



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών
Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΛΩΤΩΝ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΗΣ

ΛΑΛΕΟΓΛΟΥ ΡΑΦΑΕΛΑΣ

ΧΑΝΙΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ, 2025

"Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης".



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών
Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΛΩΤΩΝ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΗΣ

ΛΑΛΕΟΓΛΟΥ ΡΑΦΑΕΛΑΣ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΚΟΛΟΚΟΤΣΑ ΔΙΟΝΥΣΙΑ

ΒΑΡΟΥΧΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΚΟΥΤΡΟΥΛΗΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και η αξιοποίηση νέων τεχνολογιών και συστημάτων για παραγωγή ενέργειας, είναι πλέον απαραίτητες σε παγκόσμιο επίπεδο λόγω της καθοριστικής συμβολής τους στην μείωση της εξάρτησης από τους εξαντλήσιμους ενεργειακούς πόρους και κατ' επέκταση στην προστασία του περιβάλλοντος. Τα πλωτά φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν ένα σχετικά νέο μέσο παραγωγής ενέργειας αξιοποιώντας θαλάσσιες εκτάσεις. Στην παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική εργασία μελετάται η επίδραση των θαλάσσιων δυνάμεων στον οριζόντιο άξονα που ασκούνται σε ορθογώνιο πλωτήρα εξ' αιτίας διαφορετικών υψών κύματος, με στόχο την σύγκριση αυτών για ευστάθεια του συστήματος. Το πρώτο μέρος της μελέτης γίνεται με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού MATLAB. Ταυτόχρονα για το παραπάνω θεωρημένο σύστημα υπό μελέτη, μέσω του λογισμικού System Advisor Model (SAM) του National Renewable Energy Laboratory (NREL), γίνεται προσομοίωσή του με τις κατάλληλες παραδοχές και τα εισαγόμενα δεδομένα, για εγκατάσταση στο βόρειο θαλάσσιο τμήμα της Νήσου Γαύδου, που βρίσκεται στον νότιο τομέα της Κρήτης. Σκοπός είναι η εύρεση της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του πλωτού φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση του νησιού.

Με βάση τα αποτελέσματα από τη μοντελοποίηση μέσω MATLAB, η οποία αφορούσε τρεις συνθήκες ανάλογα με το ύψος των κυμάτων 0 έως 0,15m για ιδανικές συνθήκες, 0,894 m μέσο ύψος κύματος για επικρατέστερες συνθήκες και 2,5 m για ακραίες συνθήκες λειτουργίας, τα φορτία των δυνάμεων που υπολογίστηκαν πως ασκούνται στον ορθογώνιο πλωτήρα κυμαίνονται από 0 έως 168 kN. Όσον αφορά τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του λογισμικού SAM, υπολογίζεται ότι το προτεινόμενο σύστημα είναι ικανό να παράγει έως και 85,351 MWh ετησίως και καλύπτει το 11,53% των ετήσιων ενεργειακών αναγκών των μόνιμων κατοίκων του νησιού.

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα σχετικά με τις δυνάμεις λόγω κυμάτων που ασκούνται στον πλωτήρα του συστήματος, η βιβλιογραφία δεν επαρκεί για τη σύγκριση αυτού του παράγοντα μεμονωμένα, αλλά για το συνολικό φορτίο που ασκείται στην κατασκευή συνυπολογίζοντας τις δυνάμεις του ανέμου, της άνωσης και του συνολικού βάρους του συστήματος. Ωστόσο εκτιμάται ότι ακόμη και οι μέγιστες αυτές τιμές αποτελούν μόνο το περίπου 8% των συνολικού φορτίου αντοχής τέτοιων συστημάτων, γεγονός που αφήνει θετικά περιθώρια για την δυνατότητα εγκατάστασης και ευστάθειας του συστήματος. Το πλωτό φωτοβολταϊκό σύστημα συμβάλλει στην κάλυψη ικανοποιητικού ποσοστού της συνολικής κατανάλωσης των μόνιμων κατοίκων του νησιού της Γαύδου και η εφαρμογή του μπορεί να αποτελέσει λύση ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε αντίστοιχες περιπτώσεις απομακρυσμένων νησιών, αξιοποιώντας θαλάσσιες εκτάσεις και αφήνοντας τις περιορισμένες χερσαίες, ελεύθερες για καλλιέργεια και κτηνοτροφία. Συνεπώς, η επέκταση της έρευνας αναφορικά με την τεχνολογία των πλωτών φωτοβολταϊκών συστημάτων κρίνεται απαραίτητη για την περαιτέρω εξέλιξη στον τομέα εφαρμογής, εγκατάστασης και αποτελεσματικότητάς τους.

ABSTRACT

The use of Renewable Energy Sources (RES) and the implementation of new technologies and systems for energy production, have become essential on a global scale. Floating photovoltaic (FPV) systems represent a relatively new method of generating energy by utilizing marine areas. This Undergraduate Thesis investigates the effect of sea forces on the horizontal axis acting on a rectangular floating structure due to varying wave heights, aiming to compare these forces in terms of the system's stability. The first part of the study is conducted using the MATLAB programming language. At the same time, for the above theoretical system under study, a simulation is carried out using the System Advisor Model (SAM) software by the National Renewable Energy Laboratory (NREL), applying appropriate assumptions and input data for installation in the northern marine area of Gavdos Island, located at the southern part of Crete. The purpose is to estimate the total electricity generation of the floating PV system to supply energy to the island.

Based on the results from MATLAB modeling, which examined three different sea states according to wave height, from 0 to 0.15 m for ideal conditions, 0.894 m as the average wave height for prevailing conditions, and 2.5 m for extreme operational conditions, the resulting forces acting on the rectangular floater (pontoon), range from 0 kN to 168 kN. As for the SAM software simulation, it is estimated that the proposed system is capable of generating up to 85.351 MWh annually, with an approximate coverage of 11.53% of the yearly energy consumption needs of the island's population.

According to the above findings regarding wave-induced forces on the floater, existing literature does not sufficiently cover this factor without taking into consideration the adding loading on the structure consisting of wind forces, buoyancy, and the system's overall weight. Nevertheless, even the maximum calculated values appear to constitute only about 8% of the total load capacity of such systems, indicating favorable margins for installation feasibility and structural stability. The floating photovoltaic system contributes to meeting a significant portion of the total electricity consumption of the island's permanent population. Its implementation could serve as a viable energy solution for other remote islands by utilizing sea space, while leaving the limited land areas free for agriculture and livestock. Therefore, the expansion of research on floating photovoltaic system technology is deemed essential for the further development of their application, installation, and overall effectiveness.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα πρωτίστως να ευχαριστήσω θερμά όλους τους επιβλέποντες Καθηγητές, την Καθηγήτρια της σχολής Χημικών Μηχανικών & Μηχανικών Περιβάλλοντος κα Κολοκοτσά Διονυσία για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω τη διπλωματική μου εργασία υπό την επίβλεψή της και την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή της, τον κ. Κουτρούλη Αριστείδη Καθηγητή επίσης της σχολής Χημικών Μηχανικών & Μηχανικών Περιβάλλοντος και τον κ. Βαρουχάκη Εμμανουήλ, Καθηγητή της σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, που μου διέθεσε σημαντική πληροφόρηση και στοιχεία. Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου και τους φίλους μου, για όλη την υποστήριξη και την ενθάρρυνση.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
Κατάλογος Εικόνων & Γραφημάτων.....	9
Κατάλογος Πινάκων.....	10
1. Εισαγωγή	10
2. Βιβλιογραφική Επισκόπηση.....	11
2.1.1 Τύποι υπαρχόντων πλωτών φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	12
2.1.2 Αγκύρωση	14
2.1.3 Πλωτήρες	15
2.1.4 Φωτοβολταϊκά πάνελ.....	16
2.1.5 Διανομή και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.....	16
2.2 Εγκατάσταση των πλωτών φωτοβολταϊκών συστημάτων & Εφαρμογές.....	17
2.2.1 Λίμνες.....	17
2.2.2 Θαλάσσιες εκτάσεις.....	18
2.2.3 Εξορυκτικές Περιοχές	19
2.2.4 Φράγματα.....	19
2.2.5 Βιομηχανικοί ταμιευτήρες.....	20
2.2.6 Υδατοδεξαμενές	21
2.2.8 Εμπόδια και προκλήσεις.....	23
2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	23
2.4 Περιγραφή της περιοχής μελέτης	25
3.Μαθηματικό μέρος	25
3.1 Εξίσωση Morison	25
3.2 Γραμμική θεωρία κυματισμού	26
3.3 Πιθανότητα εμφάνισης κυματισμών.....	28
4. Μεθοδολογία	28
4.1 Εξίσωση Morison προσαρμοσμένη σε κώδικα για MATLAB.....	28
4.2 Περιγραφή του συστήματος και παραδοχές	31
4.2.1 Πιθανότητα εμφάνισης ακραίων φαινομένων	32
4.2.2 Πιθανότητα εμφάνισης ιδανικών συνθηκών λειτουργίας	32

4.3 Προσομοίωση του συστήματος μέσω του λογισμικού SAM.....	33
4.3.1 Ανάλυση των φορτίων και παραδοχές του συστήματος.....	33
4.3.2 Advanced inputs	37
4.3.3 Grid Limits	38
5. Αποτελέσματα.....	39
5.1 Αποτελέσματα MATLAB	39
5.2 Αποτελέσματα SAM	43
6. Συζήτηση	46
6.1 MATLAB	46
6.2 SAM.....	47
7. Συμπεράσματα.....	49
8. Βιβλιογραφία	49
9. ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ & ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	55
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	56

Κατάλογος Εικόνων & Γραφημάτων

a) Τυπικά μέρη και εξαρτήματα των πλωτών φωτοβολταϊκών συστημάτων Πηγή: <i>Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP)</i>	12
b) Εικόνα 2.1.1 Τεχνολογία βυθιζόμενου συστήματος FPV Πηγή: [25].....	13
c) Εικόνα 2.1.2 Flexible FPV Thin film type [28].....	13
d) Εικόνα 2.1.2 Examples of mooring layouts for FPV systems (a) catenary, (b) taut mooring, (c) compliant mooring, and (d) rigid mooring Πηγή: [20].....	14
e) Εικόνα 2.1.3 Adtechindia pontoon 500 kW.....	15
f) Εικόνα 2.1.4 Hydrelia aiR by Ciel & Terre.....	16
g) Εικόνα 2.2.1 FPV on Quarry lake in Saint-Savin, France by Ciel & Terre.....	17
h) Εικόνα 2.2.2 World's first offshore solar farm modules at open sea (the first 17 kW) Πηγή: <i>Oceans of Energy</i>	18
k) Εικόνα 2.2.3 Anhui CECEP (70 MWp) project installed on a flooded former mining area Πηγή: Ciel & Terre.....	19
l) Εικόνα 2.2.4 FPV εγκατεστημένο σε φράγμα στην Ταϊλάνδη Πηγή: <i>Sungrow Floating PV</i>	20
m) Εικόνα 2.2.5 FPV εγκατεστημένο σε φράγμα της περιοχής Vila Real District στην Πορτογαλία Πηγή: Ciel & Terre.....	20
n) Εικόνα 2.2.6 Changbin 3& 4 by Ciel & Terre located in Changhua, Taiwan Πηγή: Ciel & Terre.....	21
o) Εικόνα 2.2.7 FPV located in Differdange, Luxembourg by Ciel & Terre.....	21
i) Εικόνα 2.2.8 FPV εγκατεστημένο σε υδατοδεξαμενή στην περιοχή Dezhou της Κίνας Πηγή: <i>Sungrow Floating PV</i>	22
j) Εικόνα 2.2.9 Water Storage FPV in Belgium Hydrelia® Classic by Ciel & Terre.....	22
p) 2.2.10 FPV in Walden Colorado, USA Πηγή: Ciel & Terre.....	23
q) Εικόνα 2.4 Βαθυμετρία της νήσου Γαύδου Πηγή: <i>EMODnet Map Viewer</i>	25
r) Εικόνα 4.3.1 Solar Resource Library- Weather file.....	33
s) Εικόνα 4.3.2 Weather Data Information.....	34
t) Εικόνα 4.3.3 System Parameters.....	35
u) Εικόνα 4.3.4 Orientation and Tracking.....	35
v) Εικόνα 4.3.5 System Losses.....	36
w) Εικόνα 4.3.6 Land Area Estimate.....	37
x) Εικόνα 4.3.7 Albedo.....	38
y) Εικόνα 4.3.8 Soiling, Shading by Nearby Objects, System Availability Settings.....	38
z) Εικόνα 4.3.9 Grid Limits Settings.....	39
aa) Γράφημα 5.1.1 Δυνάμεις που ασκούνται στον πλωτήρα για ύψος κύματος 0.894 m.....	40
bb) Γράφημα 5.1.2 Δυνάμεις που ασκούνται στον πλωτήρα για ύψος κύματος 2.5 m.....	41
cc) Γράφημα 5.1.3 Δυνάμεις που ασκούνται στον πλωτήρα για ύψος κύματος 0 m.....	42
dd) Γράφημα 5.1.4 Δυνάμεις που ασκούνται στον πλωτήρα για ύψος κύματος 0.15 m.....	43
ee) Εικόνα 5.2.1 Ενεργειακά Αποτελέσματα SAM για το 1ο έτος.....	43
ff) Γράφημα 5.2.2 Αποτελέσματα Μηνιαίας Ενεργειακής Παραγωγής του Συστήματος.....	44

gg) Γράφημα 5.2.3 Ωριαία Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά Ημέρα	45
hh) Γράφημα 6.1 Άσκηση Δυνάμεων σύμφωνα με το ύψος κύματος H,	47

Κατάλογος Πινάκων

i) Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστικά Μεγέθη Γραμμικής θεωρίας Κυματισμού	27
ii) Πίνακας 4.2.1 Πίνακας Δεδομένων - Επικρατέστερες συνθήκες λειτουργίας	32
iii) Πίνακας 4.2.2 Πίνακας Δεδομένων – Ακραίες συνθήκες λειτουργίας.....	32
iv) Πίνακας 4.2.3 Πίνακας Δεδομένων - Ιδανικές συνθήκες λειτουργίας/Νηνεμία	32
v) Πίνακας 5.2.1 Μηνιαία Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας σε kWh.....	45
vi) Πίνακας 6.2 Απογραφή Πληθυσμού 2021 Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ	48

1. Εισαγωγή

Τα τελευταία είκοσι χρόνια η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται αμιγώς από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ολοένα και αυξάνεται, καθώς επίσης διευρύνεται και το πεδίο εφαρμογής της. Παγκοσμίως προωθείται η εύρεση εναλλακτικών πηγών και πρακτικών παραγωγής ενέργειας που στρέφονται στην παραγωγή και κατανάλωση πράσινης ενέργειας. Συγκεκριμένα, οι καύσιμες ύλες που μέχρι πρότινος αποτελούσαν την πρώτη ύλη για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αφενός βρίσκονται σε περιορισμένο απόθεμα και αφετέρου καθιστούν τη μεγαλύτερη πηγή ρύπων για την ατμόσφαιρα. Οι βασικότεροι εξ' αυτών όπως το CO₂, το CO και άλλα οξειδία του θείου είναι ιθύνοντες τόσο για την ατμοσφαιρική ρύπανση όσο και για την κλιματική αλλαγή, δύο από τα κυριότερα περιβαλλοντικά προβλήματα του 21^{ου} αιώνα που η ανθρωπότητα καλείται να αντιμετωπίσει. Άμεση λύση στα παραπάνω προβλήματα δίνει η αξιοποίηση των τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας όπως οι ανεμογεννήτριες, τα υδροηλεκτρικά συστήματα, η βιομάζα, η κυματική και παλιρροιακή ενέργεια, η γεωθερμία, τα ηλιακά θερμικά συστήματα και σαφώς τα φωτοβολταϊκά συστήματα στα οποία και εστιάζει η παρούσα διπλωματική εργασία και συγκεκριμένα στα πλωτά φωτοβολταϊκά συστήματα.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική χωρίς την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και είναι ευρέως διαδεδομένα. Η εγκατάστασή τους γίνεται ως επί το πλείστον σε χερσαίες εκτάσεις, η οποία αν καταλαμβάνει μεγάλο κομμάτι γης και χρησιμοποιείται για βιομηχανικούς κυρίως σκοπούς και μεγάλη παραγωγή ενέργειας χαρακτηρίζεται ως φωτοβολταϊκό πάρκο, αλλά και σε οικίες, και οροφές κτιρίων για προσωπική χρήση. Στα πλεονεκτήματα της νέας τεχνολογίας των πλωτών αυτών συστημάτων που σταδιακά εφαρμόζεται σε πολλές περιοχές παγκοσμίως περιλαμβάνονται τόσο εκείνα των χερσαίων συστημάτων ενώ ακόμη λόγω της

χαμηλότερης θερμοκρασίας της θάλασσας σε σχέση με αυτή του εδάφους, η απόδοση των συστημάτων είναι μεγαλύτερη.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας στο πλαίσιο ενεργειακής αναβάθμισης δυσπρόσιτων περιοχών και νησιών είναι η μελέτη δυνατότητας εγκατάστασης πλωτών φωτοβολταϊκών και η εκτίμηση απόδοσης αυτών στη νήσο Γαύδο που ανήκει στο νότιο τομέα της Κρήτης και κατ' επέκταση σε άλλα ακριτικά νησιά για αυτονομία ή κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών τους. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η αξιοποίηση των θαλάσσιων εκτάσεων αναδεικνύεται ζωτικής σημασίας, λόγω περιορισμένων χερσαίων εκτάσεων που χρησιμοποιούνται για καλλιέργεια τροφίμων και για παραγωγή πρώτων υλών.

Κατά τη μελέτη αυτή, λήφθηκαν κλιματικά και κυματικά δεδομένα για το βόρειο τμήμα της νήσου Γαύδου, τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή αποτελεσμάτων και εκτιμήσεων των δυνάμεων που ασκούνται στον πλωτήρα του φωτοβολταϊκού συστήματος, καθώς επίσης εισήχθησαν στο λογισμικό System Advisor Model για τον υπολογισμό της ετήσιας παραγωγής τους.

