

**Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**  
**Σχολή Οικονομικών Επιστημών και Διοίκησης**

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Διοίκηση Επιχειρήσεων (MBA)**

**Μεταπτυχιακή Διατριβή**



**Πλωτά Φωτοβολταϊκά Πάρκα στην Ελλάδα και στην Κύπρο.**  
**Δυνατότητες, Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις, και Τεχνικοοικονομική Ανάλυση**

**Φώτιος Λυτόπουλος**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Γεώργιος Ξύδης**

**Μάιος 2022**

**Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**  
**Σχολή Οικονομικών Επιστημών και Διοίκησης**

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Διοίκηση Επιχειρήσεων (MBA)**

**Μεταπτυχιακή Διατριβή**

**Πλωτά Φωτοβολταϊκά Πάρκα στην Ελλάδα και στην Κύπρο.**

**Δυνατότητες, Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις, και Τεχνικοοικονομική Ανάλυση**

**Φώτιος Λυτόπουλος**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Γεώργιος Ξύδης**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών

στη Διοίκηση Επιχειρήσεων

από τη Σχολή Οικονομικών Επιστημών και Διοίκησης

του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Λέξεις:16.746

**Μάιος 2022**



## Περίληψη

Η ηλιακή ενέργεια θα διαδραματίσει σημαντικότερο ρόλο στο χαμηλού άνθρακα ενεργειακό σύστημα, όπου η μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και η αντιμετώπιση περιβαλλοντικών ζητημάτων αποτελούν προτεραιότητα. Ο τομέας της ενεργειακής τεχνολογίας εμφανίζει σημαντικές αλλαγές όπως έχει αποδειχθεί και με την ανάπτυξη των πλωτών φωτοβολταϊκών.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιείται ανάλυση των δυνατοτήτων ανάπτυξης φωτοβολταϊκών σε πλωτές πλατφόρμες. Παρουσιάζονται διάφορες χωροθετικές και σχεδιαστικές λύσεις με βάση τη διεθνή εμπειρία σε πλωτές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις (ΠΦΒ). Συγκεκριμένα, η διατριβή παρουσιάζει τα κύρια χαρακτηριστικά σχεδίασης και τις φωτοβολταϊκές απαιτήσεις ενός ΠΦΒ σε φυσικές και τεχνητές λίμνες, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, αναλύεται το κόστος εγκατάστασής τους σε σχέση με τα κλασσικά φ/β συστήματα.

Σκοπός της διατριβής είναι να γίνει εκτίμηση του θεωρητικού δυναμικού των ΠΦΒ σε Ελλάδα και Κύπρο και να καταλήξει σε μια θεωρητική χωροθέτηση με τη βοήθεια εργαλείων ΠΦΒ σε φυσικές και τεχνητές λίμνες των δύο χωρών.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι αναζήτηση στη διεθνή βιβλιογραφία του πώς αντιμετωπίζεται η τεχνολογία των ΠΦΒ σε άλλες χώρες, και ανάλυση των ήδη εγκατεστημένων έργων ως προς τον τρόπο και το σχεδιασμό της χωροθέτησης. Στη συνέχεια γίνεται προσπάθεια εφαρμογής αυτής της γνώσης στην Ελληνική και Κυπριακή περίπτωση, με βάση τις αντίστοιχες υποθέσεις και εκτιμήσεις της βιβλιογραφίας.

Συμπερασματικά προκύπτει ότι τα ΠΦΒ μπορούν να εφαρμοστούν στις Ελληνικές λίμνες, καθώς υπάρχει ένα ικανοποιητικό θεωρητικό δυναμικό ανάπτυξής τους, με συντηρητικά ποσοστά κάλυψης των υδάτινων σωμάτων, ώστε να μη διαταράζονται οι τοπικές κοινωνίες και οι φυσικοί και τεχνητοί βιότοποι. Τα οφέλη από τα αέρια του θερμοκηπίου, των οποίων η έκλυση αποτρέπεται, καθώς και από την εξοικονόμηση των δικαιωμάτων εκπομπής τους, είναι αξιόλογα, ενώ αυτά πολλαπλασιάζονται αν συνυπολογιστούν οφέλη από την εξοικονόμηση των παραγωγικών εκτάσεων εγκατάστασης φ/β καθώς και την εξάτμιση του νερού. Όσον αφορά στην Κύπρο ως νησιωτική και πιο ξηρή χώρα, δε διαθέτει λίμνες που να μπορούν να

φιλοξενήσουν αξιόλογες εγκαταστάσεις. Παρ' όλα αυτά στο μέλλον η ανάπτυξη της ΠΦΒ τεχνολογίας σε θαλάσσιες παράκτιες ή/και υπεράκτιες επιφάνειες, θα πρέπει να συμμετέχουν δυναμικά στο ενεργειακό μίγμα της Κύπρου, η οποία ακόμα δεν έχει εκμεταλλευτεί το τεράστιο ηλιακό δυναμικό που διαθέτει.

## Summary

Solar energy will play a very crucial role in the low carbon energy system, where reducing the dependence on fossil fuels and addressing environmental issues are a priority. The field of energy technology is showing significant changes, presenting new technologies such as the development of the floating photovoltaics.

In this master dissertation, an analysis of the photovoltaic development possibilities on floating platforms is carried out. Various spatial and design solutions based on international experience in floating photovoltaic installations (FPV) are presented. Specifically, the dissertation presents the main design features and photovoltaic requirements of FPVs in natural and man-made lakes, in order to generate electricity. Also, the installation cost, comparing with the classic PV systems is analyzed.

The dissertation's goal is to assess the theoretical potential of FPV in Greece and Cyprus and to show a theoretical installation, using FPV tools in natural and man-made reservoirs of the two countries.

The methodology followed, is a search in the international literature of how the FPV technology is implemented in other countries, and an analysis of the existed projects in terms of the way and the planning of the location. Then was tried to use this knowledge in the Greek and Cypriot case, based on the respective hypotheses and assessments of the literature.

In conclusion, FPV technology can be deployed in Greek lakes, as there is a satisfactory theoretical potential for their development, with conservative coverage of water bodies, so as not to disrupt local society and natural and artificial habitats. The benefits of greenhouse gases which are prevented from being released, as well as the savings of their emission rights are significant, while they are multiplied if benefits are taken into account of the savings of the productive PV installation areas as well as the evaporation of water. Cyprus island as a drier country, it does not have lakes that can accommodate remarkable FPV installations. Nevertheless, in the future, the development of FPV technology in nearshore and/or offshore surfaces, should actively participate in the energy mix of Cyprus, which has not yet taken advantage of its huge solar potential.

# Περιεχόμενα

<b>1.</b>	<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>1</b>
1.1.	Παγκόσμιο Ενεργειακό Μίγμα.....	1
1.2.	Η Κλιματική ουδετερότητα της ΕΕ. Οι στόχοι για το 2050.....	3
1.2.1.	Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) για την Ελλάδα.....	4
1.2.2.	Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) για την Κύπρο.....	6
1.3.	ΑΠΕ – Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	7
1.3.1.	Εγκατεστημένη Ισχύς Φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα.....	8
1.3.2.	Εγκατεστημένη Ισχύς Φωτοβολταϊκών στην Κύπρο.....	10
1.4.	Πλωτά Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	10
<b>2.</b>	<b>Πλωτά Φωτοβολταϊκά.....</b>	<b>13</b>
2.1.	Ανάπτυξη ΠΦΒ – Γεωγραφική κατανομή.....	13
2.2.	Σύγκριση ΠΦΒ με συμβατικά χερσαία φ/β.....	14
2.3.	Δομική κατασκευή ΠΦΒ.....	17
2.3.1.	Offshore ΠΦΒ.....	19
2.3.2.	ΠΦΒ δύο όψεων –Bifacial.....	19
2.3.3.	Tracking ΠΦΒ συστήματα.....	20
2.3.4.	Υλικά Πλωτής κατασκευής – πλατφόρμας.....	20
2.3.5.	Σχεδιασμός Πλωτής κατασκευής – πλατφόρμας.....	22
2.4.	Υβριδικά ΠΦΒ με Υ/Η.....	23
2.5.	Περιβαλλοντικές επιδράσεις.....	26
2.5.1.	Διαχείριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ΠΦΒ.....	26
2.5.1.1.	Οπτικές επιδράσεις στο τοπίο.....	27
2.5.1.2.	Ποιότητα του νερού.....	27
2.5.1.3.	Βιοποικιλότητα.....	29
2.6.	Οικονομική αξιολόγηση.....	30
2.6.1.	Κεφαλαιουχικές δαπάνες.....	30
2.6.2.	Οικονομικά οφέλη και προνόμια.....	33
2.6.3.	Λειτουργία και Συντήρηση.....	34
2.6.4.	Οικονομικοί Δείκτες.....	35
2.6.5.	Ανάλυση Ευαισθησίας.....	39
2.6.6.	Κυβερνητική Πολιτική Επιδότησης.....	39
<b>3.</b>	<b>Μεθοδολογία – Παραδοχές.....</b>	<b>41</b>
3.1.	Αξιολόγηση υδάτινου συστήματος.....	41
3.1.1.	Κριτήρια επιλογής υδάτινου συστήματος.....	42
3.1.2.	Χωρικά Δεδομένα Λιμνών στην Ελλάδα.....	43
3.1.3.	Χωρικά Δεδομένα Λιμνών στην Κύπρο.....	44
3.2.	Γεωχωρική προσέγγιση για την εκτίμηση του τεχνικού δυναμικού της ΠΦΒ στο υδάτινο σύστημα.....	45
3.3.	Εκτίμηση του ηλιακού δυναμικού στις περιοχές εγκατάστασης ΠΦΒ.....	46
3.4.	Οφέλη από τις ΠΦΒ εγκαταστάσεις (Περιβαλλοντικά – Οικονομικά).....	49
<b>4</b>	<b>Υπολογισμός του δυνητικού ΠΦΒ δυναμικού σε Ελλάδα και Κύπρο.....</b>	<b>50</b>
4.1.	Διαθεσιμότητα υδάτινων σωμάτων στην Ελλάδα.....	50
4.1.1.	Χωροθέτηση ΠΦΒ στη λίμνη των Κρεμαστών.....	51

4.1.2.	Δυνητικό δυναμικό ΠΦΒ στην Ελλάδα (MW - GWh)/έτος.....	53
4.1.3.	Περιβαλλοντικά οφέλη.....	57
4.1.4.	Οικονομικά οφέλη.....	58
4.2.	Διαθεσιμότητα υδάτινων σωμάτων στην Κύπρο.....	59
4.2.1.	Χωροθέτηση ΠΦΒ στη λίμνη Κούρη.....	62
<b>5</b>	<b>Επίλογος – Συμπεράσματα.....</b>	<b>64</b>
<b>Παραρτήματα</b>		
<b>A .</b>	<b>Λίμνες της Ελλάδας.....</b>	<b>67</b>
<b>B.</b>	<b>Εκπομπές Ρύπων.....</b>	<b>70</b>
B.1.	Καθαρή Παραγωγή Ενέργειας από ορυκτά καύσιμα το 2020.....	70
B.2.	Μέσος συντελεστής εκπομπής CO2 το 2020.....	71
B.3.	Μέσος συντελεστής εκπομπής ρύπων (SOx, NOx, PM) το 2020.....	71
<b>Γ.</b>	<b>Πίνακες Περιεχομένων.....</b>	<b>73</b>
Γ.1.	Πίνακας Περιεχομένων Πινάκων.....	73
Γ.2.	Πίνακας Περιεχομένων Χαρτών.....	73
Γ.3.	Πίνακας Περιεχομένων Διαγραμμάτων.....	74
Γ.4.	Πίνακας Περιεχομένων Σχημάτων.....	74
	<b>Βιβλιογραφικές Αναφορές.....</b>	<b>75</b>



## Συντομογραφίες

### Ξενόγλωσσες

HAEE	Hellenic Association for Energy Economics (Ελληνική Εταιρεία Ενεργειακής Οικονομίας)
IEA	International Energy Agency (Διεθνής Οργάνωση Ενέργειας)
IRENA	International Renewable Agency (Διεθνής Οργανισμός ΑΠΕ)
IRR	Internal Rate of Return (Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης)
LCoE	Levelized Cost of Electricity (Σταθμισμένο Κόστος Ενέργειας)
NPV	Net Present Value (Καθαρή Παρούσα Αξία)
NREL	National Renewable Energy Laboratory of USA (Εθνικό Εργαστήριο ΑΠΕ των ΗΠΑ)
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
SERIS	Solar Energy Research Institute of Singapore (Ινστιτούτο Έρευνας Ηλιακής Ενέργειας της Σιγκαπούρης)
WACC	Weighted Average Cost of Capital (Μέσο σταθμικό κόστος κεφαλαίου)

### Ελληνόγλωσσες

ΑΔΜΗΕ	Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΑτΘ	Αέρια του Θερμοκηπίου
ΔΕΔΔΗΕ	Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Επιτροπή
ΕΖΔ	Ειδικές Ζώνες Διατήρησης (Special Areas of Conservation - SAC)
ΕΖΠ	Ειδικές Ζώνες Προστασίας (Special Protection Areas - SPA)
ΕΣΕΚ	Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα
ΠΦΒ	Πλωτά Φωτοβολταϊκά
ΡΑΕ	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
ΣΕΔΕ	Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών
ΣΕΦ	Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών
ΣΠΕΦ	Σύνδεσμος Παραγωγών Ενέργειας με Φωτοβολταϊκά
Υ/Η	Υδροηλεκτρικό/ή
ΥΠΕΝ	Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας
φ/β	φωτοβολταϊκά

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Εισαγωγή

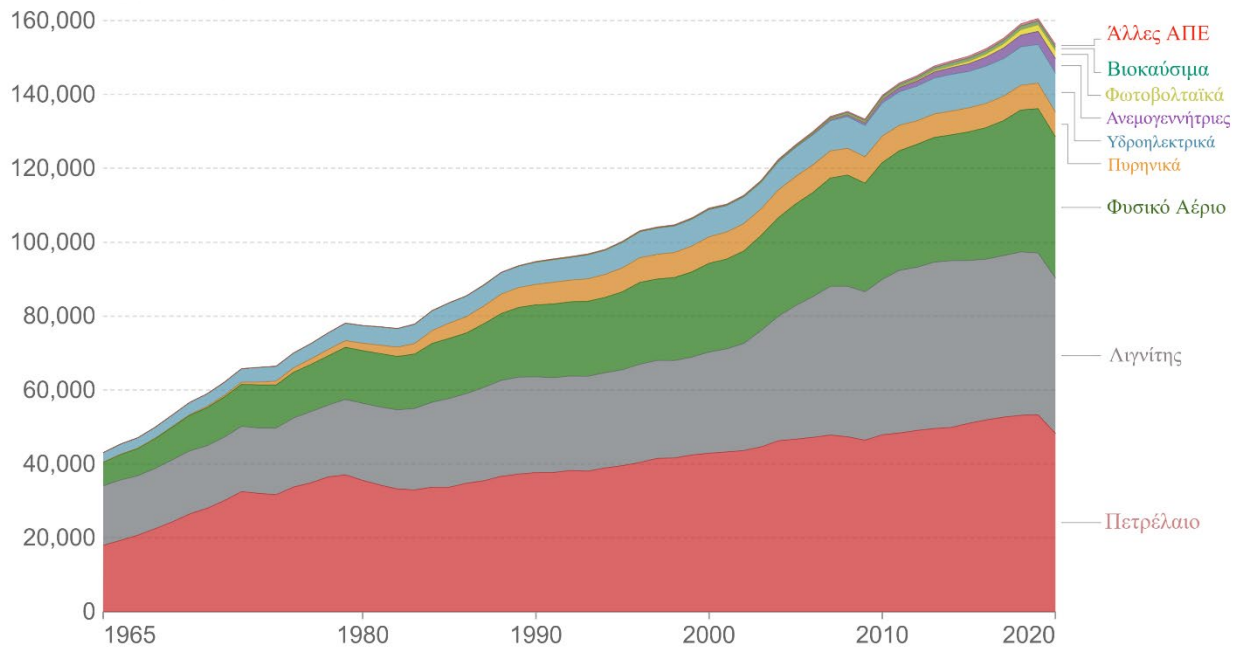
Ο κόσμος αντιμετωπίζει δύο ενεργειακά προβλήματα: α) το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής παραγωγής εξακολουθεί να παράγει εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και β) εκατοντάδες εκατομμύρια άνθρωποι δεν έχουν εξ ολοκλήρου πρόσβαση στην ενέργεια, με τρομερές συνέπειες για τον εαυτό τους και το περιβάλλον. Παρ' όλα αυτά το ενεργειακό πρόβλημα που απασχολεί με μεγαλύτερο ενδιαφέρον, είναι η σύνδεση μεταξύ της ενεργειακής πρόσβασης και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

### 1.1. Παγκόσμιο Ενεργειακό Μείγμα

Η παραγωγή ενέργειας – κυρίως η καύση ορυκτών καυσίμων – ευθύνεται για το 75% περίπου των παγκόσμιων εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, αποτελώντας τον μεγαλύτερο μοχλό της κλιματικής αλλαγής και έχοντας ταυτόχρονα μεγάλο κόστος στην ανθρώπινη υγεία, εξαιτίας των συνεπειών της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ως εκ τούτου, ο κόσμος πρέπει να απομακρύνει τα ορυκτά καύσιμα, σε ένα ενεργειακό μείγμα που θα κυριαρχείται από άλλες πηγές ενέργειας, χαμηλών εκπομπών άνθρακα όπως είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η πυρηνική ενέργεια. Πρέπει να «απανθρακοποιηθούμε» (Ritchie & Roser, 2020).

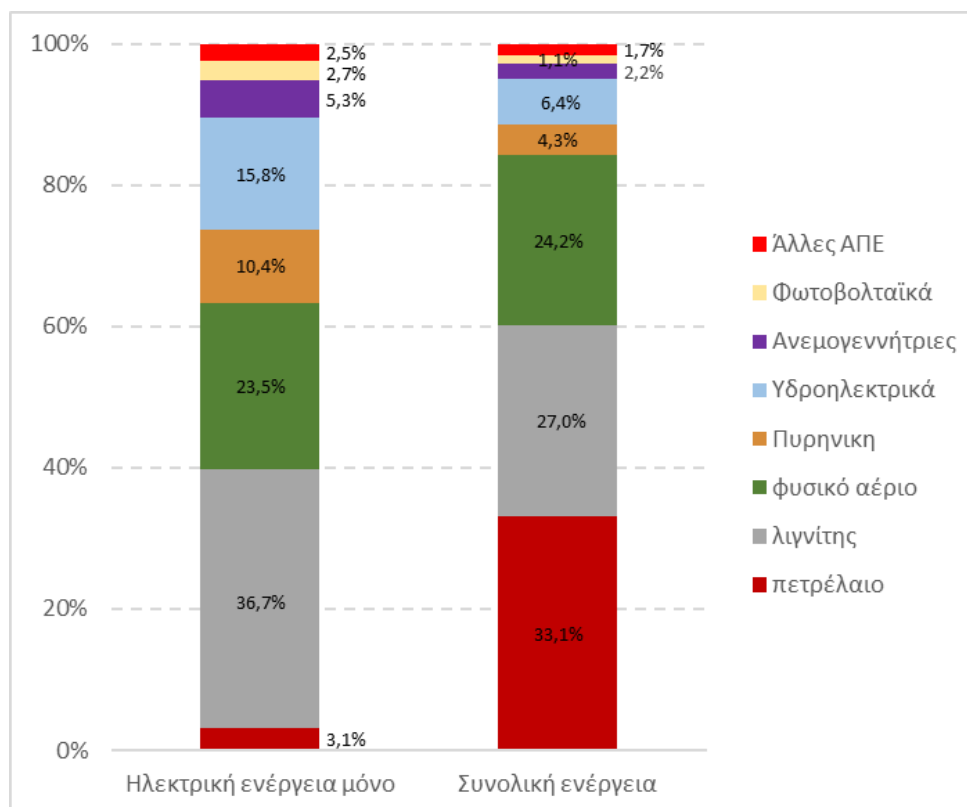
Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 1, ο ρυθμός των ενεργειακών απαιτήσεων παγκοσμίως είναι διαρκής και σταθερός, εξαιρώντας το 2020 όπου όλες οι οικονομικές δραστηριότητες του πλανήτη επιβράδυναν λόγω της πανδημίας Covid-19. Επιπλέον είναι προφανές ότι η μεγαλύτερη ενεργειακή παραγωγή προέρχεται από το πετρέλαιο, ακολουθούμενο από το λιγνίτη, το φυσικό αέριο και μετά την

υδροηλεκτρική ενέργεια. Το παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα εξακολουθεί να κυριαρχείται από ορυκτά καύσιμα, τα οποία αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 80% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας.



**Διάγραμμα 1.** Παγκόσμια Ενεργειακή Κατανάλωση (TWh). Κατανομή ανά πηγή παραγωγής. Πηγή: *Our World in Data. Energy mix: what sources do we get our energy from?*

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένας μόνο από τους τρεις τομείς που συνθέτουν τη συνολική παραγωγή ενέργειας. Οι άλλοι δύο είναι οι μεταφορές και η θέρμανση. Η κατανομή των πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (άνθρακα, πετρελαίου, φυσικού αερίου, πυρηνικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας) είναι διαφορετική έναντι του συνολικού ενεργειακού μείγματος. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Our World in Data (Ritchie & Roser, 2020) που παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 2, παρατηρείται ότι οι πηγές χαμηλών εκπομπών άνθρακα (πυρηνικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) αντιπροσωπεύουν μεγαλύτερο μερίδιο στο μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας ( $10,4+15,8+5,3+2,7+2,5=36,7\%$ ), από ότι στο συνολικό ενεργειακό μείγμα ( $4,3+6,4+2,2+1,1+1,7=15,7\%$ ). Συνεπώς η απαλλαγή από την καύση του άνθρακα για την ηλεκτροπαραγωγή, αποτελεί μόνο ένα βήμα προς το ενεργειακό σύστημα χαμηλών εκπομπών άνθρακα.



**Διάγραμμα 2.** Παγκόσμια ποσοστιαία κατανομή Ηλεκτροπαραγωγής, συγκριτικά με το συνολικό Ενεργειακό Μίγμα, ανά πηγή παραγωγής ενέργειας. Πηγή: *Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy (2020)*.

## 1.2. Η Κλιματική ουδετερότητα της ΕΕ. Οι στόχοι για το 2050

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής με ακραία καιρικά φαινόμενα όπως καύσωνες, ισχυρά ψύχη, ξηρασίες και πλημμύρες, έχουν αυξηθεί σε όλες τις κοινωνίες παγκόσμια. Η μετάβαση σε μια κλιματικά ουδέτερη κοινωνία είναι ταυτόχρονα μια επείγουσα πρόκληση και μια ευκαιρία για το μέλλον όλων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση στοχεύει να είναι κλιματικά ουδέτερη έως το 2050 – μια οικονομία με καθαρές μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Αυτός ο στόχος ευθυγραμμίζεται και με τη δέσμευση της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την παγκόσμια δράση για το κλίμα, στο πλαίσιο της Συμφωνίας του Παρισιού.

Στο Παρίσι, το Δεκέμβριο του 2015, η Ευρωπαϊκή Ένωση δεσμεύθηκε να περιορίσει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε χαμηλά επίπεδα, ώστε να διατηρηθεί η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κάτω από τους 2°C. Για την επίτευξη του στόχου αυτού η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει επίσημα υιοθετήσει στόχο μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 80% έως το 2050 συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990. Από την άλλη πλευρά, η συμφωνία του Παρισιού αναφέρει ρητά ότι πρέπει να καταβληθούν οι βέλτιστες προσπάθειες για τον περιορισμό της αύξησης της παγκόσμιας

θερμοκρασίας σε 1,5°C, αναγνωρίζοντας ότι αυτό θα μειώσει σημαντικά τους κινδύνους και τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η επίτευξη αυτού του στόχου περιλαμβάνει σενάρια που στοχεύουν στη μείωση των εκπομπών το 2050 κατά 95% από τα επίπεδα του 1990 και περισσότερο.

Στο παραπάνω πλαίσιο τα κράτη μέλη της ΕΕ καλούνται να αναπτύξουν εθνικές μακροπρόθεσμες στρατηγικές (ΕΣΕΚ), σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζουν να επιτύχουν τις μειώσεις των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, έχοντας ως σημείο αναφοράς το έτος 2030.

Οι στόχοι για το κλίμα και την ενέργεια στο σύνολο της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέχρι το 2030 περιλαμβάνουν (ΥΠΕΝ - Μακροπρόθεσμη στρατηγική για το 2050:7):

- μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 40-45% κάτω από τα επίπεδα του 1990,
- βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 32,5% και
- 32% μερίδιο συμμετοχής των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας

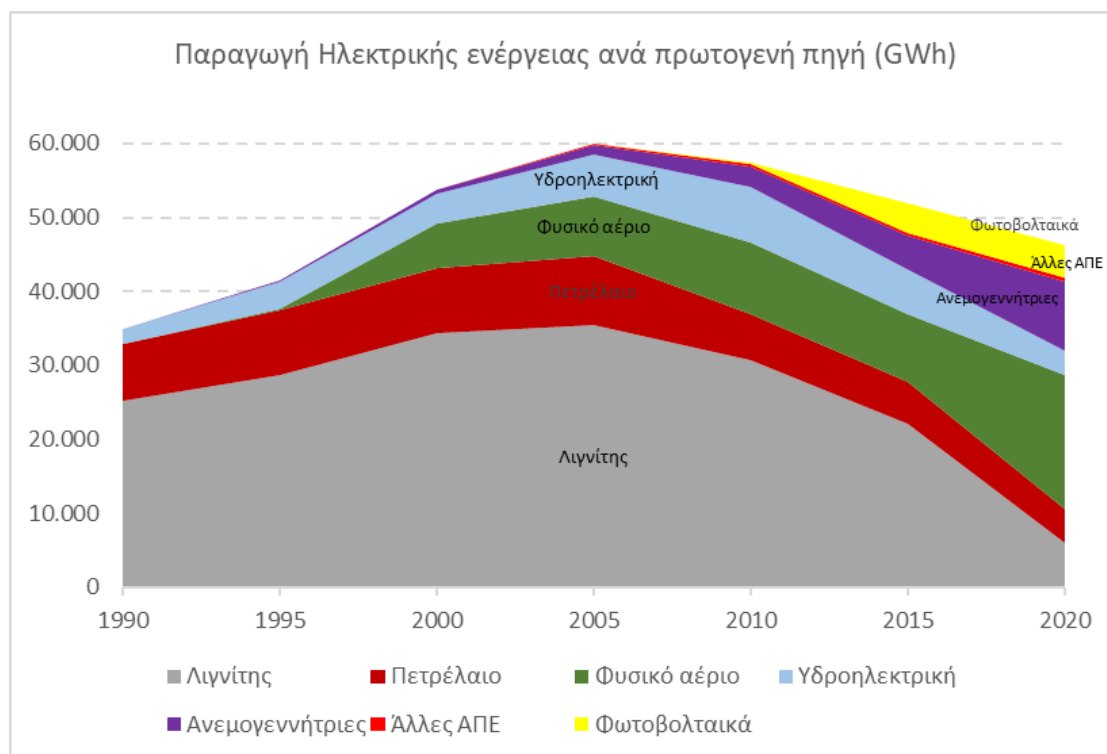
### 1.2.1. Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) για την Ελλάδα

Οι ενεργειακές ανάγκες της Ελλάδας σε ηλεκτρισμό τα τελευταία 30 χρόνια, απεικονίζονται στο Διάγραμμα 3, σύμφωνα με τη Διεθνή Οργάνωση Ενέργειας (IEA), και κυμαίνονται περί τις 50.000GWh/έτος, ενώ για το έτος 2020, η κατανομή της παραγωγής ανά πηγή πρωτογενούς ενέργειας, παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 1.

Πηγή παραγωγής	GWh	μερίδιο %
Λιγνίτης	5.978	12,9%
Πετρέλαιο	4.606	9,9%
Φυσικό αέριο	18.041	39,0%
Υδροηλεκτρικά	3.445	7,4%
Ανεμογεννήτριες	9.321	20,1%
Βιοκάσσιμα	331	0,7%
Απορρίμματα	230	0,5%
Ηλιακά φωτοβολταϊκά	4.358	9,4%
<b>Σύνολο για το 2020</b>	<b>46.310</b>	

Πίνακας 1. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα για το έτος 2020. Πηγή: IEA

Το ΕΣΕΚ, στο σύνολό του, καθορίζει σημαντικά πιο φιλόδοξους εθνικούς ενεργειακούς και κλιματικούς στόχους έως το έτος 2030, τόσο σε σχέση με το αρχικό σχέδιο ΕΣΕΚ που είχε παρουσιαστεί τον Ιανουάριο του 2019, όσο και με τους κεντρικούς Ευρωπαϊκούς στόχους που έχουν τεθεί στο πλαίσιο της Ενεργειακής Ένωσης.



**Διάγραμμα 3.** Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα για το έτος 2020. Πηγή: IEA

Ειδικότερα, το ΕΣΕΚ θέτει για το έτος 2030 τους εξής στόχους (ΥΠΕΝ – ΕΣΕΚ 2019:4):

α) Μείωση των εκπεμπόμενων αερίων του θερμοκηπίου κατά 42% σε σχέση με τις εκπομπές του έτους 1990, από 103,1Mt CO<sub>2</sub> σε 59,8Mt CO<sub>2</sub> (ΥΠΕΝ – ΕΣΕΚ 2019, Διάγραμμα 2:49), επιτυγχάνοντας να ξεπεράσει ακόμη και τους κεντρικούς ευρωπαϊκούς στόχους.

β) για τις ΑΠΕ τίθεται στόχος για μερίδιο συμμετοχής κατ' ελάχιστον στο 35% (ΥΠΕΝ – ΕΣΕΚ 2019, Διάγραμμα:48)

γ) για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, τίθεται ως ποσοτικός στόχος η τελική κατανάλωση ενέργειας το έτος 2030 να είναι χαμηλότερη από αυτή που είχε καταγραφεί κατά το έτος 2017. Επιτυγχάνεται ποιοτικά μια βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στην τελική κατανάλωση ενέργειας κατά 38%, έναντι 32,5% του αντίστοιχου κεντρικού ευρωπαϊκού στόχου.

Εμβληματικό στόχο για το ΕΣΕΚ, αποτελεί το πρόγραμμα για τη δραστική και οριστική μείωση του μεριδίου λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή, την απολιγνιτοποίηση δηλαδή, με χρονικό πρόσημο για την πλήρη απένταξη του από το εγχώριο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το έτος 2028.

Η Ελληνική Κυβέρνηση για να επιτύχει τη μετάβαση στην εποχή της καθαρής - πράσινης ενέργειας, σκοπεύει να επενδύσει 6 δισ. € από τις επιδοτήσεις της ΕΕ (Εθνικό Σχέδιο Ανάκαμψης και Ανασυγκρότησης – Ελλάδα 2.0 2021:9) προς καθαρή ενέργεια, με το ποσό αυτό να συμπληρώνεται από 4,4 δισ. € ιδιωτικών επενδύσεων.

### 1.2.2. Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) για την Κύπρο

Οι ενεργειακές ανάγκες της Κύπρου σε ηλεκτρισμό τα τελευταία 30 χρόνια, απεικονίζονται στο Διάγραμμα 4, σύμφωνα με τη Διεθνή Οργάνωση Ενέργειας (IEA), και κυμαίνονται περί τις 5.000GWh/έτος, ενώ για το έτος 2020, η κατανομή της παραγωγής ανά πηγή πρωτογενούς ενέργειας, παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 2.

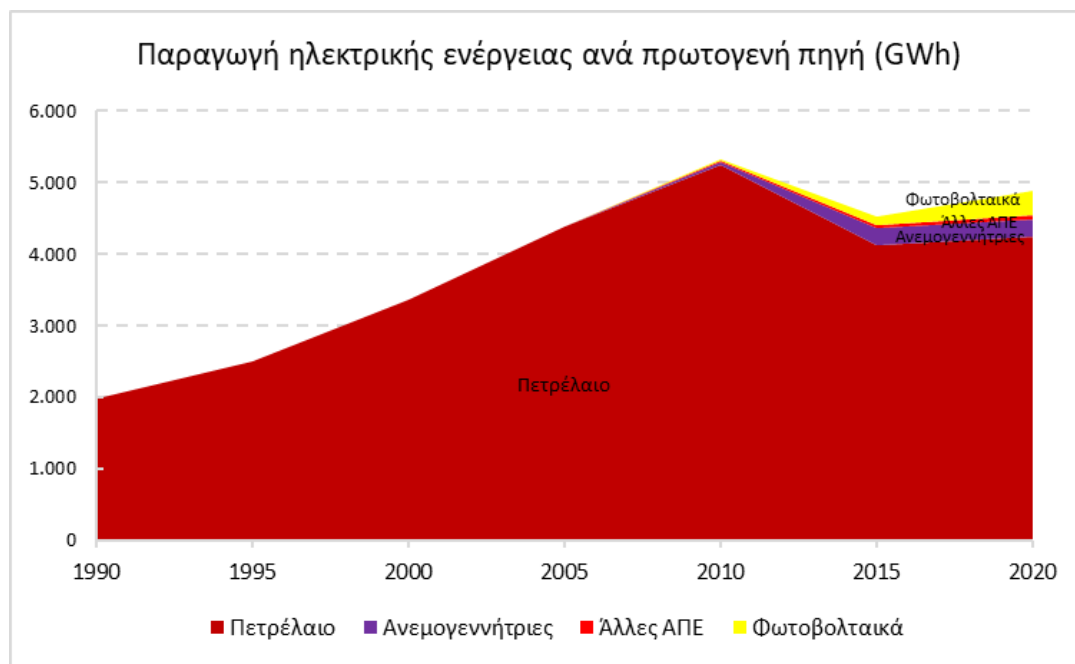
Πηγή παραγωγής	GWh	μερίδιο %
Πετρέλαιο	4.253	87,2%
Ανεμογεννήτριες	240	4,9%
Βιοκάσιμα	61	1,3%
Ηλιακά φωτοβολταϊκά	326	6,7%
<b>Σύνολο για το 2020</b>	<b>4.880</b>	

Πίνακας 2. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Κύπρο για το έτος 2020. Πηγή: IEA

Η Κυπριακή Κυβέρνηση έχει καθορίσει για το έτος 2030, τους εξής στόχους (ΕΣΕΚ Κύπρου 2020:55):

- α) Μείωση 24% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου εκτός ΣΕΔΕ συγκριτικά με το 2005.
- β) 23% διείσδυση ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας για το έτος 2030. Όσον αφορά τους τρεις ενδεικτικούς επιμέρους στόχους για την προώθηση ΑΠΕ: στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας καθορίστηκαν τουλάχιστον έως 26%, θέρμανση και ψύξη έως 39%, και μεταφορές έως 14%, μέχρι το 2030.
- γ) Εθνικοί ενδεικτικοί στόχοι που έχουν τεθεί για την ενεργειακή απόδοση: Τελική κατανάλωση ενέργειας 2,0 Mtoe το 2030 και κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας 2,4 Mtoe το 2030. Εθνικός υποχρεωτικός

στόχος για την επίτευξη σωρευτικής εξοικονόμησης ενέργειας στην τελική χρήση 243,04 ktoe κατά την περίοδο 2021-2030.



