσιάζονται στοιχεία σύγκρισης για συνθήκες απουσίας της εγκατάστασης και συνθήκες εγκατάστασης ισχύος μέχρι 202.5 MW. Τέτοιου είδους μελέτες, μπορούν να βοηθήσουν στην λήψη αποφάσεων για μια εγκατάσταση στον τομέα της αποδοχής από το κοινό, όσον αφορά στη διαμόρφωση της εγκατάστασης και στο πλήθος των συσκευών που θα τοποθετηθούν. Η αντίληψη του κοινού για τέτοιες εγκαταστάσεις, παίζει σημαντικό ρόλο συνολικά στην ιδέα της εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας, ειδικότερα για μακρόχρονες επενδύσεις.

Στη συγκεκριμένη έρευνα, το ενδιαφέρον της μελέτης επικεντρώνεται στην επίδραση που έχει στην αλλαγή της κυματικής συμπεριφοράς και στις αλλαγές στη γενικότερη μορφοδυναμική της περιοχής, τα χαρακτηριστικά του κύματος, οι διαστάσεις της εγκατάστασης και το πλάτος των καναλιών ναυσιπλοΐας. Για την εφαρμογή της μελέτης αυτής καθορίστηκαν πέντε διαφορετικές διαμορφώσεις της εγκατάστασης, έγινε επιλογή αντιπροσωπευτικών καταστάσεων κύματος σύμφωνα με το δυναμικό της περιοχής, έγιναν υπολογισμοί της διάδοσης του κύματος υπό την επίδραση των πέντε

διαφορετικών διαμορφώσεων της εγκατάστασης και χωρίς αυτή και τέλος εκτιμήθηκε η επίδραση της απορρόφησης της ενέργειας του κύματος από την εγκατάσταση, στο κυματικό κλίμα της θαλάσσιας περιοχής κοντά στην ακτή. Παρακάτω φαίνονται οι πέντε διαμορφώσεις της εγκατάστασης που επιλέχθηκαν για τη μελέτη.

Για την προσομοίωση της διάδοσης του κύματος χρησιμοποιήθηκε το αριθμητικό μοντέλο REFDIF. Το REFDIF είναι ένα μοντέλο το οποίο προσομοιώνει τη διάδοση και την παραμόρφωση των κυματισμών για μεταβλητό βάθος νερού. Μπορεί και συνυπολογίζει την αυξομείωση του βάθους του νερού, την διάθλαση και την περίθλαση του κύματος, τα κυματικά ρεύματα καθώς και διάφορα άλλα μη γραμμικά φαινόμενα που παρατηρούνται κατά τον κυματισμό. Το μοντέλο αυτό μπορεί να εφαρμοστεί κατάλληλα σε ακτογραμμές μεγάλου μήκους. Οι κύριοι περιορισμοί του μοντέλου είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε πυθμένες με μέτρια κλίση. Επίσης το μοντέλο αυτό εν μπορεί να συνυπολογίσει το φαινόμενο της αντανάκλασης του κύματος, επιπρόσθετα η περίθλαση λαμβάνεται υπόψιν μόνο από την κανονική κατεύθυνση του κύματος και επομένως κλειστοί όρμοι και κόλποι δεν μπορούν να αναλυθούν. Οι εισοδοί στο μοντέλο αυτό είναι το ύψος κύματος, η περίοδος και η κατεύθυνση τα χαρακτηριστικά του πλέγματος και η βαθυμετρία της περιοχής. Για την σωστή εφαρμογή του μοντέλου, θα πρέπει να διασφαλίζεται η μέτρια κλίση του πυθμένα και ο προσανατολισμός του πλέγματος, δηλαδή η απόκλιση του κύματος από το πλέγμα δεν θα πρέπει να ξεπερνά τι 60 μοίρες.



Για τη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τα χαρακτηριστικά του συστήματος Pelamis της *Pelamis Wave Power Ltd*. Οι συσκευές επιλέχθηκαν να αγκυρωθούν σε νερά βάθους 50 έως 70 μέτρων. Η συγκεκριμένη συσκευή είναι ημιβυθιζόμενη, αρθρωτή κατασκευή, που αποτελείται από κυλινδρικά τμήματα, τα οποία ενώνονται με αρθρώσεις. Το μήκος της συσκευής είναι 150 μέτρα και αγκυρώνεται με εύκαμπτο σύστημα αγκύρωσης. Η κάθε συσκευή αποδίδει 750 KW. Οι διατάξεις που μελετήθηκαν φαίνονται παρακάτω.

Συνοπτικά, οι διαμορφώσεις που μελετήθηκαν είναι:

Διαμόρφωση Α – Τρεις «φάρμες» μήκους 4.5 χιλιόμετρα. Το κανάλι ναυσιπλοΐας μεταξύ τους έχει πλάτος 500 μέτρα. Το συνολικό μήκος της εγκατάστασης είναι 14.5 χιλιόμετρα.

Διαμόρφωση Β – Έξι «φάρμες» μήκους 2.25 χιλιόμετρα. Το κανάλι ναυσιπλοΐας μεταξύ τους έχει πλάτος 500 μέτρα. Το συνολικό μήκος της εγκατάστασης είναι 16 χιλιόμετρα.

Διαμόρφωση C – Τρεις «φάρμες» μήκους 4.5 χιλιόμετρα. Το κανάλι ναυσιπλοΐας μεταξύ τους έχει πλάτος 1.25 χιλιόμετρα. Το συνολικό μήκος της εγκατάστασης είναι 16 χιλιόμετρα.

Διαμόρφωση D – Έξι «φάρμες» σε τρεις παράλληλες γραμμές. Το μήκος τους είναι 2.25 χιλιόμετρα και πλάτος 600 μέτρα. Η απόσταση μεταξύ των γραμμών είναι 1.25 χιλιόμετρα και η απόσταση των εγκαταστάσεων στην ίδια σειρά είναι 2.5 χιλιόμετρα. Το συνολικό μήκος της εγκατάστασης είναι 9.375 χιλιόμετρα σε 4.6 χιλιόμετρα συνολικής εγκατάστασης.

Διαμόρφωση E – Έξι «φάρμες» σε δύο παράλληλες γραμμές. Το μήκος τους είναι 2.25 χιλιόμετρα και πλάτος 600 μέτρα. Η απόσταση μεταξύ των γραμμών είναι 1.58 χιλιόμετρα και η απόσταση των εγκαταστάσεων στην ίδια σειρά είναι 2 χιλιόμετρα. Το συνολικό μήκος της εγκατάστασης είναι 12.875 χιλιόμετρα σε 2.78 χιλιόμετρα συνολικής εγκατάστασης.

Σκοπός των παραπάνω διαμορφώσεων είναι η μελέτη της επίδρασης τους στα χαρακτηριστικά του κύματος. Πιο συγκεκριμένα μελετάται η επίδραση των διαστάσεων της εγκατάστασης, του πλάτους του καναλιού ναυσιπλοΐας και το αν η εγκατάσταση έχει διαμορφωθεί σε δύο ή τρεις παράλληλες γραμμές.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου δείχνουν ότι για όλες τις διαμορφώσεις δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στην εκμετάλλευση της ενέργειας. Φαίνεται να μην υπάρχουν σημαντικές διαφορές στο σημαντικό ύψος κύματος που φτάνει στην ακτή για όλες τις διαμορφώσεις σε σχέση με την απουσία κάποιας εγκατάστασης. Η μέγιστη διαφορά στο ύψος κύματος είναι 29 cm και οι αποκλίσεις στην κατεύθυνση του κύματος θεωρούνται αμελητέες. Γενικά μπορεί να θεωρηθεί ότι το μήκος της ακτής που επηρεάζεται είναι μικρότερο στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται 3 φάρμες και όχι 6, διατηρώντας σταθερό το μήκος των εγκαταστάσεων. Αυτό συσχετίζεται με το πλάτος του καναλιού ναυσιπλοΐας σε κάθε διαμόρφωση. Στην περίπτωση που εφαρμόζεται εγκατάσταση σε τρεις παράλληλες γραμμές, δημιουργούνται δύο κανάλια διαχωρισμού μεταξύ τους ενώ αντίθετα στην περίπτωση που εφαρμόζεται εγκατάσταση έξι γραμμών δημιουργούνται αντίστοιχα πέντε κανάλια. Στη δεύτερη περίπτωση αυξάνεται κατά 2.5 φορές ο χώρος διαχωρισμού μεταξύ των καναλιών και επομένως θα μειωθεί σημαντικά η επικάλυψη των κυμάτων που ανακλώνται από την εγκατάσταση και έτσι επίσης θα μειωθεί η επίδραση στην κυματομορφή και στα χαρακτηριστικά του κύματος στην περιοχή.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ Ε'

### Από βιβλία

Bhattacharyya R. and McCormick M.E. (2003), *WAVE ENERGY CONVERSION – ENGINEERING COMMITTEE ON OCEANIC RESOURCES*, Oxford: Elsevier.