2. Βιβλιογραφική Επισκόπηση

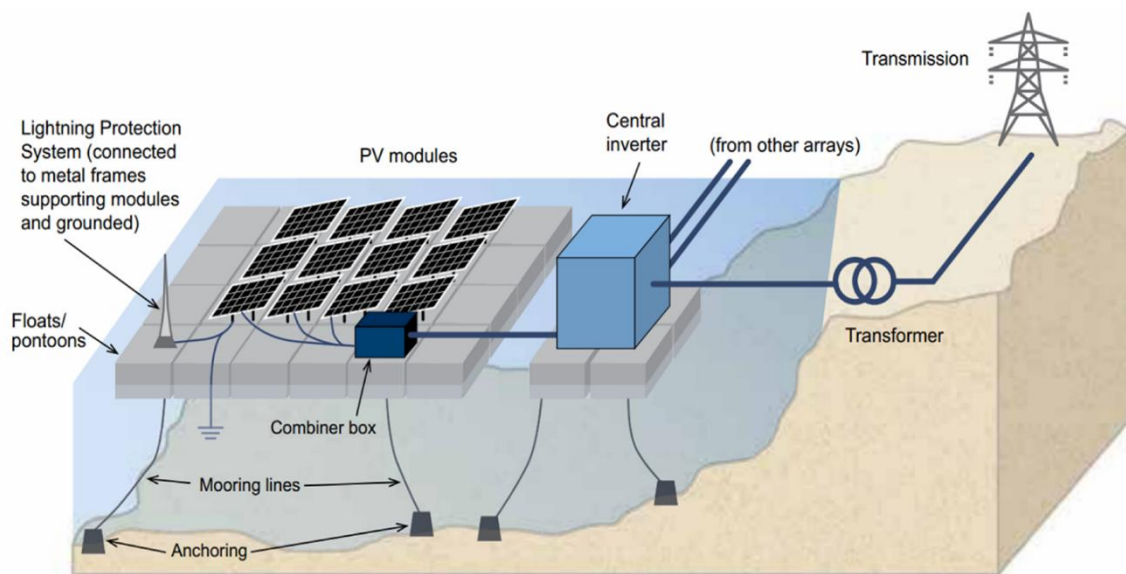
Η συνηθέστερη επιλογή εγκατάστασης πλωτών φωτοβολταϊκών συστημάτων γίνεται σε γλυκά νερά, λίμνες, καθώς συγκριτικά με θαλάσσιες περιοχές, εκείνες δεν παρουσιάζουν υψηλές ταχύτητες σε νερό και άνεμο και θεωρείται πιο ελεγχόμενο περιβάλλον με καλύτερες περιβαλλοντικές συνθήκες. Επιπλέον η έλλειψη άλμης καθιστά τα συστήματα πιο ανθεκτικά σε βάθος χρόνου και μειώνεται ο κίνδυνος διάβρωσης των συστημάτων. Αναφέρονται τα βασικότερα πλεονεκτήματα χρήσης και εγκατάστασης των πλωτών φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς και τα μειονεκτήματά τους αλλά και εμπόδια που προκύπτουν τόσο στο ενεργειακό και λειτουργικό πλαίσιο όσο και σε κοινωνικό επίπεδο. Παρά τις περιοριστικές υδροδυναμικές παραμέτρους, έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούν πλωτά φωτοβολταϊκά συστήματα με μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και ανθεκτικότητα και ευστάθεια σε ανοιχτές θάλασσες και παράκτιες ζώνες ανά τον κόσμο.

Στην Ευρώπη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων αποτελεί την κυρίαρχη λύση για την επίτευξη του στόχου που έχει τεθεί από τον ΟΗΕ για την αύξηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ΑΠΕ, τη μείωση των εκπομπών αέριων καυσαερίων και την ενίσχυση της αειφόρου ανάπτυξης, όπως αναφέρονται στην Agenda 2030 (Sustainable Development Goals, SDGs). Συγκεκριμένα, το ποσό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη μέσω PV, ανέρχεται σε 252.138,4 GWh για το έτος 2023 [8]. Πέραν της χρήσης των συμβατικών χερσαίων συστημάτων, τα πλωτά φωτοβολταϊκά συστήματα είναι αρκετά διαδεδομένα. Η Ευρώπη περικλείεται από θάλασσες και ωκεανούς ενώ εξαιρετικός αριθμός υδάτινων σωμάτων όπως λίμνες και ποταμοί καταλαμβάνουν σημαντικό μέρος αυτής. Ήδη την τελευταία δεκαετία έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούν μονάδες με μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενώ παράλληλα συνεχίζονται οι ερευνητικές μελέτες για αποδοτικότερα συστήματα, βέλτιστη ευστάθεια και λειτουργία αλλά και οικονομοτεχνικές μελέτες.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων, καταλαμβάνει το 3,6% της συνολικής παραγωγής του πλανήτη και είναι η πρώτη σε χρήση ανάμεσα σε άλλες εφαρμογές ΑΠΕ. Η τεχνολογία των FPV σε παγκόσμιο επίπεδο είναι πλέον πολύ αναπτυγμένη και σαφώς λόγω της αυξημένης ζήτησης ενέργειας, αναγκαία. Ιδιαίτερα στην ήπειρο της Ασίας βρίσκεται το 97% των εγκατεστημένων και λειτουργικών FPV όλου το κόσμου. Πρωτοπόρος χώρα χαρακτηρίζεται η Κίνα με συνεχείς εφαρμογές, μελέτες και πιλοτικά συστήματα στον συγκεκριμένο τομέα.

2.1 Περιγραφή τυπικού πλωτού φωτοβολταϊκού συστήματος

Ένα ολοκληρωμένο πλωτό φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τον πλωτήρα, δηλαδή την επιπλέουσα πλατφόρμα πάνω στην οποία τοποθετούνται οι σειρές των φωτοβολταϊκών πάνελ, οι καλωδιώσεις και το combiner box στο οποίο συνδυάζονται οι γραμμές των σειρών των πάνελ, προαιρετικά ένα σύστημα παρακολούθησης του ήλιου (tracking) και σε αρκετές περιπτώσεις αν καταστεί αναγκαίο, αλεξικέραυνος μηχανισμός. Ο μετατροπέας του ηλεκτρικού ρεύματος (inverter) συνήθως τοποθετείται στην ακτή και συνδέεται με το σύστημα μέσω καλωδίων υποβρυχίως. Ο πλωτήρας δεν καλύπτεται εξ' ολοκλήρου με τα προηγούμενα στοιχεία καθώς υπάρχει συνολικά ένα ελεύθερο μέρος στην επιφάνειά του ώστε να επιτρέπεται σε μηχανικούς η πρόσβαση για τη διενέργεια ελέγχου και συντήρησης.



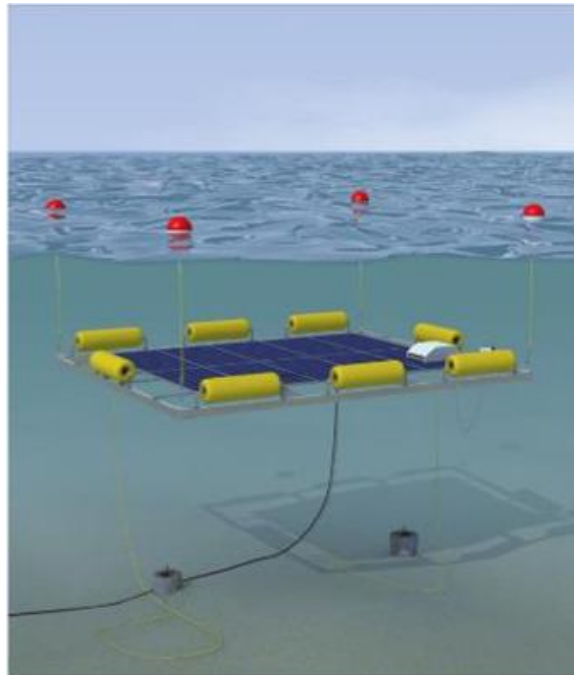
α) Τυπικά μέρη και εξαρτήματα των πλωτών φωτοβολταϊκών συστημάτων Πηγή: Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP).

2.1.1 Τύποι υπάρχοντων πλωτών φωτοβολταϊκών συστημάτων

Πολλές είναι οι νέες τεχνολογίες και οι μορφές των πλωτών φωτοβολταϊκών συστημάτων που υπάρχουν ή βρίσκονται υπό μελέτη, όπως τα βυθιζόμενα (submerged και τα flexible FPV's συστήματα.

- Submerged

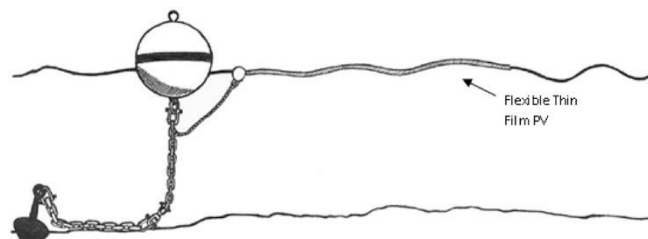
Τα συστήματα αυτά είναι βυθιζόμενα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας με σκοπό τη μείωση των τάσεων που ασκούνται στην πλατφόρμα των πάνελ από την απευθείας έκθεση στα θαλάσσια κύματα. Κυριότεροι παράγοντες επιρροής της παραγωγής ενέργειάς τους και της απόδοσής τους, αποτελούν το βάθος υπό την επιφάνεια στο οποίο βρίσκεται το σύστημα, όπως επίσης και ο τύπος κατασκευής των φωτοβολταϊκών κελιών. Μπορεί να γίνει εφαρμογή είτε σε βαθιά νερά είτε σε ρηχά, ενώ έχει υπολογιστεί βάσει πειραματικών εφαρμογών ότι το βέλτιστο βάθος υπό την επιφάνεια κυμαίνεται από 8 cm ως 10 cm.



b) Εικόνα 2.1.1 Τεχνολογία βυθιζόμενου συστήματος FPV Πηγή: [34]

- Flexible FPVs

Τα Flexible FPVs έχουν τη δυνατότητα ευελιξίας και προσαρμογής στις κυματικές εναλλαγές του νερού όπως παρουσιάζεται σχηματικά στη συνέχεια. Τα συστήματα αυτά κατασκευάζονται με το υλικό thin film το οποίο απορροφά την ηλιακή ενέργεια και ταυτόχρονα προσφέρει την κατάλληλη ελαστικότητα και κίνηση υπό την επίδραση ανέμων και των κυμάτων. Αποτελεί καινοτόμο και νέα τεχνολογία στον τομέα των FPV και για αυτόν τον λόγο είναι υψηλό το κόστος αγοράς και εφαρμογής της.

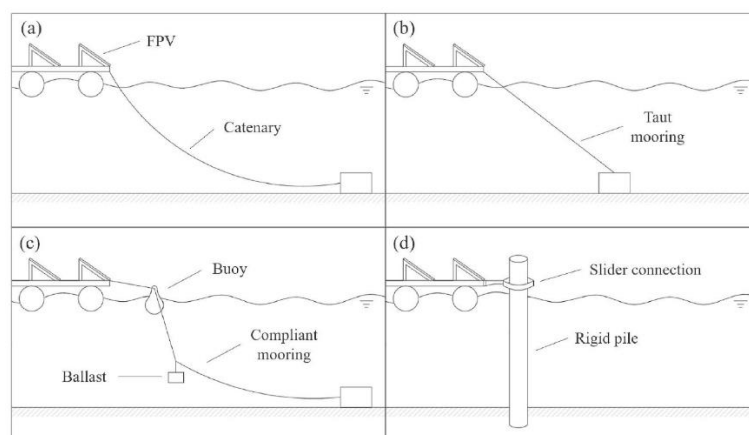


c)Εικόνα 2.1.2 Flexible FPV Thin film type [37]

2.1.2 Αγκύρωση

Για την επιλογή κατάλληλης μεθόδου αγκύρωσης λαμβάνονται υπόψη σχεδιαστικές κυρίως παράμετροι σχετικά με τις διαστάσεις και το σχήμα της πλατφόρμας, το συνολικό βάρος του συστήματος, τις κυματικές και ανεμικές συνθήκες και κατά συνέπεια τις τάσεις που ασκούνται στο σύστημα. Άλλη μια σημαντική παράμετρος, αφορά τις εδαφικές ιδιότητες του πυθμένα της θαλάσσιας ζώνης στην οποία πρόκειται να τοποθετηθεί το σύστημα όπως επίσης και την πιθανή παρουσία αυξομειώσεων στη στάθμη του νερού.

Υπάρχουν 4 βασικοί τρόποι αγκύρωσης της πλατφόρμας ως εξής:



d) Εικόνα 2.1.2 Examples of mooring layouts for FPV systems (a) catenary, (b) taut mooring, (c) compliant mooring, and (d) rigid mooring Πηγή: [35]

- a. Catenary mooring
- b. Taut mooring
- c. Compliant mooring
- d. Rigid mooring

Όπως παρατηρείται παραπάνω ο κάθε τρόπος αγκυροβόλησης αφήνει διαφορετικά περιθώρια κίνησης στο σύστημα και σύμφωνα με τα εκάστοτε φορτία του συστήματος, επιλέγεται κάθε φορά ο βέλτιστος. Ευρύτερα διαδεδομένες και σε χρήση μέθοδοι αποτελούν η catenary mooring και rigid mooring. Η εφαρμογή της αγκύρωσης με rigid pile δεν προσδίδει ευελιξία στο σύστημα καθώς συνδέεται με σταθερό και ακίνητο στύλο από την μία πλευρά. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μεθόδους όπου σαφώς προσφέρουν ελευθερία κίνησης στην πλατφόρμα σε όλες τις κατευθύνσεις. Σε κάθε περίπτωση, γίνεται ενδελεχής μελέτη για τα όρια συγκράτησης και αντοχής του κάθε συστήματος. Είναι επίσης απαραίτητη η παροχή πρόσβασης των μηχανικών στην εγκατάσταση με σταθερότητα, χωρίς να θέτεται σε κίνδυνο η ασφάλειά τους.

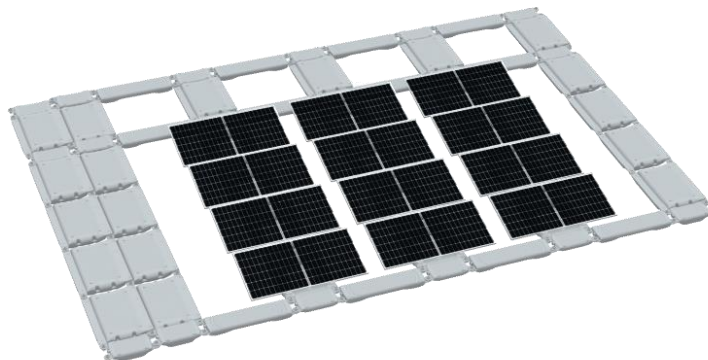
2.1.3 Πλωτήρες

Ο σχεδιασμός των πλωτήρων γίνεται δίνοντας βάση στο εκάστοτε υδάτινο περιβάλλον, τις ανάγκες του έργου και τη διαθέσιμη έκταση προς κάλυψη και φυσικά εξαρτάται από το φορτίο το οποίο καλείται να αντέχει σε συνδυασμό με το υλικό κατασκευής του και τα χαρακτηριστικά του. Τα πιο συνήθη υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των πλωτήρων είναι το πολυαιθυλένιο (PE100), πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), το πλαστικό ενισχυμένο με ίνες (FRP) και το αλουμίνιο. Για την επιλογή τύπου πλωτής πλατφόρμας λαμβάνονται υπόψη και οικονομικά κριτήρια καθώς τα υλικά διαφέρουν όσον αφορά το κόστος αγοράς μεταξύ τους αλλά και την ανθεκτικότητα και τη συντήρησή τους.

Οι πλωτήρες διαφέρουν τόσο σε μέγεθος και σε σχήμα και μπορούν να είναι είτε ενιαίοι είτε με ενδιάμεσες συνδέσεις. Παράδειγμα ενιαίας πλωτής πλατφόρμας αποτελεί το έργο της ινδικής εταιρείας Adtechindia ισχύος 500 kW και αντίστοιχα, η κατασκευή Hydrelia aiR της εταιρείας Ciel & Terre με συνδέσεις που σχηματίζουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα.



ε) Εικόνα 2.1.3 Adtechindia pontoon 500 kW



f)Εικόνα 2.1.4 Hydrelia aiR by Ciel & Terre

2.1.4 Φωτοβολταϊκά πάνελ

Τα πάνελ είναι ένα από τα βασικότερα μέρη στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τόσο τα χερσαία όσο και τα πλωτά ακολουθούν την ίδια αρχή λειτουργίας. Μέσω των υλικών από τα οποία είναι κατασκευασμένα τα κελιά των πάνελ, απορροφάται η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και μετατρέπεται έπειτα σε ηλεκτρικό συνεχές ρεύμα. Στη συνέχεια εκείνο μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα κατάλληλο προς κοινή χρήση με τη βοήθεια κατάλληλων μετατροπών (inverter). Η διαφοροποίηση των χερσαίων συστημάτων με των πλωτών έγκειται αποκλειστικά στην προστασία του εξοπλισμού, των καλωδίων και του μετατροπέα με αδιάβροχα υλικά.

Όσον αφορά την κατασκευή των κελιών των φωτοβολταϊκών πάνελ, τα κρυσταλλικά υλικά, είτε μονοκρυσταλλικά είτε πολυκρυσταλλικά, αποτελούν τους συνηθέστερους τύπους υλικών που χρησιμοποιούνται. Υπάρχουν όμως και πολλές νέες τεχνολογίες που βρίσκουν εφαρμογή, όπως το thin-film, το άμορφο σιλικονούχο thin-film και το thin-film από τιτάνιο και κάδμιο. Ακόμη, φωτοβολταϊκά κελιά σεληνιούχου χαλκού-ινδίου-γαλλίου (CIGS), πολυμερικά ή οργανικά, ευαισθητοποιημένα με χρωστική ουσία (DSSC) και τέλος περοβσκήτη.

2.1.5 Διανομή και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας

Σχετικά με τη διανομή και την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας από πλωτά φωτοβολταϊκά, υπάρχουν δύο επιλογές που εφαρμόζονται ανάλογα με την περίπτωση και την χρήση για την οποία προορίζεται το έργο. Στην πρώτη περίπτωση, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται, διανέμεται απευθείας στο εκάστοτε δίκτυο προς κατανάλωση. Στην δεύτερη περίπτωση, το σύστημα συνδέεται με μία χερσαία μπαταρία μέσω υποβρύχιων καλωδιώσεων, η οποία επιτρέπει την αποθήκευση μέρους αυτής για μεταγενέστερη χρήση. Η διαστασιολόγηση της μπαταρίας γίνεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του συστήματος κάθε φορά και τις ανάγκες της περιοχής που διανέμεται.

