



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

---

ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ SSG  
ΣΤΗ ΣΥΡΟ

---

ΜΑΝΟΥΣΑΚΗΣ ΣΤΕΡΓΙΟΣ Α.Μ. : 6163

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΚΑΤΣΑΠΡΑΚΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2020

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΣΥΝΟΨΗ .....	3
ABSTRACT .....	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	6
1.1. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	7
1.2. ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	8
1.3. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	10
1.4. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	11
2. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΑΛΑΣΣΑ .....	12
2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	12
2.2. ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΜΕΤΑΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΩΚΕΑΝΩΝ .....	13
3. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΑ ΚΥΜΑΤΑ .....	14
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	14
3.2. ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΥΜΑΤΙΚΟ ΚΛΙΜΑ .....	15
4. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	20
4.1. ΔΙΑΧΩΡΙΜΟΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	20
4.2. ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ (ONSHORE DEVICES).....	20
4.3. ΠΑΡΑΚΤΙΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ (NEARSHORE DEVICES) .....	23
4.4. ΥΠΕΡΑΡΑΚΤΙΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ (OFFSHORE DEVICES).....	25
5. ΔΙΑΤΑΞΗ SEA SLOT GENERATOR (SSG) .....	28
5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	28
5.2. ΔΟΜΗ ΤΗΣ SSG .....	30
5.3. ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΔΙΑΤΑΞΗΣ .....	31
5.4. ΑΠΟΔΟΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ .....	33
5.5. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ.....	36
5.6. ΥΔΡΟΣΤΟΒΙΛΟΙ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΡΟΗΣ (ΚΑΡΛΑΝ).....	37
5.7. ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	41
5.8. ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ.....	43
6. ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ ΜΕ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ JONSWAP .....	44
6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	44
6.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΖΗΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	45

6.3.	ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ .....	46
6.4.	ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	47
6.5.	ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ SEA SLOT-CONE GENERATOR.....	54
6.6.	Εκτίμηση Παροχής Αναρρίχησης Κυματισμού .....	55
6.7.	Ενεργειακή Απόδοση.....	58
7.	ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ ΜΕ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	62
7.1.	Εισαγωγή .....	62
7.2.	Δεδομένα κυματικού δυναμικού .....	62
7.3.	Ενεργειακή ανάλυση κυματοθραύστη.....	63
8.	ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗΣ ΣΕ ΜΕΛΕΤΗ JONSWAP.....	67
8.1.	Κόστος διάταξης SSG .....	67
8.2.	Τιμολόγηση Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	69
8.3.	Οικονομική Ανάλυση.....	70
9.	ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗΣ ΣΕ ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	76
9.1.	Κόστος διάταξης και τιμολόγηση παραγωγής ενέργειας.....	76
9.2.	Οικονομική Ανάλυση.....	77
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	81
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	83
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....	84

## ΣΥΝΟΨΗ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μεγάλη αλλαγή στις παγκόσμιες κλιματικές συνθήκες, έτσι οδηγούμαστε στην αύξηση της θερμοκρασίας της Γης, στη διαφοροποίηση της έντασης των ανέμων και εν κατακλείδι στην ανύψωση της στάθμης των θαλασσών. Έπειτα, η Ελλάδα είναι μια από τις χώρες που διαθέτει πλούσιο κυματικό δυναμικό, το οποίο όμως παραμένει ανεκμετάλλευτο λόγω της διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) που είναι ακόμα σε πρωταρχικό στάδιο. Έτσι, αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής αποτελεί η ενεργειακή αξιολόγηση μιας διάταξης εκμετάλλευσης της ενέργειας των αναρριχόμενων κυμάτων, τύπου SSG (ενεργειακός κυματοθραύστης). Μελετήθηκε η θεωρητική εφαρμογή της σε ένα νησί μη διασυνδεδεμένου δικτύου, τη Σύρο.

Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν δύο παρόμοιες μελέτες, για δύο πηγές δεδομένων. Ειδικότερα, στην πρώτη, χρησιμοποιήθηκαν ανεμολογικά δεδομένα από τον εγκαταστημένο μετρολογικό σταθμό Davis Ventage PRO2 που βρίσκεται στην Σύρο. Ύστερα, επεξεργάστηκαν από το αριθμητικό μοντέλο JONSWAP για να υπολογιστεί το κυματικό δυναμικό της περιοχής. Δε συμβαίνει όμως το ίδιο στην δεύτερη μελέτη, όπου τα δεδομένα κυματικού δυναμικού προήλθαν από ακριβείς δορυφορικές παρατηρήσεις για την περιοχή εγκατάστασης. Έπειτα, αξιολογήθηκαν και στις δύο όλοι οι παράμετροι που επηρεάζουν την κατασκευή του ενεργειακού κυματοθραύστη, ώστε να έχουμε την μέγιστη παραγωγή ενέργειας το χρόνο. Έτσι, στην μελέτη JONSWAP, η διάταξη θα έχει συνολικό μήκος 100 [m], γωνία κλίσης 22° και θα διαθέτει τρεις δεξαμενές σε συνολικό ύψος 5 [m] από την επιφάνεια της θάλασσας στην. Στο πλαίσιο αυτό κατανοούμε ότι θα εγκατασταθεί στην βόρεια πλευρά του νησιού, διότι εκεί πνέουν οι πιο ισχυροί άνεμοι και με μεγαλύτερη συχνότητα. Στον αντίποδα, σύμφωνα με τα δεδομένα κυματικού δυναμικού από έμμεσες παρατηρήσεις, η διάταξη θα έχει συνολικό μήκος 100 [m], γωνία κλίσης 18°, θα διαθέτει τρεις δεξαμενές σε συνολικό ύψος 7 [m] από την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ όπως και στην πρώτη ανάλυση θα εγκατασταθεί στην βόρεια πλευρά του νησιού.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, για την πρώτη περίπτωση πετυχαίνετε σε ετήσια βάση παραγωγή ενέργειας της τάξεως των 18.309,24 MWh/έτος που συνεπάγεται σε κάλυψη των απαιτήσεων του νησιού κατά 18,8 %, η οποία συνδέεται απευθείας με το δίκτυο της ΔΕΗ. Επιπλέον, έγινε εκτίμηση του κόστους στο οποίο περιλαμβάνονται τα κόστη από τη μελέτη του έργου έως την λειτουργία του και αυτό ανέρχεται στα 10.058.047,65€. Έπειτα, ακολούθησε έλεγχος της οικονομικής βιωσιμότητας της παράκτιας εγκατάστασης για 20 χρόνια και σύμφωνα με το χρηματοδοτικό σχήμα που ακολουθήσαμε η διάταξη θεωρείται αποδοτική. Ταυτόχρονα, στην ανάλυση από δεδομένα έμμεσων μετρήσεων, επιτυγχάνεται παραγωγή ενέργειας της τάξεως 10.837,45 MWh/έτος, όπου σύμφωνα με τα δορυφορικά δεδομένα αφορά τις 238,5 ημέρες του έτους. Πιο συγκεκριμένα, συμβάλει σε ποσοστό 11,13 % για την κάλυψη των αναγκών του νησιού. Στην συνέχεια, με την οικονομοτεχνική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε και σε αυτή τη περίπτωση, η επένδυση κρίνεται αποδοτική.

Εύκολα, λοιπόν, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι ο ενεργειακός κυματοθραύστης αποτελεί μια τεχνολογία που θα μπορούσε πέρα από την προστατευτική και αντιδιαβρωτική λειτουργία που έχει ως προς τις ακτές, να συνεισφέρει και στην κάλυψη της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας μιας κοινωνίας.

## ABSTRACT

In recent years there has been a great change in global climate conditions, so we are leading to an increase in the Earth's temperature, a change in the intensity of the winds and, in conclusion, to a rise in sea level. Greece is one of the countries that has a rich wave potential, but which remains unexploited due to the penetration of RES which is still in its infancy. Thus, the subject of this diploma was the energy evaluation of a device for the exploitation of the energy of climbing waves, the SSG device (wave energy converter). Its theoretical application was studied on an island of non-interconnected network, Syros.

Subsequently, two similar studies were performed for two data sources. In the first, wind data from the installed metro station Davis Ventage PRO2 located in Syros were used. They were then processed by the JONSWAP numerical model to calculate the wave potential of the area. However, this is not the case in the second study, where the wave potential data came from accurate satellite observations of the installation site. Next, all the parameters that affect the construction of the energy breakwater were evaluated in both, so that we have the maximum energy production per year. Thus, in the JONSWAP study, the device will have a total length of 100 [m], an angle of inclination of 22 ° and will have three tanks at a total height of 5 [m] above sea level in. In this context we understand that it will be installed on the north side of the island, because there the strongest winds blow with greater frequency. On the other hand, according to the wave potential data from indirect observations, the device will have a total length of 100 [m], an angle of inclination of 18 °, will have three tanks at a total height of 7 [m] above sea level, while as in first analysis will be installed on the north side of the island.

With the above data given, you achieve on an annual basis energy production of 18,309.24 MWh / year which is directly connected to the PPC network. In this case, an estimate was made of the costs from the study of the project to its operation and amounts to 14.901.189,12 €. This was followed by an audit of the financial viability of the offshore facility for 20 years and according to the financing scheme we followed the provision is considered efficient. At the same time, in the second analysis, energy production of the order of 10,837.45 MWh / year is achieved, where according to the satellite data it concerns the 238.5 days of the year studied. At the same time, it contributes at a rate of 11.13% to cover the needs of the island. Then, with the economic-technical analysis that was carried out in this case as well, you consider the investment profitable.

So, we can easily conclude that the wave energy converter is a technology that could, in addition to its protective and anti-corrosion function in relation to the coast, also contribute to meeting the electricity demand of a society.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτριο Κατσαπρακάκη, καθηγητή του Τμήματος των Μηχανολόγων Μηχανικών για την δυνατότητα που μου έδωσε να εξελίξω μέσω της εκπόνησης της παρούσας εργασίας τα ενδιαφέροντα μου περί εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας. Τον ευχαριστώ για το χρόνο που μου διέθεσε και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθόλη την διάρκεια της συνεργασίας μας. Παράλληλα, ευχαριστώ την κα. Ειρήνη Δακανάλη και την κα. Όλγα Πετρά για τη δουλειά που έκαναν για να βρουν και να συγκεντρώσουν από τα αντίστοιχα παγκόσμια δορυφορικά δεδομένα, τα δεδομένα του κυματικού δυναμικού ανά 6 ώρες για την περιοχή της Σύρου. Ενώ, για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας και για όλα τα χρόνια της φοίτησης μου θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη υποστήριξη και καθοδήγησή τους.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σχεδόν κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα εξαρτάται από την ενέργεια. Ο σύγχρονος κόσμος εξαρτά την επιβίωση και την ευημερία του στην ηλεκτρική ενέργεια, καθώς μάς ζεσταίνει, μας δίνει φως, κινεί τα αυτοκίνητά μας, τα αεροπλάνα και τα εργοστάσια.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι η καύση διαφόρων ουσιών (λιγνίτης, πετρέλαιο, κάρβουνο), τα πυρηνικά εργοστάσια, τα ηλιακά πάρκα, τα υδροηλεκτρικά φράγματα και τα αιολικά πάρκα. Το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιείται (στερεό, υγρό ή αέριο) διαφοροποιείται από χώρα σε χώρα καθώς αυτό εξαρτάται από τους διαθέσιμους ενεργειακούς πόρους της, τις γεωλογικές, γεωφυσικές και κλιματολογικές ιδιαιτερότητες αυτής και την εν γένει ενεργειακή πολιτική της. Στην Ελλάδα, η χρήση του ορυκτού καυσίμου του λιγνίτη κυριαρχεί σε ποσοστό 55%.

Ωστόσο, το μεγάλο μειονέκτημα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η δύσκολη σχεδόν αδύνατη μακροχρόνια αποθήκευσή της. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να καταναλώνεται ταυτόχρονα με την παραγωγή της ή να αποθηκεύεται, αφού πρώτα μετατραπεί σε άλλες μορφές ενέργειας (π.χ. χημική, δυναμική κ.λπ.). Η ανάγκη άμεσης κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας έχει οδηγήσει στην κατασκευή ενός παγκόσμιου πλέγματος ηλεκτρικών δικτύων, έτσι ώστε να μπορεί να μεταφέρεται εύκολα, από το σημείο παραγωγής της, στο σημείο κατανάλωσης.

Σύμφωνα με έρευνες, η ζήτηση ενέργειας τα τελευταία δέκα χρόνια έχει διπλασιαστεί, γεγονός που προκαλεί μείζον ενεργειακό πρόβλημα δεδομένου ότι τα αποθέματα πετρελαίου και γαιανθράκων με τις πλέον ευοίωνες προβλέψεις εκτιμάται ότι θα διαρκέσουν για λιγότερο από 100 χρόνια. Επιπροσθέτως, η ενεργειακή κατανάλωση συνδέεται άμεσα με την οικολογική ισορροπία του πλανήτη μας. Ταυτόχρονα, παραγωγή ενέργειας σε όλα τα στάδιά της προκαλεί αναμφίβολα υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Η «όξινη βροχή», «το φαινόμενο του θερμοκηπίου» και η «τρύπα του όζοντος» μας απασχολούν όλους, προβάλλονται από τα μαζικά μέσα ενημέρωσης και τα συζητάμε.

Έτσι, σε παγκόσμιο επίπεδο, με γνώμονα την επερχόμενη εξάντληση των συμβατικών καυσίμων που αναφέραμε και την υψηλή περιβαλλοντολογική επιβάρυνση που προκαλούν, πραγματοποιούνται πολλές ερευνητικές προσπάθειες που κινούνται στην κατεύθυνση της βελτιστοποίησης των υφιστάμενων τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας με σκοπό την αποδοτικότερη λειτουργία τους (μείωση κατανάλωσης καυσίμων) και τη μείωση της ρυπογόνου δράσης τους (περιβαλλοντολογική ωφέλεια). Η βελτιστοποίηση της συμβατικής αυτής τεχνολογίας, αν και έχει θετικότερες συνέπειες στο σύστημα καύσιμο- περιβάλλον, δεν παύει να εξαρτάται από τα συγκεκριμένα και εξαντλήσιμα αποθέματα καυσίμων .

Με άλλα λόγια, οι παραπάνω επιπτώσεις από τη χρήση της ενέργειας, καθώς και ότι τα συμβατικά καύσιμα λόγω της εξάντλησης των αποθεμάτων τους και των συμβατικών τεχνολογιών χρήσης τους, μπορούν να θεωρηθούν περιορισμένων προοπτικών. Ως εκ τούτου, δημιουργείται η ανάγκη αξιοποίησης άλλων εναλλακτικών πηγών ενέργειας και λήψης μέτρων για την εξοικονόμηση της.

## 1.1.ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ή οι ήπιες μορφές ενέργειας ή οι νέες πηγές ενέργειας ή η πράσινη ενέργεια είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Συγκεκριμένα ως ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές θεωρείται η αιολική, ηλιακή, αεροθερμική, γεωθερμική, υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών, υδροηλεκτρική, από βιομάζα, από τα εκλυόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια, από αέρια μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και από βιοαέρια. Πιο αναλυτικά :

- Ηλιακή ακτινοβολία : μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με θερμικές και φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η θερμική αξιοποίηση της, περιλαμβάνει συλλογή της ηλιακής ενέργειας για να παραχθεί θερμότητα κυρίως για θέρμανση νερού και μετατροπή του σε ατμό για την κίνηση ατμοστρόβιλων. Η άμεση μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική πραγματοποιείται με τα φωτοβολταϊκά κύτταρα, των οποίων η λειτουργία βασίζεται στο "φωτοβολταϊκό φαινόμενο". Αυτού του είδους η ενέργεια (ηλιακή ή φωτοβολταϊκή) αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Αιολική ενέργεια : δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό τους ανέμους. Σήμερα, η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική και ονομάζονται ανεμογεννήτριες.
- Βιομάζα : είναι η ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο και είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν με την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτήν την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, μετά την επεξεργασία και τη χρήση της. Είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση.
- Γεωθερμική ενέργεια : είναι η φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια. Αφορά στην αξιοποίηση των ατμών ή υπογείων θερμών ρευμάτων που δημιουργούνται από τη θερμότητα Γης.
- Υδροηλεκτρική ενέργεια : είναι η ενέργεια που αποταμιεύεται ως δυναμική ενέργεια μέσα σε βαρυτικό πεδίο με τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων νερού (π.χ. ποταμοί) σε υψομετρική διαφορά από τη συνέχιση της ροής του ελεύθερου νερού και αποδίδεται ως κινητική μέσω της υδατόπτωσης. Η εκμετάλλευση της γίνεται με τη χρήση υδροηλεκτρικών έργων (υδατοταμιευτήρες, φράγματα, κλειστοί αγωγοί πτώσεως, υδροστρόβιλοι, ηλεκτρογεννήτριες, διώρυγες φυγής).
- Ωκεάνια ενέργεια : διαθέτει πολλές διαφορετικές μορφές, οι οποίες μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στο σύνολο παροχής ενέργειας του μέλλοντος. Παρ'όλα αυτά, οι περισσότερες εγκαταστάσεις βρίσκονται ακόμα στο στάδιο της έρευνας. Σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα, η παλίρροια, τα ρεύματα και η κινητική ενέργεια των κυμάτων αποτελούν τις καλύτερες επιλογές ως πηγές ενέργειας.

Σε συνδυασμό με τα παραπάνω, ένα Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας εκπονήθηκε στο πλαίσιο εφαρμογής της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Πολιτικής σε



σχέση με την διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, την Εξοικονόμηση Ενέργειας και τον περιορισμό των εκπομπών αερίων ρύπων του θερμοκηπίου. Ειδικότερα για το σύνολο των Κρατών-Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέχρι το 2020, προβλέπεται:

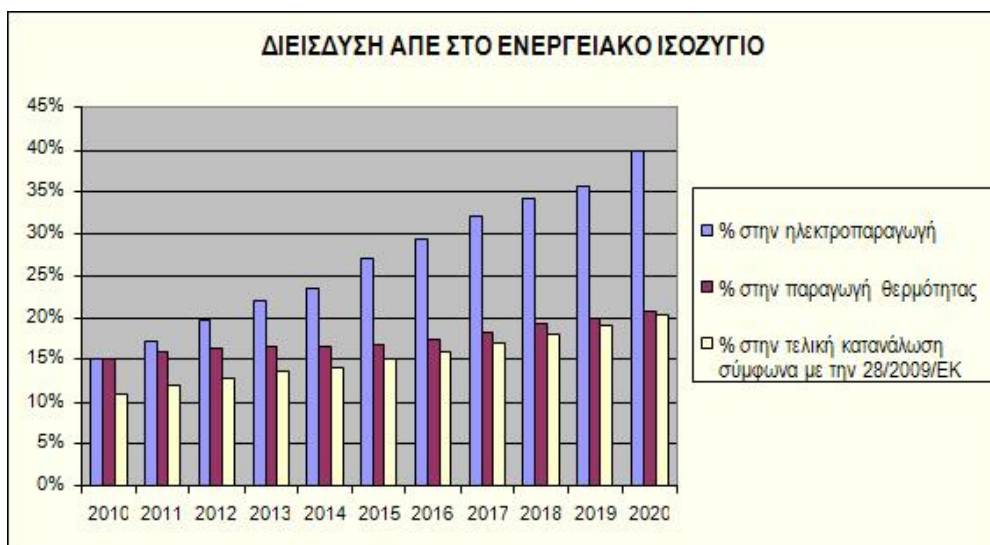
α) 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 σύμφωνα με την Οδηγία 2009/29/ΕΚ,

β) 20% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ και

γ) 20% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας

Ειδικά για την Ελλάδα, οι στόχοι που συμφωνήθηκαν είναι :

- I. μείωση κατά 4% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 2005,
- II. συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατά ένα ποσοστό του 18% στην τελική κατανάλωση ενέργειας και κατά 40% στην ηλεκτροπαραγωγή,
- III. αύξηση της συμμετοχής των βιοκαυσίμων στο 10% και
- IV. 2% του ΑΕΠ να επενδύεται σε έρευνα και ανάπτυξη.



**Γράφημα 1.1.1 :** Εθνικοί δεσμευτικοί στόχοι και εκτίμηση διείσδυσης των ΑΠΕ.

## 1.2. ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

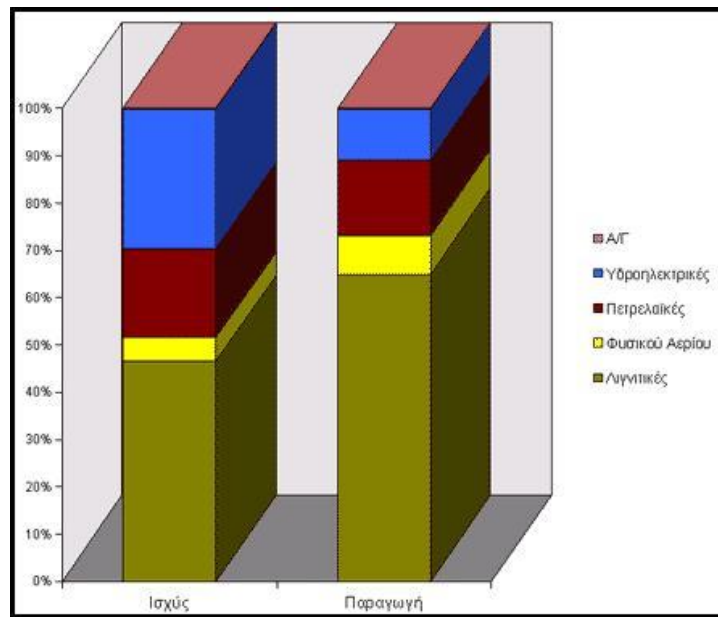
Η πρωτογενής ενέργεια που χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην χώρα μας είναι ο λιγνίτης, όπως φαίνεται και από το ισοζύγιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ (Πίνακας 1.2.1 και Γράφημα 1.2.1). Η εντυπωσιακή ανάπτυξη των λιγνιτωρυχείων της ΔΕΗ επιτρέπει στη χώρα μας να κατέχει τη δεύτερη θέση στην παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση, την πέμπτη θέση στην Ευρώπη και την έκτη στον κόσμο.

Οι σταθμοί παραγωγής του Ηλεκτρικού Συστήματος της Ελλάδας διακρίνονται σε:

- Σταθμούς παραγωγής (Ε.Δ.Σ.) : όπου περιλαμβάνονται και επιπλέον εναέριες και υπόγειες γραμμές των 400kV και 150 kV καθώς επίσης και υποβρύχια καλώδια των 66 kV και των 150 kV που συνδέουν την Άνδρο, την Τήνο, όπως και από τα Επτάνησα, την Κέρκυρα, τη Λευκάδα, την Κεφαλονιά και τη Ζάκυνθο.
- Αυτόνομους Σταθμούς Παραγωγής του νησιωτικού συστήματος : όπου αφορά νησιά της ελληνικής επικράτειας, όπως η Κρήτη, η Ρόδος, η Κάρπαθος, η Λέρος, η Κάλυμνος, η Λέσβος, η Λήμνος, η Σάμος, η Χίος, αλλά και τα νησιά των Κυκλάδων όπως είναι η Νάξος, η Μύκονος, η Μήλος, η Πάρος, η Ίος, η Σχοινούσα, η Δονούσα κ.α. των οποίων το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας δεν συνδέεται με το κεντρικό δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας. Η κάλυψη της ζήτησης ενέργειας στα νησιά αυτά γίνεται κυρίως μέσα από αυτόνομους εγκατεστημένους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, καθώς όσο προικισμένη και αν είναι η χώρα μας από αιολικό και ηλιακό δυναμικό, η διείσδυση των ΑΠΕ είναι ακόμη σε πρωταρχικό στάδιο.

	Ισχύς (MW)	%	Παραγωγή (GWh)	%
<b>Λιγνιτικές</b>	4900	46.5	29115	65.0
<b>Πετρελαϊκές</b>	1985	18.8	7160	16.0
<b>Υδροηλεκτρικές</b>	3092	29.3	4800	10.7
<b>Φυσικού Αερίου</b>	537	5.1	3690	8.2
<b>Α/Γ</b>	26	0.2	56	0.1
<b>Σύνολο</b>	<b>10540</b>		<b>44821</b>	

**Πίνακας 1.2.1 :** Εγκατεστημένη Ισχύς και Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας του συστήματος της Δ.Ε.Η. ανά τύπο μονάδων.



**Γράφημα 1.2.1 :** Ισοζύγιο ηλεκτρισμού (Πηγή: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας)

### 1.3.ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Όταν το νερό θερμαίνεται, διαστέλλεται. Ταυτόχρονα, η υπερθέρμανση του πλανήτη που οφείλεται πιθανότατα κατά κύριο λόγο στην παρατηρούμενη αύξηση των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων αερίων θερμοκηπίου ως αποτέλεσμα των εκπομπών που προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες, προκαλεί την κατάρρευση όγκων πάγου στους δύο πόλους και την τήξη των παγετώνων. Εξαιτίας των αλλαγών αυτών, ανεβαίνει η στάθμη των θαλασσών με αποτέλεσμα να προκαλούνται πλημμύρες και διάβρωση στις ακτές και τις πεδινές παράκτιες περιοχές, γεγονός που σηματοδοτεί για την Ελλάδα τη μελλοντική μείωση των ακτών της κατά ένα ποσοστό που εκτιμάται κοντά στο 80%. Για να μετριάσουμε τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής, είναι λοιπόν αναγκαίο να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν έργα ακτογραμμής που όχι μόνο θα προστατεύουν την διάβρωση των ακτών της χώρας μας αλλά και θα εκμεταλλεύονται ενεργειακά το ισχυρό αιολικό και κυματικό δυναμικό της. Για τον σκοπό αυτό, αναπτύσσονται τεχνολογίες εκμετάλλευσης της ενέργειας των αναρριχώμενων κυματισμών στις ακτές.

Κινούμενος σε αυτήν την κατεύθυνση, αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής αποτελεί η εφαρμογή μιας διάταξης εκμετάλλευσης της ενέργειας των κυμάτων τύπου SSG (ή αλλιώς του λεγόμενου ενεργειακού κυματοθραύστη) σε μια περιοχή της χώρας μας, ένα νησί του μη διασυνδεδεμένου δικτύου της, στη νήσο της Σύρου. Στόχος της, είναι η ενεργειακή αποτίμηση του συστήματος στη μείωση της παραγόμενης ενέργειας από τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς του νησιού, καθώς και η αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας της διάταξης. Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν δύο όμοιες μελέτες, για την ασφάλεια των υπολογισμών και για να έχουμε ακριβή αποτελέσματα. Η πρώτη από ανεμολογικά δεδομένα που μετατράπηκαν σε κυματικό δυναμικό με το αριθμητικό μοντέλο JONSWAP και η δεύτερη από ακριβή δορυφορικά δεδομένα κυματικού δυναμικού για την περιοχή.

#### 1.4.ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο **κεφάλαιο 2** που ακολουθεί αναλύεται η ενέργεια της θάλασσας και της εκμετάλλευσης της από τον μεσαίωνα έως και σήμερα, ενώ παρατηρούνται ακόμη οι τρόποι εκμετάλλευσης της ενέργειας των ωκεανών.

Στο **κεφάλαιο 3** πραγματοποιείται επισκόπηση στον τομέα της κυματικής ενέργειας σύμφωνα με αναφορές στην Ευρώπη και στην Ελλάδα. Επιπλέον, καταγράφουμε ποιες περιοχές εμφανίζουν έντονη κυματική δραστηριότητα και πως τις εντοπίζουμε.

Στο **κεφάλαιο 4** διαχωρίζονται οι διάφοροι μηχανισμοί μετατροπής της κυματικής ενέργειας και αναλύονται οι διάφορες τεχνολογίες εκμετάλλευσης.

Στο **κεφάλαιο 5** γίνεται περιγραφή της αρχής λειτουργίας της συγκεκριμένης διάταξης αναρρίχησης κυματισμών SSG, της απόδοσης, της δεσμευμένης ενέργειας και του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται.

Στο **κεφάλαιο 6** σχεδιάζεται ο ενεργειακός κυματοθραύστης σύμφωνα με την επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων από το αριθμητικό μοντέλο JONSWAP, ώστε να έχουμε το κυματικό δυναμικό της περιοχής. Παράλληλα, γίνεται έλεγχος των γεωμετρικών χαρακτηριστικών (παραμετροποίηση), ώστε να έχουμε την μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας.

Στο **κεφάλαιο 7** σχεδιάζεται εκ νέου ο ενεργειακός κυματοθραύστης σύμφωνα με τα δορυφορικά δεδομένα κυματικού δυναμικού της Σύρου για το έτος 2012. Γίνεται έλεγχος των γεωμετρικών χαρακτηριστικών (παραμετροποίηση), με σκοπό να έχουμε τη μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας.

Στο **κεφάλαιο 8** πραγματοποιείται οικονομοτεχνική ανάλυση για τη μελέτη της διάταξης που έγινε στο κεφάλαιο 6, η οποία μας δίνει τα αποτελέσματα που απαντούν στο ερώτημα, εάν συμφέρει η υλοποίηση μιας τέτοιας επένδυσης.

Στο **κεφάλαιο 9** πραγματοποιείται παρόμοια οικονομοτεχνική ανάλυση για τη μελέτη δορυφορικών δεδομένων κυματικού δυναμικού του κεφαλαίου 7.

Στα **συμπεράσματα** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δυο μελετών.

Στα **παραρτήματα** παρατίθενται τα φύλλα υπολογισμού που αφορούν την ανάλυση της πρώτης περίπτωσης. Σημειώνονται τα αποτελέσματα που αφορούν την επιλογή του μήκους κύματος ανάλογα με τα μποφόρ του ανέμου και τη συχνότητα εμφάνισής του σε κάθε εξεταζόμενη διεύθυνση και τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης της επένδυσης που έγινε για τον ενεργειακό κυματοθραύστη. Συγχρόνως, παρουσιάζονται τα φύλλα υπολογισμού της οικονομικής ανάλυσης της μελέτης, βασισμένης σε δορυφορικά δεδομένα και τα μηνιαία διαγράμματα ύψους κύματος.

## 2. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΑΛΑΣΣΑ

### 2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η θάλασσα έχει θεωρηθεί από καιρό ως πηγή ενέργειας. Κατά τον Μεσαίωνα (1200-1500), οι αγρότες παγίδευαν το θαλάσσιο νερό στις λίμνες μύλων, για να το χρησιμοποιήσουν στους υδρόμυλους δύναμης. Η πρώτη καταγεγραμμένη προσπάθεια κατασκευής μηχανής για την εκμετάλλευση των κυματισμών, έγινε από το Γάλλο μηχανικό Pierre Girard μόλις το 1799. Ωστόσο, χρειάστηκε να περάσουν αρκετά χρόνια από τότε, ώστε να υπάρξει συντονισμένη έρευνα. Ο Ιάπωνας Yoshio Masuda, θεωρείται ο πατέρας της σύγχρονης τεχνολογίας, καθώς συνέλαβε και πραγματοποίησε την ιδέα της ταλαντούμενης στήλης ύδατος (OWC) με αεριοστρόβιλο, της πρώτης τεχνολογίας που αναπτύχθηκε εμπορικά. Όμως, εκτός από την τεχνολογία αυτή, μέχρι το 1980 είχαν κατοχυρωθεί με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας εκατοντάδες ακόμα. Παρόλα αυτά, το αφιλόξενο περιβάλλον της θάλασσας σε συνδυασμό με την απαίτηση πολύπλευρης αντιμετώπισης του προβλήματος από επιστήμες όπως η ωκεανογραφία, η μηχανική των ρευστών, η αντοχή υλικών, αποτέλεσαν τροχοπέδη για την εξέλιξη σε εμπορική μορφή.

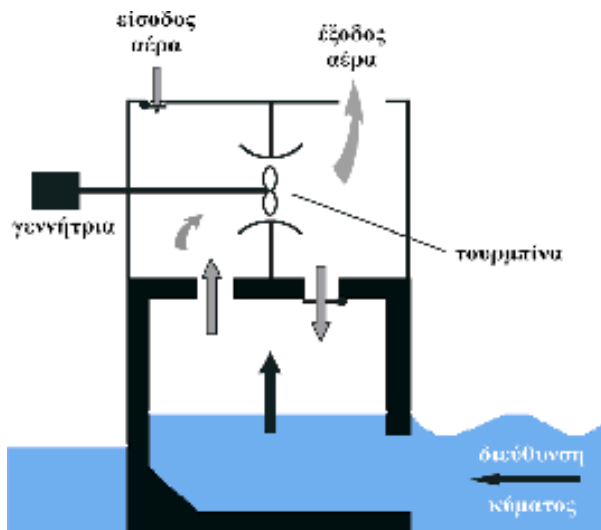
Πριν από είκοσι χρόνια, η αντίστοιχη βιομηχανία παραγωγής ενέργειας από αέρα αντιμετώπιζε παρόμοια προβλήματα αλλά με την υποστήριξη των εκάστοτε κυβερνήσεων στους κατασκευαστές κατάφεραν να ανταγωνιστούν την πράσινη δύναμη. Η ενεργειακή βιομηχανία κυμάτων είναι τώρα σε παρόμοιο στάδιο ανάπτυξης αλλά με τη δημόσια υποστήριξη και κάποια δημόσια χρήματα θα ξεπεραστούν οι όποιες αποτυχίες στον τρόπο παραγωγής, όπως γίνεται σε κάθε παρόμοια αναπτυξιακή τεχνική. Με την εισαγωγή νέων πηγών ενέργειας στην αγορά υπάρχει η προσδοκία, ότι οι συνθήκες για τη χρησιμοποίηση της δύναμης κυμάτων θα ωριμάσει, έτσι ώστε να έχει σημαντική συμβολή στην κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών.

Για παράδειγμα, η αγορά παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται στα \$800-δισεκατομμύρια ανά έτος (ΗΠΑ) και διαρκώς αυξάνεται. Έχει υπολογιστεί, ότι υπάρχουν σήμερα 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι που στερούνται ακόμα την ηλεκτρική ενέργεια, ενώ και η παγκόσμια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στις αναπτυσσόμενες χώρες διπλασιάζεται κάθε οκτώ έτη (World Watch Institute, Μάιος 1997). Προκειμένου, λοιπόν, να ικανοποιηθεί αυτή η ζήτηση, εξαιτίας του γεγονότος ότι θα πρέπει να υπάρχει μείωση στην παραγωγή των πράσινων αερίων που χρησιμοποιούνται στα σπίτια, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πρέπει να αναπτυχθούν περισσότερο.

## 2.2. ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΜΕΤΑΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΩΚΕΑΝΩΝ

Το νερό της θάλασσας και το νερό των μεγάλων λιμνών δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκμετάλλευση της υδραυλικής ενέργειας, όπως το νερό των ποταμών ή των υδρορευμάτων, γιατί δεν είναι δυνατό να κινηθεί με ταχύτητα προς τις χαμηλότερες περιοχές. Κινείται όμως, λόγω της παλίρροιας (άμπωτη-πλημμυρίδα), των ρευμάτων (λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία του νερού), ή κινείται παλινδρομικά (κύματα). Αυτές τις κινήσεις μπορούμε να τις χρησιμοποιήσουμε για να περιστρέψουμε τροχούς με πτερύγια και στη συνέχεια να παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια. Βέβαια, όλες αυτές οι εφαρμογές βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Έτσι, οι τρεις βασικοί τρόποι για την εκμετάλλευση της ενέργειας της θάλασσας είναι :

Α) **Από τα κύματα**, η κινητική ενέργεια των οποίων μπορεί να περιστρέψει την τουρμπίνα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2.1. Η ανυψωτική κίνηση του κύματος πιέζει τον αέρα προς τα πάνω μέσα στο θάλαμο και θέτει σε περιστροφική κίνηση την τουρμπίνα, ώστε η γεννήτρια να παράγει ρεύμα. Αυτός, είναι ένας μόνο τρόπος εκμετάλλευσης της ενέργειας των κυμάτων. Η παραγόμενη ενέργεια είναι σε θέση να καλύψει τις ανάγκες μίας οικίας, ενός φάρου και τα λουπά.



Εικόνα 2.2.1 Παραγωγή ενέργειας από την κινητική ενέργεια των κυμάτων.

Β) **Από τις παλίρροιας (μικρές και μεγάλες)**. Η αξιοποίηση της ενέργειας αυτής χρονολογείται πριν από εκατοντάδες χρόνια, αφού με τα νερά που δεσμεύονταν στις εκβολές των ποταμών από την παλίρροια, κινούνταν νερόμυλοι. Ο τρόπος είναι απλός, εφόσον τα εισερχόμενα νερά της παλίρροιας στην ακτή κατά την πλημμυρίδα μπορούν να παγιδευτούν σε φράγματα, οπότε κατά την άμπωτη τα αποθηκευμένα νερά ελευθερώνονται και κινούν υδροστρόβιλο, όπως συμβαίνει στα υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Τα πλέον κατάλληλα μέρη για την κατασκευή σταθμών ηλεκτροπαραγωγής είναι οι στενές εκβολές ποταμών. Η διαφορά μεταξύ της στάθμης του νερού κατά την άμπωτη και την πλημμυρίδα πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 μέτρα. Σήμερα, οι μικροί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το θαλασσινό νερό βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο. Η ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι ικανή να καλύψει τις ανάγκες μιας πόλης μέχρι και 240 χιλιάδων κατοίκων. Ο πρώτος παλιρροϊκός σταθμός κατασκευάστηκε στον ποταμό La Rance στις ακτές

της Βορειοδυτικής Γαλλίας το 1962 και οι υδροστρόβιλοί του μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια ενόσω το νερό κινείται κατά τη μια ή την άλλη κατεύθυνση. Άλλοι τέτοιοι σταθμοί λειτουργούν στη Ρωσία, στη θάλασσα Barents και στον κόλπο Fuhdy της Νέας Σκωτίας.

Γ) **Από τις θερμοκρασιακές διαφορές του νερού.** Η θερμική ενέργεια των ωκεανών μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί με την εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού του πυθμένα. Η διαφορά αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον 3,5 °C.

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της ενέργειας των ωκεανών, εκτός από "καθαρή" και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τα γνωστά ευεργετήματα, είναι το σχετικά μικρό κόστος κατασκευής των απαιτούμενων εγκαταστάσεων, η μεγάλη απόδοση (40-70 KW ανά μέτρο μετώπων κύματος) και η δυνατότητα παραγωγής υδρογόνου με ηλεκτρόλυση από το άφθονο θαλασσινό νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Από την άλλη, στα μειονεκτήματα αναφέρεται το κόστος μεταφοράς της ενέργειας στη στεριά.

### 3. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΑ ΚΥΜΑΤΑ

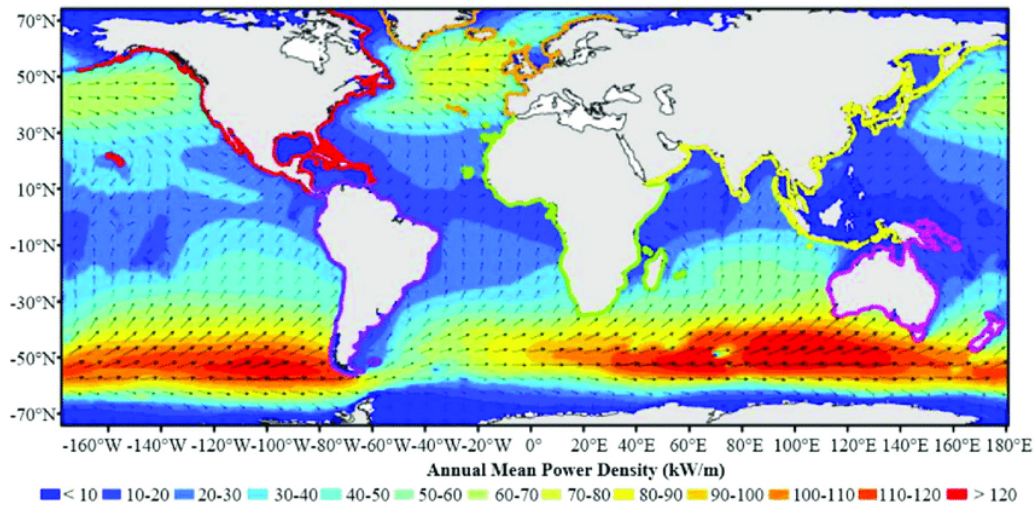
#### 3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η θάλασσα καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της γης (70% του πλανήτη), γεγονός που την κατατάσσει στις πιο υποσχόμενες μελλοντικά ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γι' αυτό χαρακτηρίζεται και ως γαλάζιος χρυσός. Η κυματική ενέργεια, όπως και οι υπόλοιπες εναλλακτικές μορφές ενέργειας, εμφανίζει περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ενώ το συντριπτικό της πλεονέκτημα έναντι των άλλων είναι η εκμετάλλευση της μεγάλης ενεργειακής πυκνότητας του νερού [1000 kg/m<sup>3</sup>]. Σημειώνεται, ότι η ενεργειακή πυκνότητα των θαλάσσιων ρευμάτων είναι πολύ μεγαλύτερη [500W/m<sup>2</sup>] συγκριτικά με την ενεργειακή πυκνότητα που έχουν τα ρεύματα αέρα [40W/m<sup>2</sup>]. Σύμφωνα, λοιπόν, με καταγραφές που πραγματοποιήθηκαν, η ωκεάνια ενέργεια συνεισφέρει σε παγκόσμια κλίμακα στην αγορά ηλεκτρικού ρεύματος γύρω στα 2000 TWh/χρόνο, δηλαδή μεταξύ 10% και 50% της παγκόσμιας κατανάλωσης σε ηλεκτρική ενέργεια.

Παρά ταύτα, στις μέρες μας, η ανάπτυξή της έχει αντιμετωπίσει αρκετές τεχνικές δυσκολίες (υψηλά διαβρωτικό περιβάλλον κ.α.), με αποτέλεσμα το ερευνητικό ενδιαφέρον να επικεντρώνεται στην ανάπτυξη της αιολικής, ηλιακής, της γεωθερμικής ενέργειας και των βιοκαυσίμων. Εντωμεταξύ, έχουν γίνει προσπάθειες στον τεχνολογικό τομέα για την βελτίωση της επίδοσης των υπάρχουσών τεχνικών άντλησης ισχύος από τα κύματα, πράγμα που έχει οδηγήσει την κυματική ενέργεια πιο κοντά παρά ποτέ στην εμπορική εκμετάλλευση. Έτσι, το παρόν κεφάλαιο έχει ως στόχο την γενικότερη γνωριμία με την κυματική ενέργεια αλλά και την αναπτυσσόμενη τεχνολογία στον τομέα αυτό.

### 3.2.ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΥΜΑΤΙΚΟ ΚΛΙΜΑ

Οι αιφνιδιαστικές καταιγίδες που χαρακτηρίζουν τον Ατλαντικό ωκεανό, έχουν δημιουργήσει έντονο κυματικό κλίμα στη Δυτική Ευρώπη και τη Νότια Αμερική. Ειδικότερα, στις περιοχές της Δυτικής Ευρώπης ο μέσος όρος της κυματικής ενεργειακής πυκνότητας βρίσκεται στα 25 kW/m και αυξάνεται όσο κινούμαστε προς τα Βόρεια, μέχρι τα 75 kW/m στις χώρες της Ιρλανδίας και της Σκωτίας. Κοντά στις Νορβηγικές ακτές η τιμή αυτή πέφτει στα 30 kW/m, ενώ στο Νότο η εικόνα διαφοροποιείται σημαντικά σε πολύ υψηλά επίπεδα. Στην μεσογειακή λεκάνη, το μέσο επίπεδο ενεργειακής πυκνότητας κυμαίνεται μεταξύ 4 – 11 kW/m με τις πιο υψηλές τιμές να παρατηρούνται στις Νοτιοδυτικές περιοχές του Αιγαίου πελάγους. Η γραφική κατανομή της ετήσιας μέσης πυκνότητας ισχύος του κόσμου απεικονίζεται στην Εικόνα 3.2.1. Ο Πίνακας 3.2.1 παρακάτω δείχνει κυματικούς ενεργειακούς πόρους σε διάφορες χώρες, που προέρχονται από διάφορες έρευνες. Σύμφωνα με αυτόν, συμπεραίνουμε ότι οι χώρες με τροπικό κλίμα, καθώς και οι πιο προστατευμένες θάλασσες έχουν χαμηλό ενεργειακό δυναμικό. Αντιθέτως, οι χώρες που αντιμετωπίζουν τη Βόρεια Θάλασσα, τον Ωκεανό του Ατλαντικού και τον Νότιο Ειρηνικό Ωκεανό έχουν τεράστιο δυναμικό ενέργειας. Επομένως, το υψηλό κυματικό περιεχόμενο της Ευρώπης γίνεται εύκολα αντιληπτό. Παρόλα αυτά, ο αριθμός των ήδη εγκατεστημένων μονάδων εκμετάλλευσης ωκεάνιας ενέργειας είναι πολύ μικρός σε σχέση με το υπάρχον φορτίο ενέργειας.