Cruz J. (2008), *Ocean Wave Energy- Current Status and Future Perspectives*, Berlin: Springer.

### Άρθρα σε επιστημονικό περιοδικό

Clement A., McCullen P., Falcao A., Fiorentino A., Gardner F., Hammarlund K., Lemonis G., Lewis T., Nielsen K., Petroncini S., Pontes M., Schild P., Sjoström B., Sorensen C. and Thorpe T. (2002), Wave energy in Europe: current status and perspectives. *Renewable and sustainable energy reviews*. 6. 405-431.

Dalton G.J., Alcorn R. and Lewis T. (2009), Case study feasibility of the Pelamis wave energy convertor in Ireland, Portugal and North America. *Renewable Energy*. 35. 443-455.

Henderson R. (2006), Design, simulation and testing of a novel hydraulic power take off system for the Pelamis wave energy converter. *Renewable energy*.31. 271-283.

O'Connor M., Lewis T. and Dalton G. (2013), Techno-economic performance of the Pelamis P1 and Wavestar at different ratings and various locations in Europe. *Renewable Energy*.50. 889-900.

Okoro U., Kolios A. and Cui L. (2016), Multi-criteria assessment approach for components risk ranking- The case study of an offshore wave energy converter. *International journal of marine energy*. 17. 21-39.

Lavidas G. (2019), Energy and socio-economic benefits from the development of wave energy in Greece. *Renewable Energy*. 132. 1290-1300.

Palha A., Mentas L., Fortes C. J., Brito-Melo A. and Sarmiento A. (2010), The impact of wave energy farms in the shoreline wave climate: Portuguese pilot zone case study using Pelamis energy wave devices. *Renewable Energy*. 35. 62-77.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΤ'

Στο παρόν κεφάλαιο, θα παρουσιαστούν τα βασικά στοιχεία της μονάδας της Υδριάδας, της πρώτης πλωτής μονάδας αφαλάτωσης μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στη συνέχεια, θα αναφερθούν πιο εξειδικευμένα στοιχεία της μονάδας από την σκοπιά των προδιαγραφών ασφαλείας.

Η Υδριάδα είναι το πρώτο παγκόσμιο εγχείρημα παραγωγής γλυκού νερού μέσω συστήματος αφαλάτωσης με την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο στόχος ήταν η σχεδίαση και η εγκατάσταση ενός φιλικού προς το περιβάλλον συστήματος αφαλάτωσης που θα καλύψει τις ανάγκες πόσιμου νερού για τα απομακρυσμένα νησιά του Αιγαίου. Οι βασικές προδιαγραφές ήταν:

1. Η μείωση του κόστους μεταφοράς πόσιμου νερού
2. Η δυνατότητα εγκατάστασης μακριά από κατοικημένες περιοχές όπου δεν θα υπήρχε θόρυβος και οπτική ενόχληση από την τοπική κοινωνία
3. Η δυνατότητα μετακίνησης της μονάδας για την εξασφάλιση καλύτερων συνθηκών εκμετάλλευσης ενέργειας
4. Η αυτόνομη λειτουργία του συστήματος και επίβλεψη του από την ξηρά.

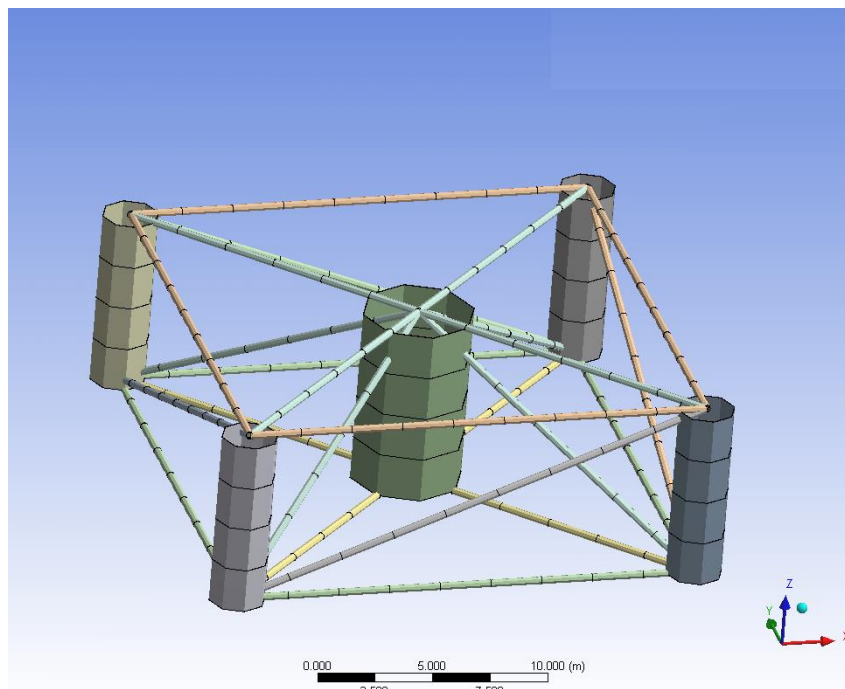


Η Υδριάδα εγκαταστάθηκε τον Ιούνιο του 2007 στην Ηρακλεία μετά από έρευνα χρόνων με βασικούς συντελεστές α) την Επιτροπή Ερευνών πανεπιστημίου Αιγαίου 13,8%, β) την Lamda Shipyards S.A. 19%, γ) την TEXNABA A.E. 26.4%, δ) την ALGOSYSTEMS A.E 19,8%, ε) την REFLEXION ΕΠΕ 4,3%, στ) το Ερευνητικό Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο Συστημάτων Επικοινωνιών Υπολογιστών ΕΠΙΣΕΥ 11%, ζ) το Κέντρο Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας 3.4% και η) την Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου 2,3%. Η πλωτή κατασκευή αποτελείται από τέσσερις περιφερειακούς κυλινδρικούς-πλωτήρες και έναν κεντρικό που συνδέονται με κατάλληλο δικτύωμα, ώστε σε συνδυασμό με τη γεωμετρία του να ελαχιστοποιείται η επίδραση των κυμάτων σε αυτό. Μέσα στον κεντρικό πλωτήρα, που χωρίζεται σε τρεις ορόφους, βρίσκονται εγκατεστημένα όλα τα συστήματα. Στην επιφάνεια που δημιουργείται, μεταξύ του δικτύωματος και των πλωτήρων, είναι εγκατεστημένη η ανεμογεννήτρια και τα φωτοβολταϊκά πάνελ.

Η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος προς τη μονάδα αφαλάτωσης προέρχεται από την ανεμογεννήτρια χωρίς αξιοποίηση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας ή οποιουδήποτε άλλου είδους γεννήτριας diesel. Ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου λειτουργίας και μελετών είναι επίσης εγκατεστημένο στον κεντρικό πλωτήρα, δημιουργώντας τις προϋποθέσεις της αυτοματοποιημένης λειτουργίας και της αυτονομίας.