Όπως όμως είναι λογικό, σε κάθε συνθήκη υπάρχουν και τα αντίστοιχα αρνητικά στοιχεία. Συγκεκριμένα η παρουσία μπαταρίας παρέχει και αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια για μελλοντική χρήση και λειτουργεί ως εναλλακτική σε περιπτώσεις έλλειψης παραγωγής ενέργειας, ωστόσο προσδίδει μεγάλη οικονομική επιβάρυνση στο συνολικό έργο και επίσης καταλαμβάνει ένα μέρος χερσαίας έκτασης για την εγκατάστασή της.

2.2 Εγκατάσταση των πλωτών φωτοβολταϊκών συστημάτων & Εφαρμογές

Τα συστήματα FPV βρίσκουν εφαρμογή και τοποθετούνται σε διάφορα υδάτινα σώματα. Η εγκατάσταση του πλωτού φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται κατά κύριο λόγο σε ρηχά νερά, τόσο για αποφυγή έντονων καιρικών φαινομένων, υψηλών κυματισμών και ταχυτήτων του ανέμου, όσο και για την δυνατότητα εύκολης και άμεσης πρόσβασης στο σύστημα σε περιπτώσεις ελέγχου, επιδιόρθωσης και συντήρησης. Μέχρι στιγμής είναι δυνατή η εγκατάστασή τους σε λίμνες, θάλασσες, πρώην εξορυκτικές περιοχές με νερό, υδατοδεξαμενές, φράγματα και βιομηχανικούς ταμιευτήρες. Τα ποτάμια, λόγω των κατά πλειοψηφία μεγάλων ταχυτήτων που αποκτά το νερό και σε συνδυασμό με την κλίση του εδάφους, την ανομοιομορφία του εδάφους αλλά και το στενό πλάτος τους, δεν ενδείκνυνται για την εγκατάσταση πλωτών φωτοβολταϊκών συστημάτων.

2.2.1 Λίμνες

Ως βέλτιστη τοποθεσία εγκατάστασης FPV αποτελούν λίμνες τόσο μικρής όσο και μεγάλης έκτασης λόγω των επικρατούντων περιβαλλοντικών συνθηκών. Εμφανίζουν μεγαλύτερη ευστάθεια καθώς οι ταχύτητες και τα ύψη των κυμάτων κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Η απουσία αλατότητας καθιστά τα συστήματα πιο ανθεκτικά σε βάθος χρόνου και μειώνεται ο κίνδυνος διάβρωσης των συστημάτων. Επιπλέον χάρη στη μείωση της εξάτμισης του γλυκού νερού, το διαθέσιμο προς χρήση απόθεμα πόσιμου νερού αυξάνεται, παράμετρος σημαντική ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλές θερμοκρασίες όπου παρατηρούνται ελλείψεις. Πολλές είναι οι λιμνάζουσες περιοχές που έχουν αξιοποιηθεί με αυτόν τον τρόπο και συμβάλλουν ενεργά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όπως στην περιοχή της Γαλλίας Saint-Savin το εγκατεστημένο σύστημα πλωτών φωτοβολταϊκών της εταιρείας Ciel & Terre, με μέγιστη ισχύ 11,08 MWp.



g) Εικόνα 2.2.1 FPV on Quarry lake in Saint-Savin, France by Ciel & Terre

2.2.2 Θαλάσσιες εκτάσεις

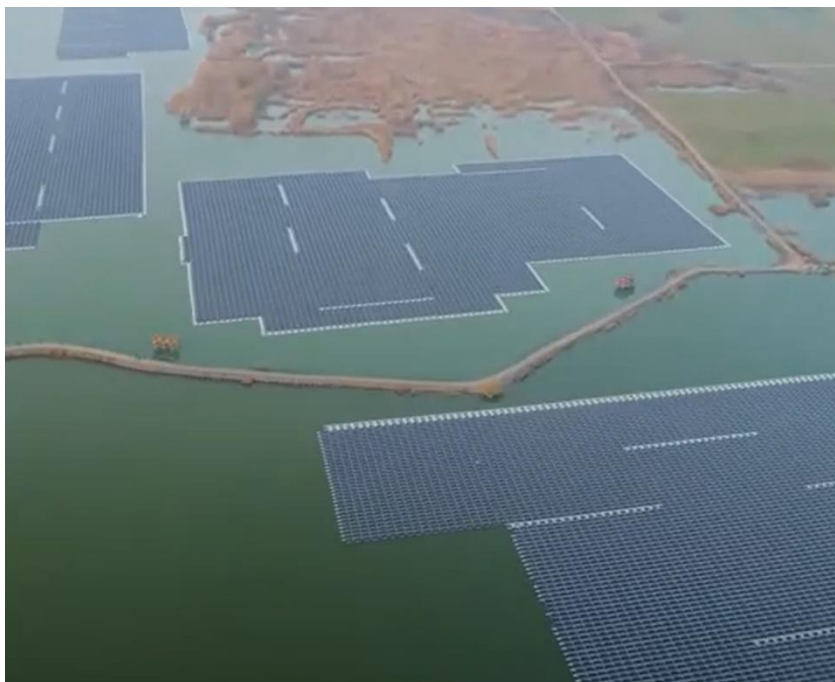
Υδάτινες εκτάσεις αλμυρού νερού και θαλάσσιες περιοχές πλέον χρησιμοποιούνται για εγκατάσταση FPV συστημάτων καθώς λόγω της πλειοψηφίας παρουσίας αυτών, είναι επόμενο να αξιοποιούνται. Ωστόσο λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών τους από τις λίμνες, παρουσιάζονται κάποιες δυσκολίες στην εφαρμογή και εγκατάσταση των FPV γι' αυτό μεταβάλλονται και οι μέθοδοι εγκατάστασης αυτών. Περιοριστικούς παράγοντες αποτελούν το ποσοστό αλατότητας του νερού το οποίο προκαλεί διάβρωση του εξοπλισμού του συστήματος και οι υψηλές ταχύτητες ανέμων και κυμάτων αλλά και τα ύψη αυτών. Ωστόσο πολλές θαλάσσιες εκτάσεις έχουν εξοπλιστεί με πλωτά φωτοβολταικά συστήματα μέσω τεχνολογιών που επιτρέπουν την ευστάθεια και λειτουργία τους. Συγκεκριμένα, η συνηθέστερη επιλογή για αυτές τις περιοχές είναι περισσότερες από μια μεμονωμένες πλατφόρμες που συνδέονται μεταξύ τους και όχι μια ενιαία, καθώς έτσι υπάρχουν περιθώρια κίνησης της κάθε μιας εντός συγκεκριμένων ορίων, αυξάνοντας την αντοχή του συστήματος και αποφεύγοντας την πιθανότητα θραύσης. Το πρώτο offshore FPV σύστημα έκανε την εμφάνισή του στη Βόρεια Θάλασσα σε απόσταση 15 χιλιομέτρων από την ακτή ανθεκτικό σε εξαιρετικά αντίξοες συνθήκες, έως και 13 μέτρα ύψος κύματος. Το έργο της εταιρείας Oceans of Energy έχει ισχύ 17 kW ενώ η ίδια εταιρεία έχει εγκαταστήσει FPV nearshore σε απόσταση 1 χιλιομέτρου από την ακτή ισχύος 50kW τα οποία συνεχίζουν να επεκτείνονται.



η)Εικόνα 2.2.2 World's first offshore solar farm modules at open sea (the first 17 kW) Πηγή: Oceans of Energy

2.2.3 Εξορυκτικές Περιοχές

Πολλές είναι οι πρώην εξορυκτικές περιοχές προς εκμετάλλευση οι οποίες έχουν καλυφθεί με νερό συνήθως εξ' αιτίας έντονων βροχοπτώσεων. Το νέο τοπίο που δημιουργείται κρίνεται σε αρκετές περιπτώσεις κατάλληλο προς αξιοποίηση και εγκατάσταση πλωτών φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς το περιβάλλον είναι ελεγχόμενο και εύκολα προσβάσιμο χωρίς επίσης να παρουσιάζονται ακραία καιρικά φαινόμενα. Ενδεικτική περίπτωση συστήματος εγκατεστημένου σε πρώην εξορυκτική περιοχή αποτελεί το Anhui CECEP project το οποίο βρίσκεται στην Κίνα με μέγιστη ισχύ 70.005 kWp.



ii) Εικόνα 2.2.3 Anhui CECEP (70 MWp) project installed on a flooded former mining area Πηγή: Ciel & Terre

2.2.4 Φράγματα

Τα φράγματα ή αλλιώς υδατοφράκτες είναι τεχνικά έργα που δημιουργούνται με στόχο την συγκράτηση υδάτων είτε λιμνών είτε ποταμών για την αποφυγή πλημμυρών και συχνά τη συγκέντρωση του νερού προς άρδευση ή ύδρευση. Ποικίλλουν σε διαστάσεις και χρησιμοποιούνται ευρέως ως υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας. Η εγκατάσταση πλωτών φωτοβολταϊκών βρίσκει και εκεί εφαρμογή ολοένα και περισσότερο με χαρακτηριστικά παραδείγματα εγκατεστημένων συστημάτων να αποτελούν τα project της εταιρείας Sungrow Floating PV στην Ταϊλάνδη με ισχύ 58,5 MW και στην Πορτογαλία στην περιοχή Vila Real District μέγιστης ισχύος 218 kWp:



j) Εικόνα 2.2.4 FPV εγκατεστημένο σε φράγμα στην Ταϊλάνδη Πηγή: Sungrow Floating PV



κ) Εικόνα 2.2.5 FPV εγκατεστημένο σε φράγμα της περιοχής Vila Real District στην Πορτογαλία Πηγή: Ciel & Terre

2.2.5 Βιομηχανικοί ταμιευτήρες

Οι ταμιευτήρες σε βιομηχανικές περιοχές είναι συνήθεις σε πολλές χώρες κυρίως της Ασίας, με μεγάλη βιομηχανική παραγωγή. Εφαρμογή βρίσκουν πολλά έργα ΑΠΕ για την άμεση τροφοδότηση και κάλυψη των απαιτήσεων των βιομηχανικών πάρκων με ηλεκτρικό ρεύμα. Τα ήδη υπάρχοντα FPV συστήματα λειτουργούν αποτελεσματικά καθώς βρίσκονται υπό ευνοϊκές συνθήκες αφού δεν παρουσιάζονται συχνά υψηλές ταχύτητες κυμάτων και μεγάλα ύψη κυμάτων. Ενδεικτικά παραδείγματα εγκατεστημένων FPV συστημάτων αποτελούν το Changbin 3 και 4 project που είναι εγκατεστημένο στην βιομηχανική περιοχή Changhua της Ταϊβάν με μέγιστη συνολική ισχύ, 192 MWp αλλά και στην Ευρώπη στην περιοχή Differdange στο Λουξεμβούργο, μέγιστης ισχύος 3.049,6 kWp.



l) Εικόνα 2.2.6 Changbin 3& 4 by Ciel & Terre located in Changhua, Taiwan Πηγή: Ciel & Terre



m) Εικόνα 2.2.7 FPV located in Differdange, Luxembourg by Ciel & Terre

2.2.6 Υδατοδεξαμενές

Οι υδατοδεξαμενές είναι μεγάλες εκτάσεις υδάτινων σωμάτων είτε τεχνητές είτε φυσικές που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση νερού. Σε αυτές οι επικρατούσες συνθήκες δεν διαφέρουν πολύ από εκείνες των λιμνών γι' αυτό και ενδείκνυται η εγκατάσταση έργων παραγωγής ενέργειας σε αυτές όπως οι πλωτές ανεμογεννήτριες, υδροηλεκτρικά συστήματα και πλωτά φωτοβολταϊκά.



η) Εικόνα 2.2.8 FPV εγκατεστημένο σε υδατοδεξαμενή στην περιοχή Dezhou της Κίνας Πηγή: Sungrow Floating PV



ο) Εικόνα 2.2.9 Water Storage FPV in Belgium Hydrelia® Classic by Ciel & Terre

Πλέον με τη βοήθεια νέων τεχνολογιών και ερευνών σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι εφικτή αλλά και απαραίτητη η εγκατάστασή τους σε θαλάσσιες περιοχές ακόμα και σε εκτάσεις επικαλυπτόμενες με πάγο ή/και χιόνι για την εξυπηρέτηση και κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μέσω ΑΠΕ, ανθρώπων που ζουν σε απομακρυσμένα και δυσπρόσιτα μέρη. Παράδειγμα αποτελεί η εγκατάσταση σε υδατοδεξαμενή στην περιοχή Walden στο Colorado των Η.Π.Α με μέγιστη ισχύ 74 kWp, της εταιρείας Ciel & Terre.



ρ)2.2.10 FPV in Walden Colorado, USA Πηγή: Ciel & Terre

2.2.8 Εμπόδια και προκλήσεις

Η εγκατάσταση και ευστάθεια των FPV συστημάτων όπως και η λειτουργία τους αντιμετωπίζουν εμπόδια. Όσον αφορά την εγκατάσταση, λαμβάνονται υπόψη οι επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες. Δηλαδή το διαθέσιμο βάθος, ανεμικές, κλιματικές και κυματικές συνθήκες, σύσταση εδάφους πυθμένα, ποσοστό αλατότητας και άλλων δεικτών. Ακόμη πολλές φορές η κλίση και ο προσανατολισμός που τοποθετούνται τα πάνελ επηρεάζει την ευστάθεια του συστήματος. Η βέλτιστη τοποθέτησή τους είναι σε οριζόντια θέση καθώς αυτή έχει το μικρότερο αντίκτυπο κατά την επίδραση ανέμων όμως δεν αποτελεί την βέλτιστη επιλογή για την απόδοση του συστήματος. Επιπλέον, επειδή το αλμυρό νερό και οι ωκεανοί καλύπτουν κατά 97% τον πλανήτη και στην πλειοψηφία τους παρουσιάζουν οριακές και ακατάλληλες περιβαλλοντικές συνθήκες, η δυνατότητα αξιοποίησής τους απαιτεί συνεχείς και εκτεταμένες μελέτες. Βασικός παράγοντας είναι βέβαια τα διάφορα οικοσυστήματα με χλωρίδα και πανίδα που επηρεάζουν την δυνατότητα εγκατάστασης σε κάποιες τοποθεσίες ή αντιστρόφως, υπάρχει κίνδυνος να επηρεαστούν αρνητικά από την εγκατάσταση και λειτουργία των συστημάτων. Όσον αφορά τη λειτουργία τους η οποία είναι αρχικά άρρηκτα συνδεδεμένη με την δυνατότητα εγκατάστασης, βασικοί παράγοντες που την επηρεάζουν είναι επίσης τα ύψη και οι ταχύτητες κυμάτων και ανέμων, συνεπώς σε ακραίες συνθήκες γίνεται παύση λειτουργίας του συστήματος για λόγους ασφαλείας. Ακόμη, η διαστασιολόγηση και επιλογή κατάλληλων υποβρύχιων καλωδιώσεων και αδιάβροχων διασυνδέσεων είναι πολύ σημαντική για την αποφυγή βραχυκυκλώματος.

2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Πλεονεκτήματα

Πρώτο βασικό πλεονέκτημα των πλωτών φωτοβολταϊκών είναι η υψηλότερη απόδοσή τους σε σχέση με τα τυπικά χερσαία, καθώς η υψηλή θερμοκρασία των πάνελ επιδρά αρνητικά και μειώνει την απόδοση του συστήματος. Η θερμοκρασία λειτουργίας των

πλωτών φωτοβολταϊκών είναι 3,5 °C λιγότερη απ' ό,τι των χερσαίων, εξ' αιτίας του φαινομένου ψύξης, και συμβάλλει στην αύξηση της απόδοσης έως και 12%. Σημαντική είναι επίσης η επίδρασή τους στη μείωση της εξάτμισης του νερού στο υδάτινο σώμα που τοποθετούνται, σε ποσοστό 70-85%. Ιδιαίτερα, επιτυγχάνεται ενίσχυση των περιοχών που αντιμετωπίζουν προβλήματα περιορισμένου αποθέματος πόσιμου νερού και ξηρασίας.

Ακόμη, με την κάλυψη μέρους του υδάτινου σώματος στο οποίο εγκαθίσταται, συμβάλλει στην μετρίαση και αποφυγή δημιουργίας αλγών, τα οποία συχνά είναι τοξικά και επιβλαβή τόσο για τους ανθρώπους όσο και το περιβάλλον.

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι το 70% του πλανήτη αποτελείται από νερό και θαλάσσιες εκτάσεις, μπορεί να αξιοποιηθεί μεγάλο μέρος αυτών, αφήνοντας τις χερσαίες εκτάσεις διαθέσιμες για διαφορετικές δραστηριότητες όπως για παράδειγμα καλλιέργεια κτηνοτροφία ενώ δίνεται παράλληλα ευκαιρία για αναδάσωση καμένων εκτάσεων.

Σημαντική είναι και η συμβολή των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην μείωση παραγωγής αέριων εκπομπών, συγκεκριμένα CO₂. Στην Ελλάδα, κάθε ηλιακή kWh αποτρέπει την έκλυση 1,1 kg CO₂ στην ατμόσφαιρα.

Η εξέλιξη του κλάδου των ΑΠΕ έχει αντίκτυπο στη διαμόρφωση του επιστημονικού και εργατικού δυναμικού παγκοσμίως, με νέες ειδικότητες και θέσεις απασχόλησης. Ο Διεθνής Οργανισμός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (IRENA) που στοχεύει στη διάδοση της χρήσης των ΑΠΕ, ενισχύοντας τη διακρατική συνεργασία και προωθώντας τη γνώση γύρω από τον τομέα αυτό, εκτιμά ότι η υιοθέτηση των ΑΠΕ θα οδηγήσει μέχρι το 2030 στην παγκόσμια αύξηση των νέων θέσεων εργασίας της τάξεως των 42 εκατομμυρίων. Μάλιστα το 1/3 των θέσεων αφορούν την χρήση φωτοβολταϊκών, με πρωτοπόρο την Κίνα. Στην Ελλάδα αντίστοιχα εκτιμάται ότι οι νέες θέσεις εργασίας, που θα προκύψουν από τη μετάβαση στις ΑΠΕ θα ξεπεράσουν τις 50.000 τα επόμενα 10 χρόνια.