**Διάγραμμα 4.** Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Κύπρο για το έτος 2020. Πηγή: IEA

Το σχέδιο αναφέρει ότι η Κύπρος στοχεύει σε ένα επίπεδο διασύνδεσης της τάξης του 15 % για το 2030, το οποίο συμμορφώνεται με την επιδίωξη που έχει καθοριστεί σε επίπεδο ΕΕ. Το σχέδιο απαριθμεί υπό εξέλιξη έργα που διασφαλίζουν τη διασυνδεσιμότητα, καθώς, η Κύπρος αποτελεί ενεργειακή νησίδα χωρίς ικανότητα διασύνδεσης. Ένα βασικό έργο για τη βελτίωση της διασύνδεσης είναι ο διασυνδετήριος αγωγός «EurAsia Interconnector» που θα συνδέσει τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης, της Κύπρου και του Ισραήλ. Ο διασυνδετήριος αυτός αγωγός θα είναι έτοιμος προς λειτουργία έως το 2024. Θα υλοποιηθεί σε δύο φάσεις, εκ των οποίων η πρώτη θα αντιστοιχεί σε ικανότητα διασύνδεσης 1000MW και η δεύτερη σε 2000MW. Έως το 2030, ο διασυνδετήριος αγωγός θα εξυπηρετεί τη ζήτηση αιχμής της Κύπρου (1000MW) (ΕΕ Αξιολόγηση ΕΣΕΚ Κύπρου 2020:13).

### 1.3. ΑΠΕ – Φωτοβολταϊκά συστήματα

Ο ρόλος των Ανανεώσιμων – καθαρών Πηγών Ενέργειας και η σημαντικότητά τους στη μείωση των εκπομπών είναι αδιαμφισβήτητος, πέρα από κάθε διεθνή ή εθνική δέσμευση. Οι ΑΠΕ παρείχαν το 2014, το 23% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας. Με την ταχεία υιοθέτηση των πιο φιλόδοξων σχεδίων και πολιτικών που παρουσιάστηκαν παραπάνω, αυτό θα μπορούσε να φτάσει το 45% έως το 2030 όπως αναλύθηκε από τον Διεθνή Οργανισμό ΑΠΕ (IRENA, 2016:54).



Η επίτευξη τόσο υψηλών μεριδίων ενέργειας από ΑΠΕ παγκοσμίως θα απαιτήσει τη χρήση ενός ευρύτερου φάσματος τεχνολογιών, με βάση την υδροηλεκτρική ενέργεια, τη γεωθερμία, τη βιοενέργεια, την ηλιακή, την αιολική και την ωκεάνια ενέργεια. Η διαθεσιμότητα όλων αυτών των πόρων, εκτός από τη γεωθερμική ενέργεια, είναι «μεταβλητή» με διαφορετικούς βαθμούς και σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες – ετήσια, εποχιακή, μηνιαία, ημερήσια, ωριαία.

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά (φ/β) και η αιολική παραγωγή, αν και έχουν ιδιαίτερα έντονη μεταβλητότητα, εντούτοις αποτελούν τις πιο κρίσιμες τεχνολογίες ΑΠΕ λόγω της ταχείας τους ανάπτυξης η οποία οφείλεται στις σημαντικές βελτιώσεις στην ανταγωνιστικότητα απόδοσης και κόστους, και στα ανεξάντλητα αποθέματά τους (Planning for the renewable future, IRENA 2017:18).

Η ανάπτυξη ενός τομέα ΑΠΕ φέρνει τεράστιες ευκαιρίες για να τροφοδοτήσει την οικονομική ανάπτυξη, τη δημιουργία νέων ευκαιριών απασχόλησης και την ενίσχυση της ανθρώπινης υγείας και ευημερίας. Ανάλυση του Διεθνούς Οργανισμού ΑΠΕ (IRENA) έδειξε ότι μια επιταχυνόμενη ανάπτυξη ΑΠΕ και αποτελεσματικότητας της ενέργειας, όπως απαιτείται για την επίτευξη των στόχων που ορίζονται στη συμφωνία του Παρισιού, θα αύξανε το παγκόσμιο ΑΕΠ κατά 0,8% το 2050 και θα υποστήριζε περίπου 26 εκατ. θέσεις εργασίας στον παγκόσμιο τομέα των ΑΠΕ ως το 2050 (Renewable Energy Benefits, IRENA 2017:6).

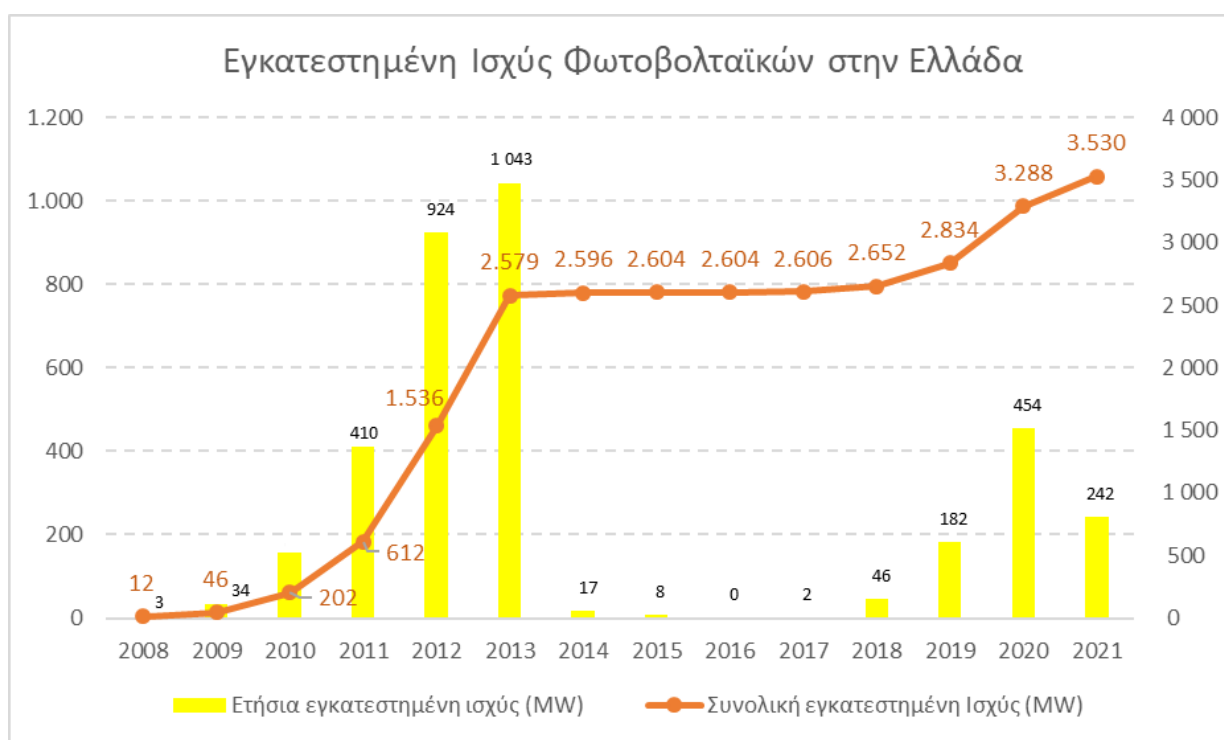
Η ανάπτυξη ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας αυξάνεται σταθερά για σχεδόν δύο δεκαετίες, από λιγότερο από 9GW εγκατεστημένης ισχύος το 2007 σε περισσότερο από 290GW το 2016 (Renewable Energy Benefits, IRENA 2017:8).

### **1.3.1. Εγκατεστημένη Ισχύς Φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα**

Η αγορά των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα είχε γνωρίσει εκρηκτική ανάπτυξη από το 2010 έως το 2013, όταν δόθηκαν υπερβολικά κίνητρα με υψηλότερες τιμές αποπληρωμής χωρίς περιορισμούς. Τελικά με το "κούρεμα" των τιμών η αγορά κατέρρευσε και ακολούθησε μια πενταετία πλήρους ακινησίας (2014-2018) (Φλουδόπουλος, 2019). Τα τελευταία χρόνια βλέπουμε ένα διαρκώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για επενδύσεις σε φωτοβολταϊκά και μία αναθέρμανση της αγοράς. Αυτό είναι απόρροια, μεταξύ άλλων, και του γεγονότος ότι το επενδυτικό κόστος των φωτοβολταϊκών έχει πέσει δραστικά σε σχέση με την προηγούμενη δεκαετία (πτώση που αγγίζει κατά μέσο όρο το 80%). Ταυτόχρονα, το θεσμικό καθεστώς αναπροσαρμόζεται συνεχώς για να αντανακλά τη νέα πραγματικότητα (ΣΕΦ – Πρακτικός Οδηγός 2021:2).

Η παραπάνω εικόνα της ελληνικής αγοράς φωτοβολταϊκών απεικονίζονται στο Διάγραμμα 5, σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία του IRENA σχετικά με την εγκατεστημένη ισχύ από ΑΠΕ στην Ελλάδα και ανέρχεται σε 3.530MW το 2021, ενώ σύμφωνα με τα Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών του ΣΕΦ (Μάιος 2022) η εγκατεστημένη ισχύς φ/β έκλεισε στα 4.126MW το 2021, τα οποία παρήγαγαν 5,26TWh και καλύψαν το 9,2% της ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας.

Σύμφωνα με μελέτη του ΣΠΕΦ (2022), τα τελευταία τρία χρόνια παρατηρείται σημαντική αύξηση του χρόνου έκδοσης προσφορών σύνδεσης από τον ΔΕΔΔΗΕ αλλά και ηλεκτρισής των σχετικών φωτοβολταϊκών επενδύσεων κατόπιν της υπογραφής της σύμβασης σύνδεσης. Για την απορρόφηση της αυξανόμενης παραγωγής ΑΠΕ, ο ΑΔΜΗΕ έχει εντάξει στο δεκαετές πρόγραμμα ανάπτυξης, επενδύσεις που θα δημιουργήσουν πρόσθετο «ηλεκτρικό χώρο», ενώ παράλληλα η διαδικασία σύνδεσης θα επιταχυνθεί με καλύτερη οργάνωση της διαδικασίας ώστε να «φιλτράρεται» έγκαιρα η επενδυτική αξιοπιστία των ενδιαφερομένων.

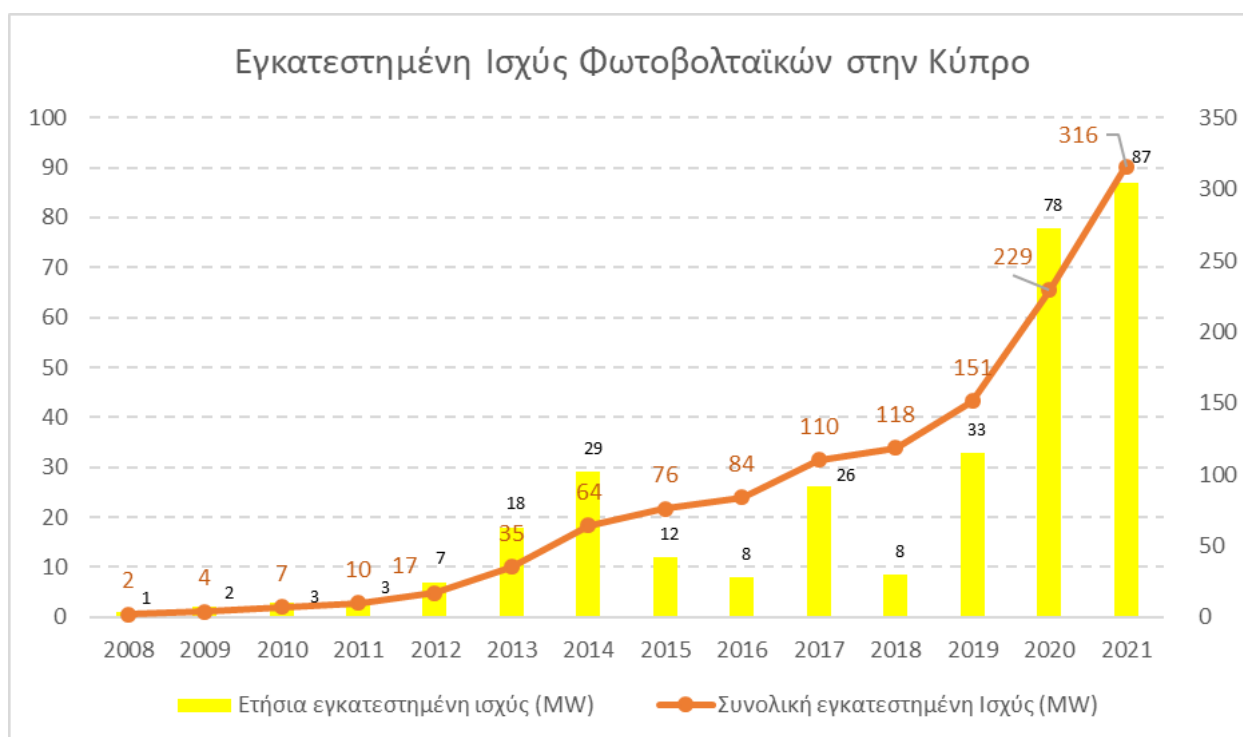


**Διάγραμμα 5.** Εγκατεστημένη Ισχύς Φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα. Πηγή δεδομένων: IRENA

Σύμφωνα με την Έκθεση για την Ελληνική αγορά Ενέργειας του 2021 από την ΗΑΕΕ (κεφάλαιο 2: σ.σ35,53), ο Απρίλιος του 2020 χαρακτηρίστηκε «Στιγμιότυπο από το Μέλλον», όταν επικράτησαν το φυσικό αέριο (κατά 45,94%) και οι ΑΠΕ (κατά 44,49%) στο μίγμα ηλεκτρικής ενέργειας.

### 1.3.2. Εγκατεστημένη Ισχύς Φωτοβολταϊκών στην Κύπρο

Η εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών στην Κύπρο διαχρονικά την τελευταία δεκαετία αποτυπώνεται στο Διάγραμμα 6, σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία του IRENA, και ανέρχεται σε 316MW το 2021. Όπως προκύπτει η ετήσια ανάπτυξή τους στην Κύπρο είναι πιο ομαλή, συγκριτικά με την Ελλάδα, παρουσιάζοντας ιδιαίτερη ανάπτυξη τα τελευταία 3 χρόνια. Το Υπουργείο Ενέργειας, Εμπορίου και Βιομηχανίας (ΥΕΕΒ) της Κύπρου πρόσφατα (Δεκ. 2021) ανακοίνωσε την έναρξη λειτουργίας του τροποποιημένου «Σχέδιου για Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από ΑΠΕ για ίδια κατανάλωση», ωστόσο δεν έχει εκπονηθεί κάποιο Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού των ΑΠΕ.

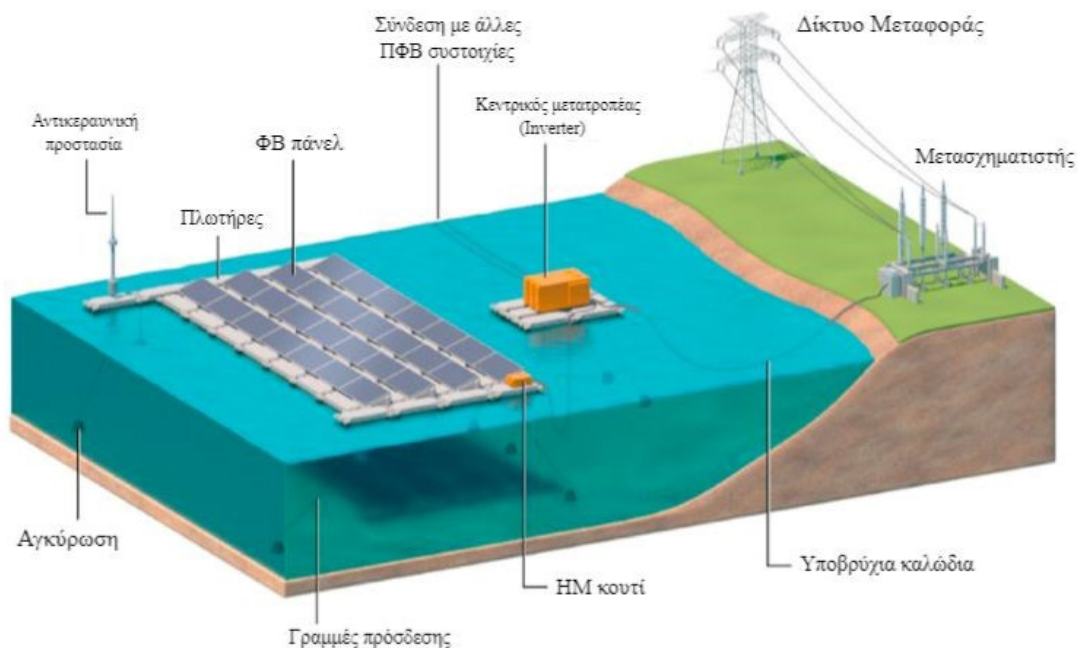


Διάγραμμα 6. Εγκατεστημένη Ισχύς Φωτοβολταϊκών στην Κύπρο. Πηγή δεδομένων: IRENA

### 1.4. Πλωτά Φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα συμβατικά φωτοβολταϊκά συστήματα τοποθετούνται πάνω στη γη, καταλαμβάνοντας εκτάσεις που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για καλλιέργεια, ή σε οροφές σπιτιών. Σε πολλές χώρες με πυκνοκατοικημένες αστικές ζώνες ή νησιωτικές περιοχές που οι διαθέσιμες εκτάσεις είναι δυσεύρετες αναζητούνται λύσεις μέσω νέων τεχνολογιών. Μια τέτοια λύση είναι η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών στην επιφάνεια υδάτινων σωμάτων, χωρίς να απαιτείται η κατάληψη χερσαίων εκτάσεων και μειώνοντας ταυτόχρονα την εξάτμιση του νερού.

Η γενική διάταξη της νέας αυτής τεχνολογίας ΠΦΒ συστημάτων είναι παρόμοια με αυτήν ενός χερσαίου φωτοβολταϊκού συστήματος, με τη διαφορά ότι τα φωτοβολταϊκά πάνελ και συνήθως τα inverter είναι τοποθετημένα πάνω σε πλωτή πλατφόρμα. Η πλωτή πλατφόρμα συγκρατείται στη θέση της μέσω ενός συστήματος αγκυρώσεων και πρόσδεσης. Ο συνολικός σχεδιασμός της πλωτής εγκατάστασης για να υποδεχτεί τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι κρίσιμος όσον αφορά στην αξιοπιστία του συστήματος και εξαρτάται από παράγοντες όπως το φορτίο ανέμου, ο τύπος πλωτήρα, το βάθος νερού και η μεταβλητότητα της στάθμης του (Σχήμα 1), ανεβάζοντας το συνολικό κόστος έναντι των χερσαίων εγκαταστάσεων.



**Σχήμα 1:** Σχηματική απεικόνιση ενός ΠΦΒ συστήματος μεγάλης κλίμακας.

Όπως είναι αναμενόμενο οι διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες, με αυξημένη υγρασία, αναμένεται να έχουν διαφορετική επίδραση στην απόδοση των πάνελ και την παραγωγή ενέργειας, αλλά και διαφορετικές επιπτώσεις στη συνολική υποβάθμισή τους (degradation) στο χρόνο ζωής τους.

Εκτός από τις τεχνικές πτυχές της νέας αυτής τεχνολογίας, πρόκληση αποτελούν θέματα αδειοδότησης και εμπορικής ανάπτυξής της. Τα θέματα αυτά πηγάζουν από την έλλειψη σαφήνειας σχετικά με την αδειοδότηση και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορεί να υπάρξουν στο υδάτινο σώμα, τις δυσκολίες στην επιλογή προμηθευτών, κατασκευαστών, το όφελος από τη συνύπαρξη με υδροηλεκτρικά έργα καθώς δεν υπάρχει σχετική εμπειρία.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή γίνεται προσπάθεια διερεύνησης όλων αυτών των παραγόντων στις κατασκευασμένες εγκαταστάσεις άλλων χωρών, προκειμένου να γίνει μια αρχική εκτίμηση για την εξέλιξη και τη βιωσιμότητα της τεχνολογίας αυτής στην Ελλάδα και την Κύπρο.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

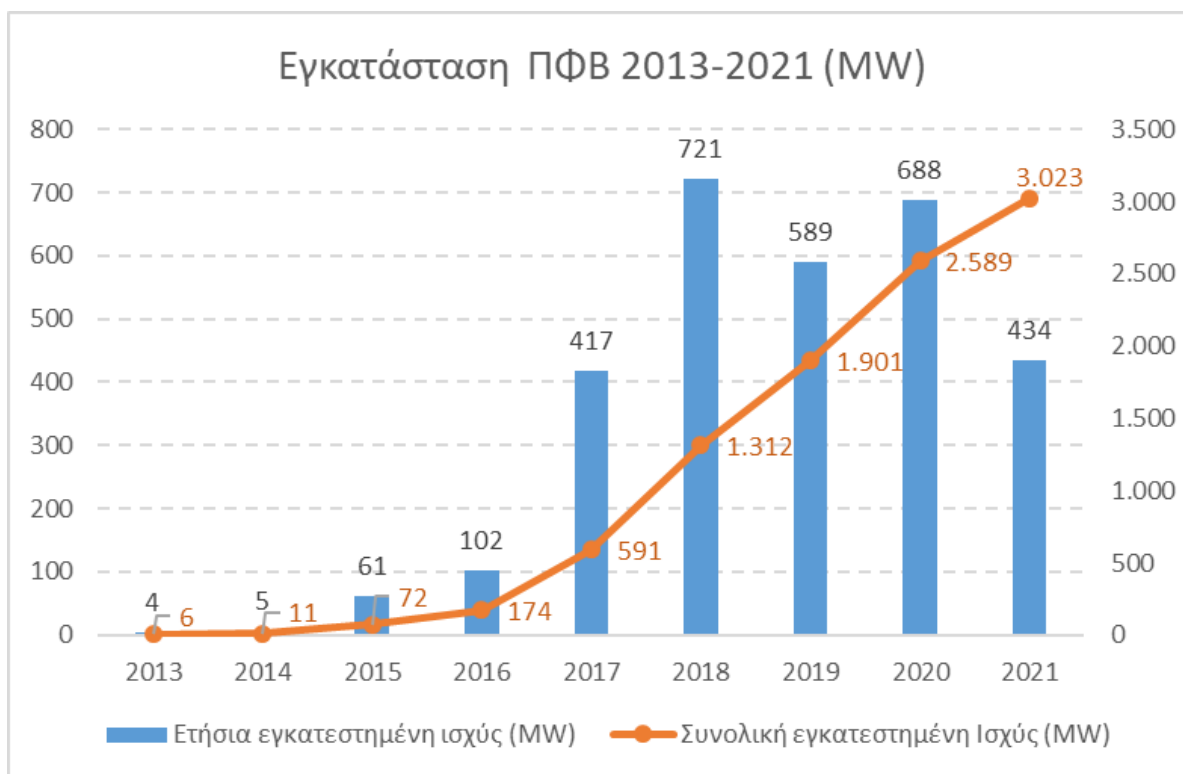
## ΠΛΩΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

Η πρώτη πλωτή φωτοβολταϊκή εγκατάσταση των 20KW κατασκευάστηκε το 2007 στην Ιαπωνία για να διερευνήσει την επίδραση της φυσικής «ψύξης» των πάνελ (cooling effect), λόγω της επίδρασης του υδάτινου περιβάλλοντος, στην ενεργειακή απόδοσή τους. Όπως αναμενόταν καταγράφηκε αύξηση της απόδοσης λόγω της λειτουργίας της εγκατάστασης υπό χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Πλωτά φ/β συστήματα (ΠΦΒ) μπορούν να εγκατασταθούν σε διάφορους φυσικούς ή τεχνητούς υδάτινους αποδέκτες. Μέχρι σήμερα ΠΦΒ συστήματα έχουν εγκατασταθεί κυρίως σε τεχνητούς αποδέκτες, όπως σε ταμειυτήρες για Υ/Η, σε ταμειυτήρες διαχείρισης υδάτων για άρδευση, ύδρευση ή αντιπλημμυρική προστασία, σε βιομηχανικές λίμνες, εγκαταλειμμένα ορυχεία και γενικά αποδέκτες με χαμηλό κυματισμό.

### 2.1. Ανάπτυξη ΠΦΒ – Γεωγραφική κατανομή

Η συνολική παγκόσμια εγκαταστημένη ισχύς των ΠΦΒ ξεπέρασε τα 3 GW το 2021, με τα 688MW να έχουν εγκατασταθεί το 2020 (Διάγραμμα 7), σύμφωνα με την έκθεση του IEA (*"Trends in Photovoltaic Applications"*, 2021:21). Εκτός από κάποιες εγκαταστάσεις στην Ευρώπη, ιδιαίτερα στην Ολλανδία, τη Γαλλία και το Η. Βασίλειο, καθώς και στις ΗΠΑ, τα ΠΦΒ είναι κυρίως εγκατεστημένα, σχεδόν κατά 85%, στη νοτιοανατολική Ασία. Η μεγαλύτερης (έως σήμερα) ισχύος εγκατάσταση 1,3GW βρίσκεται στην Κίνα, ενώ Ιαπωνία, Νότια Κορέα, Ταϊβάν και Ινδία είναι οι χώρες με τη σημαντικότερη ανάπτυξη ΠΦΒ.



**Διάγραμμα 7:** Ετήσια και παγκόσμια εγκαταστημένη ισχύς ΠΦΒ 2013-2021. Πηγή: IEA: Trends in Photovoltaic Applications 2021:2.

## 2.2. Σύγκριση ΠΦΒ με συμβατικά χερσαία φ/β

Στον επόμενο πίνακα 3 παρουσιάζεται σύγκριση μεταξύ πλωτών και χερσαίων φωτοβολταϊκών έργων (“Where Sun Meets Water - Floating Solar Handbook for Practitioners”, 2019:6).

Είδος εγκατάστασης	Πλωτά Φωτοβολταϊκά	Χερσαία Φωτοβολταϊκά
<b>Αξιολόγηση της τοποθεσίας εγκατάστασης</b>		
Χρήση γης / νερού	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δεν ανταγωνίζεται με τις χερσαίες εκτάσεις με γεωργική, βιομηχανική ή οικιστική χρήση</li> <li>Συχνά είναι πιο εύκολο να βρεθούν τοποθεσίες κοντά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές</li> <li>Πιθανή ενσωμάτωση με την υδατοκαλλιέργεια</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Η κατάλληλη έκταση μπορεί να βρίσκεται μακριά από κέντρα φόρτωσης, απαιτώντας δαπανηρή μεταφορά</li> <li>Πιθανό να απαιτείται αλλαγή χρήσης γης, η οποία μπορεί να είναι χρονοβόρα</li> <li>Ανταγωνίζεται με χρήσεις γης για κατοικία, βιομηχανική ανάπτυξη και γεωργία</li> </ul>
Οφέλη Δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας	<ul style="list-style-type: none"> <li>Συνέργεια με υφιστάμενες η/μ υποδομές (π.χ υδροηλεκτρικοί σταθμοί)</li> <li>Πιθανή υβριδική λειτουργία με υδροηλεκτρική ενέργεια</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Το κόστος της διασύνδεσης του δικτύου συχνά επιβαρύνει την ανάπτυξη του έργου και μπορεί να είναι απαγορευτικά υψηλό</li> </ul>

<b>Ανάλυση της ενεργειακής απόδοσης</b>		
<i>Περιβάλλον λειτουργίας</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ανοιχτή και επίπεδη επιφάνεια</li> <li>• Χαμηλή ανάκλαση διάχυτου φωτός από την επιφάνεια του νερού</li> <li>• Γενική παρουσία εξατμιστικής ψύξης και υψηλότερης ταχύτητας ανέμου</li> <li>• Παρουσία δυναμικής κίνησης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ο τύπος εδάφους μπορεί να διαφέρει</li> <li>• Το albedo εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους</li> <li>• Καμία κίνηση</li> </ul>
<i>Απώλειες</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χαμηλότερες θερμοκρασίες των πανελ</li> <li>• Σχεδόν καμία σκίαση από κοντινά αντικείμενα</li> <li>• Λιγότερη ρύπανση από τη σκόνη, αλλά ενδεχομένως περισσότερη από τα περιπτώματα των πουλιών</li> <li>• Πιθανή απώλεια αναντιστοιχίας λόγω κακής ευθυγράμμισης της ακτινοβολίας με την όψη των πάνελ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Περισσότερες απώλειες θερμοκρασίας σε ζεστά και ξηρά κλίματα</li> <li>• Περισσότερες πηγές σκίασης</li> </ul>
<i>Απόδοση</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Συνολικά υψηλότερος βαθμός αρχικής απόδοσης</li> <li>• Μακροπρόθεσμη υποβάθμιση ακόμα αβέβαιη</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μπορεί να επωφεληθεί από την παρακολούθηση της ακτινοβολίας, τη διπλή όψη των πανελ και τη βέλτιστη γωνία κλίσης /απόσταση σειράς</li> <li>• Ο υπολογισμός απόδοσης είναι καλύτερα προδιαγεγραμμένος</li> </ul>
<b>Τεχνικός σχεδιασμός</b>		
<i>Διαμόρφωση σειρών</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Σχεδιασμός χωροθέτησης πανελ σε «επίπεδη» επιφάνεια νερού</li> <li>• Η περιορισμένη κλίση (λόγω του φορτίου ανέμου) συνεπάγεται χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση σε περιοχές μεγάλου γεωγραφικού πλάτους</li> <li>• Η απόσταση σειρών καθορίζεται από την επιπλέον κατασκευή</li> <li>• Αποτελείται από πλωτά «νησιά»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ο σχεδιασμός πρέπει να διαμορφώσει το έδαφος σύμφωνα με τους περιορισμούς και τις απαιτήσεις ισοπέδωσης</li> <li>• Ευέλικτη απόσταση σειρών</li> <li>• Μπορεί να αποτελείται από μεγάλων διαστάσεων φ/β πάνελ</li> </ul>
<i>Κατασκευές στερέωσης και στήριξης</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κατασκευή πλωτής πλατφόρμας</li> <li>• Το σύστημα αγκύρωσης και πρόσδεσης είναι απαραίτητο</li> <li>• Ανάγκη παροχής διαδρόμου συντήρησης</li> <li>• Η πλωτή πλατφόρμα δέχεται δυνάμεις από ανέμους, χιόνι, κύματα και ρεύματα νερού</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πάσσαλοι και κατασκευές δικτυωμάτων έδρασης (rack)</li> <li>• Κατασκευές στερέωσης με φορτία ανέμου και χιονιού</li> <li>• Ευκολότερη εφαρμογή κίνησης (tracking)</li> <li>• Δυνητικά πιο επιρρεπής σε επίδραση συντονισμού</li> </ul>
<i>Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός και καλώδια</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ο ηλεκτρικός εξοπλισμός μπορεί να τοποθετηθεί σε πλωτήρες ή στην ακτή</li> <li>• Τα καλώδια τοποθετούνται κυρίως επί των πλωτήρων</li> <li>• Πιθανή ανάγκη για υψηλότερα πρότυπα προστασίας και δοκιμές πιστοποίησης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Οι μετατροπείς ρεύματος (inverter) και τα ηλεκτρικά κιβώτια μπορούν να τοποθετηθούν κάτω από τις Φ/Β μονάδες</li> <li>• Τα καλώδια τοποθετούνται σε αγωγούς πάνω στο έδαφος ή θαμμένα υπόγεια</li> </ul>



<i>Ασφάλεια</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ο σχεδιασμός της πλατφόρμας απαιτεί να λάβει υπόψη κινδύνους για το προσωπικό συντήρησης και λειτουργίας</li> <li>• Η υψηλή υγρασία του περιβάλλοντος οδηγεί σε αυξημένους κινδύνους ηλεκτροπληξίας</li> <li>• Η διαχείριση των καλωδίων είναι σημαντική ώστε οι μετακινήσεις να μην προκαλέσουν φθορές, υπεύθυνες για ενδεχόμενες πυρκαγιές</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Τα θέματα ασφάλειας είναι σχετικά καλά προδιαγεγραμμένα</li> </ul>
<b>Οικονομικές και νομικές εκτιμήσεις</b>		
<i>Επένδυση</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υψηλότερο κόστος λόγω των πλωτών κατασκευών, αγκύρωσης, πρόσδεσης</li> <li>• Το κόστος των ΠΦΒ αναμένεται να μειωθεί αναλογικά με την αυξανόμενη κλίμακα ανάπτυξής τους</li> <li>• Υψηλότερος αντιληπτός κίνδυνος λόγω χαμηλότερου επιπέδου ωριμότητας</li> <li>• Χαμηλότερο κόστος μίσθωσης τοποθεσίας</li> <li>• Πρόσθετα οφέλη στην ενεργειακή απόδοση από την επίδραση ψύξης από το νερό και μείωση των απωλειών από την εξάτμιση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Τεράστια εγκατεστημένη ισχύς και αρκετά εδραιωμένη επένδυση και χρηματοδότηση</li> <li>• Το κόστος συνεχίζει να μειώνεται</li> <li>• Η απόκτηση ή ενοικίαση γης μπορεί να είναι δύσκολη και κοστοβόρα σε ορισμένες περιοχές</li> </ul>
<i>Νομοθεσία και αδειοδοτήσεις</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δύσκολη αδειοδότηση για φυσικές λίμνες και ευκολότερη για τεχνητές</li> <li>• Ιδιοκτησιακό καθεστώς υδατικών επιφανειών συχνά ακαθόριστο</li> <li>• Έλλειψη συγκεκριμένης νομοθεσίας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πιο προδιαγεγραμμένη διαδικασία αδειοδότησης</li> <li>• Πιο ξεκάθαροι κανονισμοί</li> </ul>
<i>Εμπειρία – επίπεδο ωριμότητας</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Το συνολικό δυναμικό στο τέλος του 2021 ξεπέρασε το 3GW</li> <li>• Έχουν κατασκευαστεί λιγότερα από 1000 έργα</li> <li>• Λίγα χρόνια εμπειρίας σε έργα μεγάλης κλίμακας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Το συνολικό δυναμικό στο τέλος του 2020 ξεπέρασε τα 700 GW</li> <li>• Χιλιάδες κατασκευασμένα έργα</li> <li>• 10–30 χρόνια εμπειρίας</li> </ul>
<b>Περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιδράσεις</b>		
<i>Περιβαλλοντικές</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού δεν είναι καλά τεκμηριωμένες</li> <li>• Πιθανές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα των υδάτινων οικοσυστημάτων</li> <li>• Δυνατότητα μείωσης της ανάπτυξης αλγών και του νερού</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ορισμένες δυσμενείς επιπτώσεις κατά τη διάρκεια της κατασκευής</li> <li>• Πιθανή απώλεια ή κατακερματισμός οικοτόπων</li> </ul>
<i>Ασφάλεια</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κίνδυνος πτώσης του προσωπικού στο νερό</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Γενικά ασφαλές</li> </ul>