### 6.1. Βασικά χαρακτηριστικά της μονάδας

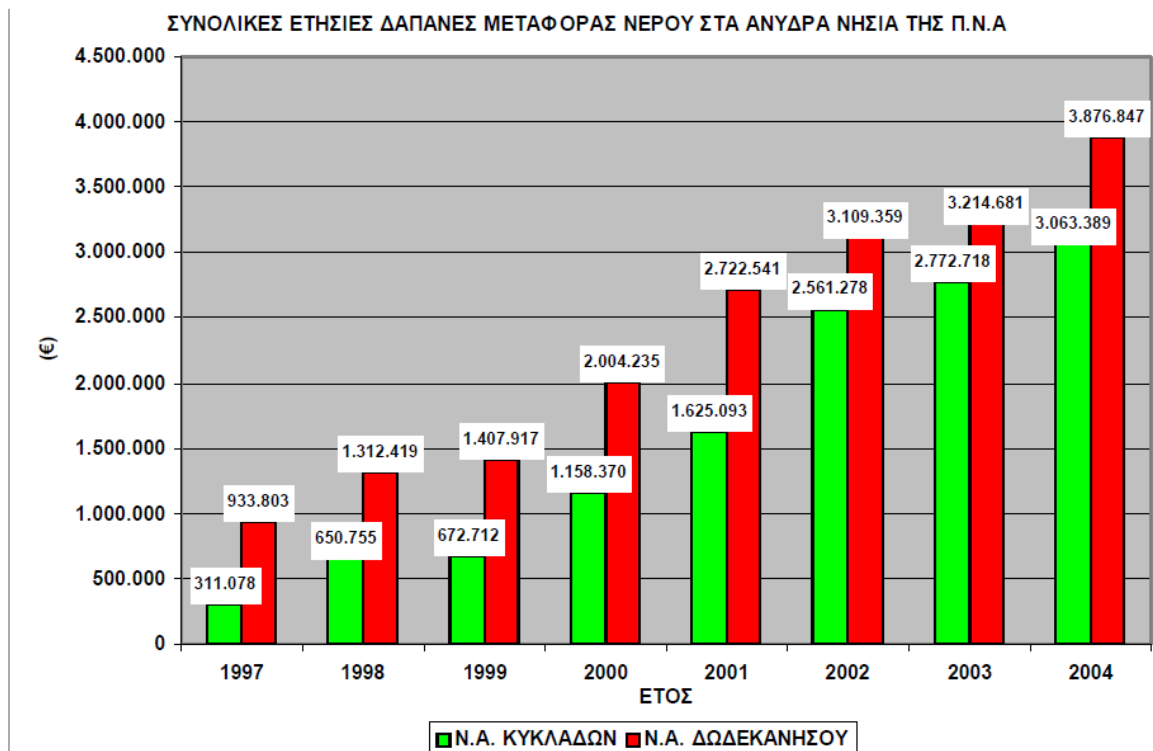
- Τετραγωνική πλατφόρμα ακτίνας 14,5 μέτρων με τέσσερις περιφερειακούς πλωτήρες και έναν κεντρικό
- Διασύνδεση μεταξύ πλωτήρων με σωληνωτό δικτύωμα
- Διάμετρος πλευρικών πλωτήρων 2 μέτρα
- Διάμετρος κεντρικού πλωτήρα 4 μέτρα
- Ύψος πλωτού 8 μέτρα
- Χωρητικότητα 131,78 τόνους
- Χώροι μηχανημάτων 53,26 τόνοι και 224,42 κυβικά μέτρα
- Χώρος έρματος 79,30 τόνοι και 150,72 κυβικά μέτρα



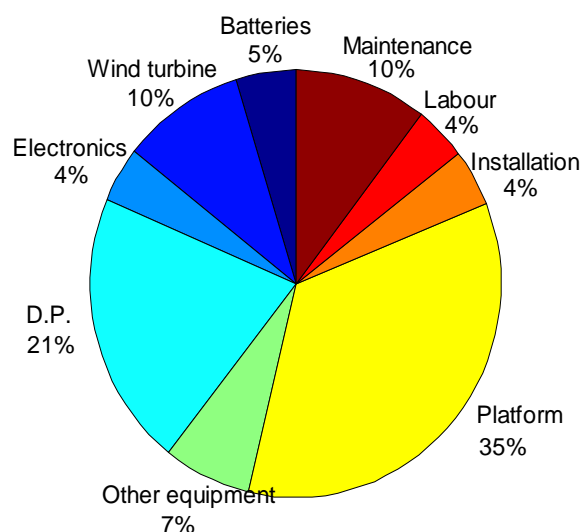
## 6.2. Οικονομικά στοιχεία

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται το κόστος εγκατάστασης της Υδριάδας, το πως κατανέμεται στα επιμέρους συστήματα και διαδικασίες και οι εκτιμήσεις για απόσβεση της επένδυσης.

Διάγραμμα 6. 1 Ετήσιες δαπάνες για τη μεταφορά νερού στα άνυδρα νησιά του Αιγαίου.



Διάγραμμα 6. 2 Ανάλυση κόστους ανά κατηγορία σε ποσοστά.



Πίνακας 6. 1 Ανάλυση κόστους κατασκευής, ρυμούλκησης και λειτουργίας της μονάδας "Υδριάδα"

Επιτόκιο αναγωγής:	8%
Κόστος μπαταριών (€/kWh):	120
Κόστος Α/Γ (€):	70000
Κόστος πλατφόρμας (€):	250000
Κόστος Μ.Α. (€):	150000
Κατανάλωση ενέργειας Μ.Α. (kWh/m <sup>3</sup> ):	3.5
Κόστος κύριων διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος (€):	30000
Λοιπός και βοηθητικός εξοπλισμός (€):	50000
Κόστος εγκατάστασης του εξοπλισμού:	5% του συνολικού κόστους
Οικονομική διάρκεια ζωής Α/Γ, Μ.Α. και ηλεκτρονικών (έτη):	20
Ετήσιο κόστος εργατικών (€):	3000
Κόστος συντήρησης εγκατάστασης (€/m <sup>3</sup> ):	0.5

Παραγωγή (m <sup>3</sup> /h)	70
Αρχικό κεφάλαιο (χιλ. €)	700
Χρόνος αποπληρωμής (έτη)	3
Χρόνος αποπληρωμής (years half price) (έτη)	6
Έσοδα το χρόνο (χιλ. €)	255
Έσοδα το χρόνο (years half price)(χιλ. €)	127,5

Με βάση τα στοιχεία αυτά πρόκειται για μια επένδυση με μέγιστο χρόνο απόσβεσης τα έξι χρόνια, γεγονός που μπορεί να την αξιολογήσει ως οικονομικά συμφέρουσα. Ωστόσο ακόμα σημαντικότερος παράγοντας επιλογής της, είναι το περιβαλλοντικό αντίκτυπο και η αυτονομία που θα προσέφερε στο νησί της Ηρακλειάς που ακόμα και σήμερα, εξαρτάται σε πού μεγάλο βαθμό από την υδροδότηση από την ηπειρωτική χώρα.