Μειονεκτήματα

Το βασικότερο μειονέκτημα σε σχέση με τις χερσαίες εγκαταστάσεις είναι σαφώς το κόστος κατασκευής τους και συντήρησής τους, αντισταθμίζεται βέβαια, με το κόστος αγοράς γης το οποίο είναι πολύ υψηλό για τις χερσαίες εγκαταστάσεις ενώ δεν υφίσταται σε θαλάσσιες εκτάσεις.

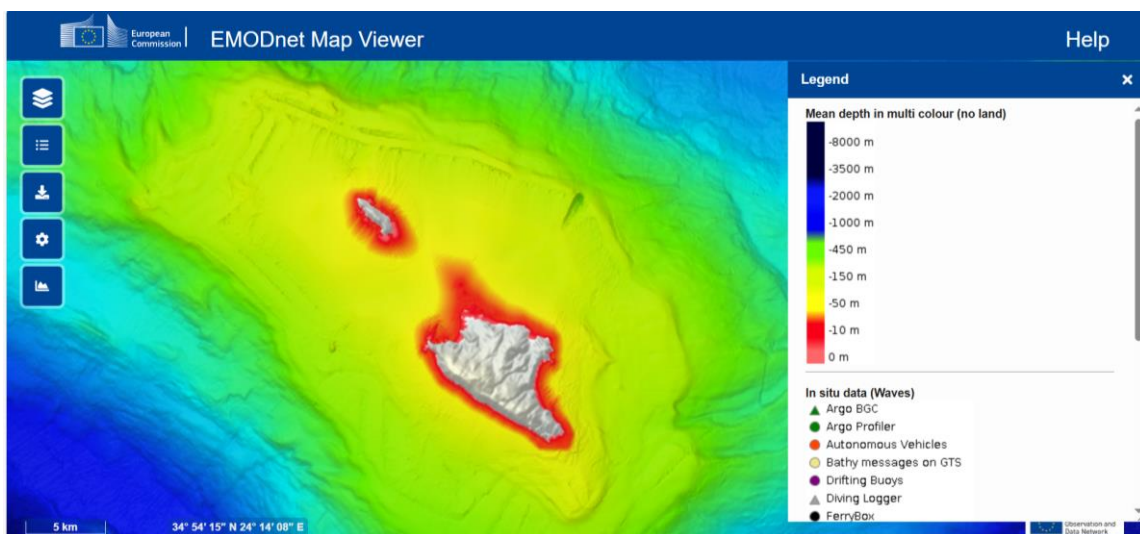
Επιπλέον η παρουσία υψηλής υγρασίας μπορεί να επηρεάσει την λειτουργία του συστήματος ενώ ακόμη, η παρουσία υψηλών επιπέδων άλμης και ακολούθως διάβρωσης, δύναται να επιφέρει μείωση στην ανθεκτικότητα της κατασκευής.

Τέλος η εγκατάσταση της νέας αυτής τεχνολογίας των πλωτών φωτοβολταϊκών, σίγουρα πρόκειται να προκαλέσει κοινωνικές αντιδράσεις, καθώς ακόμη γίνεται αντιληπτή ως απειλή στην τοπική ταυτότητα και το παραδοσιακό τοπίο. Η ενσωμάτωση των έργων στις τοπικές κοινωνίες όπου εγκαθίστανται, είναι ακόμη δύσκολη λόγω της περιορισμένης γνώσης των εφαρμογών της ή πλήρους έλλειψης αυτής, αλλά και επειδή δεν έχει δοθεί η απαιτούμενη σημασία στη διαδικασία της διαβούλευσης με τους τοπικούς αλλά και τους ευρύτερους εμπλεκόμενους κοινωνικούς φορείς ώστε να κατανοήσουν τα οφέλη για το περιβάλλον και την τοπική οικονομία.

2.4 Περιγραφή της περιοχής μελέτης

Η νήσος της Γαύδου βρίσκεται νότια της Κρήτης και αποτελεί τόσο το νοτιότερο σημείο της Ελλάδας όσο και του Ευρωπαϊκού χώρου. Υπάγεται στην περιφέρεια της Κρήτης και συγκεκριμένα στον Νομό Χανίων και ανήκει στο δίκτυο NATURA 2000. Το κλίμα που επικρατεί χαρακτηρίζεται θερμοστεπικό, με ήπιους χειμώνες και θερμά καλοκαίρια. Σύμφωνα με τα ετήσια δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού της Γαύδου για το έτος 2024, σημειώνεται μέση θερμοκρασία αέρα 21,7 °C. Επίσης, η συνολική ποσότητα νερού λόγω βροχοπτώσεων φτάνει τα 441 mm.

Τέλος, η μέση ταχύτητα του ανέμου ανέρχεται σε 9,3 km/h με κατεύθυνση WNW. Η αντιστοιχία σε κλίμακα Beaufort είναι 2. Τα βάθη κοντά στην ακτή σε όλη την περίμετρο του νησιού, φτάνουν έως τα 15 m.



α) Εικόνα 2.4 Βαθυμετρία της νήσου Γαύδου Πηγή: EMODnet Map Viewer

3.Μαθηματικό μέρος

3.1 Εξίσωση Morison

Για την μελέτη των δυνάμεων λόγω θαλάσσιου κυματισμού που ασκούνται στον πλωτήρα χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση Morison.

Η εξίσωση Morison είναι μία εμπειρική εξίσωση που υπολογίζει το άθροισμα των δυνάμεων αδράνειας και έλξης ενός ρευστού με ταλαντευόμενη ροή που ασκούνται σε μία βυθισμένη σε αυτό επιφάνεια.

$$F = \rho C_m V \dot{u} + \frac{1}{2} \rho C_d A u |u|$$

Όπου

F : η συνολική δύναμη που ασκείται στον πλωτήρα

\dot{u} : επιτάχυνση του ρευστού

$\rho C_m V \dot{u} = F_1$: δύναμη αδράνειας

$\frac{1}{2} \rho C_d A u |u| = F_2$: δύναμη έλξης

A : επιφάνεια δράσης του ρευστού

V : όγκος του πλωτήρα

ρ : πυκνότητα του ρευστού

u : ταχύτητα του ρευστού

C_d : συντελεστής έλξης

C_m : συντελεστής αδράνειας

Το πρώτο μέρος της εξίσωσης, $F_1 = \rho C_m V \dot{u}$, αφορά την δύναμη της αδράνειας ενώ το δεύτερο μέρος αποτελείται από τη δύναμη της έλξης ή αλλιώς οπισθέλκουσας δύναμης, $F_2 = \frac{1}{2} \rho C_d A u |u|$.

Η εξίσωση περιλαμβάνει δύο συντελεστές, τον συντελεστή έλξης C_d και τον συντελεστή αδράνειας C_m οι οποίοι καθορίζονται σύμφωνα με πειραματικά και ερευνητικά δεδομένα.

Η ταχύτητα και η επιτάχυνσή της υπολογίζονται μέσω της γραμμικής θεωρίας κυματισμού.

3.2 Γραμμική θεωρία κυματισμού

Η γραμμική θεωρία κυματισμού, αναπτύχθηκε από τον Airy το 1845 και αποτελεί την απλούστερη κυματική θεωρία. Βασική παραδοχή της αποτελεί το γεγονός ότι το ύψος κύματος πρέπει να είναι αρκετά μικρότερο του βάθους και του μήκους κύματος.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη που την περιγράφουν είναι τα εξής:

Χαρακτηριστικό μέγεθος (Μονάδα μέτρησης)	Σύμβολο
Ύψος κύματος (m)	H
Μήκος Κύματος (m)	λ
Περίοδος Κύματος (s)	T
Γωνιακή ταχύτητα (rad/s)	ω
Αριθμός κυμάτων	k
Βάθος νερού (m)	h
Επιτάχυνση βαρύτητας (m/s^2)	g
Χρόνος (s)	t
Οριζόντια ταχύτητα διάδοσης (m/s)	u

Κάθετη ταχύτητα διάδοσης (m/s)	w
Οριζόντια επιτάχυνση (m/s ²)	a
Επιφανειακό προφίλ (m)	η
Οριζόντια απόσταση (m)	x

i) Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστικά Μεγέθη Γραμμικής θεωρίας Κυματισμού

Οι εξισώσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της διάδοσης επιφανειακών κυμάτων σε ρευστά είναι οι παρακάτω:

Ταχύτητα σωματιδίων

Οριζόντια ταχύτητα u:

$$u = \frac{H}{2} \cdot \omega \cdot \frac{\cosh[k(z+h)]}{\sinh(kh)} \cdot \cos(kx - \omega t)$$

Κάθετη ταχύτητα w:

$$w = \frac{H}{2} \cdot \omega \cdot \frac{\sinh[k(z+h)]}{\sinh(kh)} \cdot \sin(kx - \omega t)$$

Επιφανειακό προφίλ

$$\eta(x, t) = \frac{H}{2} \cdot \cos(kx - \omega t)$$

Εξίσωση διασποράς

$$\omega^2 = g \cdot k \cdot \tanh(kh)$$

Οριζόντια επιτάχυνση

$$a = \frac{H}{2} \cdot \omega^2 \cdot \frac{\cosh(kh)}{\sinh(kh)} \cdot \sinh(kx - \omega t)$$

Απλοποιημένη εξίσωση αριθμού κύματος

$$k = \frac{\omega^2}{g}$$

Στην παρούσα μελέτη για τον προσδιορισμό ταχύτητας και επιτάχυνσης, θα χρησιμοποιηθούν μόνο οι εξισώσεις οριζόντιας ταχύτητας και επιτάχυνσης αυτής.

Για την εύρεση του μήκους κύματος χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω σχέση:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{u}{\lambda}$$

Όπου

f: συχνότητα των κυματισμών

T: περίοδος των κυματισμών

λ: μήκος κυματισμών

u: ταχύτητα διάδοσης των κυματισμών

3.3 Πιθανότητα εμφάνισης κυματισμών

Για την εύρεση της ποσοστιαίας πιθανότητας που εμφανίζονται τα ύψη για ιδανικές συνθήκες-συνθήκες νηνεμίας, και για ακραίες συνθήκες, λήφθηκαν δεδομένα από την πλατφόρμα Corepicus και από τις 8760 συνολικές μετρήσεις βρέθηκαν πόσες από αυτές αντιστοιχούν σε ύψη 0 έως 0,15 m και αντιστοίχως άνω των 2,5 m.

$$\frac{\text{αριθμός εμφάνισης υψών}}{\text{συνολικός αριθμός μετρήσεων}} 100\%$$

4. Μεθοδολογία

Αρχικά έγινε βιβλιογραφική έρευνα με στόχο την επιβεβαίωση δυνατότητας εγκατάστασης του πλωτού φωτοβολταϊκού συστήματος σε θαλάσσιο υδάτινο χώρο υπό τις συνθήκες που επικρατούν στην συγκεκριμένη περίπτωση, στη νήσο της Γαύδου. Λήφθηκαν υπόψιν μετεωρολογικά, κλιματικά, κυματικά και βαθυμετρικά δεδομένα και αναλύθηκαν σύμφωνα με ήδη υπάρχουσες μελέτες και τεχνολογίες παγκοσμίως.

Χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση Morison για τον υπολογισμό των δυνάμεων της θάλασσας στον οριζόντιο άξονα, που ασκούνται στον πλωτήρα μέσω MATLAB.

4.1 Εξίσωση Morison προσαρμοσμένη σε κώδικα για MATLAB

Με τη βοήθεια χρήσης της γλώσσας προγραμματισμού MATLAB, ενσωματώθηκε με τον κατάλληλο τρόπο η προηγούμενη εξίσωση και μέσω του παρακάτω κώδικα προκύπτουν και παρουσιάζονται διαγραμματικά τα αποτελέσματα σχετικά με τη συνολική δύναμη που ασκείται σε οριζόντια διεύθυνση στην συγκεκριμένη πλατφόρμα-πλωτήρα.

Στον επόμενο κώδικα περιγράφεται ο υπό μελέτη πλωτήρας-πλατφόρμα με διαστάσεις 20x20 και συνολικό βυθισμένο όγκο $V = 60 \text{ m}^3$ και επιφάνεια που δέχεται τη συνολική δύναμη $A = 3 \text{ m}^2$. Το βυθισμένο μέρος του πλωτήρα θεωρήθηκε 0,15 m βάσει βιβλιογραφικών αναφορών και πειραματικών ερευνών.

Το βάθος της θάλασσας στην περιοχή που τοποθετείται ο πλωτήρας είναι $h = 10 \text{ m}$ σύμφωνα με βαθυμετρικά δεδομένα.

Οι συντελεστές έλξης και αδράνειας της εξίσωσης Morison, ορίστηκαν ως 1,2 και 2 αντίστοιχα σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές.

Ακόμη, η πυκνότητα του ρευστού (ρ), στην παρούσα περίπτωση, θαλασσινού νερού, ορίστηκε από βιβλιογραφία 1025 kg/m^3 .

Τέλος η επιτάχυνση της βαρύτητας (g), ορίστηκε $9,81 \text{ m/s}^2$.

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας των κυμάτων, εντάσσεται η εξίσωση εύρεσης του αριθμού κύματος k και κατ' επέκταση οι εξισώσεις ταχύτητας και επιτάχυνσης.

Κώδικας:

% Φυσικές σταθερές και γεωμετρία

$\rho = 1025$; % Πυκνότητα νερού (kg/m^3)

$CD = 2.0$; % Συντελεστής οπισθέλκουσας

$CM = 1.2$; % Συντελεστής πρόσθετης μάζας

$L = 20$; % Μήκος πλωτήρα (m)

$B = 20$; % Πλάτος πλωτήρα (m)

$D = 0.15$; % Βυθισμένο ύψος πλωτήρα (m)

$V = L * B * D$; % Βυθισμένος όγκος (m^3)

$A = B * D$; % Επιφάνεια που δέχεται την δύναμη

% Κυματικές παράμετροι

$H = 0.894$; % Ύψος κύματος (m)

$T = 4.8$; % Περίοδος κύματος (s)

$\omega = 2 * \pi / T$; % Κυκλική συχνότητα ή γωνιακή ταχύτητα (rad/s)

$g = 9.81$; % Επιτάχυνση βαρύτητας

$h = 10$; % Βάθος νερού (m)

% Απλοποιημένη εκτίμηση αριθμού κύματος

$k = \omega^2 / g$;

$t = \text{linspace}(0, T, 100)$; % Χρόνος (s)

$x = 0$; % Θέση στην επιφάνεια (τυπικά $x=0$)

```

z = 0; % Βάθος (z=0 => επιφάνεια)

% Οριζόντια ταχύτητα u(x,z,t) από γραμμική θεωρία
Kz = cosh(k*(z + h)) / sinh(k*h); % Κατακόρυφος παράγοντας
u = 0.5 * H * omega * Kz * cos(k*x - omega*t);

% Οριζόντια επιτάχυνση a(x,z,t) = du/dt
a = 0.5 * H * omega^2 * Kz * sin(k*x - omega*t);

% Morison equation
F_inertia = rho * CM * V * a;
F_drag = 0.5 * rho * CD * A .* u .* abs(u);

F_total = F_inertia + F_drag; % Συνολική δύναμη που ασκείται στον πλωτήρα

% Plot Results
figure;
plot(t, F_inertia, 'b', 'LineWidth', 2);
hold on;
plot(t, F_drag, 'r', 'LineWidth', 2);
plot(t, F_total, 'k', 'LineWidth', 2);
grid on;

% Labels and Legend
xlabel('Time (s)');
ylabel('Force (N)');
title('Morison Equation - Wave Forces on Floating Rectangle');
legend('Inertia Force', 'Drag Force', 'Total Force');

set(gca, 'FontSize', 12);

```

4.2 Περιγραφή του συστήματος και παραδοχές

Το πλωτό σύστημα των φωτοβολταϊκών στην παρούσα μελέτη, αποτελείται από έναν ορθογώνιο παραλληλόγραμμο πλωτήρα συνολικής επιφάνειας 400 m², πλάτους 20 m και μήκους 20 m. Ο πλωτήρας είναι ενιαίος, δηλαδή χωρίς ενδιάμεσα κενά και διασυνδέσεις.

Το πρόγραμμα της MATLAB 'έτρεξε' τον παραπάνω κώδικα τέσσερις φορές όπου τα εισαγόμενα δεδομένα παρέμειναν κάθε φορά ίδια εκτός από το σημαντικό ύψος των κυμάτων H.

Οι δοκιμές έγιναν με τη σειρά για τα παρακάτω ύψη κυμάτων: 0,894 m, 2,5 m, 0 m και 0,15 m. Αρχικά για το μέσο ύψος κυμάτων που παρουσιάζεται και τις συνηθέστερες συνθήκες λειτουργίας, έπειτα για σχετικά μεγάλο ύψος κύματος με οριακή λειτουργία του συστήματος και τέλος για λειτουργία σε ιδανικές και ευνοϊκές συνθήκες λειτουργίας.

Λήφθηκαν κυματικά δεδομένα για το βόρειο τμήμα της νήσου Γαύδου για βάθη 10 m.

Συγκεκριμένα τα δεδομένα λήφθηκαν από την ευρωπαϊκή πλατφόρμα Copernicus για το χρονικό διάστημα διάρκειας ενός έτους, από 01/01/2023 έως 01/01/2024.

Μέσω αυτών, υπολογίστηκε πως το μέσο ύψος κύματος σε διάρκεια ενός έτους ανέρχεται σε 0,894 m.

Ακόμη, η μέση περίοδος των κυμάτων βάσει των δεδομένων διάρκειας ενός έτους, μετρήθηκε 4,8 s.

Ο υπολογισμός του μέσου μήκους κύματος (λ) έγινε λαμβάνοντας υπόψη την μέση ταχύτητα των κυμάτων και τη μέση περίοδο σύμφωνα με τις μετρήσεις από την πλατφόρμα Copernicus.

Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη την μέση ταχύτητα των κυμάτων και την περίοδό τους, εκτιμήθηκε το μέσο μήκος των κυμάτων σύμφωνα με την σχέση

$$f = \frac{1}{T} = \frac{u}{\lambda}$$

Όπου

f: συχνότητα των κυματισμών

T: περίοδος των κυματισμών

λ: μήκος κυματισμών

u: ταχύτητα διάδοσης των κυματισμών

Πολλαπλασιάστηκε η ταχύτητα με την περίοδο του κύματος, 0,58 m/s και 4,8 s αντίστοιχα και υπολογίστηκε ότι το μήκος κύματος λ για το μέσο ύψος κύματος 0,894, είναι ίσο με 2,784 m.

Μεταβλητές-Παράμετροι	Τιμή
Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος (H)	0,894 m
Περίοδος Κύματος (T)	4,8 s

ii) Πίνακας 4.2.1 Πίνακας Δεδομένων - Επικρατέστερες συνθήκες λειτουργίας

Μεταβλητές-Παράμετροι	Τιμή
Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος (H)	2,5 m
Περίοδος Κύματος (T)	4,8 s

iii) Πίνακας 4.2.2 Πίνακας Δεδομένων – Ακραίες συνθήκες λειτουργίας

Μεταβλητές-Παράμετροι	Τιμές
Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος (H)	0m και 0,15 m
Περίοδος Κύματος (T)	4,8 s

iv) Πίνακας 4.2.3 Πίνακας Δεδομένων - Ιδανικές συνθήκες λειτουργίας/Νηνεμία

4.2.1 Πιθανότητα εμφάνισης ακραίων φαινομένων

Στη συγκεκριμένη περίπτωση ως ακραία φαινόμενα και συνθήκες λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος θα ληφθούν υπόψη τα ύψη των κυματισμών τα οποία ξεπερνούν τα 2,5 m.

Από τις παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια ενός έτους, από 01/01/2023 έως 01/01/2024, με ωριαίο χρονικό βήμα, ύψη κυμάτων μεγαλύτερα των 2,5 m εμφανίζονται συνολικά 134 φορές. Συνεπώς η ποσοστιαία πιθανότητα εμφάνισής τους υπολογίζεται ως εξής:

$$\frac{\text{αριθμός εμφάνισης υψών μεγαλύτερων των 2,5 m}}{\text{συνολικός αριθμός μετρήσεων}} = \frac{134}{8760} * 100\% = 1,53\%$$

4.2.2 Πιθανότητα εμφάνισης ιδανικών συνθηκών λειτουργίας

Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα ληφθούν υπόψη τα ύψη των κυματισμών από 0 m έως 0,15 m.

Αντίστοιχα, από τις παρατηρήσεις για τη διάρκεια ενός έτους, από 01/01/2023 έως 01/01/2024, με ωριαίο χρονικό βήμα, ύψη κυμάτων έως 0,15 m εμφανίζονται συνολικά 59 φορές. Συνεπώς η πιθανότητα βέλτιστης λειτουργίας του συστήματος ανέρχεται σε 0,67%.

4.3 Προσομοίωση του συστήματος μέσω του λογισμικού SAM

Σε συνέχεια του παραπάνω συστήματος, έγινε χρήση του λογισμικού System Advisor Model (SAM) έκδοση 2024.12.12, PV-Watts Non-Financial Model, με τις κατάλληλες παραδοχές για την προσομοίωση πλωτού αντί χερσαίου φωτοβολταϊκού συστήματος.

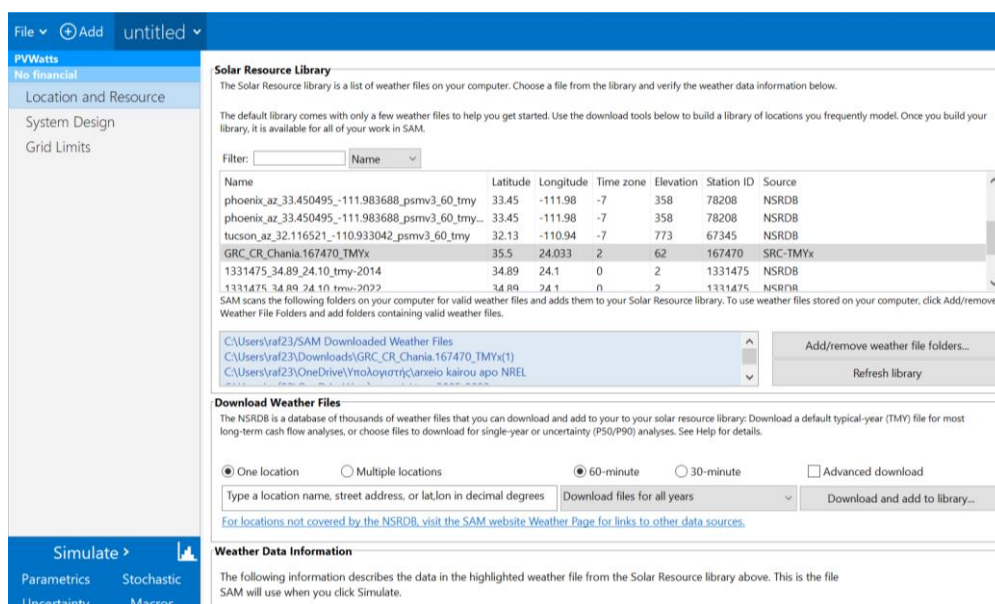
Συγκεκριμένα, εκτιμάται πως γίνεται κάλυψη του 75% της συνολικής επιφάνειας του πλωτήρα που περιεγράφηκε προηγουμένως με φωτοβολταϊκά πάνελ, δηλαδή 300 m² από τα 400 m² καλύπτονται με αυτά.

Για την παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία PV Watts- Non Financial Model.

4.3.1 Ανάλυση των φορτίων και παραδοχές του συστήματος

➤ Location & Resource

Εισήχθη το αρχείο καιρού μορφής .tmy από την διαδικτυακή πλατφόρμα Energy Plus [\climatewebsite\WMO_Region_6_Europe\GRC_Greece](#), που παρέχει πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία μελέτης και τα κλιματικά και μετεωρολογικά της δεδομένα όπως η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, εμφάνιση βροχοπτώσεων, σχετική υγρασία και albedo.



ρ) Εικόνα 4.3.1 Solar Resource Library- Weather file

Download Weather Files

The NSRDB is a database of thousands of weather files that you can download and add to your solar resource library. Download a default typical-year (TMY) file for most long-term cash flow analyses, or choose files to download for single-year or uncertainty (P50/P90) analyses. See Help for details.

☒ One location ☐ Multiple locations ☒ 60-minute ☐ 30-minute ☐ Advanced download

Type a location name, street address, or lat/lon in decimal degrees Download files for all years

[For locations not covered by the NSRDB, visit the SAM website Weather Page for links to other data sources.](#)

Weather Data Information

The following information describes the data in the highlighted weather file from the Solar Resource library above. This is the file SAM will use when you click Simulate.

Weather file:

Header Data from Weather File

Latitude	35.5 degrees	Location	167470
Longitude	24.033 degrees	Data Source	SRC-TMYx
Time zone	GMT 2		
Elevation	62 m		
Time step	60 minutes		

For NSRDB data, the latitude and longitude shown here from the weather file header are the coordinates of the NSRDB grid cell and may be different from the values in the file name, which are the coordinates of the requested location.

Annual Averages Calculated from Weather File Data

Global horizontal	5.02 kWh/m²/day	Optional Data
Direct normal (beam)	5.69 kWh/m²/day	Maximum snow depth
Diffuse horizontal	1.39 kWh/m²/day	Annual albedo
Average temperature	17.4 °C	
Average wind speed	4.4 m/s	

*NaN indicates missing data.

s) Εικόνα 4.3.2 Weather Data Information

Από το εισήχθεν αρχείο καιρού λαμβάνουμε τις εξής πληροφορίες για τα κλιματικά και μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής:

Η μέση θερμοκρασία του αέρα είναι 17,4 °C και η μέση ταχύτητα του ανέμου 4,4 m/s. Ενώ ακόμη, η άμεση προσπίπτουσα ακτινοβολία ημερησίως είναι 5,69 kWh/m².

System design

Για τον σχεδιασμό του συστήματος έγιναν οι εξής παραδοχές και επιλογές:

- System parameters
 - Ορίστηκε nameplate capacity 57 kW_{dc}
 - Standard Module Type
 - DC to AC ratio 1,2
 - Inverter efficiency 98%

Αυτομάτως υπολογίστηκε πως η συνολική επιφάνεια κάλυψης από φωτοβολταϊκά είναι 300 m² και το μέγεθος του inverter εκτιμάται σε 47,5 kW_{ac}

System Parameters	
System nameplate capacity	57 kWdc
Module type	Standard
DC to AC ratio	1.2
Rated inverter size	47.50 kWac
Inverter efficiency	98 %
Module Area Estimate for Land Area Calculations Estimated total module area 300.000 m ²	

t) Εικόνα 4.3.3 System Parameters

➤ Orientation & Tracking

- Ως Array type ορίστηκε το fixed open rack, καθώς με τη συγκεκριμένη ιδιότητα η οποία αφορά ένα χερσαίο φωτοβολταϊκό σύστημα στο οποίο υπάρχει ροή ατμοσφαιρικού αέρα ανάμεσα σε αυτό και το έδαφος, η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού διατηρείται χαμηλότερη λόγω ροής του ψυχρού αέρα. Αντίστοιχα, λόγω της ψύξης “cooling” που προσφέρει ένα πλωτό φωτοβολταϊκό σύστημα από την χαμηλότερη θερμοκρασία της θάλασσας. Η παραπάνω επιλογή προσεγγίζει το σύστημα καλύτερα.
- Tilt επιλέχθηκε κλίση 0°, δηλαδή οριζόντια τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πάνω στον πλωτήρα.
- Azimuth επιλέχθηκε 180° κλίση
- Ως Ground coverage ratio ορίστηκε το 0,3 από default.

Orientation and Tracking	
	Array type Fixed open rack Tilt 0 degrees Azimuth 180 degrees Ground coverage ratio 0.3

υ) Εικόνα 4.3.4 Orientation and Tracking

➤ System losses

Οι απώλειες του συστήματος χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες

- Soiling
- Shading
- Snow

- Mismatch
- Wiring
- Connections
- Light-induced degradation
- Nameplate
- Age
- Availability

Για κάθε μία εξ' αυτών ορίστηκε και το ανάλογο ποσοστό:

System Losses

System losses account for performance losses you would expect in a real system that are not explicitly calculated by PVWatts.

Specify total system loss ☐ Total loss %

Specify System Loss Categories

Soiling	<input type="text" value="0.7"/> %	Connections	<input type="text" value="0.5"/> %
Shading	<input type="text" value="1"/> %	Light-induced degradation	<input type="text" value="1.5"/> %
Snow	<input type="text" value="0"/> %	Nameplate	<input type="text" value="1"/> %
Mismatch	<input type="text" value="2"/> %	Age	<input type="text" value="0"/> %
Wiring	<input type="text" value="2"/> %	Availability	<input type="text" value="3"/> %
		Total system losses	<input type="text" value="11.14"/> %

ν) Εικόνα 4.3.5 System Losses

Soiling: Οι απώλειες λόγω κάλυψης των φωτοβολταϊκών πάνελ με σκόνης από την ατμόσφαιρα ή/και χώματα μειώνοντας έτσι την απόδοση του συστήματος ορίζονται 0,7%. Το ποσοστό αυτό είναι αρκετά μικρότερο σε σχέση με τα χερσαία φωτοβολταϊκά καθώς η περιοχή τοποθέτησής του αφενός βρίσκεται σε θαλάσσιο χώρο επομένως γίνεται πολύ συχνότερα πλύση εξ' αιτίας των κυμάτων και αφετέρου στη νήσο της Γαύδου παρουσιάζονται αρκετές βροχοπτώσεις ετησίως που αντίστοιχα συμβάλουν στον καθαρισμό τους από σκόνης, χώματα και άλλα στερεά σωματίδια.

Shading: Οι απώλειες λόγω σκιάσεων είτε στο γύρω περιβάλλον όπως βουνά, οικοδομήματα είτε λόγω σκίασης από λανθασμένη τοποθέτηση άλλων πάνελ και επικάλυψη. Ορίστηκε 1%.

Snow: Αφορά τις απώλειες του συστήματος λόγω χιονοπτώσεων, και κατ' επέκταση κάλυψη των πάνελ με χιόνι και πάγο. Στην προκείμενη τοποθεσία εγκατάστασης το κλίμα που επικρατεί χαρακτηρίζεται εύκρατο και οι χιονοπτώσεις απουσιάζουν. Συνεπώς ορίστηκε 0%.

Mismatch: Αφορά τις απώλειες του συστήματος εξ' αιτίας κατασκευαστικών αστοχιών όπως για παράδειγμα αστοχίες σε ευθυγράμμιση και τοποθέτηση των πάνελ. Ορίστηκε 2% από default.

Wiring: Αφορά τις απώλειες του συστήματος που προκύπτουν λόγω αστοχιών στην καλωδίωση των φωτοβολταϊκών και στην μετατροπή του ρεύματος από εναλλασσόμενο σε συνεχές. Ορίστηκε 2%.

Connections: Αφορά τις απώλειες του συστήματος που προκύπτουν λόγω αστοχιών στις συνδέσεις μεταξύ των φωτοβολταϊκών. Ορίστηκε 0,5%.

Light-induced degradation: Αφορά τις απώλειες του συστήματος από υποβάθμιση λόγω φωτός. Συγκεκριμένα επιδρά αρνητικά στα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται τα κελιά των φωτοβολταϊκών. Ορίστηκε 1,5 % από default.

Nameplate: Διαφορά της ισχύος του φωτοβολταϊκού πάνελ από συγκεκριμένα φύλλα δεδομένων σε σχέση με της πραγματικής του απόδοσης κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας (STC-STANDARD TEST CONDITIONS). Ορίστηκε 1% από default.

Age: Αφορά τις απώλειες του συστήματος λόγω παρόδου λειτουργίας αυτού. Επειδή το παρόν σύστημα είναι νεοσύστατο η τιμή αυτή ορίστηκε 0%.

Availability: Οι απώλειες διαθεσιμότητας σχετίζονται με τον χρόνο το οποίο το σύστημα δεν είναι σε θέση να λειτουργήσει και να παράγει ενέργεια εξ' αιτίας πιθανών βλαβών κάποιου μηχανισμού, απενεργοποίηση λόγω καθαρισμού-συντήρησης και ακόμη για λόγους ασφαλείας. Ορίστηκε 3% συνυπολογίζοντας σε αυτό επίσης, την πιθανότητα εμφάνισης ακραίων φαινομένων για το σύστημα που ανέρχεται σε 1,53%.

Τέλος, οι συνολικές απώλειες του συστήματος ανέρχονται σε ποσοστό 11,14%.

Land Area Estimate

Το λογισμικό υπολογίζει αυτόματα την έκταση που θα καταλαμβάνουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα και φορτία που εισήχθησαν καθώς επίσης και την AC capacity του συστήματος. Συγκεκριμένα η συνολική επιφάνεια κάλυψης με φωτοβολταϊκά πάνελ υπολογίστηκε 300 m² και η AC capacity σε 0,048 MWac.

Land Area Estimate

SAM uses the total estimated land area in acres to calculate land purchase and/or land lease costs when those costs are specified on the Installation Costs and Operating Costs pages, respectively. See Help for details.

☒ Automatically calculate from module area
☐ Enter area per capacity in acres/MWac

Total module area m²
AC capacity MWac

Land area per system capacity acres/MWac

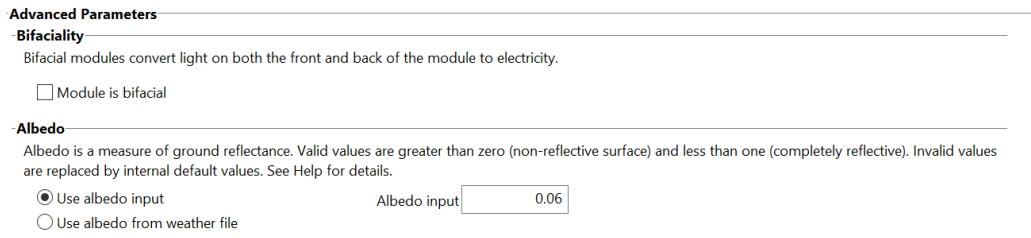
	acres	hectares
Total module area	0.074	0.030
Land area multiplier	1.000	
Ground area occupied by array	0.247	0.100
Additional land area	0.000	
Total estimated land area	0.247	0.100

ω) Εικόνα 4.3.6 Land Area Estimate

4.3.2 Advanced inputs

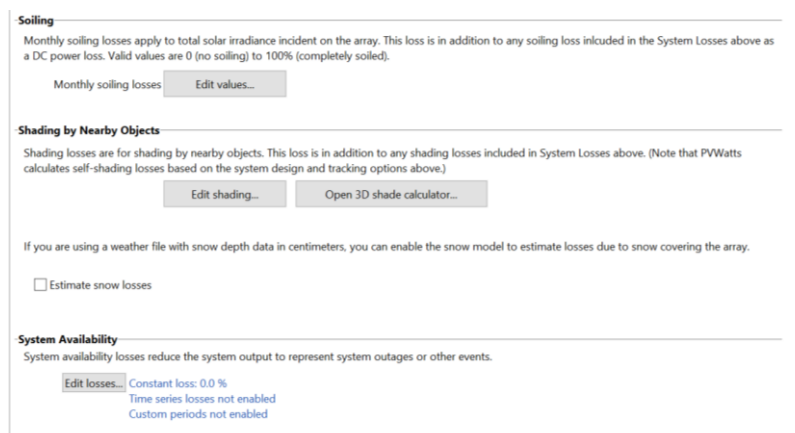
Advanced parameters

Η τιμή της λευκαύγειας (albedo) που χρησιμοποιήθηκε στο παρόν σύστημα δεν ορίστηκε αυτόματα από το αρχείο καιρού που εισήχθη. Ορίστηκε 0,06 καθώς η τιμή της θαλάσσιας ζώνης διαφέρει σε σχέση με την τιμή της χερσαίας ώστε να τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να ανταποκρίνονται και να προσεγγίζουν το παρόν σύστημα.



χ) Εικόνα 4.3.7 Albedo

Όσον αφορά τις παρακάτω ρυθμίσεις σχετικά με το soiling, shading by nearby objects και system availability, δεν έγινε επιμέρους προσθήκη επιπλέον πληροφοριών.



γ) Εικόνα 4.3.8 Soiling, Shading by Nearby Objects, System Availability Settings.

4.3.3 Grid Limits

Το ίδιο ίσχυσε και σε αυτήν την ρύθμιση του συστήματος που αφορά το δίκτυο όπου και δεν επιλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν τα παρακάτω:

Grid Interconnection Limit

☐ Enable interconnection limit

The grid interconnection limit is a negotiated limit beyond which the system is not allowed to export power. Any AC power generated above the grid interconnection limit is curtailed.

Grid interconnection limit kWac

Grid Curtailment

Click Edit Array to enter values in the curtailment schedule table. SAM limits the system power output to the MW power values in the table. Curtailed power is not compensated.

Curtailment MWac

z) Εικόνα 4.3.9 Grid Limits Settings

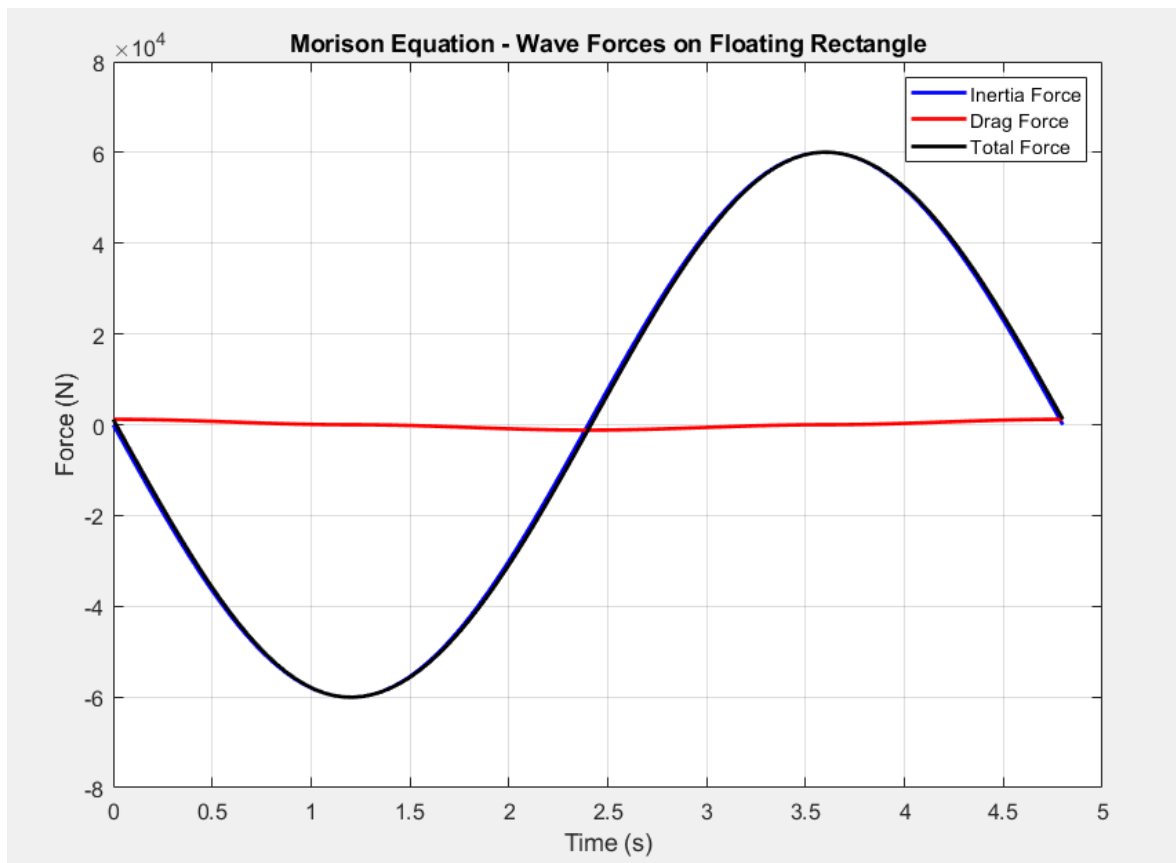
5. Αποτελέσματα

5.1 Αποτελέσματα MATLAB

Από την εφαρμογή της εξίσωσης Morison μέσω του κώδικα της MATLAB, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα για τα διαφορετικά κάθε φορά ύψη κυμάτων. Τα παρακάτω γραφήματα αφορούν τις συνολικές οριζόντιες δυνάμεις που ασκούνται στον πλωτήρα.

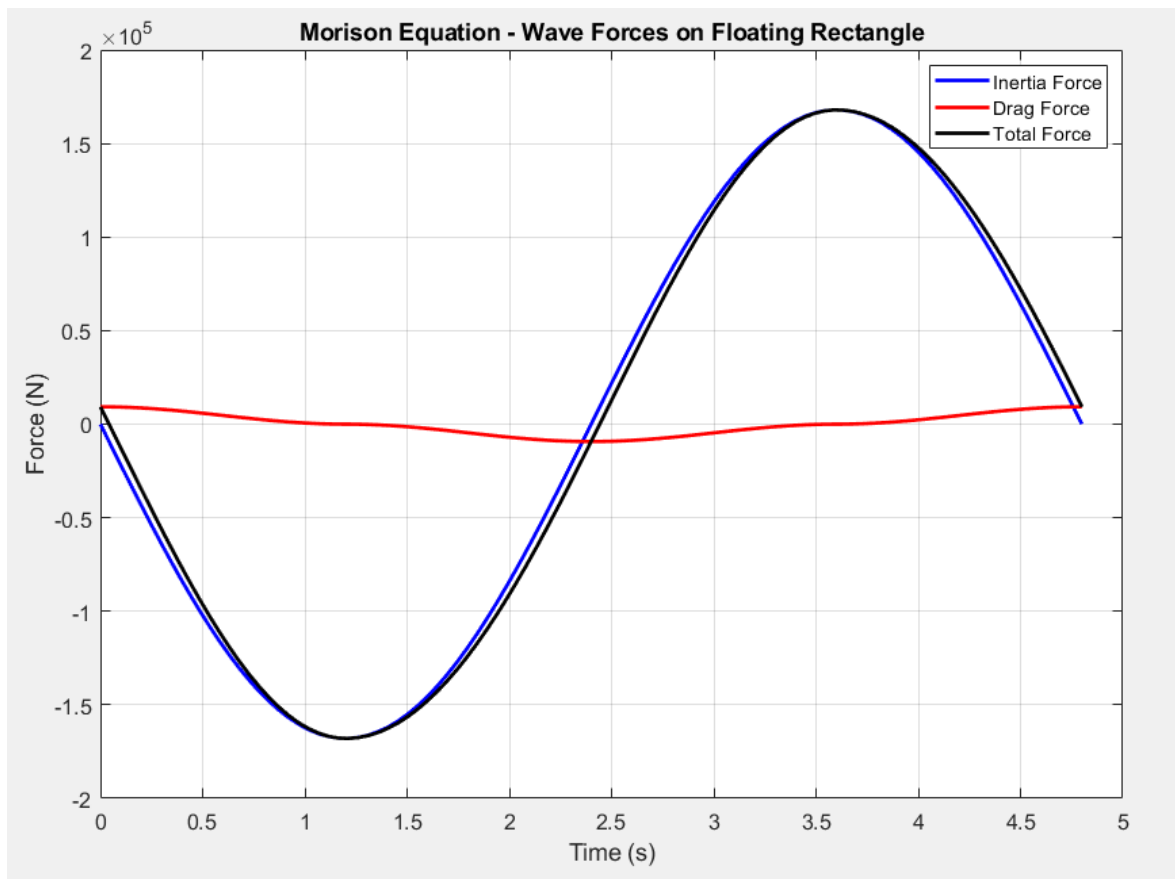
Σε κάθε γράφημα η γραμμή με μαύρο χρώμα εκφράζει τη συνολική δύναμη που ασκείται στον πλωτήρα, η κόκκινη γραμμή εκφράζει τη δύναμη έλξης και η μπλε τη δύναμη αδράνειας.

Η πρώτη περίπτωση αφορά τις δυνάμεις που ασκούνται στον πλωτήρα για το μέσο σημαντικό ύψος κύματος που καταγράφεται στην περιοχή μελέτης της βόρειας Γαύδου και σημειώνεται 0,894 m.



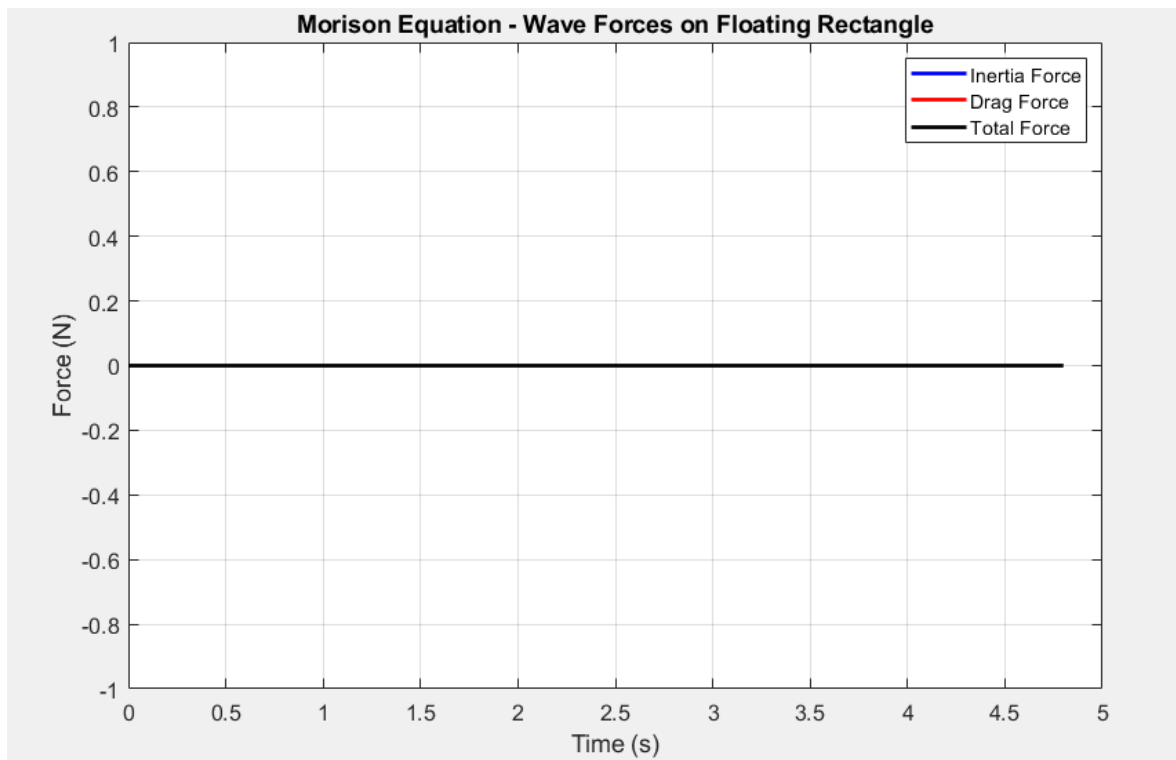
αα) Γράφημα 5.1.1 Δυνάμεις που ασκούνται στον πλωτήρα για ύψος κύματος 0.894 m

Η δεύτερη περίπτωση αφορά τις ακραίες συνθήκες λόγω ύψους κυμάτων άνω των 2,5 m που θα επικρατούν στην περιοχή με πιθανότητα εμφάνισης αυτών 1,53%.

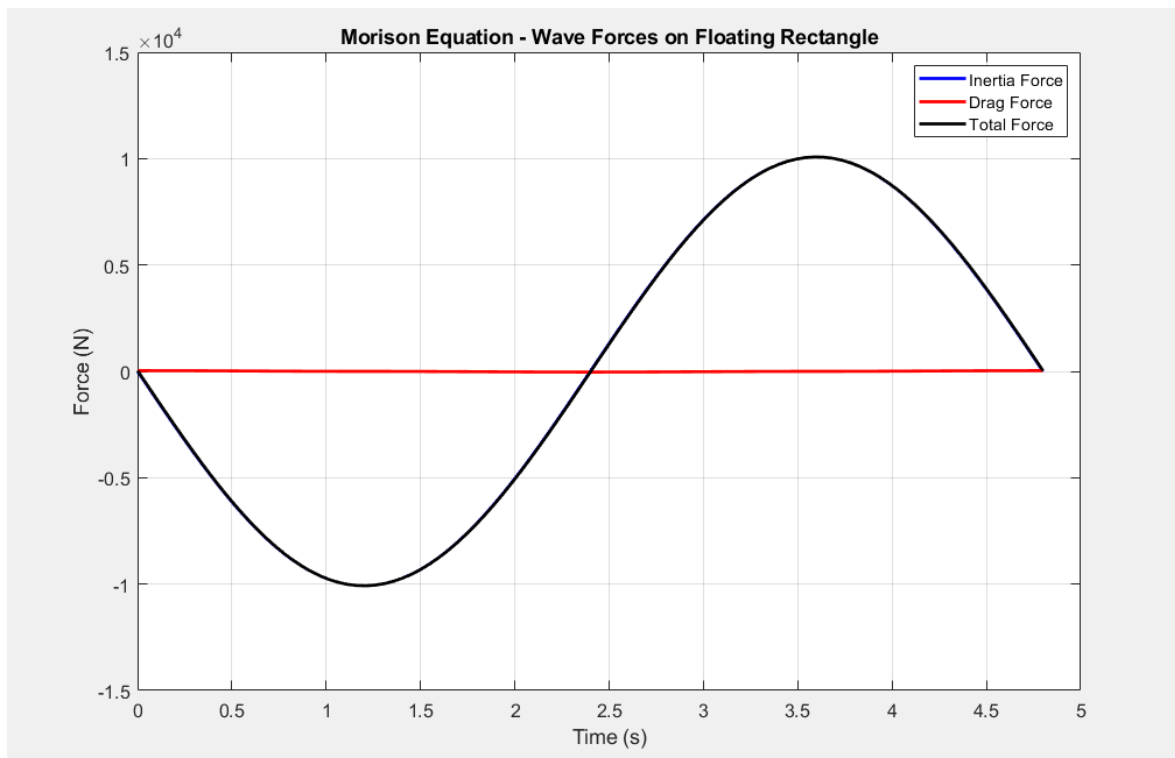


bb) Γράφημα 5.1.2 Δυνάμεις που ασκούνται στον πλωτήρα για ύψος κύματος 2.5 m

Τέλος σε ιδανικές συνθήκες λειτουργίας όπου επικρατεί νηνεμία και συγκεκριμένα έχει τεθεί εύρος ύψους κυμάτων από 0 m έως 0,15 m, οι συνολικές δυνάμεις που ασκούνται φαίνονται στα παρακάτω γραφήματα.



cc) Γράφημα 5.1.3 Δυνάμεις που ασκούνται στον πλωτήρα για ύψος κύματος 0 m



dd) Γράφημα 5.1.4 Δυνάμεις που ασκούνται στον πλωτήρα για ύψος κύματος 0.15 m

5.2 Αποτελέσματα SAM

Έπειτα από την εισαγωγή των εκάστοτε δεδομένων και τη ρύθμιση των υπόλοιπων παραμέτρων στο λογισμικό System Advisor Model, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα που αφορούν την εγκατάσταση του πλωτού φωτοβολταϊκού συστήματος στη βόρεια περιοχή της νήσου Γαύδου.

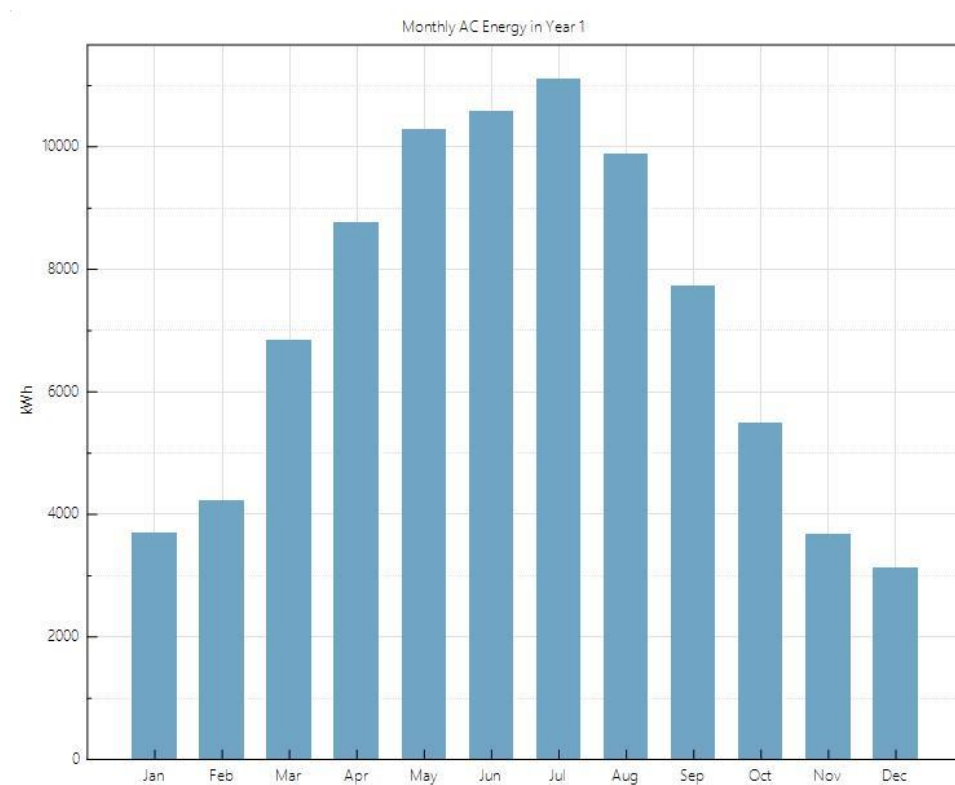
- 1) Συνολική εκτιμώμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τον 1^ο χρόνο λειτουργίας του συστήματος

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	85,351 kWh
DC capacity factor in Year 1	17.1%
Energy yield in Year 1	1,497 kWh/kW

ee) Εικόνα 5.2.1 Ενεργειακά Αποτελέσματα SAM για το 1ο έτος

Το συνολικό ποσό ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να παράγει το σύστημα τον 1^ο χρόνο λειτουργίας του ανέρχεται σε 85.351 kWh ίσες με 85,351 MWh.