**Εικόνα 3.2.1** Παγκόσμια κατανομή της πυκνότητας ενέργειας κυμάτων σε kW/m



Country	Location	Wave resource (kW/m)	Reference
Africa	South African and South West Africa Coast	40-50	[30]
Argentina	Argentine Sea	61.3-69	[31]
Australia	Southern Australian shelf	25-30	[32]
Belgium	Belgium Continental Shelf	4.64	[33]
Brazil	North East region	2-14	[34]
Canada	North Pacific Ocean (Vancouver Island)	25	[35]
	North Atlantic Ocean (Sable Island)	25	
Chile	Los Lagos	71-87	[36]
	Magallanes	78	[37]
China	Bohai Sea	7.73	[38]
	Yellow Sea	6.29	
	East China Sea	6.36	
	South China Sea	5.32	
Denmark	North Sea	9.8	[39]
France	Bay of Biscay	24.3	[40]
Greece	Crete Island	4-11	[41]
India	Indian Coast	5-10	[42]
Ireland	West of Malin Head	30-40	[43]
	Donegal Bay	20-40	
	Sherkin Island	20	
Italy	Mediterranean Sea	8.91-10.29	[44]
Japan	Japan Sea Coast	7.2	[45]
	East Coast	6.3	
	Entire Coast	6.4	
Malaysia	East Peninsular Malaysia	< 6.5	[6]
	West Peninsular Malaysia	0.5-2.0	[46]
	Sarawak Ocean	3.1-4.5	[47]
	Sabah Ocean	6.5	[48]
Norway	Norwegian Sea (Runde Island)	40-50	[49]
Portugal	Portuguese Near shore	30-40	[50]
Spain	Death Coast	50	[51]
	Galician Coast	14.7-50.1	[52]
Sweden	Skagerrak Strait	2.8-5.2	[53]
United Kingdom	Celtic Sea	15-32	[54]
United State	Hawaii	15-25	[55]
	California coast	10-32	[56]
	Pacific Northwest	36	[57]
	Southeast Atlantic Coast	9-15	[58]

### Πίνακας 3.2.1 Κυματικοί ενεργειακοί πόροι

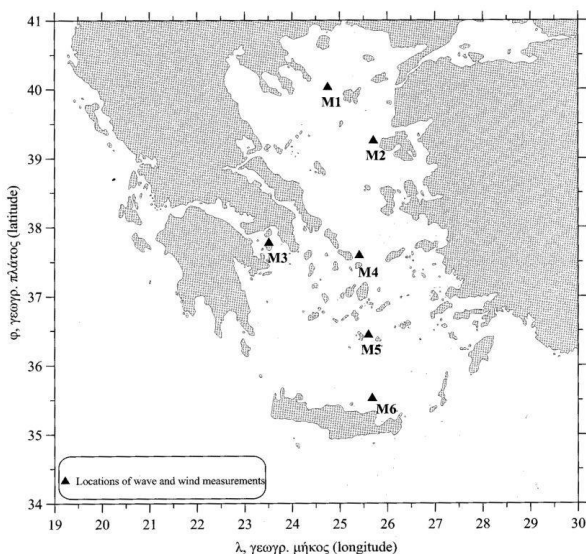
Η Ελλάδα των πολυάριθμων νησιών, διαθέτει τη μεγαλύτερη ακτογραμμή ανάμεσα στις χώρες της Ευρώπης. Το Αιγαίο Πέλαγος διαθέτει το υψηλότερο θαλάσσιο ενεργειακό δυναμικό της Μεσογείου με μέσες ετήσιες τιμές κυματικής ισχύος της τάξης των 4-11 kW/m, δηλαδή είναι δυνατό να εμφανιστούν μεγάλοι κυματισμοί (με σημαντικό ύψος κύματος, πάνω από 3 μέτρα). Εντοπίζονται επίσης, θαλάσσιες περιοχές εστιασμού κυματικής ενέργειας (hot spots), λόγω φαινομένων ανάκλασης και περίθλασης των κυμάτων. Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο κυματικό δυναμικό της Ελλάδας, υπολογίζεται στις 5-9 TWh ανά έτος, ποσό που αντιστοιχεί περίπου στο 10% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας (61 TWh για το έτος 2010). Το μέγεθος αυτό θα μπορούσε να αυξήσει σημαντικά το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και να συμβάλλει αποτελεσματικά στην ενεργειακή αυτονομία μεγάλου αριθμού των νησιών μας.

Οι δύο κύριες πηγές πληροφοριών για τα κύματα είναι τα δεδομένα έμμεσων ή άμεσων μετρήσεων και τα αποτελέσματα αριθμητικών μοντέλων. Οι άμεσες (επιτόπιες) μετρήσεις παρέχουν έγκυρα δεδομένα αλλά δεν είναι διαθέσιμες σε πολλά σημεία. Οι έμμεσες (απομακρυσμένες) μετρήσεις προέρχονται από δορυφόρους και καθώς εξελίσσονται είναι ιδιαίτερα ακριβείς και διαθέσιμες για μεγάλο εύρος περιοχών. Τα αριθμητικά μοντέλα χρησιμοποιούν ως δεδομένα τα πεδία ανέμων πάνω από τη θαλάσσια λεκάνη και υπολογίζουν το φάσμα κύματος σε κάθε κόμβο του πλέγματος με το οποίο έχει διακριτοποιηθεί η περιοχή.

Για τις ελληνικές θάλασσες, μια πρώτη εκτίμηση του κυματικού δυναμικού μπορεί να γίνει από τα δεκαετή κυματικά δεδομένα του συστήματος Ποσειδών που δημοσιεύονται στον Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών. Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα δίκτυο πλωτήρων που συλλέγουν και επεξεργάζονται δεδομένα ανά τρεις ώρες (Εικόνα 3.2.2). Με βάση αυτό το σύστημα προκύπτουν οι Πίνακες 3.2.2, 3.2.3 για τα αντίστοιχα σημεία του χάρτη. Σημειώνεται ότι, το μέγιστο ύψος κύματος που έχει ποτέ καταγραφεί κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος ήταν 6 μέτρα και παρουσιάσθηκε σε θέση ανοικτής θάλασσας στο Βόρειο Αιγαίο. Οι περιοχές υψηλότερου κυματικού και ανεμολογικού δυναμικού βρίσκονται στο Νότιο Αιγαίο: στα στενά μεταξύ Κάσου - Κρήτης, Κρήτης - Κυθήρων και Ρόδου - Καρπάθου. Επιπρόσθετα, δίδεται ο χάρτης της μέσης ετήσιας κατανομής σημαντικού ύψους κύματος, μέγεθος ανάλογο της ενέργειας κύματος (Εικόνα 3.2.4). Τέλος, στην Εικόνα 3.2.4 και Εικόνα 3.2.5 μπορούμε να παρατηρήσουμε τη μέση κυματική ισχύ που έχει παρατηρηθεί για κάθε εποχή του έτους.

Στην συνέχεια, σημαντικότεροι περίοδοι εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας στην χώρα μας, είναι η έντονη περίοδος ως προς τις κυματικές και ανεμολογικές συνθήκες του Νοέμβριου μέχρι το Φεβρουάριο και οι εποχιακοί άνεμοι στη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου. Οι άνεμοι αυτοί εμφανίζονται κυρίως στις Κυκλάδες, οι οποίες ενώ αποτελούν εμπόδιο στη διάδοση των κυματισμών και τη ροή του ανέμου από το βορειότερο τμήμα του Αιγαίου Πελάγους, ταυτόχρονα, μέσω του καναλισμού, καθοδηγούν και ενισχύουν τα ανεμολογικά και κυματικά πεδία νοτιοανατολικά. Σημειώνεται ότι, εποχιακοί άνεμοι δημιουργούνται και στο Σαρωνικό Κόλπο, με αποτέλεσμα να έχει παρατηρηθεί κι εκεί έντονη κυματική δραστηριότητα.

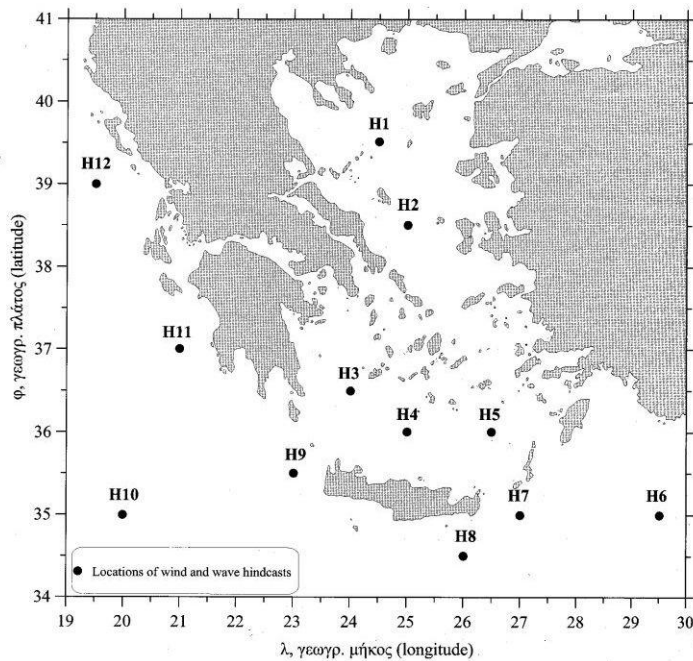
Για τον ελληνικό θαλάσσιο χώρο, εκτός από τις επιτόπιες μετρήσεις από πλωτούς σταθμούς του συστήματος Ποσειδών, τα αιολικά και κυματικά δεδομένα προέρχονται και από μεταγενέστερες εκτιμήσεις (δεδομένα hindcast). Για να τις πραγματοποιήσουμε, έχουν αναπτυχθεί διάφορα προγνωστικά μοντέλα (Jonswar, Wam Cycle4 κ.α.). Τα κυματικά μοντέλα υπολογίζουν τη χωρική και χρονική εξέλιξη του κυματικού φάσματος, λαμβάνοντας υπόψη τη δημιουργία κύματος λόγω ανέμου, τη διάθλαση του κύματος λόγω αλλαγής βάθους και παρουσίας ρευμάτων, καθώς και την απώλεια ενέργειας λόγω θραύσης του κύματος ή τριβής με τον πυθμένα. Τα αποτελέσματα του κυματικού μοντέλου διορθώνονται με συνδυασμό δεδομένων από επιτόπιες κατάλληλα επεξεργασμένες μετρήσεις, που συλλέγονται από ωκεανογραφικές πλατφόρμες του συστήματος Ποσειδών.



Εικόνα 3.2.2 Σημεία Πλωτήρων

Σημεία Πλωτήρων	Μέση Ετήσια Ισχύς Κυματισμού (kW/m)
M1	3,55
M2	2,22
M3	0,25
M4	4,49
M5	2,9
M6	3,57

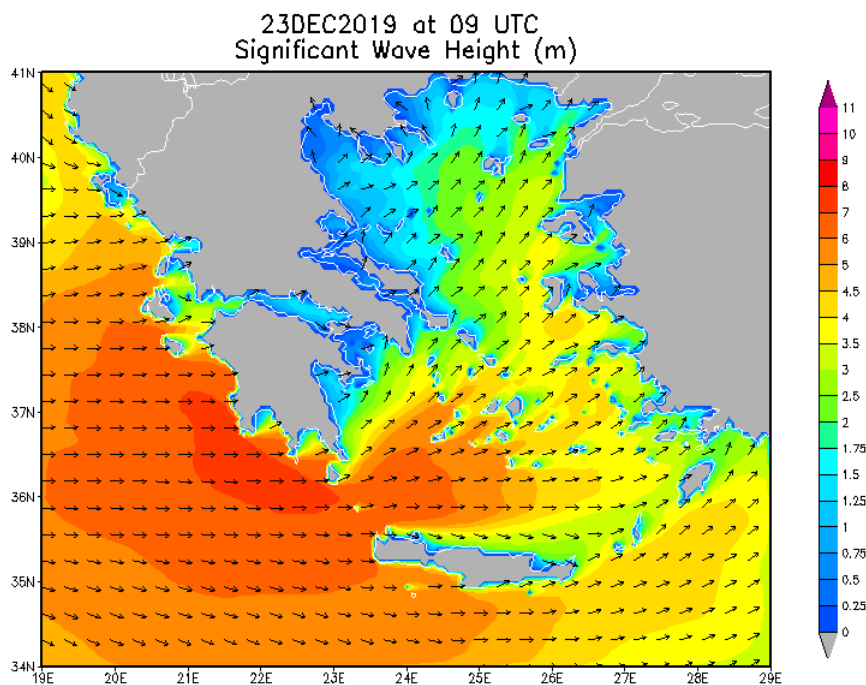
Πίνακας 3.2.2 Σημεία Πλωτήρων



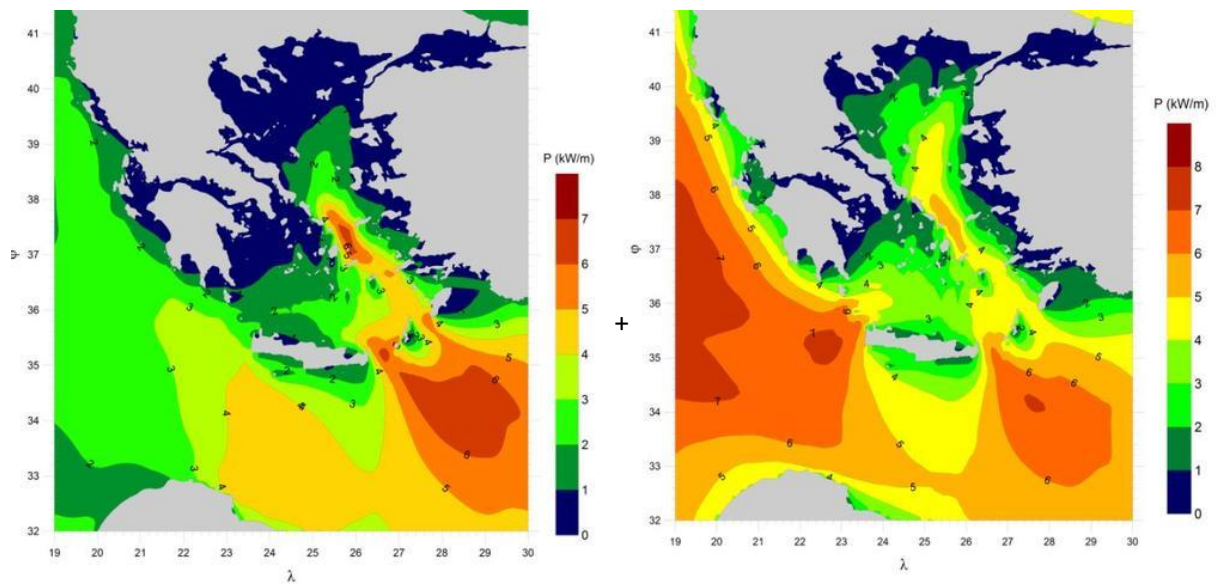
Σημεία Αριθμητικής Επεξεργασίας	Μέση Ετήσια Ισχύς Κυματισμού (kW/m)
H1	3,08
H2	3,96
H3	3,52
H4	3,83
H5	4,59
H6	6,08
H7	6,46
H8	4,63
H9	6,92
H10	7,72
H11	5,45
H12	5,31

Πίνακας 3.2.3 Σημεία Αριθμητικής Επεξεργασίας

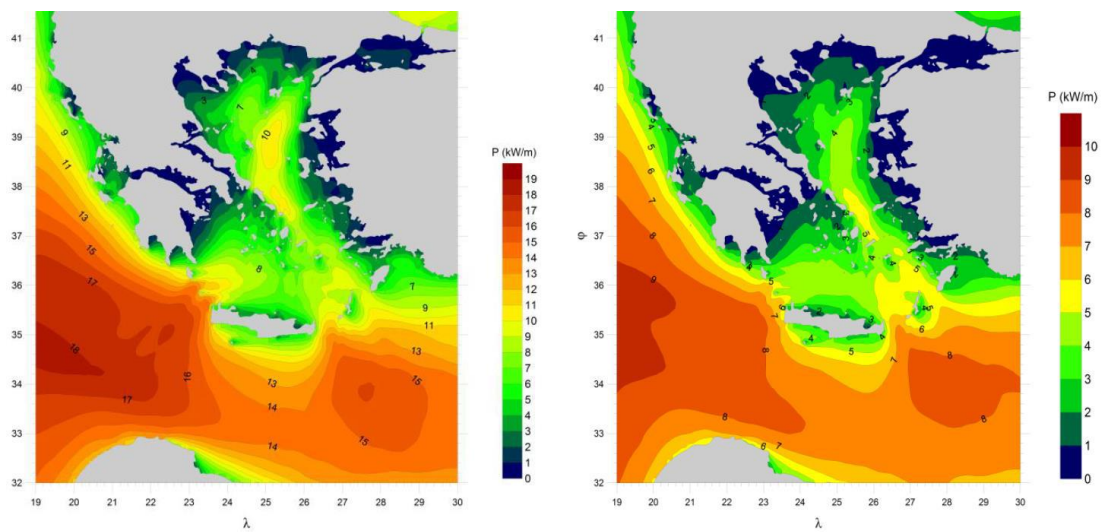
Εικόνα 3.2.3 Σημεία Αριθμητικής Επεξεργασίας



Εικόνα 3.2.4 Μέση κατανομή σημαντικού ύψους κύματος.



Εικόνα 3.2.5 Μέση κυματική ισχύς σε kW/m. Καλοκαίρι –Φθινόπωρο.



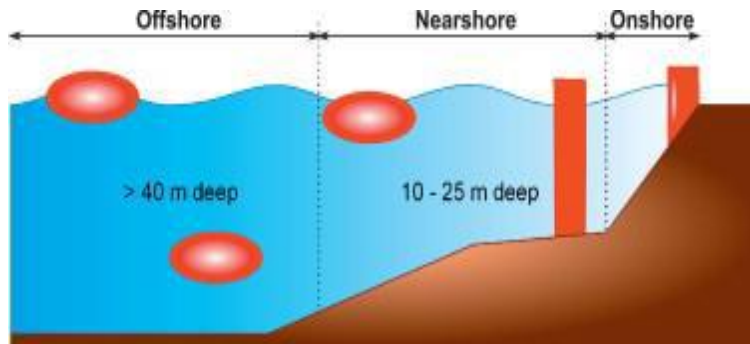
Εικόνα 3.2.5 Μέση κυματική ισχύς σε kW/m. Χειμώνας – ‘Άνοιξη.

## 4. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 4.1. ΔΙΑΧΩΡΙΜΟΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στις μέρες μας, πολλές ιδέες και διατάξεις έχουν προταθεί για την αιχμαλώτιση της κυματικής ενέργειας από ανεμογενείς κυματισμούς και τη μετατροπή της σε ηλεκτρική. Ως συνάρτηση της απόστασης της ανάπτυξης της εφαρμογής των διατάξεων μετατροπής κυματικής ενέργειας από την ακτή, υπάρχουν τρεις τύποι μετατροπών:

- οι μετατροπείς ακτογραμμής ή χερσαίοι (onshore devices),
- οι παράκτιοι (nearshore devices) και
- οι υπεράκτιοι (offshore devices)



**Εικόνα 4.1.1** Ζώνες Ανάπτυξης των διαφόρων ειδών Μετατροπέων Κυματικής Ενέργειας.

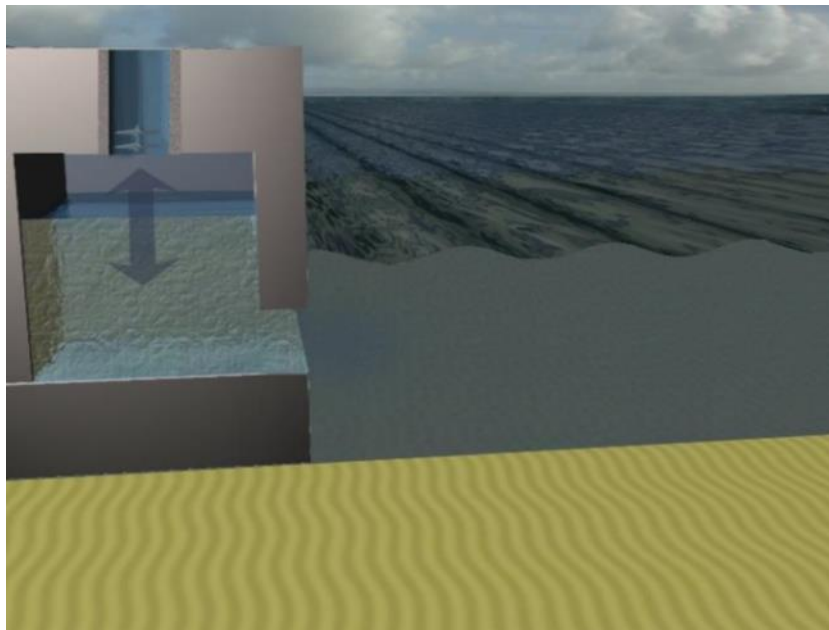
Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της κάθε ομάδας μετατροπέων κυματικής ενέργειας που προκύπτει με βάση την παραπάνω διάκριση, αναλύονται παρακάτω.

### 4.2. ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ (ONSHORE DEVICES)

Αρχικά, βρίσκονται στην ακτή και μπορεί να τοποθετηθούν πάνω από τη θάλασσα (σε ρηχά νερά), ενσωματωμένοι σε έναν κυματοθραύστη, ομοίως σε ένα φράγμα ή στερεωμένοι σε ένα βράχο. Το κύριο πλεονέκτημα αυτών των μετατροπέων είναι η εύκολη συντήρηση και τοποθέτηση τους, επειδή στις περισσότερες περιπτώσεις η τοποθεσία είναι προσβάσιμη. Πιο αναλυτικά, δεν χρειάζονται ούτε συστήματα αγκυροβόλησης, ούτε μακρά μήκη υποθαλάσσιων καλωδίων για την ηλεκτρική διασύνδεση του WEC με την ακτή. Ωστόσο, κατά την ακτογραμμή, τα κύματα περιέχουν λιγότερη ενέργεια λόγω της αλληλεπίδρασής τους με το βυθό της θάλασσας και της έλλειψης κατάλληλων χώρων γης, γεγονός που προκαλεί επίσης δυσκολίες στην ανάπτυξη των συστημάτων αυτών. Επιπλέον, θα μπορούσαν να προκύψουν περιβαλλοντικά προβλήματα, διότι η ακτή της θάλασσας αναδιαμορφώνεται.

Από τις πιο προηγμένες κατηγορίες συσκευών ακτογραμμής αποτελεί η Παλλόμενη ή Ταλαντευόμενη Υδάτινη Στήλη (Oscillating Water Column – OWC). Η βασική δομή της διάταξης αποτελείται από μία μερικώς υποβρύχια κοίλη κατασκευή, η οποία έχει ένα άνοιγμα βυθισμένο στη θάλασσα κάτω από την επιφάνεια των υδάτων, ώστε να εγκλωβίζει αέρα σχηματίζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο την υδάτινη στήλη από την πρόσπτωση των

κυμάτων. Τα κύματα προκαλούν την παλινδρομική κίνηση (κίνηση πάνω-κάτω) της υδάτινης στήλης, ο σχηματισμός της οποίας δρα ως έμβολο συμπιέζοντας και αποσυμπιέζοντας τον αέρα που εγκλωβίζεται μέσα σε αυτήν. Ο αέρας εισέρχεται μέσα στον αεροστρόβιλο, η περιστροφή του οποίου παράγει ενέργεια. Όταν σχεδιάζονται επαρκώς σύμφωνα με τις επικρατούσες θαλάσσιες συνθήκες, οι OWC ρυθμίζονται κατάλληλα για το επικείμενο μήκος κύματος ώστε να επιτυγχάνεται ο συντονισμός τους. Με τον τρόπο αυτό, οι συσκευές OWC (Εικόνα 4.2.2) μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματικές και να παρουσιάζουν χαρακτηριστικά ανάλογα της λειτουργίας σημειακής απορρόφησης.



**Εικόνα 4.2.2** Διάταξη OWC.

Δύο από τις κλασικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής κυμάτων τύπου OWC που αναπτύχθηκαν στην Ευρώπη αποτελούν η μονάδα LIMPET (Εικόνα 4.2.3) και η ευρωπαϊκή πιλοτική μονάδα (European Pilot Plant) (Εικόνα 4.2.4). Η LIMPET, βρίσκεται το νησί Islay στη δυτική ακτή της Σκωτίας με δύο τουρμπίνες Wells, οι οποίες κινούν δύο γεννήτριες ονομαστικής ισχύος 250kW η κάθε μια (συνολική ισχύς 500kW). Η European Pilot Plant είναι εγκαταστημένη στο νησί Pico στις Αζόρες με ονομαστική παραγόμενη ισχύ 400 kW σε πραγματική κλίμακα για δοκιμές αλλά και για εφοδιασμό ποσοστού ενεργειακής απαίτησης του νησιού.

Ακόμη, ένας μηχανισμός ο οποίος είναι βασικού τύπου «διόγκωσης» είναι ο Tarchan (Εικόνα 4.2.5) που αναπτύχθηκε στην Νορβηγία από την NorwaneAS. Αποτελείται από ένα κανάλι, που στενεύει σταδιακά γεμίζοντας μια δεξαμενή (3-7m). Το κύμα ενόσω το κανάλι στενεύει αυξάνει σε ύψος γεμίζοντας πιο πολύ τη δεξαμενή. Στη συνέχεια, το νερό οδηγείται σε μια τουρμπίνα, αντλώντας ισχύ από την ενέργεια του και διοχετεύεται ξανά στη θάλασσα.

**WAVE  
POWER**



500kw turbine

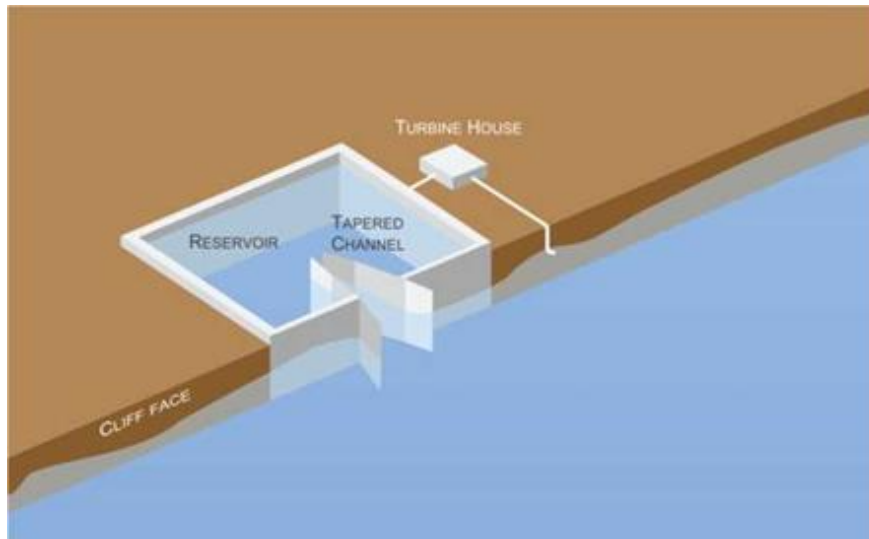
**LIMPET**



Εικόνα 4.2.3 Μονάδα ηλεκτροπαραγωγής κυμάτων LIMPET.



Εικόνα 4.2.4 Μονάδα ηλεκτροπαραγωγής κυμάτων PICO PILOT PLAN.



Εικόνα 4.2.5 Μηχανισμός Tarchan.

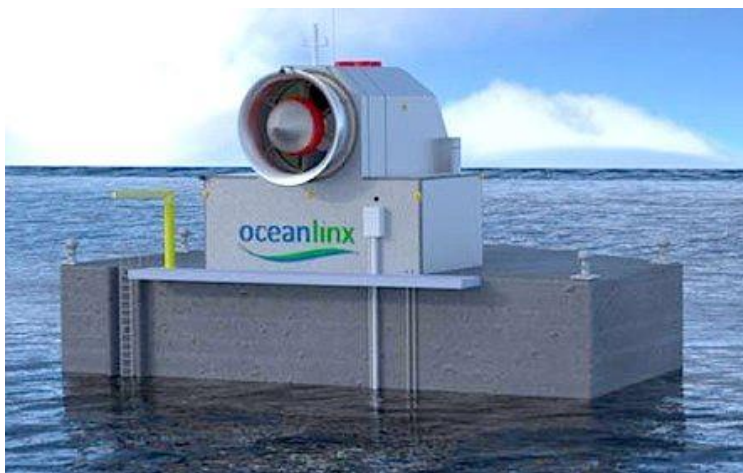
### 4.3. ΠΑΡΑΚΤΙΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ (NEARSHORE DEVICES)

Οι παράκτιες τεχνολογίες εγκαθίστανται σε ένα μέτριο βάθος υδάτων (περίπου 20 – 30 μέτρα), σε αποστάσεις μέχρι και περίπου πεντακόσια μέτρα από την ακτή. Έχουν σχεδόν τα ίδια πλεονεκτήματα με τις τεχνολογίες ακτογραμμής αλλά ταυτόχρονα υπόκεινται σε θαλάσσια κύματα υψηλότερου επιπέδου ισχύος.

Μια εταιρεία που βασίστηκε στο Wave Energy Converter (WEC) ή αλλιώς στη μετατροπή της κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια είναι η Oceanlinx, η οποία δραστηριοποιείται στην Αυστραλία από το 1997. Η τεχνολογία της βασίστηκε στην αρχή της στήλης ταλαντωμένου νερού και ανέπτυξε αρκετές γεννήτριες πρωτοτύπου που αναπτύχθηκαν και δοκιμάστηκαν στο Port Kembla της Νέας Νότιας Ουαλίας. Η πρώτη μονάδα ισχύος παράγει 1 μεγαβάτ κυματικής ισχύος και είναι εγκαταστημένη στη Νότια Αυστραλία. Μέχρι σήμερα, μετά από πολλές πειραματικές διατάξεις, έχει να μας παρουσιάσει δύο παράκτιες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν την τεχνολογία της ταλαντευόμενης στήλης ύδατος. Οι δυο μονάδες είναι παρόμοιες μεταξύ τους. Η πρώτη, είναι για ρηχά νερά (greenWave), ενώ η δεύτερη είναι για μεγαλύτερα βάθη (blueWave).

Η συσκευή greenWave (Εικόνα 4.3.1) τοποθετείται σε νερά βάθους περίπου 10m και αγκυρώνεται στον πυθμένα της θάλασσας. Αν και η κατασκευή μπορεί να είναι από οποιοδήποτε υλικό, γενικά κατασκευάζεται από χάλυβα ή σκυρόδεμα. Το σύστημα ακύρωσης εξαρτάται από τη μορφολογία του πυθμένα. Αρχικά, η συσκευή είναι στεγανή και αυτό την κάνει να επιπλέει. Όταν συρθεί στο σημείο εγκατάστασης, αφαιρείται η στεγάνωση και η συσκευή βυθίζεται στη θέση λειτουργίας. Η απόσταση από την ακτή καθορίζεται από την κλίση του πυθμένα. Η συσκευή greenWave περιλαμβάνει ένα θάλαμο OWC. Η ηλεκτρική παραγωγή εξαρτάται από το κυματικό δυναμικό της περιοχής. Με καλό δυναμικό, μία μονάδα 20m πλάτους παράγει περίπου 1MW. Η μονάδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αφαλάτωση θαλασσινού νερού ή και τα δύο. Η μονάδα blueWave (Εικόνα 4.3.2) σε σύγκριση με την greenWave κατασκευάζεται από χάλυβα και έχει συστάδα 6 OWC (στροβίλους) ενώ τοποθετείται σε βάθη 40 – 80m με αντίστοιχη διαδικασία ακύρωσης. Σε καλό δυναμικό, μία μονάδα blueWave παράγει περίπου 2,5MW.



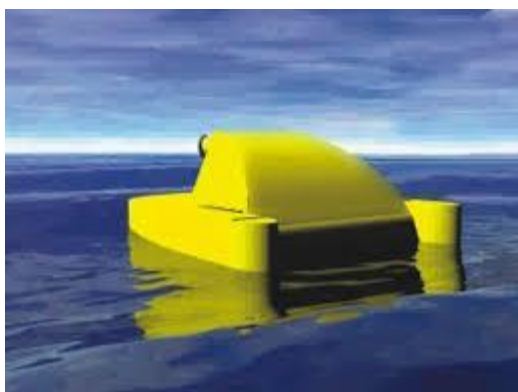


**Εικόνα 4.3.1** ΣΥΣΚΕΥΗ Oceanlinx greenWave.



**Εικόνα 4.3.2** ΣΥΣΚΕΥΗ Oceanlinx blueWave - greenWave.

Ένας ακόμη μηχανισμός κοντά στην ακτή είναι ο OSPREY (Εικόνα 4.3.3). Αναπτύχθηκε στη Σκωτία και είναι σχεδιασμένος για να λειτουργεί σε απόσταση 1km χιλιομέτρου από την ακτή και σε βάθος 15m παράγοντας 2MW ενέργεια για παράκτιους καταναλωτές.



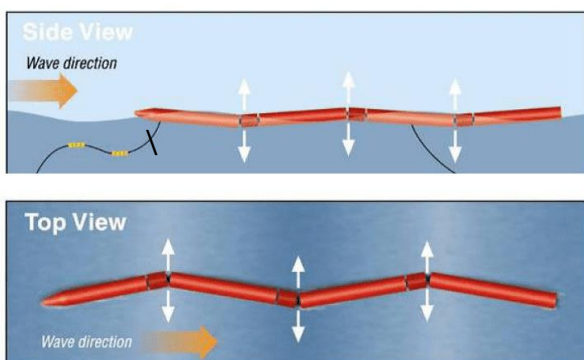
**Εικόνα 4.3.3** ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ OSPREY .

#### 4.4.ΥΠΕΡΑΡΑΚΤΙΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ (OFFSHORE DEVICES)

Οι μετατροπείς αυτοί βρίσκονται σε βαθιά νερά (πάνω από 40 m) μακριά από την ακτή και κατασκευάζονται σε πλωτές ή βυθισμένες κατασκευές αγκυροβολημένες στο βυθό της θάλασσας. Λόγω της θέσης τους θα μπορούσαν να εκμεταλλευτούν την τεράστια δύναμη των κυμάτων της ανοικτής θάλασσας. Όμως, εξ' αιτίας των ακραίων και δυναμικών συνθηκών που επικρατούν στα βαθιά ύδατα, η αξιοπιστία και η ικανότητα επιβίωσης των συσκευών αυτών αποτελεί ένα μεγάλο πρόβλημα και απαιτείται η φέρουσα αντοχή της δομής αυτών των συσκευών να είναι ικανή να παραλάβει τα πολύ υψηλά δυναμικά φορτία. Εκτός αυτού, η συντήρησή τους είναι μια πολύπλοκη και δαπανηρή διαδικασία, όπως επίσης και τα μεγάλου μήκους ακριβά υποθαλάσσια καλώδια, τα οποία χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν την ενέργεια στο δίκτυο.

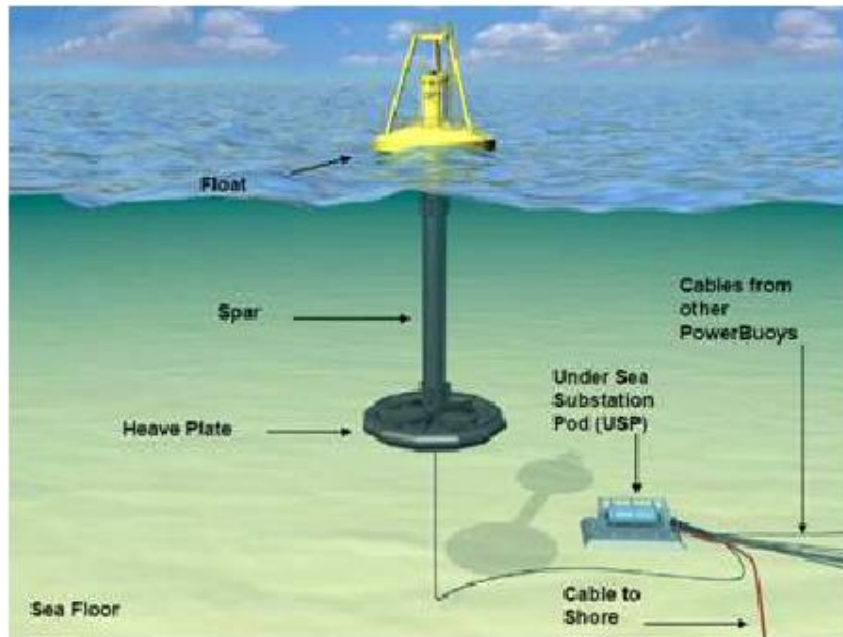
Ο τρόπος με τον οποίο δεσμεύουν την κυματική ενέργεια οι μετατροπείς αυτοί για την παραγωγή ηλεκτρισμού ποικίλει. Με κριτήριο, όμως, το αποτέλεσμα της σύγκρισης του μεγέθους της συσκευής του μετατροπέα και του μήκους κύματος των προσπιπτόντων κυμάτων, καθώς επίσης και του τρόπου ευθυγράμμισης του μετατροπέα σε σχέση με την διεύθυνση των θαλάσσιων κυματισμών για την εκμετάλλευση της ενέργειας αυτών, οι WECs μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω πρόσθετες ομάδες ως εξής:

- Μετατροπείς Εξασθένησης Κυματισμών (Attenuators Devices) : είναι μεγάλες μακρόστενες πλωτές κατασκευές σε σύγκριση με το μήκος κύματος και τοποθετούνται παράλληλα στη διεύθυνση των κυμάτων. Στην ουσία, «εξασθενούν» το πλάτος του κύματος. Οι εξασθενητές αποτελούνται από μία σειρά κυλινδρικών τμημάτων που συνδέονται μεταξύ τους με εύκαμπτες αρθρώσεις, οι οποίες επιτρέπουν στα ξεχωριστά τμήματα που τα αποτελούν να στρέφονται σχετικά το ένα με το άλλο. Η συσκευή, ουσιαστικά, επιπλέει επί των διερχόμενων κυμάτων και αποσπά την ενέργεια τους με την επιλεκτική δέσμευση των κινήσεων καθ' όλο της το μήκος. Ένα τυπικό παράδειγμα αυτού του τύπου των συσκευών αποτελεί το πρωτότυπο της συσκευής μετατροπέα Relamis (Εικόνα 4.4.1) ισχύος 750 kW με το μεγάλο πλεονέκτημά της να είναι η απορρόφηση ενέργειας, διότι δεν εκμεταλλεύεται μόνο μια κίνηση (π.χ. την πάνω-κάτω) αλλά και ενδεχόμενες κινήσεις στο επίπεδο του νερού.



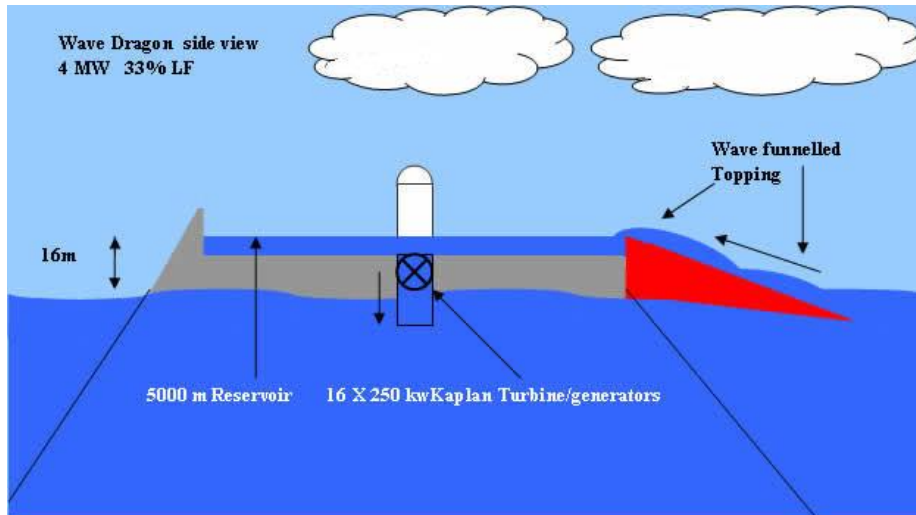
Εικόνα 4.4.1 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ RELAMIS .

- Μετατροπείς Σημειακής Απορρόφησης (Point Absorbers Devices) : πρόκειται για πλωτές κατασκευές, οι οποίες απορροφούν την κυματική ενέργεια από κάθε διεύθυνση μέσω των κινήσεων τους στην επιφάνεια των υδάτων ή κοντά σε αυτή. Χαρακτηριστικό αυτών των μετατροπέων είναι η ικανότητα απορρόφησης της ενέργειας από μία μεγάλη περιοχή σε σχέση με τις φυσικές διαστάσεις της διάταξης (γνωστό και ως «φαινόμενο κεραίας»). Σε αντίθεση με άλλες συσκευές, οι μετατροπείς σημειακής απορρόφησης συλλέγουν την ενέργεια των κυμάτων από όλες τις κατευθύνσεις μέσω των κινήσεών τους και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από την παλινδρομική κίνηση των κυμάτων. Ακόμη, για ευνόητους λόγους, ο σχεδιασμός και η κατασκευή τους είναι σε σχήμα σημαδούρας. Ένα παράδειγμα τέτοιας κατασκευής αποτελεί το PowerBuoy (Εικόνα 4.4.2).



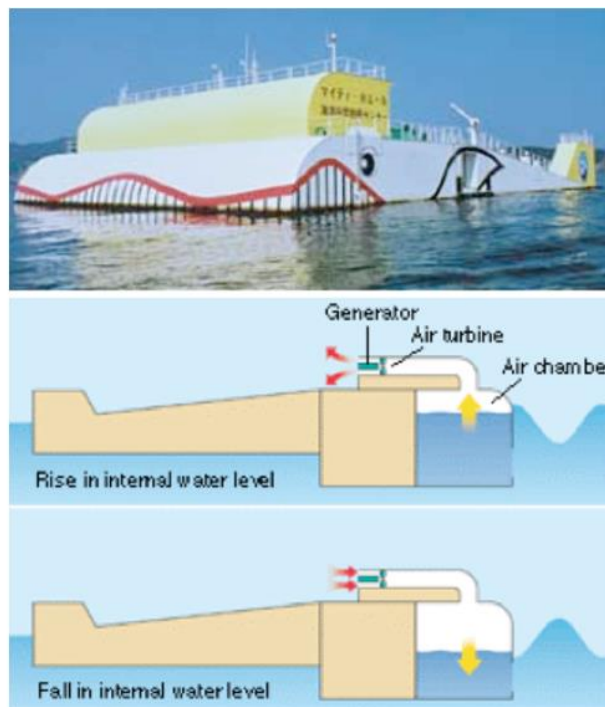
**Εικόνα 4.4.2** ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ POWERBUOY .