### 6.3. Ασφάλεια

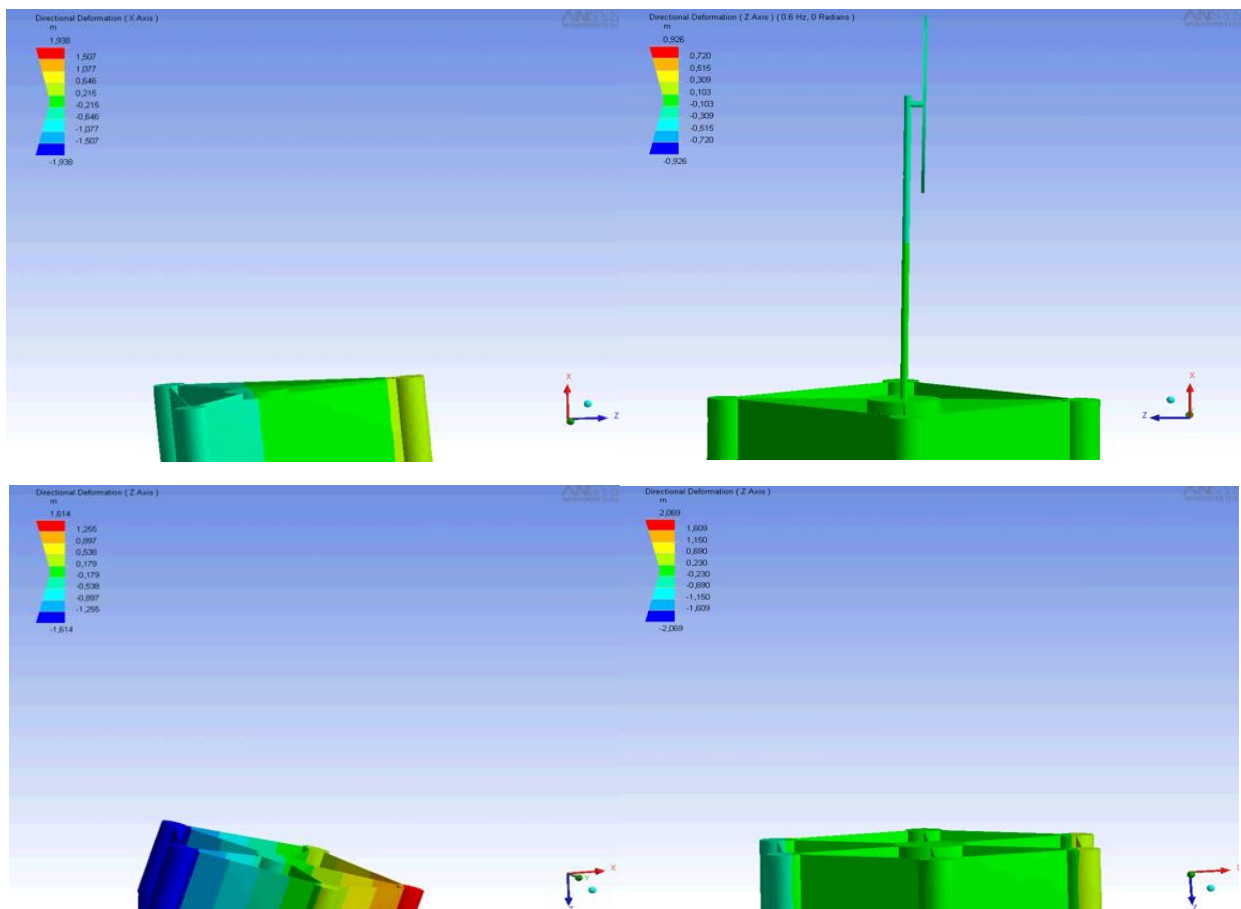
Το ζήτημα της ασφάλειας μιας τέτοιας μονάδας μπορεί να κατηγοριοποιηθεί:

- Στην δομική αξιοπιστία
- Στην ηλεκτρομηχανική αξιοπιστία (στην προκειμένη και του συστήματος αφαλάτωσης)
- Στην αξιοπιστία του συστήματος ελέγχου

Στην παρούσα εργασία, θεωρήθηκε κρίσιμο να συμπεριληφθούν και περιβαλλοντικοί παράγοντες.

#### 6.3.1. Συμπεριφορά της δομής σε καταπονήσεις από το θαλάσσιο περιβάλλον

Το πρώτο βήμα στην εξέταση της ασφάλειας της Υδριάδας είναι η αντοχή της δομής στις συνθήκες του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Η μελέτη της παραμόρφωσης που δέχεται η κατασκευή κατά τον κυματισμό, έγινε κατά τη φάση της σχεδίασης, σε πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων έτσι ώστε να βρεθεί η βέλτιστη δομή όπου να εξασφαλίζει τη μικρότερη συνολική παραμόρφωση. Ο κύριος παράγοντας όπου εξετάστηκε ήταν ο αριθμός των πλωτήρων που θα απαρτίζουν τη συνολική δομή της Υδριάδας. Η προσομοίωση της δύναμης της άντωσης, έγινε με την εξίσωση της επίδρασής της με ελατήρια και η πρώτη προσέγγιση της απόκρισης όλου του πλωτού έγινε σε διάφορες αποκρίσεις κυμάτων. Κατά την μελέτη αυτή, τελική κατασκευή μελετήθηκε ως προς τη συνολική καταπόνηση σε κάθε περίπτωση (συνολικός αριθμός πλωτήρων) παρακάτω φαίνεται η σχηματική απεικόνιση των μοντέλων. Το ύψος της ταλάντωσης, στο οποίο μελετήθηκε η κάθε δομή, είναι 3m.



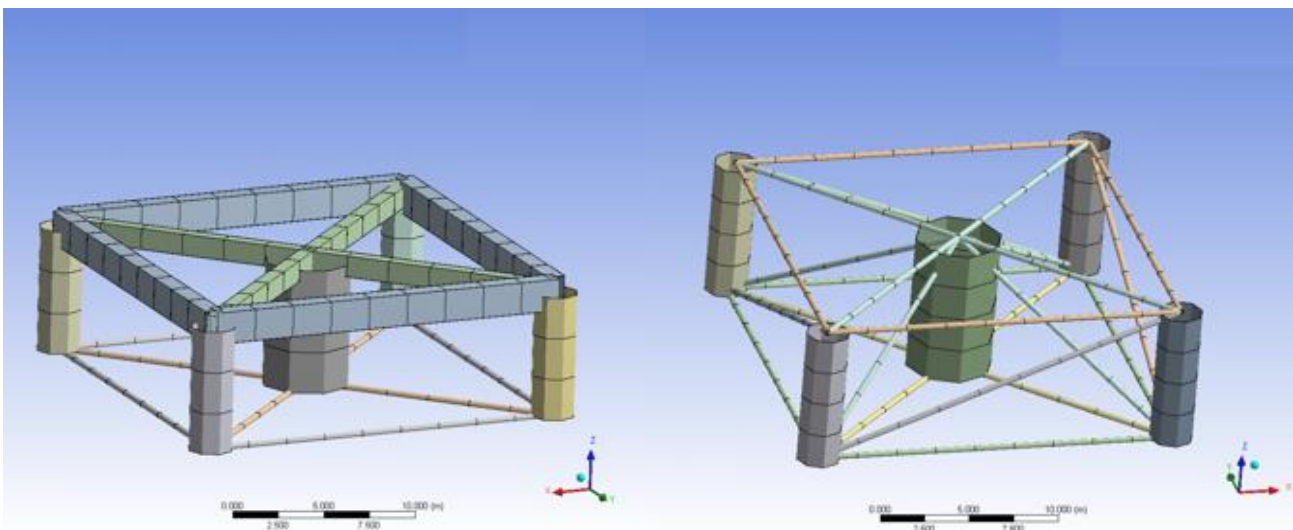
Εικόνα 6. 1 Μελέτη παραμορφώσεων για τις διάφορες προτάσεις τελικής διαμόρφωσης της δομής του πλωτού τμήματος

Οι δομές οι οποίες μελετήθηκαν είναι οι ακόλουθες:

- Ένας κεντρικό πλωτήρας και τρεις περιφερειακοί
- Ένας κεντρικός πλωτήρας και τέσσερις περιφερειακοί
- Ένας κεντρικός πλωτήρας και πέντε περιφερειακοί
- Ένας κεντρικός πλωτήρας και έξι περιφερειακοί

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, για ύψος ταλάντωσης 3m, δεδομένο το οποίο αντλείται από της κυματολογικές συνθήκες στην περιοχή, η δομή της κατασκευής με έναν κεντρικό πλωτήρα και τέσσερις περιφερειακούς, επιδέχεται τις μικρότερες παραμορφώσεις. Επομένως, επιλέχθηκε ως βέλτιστη δομή για τις κυματολογικές συνθήκες της περιοχής της εγκατάστασης.