2) Μηνιαία εκτιμώμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τον 1^ο χρόνο λειτουργίας του συστήματος

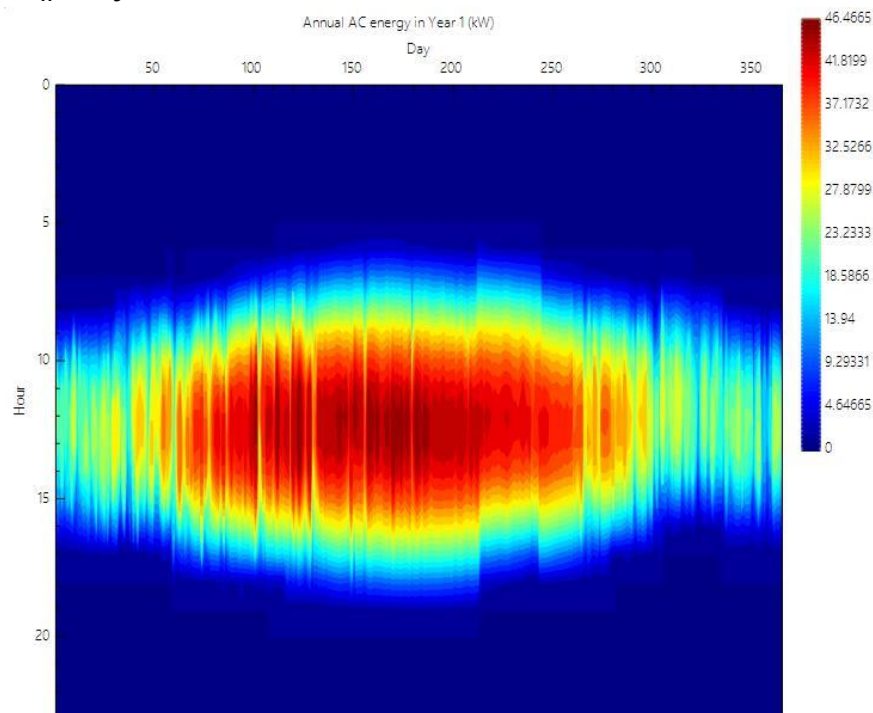


ff) Γράφημα 5.2.2 Αποτελέσματα Μηνιαίας Ενεργειακής Παραγωγής του Συστήματος

	Monthly AC energy (kWh)
Jan	3700.31
Feb	4217.57
Mar	6834.07
Apr	8755.89
May	10286.4
Jun	10573.3
Jul	11108.2
Aug	9865.8
Sep	7732.46
Oct	5478.35
Nov	3676.33
Dec	3122.29

ν) Πίνακας 5.2.1 Μηνιαία Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας σε kWh

3) Γράφημα ωριαίας παραγωγής ενέργειας ανά ημέρα για τον 1^ο χρόνο λειτουργίας του συστήματος



gg) Γράφημα 5.2.3 Ωριαία Παραγωγή Ηλεκτρική Ενέργειας ανά Ημέρα

6. Συζήτηση

Για τις μελέτες ευστάθειας και επιρροής των FPV χρησιμοποιούνται διαφόρων τύπων λογισμικά και γλώσσες προγραμματισμού παγκοσμίως. Για την συνολική και πολυδιάστατη εκτίμηση των επιδράσεων των εκάστοτε φορτίων στο σύστημα αλλά και την κίνηση αυτού λόγω υδροδυναμικών τάσεων συνήθως χρησιμοποιούνται λογισμικά CFD. Για μελέτη ενός συγκεκριμένου παράγοντα επιρροής του συστήματος προτιμώνται άλλες μέθοδοι μέσω διαφορετικών προγραμμάτων. Στην υπό μελέτη περίπτωση, η επίδραση των θαλάσσιων κυμάτων αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα στην εν λόγω περιοχή για την εγκατάσταση FPV και μελετάται μεμονωμένα.

6.1 MATLAB

Από τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον κώδικα της MATLAB για κάθε μια από τις διαφορετικές περιπτώσεις και συνθήκες λειτουργίας με μεταβλητή το ύψος των κυματισμών, παρατηρούνται τα εξής:

Ιδανικές Συνθήκες- Συνθήκες Νηνεμίας

Αφορά τους κυματισμούς με ύψος κυμάτων από 0 έως 0,15m .

Στο γράφημα φαίνεται πως καθ' όλη τη διάρκεια που δεν υπάρχουν κυματισμοί και η θάλασσα βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας, οι δυνάμεις που ασκούνται στον πλωτήρα είναι από μηδενικές όταν το ύψος των κυμάτων είναι μηδέν, έως 10077,5 N ή σχεδόν ίσο με 10 kN για ύψος κυμάτων ίσο με 0,15 m.

Συνήθεις συνθήκες λειτουργίας

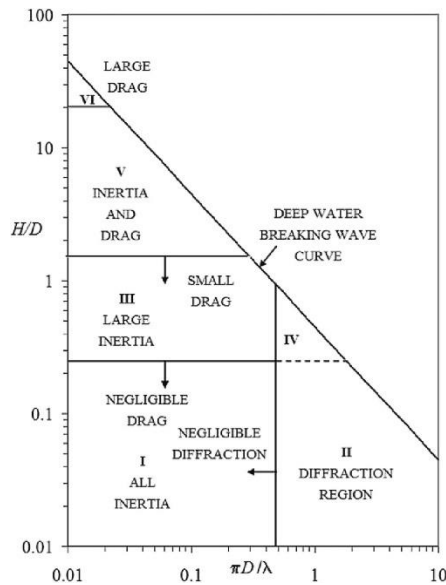
Λαμβάνοντας υπόψη το μέσο ύψος των κυμάτων, 0,894 m, στο παρακάτω γράφημα φαίνεται ότι οι δυνάμεις που ασκούνται στον πλωτήρα φτάνουν τα 60061,7 N ή κατά προσέγγιση 60 kN.

Οριακές συνθήκες λειτουργίας

Το οριακό ύψος κυμάτων επιλέχθηκε 2,5 m και βάσει αυτού, οι δυνάμεις που ασκούνται στον πλωτήρα ανέρχονται σε 167956 N ή σχεδόν 168 kN.

Στις περιπτώσεις ιδανικών συνθηκών, παρατηρείται πως η δύναμη της έλξης (drag force) είναι είτε μηδενική, είτε ελάχιστη σε σχέση με εκείνη της αδράνειας, όπου η πρώτη μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.

Η παραπάνω διαπίστωση επιβεβαιώνεται και βιβλιογραφικά σύμφωνα με το παρακάτω γράφημα:



hh) Γράφημα 6.1 Άσκηση Δυνάμεων σύμφωνα με το ύψος κύματος H ,
το μήκος κύματος λ και τη βυθισμένη επιφάνεια D Πηγή:[4]

Κατατάσσονται στην κατηγορία I και III αφού $\frac{\pi D}{\lambda} = 0,17$ και αντίστοιχα $\frac{H}{D}$ είναι ίσο με 0 και 1.

Σύμφωνα με ερευνητικές μελέτες τα φορτία που δέχονται συνολικά οι πλωτές κατασκευές φωτοβολταϊκών στη θάλασσα είναι αρκετά μεγαλύτερα έως και τριπλάσια σε σχέση με εκείνα των πλωτών φωτοβολταϊκών συστημάτων σε λίμνες και σε ταμιευτήρες, τα οποία μπορεί να φτάνουν έως και τα 2135 kN συνολικά. Για τον πλήρη υπολογισμό τους πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι δυνάμεις άνωσης, ανέμου αλλά και το συνολικό βάρος της κατασκευής για την κατάλληλη μετέπειτα αγκύρωση του συστήματος. Είναι δύσκολο να συγκρίνουμε μεμονωμένα τις παραπάνω τιμές των δυνάμεων που ασκούνται λόγω κυμάτων, ωστόσο σύμφωνα με παρόμοιες μελέτες, οι τάσεις που ασκούνται στην υπό μελέτη πλατφόρμα είναι αναμενόμενες και δεν κρίνονται απαγορευτικές για τη λειτουργία του παρόντος συστήματος.

Παρ' όλα αυτά, τα ύψη κυμάτων που παρατηρούνται στη συγκεκριμένη περιοχή, χαρακτηρίζονται σχετικά μικρά ενώ υπάρχουν ήδη εγκατεστημένα λειτουργικά πλωτά συστήματα τα οποία είναι ανθεκτικά σε πολύ μεγαλύτερα ύψη κυμάτων έως και 10 m, όπως επίσης και σε μεγάλες ταχύτητες ανέμων έως και 210 km/h. Συνεπώς λαμβάνοντας υπόψιν τις επικρατέστερες συνθήκες στην περιοχή μελέτης και τα μετεωρολογικά και κλιματικά δεδομένα, το σύστημα δύναται να ευσταθεί.

6.2 SAM

Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων του λογισμικού SAM, το παρόν φωτοβολταϊκό σύστημα θα έχει ετήσια παραγωγή AC ηλεκτρικής ενέργειας 85.351 kWh, ή αλλιώς 85,351 MWh. Επιτυγχάνεται λοιπόν, η δυνατότητα κάλυψης μεγάλου μέρους των ηλεκτρικών αναγκών των μόνιμων κατοίκων του νησιού.

Συγκεκριμένα σύμφωνα με έρευνα της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ) του 2021 για τον μόνιμο πληθυσμό κατά φύλο και ομάδες ηλικιών ανά δήμο της Ελλάδας, ο μόνιμος πληθυσμός του δήμου Γαύδου ανέρχεται σε 141 άτομα.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	B01. Απογραφή Πληθυσμού 2021. Μόνιμος πληθυσμός κατά φύλο και ομάδες ηλικιών											
2	Δήμοι											
3												
4	Γεωγραφικό επίπεδο	Γεωγραφικός Κωδικός	Περιγραφή	Και των δύο φύλων								
5				Σύνολο	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79
6												
424	5	4717305	ΔΗΜΟΣ ΜΥΛΟΠΟΤΑΜΟΥ	12.819	1.518	1.663	1.580	1.442	1.752	1.526	1.189	1.097
425	4	47174	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΧΑΝΙΩΝ	156.707	15.628	16.901	16.059	20.100	24.231	22.655	18.385	13.081
426	5	4717401	ΔΗΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ	111.375	11.357	12.476	11.828	14.951	18.007	16.266	12.371	8.354
427	5	4717402	ΔΗΜΟΣ ΑΠΟΚΟΡΩΝΟΥ	12.245	1.150	1.212	1.064	1.334	1.618	1.749	1.758	1.420
428	5	4717403	ΔΗΜΟΣ ΓΑΥΔΟΥ	141	3	5	13	21	33	33	9	11
429	5	4717404	ΔΗΜΟΣ ΚΑΝΤΑΝΟΥ - ΣΕΛΙΝΟΥ	5.010	447	472	490	590	702	732	650	450
430	5	4717405	ΔΗΜΟΣ ΚΙΣΣΑΜΟΥ	10.633	1.129	1.050	989	1.352	1.466	1.435	1.237	1.048
431	5	4717406	ΔΗΜΟΣ ΠΛΑΤΑΝΙΑ	15.302	1.285	1.458	1.435	1.611	2.091	2.198	2.141	1.651
432	5	4717407	ΔΗΜΟΣ ΣΦΑΚΙΩΝ	2.002	251	226	235	241	316	241	219	149

vi) Πίνακας 6.2 Απογραφή Πληθυσμού 2021 Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ

Ακόμη, σύμφωνα με ανάλυση δεδομένων από την EMBER αναφορικά με τη μέση ετήσια κατανάλωση kWh ανά άτομο και ανά χώρα, μετρήθηκε ότι στην Ελλάδα ένα άτομο καταναλώνει ετησίως 5,25 MWh ηλεκτρικής ενέργειας.

Συνεπώς από τα παραπάνω δεδομένα προκύπτει πως η ετήσια κατανάλωση του νησιού, αν θεωρήσουμε πως ο πληθυσμός έχει παραμείνει σταθερός, είναι 740,25 MWh. Ως εκ τούτου, το ενεργειακό μέρος που είναι δυνατό να καλυφθεί από μορφή ΑΠΕ μέσω του πλωτού φωτοβολταϊκού συστήματος με βάση τις ανάγκες του νησιού, εκτιμάται στο 11,53%.

Όσον αφορά την συνεισφορά του παραπάνω συστήματος στην προστασία του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα την επίδρασή του στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής, επιτυγχάνεται η αποτροπή έκλυσης κατά προσέγγιση 93,9 τόνων CO₂ τον χρόνο.

Επιπλέον παρατηρείται, όπως είναι αναμενόμενο, πολύ μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, γεγονός που μπορεί να συμβάλλει στην κάλυψη των αυξημένων αναγκών τους μήνες αυτούς εξ' αιτίας των τουριστικών εισροών. Συγκεκριμένα τον Ιούνιο και τον Ιούλιο η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας φτάνει τις 10.573 kWh και 11.108 kWh αντίστοιχα.

Άξιο σημείωσης είναι επίσης το ποσοστό των συνολικών απωλειών, το οποίο είναι μικρότερο συγκριτικά με εκείνο αντίστοιχων προδιαγραφών χειραίο φωτοβολταϊκό, περίπου ίσο με 14% σύμφωνα με τις προεπιλεγμένες τιμές (default values) του SAM, γεγονός το οποίο βελτιώνει την απόδοση του συστήματος.

Στο σύστημα που σχεδιάστηκε, έγινε θεώρηση χρήσης τυπικών μονοφασικών πάνελ και οριζόντιας τοποθέτησής τους με σκοπό την απλούστερη διαμόρφωση του συστήματος, γεγονός που αξιολογείται θετικά λόγω της τελικής ικανοποιητικής συνολικής παραγωγής. Σε περίπτωση μεταβολής των δύο αυτών παραδοχών, το σύστημα θα επηρεαζόταν

αναλόγως. Συγκεκριμένα, τα διφασικά πάνελ προσφέρουν μεγαλύτερη απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας ενισχύοντας την απόδοση και την παραγωγή των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ιδίως σε θαλάσσιες ζώνες, λόγω της μικρής τιμής της λευκαύγειας του νερού, η χρήση τους θα επιφέρει αύξηση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Εν τούτοις, σίγουρα αποτελεί μία τεχνολογία με αρκετά υψηλότερο κόστος σε σχέση με τα μονοφασικά πάνελ.

Με τη μεταβολή κλίσης των πάνελ στην βέλτιστη για την υπό μελέτη τοποθεσία ή ακόμη και με προσθήκη εξοπλισμού tracking, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επίσης θα σημείωνε αύξηση, όμως η άσκηση των φορτίων τόσο κυματικών όσο και ανεμικών είναι μεγαλύτερη, επομένως και ο σχεδιασμός του συστήματος γίνεται πιο περίπλοκος και τα εύρη λειτουργίας διαφοροποιούνται.

7. Συμπεράσματα

Η συγκεκριμένη μελέτη ανέδειξε την ενεργειακή σημασία των πλωτών φωτοβολταϊκών και την παραγωγή τους για το νησί της Γαύδου, η οποία καλύπτει ικανοποιητικό ποσοστό της ετήσιας συνολικής κατανάλωσης των μόνιμων κατοίκων της. Επίσης επικεντρώθηκε στις οριζόντιες τάσεις εξ' αιτίας κυματισμών που ασκούνται στον πλωτήρα, οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν σχετικά υψηλές συγκριτικά με αντίστοιχα συστήματα τοποθετημένα σε λίμνες, ωστόσο λογικές καθώς υπάρχουν υψηλότεροι θαλάσσιοι κυματισμοί.

Τόσο στην Ευρώπη όσο και στον υπόλοιπο κόσμο έχουν σχεδιαστεί και λειτουργούν αρκετά πλωτά φωτοβολταϊκά συστήματα, που καλύπτουν τόσο μικρότερες όσο και μεγαλύτερες θαλάσσιες εκτάσεις, με ταυτόχρονα υψηλή παραγωγική ικανότητα και ανθεκτικότητα σε έντονα καιρικά φαινόμενα. Βέβαια, καθίσταται αναγκαία η ενίσχυση και προσαρμογή του νομικού-κανονιστικού πλαισίου και των εν γένει θεσμικών παραμέτρων ώστε να συμβαδίζουν και να καλύπτουν τις σύγχρονες ενεργειακές συνθήκες και ανάγκες, ενθαρρύνοντας την επένδυση και την ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής ειδικά σε περιοχές όπως η νησιωτική Ελλάδα. Η εγκατάσταση FPV συστημάτων θα έχει καθοριστική συμβολή στην μετάβαση πολλών μικρών νησιών σε “πράσινα νησιά”, δηλαδή πλήρως ενεργειακά αυτόνομα.

Συνοψίζοντας, η χρήση πλωτών φωτοβολταϊκών συστημάτων σε απομακρυσμένα και ακριτικά νησιά καθώς και κατ' επέκταση σε περιοχές με υδάτινες εκτάσεις, είναι εφικτή και σε σχέση με χερσαία φωτοβολταϊκά συστήματα, αποδοτικότερη, ενώ ακόμη, συμβάλλει στη μείωση των αέριων εκπομπών CO₂. Σε περιπτώσεις που υπάρχει είτε περιορισμένος χερσαίος χώρος, είτε ανώμαλο έδαφος όπου δεν επιτρέπεται η εγκατάσταση τυπικών χερσαίων φωτοβολταϊκών συστημάτων, η αξιοποίηση θαλάσσιας έκτασης με στόχο την ενεργειακή κάλυψή τους, αποτελεί μία από τις βέλτιστες και άμεσες λύσεις σε αυτό το πρόβλημα. Είναι αναγκαία βέβαια, η περαιτέρω έρευνα πάνω στον σχεδιασμό των πλωτών φωτοβολταϊκών συστημάτων σε θαλάσσιες περιοχές, με στόχο την μέγιστη αντοχή και ευστάθειά τους σε πιο επιβαρυντικές και δύσκολες συνθήκες που τις χαρακτηρίζουν.

8. Βιβλιογραφία

Συγγράμματα

1. ΑΣΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Δ., ΑΡΑΜΠΑΤΖΗΣ Γ., ΑΓΓΕΛΗΣ-ΔΗΜΑΚΗΣ Α., ΚΑΡΤΑΛΙΔΗΣ Α., ΤΣΙΛΙΓΚΙΡΙΔΗΣ Γ., (2023) Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Δυναμικό & Τεχνολογίες, ΤΟΠΟΣ ΕΚΔΟΣΗΣ: ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ σοφία Β' Έκδοση.
2. ΚΟΥΤΙΤΑΣ Χ., (1994) ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΑ ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ, ΤΟΠΟΣ ΕΚΔΟΣΗΣ: ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ
3. ΤΣΟΥΤΣΟΣ Θ., ΚΑΝΑΚΗΣ Ι., (2013) Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Τεχνολογίες & Περιβάλλον, ΤΟΠΟΣ ΕΚΔΟΣΗΣ: ΑΘΗΝΑ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ Παπασωτηρίου
4. S.K. Chakrabarti, (1987) Hydrodynamics of Offshore Structures, UK, WIT Press.

Διαδικτυακές πηγές – Ερευνητικές μελέτες και άρθρα

1. Διονύσιος Πίσκοπος, "Μελέτη και σχεδιασμός πλωτών φωτοβολταϊκών διατάξεων με έμφαση στις εγκαταστάσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον", Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάς, 2021 <https://doi.org/10.26233/heallink.tuc.89744>
2. ΘΕΟΔΟΣΙΑΔΗΣ Ε., (2020), ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΛΩΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ -ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ
3. ΚΩΤΟΥΛΑ Θ., (2023) , Οι Επιπτώσεις των Εγκαταστάσεων των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στο Ελληνικό Αγροτικό και Φυσικό Τοπίο: Η Περίπτωση των Ηλιακών Πάρκων, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών- Τμήμα Γεωπονίας Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Διαθέσιμο στο: DOI: [10.26262/heal.auth.ir.355213](https://doi.org/10.26262/heal.auth.ir.355213)
4. Μπλέτσης Ι., (2023) ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΛΩΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΕ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών Διαθέσιμο στο: <http://dx.doi.org/10.26240/heal.ntua.25467>
5. Φιορέντζη Γ., "Βέλτιστος ενεργειακός σχεδιασμός για ασφαλή κάλυψη των ενεργειακών αναγκών πλωτής πλατφόρμας - επιστημονικού εργαστηρίου", Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάς, 2019 Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.26233/heallink.tuc.83451>
6. Acur, Sezen Allen Ndumnu, Nyimbi Elbess, Abouelfadel Mohammed Abouelfadel Gersdorf, Daniel Simon Gugg, Paul Daniel, Floating PV Technology and its Possible Applications, THKöln (University of Applied Sciences) ITT- Institute for

Technology and Resources Management in the Tropics and Subtropics, Διαθέσιμο στο: [Floating-PV-Technology-and-its-Possible-Applications.pdf](#)

7. Aicha Djalab, Zohra Djalab, Aboubakr El Hammoumi, Giuseppe Marco TINA, Saad Motahhir, Abdelkader Azzeddine Laouid, (2024) A comprehensive Review of Floating Photovoltaic Systems: Tech Advances, Marine Environmental Influences on Offshore PV Systems, and Economic Feasibility Analysis, *Solar Energy*, 15 July 2024. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112711>
8. Aitor Vega-Valladares, Gregorio Iglesias, Bruno Pereiras, Floating Solar Photovoltaic Energy for a Port: A Novel Application, *International Journal of Energy Research*, 09 June 2025. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1155/er/8732912>
9. Aritra Ghosh, (2023) A comprehensive review of water-based PV: Flotovoltaics, under water, offshore & canal top, *Ocean Engineering*, 1 August 2023. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115044>
10. Bosboom, J. and Stive, M. J. F., (2023), Coastal Dynamics, Delft University of Technology
11. Carlos D Rodríguez-Gallegos, Oktoviano Gandhi, Huixuan Sun, Céline Paton, Ji Zhang, Jaffar Moideen Yacob Ali, Manuel S Alvarez-Alvarado, Wenjie Zhang, César A Rodríguez-Gallegos, Lloyd H C Chua and Thomas Reindl, (2024) Global floating PV status and potential, *Progress in Energy*, 25 November 2024. Διαθέσιμο στο: DOI 10.1088/2516-1083/ad9074
12. Chatzipanagi, A.; Kakoulaki, G.; Szabó, S.; Jäger-Waldau, A. Overview and Perspective of Integrated Photovoltaics with a Focus on the European Union. *Appl. Sci.* 2024, 14, 10628. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.3390/app142210628>
13. Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). Where Sun Meets Water—Floating Solar Market Report. Διαθέσιμο στο: <http://www.seris.nus.edu.sg/doc/publications/ESMAP>
14. Engr. Hasnain Yousuf, Muhammad Quddamah Khokhar, Muhammad Aleem Zahid, Jaeun Kim, Youngkuk Kim, Eunchel Cho, Young Hyun Cho, Junsin Yi, Hide, (2020) A Review on Floating Photovoltaic Technology (FPVT), Article in Current Photovoltaic Research, Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.21218/CPR.2020.8.3.067>
15. Hamid Pouran , Mariana Padilha Campos Lopes , Hesam Ziar , David Alves Castelo Branco , Yong Sheng, (2022) Evaluating floating photovoltaics (FPVs) potential in providing clean energy and supporting agricultural growth in Vietnam, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112925>

16. Hani Attar , Ali Alahmer , Gabriel Borowski , Sameh Alsaqoor, (2025) Comprehensive review of advancements, challenges, design, and environmental impact in floating photovoltaic systems, *Ecological Engineering & Environmental Technology*. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.12912/27197050/199520>
17. Hao, R., Sun, X., Zhao, Y., Zhang, R., Li, H., & Shang, J. (2024). Advancing floating photovoltaic systems: trends, challenges, and future directions in sustainable energy development. *International Journal of Green Energy*, 22(4), 688–709. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1080/15435075.2024.2423264>
18. HARALD E. KROGSTAD, ØIVIND A. ARNTSEN, (2000) NORWEGIAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, TRONDHEIM NORWAY
Διαθέσιμο στο: [Linear Wave Theory, https://oivarn.folk.ntnu.no/hercules_ntnu/LWTcourse/lwt_new_2000_Part_A.pdf](https://oivarn.folk.ntnu.no/hercules_ntnu/LWTcourse/lwt_new_2000_Part_A.pdf)
19. Holthuijsen L.H., (2007), *Waves in Oceanic and Coastal Waters*, Cambridge University Press
20. J. Dhilipan, N. Vijayalakshmi, D.B. Shanmugam, R. Jai Ganesh, S. Kodeeswaran, S. Muralidharan, (2022) Performance and efficiency of different types of solar cell material – A review, *International Conference on Thermal Analysis and Energy Systems 2021 materials today: PROCEEDINGS*, Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.132>
21. Kamphuis J.W., (2000), *Introduction to Coastal Engineering and Management*, World Scientific Publishing
22. Kim Trapani, Dean L. Millar, (2014) The thin film flexible floating PV (T3F-PV) array: The concept and development of the prototype, *Renewable Energy*, November 2014. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.007>
23. L. Liu, Q. Wang, H. Lin, H. Li, Q. Sun, R. Wennersten, Power generation efficiency and prospects of floating photovoltaic systems, *Energy Procedia*, (2017), Διαθέσιμο στο : <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.483>
24. Laura Essak, Aritra Ghosh, (2022) Floating Photovoltaics: A Review, College of Engineering, Mathematical and Physical Sciences, Renewable Energy, University of Exeter, Penryn TR10 9FE, UK, Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.3390/cleantech4030046>
25. Leonardo Micheli, Diego L. Talavera, Giuseppe Marco Tina, Florencia Almonacid, Eduardo F. Fernández, (2022) Techno-economic potential and perspectives of floating photovoltaics in Europe, *Solar Energy*, 1 September 2022. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.07.042>
26. Manish Kumar, Humaid Mohammed Niyaz, Rajesh Gupta, (2021) Challenges and opportunities towards the development of floating photovoltaic systems, *Solar*

27. Mohit Acharya and Sarvesh Devraj (2019), Floating Solar Photovoltaic (FSPV): A Third Pillar to Solar PV Sector ? , TERI Discussion Paper: Output of the ETC India Project (New Delhi: The Energy and Resources Institute). Διαθέσιμο στο: [floating-solar-PV-report.pdf](https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.111408)
28. Mohsin Ali Koondhar , Lutfi Albasha , Ibrahim Mahariq , Besma Bechir Graba, Ezzeddine Touti, (2014) Reviewing floating photovoltaic (FPV) technology for solar energy generation, *Energy Strategy Reviews*, Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101449>
29. Mustafa Kemal Kaymak, Ahmet Duran Şahin, (2021) Problems encountered with floating photovoltaic systems under real conditions: A new FPV concept and novel solutions, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, October 2021. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101504>
30. Parisa Ranjbaran, Hossein Yousefi , G.B. Gharehpetian , Fatemeh Razi Astaraei , (2019), A review on floating photovoltaic (FPV) power generation units, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Διαθέσιμο στο : <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.015>
31. Pierce Mayville, Neha Vijay Patil , Joshua M. Pearce, (2020) Distributed manufacturing of after market flexible floating photovoltaic modules, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100830>
32. Pimentel Da Silva, G. D., & Branco, D. A. C. (2018). Is floating photovoltaic better than conventional photovoltaic? Assessing environmental impacts. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 36(5), 390–400. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1080/14615517.2018.1477498>
33. Prof. A.H. Techet, (2004) 13.012 Hydrodynamics for Ocean Engineers, Fall 2004, Διαθέσιμο στο: [Microsoft Word - reading8.doc](#)
34. R. Cazzaniga, M. Cicu, M. Rosa-Clot, P. Rosa-Clot, G.M. Tina, C. Ventura, (2018) Floating photovoltaic plants: Performance analysis and design solutions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, January 2018. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.269>
35. R. Claus, M. López, (2022) Key issues in the design of floating photovoltaic structures for the marine environment, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, August 2022, Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112502>

36. R. Claus, M. López, (2023) A methodology to assess the dynamic response and the structural performance of floating photovoltaic systems, *Solar Energy*, 15 September 2023, Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111826>
37. R. Nagananthini, R. Nagavinothini & P. Balamurugan, (2020) Floating Photovoltaic Thin Film Technology—A Review, *Intelligent Manufacturing and Energy Sustainability*, Διαθέσιμο στο: [Floating Photovoltaic Thin Film Technology—A Review | SpringerLink](#)
38. R. Guerrero-Lemus , R. Vega , Taehyeon Kim , Amy Kimm , L.E. Shephard, (2016) Bifacial solar photovoltaics – A technology review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.041>
39. Ramanan C.J., King Hann Lim, Jundika Candra Kurnia, Sukanta Roy, Bhaskor Jyoti Bora, Bhaskar Jyoti Medhi, (2024) Towards sustainable power generation: Recent advancements in floating photovoltaic technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, April 2024. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114322>
40. Reeve, D., Chadwick, A. and Fleming, C., (2018) Coastal engineering: processes, theory and design practice. Crc Press.
41. Rosa Puertas, Luisa Marti, (2022) Renewable energy production capacity and consumption in Europe, *Science of The Total Environment*, 20 December 2022. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158592>
42. Sara Oliveira-Pinto, Jasper Stokkermans, (2020) Assessment of the potential of different floating solar technologies – Overview and analysis of different case studies, *Energy Conversion and Management*, 1 May 2020. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112747>
43. Song, J.; Imani, H.; Yue, J.; Yang, S. Hydrodynamic Characteristics of Floating Photovoltaic Systems under Ocean Loads. *J. Mar. Sci. Eng.* **2023**, *11*, 1813. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.3390/jmse11091813>
44. Steven Benjamins, Benjamin Williamson, Suzannah-Lynn Billing, Zhiming Yuan, Maurizio Collu, Clive Fox, Laura Hobbs, Elizabeth A. Masden, Elizabeth J. Cottier-Cook, Ben Wilson, (2024) Potential environmental impacts of floating solar photovoltaic systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, July 2024. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114463>
45. V. Vidović, G. Krajačić, N. Matak, G. Stunjek, M. Mimica, (2023) Review of the potentials for implementation of floating solar panels on lakes and water reservoirs, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, May 2023. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113237>

46. Vo, T.T.E.; Ko, H.; Huh, J.; Park, N. Overview of Possibilities of Solar Floating Photovoltaic Systems in the OffShore Industry. *Energies* **2021**, *14*, 6988. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.3390/en14216988>
47. Wei Shi , Chaojun Yan , Zhengru Ren , Zhiming Yuan , Yingyi Liu , Siming Zheng , Xin Li , Xu Han, (2023) 'Review on the development of marine floating photovoltaic systems', *Ocean Engineering*, 15 October 2023. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115560>

Διαδικτυακές Πλατφόρμες

1. ΕΛΣΤΑΤ: [Στατιστικές - ELSTAT](#)
2. Ciel & Terre : [Our floating solar products](#), [Floating Solar by Ciel & Terre](#)
3. Copernicus Marine: [Copernicus Marine MyOcean Viewer](#)
4. CretaWeather.gr: [Γαύδος – Cretaweather.gr](#)
5. EMBER, (2020), Yearly Electricity Data, Διαθέσιμο στο: [Yearly Electricity Data | Ember](#)
6. EMODnet Map Viewer (European Commission): [EMODnet Map Viewer](#)
7. Energy plus : [\climatewebsite\WMO_Region_6_Europe\GRC_Greece](#)
8. Eurostat: [Additional data - Energy - Eurostat](#)
9. IRENA (International Renewable Energy Agency): [Energy and Jobs](#)
10. Oceans Of Energy: [North Sea 1 Offshore Solar Project - Oceans of Energy](#)
11. SUNGROW Floating PV: [SungrowFPV](#)

9. ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ & ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΕΛΣΤΑΤ: Ελληνική Στατιστική Αρχή

°C: Celsius Degree (Βαθμός Κελσίου)

AC: Alternating Current (Εναλλασσόμενο ρεύμα)

CO : Μονοξείδιο του άνθρακα

CO₂: Διοξείδιο του άνθρακα

FPV: Floating photovoltaic (Πλωτό φωτοβολταϊκό)

HDPE: high-density-polyethylene (Υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο)

kN: kilonewton

kWh: kilowatt per hour (Κιλοβατώρες)

kWp: kilowatt peak

MWp: megawatt peak

m: meters (μέτρα)

m²: squared meters (Τετραγωνικά μέτρα)

MWh: Megawatt per hour (Μεγαβατώρες)

N: Newton

PV: Photovoltaic (Φωτοβολταϊκό)

SAM: System Advisor Model

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Κλιματικά δεδομένα που αφορούν τη θερμοκρασία αέρα, βροχοπτώσεις και την ταχύτητα ανέμου στη νήσο Γαύδο για το έτος 2024 από την ιστοσελίδα Γαύδος – Cretaweather.gr.

ANNUAL CLIMATOLOGICAL SUMMARY

NAME: Gavdos Weather Station CITY: Gavdos STATE: Greece
 ELEV: 25 m LAT: 34° 48' 00" N LONG: 24° 06' 00" E

TEMPERATURE (°C), HEAT BASE 18.3, COOL BASE 18.3

YR	MO	MEAN MAX	MEAN MIN	MEAN	DEP. FROM NORM	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	HI	DATE	LOW	DATE	MAX >=32	MAX <=0	MIN <=0	MIN <=-18
24	1	17.4	13.1	15.2	0.0	98	2	20.2	5	7.2	30	0	0	0	0
24	2	18.0	13.3	15.7	0.0	76	0	19.6	27	9.4	1	0	0	0	0
24	3	19.6	13.9	16.6	0.0	60	7	23.9	29	11.6	4	0	0	0	0
24	4	23.0	16.6	19.6	0.0	11	49	26.9	15	13.7	20	0	0	0	0
24	5	24.7	18.4	21.4	0.0	3	99	30.5	18	12.7	10	0	0	0	0
24	6	32.7	23.7	27.8	0.0	0	283	37.4	14	19.2	1	20	0	0	0
24	7	33.5	25.8	29.4	0.0	0	343	36.2	9	22.6	7	23	0	0	0
24	8	33.4	26.2	29.6	0.0	0	341	36.0	7	24.2	3	25	0	0	0
24	9	29.8	24.1	26.6	0.0	0	248	34.7	6	21.3	17	4	0	0	0
24	10	25.8	20.6	23.0	0.0	0	146	28.7	13	17.9	27	0	0	0	0
24	11	21.7	17.0	19.3	0.0	17	44	25.4	14	13.0	24	0	0	0	0
24	12	18.6	13.8	16.2	0.0	71	6	21.2	10	9.7	25	0	0	0	0
		24.9	18.9	21.7	0.0	337	1570	37.4	JUN	7.2	JAN	72	0	0	0

PRECIPITATION (mm)

YR	MO	TOTAL	DEP. FROM NORM	MAX OBS. DAY	DATE	DAYS OF RAIN OVER	.2	2	20
24	1	80.6	0.0	27.8	1	11	8	1	
24	2	8.4	0.0	5.2	26	6	1	0	
24	3	9.0	0.0	6.4	5	5	2	0	
24	4	1.8	0.0	1.8	20	1	0	0	
24	5	44.0	0.0	43.0	10	3	1	1	
24	6	0.4	0.0	0.2	2	2	0	0	
24	7	0.0	0.0	0.0	1	0	0	0	
24	8	0.0	0.0	0.0	1	0	0	0	
24	9	22.0	0.0	22.0	18	1	1	1	
24	10	0.2	0.0	0.2	12	1	0	0	
24	11	53.8	0.0	20.8	20	5	4	1	
24	12	220.8	0.0	93.8	6	15	10	4	
		441.0	0.0	93.8	DEC	50	27	8	

WIND SPEED (km/hr)					
YR	MO	AVG.	HI	DATE	DOM DIR
24	1	13.0	74.0	22	NNE
24	2	10.3	59.5	11	WNW
24	3	9.5	69.2	1	W
24	4	9.9	74.0	9	WNW
24	5	8.2	61.2	10	WNW
24	6	6.3	70.8	29	WNW
24	7	7.5	54.7	15	WNW
24	8	7.1	66.0	11	WNW
24	9	8.2	48.3	22	WNW
24	10	9.1	61.2	31	NNE
24	11	12.4	85.3	23	NNE
24	12	9.5	64.4	23	W

		9.3	85.3	NOV	WNW