<b>Προμήθεια και Κατασκευή</b>		
<i>Εγκατάσταση και ανάπτυξη</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Γενικά εύκολη συναρμολόγηση, αλλά μεγάλη μεταβλητότητα, ανάλογα με την τοποθεσία και τη διαθεσιμότητα εργατικού δυναμικού</li> <li>• Δύσκολη μεταφορά ογκωδών πλωτών στο εργοτάξιο. Ευνοϊκή η τοπική παραγωγή</li> <li>• Χρειάζεται κατάλληλος χώρος συναρμολόγησης</li> <li>• Μπορεί να χρειαστεί εξειδικευμένος εξοπλισμός ή δύτες για εγκατάσταση του σύστηματος αγκύρωσης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η ευκολία της συναρμολόγησης ποικίλλει ανάλογα με την τοποθεσία και τη διαθεσιμότητα εργατικού δυναμικού</li> <li>• Χρειάζεται βαρύς εξοπλισμός και προετοιμασία του εδάφους</li> <li>• Η πολυπλοκότητα και το κόστος εξαρτώνται από την ποιότητα του εδάφους</li> </ul>
<b>Δοκιμή και έναρξη λειτουργίας (commissioning)</b>		
<i>Δοκιμές</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δεν υπάρχουν διεθνή πρότυπα για τη διασφάλιση των πλωτών</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η διαδικασία δοκιμών και έναρξης λειτουργίας είναι καλά προδιαγεγραμμένες</li> </ul>
<i>Θεμελίωση</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Σημαντικές μετακινήσεις πιθανό να προκαλέσουν απόσπαση, χαλάρωση ή θραύση του συστήματος αγκύρωσης – πρόσδεσης με επακόλουθη την κατάρρευσή της πλατφόρμας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η θεμελίωση των πλαισίων είναι καλά προδιαγεγραμμένη διαδικασία</li> </ul>
<b>Λειτουργία και Συντήρηση</b>		
<i>Τεχνικά</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δυσκολότερη πρόσβαση και αντικατάσταση εξαρτημάτων</li> <li>• Η δράση των κυμάτων αυξάνει τη μηχανική φθορά</li> <li>• Πιθανή βιορρύπανση</li> <li>• Η υψηλή υγρασία του περιβάλλοντος μπορεί να επιταχύνει τη διάβρωση/οξειδωση των μεταλλικών μερών</li> <li>• Ευκολότερη πρόσβαση στο νερό για καθαρισμό</li> <li>• Μικρότερος κίνδυνος κλοπής/βανδαλισμού</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Γενικά εύκολη πρόσβαση και αντικατάσταση εξαρτημάτων</li> <li>• Περισσότερη βλάστηση</li> <li>• Πιο εύκολη η ανάπτυξη αυτοματοποιημένου καθαρισμού</li> <li>• Λιγότερη συντήρηση για έργα πολιτικού μηχανικού και θεμελίωσης</li> </ul>
<i>Ασφάλεια</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η συνεχής κίνηση των πλωτών επιφυλάσσει κινδύνους στο περπάτημα</li> <li>• Κίνδυνος πτώσης προσωπικού στο νερό</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Γενικά ασφαλές</li> </ul>

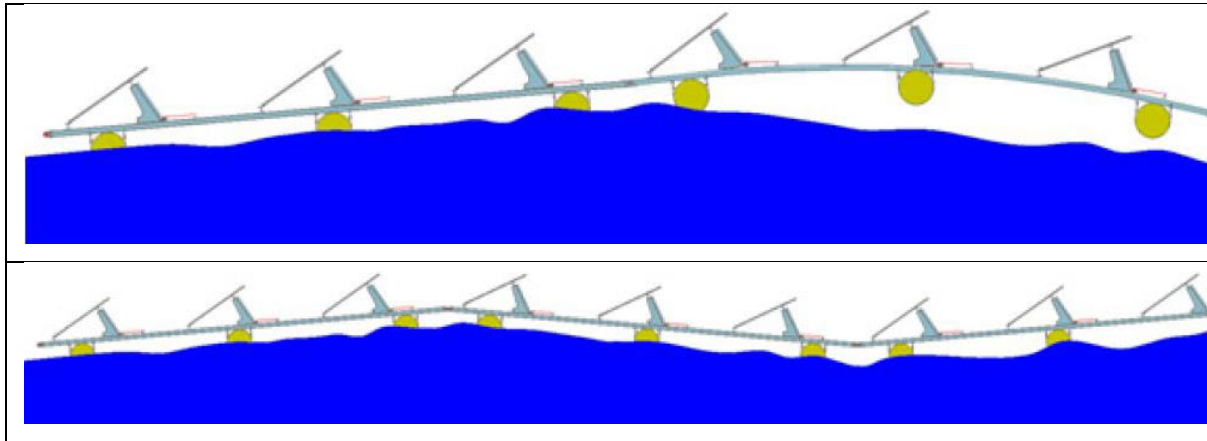
**Πίνακας 3.** Σύγκριση μεταξύ πλωτών και χερσαίων φωτοβολταϊκών έργων. Πηγή: (Where Sun Meets Water - Floating Solar Handbook for Practitioners 2019:6)

## 2.3. Δομική κατασκευή ΠΦΒ

Οι μεγάλης κλίμακας ΠΦΒ εγκαταστάσεις αποτελούνται από πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου τοποθετημένα πάνω σε πλωτήρες – pontoons συνδεδεμένους μεταξύ τους, αποτελώντας μια μεγάλη πλωτή πλατφόρμα, μαζί με τους μετατροπείς ηλεκτρικού ρεύματος – inverter και τις καλωδιώσεις.

Ωστόσο, έχουν αναπτυχθεί επίσης ΠΦΒ μονάδες που τοποθετούνται πάνω σε εύκαμπτες μεμβράνες ή αυτό-επιπλέονα φ/β πάνελ, αποτελώντας όμως τεχνολογίες οι οποίες δεν έχουν αναπτυχθεί ευρέως.

Η πλωτή πλατφόρμα περιλαμβάνει κατασκευές με ικανή άνωση ώστε να υποστηρίξει τις υπερκείμενες φωτοβολταϊκές μονάδες, το ηλεκτρολογικό υλικό και το προσωπικό κατά την κατασκευή, τη λειτουργία και τη συντήρησή τους καθώς και τα λοιπά φορτία της κατασκευής (κυματισμό, άνεμο, χιόνι κλπ). Ως εκ τούτου διαφέρει αρκετά από την άκαμπτη συμβατική κατασκευή χερσαίων φ/β.



**Σχήμα 2:** Συμπεριφορά πλωτής κατασκευής με συνεχή και μη συνεχή κατασκευή. Πηγή: (Sun- Hee, K. κ.α., 2020:2)

Δεδομένου ότι τα άκαμπτα φ/β πλαίσια μπορεί να αστοχήσουν από ρωγμές και ενδεχόμενη θραύση όταν εκτίθενται στα φορτία του ανέμου και των κυματισμών, εξαιτίας της μειωμένης ευκαμψίας τους και των μηχανικών τους ιδιοτήτων, δεν ενδείκνυται μια συνεχής κατασκευή (Σχήμα 2). Λόγοι καλύτερης ευστάθειας αλλά και ευκολότερης κατασκευασιμότητας του συστήματος, οδήγησαν στη σύνδεση πολλών μικρότερων ανεξάρτητων πλωτών μονάδων για την κατασκευή της πλατφόρμα, επιτρέποντάς της να αντιδρά στην κίνηση της επιφάνειας του νερού χωρίς να αστοχεί.

Η πλωτή κατασκευή θα πρέπει να στηρίζει σταθερά τα φωτοβολταϊκά πάνελ και να παρέχει επαρκή αντίσταση έναντι του συνδυασμού των φορτίσεων που δέχονται από τις καιρικές συνθήκες και τον κυματισμό. Επιπλέον, θα πρέπει να εξασφαλίζει μακροχρόνια αντοχή έναντι διάβρωσης, κόπωσης κ.λπ., λόγω της μόνιμης έκθεσης στο νερό. Τα φορτία, κατακόρυφα και οριζόντια, μεταφέρονται στους πλωτήρες και το σύστημα πρόσδεσης, δυσκολεύοντας τη μοντελοποίηση του στατικού συστήματος της πλωτής κατασκευής.

Η παραπάνω τεχνολογία ΠΦΒ βρίσκει εφαρμογή σε «κλειστά – προστατευμένα» on-shore υδάτινα σώματα, έως σήμερα, ενώ υπάρχουν και άλλες τεχνολογίες που βρίσκονται ακόμα σε πρώιμο στάδιο.

Τέτοιες είναι τα υπεράκτια ΠΦΒ, τα ΠΦΒ διπλής όψης – bifacial, καθώς και τα ΠΦΒ παρακολούθησης της ηλιακής ακτινοβολίας track systems.

### **2.3.1. Offshore ΠΦΒ**

Καθώς το 71% του πλανήτη καλύπτεται από νερό, οι θάλασσες και οι ωκεανοί θα μπορούσαν να αποτελέσουν ιδανική τοποθεσία για εγκαταστάσεις ΑΠΕ. Προς την κατεύθυνση αυτή έχουν διερευνηθεί τέτοιες εγκαταστάσεις ΠΦΒ στη Βόρεια θάλασσα (Garanovic, 2021). Σύμφωνα με έκθεση του DNV GL, η Βόρεια Θάλασσα μπορεί να φιλοξενήσει μέχρι και 100MW ΠΦΒ εγκαταστάσεων ως το 2030, τα οποία μπορεί να φτάσουν τα 500MW ως το 2035.

Οι έρευνες στη βόρεια θάλασσα (Kumar, 2021: 9) έχουν δείξει καλύτερες αποδόσεις των ΠΦΒ εγκαταστάσεων σε σχέση με τα χερσαία, της τάξης του 12,96%, λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών του θαλάσσιου υδάτινου περιβάλλοντος και των ανέμων (Bellini, 2020). Όμως τα φορτία των κυματισμών στις ανοιχτές θάλασσες, η δυσκολία στην αγκύρωση των εγκαταστάσεων με αντίστοιχα αυξημένα κόστη, η μετατόπιση των πάνελ από την επιθυμητή θέση σε σχέση με την ακτινοβολία, είναι ακόμα θέματα προς διερεύνηση για τις offshore εγκαταστάσεις, που μπορεί να απαιτούν διαφορετική μελετητική προσέγγιση λόγω του δυσμενέστερου υδάτινου περιβάλλοντος και των μεγαλύτερων αβεβαιοτήτων σχετικά με την μακροχρόνια αξιοπιστία τους.

Εκτός από τη βόρεια θάλασσα οι Trapani – Millar, (2012), έχουν εξετάσει τα πλεονεκτήματα offshore ΠΦΒ στη Μάλτα, ως ένα από τα μεσογειακά νησιά με μεγάλο ηλιακό δυναμικό (5,3KWh/m<sup>2</sup>/day) και έλλειψη χερσαίων εκτάσεων. Η έρευνα κατέληξε ότι η εγκατάσταση μιας ΠΦΒ μονάδας (thinfilm) των 320MW θα προσέφερε την καλύτερη λύση κόστους – οφέλους (οικονομικού και περιβαλλοντικού) για τις ενεργειακές ανάγκες του νησιού.

### **2.3.2. ΠΦΒ δύο όψεων –Bifacial**

Οι φ/β μονάδες διπλής όψης μπορούν να παραλάβουν την ηλιακή ακτινοβολία τόσο από την μπροστινή όσο και από την πίσω πλευρά ταυτόχρονα. Αυτό αποτελεί και το βασικό συγκριτικό πλεονέκτημά τους έναντι των φ/β συμβατικής τεχνολογίας, λόγω της υψηλότερης απόδοσής τους, της κατάληψης μικρότερης έκτασης για την ίδια παραγόμενη ενέργεια, και του χαμηλότερου κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Όσον αφορά στις ΠΦΒ εγκαταστάσεις, η ταυτόχρονη εκμετάλλευση της πίσω πλευράς του πάνελ, για την αυξημένη απόδοση της μονάδας, περιορίζεται από τον τρόπο τοποθέτησής τους. Πιο συγκεκριμένα, προκειμένου οι ΠΦΒ εγκαταστάσεις να εκμεταλλευτούν την ψυκτική επίδραση του νερού στην αύξηση της απόδοσής τους, απαιτούν την τοποθέτηση των πάνελ κοντά στο νερό υπό χαμηλές γωνίες κλίσης, καθιστώντας έτσι σχεδόν ανέφικτη την ταυτόχρονη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στην πίσω πλευρά της μονάδας. Επιπλέον, η επίδραση του φορτίου του ανέμου στην ευστάθεια της όλης κατασκευής, απαιτεί την τοποθέτηση με τέτοια γωνία κλίσης περιορίζοντας τη διπλή λειτουργία των όψεων του ΠΦΒ συστήματος.

Εκτός από την επικλινή θέση των πάνελ, ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη στην εξέταση της τεχνολογίας των φ/β πάνελ διπλής όψης – bifacial, είναι τα διαφορετικά χαρακτηριστικά της διαθλαστικής ικανότητας – albedo της επιφάνειας του νερού έναντι μιας εδαφικής επιφάνειας. Έχει υπολογιστεί ότι το albedo σε μια υδάτινη επιφάνεια βάθους 0,5μ είναι 7,71% και σε μία με βάθος 1,0μ είναι 8,11%, ενώ σε μια εδαφική επιφάνεια 15,64% (Ziar, 2020). Έτσι καθώς οι υδάτινες επιφάνειες έχουν χαμηλή διαθλαστικότητα, αναμένεται να συνεισφέρουν λιγότερο στην πίσω πλευρά των φ/β πάνελ διπλής όψης.

### **2.3.3. Tracking ΠΦΒ συστήματα**

Το πλωτό φωτοβολταϊκό σύστημα με παρακολούθηση του ήλιου (tracking system) εξασφαλίζει την περιστροφή του ακολουθώντας την πορεία του ήλιου, προσαρμόζοντας αργά τη θέση της μονάδας ώστε να ενισχυθεί η ικανότητα παραγωγής ενέργειας του συστήματος. Παρ' όλα αυτά η δυσκολία των ΠΦΒ στην αντιμετώπιση των διαταραχών από τους κυματισμούς και τους ανέμους, δεν έχει βοηθήσει στην ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας, καθώς απαιτείται μια σταθερή και άκαμπτη βάση περιστροφής για τη λειτουργία. Έτσι τα tracking συστήματα βρίσκονται ακόμα σε πρώιμο στάδιο.

### **2.3.4. Υλικά Πλωτής κατασκευής – πλατφόρμας**

- Φωτοβολταϊκά πάνελ

Όπως στις συμβατικές έτσι και στις ΠΦΒ εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται επί το πλείστον κρυσταλλικά πάνελ με κυψέλες πυριτίου. Όταν το φως αλληλεπιδρά με μια κυψέλη πυριτίου, προκαλεί την ενεργοποίηση των ηλεκτρονίων, τα οποία με τη σειρά τους προκαλούν μια ροή συνεχούς (DC) ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της καλωδίωσης προς το inverter, όπου μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Η λειτουργία αυτή είναι γνωστή ως “φωτοβολταϊκό φαινόμενο”.

Η βασική διαφορά των φ/β πάνελ από τα συμβατικά είναι οι αυξημένες απαιτήσεις τους σε ανθεκτικότητα έναντι του υγρού περιβάλλοντος.

- Πλωτήρες

Το σύστημα των πλωτήρων είναι αρθρωτό και αποτελείται από δύο τύπους πλωτήρων. Οι «κύριοι πλωτήρες» υποστηρίζουν τα φ/β πάνελ και παρέχουν τη βέλτιστη επιθυμητή κλίση τους. Οι «δευτερεύοντες πλωτήρες» διασφαλίζουν τη σύνδεση με τους κύριους πλωτήρες, παρέχουν επαρκή χώρο για περιορισμό της σκίασης των φ/β πάνελ, χρησιμοποιούνται ως διάδρομοι συντήρησης και παρέχουν πρόσθετη άνωση στην πλατφόρμα.

Οι πλωτήρες είναι συνήθως κατασκευασμένοι από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE high-density polyethylene) ή άλλα υλικά όπως το πολυαιθυλένιο μέσης πυκνότητας (MDPE), ή το πλαστικό ενισχυμένο με ίνες (FRP fiber-reinforced plastic). Ωστόσο έχει επικρατήσει η χρήση του HDPE στις έως τώρα υφιστάμενες πλωτές πλατφόρμες ΠΦΒ, καθώς είναι ένα υλικό ανθεκτικό στη διάβρωση, στην υπεριώδη ακτινοβολία, δε χρειάζεται συντήρηση και έχει υψηλή εφελκυστική αντοχή, ενώ ταυτόχρονα δεν υποβαθμίζει ή μολύνει το νερό. Για τη στερέωση των φ/β πάνελ, συνήθως χρησιμοποιούνται μεταλλικά στηρίγματα υψηλής αντιδιαβρωτικής αντοχής. Τα υλικά αυτά θα πρέπει επιπλέον να είναι ανακυκλώσιμα και πυράντοχα, ενώ ταυτόχρονα να μη περιέχουν τοξικά μέταλλα (χρώμιο, αρσενικό) ή υπερβολικό χλώριο ώστε να μη ρυπαίνουν το νερό.

- Σύστημα αγκύρωσης και πρόσδεσης

Το σύστημα αυτό είναι αναγκαίο σε μια ΠΦΒ εγκατάσταση για να τη διατηρεί μόνιμα στην επιθυμητή θέση, παρά τις μεταβολές των καιρικών συνθηκών – άνεμοι και ακανόνιστοι κυματισμοί. Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι για να κρατηθεί μια πλωτή πλατφόρμα στη θέση της: αγκύρωση στην όχθη, στον πυθμένα ή σε πασσάλους. Βασικοί παράγοντες σχεδιασμού του συστήματος είναι οι διακυμάνσεις της στάθμης του νερού (κυρίως σε τεχνητούς ταμιευτήρες), οι συνθήκες του εδάφους του πυθμένα και της όχθης, η βαθυμετρία και η τοποθεσία. Η αγκύρωση στον πυθμένα χρησιμοποιείται στην πλειοψηφία των εγκαταστάσεων, ενώ στην όχθη γίνεται η πρόσδεση σε μικρές ΠΦΒ μονάδες που βρίσκονται κοντά στην ακτή και σε ρηγά νερά. Σε βαθιά νερά, η κατασκευή μπορεί να είναι προβληματική και δαπανηρή.

Πολλές ΠΦΒ εγκαταστάσεις έχουν αναπτυχθεί σε όλο τον κόσμο και οι τεχνικές εξελίσσονται συνεχώς για τη βελτίωση και την αξιοπιστία στο σχεδιασμό και τη δομή ΠΦΒ συστημάτων, ακόμα και σε βαθιά νερά.

- Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός: inverter - καλώδια

Όπως στις συμβατικές φ/β εγκαταστάσεις, έτσι και στις ΠΦΒ μπορεί η εγκατάσταση να έχει ένα κεντρικό inverter ή πολλαπλά inverter ανά συστοιχία. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το ΠΦΒ σύστημα μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα AC μέσω αυτού του εξοπλισμού. Η τοποθέτηση μπορεί να γίνει σε ξεχωριστή πλωτή πλατφόρμα ή στην όχθη.

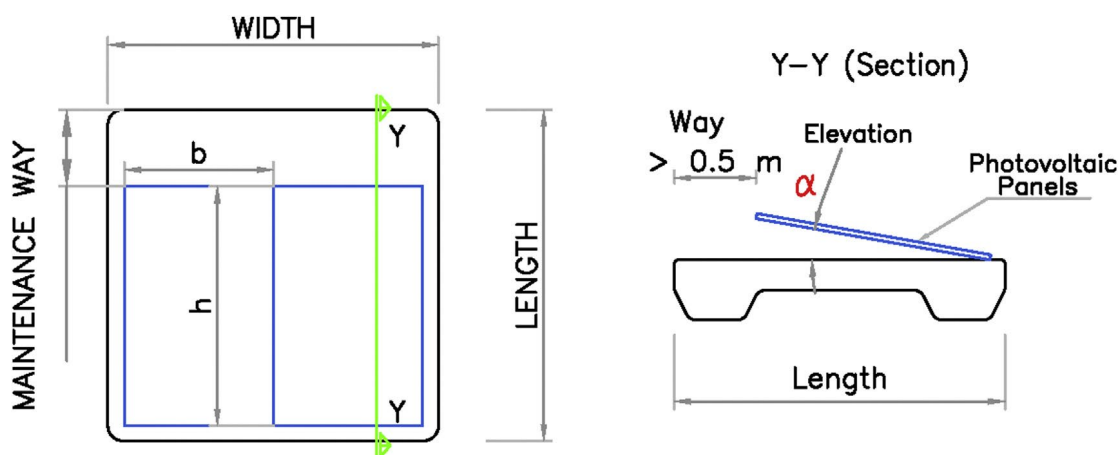
Η ενέργεια που παράγεται από τα ΠΦΒ πάνελ τροφοδοτείται στο δίκτυο μέσω καλωδίων τα οποία είναι υποβρύχια ή επιφανειακά επί πλωτήρων. Ωστόσο, τα καλώδια που πρέπει να χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι αδιάβροχα, ανθεκτικά σε υψηλή θερμοκρασία και στιβαρά για την μακροχρόνια λειτουργία τους, αποφεύγοντας τις διαρροές ρεύματος και τα βραχυκυκλώματα.

### 2.3.5. Σχεδιασμός Πλωτής κατασκευής – πλατφόρμας

Αφού επιλεγεί ο τύπος της πλωτής διάταξης, βασικότερο παράμετρο σχεδιασμού αποτελεί η κλίση τοποθέτησης των φ/β πάνελ. Σε εργασία που έχει εκπονηθεί στην Ισπανία (Gisbert, 2013:3) σχετικά με τη θεωρητική και πειραματική ανάλυση ενός ΠΦΒ συστήματος σε ταμιευτήρα για άρδευση, παρατηρήθηκε ότι συνδυάζοντας τις κατασκευαστικές απαιτήσεις, η βέλτιστη κλίση τοποθέτησης των πάνελ είναι περί τις 10° προσφέροντας ταυτόχρονα ευελιξία και εξοικονόμηση κόστους, παρά το γενικό κανόνα σύμφωνα με τον οποίο η θεωρητική βέλτιστη κλίση, για την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης ορίζεται συνήθως στο γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας της εγκατάστασης (Babatunde κ.α., 2017:3). Επίσης προέκυψε ότι για γωνία τοποθέτησης 10°, σύμφωνα με τη διάταξη του επόμενου σχήματος 3, υπάρχει η δυνατότητα εγκατεστημένης ισχύος περί τα 100W/m<sup>2</sup>.

Για τους υπολογισμούς αυτούς (100W/m<sup>2</sup>) τα δεδομένα – υποθέσεις που λήφθηκαν υπόψη είναι:

- Η κλίση και η κατεύθυνση τοποθέτησης είναι τέτοια ώστε να μεγιστοποιείται η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Διαστάσεις φωτοβολταϊκού πάνελ: 1,65m (h) x 1,00m (b).
- Απόσταση μεταξύ των πάνελ για μείωση των σκιασμένων περιοχών στο ελάχιστο.
- Πρόβλεψη διαδρόμων για τη συντήρηση και λειτουργία του φ/β σταθμού, με ελάχιστο πλάτος πρόσβασης 0,5 m μεταξύ των σειρών των πάνελ.
- Επιλέχθηκαν μονοκρυσταλλικά πάνελipuritίου μέγιστης ονομαστικής ισχύος 240 W.



Σχήμα 3. Διάταξη της πλωτής μονάδας

## 2.4. Υβριδικά ΠΦΒ με Υ/Η

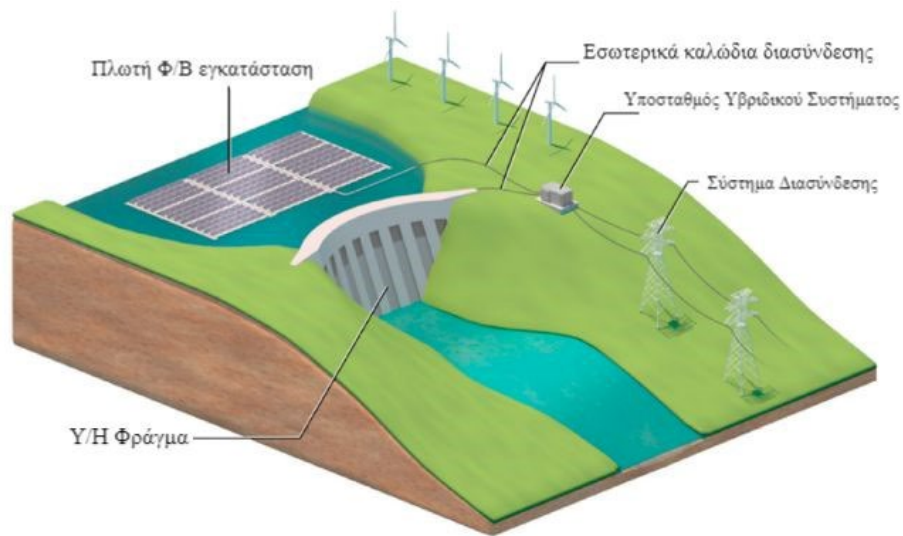
Η ηλιακή και η αιολική ενέργεια συνεχίζουν να κυριαρχούν στην επέκταση των ΑΠΕ, αντιπροσωπεύοντας από κοινού περισσότερο από το 90% της νέας δυναμικότητας ΑΠΕ που εγκαταστάθηκε το 2019. Η υδροηλεκτρική (Υ/Η) ενέργεια ωστόσο, εξακολουθεί να αντιπροσωπεύει σχεδόν το ήμισυ της παγκόσμιας δυναμικότητας ΑΠΕ που είναι ήδη σε λειτουργία.

Ενώ συχνά ρίχνεται πολύ φως στην περαιτέρω ανάπτυξη της υδροηλεκτρικής ενέργειας, με τις ανησυχίες να επικεντρώνονται στις περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις των φραγμάτων, υπάρχει επίσης μια αυξανόμενη ανάγκη εκσυγχρονισμού και βελτιστοποίησης των υφιστάμενων υποδομών. Οι μισές από τις παγκόσμιες υποδομές υδροηλεκτρικής παραγωγής είναι παλαιότερες των 30 ετών, και περίπου το ένα τρίτο αυτών άνω των 40 ετών. Ο εκσυγχρονισμός δεν αφορά μόνο στη διατήρηση ή την αύξηση της ασφάλειας, της απόδοσης και της αξιοπιστίας για παράταση της διάρκειας ζωής, αλλά είναι ανάγκη να προσαρμοστούν οι παλιές υποδομές στο μέλλον.

Η υβριδική λειτουργία των Υ/Η μέσω της σύζευξης πολλαπλών τεχνολογιών παραγωγής, μπορεί να συμβάλει στην κατεύθυνση εκσυγχρονισμού τους, με επακόλουθα λειτουργικά και οικονομικά οφέλη.

Τα ΠΦΒ συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με τα Υ/Η έργα, δίνοντας μια αξιόπιστη λύση στο πολύ σημαντικό ζήτημα της αποθήκευσης και της ελεγχόμενης διανομής της παραγόμενης ενέργειας των υδροηλεκτρικών. Τα ΠΦΒ που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα υβριδικά συστήματα είναι πανομοιότυπα με τα αυτόνομα ΠΦΒ (stand-alone) και οι βελτιώσεις κόστους και απόδοσης επιτυγχάνονται μέσω της από κοινού βελτιστοποίησης του προγραμματισμού και της λειτουργίας του κοινού υβριδικού συστήματος.





**Σχήμα 4.** Διάταξη του υβριδικού συστήματος Y/H – ΠΦΒ

Οι πρόσθετες λειτουργικές αξίες που μπορούν να προσφέρουν τα υβριδικά συστήματα ΠΦΒ – Y/H είναι:

- Βελτιωμένη λειτουργία του συστήματος σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες

Τα υβριδικά συστήματα Y/H – ΠΦΒ μπορούν να επωφεληθούν από τη συμπληρωματική φύση των χαρακτηριστικών παραγωγής των δύο πηγών ενέργειας, οι οποίες είναι ασύγχρονες σε εποχιακή και ημερήσια χρονική κλίμακα. Η παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά είναι μεταβλητή και λιγότερο προβλέψιμη λόγω των καιρικών συνθηκών, της ενδεχόμενης σκίασης από το γειτονικό περιβάλλον, των ημερήσιων χαρακτηριστικών. Η υδροηλεκτρική ενέργεια από την άλλη μπορεί να αντισταθμίσει την μεταβλητή παραγωγή ηλιακής ενέργειας.

Σε εποχιακή κλίμακα, περισσότεροι ηλιακοί πόροι είναι γενικά διαθέσιμοι κατά τις ξηρές περιόδους και αντίστοιχα λιγότεροι κατά τις περιόδους βροχών, ενώ σε ημερήσια ή ωριαία κλίμακα αντίστοιχα, οι ηλιακοί πόροι είναι διαθέσιμοι μόνο σε συγκεκριμένες περιόδους της ημέρας. Λειτουργικά, αυτό σημαίνει ότι ένα υβριδικό σύστημα θα μπορούσε να μειώσει την εξάρτηση από υδροηλεκτρικούς πόρους (αυξημένη αποθήκευση νερού) κατά τις ξηρές και μεσημβρινές περιόδους, αξιοποιώντας τους ηλιακούς πόρους. Αντίστροφα κατά τις περιόδους βροχών και τις βραδινές, ένα υβριδικό σύστημα θα μπορούσε να επωφεληθεί από τους αυξημένους υδροηλεκτρικούς πόρους.

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η συνολική ευελιξία ενός αποτελεσματικού και σταθερού υβριδικού συστήματος του οποίου η παραγωγή είναι υψηλότερη από το απλό άθροισμα και των δύο πηγών ενέργειας χωριστά.

- Πρόσθετα οφέλη αποθήκευσης ενέργειας

Τα υβριδικά συστήματα Υ/Η - ΠΦΒ μπορούν να παρέχουν οφέλη αποθήκευσης της μιας μορφής ενέργειας, έναντι της άλλης, τόσο σε εποχιακό όσο και σε ημερήσιο επίπεδο, όπως αναφέρθηκε. Επιπλέον τα ΠΦΒ μπορούν να προσφέρουν αξιόλογα λειτουργικά – οικονομικά οφέλη αν συνδυαστούν με έργα αντλιοσταμίου. Στα έργα αυτά υπάρχουν δύο ταμιευτήρες (αντλιοσταμιοταμιευτήρες) με υψομετρική διαφορά, συνδεδεμένοι με έναν ή περισσότερους αγωγούς, αντλίες και στροβίλους. Στα αναστρέψιμα αυτά Υ/Η, αντλώντας νερό από τον κατώτερο ταμιευτήρα κατά τις ώρες χαμηλής ενεργειακής ζήτησης, γίνεται χρήση της περίσσειας ενέργειας μετατρέποντάς την σε υδραυλική ενέργεια, η οποία αποθηκεύεται στον άνω ταμιευτήρα, για να αποδοθεί στο δίκτυο κατά τις ώρες υψηλής ζήτησης. Για την άντληση λοιπόν, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η παραγόμενη ηλιακή ενέργεια από τα ΠΦΒ προκειμένου να διευκολυνθεί η διαχείριση του υδάτινου ισοζυγίου του ταμιευτήρα.

- Βελτιωμένη χρήση του δικτύου μεταφοράς ενέργειας

Η σύνδεση του ΠΦΒ με το υπάρχον δίκτυο μεταφοράς ενέργειας μπορεί να αυξήσει τα ποσοστά χρησιμότητας του δικτύου, όταν υπάρχει πρόσθετη δυνατότητα μεταφοράς. Οι πόροι υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργεια είναι συχνά μακριά από τα υπάρχοντα δίκτυα ενέργειας, απαιτώντας μεγάλο μήκος αποκλειστικές γραμμές μεταφοράς. Αυτές οι γραμμές έχουν υψηλό κόστος υποδομής ανά MWh καθώς υποχρησιμοποιούνται λόγω του χαμηλού μεριδίου χρήσης τους σε σχέση με τη συνολική διαθέσιμη χωρητικότητά τους. Καθώς τα υβριδικά συστήματα μπορεί να παρέχουν αυξημένη παραγωγή ενέργειας (βελτιωμένος συντελεστής απόδοσης για το υβριδικό σύστημα) σε σχέση με τα αυτόνομα συστήματα, η συνολική αξιοποίηση των δικτύων μπορεί να βελτιωθεί.

- Μείωση των διακοπών παροχής

Η διαχείριση ενός υβριδικού συστήματος Υ/Η-ΠΦΒ ως μια ενιαία μονάδα παραγωγής μπορεί να παρέχει μια αξιόπιστη ελεγχόμενη χωρητικότητα με προβλέψιμη παροχή ενέργειας, με μειωμένη ή χωρίς καθόλου διακοπή.

- Μειωμένο κόστος διασύνδεσης συστημάτων μεταφοράς

Η συστέγαση συστημάτων Υ/Η-ΠΦΒ επιτρέπει τη σύνδεση της ΠΦΒ στην υπάρχουσα υποδομή μεταφοράς. Αυτό μπορεί να μειώσει το πρόσθετο κόστος επεκτάσεων δικτύων μεταφοράς, υποσταθμών και άλλων απαιτήσεων υποδομής. Επιπλέον, εάν μελλοντικά αποφασιστεί να προστεθεί εγκατάσταση ΠΦΒ μεγαλύτερης ισχύος στο σύστημα, είναι ευκολότερο και συχνά λιγότερο δαπανηρό να αναβαθμιστεί η υφιστάμενη υποδομή, από ότι η ανάπτυξη νέων διασυνδέσεων.

- Εξοικονόμηση πόρων

Η εγκατάσταση ΠΦΒ σε ταμιευτήρες Υ/Η μπορεί να συμβάλει στη μείωση της εξάτμισης του νερού. Ως εκ τούτου, το υβριδικό σύστημα μπορεί να βοηθήσει μειώνοντας την εποχιακή διακύμανση της στάθμης του ταμιευτήρα.