Έπειτα, επιλέχθηκε η σύνδεση των πλωτήρων με σωληνωτό δικτύωμα και όχι με δικτύωμα δοκών, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ελάχιστη δυνατή έκθεση επιφάνειας στον κυματισμό και έτσι να εξασφαλίζεται η βέλτιστη δυνατή συμπεριφορά σε αυτό.

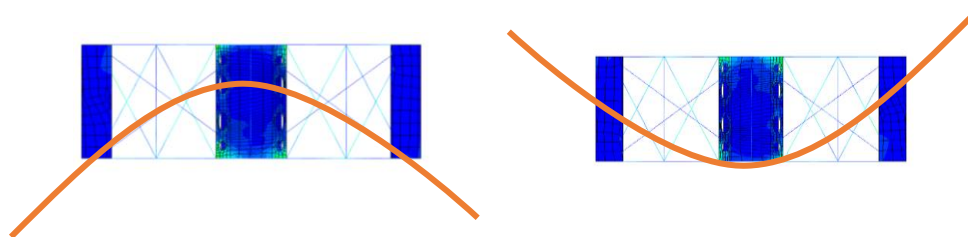


Εικόνα 6. 2 Απεικόνιση των προτάσεων κατασκευής του πλαισίου διασύνδεσης των πλωτήρων της κατασκευής.

Μετά την επιλογή της τελικής μορφής της κατασκευής και του τύπου του συνδετικού δικτύωματος, έγινε μελέτη της ευστάθειας και της αντοχής. Τα κριτήρια της μελέτης της ευστάθειας, είναι τα παρακάτω:

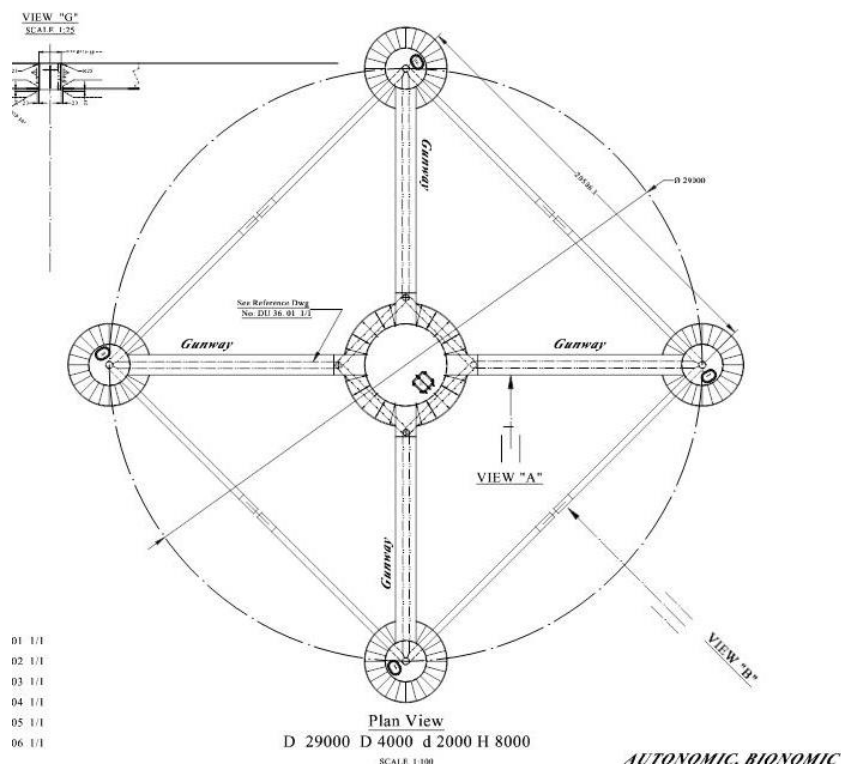
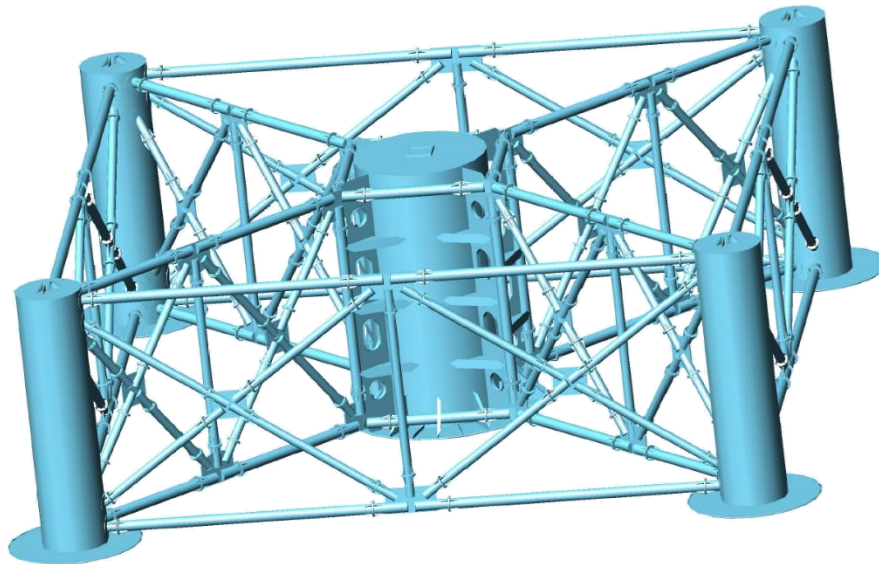
- Μέγιστο επιτρεπόμενο καθ' ύψος κέντρο βάρους ( $KG_{max.all}$ ): σύμφωνα με τα κριτήρια του 4.6.4 (M.O.D.Us)/ IMO RES. A749(18) – M.O.D.Us = Mobile Offshore Drilling Unit
- Κριτήριο Ανέμου: σύμφωνα με το 4.6.3.3 (M.O.D.Us)/ IMO RES. A749(18)

Όσον αφορά στην αντοχή της κατασκευής, μελετήθηκε σε καταστάσεις hogging, sagging, καθώς και σε δυναμικής φόρτιση.



Εικόνα 6. 3 Απεικόνιση φορτίσεων σε Hogging και Sagging του μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων της πλωτής κατασκευής.

Η Υδριάδα μελετήθηκε σύμφωνα με τους κανονισμούς ευστάθειας και αντοχής πλωτών κατασκευών και προφανώς αποτελεί μια ασφαλή κατασκευή από άποψη ναυπηγικής τόσο για την εργασία σε αυτή όσο και για το θαλάσσιο περιβάλλον. Η σχεδίασή της ακολουθεί όλους τους σύγχρονους με αυτή κανονισμούς σχεδίασης και κατασκευής των νηογνομόνων και του IMO για την ασφάλεια στις ζωές στη θάλασσα.



Εικόνα 6. 4 Απεικόνιση τριών διαστάσεων και κάτοψη της τελικής κατασκευής



Ένας παράγοντας, πολύ σημαντικός, για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας της κατασκευής είναι η κατάσταση της πλατφόρμας και των επιμέρους συστημάτων όσο αφορά στην ύπαρξη ατελειών, αστοχιών κλπ. Προκειμένου να προβλεφθεί το συγκεκριμένο στην Υδριάδα τοποθετήθηκαν αξιόπιστοι αισθητήρες (smart rods) σε κρίσιμες περιοχές της κατασκευής (π.χ. περιοχές συγκέντρωσης τάσεων), που παρέχουν στοιχεία για τη συμπεριφορά της δομής σε διάφορες καταστάσεις. Τα στοιχεία αυτά, συγκρίνονταν άμεσα με τις συνοριακές τιμές κατά τη σχεδίαση και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, προκειμένου η κατασκευή να βρίσκεται σε συνθήκες συνεχούς επίβλεψης. Στα παραπάνω συμβάλλει και η επιλογή ανοξειδώτου υλικού (κυρίως χάλυβα).