- Μετατροπείς αναρρίχησης κυματισμού : είναι εγκαταστάσεις που συγκεντρώνουν το νερό σε κάποια δεξαμενή, υπερυψωμένη σε σχέση με το επίπεδο της θάλασσας και έπειτα το αποδεσμεύουν σε χαμηλής πίεσης τουρμπίνες, εκμεταλλευόμενη τη μηχανική ενέργεια που έχει αποκτήσει (μπορεί να εγκατασταθεί και κατά μήκος της ακτογραμμής). Το Wave Dragon (Εικόνα 4.4.3) είναι μια υπεράκτια συσκευή υπερανύψωσης, που αναπτύχθηκε από την εταιρεία Wave Dragon ApS με έδρα τη Δανία. Χρησιμοποιεί έναν ανακλαστήρα κύματος, για να εστιάσει το κύμα σε μία ράμπα και να γεμίσει μία δεξαμενή υψηλότερου επιπέδου. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από ένα σύνολο ανεμογεννητριών Karlan.



**Εικόνα 4.4.3** ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ WAVE DRAGON.

Μία από τις πιο γνωστές εφαρμογές παράκτιου μετατροπέα ενέργειας αποτελεί το σύστημα MIGHTY WHALE (Εικόνα 4.4.4). Την ονομασία του την απέκτησε από Ιάπωνες επιστήμονες, αφού πρόκειται για ένα κινητό σύστημα κυματικής ενέργειας, που το εξωτερικό του περίβλημα θυμίζει μικρή φάλαινα (=whale). Το σύστημα αυτό μετατρέπει την κυματική ενέργεια σε ηλεκτρική με τη χρήση κάθετης στήλης νερού που περικλείεται στο εσωτερικό του. Καθώς το σύστημα κινείται στην επιφάνεια της θάλασσας, παράλληλα το νερό εισέρχεται στην κάθετη στήλη και κινεί την τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Οι διαστάσεις του είναι : 50 μέτρα μήκος, 30 μέτρα πλάτος και 12 μέτρα ύψος, με συνολική ονομαστική ισχύ 110 KW. Το βάθος υδάτων λειτουργίας του είναι 40 μέτρα και η συσκευή προσδένεται στο βυθό με κατεύθυνση τα επικρατούντα κύματα.



**Εικόνα 4.4.4** ΣΥΣΤΗΜΑ MIGHTY WHALE.

## 5. ΔΙΑΤΑΞΗ SEA SLOT GENERATOR (SSG)

### 5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατ' αρχάς, η γεννήτρια κουλοχέρηδων κυμάτων (SSG) συμπεριλαμβάνεται στην κατηγορία των διατάξεων αναρρίχησης κυματισμού. Η διάταξη έχει σχεδιαστεί με σκοπό να αναρριχάται από τα εισερχόμενα κύματα και να τα συλλέγει σε δεξαμενές διαφορετικών επιπέδων. Επίσης, έχουν σχεδιαστεί δύο περιπτώσεις εφαρμογής τέτοιων διατάξεων με κύρια παράμετρο το κόστος εγκατάστασης. Η πρώτη εφαρμογή, που προτείνεται, είναι κοντά στην ακτή, όπου σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί το χαμηλότερο κόστος και η εύκολη πρόσβαση για συντήρηση αλλά και η βελτίωση των επιδόσεών της. Σε αντίθεση με την πρώτη, η δεύτερη εφαρμογή είναι υπεράκτια, όπως αναλύσαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, με μεγαλύτερο κόστος κατασκευής αλλά και δυσκολία στην πρόσβαση για εργασίες συντήρησης και βελτίωσης απόδοσης.

Το πλεονέκτημα της SSG έναντι άλλων μετατροπέων ενέργειας με υπερπήδηση κύματος καταγράφεται στη στιβαρότητά της κατασκευής αλλά και στο χαμηλό κόστος της, εφόσον ενταχθεί σε κάποιον παράκτιο κυματοθραύστη, ώστε να κατανεμηθεί το κόστος υλοποίησής του και να αυξηθεί η επίδοση της διάταξης (λόγω μείωσης του φαινομένου της ανάκλασης του κυματισμού). Παρόλα ταύτα, θα μπορούσε να ερευνηθεί περαιτέρω η υπεράκτια κατασκευή μιας τέτοιας διάταξης για την εκμετάλλευση και των ενεργητικών θαλάσσιων κλιμάτων.

Στην Εικόνα 5.1.1 παρουσιάζονται οι δύο προτεινόμενες λύσεις. Το υπερυψωμένο νερό των εισερχόμενων κυμάτων αποθηκεύεται στις λεκάνες της διάταξης ανάλογα με το ύψος τους, όταν αυτές γεμίσουν διοχετεύεται μέσα σε στρόβιλους, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Επιπρόσθετα, όταν γεμίσουν οι δεξαμενές από τα κύματα, οι στρόβιλοι λειτουργούν στο μέγιστο ως προς το ύψος και την ισχύ. Έτσι, λοιπόν, καταλήγουμε στο συμπέρασμα, ότι ιδανικό θα ήταν να σταματάει η λειτουργία της, όταν η δεξαμενή είναι άδεια, έως ότου το επόμενο κύμα να τη γεμίσει ξανά μέχρι το μέγιστο ύψος της χωρίς να υπάρχουν διαρροές.



**Εικόνα 5.1.1** ΠΑΡΚΤΙΑ (αριστερά) – ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ (δεξιά) SSG.

Η πρωτότυπη διάταξη (Εικόνα 5.1.2) είναι της εταιρείας Waveenergy AS, εγκαταστάθηκε στο νησί Kvitsoy της Νορβηγίας το καλοκαίρι του 2008 και χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Η διάταξη αποτελείται από τρεις δεξαμενές, η μία τοποθετημένη πάνω στην άλλη. Έχει συνολικές διαστάσεις 17 μέτρα μήκος L, 10 μέτρα πλάτος και 6 μέτρα ύψος. Το ύψος της κάθε δεξαμενής είναι αντίστοιχα 1, 3 και 5 μέτρα και η βέλτιστη κλίση για τις μπροστινές πλάκες είναι στις 35 μοίρες. Η διάταξη απαρτίζεται από προκατασκευασμένα κομμάτια, τα οποία μεταφέρονται στην τελική θέση τους μέσω θαλάσσης.

Για το σχεδιασμό του πρωτότυπου μοντέλου σημαντικά στοιχεία αποτελούν τα δεδομένα κυματικού κλίματος και η βαθυμετρία της περιοχής. Τα δεδομένα συλλέχτηκαν με τρεις διαφορετικούς τρόπους, από μετρήσεις στην Utsira την περίοδο 1961, από εγκατεστημένο υπεράκτιο μετρητικό σταθμό (Buoy) και από τη μετεωρολογική υπηρεσία της Νορβηγίας (DNMI). Από τα δεδομένα βαθυμετρίας, βρέθηκαν για την περιοχή στα 100m Δυτικά μια πλάκα πυθμένα μήκους 300m, βάθους 30m και κλίσης 35 μοιρών. Η μεταμόρφωση των θαλάσσιων κυμάτων σε υπεράκτια κύματα έγινε μέσω του μαθηματικού μοντέλου MildSim Aalborg University. Επιπλέον, ο βέλτιστος προσανατολισμός που επιλέχθηκε για τη σύλληψη κυματικής ενέργειας είναι ο Δυτικός, καθώς η συνολική ισχύ που υπολογίστηκε κοντά στην ακτή είναι 19,6 Kw/m. Παρόλα αυτά, εξαιτίας της στοχαστικής συμπεριφοράς των κυμάτων δε γίνεται να προβλεφθεί πόσο νερό θα φέρει κάθε κύμα. Για τη διάταξη επιλέγεται ανάλογα με το εισερχόμενο κύμα, αυτό να συλλέγεται σε 3 διαφορετικές δεξαμενές. Χρησιμοποιώντας τρεις πολυεπίπεδες δεξαμενές, πετυχαίνετε καλύτερη υδραυλική επίδοση από ό,τι πετυχαίνει η μία, καθώς η διαστασιολόγηση των δεξαμενών έχει άμεση επιρροή στην απόδοση των στροβίλων. Τέλος, για την εξασφάλιση ασφάλειας της λειτουργίας της διάταξης και τη συλλογή αποτελεσμάτων σχετικά με τη συμπεριφορά της υδραυλικής και ενεργειακής, αυτή εφοδιάστηκε με μετρητικά όργανα και στη συνέχεια συνδέθηκε στο δίκτυο.



**Εικόνα 5.1.2** ΠΡΩΤΟΤΥΠΗ SSG ΣΤΟ KVITSOY ΤΗΣ ΝΟΡΒΗΓΙΑΣ.

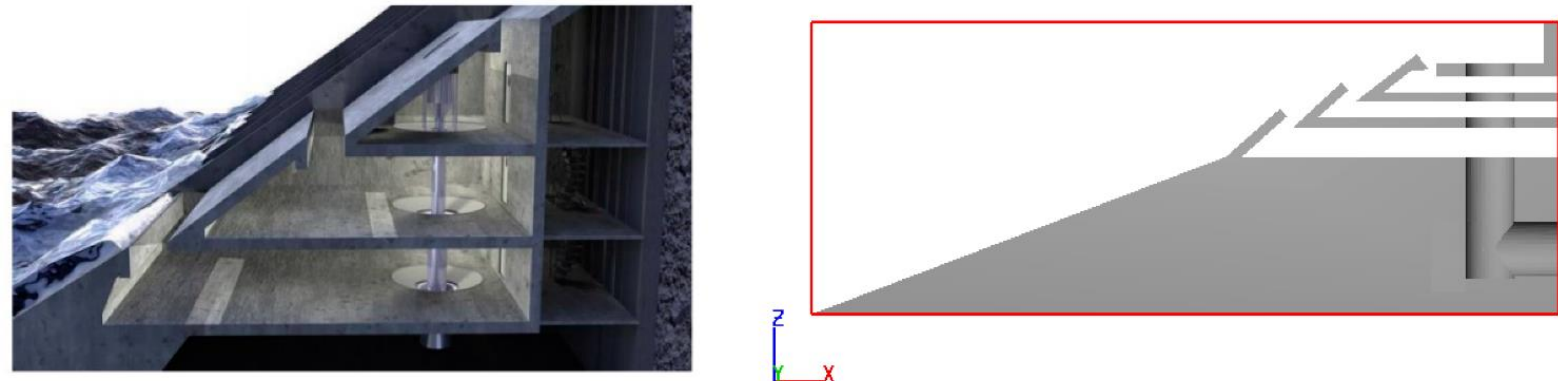
## 5.2.ΔΟΜΗ ΤΗΣ SSG

Η διάταξη είναι κατασκευασμένη, ώστε τα εισερχόμενα κύματα που την υπερπηδούν να διεισδύουν σε διαφορετικές δεξαμενές πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας και έπειτα το νερό από τις δεξαμενές αυτές να διοχετεύεται ξανά στη θάλασσα. Το νερό μέσα στις δεξαμενές, καθώς επιστρέφει στη θάλασσα, πέφτει μέσω ενός στροβίλου, τον οποίο γυρίζοντας τον, παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια. Παράλληλα, η διάταξη αποτελείται από ίσο αριθμό στροβίλων με τον αριθμό δεξαμενών, οι οποίοι τοποθετούνται κλιμακωτά και ομόκεντρα ο ένας μέσα στον άλλον και οδηγούν σε μία κοινή γεννήτρια μέσω ενός κοινού άξονα. Η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από ένα συγκεκριμένο όγκο νερού μιας δεξαμενής είναι ανάλογη του ύψους της δεξαμενής πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας (στο σημείο δηλαδή που βρίσκεται η τουρμπίνα). Η αύξηση της δυνατότητας της ισχύος του στροβίλου ή η αύξηση των διαστάσεων των δεξαμενών μπορεί να έχει θετική επιρροή στην παραγωγή ενέργειας της διάταξης αλλά όχι του κόστους της. Για αυξημένη χωρητικότητα δεξαμενής, το επίπεδο της στάθμης του νερού στην δεξαμενή μειώνεται και οι απώλειες διαρροής είναι μικρότερες. Ακόμη, η αύξηση της απόδοσης των στροβίλων πετυχαίνεται ελαχιστοποιώντας τον αριθμό σε ξεκίνημα και σταμάτημα των αλληλουχιών, δηλαδή εξασφαλίζοντας λειτουργία ακόμη και αν μόνο η μία δεξαμενή παρέχει νερό στο στρόβιλο. Καθώς οι τουρμπίνες της διάταξης βρίσκονται ακόμη σε διαδικασία σχεδιασμού, εγκαθίστανται στρόβιλοι χαμηλού μανομετρικού ύψους τύπου Kaplan.

Πιο αναλυτικά, η ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση θα αποτελείται από :

1. Έναν υδροστρόβιλο κατακόρυφου άξονα που θα τοποθετηθεί στη βάση της κατασκευής, ουσιαστικά στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας.
2. Μια σύγχρονη γεννήτρια, η οποία θα μετατρέπει την κινητική σε ηλεκτρική ενέργεια.
3. Έναν κύριο μετασχηματιστή ανύψωσης, ώστε να μπορεί η εγκατάσταση να συνδεθεί απευθείας στη μέση τάση του δικτύου.
4. Ηλεκτρικούς πίνακες χαμηλής και μέσης τάσης.
5. Διατάξεις αυτοματισμού, ελέγχου και επικοινωνιών.
6. Βοηθητικό ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό.

Τέλος, στην παράκτια SSG δεν χρησιμοποιούνται συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, αφού όση ενέργεια παράγεται, τροφοδοτεί το δίκτυο της ΔΕΗ απευθείας, χωρίς να έχει πρώτα συσσωρευτεί. Σύμφωνα με τα παγκόσμια θεσμικά πλαίσια που ισχύουν, η ΔΕΗ είναι υποχρεωμένη να δίνει προς κατανάλωση πρώτα την ενέργεια που παράγεται από τις ΑΠΕ και στη συνέχεια των υπόλοιπων μονάδων παραγωγής. Αντίθετα, όταν πρόκειται για υπεράκτιες κατασκευές, λόγω των απωλειών αποθήκευσης και μεταφοράς, στο δίκτυο της ΔΕΗ θα φτάνει μία ενέργεια υποβιβασμένη από τις απώλειες που προαναφέρθηκαν.



**Εικόνα 5.2.1** ΤΟΜΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ SSG.

### 5.3. ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Διάφορες ενέργειες μπορούν να γίνουν, με στόχο τη βελτίωση των επιδόσεων της διάταξης. Παρόλα αυτά, για να υπάρξουν σημαντικές αυξήσεις στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αναγκαίο είναι να επικεντρωθεί η προσοχή ταυτόχρονα και στη γεωμετρία αλλά και στη στρατηγική του στροβίλου.

Για αρχή, από άποψη γεωμετρίας, για να συλλεχτεί μέγιστη ενέργεια κύματος αλλά και να μειωθεί το φορτίο κατά τη διάρκεια των συνθηκών σχεδιασμού, κρίνεται αναγκαίο να γίνει προσεκτικός σχεδιασμός των μπροστινών πλακών της διάταξης. Έπειτα, στο σχεδιασμό τους ιδιαίτερη σημασία έχει το μήκος τους και η κλίση που θα έχουν ανάλογα το κύμα της περιοχής. Ακόμη, για το σχεδιασμό των πλακών επιβάλλεται να μελετηθεί η βαθυμετρία της περιοχής, εφόσον καθορίζει το κάτω μέρος των πλακών, στο οποίο γλιστράει το κύμα και οδηγείται στη χαμηλότερη δεξαμενή. Έτσι, το ύψος κάθε δεξαμενής ορίζεται απ' την ορθογώνια απόσταση μεταξύ των δεξαμενών και των μετωπικών πλακών.

Σύμφωνα με όσα αναφέραμε ο ρυθμός αναρρίχησης του κυματισμού εκφράζεται από τη σχέση :

$$Q' = \frac{\frac{dq}{dz}}{\sqrt{g \times Hs}} = A \times e^{B \times \frac{z}{Hs} + C \times \frac{Rc}{Hs}}$$

**Σχέση 5.3.1** Ρυθμός αναρρίχησης κυματισμού.

Όπου

$Q'$  : η χωρίς διαστάσεις παράγωγος του ρυθμού υπερπήδησης σε σχέση με την κατακόρυφη απόσταση  $z$

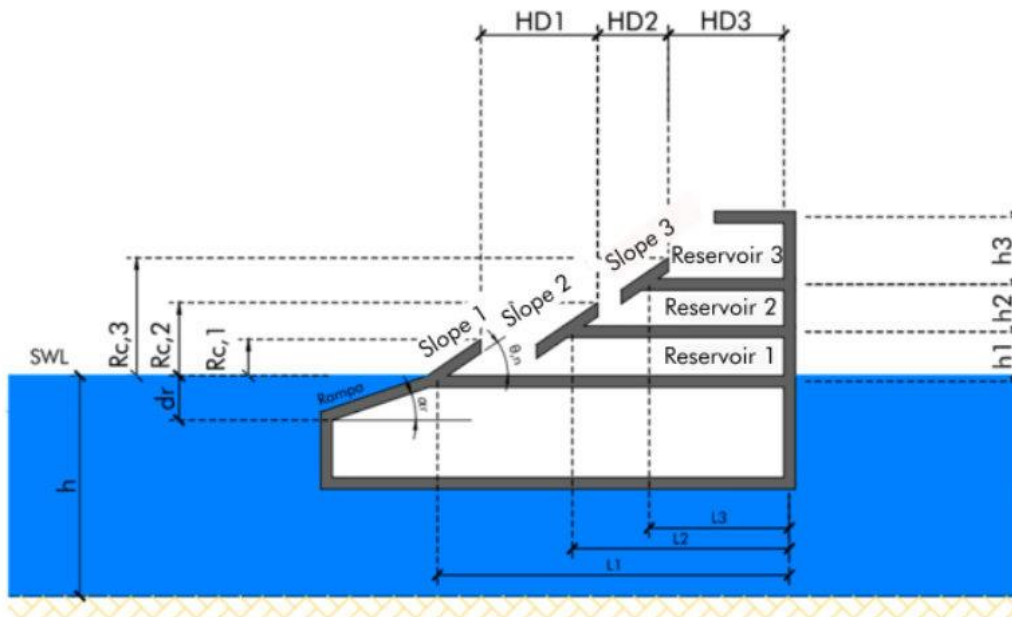


RC : το ύψος των μετωπικών πλακών που προεξέχει της χαμηλότερης δεξαμενής

HS : το χαρακτηριστικό ύψος κύματος

A, B, C : οι εμπειρικοί παράγοντες, οι οποίοι πρέπει να προσαρμοστούν ανάλογα τις πειραματικές μετρήσεις από το πρωτότυπο.

Στην Εικόνα 5.3.1 παρατηρούμε τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς όλων των παραπάνω παραμέτρων στη διάσταση του χρόνου.



**Εικόνα 5.3.1** ΤΟΜΗ ΤΗΣ SSG ΜΕ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.

Προχωρώντας, ένα επιπλέον σημαντικό κομμάτι για την αύξηση της παραγωγής ενέργειας από τη διάταξη είναι η απόδοση των στροβίλων. Αυτή επηρεάζεται άμεσα από τη διαστασιολόγηση των δεξαμενών, αφού χρησιμοποιώντας τρεις πολυεπίπεδες δεξαμενές πετυχαίνετε καλύτερη υδραυλική επίδοση από ό,τι στη μία. Ακόμη, για να πετύχουμε τη μέγιστη απόδοση, πρέπει να λειτουργούν στο μέγιστο ύψος και στη μέγιστη ισχύ, πράγμα που επιτυγχάνεται, όταν το κύμα γεμίσει τη δεξαμενή.

Ταυτόχρονα, με την αύξηση των διαστάσεων των δεξαμενών για την παραγωγή μεγαλύτερων ποσών ενέργειας, αυξάνεται και το κόστος της διάταξης. Όταν υπάρχει αυξημένη χωρητικότητα στις δεξαμενές, τότε η στάθμη του νερού είναι χαμηλότερη, με αποτέλεσμα οι απώλειες διαρροής να είναι σημαντικά μικρότερες. Επίσης, στην παραγωγή ενέργειας μπορεί να συμβάλει και η αύξηση της ικανότητας των στροβίλων, σε αυτήν όμως την περίπτωση αυξάνεται πάρα πολύ η κατανάλωση της ενέργειας που χρησιμοποιείται από το σταμάτημα και ξεκίνημα των στροβίλων, που επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις στη σχετική αύξηση της αποδοτικότητας. Ύστερα, με τον καλύτερο σχεδιασμό των στροβίλων ελαχιστοποιούνται οι απώλειες και παρατηρείται μια ισορροπία σ' όλα τα παραπάνω θέματα. Στην προκυμμένη διάταξη, καθώς οι τουρμπίνες βρίσκονται ακόμη σε διαδικασία σχεδιασμού εγκαταστάθηκαν στρόβιλοι χαμηλού μανομετρικού ύψους τύπου Kaplan.

Επιπλέον, θα πρέπει να προστεθεί, ότι η μοντελοποίηση της διάταξης είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια του προγράμματος SSG 2 Power Simulation, το οποίο αποτελεί μια νέα ανανεωμένη έκδοση του προηγούμενου προγράμματος (SSG Power Simulation), διότι προσφέρει αυξημένη ευελιξία και ταχύτερη επεξεργασία δεδομένων με πιο σίγουρα αποτελέσματα. Το εν λόγω πρόγραμμα, προσομοιώνει μια χρονολογική σειρά από υπερβάσεις νερού στις δεξαμενές και την ενέργεια που παράγεται από τους στροβίλους. Ως δεδομένα, στο πρόγραμμα εισάγονται χρονικές μεταβλητές με τυχαία διαδικασία, κάθε περίοδο κύματος χωρίζεται σε έναν αριθμό βημάτων και υπολογίζονται η παροχή αναρρίχησης  $Q$ , η παροχή υπερχειλίσισης δεξαμενής  $Q_{spill}$ , παίρνοντας υπόψη και την τυχόν διαρροή του νερού από πιο ψηλές δεξαμενές σε χαμηλότερες, το μανομετρικό ύψος των στροβίλων  $H_t$ , την παροχή αποφόρτισης της τουρμπίνας  $Q_{turbine discharge}$ , το επίπεδο δεξαμενής  $L_{res}$  και την παραγωγή ηλεκτρική ενέργειας  $P_{el}$  στην έξοδο. Τέλος, το πρόγραμμα προβλέπει για κάθε προσομοίωση κύματος την τελική απόδοση της διάταξης και την ετήσια παραγωγή ενέργειας.

#### 5.4. ΑΠΟΔΟΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Όπως παρατηρήσαμε, διάφοροι παράγοντες συμβάλλουν στη λειτουργία της διάταξης, για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια. Είναι επίσης σημαντικό, να γνωρίζουμε πώς επηρεάζονται οι αποδόσεις των παραγόντων αυτών κατά τον κύκλο που πραγματοποιεί το νερό αλλά και πώς επιδρούν στο συνολικό βαθμό απόδοσης όλης της διάταξης.

Αρχικά, η υδραυλική απόδοση της διάταξης είναι ο λόγος της ενέργειας που αναρριχάται  $P_{crest}$  προς την ενέργεια που είχε αρχικά το κύμα  $P_{wave}$ . Έπειτα, η ισχύ  $P_{crest}$  εξαρτάται άμεσα από το ύψος της κορυφογραμμής, ενώ η ισχύς που αποθηκεύεται στις δεξαμενές  $P_{res}$  από το επίπεδο του νερού μέσα σ' αυτές. Επιπλέον, η ενέργεια  $P_{res}$  είναι ίση με τη δυναμική ενέργεια των κυμάτων  $P_{wave}$ . Ακόμη, η ισχύς στον στρόβιλο  $P_{tur}$  χάνεται λόγω υδραυλικής ποιότητας και λόγω των απωλειών στο σταμάτημα/ξεκίνημα. Απώλειες έχουμε και στην ισχύ της γεννήτριας  $P_{gen}$ . Τέλος, υπολογίζεται η συνολική απόδοση της τάξης, η οποία είναι 10-26% για διάφορες συνθήκες κύματος. Αναλυτικότερα:

$$P_{crest} = \sum_{j=1}^3 q_j \times R_{cj} \times \rho \times g$$

**Σχέση 5.3.2** Ενέργεια αναρρίχησης.

$$P_{wave} = \frac{\rho \times g^2}{64 \times \pi} \times H_s^2 \times T$$

**Σχέση 5.3.3** Ενέργεια κύματος.

$$n_{efficiency} = \frac{P_{crest}}{P_{wave}} = 46\%$$

**Σχέση 5.3.3** Υδραυλική απόδοση.

Όπου :

$q_j$  : Η ολική παροχή υπερπήδησης κύματος σε μια μόνο δεξαμενή.

$T$  : Η μέση περίοδος φάσματος του κύματος.

$H_s$  : Το χαρακτηριστικό ύψος κύματος.

$R_{cj}$  : Το ύψος των μετωπικών πλακών που προεξέχει της χαμηλότερης δεξαμενής.

$\rho$  : Ειδική πυκνότητα νερού, 1000 kg/m<sup>3</sup>.

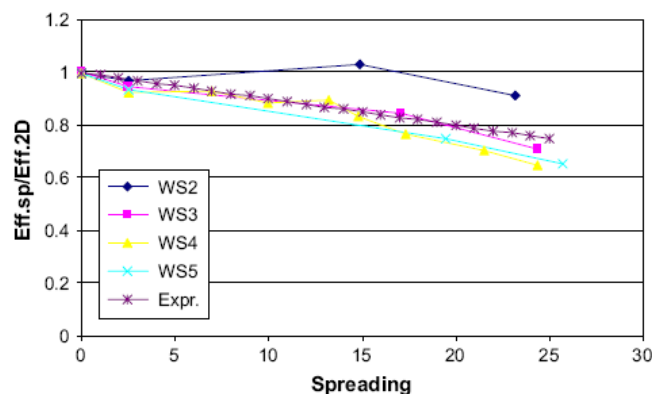
$g$  : Επιτάχυνση της βαρύτητας, 9,81 m<sup>2</sup> /s.

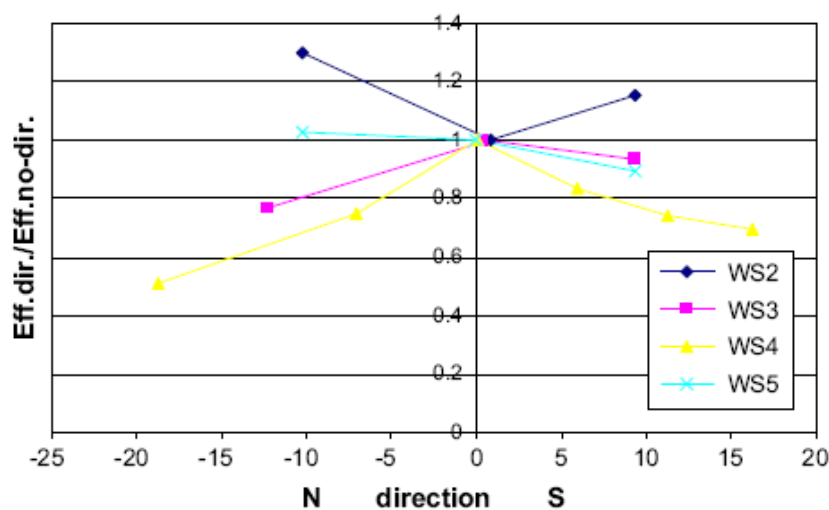
Όσον αφορά το συνολικό βαθμό απόδοσης της διάταξης, αυτός προκύπτει από το γινόμενο κάθε επιμέρους διεργασίας. Στον Πίνακα 5.3.1 καταγράφονται οι επιμέρους βαθμοί απόδοσης και η συνολική απόδοση του συστήματος.

ΤΥΠΟΣ	ΟΡΙΣΜΟΣ	ΑΠΟΔΟΣΗ %
$n_{crest} = \frac{P_{crest}}{P_{wave}}$	Υδραυλική απόδοση	30 - 40
$n_{res} = \frac{P_{res}}{P_{crest}}$	Απόδοση δεξαμενών	35 - 80
$n_{tur} = \frac{P_{tur}}{P_{res}}$	Απόδοση στροβίλων	80 - 90
$n_{net} = \frac{P_{gen}}{P_{tur}}$	Απόδοση γεννήτριας	95 - 97
$n_{tot} = \frac{P_{output}}{P_{wave}}$	Συνολική απόδοση	10 - 26

**Πίνακας 5.3.1** Βαθμοί απόδοσης επιμέρους διεργασιών.

Η πρωτότυπη διάταξη που έχει εγκατασταθεί το καλοκαίρι του 2008 στο νησί Κνίτσογ στην Νορβηγία, βρέθηκε να έχει βέλτιστη κλίση στις 35 μοίρες, έχει σχεδιαστεί με διάρκεια ζωής 25 χρόνια από τσιμέντο και οι διαστάσεις της διάταξης είναι 17 μέτρα μήκος, 10 μέτρα βάθος και 6 μέτρα ύψος. Τα αντίστοιχα ύψη της κατασκευής για κάθε δεξαμενή είναι 1.5 , 3, και 5 μέτρα. Για τη συγκεκριμένη τοποθεσία, βρέθηκε ότι βέλτιστος προσανατολισμός είναι ο Δυτικός. Στην Εικόνα 5.4.1 φαίνονται τα αποτελέσματα από το πρόγραμμα ως προς το βαθμό απόδοσης και τη διάδοση του κύματος για 4 κυματικές καταστάσεις. Είναι εμφανής η μείωση της υδραυλικής απόδοσης της διάταξης λόγω της κατεύθυνσης των κυμάτων και του διαφορετικού λόγου πλάτους προς βάθους.





**Εικόνα 5.4.1.** Υδραυλικός βαθμός απόδοσης της διάταξης για 4 κυματικές καταστάσεις σε σχέση με την διάδοση του κύματος (πάνω) και με την κατεύθυνση του κύματος (κάτω).

Τέλος, η ισχύς που παράγει η πρωτότυπη διάταξη για διάφορα χαρακτηριστικά του κύματος φαίνονται στον Πίνακα 5.3.2. Η κύρια διαγώνιος αντιστοιχεί σε φυσικά αποτελέσματα δοκιμών, ενώ ο υπόλοιπος πίνακας συμπληρώνεται από εκτιμήσεις του προγράμματος προσομοίωσης SSG. Συνδυάζοντας τον πίνακα ισχύος με την πιθανότητα της εμφάνισης κυμάτων, εκτιμάται ετήσια παραγωγή ισχύος 320MWh το χρόνο. Το πρόγραμμα Wave energy As, εκτιμάει ότι 500 μέτρα διάταξης μπορούν να παράγουν 10-20 GWh/year με κόστος 0,12€/kWh.

$H_s$ [m]	$T_p$ [s]						
	5	6.1	7.9	9.3	10.6	11.7	12.7
0.5	0	0	0	0	0	0	0
1	3	3	3	3	3	3	3
1.7	21	21	21	20	20	20	20
2.4	67	65	62	60	59	57	56
3.6	144	140	134	130	127	124	122
4.7	154	152	150	148	146	144	143
5.9	155	154	152	151	149	148	147

**Πίνακας 5.3.2.** Παραγόμενη ισχύς για διάφορα χαρακτηριστικά του κύματος από την διάταξη SSG για την περιοχή του νησιού Kvitsoy, Norway σε περιοχή κυματικού κλίματος 19kW/m.

## 5.5. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

Οι υδροστρόβιλοι είναι μηχανές που μετατρέπουν τη δυναμική ενέργεια ενός ρευστού σε κινητική μέσω συνεχούς ροής δια της φτερωτής, με αποτέλεσμα τη σταθερή περιστροφική κίνηση του άξονα. Οι υδροστρόβιλοι (πτερωτές) ταξινομούνται ανάλογα με το βαθμό αντιδράσεως, δηλαδή το λόγο της μεταβολής της στατικής πίεσης μεταξύ εισόδου και εξόδου, της πτερωτής προς τη συνολική μεταβολή της στατικής πίεσης εισόδου εξόδου από τη βαθμίδα, διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

1. υδροστροβίλους δράσεως (impulse turbines)
2. υδροστροβίλους αντιδράσεως (reaction turbines)

Από τη μία μεριά, οι υδροστρόβιλοι δράσεως (βαθμός αντίδρασης ίσος με μηδέν), είναι μερικής προσβολής και, σε κάθε χρονική στιγμή, τμήμα μόνο της πτερωτής συμμετέχει στην ενεργειακή μετατροπή. Ο μόνος τύπος υδροστροβίλου δράσεως που έχει επικρατήσει είναι ο υδροστρόβιλος τύπου Pelton (ΕΙΚΟΝΑ 5.5.1). Πήρε το όνομά του από τον Αμερικάνο L. A. Pelton, ο οποίος τον εφεύρε το 1889. Οι υδροστρόβιλοι τύπου Pelton χρησιμοποιούνται κυρίως για μεγάλα ύψη πτώσεως. Η απόδοσή τους είναι της τάξης του 90%.

Από την άλλη, οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως είναι ολικής προσβολής, δηλαδή ολόκληρη η πτερωτή βρίσκεται σε επαφή με το νερό και παραλαμβάνει ενέργεια ανά μονάδα βάρους προσερχομένου ρευστού. Οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως που έχουν επικρατήσει είναι ο υδροστρόβιλος τύπου Francis, για μεσαίες τιμές της υδραυλικής πτώσης ( $H=15-150m$  περίπου), ο υδροστρόβιλος τύπου Deriaz διαγώνιας ροής, και διάφορες διαμορφώσεις υδροστροβίλων αξονικής ροής, για μικρές τιμές της υδραυλικής πτώσης ( $H<15m$  περίπου), όπως Kaplan (ΕΙΚΟΝΑ 5.5.2), βολβοειδής (bulb), σωληνωτός (tube), δακτυλίου κ.λ.π.



Εικόνα 5.5.1. Υδροστρόβιλος Pelton.



Εικόνα 5.5.2. Υδροστρόβιλος Kaplan

Από την κατάταξη αυτή γίνεται φανερή η διαφοροποίηση που σχετίζεται με τη διαθέσιμη υδραυλική πτώση:

- Ακτινικής και μικτής ροής (τύπου Francis) κατάλληλοι για μεσαίες τιμές της υδραυλικής πτώσης ( $H=15-150\text{m}$  περίπου).
- Αξονικής ροής (τύπου Kaplan) κατάλληλοι για την αξιοποίηση μικρών υδραυλικών πτώσεων ( $H < 15\text{ m}$  περίπου).

Από κατασκευαστικής πλευράς, χωρίς να υπάρχει παρά μικρή επίπτωση σε ορισμένα λειτουργικά χαρακτηριστικά, μπορεί να γίνει διάκριση σε υδροστροβίλους:

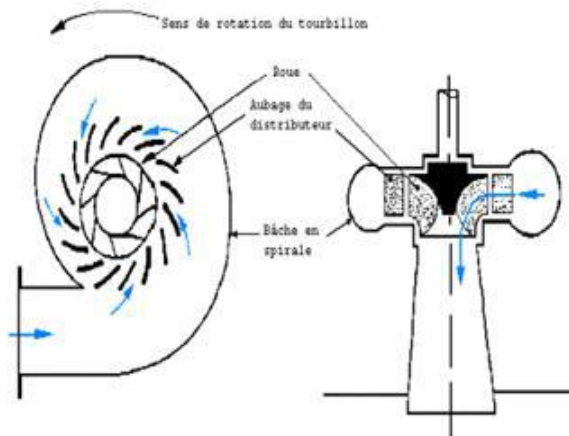
- οριζοντίου άξονα.
- κατακόρυφου άξονα.

### 5.6.ΥΔΡΟΣΤΟΒΙΛΟΙ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΡΟΗΣ (KAPLAN)

Ο υδροστρόβιλος που εγκαταστάθηκε στην πρωτότυπη διάταξη αλλά και στην εγκατάσταση που αναλύεται παρακάτω είναι ο υδροστρόβιλος αξονικής ροής (Kaplan). Εφευρέτης αυτού του υδροστροβίλου θεωρείται ο Αυστρο-Ουγγαρός μηχανικός Viktor Kaplan (1876-1934). Η απόδοση της λειτουργίας του μπορεί να φθάσει ως και το 90%.

Τα κύρια μέρη ενός υδροστροβίλου Kaplan είναι :

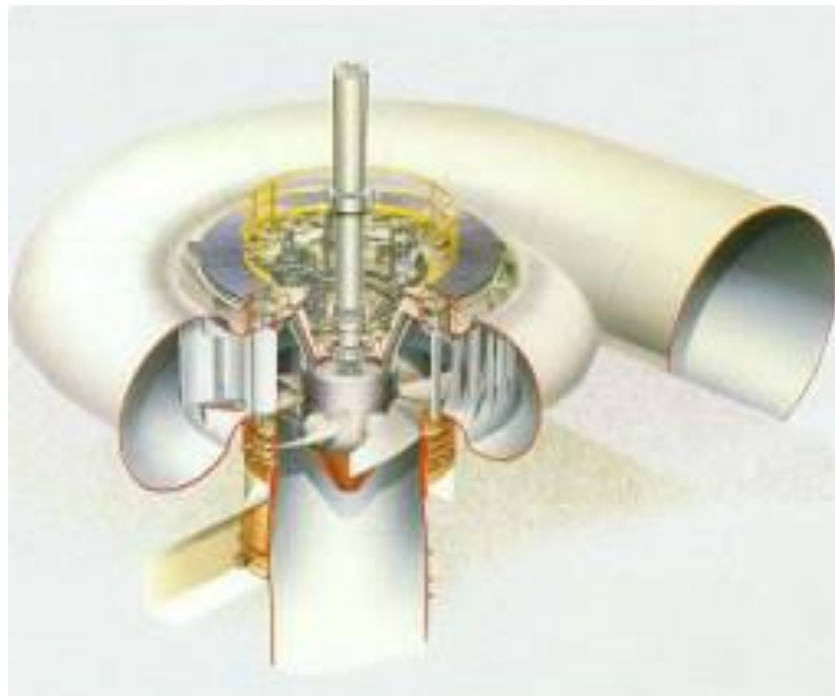
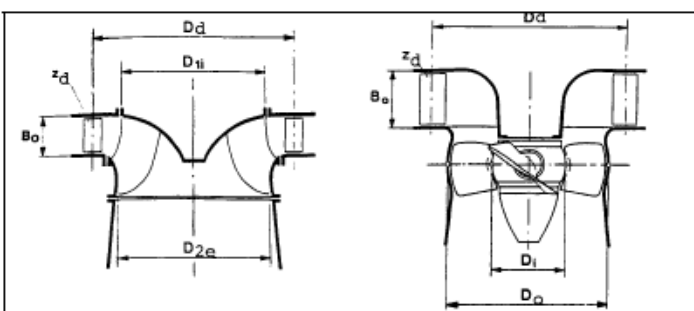
- Σπειροειδές κέλυφος. Με σκοπό την επίτευξη της ομοιόμορφης τροφοδοσίας και λειτουργίας, το νερό καθώς εξέρχεται από τον αγωγό προσαγωγής, εισέρχεται εντός του σπειροειδούς κελύφους, το οποίο περιβάλλει πλήρως το δρομέα. Η διατομή του σπειροειδούς κελύφους μειώνεται κατά μήκος της ροής, έτσι ώστε να διατηρείται όσο το δυνατόν σταθερή η ταχύτητα του νερού, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



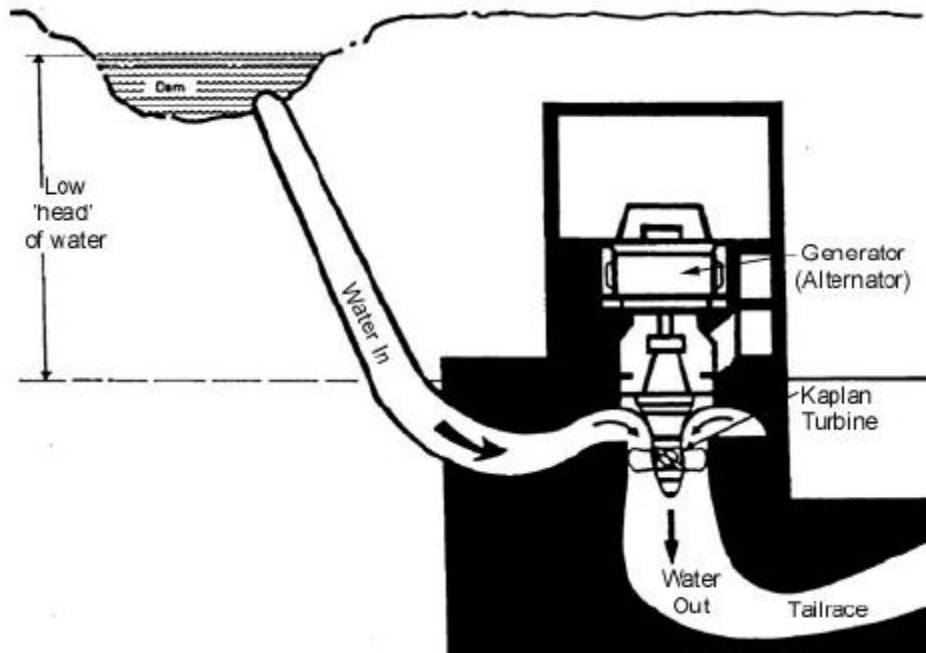
Εικόνα 5.6.1. Διατομή σπειροειδούς κελύφους.

- Οδηγά πτερύγια. Μέσα στο σπειροειδές κέλυφος το νερό είναι υποχρεωμένο να περάσει μέσα στα πτερύγια, τα οποία είναι προσαρμοσμένα στην περιφέρεια του δρομέα. Κάθε πτερύγιο μπορεί να περιστρέφεται περί του άξονα του. Σκοπός αυτής της περιστροφής είναι ο έλεγχος της εισερχόμενης παροχής εντός των πτερυγίων του δρομέα και συνεπώς ο έλεγχος της παρεχόμενης ισχύος. Τα πτερύγια μπορούν να μεταβάλλουν τη σχετική τους γωνία ως προς την κύρια ροή, για να ελέγχουν τη διατομή του χώρου ροής.
- Δρομέας. Αποτελείται από 4 έως 10 πτερύγια, τα οποία τοποθετούνται συμμετρικά στην περιφέρεια της ατράκτου. Εκτείνονται μεταξύ της πλήμνης και της στεφάνης στην οποία είναι πακτωμένα. Αυξάνεται έτσι η μηχανική στιβαρότητα της κατασκευής και η αντοχή στις δυνάμεις που αναπτύσσονται στα πτερύγια από τη διερχόμενη ροή. Τα πτερύγια είναι διαμορφωμένα ούτως ώστε το νερό να εισέρχεται στο δρομέα ακτινικά και στο ύψος της εξωτερικής περιφέρειας και να εξέρχεται απ' αυτόν κατά την αξονική διεύθυνση και στο ύψος της εσωτερικής περιφέρειας. Ο στρεφόμενος δρομέας αποτελεί το τμήμα του υδροστρόβιλου που μετατρέπει την ενέργεια του υγρού σε μηχανική, δηλαδή το τμήμα στο οποίο αναπτύσσεται μηχανική κινητήρια ροπή.
- Αγωγός φυγής. Το νερό βγαίνει μέσα από τον δρομέα κατά την αξονική κατεύθυνση και αποχωρεί από τον υδροστρόβιλο διαμέσου του αγωγού φυγής. Ο αγωγός φυγής μπορεί να έχει δύο μορφές: α) σχήμα κώλουρου κώνου, β) σχήμα αγκώνα, ο οποίος ξεκινάει με κυκλική διατομή από τον δρομέα και καταλήγει σε ορθογωνική στην έξοδο.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται υδροστρόβιλος αξονικής ροής:



Εικόνα 5.6.2. Διατομή υδροστρόβιλου Kaplan



**Εικόνα 5.6.3.** Υδροηλεκτρικό έργο με υδροστρόβιλο τύπου Kaplan.

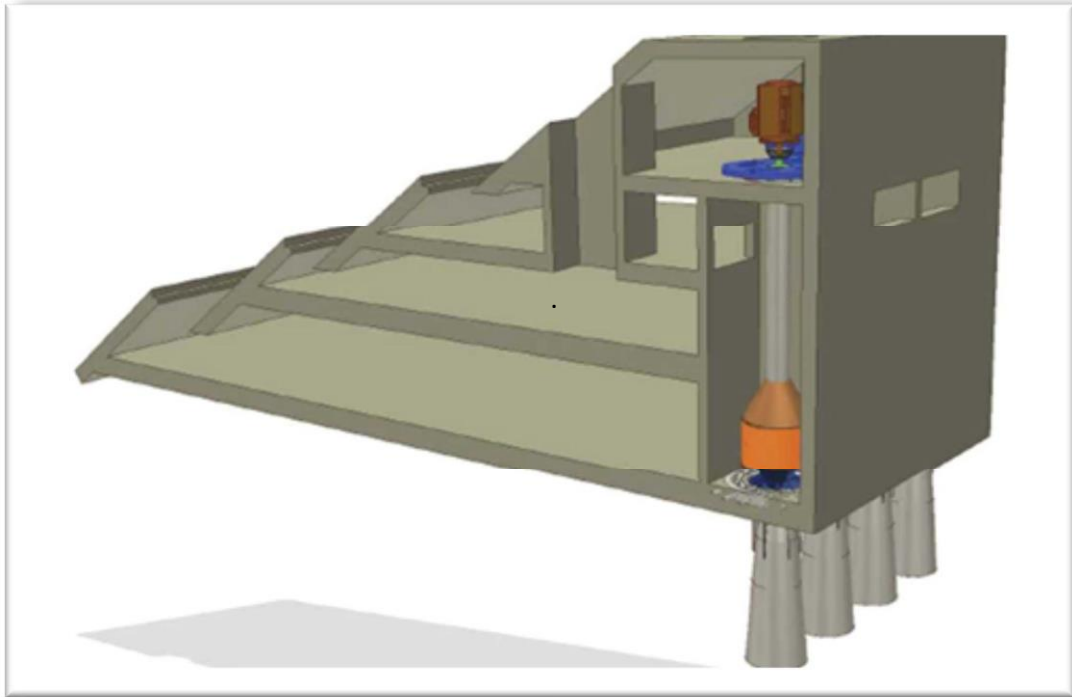
Παράλληλα, το τμήμα εξόδου (ή αγωγός απαγωγής) έχει ως σκοπό την επιβράδυνση του υγρού και την οδήγησή του προς την έξοδο. Πρέπει να σημειωθεί, ότι ο αγωγός απαγωγής έχει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία και το βαθμό απόδοσης του υδροστροβίλου.

Επομένως, τα τμήματα εισόδου, εξόδου και ο δρομέας είναι τα τμήματα της μηχανής που συμμετέχουν στην ενεργειακή μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανική. Όμως, όπως και στις αντλίες, ένας πλήρης υδροστρόβιλος αποτελείται και από άλλα τμήματα τα οποία εξασφαλίζουν τη στεγανότητα με το περιβάλλον (εξωτερικό κέλυφος, στυπιοθλίπτες), τη μεταφορά της μηχανικής ισχύος (άτρακτος, συμπλέκτες, έδρανα), την παραλαβή των αναπτυσσόμενων δυνάμεων (ωστικό έδρανο) και άλλα.

Στη διάταξη SSG στο Knitsoy τοποθετήθηκαν τέσσερις ίδιου μεγέθους, (0,6m διάμετρος δρομέα) υδροστρόβιλοι αντιδράσεως τύπου Kaplan. Δύο στην χαμηλότερη δεξαμενή και από μία στις δύο επόμενες. Επιλέχθηκε αυτός ο τύπος στροβίλου λόγω παρουσίας υψηλής σταθερής απόδοσης σε μεγάλο εύρος λειτουργίας. Λειτουργεί με μανομετρικό μικρότερο από 50m και παροχή από 0,5 έως 50m<sup>3</sup>/s. Οι υδροστρόβιλοι είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα με μεγάλη ανθεκτικότητα στη διάβρωση. Ο μηχανισμός της κυλινδρικής πύλης ρυθμίζει την ροή προς τον στρόβιλο, αποτελείται από έναν κύλινδρο απευθείας συνδεδεμένο με τον στρόβιλο οποίος όταν σηκώνεται επιτρέπει την ακτινική ροή σε αυτό. Η κυλινδρική πύλη έχει μεταλλικές επαφές με τον εξωτερικό δακτύλιο του στροβίλου. Οι γεννήτριες τοποθετούνται σε αρκετά υψηλότερο επίπεδο, ώστε να προστατευτούν από τον κίνδυνο της



πλημμύρας. Οδηγούνται από έναν οδοντωτό ιμάντα μετάδοσης βήματος κίνησης που τους επιτρέπει να ακολουθούν την βέλτιστη ταχύτητα του στροβίλου.



**Εικόνα 5.6.3 :** Διάταξη SSG με τέσσερις στροβίλους Kaplan

Λόγω απωλειών της ροής στο σύστημα προσαγωγής και απωλειών στο ίδιο τον στρόβιλο, η μηχανική ενέργεια που ανακτάται είναι μικρότερη. Η υδραυλική ισχύς που διατίθεται για την μετατροπή σε μηχανική ενέργεια είναι ίση με:

$$P_i = \rho * g * Q * H \quad \text{Σχέση 5.6.1 Υδραυλική ισχύς.}$$

Όπου:

Q, η παροχή όγκου που διέρχεται από τον υδροστρόβιλο,  
 P, η πυκνότητα του νερού και  
 g, η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Οι απώλειες μετατροπής της διαθέσιμης ενέργειας σε μηχανική προς την διαθέσιμη ενέργεια ορίζονται ως ο βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου και είναι ο λόγος της σχέσης :

$$\eta T = \frac{P}{P_i} \quad \text{Σχέση 5.6.2 Βαθμός απόδοσης Υδροστροβίλου.}$$

Όπου:

P, η μηχανική ισχύ λόγω περιστροφής του δρομέα.

Στη συνέχεια, η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική αφού ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι συνδεδεμένος με την γεννήτριας, οπότε :

$$Pe = nT * nG * Pi$$

**Σχέση 5.6.3** Ισχύς Γεννήτριας.

## 5.7.ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Για τη λειτουργία των ηλεκτρικών μηχανών απαιτούνται τρία είδη υλικών :

- A. Ηλεκτρικοί αγωγοί, για την δίοδο του ρεύματος (κατά κανόνα χάλκινοι, σπανιότερα από αλουμίνιο ή μπρούτζο)
- B. Μονωτικά υλικά για την παρεμπόδιση διαρροής ηλεκτρικού ρεύματος από τους αγωγούς (ελαστικό, σύνθετα υλικά, χαρτί εμποτισμένο σε βερνίκι).
- C. Σίδηρος, (σιδηροελάσματα) για την οδήγηση του μαγνητικού πεδίου.

Με άλλα λόγια για να λειτουργήσει μια γεννήτρια πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω βασικές συνθήκες :

1. Να υπάρχει μαγνητικό πεδίο (B)
2. Να υπάρχει αγωγός (ή πλαίσιο) εντός του μαγνητικού πεδίου, δηλαδή, να υπάρχει τύλιγμα στην μηχανή
3. Να υπάρχει σχετική κίνηση του αγωγού (ή πλαισίου) ως προς το μαγνητικό πεδίο ή του πεδίου ως προς τον αγωγό.

Αποτέλεσμα των παραπάνω συνθηκών είναι η ανάπτυξη ηλεκτρεγερτικής δύναμης (ΗΕΔ) στα άκρα αυτού του αγωγού.

Κατασκευαστικά, κάθε μηχανή συνεχούς ρεύματος (Σ.Ρ.) αποτελείται από το ακίνητο μέρος, το οποίο ονομάζεται στάτης, και από το κινητό μέρος, το οποίο ονομάζεται δρομέας.

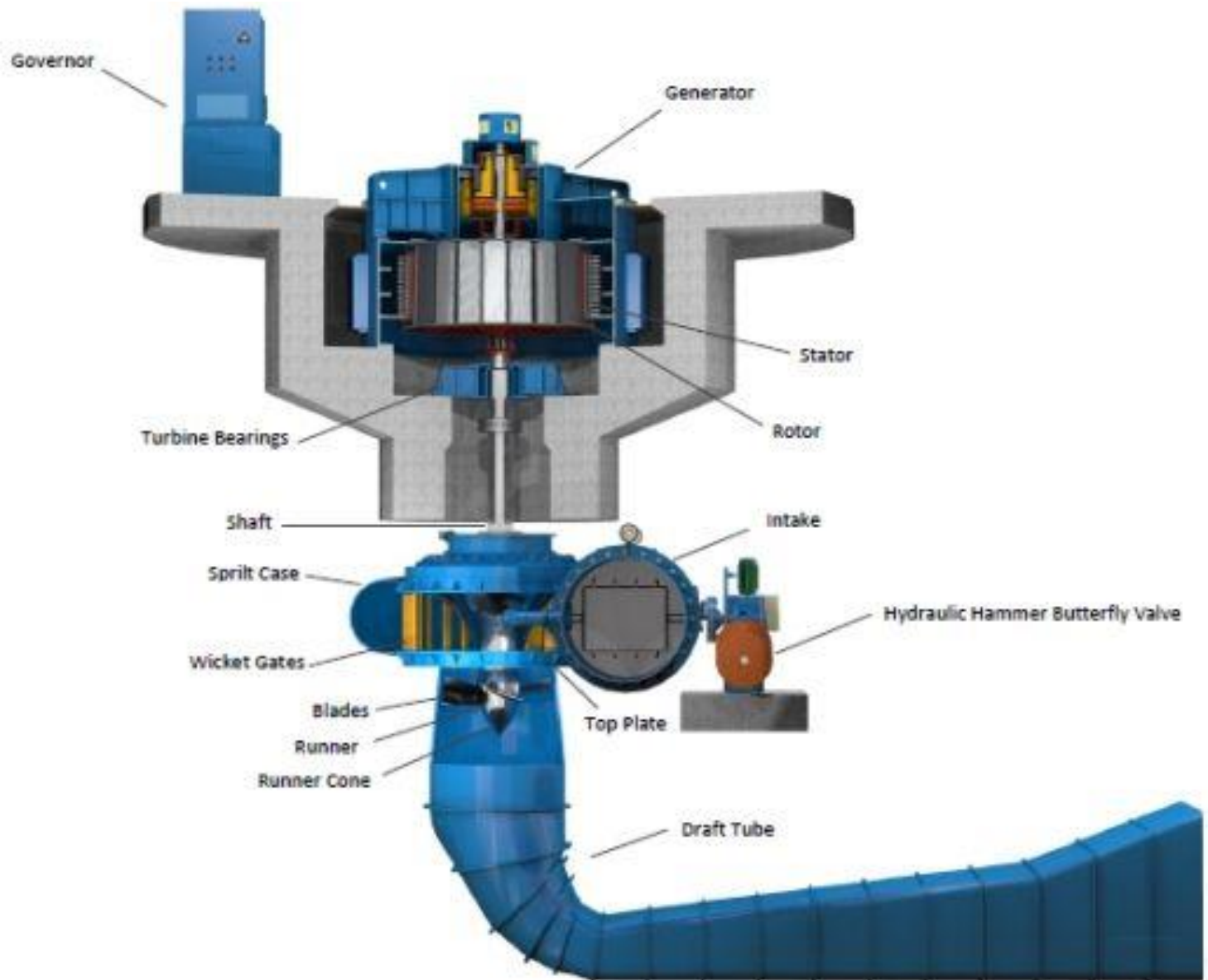
Ο στάτης είναι το συγκρότημα των ακίνητων τμημάτων της μηχανής και έχει ως κύριο προορισμό του να δημιουργεί καθορισμένη μαγνητική ροή.

Ο στάτης αποτελείται από:

- το ζύγωμα
- τους μαγνητικούς πόλους
- τα πέδιλα των πόλων
- το τύλιγμα του πόλου (πηνίο διέγερσης)
- τα καλύμματα (καπάκια)
- τον ψηκτροφορέα
- τις ψήκτρες
- το σιδερένιο δακτυλίδι
- τους βραχίονες
- τις ψηκτροθήκες
- τα ελατήρια πίεσης των ψηκτρών.

Ο δρομέας είναι το συγκρότημα των κινητών τμημάτων της μηχανής, και αποτελείται από:

- τον άξονα
- τον πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου
- το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου
- το συλλέκτη
- τον ανεμιστήρα



Εικόνα 5.7.1 : Τομή υδροστρόβιλου Kaplan συνδεδεμένου με γεννήτρια.

## 5.8.ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

Μετασχηματιστές ονομάζονται γενικώς οι ηλεκτρικές μηχανές οι οποίες δεν έχουν περιστρεφόμενα μέρη. Με αυτούς επιτυγχάνουμε αλλαγή των χαρακτηριστικών της ισχύος. Συγκεκριμένα, στις μηχανές αυτές προσδίδεται ορισμένο ποσό ενέργειας δεδομένων χαρακτηριστικών από την γεννήτρια και αποδίδεται το αυτό ποσό ενέργειας σε μία ή περισσότερες καταναλώσεις διαφορετικών χαρακτηριστικών.

Δεχόμαστε ότι η προδιδόμενη ισχύ είναι περίπου ίση προς την παραλαμβανόμενη, επειδή οι μηχανές αυτές δεν έχουν περιστρεφόμενα μέρη και συνεπώς ο βαθμός απόδοσης τους είναι υψηλός της τάξης του 95% έως 98%. Αφού δεν έχουμε μηχανικές απώλειες, η απόδοσή τους καθορίζεται αποκλειστικά από τις ηλεκτρικές ή τις μαγνητικές του απώλειες. Ο βαθμός απόδοσης των μετασχηματιστών δεν είναι σταθερός αλλά εξαρτάται από τις συνθήκες φόρτισης τους καθώς και από την κατάσταση συντήρησης ή εγκατάστασής τους.

Ανάλογα με το μέγεθος των τάσεων οι μετασχηματιστές κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες:

1. στους μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης και
2. στους μετασχηματιστές υποβιβασμού τάσης.

Ανάλογα με τον προορισμό τους οι μετασχηματιστές διακρίνονται σε:

1. μονοφασικούς μετασχηματιστές και
2. πολυφασικούς μετασχηματιστές (συνηθέστεροι είναι οι τριφασικοί).

Ανάλογα με τη χρήση τους διακρίνονται σε:

1. μετασχηματιστές ισχύος (μετασχηματιστές τάσης και μετασχηματιστές έντασης)
2. μετασχηματιστές ηλεκτρικών μετρήσεων
3. διαφορικούς μετασχηματιστές
4. ειδικούς μετασχηματιστές (αυτομετασχηματιστές κτλ.)
5. μετασχηματιστές φάσης (μετατρέπουν την ενέργεια τριφασικού συστήματος σε ενέργεια εξαφασικού συστήματος και αντίστροφα).

Ανάλογα με τον τρόπο ψύξης τους διακρίνονται σε:

1. ξηρούς μετασχηματιστές.
2. μετασχηματιστές λαδιού.

## 6. ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ ΜΕ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ JONSWAP

### 6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως αναλύθηκε στα παραπάνω κεφάλαια, η Ελλάδα είναι μια χώρα με πλούσιο αιολικό και κυματικό δυναμικό, εντούτοις αυτό παραμένει ανεκμετάλλευτο λόγω της διείσδυσης των ΑΠΕ που είναι ακόμα σε πρωταρχικό στάδιο. Έπειτα, τα τελευταία χρόνια έχουν σχεδιαστεί και εγκατασταθεί πολλά υβριδικά συστήματα, συνδυάζοντας τις ΑΠΕ με διάφορα συστήματα αποθήκευσης προς αποδοτικότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και προς ελαχιστοποίηση της ρυπογόνου δράσης των συμβατικών μονάδων παραγωγής. Συμπληρωματικά με τις επιπτώσεις της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής που οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας της Γης, η διαφοροποίηση της έντασης των ανέμων και εν κατακλείδι η ανύψωση της στάθμης των θαλασσών, αποτελούν τους κύριους λόγους για τους οποίους το ενδιαφέρον της παρούσας διπλωματικής επικεντρώθηκε στο σχεδιασμό μίας εγκατάστασης ενεργειακού κυματοθραύστη στη Σύρο.

Η Σύρος τοπογραφικά κατέχει μια ευνοϊκή θέση στην περιοχή των Κυκλάδων, αφού βρίσκεται στο επίκεντρο αυτών, γεγονός που την βοήθησε πολύ ( πριν το άνοιγμα του ισθμού της Κορίνθου ) στην αλματώδη ανάπτυξη της. Είναι ένα μικρό νησί με έκταση μόλις 84 τ.χλμ. και με ανάπτυγμα 87 τ.χλμ. μήκους ακτών. Το 11<sup>ο</sup> σε σειρά μεγέθους νησί των Κυκλάδων, είναι το μεγαλύτερο σε πληθυσμό, με 21.390 κατοίκους (σύμφωνα με στοιχεία απογραφής το 2011). Ο κύριος λόγος που επιλέχθηκε, βέβαια, είναι διότι βρίσκεται σε ενδιαφέρουσα θέση από άποψη κυματικής ενέργειας.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η ενεργειακή ανάλυση που ακολουθήθηκε για την αποτίμηση της λειτουργίας της διάταξης αναρρίχησης κυματισμού, καθώς και τα αποτελέσματα που προκύπτουν, έχοντας ως δεδομένα τις διευθύνσεις και τις ταχύτητες ανέμου ενός ολόκληρου έτους. Ειδικότερα, τα δεδομένα επεξεργάζονται από το αριθμητικό μοντέλο JONSWAP.



Εικόνα 6.1.1 : Χάρτης Σύρου.

## 6.2.ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΖΗΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

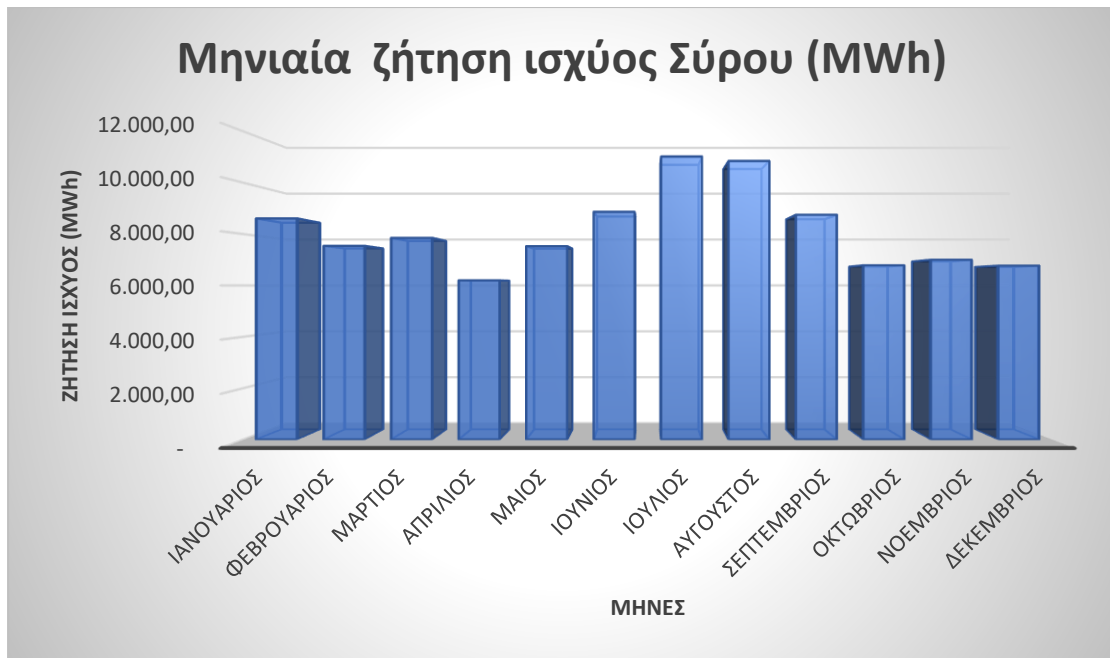
Τα δεδομένα ζήτησης που συλλέχτηκαν για την διεξαγωγή της μελέτης, προήλθαν από τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Τα απαιτούμενα δεδομένα για την εκτέλεση της υπολογιστικής διαδικασίας είναι η ετήσια χρονοσειρά μέσω ωριαίων τιμών ζήτησης ισχύος για τη Σύρο.

Στον πίνακα 6.2.1 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά στοιχεία ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στη Σύρο το έτος 2012. Ωστόσο, χρειάζεται να σημειωθεί ότι το έτος εκείνο παρατηρήθηκε μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με προηγούμενα έτη, γεγονός που οφείλεται στην οικονομική κρίση που μεσολάβησε. Η ετήσια χρονοσειρά μέσω ωριαίων τιμών ζήτησης ισχύος στη Σύρο για το 2012 έχει παρουσιαστεί στο γράφημα 6.2.1. Παρατηρεί κανείς, λοιπόν, την αυξημένη ζήτηση του νησιού κατά τη θερινή περίοδο και συγκεκριμένα τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, συνθήκη που οφείλεται στον τουρισμό αλλά και στην εκτεταμένη χρήση κλιματιστικών συσκευών.

ΜΗΝΕΣ	Ζήτηση ισχύος (MWh)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	8.608,52
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	7.540,59
ΜΑΡΤΙΟΣ	7.851,09
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	6.199,21
ΜΑΙΟΣ	7.528,79
ΙΟΥΝΙΟΣ	8.864,43
ΙΟΥΛΙΟΣ	11.015,29
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	10.841,58
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	8.749,45
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	6.782,61
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	6.997,79
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	6.768,18

Μέγεθος	2012	
Μέγιστη ζήτηση (MWh)	11.015,29	MWh
Ελάχιστη ζήτηση (MWh)	6.199,21	MWh
Μέση ζήτηση (MWh)	8.159,84	MWh
Ετήσια κατανάλωση (MWh)	97.747,53	MWh

**Πίνακας 6.2.1 :** Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για την Σύρο το έτος 2012.



**Γράφημα 6.2.1 :** Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για την Σύρο το έτος 2012.

### 6.3.ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα δεδομένα των ανέμων που συλλέχτηκαν για την μελέτη προήλθαν από το μηνιαίο και ημερήσιο ιστορικό του μετεωρολογικού σταθμού Davis Vantage PRO2, για το έτος 2012. Ο σταθμός συλλέγει δεδομένα κάθε μερικά δευτερόλεπτα και η σελίδα ενημερώνεται κάθε 6 δευτερόλεπτα. Ακόμη, τα δεδομένα συλλέγονται και επεξεργάζονται από το λογισμικό Weather Display. Ο σταθμός αποτελείται από ανεμόμετρο, βροχόμετρο, solar and UV, αισθητήρα θερμοκρασίας-υγρασίας, καθώς και αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας χώματος, τοποθετημένα σε βέλτιστες θέσεις για την υψηλότερη δυνατή ακρίβεια.

Τα δεδομένα, είναι ταχύτητες ανέμου για κάθε μέρα του έτους με τις αντίστοιχες διευθύνσεις τους. Έπειτα, για την εκτέλεση της μελέτης και την παρουσίαση των δεδομένων έγινε η μετατροπή τους από χιλιόμετρα την ώρα σε μέτρα το δευτερόλεπτο και ύστερα σε μποφόρ.

$$1 \left[ \frac{km}{h} \right] = 1 \times \frac{1000}{3600} \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$1 \left[ \frac{m}{s} \right] = \left( \left( 1 \times \frac{1}{0,836} \right)^2 \right)^{\frac{1}{3}} [Bf]$$

**Σχέση 6.3.1** Μετατροπές δεδομένων ταχυτήτων ανέμων.

Η συλλογή των ανεμολογικών δεδομένων αποσκοπεί στη χρησιμοποίησή τους κατά τον υπολογισμό των κυματισμών και εν συνεχεία των υδροδυναμικών φορτίων. Αναλυτικά δεδομένα παρουσιάζονται για τους μήνες του έτους στα Παραρτήματα.

## 6.4. ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

Ο κύριος παράγων ανεμοκυματογένεσης είναι το πέρασμα ενέργειας από τα κινούμενα κατώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα στις επιφανειακές θαλάσσιες μάζες. Ακόμα, στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφερθήκαμε στα δεδομένα χαρακτηριστικών ταχυτήτων ανέμων που συλλέχθηκαν για την πρόβλεψη των κυματισμών. Παράλληλα, η δεδομένη αυτή ταχύτητα επηρεάζεται από τη θερμική ευστάθεια της κατώτερης ατμόσφαιρας που περιγράφεται από τη διαφορά θερμοκρασίας αέρα/νερού. Λόγω της μη γραμμικής μορφής της σχέσης ταχύτητας ανέμου και διατμητικής τάσης που ασκείται στην επιφάνεια, χρησιμοποιείται συνήθως η ταχύτητα τριβής  $U_w$  που ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$U_w^2 = C_D \times U^2$$

### Σχέση 6.4.1 Ταχύτητα τριβής.

Όπου:

$U$ , η ταχύτητα ανέμου που δίνεται από το σταθμό και

$C_D$ , ο συντελεστής τριβής στη διεπιφάνεια αέρα-θάλασσας:

$$C_D = 0,001 \times (1,5 + 0,035 \times U)$$

### Σχέση 6.4.2 Συντελεστής τριβής στην επιφάνεια της θάλασσας.

Στη συνέχεια, μέσω του αριθμητικού μοντέλου Jonswar, το οποίο ένα από τα πιο γνωστά αναφερόμενα και εφαρμοζόμενα μοντέλα, μπορεί να προβλεφθεί η ενεργειακή κατάσταση μιας περιοχής με δεδομένα εισόδου τα ανεμολογικά της στοιχεία που επεξεργαστήκαμε (ταχύτητα τριβής). Από τις σχέσεις του εμπειρικού μοντέλου γίνεται η εκτίμηση του σημαντικού ύψους  $H_s$  και της περιόδου ενεργειακής πυκνότητας  $T_p$  (ΣΧΕΣΗ 6.4.3).

$$\frac{g \times H_s}{U_w^2} = 0,0413 \times \left(\frac{g \times x}{U_w^2}\right)^{1/2}$$

$$\frac{g \times T_p}{U_w} = 0,651 \times \left(\frac{g \times x}{U_w^2}\right)^{1/3}$$

### Σχέση 6.4.3 Σημαντικό ύψος κύματος και Περίοδος μέγιστης ενεργειακής πυκνότητας.

Όπου:



$U_w$  η ταχύτητα τριβής και

X ένα ισοδύναμο μήκος αναπτύγματος.

Στην θέση του X εφαρμόζεται το γραμμικό μήκος αναπτύγματος F, εφόσον ισχύει η ανισότητα της Σχέσης 6.4.4 (περιορισμός μήκους). Αν δεν ισχύει (περιορισμός διάρκειας), τότε από την ισότητα υπολογίζεται ένα νέο F και εφαρμόζεται στις σχέσεις το σημαντικό ύψος κύματος και περιόδου μέγιστης ενεργειακής πυκνότητας στη θέση του X. Στην ουσία, βρίσκουμε κάτω απ' το χρονικό περιορισμό της διάρκειας πνοής του ανέμου, το νέο μήκος κύματος που μπορεί να αναπτυχθεί για συγκεκριμένη διεύθυνση ανέμου και συγκεκριμένα Beaufort.

$$\frac{g \times F}{U_w^2} < 0,0053 \times \left(\frac{g \times t_D}{U_w}\right)^{3/2}$$

**Σχέση 6.4.4** Έλεγχος για περιορισμό μήκους αναπτύγματος.

Όπου:

$t_D$  είναι η διάρκεια πνοής του ανέμου, η οποία προκύπτει από την μέγιστη μηνιαία συχνότητα εμφάνισης ανέμων ανάγοντάς την σε χρόνο.

Πριν την παραπάνω διαδικασία προηγείται ο έλεγχος εάν οι κυματισμοί έχουν πλήρη ανάπτυξη, δηλαδή εάν ισχύει η ανισότητα:

$$\frac{g \times F}{U^2} > \frac{34,528}{C_D}$$

**Σχέση 6.4.5** Έλεγχος για πλήρη ανάπτυξη κυματισμών.

Όπου:

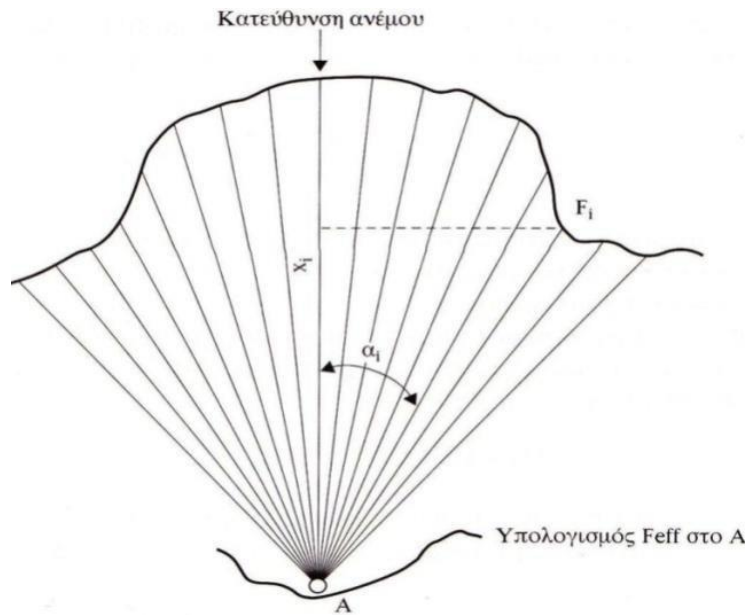
U είναι η ταχύτητα του ανέμου στην οριακή στοιβάδα της ατμόσφαιρας. Αξίζει να σημειωθεί ότι, εάν ισχύει ο παραπάνω έλεγχος (ΣΧΕΣΗ 6.4.5) τότε εφαρμόζονται οι σχέσεις για τον υπολογισμό του σημαντικού ύψους κύματος και περιόδου μέγιστης ενεργειακής πυκνότητας που ακολουθούν:

$$\frac{g \times H}{U_w^2} = 211,5$$

$$\frac{g \times T_p}{U_w^2} = 239,8$$

**Σχέση 6.4.6** Σημαντικό ύψος κύματος και Περίοδος μέγιστης ενεργειακής πυκνότητας για πλήρη ανάπτυξη κυματισμών.

Το σημείο στην Σύρο που θα γίνει η εγκατάσταση της διάταξης είναι εκτεθειμένο σε βόρειους, βορειοανατολικούς και βορειοδυτικούς ανέμους.



**Εικόνα 6.4.1** Κυματογένεση σε ένα εύρος  $\pm 45^\circ$  από την διεύθυνση του αέρα.

Για τον υπολογισμό του ενεργού μήκους αναπτύγματος των κυματισμών που επιδρούν στο σημείο εγκατάστασης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Google Earth. Η επίδραση του ανέμου μιας συγκεκριμένης κατεύθυνσης θεωρείται ότι προκαλεί κυματογένεση σε ένα τομέα  $\pm 45^\circ$  ως προς την κύρια κατεύθυνση, με βάση τις ακτίνες ανά  $10^\circ$  από τον τύπο:

$$F_{eff} = \frac{\sum_i F_i \times \cos^2 \alpha_i}{\sum_i \cos \alpha_i}$$

**Σχέση 6.4.7** Υπολογισμός ενεργού μήκους αναπτύγματος των κυματισμών σε μέτρα.

Όπου:

$i$  : ο ακέραιος που περιγράφει την κατεύθυνση ακτινών ανά  $10^\circ$  εκατέρωθεν της κατευθύνσεως του ανέμου

$F_i$  : το γραμμικό μήκος αναπτύγματος της κατεύθυνση  $i$

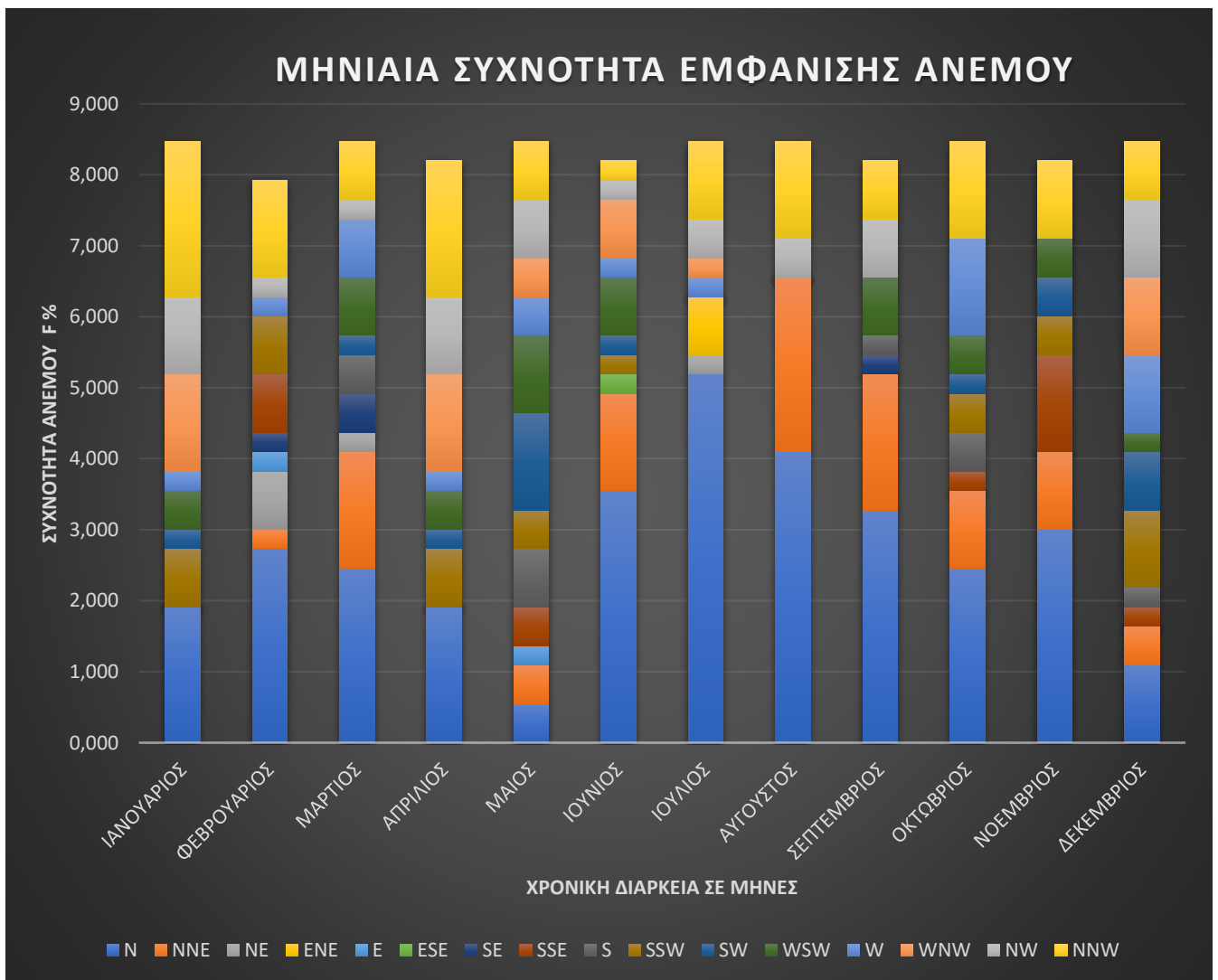
$\alpha_i$  : η γωνία που σχηματίζει η ακτίνα  $i$  με την κατεύθυνση του ανέμου

Τα ενεργά μήκη αναπτύγματος των απέναντι ακτών μετρήθηκαν για τη νήσο της Σύρου και προκύπτουν στις 3 διευθύνσεις B, BA, ΒΔ ως εξής:

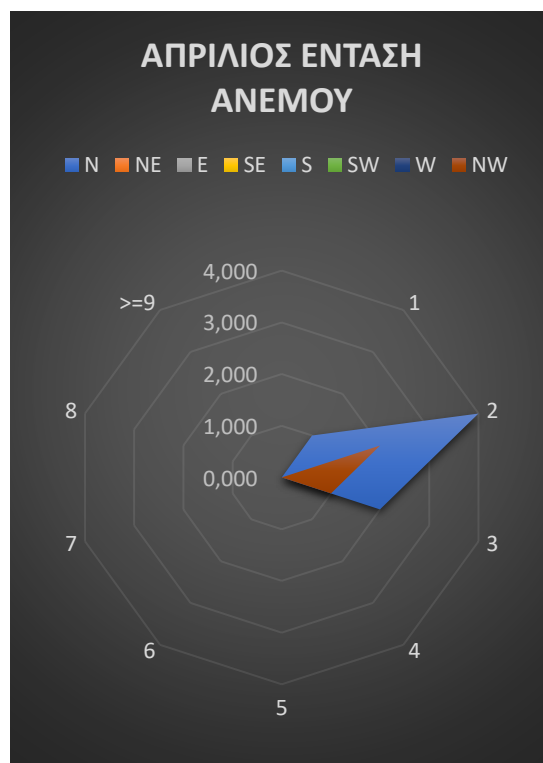
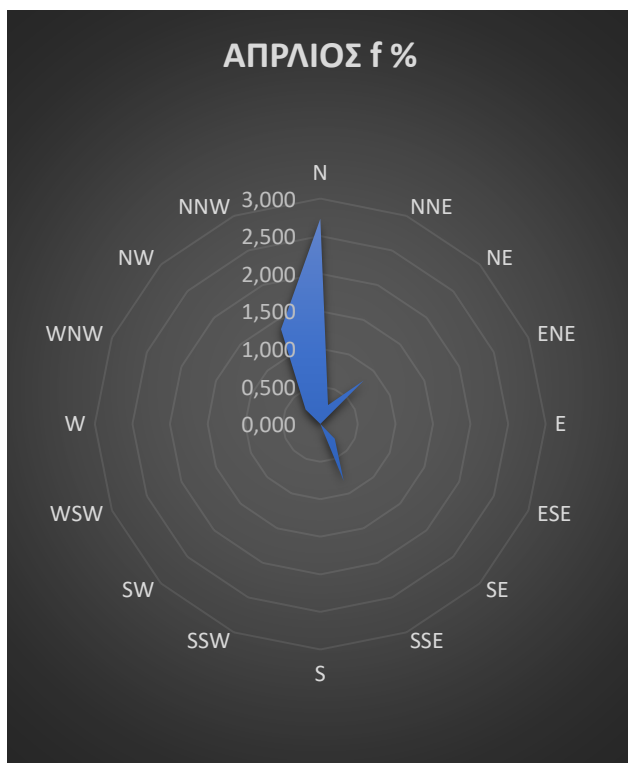
- $F_B = 22.648,00$  m
- $F_{BA} = 10.644,79$  m
- $F_{B\Delta} = 78.996,00$  m

Από την επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων του σταθμού προκύπτουν τα αποτελέσματα του αιολικού δυναμικού του νησιού. Στο Γράφημα 6.4.1 παρατίθεται η μηνιαία συχνότητα εμφάνισης ανέμων στις διευθύνσεις του. Για την απεικόνιση τους χρησιμοποιούνται διαφορετικά χρώματα. Οι κύριες διευθύνσεις παρατίθενται με τους συμβολισμούς NW, W, SW, S, SE, E, NE, N και αντιστοιχούν σε διευθύνσεις Βορειοδυτικής, Δυτικής, Νοτιοδυτικής, Νότιας, Νοτιοανατολικής, Ανατολικής, Βορειοανατολικής, Βόρειας διεύθυνσης αντίστοιχα. Κύρια διεύθυνση ανέμου με μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης παρατηρείται να είναι η Βόρεια Κατεύθυνση (μπλε χρώμα).

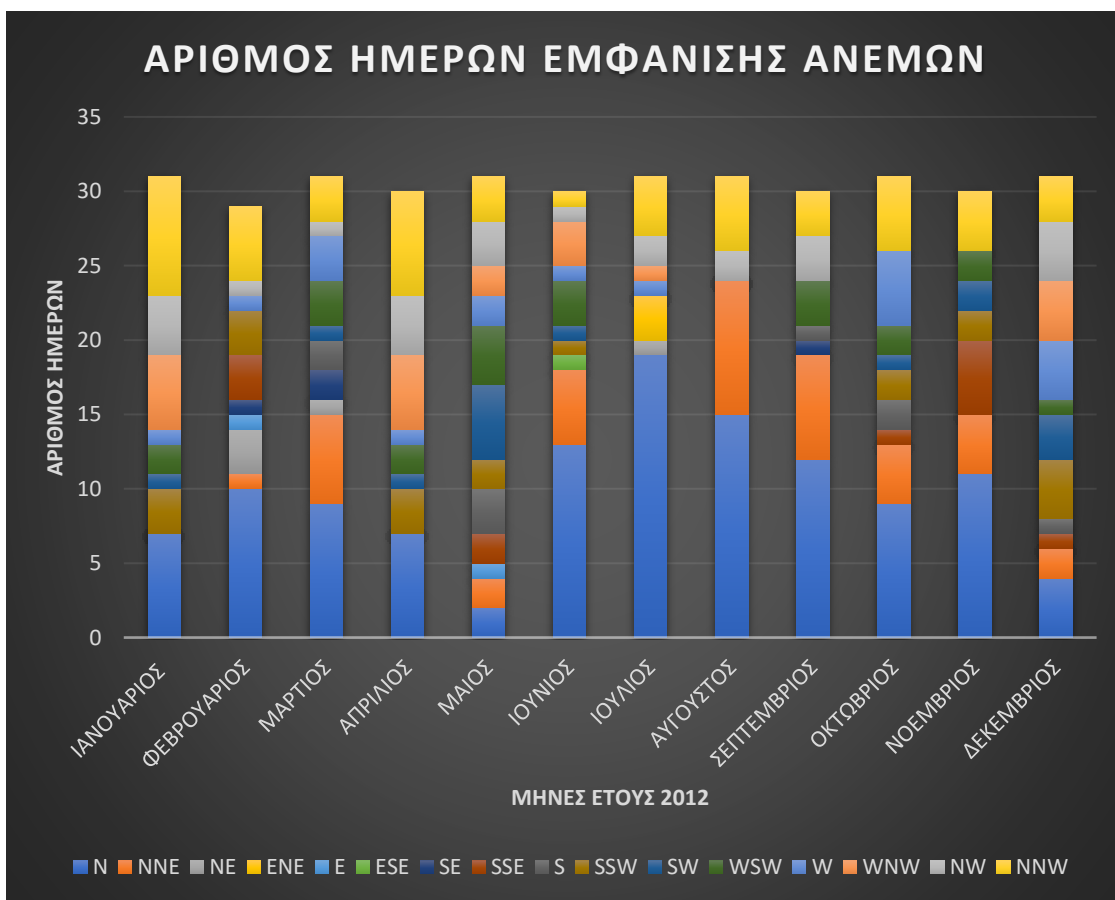
Ακόμη στο Γράφημα 6.4.2 παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές τιμές συχνοτήτων των επικρατούντων ανέμων για το μήνα Απρίλιο, το μήνα με τη μεγαλύτερη τιμή μέσης μηνιαίας ταχύτητας του έτους, τιμής 14,17 m/s. Αριστερά εικονίζονται οι συχνότητες σύμφωνα με την κατεύθυνση του ανέμου και δεξιά σύμφωνα με την έντασή του σε κλίμακα Beaufort. Παρατηρείται για το μήνα Απρίλιο μεγαλύτερη συχνότητα ανέμου ποσοστού 2,732% Βόρειας κατεύθυνσης και έντασης των 6Bf. Η συχνότητα των ανέμων μεταφράστηκε σε μέρες πνοής συγκεκριμένης κατεύθυνσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Γράφημα 6.4.3.



Γράφημα 6.4.1 Μηνιαία συχνότητα εμφάνισης Ανέμων στη περιοχή της Νήσου Σύρος.

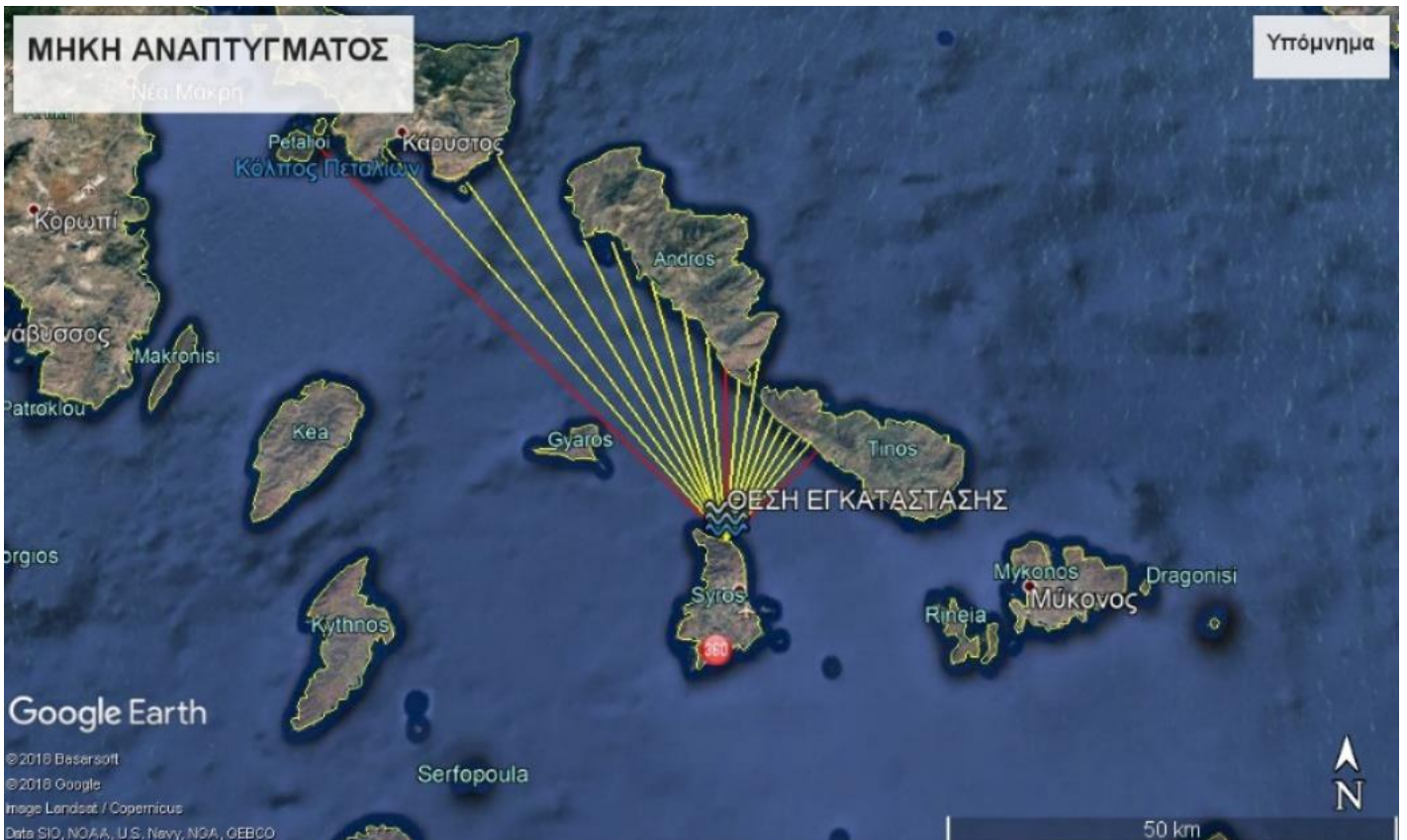


**Γράφημα 6.4.2** Συχνότητα εμφάνισης ανέμων σύμφωνα με την κατεύθυνση (αριστερά) και την ένταση τους (δεξιά).



**Γράφημα 6.4.3** Μηνιαίος αριθμός ημερών εμφάνισης συγκεκριμένης κατεύθυνσης ανέμου.

Στην Εικόνα 6.4.4 εμφανίζεται η επίδραση της απέναντι ακτής στη δυνατότητα ανάπτυξης των κυματισμών περιφερειακά του νησιού όπως προέκυψε από τη χρήση του υπολογιστικού μοντέλου Jonswar. Διαπιστώνεται ότι μεγαλύτερη δυνατότητα ανάπτυξης και δράσης των κυματισμών είναι αυτή της Βόρειας μεριάς. Η διαπίστωση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, αφού ορίζει ως κατάλληλη περιοχή εγκατάστασης της προτεινόμενης διάταξης, τη Βόρεια πλευρά του νησιού. Το γεγονός αυτό συμφωνεί και με τα ανεμολογικά δεδομένα. Η πρόβλεψη του κυματισμού έγινε σε σχέση με την ημερήσια ταχύτητα ανέμου για κάθε μήνα ξεχωριστά με βάση τον αριθμό των ημερών όπου εμφανίζεται συγκεκριμένη ένταση ανέμου Βόρειας κατεύθυνσης.



**Εικόνα 6.4.4** Κυματογένεση σε ένα εύρος  $\pm 45^\circ$  από το σημείο εγκατάστασης.

Σύμφωνα με όλη τη μεθοδολογία που αναφέραμε παραπάνω και τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής, καταλήγουμε στα εξής αποτελέσματα ανάλογα με τη διεύθυνση και την ένταση του ανέμου. Παρατηρούμε ότι για βορειοδυτικό άνεμο 3 BF έχουμε πλήρη ανάπτυξη κυματισμού, οπότε εφαρμόζονται οι τύποι της Σχέσης 6.4.6 για τον υπολογισμό του σημαντικού ύψους κύματος και περιόδου μέγιστης ενεργειακής πυκνότητας. Τέλος, δεν υπάρχει συχνότητα εμφάνισης βορειοανατολικών ανέμων, οπότε δεν θα έχουμε αποτελέσματα παραγωγής ισχύος.

NORTH - ΒΟΡΕΙΟΣ ΑΝΕΜΟΣ									
ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ - BF	U [m/s]	Cd [m/s]	Uw [m/s]	ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΑΝ ΕΧΟΥΝ ΠΛΗΡΗ ΑΝΑΠΤΗΞΗ	F [m]	ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΙΣΟΤΗΤΑΣ td	Hs [m]	Tp [s]	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ - f %
3	4,344	0,001	0,154	FALSE	15714,526	FALSE	0,254	1,906	17,486
4	6,688	0,001	0,244	FALSE	19810,540	FALSE	0,453	2,403	5,738
5	9,347	0,001	0,353	FALSE	23817,696	TRUE	0,701	2,841	0,000
6	12,287	0,002	0,481	FALSE	27787,178	TRUE	0,954	3,149	0,000
7	15,483	0,002	0,627	FALSE	31747,991	TRUE	1,245	3,441	0,000
8	18,917	0,002	0,794	FALSE	35717,384	TRUE	1,576	3,723	0,000
9	22,572	0,002	0,981	FALSE	39705,835	TRUE	1,948	3,995	0,000
10	26,437	0,002	1,190	FALSE	43719,708	TRUE	2,361	4,260	0,000
11	30,500	0,002	1,420	FALSE	47762,779	TRUE	2,818	4,518	0,000

Πίνακας 6.4.1 Κυματικές παράμετροι για Β άνεμο

NORTH WEST - ΒΟΡΕΙΟ ΔΥΤΙΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ									
ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ - BF	U [m/s]	Cd [m/s]	Uw [m/s]	ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΑΝ ΕΧΟΥΝ ΠΛΗΡΗ ΑΝΑΠΤΗΞΗ	F [m]	ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΙΣΟΤΗΤΑΣ td	Hs [m]	Tp [s]	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ - f %
3	4,344	0,001	0,154	TRUE	15714,526	FALSE	0,510	0,578	0,820
4	6,688	0,001	0,244	FALSE	19810,540	FALSE	0,453	2,403	0,000
5	9,347	0,001	0,353	FALSE	23817,696	FALSE	0,719	2,889	0,000
6	12,287	0,002	0,481	FALSE	27787,178	FALSE	1,057	3,371	0,000
7	15,483	0,002	0,627	FALSE	31747,991	FALSE	1,474	3,852	0,000
8	18,917	0,002	0,794	FALSE	35717,384	FALSE	1,979	4,333	0,000
9	22,572	0,002	0,981	FALSE	39705,835	FALSE	2,579	4,817	0,000
10	26,437	0,002	1,190	FALSE	43719,708	FALSE	3,281	5,304	0,000
11	30,500	0,002	1,420	FALSE	47762,779	FALSE	4,093	5,794	0,000

Πίνακας 6.4.2 Κυματικές παράμετροι για ΒΔ άνεμο

NORTH EAST - ΒΟΡΕΙΟ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ									
ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ - BF	U [m/s]	Cd [m/s]	Uw [m/s]	ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΑΝ ΕΧΟΥΝ ΠΛΗΡΗ ΑΝΑΠΤΗΞΗ	F [m]	ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΙΣΟΤΗΤΑΣ td	Hs [m]	Tp [s]	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ - f %
3	4,344	0,001	0,154	FALSE	15714,526	TRUE	0,254	1,906	0,000
4	6,688	0,001	0,244	FALSE	19810,540	TRUE	0,453	2,403	0,000
5	9,347	0,001	0,353	FALSE	23817,696	TRUE	0,719	2,889	0,000
6	12,287	0,002	0,481	FALSE	27787,178	TRUE	1,057	3,371	0,000
7	15,483	0,002	0,627	FALSE	31747,991	TRUE	1,474	3,852	0,000
8	18,917	0,002	0,794	FALSE	35717,384	TRUE	1,979	4,333	0,000
9	22,572	0,002	0,981	FALSE	39705,835	TRUE	2,579	4,817	0,000
10	26,437	0,002	1,190	FALSE	43719,708	TRUE	3,281	5,304	0,000
11	30,500	0,002	1,420	FALSE	47762,779	TRUE	4,093	5,794	0,000

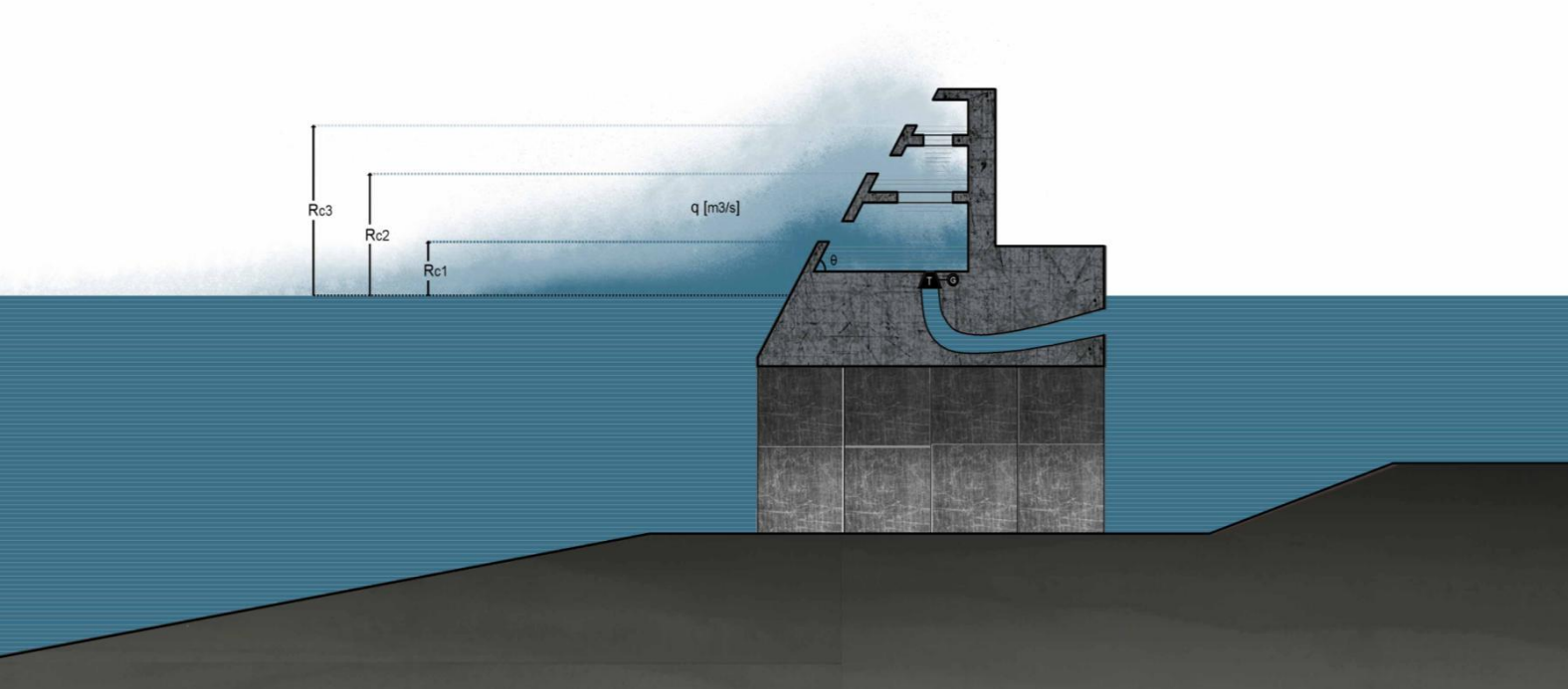
Πίνακας 6.4.3 Κυματικές παράμετροι για ΒΑ άνεμο

## 6.5. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ SEA SLOT-CONE GENERATOR

Όπως είδαμε σε παραπάνω κεφάλαιο, η διάταξη σχεδιάζεται, ώστε να αναρριχάται από τα εισερχόμενα κύματα και να τα συλλέγει σε δεξαμενές διαφορετικών επιπέδων. Έτσι, σημαντικό ρόλο παίζει η γεωμετρία της, η οποία επιδέχεται οικονομικούς περιορισμούς. Έπειτα, οι κυριότεροι παράμετροι που αντανakλούν στην τελική παροχή αναρρίχησης και άρα στην τελική παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ από την διάταξη είναι αρχικά τα κυματικά μεγέθη (περιόδου και του ύψους του κύματος κ.α.), που αφορούν την επιλεγθείσα περιοχή εγκατάστασης αλλά και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της, όπως αυτά της κλίσης της  $\theta$  [°] και του ύψους της κατασκευής πάνω από το επίπεδο της θάλασσας  $R_c$  [m].

Για την εκτίμηση της παροχής αναρρίχησης χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Van der Mer (VMJ). Η επιλογή αυτού του μοντέλου συνίσταται μεταξύ άλλων, εφόσον παρέχει εκτιμήσεις υψηλής ακρίβειας συγκριτικά με τα άλλα μαθηματικά μοντέλα, ενώ ταυτόχρονα λαμβάνει υπόψη του στην μαθηματική του έκφραση την κλίση της διάταξης. Σημειώνεται, ότι στους υπολογισμούς δε λήφθηκε υπόψη η αύξηση του ύψους των κυμάτων λόγω ρήχωσης (καθώς το κύμα οδηγείται στην παράκτια περιοχή αυξάνεται το ύψος του λόγω μείωσης του βάθους της θάλασσας και μειώνεται το μήκος κύματος) αλλά ούτε και το φαινόμενο “swell” (ένα κύμα μεταδίδεται σε μία παράκτια περιοχή ενώ έχει γεννηθεί σ’ άλλη).

Ακόμη, συνίσταται η χρήση πολυεπίπεδων δεξαμενών, καθώς έχει διαπιστωθεί ότι αυξάνει τη δυνατότητα συλλογής των αναρριχώμενων κυματισμών. Στην παρούσα εργασία η ιδέα αυτή υιοθετείται και χρησιμοποιούνται τρεις πολυεπίπεδες δεξαμενές διαφορετικού ύψους κατασκευής  $R_{c1}=1,5\text{m}$ ,  $R_{c2}=3\text{m}$ ,  $R_{c3}=5\text{m}$  και βάθος εγκατάστασης  $d=10\text{m}$ . (γεωμετρικά δεδομένα της πρότυπης διάταξης SSG που μελετήθηκε για την περιοχή Knitsoy της Νορβηγίας). Ως γωνία κλίσης του ενεργειακού κυματοθραύστη επιλέξαμε τη βέλτιστη, αυτή που θα παρέχει την μεγαλύτερη ποσότητα κυματισμών, όπως θα δούμε παρακάτω και αυτή είναι  $\theta=22^\circ$ . Το μήκος κατασκευής ξεκίνησε για μία τιμή  $l=100\text{m}$  και επιλέχθηκε εκείνο το μήκος σύμφωνα με το οποίο η διάταξη θα αποδώσει περισσότερη παραγόμενη ενέργεια συναρτήσει του κόστους κατασκευής. Τέλος, στον τύπο της υδραυλικής ισχύος μιας δεξαμενής παίρνουμε ως  $R_c$  το ύψος απ’ την επιφάνεια της θάλασσας έως το ύψος της ράμπας της δεξαμενής την οποία εξετάζουμε. Αυτό γίνεται, διότι για να γεμίσει μία δεξαμενή (i) θεωρήθηκε ότι προηγουμένως έχει γεμίσει η χαμηλότερη σε ύψος δεξαμενή (i-1).



Εικόνα 6.5.1 Διάταξη SSG.

## 6.6. Εκτίμηση Παροχής Αναρρίχησης Κυματισμού

Ο υπολογισμός της μέσης ετήσιας παροχής αναρρίχησης κυματισμού  $Q_k$  που συλλέγεται στις δεξαμενές υπολογίζεται σύμφωνα με την Σχέση 6.6.1 υπολογίζεται ανά ύψος δεξαμενής  $R_c$  και ανά μήκος κατασκευής  $l$ . Ακόμη, υπολογίζεται σύμφωνα με τα παραπάνω ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου. :

$$Q_{k, \text{ετήσια}} = \int_{k=0}^n q_{k, R_c, s} \times f \times l$$

**Σχέση 6.6.1** Μέση ετήσια παροχή αναρρίχησης κυματισμού.

Όπου:

$f$  (%) : η συχνότητα εμφάνισης ανέμων,

$l$  [m] : το μήκος της κατασκευής και

$q$  [m<sup>3</sup>/s/m] : η στιγμιαία παροχή αναρρίχησης ανά  $l$  και ανά ύψος  $R_c$  της κατασκευής.



Η μαθηματική έκφραση της στιγμιαίας παροχής αναρρίχησης  $q$  [ $m^3 /s/m$ ] πραγματοποιείται σύμφωνα με το μοντέλο VMJ και αφορά την παρακάτω Σχέση 6.6.2 :

$$q = \begin{cases} \sqrt{\frac{\tan \theta}{Sop}} \times \sqrt{g \times Hs^3} \times Q, & \text{για } \xi < 2 \\ \sqrt{g \times Hs^3} \times Q, & \text{για } \xi > 2 \end{cases}$$

**Σχέση 6.6.2** Στιγμιαίας παροχής αναρρίχησης.

Όπου:

$Hs$  : το ύψος του κύματος στη βάση της κατασκευής,

$\theta$  : η γωνία κλίσης της διάταξης για τη συλλογή των κυματισμών,

$g$  : η επιτάχυνση της βαρύτητας η οποία ισούται με 9,81 [ $m^2/s$ ]

$Sop$  : η αποκρημνότητα καμπυλότητα του κύματος σύμφωνα με τη Σχέση 6.6.3 .

$$Sop = \frac{Ho}{Lo}$$

**Σχέση 6.6.3** Αποκρημνότητα του κύματος.

Όπου:

$Lo$  : το μήκος κύματος για

1. Βαθιά νερά :

$$Lo = \frac{g \times T^2}{2\pi}, \quad \text{για } \frac{do}{L} > 0,5 \text{ ή } k \times do < \pi$$

2. Ρηχά νερά :

$$Lo = \sqrt{g \times do} \times T, \quad \text{για } \frac{do}{L} < 0,05 \text{ ή } k \times do < 0,1 \times \pi,$$

Όπου  $k$ : αριθμός κύματος  $k = \frac{2 \times \pi}{L}$ ,

3. Ενδιάμεσα νερά λαμβάνουμε αυτά που δεν ανήκουν στις δύο προηγούμενες κατηγορίες :

$$Lo = \frac{g \times T^2}{2 \times \pi} \times \tanh \frac{2 \times \pi \times D}{L}$$

**Σχέση 6.6.3** Μήκος κύματος (Ρηχά, Βαθιά και Ενδιάμεσα νερά).

Πραγματοποιήθηκαν κατάλληλες δοκιμές και βρέθηκαν τα μήκη κύματος για κάθε ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου ξεχωριστά με τη βοήθεια του προγράμματος Excel (Παραρτήματα).

Ακόμη, η μεταβλητή  $Q$  είναι η αδιαστατοποιημένη παράμετρος της παροχής αναρρίχησης και υπολογίζεται μέσω της Σχέσης 6.6.4. Στην εν λόγω σχέση,  $R_c$  είναι το ύψος της κατασκευής πάνω από το επίπεδο της θάλασσας,  $T$  η περίοδος του κύματος και  $\gamma_r \cdot \gamma_h \cdot \gamma_b \cdot \gamma_\beta$  οι μειωτικοί συντελεστές συνυφασμένοι με χαρακτηριστικά της διάταξης, όπως η γεωμετρία της κεκλιμένης επιφάνειας στη βάση της κατασκευής, η τραχύτητα του υλικού κατασκευής, η κλίση της επιφάνειας κ.α. Όλοι οι μειωτικοί παράγοντες κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 0,5 έως 1. Όταν επιθυμούμε τη θραύση του κυματισμού και την ανάκλασή του, όπως συμβαίνει στους κλασικούς κυματοθραύστες, οι μειωτικοί συντελεστές τίθενται με την ελάχιστη τιμή, καθώς οι επιφάνειες που χρησιμοποιούνται είναι τραχιές και διαπερατές, ώστε να μειώνεται η ενέργεια των εισερχόμενων κυμάτων. Όταν όμως, επιδιώκουμε τη μεγιστοποίηση του αναρριχόμενου κυματισμού, όπως συμβαίνει στην περίπτωση που εξετάζουμε, οι μειωτικοί συντελεστές τίθενται με μονάδα. Οι επιφάνειες στην περίπτωση αυτή είναι λείες, χαμηλής τραχύτητας και μη διαπερατής επιφάνειας. Τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι λείο οπλισμένο σκυρόδεμα ή μέταλλο με ειδικές αντιδιαβρωτικές επικαλύψεις.

$$Q = \begin{cases} 0,06 \times \exp \left( -5,2 \times \frac{R_c}{T \times \sqrt{g * H_{s, toe}}} \right), & \text{για } \xi < 2 \\ 0,2 \times \exp \left( -2,6 \times \frac{R_c}{H_{s, toe}} \times \frac{1}{\gamma_r \times \gamma_h \times \gamma_b \times \gamma_\beta} \right), & \text{για } \xi > 2 \end{cases}$$

**Σχέση 6.6.4** Αδιαστατοποιημένη παράμετρος της παροχής αναρρίχησης.

Όπως γίνεται εμφανές, στις παραπάνω σχέσεις ο υπολογισμός της στιγμιαίας αναρρίχησης  $q$  αλλά και της αδιαστατοποιημένης παροχής  $Q$  εξαρτάται από την τιμή του μεγέθους  $\xi$ . Ο αριθμός αυτός ορίζεται ως αριθμός Iribarren η αλλιώς παράμετρος της αποκρημνότητας του κύματος. Η τιμή της μεταβλητής  $\xi$  καθορίζει αν θα επέλθει θραύση στους εισερχόμενους κυματισμούς. Για τιμές μικρότερες του  $\xi < 2$ , ο κυματισμός θραύεται και άρα χάνει ενέργεια πριν συλλεχτεί στις δεξαμενές. Αντίθετα, για τιμές μεγαλύτερες του  $\xi > 2$ , η ενέργεια των κυμάτων αν δεν απορροφηθεί με θραύση ανακλάται. Πλήρης ανάκλαση παρατηρείται σε περίπτωση πρόσπτωσης του κυματισμού σε κατακόρυφο λείο μέτωπο.

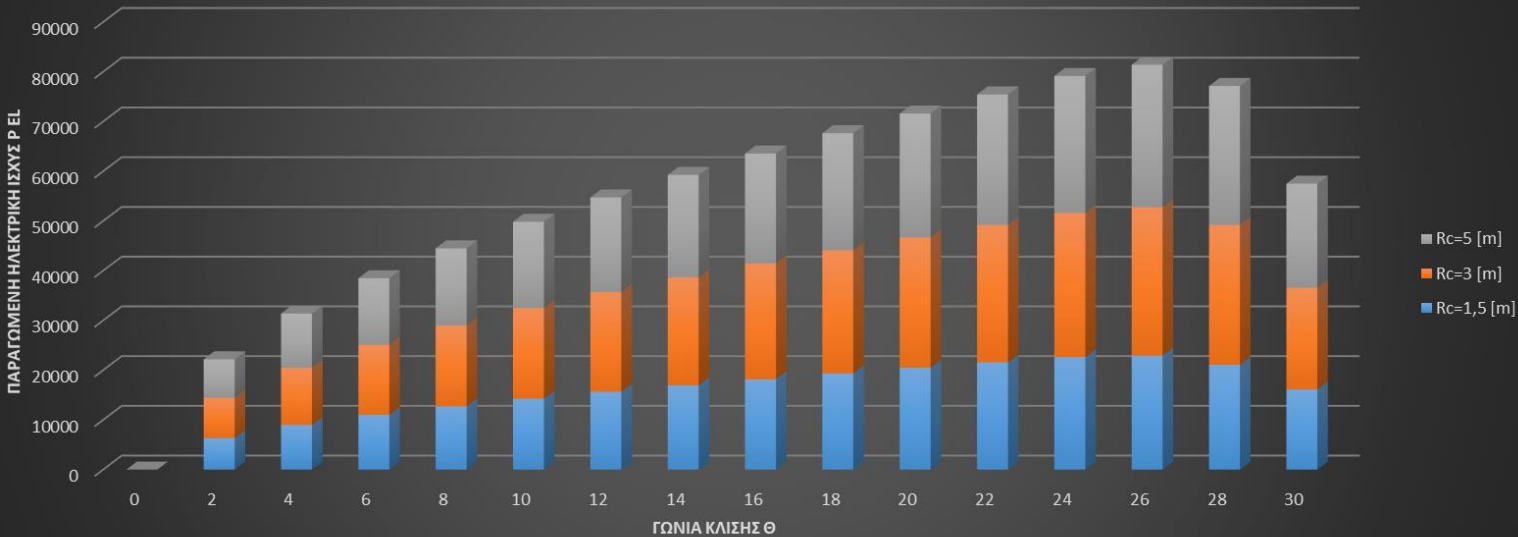
$$\xi = \frac{\tan \theta}{\sqrt{Sop}}$$

**Σχέση 6.6.5** Παράμετρος της αποκρημνότητας του κύματος  $\xi$ .

Ακόμη, γίνεται αντιληπτό, ότι για την μεγιστοποίηση των αναρριχόμενων κυματισμών ο καθορισμός της γωνίας  $\theta$  έχει σημαντικό ρόλο, καθώς η επιλογή μικρών γωνιών αυξάνει τον κίνδυνο θραύσης του κυματισμού και άρα τις απώλειες ενέργειας αλλά και από την άλλη μεριά, η επιλογή μεγάλων γωνιών κλίσης μπορεί να επιφέρει ανάκλαση των κυμάτων με αποτέλεσμα την τελική μείωση του μεγέθους της αναρρίχησης. Για τη βέλτιστη επιλογή των παραμέτρων  $\theta$  και  $R_c$  στην τελική διαστασιολόγηση της διάταξης μελετήθηκε η μεταβολή της παραγόμενης ενέργειας αθροιστικά και από τις τρεις δεξαμενές συναρτήσεως της γωνίας κλίσης της διάταξης. Στο παρακάτω Γράφημα 6.6.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από

την παραμετροποίηση των μεγεθών  $R_c$  και  $\theta$ . Η σταδιακή αύξηση είναι εμφανής όσο αυξάνεται και η γωνία μέχρι ένα εύρος κρίσιμων τιμών 16-26 μοίρες. Περαιτέρω αύξηση της γωνίας προκαλεί το φαινόμενο της ανάκλασης, με αποτέλεσμα η παροχή αναρρίχησης να μειωθεί και να σταθεροποιηθεί. Την ίδια πορεία ακολουθεί και η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς.

### ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΓΩΝΙΑΣ $\theta$



Γράφημα 6.6.1 Επίδραση κλίσης  $\theta$  στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

### 6.7. Ενεργειακή Απόδοση

Η ενεργειακή απόδοση της διάταξης επηρεάζεται άμεσα από τις ανεμολογικές και κυματικές συνθήκες. Ακόμη, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς εξαρτάται από τον εγκατεστημένο υδροστρόβιλο της διάταξης. Καθώς η υψομετρική διαφορά των δεξαμενών με το επίπεδο της θάλασσας είναι της τάξεως των 5m, ο υδροστρόβιλος που εγκαθίσταται είναι τύπου Karlan, λαμβάνοντας υπόψη ότι κρίνεται κατάλληλος για εφαρμογές χαμηλού μανομετρικού ύψους < 20m. Έτσι σύμφωνα με τη Ρευστομηχανική, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς ενός υδροστρόβιλου δίδεται από την Σχέση 6.7.1 :

$$Pel = n0\Lambda \times \rho \times g \times qk,s \times H$$

Σχέση 6.7.1 Αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς ενός υδροστρόβιλου.

Όπου:

$\rho$  : η πυκνότητα του νερού 1000 [kg/m<sup>3</sup>],

$g$  : η επιτάχυνση της βαρύτητας 9,81 [m/s<sup>2</sup>],

$H$  : το καθαρό ύψος υδραυλικής πτώσης [m],

$qk,s$  : η παροχή αναρρίχησης όπως υπολογίστηκε παραπάνω [m<sup>3</sup>/s] και

$n_{ολ}$  : Συνολικός βαθμός απόδοσης της διάταξης.

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης της διάταξης  $n_{ολ}$  είναι το γινόμενο των επιμέρους βαθμών απόδοσης της υδραυλικότητας του στροβίλου και της γεννήτριας σύμφωνα με τη Σχέση 6.7.2 :

$$n_{ολ} = n_{hydraulic} \times n_{turbine} \times n_{generator}$$

**Σχέση 6.7.2** Συνολικός βαθμός Απόδοσης την διάταξης.

Όπου:

$n_{hydraulic}$  : 30-40 % (υδραυλικό),

$n_{turbine}$  : 70-90 % (στροβίλου) και

$n_{generator}$  : 90-95 % (ηλεκτρογεννήτριας),

Οι παραπάνω υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με το πρόγραμμα Excel (Παραρτήματα). Εν πρώτοις, υπολογίστηκε η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς  $P_{el}$  για μία διεύθυνση και ταχύτητα του ανέμου και στις τρεις δεξαμενές ( $Rc=1,5$  [m],  $Rc=3$  [m],  $Rc=5$  [m]) και στη συνέχεια το πολλαπλασιάσαμε με τη συχνότητα εμφάνισης της ταχύτητας κάθε ανέμου, ώστε να βρούμε την ηλεκτρική ισχύ  $P_{el,f}$  (Σχέση 6.7.3). Εν συνεχεία, προσθέσαμε όλες τις  $P_{el,f}$  και για τις τρεις διευθύνσεις του ανέμου που μας ενδιαφέρουν (Βόρειος, Βορειοδυτικός και Βορειοανατολικός) και πολλαπλασιάσαμε με το μήκος όλης της διάταξης, ώστε να έχουμε την ισχύ  $\sigma'$  όλη την διάταξη(Σχέση 6.7.4).

$$P_{el,f} = P_{el} \times f$$

**Σχέση 6.7.3** Ηλεκτρική ισχύς.

$$P_{el,f} * l = \sum P_{el,f} \times l$$

**Σχέση 6.7.4** Ισχύς όλης της διάταξης.

Έπειτα, για να υπολογίσουμε την ενέργεια που παράγεται σε kW/h για έναν ολόκληρο χρόνο πολλαπλασιάσαμε τη συνολική ισχύ της διάταξης  $P_{el,*l}$  με τις ώρες ενός ολόκληρου χρόνου.

$$E_{k, \acute{\epsilon}τους} = \sum P_{el,f} * l \times 24 \times 366$$

**Σχέση 6.7.4** Ισχύς όλης της διάταξης.

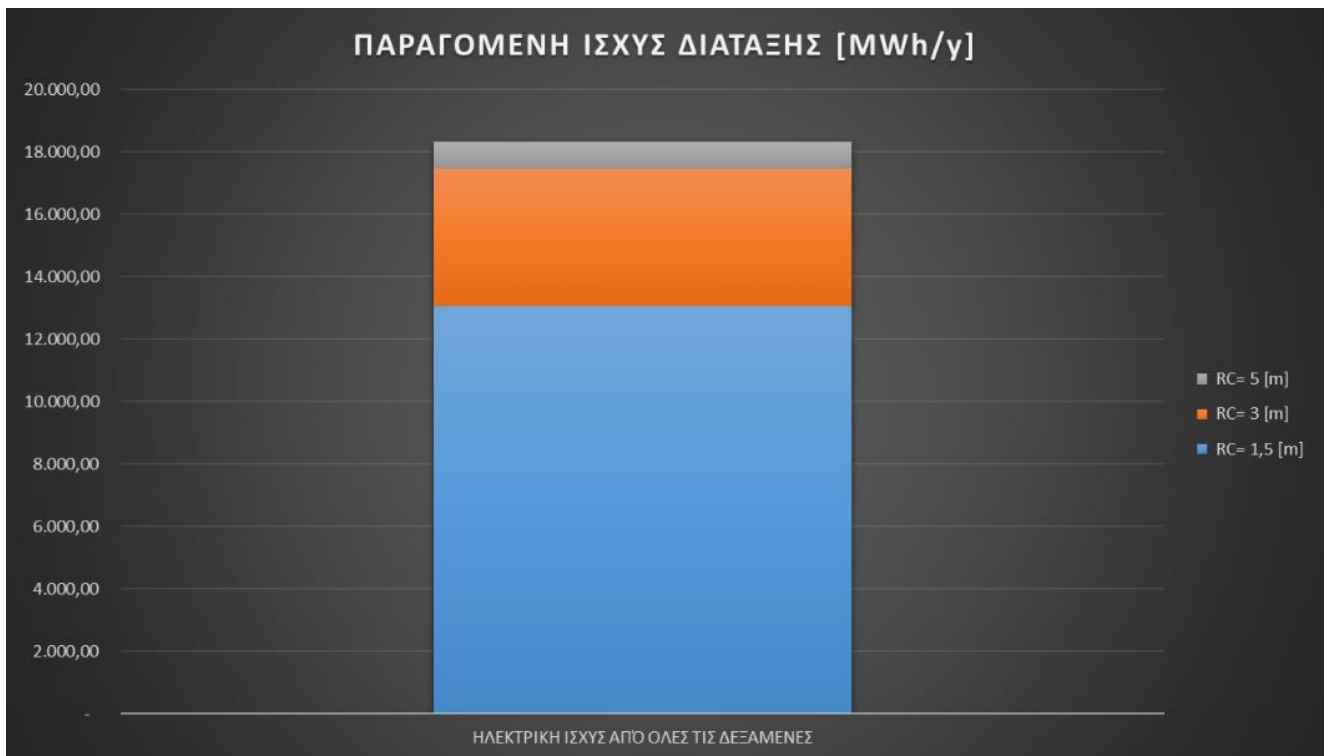
Επιπλέον, στο Γράφημα 6.7.1 και στον Πίνακα 6.7.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας από την διάταξη SSG και για τις τρεις δεξαμενές. Σε ετήσια βάση η διάταξη SSG παράγει ενέργεια της τάξης των 18.309,24 [MWh/γ].

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΑΠΟ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ	
RC= 1,5 [m]	13.038,08
RC= 3 [m]	4.424,94
RC= 5 [m]	846,22

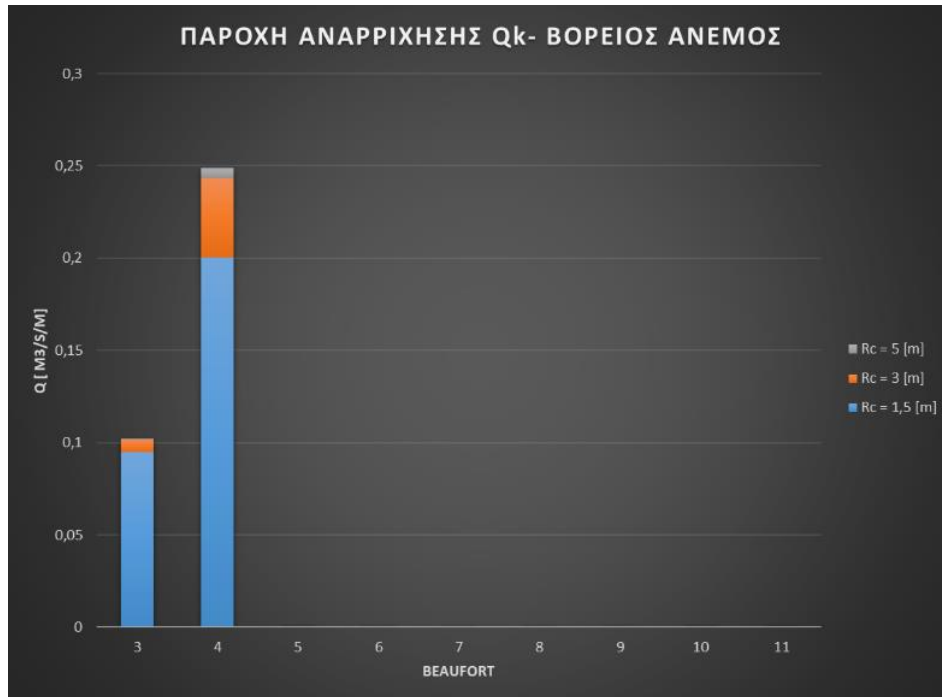
ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ	
Εκ,έτους	18.309,24 [MWh/y]

Πίνακας 6.7.1 Ηλεκτρική ισχύς δεξαμενών για ένα έτος.

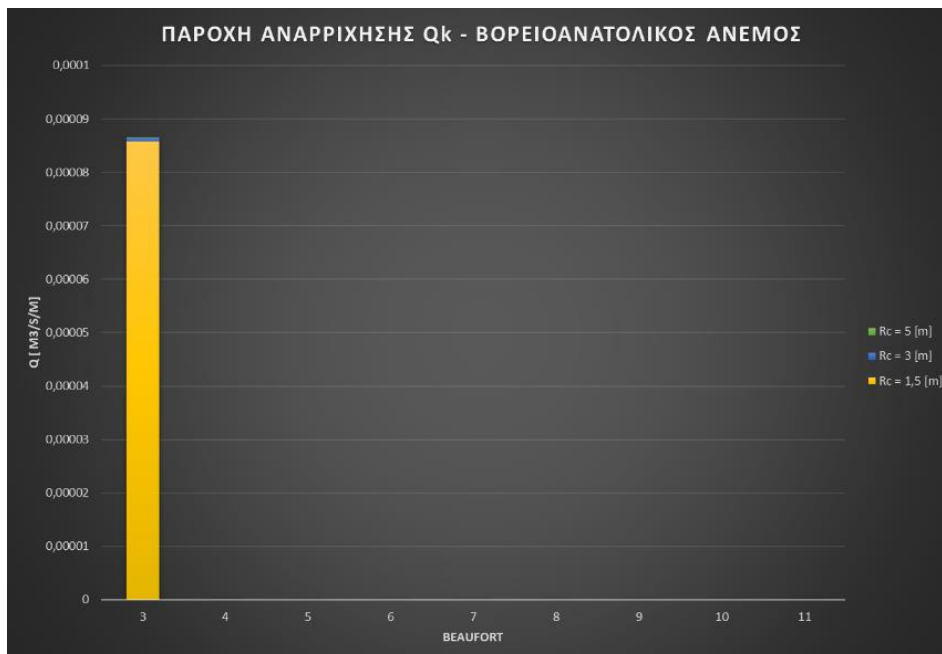


Γράφημα 6.7.1 Ηλεκτρική ισχύς δεξαμενών [MWh/y] το έτος.

Τέλος, ακολουθούν δύο διαγράμματα παροχής αναρρίχησης για τις δύο διευθύνσεις ανέμου που εξετάσαμε, οι οποίες επιλέχτηκαν σύμφωνα με όσα αναφέραμε παραπάνω. Παρατηρούμε όμως, ότι ο βορειοανατολικός άνεμος δεν έχει συχνότητα εμφάνισης και έτσι η παροχή αναρρίχησης είναι μηδέν.



**Γράφημα 6.7.2** Παροχή αναρρίχησης Q<sub>k</sub> για Βόρειο άνεμο.



**Γράφημα 6.7.3** Παροχή αναρρίχησης Q<sub>k</sub> για Βορειοανατολικό άνεμο.

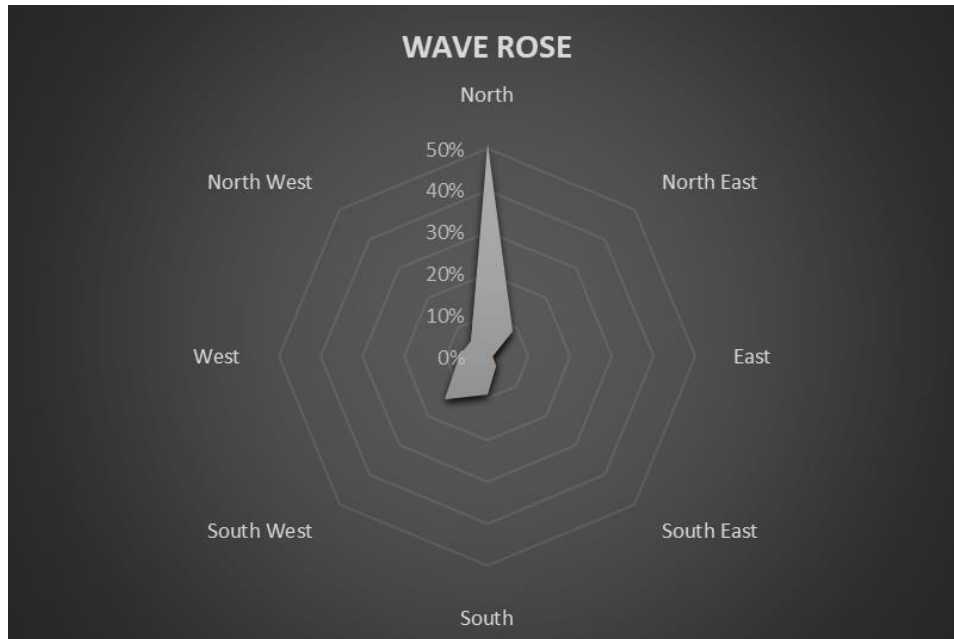
## 7. ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ ΜΕ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

### 7.1. Εισαγωγή

Η ανάλυση του κεφαλαίου 6 οδήγησε στο συμπέρασμα, ότι η διάταξη του ενεργειακού κυματοθραύστη παράγει 18.309,24 [MWh/y], ποσό που αντιστοιχεί περίπου στο 18,8 % της ζήτησης του νησιού ανά έτος, και άρα είναι ικανή να μειώσει την κατανάλωση πετρελαίου από τους πετρελαϊκούς σταθμούς. Ακόμη, η μελέτη πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ως δεδομένα τα αποτελέσματα του αριθμητικού μοντέλου Jonsvarp. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν από αυτό τα πεδία ανέμων πάνω από τη θαλάσσια λεκάνη και υπολογίστηκε το φάσμα κύματος. Ωστόσο, για να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα σημαντικό είναι να πραγματοποιήσουμε ξανά τη μελέτη, εισάγοντας δεδομένα που προέρχονται από έμμεσες μετρήσεις (δορυφόρους) για την ίδια περιοχή και έτος που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Πιο συγκεκριμένα, στο κεφάλαιο αυτό, μελετάται η εγκατάσταση ίδιου τύπου ενεργειακού κυματοθραύστη με δεδομένα του κυματικού δυναμικού ανά 6 ώρες. Η μέθοδος αυτή παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια και ασφάλεια στους υπολογισμούς, διότι παρέχονται ακριβή δεδομένα για το ύψος κύματος και την περίοδο, χωρίς τη χρήση κάποιου εμπειρικού μοντέλου. Συνεπώς, επιλέγονται και παρουσιάζονται εκείνα για το έτος 2012 και πραγματοποιείται η ενεργειακή ανάλυση για την αποτίμηση της λειτουργίας της διάταξης αναρρίχησης κυματισμού.

### 7.2. Δεδομένα κυματικού δυναμικού

Κατ' αρχάς, τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν για την Σύρο προέρχονται από τα αντίστοιχα παγκόσμια δορυφορικά δεδομένα και αποτελούνται από το σημαντικό ύψος συνδυασμένων κυμάτων και ανέμου (m), τη μέση περίοδο ενεργειακής πυκνότητας κύματος (s), τη μέση κατεύθυνση κύματος (μοίρες), το γεωγραφικό πλάτος, το γεωγραφικό μήκος, το μήνα, την ημέρα και την ώρα που έγινε η παρατήρηση. Στη συνέχεια, ομαδοποιήθηκαν στις μέρες και στους μήνες του έτους 2012 (Παράρτημα 4). Έπειτα, στο Γράφημα 7.2.1 παρατίθεται η συχνότητα εμφάνισης των κυμάτων σύμφωνα με τις διευθύνσεις τους. Οι κύριες διευθύνσεις παρατίθενται με τους συμβολισμούς NW, W, SW, S, SE, E, NE, N και αντιστοιχούν σε διευθύνσεις Βορειοδυτικής, Δυτικής, Νοτιοδυτικής, Νότιας, Νοτιοανατολικής, Ανατολικής, Βορειοανατολικής και Βόρειας διεύθυνσης αντίστοιχα. Πέρα από αυτό, διαπιστώνεται ότι μεγαλύτερη δυνατότητα ανάπτυξης και δράσης των κυματισμών είναι αυτή της Βόρειας μεριάς, όπως και στη μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, με αποτέλεσμα να ορίζεται ως κατάλληλη περιοχή εγκατάστασης της προτεινόμενης διάταξης, η Βόρεια πλευρά του νησιού. Συνεπώς, όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η διάταξη είναι ικανή να δέχεται κύματα Βόρειας, Βορειοανατολικής και Βορειοδυτικής κατευθύνσεως, για την ακρίβεια αντιστοιχεί σε κύματα για 238,5 ημέρες του έτους σύμφωνα με τα δορυφορικά δεδομένα που έχουμε στη διάθεση μας.



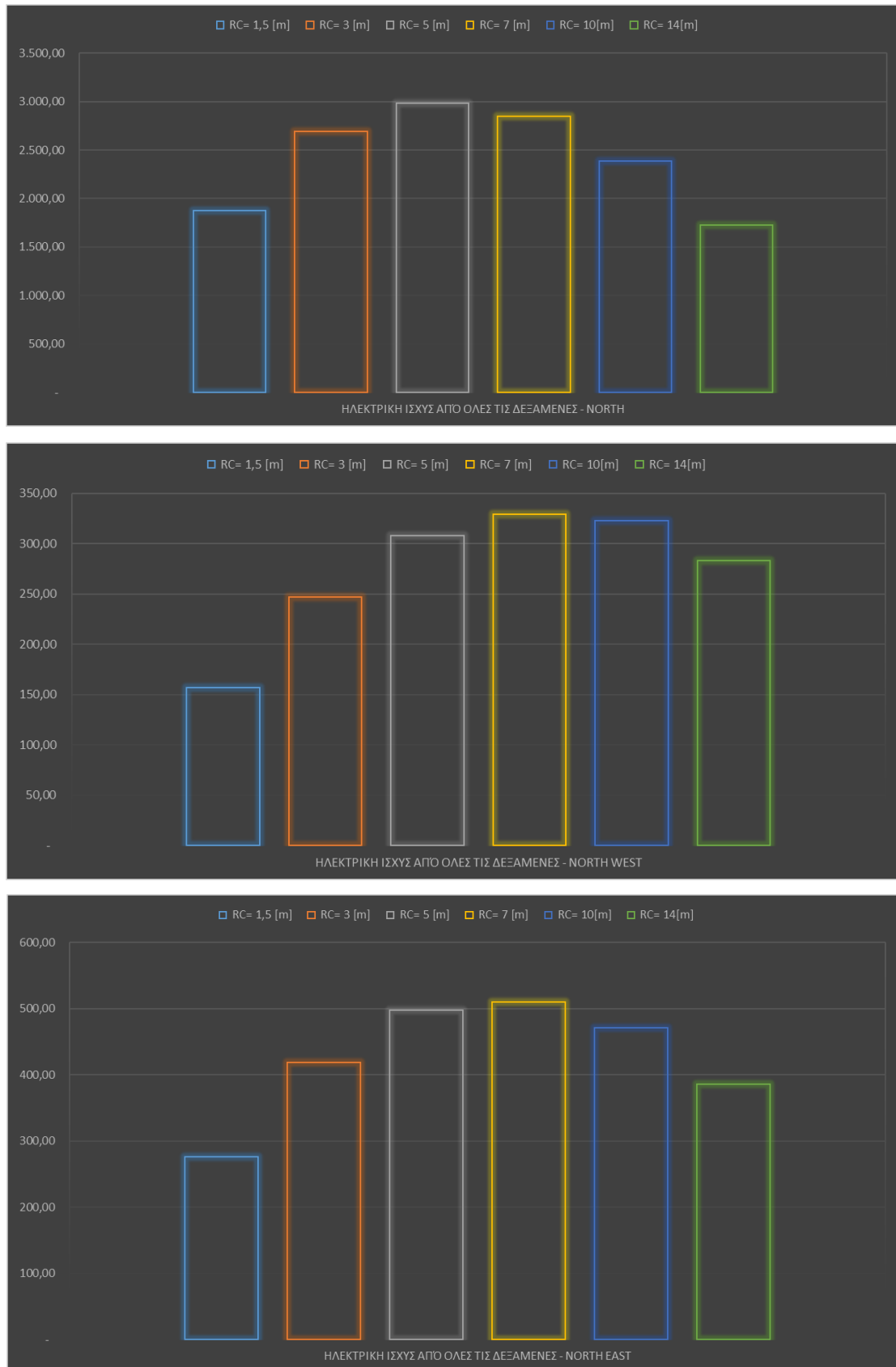
Significant height (m)	North	North East	East	South East	South	South West	West	North West
0,06-1,06 [m]	30%	6%	1%	2%	6%	12%	5%	4%
1,06-2,06 [m]	46%	8%	1%	3%	9%	14%	6%	5%
>2,06 [m]	51%	9%	1%	3%	9%	14%	7%	5%

**Γράφημα 7.2.1** Συχνότητα εμφάνισης κυμάτων σύμφωνα με τις διευθύνσεις τους το έτος 2012.

### 7.3.Ενεργειακή ανάλυση κυματοθραύστη

Η μέθοδος ενεργειακής αποτίμησης του ενεργειακού κυματοθραύστη είναι όμοια με την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο κεφάλαιο 6. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζεται η μέση ετήσια παροχή αναρρίχησης κυματισμού  $Q_k$  που συλλέγεται στις δεξαμενές σύμφωνα με το μοντέλο Van der Meer (VMJ) (Σχέση 6.6.1) και έπειτα η ετήσια παραγόμενη ενέργεια από την διάταξη SSG και για τις τρεις δεξαμενές. Αξίζει να επισημανθεί, ότι για τη μεγιστοποίηση των αναρριχώμενων κυματισμών ο καθορισμός της γωνίας  $\theta$  και το ύψος των τριών δεξαμενών έχει σημαντικό ρόλο. Για την καλύτερη επιλογή των παραμέτρων  $\theta$  και  $R_c$  στην τελική διαστασιολόγηση της διάταξης μελετήθηκε η μεταβολή της παραγόμενης ενέργειας από τις τρεις δεξαμενές συναρτήσει της γωνίας κλίσης της διάταξης. Στα παρακάτω Γραφήματα 7.3.1 και 7.3.2. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την παραμετροποίηση των μεγεθών. Σύμφωνα με αυτή, παρατηρούμε ότι βέλτιστη γωνία είναι  $\theta=18^\circ$  και για τις τρεις δεξαμενές επιλέγονται τα ύψη  $R_{c1}= 3 [m]$ ,  $R_{c2}= 5 [m]$  &  $R_{c3}= 7 [m]$ .





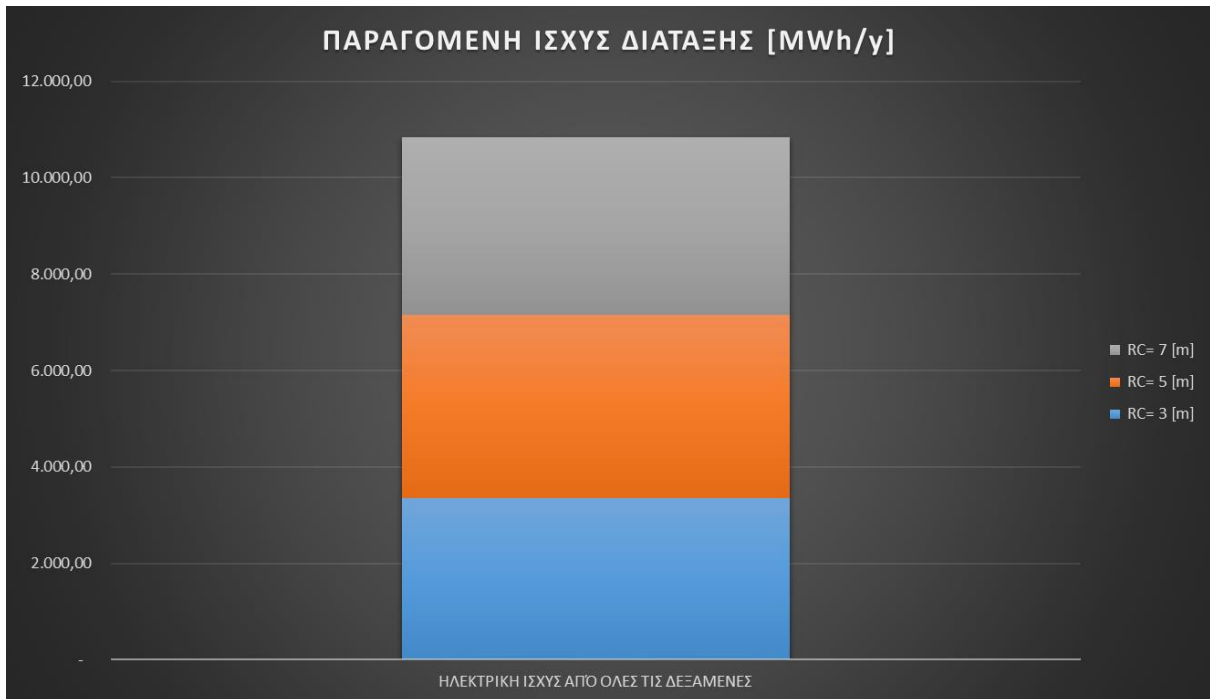
Γράφημα 7.3.1 Επίδραση Rc [m] δεξαμενών στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.



**Γράφημα 7.3.2** Επίδραση κλίσης  $\theta$  στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Τέλος, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς εξαρτάται από τον εγκατεστημένο υδροστρόβιλο της διάταξης. Δεδομένου ότι η υψομετρική διαφορά των δεξαμενών με το επίπεδο της θάλασσας είναι της τάξεως των 7 m πλέον, ο υδροστρόβιλος που εγκαθίσταται και εδώ είναι τύπου Kaplan, καθώς, όπως έχει προαναφερθεί, κρίνεται κατάλληλος για εφαρμογές χαμηλού μανομετρικού ύψους < 20m. Έτσι, σύμφωνα με τη Ρευστομηχανική έχουμε την αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ του υδροστρόβιλου, σύμφωνα με τις σχέσεις που αναφέραμε στο παραπάνω κεφάλαιο. Ακόμη, υπολογίστηκε η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς  $P_{el}$  για μία διεύθυνση κυματογένεσης ( $R_c=3$  [m],  $R_c=5$  [m],  $R_c=7$  [m]). Έπειτα, προσθέσαμε όλες τις  $P_{el}$  και για τις τρεις διευθύνσεις που μας ενδιαφέρουν (Βόρειος, Βορειοδυτικός και Βορειοανατολικός) και πολλαπλασιάσαμε με το μήκος όλης της διάταξης, ώστε να λάβουμε

την ισχύ σε όλη την διάταξη. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Γράφημα 7.3.3 και στον Πίνακα 7.3.1 και αφορούν, όπως ήδη αναφέραμε παραπάνω, τις 238,5 ημέρες του έτους για τις οποίες αναπτύσσονται κύματα Βορείας, Βορειοανατολικής και Βορειοδυτικής κατευθύνσεως. Σε ετήσια βάση η διάταξη SSG παράγει ενέργεια της τάξης των 10.837,452 [MWh/y].



**Γράφημα 7.3.3** Ηλεκτρική ισχύς διάταξης για 238,5 ημέρες το έτος που έχουμε κύματα Βορείας, Βορειοανατολικής και Βορειοδυτικής κατευθύνσεως.

ΒΟΡΕΙΟΣ ΑΝΕΜΟΣ PeI			ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ PeI			ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ PeI		
RC= 3 [m]	RC= 5 [m]	RC= 7 [m]	RC= 3 [m]	RC= 5 [m]	RC= 7 [m]	RC= 3 [m]	RC= 5 [m]	RC= 7 [m]
2694,082	2983,088	2849,543	418,418	497,873	509,5947	247,107	308,134	329,6124959
<b>8526,713</b>			<b>1425,885</b>			<b>884,854</b>		
<b>10837,452</b>								

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΑΠΟ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ	
RC= 3 [m]	3.359,61
RC= 5 [m]	3.789,10
RC= 7 [m]	3.688,75

ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ		
Εκ.έτους	<b>10.837,45</b>	<b>[MWh/y]</b>

**Πίνακας 7.3.3** Ηλεκτρική ισχύς δεξαμενών για ένα έτος 2012.

## 8. ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗΣ ΣΕ ΜΕΛΕΤΗ JONSWAP

### 8.1. Κόστος διάταξης SSG

Στο κεφάλαιο αυτό, θα κοστολογήσουμε τη διάταξη του κεφαλαίου 6 (ανεμολογικών δεδομένων) και έπειτα θα αξιολογήσουμε τη βιωσιμότητα της επένδυσης του συστήματος SSG σύμφωνα με τα δεδομένα μας.

Στον Πίνακα 8.1.1 παρουσιάζονται τα δεδομένα για τα επιμέρους κόστη της κατασκευής. Τα δεδομένα αυτά παρέχονται από την βιβλιογραφία [1] (κόστη κατασκευής επιμέρους τμημάτων διάταξης ενεργειακού κυματοθραύστη). Πιο αναλυτικά, στον πίνακα παρατηρούμε το κόστος του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, το οποίο αφορά το κόστος χρήσης ενός υδροστατικού τροχού HPWs τύπου Kaplan. Το κόστος αυτό, υπολογίζεται σύμφωνα με τα αποτελέσματα του κεφαλαίου 6 και το πρόγραμμα Excel, το μέγεθος της εγκατεστημένης ισχύος  $P_{HPWs}$  θα είναι 2.084,39 [kW]. Ακόμη, εξετάσαμε τη διάταξη, ώστε να καταλαμβάνει  $l_{SSG}$  100m κατά μήκος του κυματοθραύστη. Ενώ, δεν υπάρχει κόστος μεταφοράς ενέργειας, διότι η εγκατάσταση είναι κοντά στην ακτή.

Από όσα αναφέραμε, το συνολικό κόστος της κατασκευής παρουσιάζεται στον Πίνακα 8.1.2 και θα περιλαμβάνει και το κόστος εγκατάστασης. Πιο αναλυτικά από την Σχέση 8.1.1:

$$K_{\text{κατασκευής}} = (P_{HPWs} * 4.000 \text{ [€/Kw]}) + 20.000 \text{ [€]} + (l_{SSG} * 3.000 \text{ [€/m]})$$

**Σχέση 8.1.1** Κόστος κατασκευής της διάταξης SSG.

ΜΟΝΑΔΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ / ΜΗΚΟΣ	ΕΞΟΔΑ
Κόστος χρήσης υδροστατικού τροχού HPWs τύπου Kaplan	0 - 50 [kW]	6000 [€ / kW] + 20000 [€] για την εγκατάσταση
	50 - 100 [kW]	5000 [€ / kW] + 20000 [€] για την εγκατάσταση
	>=110 [kW]	4000 [€ / kW] + 20000 [€] για την εγκατάσταση
Ράμπα - Τοίχος	110 [m]	3000 [€ / m]
Εκροές		50-100000€
Μετάδοση		20.000 €

**Πίνακας 8.1.1** Επιμέρους κόστη για την κατασκευή της διάταξη SSG.

ΕΓΚΑΤΑΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ [kW]		
$P_{HPWs} =$	2084,39	[Kw]
ΜΕΤΡΑ ΠΟΥ ΚΑΤΑΛΑΜΒΑΝΕΙ Η ΔΙΑΤΑΞΗ		
$l_{SSG} =$	100	[m]
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ		
$K_{\text{κατασκευής}} =$	8.657.560,00	[€]

**Πίνακας 8.1.2** Κόστος κατασκευής της διάταξης SSG.

Ακολούθως, για το κόστος ολόκληρης της διάταξης θα πρέπει να συνυπολογίσουμε και τα κόστη του σχεδιασμού και της διαχείρισης του SSG, το κόστος της διαδικασίας της τοποθέτησης της εγκατάστασης αλλά και της απεγκατάστασής της. Θεωρούμε ένα 2% ως ποσοστό ανασφάλειας στους υπολογισμούς. Στο παρακάτω γράφημα παραθέτουμε το κοστολογικό μοντέλο που ακολουθήσαμε.



**Γράφημα 8.1.1** Κόστη για ολοκληρωμένη μελέτη και κατασκευή μιας διάταξης SSG.

Στον παρακάτω πίνακα είναι τα αποτελέσματα για το συνολικό κόστος της διάταξης, το οποίο υπολογίζεται αφαιρώντας την αποξήλωση, θεωρώντας ότι μετά τα 20 χρόνια λειτουργίας θα αξιοποιηθεί σύμφωνα με τις τότε νέες τεχνολογίες. Οπότε ως συνολικό κόστος λαμβάνουμε το ποσό των 10.058.047,65 €.

<b>Συσκευή, εγκατάσταση και μετάδοση</b>	68%	8.657.560,00	[€]
<b>Σχεδιασμός, μηχανική και διαχείριση</b>	4%	509.268,24	[€]
<b>Συνδεση</b>	5%	636.585,29	[€]
<b>Αποσύνδεση</b>	21%	2.673.658,24	[€]
<b>Ασφάλιση</b>	2%	254.634,12	[€]
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ</b>	<b>100%</b>	<b>12.731.705,88</b>	<b>[€]</b>
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ</b>		<b>10.058.047,65</b>	<b>[€]</b>

**Πίνακας 8.1.3** Κόστη για ολοκληρωμένη μελέτη και κατασκευή μιας διάταξης SSG

## 8.2. Τιμολόγηση Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η τιμολόγηση της παραγόμενης ενέργειας πραγματοποιήθηκε από στοιχεία του Πίνακα 8.2.1 (στοιχεία Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας). Έπειτα, οι ενεργειακοί κυματοθραύστες κατατάσσονται στην κατηγορία λυιές ΑΠΕ με τιμή 99,45 [€/MWh]. Οπότε, σύμφωνα με την ετήσια ενέργεια που παράγει η διάταξη SSG ( $E_{\text{κ,έτους}} = 18.309,24$  [MWh/γ]) έχουμε τα ακόλουθα κέρδη :

$$\text{ΚΕΡΔΗ} = E_{\text{κ,έτους}} * 99,45 \text{ [€/MWh]} = 1.820.854,27 \text{ €}$$

**Σχέση 8.2.1** Κέρδη της διάταξης SSG.

Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από:	Τιμή Ενέργειας (€/MWh)	
	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με χερσαίες εγκαταστάσεις ισχύος > 50 kW	87,55	99,45
Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος < 50 Kw	250	
Φωτοβολταϊκά έως 10 kW <sub>peak</sub> στον οικιακό τομέα και σε μικρές επιχειρήσεις	550	
Υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται από μΥΗΣ με εγκατεστημένη ισχύ < 15 MWe	87,55	
Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από Ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	264,85	
Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από Ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με σύστημα αποθήκευσης το οποίο εξασφαλίζει τουλάχιστον 2 ώρες λειτουργίας στο ονομαστικό φορτίο	284,85	
Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής θερμοκρασίας	150	
Γεωθερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας	99,45	
Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ • <= 1 MW • >=1 MW και <= 5 MW • > 5= MW	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 200</li> <li>• 170</li> <li>• 150</li> </ul>	
Βιοαέριο που προέρχεται από Βιομάζα με ισχύ <math>3 \text{ MW} / \text{--} 3 \text{ MW}</math>	220/200	
<b>Λυιές ΑΠΕ (συμπεριλαμβανομένων και των σταθμών ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων που πληρούν τις προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας όπως εκάστοτε αυτές ισχύουν)</b>	87,85	99,45
Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) χερσαίες εγκαταστάσεις ισχύος > 50 kW	87,85 x ΣΡ(*)	99,45 x ΣΡ(*)

**Πίνακας 8.2.1** Τιμολόγηση σύμφωνα με την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας.

### 8.3.Οικονομική Ανάλυση

Αρχικά, για την οικονομική ανάλυση της διάταξης SSG θεωρήθηκε ότι έχει διάρκεια ζωής 20 έτη. Έπειτα, το χρηματοδοτικό σχήμα που ακολουθήσαμε παρουσιάζεται στον Πίνακα 8.3.1, όπου το 20% του κόστους κεφαλαίου χρηματοδοτείται από ίδια κεφάλαια, το 40% δανείζεται από τράπεζα με επιτόκιο 5% και περίοδο αποπληρωμής δεκαπέντε έτη και το υπόλοιπο 40% από ευρωπαϊκή επιδότηση.

Χρηματοδοτικό σχήμα	[€]	Ποσοστά
Ίδια κεφάλαια	2.011.610	20%
Επιχορήγηση	4.023.219	40%
Δάνειο	4.023.219	40%

Περίοδος Απληρωμής	15	έτη
Επιτόκιο δανεισμού	5%	

**Πίνακας 8.3.1** Χρηματοδοτικό Σχήμα.

Επιπλέον, τα λειτουργικά έξοδα κάθε χρόνου λειτουργίας αποτελούνται από :

1. Τα σταθερά έξοδα, που περιλαμβάνουν έξοδα προσωπικού παρακολούθησης και φύλαξης, κόστος συντήρησης εξοπλισμού, δημοτικά τέλη, ενοίκιο γης και διάφορα διοικητικά έξοδα. Αυτά κατανέμονται ως εξής :
  - Δημοτικά τέλη :  $3\% \cdot \text{Ετήσια Έσοδα}$
  - Ασφάλεια εξοπλισμού :  $0,004 \cdot \text{Κόστος έργου} \cdot 0,8$  (διότι δεν ασφαλίζουμε όλο το έργο αλλά μόνο τον εξοπλισμό)
  - Μισθοδοσία : Τέσσερα άτομα  $\times 700$  [€/μήνα]  $\times 14$  [μήνες/έτος] +  $1.000$  [€/μήνα]  $\times 12$  [μήνες/έτος] (Διοικητικά έξοδα)
  - Ενοίκιο γης :  $100.000$  [€/έτος]
2. Τα μεταβλητά έξοδα, τα οποία είναι έξοδα αποκατάστασης ζημιών, η προμήθεια ανταλλακτικών, η ρύθμιση απόδοσης της μονάδας, καθώς και οι έκτακτες μεταβάσεις και επιστροφές εξειδικευμένου προσωπικού. Αυτά περιλαμβάνουν :
  - Κόστος Συντήρησης :  $0,01$  [€/MWh]  $\cdot$  Ετήσια παραγωγή ενέργειας [MWh]
  - Διάφορα έξοδα που μπορεί να προκύψουν :  $50.000$  €

Παράλληλα, στις διαρροές χρημάτων συμπεριλαμβάνεται και η πληρωμή του δανείου. Η δόση υπολογίζεται μέσω της Σχέσης 8.2.1 :

$$\alpha = \frac{K \times i}{1 - \frac{1}{(1+i)^N}}$$

**Σχέση 8.3.1** Υπολογισμός Δόσης Δανείου.

Όπου :

K : Κεφάλαιο Δανεισμού

i : Επιτόκιο Δανεισμού

N : Έτη περιόδου Αποπληρωμής

Έπειτα, η απόσβεση είναι ένα λογιστικό μέγεθος και αφορά το κόστος του εξοπλισμού και χρειάζεται για τον υπολογισμό της φορολογίας. Δηλαδή, έχοντας δαπανήσει για την εγκατάσταση του έργου ποσό που ισούται με τα ίδια κεφάλαια συν το δάνειο ( χωρίς την επιχορήγηση) σε πόσα χρόνια θα γίνει η απόσβεση των χρημάτων αυτών. Αναλυτικότερα, από την Σχέση 8.3.2 :

$$\text{ΑΠΟΣΒΕΣΗ} = \{(\text{ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ} + \text{ΔΑΝΕΙΟ}) * 80\% \text{ ( διότι υπολογίζεται μόνο για τον εξοπλισμό)}\} / 20 \text{ [έτη]}$$

**Σχέση 8.3.2** Υπολογισμός Απόσβεσης.

Επίσης, η αξιολόγηση έγινε για συνολική φορολογία 26% επί του φορολογητέου ποσού, το οποίο αποτελείται από τα ετήσια έσοδα αφαιρώντας τα λειτουργικά έξοδα της διάταξης που αναφέραμε παραπάνω, τις αποσβέσεις και τη δόση του δανείου.Ειδικότερα, από την Σχέση 8.3.3 :

$$\text{ΦΟΡΟΙ} = (\text{ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ} - \text{ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ} - \text{ΑΠΟΣΒΕΣΕΙΣ} - \text{ΔΟΣΗ ΔΑΝΕΙΟΥ}) * 26\%$$

**Σχέση 8.3.3** Υπολογισμός Απόσβεσης.

Από όσα αναφέραμε παραπάνω, καταλήγουμε ότι συνολικά έξοδα της διάταξης είναι όσα πραγματικά χρειάζεται να πληρώνουμε για κάθε έτος εκτός από τις αποσβέσεις, οι οποίες είναι λογιστικό μέγεθος. Δηλαδή σύμφωνα με την Σχέση 8.3.4 :

$$\text{ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΞΟΔΑ} = \text{ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ} + \text{ΔΟΣΗ ΔΑΝΕΙΟΥ} + \text{ΦΟΡΟΙ}$$

**Σχέση 8.3.4** Υπολογισμός Συνολικών εξόδων διάταξης.



Οπότε, τα κέρδη υπολογίζονται πλέον μέσω της παρακάτω σχέσης :

$$\text{ΚΕΡΔΗ} = \text{ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ} - \text{ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΞΟΔΑ}$$

**Σχέση 8.3.5** Υπολογισμός Κερδών διάταξης.

Προηγουμένως, παρατηρήσαμε τη διαδικασία υπολογισμού των κερδών της διάταξης. Παρόλα αυτά, για να αξιολογήσουμε την αποδοτικότητα μιας επένδυσης ορίζουμε ορισμένα μεγέθη που ονομάζονται οικονομικοί δείκτες. Αυτοί αποτελούνται από τον δείκτη του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (Internal Rate of Return), την καθαρά παρούσα αξία (Net Present Value), την περίοδο αποπληρωμής, την έντοκη περίοδο αποπληρωμής του αρχικού κεφαλαίου, την απόδοση των επενδύσεων (Return on Investment) και την απόδοση ιδίων κεφαλαίων (Return on Equity) . Ο δείκτης IRR μας δείχνει πόσο ασφαλής (ενδιαφέρουσα) είναι η επένδυση και ο NPV το σύνολο των εσόδων που θα έχουμε στα επόμενα 20 έτη ανοιγμένων στην παρούσα αξία (Πίνακας 8.3.2). Πιο συγκεκριμένα, τη χρονική στιγμή μηδέν που ξεκινάει το έργο έχουμε δώσει - 2.011.609,53[€] (ίδια κεφάλαια), τα οποία θα τα πάρουμε πίσω μετά από κάποιο χρονικό διάστημα (έτη) με την αξία τους να υπολείπεται σε σχέση με την αξία που έχουν σήμερα. Αυτή η αξία καθορίζεται από το επιτόκιο αναγωγής που καθορίζεται από γενικές παραμέτρους. Το επιτόκιο πριν την οικονομική κρίση, δηλαδή σε περίοδο που γινόταν συχνά επενδύσεις ήταν υψηλό περίπου 5 - 7 %, ενώ σήμερα που είναι περιορισμένες είναι 1,5 – 2 %. Επομένως, για τους υπολογισμούς το λαμβάνουμε υπόψη 3 %, διότι μετά από 20 έτη προβλέπεται να έχουμε καλύτερη οικονομική κατάσταση. Έτσι, μέσω της σχέσης 8.3.7 υπολογίζουμε τη σημερινή αξία που έχουν οι μελλοντικές χρηματοροές.

$$\text{NPV} = \text{ΑΛΓΕΒΡΙΚΟ ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΚΕΡΔΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ} - \text{ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ}$$

**Σχέση 8.3.6** Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV).

<b>IRR</b>	<b>NPV</b>	
45,26%	17.624.571,78	€

**Πίνακας 8.3.2** Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR) & Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV).

$$PV(N) = \frac{PV(0)}{(1 + i)^N}$$

**Σχέση 8.3.7** Σημερινή Αξία Μελλοντικών Χρηματοροών.

Όπου :

Present Value [0]: Χρηματική αξία σήμερα

i: Επιτόκιο Αναγωγής (3%)

N: Εκάστοτε Έτος

Επιπρόσθετα, για να παρατηρήσουμε μέσα σε πόσο χρονικό διάστημα θα επιστραφεί το αρχικό κεφάλαιο που δώσαμε για την επένδυση (Ιδια Κεφάλαια) υπολογίζουμε τα αθροιστικά κέρδη της διάταξης και αυτά στην παρούσα αξία. Έτσι, παρατηρούμε στον πίνακα που ακολουθεί :

ΑΠΑ		
191.405,67		
910.101,93		
0,21	3,21	ΕΤΗ
ΕΠΑ		
270.157,06		
832.872,19		
0,32	3,32	ΕΤΗ

**Πίνακας 8.3.3** Περίοδος αποπληρωμής και έντοκη περίοδος αποπληρωμής αρχικού κεφαλαίου.

Ταυτόχρονα, για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας της επένδυσης υπολογίζονται ακόμη δύο δείκτες. Ο ένας μας δείχνει την απόδοση των επενδύσεων (Return on Investment) και άλλος την απόδοση ιδίων κεφαλαίων (Return on Equity). Δηλαδή:

$$R.O.E. = [100 * \text{ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΤΩΝ ΚΕΡΔΩΝ ΑΝΟΙΓΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ}] / \text{ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ}$$

$$R.O.I. = [100 * \text{ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΤΩΝ ΚΕΡΔΩΝ ΑΝΟΙΓΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ}] / \text{ΣΥΝΟΛΟ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ}$$

**Σχέση 8.3.8** Απόδοσης των επενδύσεων (Return on Investment) και Απόδοσης ιδίων κεφαλαίων (Return on Equity).

<b>R.O.E.</b>	715,01	%
<b>R.O.I.</b>	143,00	%

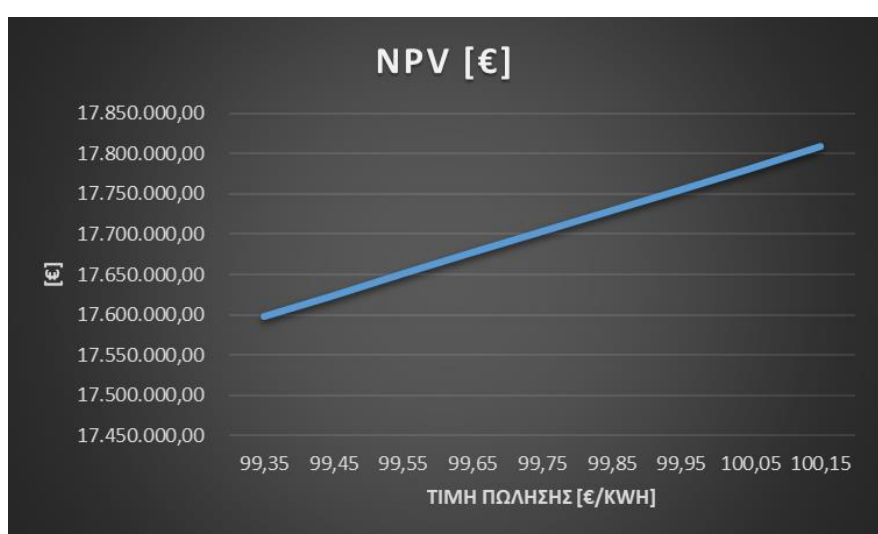
**Πίνακας 8.3.4** Αποτελέσματα απόδοσης των επενδύσεων (Return on Investment) και απόδοσης ιδίων κεφαλαίων (Return on Equity).

Τέλος, πραγματοποιούμε μια ανάλυση ευαισθησίας, δηλαδή ένα παραμετρικό υπολογισμό των οικονομικών δεικτών της επένδυσης με παράμετρο την τιμή πώλησης της ενέργειας (€/MWh). Η ανάλυση αυτή μας δείχνει πόσο ασφαλής είναι η επένδυση σε

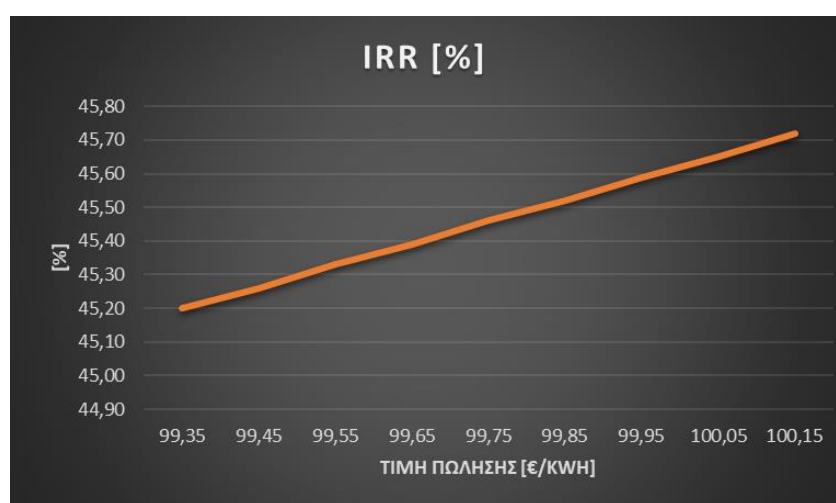
διάφορες συνθήκες, είτε αυτές είναι ευνοϊκές είτε δυσμενείς (Πίνακας 8.3.5). Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης.

ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ [€/kWh]	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ ΙΔΙΩΝ	ΕΝΤΟΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ ΙΔΙΩΝ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ [ΕΤΗ]	NPV [€]	IRR [%]	R.O.E. [%]	R.O.I. [%]
99,35	3,21	3,33	17.598.287,03	45,20	714,04	142,81
99,45	3,21	3,32	17.624.571,78	45,26	715,01	143,00
99,55	3,21	3,32	17.650.856,53	45,33	715,98	143,20
99,65	3,20	3,32	17.677.141,28	45,39	716,95	143,39
99,75	3,20	3,31	17.703.426,03	45,46	717,92	143,58
99,85	3,20	3,31	17.729.710,78	45,52	718,90	143,78
99,95	3,19	3,31	17.755.995,53	45,59	719,87	143,97
100,05	3,19	3,30	17.782.280,28	45,65	720,84	144,17
100,15	3,19	3,30	17.808.565,03	45,72	721,81	144,36

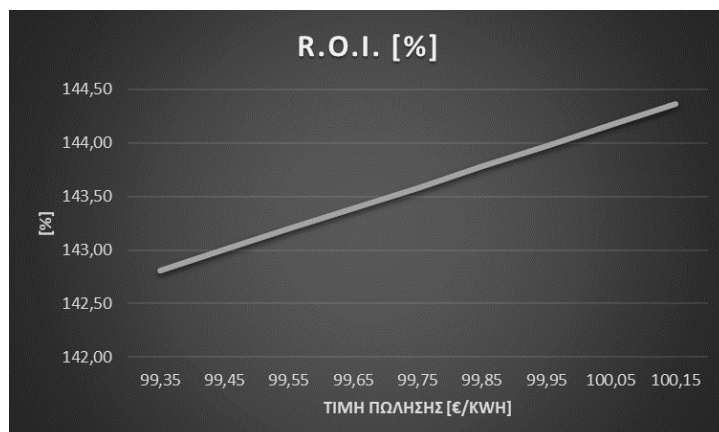
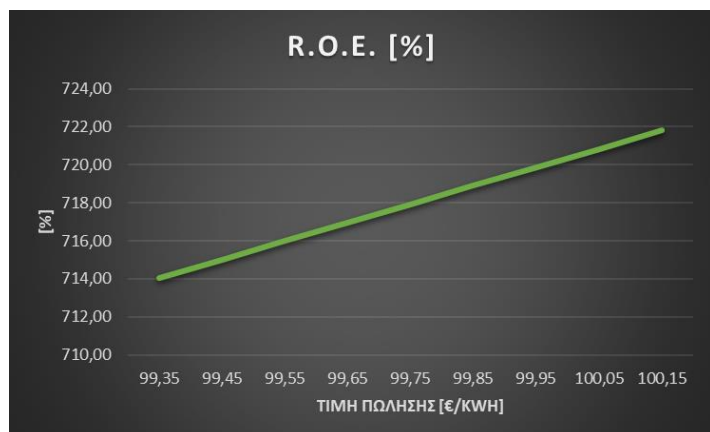
Πίνακας 8.3.5 Ανάλυση ευαισθησίας με παράμετρο την τιμή πώλησης της ενέργειας.



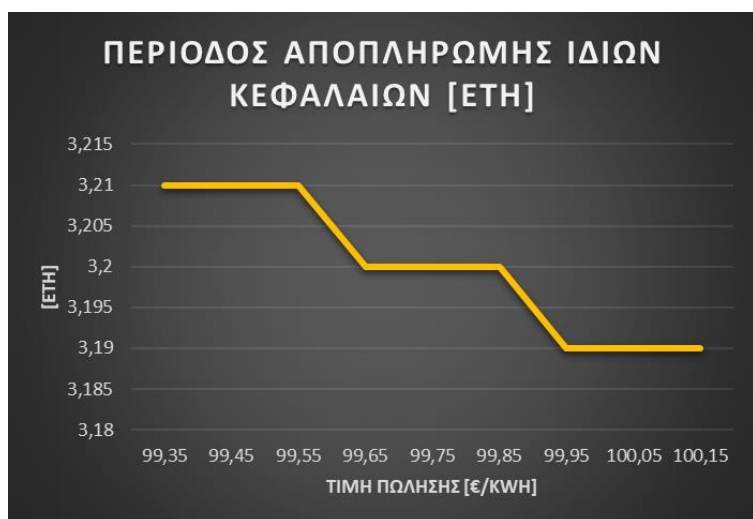
Γράφημα 8.3.1 Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV).



Γράφημα 8.3.2 Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR).



**Γράφημα 8.3.3** Απόδοση των επενδύσεων (Return on Investment) και Απόδοση ιδίων κεφαλαίων (Return on Equity)



**Γράφημα 8.3.4** Περίοδος αποπληρωμής και έντοκη περίοδος αποπληρωμής αρχικού κεφαλαίου.

## 9. ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗΣ ΣΕ ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

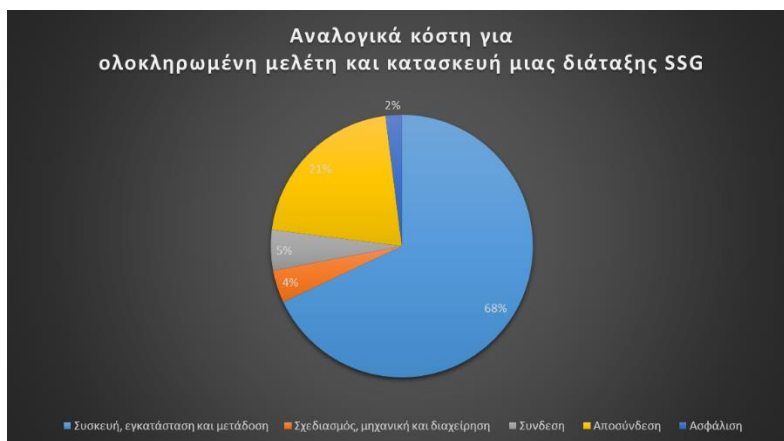
### 9.1. Κόστος διάταξης και τιμολόγηση παραγωγής ενέργειας

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία που ακολούθησε στο προηγούμενο κεφάλαιο, υπολογίζουμε αρχικά το συνολικό κόστος της διάταξης. Ακριβέστερα, υπολογίζουμε το κόστος του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, το οποίο αφορά το κόστος χρήσης του υδροστατικού τροχού HPWs τύπου Kaplan. Το κόστος αυτό υπολογίζεται ακολουθώντας τον Πίνακα 8.1.1 του προηγούμενου κεφαλαίου, που σύμφωνα με τα αποτελέσματα που έχουμε από το κεφάλαιο 7 και το Excel, το μέγεθος της εγκατεστημένης ισχύος  $P_{HPWs}$  θα είναι 1.893,34 [kW]. Έπειτα, στον Πίνακα 9.1.1 παρατηρούμε το συνολικό κόστος της κατασκευής (για 100 [m] ενεργειακό κυματοθραύστη).

Ακολουθώντας, όπως είδαμε και στο παραπάνω κεφάλαιο, για το κόστος ολόκληρης της διάταξης θα πρέπει να συνυπολογίσουμε και τα κόστη του σχεδιασμού και της διαχείρισης της SSG, το κόστος της διαδικασίας της τοποθέτησης, της εγκατάστασης και της απεγκατάστασής της. Ακόμη, θεωρούμε και ένα 2% ως ποσοστό ανασφάλειας στους υπολογισμούς. Στο παρακάτω γράφημα παραθέτουμε το κοστολογικό μοντέλο που ακολουθήσαμε και στον Πίνακα 9.1.2. είναι τα αποτελέσματα για το συνολικό κόστος της διάταξης, το οποίο υπολογίζεται αφαιρώντας την αποξήλωση, θεωρώντας ότι μετά τα 20 χρόνια λειτουργίας θα αξιοποιηθεί σύμφωνα με τις τότε νέες τεχνολογίες. Επομένως, ως συνολικό κόστος λαμβάνουμε το ποσό των 9.170.227,06 €

ΕΓΚΑΤΑΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ [kW]		
$P_{HPWs} =$	1893,34	[Kw]
ΜΕΤΡΑ ΠΟΥ ΚΑΤΑΛΑΜΒΑΝΕΙ Η ΔΙΑΤΑΞΗ		
$l_{ssg} =$	100	[m]
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ		
Κατασκευής =	7.893.360,00	[€]

Πίνακας 9.1.1 Κόστος κατασκευής της διάταξης SSG.



Γράφημα 9.1.1 Κόστη για ολοκληρωμένη μελέτη και κατασκευή μιας διάταξης SSG.

Συσκευή, εγκατάσταση και μετάδοση	68%	7.893.360,00	[€]
Σχεδιασμός, μηχανική και διαχείριση	4%	464.315,29	[€]
Συνδεση	5%	580.394,12	[€]
Αποσύνδεση	21%	2.437.655,29	[€]
Ασφάλιση	2%	232.157,65	[€]
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ</b>	<b>100%</b>	<b>11.607.882,35</b>	<b>[€]</b>
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ</b>		<b>9.170.227,06</b>	<b>[€]</b>

**Πίνακας 9.1.2** Κόστη για ολοκληρωμένη μελέτη και κατασκευή μιας διάταξης SSG.

Η τιμολόγηση την παραγόμενης ενέργειας πραγματοποιήθηκε από στοιχεία του Πίνακα 8.2.1 (στοιχεία Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας). Έπειτα, οι ενεργειακοί κυματοθραύστες κατατάσσονται στην κατηγορία λοιπές ΑΠΕ με τιμή 99,45 [€/MWh]. Οπότε, σύμφωνα με την ετήσια ενέργεια που παράγει η διάταξη SSG (  $E_{\text{κ,έτους}} = 10.837,45$  [MWh/y] ) έχουμε τα ακόλουθα κέρδη :

$$\text{ΚΕΡΔΗ} = E_{\text{κ,έτους}} * 99,45 \text{ [€/MWh]} = 1.077.784,40 \text{ €}$$

**Σχέση 9.1.1** Κέρδη της διάταξης SSG.

## 9.2.Οικονομική Ανάλυση

Για την οικονομική ανάλυση της διάταξης SSG θεωρήθηκε και πάλι ότι έχει διάρκεια ζωής 20 έτη. Το χρηματοδοτικό σχήμα που ακολουθήσαμε είναι το ίδιο με του προηγούμενου κεφαλαίου (Πίνακας 9.2.1), όπου το 20% του κόστους κεφαλαίου χρηματοδοτείται από ίδια κεφάλαια, 40% δανείζεται από τράπεζα με επιτόκιο 5% και περίοδο αποπληρωμής δεκαπέντε έτη και το υπόλοιπο 40% από ευρωπαϊκή επιδότηση.

Χρηματοδοτικό σχήμα	[€]	Ποσοστά
Ίδια κεφάλαια	1.834.045	20%
Επιχορήγηση	3.668.091	40%
Δάνειο	3.668.091	40%
<b>Περίοδος Απληρωμής</b>	15	έτη
<b>Επιτόκιο δανεισμού</b>	5%	

**Πίνακας 9.2.1** Χρηματοδοτικό Σχήμα.

Ακόμη, τα λειτουργικά έξοδα κάθε χρόνου λειτουργίας υπολογίζονται με την ίδια διαδικασία, όπως και στο κεφάλαιο 6 και αποτελούνται από τα σταθερά και τα μεταβλητά έξοδα. Εν συνεχεία, υπολογίζονται όλοι οι οικονομικοί δείκτες(φόροι, αποσβέσεις κ.λ.π.). Τέλος, αξιοποιούμε την αποδοτικότητα της επένδυσης από τους δείκτες του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (Internal Rate of Return), την καθαρά παρούσα αξία (Net Present Value), την περίοδο αποπληρωμής, την έντοκη περίοδο αποπληρωμής του αρχικού κεφαλαίου, την απόδοση των επενδύσεων (Return on Investment) και την απόδοση ιδίων κεφαλαίων (Return on Equity). Ο δείκτης IRR μας δείχνει πόσο ασφαλής (ενδιαφέρουσα) είναι η επένδυση και ο NPV το σύνολο των εσόδων που θα έχουμε στα επόμενα 20 έτη ανοιγμένων στην παρούσα αξία (Πίνακας 9.2.2). Επιπροσθέτως, για να καταλάβουμε μέσα σε πόσο χρονικό διάστημα

θα επιστραφεί το αρχικό κεφάλαιο που δώσαμε για την επένδυση (Ιδια Κεφάλαια) υπολογίζουμε τα αθροιστικά κέρδη της διάταξης και αυτά στην παρούσα αξία. Πιο αναλυτικά, καταγράφονται στον Πίνακα 9.2.3.

Ταυτόχρονα, όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας της επένδυσης υπολογίζονται ακόμη δύο δείκτες. Ο ένας μα δείχνει την απόδοση των επενδύσεων (Return on Investment) και άλλος την απόδοση ιδίων κεφαλαίων (Return on Equity) (Πίνακας 9.2.4). Τέλος, πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας, δηλαδή ένας παραμετρικός υπολογισμός των οικονομικών δεικτών της επένδυσης με παράμετρο την τιμή πώλησης της ενέργειας (€/MWh). Η ανάλυση αυτή μας δείχνει πόσο ασφαλής είναι η επένδυση σε διάφορες συνθήκες, είτε αυτές είναι ευνοϊκές είτε δεν είναι (Πίνακας 9.2.5). Στα Γραφήματα που έπονται, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης.

IRR	NPV	
21,78%	7.446.751,81	€

Πίνακας 9.2.2 Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR) & Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV).

ΑΠΑ		
239.396,24		
398.662,29		
0,60	5,60	ΕΤΗ
ΕΠΑ		
8.288,84		
333.873,39		
0,02	6,02	ΕΤΗ

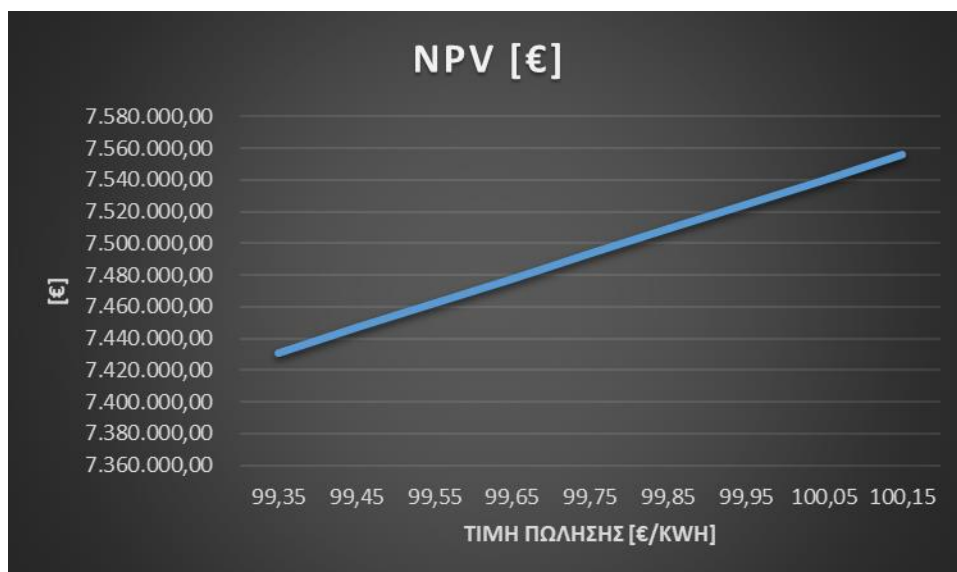
Πίνακας 9.2.3 Περίοδος αποπληρωμής και έντοκη περίοδος αποπληρωμής αρχικού κεφαλαίου.

R.O.E.	365,30	%
R.O.I.	73,06	%

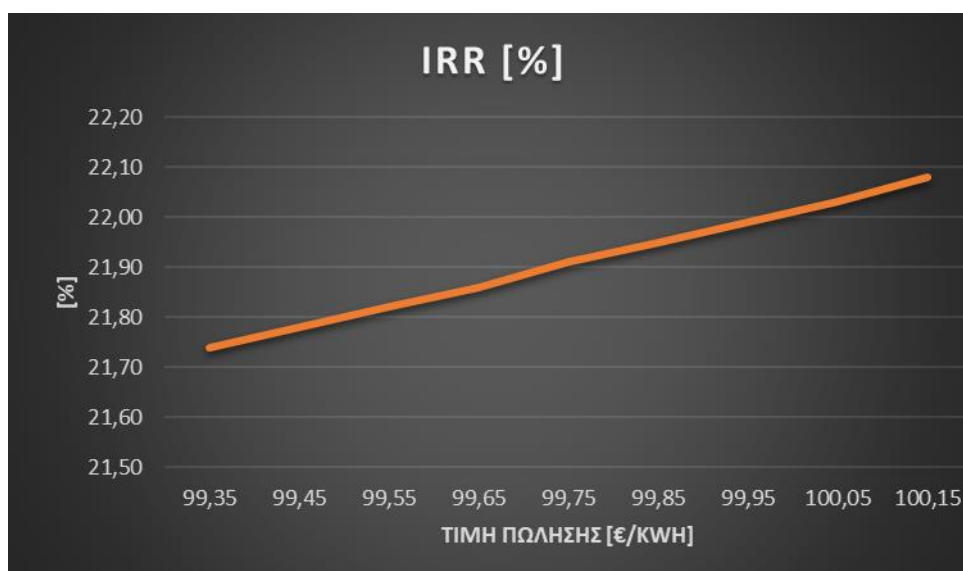
Πίνακας 9.2.4 Αποτελέσματα απόδοσης των επενδύσεων (Return on Investment) και απόδοσης ιδίων κεφαλαίων (Return on Equity).

ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ [€/kWh]	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ ΙΔΙΩΝ	ΕΝΤΟΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ ΙΔΙΩΝ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ [ΕΤΗ]	NPV [€]	IRR [%]	R.O.E. [%]	R.O.I. [%]
99,35	5,61	6,04	7.431.193,57	21,74	364,67	72,93
99,45	5,60	6,02	7.446.751,81	21,78	365,30	73,06
99,55	5,59	6,01	7.462.310,06	21,82	365,93	73,19
99,65	5,57	5,99	7.477.868,30	21,86	366,56	73,31
99,75	5,57	5,99	7.493.426,54	21,91	367,20	73,44
99,85	5,56	5,98	7.508.984,79	21,95	367,83	73,57
99,95	5,56	5,97	7.524.543,03	21,99	368,46	73,69
100,05	5,55	5,96	7.540.101,27	22,03	369,09	73,82
100,15	5,54	5,95	7.555.659,52	22,08	369,72	73,94

Πίνακας 9.2.5 Ανάλυση ευαισθησίας με παράμετρο την τιμή πώλησης της ενέργειας.

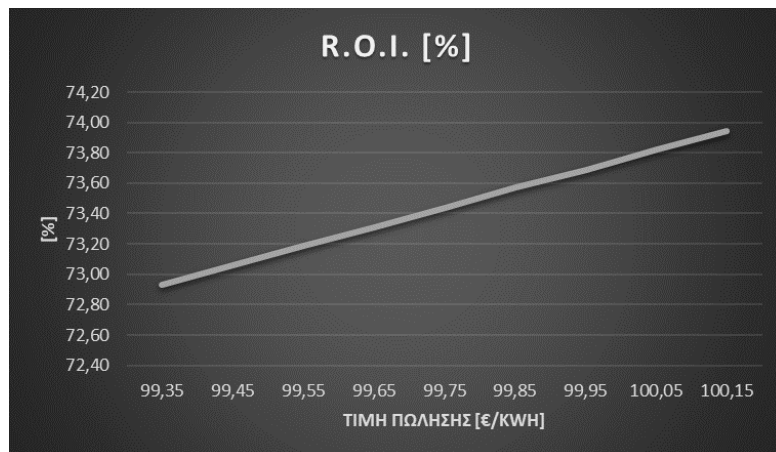
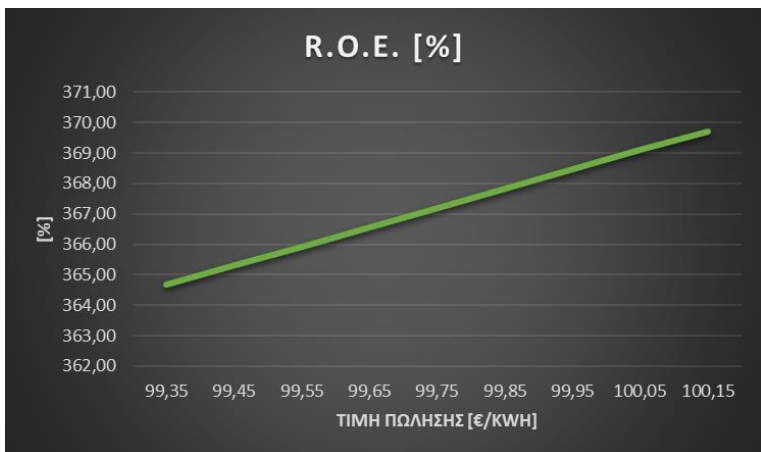


**Γράφημα 9.2.1** Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV).

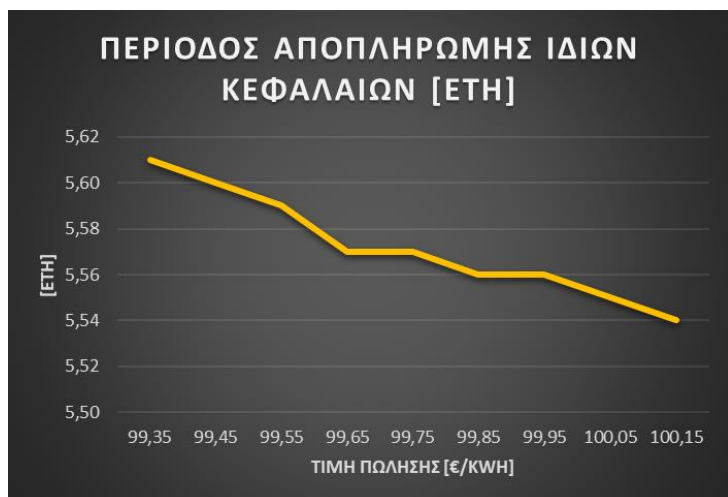


**Γράφημα 9.2.2** Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR).





**Γράφημα 9.2.3** Απόδοση των επενδύσεων (Return on Investment) και Απόδοση ιδίων κεφαλαίων (Return on Equity).



**Γράφημα 9.2.4** Περίοδος αποπληρωμής και έντοκη περίοδος αποπληρωμής αρχικού κεφαλαίου.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι ωκεανοί καλύπτουν το 70% του πλανήτη μας, αυτόματα αποτελούν μία από τις πιο μελλοντικά υποσχόμενες ΑΠΕ. Στην παρούσα μελέτη, αξιολογήθηκε η ενεργειακή συμπεριφορά μίας διάταξης αναρρίχησης κυματισμών SSG σε μία θεωρητική εφαρμογή της σε ένα σημείο της Σύρου και έπειτα πραγματοποιήθηκε οικονομική ανάλυση. Πραγματοποιήθηκαν δύο παρόμοιες μελέτες, η μια από την επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων του μετεωρολογικού σταθμού της Σύρου, μέσω ενός εμπειρικού προγνωστικού μοντέλου (JONSWAP) και η δεύτερη από έμμεσες μετρήσεις (δορυφορικά δεδομένα) κυματικού δυναμικού. Πιο συγκεκριμένα, συμπεραίνουμε τα εξής :

- Ιδιαίτερη σημασία έχει η απόστασή από την απέναντι ακτή.
- Βέλτιστη περιοχή εγκατάστασης της διάταξης κρίνεται η Βόρεια πλευρά του νησιού καθώς και παρατηρούνται πιο ισχυρές εντάσεις ανέμων για το νησί το έτος μελέτης (2012). Ακόμη, αυτό συμφωνεί και με το κυματικό δυναμικό που δίνεται από τα δορυφορικά δεδομένα.
- Οι θεωρητικές μέρες νηνεμίας είναι μεγαλύτερες από ότι οι μέρες με ανάπτυξη σημαντικού κυματισμού.
- Ο Βορειοανατολικός άνεμος δεν εμφανίζεται (δεν έχουμε συχνότητα ανέμου). Η μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης ανέμων που παρατηρείται είναι βόρειας διεύθυνσεως.
- Η βέλτιστη κλίση της πρώτης διάταξης μεγιστοποιείται για γωνία 22 μοιρών, ενώ στη δεύτερη για 18. Σημειώνεται, ότι για μεγαλύτερες και μικρότερες γωνίες παρατηρούνται φαινόμενα απώλειας ενέργειας, το φαινόμενο της ανάκλασης και το φαινόμενο της θραύσης του κυματισμού αντίστοιχα.
- Η διάταξη συμπεριφέρεται ως μικρό υδροηλεκτρικό έργο με χαμηλό, όμως, βαθμό υδραυλικότητας της τάξης του 20-30%. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης είναι της τάξης του 18-29% γεγονός που οφείλεται κυρίως στην χαμηλή απόδοση της γεωμετρίας της διάταξης για τη συλλογή των αναρριχόμενων κυμάτων.
- Έχει μηδενικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Η πρώτη διάταξη που μελετήθηκε, παράγει 18.309,24 [MWh/y] ποσό που αντιστοιχεί περίπου στο 18,8 % της ζήτησης του νησιού το έτος, ενώ η δεύτερη 10.837,45 [MWh/y] ποσό που αντιστοιχεί στο 11,1%.
- Οι επενδύσεις των δύο διατάξεων θεωρούνται βιώσιμες, καθώς σε τρία χρόνια περίπου έχουμε αποσβέσει τα χρήματα που δαπανήσαμε ως αρχικό κεφάλαιο στην πρώτη, ενώ στη δεύτερη σε έξι. Έπειτα, τα κέρδη που μας αποφέρουν είναι σημαντικά.
- Είναι κοντά στην ακτή, έτσι σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί το κόστος και η εύκολη πρόσβαση για συντήρηση αλλά και βελτίωση των επιδόσεών της.
- Το πλεονέκτημα της SSG έναντι άλλων μετατροπέων ενέργειας με υπερπήδηση κύματος παρατηρείται στη στιβαρότητά της κατασκευής.
- Χρησιμοποιώντας τρεις πολυεπίπεδες δεξαμενές, πετυχαίνετε καλύτερη υδραυλική επίδοση από ότι με μία, εφόσον η διαστασιολόγηση των δεξαμενών έχει άμεση επιρροή στην απόδοση των στρόβιλων.
- Καθώς οι τουρμπίνες της διάταξης βρίσκονται ακόμη σε διαδικασία σχεδιασμού, εγκαθίστανται στρόβιλοι χαμηλού μανομετρικού ύψους τύπου Kaplan.

- Στην παράκτια SSG δεν χρησιμοποιούνται συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, αφού όση ενέργεια παράγεται, θα τροφοδοτεί το δίκτυο της ΔΕΗ απευθείας, χωρίς να έχει πρώτα συσσωρευτεί.
- Στη μελέτη JONSWAP με δεδομένα ανέμων, υπολογίζεται το κυματικό δυναμικό μέσω του προγνωστικού μοντέλου. Αυτό προκύπτει από τη συχνότητα εμφάνισης της εκάστοτε έντασης (Beaufort). Τα αποτελέσματά της αφορούν έπειτα, όλες τις ημέρες του έτους (366 ημέρες).
- Οι πληροφορίες για τα κύματα είναι η βάση της μελέτης. Συνεπώς, οι έμμεσες μετρήσεις που δόθηκαν για την πραγματοποίησή της ήταν ιδιαίτερα χρήσιμες, καθώς οδήγησαν σε ακριβή αποτελέσματα. Αυτό συμβαίνει, διότι παρέχονται δεδομένα κυματικού δυναμικού για κάθε ημέρα του έτους. Έτσι, συμπεραίνουμε ότι για τις διευθύνσεις που μας απασχολούν έχουμε κυματισμό για 238,5 ημέρες και όχι για 366. Αξίζει να σημειωθεί, επίσης, πως εάν κάνουμε αντιστοιχία της πρώτης μελέτης για εκείνες τις ημέρες (238,5 ημέρες) παράγει 11.931,021 [MWh/γ].

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

1. Δεδομένα για τα επιμέρους κόστη της κατασκευής από μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην Βορειοδυτική Σαρδηνία:  
[https://www.dhigroup.com/upload/publications/bewiegandmscthesis\\_30sept.pdf](https://www.dhigroup.com/upload/publications/bewiegandmscthesis_30sept.pdf)
2. Άρθρο 01: Επανακαθορισμός στοιχείων τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούν των σταθμών ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ:  
<http://www.opengov.gr/minenv/?p=5729&cpage=4>
3. Ανεμολογικά Δεδομένα: <https://www.syroswx.gr/wxhistory.php>
4. Σύνθεση Ενεργειακών Συστημάτων (Μάθημα ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ.) :  
<https://eclass.hmu.gr/courses/TM166/>
5. Βικιπαίδεια ( ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια ) :  
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%8D%CE%BB%CE%B7:%CE%9A%CF%8D%CF%81%CE%B9%CE%B1>
6. Μετεωρολογικές Προγνώσεις : <https://www.meteo.gr/>
7. Εθνική μετεωρολογική υπηρεσία : <http://www.hnms.gr/emv/el/>

### ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

- Πρόγνωση κυματισμών, κλιματική αλλαγή (Θεοφάνης Καραμπάς Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών):  
[https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS425/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82/%CE%94%CE%B9%CE%AC%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%B7\\_11\\_%CE%9A%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%BC%CF%80%CE%AC%CF%82.pdf](https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS425/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82/%CE%94%CE%B9%CE%AC%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%B7_11_%CE%9A%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%BC%CF%80%CE%AC%CF%82.pdf)
- Ανεμογενείς κυματισμοί :  
[https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2093/1/02\\_chapter\\_5.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2093/1/02_chapter_5.pdf)
- Θαλάσσιοι κυματισμοί (Σύγχρονες Εξελίξεις στις Θαλάσσιες Κατασκευές - Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών) :  
[file:///C:/Users/smano/OneDrive/%CE%A5%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%82/%CE%A3%CE%A5%CE%A1%CE%9F%CE%A3%202019/7.1.3%20%CE%98%CE%B1%CE%BB%CE%AC%CF%83%CF%83%CE%B9%CE%BF%CE%B9%20%CE%9A%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CE%AF%20\(%CE%B2\).pdf](file:///C:/Users/smano/OneDrive/%CE%A5%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%82/%CE%A3%CE%A5%CE%A1%CE%9F%CE%A3%202019/7.1.3%20%CE%98%CE%B1%CE%BB%CE%AC%CF%83%CF%83%CE%B9%CE%BF%CE%B9%20%CE%9A%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CE%AF%20(%CE%B2).pdf)
- Analysing the Performance of Wave-Energy Generator Systems (SSG) for the Southern Coasts of Iran, in the Persian Gulf and Oman Sea :  
<file:///C:/Users/smano/OneDrive/%CE%A5%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%82/%CE%A3%CE%A5%CE%A1%CE%9F%CE%A3%202019/energies-11-03209.pdf>
- Ρευστομηχανική υδραυλικών έργων – υδροστρόβιλοι :  
<file:///C:/Users/smano/OneDrive/%CE%A5%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%82/%CE%A3%CE%A5%CE%A1%CE%9F%CE%A3%202019/SHEMEIOSEIS%20GIA%20%20YDROSTROBILOYS.pdf>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα 1 : Μηνιαία διαγράμματα Ταχύτητας Ανέμου σύμφωνα με τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού της Σύρου .











Παράρτημα 2: Φύλλα υπολογισμού και αποτελέσματα για τις τρεις διευθύνσεις ανέμου, για την μελέτη ενεργειακού κυματοθραύστη με επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων.

ΒΟΡΕΙΟΣ ΑΝΕΜΟΣ									
ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ				ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ					
ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ - BF	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ - f %	Hs [m]	Tp [s]	do [m]	θ [°]	θ [rad]	Rc1 [m]	Hs,toe [m]	l [m]
3	17,486	0,254	1,906	10	22	0,383972	1,5	0,254	100
4	5,738	0,453	2,403	10	22	0,383972	1,5	0,453	100
5	0,000	0,701	2,841	10	22	0,383972	1,5	0,701	100
6	0,000	0,954	3,149	10	22	0,383972	1,5	0,954	100
7	0,000	1,245	3,441	10	22	0,383972	1,5	1,245	100
8	0,000	1,576	3,723	10	22	0,383972	1,5	1,576	100
9	0,000	1,948	3,995	10	22	0,383972	1,5	1,948	100
10	0,000	2,361	4,260	10	22	0,383972	1,5	2,361	100
11	0,000	2,818	4,518	10	22	0,383972	1,5	2,818	100

ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ					
Lo [m]	Sop	ξ	Q	q [m3/s/m]	Qk
5,676	0,045	1,909440	0,00449345	0,005414946	0,094688
9,020	0,050	1,802010	0,01287522	0,034902081	0,200258
12,608	0,056	1,713696	0,02105667	0,104297339	0
15,485	0,062	1,627867	0,02669447	0,199445445	0
18,495	0,067	1,557142	0,03136686	0,334347921	0
21,515	0,073	1,492821	0,0352117	0,512370448	0
24,620	0,079	1,436498	0,03838181	0,738319097	0
27,731	0,085	1,384592	0,04101061	1,015080458	0
30,818	0,091	1,336065	0,04320624	1,345529275	0

g=	9,807	[m/s^2]
td=	5	[ hrs ]
td=	18000	[ s ]
ρ=	1000	[kg/m3]

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ						
ηυδραυλικό	ηκυμάτων	ηG	ηολ	Pel	Pel,f	Pel,f*I
0,40	0,90	0,95	0,342	27,243	4,764	476,372
0,40	0,90	0,95	0,342	175,592	10,075	1007,495
0,40	0,90	0,95	0,342	524,719	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	1003,408	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	1682,101	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	2577,731	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	3714,477	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	5106,861	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	6769,346	0,000	0,000
				<b>21581,477</b>	<b>14,839</b>	<b>1483,868</b>

ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ				ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ					
ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ - BF	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ - f %	Hs [m]	Tp [s]	do [m]	θ [°]	θ [rad]	Rc1 [m]	Hs,toe [m]	l [m]
3	17,486	0,254	1,906	10	22	0,383972	3	0,254	100
4	5,738	0,453	2,403	10	22	0,383972	3	0,453	100
5	0,000	0,701	2,841	10	22	0,383972	3	0,701	100
6	0,000	0,954	3,149	10	22	0,383972	3	0,954	100
7	0,000	1,245	3,441	10	22	0,383972	3	1,245	100
8	0,000	1,576	3,723	10	22	0,383972	3	1,576	100
9	0,000	1,948	3,995	10	22	0,383972	3	1,948	100
10	0,000	2,361	4,260	10	22	0,383972	3	2,361	100
11	0,000	2,818	4,518	10	22	0,383972	3	2,818	100

ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ					
Lo [m]	Sop	ξ	Q	q [m3/s/m]	Qk
5,676	0,044772	1,909440	0,00033652	0,00040553	0,007091
9,020	0,050270	1,802010	0,00276286	0,007489536	0,042973
12,608	0,055584	1,713696	0,00738972	0,036602571	0
15,485	0,061600	1,627867	0,01187658	0,088734843	0
18,495	0,067323	1,557142	0,016398	0,174790737	0
21,515	0,073249	1,492821	0,02066439	0,300690546	0
24,620	0,079106	1,436498	0,02455272	0,472300368	0
27,731	0,085148	1,384592	0,02803117	0,693817816	0
30,818	0,091446	1,336065	0,03111298	0,96892099	0

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ						
ηυδραυλικό	ηκυμάτων	ηG	ηΟΛ	Pel	Pel,f	Pel,f*I
0,40	0,90	0,95	0,342	4,080	0,714	71,352
0,40	0,90	0,95	0,342	75,360	4,324	432,391
0,40	0,90	0,95	0,342	368,294	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	892,848	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	1758,741	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	3025,543	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	4752,278	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	6981,182	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	9749,266	0,000	0,000
				<b>27607,593</b>	<b>5,037</b>	<b>503,743</b>

ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ				ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ					
ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ - BF	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ - f %	Hs [m]	Tp [s]	do [m]	θ [°]	θ [rad]	Rc1 [m]	Hs,toe [m]	l [m]
3	17,486	0,254	1,906	10	22	0,383972	5	0,254	100
4	5,738	0,453	2,403	10	22	0,383972	5	0,453	100
5	0,000	0,701	2,841	10	22	0,383972	5	0,701	100
6	0,000	0,954	3,149	10	22	0,383972	5	0,954	100
7	0,000	1,245	3,441	10	22	0,383972	5	1,245	100
8	0,000	1,576	3,723	10	22	0,383972	5	1,576	100
9	0,000	1,948	3,995	10	22	0,383972	5	1,948	100
10	0,000	2,361	4,260	10	22	0,383972	5	2,361	100
11	0,000	2,818	4,518	10	22	0,383972	5	2,818	100

ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ					
Lo [m]	Sop	ξ	Q	q [m3/s/m]	Qk
5,676	0,044772	1,909440	1,0623E-05	1,28015E-05	0,000224
9,020	0,050270	1,802010	0,00035495	0,000962187	0,005521
12,608	0,055584	1,713696	0,00182928	0,00906072	0
15,485	0,061600	1,627867	0,00403384	0,030138452	0
18,495	0,067323	1,557142	0,00690585	0,073611352	0
21,515	0,073249	1,492821	0,01015322	0,147740889	0
24,620	0,079106	1,436498	0,01353314	0,26032579	0
27,731	0,085148	1,384592	0,01687723	0,417739384	0
30,818	0,091446	1,336065	0,02008177	0,62538671	0

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ						
ηυδραυλικό	ηκυμάτων	ηG	ηΟΛ	Pel	Pel,f	Pel,f*I
0,40	0,90	0,95	0,342	0,215	0,038	3,754
0,40	0,90	0,95	0,342	16,136	0,926	92,583
0,40	0,90	0,95	0,342	151,948	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	505,421	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	1234,460	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	2477,610	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	4365,656	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	7005,477	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	10487,716	0,000	0,000
				<b>26244,639</b>	<b>0,963</b>	<b>96,337</b>

ΒΟΡΕΙΟΣ ΑΝΕΜΟΣ Pel,f		
RC= 1,5 [m]	RC= 3 [m]	RC= 5 [m]
1.483,87	503,74	96,34
<b>2.083,95</b>		

ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ									
ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ				ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ					
ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ - BF	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ - f %	Hs [m]	Tp [s]	do [m]	θ [°]	θ [rad]	Rc1 [m]	Hs,toe [m]	l [m]
3	0,820	0,510	0,578	10	22	0,383972	1,5	0,510	100
4	0,000	0,453	2,403	10	22	0,383972	1,5	0,453	100
5	0,000	0,719	2,889	10	22	0,383972	1,5	0,719	100
6	0,000	1,057	3,371	10	22	0,383972	1,5	1,057	100
7	0,000	1,474	3,852	10	22	0,383972	1,5	1,474	100
8	0,000	1,979	4,333	10	22	0,383972	1,5	1,979	100
9	0,000	2,579	4,817	10	22	0,383972	1,5	2,579	100
10	0,000	3,281	5,304	10	22	0,383972	1,5	3,281	100
11	0,000	4,093	5,794	10	22	0,383972	1,5	4,093	100

ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ					
Lo [m]	Sop	ξ	Q	q [m3/s/m]	Qk
0,521	0,977636	0,408621	0,000142898	0,000104631	8,57634E-05
9,020	0,050270	1,802010	0,012875225	0,034902081	0
13,038	0,055120	1,720903	0,021704709	0,112114687	0
17,746	0,059536	1,655847	0,029239794	0,259053389	0
22,971	0,064177	1,594847	0,03522443	0,495424024	0
28,603	0,069192	1,535965	0,039875215	0,84015824	0
34,401	0,074962	1,475670	0,043482266	1,309131449	0
40,224	0,081560	1,414718	0,046297144	1,917528583	0
46,011	0,088949	1,354686	0,048514663	2,680869498	0

g=	9,807	[m/s^2]
td=	5	[ hrs ]
td=	18000	[ s ]
ρ=	1000	[kg/m3]

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ						
ηυδραυλικό	ηκυμάτων	ηG	ηΟΛ	Pel	Pel,f	Pel,f*I
0,40	0,90	0,95	0,342	0,526	0,004	0,431
0,40	0,90	0,95	0,342	175,592	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	564,048	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	1303,295	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	2492,474	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	4226,829	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	6586,229	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	9647,069	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	13487,430	0,000	0,000
				<b>38483,492</b>	<b>0,004</b>	<b>0,431</b>

ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ				ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ					
ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ - BF	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ - f %	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>p</sub> [s]	d <sub>0</sub> [m]	θ [°]	θ [rad]	Rc1 [m]	H <sub>s,toe</sub> [m]	l [m]
3	0,820	0,510	0,578	10	22	0,383972	3	0,510	100
4	0,000	0,453	2,403	10	22	0,383972	3	0,453	100
5	0,000	0,719	2,889	10	22	0,383972	3	0,719	100
6	0,000	1,057	3,371	10	22	0,383972	3	1,057	100
7	0,000	1,474	3,852	10	22	0,383972	3	1,474	100
8	0,000	1,979	4,333	10	22	0,383972	3	1,979	100
9	0,000	2,579	4,817	10	22	0,383972	3	2,579	100
10	0,000	3,281	5,304	10	22	0,383972	3	3,281	100
11	0,000	4,093	5,794	10	22	0,383972	3	4,093	100

ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ					
Lo [m]	Sop	ξ	Q	q [m <sup>3</sup> /s/m]	Qk
5,676	0,089773	1,348455	3,40328E-07	8,22339E-07	6,74048E-07
9,020	0,050270	1,802010	0,002762857	0,007489536	0
13,038	0,055120	1,720903	0,007851574	0,040556945	0
17,746	0,059536	1,655847	0,014249426	0,126244463	0
22,971	0,064177	1,594847	0,020679342	0,290850485	0
28,603	0,069192	1,535965	0,026500546	0,558358168	0
34,401	0,074962	1,475670	0,031511179	0,948733357	0
40,224	0,081560	1,414718	0,035723759	1,479601614	0
46,011	0,088949	1,354686	0,039227875	2,167691341	0

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ						
ηυδραυλικό	ηκυμάτων	ηG	ηολ	Pel	Pel,f	Pel,f*I
0,40	0,90	0,95	0,342	0,008	0,000	0,007
0,40	0,90	0,95	0,342	75,360	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	408,083	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	1270,270	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	2926,532	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	5618,190	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	9546,138	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	14887,725	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	21811,271	0,000	0,000
				<b>56543,577</b>	<b>0,000</b>	<b>0,007</b>

ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ				ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ					
ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ - BF	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ - f %	Hs [m]	Tp [s]	do [m]	θ [°]	θ [rad]	Rc1 [m]	Hs,toe [m]	l [m]
3	0,820	0,510	0,578	10	22	0,383972	5	0,510	100
4	0,000	0,453	2,403	10	22	0,383972	5	0,453	100
5	0,000	0,719	2,889	10	22	0,383972	5	0,719	100
6	0,000	1,057	3,371	10	22	0,383972	5	1,057	100
7	0,000	1,474	3,852	10	22	0,383972	5	1,474	100
8	0,000	1,979	4,333	10	22	0,383972	5	1,979	100
9	0,000	2,579	4,817	10	22	0,383972	5	2,579	100
10	0,000	3,281	5,304	10	22	0,383972	5	3,281	100
11	0,000	4,093	5,794	10	22	0,383972	5	4,093	100

ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ					
Lo [m]	Sop	ξ	Q	q [m <sup>3</sup> /s/m]	Qk
5,676	0,089773	1,348455	1,08242E-10	2,61546E-10	2,14382E-10
9,020	0,050270	1,802010	0,000354947	0,000962187	0
13,038	0,055120	1,720903	0,002023766	0,010453672	0
17,746	0,059536	1,655847	0,005464639	0,048414608	0
22,971	0,064177	1,594847	0,01016546	0,142974998	0
28,603	0,069192	1,535965	0,01536941	0,323828636	0
34,401	0,074962	1,475670	0,020512612	0,617578341	0
40,224	0,081560	1,414718	0,02528295	1,047165672	0
46,011	0,088949	1,354686	0,029549977	1,632900796	0

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ						
ηυδραυλικό	ηκυμάτων	ηG	ηολ	Pel	Pel,f	Pel,f*I
0,40	0,90	0,95	0,342	0,000	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	16,136	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	175,308	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	811,912	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	2397,686	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	5430,597	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	10356,770	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	17560,937	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	27383,697	0,000	0,000
				<b>64133,043</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ Pel,f		
RC= 1,5 [m]	RC= 3 [m]	RC= 5 [m]
0,431	0,007	0,000
<b>0,438</b>		

ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ									
ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ				ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ					
ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ - BF	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ - f %	Hs [m]	Tp [s]	do [m]	θ [°]	θ [rad]	Rc1 [m]	Hs,toe [m]	l [m]
3	0,000	0,254	1,906	10	22	0,383972	1,5	0,254	100
4	0,000	0,453	2,403	10	22	0,383972	1,5	0,453	100
5	0,000	0,719	2,889	10	22	0,383972	1,5	0,719	100
6	0,000	1,057	3,371	10	22	0,383972	1,5	1,057	100
7	0,000	1,474	3,852	10	22	0,383972	1,5	1,474	100
8	0,000	1,979	4,333	10	22	0,383972	1,5	1,979	100
9	0,000	2,579	4,817	10	22	0,383972	1,5	2,579	100
10	0,000	3,281	5,304	10	22	0,383972	1,5	3,281	100
11	0,000	4,093	5,794	10	22	0,383972	1,5	4,093	100

ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ					
Lo [m]	Sop	ξ	Q	q [m <sup>3</sup> /s/m]	Qk
5,676	0,044772	1,909440	0,004493453	0,005414946	0
9,020	0,050270	1,802010	0,012875225	0,034902081	0
13,038	0,055120	1,720903	0,021704709	0,112114687	0
17,746	0,059536	1,655847	0,029239794	0,259053389	0
22,971	0,064177	1,594847	0,03522443	0,495424024	0
28,603	0,069192	1,535965	0,039875215	0,84015824	0
34,401	0,074962	1,475670	0,043482266	1,309131449	0
40,224	0,081560	1,414718	0,046297144	1,917528583	0
46,011	0,088949	1,354686	0,048514663	2,680869498	0

g=	9,807	[m/s <sup>2</sup> ]
td=	5	[ hrs ]
td=	18000	[ s ]
ρ=	1000	[kg/m <sup>3</sup> ]

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ						
Hyδραυλικό	ηκυμάτων	ηG	ηΟΛ	Pel	Pel,f	Pel,f*I
0,40	0,90	0,95	0,342	27,243	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	175,592	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	564,048	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	1303,295	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	2492,474	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	4226,829	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	6586,229	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	9647,069	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	13487,430	0,000	0,000
					<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ				ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ					
ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ - BF	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ - f %	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>p</sub> [s]	do [m]	θ [°]	θ [rad]	Rc1 [m]	H <sub>s, toe</sub> [m]	l [m]
3	0,000	0,254	1,906	10	22	0,383972	3	0,254	100
4	0,000	0,453	2,403	10	22	0,383972	3	0,453	100
5	0,000	0,719	2,889	10	22	0,383972	3	0,719	100
6	0,000	1,057	3,371	10	22	0,383972	3	1,057	100
7	0,000	1,474	3,852	10	22	0,383972	3	1,474	100
8	0,000	1,979	4,333	10	22	0,383972	3	1,979	100
9	0,000	2,579	4,817	10	22	0,383972	3	2,579	100
10	0,000	3,281	5,304	10	22	0,383972	3	3,281	100
11	0,000	4,093	5,794	10	22	0,383972	3	4,093	100

ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ					
Lo [m]	Sop	ξ	Q	q [m <sup>3</sup> /s/m]	Qk
21,917	0,011594	3,752183	9,34215E-15	3,74766E-15	0
48,094	0,009428	4,160974	6,76589E-09	6,46947E-09	0
77,780	0,009240	4,203213	3,86747E-06	7,37877E-06	0
110,708	0,009544	4,135751	0,000124401	0,000423082	0
147,580	0,009989	4,042411	0,001007471	0,005647434	0
188,856	0,010480	3,946729	0,003885313	0,033877206	0
0,042	61,276889	0,051613	0,03151179	0,033183039	0
0,035	94,514803	0,041558	0,035723759	0,043464491	0
0,029	140,719840	0,034059	0,039227875	0,054499276	0

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ						
ηυδραυλικό	ηκυμάτων	ηG	ηολ	Pel	Pel,f	Pel,f*I
0,40	0,90	0,95	0,342	0,000	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	0,000	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	0,074	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	4,257	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	56,824	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	340,872	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	333,887	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	437,339	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	548,371	0,000	0,000
					<b>0,000</b>	<b>0,000</b>



ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ				ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ					
ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ - BF	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ - f %	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>p</sub> [s]	do [m]	θ [°]	θ [rad]	Rc1 [m]	H <sub>s,toe</sub> [m]	l [m]
3	0,000	0,254	1,906	10	22	0,383972	5	0,254	100
4	0,000	0,453	2,403	10	22	0,383972	5	0,453	100
5	0,000	0,719	2,889	10	22	0,383972	5	0,719	100
6	0,000	1,057	3,371	10	22	0,383972	5	1,057	100
7	0,000	1,474	3,852	10	22	0,383972	5	1,474	100
8	0,000	1,979	4,333	10	22	0,383972	5	1,979	100
9	0,000	2,579	4,817	10	22	0,383972	5	2,579	100
10	0,000	3,281	5,304	10	22	0,383972	5	3,281	100
11	0,000	4,093	5,794	10	22	0,383972	5	4,093	100

ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ					
Lo [m]	Sop	ξ	Q	q [m <sup>3</sup> /s/m]	Qk
21,917	0,011594	3,752183	1,21169E-23	4,86076E-24	0
48,094	0,009428	4,160974	7,07709E-14	6,76704E-14	0
77,780	0,009240	4,203213	2,78628E-09	5,31596E-09	0
110,708	0,009544	4,135751	9,06474E-07	3,08287E-06	0
147,580	0,009989	4,042411	2,96052E-05	0,000165953	0
188,856	0,010480	3,946729	0,000280774	0,002448151	0
0,042	61,276889	0,051613	0,020512612	0,021600512	0
0,035	94,514803	0,041558	0,02528295	0,030761336	0
0,029	140,719840	0,034059	0,029549977	0,041053775	0

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ						
ηυδραυλικό	ηκυμάτων	ηG	ηΟΛ	Pel	Pel,f	Pel,f*I
0,40	0,90	0,95	0,342	0,000	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	0,000	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	0,000	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	0,052	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	2,783	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	41,055	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	362,240	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	515,867	0,000	0,000
0,40	0,90	0,95	0,342	688,471	0,000	0,000
					<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ Pel,f		
RC= 1,5 [m]	RC= 3 [m]	RC= 5 [m]
0,000	0,000	0,000
<b>0,000</b>		

Παράρτημα 3 :Φύλλα υπολογισμού για έλεγχο μήκους κύματος  $L_0$  για βαθιά ή ρηχά ή ενδιάμεσα νερά και στις τρεις διευθύνσεις ανέμου που μας ενδιαφέρουν.

NORTH - ΒΟΡΕΙΟΣ ΑΝΕΜΟΣ			
BF	f [%]	$H_s$ [m]	$T_p$ [s]
3	17,486	0,254	1,906
4	5,738	0,453	2,403
5	0,000	0,701	2,841
6	0,000	0,954	3,149
7	0,000	1,245	3,441
8	0,000	1,576	3,723
9	0,000	1,948	3,995
10	0,000	2,361	4,260
11	0,000	2,818	4,518

g=	9,807	[m/s <sup>2</sup> ]
$F_N$ =	125.807,000	[m]
$t_d$ =	5	[ hrs ]
$t_d$ =	18.000,00	[ s ]
do	10	[m]
l =	100	[m]

BF	ΡΗΧΑ ΝΕΡΑ do/L<0,05			ΒΑΘΕΙΑ ΝΕΡΑ do/L>0,5		
	L [m]	do/L	$L_0$ [m]	L [m]	do/L	$L_0$ [m]
3	1,000	10,000	18,880	1,000	10,000	5,676
	18,880	0,530	23,801	5,676	<b>1,762</b>	<b>5,676</b>
4	1,000	10,000	23,801	2,000	5,000	9,020
	23,801	0,420	23,801	9,020	<b>1,109</b>	<b>9,020</b>
5	1,000	10,000	28,138	3,000	3,333	12,608
	28,138	0,355	28,138	12,608	<b>0,793</b>	<b>12,608</b>
6	1,000	10,000	31,184	4,000	2,500	15,485
	31,184	0,321	31,184	15,485	<b>0,646</b>	<b>15,485</b>
7	1,000	10,000	34,081	5,000	2,000	18,495
	34,081	0,293	34,081	18,495	<b>0,541</b>	<b>18,495</b>
8	1,000	10,000	36,865	6,000	1,667	21,641
	36,865	0,271	36,865	21,641	0,462	21,641
9	1,000	10,000	39,561	7,000	1,429	24,922
	39,561	0,253	39,561	24,922	0,401	24,922
10	1,000	10,000	42,184	8,000	1,250	28,336
	42,184	0,237	42,184	28,336	0,353	28,336
11	1,000	10,000	44,747	9,000	1,111	31,883
	44,747	0,223	44,747	31,883	0,314	31,883

ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=3			ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=4		
L [m]	do/L	Lo [m]	L [m]	do/L	Lo [m]
1	10	5,676	1	10	9,020
5,67574113	1,76188444	5,676	9,02012632	1,10863192	9,020
5,67574113	1,76188444	<b>5,676</b>	9,02011014	1,10863391	9,020
5,67574113	1,76188444	5,676	9,02011014	1,10863391	<b>9,020</b>

ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=5			ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=6			ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=7		
L [m]	do/L	Lo [m]	L [m]	do/L	Lo [m]	L [m]	do/L	Lo [m]
1	10	12,608	1	10	15,485	1	10	18,495
12,60780736	0,79315933	12,607	15,48457033	0,64580416	15,475	18,49530726	0,54067769	18,454
12,60661839	0,79323413	12,607	15,47527840	0,64619193	15,475	18,45377857	0,54189444	18,454
12,60661951	0,79323406	12,607	15,47532353	0,64619004	15,475	18,45440771	0,54187597	18,454
12,60661951	<b>0,79323406</b>	<b>12,607</b>	15,47532331	0,64619005	15,475	18,45439823	<b>0,54187624</b>	<b>18,454</b>
12,60661951	0,79323406	12,607	15,47532331	<b>0,64619005</b>	<b>15,475</b>	18,45439837	0,54187624	18,454

ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=8			ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=9		
L [m]	do/L	Lo [m]	L [m]	do/L	Lo [m]
1	10	21,641	1	10	24,922
21,64110401	0,46208363	21,511	24,92177707	0,40125550	24,601
21,51095047	0,46487950	21,515	24,60110434	0,40648582	24,621
21,51542860	0,46478275	21,515	24,62137033	0,40615124	24,620
21,51527622	0,46478604	21,515	24,62011292	0,40617198	24,620
21,51528140	0,46478593	21,515	24,62019103	0,40617069	24,620
21,51528123	<b>0,46478593</b>	<b>21,515</b>	24,62018617	<b>0,40617077</b>	<b>24,620</b>
21,51528123	0,46478593	21,515	24,62018648	0,40617077	24,620

ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=10			ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=11		
L [m]	do/L	Lo [m]	L [m]	do/L	Lo [m]
1	10	28,336	1	10	31,883
28,33628402	0,35290442	27,671	31,88301183	0,31364665	30,666
27,67064262	0,36139385	27,737	30,66582101	0,32609595	30,839
27,73725349	0,36052596	27,731	30,83912681	0,32426340	30,815
27,73075811	0,36061041	27,731	30,81522821	0,32451488	30,819
27,73139316	0,36060215	27,731	30,81853938	0,32448001	30,818
27,73133109	0,36060296	27,731	30,81808091	0,32448484	30,818
27,73133716	0,36060288	27,731	30,81814440	0,32448417	30,818
27,73133656	<b>0,36060289</b>	<b>27,731</b>	30,81813560	0,32448426	30,818
27,73133662	0,36060289	27,731	30,81813682	<b>0,32448425</b>	<b>30,818</b>
			30,81813665	0,32448425	30,818

NORTH WEST - ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ			
BF	f [%]	Hs [m]	Tp [s]
3	0,820	0,510	0,578
4	0,000	0,453	2,403
5	0,000	0,719	2,889
6	0,000	1,057	3,371
7	0,000	1,474	3,852
8	0,000	1,979	4,333
9	0,000	2,579	4,817
10	0,000	3,281	5,304
11	0,000	4,093	5,794

g=	9,807	[m/s <sup>2</sup> ]
F <sub>NW</sub> =	78.996,000	[m]
t <sub>d</sub> =	5	[ hrs ]
t <sub>d</sub> =	18.000,00	[ s ]
do	10	[m]
l =	100	[m]

BF	PHXA NEPA do/L<0,05			ΒΑΘΕΙΑ NEPA do/L>0,5		
	L [m]	do/L	Lo [m]	L [m]	do/L	Lo [m]
3	1,000	10,000	5,721	1,000	10,000	0,521
	5,721	1,748	23,801	0,521	<b>19,187</b>	<b>0,521</b>
4	1,000	10,000	23,801	2,000	5,000	9,020
	23,801	0,420	23,801	9,020	<b>1,109</b>	<b>9,020</b>
5	1,000	10,000	28,615	3,000	3,333	13,038
	28,615	0,349	28,615	13,038	<b>0,767</b>	<b>13,038</b>
6	1,000	10,000	33,384	4,000	2,500	17,746
	33,384	0,300	33,384	17,746	<b>0,563</b>	<b>17,746</b>
7	1,000	10,000	38,142	5,000	2,000	23,166
	38,142	0,262	38,142	23,166	0,432	23,166
8	1,000	10,000	42,911	6,000	1,667	29,321
	42,911	0,233	42,911	29,321	0,341	29,321
9	1,000	10,000	47,703	7,000	1,429	36,235
	47,703	0,210	47,703	36,235	0,276	36,235
10	1,000	10,000	52,525	8,000	1,250	43,931
	52,525	0,190	52,525	43,931	0,228	43,931
11	1,000	10,000	57,382	9,000	1,111	52,432
	57,382	0,174	57,382	52,432	0,191	52,432

ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=3			ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=4		
L [m]	do/L	Lo [m]	L [m]	do/L	Lo [m]
1	10	0,521	1	10	9,020
0,52118413	19,18707699	0,521	9,02012632	1,10863192	9,020
0,52118413	19,18707699	0,521	9,02011014	1,10863391	9,020
0,52118413	<b>19,18707699</b>	<b>0,521</b>	9,02011014	<b>1,10863391</b>	<b>9,020</b>

ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=5			ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=6			ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=7		
L [m]	do/L	Lo [m]	L [m]	do/L	Lo [m]	L [m]	do/L	Lo [m]
1	10	13,038	1	10	17,746	1	10	23,166
13,03825577	0,76697376	13,037	17,74634367	0,56349636	17,716	23,16607592	0,43166568	22,962
13,03654741	0,76707426	13,037	17,71641778	0,56444819	17,717	22,96221038	0,43549814	22,972
13,03654956	0,76707414	13,037	17,71677312	0,56443687	17,717	22,97175097	0,43531727	22,971
13,03654956	<b>0,76707414</b>	<b>13,037</b>	17,71676891	0,56443701	17,717	22,97131087	0,43532561	22,971
			17,71676896	0,56443700	17,717	22,97133119	0,43532523	22,971
			17,71676896	<b>0,56443700</b>	<b>17,717</b>	22,97133025	0,43532525	22,971
						22,97133029	<b>0,43532525</b>	<b>22,971</b>

ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=8			ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=9		
L [m]	do/L	Lo [m]	L [m]	do/L	Lo [m]
1	10	29,321	1	10	36,235
29,32103308	0,34105210	28,523	36,23503288	0,27597602	34,040
28,52320376	0,35059175	28,612	34,04008343	0,29377131	34,469
28,61220421	0,34950121	28,603	34,46900137	0,29011574	34,388
28,60254820	0,34961920	28,604	34,38814025	0,29079793	34,403
28,60359915	0,34960635	28,603	34,40349905	0,29066811	34,401
28,60348481	0,34960775	28,603	34,40058586	0,29069272	34,401
28,60349725	0,34960760	28,603	34,40113857	0,29068805	34,401
28,60349589	0,34960762	28,603	34,40103371	0,29068894	34,401
28,60349604	0,34960761	28,603	34,40105360	0,29068877	34,401
28,60349603	<b>0,34960761</b>	<b>28,603</b>	34,40104983	0,29068880	34,401
			34,40105054	<b>0,29068880</b>	<b>34,401</b>

ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=10			ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=11		
L [m]	do/L	Lo [m]	L [m]	do/L	Lo [m]
1	10	43,931	1	10	52,432
43,93134448	0,22762791	39,168	52,43233030	0,19072202	43,674
39,16763842	0,25531281	40,512	43,67414994	0,22896839	46,837
40,51231869	0,24683850	40,145	46,83667555	0,21350789	45,714
40,14488172	0,24909776	40,246	45,71424702	0,21875019	46,117
40,24637430	0,24846959	40,218	46,11655573	0,21684187	45,973
40,21841903	0,24864229	40,226	45,97278487	0,21752000	46,024
40,22612513	0,24859466	40,224	46,02422145	0,21727690	46,006
40,22400134	0,24860779	40,225	46,00582636	0,21736377	46,012
40,22458669	0,24860417	40,224	46,01240587	0,21733269	46,010
40,22442536	0,24860517	40,224	46,01005265	0,21734381	46,011
40,22446982	0,24860489	40,224	46,01089432	0,21733983	46,011
40,22445757	0,24860497	40,224	46,01059328	0,21734125	46,011
40,22446095	0,24860495	40,224	46,01070095	0,21734074	46,011
40,22446002	<b>0,24860495</b>	<b>40,224</b>	46,01066244	0,21734093	46,011
			46,01067621	0,21734086	46,011
			46,01067129	0,21734088	46,011
			46,01067305	<b>0,21734088</b>	<b>46,011</b>

NORTHEAST - ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ

BF	f [%]	Hs [m]	Tp [s]
3	0,000	0,254	1,906
4	0,000	0,453	2,403
5	0,000	0,719	2,889
6	0,000	1,057	3,371
7	0,000	1,474	3,852
8	0,000	1,979	4,333
9	0,000	2,579	4,817
10	0,000	3,281	5,304
11	0,000	4,093	5,794

g=	9,807	[m/s <sup>2</sup> ]
FNE=	10.644,785	[m]
td=	5	[ hrs ]
td=	18.000,00	[ s ]
do	10	[m]
l =	100	[m]

BF	PHXA NEPA do/L<0,05			ΒΑΘΕΙΑ NEPA do/L>0,5		
	L [m]	do/L	Lo [m]	L [m]	do/L	Lo [m]
3	1,000	10,000	18,880	1,000	10,000	5,676
	18,880	0,530	23,801	5,676	<b>1,762</b>	<b>5,676</b>
4	1,000	10,000	23,801	2,000	5,000	9,020
	23,801	0,420	23,801	9,020	<b>1,109</b>	<b>9,020</b>
5	1,000	10,000	28,615	3,000	3,333	13,038
	28,615	0,349	28,615	13,038	<b>0,767</b>	<b>13,038</b>
6	1,000	10,000	33,384	4,000	2,500	17,746
	33,384	0,300	33,384	17,746	<b>0,563</b>	<b>17,746</b>
7	1,000	10,000	38,142	5,000	2,000	23,166
	38,142	0,262	38,142	23,166	0,432	23,166
8	1,000	10,000	42,911	6,000	1,667	29,321
	42,911	0,233	42,911	29,321	0,341	29,321
9	1,000	10,000	47,703	7,000	1,429	36,235
	47,703	0,210	47,703	36,235	0,276	36,235
10	1,000	10,000	52,525	8,000	1,250	43,931
	52,525	0,190	52,525	43,931	0,228	43,931
11	1,000	10,000	57,382	9,000	1,111	52,432
	57,382	0,174	57,382	52,432	0,191	52,432

ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=3			ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=4		
L [m]	do/L	Lo [m]	L [m]	do/L	Lo [m]
1	10	5,676	1	10	9,020
5,67574113	1,76188444	5,676	9,02012632	1,10863192	9,020
5,67574113	1,76188444	5,676	9,02011014	1,10863391	9,020
5,67574113	1,76188444	5,676	9,02011014	1,10863391	9,020
5,67574113	1,76188444	<b>5,676</b>	9,02011014	<b>1,10863391</b>	<b>9,020</b>

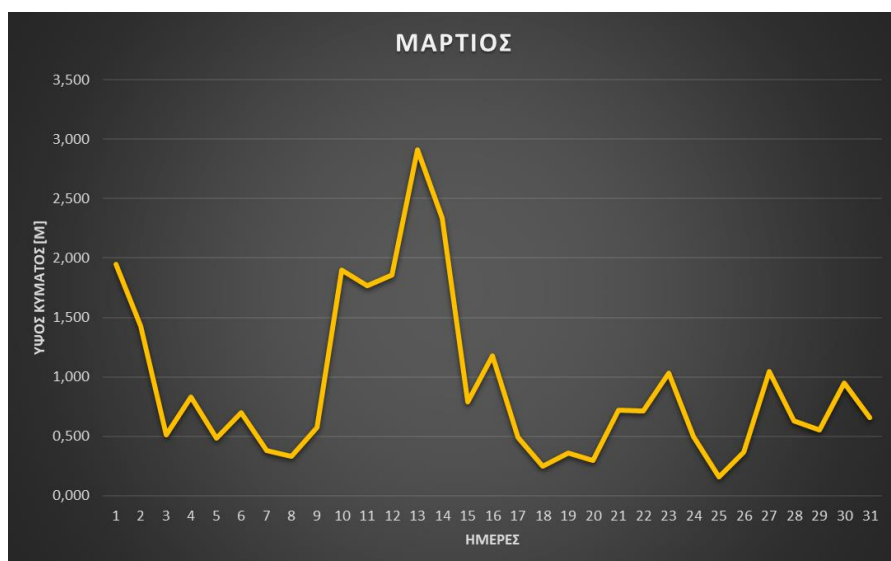
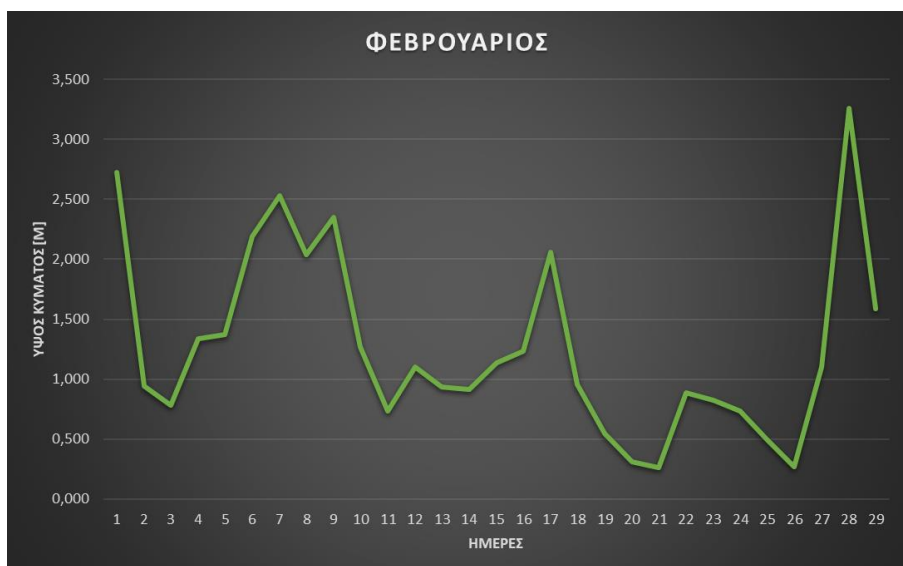
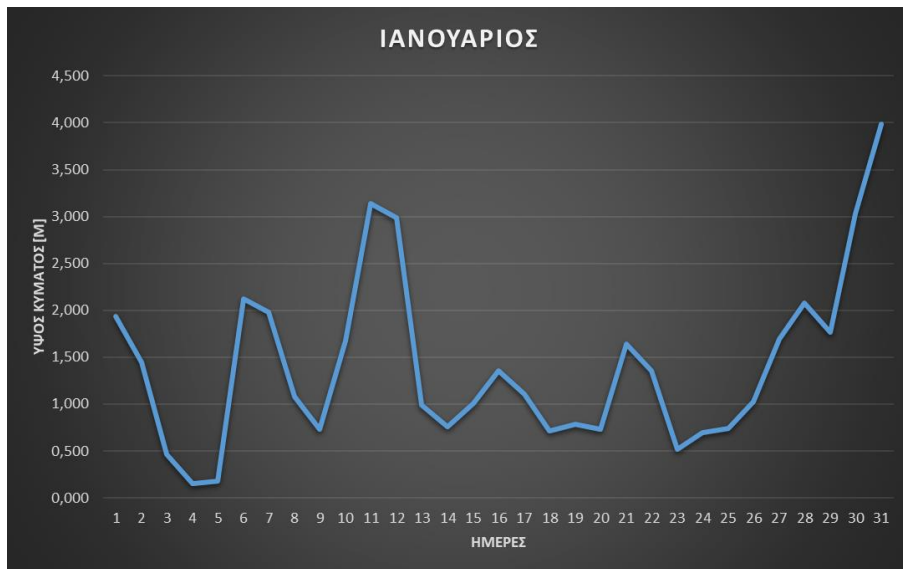
ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=5			ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=6		
L [m]	do/L	Lo [m]	L [m]	do/L	Lo [m]
1	10	13,038	1	10	17,746
13,03825577	0,76697376	13,037	17,74634367	0,56349636	17,716
13,03654741	0,76707426	13,037	17,71641778	0,56444819	17,717
13,03654956	0,76707414	13,037	17,71677312	0,56443687	17,717
13,03654956	<b>0,76707414</b>	<b>13,037</b>	17,71676891	0,56443701	17,717
			17,71676896	0,56443700	17,717
			17,71676896	<b>0,56443700</b>	<b>17,717</b>

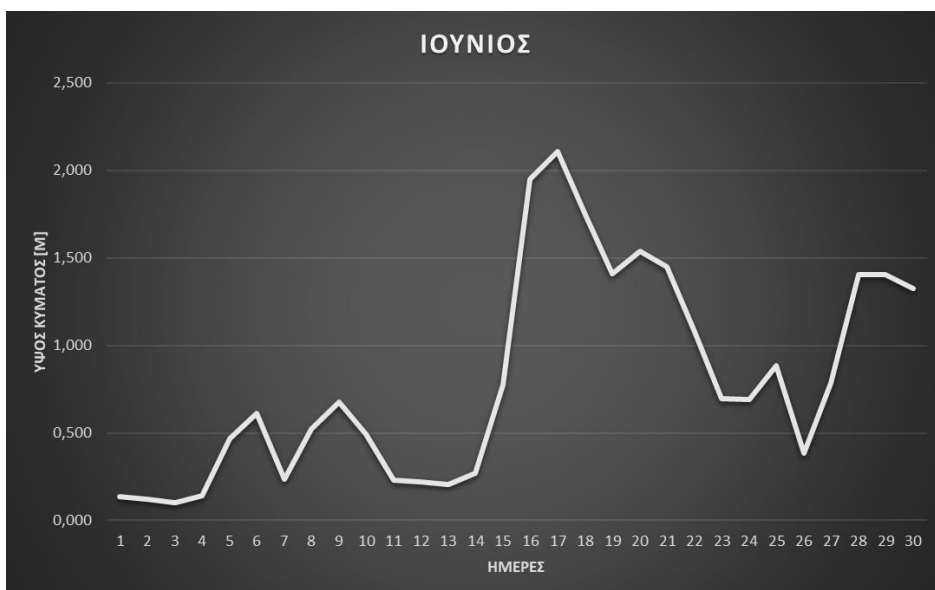
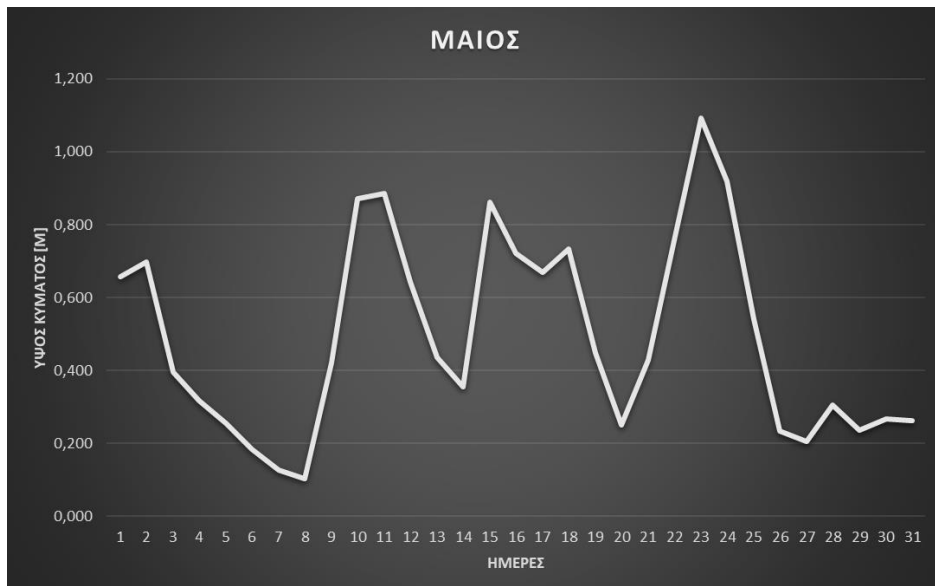
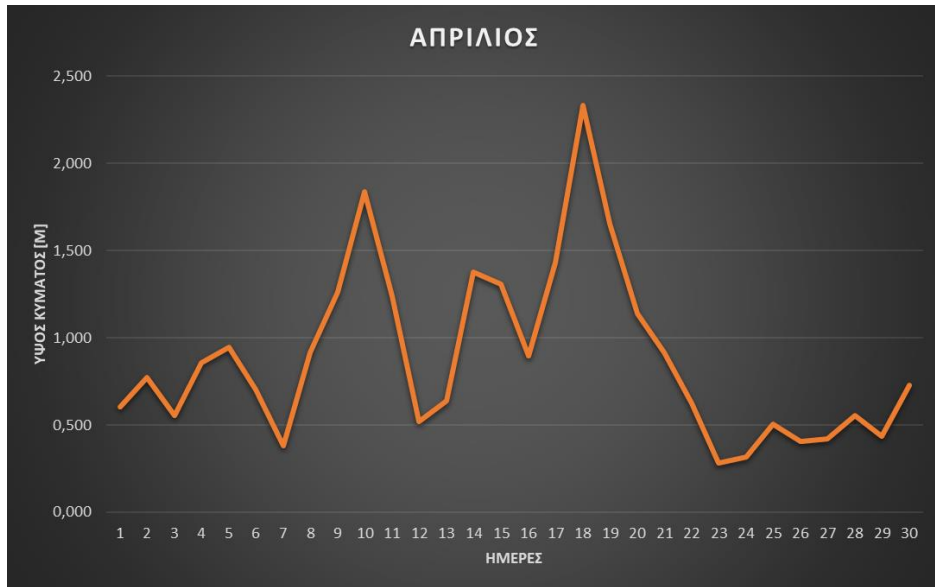
ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=7			ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=8			ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=9		
L [m]	do/L	Lo [m]	L [m]	do/L	Lo [m]	L [m]	do/L	Lo [m]
1	10	23,166	1	10	29,321	1	10	36,235
23,16607592	0,43166568	22,962	29,32103308	0,34105210	28,523	36,23503288	0,27597602	34,040
22,96221038	0,43549814	22,972	28,52320376	0,35059175	28,612	34,04008343	0,29377131	34,469
22,97175097	0,43531727	22,971	28,61220421	0,34950121	28,603	34,46900137	0,29011574	34,388
22,97131087	0,43532561	22,971	28,60254820	0,34961920	28,604	34,38814025	0,29079793	34,403
22,97133119	0,43532523	22,971	28,60359915	0,34960635	28,603	34,40349905	0,29066811	34,401
22,97133025	0,43532525	22,971	28,60348481	0,34960775	28,603	34,40058586	0,29069272	34,401
22,97133029	<b>0,43532525</b>	<b>22,971</b>	28,60349725	0,34960760	28,603	34,40113857	0,29068805	34,401
			28,60349589	0,34960762	28,603	34,40103371	0,29068894	34,401
			28,60349604	0,34960761	28,603	34,40105360	0,29068877	34,401
			28,60349603	<b>0,34960761</b>	<b>28,603</b>	34,40104983	0,29068880	34,401
						34,40105054	<b>0,29068880</b>	<b>34,401</b>

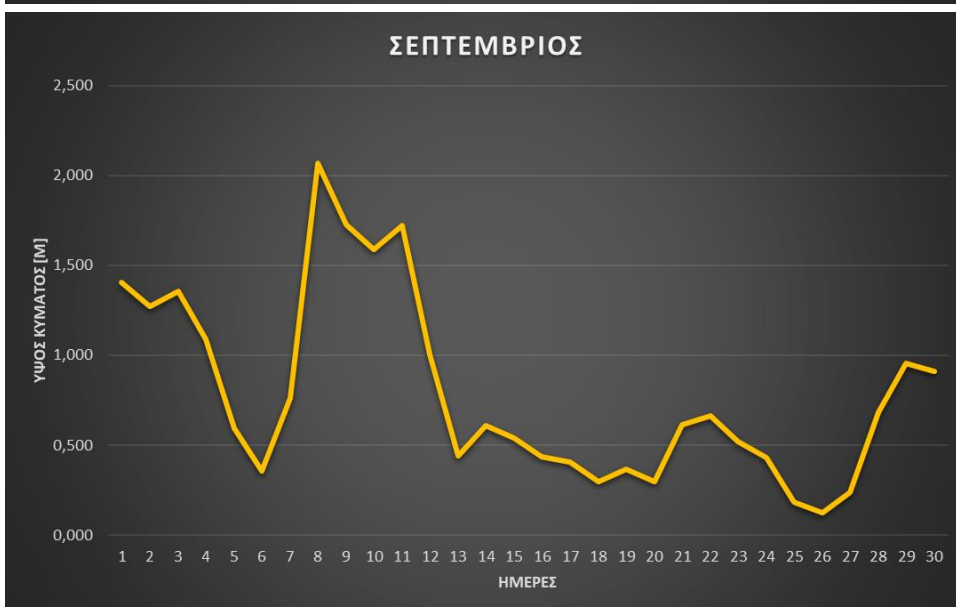
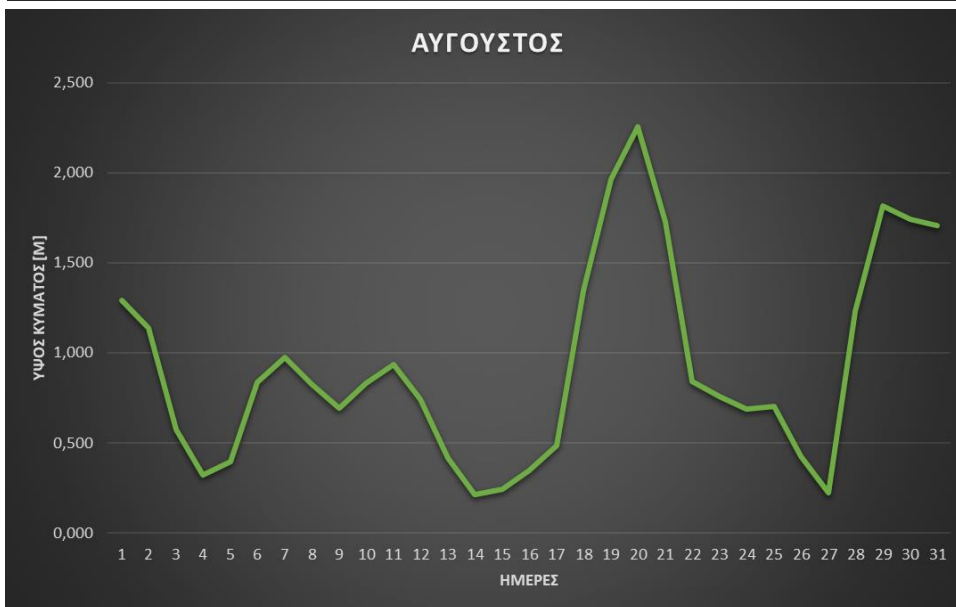
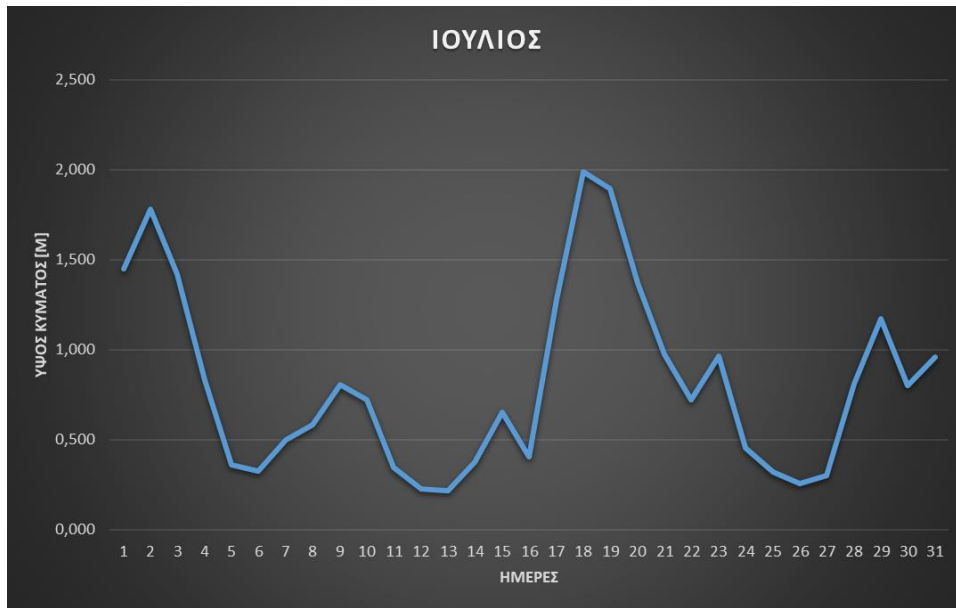


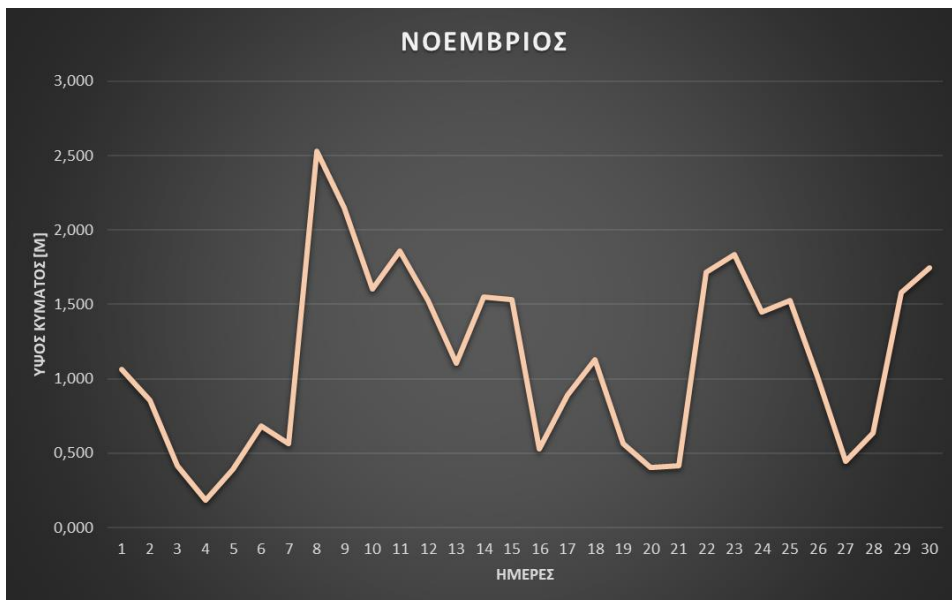
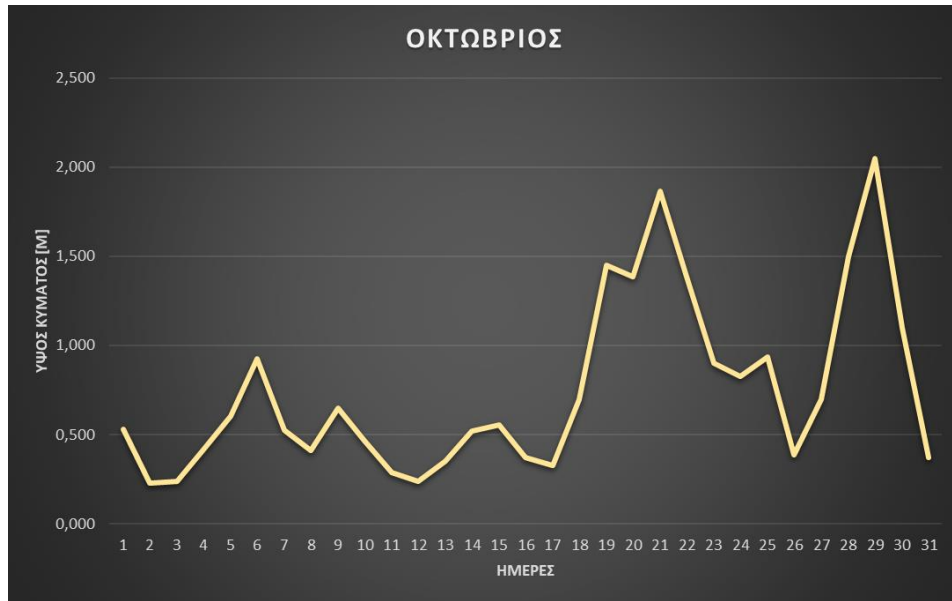
ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=10			ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ ΝΕΡΑ BF=11		
L [m]	do/L	Lo [m]	L [m]	do/L	Lo [m]
1	10	43,931	1	10	52,432
43,93134448	0,22762791	39,168	52,43233030	0,19072202	43,674
39,16763842	0,25531281	40,512	43,67414994	0,22896839	46,837
40,51231869	0,24683850	40,145	46,83667555	0,21350789	45,714
40,14488172	0,24909776	40,246	45,71424702	0,21875019	46,117
40,24637430	0,24846959	40,218	46,11655573	0,21684187	45,973
40,21841903	0,24864229	40,226	45,97278487	0,21752000	46,024
40,22612513	0,24859466	40,224	46,02422145	0,21727690	46,006
40,22400134	0,24860779	40,225	46,00582636	0,21736377	46,012
40,22458669	0,24860417	40,224	46,01240587	0,21733269	46,010
40,22442536	0,24860517	40,224	46,01005265	0,21734381	46,011
40,22446982	0,24860489	40,224	46,01089432	0,21733983	46,011
40,22445757	0,24860497	40,224	46,01059328	0,21734125	46,011
40,22446095	0,24860495	40,224	46,01070095	0,21734074	46,011
40,22446002	<b>0,24860495</b>	<b>40,224</b>	46,01066244	0,21734093	46,011
			46,01067621	0,21734086	46,011
			46,01067129	0,21734088	46,011
			46,01067305	<b>0,21734088</b>	<b>46,011</b>

Παράρτημα 4 : Μηνιαία διαγράμματα ύψους κύματος (από δορυφορικά δεδομένα) για την Σύρο το έτος 2012 .









**Παράρτημα 5 : Φύλλα υπολογισμού και αποτελέσματα οικονομικής ανάλυσης για τη διάταξη που μελετήθηκε βασισμένη σε ανεμολογικά δεδομένα.**

ΕΤΗ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ [€]	ΔΗΜΟΤΙΚΑ ΤΕΛΗ [€]	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ [€]	ΜΙΣΘΟΔΟΣΙΑ [€]	ΕΝΟΙΚΙΟ ΓΗΣ [€]	ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ [€]	ΔΙΑΦΟΡΑ [€]	ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΕΞΟΔΑ [€]
0								
1	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
2	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
3	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
4	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
5	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
6	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
7	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
8	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
9	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
10	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
11	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
12	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
13	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
14	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
15	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
16	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
17	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
18	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
19	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09
20	1.820.854,27	54.625,63	183,09	51.200,00	100.000,00	32.185,75	50.000,00	50.183,09

ΣΤΑΘΕΡΑ ΕΞΟΔΑ [€]	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ [€]	ΑΠΟΣΒΕΣΗ [€]	ΔΟΣΗ ΔΑΝΕΙΟΥ [€]	ΦΟΡΟΙ [€]	ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΞΟΔΑ [€]	ΚΕΡΔΗ [€]	ΚΕΡΔΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ [€]	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΚΕΡΔΗ [€]	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΚΕΡΔΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ [€]
						- 2.011.609,53	- 2.011.609,53		
238.011,38	288.194,47	241.393,14	387.606,13	234.951,74	910.752,34	910.101,93	883.594,11	910.101,93	883.594,11
238.011,38	288.194,47	241.393,14	387.606,13	234.951,74	910.752,34	910.101,93	857.858,36	1.820.203,86	1.741.452,47
238.011,38	288.194,47	241.393,14	387.606,13	234.951,74	910.752,34	910.101,93	832.872,19	2.730.305,80	2.574.324,66
238.011,38	288.194,47	241.393,14	387.606,13	234.951,74	910.752,34	910.101,93	808.613,78	3.640.407,73	3.382.938,44
238.011,38	288.194,47	241.393,14	387.606,13	234.951,74	910.752,34	910.101,93	785.061,92	4.550.509,66	4.168.000,36
238.011,38	288.194,47	241.393,14	387.606,13	234.951,74	910.752,34	910.101,93	762.196,04	5.460.611,59	4.930.196,40
238.011,38	288.194,47	241.393,14	387.606,13	234.951,74	910.752,34	910.101,93	739.996,16	6.370.713,52	5.670.192,55
238.011,38	288.194,47	241.393,14	387.606,13	234.951,74	910.752,34	910.101,93	718.442,87	7.280.815,45	6.388.635,42
238.011,38	288.194,47	241.393,14	387.606,13	234.951,74	910.752,34	910.101,93	697.517,35	8.190.917,39	7.086.152,77
238.011,38	288.194,47	241.393,14	387.606,13	234.951,74	910.752,34	910.101,93	677.201,31	9.101.019,32	7.763.354,08
238.011,38	288.194,47	241.393,14	387.606,13	234.951,74	910.752,34	910.101,93	657.477,00	10.011.121,25	8.420.831,08
238.011,38	288.194,47	241.393,14	387.606,13	234.951,74	910.752,34	910.101,93	638.327,18	10.921.223,18	9.059.158,26
238.011,38	288.194,47	241.393,14	387.606,13	234.951,74	910.752,34	910.101,93	619.735,13	11.831.325,11	9.678.893,39
238.011,38	288.194,47	241.393,14	387.606,13	234.951,74	910.752,34	910.101,93	601.684,59	12.741.427,05	10.280.577,99
238.011,38	288.194,47	241.393,14	387.606,13	234.951,74	910.752,34	910.101,93	584.159,80	13.651.528,98	10.864.737,78
238.011,38	288.194,47	241.393,14	0	335.729,33	623.923,80	1.196.930,47	745.887,50	14.848.459,44	11.610.625,28
238.011,38	288.194,47	241.393,14	0	335.729,33	623.923,80	1.196.930,47	724.162,62	16.045.389,91	12.334.787,90
238.011,38	288.194,47	241.393,14	0	335.729,33	623.923,80	1.196.930,47	703.070,50	17.242.320,38	13.037.858,40
238.011,38	288.194,47	241.393,14	0	335.729,33	623.923,80	1.196.930,47	682.592,72	18.439.250,84	13.720.451,12
238.011,38	288.194,47	241.393,14	0	335.729,33	623.923,80	1.196.930,47	662.711,38	19.636.181,31	14.383.162,50

Ετήσια ενέργεια (MWh)	18.309,24	[MWh]
Τιμή (€/MWh)	99,45	[€]
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	10.058.047,65	[€]

Περίοδος Απληρωμής	15	έτη
Επιτόκιο δανεισμού	5%	
Επιτόκιο αναγωγής	0,03	

**Παράρτημα 6 : Φύλλα υπολογισμού και αποτελέσματα οικονομικής ανάλυσης για τη διάταξη που μελετήθηκε βασισμένη σε δορυφορικά δεδομένα.**

ΕΤΗ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ [€]	ΔΗΜΟΤΙΚΑ ΤΕΛΗ [€]	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ [€]	ΜΙΣΘΟΔΟΣΙΑ [€]	ΕΝΟΙΚΙΟ ΓΗΣ [€]	ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ [€]	ΔΙΑΦΟΡΑ [€]	ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΕΣΟΔΑ [€]
0								
1	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
2	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
3	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
4	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
5	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
6	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
7	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
8	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
9	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
10	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
11	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
12	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
13	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
14	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
15	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
16	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
17	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
18	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
19	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37
20	1.081.035,64	32.431,07	108,37	51.200,00	100.000,00	29.344,73	50.000,00	50.108,37

ΣΤΑΘΕΡΑ ΕΣΟΔΑ [€]	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΣΟΔΑ [€]	ΑΠΟΣΒΕΣΗ [€]	ΔΟΣΗ ΔΑΝΕΙΟΥ [€]	ΦΟΡΟΙ [€]	ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΣΟΔΑ [€]	ΚΕΡΔΗ [€]	ΚΕΡΔΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ [€]	ΑΦΟΡΙΣΤΙΚΑ ΚΕΡΔΗ [€]	ΑΦΟΡΙΣΤΙΚΑ ΚΕΡΔΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ [€]
						- 1.834.045,41	- 1.834.045,41		
212.975,80	263.084,17	220.085,45	353.392,26	63.563,18	680.039,61	400.996,03	389.316,53	400.996,03	389.316,53
212.975,80	263.084,17	220.085,45	353.392,26	63.563,18	680.039,61	400.996,03	377.977,22	801.992,06	767.293,75
212.975,80	263.084,17	220.085,45	353.392,26	63.563,18	680.039,61	400.996,03	366.968,17	1.202.988,09	1.134.261,92
212.975,80	263.084,17	220.085,45	353.392,26	63.563,18	680.039,61	400.996,03	356.279,78	1.603.984,12	1.490.541,70
212.975,80	263.084,17	220.085,45	353.392,26	63.563,18	680.039,61	400.996,03	345.902,70	2.004.980,15	1.836.444,40
212.975,80	263.084,17	220.085,45	353.392,26	63.563,18	680.039,61	400.996,03	335.827,86	2.405.976,18	2.172.272,26
212.975,80	263.084,17	220.085,45	353.392,26	63.563,18	680.039,61	400.996,03	326.046,47	2.806.972,21	2.498.318,73
212.975,80	263.084,17	220.085,45	353.392,26	63.563,18	680.039,61	400.996,03	316.549,97	3.207.968,24	2.814.868,70
212.975,80	263.084,17	220.085,45	353.392,26	63.563,18	680.039,61	400.996,03	307.330,07	3.608.964,26	3.122.198,76
212.975,80	263.084,17	220.085,45	353.392,26	63.563,18	680.039,61	400.996,03	298.378,71	4.009.960,29	3.420.577,47
212.975,80	263.084,17	220.085,45	353.392,26	63.563,18	680.039,61	400.996,03	289.688,06	4.410.956,32	3.710.265,53
212.975,80	263.084,17	220.085,45	353.392,26	63.563,18	680.039,61	400.996,03	281.250,55	4.811.952,35	3.991.516,08
212.975,80	263.084,17	220.085,45	353.392,26	63.563,18	680.039,61	400.996,03	273.058,78	5.212.948,38	4.264.574,86
212.975,80	263.084,17	220.085,45	353.392,26	63.563,18	680.039,61	400.996,03	265.105,62	5.613.944,41	4.529.680,48
212.975,80	263.084,17	220.085,45	353.392,26	63.563,18	680.039,61	400.996,03	257.384,09	6.014.940,44	4.787.064,57
212.975,80	263.084,17	220.085,45	0	155.445,16	418.529,33	662.506,30	412.852,02	6.677.446,74	5.199.916,59
212.975,80	263.084,17	220.085,45	0	155.445,16	418.529,33	662.506,30	400.827,21	7.339.953,05	5.600.743,80
212.975,80	263.084,17	220.085,45	0	155.445,16	418.529,33	662.506,30	389.152,63	8.002.459,35	5.989.896,43
212.975,80	263.084,17	220.085,45	0	155.445,16	418.529,33	662.506,30	377.818,09	8.664.965,65	6.367.714,52
212.975,80	263.084,17	220.085,45	0	155.445,16	418.529,33	662.506,30	366.813,68	9.327.471,95	6.734.528,20

<b>Ετήσια ενέργεια (MWh)</b>	10.837,45	[MWh]
<b>Τιμή (€/MWh)</b>	99,45	[€]
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ</b>	9.170.227,06	

<b>Περίοδος Απληρωμής</b>	15	έτη
<b>Επιτόκιο δανεισμού</b>	5%	
<b>Επιτόκιο αναγωγής</b>	0,03	