Όπως παρουσιάστηκε στο Διεθνές Συνέδριο Floating Solar PV On Dam Reservoirs and Solar-Hydro Hybridization 2021, μεταξύ των χωρών - περιοχών που θα μπορούσαν να εκμεταλλευτούν αυτές τις δυνατότητες είναι:

- Η Ινδία, με περισσότερα από 5200 μεγάλα φράγματα, και επιπλέον 437 φράγματα υπό κατασκευή, έχοντας ένα εκτιμώμενο δυναμικό ΠΦΒ σε ταμιευτήρες περί των 280 GW.
- Η Βραζιλία επίσης έχοντας ένα σημαντικό δυναμικό για Υ/Η συνεργασίες, καθώς καλύπτοντας λιγότερο από το 10% της επιφάνειας των δέκα μεγαλύτερων ταμιευτήρων ηλεκτροπαραγωγής, θα μπορούσε να διπλασιάσει την παραγωγή ενέργειάς της.
- Η Αφρική, όπου καλύπτοντας μόνο το 1% της επιφάνειας από 146 μεγάλους ταμιευτήρες θα μπορούσε να προσθέσει 29GW ισχύος, που αντιπροσωπεύουν σχεδόν μια αύξηση 50% της ισχύος των συγκεκριμένων ταμιευτήρων.

## 2.5. Περιβαλλοντικές επιδράσεις

Η διαχείριση των περιβαλλοντικών και κοινωνικών ζητημάτων μιας ΠΦΒ μονάδας, συνδέεται συνήθως με τις φάσεις ανάπτυξης, κατασκευής και λειτουργίας της. Κάθε ΠΦΒ εγκατάσταση είναι μοναδική, αναπτύσσοντας το δικό της φάσμα περιβαλλοντικών ρίσκων. Συνεπώς είναι απαραίτητη η αξιολόγηση ολόκληρης της περιοχής επιρροής ενός έργου ΠΦΒ ανάλογα με το μέγεθός του, την τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί, τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας, και τις τοπικές συνθήκες.

### 2.5.1. Διαχείριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ΠΦΒ

Τα περιβαλλοντικά θέματα για την κατασκευή και τη λειτουργία ΠΦΒ έργων έχουν να κάνουν κυρίως με:

- Τις οπτικές επιδράσεις στο συνολικό τοπίο (θάλασσα και γη)
- Την ποιότητα του νερού
- Τη βιοποικιλότητα

### **2.5.1.1. Οπτικές επιδράσεις στο τοπίο**

Ανάλογα με την τοποθεσία, οι πλωτές μονάδες ενός ΠΦΒ έργου μπορεί να είναι ορατές από κατοικημένες ή τουριστικές τοποθεσίες, αλλάζοντας το χαρακτήρα της περιοχής. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή ενός υδάτινου σώματος για εγκατάσταση ΠΦΒ, τυχόν καθεστώτα προστασίας (περιοχές Natura 2000) για τη βιοποικιλότητα και την πολιτιστική κληρονομιά του. Κατά τη χωροθέτηση και για την αποφυγή ή την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην περιοχή, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η διάταξη, το μέγεθος και η κλίμακα των πλωτών μονάδων σε σχέση με το περιβάλλον και όλες οι σχετικές γωνίες θέασης όταν εξετάζεται η θέση των πλωτών μονάδων.

Όπως στα συμβατικά χερσαία φωτοβολταϊκά συστήματα ή στα οικιακά, έτσι και στα ΠΦΒ θα πρέπει να γίνεται ανάλυση της αντανάκλασης του φωτός από τα πάνελ σε συγκεκριμένες ώρες της μέρας και θέσεις. Κίνδυνοι από αντανάκλαση μπορεί να περιλαμβάνουν απόσπαση προσοχής ή δυσκολία στην όραση, που σε περιπτώσεις μονάδων που βρίσκονται π.χ. κοντά σε αεροδρόμια μπορεί να είναι σημαντικοί παράγοντας για την ασφάλεια των πτήσεων.

### **2.5.1.2. Ποιότητα του νερού**

Τα έργα ΠΦΒ μονάδων μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα του νερού, ανάλογα με τον τύπο και τα σχεδιαστικά τους χαρακτηριστικά. Οι σημαντικότερες επιπτώσεις έχουν να κάνουν με τις αλλαγές που προκαλούνται στη στρωματοποίηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος του νερού και στα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου που μπορεί να προκύψουν από τη σκιάσή του, καθώς και με τις επιπτώσεις από την έκπλυση των μονάδων (με πιθανή χρήση απορρυπαντικών). Επιπλέον η ακούσια απελευθέρωση λαδιών ή/και λιπαντικών από τα σκάφη που χρησιμοποιούνται κατά τις εργασίες συντήρησης μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα του νερού και την υδρόβια χλωρίδα και πανίδα.

Για την κατανόηση και ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων των ΠΦΒ συστημάτων στα υδάτινα συστήματα έχουν διεξαχθεί λίγες μελέτες. Τόσο από τη βιβλιογραφία, όσο και από διεθνή έρευνα που έγινε από τους Exley κ.α. (2021) προκύπτει ότι οι ενδιαφερόμενοι φορείς, για τα ΠΦΒ συστήματα (μέλη από τη βιομηχανία νερού, εταιρείες ανάπτυξης ΠΦΒ συστημάτων, εμπορικές ενώσεις, κοινωνικές ομάδες, ερευνητές) έχουν αντιληφθεί τη βελτίωση του οικοσυστήματος όσον αφορά στην εξάτμιση του υδάτινου σώματος από τα ΠΦΒ. Όσον αφορά όμως τις χημικές και τις υδατικές διεργασίες, δεν υπάρχουν σαφή δεδομένα σχετικά π.χ. με τον κίνδυνο εντοπισμού νιτροποίησης και της επερχόμενης αποξυγόνωσης. Η συλλογή δεδομένων για τις μελέτες μοντελοποίησης είναι πολύ σημαντικές για να

γίνουν κατανοητές οι φυσικές και βιο-γεω-χημικές αλληλεπιδράσεις. Η φύση και η έκταση των αλλαγών στην ποιότητα του νερού επηρεάζονται από μια ποικιλία παραγόντων, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου παραμονής στο νερό, της βαθυμετρίας, του κλίματος, της παρουσίας κατακλυσμένης βιομάζας, των γεωμορφικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής, του επιπέδου ανάπτυξης της βιομηχανίας, της γεωργίας. Η συλλογή των δεδομένων πρέπει να καλύπτει μια σειρά παραμέτρων αρκετά μεγάλης διάρκειας, που να αφορούν τόσο στην τοπική μετεωρολογία όσο και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού.

Η κάλυψη λιμνών – ταμιευτήρων με ΠΦΒ εγκαταστάσεις, μπορεί να αυξήσει τη διαστρωμάτωση (σχηματισμό στρωμάτων νερού με βάση τη θερμοκρασία) και να περιορίσει την ανάμειξη του νερού κάτω από αυτές, με αποτέλεσμα χαμηλότερα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου. Το μέγεθος της στρωματοποίησης εξαρτάται από το ποσοστό κάλυψης της συνολικής επιφάνειας του ταμιευτήρα. Μια μικρή ποσοστιαία κάλυψη της συνολικής επιφάνειας θα είχε ως αποτέλεσμα μια μικρή αύξηση της διαστρωμάτωσης, η οποία θα έχει ελάχιστη έως ασήμαντη επίπτωση στην ποιότητα του νερού, ενώ εάν το ποσοστό κάλυψης είναι μεγάλο, οι πλωτές ηλιακές φωτοβολταϊκές συστοιχίες θα μπορούσαν να εμποδίσουν σημαντικά την εισροή ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του νερού (για παράδειγμα, μειώνοντας τη θέρμανση του ανώτερου στρώματος), η οποία στη συνέχεια θα μπορούσε να έχει πολλές επιπτώσεις:

- Η ύπαρξη των αλγών στο υδάτινο σώμα σε συνδυασμό με την έλλειψη του ηλιακού φωτός θα αύξανε τον ρυθμό αποσύνθεσής τους με συνέπεια την αντίστοιχη αύξηση της ζήτησης οξυγόνου στον πυθμένα του ταμιευτήρα, προκαλώντας δυνητικά ανοξία του υδατικού συστήματος, το οποίο θα είχε σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στα υδρόβια είδη και ενδιαιτήματα που ζουν στον ταμιευτήρα και χρειάζονται διαλυμένο οξυγόνο για την επιβίωσή τους.

- Σε ταμιευτήρες υδροηλεκτρικής ενέργειας, η εκτεταμένη κάλυψη της επιφάνειας του ταμιευτήρα με ΠΦΒ θα μπορούσε να περιορίσει σοβαρά την ικανότητα τεχνητής ανάμειξης του νερού του ταμιευτήρα, που επιτυγχάνεται με τη χρήση του θερμότερου και με υψηλότερο επίπεδο οξυγόνου νερού από την επιφάνεια του ταμιευτήρα, ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία και οι συγκεντρώσεις οξυγόνου σε κατώτερα στρώματα.

- Η ανάμειξη του ανέμου στο ανώτερο στρώμα παίζει σημαντικό ρόλο στη δυναμική των θρεπτικών συστατικών των ανώτερων στρωμάτων νερού. Η παρουσία των πάνελ μπορεί να εμποδίσει αυτή τη διαδικασία.

### 2.5.1.3. Βιοποικιλότητα

Η κατάλληλη επιλογή τοποθεσίας χωροθέτησης ΠΦΒ μονάδων είναι κρίσιμη για την αποφυγή και την ελαχιστοποίηση των πιθανών δυσμενών επιπτώσεων στη βιοποικιλότητα. Σε ευαίσθητες περιοχές, θα πρέπει να γίνονται έρευνες βασικής βιοποικιλότητας ώστε να ληφθούν υπόψη ζητήματα που αφορούν συγκεκριμένα είδη χλωρίδας και πανίδας με ιδιαίτερο διεθνές ή εθνικό καθεστώς διατήρησης, ενδημικά είδη και είδη που βρίσκονται σε αυξημένα επίπεδα κινδύνου ή/και εποχιακά θέματα π.χ. μεταναστευτική περίοδος των πουλιών, περίοδος αναπαραγωγής, χειμερινή περίοδος.

Η βασικότερη επίδραση στην υδρόβια χλωρίδα και πανίδα θα μπορούσε να συμβεί εξαιτίας της σκίασης των ΠΦΒ μονάδων, επηρεάζοντας τις διεργασίες φωτοσύνθεσης, μειώνοντας την επιφανειακή παραγωγή φυτοπλαγκτού, αλλοιώνοντας τη συνάθροιση της χλωρίδας και πανίδας και επηρεάζοντας τη συμπεριφορά των ζώων. Οι πιθανές επιπτώσεις στην παραγωγή φυτοπλαγκτού έρχονται σε σύγκρουση με ένα ευρέως συζητούμενο όφελος, που είναι ότι οι ΠΦΒ εγκαταστάσεις μειώνουν το σχηματισμό αλγών. Η μείωση των αλγών μπορεί να είναι όφελος για τις δεξαμενές/λίμνες που παρουσιάζουν ευτροφισμό, δε μπορεί όμως να αποτελούν όφελος για μια δεξαμενή/λίμνη που υποστηρίζει ένα φυσικό οικοσύστημα. Επομένως, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι επιπτώσεις κατά περίπτωση. Επιπλέον ο βιότοπος που δημιουργείται από μια ΠΦΒ εγκατάσταση είναι διαφορετικός από έναν φυσικό βιότοπο, στο ότι στερείται δομικής πολυπλοκότητας, στην οποία τα θηράματα ειδών βασίζονται για την κάλυψή τους με αποτέλεσμα την αύξηση των ποσοστών επιτυχίας των αρπακτικών.

Διαταραχές του οικοσυστήματος προκαλούνται από την τοποθέτηση ή την κίνηση υποβρύχιων ηλεκτρικών καλωδίων ή την εγκατάσταση αγκυρώσεων πρόσδεσης της πλωτής πλατφόρμας στον πυθμένα έχοντας άμεσες, μικρότερης έκτασης, επιπτώσεις λόγω αυξημένης θολότητας, σε ενδιαιτήματα και είδη. Επιπλέον τοπικές επιδράσεις υπάρχουν και λόγω του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που εκπέμπεται πλησίον των καλωδίων, το οποίο όμως μειώνεται με την απόσταση από αυτό.

Ορισμένοι τύποι πλωτήρων περιλαμβάνουν ανοιχτές περιοχές στη μέση όπου δεν καλύπτονται από φ/β πάνελ. Τα κενά αυτά δημιουργούν στάσιμα νερά, που μπορούν να γίνουν πρόσφορο έδαφος για σκνίπες και κουνούπια. Οι περιοχές αυτές σε συνδυασμό με φύκια που αναπτύσσονται εκεί μπορεί να ευνοήσουν τον πολλαπλασιασμό των εντόμων.

Όσον αφορά στα πουλιά που τρέφονται κυνηγώντας ψάρια, οι ΠΦΒ λειτουργούν δυσκολεύοντας τον εντοπισμό τους, ενώ σπανιότερα μπορεί να προκληθεί τραυματισμός από τη σύγκρουσή τους με ηλιακούς συλλέκτες.

## 2.6. Οικονομική αξιολόγηση

Η εμφάνιση του συστήματος ΠΦΒ προήλθε κυρίως από την έλλειψη διαθέσιμων χερσαίων εκτάσεων και τις απώλειες στην απόδοση των χερσαίων φ/β σε υψηλές θερμοκρασίες. Στα προηγούμενα κεφάλαια, τονίστηκε ότι τα ΠΦΒ έχουν δυνατότητες για παραγωγή ενέργειας με μεγαλύτερη απόδοση ενώ από την άλλη, η πλωτή πλατφόρμα εγκατάστασης και πρόσδεσης αποτελεί σημαντικό κόστος των ΠΦΒ εγκαταστάσεων, γεγονός που τις καθιστά ακριβές.

Προκειμένου να μπορέσει να αξιολογηθεί η νέα αυτή, ανανεώσιμη τεχνολογία των ΠΦΒ ως μια βιώσιμη ενεργειακή λύση για την παραγωγή ηλιακής ενέργειας στο μέλλον, απαιτείται μια πλήρης οικονομική ανάλυση.

### 2.6.1. Κεφαλαιουχικές δαπάνες

Ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της τοποθεσίας κάθε ΠΦΒ εγκατάστασης, ο τύπος της πλωτής κατασκευής και ο τρόπος αγκύρωσής της ποικίλλουν, γεγονός που επηρεάζει τελικά το συνολικό κόστος του συστήματος. Τα βασικά στοιχεία κόστους ενός ΠΦΒ συστήματος, μπορούν να διαχωριστούν σε κόστος μελέτης (soft cost) και κόστος κατασκευής (hard cost), τα οποία περιλαμβάνουν:

- Μελέτη της εγκατάστασης: Χρειάζεται λεπτομερής υδροδυναμική ανάλυση των κυματισμών, βαθυμετρική έρευνα, καθώς και μελέτη των διακυμάνσεων της στάθμης του υδάτινου αποδέκτη. Συνήθως απαραίτητη είναι και γεωτεχνική μελέτη για την αξιολόγηση των συνθηκών του εδάφους στον πυθμένα, όπου θα αγκυρωθούν οι εγκαταστάσεις. Αυτές οι μελέτες προσθέτουν κόστος σε σύγκριση με τα χερσαία φ/β συστήματα.

Στο softcost περιλαμβάνονται και τα έξοδα για την αδειοδότηση, την επιθεώρηση για τη διασύνδεση, φόρους επί των πωλήσεων, έξοδα διασύνδεσης, ενδεχόμενα γενικά έξοδα προγραμματισμού, μηχανικών, και κέρδη εμπλεκόμενων. Τα κόστη διασύνδεσης εξαρτώνται από την απόσταση της εγκατάστασης από το δίκτυο και μπορεί να είναι αυξημένα για μεγάλες αποστάσεις.

- Κατασκευαστικό κόστος – Hard Cost: Προκύπτει από το κόστος των πάνελ, των inverter, της πλατφόρμας τοποθέτησης των πάνελ, το κόστος αγκύρωσης – πρόσδεσης, το κόστος της υπόλοιπης υποδομής (BOS) δηλ. καλώδια, δίκτυα, συσκευές.

Ο αριθμός των πλωτήρων και το πλήθος των αγκυρώσεων και των προσδέσεων που θα προκύψουν από τη μελέτη, έχει να κάνει κυρίως με το φορτίο του ανέμου αλλά και φορτία χιονιού, ώστε σε κάθε περίπτωση η πλωτή πλατφόρμα να είναι σταθερή, επαρκής σε όλες τις φορτίσεις και στιβαρή. Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός θα πρέπει να είναι υψηλής προστασίας IP (Ingress Protection) έναντι του νερού.

Σε αντίθεση με τα χερσαία συστήματα, το κόστος προετοιμασίας του χώρου εγκατάστασης είναι περιορισμένο και αφορά στην πιθανή εγκατάσταση χερσαίων εξαρτημάτων όπως inverter και αγκυρώσεις με πασσάλους.

Σύμφωνα με έρευνα από το εργαστήριο NREL National Renewable Energy Laboratory, 2021 σχετικά με συγκριτική ανάλυση κόστους για μια ΠΦΒ 10MW σε τεχνητή λίμνη της Αμερικής (λαμβάνοντας υπόψη μέσους όρους φυσικών φορτίσεων ανέμου, χιονιού, μέσο βάθος και διακυμάνσεις της στάθμης του ταμιευτήρα) σε σχέση με όμοια χερσαία φ/β εγκατάσταση, προέκυψαν υψηλότερα κόστη στην ΠΦΒ εγκατάσταση σχετιζόμενα με το κόστος των πλωτήρων και των συστημάτων αγκύρωσης και πρόσδεσης ενώ υψηλότερο παραμένει και το κόστος διερεύνησης της περιοχής εγκατάστασης, του σχεδιασμού και της μελέτης μιας τέτοιας φωτοβολταϊκής μονάδας. Η ΠΦΒ εγκατάσταση έχει ένα υψηλότερο κόστος εγκατάστασης (1,29%\$ έναντι 1,03\$/W) της τάξης του 25% μεγαλύτερο από ότι το κόστος ανά W χερσαίας φ/β εγκατάστασης, η οποία οφείλεται κυρίως στο υψηλότερο κατασκευαστικό κόστος (σχεδόν 300%). Η πλωτή εγκατάσταση έχει επιπλέον ένα υψηλότερο κόστος απρόβλεπτων, καθώς και ένα επιπλέον κόστος παραλαβής και αποστολής των υλικών λόγω της νέας τεχνολογίας.

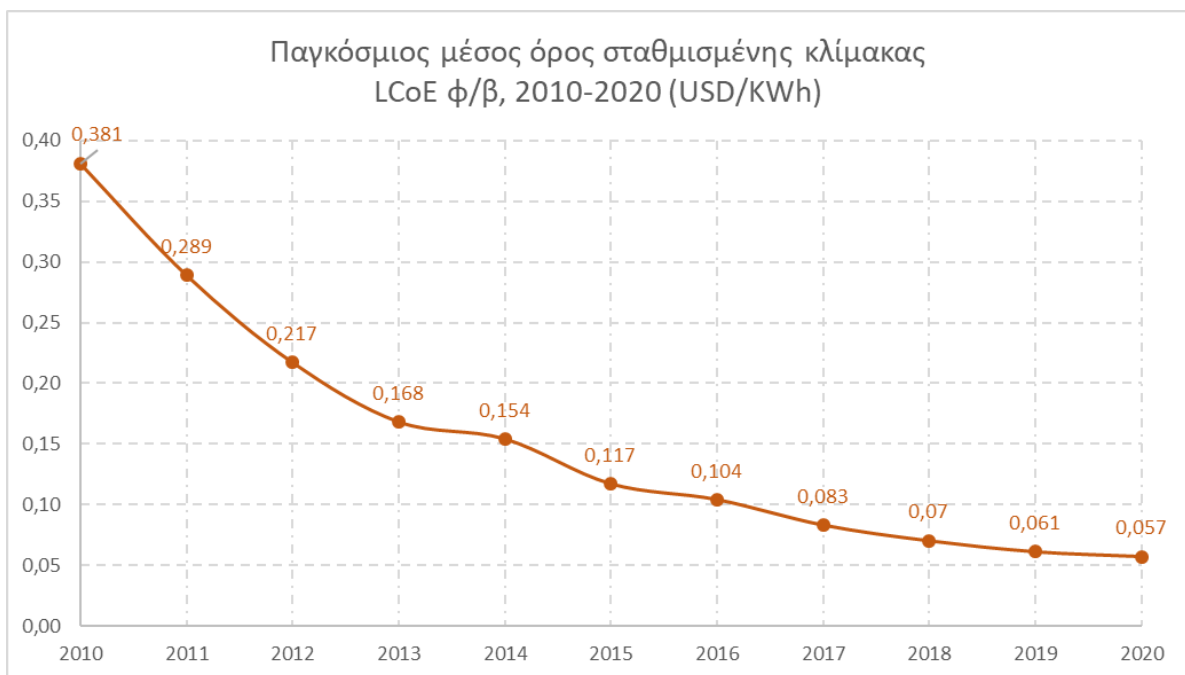
Όσον αφορά στη σύγκριση του κόστους για διάφορα μεγέθη ΠΦΒ εγκαταστάσεων, από την έρευνα του NREL, παρατηρείται η μείωση του συνολικού κόστους καθώς αυξάνεται το μέγεθος μιας εγκατάστασης, λόγω των οικονομιών κλίμακας που αναπτύσσονται στα κατασκευαστικά κόστη τα οποία συμμετέχουν κατά 25-30% στο συνολικό κόστος εγκατάστασης. Σχεδόν το 75-80% του κατασκευαστικού κόστους αποδίδεται στην πλωτή πλατφόρμα, το οποίο όμως μπορεί να μειωθεί για μεγάλες εγκαταστάσεις.

Αν και η τεχνολογία ΠΦΒ είναι δαπανηρή στις μέρες μας, εντούτοις τα ηλιακά φ/β προσφέρουν ξεκάθαρη εικόνα, του πως η ανάπτυξη της τεχνολογίας μπορεί να μειώσει τα κόστη και να βελτιώσει την απόδοση,



ταυτόχρονα με την επίδραση των οικονομικών κλίμακας, τη μάθηση από την εμπειρία και τη βελτίωση των διαδικασιών κατασκευής στη βιομηχανία. Το LCoE των φ/β έπεσε πάνω από 85% μεταξύ του 2010 και 2020 (από 0,381\$/kWh το 2010 σε 0,057\$/kWh το 2020 όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα 8, καθώς η συνολική εγκατεστημένη ισχύς από 40GW αυξήθηκε σε 710GW. (“Renewable Power Generation Costs in 2020”, IRENA 2021:33).

Το κόστος εγκατάστασης των φ/β στην Ελλάδα κυμαίνεται επίσης σε αυτές τις τιμές, παρουσιάζοντας πτώση κατά 85% την τελευταία δεκαετία (“Renewable Technology Innovation Indicators: Mapping progress in costs, patents and standards”, IRENA 2022: 26). Σύμφωνα με την Έκθεση για την Ελληνική αγορά Ενέργειας του 2021 από την ΗΑΕΕ (καφάλαιο 6:122,123), σε πέντε δημοπρασίες που πραγματοποιήθηκαν την περίοδο 2018-2020, για έργα ΑΠΕ ανά τεχνολογία από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), η σταθμισμένη τιμή των φωτοβολταϊκών ( $\leq 20\text{MW}$ ) φαίνεται να μειώνεται σταθερά, από 63,81€/MWh τον Ιούλιο 2018 σε 49,81 €/MWh τον Ιούλιο του 2020. Σε τρεις κοινές δημοπρασίες (ουδέτερη τεχνολογία) που έχουν διεξαχθεί τα έτη 2019, 202, 2021 οι τιμές αναφοράς κυμαίνονταν από 32,97€/MWh έως 51,2€/MWh.



**Διάγραμμα 8.** Παγκόσμιος μέσος όρος σταθμισμένης κλίμακας LCOE φ/β, 2010-2020 (USD/KWh). Πηγή: *Renewable Power Generation Costs in 2020*. IRENA (2021):33

Σε αντίθεση όμως με τις χερσαίες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, δεν υπάρχουν αρκετές ΠΦΒ εγκαταστάσεις για να δημιουργήσουν την καμπύλη μάθησης και να γίνει μια ακριβής ανάλυση των εξόδων συντήρησης και λειτουργίας (Kumar et al, 2021:35). Η βασική μέτρηση της καμπύλης είναι ο

δείκτης μάθησης, ο οποίος είναι το ποσοστό μείωσης κόστους για κάθε διπλασιασμό εγκατεστημένου ισχύος.

### **2.6.2. Οικονομικά οφέλη και προνόμια**

Τα οικονομικά οφέλη των ΠΦΒ εγκαταστάσεων προκύπτουν από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που μεταφέρεται στο δίκτυο ή αυτοκαταναλώνεται. Το ύψος τους οικονομικού οφέλους εξαρτάται από την ενεργειακή απόδοση και τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας που διαφέρουν από χώρα σε χώρα, καθώς εξαρτώνται από αρκετούς παράγοντες όπως η γεωπολιτική κατάσταση, το εθνικό πρωτογενές μίγμα ενέργειας, το κόστος δικτύου κλπ. Οι Sara & Jasper (2019) μετά από έρευνα τριών εγκαταστάσεων σε διαφορετικές περιοχές (Ισπανία, Βρετανία, Βραζιλία) κατέληξαν ότι η περίοδος απόσβεσης μιας ΠΦΒ εγκατάστασης είναι γενικά 6-8 χρόνια.

Οικονομικά οφέλη προκύπτουν και από την εξοικονόμηση του κόστους αγοράς δικαιωμάτων εκπομπής ρύπων, στο πλαίσιο του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΣΕΔΕ) αέριων ρύπων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, των οποίων το κόστος διαρκώς αυξάνει, καθώς αν επρόκειτο να παραχθεί η ίδια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, θα είχε οδηγήσει σε ορισμένες εκπομπές CO<sub>2</sub> και άλλων αερίων του θερμοκηπίου. Το ΣΕΔΕ θεσπίστηκε το 2005 με στόχο να ενθαρρυνθεί η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της πολιτικής της ΕΕ για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής καθώς και το βασικό της εργαλείο για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με οικονομικά αποδοτικό και αποτελεσματικό τρόπο. Το ΣΕΔΕ, υποχρεώνει περισσότερες από 11.000 μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ και εργοστάσια, να εκδίδουν άδεια για κάθε τόνο διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπουν, θέτοντας έτσι ανώτατο όριο στις ποσότητες CO<sub>2</sub> (ypen.gov.gr “ΣΕΔΕ”). Αυτό από μόνο του αποτελεί οικονομικό κίνητρο για να μολύνουν λιγότερο, αφού όσο λιγότερη ρύπανση προκαλεί μια βιομηχανία τόσο λιγότερα πληρώνει. Ο συνολικός όγκος των επιτρεπόμενων εκπομπών διανέμεται σε εταιρίες με τη μορφή δωρεάν κατανομής δικαιωμάτων εκπομπών CO<sub>2</sub>, τα οποία μπορούν να αποτελέσουν και αντικείμενο συναλλαγής, καθώς οι άδειες αγοράζονται μέσω δημοπρασίας και η τιμή επηρεάζεται από τη ζήτηση και την προσφορά.

Οι ΠΦΒ εγκαταστάσεις έχουν επίσης τα πλεονεκτήματα της διατήρησης της γης για γεωργική καλλιέργεια και τους μειωμένους ρυθμούς εξάτμισης του νερού εξαιτίας του ότι το ηλιακό φως δεν μπορεί να φτάσει στην επιφάνεια του νερού ενώ ταυτόχρονα παρεμποδίζεται η ροή του ανέμου στην επιφάνεια. Πρόσφατη μελέτη που παρουσιάστηκε στο 11ο Διεθνές Συνέδριο ΑΠΕ (IREC) από τον Scavo κ.α. (2020) αναφέρει ότι για κάλυψη ενός υδάτινου σώματος κατά 10% με ΠΦΒ η μείωση της εξάτμισης του νερού

κυμαίνεται μεταξύ 7 και 19%. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι σε χώρες με χαμηλά υδατικά αποθέματα, ο ρόλος των ΠΦΒ μπορεί είναι κρίσιμος τόσο στην εξοικονόμηση πολύτιμων υδάτινων ποσοτήτων όσο προς χρήση όσο και σε οικονομική αξία.

### **2.6.3. Λειτουργία και Συντήρηση**

Ο υπολογισμός του κόστους λειτουργίας και συντήρησης (Λ&Σ) ενός ΠΦΒ συστήματος δεν είναι εύκολος, αφού πρόκειται για μια νέα και περιορισμένη τεχνολογία ΑΠΕ. Είναι προφανές πως τα στοιχεία από τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις είναι λίγα, καθώς ακόμα και η πρώτη εγκατάσταση της Ιαπωνίας το 2007 δεν έχει συμπληρώσει τα 20 χρόνια λειτουργίας της. Γενικά, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος προκύπτει από το κόστος ενοικίασης του χώρου εγκατάστασης, την ασφάλιση, τη συντήρηση και τον προγραμματισμό καθαρισμού των φωτοβολταϊκών μονάδων, καθώς και το κόστος αντικατάστασης του inverter. Η εμπειρία δείχνει ότι οι μετατροπείς - inverter έχουν ένα μέσο χρόνο μεταξύ αστοχιών, 1–16 ετών και οι κατασκευαστές τους δίνουν συνήθως εγγυήσεις για διάστημα 5-12 ετών. Επομένως, σε διάρκεια ζωής 20 ετών, το κόστος αντικατάστασης των μετατροπέων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τουλάχιστον μία φορά κατά τη διάρκεια ζωής του ΠΦΒ συστήματος. Όσον αφορά στο κόστος της μίσθωσης ενός υδατικού συστήματος αυτό θεωρείται ότι είναι φθηνότερο από το κόστος εκμίσθωσης γης, δεδομένου ότι το υδατικό σώμα δεν είναι ανταγωνιστικό με τη γεωργία ή την ανάπτυξη ακινήτων.

Εξαιρώντας το κόστος ενοικίασης της γης, το κόστος Λ&Σ μπορεί να θεωρηθεί ότι δε διαφέρει αρκετά μεταξύ των πλωτών και των συμβατικών χερσαίων φ/β εγκαταστάσεων. Σύμφωνα με τον IRENA ("Renewable Power Generation Costs", 2020:81), το μέσο κόστος Λ&Σ των φ/β εγκαταστάσεων στην Ευρώπη καταγράφεται σε 10\$/kW/έτος, με ιστορικά δεδομένα της Γερμανίας τα οποία μαρτυρούν ότι τα κόστη Λ&Σ έχουν πέσει κατά 85% μεταξύ 2005 και 2017, με ρυθμό 9\$/kW/έτος. Από αυτά τα αποτελέσματα προκύπτει μια μείωση μεταξύ 15,7% και 18,2% με κάθε διπλασιασμό της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος φ/β. Επομένως, μια παρόμοια τάση αναμένεται να επικρατήσει και με την ένταξη περισσότερων ΠΦΒ μονάδων σε λειτουργία.

Παρόλο που η χρήση σκαφών ή σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και δυτών, ενδέχεται να αυξήσει το κόστος Λ&Σ σε ορισμένες φάσεις των έργων ΠΦΒ, εντούτοις το κόστος αυτό είναι γενικά συγκρίσιμο με εκείνο των χερσαίων φ/β στη διάρκεια ζωής ενός έργου. Τοποθετώντας τα φωτοβολταϊκά πάνελ στο νερό αναμενόμενα επηρεάζονται λιγότερο από τη σκόνη που επικαθεται στην επιφάνειά τους, με αποτέλεσμα να απαιτείται πιο αραιής περιοδικότητας καθαρισμός τους, ενώ ταυτόχρονα το νερό είναι

άμεσα διαθέσιμο. Ωστόσο, έχουν αναφερθεί σε κάποιες εγκαταστάσεις, ανάγκες καθαρισμού των πάνελ από τα διαβρωτικά περιπτώματα των πτηνών, που μπορεί να επιδράσουν αρνητικά στην απόδοση του συστήματος, να απαιτήσουν τακτικούς και σχολαστικούς καθαρισμούς που θα αυξήσουν το κόστος Λ&Σ. Το φαινόμενο αυτό αναμένεται εντονότερο σε υδάτινα συστήματα όπου φωλιάζουν τα πτηνά.

Προκύπτει λοιπόν ότι το κόστος Λ&Σ, όμοια με το κόστος κεφαλαίου, ποικίλει εξαρτώμενο από το περιβάλλον της εγκατάστασης, την επενδυτική στρατηγική, και το εργατικό κόστος. Δεδομένου ότι η εμπειρία στον κλάδο των ΠΦΒ αναφορικά με το κόστος Λ&Σ κατά τη διάρκεια ζωής ενός έργου είναι ελάχιστη, οι υποθέσεις που γίνονται μπορεί να θεωρηθούν υπερβολικά συντηρητικές. Ακόμα και στα χερσαία φ/β οι εκτιμήσεις του κόστους Λ&Σ διαφέρει σημαντικά από χώρα σε χώρα.

#### 2.6.4. Οικονομικοί Δείκτες

Οι οικονομικοί δείκτες είναι ευαίσθητοι στις παραμέτρους εισόδου, οι οποίες μπορεί να διαφέρουν από περίπτωση σε περίπτωση. Οι ευρέως χρησιμοποιούμενοι δείκτες για την αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας μιας επένδυσης είναι η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV), το Εσωτερικό ποσοστό απόδοσης (IRR) και το Σταθμισμένο κόστος ενέργειας (LCoE). Κάθε δείκτης έχει τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς του, και έχει καθιερωθεί η χρήση του LCoE.

- Η Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Value - **NPV**) εκφράζει τη συνεισφορά της επένδυσης στην αξία της επιχείρησης:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t}$$

Όπου:

$CF_t$  : είναι η ετήσια πρόσθετη ταμειακή ροή μετά φόρων για το έτος  $t$  (θετική ή αρνητική)

$k$ : είναι η απαιτούμενη απόδοση από την επιχείρηση (απόδοση που προσφέρουν επενδύσεις αντίστοιχου κινδύνου) ή κόστος κεφαλαίου (κόστος άντλησης κεφαλαίων)

Με άλλα λόγια ο δείκτης αυτός υπολογίζει την καθαρή παρούσα αξία μιας επένδυσης με βάση ένα προεξοφλητικό επιτόκιο και μια σειρά μελλοντικών πληρωμών (αρνητικές τιμές) και εισοδημάτων (θετικές τιμές).

Ορισμένες μελέτες χρησιμοποιούν επίσης το μέσο σταθμικό κόστος κεφαλαίου (WACC) αντί του προεξοφλητικού επιτοκίου. Το WACC είναι ο σταθμικός μέσος όρος του κόστους κεφαλαίου των διάφορων/εναλλακτικών πηγών χρηματοδότησης (δανειακά κεφάλαια, προνομιούχες μετοχές, κοινές μετοχές και παρακρατηθέντα κέρδη) που χρησιμοποιεί η επιχείρηση, με σταθμίσεις ίσες με τα ποσοστά συμμετοχής κάθε πηγής στην κεφαλαιακή διάρθρωση της επιχείρησης. Προκειμένου λοιπόν η επένδυση να είναι βιώσιμη, το προεξοφλητικό επιτόκιο θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με το WACC.

Μια θετική τιμή της NPV είναι σημάδι καλής επένδυσης και ένα πιο θετικό NPV υποδηλώνει περισσότερα κέρδη. Ωστόσο, η απόλυτη τιμή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το προεξοφλητικό επιτόκιο.

- Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return - **IRR**) είναι ένας δείκτης ο οποίος μετρά την απόδοση μιας μακροχρόνιας επένδυσης, εξισώνοντας την παρούσα αξία των μελλοντικών ταμειακών ροών πλέον της τελικής αγοραίας αξίας, με την τρέχουσα αγοραία αξία της επένδυσης.

Το IRR για μια επένδυση είναι το επιτόκιο που καθορίζει το NPV των ταμειακών ροών ίσο με μηδέν. Εάν ένα έργο αναμένεται να έχει IRR μεγαλύτερο από το επιτόκιο που χρησιμοποιείται για την προεξόφληση των ταμειακών ροών, τότε το έργο προσθέτει αξία στην επιχείρηση. Εάν το IRR είναι μικρότερο από το προεξοφλητικό επιτόκιο, καταστρέφει την αξία.

- Το Σταθμισμένο Κόστος Ενέργειας (**LCoE**) είναι ένας δείκτης της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα έργο, όπου τα έσοδα θα ισοδυναμούσαν με το κόστος, συμπεριλαμβανομένης μιας απόδοσης του επενδυμένου κεφαλαίου ίσης με το προεξοφλητικό επιτόκιο. Για τον υπολογισμό του απλού LCoE ακολουθείται συχνά η ίδια προσέγγιση με τον IRENA ("Renewable Power Generation Costs", 2020:23) όπου δε λαμβάνονται υπόψη φόροι, επιδοτήσεις ή άλλα κίνητρα, καθώς και το κόστος παροπλισμού (στο τέλος του κύκλου ζωής του έργου).

Η προσέγγιση του LCoE προσφέρει μια αρχική εκτίμηση για την βιωσιμότητα ενός ενεργειακού έργου και συχνά χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της εκτιμώμενης κερδοφορίας μιας ενεργειακής επένδυσης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και την αξιολόγηση εναλλακτικών επενδυτικών σχεδίων δεδομένου ότι το αποτέλεσμα εκφράζεται πάντα στην ίδια μονάδα (π.χ. €/MWh). Επιπλέον το LCoE μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως ένδειξη του ελάχιστου κόστους με το οποίο πρέπει να πωλείται η ηλεκτρική ενέργεια, ώστε το σύστημα να είναι ομαλά βιώσιμο.

Το LCoE υπολογίζεται ως ο λόγος του συνολικού κόστους στον κύκλο ζωής, προς τη συνολική παραγωγή ενέργειας του συστήματος και συγκεκριμένα, σύμφωνα με την έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (“Final Report Cost of Energy”, 2020: 6), από τη σχέση:

$$LCoE = \frac{\text{Total lifetime cost}}{\text{Total lifetime energy production}} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I+FO\&M_t+VO\&M_t+F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

*I: Investment cost.* - Κόστος Επένδυσης (για την υλοποίησή της)

*FO&M<sub>t</sub>: Fixed Operation and Maintenance costs in the year t.* - Σταθερό ετήσιο κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης το έτος t

*VO&M<sub>t</sub>: Variable Operation and Maintenance costs excluding fuel costs in the year t.*  
- Μεταβλητό κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης έχοντας αφαιρέσει το κόστος καυσίμων κατά το έτος t

*F<sub>t</sub>: Fuel costs in the year t.* - Κόστος καυσίμων κατά το έτος t

*E<sub>t</sub>: Energy production in the year t.* - Παραγωγή ενέργειας κατά το έτος t

*r: discount rate.* - Επιτόκιο προεξόφλησης

*n: Expected asset lifetime.* - Αναμενόμενος χρόνος ζωής της επένδυσης

Το LCoE αποτελεί ένα εργαλείο το οποίο αναπτύχθηκε σε περίοδο που οι αγορές ήταν ρυθμιζόμενες, αποτελώντας έτσι ένα στατικό δείκτη που δε λαμβάνει υπόψη του την αλληλεπίδραση της αγοράς. Καθώς οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας αποκλίνουν από αυτήν την προέλευση, το LCoE θα πρέπει να συνοδεύεται και από άλλους χρηματοοικονομικούς δείκτες για τις επενδυτικές αποφάσεις καθώς δε λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά παραγωγής ενέργειας μιας τεχνολογίας, που μπορεί να σημαίνει ότι η αξία της είναι υψηλότερη ή χαμηλότερη από τη μέση τιμή που μπορεί να λάβει στην αγορά. Επιπλέον το LCoE δε λαμβάνει υπόψη άλλες πιθανές πηγές εσόδων ή κόστους, όπως για παράδειγμα, η υβριδική λειτουργία μιας τεχνολογίας συνδυασμένης με την υδροηλεκτρική τεχνολογία. Παρ' όλα αυτά παραμένει ένα διαφανές μέτρο σύγκρισης του κόστους παραγωγής των διαφορετικών τεχνολογιών

παραγωγής ενέργειας στη μοντελοποίηση και χάραξη στρατηγικής και σχεδιασμού των εργαλείων υποστήριξης και ενισχύσεων λειτουργίας μιας τεχνολογίας.

Σύμφωνα με έκθεση του Αμερικανικού Εθνικού Εργαστηρίου Ανανεώσιμης Ενέργειας NREL (“Floating Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2021 Installations on Artificial Water Bodies”, 2021:13), για ΠΦΒ συστήματα το LCoE είναι περίπου 57\$/MWh χωρίς φορολογικό κίνητρο επένδυσης, ενώ για συμβατικά χερσαία φωτοβολταϊκά συστήματα το LCoE είναι περίπου 47\$/MWh. Παρά την αυξημένη ενεργειακή απόδοση λόγω των επιδράσεων της υδάτινης ψύξης των ΠΦΒ συστημάτων, και των χαμηλότερων παραδοχών Λ&Σ που έχουν υποτεθεί στην έρευνα, το LCoE των ΠΦΒ εξακολουθεί να είναι 20% υψηλότερο, σε σύγκριση με το LCoE των συστημάτων συμβατικής τοποθέτησης.

Σύμφωνα με έκθεση του Ινστιτούτου Έρευνας Ηλιακής Ενέργειας της Σιγκαπούρης (“Where Sun Meets Water - Floating Solar Market Report”, 2019:103) εξετάστηκαν δύο σενάρια υπολογισμού του LCoE, συγκρίνοντας την ενεργειακή απόδοση των ΠΦΒ έναντι των χερσαίων φ/β συστημάτων, καθώς σε θερμότερα κλίματα το κέρδος των ΠΦΒ είναι μεγαλύτερο από ότι σε εύκρατα κλίματα, λόγω της επίδρασης της ψύξης του υδάτινου περιβάλλοντος. Έτσι εξετάστηκε η περίπτωση ενεργειακού κέρδους, των ΠΦΒ έναντι των χερσαίων φ/β, της τάξης του +10% σε περιοχές με θερμά κλίματα και αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία (>1600kWh/m<sup>2</sup>/έτος), και η περίπτωση ψυχρότερων περιοχών με χαμηλότερη ηλιακή ακτινοβολία (<1600kWh/m<sup>2</sup>/έτος) όπου για τα ΠΦΒ η μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση είναι της τάξης του +5% έναντι των χερσαίων. Στο συντηρητικό σενάριο (+5% της απόδοσης), το LCoE ενός ΠΦΒ συστήματος είναι μεταξύ 8 και 9% υψηλότερο από το LCoE ενός συμβατικού χερσαίου φ/β συστήματος, ενώ στο αισιόδοξο σενάριο (+10% της απόδοσης), το LCoE του ΠΦΒ είναι μόνο 3-4% υψηλότερο από το LCoE του χερσαίου φ/β. Αυτή η διαφορά είναι πιθανό να μειωθεί, να μηδενιστεί ή ακόμα και να αντιστραφεί καθώς οι ΠΦΒ εγκαταστάσεις θα αυξάνονται και αναμένονται μειώσεις του κόστους τους.

Ο επενδυτικός οίκος Lazard στην τελευταία ετήσια ανάλυση Σταθμισμένου κόστους ενέργειας (Lazard's LCOE Analysis 15.0, Οκτ.2021) δείχνει τη συνεχιζόμενη ανταγωνιστικότητα του κόστους παραγωγής ορισμένων τεχνολογιών ΑΠΕ σε επιδοτούμενη βάση, με το μέσο κόστος παραγωγής από άνθρακα, πυρηνικά και φυσικό αέριο. Το κόστος των τεχνολογιών ΑΠΕ συνεχίζει να μειώνεται παγκοσμίως, αν και με βραδύ ρυθμό, αντανακλώντας μειώσεις στο κόστος κεφαλαίου, και αυξημένο ανταγωνισμό καθώς ο κλάδος συνεχίζει να ωριμάζει και να βελτιώνεται συνεχώς σε κλίμακα και τεχνολογία.

Για την παράκαμψη της αβεβαιότητας στην εκτίμηση των διαφορετικών οικονομικών δεικτών λόγω της διακύμανσης της απόδοσης των ΠΦΒ, του βαθμού υποβάθμισης (degradation), των τιμών ηλεκτρικής

ενέργειας και του προεξοφλητικού επιτοκίου, υπάρχει ανάγκη για εκτέλεση ανάλυσης ευαισθησίας. Η ανάλυση ευαισθησίας θα δώσει ένα ευρύ φάσμα στο οποίο οι οικονομικοί δείκτες ενδέχεται να ποικίλλουν υπό πραγματικές συνθήκες.

### **2.6.5. Ανάλυση Ευαισθησίας**

Η ανάλυση ευαισθησίας είναι μια τεχνική που μελετά τον αντίκτυπο που έχουν οι παραλλαγές των υποθέσεων, οι οποίες επηρεάζουν την εξαρτημένη μεταβλητή ενός χρηματοοικονομικού μοντέλου.

Σύμφωνα με τους Vartiainen, Masson & Breyer (2015), εκτός από την τοποθεσία εγκατάστασης μιας φ/β μονάδας και το κόστος κεφαλαίου, οι επόμενες πιο σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν το LCoE στις φ/β μονάδες είναι το συνολικό κόστος εγκατάστασης, και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Άλλες παράμετροι ευαισθησίας είναι η ανάπτυξη της αγοράς και η καμπύλη μάθησης, ενώ η διάρκεια ζωής της μονάδας, ο βαθμός απόδοσης των φ/β πάνελ και ο βαθμός υποβάθμισης-degradation έχουν μικρότερη επίδραση στο LCoE.

### **2.6.6. Κυβερνητική πολιτική επιδότησης**

Η τεχνολογία των ΠΦΒ εγκαταστάσεων δείχνει να έχει αρκετές προοπτικές για ανάπτυξη και μάλιστα ανταγωνιστική ως προς το κόστος, γεγονός που δε καθιστά απαραίτητη την οικονομική της υποστήριξη. Παρόλα αυτά, όπως συμβαίνει σε αντίστοιχες τεχνολογίες ΑΠΕ, τα αρχικά έργα ΠΦΒ θα απαιτήσουν κάποια μορφή υποστήριξης, είτε μέσω οικονομικών κινήτρων είτε μέσω κυβερνητικών πολιτικών, ώστε να ξεπεραστούν τα εμπόδια λόγω της περιορισμένης εμπειρίας του κλάδου, δεδομένου και του υψηλότερου κόστους σε σχέση με τα συμβατικά χερσαία φ/β.

Όσον αφορά στα οικονομικά κίνητρα, αυτά συνήθως έχουν να κάνουν με κάποιο σχήμα υποστήριξης των φ/β μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, διαμορφωμένο αποκλειστικά στο πλαίσιο ενός συστήματος αποζημίωσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με σταθερές εγγυημένες τιμές (Feed-in-Tariffs).

Οι κυβερνητικές πολιτικές που ευνοούν την ανάπτυξη τεχνολογιών ηλιακών τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν να κάνουν με τους φιλόδοξους στόχους ΑΠΕ κάθε χώρας. Η κατασκευή πιλοτικών ΠΦΒ μονάδων μπορεί να συμβάλει στην παρουσίαση - επίδειξη της νέας τεχνολογίας, προκειμένου αυτή να γίνει γνωστή στους επενδυτές αλλά και σε όλους τους εμπλεκόμενους που μπορεί να χρησιμοποιούν ή να έχουν συμφέροντα από τους υδάτινους αποδέκτες εγκατάστασής τους.



Επιπλέον η έκδοση διαγωνισμών και δημοπρασιών μπορεί να αποτελέσουν ένα είδος κρατικής παρέμβασης που θα συμβάλει στην ανάπτυξη νέων ΠΦΒ εγκαταστάσεων, ενώ ταυτόχρονα κίνητρα μπορούν να δοθούν ώστε να αναπτυχθεί μια εγχώρια βιομηχανία παραγωγής του εξοπλισμού των ΠΦΒ εγκαταστάσεων, μειώνονται το κόστος εισαγωγής τους από ασιατικές χώρες.

Η θέσπιση νομικού πλαισίου αναφορικά με ειδικούς κανονισμούς σχετικά με την αδειοδότηση τέτοιων εγκαταστάσεων είναι άλλο ένα κυβερνητικό μέτρο ενίσχυσης οποιασδήποτε μορφής τεχνολογίας ΑΠΕ. Όσον αφορά στα ΠΦΒ αρκετές ρυθμιστικές διαδικασίες μπορούν να βασιστούν σε αυτές που χρησιμοποιούνται στα συμβατικά χερσαία φ/β, αλλά χρειάζεται επιπλέον νομική ερμηνεία, σχετικά και με το καθεστώς που ισχύει για κάθε υδάτινο αποδέκτη (λίμνη, Υ/Η σταθμό κλπ).

Στην Ελλάδα από το 2016 (“Περιγραφή σχήματος λειτουργικής ενίσχυσης στους τομείς των ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ”, 2016:6) έχει υιοθετηθεί η μορφή της κυμαινόμενης προσαύξησης σε επίπεδο τεχνολογίας ΑΠΕ (sliding premium) και όχι της σταθερής προσαύξησης (fixed premium) ώστε να υπάρχει αποσυσχέτιση από μελλοντικές διαφοροποιήσεις στην εξέλιξη της τιμής, που θα καθορίζεται στη χονδρεμπορική αγορά, ώστε κάθε φορά να υπάρχει έλεγχος και προκαθορισμένο μέγεθος του συνολικού εσόδου που λαμβάνουν οι συγκεκριμένοι σταθμοί ΑΠΕ. Με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιούνται τόσο φαινόμενα υπεραποζημίωσης όσο και υπο-αποζημίωσης της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ.

# Κεφάλαιο 3

## Μεθοδολογία – Παραδοχές

Για την τεχνική αξιολόγηση της δυνατότητας ανάπτυξης των ΠΦΒ στην Ελλάδα και την Κύπρο, θα γίνει προσπάθεια εκτίμησης του δυνητικού ενεργειακού δυναμικού εγκαταστάσεων σε (MW), της παραγόμενης ενέργειας (GWh/έτος) και της υδάτινης έκτασης (km<sup>2</sup>) που θα πρέπει να καταληφθεί για να αναπτυχθούν αυτές. Μεταξύ των απαραίτητων δεδομένων για την εκτίμηση αυτή είναι η απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος, η τοπογραφία της περιοχής εγκατάστασης, οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί και οι απαγορεύσεις της περιοχής. Προκειμένου λοιπόν να αποφασιστεί ποιες μπορεί να είναι οι δυνητικές τοποθεσίες ανάπτυξης ΠΦΒ και ποιο θα είναι το όφελος από αυτές τις εγκαταστάσεις, στην περίπτωση της Ελλάδας και της Κύπρου, παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο αυτό μια τέτοια γεωχωρική προσέγγιση.

### 3.1. Αξιολόγηση υδάτινου συστήματος

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, η συνήθης τακτική τοποθέτησης των ΠΦΒ διεθνώς είναι με την ενσωμάτωσή τους σε τεχνητά υδάτινα συστήματα, είτε αυτά αφορούν σε τεχνητούς ταμιευτήρες για υδατοπαραγωγή ενέργειας, για αποθήκευση νερού άρδευσης και για τη γενικότερη διαχείριση υδάτων, είτε σε βιομηχανικές λίμνες, ορυχεία κλπ. Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν ακόμα σημαντικές αναφορές σχετικά με τις επιπτώσεις των ΠΦΒ σε φυσικές λίμνες (Santos-Borja,2021:2), επιλέγεται να εξεταστεί κατά βάση το σενάριο ανάπτυξης ΠΦΒ στις τεχνητές λίμνες της Ελλάδας και της Κύπρου. Στην παραπάνω προσέγγιση συνεκτιμάται το γεγονός ότι πρόκειται για μια νέα τεχνολογία, της οποίας τόσο οι επιπτώσεις στην ποιότητα των νερών και η επιρροή στον έμβιο κόσμο των φυσικών λιμνών, όσο και οι κοινωνικές επιπτώσεις, δεν έχουν πλήρως αποσαφηνιστεί ακόμα. Οι τεχνητές λίμνες, εκτός του ότι

αποτελούν μια συντηρητική εκτίμηση του συνολικού ΠΦΒ δυναμικού, είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμες περιοχές καθώς σε αυτές βρίσκονται ήδη εγκατεστημένες άλλες δραστηριότητες εκμετάλλευσης, με αναπτυγμένες υποδομές, δίκτυα, δρόμους – προσβάσεις. Από την άλλη οι φυσικές λίμνες προστατεύονται από το δίκτυο Natura2000, οπότε για την εγκατάσταση τέτοιων μονάδων σε αυτές, θα απαιτηθούν μελέτες οι οποίες θα πρέπει να προσεγγίσουν το θέμα βασισμένες σε τεκμηριωμένες υποθέσεις δεδομένων.

Στην Ελλάδα, κάποιες κλειστές λεκάνες – θαλάσσιοι κόλποι (π.χ. Αμβρακικός κόλπος, λιμνοθάλασσα Μεσολογίου - Αιτωλικού, Μαλιακός Κόλπος, τμήμα του Παγασητικού και του Κορινθιακού Κόλπου) θα μπορούσαν να φιλοξενήσουν τέτοιες εγκαταστάσεις, αφού προηγουμένως διερευνηθούν εκτενώς μετεωρολογικά στοιχεία, εντάσεις ανέμων, βαθυμετρία κλπ. Δεδομένου ότι οι περιοχές αυτές είναι θαλάσσια περιβάλλοντα, θα απαιτηθούν υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση λόγω της υψηλής αλατότητας, καθώς και στιβαρές κατασκευές που θα παρέχουν αξιόπιστη ευστάθεια έναντι εντονότερων κυματισμών και καιρικών φαινομένων. Τέτοιες διατάξεις θα αυξήσουν ακόμα περισσότερο το κατασκευαστικό κόστος, όπως και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, οπότε δεν εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία, αλλά είναι πιθανό να αποτελέσουν το επόμενο, χωρικά, δυναμικό δυναμικό ανάπτυξης της ΠΦΒ τεχνολογίας, όταν αυτή και οι οικονομίες κλίμακας θα έχουν αναπτυχθεί επαρκώς. Ταυτόχρονα οι νέες αυτές εγκαταστάσεις θα πρέπει να έχουν ενσωματωθεί από τις κοινωνίες, καθώς σε τέτοιες θαλάσσιες περιοχές αναμένονται εμπλοκές και με ψυχαγωγικούς, εμπορικούς σκοπούς (αλυκές, ιχθυοκαλλιέργειες, λιμάνια, ακτές κολύμβησης, ψάρεμα). Οι παράκτιες περιοχές της Κύπρου είναι εκτεθειμένες σε ανοιχτές θάλασσες, οπότε τέτοιες εγκαταστάσεις θα προσομοιάζουν με offshore ΠΦΒ τα οποία είναι ακόμα υπό διερεύνηση.

### **3.1.1. Κριτήρια επιλογής υδάτινου συστήματος**

Οι κανόνες ανάπτυξης των ΠΦΒ εγκαταστάσεων δε μπορεί να βασιστούν στη σύγκριση με τα κριτήρια επιλογής των περιοχών τοποθέτησης των χερσαίων φ/β. Η επιλογή των περιοχών εγκατάστασης στη συμβατική τεχνολογία φ/β γίνεται με βάση π.χ. γεωργικά κριτήρια παραγωγικότητας της γης, πιθανές ανάγκες εκχερσώσεων δασωμένων εκτάσεων, εδαφολογικά χαρακτηριστικά και κλίσεις του φυσικού εδάφους κλπ., τα οποία δεν είναι εφαρμόσιμα στα ΠΦΒ.

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια κριτήρια καταλληλότητας μιας τεχνητής λίμνης για εγκατάσταση ΠΦΒ, λαμβάνοντας υπόψη και το γεγονός ότι οι μεγαλύτερες τουλάχιστον τεχνητές λίμνες στην Ελλάδα έχουν κατασκευαστεί κυρίως για υδροηλεκτρική παραγωγή ενέργειας:

- Το ΠΦΒ σύστημα θα πρέπει να αναπτυχθεί κοντά στο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο ώστε να είναι εύκολη η διασύνδεση στον ίδιο υποσταθμό και η λειτουργία ως ένα υβριδικό σύστημα. Το μήκος και ο τύπος του εσωτερικού δικτύου διασύνδεσης θα πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να μην είναι απαγορευτικό λόγω περιβαλλοντικών, οικονομοτεχνικών, ή άλλων περιορισμών που σχετίζονται με τον ταμιευτήρα ή τη γύρω περιοχή.
- Το ΠΦΒ σύστημα δεν μπορεί να αναπτυχθεί σε ταμιευτήρες που μπορεί να είναι πολύ ρηχοί ή με έντονες διακυμάνσεις της στάθμης, που μπορεί να οδηγούν σε εποχιακή πλήρη αποξήρανση. Η απευθείας έδραση των ΠΦΒ πάνω στον πυθμένα τέτοιων ταμιευτήρων, μπορεί να προκαλέσει ζημιές στην πλωτή υποδομή και κατά συνέπεια στην παραγωγή ενέργειας.
- Αναμένεται να υπάρξει μια μέγιστη απόσταση από την ακτή που η λειτουργία, συντήρηση και το κόστος διασύνδεσης μπορεί να καταστούν ασύμφορα ή απαγορευτικά, χωρίς να υπάρχει σαφής καθορισμός αυτών των ορίων και των αποστάσεων ακόμα στη βιβλιογραφία.
- Είναι επιπλέον πιθανό να υπάρχει κάποιο βάθος πέρα από το οποίο το κόστος αγκύρωσης και πρόσδεσης να γίνεται απαγορευτικό.

### 3.1.2. Χωρικά Δεδομένα Λιμνών στην Ελλάδα

Για τη διερεύνηση των λιμνών στην Ελλάδα αναζητήθηκαν δεδομένα από τη διαδικτυακή πύλη [www.geodata.gov.gr](http://www.geodata.gov.gr), η οποία παρέχει γεωχωρικό χάρτη με όλες τις λίμνες της χώρας και πληροφορίες σχετικά με την έκταση της επιφάνειάς τους, το συνολικό μήκος της ακτογραμμής κλπ., όπως παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α.

Για συμπληρωματικές πληροφορίες αναφορικά με τις τεχνητές λίμνες της Ελλάδας, έγινε αναζήτηση και στο Global Reservoir and Dam Database (GRandD). Όμως αυτές οι βάσεις δεδομένων δεν περιέχουν στοιχεία, για τυχόν υφιστάμενες μονάδες Υ/Η Σταθμών, το υπάρχων δίκτυο μεταφοράς ενέργειας, τα φυσικά στοιχεία βαθυμετρίας του ταμιευτήρα ή πιθανό καθεστώς περιβαλλοντικής προστασίας (π.χ. δίκτυο Natura), καθώς και άλλου είδους τοπικούς περιορισμούς (π.χ. ψυχαγωγίας ή ακραίες καιρικές συνθήκες όπως είναι η κατάψυξη τους χειμερινούς μήνες). Έτσι έγινε προσπάθεια διερεύνησης κάθε ταμιευτήρα ώστε να εντοπιστούν τυχόν ιδιαιτερότητές του, προκειμένου να ληφθούν υπόψη, και να μπορεί να γίνει προσδιορισμός, των πολύ ρηχών περιοχών ή αυτών με έντονες χωρο-χρονικές εποχιακές διακυμάνσεις της στάθμης, ενώ δε λήφθηκαν υπόψη στοιχεία των υφισταμένων δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν αξία στον οικονομικό σχεδιασμό υβριδικών εγκαταστάσεων.

Όσον αφορά στο «περιβαλλοντικό καθεστώς προστασίας», έγινε έλεγχος σχετικά με το αν οι λίμνες (τεχνητές και φυσικές) ανήκουν στο δίκτυο Natura 2000 με χρήση του διαδικτυακού χάρτη προβολής του δικτύου: <https://natura2000.eea.europa.eu/>. Πρόκειται για ένα πανευρωπαϊκό δίκτυο, που αποσκοπεί στην προστασία των περιοχών που θεωρούνται βασικές για επιλεγμένα είδη χλωρίδας και πανίδας ή τύπους οικοτόπων, μεταξύ αυτών που καλύπτει η Ευρωπαϊκή οδηγία για τους οικοτόπους και η οδηγία για τα πτηνά (“Συχνές ερωτήσεις για το δίκτυο Natura 2000”). Οι περιοχές του δικτύου Natura 2000 της ΕΕ καλύπτουν πάνω από 1 εκατομμύριο km<sup>2</sup>, δηλαδή σχεδόν το 1/5 της έκτασης της Ευρώπης (18,36%), καθώς και ένα σημαντικό μέρος των θαλασσών που την περιβάλλουν. Το γεγονός αυτό καθιστά το δίκτυο Natura ένα από τα μεγαλύτερα συντονισμένα δίκτυα προστατευόμενων περιοχών σε ολόκληρο τον κόσμο. Η Οδηγία για την προστασία των άγριων πτηνών απαιτεί τη δημιουργία Ειδικών Ζωνών Προστασίας - ΕΖΠ (Special Protection Areas - SPA) της ορνιθοπανίδας. Όμοια η Οδηγία των Οικοτόπων απαιτεί τη δημιουργία Ειδικών Ζωνών Διατήρησης - ΕΖΔ (Special Areas of Conservation - SAC) για τα υπόλοιπα είδη και το περιβάλλον. Από κοινού αυτές οι ζώνες δημιουργούν τις περιοχές του δικτύου Natura 2000. Έγινε λοιπόν αναζήτηση του καθεστώτος προστασίας κάθε λίμνης χωριστά σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα.

Στη συνέχεια οι τεχνητοί ταμιευτήρες επανακατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με την κάλυψή τους από το δίκτυο Natura 2000 και τον κύριο σκοπό κατασκευής τους, στις ακόλουθες ομάδες: «Υδροηλεκτρική», «Υδρευση», «Άρδευση» (Πρακτικά 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου Μεγάλων Φραγμάτων - ΤΕΕ, 2008), ενώ οι φυσικές λίμνες κατατάχθηκαν αρχικά με φθίνουσα σειρά επιφάνειας κάλυψης. Επιπλέον έγινε έρευνα σχετικά με το μέγιστο βάθος και την οικολογική κατάσταση της κάθε φυσικής λίμνης, προκειμένου να επιλεγούν οι δυνητικά πιο κατάλληλες και μεγαλύτερες, που θα μπορούσαν να δεχτούν ΠΦΒ εγκαταστάσεις καλύπτοντας ένα μικρό ποσοστό της επιφάνειάς τους (σε σχέση με τους τεχνητούς ταμιευτήρες). Έτσι δεν εξετάστηκαν λίμνες που προσπαθούν να επανακάμψουν εξαιτίας τυχόν υποβάθμισής τους και βεβαρημένης οικολογικής κατάστασης, π.χ. λόγω προβλημάτων ευτροφισμού και μόλυνσης των υδάτων από χημικά υπολείμματα αγροτικών δράσεων και υπερβολική άρδευση. Επιπλέον δεν εξετάστηκαν οι ρηχότερες λίμνες με εκτεταμένες ζώνες με καλαμιώνες, καθώς και αυτές που είναι πιο επιρρεπείς σε εντονότερες μεταβολές της στάθμης τους.

### **3.1.3. Χωρικά Δεδομένα Λιμνών στην Κύπρο**

Για τη διερεύνηση των λιμνών της Κύπρου αναζητήθηκαν δεδομένα από τη διαδικτυακή πύλη <https://globaldamwatch.org/> που αποτελεί μια διεθνή βάση δεδομένων όλων των φραγμάτων και των ταμιευτήρων και συγκεκριμένα του γεωχωρικού χάρτη Global Reservoir and Dam Database (GRanD)

ν1.3. Σε αυτό το χάρτη περιλαμβάνονται 4 τεχνητές λίμνες της Κύπρου (Κούρης, Απρόκρεμμος, Ευρέτου, Γερμασόγεια) με πληροφορίες για την έκταση της επιφάνειά τους κλπ.

Δεδομένου ότι δε βρέθηκε στο διαδίκτυο, πιο πλήρης γεωχωρικός χάρτης των λιμνών της Κύπρου, έγινε αναζήτηση στο διαδικτυακό τόπο του Τμήματος Ανάπτυξης Υδάτων του Υπουργείου Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος της Κύπρου.

### **3.2. Γεωχωρική προσέγγιση για την εκτίμηση του τεχνικού δυναμικού της ΠΦΒ στο υδάτινο σύστημα**

Για να γίνει η επεξεργασία των παραπάνω χαρτών και γεωχωρικών δεδομένων (έκταση – σχήμα – θέση λιμνών) χρησιμοποιήθηκε το δωρεάν διαθέσιμο λογισμικό γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών QGIS.

Σχετικά με τη χωροθέτηση των ΠΦΒ στις λίμνες έγινε υπόθεση τοποθέτησης σε μια ζώνη ελάχιστης απόστασης από την ακτή της τάξης των 100μ, για να αφαιρεθούν οι δυνητικά ρηχές περιοχές, ως μια ρεαλιστική εκτίμηση για τα δεδομένα βαθυμετρίας και της εποχιακής διακύμανσης των ταμιευτήρων. Όμοια θα μπορούσε να γίνει υπόθεση σχετικά με ορισμένες αποστάσεις μακριά (π.χ. >1.0 - 2.0 km) από την ακτή, και με κάποια βάθη νερού όπου το κόστος λειτουργίας και συντήρησης και εγκαταστάσεων (όπως πρόσδεση και αγκύρωση) μπορεί να γίνει απαγορευτικό. Στην περίπτωση των ελληνικών λιμνών θεωρήθηκε ότι αυτό δεν έχει εφαρμογή λόγω του μικρού μεγέθους τους και της γεωμετρίας τους. Επιπλέον θα μπορούσε να γίνει υπόθεση ενός «επιτρεπτού» μήκους διασύνδεσης με το δίκτυο π.χ.25km το οποίο θεωρήθηκε ως το ελάχιστο που συνήθως συμπίπτει με τον Υ/Η Σταθμό.

Όσον αφορά στη δυνητική εγκατεστημένη ονομαστική ισχύ σε MW (technical potential energy) ως το προϊόν της ενεργειακής πυκνότητας (power density) στη διαθέσιμη έκταση, έγινε η υπόθεση ότι χρειάζονται 10.000m<sup>2</sup> για την εγκατάσταση ονομαστικής ισχύος 1MW. Όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 2, βιβλιογραφικά η υπόθεση είναι ρεαλιστική, ενώ στο ίδιο συμπέρασμα έχει καταλήξει και το NREL των ΗΠΑ (Spenser, R. κ.α.,2018: D) λαμβάνοντας υπόψη 51 υφιστάμενες εγκαταστάσεις σε Ιαπωνία, Αμερική, Μαλαισία, Ιταλία, Ολλανδία και αλλού (Spenser, R. κ.α. Supporting Information, 2018), όπως και το SERIS (“Where Sun Meets Water. Floating Solar Market Report”, 2019: 56) όπου για τον υπολογισμό του δυνητικού παγκόσμιου δυναμικού ΠΦΒ, η δυνητικά χρησιμοποιήσιμη υδάτινη

επιφάνεια πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή  $100\text{W}/\text{m}^2=1\text{MW}/\text{ha}$ , όπως έχει υπολογιστεί από τις υφιστάμενες έως σήμερα ΠΦΒ εγκαταστάσεις.

Όσον αφορά στο ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας του κάθε ταμιευτήρα – υδάτινου σώματος με ΠΦΒ, αυτό αποτελεί ένα μοναδικό πρόβλημα για τον καθένα. Συνήθως επιλέγεται να καλύπτεται λιγότερο από το 20% της επιφάνειας των αντίστοιχων υδάτινων σωμάτων (Sade, K. Et al. 2020:10), ενώ σύμφωνα με τη βιβλιογραφία και την έρευνα του SERIS (“Where Sun Meets Water. Floating Solar Market Report”, 2019: 56), ένα ποσοστό κάλυψης της τάξης 1-10% της συνολικής επιφάνειας του υδάτινου σώματος μπορεί να καθοριστεί ως «χρήσιμο» γι’ αυτό το σκοπό εκτίμησης του δυναμικού των ΠΦΒ. Από τα μέχρι σήμερα δεδομένα έχει διαπιστωθεί ότι η κάλυψη της συνολικής επιφάνειας ενός υδάτινου σώματος σε ποσοστά αυτής της τάξης, δε μπορεί να έχει σοβαρές δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις, παρόλο που στην πράξη αυτό θα πρέπει να διερευνάται για το κάθε υδάτινο σώμα και τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του, και χωρίς να σημαίνει ότι ένα υψηλότερο ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας με ΠΦΒ είναι απαγορευτικό και μη εφαρμόσιμο.

Στην περίπτωση της Ελλάδας επιλέγεται η ανάλυση για μια κάλυψη 5% ή 10% της επιφάνειας των τεχνητών λιμνών οι οποίες δεν καλύπτονται από το δίκτυο Natura 2000 και ενός μικρότερου ποσοστού κάλυψης της τάξης 1 ή 2% για τις προστατευόμενες τεχνητές λίμνες (από το δίκτυο Natura) και κάποιες από τις μεγάλες και βαθιές φυσικές λίμνες.