Επιπλέον, για τον έλεγχο της ασφαλούς λειτουργίας και της παραγωγικότητας της Υδριάδας αρχικά έγινε προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος (με Simulink). Αυτό παρείχε την δυνατότητα αρχικά να φανεί η επίδραση των διαφόρων συνιστωσών στη λειτουργία του συστήματος (π.χ. ταχύτητα ανέμου) καθώς και να μελετηθεί και να βελτιωθεί ο έλεγχος του συστήματος. Συνεπώς, με τα δεδομένα της προσομοίωσης εξασφαλίστηκε η μείωση της πιθανότητας πραγματικού κινδύνου, αφού όλα τα υποσυστήματα μελετήθηκαν ως προς τις ενδεχόμενες μεταβατικές συμπεριφορές και ευρέθηκαν τα αντίστοιχα σενάρια διαχείρισης.

### 6.3.2. Σύστημα αφαλάτωσης

Η μονάδα της αφαλάτωσης που επιλέχθηκε για την Υδριάδα, έγινε με γνώμονα τον αποκλεισμό των διαφόρων θερμικών μεθόδων που υπάρχουν, λόγω των μεγάλων ενεργειακών απαιτήσεων τέτοιων εγκαταστάσεων. Η μονάδα αντίστροφης όσμωσης, χρησιμοποιεί αποκλειστικά την ηλεκτρική ενέργεια για την προώθηση του νερού στην επεξεργασία και για δευτερεύουσες εργασίες, χωρίς να απαιτείται η μετατροπή της σε θερμότητα, εξοικονομώντας συνολικά μεγάλα ποσά ενέργειας.

Η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού ακολουθεί την εξής γενική διαδικασία:

**Στάδιο προ-επεξεργασίας:** περιλαμβάνει ένα φίλτρο εισόδου, προκειμένου να μην εισέρχονται ψάρια, πλαστικά κ.λπ., την προ-χλωρίωση του νερού, την προσθήκη οξέων για την αποφυγή απόθεσης αλάτων, φίλτρα πολυπροπυλενίου για κατακράτηση στερεών ουσιών και το φίλτρο άμμου.

**Στάδιο αντίστροφης όσμωσης:** το νερό δέχεται πίεση(54-80 bar) ώστε να περάσει μέσα από τις μεμβράνες. Ένα μέρος του νερού περνάει από τις μεμβράνες και στο υπόλοιπο νερό αυξάνεται η συγκέντρωση αλάτων. Ένα άλλο μέρος του νερού απορρίπτεται χωρίς να περάσει από τις μεμβράνες προκειμένου να μην αυξηθεί η συγκέντρωση αλάτων που θα οδηγήσει σε αύξηση της οσμωτικής πίεσης κατά μήκος των μεμβρανών.

**Στάδιο μετα-επεξεργασίας:** περιλαμβάνει την ρύθμιση του pH, την απομάκρυνση αερίων και η τελική χλωρίωση.

Για την λειτουργία του συστήματος αφαλάτωσης της Υδριάδας υπήρχαν υψηλές προδιαγραφές. Ανάμεσα σε άλλες, η δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, ικανής για ελεγχόμενο shut down της μονάδας, η απάλειψη χημικής προ-επεξεργασίας και άλλες απαιτήσεις που αφορούν στην παραγωγή 60-70 μ<sup>3</sup>/ημέρα και την αυτοματοποιημένη λειτουργία της μονάδας (αυτόματοι κύκλοι απόπλυσης μεμβρανών, χημικών καθαρισμών κ.λπ.).

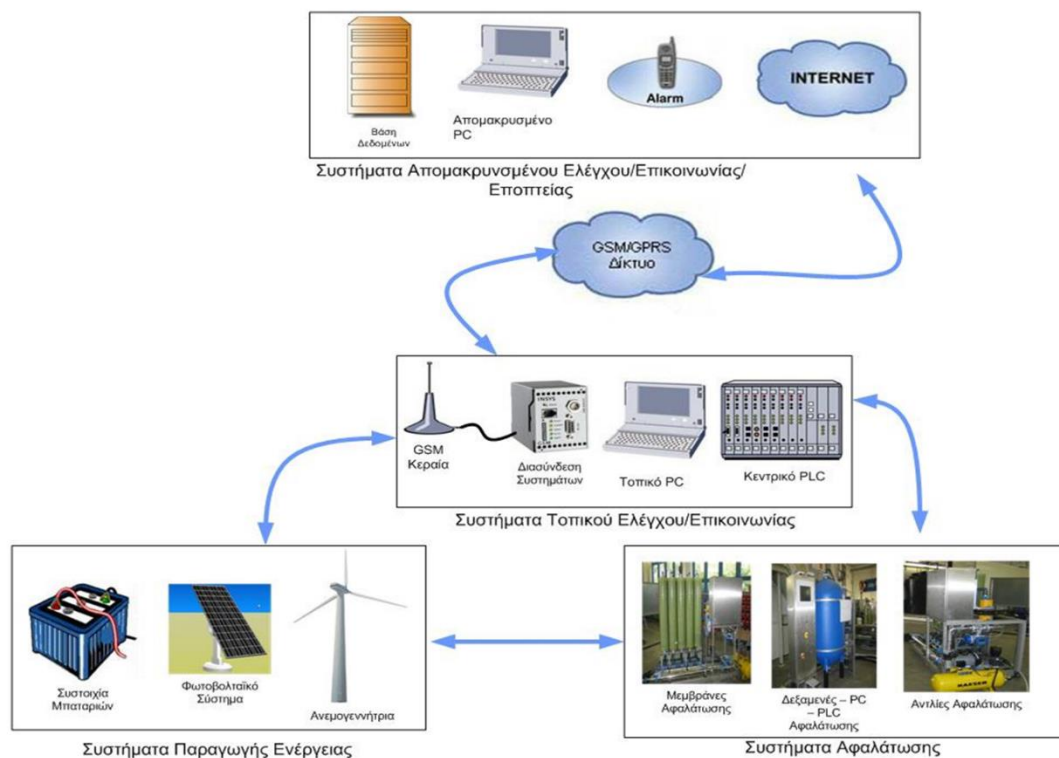
Στο πλαίσιο αυτό δημιουργήθηκε ερευνητική πιλοτική μονάδα RO502 DT 01/02 προκειμένου να ελεγχθεί η αγωγιμότητα του καθαρού νερού σε σχέση με την πίεση και τη ροή εισαγωγής

θαλασσινού νερού. Επιπλέον, μέσω δοκιμών, βρέθηκε η σχέση των επικαθήσεων στις μεμβράνες με την παροχή νερού εισαγωγής.

### 6.3.3. Σύστημα ελέγχου

Η Υδριάδα συνοπτικά αποτελείται από τα ακόλουθα συστήματα:

- Μονάδα Ανεμογεννήτριας
- Μονάδα Αφαλάτωσης
- Μονάδα Κεντρικού Ελέγχου
- Μονάδα Απομακρυσμένου Ελέγχου



Εικόνα 6. 5 Απεικόνιση γενικής διασύνδεσης των διαφόρων συστημάτων της Υδριάδας

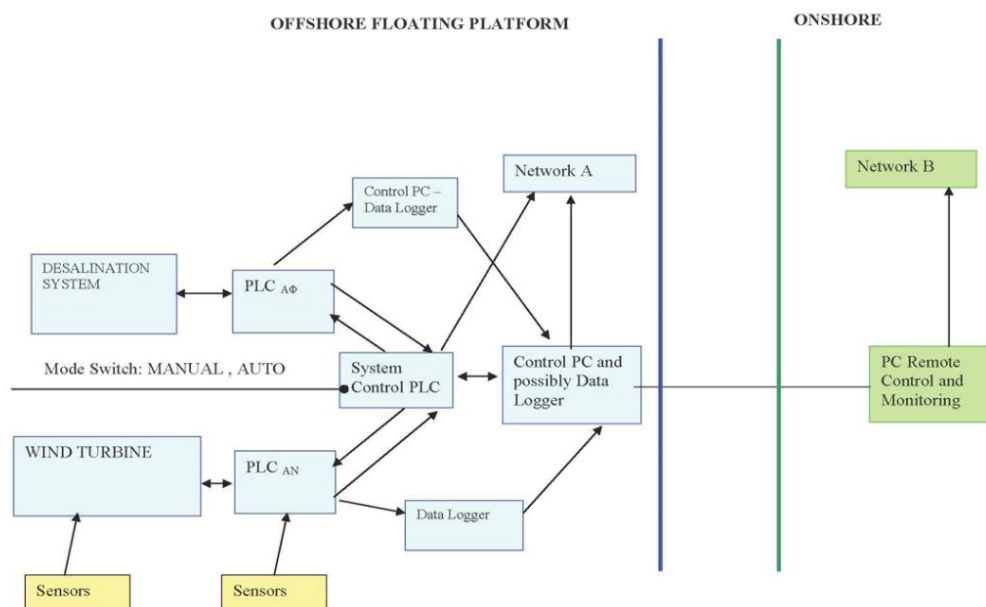
Για τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας, απαιτείται η ύπαρξη συστήματος τοπικού και απομακρυσμένου ελέγχου, σύστημα εκκίνησης και διακοπής λειτουργίας απομακρυσμένα (Remote Start / Stop), διαγνωστικό σύστημα βλαβών και σύστημα ανάκαμψης βλαβών, σύστημα διαχείρισης ισχύος και ενέργειας και ενεργειακή αυτονομία.

Αντίστοιχα η μονάδα της αφαλάτωσης, θα πρέπει αντίστοιχα να έχει σύστημα τοπικού και απομακρυσμένου ελέγχου, διαγνωστικά συστήματα λειτουργίας και αποκατάστασης βλαβών, σύστημα βελτιστοποίησης λειτουργίας ανάλογα την απαιτούμενη παροχή και ενεργειακή αυτονομία.

Η σχεδίαση των συστημάτων εξασφαλίζει τη διασύνδεση όλων των μονάδων ανάλογα με τη λειτουργία τους και παράλληλη λειτουργία αυτών και έλεγχό τους τόσο τοπικά όσο και απομακρυσμένα. Για την ικανοποίηση των ενεργειακών απαιτήσεων που προκύπτουν έγινε συνδυασμός αιολικής και ηλιακής ενέργειας καθώς και υποστήριξη από σύστημα μπαταριών για ασφάλεια. Η φιλοσοφία του συστήματος διασφαλίζει ενεργειακή εξοικονόμηση.

Το σύστημα ελέγχου, εξασφαλίζει τη συνεχή παρακολούθηση των κρίσιμων παραμέτρων της μονάδας, ενεργοποιεί alarms σε περίπτωση απόκλισης σημαντικών παραμέτρων και ενεργοποιεί τα διάφορα συστήματα προστασίας. Επίσης το σύστημα αυτό, περιλαμβάνει και διαχειρίζεται λογισμικό παραγωγής σεναρίων βλαβών, καταγράφει τα δεδομένα στις φυσιολογικές τους τιμές και επιτρέπει την πρόληψη μια βλάβης και μπορεί να δημιουργήσει σενάρια διαχείρισης βλάβης.

Ο αυτόματος έλεγχος της μονάδας, είναι έτσι σχεδιασμένος έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα εναλλακτικής διαδρομής διασύνδεσης των διαφόρων συστημάτων και να τροφοδοτείται από εναλλακτικά συστήματα παραγωγής – παροχής ενέργειας.



Εικόνα 6. 6 Διαγραμματική απεικόνιση της διασύνδεσης των συστημάτων που βρίσκονται στην εξέδρα και των συστημάτων της στεριάς.

Η πλωτή εξέδρα έχει τα παρακάτω συστήματα:

- Σύστημα αφαλάτωσης
- Σύστημα ανεμογεννήτριας
- Σύστημα κεντρικού ελέγχου
- Καταγραφικό δεδομένων
- Μονάδα δικτυακής διασύνδεσης

Αντίστοιχα στην εγκατάσταση ελέγχου στην ξηρά υπάρχουν:

- Μονάδα δικτυακής διασύνδεσης
- Σύστημα Τηλεχειρισμού και ελέγχου/εποπτείας των παραμέτρων

Το λογισμικό ελέγχου της Υδριάδας μπορεί να διεξάγει τον αυτόνομο τοπικό έλεγχο, τη διαχείριση των βλαβών, τη διαχείριση των διαγνωστικών προγραμμάτων, τον απομακρυσμένο έλεγχο και την εποπτεία, την ενεργειακή διαχείριση, τον έλεγχο και την κατηγοριοποίηση των διαφόρων alarms, τον χρονοπρογραμματισμό και τον έλεγχο της βάσης δεδομένων.

Η Υδριάδα μπορεί να εισέρχεται στις ακόλουθες καταστάσεις λειτουργίας

- Αυτόματα / Αυτόνομη λειτουργία
- Χειροκίνητη απομακρυσμένη λειτουργία
- Τοπική χειροκίνητη λειτουργία
- Απομακρυσμένη διαγνωστική λειτουργία
- Τοπική διαγνωστική λειτουργία

Ο κεντρικός έλεγχος της ανεμογεννήτριας γίνεται με τη διασύνδεση του PLC με το κεντρικό PLC της μονάδας ( $PLC_{ctr} \rightarrow PLC_{windturbine}$ ). Οι παρακάτω δυνατότητες εξασφαλίζονται από τη διασύνδεση αυτή:

- Έναρξη / διακοπή λειτουργίας, έλεγχος λειτουργιών follow start / stop.
- Επανεκκίνηση συστήματος που παρουσίασ σφάλμα
- Επανεκκίνηση  $PLC_{windturbine}$
- Έλεγχος βήματος πτερύγων
- Εικονική εκκίνηση για έλεγχο των συστημάτων
- Διαγνωστικός έλεγχος συστημάτων
- Σύνδεση/αποσύνδεση μετατροπέα

Αντίστοιχα γίνεται και ο έλεγχος του PLC της αφαλάτωσης ( $PLC_{ctr} \rightarrow PLC_{desalination}$ ).

- Ψηφιακά σήματα
  - Ενεργοποίηση
  - Απενεργοποίηση
  - Έναρξη λειτουργίας
  - Διακοπή λειτουργίας
  - Επανεκκίνηση
  - Έκπλυση συστήματος
- Αναλογικό σήμα
  - Απαιτούμενη ισχύς λειτουργίας

Το PLC της αφαλάτωσης αντίστοιχα τα παρακάτω σήματα προς το κεντρικό PLC ( $PLC_{desalination} \rightarrow PLC_{ctr}$ ).

- Κατάσταση εντολών
- Κατάσταση αφαλάτωσης
- Καταναλισκόμενη ενέργεια

#### 6.3.4. Η αποδοχή από την τοπική κοινωνία και το περιβαλλοντικό ζήτημα

Η βασικότερη ίσως παράμετρος του οικολογικού αποτυπώματος που θα μπορούσε να έχει η Υδριάδα είναι η ποιότητα του πόσιμου νερού που παρήγαγε. Ωστόσο, η απόσταση της μονάδας από

τη στεριά (2 μίλια-καμία επίδραση ρύπων) αλλά και οι έλεγχοι στη μονάδα αφαλάτωσης (τόσο στην πιλοτική όσο και την κύρια), εξασφάλιζαν μια ποιότητα νερού εντός προδιαγραφών.