### **3.3. Εκτίμηση του ηλιακού δυναμικού στις περιοχές εγκατάστασης ΠΦΒ**

Η εκτίμηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί δεδομένα ακτινοβολίας η οποία θα συλλέγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Για την εκτίμηση του ηλιακού δυναμικού παραγωγής των ΠΦΒ γίνεται χρήση του PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). Το PVGIS είναι μια διαδικτυακή εφαρμογή που παρέχει πληροφορίες σχετικά με την απόδοση της ηλιακής ακτινοβολίας και των συμβατικά εγκατεστημένων χερσαίων φωτοβολταϊκών συστημάτων, για κλιματολογικά δεδομένα σε οποιαδήποτε τοποθεσία στην Ευρώπη και την Αφρική, καθώς και σε μεγάλο μέρος της Ασίας και της Αμερικής. Με αυτό το εργαλείο καθίσταται δυνατή η εκτίμηση της μέσης μηνιαίας και ετήσιας παραγωγής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος συνδεδεμένου στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Ο υπολογισμός λαμβάνει υπόψη την ηλιακή ακτινοβολία, τη θερμοκρασία, την ταχύτητα του ανέμου και τον τύπο της φωτοβολταϊκής μονάδας. Το PVGIS μπορεί επίσης να υπολογίσει τη βέλτιστη κλίση και

τον προσανατολισμό που μεγιστοποιεί την ετήσια παραγωγή ενέργειας, καθώς για συστήματα tracking με βάσεις στήριξης που παρακολουθούν τον ήλιο, υπάρχει ειδικά σχεδιασμένη εφαρμογή.

Άλλες αντίστοιχες διαδικτυακές εφαρμογές όπως το Global Solar Atlas ("Methodology"), παρέχουν μοντέλα υπολογισμών και για ΠΦΒ εγκαταστάσεις. Οι εκτιμήσεις όμως είναι αρκετά μεροληπτικές έναντι των χερσαίων εγκαταστάσεων θεωρώντας τελικά τη συνολική απόδοση των ΠΦΒ μικρότερη. Αυτό γιατί αν και οι υπολογισμοί λαμβάνουν υπόψιν τους τις μικρότερες λειτουργικές θερμοκρασίες των πάνελ (συνεπώς μεγαλύτερη απόδοση), θεωρούν υψηλότερες τις απώλειες εξαιτίας της αναντιστοιχίας μεταξύ τους (λόγω των κυματισμών) και της σύνδεσής τους με τα inverter, καθώς και μεγαλύτερες απώλειες λόγω της ρύπανσης στην επιφάνειά τους από περιπτώματα των πουλιών. Γενικότερα σε αυτά τα μοντέλα η αξιοπιστία του ΠΦΒ συστήματος θεωρείται μικρότερη λόγω του δυσκολότερου υδάτινου περιβάλλοντος και την υψηλότερη πιθανότητα να συμβεί κάποια αστοχία.

Ο τρόπος με τον οποίο έγινε η εισαγωγή των δεδομένων στο PVGIS για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται στο Σχήμα 5, και αναλύεται λεπτομερώς, ανά πεδίο δεδομένων:

- Αρχικά γίνεται επιλογή της περιοχής της ΠΦΒ εγκατάστασης στο χάρτη, οπότε επιλέγεται από το λογισμικό η βάση δεδομένων του δυναμικού της ηλιακής ακτινοβολίας, με βάση την οποία θα γίνουν οι υπολογισμοί (PVGIS-SARAH2 η οποία χρησιμοποιεί καταγραφές για την Ευρώπη από το 2005 έως το 2020).
- Στη συνέχεια επιλέγεται ο τύπος των φωτοβολταϊκών πάνελ μονο-κρυσταλλικού πυριτίου, για τα οποία υπάρχει δυνατότητα υπολογισμού, από το λογισμικό, των απωλειών λόγω της θερμοκρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά και των φασματικών διακυμάνσεων.
- Η εγκατεστημένη μέγιστη ισχύς (installed peak PV power (KW)) είναι η ισχύς που δηλώνει ο κατασκευαστής ότι μπορεί να παράγει η φ/β γεννήτρια υπό τυπικές συνθήκες δοκιμής, οι οποίες είναι σταθερά  $1.000\text{W}/\text{m}^2$  ηλιακής ακτινοβολίας, σε θερμοκρασία συστοιχίας  $25^\circ\text{C}$ . Εισάγεται η τιμή  $1.000\text{kW}$  προκειμένου να υπολογίζεται η ετήσια παραγόμενη ενέργεια ανά MW εγκατεστημένης ισχύος, και στη συνέχεια να είναι εύκολη η αναγωγή ανάλογα με την έκταση κάλυψης κάθε λίμνης από ΠΦΒ και την υπόθεση  $1\text{MW}/\text{ha}$ .



**Cursor:**

**Selected:** 38.893, 21.511

Elevation (m): 267

PVGIS ver. 5.2

**Use terrain shadows:**

Calculated horizon

Upload horizon file

Switch to version 5.1

↓ csv

↓ json

Επιλογή αρχείου Δεν επιλέχθηκε κανένα αρχείο

---

GRID CONNECTED

TRACKING PV

OFF-GRID

MONTHLY DATA

DAILY DATA

HOURLY DATA

TMY

**PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV**
?

Solar radiation database\* PVGIS-SARAH2

PV technology\* Crystalline silicon

Installed peak PV power [kWp]\* 1000

System loss [%]\* 14

**Fixed mounting options**

Mounting position\* Free-standing

Slope [°]\* 10  Optimize slope

Azimuth [°]\* 0  Optimize slope and azimuth

**PV electricity price**

PV system cost (your currency)

Interest [%/year]

Lifetime [years]

👁️ Visualize results

↓ csv

↓ json

**Σχήμα 5.** Εισαγωγή δεδομένων στο διαδικτυακό λογισμικό PVGIS.

- Όσον αφορά τις εκτιμώμενες απώλειες του συστήματος διατηρήθηκε η προεπιλεγμένη τιμή (του λογισμικού) 14% για τις συνολικές απώλειες. Η τιμή αυτή αφορά στις συνολικές απώλειες στο σύστημα, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα η ισχύς που πραγματικά παραδίδεται στο ηλεκτρικό δίκτυο να είναι χαμηλότερη από την ισχύ που παράγεται από τις φωτοβολταϊκές μονάδες. Υπάρχουν πολλές αιτίες για αυτές τις απώλειες, όπως απώλειες σε καλώδια, μετατροπείς ισχύος (inverter), βρωμιά (μερικές φορές χιόνι) στις μονάδες κλπ. Με τα χρόνια, οι μονάδες τείνουν επίσης να χάνουν λίγο από την ισχύ τους, επομένως η μέση ετήσια απόδοση κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος θα είναι λίγο χαμηλότερη από την % παραγωγή των πρώτων ετών (degradation).
- Για σταθερά (χωρίς παρακολούθηση) συστήματα, ο τρόπος που τοποθετούνται οι μονάδες (mounting position) θα επηρεάσει τη θερμοκρασία της φ/β μονάδας, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει την απόδοση. Πειράματα έχουν δείξει ότι εάν η κίνηση του αέρα πίσω από τις μονάδες είναι περιορισμένη, οι μονάδες μπορεί να ζεσταθούν σημαντικά (έως 15°C σε 1.000 W/m<sup>2</sup> ηλιακού φωτός). Στην εφαρμογή PVGIS η επιλογή (freestanding) ελεύθερης τοποθέτησης, αφορά σε χερσαίες μονάδες που είναι τοποθετημένες πάνω σε δίκτυωμα με δυνατότητα ο αέρας να ρέει ελεύθερα πίσω από αυτές. Δε λαμβάνεται υπόψη η αυξημένη απόδοση των ΠΦΒ λόγω της ψύξης από το υδάτινο περιβάλλον.

Θεωρείται, συντηρητικά ίσως, ότι δεδομένης της νέας τεχνολογίας η αυξημένη αυτή απόδοση εξισορροπεί τις όποιες επιπλέον απώλειες λόγω του δυσκολότερου υδάτινου περιβάλλοντος.

- Η γωνία τοποθέτησης (slope) των φωτοβολταϊκών μονάδων σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, επιλέγεται 10° σύμφωνα με τη βιβλιογραφία που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2 για τα ΠΦΒ.
- Το αζιμούθιο, ή προσανατολισμός, είναι η γωνία των φωτοβολταϊκών μονάδων σε σχέση με την κατεύθυνση προς Νότο. Επιλέγεται 0° για νότιο προσανατολισμό.

### **3.4. Οφέλη από τις ΠΦΒ εγκαταστάσεις (Περιβαλλοντικά – Οικονομικά)**

Έχοντας υπολογίσει το δυνητικό δυναμικό της παραγόμενης ενέργειας από ΠΦΒ εγκαταστάσεις (GWh/year) γίνεται στη συνέχεια εκτίμηση του περιβαλλοντικού και οικονομικού οφέλους που θα προκύψει.

Η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ σε σχέση με την ίδια παραγωγή ενέργειας από την καύση ορυκτών καυσίμων, συνεπάγεται την εξοικονόμηση τόσο των εκπεμπόμενων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, όσο και της αγοράς των αντίστοιχων δικαιωμάτων εκπομπής τους, όπως αναλύονται στο επόμενο Κεφάλαιο 4, παρουσίασης των υπολογισμών.

# Κεφάλαιο 4

## Υπολογισμός του δυνητικού ΠΦΒ δυναμικού σε Ελλάδα και Κύπρο

Λαμβάνοντας υπόψη τις παραδοχές και τη μεθοδολογία που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης του δυνητικού δυναμικού ΠΦΒ στην Ελλάδα και την Κύπρο.

### 4.1. Διαθεσιμότητα υδάτινων σωμάτων στην Ελλάδα

Στο Παράρτημα Α δίνεται ο πίνακας με όλες τις λίμνες της Ελλάδας (φυσικές και τεχνητές). Οι τεχνητές λίμνες της Ελλάδας αποτελούν το 25% της συνολικής επιφάνειας των ελληνικών λιμνών, και είναι αυτές που εξετάζονται κατά βάση, ως οι επικρατέστερες θέσεις για εγκατάσταση ΠΦΒ μονάδων. Οι τεχνητές λίμνες της Ελλάδας δημιουργήθηκαν από τη ΔΕΗ (οι μεγαλύτερες: Κρεμαστών, Πολυφύτου, Καστρακίου, Ταυρωπού, Πουρναρίου) με σκοπό την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, ενώ υπάρχουν και αρκετές τεχνητές λίμνες που κατασκευάστηκαν για την άρδευση γεωργικών εκτάσεων (με σημαντικότερη την λίμνη του Πηνειού στην Ηλεία), καθώς και οι τεχνητές λίμνες για αποθήκευση του νερού για ανάγκες ύδρευσης (Μόρνος, Μαραθώνας, Εύηνος).

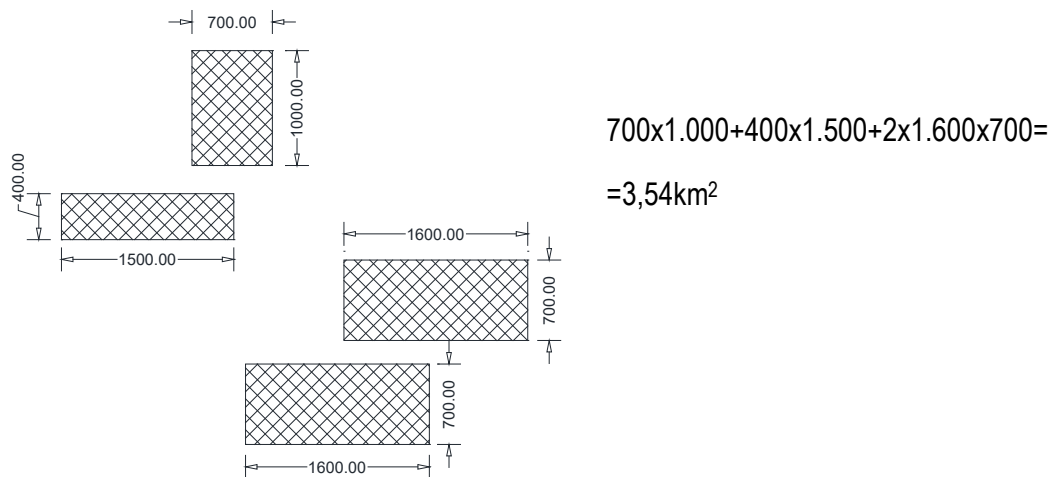
Η Ελλάδα ως ορεινή χώρα συγκεντρώνει τα περισσότερα βουνά της στο βορειοδυτικό τμήμα της, το οποίο προσφέρεται και για υδροηλεκτρική ανάπτυξη. Έτσι υπάρχουν από τη ΔΕΗ τρία βασικά

υδροηλεκτρικά συγκροτήματα, αυτό του Αχελώου (Κρεμαστά, Καστράκι, Στράτος), το συγκρότημα του Αλιάκμονα (Πολύφυτος, Σφηκιά, Ανώματα) και το συγκρότημα του Αράχθου (Πηγές Αώου, Πουρνάρι). Από τις παραπάνω λίμνες, η τεχνητή Λίμνη Ασωμάτων ανήκει σε Ε.Ζ.Δ., όπως και η τεχνητή λίμνη Ταυρωπού (Πλαστήρα). Τέλος όσον αφορά στις τεχνητές λίμνες για υδατοπαραγωγή, το συγκρότημα Νέστου (Θησαυρός, Πλατανόβρυση) και η τεχνητή λίμνη πηγών Αώου ανήκουν σε Ε.Ζ.Π.. Από την άλλη οι τεχνητές λίμνες με σκοπό την άρδευση – ύδρευση δεν ανήκουν στο δίκτυο Natura 2000, εκτός από την τεχνητή λίμνη Ν. Ανδριανής (Ε.Ζ.Δ.).

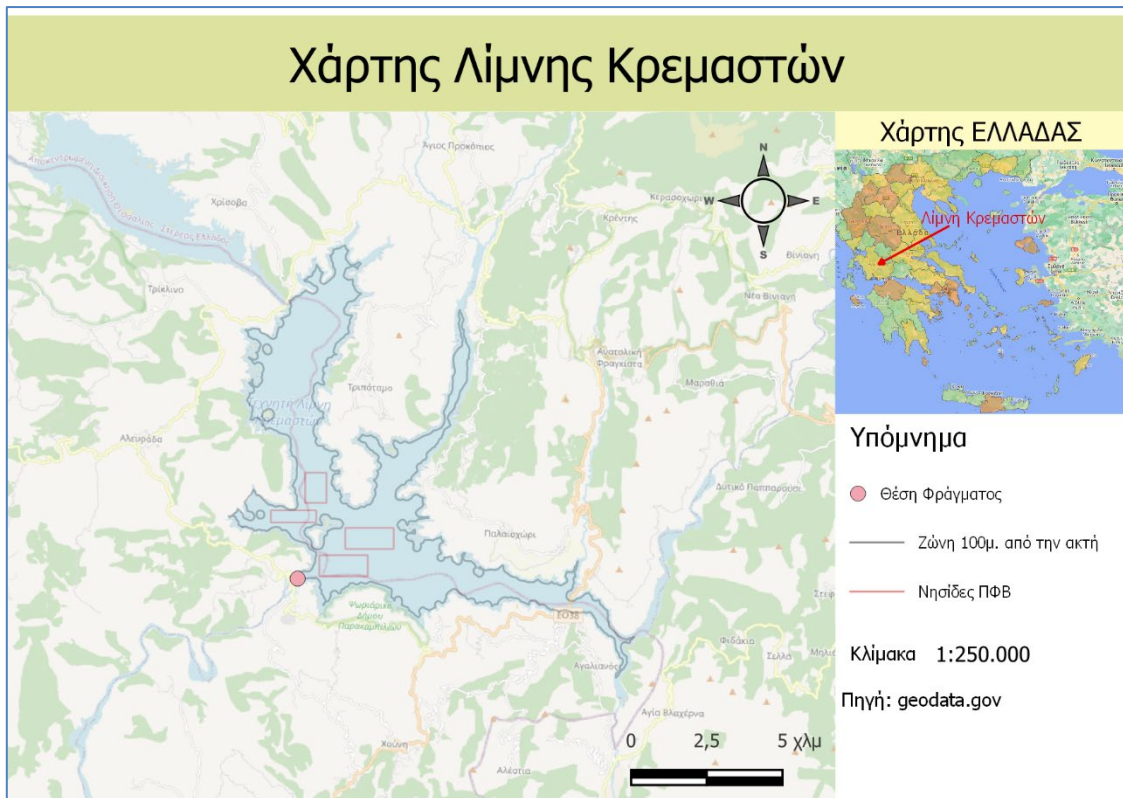
#### 4.1.1. Χωροθέτηση ΠΦΒ στη λίμνη των Κρεμαστών

Στη συνέχεια γίνεται ως υπόδειγμα, χωροθέτηση ΠΦΒ εγκατάστασης στην τεχνητή λίμνη των Κρεμαστών στα όρια των νομών Ευρυτανίας και Αιτωλοακαρνανίας (Χάρτης 1). Είναι η μεγαλύτερη τεχνητή λίμνη της Ελλάδας με έκταση 71km<sup>2</sup> και μέσο βάθος 60m. Στη βάση του φράγματος λειτουργεί ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός Κρεμαστών, με τέσσερις υδροστρόβιλους ονομαστικής ισχύος 109 MW ο καθένας.

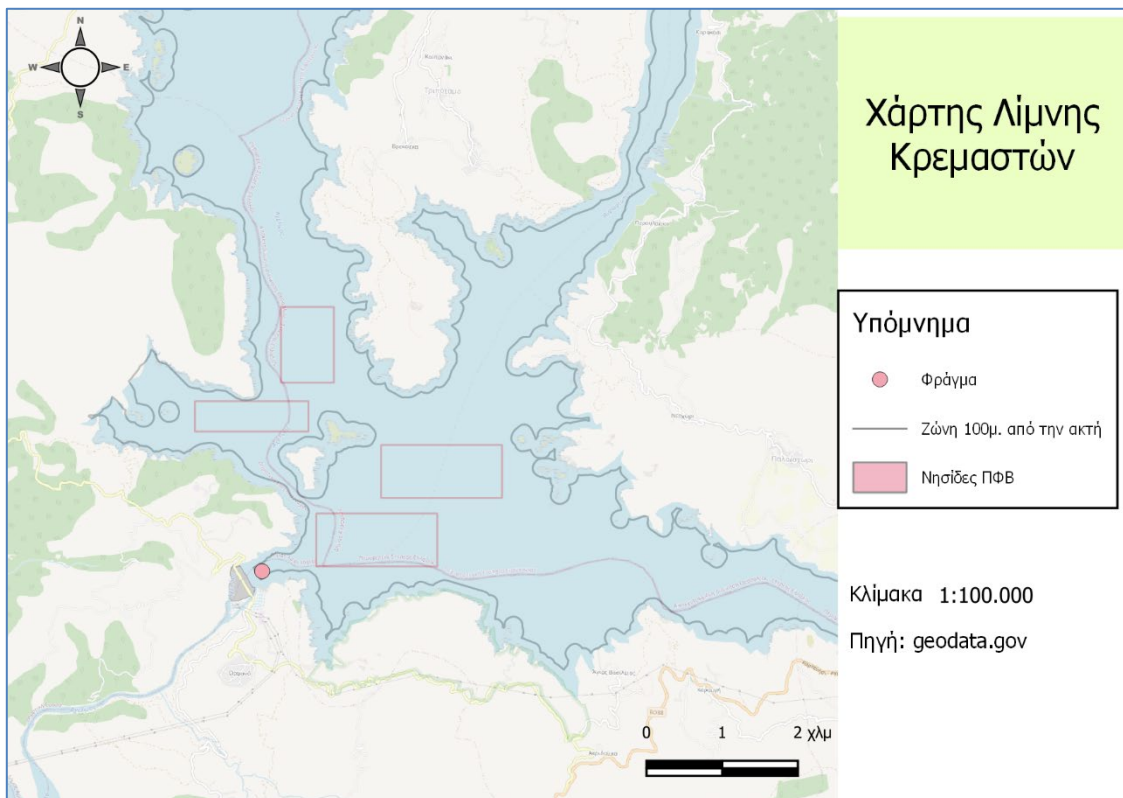
Η κάλυψη του 5% της επιφάνειας του ταμιευτήρα υπολογίζεται ότι είναι: 5% x 71km<sup>2</sup> = 3,55km<sup>2</sup>. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία, η εγκατάσταση θα πρέπει να γίνει πλησίον του φράγματος προκειμένου να μπορεί να λειτουργήσει ως υβριδικό σύστημα, χρησιμοποιώντας τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις. Επιπλέον με αυτό τον τρόπο τα δίκτυα και οι απώλειες θα είναι μικρότερου μήκους. Με τη βοήθεια του QGIS, αρχικά γίνεται η σχεδίαση της ζώνης χωροθέτησης σε απόσταση 100μ από την ακτή (buffer - 100m). Δεδομένου του σχήματος της λίμνης επιλέγεται η εγκατάσταση να γίνει πλησίον του φράγματος, σε 4 διαφορετικές νησίδες, όπως αυτές είναι διαστασιολογημένες στο Σχήμα 6, περιμετρικά των χερσαίων νησίδων και βόρεια - βορειοανατολικά του φράγματος, όπως απεικονίζονται στους Χάρτες 1 και 2.



**Σχήμα 6.** Σχηματική παράσταση των 4 ΠΦΒ νησίδων, με συνολική έκταση 3,55km<sup>2</sup>



**Χάρτης 1.** Λίμνη Κρεμαστών με χωροθετημένη εγκατάσταση ΠΦΒ σε 4 νησίδες πλησίον του Υ/Η φράγματος. Κλίμακα 1:250.000.



**Χάρτης 2.** Λίμνη Κρεμαστών με χωροθετημένη εγκατάσταση ΠΦΒ σε 4 νησίδες πλησίον του Υ/Η φράγματος. Κλίμακα 1:100.000

Γενικότερα οι τεχνητές λίμνες στην Ελλάδα επί το πλείστον έχουν δημιουργηθεί σε κλειστές ορεινές περιοχές, με ακανόνιστο σχήμα που κυρίως εκτείνεται σε μία κατεύθυνση (κατά μήκος του ποταμού) και κατακλύζοντας τις εκατέρωθεν εκτάσεις του, οι οποίες όμως ταυτίζονται με και συχνά απότομες πλαγιές βουνών. Έτσι το ποσοστό κάλυψης 5% είναι εφικτό σε αυτά τα υδάτινα περιβάλλοντα, ενώ ο διπλασιασμός του (10%) χρειάζεται περαιτέρω στοιχεία γεωμετρίας και βαθυμετρίας προκειμένου να εξεταστεί.

#### **4.1.2. Δυνητικό δυναμικό ΠΦΒ στην Ελλάδα (MW - GWh)/έτος**

Από τους υπολογισμούς του πίνακα 4 προκύπτει ότι αν καλυφθεί με ΠΦΒ, το 5% της επιφάνειας των τεχνητών λιμνών της Ελλάδας οι οποίες δεν εμπίπτουν σε περιβαλλοντικό καθεστώς προστασίας από το δίκτυο Natura 2000, δηλ. συνολική υδάτινη έκταση  $1.274\text{ha}=12,74\text{km}^2$ , η ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς των ΠΦΒ μπορεί να ανέλθει σε  $1.274\text{MW}$  με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της τάξης των  $1.715\text{GWh/year}$ .

Αν συνυπολογιστεί κάλυψη με ΠΦΒ της τάξης του 1% της επιφάνειας των υπολοίπων τεχνητών λιμνών της Ελλάδας οι οποίες εμπίπτουν εντός του δικτύου Natura 2000, δηλ. επιπλέον συνολική υδάτινη έκταση  $0,45\text{km}^2$ , τότε η ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς των ΠΦΒ μπορεί να ανέλθει σε  $1.274+45=1.319\text{MW}$ , με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας περί τα  $1.715+55=1.770\text{GWh/year}$ , όπως προκύπτει από τον πίνακα 5.

Οι παραπάνω δυνητικές ΠΦΒ εγκαταστάσεις των  $1.319\text{MW}$  στις ελληνικές τεχνητές λίμνες, ισοδυναμούν με το 37% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος των συμβατικών φ/β μονάδων στην Ελλάδα το 2021, η οποία ανήλθε σε  $3.530\text{MW}$  σύμφωνα με το Διάγραμμα 5.

Λίμνη	Επιφάνεια (ha)	Ποταμός	Περιοχή	βαθος (m)	σκοπός κατασκευής	Natura 2000	(GWh/έτος) για εγκατεστημένη ισχύ 1MW	5% της έκτασης της λίμνης σε (ha) = (1MW)	ετήσια παραγωγή (GWh/έτος) για κάλυψη του 5% της λίμνης
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)=0,05x(2)	(10)=(8)x(9)
<b>Τεχνητές Λίμνες (εκτός δικτύου Natura 2000)</b>									
ΣΜΟΚΟΒΟΥ	991,75	Σοφαδίτης	Καρδίτσα	47	Υ/Η - άρδ.	-	1,287	49,59	63,8
ΚΡΕΜΑΣΤΩΝ	7.170,49	Αχελώος	Αιτωλ/νία - Ευρυτανία	60	Υ/Η - ανιπλημ.	-	1,296	358,52	464,8
ΚΑΣΤΡΑΚΙΟΥ	2.691,86		Αιτωλ/νία	50	Υ/Η - άρδ.- ύδρ.	-	1,383	134,59	186,2
ΣΤΡΑΤΟΥ	782,21		Αιτωλ/νία	20	Υ/Η - άρδ.- ύδρ.	-	1,425	39,11	55,7
ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ	2.202,22	Άραχθος	Άρτα		Υ/Η	-	1,402	110,11	154,4
ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ II	69,75		Άρτα		Υ/Η	-	1,401	3,49	4,9
ΠΟΛΥΦΥΤΟΥ	6.436,46	Αλιάκμονας	Κοζάνη	40	Υ/Η - θερμοηλ. - ανιπλημ. - άρδ. - ύδρ.	-	1,313	321,82	422,7
ΣΦΗΚΙΑΣ	366,85		Βέροια	33	Υ/Η	-	1,248	18,34	22,9
ΛΑΔΩΝΑ	302,70	Λάδωνας	Αρκαδία	25	Υ/Η	-	1,411	15,13	21,4
ΜΟΡΝΟΥ	1.480,14	Μόρνος	Άμφισσα	45	ύδρ. - Υ/Η	Ε.Ζ.Π. στο βόρειο τμ.	1,398	74,01	103,5
ΕΥΗΝΟΥ	289,24	Εύηνος	Αιτωλ/νία	60	ύδρ.	-	1,316	14,46	19,0
ΛΕΥΚΟΓΕΙΩΝ	109,19	χείμαροι	Δράμα		ύδρ.	-	1,274	5,46	7,0
ΜΠΡΑΜΙΑΝΟΥ	82,40	χείμαροι	Ιεράπετρα	44	άρδ. - ύδρ.	-	1,732	4,12	7,1
ΓΡΑΤΙΝΗΣ	143,40	χείμαροι	Ροδόπη	48	ψύξη ΑΗΣ - άρδ.	-	1,301	7,17	9,3
ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗΣ	75,17	χείμαροι	Μεσαρά Κρήτης		αρδ.	-	1,590	3,76	6,0
ΠΗΝΕΙΟΥ	1.984,84	Πηνειός	Ηλεία	25	αρδ.	-	1,459	99,24	144,8
ΜΑΡΑΘΩΝΑ	298,23	χείμαροι	Αττική	54	αρδ.	-	1,418	14,91	21,1
								<b>1.274</b>	<b>1.715</b>

**Πίνακας 4.** Υπολογισμός της εγκατεστημένης ισχύος και της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με κάλυψη του 5% της επιφάνειας των τεχνητών λιμνών της Ελλάδας οι οποίες βρίσκονται εκτός του δικτύου Natura 2000.

Όπως έχει αναλυθεί, τα ποσοστά κάλυψης της τάξης του 5% και 1% αντίστοιχα, των επιφανειών των τεχνητών λιμνών της Ελλάδας είναι ιδιαίτερα συντηρητικά. Ως εκ τούτου αύξηση της παραπάνω κάλυψης των τεχνητών λιμνών με ποσοστά της τάξης του 10% και 2% αντίστοιχα, θα διπλασιάσει την εγκατεστημένη ισχύ των ΠΦΒ σε  $2 \times 1.319 = 2.638 \text{ MW}$  και την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε  $2 \times 1.770 = 3.540 \text{ GWh/year}$ . Οι υπολογισμοί αφορούν σε τεχνητούς ταμιευτήρες χωρίς να υπολογιστούν πόροι από φυσικές λίμνες ή θαλάσσιες περιοχές

Λίμνη	Επιφάνεια (ha)	Περιοχή	βαθος (m)	Natura 2000	(GWh/έτος) για εγκατεστημένη ισχύ 1MW	1% της έκτασης της λίμνης σε (ha) = (1MW)	ετήσια παραγωγή (GWh/έτος) για κάλυψη του 5% της λίμνης
(1)	(2)	(4)	(5)	(7)	(8)	(9)=0,05x(2)	(10)=(8)x(9)
<b>Τεχνητές Λίμνες (εντός δικτύου Natura 2000)</b>							
Ν. ΑΔΡΙΑΝΗΣ	62,00	Ξάνθη		Ε.Ζ.Δ.	1,460	0,62	0,9
ΦΕΝΕΟΥ (Δόξα)	50,33	Κορινθία	40	Ε.Ζ.Π.	0,132	0,50	0,1
ΠΛΑΤΑΝΟΒΡΥΣΗΣ	325,07	Δράμα	45	Ε.Ζ.Π.	1,281	3,25	4,2
ΘΗΣΑΥΡΟΥ	692,87	Δράμα	160	Ε.Ζ.Π.	1,270	6,93	8,8
ΠΗΓΩΝ ΑΩΟΥ	821,40	Αώος		Ε.Ζ.Π.	1,308	8,21	10,7
ΠΛΑΣΤΗΡΑ	2.356,07	Καρδίτσα	48	Ε.Ζ.Δ.	1,300	23,56	30,6
ΑΣΩΜΑΤΩΝ	219,85	Βέροια	29	Ε.Ζ.Δ.	1,271	2,20	2,8
ΚΑΡΛΑ	3.492,56	Μαγνησία		Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.			
						<b>45</b>	<b>55</b>

**Πίνακας 5.** Υπολογισμός της εγκατεστημένης ισχύος και της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με κάλυψη του 1% της επιφάνειας των τεχνητών λιμνών της Ελλάδας οι οποίες βρίσκονται εντός του δικτύου Natura 2000.

Με κάλυψη του 1% της επιφάνειας των μεγαλύτερων, βαθύτερων και σε καλύτερη οικολογική κατάσταση φυσικών λιμνών, η οποία αντιστοιχεί σε 355ha=3,55km<sup>2</sup>, θα προστιθόταν ένα δυναμικό ΠΦΒ εγκαταστάσεων 355MW, με ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της τάξεως των 474GWh/year, σύμφωνα με τον πίνακα 6, ενώ αν η κάλυψη διπλασιαστεί σε 2% της συνολικής επιφάνειας των φυσικών λιμνών, αντίστοιχα και το δυναμικό των ΠΦΒ θα προκύψει 710MW και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα ανέλθει σε 948GWh/year. Οι λίμνες που δεν εξετάστηκε η εγκατάσταση ΠΦΒ παρουσιάζονται στον πίνακα 7.



Λίμνη	Επιφάνεια (ha)	Περιοχή	βαθος (m)	Natura 2000	(GWh/έτος) για εγκατεστημένη ισχύ 1MW	1% της έκτασης της λίμνης σε (ha) = (1MW)	ετήσια παραγωγή (GWh/έτος) για κάλυψη του 5% της λίμνης
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)=0,05x(2)	(8)=(6)x(7)
<b>Φυσικές Λίμνες</b>							
ΤΡΙΧΩΝΙΔΑ	9.651,94	Αιτωλ/ία	58	Ε.Ζ.Δ.	1,39	96,52	134,6
ΒΟΛΒΗ	7.201,67	Θεσ/νικη	23	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.	1,31	72,02	94,4
ΜΙΚΡΗ ΠΡΕΣΠΑ	4.737,57	Φλώρινα	8,4	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.	1,26	47,38	59,5
ΚΕΡΚΙΝΗ	4.608,88	Σέρρες	35	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.	1,28	46,09	59,2
ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ	2.884,98	Καστοριά	9	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.	1,31	28,85	37,8
ΥΛΙΚΗ	1.958,50	Βοιωτία	24	Ε.Ζ.Δ.	1,38	19,59	27,1
ΠΑΜΒΩΤΙΔΑ	1.924,37	Ιωάννινα	11	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.	1,32	19,24	25,4
ΑΜΒΡΑΚΙΑ	1.453,40	Αιτωλ/ία	40	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.	1,40	14,53	20,3
ΠΑΡΑΛΙΜΝΗ	1.096,83	Βοιωτία	38	Ε.Ζ.Δ.	1,39	10,97	15,3
						<b>355</b>	<b>474</b>

**Πίνακας 6.** Υπολογισμός της εγκατεστημένης ισχύος και της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με κάλυψη του 1% της επιφάνειας επιλεγμένων φυσικών λιμνών της Ελλάδας.

Συνοψίζοντας τους παραπάνω υπολογισμούς, μια συνολική κάλυψη της τάξης του **5%** της επιφάνειας των τεχνητών λιμνών της Ελλάδας που δεν εμπίπτουν στο δίκτυο Natura 2000 και **1%** της επιφάνειας των τεχνητών λιμνών της Ελλάδας που εμπίπτουν στο δίκτυο Natura 2000 όπως και των μεγαλύτερων φυσικών λιμνών (σενάριο 5%+1%+1%), θα καταλαμβάνει υδάτινη έκταση περί τα  $12,74+0,45+3,55=16,74\text{km}^2$ , η οποία αντιστοιχεί σε συνολική εγκατεστημένη ισχύ  $1.274+45+355=1.674\text{MW}$  και παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια  $1.715+55+474=2.244\text{ GWh/year}$  που αντιστοιχεί στο 5% της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια της χώρας (διάγραμμα 3).

Αν το ποσοστό κάλυψης διπλασιαστεί σε 10% για τις τεχνητές λίμνες εκτός Natura 2000 και 2% για τις υπόλοιπες τεχνητές και τις μεγαλύτερες φυσικές λίμνες (σενάριο 10%+2%+2%), τότε η υδάτινη έκταση κάλυψης θα είναι **33,48km<sup>2</sup>** για εγκατεστημένη ισχύ **3.348MW** που θα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια **4.488 GWh/year**.

Λίμνη	Επιφάνεια (ha)	Περιοχή	βαθος (m)	Natura 2000		
ΜΕΓΑΛΗ ΠΡΕΣΠΑ	28.167,76	Φλωρινα - Αλβανία - Σκόπια	50	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.	Δυσκολότερη αδειοδότηση λόγω διασυνοριακού χαρακτήρα	
ΒΕΓΟΡΙΠΙΔΑ	5.396,76	Έδεσσα - Φλώρινα	50	Ε.Ζ.Δ.	Βεβαρυμένες οικολογικά λίμνες με προβλήματα ευτροφισμού, μόλυνσης των υδάτων από χημικά υπολείμματα αγροτικών δράσεων και υπερβολική άρδευση, των οποίων τα οικοσυστήματα προσπαθούν να επανακάμψουν. Η Δοϊράνη επιπλέον διασυνοριακή.	
ΚΟΡΩΝΕΙΑ	4.815,56	Θεσ/μκη	1	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.		
ΛΙΜΝΗ ΔΟΪΡΑΝΗ	3.884,57	Κιλκίς - Σκόπια	4	Ε.Ζ.Π.		
ΛΥΣΙΜΑΧΕΙΑ	1.304,77	Αιτωλ/μία	9	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.		
ΠΕΤΡΩΝ	1.236,14	Έδεσσα	3	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.		
ΧΕΙΜΑΔΙΠΙΔΑ	957,51	Φλώρινα	2,5	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.		
ΟΖΕΡΟΣ	939,11	Αιτωλ/μία	10	Ε.Ζ.Δ.		
ΒΟΥΛΚΑΡΙΑ	912,79	Βόντσα	2,5	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.		
ΚΟΥΡΝΑ	56,17	Ρέθυμνο	-	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.		
ΔΥΣΤΟΣ	506,79	Εύβοια	3	Ζ.Ε.Π.		Εκτεταμένες ρηχές ζώνες με καλαμιώνες. Η στάθμη της όμως παρουσιάζει έντονες μεταβολές.
ΠΙΚΡΟΛΙΜΝΗ	427,10	Θεσ/μκη	1	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.		
ΣΤΥΜΦΑΛΙΑ	356,91	Κόρινθος	5	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.		
ΛΑΜΙΑ	203,77	Πύργος	<1	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.		
ΣΑΛΤΙΝΗ	200,20	Άκτιο	<1	Ε.Ζ.Δ.		
ΙΣΜΑΡΙΔΑ	186,51	Ξανθη	1,5	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.		
ΖΑΖΑΡΗ	170,45	Φλωρινα	3	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.		

**Πίνακας 7.** Φυσικές λίμνες της Ελλάδας για τις οποίες δεν εξετάστηκε το ενδεχόμενο τοποθέτησης ΠΦΒ εγκαταστάσεων.

#### 4.1.3. Περιβαλλοντικά οφέλη

Η παραγόμενη ενέργεια των ΠΦΒ εγκαταστάσεων είναι «πράσινη» - καθαρή από ρύπους. Η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων στις θερμικές μονάδες παραγωγής έχει ως αποτέλεσμα εκπομπές στην ατμόσφαιρα, τόσο αερίων του θερμοκηπίου (Ατθ) με κυριότερο το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), όσο και ρύπων όπως τα οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>), τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και τα αιωρούμενα σωματίδια. Τα Ατθ συνεισφέρουν στην κλιματική αλλαγή, ενώ οι ρύποι επηρεάζουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας.

Σύμφωνα με τα στοιχεία από τη Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης της ΔΕΗ για το έτος 2020 που παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β, οι μέσοι συντελεστές εκπομπής των παραπάνω ρύπων είναι:

$(CO_2)=0,86 \text{ t/MWh}=860\text{t/GWh}$ ,

$(SO_x)=1,13\text{t/GWh}$

$(NO_x)=1,72\text{t/GWh}$

$(PM)=0,056\text{t/GWh}$

Στον πίνακα 8 παρουσιάζονται οι ετήσιες ποσότητες των ρύπων ( $CO_2$ ,  $SO_x$ ,  $NO_x$ ,  $PM$ ) που είναι δυνατόν να εξοικονομούνται, καθώς δεν θα εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από την παραγωγή ενέργειας από ΠΦΒ, έναντι αυτών που θα εκπέμπονταν για την ίδια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση ορυκτών καυσίμων, τόσο για το συντηρητικό σενάριο κάλυψης (5%+1%+1%) παραγωγής 2.244GWh όσο και για το πιο “ευνοϊκό” σενάριο της διπλάσιας κάλυψης των υδάτινων σωμάτων (10%+2%+2%) και της αντίστοιχης διπλάσιας παραγωγής 4.488GWh.

	Εκπομπές ρύπων (t)		
	1GWh	2.244GWh	4.488GWh
$CO_2$	860	1.929.840	3.859.680
$SO_x$	1,13	2.535,72	5.071,44
$NO_x$	1,72	3.859,68	7.719,36
PM	0,06	125,66	251,33

**Πίνακας 8.** Ετήσια εξοικονόμηση εκπομπής ρύπων στην ατμόσφαιρα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 2.244GWh/έτος και 4.488GWh/έτος.

#### 4.1.4. Οικονομικά οφέλη

Εκτός από τα προφανή οικολογικά και περιβαλλοντικά οφέλη της μείωσης των εκπεμπόμενων αερίων του θερμοκηπίου, από την παραγωγή ηλεκτρισμού μέσω των ΠΦΒ, προκύπτουν επίσης οικονομικά οφέλη από το εναλλακτικό σενάριο αγοράς δικαιωμάτων ρύπων στο πλαίσιο του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΣΕΔΕ) αερίων ρύπων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, των οποίων το κόστος διαρκώς αυξάνει.

Σύμφωνα με το Μηνιαίο Δελτίο Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ Νοέμβριος - Δεκέμβριος 2021 από τη ΔΑΠΕΕΠ Α.Ε. (Προβλέψεις Έτους 2022. Εκτιμήσεις βασικών οικονομικών μεγεθών ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ

Έτος 2022:8), η ανά μήνα εκτίμηση της μέσης τιμής των πλειστηριασμών αδιάθετων δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου για το έτος 2022 προκύπτει 75€/tn.

Συνεπώς το εθνικό οικονομικό όφελος από την εφαρμογή του συντηρητικού σεναρίου (5%+1%+1%), κάλυψης του 5% των τεχνητών λιμνών της Ελλάδας (εκτός Natura 2000) και του 1% των υπολοίπων τεχνητών και των μεγαλύτερων φυσικών λιμνών της Ελλάδας με ΠΦΒ, υπολογίζεται σε  $1.929.840\text{tCO}_2 * 75\text{€/t} = 144.738.000\text{€}$ . Το όφελος ανέρχεται σε **289.476.000€** για κάλυψη των διπλάσιων υδάτινων εκτάσεων του σεναρίου (10%+2%+2%).

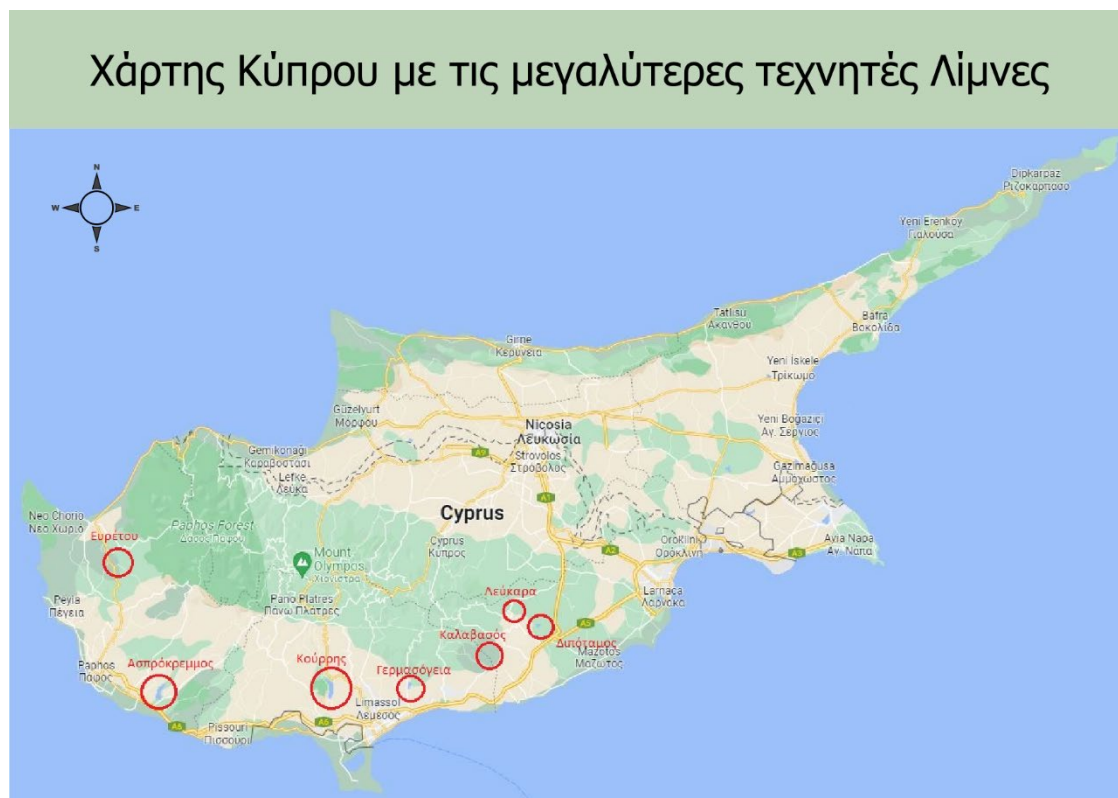
Βέβαια η πρόβλεψη της τιμής των 75€/t ήδη στο πρώτο δίμηνο του 2022 δεν επιβεβαιώνεται καθώς παρατηρούνται υψηλότερες τιμές με κορυφαία 97,51€/t στις 08/02/2022 (eex Auction market 28.04.2022). Συνεπώς και το οικονομικό όφελος υπό τις συνθήκες της ενεργειακής κρίσης όπως έχουν διαμορφωθεί στο πρώτο τρίμηνο του 2022, θα ήταν πολλαπλάσιο.

## 4.2. Διαθεσιμότητα υδάτινων σωμάτων στην Κύπρο

Στην Κύπρο, ως συνέπεια του ξηρού μεσογειακού κλίματος, υπάρχουν μόνο 5 φυσικές λίμνες που είναι υφάλμυρες ή αλμυρές, με μεγαλύτερες τις αλυκές Λάρνακας και Λεμεσού. Πρόκειται για αβαθείς λίμνες, κάτω από το επίπεδο της θάλασσας, οι οποίες το καλοκαίρι ξηραίνονται, καθώς η πλήρωση και η ξήρανσή τους εξαρτώνται κυρίως από τις βροχοπτώσεις και την εξάτμιση, ενώ το χειμώνα φιλοξενούν χιλιάδες φλαμίνγκο, αποτελώντας σημαντικά μεταναστευτικά περάσματα. Όλες οι φυσικές λίμνες της Κύπρου πολύ σπάνια διατηρούν νερό καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και περιέχουν τυπικά είδη για αυτές τις συνθήκες.

Οι τεχνητές λίμνες στην Κύπρο δημιουργήθηκαν με την κατασκευή φραγμάτων στους ποταμούς, οι οποίοι ρέουν στην πλειονότητά τους για 3 με 4 μήνες το χρόνο, ή με τη δημιουργία λιμνοδεξαμενών, και μπορούν να χαρακτηριστούν ως δυναμικά συστήματα. Δεδομένου ότι η ποσότητα του νερού τους εξαρτάται από τις βροχοπτώσεις και τη χρήση του, κατά τη διάρκεια του χειμώνα γεμίζουν, αλλά το καλοκαίρι το μεγαλύτερο μέρος του νερού χρησιμοποιείται, οπότε παρατηρείται πτώση της στάθμης τους, η οποία παρουσιάζει σημαντική μεταβλητότητα. Καθώς όλοι οι ταμιευτήρες και οι λιμνοδεξαμενές είναι κατασκευασμένες με σκοπό να παρέχουν νερό για ύδρευση ή άρδευση, όλες αυτές οι λίμνες συχνά ξηραίνονται. (Κυπριακή Δημοκρατία, Οδηγία Πλαίσιο για τα νερά, 2007:2-4). Παράλληλα, στην Κύπρο η ζήτηση του νερού αυξάνεται, ως αποτέλεσμα της κοινωνικής και οικονομικής ανάπτυξης, της αύξησης του τουρισμού και των μόνιμων κατοίκων.

Ο χάρτης 3 απεικονίζει τις θέσεις με τις μεγαλύτερες τεχνητές λίμνες της Κύπρου.



**Χάρτης 3.** Τεχνητές λίμνες της Κύπρου.

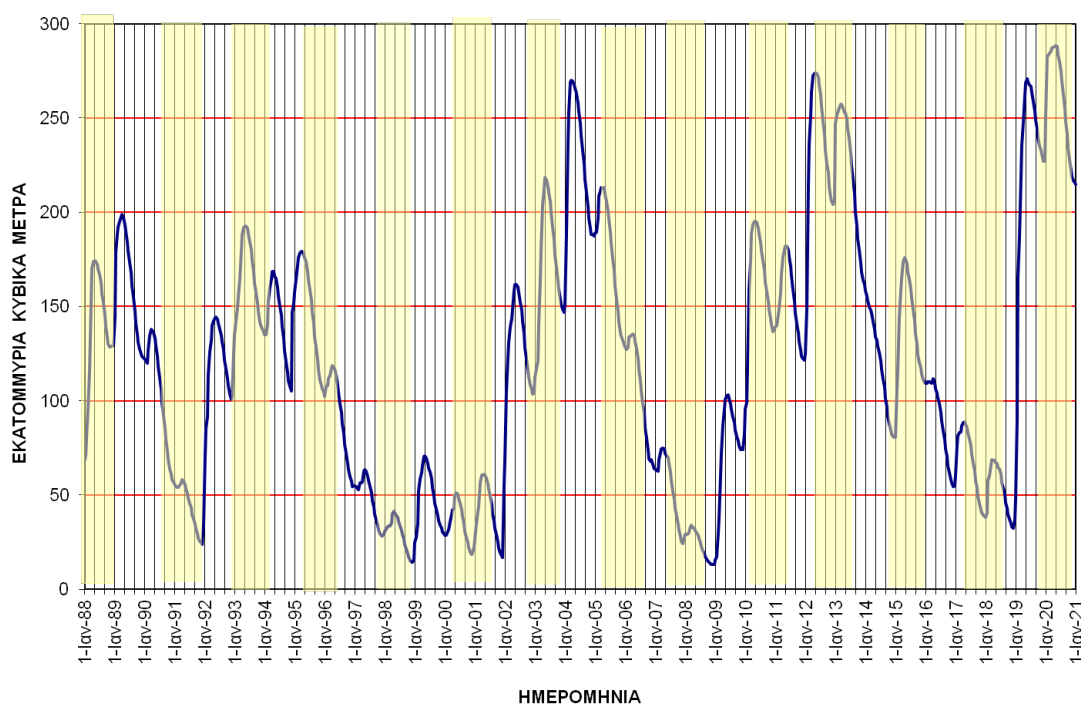
Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες σε χωρητικότητα τεχνητές λίμνες της Κύπρου, οι οποίες στην πλειονότητά τους καλύπτονται από το δίκτυο προστασίας Natura 2000

Λίμνη	Ποταμός	Ύψος φράγματος (m)	Χωρητικότητα (m <sup>3</sup> )	Επιφάνεια Λίμνης (ha)	Natura 2000
Κούρης	Κούρης	110	115.000.000	332,3	Ε.Ζ.Π.
Ασπρόκρεμμος	Ξερός Ποταμός	53	52.375.000	225,4	Ε.Ζ.Δ. & Ε.Ζ.Π.
Ευρέτου	Σταυρός της Ψύκας	70	24.000.000	113,8	Ε.Ζ.Π.
Καναβιού	Έζουσα	75	18.000.000	92,6	-
Καλαβασός	Βασιλικός	60	17.100.000	87,0	-
Διπόταμος	Πεντάσχοινος	60	15.500.000	91,8	Ε.Ζ.Π.
Λεύκαρα	Συργάτης (Πεντάσχοινος)	71	13.850.000	45,2	Ε.Ζ.Π.
Γερμασόγεια	Γερμασόγεια	49	13.500.000	68,1	Ε.Ζ.Δ.

**Πίνακας 9:** Τεχνητές λίμνες της Κύπρου. Πηγή: Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων, Κατάλογος Φραγμάτων & Έκθεση για την Ταξινόμηση των υδατικών συστημάτων (Ποτάμια, Φυσικές λίμνες, Ταμιευτήρες): 53

Ενδεικτικό της μεγάλης μεταβλητότητας της πληρότητας των λιμνών της Κύπρου, με συνέπεια στις αντίστοιχες μεταβολές στη στάθμη της επιφάνειας, είναι το επόμενο διάγραμμα 9, από τα Στατιστικά στοιχεία που αφορούν τα φράγματα, του Τμήματος Ανάπτυξης Υδάτων του Υπουργείου Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος της Κύπρου, για την αποθήκευση νερού στα φράγματα. Όπως παρατηρείται σε αυτό, κατά την τελευταία διετία, η συνολική πληρότητα των τεχνητών λιμνών ήταν μόλις 50εκ m<sup>3</sup> τον Ιαν 2019 έναντι 280m<sup>3</sup> τον Ιαν 2020.

Η σημαντικότητα της παρακολούθησης των υδάτινων αποθεμάτων της Κύπρου για ύδρευση και άρδευση, είναι αναγκαίο να παρακολουθείται καθημερινά, γι' αυτό υπάρχει και διαδικτυακή ενημέρωση της Πληρότητας των φραγμάτων της Κύπρου από ομάδα του ερευνητικού κέντρου KIOS μέσω της σελίδας <https://cyprusdams.github.io/> .



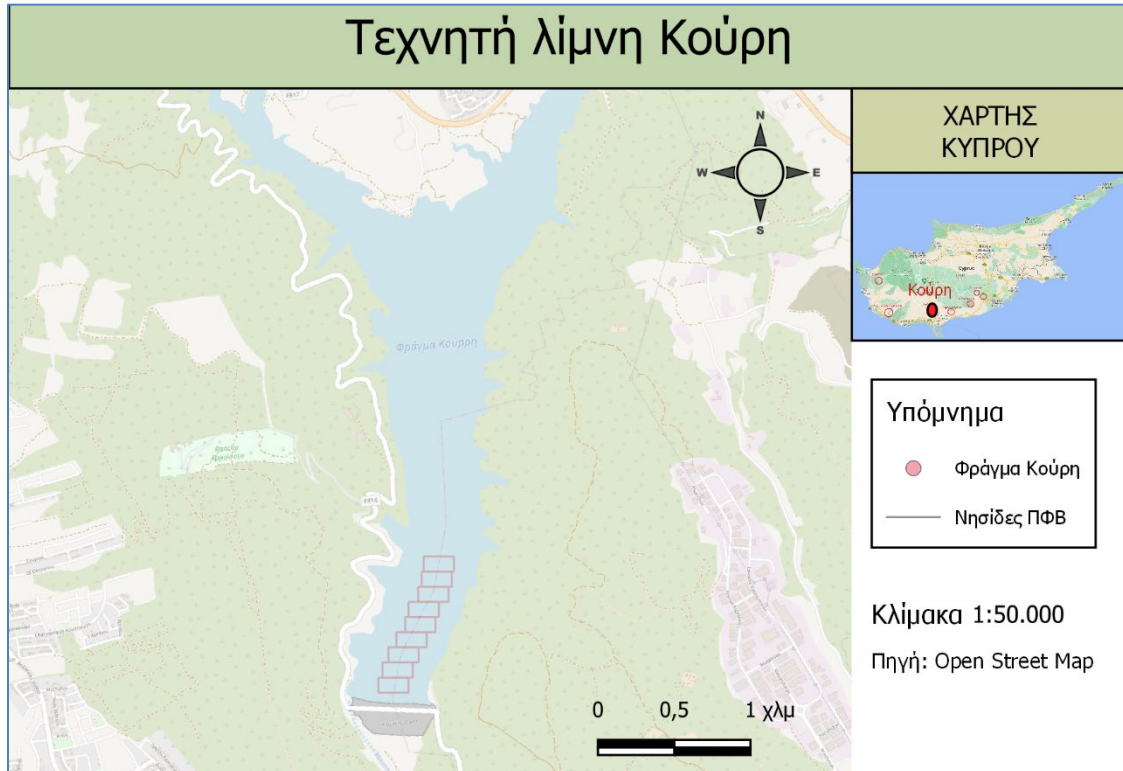
**Διάγραμμα 9:** Αποθήκευση Νερού σε όλα τα Φράγματα της Κύπρου από 1/1/1988 έως 1/1/2021. Πηγή: Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων, Στατιστικά Στοιχεία που αφορούν τα φράγματα.

Συμπερασματικά λοιπόν οι φυσικές λίμνες της Κύπρου τόσο λόγω της βαθυμετρίας και των χαρακτηριστικών αλατότητάς τους, όσο και λόγω της περιβαλλοντικής τους σημαντικότητας δεν μπορεί να αποτελέσουν πιθανές θέσεις εγκατάστασης ΠΦΒ. Από την άλλη και στις τεχνητές λίμνες λόγω της υψηλής μεταβλητότητας του όγκου του νερού τους, καθώς λειτουργούν ως υδατοδεξαμενές, δε φαίνεται να μπορούν να εφαρμοστούν αξιόλογες εγκαταστάσεις ΠΦΒ στην Κύπρο.

#### 4.2.1. Χωροθέτηση ΠΦΒ στη λίμνη Κούρη

Στον επόμενο χάρτη 4 δίνεται ενδεικτικά η σχηματική κάλυψη με ΠΦΒ, του 5% της μεγαλύτερης τεχνητής λίμνης της Κύπρου, αυτής του Κούρη, δηλ έκτασης  $5\% \times 332,3\text{ha} = 16,6\text{ha}$ , όπου για το ηλιακό δυναμικό της περιοχής, σύμφωνα με το PVGIS, υπολογίζεται ότι μπορεί να παράγονται  $1,62\text{GWh}/\text{έτος}/\text{MW}$ , τα οποία για την επιφάνεια του 5% της λίμνης αντιστοιχούν σε ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας  $16,6 \times 1,62 = 27\text{GWh}/\text{έτος}$ .

Η εγκατάσταση αυτή προϋποθέτει τη διατήρηση μιας μόνιμης ποσότητας νερού, σε όλη τη διάρκεια του έτους, προκειμένου η περιοχή των ΠΦΒ να μη ξηραίνεται πλήρως με αποτέλεσμα οι ΠΦΒ υποδομές να αντιμετωπίζουν προβλήματα από την επαφή τους – εποχιακή έδρασή τους στον πυθμένα. Επιπλέον δεν έχουν ληφθεί υπόψη τα υπάρχοντα δίκτυα μεταφοράς ενέργειας στην περιοχή και οι λοιπές υποδομές. Η χωροθέτηση έγινε πλησίον του φράγματος, θεωρώντας πως εκεί είναι το πιο βαθύ σημείο της λίμνης, ενώ ταυτόχρονα τοποθετήθηκαν κατά μήκος του άξονα της ζώνης κατάκλισης, ώστε να βρίσκονται κατά το δυνατόν μακρύτερα από πιθανές θερινές ζώνες ξήρανσης πλησίον της όχθης. Δεδομένης της υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας της Κύπρου, χρήσιμη είναι η διερεύνηση τυχόν οφέλους από την εξοικονόμηση του νερού λόγω της μείωσης της εξάτμισής του από τη σκίαση των ΠΦΒ.



**Χάρτης 4.** Λίμνη Κούρη με χωροθετημένη εγκατάσταση ΠΦΒ σε 9 νησίδες πλησίον του Υ/Η φράγματος. Κλίμακα 1:50.000

Χρειάζεται λοιπόν ιδιαίτερη έρευνα και αρκετά δεδομένα προκειμένου να προκύψει αν υπάρχει κάποιο επικερδές περιβαλλοντικό ή/και οικονομικό όφελος από τέτοιου είδους ΠΦΒ εγκαταστάσεις στις μεγάλες τεχνητές Λίμνες της Κύπρου, προσθέτοντας στο σχεδιασμό διαχείρισης του νερού των υφιστάμενων υδατοδεξαμενών, και τις ανάγκες για μια μόνιμη ποσότητα νερού υποστήριξης των ΠΦΒ, πέραν των αναγκών ύδρευσης, άρδευσης ή εμπλουτισμού που εξυπηρετούν.

Οι Κούγιας κ.α. (2016), σε ανάλυσή τους για την τοποθέτηση ΠΦΒ πάνω από αρδευτικά κανάλια σε νησιωτικές περιοχές της Μεσογείου, έχουν υπολογίσει ότι αν καλυφτεί με ΠΦΒ το 30% (27.500m<sup>2</sup>) του αρδευτικού καναλιού της Πάφου, με συνολικό μήκος 7km και πλάτος 13μ, μπορεί να προκύψει ΠΦΒ ισχύς της τάξης των 4MW με παραγωγή 7,1GWh/έτος και εξοικονόμηση νερού από την εξάτμιση 12.000m<sup>3</sup>. Η εξοικονόμηση του νερού, εκτός από την περιβαλλοντική σημασία της, παρουσιάζει μεγάλη οικονομική αξία, ενισχύοντας τον αγροτικό τομέα, παρέχοντας το νερό για αστικές χρήσεις ύδρευσης και μειώνοντας το λειτουργικό κόστος αφαλατώσεων και αντλήσεων. Γίνεται έτσι προφανής η ανάγκη διερεύνησης και αξιοποίησης όλων των πιθανών υδάτινων σωμάτων που θα μπορούσαν να φιλοξενήσουν ΠΦΒ, όπως κανάλια, δεξαμενές επεξεργασίας λυμάτων κλπ, ενώ τεράστιο μπορεί να είναι το δυναμικό από την ανάπτυξη της τεχνολογίας σε θαλάσσια παράκτια περιβάλλοντα της Κύπρου ενεργοποιώντας αχρησιμοποίητο χώρο για την παραγωγή ενέργειας κοντά σε κέντρα φόρτωσης, σε παραθαλάσσιους οικισμούς και λιμάνια.



# Κεφάλαιο 5

## Επίλογος – Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα του δυνητικού δυναμικού ΠΦΒ στις λίμνες της Ελλάδας, όπως αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 4, όχι μόνο είναι ενθαρρυντικά αλλά δείχνουν ότι τα ΠΦΒ μπορούν να συμβάλουν δυναμικά στις ενεργειακές ανάγκες της χώρας. Οι υπολογισμοί είναι προσεγγιστικοί και δεν έχουν προκύψει από λεπτομερή κατά περίπτωση ανάλυση του κάθε υδάτινου σώματος, καθώς σκοπό έχουν να αποτελέσουν αφηρημένα της εκτίμησης του δυναμικού και της βιωσιμότητας της νέας αυτής τεχνολογίας στη χώρα.

Για το συντηρητικό σενάριο (5%+1%+1%), κάλυψης μόνο του 5% των τεχνητών λιμνών της χώρας εκτός δικτύου Natura 2000 και του 1% των υπολοίπων τεχνητών λιμνών και ορισμένων φυσικών, προέκυψε ότι μπορούν να παραχθούν 2.244GWh/έτος που αντιστοιχούν στο 5% της συνολικής ετήσιας ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια της χώρας (46.310GWh για το έτος 2020), και στο 43% της παραγωγή των χερσαίων φ/β της για το 2021 (5.260GWh). Στην παραπάνω εκτίμηση αξίζει να σημειωθεί ότι δεν έχει ληφθεί υπόψη αυξημένη απόδοση των ΠΦΒ, λόγω του ψυχρότερου περιβάλλοντος λειτουργίας των φ/β πάνελ. Για το πιο «ευνοϊκό» σενάριο (10%+2%+2%), προέκυψε αντίστοιχα ότι μπορεί να παραχθεί περί το 10% της συνολικής ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας, και πλέον του 80% της παραγωγής των εγκατεστημένων χερσαίων φ/β της. Έτσι είναι φανερό ότι η Ελλάδα μπορεί να επωφεληθεί από αυτή τη ραγδαία αναπτυσσόμενη τεχνολογία, αποσοβώντας την έκλυση 1,93εκ. τόνων CO<sub>2</sub> ή αντίστοιχα, για το «ευνοϊκό» σενάριο, 3,86εκ τόνων CO<sub>2</sub> που εκτός του περιβαλλοντικού οφέλους μεταφράζονται και σε ένα οικονομικό όφελος της τάξης των 145εκ.€ (ή 290εκ.€ για το «ευνοϊκό» σενάριο) από την εξοικονόμηση των δικαιωμάτων εκπομπών ρύπων.

Βασικό πεδίο εφαρμογής των εγκαταστάσεων που εξετάστηκαν αποτελούν οι τεχνητές λίμνες Υ/Η παραγωγής ενέργειας της Ελλάδας, που ιστορικά έχουν αντιμετωπιστεί με σημαντική προσοχή λόγω κοινωνικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Περαιτέρω ανάπτυξη των ΠΦΒ σε αυτούς τους ταμειυτήρες, θα απαιτήσουν σημαντικό διάλογο και ανάλυση η οποία να διασφαλίζει την ευθυγράμμιση με τις ευρύτερες αξίες των κοινωνιών. Η υβριδική λειτουργία συστημάτων Υ/Η - ΠΦΒ, θα πρέπει να προκύψει έπειτα από μελέτες περίπτωσης που θα συνυπολογίζουν αν ο Υ/Η Σταθμός θα μπορεί να αντισταθμίσει την ανώτερη παραγωγική ισχύ του ΠΦΒ. Θα πρέπει δηλ να συνεκτιμηθεί η υφιστάμενη δυναμικότητα ώστε να λειτουργεί ως ανώτατο όριο στην παραγωγή του ΠΦΒ (πέρα από την έκταση), οι μηχανολογικές δυνατότητες του Υ/Η Σταθμού, ενώ ταυτόχρονα θα πρέπει να διασφαλίζεται και η ικανότητα του δικτύου μεταφοράς. Τέτοιου είδους τεχνικοοικονομικές αναλύσεις, για το κόστος ενός αυτόνομου ή υβριδικού ΠΦΒ συστήματος, θα επιτρέψουν στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να συγκρίνουν με ακρίβεια το κόστος ΠΦΒ με εκείνο των άλλων τεχνολογιών ώστε να σχεδιαστεί η τιμολογιακή πολιτική και τα κίνητρα ενίσχυσης που θα επιτρέψουν την ανάπτυξη της ΠΦΒ αγοράς στην Ελλάδα.

Για να αντιμετωπιστούν τα κενά γνώσης της νέας αυτής τεχνολογίας και την πλήρη κατανόηση των πλεονεκτημάτων και των πιθανών περιορισμών, χρειάζεται έρευνα σχετικά με την ανθεκτικότητα των υλικών του ΠΦΒ συστήματος, τα πιθανά συν-οφέλη που σχετίζονται με την εξάτμιση, την ανάπτυξη αλγών και την αυξημένη απόδοση λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας λειτουργίας των πάνελ. Βασικοί παράγοντες που θα παίξουν ρόλο και θα καθοδηγήσουν τις ευκαιρίες ανάπτυξης των ΠΦΒ είναι η ανάπτυξη νομικού πλαισίου για την αδειοδότηση και λειτουργία, όπως και ο ορθολογικός χωροταξικός σχεδιασμός όλων των ΑΠΕ.

Οι αυξημένες τιμές δικαιωμάτων εκπομπής CO<sub>2</sub>, όπως διαμορφώνονται ως συνέπεια της ενεργειακής κρίσης, δημιουργούν πρόσθετη πίεση και ενισχύουν ακόμη περισσότερο την παραγωγή από ΑΠΕ. Ήδη από το 2018 που το κόστος δικαιωμάτων εκπομπών CO<sub>2</sub> στην Ευρώπη ήταν 7,83€/t, είχε αυξηθεί σε 51,70€/t τον Απρίλιο του 2021 (HAEE. Greek Energy Market Report 2021:62), ενώ το κόστος έχει εκτοξευθεί κατά το 2022, ως συνέπεια και των γεωπολιτικών εξελίξεων με την προμήθεια φυσικού αερίου από τη Ρωσία. Συνυπολογίζοντας το γεγονός ότι η Ελλάδα αντιμετωπίζει τη 2η πιο ακριβή χονδρική τιμή ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη την Ευρώπη (52,9 €/MWh), γίνεται κατανοητή η ανάγκη ενεργειακής αυτονομίας και επάρκειας της χώρας και οι ΑΠΕ είναι αυτές που θα συμβάλουν σημαντικά προς αυτή την κατεύθυνση, αξιοποιώντας την εκμετάλλευση των δυνατοτήτων της χώρας και προσφέροντας άμεση ροή κεφαλαίου στην περιοχή εγκατάστασης.

Ήδη με σχέδιο Νόμου που κατατέθηκε στην ελληνική Βουλή στις 26 Απριλίου 2022 και βρίσκεται υπό δημόσια διαβούλευση (ΥΠΕΝ, Δικτυακός Τόπος Διαβουλεύσεων) το ΥΠΕΝ προωθεί το πλαίσιο ανάπτυξης πιλοτικών θαλάσσιων πλωτών φωτοβολταϊκών σταθμών. Στο πιλοτικό αυτό στάδιο το ΥΠΕΝ επιτρέπει τη χωροθέτηση, αδειοδότηση, εγκατάσταση και λειτουργία μέχρι 10 Πιλοτικών Θαλάσσιων Πλωτών Φωτοβολταϊκών Σταθμών (0,5 έως 1MW έκαστο), ενώ υπάρχουν και προβλέψεις για ενιαία έργα με παραχώρηση και χερσαίων εκτάσεων στον αιγιαλό και την παραλία, καθιστώντας έτσι σαφή την προσπάθεια επίσπευσης εισόδου της νέας τεχνολογίας ΑΠΕ στην Ελλάδα από το θαλάσσιο περιβάλλον, με σχετικά απλές αδειοδοτικές διαδικασίες, προτεραιότητα σύνδεσης με το δίκτυο, δυνατότητα επενδυτικής και λειτουργικής ενίσχυσης.

Όσον αφορά την Κύπρο, όπως αναλύθηκε τόσο για τις φυσικές όσο και για τις τεχνητές λίμνες, οι δυνατότητες ανάπτυξης της τεχνολογίας ΠΦΒ δεν είναι δυνατή, λόγω της έντονης μεταβλητότητας της στάθμης των υδάτινων αυτών σωμάτων. Παρ' όλα αυτά δεδομένου του υψηλού ηλιακού δυναμικού της χώρας θα πρέπει να εξεταστεί η ενθάρρυνση ανάπτυξης της ΠΦΒ τεχνολογίας σε οποιοδήποτε υδάτινο σώμα μπορεί να επωφεληθεί από τη μείωση της εξάτμισης νερού, μέσω της σκίασης από τα ΠΦΒ (πέραν της παραγωγής ενέργειας), όπως είναι τα αρδευτικά κανάλια, μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, λίμνες συγκράτησης νερού κλπ. Από την άλλη θαλάσσιες εγκαταστάσεις σε παράκτια ή/και υπεράκτια περιβάλλοντα της Κύπρου είναι απαραίτητο να διερευνηθούν προκειμένου να αλλάξει το τρέχων μη βιώσιμο χαρτοφυλάκιο παραγωγής δαπανηρής ενέργειας από την καύση πετρελαίου.

Οι τρέχουσες γεωπολιτικές εξελίξεις, όπως διαμορφώθηκαν στο πρώτο τρίμηνο του 2022, είναι σίγουρο πως αμφισβητούν την στρατηγική παροχής ενέργειας η οποία εξαρτάται από τα ορυκτά καύσιμα, και κάνουν επιτακτική την ανάγκη για επικείμενες αλλαγές. Οι νέες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν, έχουν να κάνουν με την παροχή στους πολίτες βιώσιμης, οικονομικά προσιτής και καθαρής ενέργειας.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

## Πίνακας των Ελληνικών Λιμνών

Οι σημαντικότερες φυσικές και τεχνητές λίμνες της Ελλάδας είναι 51.

A/A	Κωδικός Ε.Ε.	Ονομασία Λίμνης	Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	Μήκος ακτογραμμής (m)
1	GR001100030020H	ΛΙΜΝΗ ΚΕΡΚΙΝΗ	46.088.781	70.604
2	GR001200030030N	ΛΙΜΝΗ ΙΣΜΑΡΙΔΑ	1.865.104	5.520
3	GR000800030010H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΚΑΡΛΑΣ	34.925.586	29.705
4	GR000800030020H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΣΜΟΚΟΒΟΥ	9.917.521	57.610
5	GR001300030020N	ΛΙΜΝΗ ΚΟΥΡΝΑ	561.666	2.850
6	GR000400030042H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΚΡΕΜΑΣΤΩΝ	71.704.871	248.946
7	GR000400030050H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΚΑΣΤΡΑΚΙΟΥ	26.918.638	131.275
8	GR000400030066H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΣΤΡΑΤΟΥ	7.822.081	20.630
9	GR000400030026H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΤΑΥΡΩΠΟΥ	23.560.746	85.318
10	GR000400030058H	ΛΙΜΝΗ ΛΥΣΙΜΑΧΕΙΑ	13.047.744	22.906

A/A	Κωδικός Ε.Ε.	Όνομασία Λίμνης	Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	Μήκος ακτογραμμής (m)
11	GR000400030074N	ΛΙΜΝΗ ΟΖΕΡΟΣ	9.391.060	13.547
12	GR000400030034N	ΛΙΜΝΗ ΤΡΙΧΩΝΙΔΑ	96.519.392	53.511
13	GR000400030082N	ΛΙΜΝΗ ΑΜΒΡΑΚΙΑ	14.534.025	34.348
14	GR000400030090N	ΛΙΜΝΗ ΒΟΥΛΚΑΡΙΑ	9.127.902	22.116
15	GR000400030098N	ΛΙΜΝΗ ΣΑΛΤΙΝΗ	2.002.048	8.522
16	GR000400030010H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΜΟΡΝΟΥ	14.801.416	60.350
17	GR000400030018H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΕΥΗΝΟΥ	2.892.388	18.202
18	GR001100030010H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΛΕΥΚΟΓΕΙΩΝ	1.091.877	11.879
19	GR001200030040H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΠΛΑΤΑΝΟΒΡΥΣΗΣ	3.250.728	40.050
20	GR001200030050H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΘΗΣΑΥΡΟΥ	6.928.690	34.912
21	GR001300030010H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΜΠΡΑΜΙΑΝΟΥ	824.037	7.131
22	GR001200030010H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΓΡΑΤΙΝΗΣ	1.434.043	12.179
23	GR001200030020H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ Ν. ΑΔΡΙΑΝΗΣ	619.990	5.470
24	GR001300030030H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗΣ	751.706	8.072
25	GR000200030030H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΠΗΝΕΙΟΥ	19.848.420	80.156
26	GR000200030040N	ΛΙΜΝΗ ΛΑΜΙΑ	2.037.669	6.452
27	GR000200030010N	ΛΙΜΝΗ ΣΤΥΜΦΑΛΙΑ	3.569.133	9.235
28	GR000100030010H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΛΑΔΩΝΑ	3.026.975	26.705
29	GR000200030020H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΦΕΝΕΟΥ	503.315	4.036
30	GR001000030F40N	ΛΙΜΝΗ ΔΟΪΡΑΝΗ	38.845.663	23.830
31	GR001000030030N	ΛΙΜΝΗ ΠΙΚΡΟΛΙΜΝΗ	4.270.964	9.538

A/A	Κωδικός Ε.Ε.	Ονομασία Λίμνης	Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	Μήκος ακτογραμμής (m)
32	GR000900030037N	ΛΙΜΝΗ ΒΕΓΟΡΙΤΙΔΑ	53.967.631	44.307
33	GR000900030046N	ΛΙΜΝΗ ΠΕΤΡΩΝ	12.361.389	15.160
34	GR001000030020H	ΛΙΜΝΗ ΚΟΡΩΝΕΙΑ	48.155.631	31.202
35	GR001000030010N	ΛΙΜΝΗ ΒΟΛΒΗ	72.016.679	53.274
36	GR000900030064N	ΛΙΜΝΗ ΖΑΖΑΡΗ	1.704.475	5.386
37	GR000900030055N	ΛΙΜΝΗ ΧΕΙΜΑΔΙΤΙΔΑ	9.575.090	12.678
38	GR000900030073H	ΛΙΜΝΗ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ	28.849.830	31.836
39	GR000700030010N	ΛΙΜΝΗ ΔΥΣΤΟΣ	5.067.905	11.033
40	GR000600030010H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΜΑΡΑΘΩΝΑ	2.982.334	11.411
41	GR000500030010H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΠΗΓΩΝ ΑΛΟΥ	8.213.972	39.851
42	GR000500030020H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ	22.022.235	72.091
43	GR000500030040H	ΛΙΜΝΗ ΠΑΜΒΩΤΙΔΑ	19.243.692	25.655
44	GR000700030020H	ΛΙΜΝΗ ΥΛΙΚΗ	19.585.018	50.385
45	GR000700030030N	ΛΙΜΝΗ ΠΑΡΑΛΙΜΝΗ	10.968.338	18.456
46	GR000900030019H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΣΦΗΚΙΑΣ	3.668.519	24.065
47	GR000900030010H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΑΣΩΜΑΤΩΝ	2.198.492	25.534
48	GR000900030028H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΠΟΛΥΦΥΤΟΥ	64.364.596	104.871
49	GR000900030A82N	ΛΙΜΝΗ ΜΙΚΡΗ ΠΡΕΣΠΑ	47.375.734	54.361
50	GR00090003AF91N	ΛΙΜΝΗ ΜΕΓΑΛΗ ΠΡΕΣΠΑ	281.677.586	112.164
51	GR000500030030H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ II	697.517	6.896

**Πίνακας Α.1.** Λίμνες της Ελλάδας

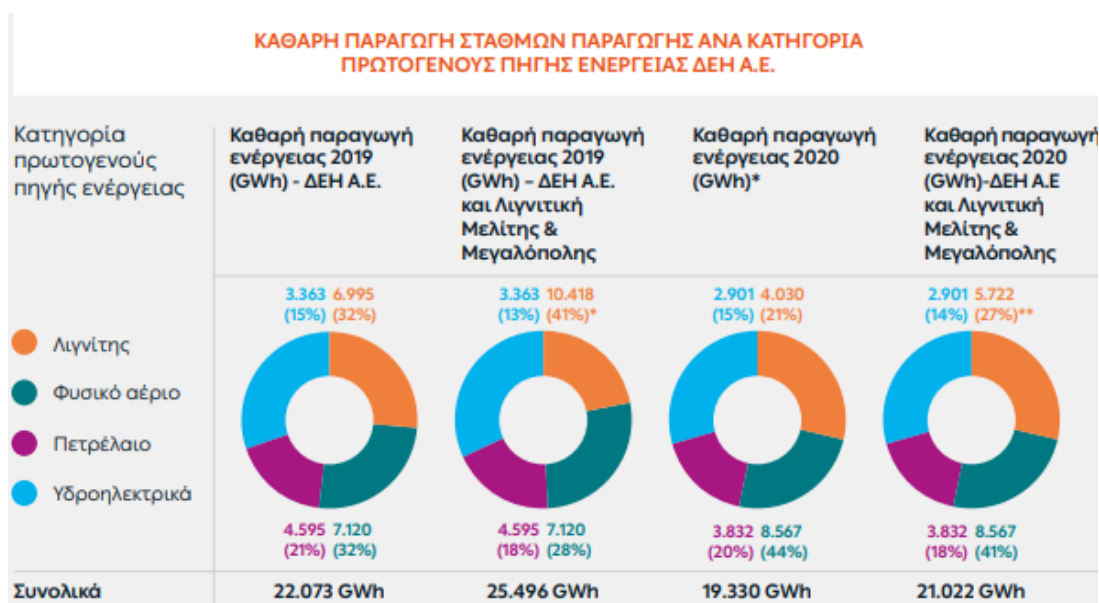
# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

## Εκπομπές ρύπων

Οι εκπομπές ρύπων υπολογίζονται από τα στοιχεία της Έκθεσης Βιώσιμης Ανάπτυξης 2020 της ΔΕΗ Α.Ε.

### Β.1. - Καθαρή Παραγωγή Ενέργειας από ορυκτά καύσιμα το 2020

Σύμφωνα με την Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2020 της ΔΕΗ (Σχήμα Γ1.1), η Καθαρή Παραγωγή Ενέργειας από ορυκτά καύσιμα (λιγνίτης + φυσικό αέριο + πετρέλαιο) υπολογίζεται σε 21.022-2.901=18.121GWh).



**Σχήμα Β.1:** Καθαρή Παραγωγή Σταθμών Παραγωγής ανά Κατηγορία Πρωτογενούς Πηγής Ενέργειας ΔΕΗ Α.Ε.. Πηγή: (ΔΕΗ Α.Ε. - Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2020, κεφ.4.1.1.:46)

## Β.2. - Μέσος συντελεστής εκπομπής CO<sub>2</sub> το 2020

Σύμφωνα με την Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2020 της ΔΕΗ (κεφ.6.1.1.:154), ο μέσος συντελεστής εκπομπής CO<sub>2</sub> όλων των θερμικών Μονάδων ΔΕΗ και θυγατρικών (**0,86 t CO<sub>2</sub>/MWhnet**) μειώθηκε κατά 19% σε σχέση με τα επίπεδα του 2019 (1,06 t CO<sub>2</sub>/MWhnet), ενώ ο μέσος συντελεστής εκπομπής του συνόλου των Μονάδων (θερμικές και υδροηλεκτρικές) μειώθηκε κατά 20% (από 0,92 t CO<sub>2</sub>/MWhnet το 2019 σε 0,74 t CO<sub>2</sub>/MWhnet το 2020).

## Β.3. - Μέσος συντελεστής εκπομπής ρύπων (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, PM) το 2020

Σύμφωνα με την Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2020 της ΔΕΗ (κεφ.6.1.1.:155) η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων στις θερμικές μονάδες παραγωγής έχει ως αποτέλεσμα εκπομπές στην ατμόσφαιρα, τόσο αερίων του θερμοκηπίου (ΑτΘ) με κυριότερο το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), όσο και ρύπων όπως τα οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>), τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και τα αιωρούμενα σωματίδια. Τα ΑτΘ συνεισφέρουν στην κλιματική αλλαγή, ενώ οι ρύποι επηρεάζουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας.

ΡΥΠΟΙ	ΕΚΠΟΜΠΕΣ 2019 (T) ΔΕΗ Α.Ε.	ΕΚΠΟΜΠΕΣ 2020 (T) ΔΕΗ Α.Ε.	ΕΚΠΟΜΠΕΣ 2020 (T) ΛΙΓΝΙΤΙΚΗ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ Α.Ε.	ΕΚΠΟΜΠΕΣ 2020 (T) ΛΙΓΝΙΤΙΚΗ ΜΕΛΙΤΗΣ Α.Ε.
Οξείδια του θείου (SO <sub>x</sub> )	26.200 (29.800)	19.391	626	426
Οξείδια του αζώτου (NO <sub>x</sub> )	36.900 (39.300)	30.423	526	274
Σωματιδιακές εκπομπές (PM)	1.630 (1.710)	994	17,9	4,96
Pb	1,35 (1,44)	0,916	0,002	0,047
Ni	5,20 (5,37)	5,360	0,014	0,064
Cu	2,31 (2,38)	0,951	0,003	0,042
Cr(tot)	2,58 (2,81)	1,242	0,006	0,114
Zn	3,91 (4,57)	2,330	0,012	0,372
Cd	0,160 (0,180)	0,099	0,000	0,011
Hg	0,283 (0,614)	0,171	0,123	0,011
As	0,617 (0,639)	0,305	0,001	0,010

**Πίνακας Β.1.** Εκπομπές στην ατμόσφαιρα. Πηγή: (ΔΕΗ Α.Ε. - Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2020, κεφ.6.1.1.:155)



Ο μέσος συντελεστής εκπομπής των σημαντικότερων ρύπων, υπολογίζεται σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα Γ.3 και είναι:

$$\text{SO}_x = (19.391+626+426)/18.121 = 1,13\text{tn/GWh}$$

$$\text{NO}_x = (30.423+526+274)/18.121 = 1,72\text{tn/GWh}$$

$$\text{PM} = (994+17,9+4,96)/18.121 = 0,056\text{tn/GWh}$$

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

## Πίνακες Περιεχομένων

### Γ.1. Πίνακας Περιεχομένων Πινάκων

Πίνακας 1.	Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα για το έτος 2020.....	4
Πίνακας 2.	Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Κύπρο για το έτος 2020.....	6
Πίνακας 3.	Σύγκριση μεταξύ πλωτών και χερσαίων φωτοβολταϊκών έργων.....	14
Πίνακας 4.	Υπολογισμός της εγκατεστημένης ισχύος και της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με κάλυψη του 5% της επιφάνειας των τεχνητών λιμνών της Ελλάδας οι οποίες βρίσκονται εκτός του δικτύου Natura 2000.....	54
Πίνακας 5.	Υπολογισμός της εγκατεστημένης ισχύος και της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με κάλυψη του 1% της επιφάνειας των τεχνητών λιμνών της Ελλάδας οι οποίες βρίσκονται εντός του δικτύου Natura 2000.....	55
Πίνακας 6.	Υπολογισμός της εγκατεστημένης ισχύος και της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με κάλυψη του 1% της επιφάνειας επιλεγμένων φυσικών λιμνών της Ελλάδας.....	56
Πίνακας 7.	Φυσικές λίμνες της Ελλάδας για τις οποίες δεν εξετάστηκε το ενδεχόμενο τοποθέτησης ΠΦΒ εγκαταστάσεων.....	57
Πίνακας 8.	Ετήσια εξοικονόμηση εκπομπής ρύπων στην ατμόσφαιρα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 2.244GWh/έτος και 4.488GWh/έτος.....	58
Πίνακας 9.	Τεχνητές λίμνες της Κύπρου.....	60
Πίνακας Α.1.	Λίμνες της Ελλάδας.....	67
Πίνακας Β.1.	Εκπομπές στην ατμόσφαιρα - (ΔΕΗ Α.Ε. - Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2020) ...	71

### Γ.2. Πίνακας Περιεχομένων Χαρτών

Χάρτης 1.	Λίμνη Κρεμαστών με χωροθετημένη εγκατάσταση ΠΦΒ σε 4 νησίδες πλησίον του Υ/Η φράγματος. Κλίμακα 1:250.000.....	52
Χάρτης 2.	Λίμνη Κρεμαστών με χωροθετημένη εγκατάσταση ΠΦΒ σε 4 νησίδες πλησίον του Υ/Η φράγματος. Κλίμακα 1:100.000.....	52
Χάρτης 3.	Τεχνητές λίμνες της Κύπρου.....	60
Χάρτης 4.	Λίμνη Κούρη με χωροθετημένη εγκατάσταση ΠΦΒ σε 9 νησίδες πλησίον του Υ/Η φράγματος.Κλίμακα 1:50.000.....	62

### Γ.3. Πίνακας Περιεχομένων Διαγραμμάτων

<b>Διάγραμμα 1.</b>	Παγκόσμια Ενεργειακή Κατανάλωση (TWh). Κατανομή ανά πηγή παραγωγής...	2
<b>Διάγραμμα 2.</b>	Παγκόσμια ποσοστιαία κατανομή Ηλεκτροπαραγωγής, συγκριτικά με το συνολικό Ενεργειακό Μίγμα, ανά πηγή παραγωγής ενέργειας.....	3
<b>Διάγραμμα 3.</b>	Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα για το έτος 2020. ....	5
<b>Διάγραμμα 4.</b>	Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Κύπρο για το έτος 2020. ....	7
<b>Διάγραμμα 5.</b>	Εγκατεστημένη Ισχύς Φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα.....	9
<b>Διάγραμμα 6.</b>	Εγκατεστημένη Ισχύς Φωτοβολταϊκών στην Κύπρο.....	10
<b>Διάγραμμα 7.</b>	Ετήσια και παγκόσμια εγκαταστημένη ισχύς ΠΦΒ 2013-2021.....	14
<b>Διάγραμμα 8.</b>	Παγκόσμιος μέσος όρος σταθμισμένης κλίμακας LCOE φ/β, 2010-2020 (USD/KWh).....	32
<b>Διάγραμμα 9.</b>	Αποθήκευση Νερού σε όλα τα Φράγματα της Κύπρου από 1/1/1988 έως 1/1/2021.	61

### Γ.4. Πίνακας Περιεχομένων Σχημάτων

<b>Σχήμα 1.</b>	Σχηματική απεικόνιση ενός ΠΦΒ συστήματος μεγάλης κλίμακας.....	11
<b>Σχήμα 2.</b>	Συμπεριφορά πλωτής κατασκευής με συνεχή και μη συνεχή κατασκευή.....	18
<b>Σχήμα 3.</b>	Διάταξη της πλωτής μονάδας.....	23
<b>Σχήμα 4.</b>	Διάταξη ενός υβριδικού συστήματος ΥΗ – ΠΦΒ.....	24
<b>Σχήμα 5.</b>	Εισαγωγή δεδομένων στο διαδικτυακό λογισμικό PVGIS.....	48
<b>Σχήμα 6.</b>	Σχηματική παράσταση των 4 ΠΦΒ νησίδων, με συνολική έκταση 3,55km <sup>2</sup> .....	51
<b>Σχήμα Β.1.</b>	Καθαρή Παραγωγή Σταθμών Παραγωγής ανά Κατηγορία Πρωτογενούς Πηγής Ενέργειας ΔΕΗ Α.Ε.. Πηγή: (ΔΕΗ Α.Ε. - Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2020).....	70

# Βιβλιογραφικές Αναφορές

## Ελληνόγλωσσες Βιβλιογραφικές Αναφορές

Αργυράκης, Ι. (2008). Πρακτικά 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου Μεγάλων Φραγμάτων, 11/2008. Λάρισα: ΤΕΕ.

ΔΑΠΕΕΠ, *Μηνιαίο Δελτίο Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ Νοέμβριος - Δεκέμβριος 2021*. Ανακτήθηκε 20 Μαρτίου, 2022, από <https://www.dapeep.gr/miniaio-deltio-elape-11-12-2021/>

ΔΕΗ Α.Ε.. (2022). *Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2020*. Ανακτήθηκε 01 Μαρτίου, 2022 από <https://www.dei.gr/el/dei-omilos/viosimi-anaptiksi/ektheseis-viosimis-anaptyksis/ekthesi-viosimis-anaptyksis-2020/>

Ευρωπαϊκή Επιτροπή - *Αξιολόγηση του τελικού εθνικού σχεδίου της Κύπρου για την ενέργεια και το κλίμα*, (14.10.2020). Ανακτήθηκε 14 Απριλίου, 2022, από [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2021-01/staff\\_working\\_document\\_assessment\\_necp\\_cyprus\\_el\\_0.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2021-01/staff_working_document_assessment_necp_cyprus_el_0.pdf)

Ευρωπαϊκή Επιτροπή – *Δράση για το Κλίμα, Μακροπρόθεσμη στρατηγική για το 2050*. Ανακτήθηκε 12 Απριλίου, 2022, από [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy\\_el](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy_el)

Ευρωπαϊκή Επιτροπή, *Συχνές ερωτήσεις για το δίκτυο Natura 2000*. Ανακτήθηκε 01 Φεβρουαρίου, 2022, από [https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/faq\\_el.htm](https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/faq_el.htm)

Κουσουρής, Θ. (2015). *Οι Λίμνες στην Ελλάδα. Λιμνών Καταγραφές & Μαρτυρίες*. Αθήνα.

Κυπριακή Δημοκρατία, *Οδηγία Πλαίσιο για τα νερά, (2007)*. Ανακτήθηκε 01 Απριλίου, 2022, από [http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wfd.nsf/All/DB0AE675EAA8C01DC22582CD00288D9E/\\$file/1\\_Egarmogi\\_Art\\_8.pdf?OpenElement](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wfd.nsf/All/DB0AE675EAA8C01DC22582CD00288D9E/$file/1_Egarmogi_Art_8.pdf?OpenElement)

Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, (2021). *Ένας πρακτικός οδηγός για επενδύσεις στα φωτοβολταϊκά*. Ανακτήθηκε 5 Απριλίου, 2022, από [https://helapco.gr/pdf/HELAPCO\\_PV\\_Investment\\_Guide.pdf](https://helapco.gr/pdf/HELAPCO_PV_Investment_Guide.pdf)

Συνεταιρισμός Εταιριών Φωτοβολταϊκών. (2016). *Περιγραφή σχήματος λειτουργικής ενίσχυσης στους τομείς των ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ*. Ανακτήθηκε 25 Μαρτίου, 2022, από [https://helapco.gr/wp-content/uploads/consultation\\_new-RES-support-scheme.pdf](https://helapco.gr/wp-content/uploads/consultation_new-RES-support-scheme.pdf)

Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, (02.05.2022). *Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών για το 2021*. Ανακτήθηκε 5 Μαΐου, 2022, από <https://helapco.gr/nea-2021/statistika-ellinikis-agoras-fotovoltaikon-2021/>

Σύνδεσμος Παραγωγών Ενέργειας με Φωτοβολταϊκά, (2022). *Μελέτη ΣΠΕΦ: Στους 8.8 μήνες ο μέσος χρόνος για ηλεκτρίση από σύμβαση σύνδεσης, στους 11.7 για όρους σύνδεσης και +15% το μέσο κόστος Φ/Β πάρκου*. Ανακτήθηκε 20 Απριλίου, 2022, από [https://spef.gr/pdf/DT\\_SPEF\\_meleti\\_300122.pdf](https://spef.gr/pdf/DT_SPEF_meleti_300122.pdf)

Υπουργείο Γεωργίας Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος Κύπρου. (Ιαν.2020). *Εθνικό Σχέδιο της Κύπρου για την Ενέργεια και το Κλίμα*. Ανακτήθηκε 5 Απριλίου, 2022, από [http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/all/EE3E8BE9D5282E5CC22584F700273BD9/\\$file/NECP\\_GR.PDF?openelement](http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/all/EE3E8BE9D5282E5CC22584F700273BD9/$file/NECP_GR.PDF?openelement)

Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Κύπρου, Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων. (2014). Έκθεση για την Ταξινόμηση των Υδατικών συστημάτων (Ποτάμια, Φυσικές λίμνες, Ταμιευτήρες): 53. Ανακτήθηκε 05 Απριλίου, 2022, από

[http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wfd.nsf/All/F02C8710DB747A34C22583C5004560C6/\\$file/3rd\\_FINAL\\_Activity.pdf?OpenElement](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wfd.nsf/All/F02C8710DB747A34C22583C5004560C6/$file/3rd_FINAL_Activity.pdf?OpenElement)

Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Κύπρου, Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων, Κατάλογος Φραγμάτων. Ανακτήθηκε 05 Απριλίου, 2022, από

<http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/All/9C19836B933C3742C22581FD0021E872?OpenDocument>

Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Κύπρου, Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων, Στατιστικά στοιχεία για την αποθήκευση νερού στα φράγματα. Ανακτήθηκε 05 Απριλίου, 2022, από

<http://www.moa.gov.cy/moa/WDD/wdd.nsf/All/6732946F0651841EC22581FC00330302?OpenDocument>

ΥΠΕΝ - Δικτυακός Τόπος Διαβουλεύσεων, Εκσυγχρονισμός της Αδειοδοτικής διαδικασίας ΑΓΠΕ - Β' Φάση, Αδειοδότηση Παραγωγής και Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας, Πλαίσιο Ανάπτυξης Πιλοτικών Θαλάσσιων Πλωτών Φ/Β Σταθμών και ειδικότερες Διατάξεις για την ενέργεια και την προστασία του περιβάλλοντος.

Ανακτήθηκε 05 Μαΐου, 2022, από <http://www.openqov.gr/minenv/?p=12336>

ΥΠΕΝ. (2019). Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα. Ανακτήθηκε 13 Απριλίου, 2022, από

<https://ypen.gov.gr/energeia/esek/>

ΥΠΟΙΚ. (2021). Εθνικό Σχέδιο Ανάκαμψης και Ανασυγκρότησης – Ελλάδα 2.0. Ανακτήθηκε 13 Απριλίου, 2022, από <https://greece20.gov.gr/to-plires-sxedio/>

ΥΠΕΝ - Ενέργεια, Μακροπρόθεσμη στρατηγική για το 2050. Ανακτήθηκε 12 Απριλίου, 2022, από

<https://ypen.gov.gr/energeia/esek/lts/>

ΥΠΕΝ, Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών. Ανακτήθηκε 08 Φεβρουαρίου, 2022, από

<https://ypen.gov.gr/perivallon/klimatiki-allaqi/systima-eborias-dikaiomaton-ekpobon/>

Φλουδόπουλος, Χ. (2019). Η Ελλάδα γεμίζει ηλιακά πάρκα- Έρχονται επενδύσεις 2 δισ.. Ανακτήθηκε 10 Απριλίου, 2022, από

<https://www.capital.gr/epixeiriseis/3357014/i-ellada-gemizei-iliaka-parka-erxontai-ependuseis-2-dis>

## Ξενόγλωσσες Βιβλιογραφικές Αναφορές

A C Santos-Borja. (2021). *Dealing with uncertainties: floating solar farm in natural lakes*. IOP Publishing.

doi:10.1088/1755-1315/789/1/012036. Ανακτήθηκε 10 Απριλίου, 2022, από

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/789/1/012036>

Babatunde, A. et al. (2018). *Analysis of the impact of dust, tilt angle and orientation on performance of PV Plants*. Lefkosa, North Cyprus, Turkey.

Bellini, E. (2020). *Offshore vs land-based solar*. PVMAGAZINE. Ανακτήθηκε 12 Ιανουαρίου, 2022 από

<https://www.pv-magazine.com/2020/05/13/offshore-vs-land-based-solar/>

European Commission. (2020). *Energy costs, taxes and the impact of government interventions on investments*. Luxembourg: Publications Office of the EU. Doi: 10.2833/779528

European Energy Exchange AG, Auction market (28.04.2022). Ανακτήθηκε από <https://www.eex.com/en/market-data/environmental-markets/auction-market>

EU Science Hub, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS 5.2. Ανακτήθηκε 01 Απριλίου, 2022, από [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html)

EU Science Hub, PVGIS user manual. Ανακτήθηκε 01 Απριλίου, 2022, από: [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system/getting-started-pvgis/pvgis-user-manual\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system/getting-started-pvgis/pvgis-user-manual_en)

Exley, G.et al. (2021). *Scientific and stakeholder evidence-based assessment: Ecosystem response to floating solar photovoltaics and implications for sustainability*. UK: Elsevier.

Garanovic, A. (2021). *Oceans of Energy's floating solar system weathers through all North Sea storms*. *Offshore-energy*. Ανακτήθηκε 10 Ιανουαρίου, 2022 από <https://www.offshore-energy.biz/oceans-of-energys-floating-solar-system-weathers-through-all-north-sea-storms/>

Gisbert, et al.(2013). *A new photovoltaic floating cover system for water reservoirs* Valencia, Spain.

Global Reservoir and Dam Database (GRanD) v1.3 (2019). Ανακτήθηκε 08 Απριλίου, 2022, από [http://globaldamwatch.org/data/#core\\_global](http://globaldamwatch.org/data/#core_global)

GLOBAL SOLAR ATLAS, Methodology. Ανακτήθηκε 30 Απριλίου, 2022, από <https://globalsolaratlas.info/support/methodology>

Hellenic Association for Energy Economics. *Green Energy Market Report 2021*. Ανακτήθηκε 05 Μαΐου, 2022, από <https://www.haee.gr/publications/haee-publications/greek-energy-market-report-2021/>

International Conference and Exhibition SOLAR – HYDRO 2021. *Floating solar PV on dam reservoirs: The opportunities and the challenges*. Event report by ICOLD and Aqua-Media International. Ανακτήθηκε 05 Φεβρουαρίου, 2022, από <https://www.hydropower-dams.com/photos/solar-hydro-2021/>

International Energy Agency – Greece. (2020), *Data Browser, Energy supply – Electricity generation by source*. Ανακτήθηκε 12 Απριλίου, 2022, από <https://www.iea.org/countries/greece>

International Energy Agency – Cyprus. (2020), *Data Browser, Energy supply – Electricity generation by source*. Ανακτήθηκε 14 Απριλίου, 2022, από <https://www.iea.org/countries/cyprus>

IRENA (2017), *Planning for the Renewable Future: Long-term modelling and tools to expand variable renewable power in emerging economies*, Abu Dhabi. Ανακτήθηκε 25 Μαρτίου, 2022, από <https://www.irena.org/publications/2017/Jan/Planning-for-the-renewable-future-Long-term-modelling-and-tools-to-expand-variable-renewable-power>

- IRENA (2017), *Renewable energy benefits: Leveraging local capacity for solar PV*, Abu Dhabi. Ανακτήθηκε 12 Φεβρουαρίου, 2022 από <https://www.irena.org/publications/2017/Jun/Renewable-Energy-Benefits-Leveraging-Local-Capacity-for-Solar-PV>
- IRENA (2021), *Renewable Power Generation Costs in 2020*, Abu Dhabi. Ανακτήθηκε 15 Ιανουαρίου, 2022, από <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020>
- IRENA (2022), *Renewable Technology Innovation Indicators: Mapping progress in costs, patents and standards*, Abu Dhabi. Ανακτήθηκε 10 Απριλίου, 2022, από <https://www.irena.org/publications/2022/Mar/Renewable-Technology-Innovation-Indicators>
- IRENA (2016), *Roadmap for a Renewable Energy Future*, 2016 Edition. Abu Dhabi, Ανακτήθηκε 31 Μαρτίου, 2022, από [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA\\_REmap\\_2016\\_edition\\_report.ashx](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_REmap_2016_edition_report.ashx)
- Kougias, I. et al. (2016). *The potential of water infrastructure to accommodate solar PV systems in Mediterranean islands*. Ispra, Italy: Elsevier.
- Kumar, M. et al. (2021). *Challenges and opportunities towards the development of floating photovoltaic systems*. India: Elsevier.
- Lazard. (28.10.2021). *Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis — Version 15.0*. Ανακτήθηκε 05 Απριλίου, 2022, από <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-levelized-cost-of-storage-and-levelized-cost-of-hydrogen/>
- Masson, G. & Kaizuka, I. (2021). IEA PVPS, *Trends in Photovoltaic Applications 2021*. Ανακτήθηκε 10 Μαρτίου, 2022, από [https://iea-pvps.org/trends\\_reports/trends-in-pv-applications-2021/](https://iea-pvps.org/trends_reports/trends-in-pv-applications-2021/)
- Sara, O. & Jasper, S. (2019). *Assessment of the potential of different floating solar technologies –Overview and analysis of different case studies*. Norway: Elsevier.
- Ramasamy, V. & Margolis, R. (2021). *Floating Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2021 Installations on Artificial Water Bodies*. USA: National Renewable Energy Laboratory. Ανακτήθηκε 12 Φεβρουαρίου 2022, από <https://www.nrel.gov/research/publications.html>
- Ritchie, H. & Roser, M. (2020a) Energy Mix. Ανακτήθηκε 12 Απριλίου, 2022, από <https://ourworldindata.org/energy-mix>
- Ritchie, H. & Roser, M. (2020b) Electricity Mix. Ανακτήθηκε 12 Απριλίου, 2022, από <https://ourworldindata.org/electricity-mix>
- Robert S. Spencer, R. et al. (2018). *Floating Photovoltaic Systems: Assessing the Technical Potential of Photovoltaic Systems on Man-Made Water Bodies in the Continental United States*. NREL Colorado: ACS Publications. DOI: 10.1021/acs.est.8b04735. Ανακτήθηκε 12 Απριλίου, 2022, από <https://www.osti.gov/pages/biblio/1489330>

Spencer, R. et al. (2018). *Supporting Information, Floating PV: Assessing the Technical Potential of Photovoltaic Systems on Man-Made Water Bodies in the Continental United States*. NREL Colorado: ACS Publications. Ανακτήθηκε 12 Απριλίου, 2022, από <https://ndownloader.figstatic.com/files/13903448>

Sade, K. et al. (2020). *Life cycle assessment of a floating photovoltaic system and feasibility for application in Thailand*: Elsevier

Scavo, F. et al. (2020), *Assessment of the evaporation rate in reservoir partially covered by floating photovoltaic plants*, 11th International Renewable Energy Congress (IREC), 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/IREC48820.2020.9310401.

Sun-Hee, K. et al. (2020). *Design and Installation of 500-kW Floating Photovoltaic Structures Using High-Durability Steel*, Korea

Trapani, K. Millar, D.(2012). *Proposing offshore photovoltaic (PV) technology to the energy mix of the Maltese islands*: Elsevier

Vartiainen, E. Masson, G. Breyer, C. (2015) *PV LCOE IN EUROPE 2015-2050*. *31st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 14-18 Σεπτεμβρίου 2015*. Hamburg, Germany: e-media.

World Bank Group, ESMAP and SERIS. (2019). *Where Sun Meets Water: Floating Solar Handbook for Practitioners*. Washington, DC: World Bank. Ανακτήθηκε 10 Δεκεμβρίου, 2021, από <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/418961572293438109/where-sun-meets-water-floating-solar-handbook-for-practitioners>

World Bank Group, ESMAP and SERIS. (2019). *Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report*. Washington, DC: World Bank. Ανακτήθηκε 15 Νοεμβρίου, 2021, από [https://esmap.org/where\\_sun\\_meets\\_water\\_floating\\_solar\\_market\\_report](https://esmap.org/where_sun_meets_water_floating_solar_market_report)

Ziar, H. et al. (2020). *Innovative floating bifacial photovoltaic solutions for inland water areas*. Delft University of Technology, The Netherlands. Ανακτήθηκε 2 Απριλίου, 2022 από <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/pip.3367>