Η παραγωγικότητα της μονάδας επίσης επηρεάζει το περιβαλλοντικό ζήτημα, όσον αφορά στην πιθανότητα βλάβης αλλά και στην ποσότητα νερού που παρέχει σε σχέση με μια μονάδα αφαλάτωσης από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Έτσι για την καλύτερη λειτουργία της μονάδας, την εξασφάλιση του μέγιστου πόσο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και συνεπώς την μέγιστη ποσότητα παραγωγής πόσιμου νερού οι αλγόριθμοι ελέγχου λειτουργίας εξασφάλιζαν:

- Το βέλτιστο μοίρασμα της διαθέσιμης ενέργειας μεταξύ φόρτισης των μπαταριών και παραγωγής νερού
- Την εναλλαγή των πτερυγίων ανάλογα με την ένταση και την κατεύθυνση του ανέμου
- Την φόρτιση των μπαταριών από περίσσεια αιολική ενέργεια, όταν η διαθέσιμη ηλιακή δεν ήταν επαρκής. Αυτό γίνεται με τη χρήση μετεωρολογικών δεδομένων.

Οι παραπάνω προδιαγραφές του συστήματος οδήγησαν στη βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος, αφού εξασφάλισαν μια ομαλή λειτουργία του συστήματος αφαλάτωσης, την ομαλή φόρτιση και εκφόρτιση των μπαταριών και την μείωση μεγάλων διακυμάνσεων ισχύος στα επιμέρους συστήματα (ρελέ, μοτέρ κλπ), γεγονός που αυξάνει το χρόνο ζωής τους και την πιθανότητα βλάβης και συνεπώς, ατυχήματος.

Ένας ακόμα παράγοντας όσον αφορά την περιβαλλοντική διάσταση μιας τέτοιας μονάδας, όπως αναλύθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, είναι οι πιθανές επιπτώσεις στο θαλάσσιο βιότοπο κατά την διάρκεια της εγκατάστασης. Στην περίπτωση της Υδριάδας, τόσο το μικρό μέγεθος της εξέδρας (πολύ μεγάλη διαφορά από την εγκατάσταση πάρκου), όσο και η κατάλληλη μελέτη και επιλογή της τοποθεσίας εξασφαλίζουν την μικρότερη δυνατή επίδραση στο θαλάσσιο βιότοπο.

Τέλος το ζήτημα της αποδοχής από την τοπική κοινωνία είχε προβλεφθεί, αφού η απόσταση της εγκατάστασης ( 2 μίλια) εξασφαλίζει την ελάχιστη οπτική και ηχητική ενόχληση στους κατοίκους.

### **6.3.5. Πρωτόκολλο γενικής επιθεώρησης**

Παρακάτω παρουσιάζεται το έγγραφο νηολόγησης όπου φαίνονται τα μέτρα για την ασφάλεια που έχουν παρθεί σύμφωνα με τους κανονισμούς.



ΕΚΔΟΘΗΚΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΑΡΤΟΣΗΜΑΝΣΗ  
ΤΟ ΥΠ ΑΡΙΘΜΟΝ: 217398  
ΠΑΡΑΒΟΛΟ ΧΑΡΤΟΣΗΜΟΥ



Αριθμός Πιστοποιητικού: 165/07/ΔΘΣ

**ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ ΦΟΡΤΗΓΟΥ ΠΛΟΙΟΥ**

(Βλέπε πίσω όψη για εντολές και παρατηρήσεις)

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΑΣ  
ΚΛΑΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

Είδος πλοίου: <b>Πλωτή Εξέδρα Επιστημονικής Έρευνας - Μονάδα Αφαλάτωσης</b>		Όνομα πλοίου: Π/Ε "ΥΔΡΙΑΔΑ"		Νηολόγιο: <b>ΧΙΟΥ 47</b>	
Κωδικός: <b>14973</b>					
ΔΔΣ: ----- Διακριτικό σταθμού πλοίου: -----		ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	ΝΑΥΠΗΓΗΣΗ	ΝΑΥΠΗΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ	Νηογνώμονας: <b>HRS</b>	Διεθνής: Ολική: <b>131,78</b> Καθαρή: <b>131,78</b> D.W.:	Μήκος ολικό: <b>31,00 M</b> Πλάτος: <b>31,00 M</b>	Έτος: <b>2007</b> Τόπος: <b>ΠΕΙΡΑΙΑ</b> Υλικό: <b>ΧΑΛΥΒ.</b>	Ύψος εξαλων: -- Βύθισμα θέρους:--
Σηράς: <b>13/11/06</b>	κλάση:				
Δοκιμές: <b>11/06/07</b>					

**ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ**

Θέση	Είδος καυσίμου	Κατασκ.-τύπος	Τύπος κατασκ.	έτος κατασκ.	Ιπποδύναμη	κύλινδροι	Τελ.ημ/για εξαγ. άξονα
--	--	--	--	--	--	--	--

ΕΩΣΤΙΚΑ ΜΕΣΑ		ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΑ ΜΕΣΑ		ΑΛΙΑ ΜΕΣΑ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	
αριθμός	άτομα	αριθμός	άτομα	αριθμός	άτομα
Σωστικές λέμβοι μηχανοκίνητες	: -	Πυροσβεστήρες σκόνης		Αποβολίδες αλεξίπτου:	-
Λέμβοι μηχανικά προωθούμενοι	: -	Πυροσβεστήρες αφρού		Αποβολίδες ρουκέτες	-
Λέμβοι κοπήλατες	: -	Πυροσβεστήρες CO2		Αποβολίδες αερίων	-
Κοινές λέμβοι	: -	Πυροσβεστήρες νερού		Αποβολίδες υγρών	-
Σωστικές οκεδίες καθαριούμενες	: -	Πυροσβεστήρες ημιφωσφορικοί		Αποβολίδες υγρών	-
Σωστικές οκεδίες ρίψης	: -	Πυροσβεστήρες ημιφωσφορικοί		Αποβολίδες υγρών	-
Πλευστικές συσκευές	: -	Μόνιμο σύστημα:		Αποβολίδες υγρών	-
Σωστικές ζώνες (ενηλικών)	: 2				
Κυκλικά σωστικά	: 2				

Πλήρωμα: ---

ΠΛΟΟΣ: ΠΛΩΤΗ ΕΞΕΔΡΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΜΟΝΙΜΑ ΑΓΚΥΡΩΜΕΝΗ

ΜΕΣΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ: ----

Το παρόν εκδίδεται ύστερα από επιθεώρηση του πλοίου που έγινε στο **ΝΑΥΠΟΛΙΣ** στις **11/06/07** κατά την οποία διαπιστώθηκε ότι το πλοίο είναι κατάλληλο να λειτουργήσει ως φορτηγό πλοίο σύμφωνα με τα πλοϊκά φάτα και σχήματα, τα μέσα επικοινωνίας, τα φωτιστικά σημεία κινδύνου, τα σωστικά μέσα και οι εν γένει χώροι ενδιαιτήσεως των πληρώματων και πληρώματος, πληρούν τις απαιτήσεις των κανονισμών και διατάξεων που ισχύουν.

Το παρόν ισχύει κατά το διάστημα που το πλοίο εξακολουθεί να συμμορφώνεται με τους κανονισμούς ασφαλείας και όχι πέραν της: **11/07/07**



Εκδόθηκε στον Πειραιά την: **11/06/07**  
Για τον ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΝΗΟΓΝΩΜΟΝΑ



**D. SENIS**  
**H.R.S. SURVEYOR**

Επιθεωρητής Τμήματος  
Επιθεωρήσεων Πειραιά



FORM: SSP\_CV (1104)

Εικόνα 6. 7 Πρωτόκολλο Γενικής Επιθεώρησης Υδριάδας.

## **Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου ΣΤ'**

Δαγκίνης Ι.(2018), *Μεθοδολογικό πλαίσιο αξιοπιστίας και αποδοτικότητας θαλασσίων κατασκευών για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*, διδακτορική εργασία. Χίος

Παρουσιάσεις και μελέτες για το σύστημα της Υδριάδας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου