



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

## Διπλωματική Εργασία

Όνομα:	ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ
Επώνυμο:	ΠΟΛΙΤΗΣ
Αριθμός Μητρώου	184024

### ΘΕΜΑ

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:

Οικονομική αξιολόγηση και ανάλυση κινδύνου φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 100 kWp

ΕΠΙΒΕΛΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Σπυρίδων Παπαθανασίου

Ακαδημαϊκό Έτος 2020-2021

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κλιματική αλλαγή και η υπερθέρμανση του πλανήτη έχουν προκαλέσει μια παγκόσμια αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το 2019 ήταν η ένατη συνεχής χρονιά κατά τη διάρκεια της οποίας η ηλιακή ενέργεια μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων προσέλκυσε το μεγαλύτερο μερίδιο των νέων επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η οικονομική αξιολόγηση και η ανάλυση κινδύνου για τη δημιουργία ενός φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 100 kWp για μία περίοδο 20 ετών στην Ελλάδα. Για τον υπολογισμό αυτών των ταμειακών ροών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της καθαρής παρούσας αξίας, ενώ για την ανάλυση κινδύνου χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση PEST και η μεθοδολογία Risk Breakdown Structure (RBS). Τα αποτελέσματα της έρευνας κατέδειξαν ότι με την κατάλληλη και την επαρκή οικονομική ανάλυση και ανάλυση κινδύνου μπορεί να αξιολογηθεί μία επένδυση σε ένα φωτοβολταϊκό πάρκο, καθώς και ότι απορρέουν σημαντικά οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη από μία τέτοια επένδυση. Μελλοντικές έρευνες, ωστόσο, στη βάση διαφορετικών σεναρίων βιωσιμότητας και στη βάση των απόψεων των ιδίων των ενδιαφερομένων μερών, είναι απαραίτητες.

Λέξεις-κλειδιά: ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ηλιακή ενέργεια, φωτοβολταϊκό πάρκο, οικονομική αξιολόγηση, ανάλυση κινδύνου

## **ABSTRACT**

Climate change and global warming have caused a global increase in the use of renewable energy sources. 2019 was the ninth consecutive year during which solar energy through photovoltaic systems attracted the largest share of new investments in renewable energy sources. The purpose of this research is to conduct a financial assessment and risk analysis for the creation of a photovoltaic park with a power of 100 kWp for a period of 20 years in Greece. The net present value method was used to calculate these cash flows, while the PEST analysis and the Risk Breakdown Structure (RBS) methodology were used for the risk analysis. The results of the research indicated that with the appropriate and sufficient financial and risk analysis, an investment in a photovoltaic park can be evaluated, as well as that significant economic, environmental and social benefits derive from such an investment. Future research, however, based on different sustainability scenarios and the views of stakeholders themselves, is needed.

Keywords: renewable energy, solar energy, photovoltaic park, economic evaluation, risk analysis

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	10
1.1 Σημασία της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας .....	10
1.1.1 Οφέλη στο ηλεκτρικό σύστημα ενέργειας.....	10
1.1.2 Οφέλη στην υγεία των πολιτών .....	14
1.1.3 Οικονομικά οφέλη .....	14
1.2 Είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	19
1.2.1 Βιομάζα .....	19
1.2.2 Γεωθερμική ενέργεια.....	20
1.2.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια .....	20
1.2.4 Θαλάσσια ενέργεια.....	21
1.2.5 Αιολική ενέργεια .....	21
1.2.6 Ηλιακή ενέργεια .....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΚΑ.....	23
2.1 Πλεονεκτήματα και ευκαιρίες.....	25
2.2 Μειονεκτήματα και προκλήσεις.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ – ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ .	33
3.1 Βιβλιογραφική επισκόπηση .....	33
3.2 Ερευνητικό κενό και σκοπός της έρευνας.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ .....	42
4.1 Γενικά στοιχεία φωτοβολταϊκού πάρκου και τεχνικά χαρακτηριστικά .....	42
4.2 Οικονομικά στοιχεία .....	47
4.2.1 Έξοδα εγκατάστασης φωτοβολταϊκού πάρκου .....	47
4.2.2 Έσοδα φωτοβολταϊκού πάρκου .....	48
4.3 Ανάλυση κινδύνου.....	52

4.3 Σύγκριση απόδοσης σε φωτοβολταϊκό και αιολικό πάρκο .....	56
4.4 Σύνοψη .....	58
ΚΕΦΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	59
5.1 Συμπεράσματα.....	59
5.2 Προτάσεις πρακτικής εφαρμογής.....	63
5.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....	67

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά του συλλέκτη PLUTO 255-Wdm .....	43
Πίνακας 4.2 Θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά του συλλέκτη PLUTO 255-Wdm .....	43
Πίνακας 4.3 Μηχανικά χαρακτηριστικά του συλλέκτη PLUTO 255-Wdm.....	44
Πίνακας 4.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά της βάσης ATLAS .....	44
Πίνακας 4.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφών.....	46
Πίνακας 4.6 Έξοδα φωτοβολταϊκού πάρκου .....	48
Πίνακας 4.7 Έσοδα φωτοβολταϊκού πάρκου.....	49
Πίνακας 4.8 Καθαρά Παρούσα Αξία επένδυσης φωτοβολταϊκού πάρκου.....	51
Πίνακας 4.9 Ανάλυση κινδύνων του έργου βάσει της μεθοδολογίας RBS και της ανάλυσης PEST .....	53
Πίνακας 4.10 Μήτρα κινδύνων.....	54
Πίνακας 4.11 Έξοδα αιολικού πάρκου .....	56
Πίνακας 4.12 Καθαρά Παρούσα Αξία επένδυσης φωτοβολταϊκού πάρκου.....	57

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κλιματική αλλαγή και η υπερθέρμανση του πλανήτη έχουν προκαλέσει μια παγκόσμια αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για διάφορους σκοπούς. Η έκκληση εθνικών κυβερνήσεων και διεθνών οργανισμών για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι αυξανόμενη. Τα τελευταία χρόνια, το φωτοβολταϊκό σύστημα έχει καταστεί μια από τις πιο δημοφιλείς τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που συλλαμβάνει ηλιακή ενέργεια για διαφορετικές εφαρμογές (Usman, Tah, Abanda & Nche, 2020). Η Έκθεση Ενέργειας, που δημοσιεύθηκε από το WWF το 2010, ζήτησε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την κάλυψη όλων των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών έως το 2050. Ενώ ένα ισορροπημένο χαρτοφυλάκιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα καλύψει τελικά τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες, έμφαση δίνεται στην ηλιακή φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλιακή φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια έχει σημειώσει μέσο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης πάνω από 40% από το 2000. Αρκετά σενάρια υποδηλώνουν ότι η ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια θα μπορούσε να παρέχει περίπου το 30% της παγκόσμιας συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας το 2050 (WWF, 2012).

Το 2019 ήταν η ένατη συνεχή χρονιά κατά τη διάρκεια της οποίας η ηλιακή ενέργεια προσέλκυσε το μεγαλύτερο μερίδιο των νέων επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ακολουθούμενη από την αιολική ενέργεια. Οι επενδύσεις 140 δισεκατομμυρίων δολαρίων (122 δισεκατομμύρια Ευρώ) στην ηλιακή ενέργεια, αντιπροσώπευαν το 42,5% όλων των νέων επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ενώ η ετήσια επένδυση μειώθηκε κατά 13%, η πρόσφατα εγκατεστημένη χωρητικότητα ηλιακής φωτοβολταϊκής ισχύος αυξήθηκε κατά περίπου 5% σε πάνω από 107 GW το 2018. Τα τελευταία 15 χρόνια, ο όγκος παραγωγής ηλιακών φωτοβολταϊκών αυξήθηκε με σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (CAGR) άνω του 40%, γεγονός που καθιστά τη βιομηχανία μία από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες στον κόσμο. Μέχρι το 2006, η παραγωγή ηλιακών κυττάρων κυριαρχούσε από την Ιαπωνία και την Ευρώπη. Μετά την ταχεία αύξηση της ετήσιας παραγωγής στην Κίνα και την Ταϊβάν από το 2006, εμφανίστηκε μια νέα τάση το 2014 για την ταχεία αύξηση της παραγωγικής ικανότητας σε άλλες ασιατικές χώρες όπως η Ινδία, η Μαλαισία, η Ταϊλάνδη, οι Φιλιππίνες ή το Βιετνάμ. Η ανάπτυξη της αγοράς ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων δεν ακολούθησε την παραγωγή με τον ίδιο ρυθμό,

γεγονός που οδήγησε σε πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα και μαζική πίεση τιμών κατά μήκος της αλυσίδας αξίας παραγωγής. Οι δαπάνες έρευνας και ανάπτυξης για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξήθηκαν κατά 10% φθάνοντας τα 13 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ (11,3 δισεκατομμύρια ευρώ). Περίπου το ήμισυ αυτών των δαπανών προσανατολίστηκε στην ηλιακή ενέργεια. Ωστόσο, αυτό εξακολουθεί να είναι μόνο το 10,7% των συνολικών δαπανών έρευνας και ανάπτυξης ύψους 121 δισεκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ (105 δισεκατομμύρια Ευρώ) για την ενέργεια. Η τάση οι αναπτυσσόμενες οικονομίες επενδύουν περισσότερο σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από τις ανεπτυγμένες συνεχίστηκε για τέταρτο έτος. Η βιομηχανία φωτοβολταϊκών έχει αλλάξει δραματικά τα τελευταία χρόνια. Η Κίνα έχει καταστεί η μεγαλύτερη χώρα παραγωγής ηλιακών κυψελών και μονάδων, ακολουθούμενη από την Ταϊβάν και τη Μαλαισία. Όσον αφορά τις επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (εξαιρουμένης της μεγάλης υδροηλεκτρικής ενέργειας), η Κίνα διατήρησε το προβάδισμα με 91,2 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ (79,3 δισεκατομμύρια ευρώ), ακολουθούμενη από την Ευρώπη 61,2 δισεκατομμύρια δολάρια (53,2 δισεκατομμύρια ευρώ), οι ΗΠΑ με 48,5 δισεκατομμύρια δολάρια (42,2 δισεκατομμύρια ευρώ) και Ινδία 15,4 δισεκατομμύρια USD (13,4 δισεκατομμύρια ευρώ) (Jäger-Waldau, 2019).

Παρά τη δημοτικότητά τους και το συνεχώς μειούμενο κόστος τους (Darwish, Abdulrahim & Sharif, 2014), η υιοθέτηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων εξακολουθεί να αντιμετωπίζει τεράστιες προκλήσεις. Η εμπειρία από την έρευνα και την πρακτική καταδεικνύει ότι τα εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν έχουν αυξημένη απόδοση (Ma et al., 2018; Usman et al., 2020). Η χαμηλή απόδοση των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών συστημάτων σημαίνει ότι δεν παράγουν την απαιτούμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν σχεδιαστεί για να παράγουν. Αρκετοί λόγοι οδηγούν σε αυτήν την υπο-απόδοση, όπως οι μέθοδοι σχεδιασμού (Jansson, Whitten & Schmalzel, 2011; Rupnik & Westbrook, 2014), η γεωγραφική θέση, η ηλιακή ακτινοβολία, η σκόνη, η σκίαση, η πολλαπλότητα των εξαρτημάτων φωτοβολταϊκών συστημάτων στην αγορά και η πολυπλοκότητα των παραλλαγών αυτών των εξαρτημάτων, των τύπων, της απόδοσης και των διαφορετικών δεικτών απόδοσής τους (Sharma, Kumar, Sastry & Chandel, 2013; Belluardo et al., 2015; Usman et al., 2020).



Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η οικονομική αξιολόγηση και η ανάλυση κινδύνου για τη δημιουργία ενός φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 100 kWp για μία περίοδο 20 ετών στην Ελλάδα.

Αρκετές έρευνες έχουν αναφερθεί στους κινδύνους που απορρέουν από την επένδυση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που σχετίζονται με την τοπική κοινωνία και το περιβάλλον. Παράλληλα, το αρχικό ύψος της επένδυσης σε συνδυασμό με το κόστος συντήρησης των φωτοβολταϊκών συστημάτων ενδέχεται να οδηγήσει αρκετούς τοπικούς φορείς στο να απορρίψουν τη δημιουργία ενός φωτοβολταϊκού πάρκου. Εκτός των ανωτέρω, υπάρχουν μελέτες που αναφέρονται σε διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Για τον λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η διεξαγωγή μίας οικονομικής αξιολόγησης, όπως και μίας αξιολόγησης κινδύνων που συνδέονται με μία τέτοια επένδυση.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 1.1 Σημασία της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Με βάση την ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας σε επίπεδο εκθέσεων και ερευνητικών άρθρων προσδιορίζονται τρεις κύριες ομάδες πλεονεκτημάτων που απορρέουν από τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: α) οφέλη στο ηλεκτρικό σύστημα ενέργειας μέσα από τη μείωση ζήτησης ενέργειας που παράγεται από ορυκτά καύσιμα (Temiz & Gokmen, 2010; United States Environmental Protection Agency, 2018; Gielen et al., 2019; Marks-Bielska et al., 2020), β) οφέλη στο περιβάλλον και την υγεία των πολιτών (Temiz & Gokmen, 2010; Panwar et al., 2011; Johansson et al., 2012; Ellabban et al., 2014; Altintas et al., 2016; United States Environmental Protection Agency, 2018; Gielen et al., 2019; Marks-Bielska et al., 2020), γ) οικονομικά οφέλη (Temiz & Gokmen, 2010; Johansson et al., 2012; Ellabban et al., 2014; Altintas et al., 2016; United States Environmental Protection Agency, 2018). Αμέσως παρακάτω παρουσιάζονται τα οφέλη αυτά, τα οποία τεκμηριώνουν τη σημασία της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

### 1.1.1 Οφέλη στο ηλεκτρικό σύστημα ενέργειας

Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να μειώσει τη ζήτηση και την προσφορά ενέργειας που παράγεται από ορυκτά καύσιμα (π.χ. εργοστάσια φυσικού αερίου, πετρελαίου και άνθρακα), μειώνοντας το κόστος της προσθήκης νέας χωρητικότητας στο σύστημα και τις διακοπές του ενεργειακού εφοδιασμού, τις ασταθείς τιμές ενέργειας και άλλους κινδύνους αξιοπιστίας και ασφάλειας. Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποφέρει πρωτογενή και δευτερογενή οφέλη. Πρωταρχικά οφέλη είναι εκείνα που αναγνωρίζονται για την ικανότητά τους να μειώσουν το συνολικό κόστος της ηλεκτρικής υπηρεσίας με την πάροδο του χρόνου, όπως το αποφευχθέν κόστος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή την αποφυγή της ανάγκης κατασκευής νέων εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας. Αυτά τα οφέλη μπορούν να προκύψουν μακροπρόθεσμα, βραχυπρόθεσμα ή και τα δύο. Μερικά από αυτά τα οφέλη είναι σημαντικά και τα περισσότερα μπορούν να ποσοτικοποιηθούν. Τα δευτερεύοντα οφέλη μειώνουν έμμεσα το κόστος του ηλεκτρικού συστήματος (όπως αναβαλλόμενες μακροπρόθεσμες επενδύσεις), αυξάνουν την αξιοπιστία και βελτιώνουν την ενεργειακή ασφάλεια. Τα δευτερεύοντα οφέλη τείνουν να είναι πιο

δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν και, επομένως, αξιολογούνται λιγότερο συχνά από τα πρωτογενή οφέλη. Ωστόσο, είναι χρήσιμο να προσδιοριστούν αυτά τα οφέλη και να ποσοτικοποιηθούν, όπου είναι δυνατόν, για να αντικατοπτριστεί με ακρίβεια τόσο το κόστος όσο και τα οφέλη της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αμέσως παρακάτω καταγράφονται εν συντομία τα πρωτεύοντα και τα δευτερεύοντα οφέλη.

#### Πρωτεύοντα οφέλη

Αποτρεπόμενο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή αγορών ηλεκτρικής ενέργειας χονδρικής: Η ενεργειακή απόδοση και οι πολιτικές και τα προγράμματα ανανεώσιμης ενέργειας μπορούν να εξοικονομήσουν χρήματα μειώνοντας το κόστος των καυσίμων και μειώνοντας το κόστος για αγορασμένη ενέργεια ή υπηρεσίες μεταφοράς που σχετίζονται με την παραδοσιακή παραγωγή.

Αναβαλλόμενο ή αποφευχθέν κόστος επέκτασης της ικανότητας του σταθμού παραγωγής ενέργειας: Η ενεργειακή απόδοση και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να διαδραματίσουν κρίσιμο ρόλο στην ικανοποίηση της αυξημένης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, στην καθυστέρηση ή την αποφυγή της ανάγκης κατασκευής ή αναβάθμισης σταθμών παραγωγής ενέργειας ή στη μείωση του μεγέθους των απαιτούμενων προσθηκών. Αυτό εξοικονομεί επενδύσεις κεφαλαίου και ετήσιο σταθερό κόστος (π.χ. εργασία, συντήρηση, φόροι και ασφάλιση), τα οποία μπορούν να μεταφραστούν σε χαμηλότερο κόστος για τους πελάτες.

Αποφυγή απώλειας ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη μετάδοση και διανομή: Η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας οδηγεί σε ορισμένες απώλειες λόγω της αντίστασης των καλωδίων, των μετασχηματιστών και άλλου εξοπλισμού. Για κάθε μονάδα κατανάλωσης ενέργειας που μια πρωτοβουλία ενεργειακής απόδοσης αποφεύγει ή διανέμει ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, αποφεύγει επίσης τη σχετική απώλεια ενέργειας κατά την παράδοση ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές μέσω του συστήματος διανομής και μειώνει τα απόβλητα στο σύστημα.

Αναβαλλόμενο ή αποφευχθέν κόστος επέκτασης της ικανότητας διανομής: Η ενεργειακή απόδοση και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που βρίσκονται κοντά στο σημείο όπου καταναλώνεται ηλεκτρική ενέργεια μπορούν να καθυστερήσουν, να μειώσουν ή να αποφύγουν την ανάγκη κατασκευής ή αναβάθμισης συστημάτων διανομής ή να μειώσουν το μέγεθος των απαιτούμενων προσθηκών καθώς αυξάνεται

η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι εξοικονομήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν μακροπρόθεσμα, βραχυπρόθεσμα ή και τα δύο.

#### Δευτερεύοντα οφέλη

Αποφευχθέν κόστος βοηθητικών υπηρεσιών: Οι βοηθητικές υπηρεσίες είναι λειτουργίες συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που εξασφαλίζουν αξιοπιστία και όχι παροχή ισχύος. Η ενεργειακή απόδοση και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που μειώνουν τη ζήτηση και βρίσκονται κοντά στο σημείο όπου χρησιμοποιείται η ηλεκτρική ενέργεια - ή υποστηρίζουν την ομαλή λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου - μπορούν να μειώσουν ορισμένα βοηθητικά κόστη λειτουργίας, να εξοικονομήσουν καύσιμα και να μειώσουν τις εκπομπές επιτρέποντας σε ορισμένες μονάδες να κλείσουν και μπορεί να καθυστερήσει ή να αποφύγει την ανάγκη επενδύσεων σε νέα γενιά για την παροχή βοηθητικών υπηρεσιών.

Χαμηλότερες τιμές εκκαθάρισης της αγοράς χονδρικής: Η ενεργειακή απόδοση και οι πολιτικές και τα προγράμματα ανανεώσιμης ενέργειας μπορούν να μειώσουν τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ή να αυξήσουν την προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας (οι γεννήτριες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν συνήθως ελάχιστο ή καθόλου οριακό λειτουργικό κόστος), αντίστοιχα, προκαλώντας εκκαθάριση των αγορών χονδρικής σε χαμηλότερες τιμές. Αυτό το όφελος μπορεί να είναι σημαντικό κατά τις ώρες αιχμής.

Καλύτερη αξιοπιστία και ποιότητα ισχύος: Το ηλεκτρικό πλέγμα είναι πιο αξιόπιστο εάν βρίσκεται υπό λιγότερη πίεση κατά τις ώρες αιχμής, ειδικά σε περιοχές όπου η παροχή είναι περιορισμένη. Η ενσωμάτωση της ενεργειακής απόδοσης και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να αυξήσει την αξιοπιστία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, επειδή οι διακοπές ρεύματος είναι λιγότερο πιθανό να συμβούν όταν το σύστημα δεν είναι τεταμένο, να οδηγήσει σε διαφοροποίηση του συνδυασμού παραγωγής, καθιστώντας το σύστημα λιγότερο ευάλωτο σε διακοπές, και να βελτιώσει την ποιότητα ισχύος, η οποία είναι σημαντική για τη λειτουργία ηλεκτρικού εξοπλισμού. Για παράδειγμα, η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μελλοντική χρήση. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες αποθήκευσης με δυνατότητες ταχείας απόκρισης για τη διαχείριση των διακυμάνσεων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας που προκαλούνται από τη διακοπή ορισμένων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Αποφευχθέντες κίνδυνοι που σχετίζονται με επενδύσεις μεγάλης διάρκειας: Οι αποφάσεις για την κατασκευή νέων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βασίζονται σε μακροπρόθεσμες προβλέψεις της ζήτησης ενέργειας και των τιμών πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας και αναμένεται ότι οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής θα λειτουργούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα για την πλήρη ανάκτηση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας. Αν και η ενεργειακή απόδοση και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν κάποιο κίνδυνο (π.χ. χαμηλή απόδοση σε σύγκριση με τις προσδοκίες), μπορεί να είναι ελκυστικές εναλλακτικές λύσεις λόγω της φύσης τους και του σχετικά γρήγορου χρόνου εγκατάστασης και αποσύνδεσης.

Μειωμένος κίνδυνος με αναβολή επενδύσεων σε παραδοσιακούς, συγκεντρωτικούς πόρους έως ότου διαμορφωθούν περιβαλλοντικές πολιτικές: Οι επιχειρήσεις κοινής ωφελείας προτιμούν τη βεβαιότητα έναντι των μελλοντικών νομοθετικών και κανονιστικών πολιτικών πριν επενδύσουν σε μεγάλους, παραδοσιακούς πόρους ηλεκτρικής ενέργειας. Η αβεβαιότητα δημιουργεί κινδύνους. Οι ανανεώσιμοι ενεργειακοί πόροι αναπτύσσονται συνήθως σε μικρότερη κλίμακα από τους παραδοσιακούς, συγκεντρωτικούς πόρους και παρέχουν μια σταδιακή προσέγγιση για την αναβολή αποφάσεων για μεγαλύτερα έργα με μεγαλύτερη ένταση κεφαλαίου.

Βελτιωμένη ποικιλία καυσίμων: Τα βοηθητικά προγράμματα που βασίζονται σε περιορισμένο αριθμό πηγών ενέργειας μπορεί να είναι ευάλωτα σε τιμές, διαθεσιμότητα και άλλους κινδύνους που σχετίζονται με οποιαδήποτε μεμονωμένη πηγή καυσίμου. Αντίθετα, το κόστος των περισσότερων ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων, όπως η ηλιακή ή η αιολική ενέργεια, δεν επηρεάζονται σχετικά από τις τιμές άλλων καυσίμων και έτσι παρέχουν αντιστάθμιση έναντι των αυξήσεων των τιμών. Όσο μεγαλύτερη είναι η ποικιλομορφία στην τεχνολογία, τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα διακοπής του εφοδιασμού και η εμφάνιση προβλημάτων αξιοπιστίας.

Ενισχυμένη ενεργειακή ασφάλεια: Λόγω της κρίσιμης σημασίας του στην παροχή ενέργειας στην οικονομία ενός κράτους, το ηλεκτρικό σύστημα είναι ευάλωτο σε διάφορες επιθέσεις και φυσικές καταστροφές. Η χρήση διαφορετικής εγχώριας ενεργειακής απόδοσης και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ενισχύει την ενεργειακή ασφάλεια μειώνοντας την ευπάθεια του ηλεκτρικού συστήματος όταν λαμβάνουν χώρα επιθέσεις ή φυσικές καταστροφές.

### **1.1.2 Οφέλη στην υγεία των πολιτών**

Η παραγωγή ενέργειας με βάση τα ορυκτά καύσιμα είναι μια πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης που ενέχει κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, συμπεριλαμβανομένων αναπνευστικών ασθενειών. Η καύση ορυκτών καυσίμων για ενέργεια είναι επίσης η μεγαλύτερη πηγή εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από ανθρώπινες δραστηριότητες, συμβάλλοντας στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και η αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να μειώσουν την παραγωγή με βάση τα ορυκτά καύσιμα και τις σχετικές αρνητικές συνέπειες για την υγεία και το περιβάλλον. Οι πρωτοβουλίες ενεργειακής απόδοσης και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν:

α) να βελτιώσουν την ποιότητα του αέρα με τη μείωση ή την αποφυγή επιβλαβών κριτηρίων ατμοσφαιρικών ρύπων, που αποφέρει άμεσα και άμεσα οφέλη για την υγεία των ανθρώπων. Οι βελτιώσεις στην ποιότητα του αέρα μπορούν επίσης να ενισχύσουν την υγεία των οικοσυστημάτων, να αυξήσουν τις αποδόσεις των καλλιεργειών και της ξυλείας και να αυξήσουν την ορατότητα.

β) να ενισχύσουν τη δημόσια υγεία μειώνοντας τα περιστατικά πρόωρου θανάτου, προσβολών άσθματος και αναπνευστικών και καρδιακών παθήσεων, να οδηγήσουν στην αποφυγή σχετικών δαπανών για την υγεία και της απώλειας εργάσιμων ημερών λόγω ασθενειών.

### **1.1.3 Οικονομικά οφέλη**

Τα προαναφερθέντα οφέλη αποφέρουν συνολικά οικονομικά οφέλη για το κράτος. Αυτά τα οφέλη περιλαμβάνουν εξοικονόμηση ενέργειας και καυσίμων για τους καταναλωτές, τις επιχειρήσεις και την κυβέρνηση, νέες θέσεις εργασίας, κέρδη και φορολογικά έσοδα από εταιρείες που υποστηρίζουν ή χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και υψηλότερη παραγωγικότητα ανθρώπινου δυναμικού. Τα οικονομικά οφέλη μπορούν να είναι άμεσα και έμμεσα.

Άμεσα οικονομικά οφέλη

Οι άμεσες επιπτώσεις περιλαμβάνουν αλλαγές στις πωλήσεις, το εισόδημα ή τις θέσεις εργασίας που σχετίζονται με τις άμεσες επιπτώσεις μιας δαπάνης ή της αλλαγής στη

ζήτηση. Οι άμεσες επιπτώσεις των πολιτικών ή προγραμμάτων που επηρεάζουν τη ζήτηση ενέργειας, όπως εκείνες που προωθούν επενδύσεις σε ενεργειακά αποδοτικό εξοπλισμό από φυσικά ή νομικά πρόσωπα, διαφέρουν από τα άμεσα αποτελέσματα πρωτοβουλιών που επηρεάζουν την παροχή ενέργειας. Ως εκ τούτου, τα άμεσα οικονομικά οφέλη με τη σειρά τους διακρίνονται σε οικονομικά οφέλη που βασίζονται σε πρωτοβουλίες από την πλευρά της ζήτησης και σε πρωτοβουλίες από την πλευρά της προσφοράς.

#### Άμεσα οικονομικά οφέλη πρωτοβουλιών στη βάση της ζήτησης

Οι πρωτοβουλίες χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που επηρεάζουν τη ζήτηση (ή τον πελάτη) των ενεργειακών υπηρεσιών συνήθως αλλάζουν τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας των επιχειρήσεων και των οικιακών καταναλωτών μειώνοντας την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για ένα δεδομένο επίπεδο παραγωγής ή υπηρεσίας. Οι πρωτοβουλίες ενεργειακής απόδοσης από πλευράς ζήτησης οδηγούν σε άμεσο κόστος και εξοικονόμηση, όπως:

- Κόστος οικιακής και επιχειρηματικής δραστηριότητας: Κόστος για τους ιδιοκτήτες οικιών και τις επιχειρήσεις για αγορά και εγκατάσταση περισσότερο ενεργειακά αποδοτικό εξοπλισμό. Για πολιτικές που υποστηρίζονται με επιπλέον χρέωση στους λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος, η επιπλέον χρέωση συμπεριλαμβάνεται στο κόστος.
- Διοικητικές δαπάνες προγράμματος: Κόστος για τη λειτουργία της πρωτοβουλίας αποδοτικότητας - συμπεριλαμβανομένης της εργασίας, των υλικών και της παροχής κινήτρων στους συμμετέχοντες
- Εξοικονόμηση κόστους ενέργειας: Αναφέρεται στα χρήματα που εξοικονομούνται από επιχειρήσεις, νοικοκυριά και βιομηχανίες που προκύπτουν από μειωμένο κόστος ενέργειας (συμπεριλαμβανομένης της εξοικονόμησης κόστους ηλεκτρικής ενέργειας, φυσικού αερίου και πετρελαίου), μειωμένο κόστος επισκευής και συντήρησης, αναβαλλόμενο κόστος αντικατάστασης εξοπλισμού και αυξημένες τιμές ιδιοκτησίας.
- Τομεακές μεταβιβάσεις: Περιλαμβάνονται τόσο η αυξημένη ροή χρημάτων σε εταιρείες που σχεδιάζουν, κατασκευάζουν και εγκαθιστούν ενεργειακά

αποδοτικό εξοπλισμό όσο και η μειωμένη ροή χρήματος σε άλλες εταιρείες ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρικών υπηρεσιών κοινής ωφελείας, ως ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και λιγότερο αποδοτικές κεφαλαιακές μειώσεις.

Άμεσα οικονομικά οφέλη πρωτοβουλιών στη βάση της προσφοράς

Οι πολιτικές και τα προγράμματα χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από την πλευρά της προσφοράς αλλάζουν το μείγμα καυσίμων και παραγωγής ενεργειακών πόρων. Τα μέτρα πολιτικής από την πλευρά της προσφοράς υποστηρίζουν την ανάπτυξη εφαρμογών ανανεώσιμης ενέργειας κλίμακας χρησιμότητας και συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας ή / και καθαρής κατανεμημένης παραγωγής. Οι άμεσες επιπτώσεις των πρωτοβουλιών από την πλευρά της προμήθειας προκύπτουν από το κόστος κατασκευής, εγκατάστασης και λειτουργίας του εξοπλισμού ανανεώσιμης ενέργειας, καθώς και την εξοικονόμηση ενέργειας και την πιθανή μείωση του κόστους τροφοδοσίας ενέργειας από την αντικατάσταση καυσίμων μεταξύ των συμμετεχόντων στο πρόγραμμα. Οι εν λόγω πρωτοβουλίες περιλαμβάνουν:

- Κόστος κατασκευής: Χρήματα που δαπανώνται για την αγορά εξοπλισμού ανανεώσιμης ενέργειας, κόστος εγκατάστασης, κόστος σύνδεσης δικτύου και κόστος κατασκευής υποδομής (όπως κτίρια ή δρόμοι)
- Κόστος λειτουργίας: Χρήματα που δαπανώνται για τη λειτουργία και συντήρηση του εξοπλισμού κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του και το κόστος των επιβαρύνσεων παραγωγής που επιβαρύνει τους καταναλωτές
- Διοικητικές δαπάνες προγράμματος: Χρήματα που δαπανήθηκαν για τη λειτουργία της πρωτοβουλίας - συμπεριλαμβανομένης της εργασίας, των υλικών και της παροχής κινήτρων στους συμμετέχοντες
- Εξοικονόμηση μετατόπισης: Χρήματα που εξοικονομούνται από επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας από τη μετατόπιση της παραδοσιακής παραγωγής, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης των αγορών ορυκτών καυσίμων και μείωση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης από υπάρχοντες πόρους παραγωγής



- Εξοικονόμηση θερμότητας αποβλήτων: Εξοικονόμηση από επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας ή άλλες εμπορικές / βιομηχανικές επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν απορριπτόμενη θερμότητα από συστήματα συμπυκνωμένης ηλιακής ενέργειας τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη

#### Έμμεσα οικονομικά οφέλη

Τα έμμεσα οικονομικά οφέλη περιλαμβάνουν τις μεταβολές των πωλήσεων, των εισοδημάτων ή των θέσεων εργασίας που προκύπτουν από τις μεταβαλλόμενες ανάγκες εισροών στους επηρεαζόμενους τομείς. Τα έμμεσα αποτελέσματα αρχίζουν να εμφανίζονται όταν τα άμεσα αποτελέσματα αλληλεπιδρούν με το ευρύτερο περιβάλλον, την τοπική ή την περιφερειακή οικονομία. Οι ανοδικές επιπτώσεις εμφανίζονται μεταξύ επιχειρήσεων που παρέχουν αγαθά και υπηρεσίες σε βιομηχανίες που συμμετέχουν άμεσα σε πρωτοβουλίες χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Για παράδειγμα, η κατασκευή δρόμων και θεμελίων για ένα αιολικό πάρκο απαιτεί αγορές ασφάλτου και τσιμέντου από άλλους οικονομικούς τομείς, οι οποίοι με τη σειρά τους πρέπει να κάνουν αγορές για να υποστηρίξουν επιχειρήσεις. Οι μεταγενέστερες επιπτώσεις εμφανίζονται καθώς η περιφερειακή οικονομία ανταποκρίνεται στο χαμηλότερο ενεργειακό κόστος, έναν πιο αξιόπιστο ενεργειακό εφοδιασμό και ένα καλύτερο οικονομικό περιβάλλον που προωθεί την επέκταση και προσελκύει νέες ευκαιρίες ανάπτυξης των επιχειρήσεων. Τα έμμεσα οφέλη μπορεί να περιλαμβάνουν:

- Αυξημένο διαθέσιμο εισόδημα για αγορές εκτός ενέργειας
- Αύξηση του εισοδήματος, της απασχόλησης και της παραγωγή, ενθαρρύνοντας την παραγωγή και τις πωλήσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ενεργειακά αποδοτικού εξοπλισμού από υπάρχουσες κρατικές επιχειρήσεις
- Μειωμένο κόστος επιχειρηματικής δραστηριότητας και βελτιωμένη συνολική ανταγωνιστικότητα για μη ενεργειακές εταιρείες
- Μειωμένο εισόδημα, απασχόληση και παραγωγή για τους παραγωγούς ορυκτών καυσίμων και τους προμηθευτές τους στο κράτος
- Διευρυμένη κρατική αγορά για προϊόντα και υπηρεσίες ανανεώσιμης ενέργειας και προσέλκυση νέων επιχειρήσεων και επενδύσεων

## Άμεσα και έμμεσα οικονομικά οφέλη

Ορισμένα αποτελέσματα μπορεί να είναι παράλληλα άμεσα και έμμεσα και να ισχύουν τόσο για τις πολιτικές ζήτησης, όσο και για τις πρωτοβουλίες από την πλευρά της προσφοράς. Παραδείγματα αυτών των οφελών περιλαμβάνουν:

- **Υγεία:** Η ενεργειακή απόδοση και οι πολιτικές ανανεώσιμης ενέργειας που μειώνουν τα κριτήρια των ατμοσφαιρικών ρύπων μπορεί να βελτιώσουν την ποιότητα του αέρα και να μειώσουν τη νοσηρότητα και τη θνησιμότητα του πληθυσμού. Μικρότερη νοσηρότητα σημαίνει καλύτερη παραγωγικότητα και λιγότερες νοσηλείες που σχετίζονται με αναπνευστικές ασθένειες και καρδιακή ανακοπή. Επίσης, λιγότεροι θάνατοι εργαζομένων μπορούν να οδηγήσουν σε συνεχή οικονομικά οφέλη για το κράτος.
- **Απασχόληση:** Οι πρωτοβουλίες για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δημιουργούν θέσεις εργασίας. Αυτές οι θέσεις εργασίας μπορεί να είναι προσωρινές, βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες θέσεις εργασίας - που δημιουργούνται απευθείας από την ενεργειακή απόδοση και τις δραστηριότητες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ. σε μια εταιρεία που επεκτείνεται λόγω της αυξημένης ζήτησης για τα προϊόντα τους) και έμμεσα μέσω των οικονομικών πολλαπλασιαστικών αποτελεσμάτων (π.χ. από εστιατόρια και καταστήματα λιανικής που λαμβάνουν περισσότερους πελάτες λόγω νέων θέσεων εργασίας).
- **Παραγωγή:** Η ενεργειακή απόδοση και τα προγράμματα ανανεώσιμης ενέργειας που ενθαρρύνουν νέες επενδύσεις και δαπάνες σε ένα κράτος μπορούν να αυξήσουν την παραγωγή, η οποία ορίζεται ως η συνολική αξία όλων των αγαθών και υπηρεσιών που παράγονται σε μια οικονομία, συμπεριλαμβανομένων όλων των ενδιάμεσων αγαθών που αγοράστηκαν και όλων των προστιθέμενων αξιών. Οι υψηλότερες πωλήσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τοπική οικονομία, οι αυξημένες κυβερνητικές δαπάνες, τα μεγαλύτερα επίπεδα επενδύσεων και οι υψηλότερες εξαγωγές ενεργειακής απόδοσης ή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από κρατικές βιομηχανίες θα ενισχύσουν την παραγωγή.

- Ακαθάριστο κρατικό προϊόν: Η επέκταση της ενεργειακής απόδοσης, καθώς και οι επενδύσεις και οι επιχειρήσεις που σχετίζονται με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να αυξήσουν τη συνολική αγοραία αξία των αγαθών και των υπηρεσιών που παράγονται από την εργασία, δηλαδή το ακαθάριστο κρατικό προϊόν. Το ακαθάριστο κρατικό προϊόν είναι ανάλογο με την εθνική έννοια του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος και αντιπροσωπεύει την οικονομική παραγωγή του κράτους μείον τυχόν ενδιάμεσες εισροές που αποκτώνται από το εξωτερικό.
- Εισόδημα: Μια καθαρή αύξηση του εισοδήματος που σχετίζεται με πρωτοβουλίες ανανεώσιμης ενέργειας μπορεί να συμβεί λόγω της αυξημένης απασχόλησης ή των μισθών. Οι επιπτώσεις στα έσοδα από ενεργειακή απόδοση και επενδύσεις ανανεώσιμης ενέργειας περιλαμβάνουν αλλαγές στο προσωπικό εισόδημα ή στο διαθέσιμο εισόδημα. Το προσωπικό εισόδημα είναι το άθροισμα όλων των εισοδημάτων που λαμβάνονται. Το διαθέσιμο εισόδημα είναι το εισόδημα που διατίθεται στους καταναλωτές για να δαπανήσουν ή να εξοικονομήσουν χρήματα. Δηλαδή, προσωπικό εισόδημα μείον φόρους και εισφορές κοινωνικής ασφάλισης συν μερίσματα, ενοίκια και πληρωμές μεταφοράς.

## 1.2 Είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

### 1.2.1 Βιομάζα

Η βιομάζα είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για όλα τα οργανικά υλικά που προέρχονται από φυτά, δέντρα και καλλιέργειες και είναι ουσιαστικά η συλλογή και αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας μέσω της φωτοσύνθεσης. Η ενέργεια της βιομάζας (βιοενέργεια) είναι η μετατροπή της βιομάζας σε χρήσιμες μορφές ενέργειας όπως η θερμότητα, ο ηλεκτρισμός και τα υγρά καύσιμα (βιοκαύσιμα). Η βιομάζα για βιοενέργεια προέρχεται είτε απευθείας από τη γη, όπως από ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες, είτε από υπολείμματα που παράγονται κατά την επεξεργασία καλλιεργειών για τρόφιμα ή άλλα προϊόντα (Srirangan et al., 2012). Η βιομάζα μπορεί να παράγει ενέργεια άμεσα, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμεύσει ως πρώτη ύλη για να μετατραπεί σε διάφορα υγρά ή αέρια καύσιμα (βιοκαύσιμα). Τα βιοκαύσιμα μπορούν να μεταφερθούν και να αποθηκευτούν και να επιτρέψουν την παραγωγή θερμότητας

και ηλεκτρικής ενέργειας κα' απαίτηση, το οποίο είναι απαραίτητο σε ένα ενεργειακό μείγμα με μεγάλη εξάρτηση από διαλείπουσες πηγές, όπως ο άνεμος (Ellabban et al., 2014). Στο πλαίσιο αυτό, μια αναδυόμενη στρατηγική είναι η ανάπτυξη τεχνολογιών βιοεπεξεργασίας και βιομετατροπής για τη μετατροπή της πρώτης ύλης βιομάζας σε καθαρά ενεργειακά καύσιμα μέσω θερμοχημικών και βιοχημικών διαδικασιών (π.χ. καύση, πυρόλυση, αεριοποίηση) (Ruiz et al., 2013). Ωστόσο, θα πρέπει να τονιστεί ότι τα καύσιμα βιομάζας έχουν χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα και η συλλογή και η μεταφορά μπορεί να ενέχουν σημαντικά υψηλό κόστος (Ellabban et al., 2014).

### **1.2.2 Γεωθερμική ενέργεια**

Η γεωθερμική ενέργεια είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για την εξαγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από τη γη με φυσικές διεργασίες. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μικρή κλίμακα για την παροχή θερμότητας για μια οικιακή μονάδα χρησιμοποιώντας μια γεωθερμική αντλία θερμότητας, ή σε μεγάλη κλίμακα για την παραγωγή ενέργειας μέσω ενός γεωθερμικού σταθμού. Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται οικονομικά αποδοτική, αξιόπιστη και φιλική προς το περιβάλλον. Οι γεωθερμικοί ενεργειακοί πόροι αποτελούνται από θερμική ενέργεια από το εσωτερικό της γης που είναι αποθηκευμένη σε παγιδευμένο ατμό ή υγρό νερό. Τα γεωθερμικά συστήματα εμφανίζονται σε διαφορετικά γεωλογικά περιβάλλοντα όπου οι θερμοκρασίες και τα βάθη ποικίλλουν. Υπό κατάλληλες συνθήκες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν γεωθερμικά πεδία υψηλής, ενδιάμεσης και χαμηλής θερμοκρασίας τόσο για την παραγωγή ενέργειας, όσο και για την άμεση χρήση θερμότητας (Fridleifsson, 2001; Ellabban et al., 2014).

### **1.2.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια**

Η υδροηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από την ενέργεια του κινούμενου νερού. Το ρέον νερό δημιουργεί ενέργεια που μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας στροβίλους. Η πιο διαδεδομένη μορφή υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι τα φράγματα, αν και νεότερες μορφές αξιοποίησης κύματος και παλιρροιακής ισχύος γίνονται πιο κοινές. Η υδροηλεκτρική ενέργεια παράγεται από νερό που κινείται στον υδρολογικό κύκλο, ο οποίος καθοδηγείται από την ηλιακή ακτινοβολία. Είναι η ροή του νερού στα ποτάμια, που οδηγείται από τη δύναμη της βαρύτητας για να μετακινηθεί από υψηλότερα σε χαμηλότερα υψόμετρα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί

για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια αποδεδειγμένη και προηγμένη τεχνολογία που έχει τις ρίζες της ήδη από παρελθόντα έτη. Η υδροηλεκτρική ενέργεια σήμερα είναι μια εξαιρετικά ευέλικτη τεχνολογία, κυρίως λόγω της άμεσης μετατροπής της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, υπάρχει περιθώριο περαιτέρω βελτίωσης με την ενίσχυση της λειτουργίας, τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, την προσαρμογή στις νέες κοινωνικές και περιβαλλοντικές απαιτήσεις και την ανάπτυξη πιο ισχυρών και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογικών λύσεων (Ellabban et al., 2014).

#### **1.2.4 Θαλάσσια ενέργεια**

Η ανανεώσιμη θαλάσσια (ωκεάνια) ενέργεια προέρχεται από έξι διαφορετικές πηγές: κύματα, παλιρροιακή κλίμακα, παλιρροιακά ρεύματα, ωκεάνια ρεύματα, μετατροπή θερμικής ενέργειας ωκεανού και βαθμίδες αλατότητας, το καθένα με διαφορετική προέλευση και επομένως απαίτηση για διαφορετικές τεχνολογίες για τη μετατροπή του σε ενέργεια. Σχετικά λίγες αξιολογήσεις έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με το τεχνικό δυναμικό των διαφόρων τεχνολογιών ενέργειας των ωκεανών και τέτοιες δυνατότητες ποικίλλουν ανάλογα με τη μελλοντική τεχνολογική ανάπτυξη (Ellabban et al., 2014).

#### **1.2.5 Αιολική ενέργεια**

Η αιολική ενέργεια ορίζεται από τη μετατροπή της αιολικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες σε χρήσιμη μορφή, όπως η χρήση ανεμογεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ανεμογεννήτριες για μηχανική ισχύ, αντλίες αέρα για άντληση νερού ή αποστράγγιση, ή πανιά για την προώθηση πλοίων. Οι πρώτες ανεμογεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αναπτύχθηκαν στις αρχές του 20ού αιώνα. Η τεχνολογία βελτιώθηκε σταδιακά από τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1990, η αιολική ενέργεια έχει επανεμφανιστεί ως ένας από τους σημαντικότερους βιώσιμους ενεργειακούς πόρους (Kaygusuz, 2009; Ellabban et al., 2014).

#### **1.2.6 Ηλιακή ενέργεια**

Η παραγωγή ηλιακής ενέργειας γίνεται μέσω ηλιακών θερμικών συστημάτων ή ηλεκτρισμού μέσω ηλιακών φωτοβολταϊκών και συστημάτων συμπυκνωμένης ηλιακής

ενέργειας. Αυτές οι τεχνολογίες είναι τεχνικά αποδεδειγμένες με πολλά συστήματα εγκατεστημένα σε όλο τον κόσμο τις τελευταίες δεκαετίες (Ellabban et al., 2014).

### Φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν άμεσα την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Το βασικό δομικό στοιχείο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η φωτοβολταϊκή κυψέλη, η οποία είναι μια συσκευή ημιαγωγών που μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (π.χ. μετατροπείς, μπαταρίες, ηλεκτρικά εξαρτήματα και συστήματα συναρμολόγησης) διασυνδέονται για να σχηματίσουν μια φωτοβολταϊκή μονάδα. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι αρθρωτά, δηλαδή, οι μονάδες μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους για να παρέχουν ισχύ που κυμαίνεται από μερικά watt έως δεκάδες μεγαβάτ. Οι πιο καθιερωμένες ηλιακές φωτοβολταϊκές τεχνολογίες είναι συστήματα με βάση το πυρίτιο. Πιο πρόσφατα, οι μονάδες λεπτής μεμβράνης, οι οποίες μπορούν επίσης να αποτελούνται από υλικό ημιαγωγών μη πυριτίου, έχουν γίνει όλο και πιο σημαντικές. Αν και οι λεπτές μεμβράνες έχουν γενικά χαμηλότερη απόδοση από τις μονάδες πυριτίου, η τιμή τους ανά μονάδα χωρητικότητας είναι χαμηλότερη. Τα φωτοβολταϊκά διέπονται από δύο πλεονεκτήματα. Από τη μία πλευρά, η κατασκευή μονάδων μπορεί να γίνει σε μεγάλες εγκαταστάσεις, κάτι που επιτρέπει οικονομίες κλίμακας. Από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιεί όχι μόνο άμεσο ηλιακό φως, αλλά και τη διάχυτη συνιστώσα του ηλιακού φωτός, δηλαδή, το φωτοβολταϊκό παράγει ενέργεια ακόμη και αν ο ουρανός δεν είναι εντελώς καθαρός. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει την αποτελεσματική ανάπτυξη σε πολλές περισσότερες περιοχές στον κόσμο.

### Συστήματα συμπυκνωμένης ηλιακής ενέργειας

Οι τεχνολογίες συμπυκνωμένης ηλιακής ενέργειας παράγουν ηλεκτρική ενέργεια συγκεντρώνοντας την ηλιακή ακτινοβολία απευθείας δέσμης για τη θέρμανση ενός υγρού, στερεού ή αερίου που στη συνέχεια χρησιμοποιείται σε μια διαδικασία για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μεγάλης κλίμακας υποδομές συγκεντρώνουν συνήθως το φως του ήλιου με ανάκλαση, σε αντίθεση με τη διάθλαση με φακούς. Η συγκέντρωση γίνεται είτε σε μια γραμμή (γραμμική εστίαση) ή σε σημείο (εστίαση σημείου) όπως στα συστήματα κεντρικού δέκτη ή πιάτων. Οι εφαρμογές αυτές

κυμαίνονται από μικρά καταναμημένα συστήματα δεκάδων kW έως μεγάλους κεντρικούς σταθμούς ισχύος εκατοντάδων MW. Τα πρώτα εμπορικά εργοστάσια CSP ήταν τα 354 MW ηλιακών ηλεκτρικών σταθμών παραγωγής στην Καλιφόρνια που συνεχίζουν να λειτουργούν εμπορικά σήμερα. Ως αποτέλεσμα των θετικών εμπειριών οδήγησαν σε ανάπτυξη της συμπυκνωμένης ηλιακής ενέργειας.

#### Ηλιακή θερμική θέρμανση και ψύξη

Οι τεχνολογίες ηλιακής θέρμανσης και ψύξης συλλέγουν θερμική ενέργεια από τον ήλιο και χρησιμοποιούν αυτήν τη θερμότητα για την παροχή ζεστού νερού, θέρμανσης χώρου, ψύξης και θέρμανσης για οικιακές, εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΚΑ**

Το ενεργειακό μείγμα είναι ουσιαστικά ο συνδυασμός πρωτογενών πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων σε μια δεδομένη χώρα. Περιλαμβάνει ορυκτά, πυρηνική ενέργεια, μη ανανεώσιμα απόβλητα και τις πολλές πηγές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στην Ελλάδα, ο λιγνίτης αναμένεται να μειωθεί στο μέλλον. Επομένως, αυτό ενισχύει τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών

ενέργειας στην Ελλάδα. Το 2016, ο λιγνίτης αντιπροσώπευε το 23,55% της εγκατεστημένης χωρητικότητας στο διασυνδεδεμένο σύστημα, το φυσικό αέριο αντιστοιχούσε στο 28,4%, η υδροηλεκτρική ενέργεια για το 19,10% και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο 29,33%. Επιπλέον, η χώρα έχει υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας με μέσο παγκόσμιο επίπεδο οριζόντιας ακτινοβολίας άνω των 1.500 kWh / m<sup>2</sup>. Η Ελλάδα έχει εγκαταστήσει περίπου 4,1 εκατομμύρια m<sup>2</sup> (2,9 GWth) ηλιακών θερμικών συστημάτων, κάτι το οποίο σημαίνει ότι η Ελλάδα έχει τη δεύτερη μεγαλύτερη συνολική χωρητικότητα στην Ευρώπη μετά τη Γερμανία. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα το κύριο μερίδιο της Ελλάδας στην εγκατεστημένη χωρητικότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να είναι φωτοβολταϊκοί σταθμοί. Επιπλέον, το 2016 παρήχθησαν συνολικά 3.417 GWh από την ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια, παράγοντας συνολικά 25,4% της ηλεκτρικής ενέργειας ΑΠΕ και 8,2% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα στις στέγες παρήγαγαν συνολικά 512 GWh που έχουν εγκατασταθεί στο πλαίσιο του ειδικού προγράμματος φωτοβολταϊκών στέγης της Ελλάδας (Greensolver, 2020).

Το 2009, η Ελλάδα εισήγαγε ένα σύστημα που ξεκίνησε αργά έως ότου επιταχύνθηκε η αγορά από το 2011 έως το 2013, όταν εγκαταστάθηκαν αντίστοιχα 425 MW, 930 MW και περισσότερα από 1 GW νέας χωρητικότητας φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αυτή η τάση έληξε στις 10 Μαΐου 2013, όταν το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) ανακοίνωσε αναδρομικές αλλαγές για συστήματα μεγαλύτερα από 100 kWp και νέα τιμολόγια για όλα τα συστήματα από την 1η Ιουνίου 2013. Κατά τους πρώτους πέντε μήνες του 2013 εγκαταστάθηκαν σχεδόν 900 MW και αύξησαν τη συνολική αθροιστική ισχύ σε πάνω από 2,5 GW. Περίπου 2,4 GW εγκαταστάθηκαν στην ηπειρωτική Ελλάδα και τα υπόλοιπα στα νησιά. Από τότε έχουν εγκατασταθεί μόνο μερικές δεκάδες MW. Ο Έλληνας Διαχειριστής της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΙΕ) ανέφερε περίπου 2.140 MW εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών συστημάτων συνδεδεμένων στο δίκτυο άνω των 10 kW και 351 MW φωτοβολταϊκών συστημάτων έως 10 kW στα τέλη Δεκεμβρίου 2018. Αυτά τα στοιχεία δεν περιλαμβάνουν την εγκατεστημένη χωρητικότητα των μη διασυνδεδεμένων ελληνικών νησιών, τα οποία - σύμφωνα με τον Ελληνικό Διαχειριστή Δικτύου Διανομής Ηλεκτρισμού Α.Ε. - ήταν 166 MW τον Μάρτιο του 2019. Συνολικά, εγκαταστάθηκαν περίπου 46 MW νέας φωτοβολταϊκής χωρητικότητας το 2018. Αφού η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε το νέο σύστημα δημοπρασιών στις 4 Ιανουαρίου



2018, η πρώτη δημοπρασία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα πραγματοποιήθηκε στις 2 Ιουλίου 2018. Έκτοτε, τρεις επιπλέον δημοπρασίες διεξήχθησαν, με αποτέλεσμα την κατανομή φωτοβολταϊκής ισχύος περίπου 700 MW. Στη δημοπρασία του Ιουλίου 2019, το μέσο τιμολόγιο φωτοβολταϊκών προσφορών ήταν 0,06278 € / kWh, τιμή ηλιακής ενέργειας 9,37% χαμηλότερη από το αρχικό επίπεδο των 0,06926 € / kWh (Jäger-Waldau, 2019).

## 2.1 Πλεονεκτήματα και ευκαιρίες

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών πάρκων έχει καταστεί σε μεγάλο βαθμό δημοφιλής ως μια βιώσιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως λόγω του ότι τα περισσότερα μέρη παγκοσμίως έχουν αρκετή ηλιακή ακτινοβολία. Ως εκ τούτου, η ηλιακή ενέργεια είναι μια εύκολη επιλογή για άτομα που επιθυμούν να χρησιμοποιούν βιώσιμες πηγές ενέργειας. Ομοίως, ανάλογα με τις απαιτήσεις των πελατών, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν από μερικά watt έως χιλιάδες κιλοβάτ, καθιστώντας τα κατάλληλα τόσο για οικιακές (οικιακές συσκευές τροφοδοσίας) όσο και για σκοπούς μεγάλης κλίμακας (Ali et al., 2018). Σύμφωνα με τις τελευταίες προβλέψεις της αγοράς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA), η παγκόσμια ισχύς ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί κατά 1200 gigawatts έως το 2024 λόγω της μείωσης του κόστους. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αντιπροσωπεύουν το 60% αυτής της αύξησης (IEA, 2019). Επίσης, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να παρέχουν επαρκή ενεργειακή χωρητικότητα παγκοσμίως και να ξεπεράσουν όλες τις άλλες πηγές ενέργειας μέχρι την επόμενη δεκαετία (Donev, Yyelland, Stenhouse, Hanania & Afework, 2018).

Επιπρόσθετα, μπορούν να συμβάλουν σε μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Μια μελέτη από το Παγκόσμιο Συμβούλιο Ενέργειας καταδεικνύει ότι 1kW ηλεκτρικής ενέργειας που εγκαθίσταται σε μία οικία μειώνει το αποτύπωμα άνθρακα περισσότερο από 3.000 λίβρες ετησίως (Aresolar, 2020). Σε παρόμοιο πλαίσιο, οι Turney και Fthenakis (2011) εντοπίζουν και εκτιμούν επιπτώσεις στο περιβάλλον που σχετίζονται με τις φάσεις εγκατάστασης και λειτουργίας ηλιακών εγκαταστάσεων. στα θέματα έντασης χρήσης γης, ανθρώπινης υγείας και ευεξίας, φυτικής και ζωικής ζωής, γεωυδρολογικών πόρων και κλιματικής αλλαγής. Συνολικά, οι συγγραφείς βρίσκουν θετικές επιπτώσεις, με κυριότερη τη μείωση των εκπομπών αερίου. Σε ποσοτικούς όρους, οι μεγάλης κλίμακας μονάδες ηλιακής ενέργειας καταλαμβάνουν την ίδια ή

λιγότερη γη ανά kWh από τους κύκλους ζωής των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας με άνθρακα. Η απομάκρυνση των δασών για να δημιουργηθεί χώρος για ηλιακή ενέργεια προκαλεί εκπομπές CO<sub>2</sub> έως 36 g CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>, η οποία συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές CO<sub>2</sub> της ηλιακής ενέργειας του κύκλου ζωής, αλλά εξακολουθεί να είναι χαμηλή σε σύγκριση με τις εκπομπές CO<sub>2</sub> από ηλεκτρική ενέργεια με βάση τον άνθρακα που είναι περίπου 1100 g CO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>.

Σε ένα πλαίσιο ενεργειακής μετάβασης προς ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η μελέτη περίπτωσης των Brunet et al. (2020) εξετάζει τον βαθμό στον οποίον ένας φωτοβολταϊκός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής στο δίκτυο στη Μαδαγασκάρη αντιπροσωπεύει ένα φορέα για αειφόρο ανάπτυξη. Η μελέτη προτείνει ένα μοντέλο για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας από μια ποιοτική οπτική πολλαπλών κριτηρίων. Αυτή η ανάλυση επιλέχθηκε διότι ταιριάζει στο θεωρητικό ζήτημα της επιστήμης της βιωσιμότητας αμφισβητώντας τη θεωρία της ενδογενούς ανάπτυξης. Η μελέτη τονίζει ότι το εργοστάσιο μπορεί να αντιπροσωπεύει μόνο έναν φορέα αειφόρου ανάπτυξης με τη συνεργασία των ενδιαφερόμενων μερών, κάτι το οποίο συνεπάγεται την εξέταση των αναγκών ηλεκτροδότησης σε τοπικό επίπεδο. Επίσης επιβεβαιώνει ότι οι επιπτώσεις που δημιουργούνται από το εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας μπορούν να οδηγήσουν σε συγκρούσεις μεταξύ διαφορετικών στόχων αειφόρου ανάπτυξης. Συνολικά, η μελέτη των Brunet et al. (2020) υπογραμμίζει ότι η αξιολόγηση της βιωσιμότητας των ηλιακών σταθμών παραγωγής ενέργειας πρέπει να ακολουθεί μια διαδικασία που: α) χρησιμοποιεί μια κατά προτίμηση ποιοτική μεθοδολογία που ενδέχεται να κατανοήσει τις τοπικές συνθήκες των κοινοτήτων στις οποίες είναι εγκατεστημένες, β) προσδιορίζει τους δείκτες λαμβάνοντας υπόψη το πλαίσιο και γ) αναλύει τις πιθανές αρνητικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των περιοχών επιπτώσεων επισημαίνοντας τους βασικούς τομείς που συνδέονται με τη διαχείριση της γης και την ευημερία των γυναικών στο πλαίσιο μιας προσέγγισης για τη μείωση της φτώχειας.

Τα φωτοβολταϊκά είναι μια βασική επιλογή τεχνολογίας για την εφαρμογή της μετάβασης σε μία πράσινη οικονομία. Σύμφωνα με τις προβλέψεις της αγοράς, η εγκατεστημένη χωρητικότητα φωτοβολταϊκής ισχύος 520 GW στο τέλος του 2018 θα μπορούσε να φθάσει τα 1,4 TW έως το 2024. Το ποσοστό της ΕΕ είναι περίπου το ένα πέμπτο της παγκόσμιας εγκατεστημένης χωρητικότητας και μπορεί να προσφέρει περίπου το 5,5% της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα πρόσφατα σενάρια

ανανεώσιμων πηγών ηλεκτρικής ενέργειας 100% έχουν επισημάνει τη σημασία των ηλιακών φωτοβολταϊκών για την επίτευξη αυτού του στόχου και την απαλλαγή από τον άνθρακα στον τομέα της ενέργειας με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Για να πραγματοποιήσει μια παροχή ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς άνθρακα έως το 2050, η εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής φωτοβολταϊκών περίπου 650 GW στο τέλος του 2019 πρέπει να αυξηθεί σε περισσότερα από 4 TW έως το 2025 και 21,9 TW έως το 2050. Αυτό δείχνει ότι ο ρυθμός εγκατάστασης πρέπει να αυξηθεί κατά 2,5 έως το 2025. Η Ευρωπαϊκή Ένωση πρέπει να αυξήσει τη χωρητικότητά της από 117 GW στο τέλος του 2018 σε περισσότερα από 630 GW έως το 2025 και 1,94 TW έως το 2050 (Jäger-Waldau, 2019).

## **2.2 Μειονεκτήματα και προκλήσεις**

Η ηλιακή ενέργεια σημείωσε εκπληκτική ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια λόγω τόσο των τεχνολογικών βελτιώσεων που οδήγησαν σε μείωση του κόστους όσο και των κυβερνητικών πολιτικών που υποστηρίζουν την ανάπτυξη και τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ενώ το κόστος της ηλιακής ενέργειας μειώθηκε ραγδαία στο πρόσφατο παρελθόν, παραμένει πολύ υψηλότερο από το κόστος των συμβατικών ενεργειακών τεχνολογιών. Όπως και άλλες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ηλιακή ενέργεια ωφελείται από φορολογικά και ρυθμιστικά κίνητρα και εντολές, συμπεριλαμβανομένων των φορολογικών πιστώσεων και απαλλαγών, feed-in-tariff, επιτοκίων, προτύπων ανανεώσιμων χαρτοφυλακίων και εθελοντικών προγραμμάτων πράσινης ενέργειας σε πολλές χώρες. Η πιθανή επέκταση των αγορών πίστωσης άνθρακα θα παρέχει επίσης πρόσθετα κίνητρα για την ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας. Ωστόσο, η κλίμακα των κινήτρων που παρέχονται από τα υπάρχοντα μέσα αγοράς άνθρακα, όπως ο Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης του Πρωτοκόλλου του Κιότο, είναι περιορισμένη. Παρά το τεράστιο τεχνικό δυναμικό, η ανάπτυξη και η μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη, η οποία βασίζεται στην αγορά, των τεχνολογιών ηλιακής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο, πρέπει ακόμη να ξεπεράσει ορισμένα τεχνικά και οικονομικά εμπόδια. Εάν δεν ξεπεραστούν αυτά τα εμπόδια, η διατήρηση και η αύξηση της προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακή ενέργεια θα απαιτήσει τη συνέχιση πιθανών δαπανηρών πολιτικών υποστηρίξεων (Timilsina, Kurdgelashvili & Narbel, 2011).

Αρχικά θα πρέπει να αναφερθεί ότι, η υιοθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων παρεμποδίζεται από το υψηλό κόστος εγκατάστασης (Solar Reviews, 2021), αν και αυτό το κόστος βαίνει μειούμενο τα τελευταία χρόνια, εξαιτίας των εξής: α) η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων υποστηρίχθηκε σε μεγάλο βαθμό από κυβερνήσεις και από μη κυβερνητικούς οργανισμούς, οι οποίοι παρέχουν επιδοτήσεις και κίνητρα, β) υπάρχει μια καταγεγραμμένη βελτίωση στην παραγωγή αποτελεσματικότερων ηλιακών κυττάρων (Ismail, Ajide & Akingbesote, 2012). Μεταξύ 2008 και 2014, οι τιμές των φωτοβολταϊκών μονάδων μειώθηκαν ταχέως κατά περισσότερο από 80%, και μετά το 2015 σημειώθηκε βραδεία μείωση λόγω της ενοποίησης της βιομηχανίας και της αύξησης των αγορών, κυρίως στην Κίνα και την Ιαπωνία. Ωστόσο, από τις αρχές του 2016 οι τιμές σημείωσαν και πάλι απότομη μείωση, κάτι το οποίο έθεσε σε όλες τις ηλιακές εταιρείες κατά μήκος της αλυσίδας αξίας τεράστια πίεση (Jäger-Waldau, 2019).

Οι τεχνικές προκλήσεις είναι διαφορετικές σε χώρες με αδύναμο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ή όπου δεν έχουν όλοι οι πολίτες πρόσβαση σε ηλεκτρικό ρεύμα. Η πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια και ο σχεδιασμός νέων υποδομών ηλεκτρικής ενέργειας δεν πρέπει να βασίζονται πλέον στην εξάρτηση των κλασικών κεντρικών μονάδων παραγωγής ενέργειας, αλλά να χρησιμοποιούν τις νέες διαθέσιμες τεχνολογικές επιλογές αποκεντρωμένων ανανεώσιμων πηγών παραγωγής ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά. Η έξυπνη χρήση του τοπικά διαθέσιμου συνδυασμού διαφορετικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς και η διαχείριση της ζήτησης και της προσφοράς πρέπει να αποτελεί αναπόσπαστο μέρος κάθε ενεργειακού σχεδίου για την αποφυγή λανθασμένων επενδύσεων στο μέλλον. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγεται από μια φωτοβολταϊκή μονάδα έχει μειωθεί κάτω από 0,02 EUR / kWh σε πολλά μέρη παγκοσμίως, αν και ένα σημαντικό πρόσθετο στοιχείο κόστους σχετίζεται με τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τη μονάδα στο σημείο και τότε απαιτείται. Επομένως, χρειάζονται νέες καινοτόμες και οικονομικά αποδοτικές λύσεις συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας με PV ως αναπόσπαστο μέρος των βιώσιμων ενεργειακών λύσεων. Η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και της λειτουργίας της ηλιακής φωτοβολταϊκής εγκατάστασης έχει άμεση επίδραση στο κόστος, το οποίο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο για την οικονομία της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Με τη συνεχή μείωση των πρώτων υλών, τα μη τεχνικά κόστη, που συνδέονται με τις εφαρμογές άδειας και τους κανονισμούς,

αντιπροσωπεύουν ένα αυξανόμενο μερίδιο του συνολικού κόστους και πρέπει επίσης να μειωθούν (Jäger-Waldau, 2019).

Ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα που αφορά στα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι η χαμηλή απόδοση (Ma et al., 2018). Οι λόγοι για την ανισότητα στην απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι πολλές. Πρώτον, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τόσα πολλά εξαρτήματα (π.χ. καλώδια, μετατροπείς, μπαταρίες, φωτοβολταϊκές μονάδες κ.λπ.), με καθένα από αυτά τα εξαρτήματα να έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένων διαφορετικών δεικτών απόδοσης. Έτσι, η αξιολόγηση της απόδοσης της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας ως συστήματος απαιτεί λεπτομερή κατανόηση της απόδοσης των συστατικών στοιχείων. Δεύτερον, οι διαφορετικές μεταβολές στο συνδυασμό εξαρτημάτων μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Στην πράξη, τα αυτόνομα και συνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα είναι παραδείγματα που μπορούν να αποδώσουν διαφορετικά λόγω του συνδυασμού διαφορετικών εξαρτημάτων και του τρόπου ενσωμάτωσής τους. Τρίτον, η επίδραση μεταβλητών περιβαλλοντικών παραγόντων όπως η κακή ηλιακή ακτινοβολία, η παρουσία σκόνης και η σκίαση στα εξαρτήματα απαιτούν διεξοδική αξιολόγηση. Τέλος, διαφορετικές μέθοδοι για το σχεδιασμό των φωτοβολταϊκών συστημάτων απαιτούν διαφορετικές παραδοχές, οδηγώντας σε μια παραλλαγή στην ακρίβεια του σχεδιασμού των διαφόρων εξαρτημάτων και του συστήματος.

Οι Romero-Cadaval et al. (2013) επίσης αναφέρουν πως οι κύριοι σχεδιαστικοί στόχοι των φωτοβολταϊκών συστημάτων ήταν εδώ και πολύ καιρό η εξαγωγή της μέγιστης ισχύος από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία και η έγχυσή της στο δίκτυο ρεύματος. Επομένως, η μέγιστη παρακολούθηση σημείου ισχύος μιας ομοιόμορφα ακτινοβολημένης φωτοβολταϊκής συστοιχίας και η μεγιστοποίηση της απόδοσης μετατροπής υπήρξαν τα κύρια ζητήματα σχεδιασμού. Αλλά επίσης, όταν η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην αξιοπιστία του συστήματος, την ποιότητα ισχύος και την εφαρμογή λειτουργιών προστασίας και συγχρονισμού δικτύου. Απαιτούνται σύγχρονοι σταθμοί παραγωγής ενέργειας για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας, κατάλληλες στρατηγικές ελέγχου για την επίλυση των προβλημάτων που σχετίζονται με τα φαινόμενα μερικής σκίασης και τον διαφορετικό προσανατολισμό των φωτοβολταϊκών

μονάδων προς τον ήλιο, καθώς και η ανάπτυξη κατάλληλων τοπολογιών και αλγορίθμων ελέγχου.

Παρομοίως, οι Suri et al. (2014) υποστηρίζουν ότι η παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκούς σταθμούς καθορίζεται έντονα από τη βραχυπρόθεσμη μεταβλητότητα των νεφών και εξαρτάται από τις γεωγραφικές συνθήκες. Ο αντίκτυπος της μεταβλητότητας των νεφών στην παραγωγή φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων μεγάλης κλίμακας είναι κρίσιμος για τον προσδιορισμό της χωρικής κατανομής και του μεγέθους των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων προκειμένου να διασφαλιστεί η βέλτιστη ολοκλήρωση και λειτουργία του δικτύου. Οκτώ χρόνια ηλιακών και μετεωρολογικών δεδομένων SolarGIS υψηλής ανάλυσης και εργαλεία προσομοίωσης φωτοβολταϊκών εφαρμόστηκαν για το έδαφος της Νότιας Αφρικής. Τρεις πτυχές του αντίκτυπου των νεφών ποσοτικοποιήθηκαν στην παραγωγή φωτοβολταϊκών: (i) εμφάνιση και (ii) στατιστικά στοιχεία μεταβλητότητας των προφίλ παραγωγής ισχύος 15 λεπτών και (iii) εμφάνιση και επιμονή των ημερήσιων ποσών παραγωγής ενέργειας. Μελετώντας τέσσερα γεωγραφικά επίπεδα συσσωμάτωσης, οι συγγραφείς κατέδειξαν ότι η ολοκληρωμένη παραγωγή ισχύος από περισσότερους φωτοβολταϊκούς σταθμούς, που κατανέμονται σε ευρύτερη περιοχή, έχει ως αποτέλεσμα πιο ομαλά προφίλ παραγωγής ενέργειας, τα οποία είναι επίσης πιο σταθερά και λιγότερο κυμαινόμενα. Παρομοίως, η επιμονή (συνεχής διάρκεια) χαμηλής παραγωγής ενέργειας κατά τη διάρκεια συνεφιασμένων ημερών είναι ασθενέστερη εάν οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις από μια ευρύτερη περιοχή συνδέονται σε ένα σημείο ολοκλήρωσης.

Μελέτες κατέδειξαν επίσης ότι ένας από τους λόγους αποτυχίας των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών συστημάτων οφείλεται σε κακές μεθόδους σχεδιασμού. Η μελέτη των Rupnik και Westbrook (2014) συνέκρινε τη χρήση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος με τη θερμοκρασία της μονάδας για τον προσδιορισμό της ηλιακής ακτινοβολίας και μια μεγάλη διαφορά στην απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων υποδείχθηκε λόγω των διαφορετικών παραμέτρων / μεθόδων σχεδιασμού που χρησιμοποιήθηκαν. Οι Jansson et al. (2011) αναφέρονται στην επίδραση που έχουν οι μέθοδοι σχεδιασμού απόστασης μεταξύ σειρών ενότητας στην έξοδο ηλεκτρικής ενέργειας και στην απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος όταν εφαρμόζονται διαφορετικά βάθη σκίασης. Οι Jordan et al. (2021) ανέλυσαν την απόδοση 100.000 εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών συστημάτων και διαπίστωσαν ότι προβλήματα που σχετίζονται με την

απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων προκαλούνται από μεθόδους ποσοτικοποίησης απόδοσης, αναποτελεσματική συλλογή δεδομένων δικτύου, κακές καιρικές συνθήκες, αστοχία υλικού, εγκατάσταση και διασφάλιση ποιότητας. Η μέση απώλεια παραγωγής ενέργειας που καταγράφηκε ήταν 20%, με συνεχή αύξηση τα επόμενα χρόνια. Από τις αναφορές περιστατικών και συντήρησης που συγκέντρωσαν οι συγγραφείς, τα ποσοστά απώλειας απόδοσης ήταν εμφανή και ορατά, αν και θα μπορούσαν να ανακτηθούν με την πάροδο του χρόνου.

Οι Leloux, Narvarte και Trebosc (2012) εξέτασαν την περίπτωση 993 οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων στο Βέλγιο. Από την έρευνα προέκυψε πως ένα μεσαίο εμπορικό φωτοβολταϊκό σύστημα, με βέλτιστο προσανατολισμό, παράγει μέση ετήσια ενέργεια 892 kWh / kWp. Συνολικά, ο προσανατολισμός των φωτοβολταϊκών γεννητριών προκαλεί την παραγωγή ενέργειας να είναι περίπου 6% κατώτερη από τα βέλτιστα προσανατολισμένα φωτοβολταϊκά συστήματα. Ο μέσος δείκτης απόδοσης είναι 78% και ο μέσος δείκτης απόδοσης είναι 85%. Αυτό σημαίνει ότι, η ενέργεια που παράγεται από ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα στο Βέλγιο είναι 15% κατώτερη από την ενέργεια που παράγεται από ένα πολύ υψηλής ποιότητας φωτοβολταϊκό σύστημα. Τέλος, κατά μέσο όρο, η πραγματική ισχύς των φωτοβολταϊκών μονάδων μειώνεται κατά 5% κάτω από την αντίστοιχη ονομαστική ισχύ. Συνολικά, εντοπίζονται διαφορές μεταξύ πραγματικής και ονομαστικής ισχύος έως και 16%.

Οι Usman et al. (2020) επίσης αναφέρεται στο πώς οι μέθοδοι σχεδιασμού μπορούν να οδηγήσουν σε υπο-απόδοση. Η έξοδος ηλεκτρικής ενέργειας που προβάλλεται στο στάδιο του σχεδιασμού είναι πάντα διαφορετική από την έξοδο που λαμβάνεται μετά την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Αυτή η διαφορά μεταξύ της προβλεπόμενης ενεργειακής παραγωγής και της πραγματικής εξόδου που λαμβάνεται μετά την εγκατάσταση δείχνει ότι υπάρχει πρόβλημα στις μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για την επιλογή και το σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων. Δεδομένου ότι έχει αποδειχθεί ότι η έξοδος ενός φωτοβολταϊκού συστήματος ποικίλλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των συστατικών (μεγέθη, αποδοτικότητα και δείκτες απόδοσης), οι μέθοδοι σχεδιασμού πρέπει να περιλαμβάνουν μια λεπτομερή κατανόηση της επιλογής και της απόδοσης κάθε εξαρτήματος. Επιπλέον, πρέπει να αναλυθούν διαφορετικές παραλλαγές για το συνδυασμό συστατικών, διότι διαφορετικές μεταθέσεις θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ανόμοιες εκτιμήσεις

απόδοσης. Για παράδειγμα, δεδομένου ότι οι συνδέσεις για αυτόνομα και συνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα είναι διαφορετικές, είναι επιθυμητές μεθοδολογίες για τη λήψη συμβατών διαμορφώσεων. Ο συγχρονισμός και η βελτιστοποίηση των διαφόρων εξαρτημάτων θα διασφαλίζουν ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα παρέχει την απαιτούμενη και προβλεπόμενη ενέργεια. Τέλος, διαφορετικές μέθοδοι σχεδιασμού απαιτούν διαφορετικές παραδοχές, οδηγώντας σε διαφορετικές ακρίβεια στο σχεδιασμό των διαφορετικών εξαρτημάτων και συστήματος. Επίσης, οι Belluardo et al. (2015) αναφέρουν πως μέθοδοι στην αξιολόγηση της απόδοσης των συστημάτων μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορετικά αποτελέσματα.

Η βιβλιογραφική επισκόπηση των Usman et al. (2020) αναφέρει ορισμένους ακόμα παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Η τοποθεσία του φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να αποτελεί παράγοντα υπο-απόδοσης. Κάθε τοποθεσία έχει μοναδικές συντεταγμένες (γεωγραφικό μήκος και πλάτος) και χαρακτηριστικά καιρού όπως θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου. Οι μονάδες θα πρέπει να ταιριάζουν με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος της τοποθεσίας ώστε να είναι σε θέση να αποδώσουν καλά. Η τοποθεσία που σχετίζεται με τις κλιματικές συνθήκες βρέθηκε και στην έρευνα των Sharma et al. (2013) ότι επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Η απόδοση των φωτοβολταϊκών πάνελ και η διάρκεια ζωής καθορίζονται επίσης σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των φωτοβολταϊκών κυττάρων, την τεχνολογία συγκόλλησής τους, την ποιότητα της μεμβράνης οξικού αιθυλεστέρα βινυλίου στην οποία ενθυλακώνονται, την τεχνολογία ενθυλάκωσης και το πίσω φύλλο. Ανάλογα με την τεχνολογία κατασκευής, τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορούν να κατασκευαστούν από μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά και άμορφα κύτταρα πυριτίου (Mitiu et al., 2018).

Ένας ακόμη από τους σημαντικότερους παράγοντες που εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι η σκόνη, σύμφωνα με τους Usman et al. (2020). Αναλύσεις απόδοσης που πραγματοποιήθηκαν έχουν αποδώσει την απώλεια ισχύος φωτοβολταϊκών συστημάτων σε εναπόθεση σκόνης στους πίνακες. Η ηλιακή ακτινοβολία και η γωνία κλίσης μπορεί να οδηγήσει στην κακή απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η κακή ακτινοβολία που λαμβάνεται από τα ηλιακά πάνελ οφείλεται συχνά σε



λανθασμένες γωνίες κλίσης. Εάν η κλίση και ο προσανατολισμός έχουν υπολογιστεί λανθασμένα κατά τη διάρκεια του σταδίου σχεδιασμού, τότε δεν μπορεί να επιτευχθεί η βέλτιστη θέση του συστήματος σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Επιπλέον, η σκίαση είναι ένας από τους πιο επιβλαβείς παράγοντες στην κακή απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων (Usman et al., 2020). Η σκίαση των φωτοβολταϊκών πλαισίων προκαλεί μη ομοιόμορφη ηλιακή ακτινοβολία λόγω της προσωρινής απόφραξης των ηλιακών ακτίνων από δέντρα, γειτονικά κτίρια, πόλους χρησιμότητας, σύννεφα ή άλλα εμπόδια. Όταν ένα μέρος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας δέχεται λιγότερη ακτινοβολία λόγω σκίασης, η θερμοκρασία του γίνεται χαμηλότερη από το μη σκιασμένο μέρος της συστοιχίας. Η θερμική κατανομή σε όλη τη σειρά γίνεται μη ομοιόμορφη, και έτσι η απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος μειώνεται. Η ποικιλία φωτοβολταϊκών συστημάτων στην αγορά και η ανεπαρκής γνώση για αυτά μπορεί επίσης να οδηγήσει σε υπο-απόδοση.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ – ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ**

Στην ενότητα αυτή αναφέρονται τα ευρήματα από διάφορες μελέτες που έχουν διεξαχθεί με στόχο την απόδοση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Οι μελέτες αυτές δεν αναφέρονται αποκλειστικά σε φωτοβολταϊκά πάρκα, αλλά συνολικά, προκειμένου να δοθεί μία πιο συνολική εικόνα. Στη βάση αυτή προσδιορίζεται το ερευνητικό κενό και διαμορφώνεται ο σκοπός της έρευνας.

### **3.1 Βιβλιογραφική επισκόπηση**

Οι Kymakis, Kalykakis και Papazoglou (2009) παρουσιάζουν το φωτοβολταϊκό πάρκο που συνδέεται με το δίκτυο της C. Rokas SA στη Σητεία της Κρήτης και αξιολογείται η απόδοσή του. Το υπόβαθρο των συγγραφέων είναι ότι οι ευνοϊκές κλιματολογικές

συνθήκες του νησιού της Κρήτης και η νομοθεσία για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παρέχουν ένα σημαντικό κίνητρο για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών. Το φωτοβολταϊκό πάρκο έχει μέγιστη ισχύ 171,36 kW p και λειτουργεί από το 2002. Το πάρκο παρακολουθείται καταλλήλως κατά τη διάρκεια ενός έτους και ο λόγος απόδοσης και οι διάφορες απώλειες ισχύος (θερμοκρασία, ρύπανση, εσωτερικό, δίκτυο, ηλεκτρονικά ισχύος, πλέγμα υπολογίζεται η διαθεσιμότητα και η διασύνδεση). Το φωτοβολταϊκό πάρκο παρείχε 229 MW h στο δίκτυο κατά τη διάρκεια του 2007, κυμαινόμενο από 335,48 έως 869,68 kW h. Η τελική απόδοση (YF) κυμάνθηκε από 1,96 έως 5,07 ώρες / ημέρα και ο λόγος απόδοσης (PR) κυμάνθηκε από 58 έως 73%, δίνοντας ετήσιο PR 67,36%.

Η μελέτη των Mitiu et al. (2018) μελετά τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν τη γήρανση των φωτοβολταϊκών πλαισίων προκειμένου να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα και η βιωσιμότητά τους από την άποψη της ενέργειας, προκειμένου να καθοριστούν οι βέλτιστες συνθήκες της θέσης των φωτοβολταϊκών πάνελ, συμβάλλοντας στην επίτευξη των στόχων όσον αφορά ανάπτυξη χρησιμοποιώντας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ο κύριος σκοπός αυτής της έρευνας είναι να μελετήσει την τρέχουσα κατάσταση, στη Ρουμανία, στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσα από την περίπτωση των ηλιακών πάρκων. Η ανάλυση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στα δύο πάρκα κατέληξε στα ακόλουθα συμπεράσματα. Το πρώτο φωτοβολταϊκό πάρκο στην περιοχή Brasov, παρουσιάζεται σε πολύ καλή κατάσταση όσον αφορά στα πάνελ ποιότητας. Οι καμπύλες του χαρακτηριστικού I-V (ρεύμα-τάσης) και η ισχύς που καθορίζεται στις μονάδες δείχνουν ότι οι αποκλίσεις από τα ονομαστικά μεγέθη κυμαίνονται μεταξύ 4-5%, κάτι το οποίο σημαίνει εξαιρετική συμπεριφορά πίνακα μετά από 3-4 χρόνια λειτουργίας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι κατά τους πρώτους μήνες της έκθεσης των πάνελ στο φως, η ισχύς τους μειώνεται έως και 3%, αποδεικνύεται ότι η ετήσια απώλεια ισχύος των πάνελ είναι 0,4-0,7% Pn (ονομαστική ισχύς). Μια ετήσια απώλεια ισχύος 0,5% θεωρείται εξαιρετική. Το δεύτερο πάρκο φωτοβολταϊκών πλαισίων κοντά στο Targu Mures, είναι ένα πάρκο 2,4 MW. Ως αποτέλεσμα των μετρήσεων πεδίου, διαπιστώθηκε ότι υπήρχε απώλεια ισχύος περίπου 20%, κάτι που είναι μη φυσιολογικό για ένα φωτοβολταϊκό πάνελ ηλικίας 3-4 ετών. Το κύριο φαινόμενο που επηρεάζει περίπου το 40% των συνολικών πάνελ είναι η αλλαγή του χρώματος των κυττάρων γύρω από την κεντρική κορδέλα. Συνολικά συμπεραίνεται ότι η απώλεια

αποτελεσματικότητας των φωτοβολταϊκών πάνελ είναι σε φυσιολογικά, ακόμη και πολύ καλά όρια, με ελάχιστο βαθμό γήρανσης (0,5% ετησίως), σε σύγκριση με την απώλεια αποδοτικότητας λόγω της παρουσίας κρυφών ελαττωμάτων (20% μετά τα πρώτα 4 χρόνια λειτουργίας και απώλεια περίπου 40% των πάνελ).

Η μελέτη των Yahya et al. (2021) παρουσιάζει τα προκαταρκτικά αποτελέσματα απόδοσης ενός πιλοτικού φωτοβολταϊκού συστήματος που έχει σχεδιαστεί και εγκατασταθεί στην ταράτσα του κεντρικού γραφείου του Υπουργείου Πετρελαίου, Ενέργειας και Μεταλλείων στο Nouakchott (γεωγραφικό πλάτος  $18,1^{\circ}$  Β και μήκος  $16,0^{\circ}$  Δ) στη Μαυριτανία. Στόχος είναι να δείξει η κυβέρνηση τη σημασία της χρήσης ηλιακής ενέργειας και να ενθαρρύνει την υιοθέτηση της ηλιακής φωτοβολταϊκής τεχνολογίας για εμπορικές και οικιακές κτιριακές εφαρμογές στη Μαυριτανία. Σε αυτήν τη μελέτη, το συνδεδεμένο στο δίκτυο φωτοβολταϊκό σύστημα έχει μέγιστη ισχύ 48 kW και η παρακολούθηση της απόδοσης πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια ενός έτους, με ένα σύστημα που επιτρέπει τη μέτρηση της ισχύος DC, του μετατροπέα και της απόδοσης μετατροπής του συστήματος, της ενέργειας που παράγεται από τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες, ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο κλίσης των πάνελ, θερμοκρασία περιβάλλοντος και θερμοκρασία μονάδας. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση βρέθηκε να παρέχει 65,668 kWh στο δίκτυο. Η τελική απόδοση κυμαινόταν από 3,91 έως 5,09 kWh / kWp / ημέρα. Ο δείκτης απόδοσης βρέθηκε να κυμαίνεται από 69,69% έως 89,35% και ο ετήσιος συντελεστής ικανότητας βρέθηκε να είναι 19%. Οι παράμετροι απόδοσης συγκρίθηκαν με άλλες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις εγκατεστημένες στην ίδια περιοχή της Βόρειας Αφρικής, από όπου βρέθηκε ότι ανάλογα με τη γεωγραφική θέση και τις κλιματικές συνθήκες, οι παράμετροι απόδοσης είναι είτε υψηλότερες είτε χαμηλότερες από τις επιδόσεις άλλων συνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Η μελέτη των Khatib, Sorian και Kazema (2013) προέβη σε μία αξιολόγηση σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα σε τροπικό κλίμα και πιο συγκεκριμένα στη Μαλαισία. Το σύστημα αποτελείται από μια φωτοβολταϊκή συστοιχία 5 kWp (PV) και έναν μετατροπέα DC / AC 6 kW. Τα δεδομένα απόδοσης λειτουργίας καταγράφονται με σκοπό την ανάπτυξη ακριβών μαθηματικών μοντέλων για το σύστημα καθώς και για την αξιολόγηση της παραγωγικότητας του συστήματος. Τα αποτελέσματα του πειράματος δείχνουν ότι, η μέση απόδοση φωτοβολταϊκών (ο λόγος της θεωρητικής

απόδοσης προς την πραγματική απόδοση) είναι 73,12% ενώ η μέση απόδοση του μετατροπέα (η αναλογία της θεωρητικής απόδοσης του μετατροπέα προς την πραγματική απόδοση του μετατροπέα) είναι 98,56%. Επιπλέον, διαπιστώνεται ότι ο ημερήσιος συντελεστής απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι 2,51 kW h / kWp ημέρα ενώ ο συντελεστής χωρητικότητας είναι 10,47%. Ωστόσο, συνάγεται το συμπέρασμα ότι η παραγωγικότητα του συστήματος είναι χαμηλότερη από τον αναμενόμενο ρυθμό και, επομένως, πρέπει να γίνει έλεγχος του συστήματος προκειμένου να διαγνωστεί το πρόβλημα της χαμηλής παραγωγικότητας του συστήματος.

Οι Simon και Mosey (2013) προέβησαν σε μία μελέτη σκοπιμότητας των οικονομικών και επιδόσεων των ηλιακών φωτοβολταϊκών στον χώρο υγειονομικής ταφής του Sky Park στο Eau Claire του Ουισκόνσιν έκτασης 23 στρεμμάτων. Η οικονομική σκοπιμότητα ενός δυνητικού φωτοβολταϊκού συστήματος στον χώρο υγειονομικής ταφής του Sky Park εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τιμή αγοράς του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος. Τα οικονομικά του δυνητικού συστήματος αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας τις τρέχουσες πολιτικές Xcel Energy, τις επιλογές μέτρησης καθαρών, τον μέσο εμπορικό ηλεκτρικό ρυθμό ανάμειξης της πόλης 0,08 \$ / kWh και τα κίνητρα που παρέχονται και περιλαμβάνουν την ομοσπονδιακή πίστωση φόρου, τις πολιτικές προτύπων Xcel Energy και τα φορολογικά κίνητρα της Πολιτείας του Ουισκόνσιν. Για αυτήν την ανάλυση, εξετάστηκαν δύο διαφορετικά σενάρια, το πρώτο χρησιμοποιώντας εικονική καθαρή μέτρηση (VNM) για αντιστάθμιση άλλων ενεργειακών πόλεων και το δεύτερο υποθέτοντας ότι η παραγόμενη ενέργεια θα πωληθεί βάσει ενός PPA. Ενώ η καθαρή παρούσα αξία για αυτό το σύστημα είναι αρνητική, η αξία για την κοινότητα που σχετίζεται με την επίτευξη του στόχου της παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας 25% έως το 2025, η αντίληψη του κοινού και η κοινοτική υποστήριξη για την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να δικαιολογήσουν το καθαρό κόστος του συστήματος. Η ανάλυση υπολογίζει την εκτιμώμενη απαιτούμενη τιμή PPA για να επιτρέψει ένα συνολικό εσωτερικό ποσοστό απόδοσης έργου (IRR) 8%. Εάν μπορούσε να αναπτυχθεί ένα PPA με το ρυθμό που σχετίζεται με κάθε τύπο συστήματος, περίπου 0,10 \$ / kWh που αυξάνεται σε 3,5% ετησίως, το σύστημα θα ήταν μια ελκυστική επένδυση για την πόλη.

Η μελέτη των Kumi και Brew-Hammond (2013) αποσκοπούσε στην αξιολόγηση μιας τυποποιημένης διαδικασίας για το σχεδιασμό μεγάλων ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων μεγάλης κλίμακας με τη χρήση στέγης κτιρίων και χώρων στάθμευσης στην Αφρική. Η τυποποιημένη διαδικασία που αναπτύχθηκε επικυρώθηκε στο σχεδιασμό ενός ηλιακού φωτοβολταϊκού συστήματος 1MW που συνδέεται με το δίκτυο για το Πανεπιστήμιο Επιστήμης και Τεχνολογίας Kwame Nkrumah (KNUST) στη Γκάνα. Η απόδοση του ηλιακού φωτοβολταϊκού συστήματος 1MW προσομοιώθηκε επίσης με την εγγυημένη διάρκεια ζωής του συστήματος χρησιμοποιώντας λογισμικό ανάλυσης έργου RETScreen Clean Energy Project, το οποίο σχεδιάστηκε από την Natural Resources Canada. Το έργο ξεκίνησε με μια μελέτη προκαταρκτικής σκοπιμότητας ενός ηλιακού φωτοβολταϊκού συστήματος 1MW που χρησιμοποιεί δίκτυο RETScreen το οποίο διαθέτει μια ευρεία βάση δεδομένων μετεωρολογικών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένης της παγκόσμιας καθημερινής οριζόντιας ηλιακής ακτινοβολίας και επίσης μια βάση δεδομένων διαφόρων συστατικών συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από διαφορετικούς κατασκευαστές. Οι τεχνικές και οικονομικές επιδόσεις του ηλιακού φωτοβολταϊκού συστήματος που συνδέονται με πλέγμα 1MW προσομοιώθηκαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό RETScreen. Οι προκαταρκτικές αναλύσεις των αποτελεσμάτων προσομοίωσης κατέδειξαν ότι το έργο είναι κοινωνικά επωφελές για την κοινότητα, με ετήσια ενεργειακή απόδοση περίπου 1.159MWh, που είναι περίπου το 12% της ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του KNUST. Η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακό φωτοβολταϊκό εξοικονομεί περίπου 792 τόνους CO<sub>2</sub>. Ωστόσο, υπό τους ισχύοντες δασμολογικούς όρους στη χώρα, το έργο δεν είναι οικονομικά βιώσιμο χωρίς κίνητρα όπως επιχορηγήσεις και τιμολόγια τροφοδοσίας.

Οι Chintavee, Ketjoy, Sriprapha και Vaivudh (2011) αξιολογούν το φωτοβολταϊκό σύστημα μικροπλέγματος που λειτουργεί στη Σχολή Τεχνολογίας Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (SERT) του Πανεπιστημίου Naresuan στην Ταϊλάνδη που τροφοδοτεί το 50% της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από την κύρια γεννήτρια φωτοβολταϊκού συστήματος. Με τη μέτρηση των σημαντικών παραμέτρων όπως ηλιακή ακτινοβολία, η τάση φωτοβολταϊκής συστοιχίας, το ρεύμα φωτοβολταϊκής συστοιχίας και η ηλεκτρική ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος, συλλέχθηκαν δεδομένα για ένα έτος από τον Νοέμβριο του 2008 έως τον Οκτώβριο του 2009. Το αποτέλεσμα της αξιολόγησης της φωτοβολταϊκής γεννήτριας

αποκαλύπτεται ότι η μέση απόδοση αναφοράς ( $Y_r$ ), η απόδοση συστοιχίας ( $Y_A$ ) και η τελική απόδοση ( $Y_f$ ) είναι 5,21, 4,32 και 3,84 kWh / kWp ανά ημέρα αντίστοιχα. Η μέση συνολική απώλεια της φωτοβολταϊκής γεννήτριας είναι 26,27% που προέρχεται από την άθροιση των μέσων απωλειών δέσμευσης (LC) 17,21% και των μέσων απωλειών συστήματος (LS) 9,06%. Η μέση συνολική απόδοση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης ( $\eta_{tot}$ ) είναι 10,41% και η μέση αναλογία απόδοσης (PR) είναι 73,45%. Διαπιστώθηκε ότι η μονάδα έχει τη χαμηλότερη απόδοση όταν η ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται μεταξύ 0 - 0,10 kW / m<sup>2</sup>. Η απόδοσή της αυξάνεται με την αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας από 0,10 σε 0,35 kW / m<sup>2</sup>, η απόδοση γίνεται υψηλότερη όταν η ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται από 0,35 έως 0,65 kW / m<sup>2</sup> και η απόδοσή της μειώνεται αργά όταν η ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται από 0,65 έως 1,30 kW / m<sup>2</sup>.

Η μελέτη των Attari, Elyaakoubi και Asselman (2016) παρουσιάζει μια αξιολόγηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος συνδεδεμένου με πλέγμα εγκατεστημένο στην οροφή ενός κυβερνητικού κτηρίου που βρίσκεται στη Ταγγέρη στο Μαρόκο. Τα πειραματικά δεδομένα καταγράφηκαν από την 1η Ιανουαρίου 2015 έως τον Δεκέμβριο του 2015 με βάση την παρατήρηση σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα αποτελείται από 20 μονάδες των 250 Wp και έναν μετατροπέα 5 kW. Οι εκτιμώμενες παράμετροι της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης περιλαμβάνουν παραγωγή ενέργειας, τελική απόδοση, θερμοκρασία μονάδων, μονάδα απόδοσης, αναλογία απόδοσης (PR) και άλλα. Το φωτοβολταϊκό πάρκο τροφοδότησε το δίκτυο με 6411,3 kWh κατά τη διάρκεια του έτους 2015. Η τελική απόδοση ( $Y_f$ ) κυμάνθηκε από 1,96 έως 6,42 kWh / kWp, ο λόγος απόδοσης (PR) κυμάνθηκε από 58% έως 98% και ο ετήσιος συντελεστής χωρητικότητας βρέθηκε να είναι 14,84%. Η μέση ετήσια αποδοτικότητα μονάδας, συστήματος και μετατροπέα ήταν: 12,39%, 11,99% και 96,7% αντίστοιχα. Σε σύγκριση με τα αποτελέσματα άλλων δημοσιεύσεων που διεξήγαγαν οι συγγραφείς, βρέθηκε ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα έχει υψηλότερη μέση ημερήσια τελική απόδοση. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τροφοδοσία, κλιματισμό, φωτισμό και άλλες ηλεκτρικές συσκευές του κρατικού κτηρίου.

Εκτός των παραπάνω, υπάρχουν και μελέτες που έχουν εστιάσει στην ανάλυση της απόδοσης της επένδυσης σε φωτοβολταϊκά. Για παράδειγμα, οι Guaita-Pradas και Blasco-Ruiz (2020) προσπάθησαν να εκτιμήσουν το προεξοφλητικό ποσοστό για τις

εταιρείες που χρησιμοποιούν φωτοβολταϊκά για την παραγωγή ηλιακής ενέργειας στην Ισπανία. Το υπόβαθρο των ερευνητών ήταν ότι κατά την αξιολόγηση των πιθανών οικονομικών επιδόσεων θα πρέπει να ληφθούν υπόψη νομικές και οικονομικές πτυχές, αλλά ένας κρίσιμος παράγοντας είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο που χρησιμοποιείται, το οποίο πρέπει να αντικατοπτρίζει το κόστος κεφαλαίου της επένδυσης. Άλλοι παράγοντες είναι η περίοδος ενδιαφέροντος, η δραστηριότητα της επιχείρησης, ο κίνδυνος αγοράς και το επίπεδο χρέους των επιχειρήσεων του κλάδου. Το προεξοφλητικό επιτόκιο υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας δύο χρηματοοικονομικές τεχνικές: το μοντέλο τιμολόγησης κεφαλαιουχικών περιουσιακών στοιχείων και την ανάλυση ιστορικών αποδόσεων. Στη συνέχεια, αξιολογείται η επένδυση σε ένα φωτοβολταϊκό εργοστάσιο ισχύος 5000 kW που βρίσκεται στην ανατολική Ισπανία, υποθέτοντας ότι ξεκίνησε τη δραστηριότητά του σε διαφορετικά χρόνια που συμπίπτουν με αλλαγές στο κανονιστικό πλαίσιο. Τα αποτελέσματα δείχνουν τη συνάφεια του αρχικού κόστους δαπανών για την κερδοφορία των φωτοβολταϊκών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Βασιζόμενοι στη διαπίστωση ότι λίγες μελέτες έχουν διερευνήσει τα οικονομικά πλεονεκτήματα που απορρέουν από την εφαρμογή πράσινων λύσεων για ενεργειακές προκλήσεις, οι Al-Odeh, Schafer, Badar και Peters (2016) στόχευαν στη μέτρηση της οικονομικής βιωσιμότητας της εγκατάστασης και χρήσης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος που συνδέεται με οικιακό δίκτυο στην Πολιτεία της Ιντιάνα, προβλέποντας την απόδοσή του σε δεκαοκτώ γεωγραφικές τοποθεσίες εντός της πολιτείας κατά την αναμενόμενη διάρκεια ζωής του συστήματος. Χρησιμοποιήθηκε μια συστηματική προσέγγιση έξι βημάτων για τη συλλογή και ανάλυση των δεδομένων. Η ανάλυση συνεχίστηκε χρησιμοποιώντας μηχανικές οικονομικές μεθόδους, συμπεριλαμβανομένης της περιόδου αποπληρωμής, της καθαρής παρούσας αξίας (NPV) και του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (IRR). Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος για κατοικία μιας οικογένειας στην Πολιτεία της Ιντιάνα δεν είναι αποδοτική για μία περίοδο 25 ετών υποθέτοντας το μέσο κόστος ενός συστήματος. Συμπερασματικά τα κυβερνητικά προγράμματα κινήτρων δεν είναι αρκετά για να αντισταθμίσουν το κόστος εγκατάστασης του συστήματος από το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που δεν θα αγοράζονταν από την εταιρεία κοινής ωφέλειας.

Ο στόχος της έρευνας των Ong και Thum (2013) ήταν να καθοριστεί το συνολικό κόστος, το σύστημα τιμής/kWp, η καθαρή παρούσα αξία (NPV) και η περίοδος αποπληρωμής για φωτοβολταϊκό έργο στη Μαλαισία. Για τη μελέτη επιλέχθηκαν επτά έργα. Τα ευρήματα αυτής της έρευνας κατέδειξαν ότι και τα επτά έργα παρουσιάζουν αρνητική NPV, ενώ η περίοδος αποπληρωμής είναι πάνω από τριάντα οκτώ έτη. Τέσσερα έργα έχουν ακόμη περίοδο αποπληρωμής άνω των πενήντα ετών. Ωστόσο, μια ενδιαφέρουσα προβολή σχετικά με τη μείωση των τιμών δείχνει ότι μία θετική NPV είναι εφικτή εάν το σύστημα τιμής/kWp μειωθεί σε 11,000 RM και 4,000 RM για κυβερνητικά επιδοτούμενα και μη επιδοτούμενα έργα αντίστοιχα. Η εκτίμηση της περιόδου αποπληρωμής είναι μεταξύ τεσσάρων και οκτώ ετών με μείωση της τιμής από 85% έως 50% αντίστοιχα από την τρέχουσα τιμή της αγοράς.

Στη μελέτη του Roulikkas (2009) πραγματοποιείται μια μελέτη σκοπιμότητας προκειμένου να διερευνηθεί εάν η εγκατάσταση μεγάλων φωτοβολταϊκών πάρκων στην Κύπρο, ελλείψει σχετικών τιμολογίων τροφοδοσίας ή άλλων μέτρων, είναι οικονομικά εφικτή. Η μελέτη λαμβάνει υπόψη το διαθέσιμο ηλιακό δυναμικό της νήσου Κύπρου καθώς και όλα τα διαθέσιμα δεδομένα που αφορούν την τρέχουσα πολιτική της Κυπριακής Κυβέρνησης για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) και το τρέχον τιμολόγιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ΑΠΕ από την Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου. Προκειμένου να προσδιοριστεί η ελάχιστη δυνατή επιλογή για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου 1 MW, πραγματοποιείται μια παραμετρική ανάλυση κόστους-οφέλους με διάφορες παραμέτρους, όπως ο προσανατολισμός του φωτοβολταϊκού πάρκου, η επένδυση κεφαλαίου φωτοβολταϊκών πάρκων, η τιμή του συστήματος εμπορίας εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κ.λπ. Για όλες τις παραπάνω περιπτώσεις υπολογίζεται το κόστος ή το όφελος της μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας προ φόρων, καθώς και οι ταμειακές ροές μετά τον φόρο, η καθαρή παρούσα αξία, ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης και η περίοδος αποπληρωμής. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι οι κεφαλαιουχικές δαπάνες του φωτοβολταϊκού πάρκου είναι μια κρίσιμη παράμετρος για τη βιωσιμότητα του έργου όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο τιμολόγιο τροφοδοσίας.

Τέλος, η έκθεση των Walker et al. (2020) παρουσιάζει μια μέθοδο υπολογισμού του κόστους που σχετίζεται με τη λειτουργία και τη συντήρηση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η έκθεση συγκεντρώνει λεπτομέρειες σχετικά με το κόστος και τη



συχνότητα πολλαπλών υπηρεσιών λειτουργίας συντήρησης για τον υπολογισμό του ετήσιου κόστους για κάθε έτος μιας περιόδου ανάλυσης, την καθαρή παρούσα αξία του κόστους κύκλου ζωής που συσσωρεύτηκε κατά την περίοδο ανάλυσης και αποθεματικό ποσό λογαριασμού που ενδέχεται να απαιτείται για τη χρηματοδότηση απροσδόκητων επισκευών. Ο αποθεματικός λογαριασμός περιλαμβάνει απογραφή ανταλλακτικών και είναι σημαντικός για την παροχή πηγής κεφαλαίων για γρήγορες επισκευές και αποφυγή απώλειας παραγωγής. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει μια λεπτομερή επιλογή υπηρεσιών που μπορούν να εκτελεστούν με βάση το μέγεθος του συστήματος, την εξυπηρέτηση της αγοράς (π.χ. οικιακή, εμπορική ή βοηθητική), τον τύπο και τη διαμόρφωση των στοιχείων του συστήματος (π.χ. μικρο-συμβολοσειράς ή κεντρικού μετατροπέα), καθώς και την τοποθεσία και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτό το μοντέλο διακρίνει επίσης το κόστος που ποικίλλει κάθε έτος σε έτος και αυξάνεται με διαφορετικούς ρυθμούς με την πάροδο του χρόνου με βάση αναλογιστικά δεδομένα. Διαπιστώθηκε ότι η προσέγγιση είναι γενική και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα διαφορετικού μεγέθους, εφαρμογής (οικιστικά, εμπορικά, χρηστικά) και υπό διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες.

### **3.2 Ερευνητικό κενό και σκοπός της έρευνας**

Από την προηγηθείσα βιβλιογραφική επισκόπηση διαπιστώνεται πως υπάρχει μία έλλειψη μελετών σχετικά με την απόδοση των φωτοβολταϊκών πάρκων. Υπάρχουν μελέτες που έχουν εξετάσει συνολικά την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων (Kymakis et al., 2009; Chintavee et al., 2011; Khatib et al., 2013; Simon & Mosey, 2013; Kumi & Brew-Hammond, 2013; Attari et al., 2016; Mitu et al., 2018; Yahya et al., 2021), αλλά όχι μελέτες που να έχουν εστιάσει στα φωτοβολταϊκά πάρκα. Ένα ακόμη συμπέρασμα που απορρέει από την ανάλυση που προηγήθηκε είναι πως οι διάφορες μελέτες αξιολόγησης σκοπιμότητας και απόδοσης των φωτοβολταϊκών πάρκων και εν γένει των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχουν καταλήξει σε αντικρουόμενα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, ορισμένες μελέτες (Kymakis et al., 2009; Mitu et al., 2018) έχουν αναφερθεί στην υψηλή απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, ενώ άλλες (Kumi & Brew-Hammond, 2013; Khatib et al., 2013) έχουν βρει χαμηλό επίπεδο απόδοσης και βιωσιμότητας. Επίσης, ορισμένες έρευνες (Chintavee et al., 2011; Simon & Mosey, 2013; Yahya et al., 2021) έχουν

προσδιορίζει τους παράγοντες που επιδρούν στην απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τέλος, διαπιστώνεται μία έλλειψη μελετών που να εξετάζουν συνολικά τα φωτοβολταϊκά πάρκα από την άποψη τόσο της οικονομικής επένδυσης, όσο και της απόδοσης. Από τις ελάχιστες έρευνες που βρέθηκαν (Ong & Thum, 2013; Al-Odeh et al., 2016; Guaita-Pradas & Blasco-Ruiz, 2020), διαπιστώθηκε πως τα αποτελέσματα είναι διφορούμενα.

Υπό αυτό το πρίσμα, στην εργασία αυτή στόχος είναι να διεξαχθεί μία οικονομική αξιολόγηση και μία ανάλυση κινδύνου για τη δημιουργία ενός φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 100 kWp για μία περίοδο 20 ετών στην Ελλάδα.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ**

### **4.1 Γενικά στοιχεία φωτοβολταϊκού πάρκου και τεχνικά χαρακτηριστικά**

Το φωτοβολταϊκό πάρκο θα δημιουργηθεί στην περιοχή της Τοπικής Κοινότητας Εξάρχου, στον Δήμο Λοκρών του Νομού Φθιώτιδας. Η συνολική έκταση του οικοπέδου είναι 6.200 τ.μ.. Το μοντέλο του φωτοβολταϊκού πλαισίου που θα χρησιμοποιηθεί είναι 255P\PLUTO\156-60\FS35\MC4\ SUNTECH. Πρόκειται για ένα φωτοβολταϊκό πάνελ πυριτίου / πολυκρυσταλλικό, με ισχύ 255 Wp. Συνολικά, επομένως, θα χρησιμοποιηθούν 392 πλαίσια. Η ημερομηνία έναρξης πλήρους λειτουργίας του φωτοβολταϊκού πάρκου θα είναι στις 01.01.2021.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συλλέκτη που θα χρησιμοποιηθεί (PLUTO 255-Wdm) παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1. Τα θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά του

συγκεκριμένου συλλέκτη παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2, ενώ τα μηχανικά του χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά του συλλέκτη PLUTO 255-Wdm

STC		NOCT	
Βέλτιστη τάση λειτουργίας (V <sub>mp</sub> )	30.2 V	Μέγιστη ισχύς στο NOCT (P <sub>max</sub> )	187 W
Βέλτιστο ρεύμα λειτουργίας (I <sub>mp</sub> )	8.45 A	Βέλτιστη τάση λειτουργίας (V <sub>mp</sub> )	27.4 V
Τάση ανοικτού κυκλώματος (V <sub>oc</sub> )	37.7 V	Βέλτιστο ρεύμα λειτουργίας (I <sub>mp</sub> )	6.84 A
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (ISC)	8.72 A	Τάση ανοικτού κυκλώματος (V <sub>oc</sub> )	34.4 V
Μέγιστη ισχύς στο STC (P <sub>max</sub> )	255 W	Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I <sub>sc</sub> )	7.06 A
Αποδοτικότητα μονάδας	15.7%		
Θερμοκρασία λειτουργίας μονάδας	-40 °C to +85 °C		
Μέγιστη Συστήματος	Τάση 1000 V DC (IEC) / 600 V DC (UL)		
Μέγιστο ασφαλειών σειράς	ρεύμα 20 A		
Ανοχή ισχύος	0/+5 %		

Πίνακας 4.2 Θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά του συλλέκτη PLUTO 255-Wdm

Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κυψέλης	45±2°C
Συντελεστής θερμοκρασίας για μέγιστη ισχύ	-0.40 %/°C
Συντελεστής θερμοκρασίας της V <sub>oc</sub>	-0.31 %/°C

Συντελεστής θερμοκρασίας της Isc	0.051 %/°C
----------------------------------	------------

Πίνακας 4.3 Μηχανικά χαρακτηριστικά του συλλέκτη PLUTO 255-Wdm

Φ/Β κυψέλη	Πολυ-κρυσταλλικού πυριτίου 156 X 156 mm
Αριθμός κυψελών	60 (6 X 10)
Διαστάσεις	1640 X 992 X 35mm
Βάρος	18.2 kgs
Μπροστινό γυαλί	3.2 mm
Πλαίσιο	Ανοδιωμένο κράμα αλουμινίου
Κουτί διακλάδωσης	IP67 (3 δίοδοι παράκαμψης)
Καλώδια εξόδου	TUV (2Pfg1169:2007), UL 4703, UL44 4.0 mm <sup>2</sup> , συμμετρικά μήκη (-) 1000mm and (+) 1000 mm
Σύνδεσμοι	MC4

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι θα χρησιμοποιηθεί η βάση ATLAS για την τοποθέτηση των βάσεων, καθώς το σύστημα διαξονικής ιχνηλάτισής του εμπεριέχει σύστημα αντικεραυνικής προστασίας με 4 ακίδες Franklin σε κάθε tracker. Το εν λόγω σύστημα διαθέτει ακόμα κύκλωμα ενεργητικής ασφάλειας, ούτως ώστε το κινητό πλαίσιο να λαμβάνει οριζόντια θέση στην περίπτωση που η ταχύτητα του ανέμου είναι υψηλότερη από την προγραμματισμένη. Ο Πίνακας 4.4 συνοψίζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά της βάσης.

Πίνακας 4.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά της βάσης ATLAS

Τύπος	Πλήρους παρακολούθησης της θέσης του ηλίου με κίνηση σε δύο άξονες
Ωφέλιμη επιφάνεια φωτοβολταϊκών στοιχείων	Έως 150 m <sup>2</sup> ανάλογα με τα προς τοποθέτηση φωτοβολταϊκά στοιχεία
Διαστάσεις επιφάνειας φωτοβολταϊκών στοιχείων	Πλάτος 15 m X μήκος 10 m
Ισχύς Φωτοβολταϊκών Στοιχείων	Έως 21,5 Kwp με στοιχεία συμβατικής τεχνολογίας

Στήριξη στοιχείων	Φωτοβολταϊκών	Συγκράτηση πάνω στο σκελετό με τον ειδικό σφικτήρα mechgrip. Εγγενής αντικλεπτική προστασία
Περιστροφή		-1300 ~ 1300. Η κίνηση εκτελείται με υδραυλικό κύλινδρο και υδραυλική αρπάγη. Δυνατότητα ολίσθησης σε περίπτωση υπερφόρτωσης. Ενσωματωμένη failsave λειτουργία για την περίπτωση διακοπής ρεύματος
Ανύψωση		00 ~ 580. Κίνηση με υδραυλικό κύλινδρο
Τροφοδοσία		400V 3Φ
Κατασκευή Σκελετού		Χάλυβας γαλβανισμένος εν θερμό
Βάρος μεταλλικού μέρους (χωρίς τα φωτοβολταϊκά στοιχεία)		4500 Kg
Θεμελίωση		Βάση από οπλισμένο σκυρόδεμα (15m <sup>3</sup> ). Πλάτος 5 m, Μήκος 5 m, Ύψος 0.6 m
Αντοχή		Αντοχή σε άνεμο με ταχύτητα αναφοράς 130 km/hour σύμφωνα με το ευρωκώδικα 3
Σύστημα ασφαλείας		Αυτόματη οριζοντίωση σε περίπτωση ανέμου πάνω από την προγραμματισμένη. Σε περίπτωση διακοπής ρεύματος, ανεξάρτητο υδραυλικό κύκλωμα ασφαλείας οδηγεί αυτόματα στην οριζόντια θέση
Αντικεραυνική προστασία		Συλλεκτήριο σύστημα με τέσσερα αλεξικέραυνα ανά μονάδα. Ενσωματωμένοι αγωγοί όδευσης του κεραύνιου ρεύματος στην ισοδυναμική επιφάνεια. Προστασία των ηλεκτρονικών συστημάτων μέσω απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων τοποθετημένων σε όλα τα σημεία εισόδου εξόδου.
Συντήρηση		Δεν απαιτείται τακτική συντήρηση. Τα έδρανα και τα στοιχεία ολίσθησης είναι κατασκευασμένα από Teflon, φωσφορούχο

	ορείχαλκο και αυτολίπαντα βιομηχανικά πλαστικά
Έλεγχος	Ανεξάρτητος ελεγκτής ανά μονάδα. Ο υπολογισμός της επιθυμητής θέσης γίνεται με επίλυση του αστρονομικού αλγορίθμου. Η μέτρηση θέσης γίνεται μέσω ψηφιακών κωδικοποιητών

Στο εν λόγω φωτοβολταϊκό πάρκο χρησιμοποιήθηκαν δύο μοντέλα αντιστροφών: Sunny Tripower 12000TL και Sunny Tripower 17000TL-10. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτών των αντιστροφών απεικονίζονται στον Πίνακα 4.5.

Πίνακας 4.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφών

	STP 12000TL-10	STP 17000TL-10
	<b>Είσοδος DC</b>	
Μέγιστη ισχύς DC (με $\cos\phi=1$ )	12,5 kW	17,6 kW
Μέγιστη τάση DC	1000V	1000V
Εύρος τάσης φωτοβολταϊκών, MPPT	150-800V	150-800V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου (Είσοδος A/Είσοδος B)	22A/11A	33A/11A
Αριθμός ιχνηλατών MPP	2	2
Μέγιστος αριθμός στοιχειοσειρών παράλληλα (είσοδος A/είσοδος B)	4/1	5/1
	<b>Έξοδος AC</b>	
Ονομαστική Ισχύς AC	12kVA	17kVA
Μέγιστη Ισχύς AC	12kVA	17kVA
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	19,2A	24,6A
Ονομαστική Τάση AC	3/N/PE,230/400V	3/N/PE,230/400V

Συχνότητα δικτύου AC/περιοχή	50Hz/60Hz/±4,5Hz	50Hz/60Hz/±4,5Hz
Ρυθμιζόμενος συντελεστής μετατόπισης (cosφ)	0,8 υπερ- 0,8 υποδιέγερση	0,8 υπερ- 0,8 υποδιέγερση
Σύνδεση AC	τριφασική	τριφασική
<b>Γενικά χαρακτηριστικά</b>		
Μηχανολογικές διαστάσεις	665/690/265	665/690/265
Βάρος	65 Kg	65 Kg
Περιοχή θερμοκρασιών λειτουργίας	-25oC έως +60oC	-25oC έως +60oC
Αυτοκατανάλωση: σε λειτουργία (standby)/τη νύχτα	<12,5kW/<1W	<12,5kW/<1W
Τοπολογία	Χωρίς μετασχηματιστή	Χωρίς μετασχηματιστή
Τρόπος ψύξης	OptiCool	OptiCool
Διεπαφές	Bluetooth/RS485	Bluetooth/RS485
Εγγύηση	10 χρόνια	10 χρόνια

## 4.2 Οικονομικά στοιχεία

### 4.2.1 Έξοδα εγκατάστασης φωτοβολταϊκού πάρκου

Η διάρκεια της σύμβασης με τη ΔΕΔΔΗΕ είναι 20 έτη. Στα έξοδα υπολογίζεται κόστος 200 Ευρώ για σύνταξη ηλεκτρολογικού σχεδίου, το κόστος μελέτης και κατασκευής του πάρκου από συμβεβλημένη εταιρεία στα 5.000 Ευρώ και 250.000 Ευρώ αντίστοιχα, όπως και ετήσιο κόστος συμβολαίου τεχνική συντήρησης για τη λειτουργία του συστήματος και τη διασφάλιση της μέγιστης απόδοσης στα 1.000 Ευρώ χωρίς αναπροσαρμογή. Επιπλέον κόστος είναι και η ασφάλιση του συστήματος, με ετήσιο ασφάλιστρο στα 500 Ευρώ, με αναπροσαρμογή κάθε πέντε έτη κατά 5%. Τέλος, να σημειωθεί πως το έργο θα χρηματοδοτηθεί από ίδια κεφάλαια και θα πραγματοποιηθεί

σε ιδιόκτητο οικόπεδο. Ο Πίνακας 4.6 συνοψίζει τα συνολικά έξοδα του φωτοβολταϊκού πάρκου.

Πίνακας 4.6 Έξοδα φωτοβολταϊκού πάρκου

	Μελέτη και κατασκευή	Σύνταξη ηλεκτρολογικού σχεδίου	Κόστος συντήρησης	Ασφάλιση	Συνολικά έξοδα
Έτος 0	255.000	200			255.200
Έτος 1			1.000	500	1.500
Έτος 2			1.000	500	1.500
Έτος 3			1.000	500	1.500
Έτος 4			1.000	500	1.500
Έτος 5			1.000		1.000
Έτος 6			1.000	525	1.525
Έτος 7			1.000	525	1.525
Έτος 8			1.000	525	1.525
Έτος 9			1.000	525	1.525
Έτος 10			1.000	525	1.525
Έτος 11			1.000	551.25	1.551
Έτος 12			1.000	551.25	1.551
Έτος 13			1.000	551.25	1.551
Έτος 14			1.000	551.25	1.551
Έτος 15			1.000	551.25	1.551
Έτος 16			1.000	578.81	1.579
Έτος 17			1.000	578.81	1.579
Έτος 18			1.000	578.81	1.579
Έτος 19			1.000	578.81	1.579
Έτος 20			1.000	578.81	1.579
<b>Σύνολο εξόδων</b>					<b>285.475</b>

#### 4.2.2 Έσοδα φωτοβολταϊκού πάρκου

Η διάρκεια της σύμβασης με τη ΔΕΔΔΗΕ είναι 20 έτη. Κατά την υπογραφή της σύμβασης καθορίστηκε μία σταθερή τιμή πώλησης κάθε παραγόμενης κιλοβατώρας



και όχι κυμαινόμενη με βάση το ημερολογιακό έτος στα 0,070 €/kWh). Επίσης, υπολογίζεται και μία απώλεια στην απόδοση των φωτοβολταϊκών. Ο Πίνακας 4.7 συνοψίζει τα έσοδα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 4.7 Έσοδα φωτοβολταϊκού πάρκου

	<b>Παραγωγή (kWh)</b>	<b>Παραγωγή (Ευρώ)</b>
Έτος 1	7202	504.140
Έτος 2	7452	521.640
Έτος 3	7647	535.290
Έτος 4	7780	544.600
Έτος 5	8201	574.070
Έτος 6	8552	598.640
Έτος 7	8963	627.410
Έτος 8	9130	639.100
Έτος 9	9377	656.390
Έτος 10	9622	673.540
Έτος 11	9627	673.890
Έτος 12	9802	686.140
Έτος 13	9188	643.160
Έτος 14	8816	617.120
Έτος 15	8799	615.930
Έτος 16	8750	612.500
Έτος 17	8699	608.930
Έτος 18	8785	614.950
Έτος 19	8223	575.610
Έτος 20	7600	532.000
<b>Σύνολο εσόδων</b>		<b>12.055.050</b>

Όταν οι οργανισμοί αξιολογούν τη χρηματοοικονομική σκοπιμότητα των επενδυτικών αποφάσεων, η χρονική αξία του χρήματος αποτελεί ουσιαστικό στοιχείο. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα όταν ένα έργο περιλαμβάνει ταμειακές ροές που εκτείνονται σε πολλά χρόνια (Nábrádi & Szóllósi, 2007). Για τον υπολογισμό αυτών των ταμειακών ροών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της καθαρής παρούσας αξίας, βάσει της οποίας

υπολογίζεται το όφελος για κάθε έτος από την παρούσα επένδυση στο φωτοβολταϊκό πάρκο στον Πίνακα 4.8.

Η καθαρά παρούσα αξία (NPV) μιας επένδυσης είναι η παρούσα αξία των αναμενόμενων ταμειακών ροών, μείον το κόστος της επένδυσης (Ross, Westerfield & Jaffe, 2005). Εάν η NPV όλων των ταμειακών ροών είναι θετικό στο υποτιθέμενο ελάχιστο ποσοστό απόδοσης, το πραγματικό ποσοστό απόδοσης από το έργο υπερβαίνει το ελάχιστο επιθυμητό ποσοστό απόδοσης. Οι Nábrádi και Szóllósi (2007) αναφέρουν τη διαδεδομένη σύσταση των οικονομολόγων ότι η NPV είναι το καταλληλότερο επενδυτικό κριτήριο, καθώς είναι μία συνεπής μέθοδος, ενώ παράλληλα τείνει να είναι κάπως ευκολότερη όσον αφορά τις απαιτούμενες υπολογιστικές διαδικασίες. Σύμφωνα με τον Gitman (2015), δεδομένου ότι η NPV απεικονίζει ακριβώς τη χρονική αξία του χρήματος, θεωρείται ότι είναι ένα εξελιγμένο εργαλείο αξιολόγησης επενδύσεων. Καθώς η υλοποίηση έργων απαιτεί κεφάλαιο, ο οργανισμός θα πρέπει να αναλάβει μόνο μια επένδυση που έχει την παρούσα αξία της ταμειακής ροής από την επένδυση υψηλότερη από το κόστος κατασκευής του έργου. Επίσης, δεδομένου ότι το εργαλείο καθαρής παρούσας αξίας αφορά τη χρονική αξία του χρήματος, έχει μεγαλύτερη τάση χρήσης στην αξιολόγηση της αξίας των μετόχων από τις παραδοσιακές τεχνικές αποτίμησης επενδύσεων όπως η περίοδος αποπληρωμής και το λογιστικό ποσοστό απόδοσης (McSweeney, 2006).

Προκειμένου να προεξοφληθούν όλες οι ταμειακές ροές, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα επιτόκιο για την ενδιάμεση περίοδο. Συχνά, αυτό το επιτόκιο είναι ένα υποτιθέμενο ελάχιστο επιθυμητό ποσοστό απόδοσης των επενδύσεων. Μερικές φορές αυτό αντικατοπτρίζει το γνωστό ποσοστό απόδοσης, το οποίο μπορεί να αποκτηθεί με εναλλακτικές επενδύσεις. Ωστόσο, η επιλογή του προεξοφλητικού επιτοκίου περιπλέκεται τόσο από την ποικιλία των επενδυτικών δυνατοτήτων, όσο και από τα είδη χρηματοδότησης (Nábrádi & Szóllósi, 2007). Στην περίπτωση του φωτοβολταϊκού πάρκου, έχει χρησιμοποιηθεί το επιτόκιο Euribor ενός έτους το οποίο είναι 0,478. Το Euribor «είναι ένα επιτόκιο αναφοράς της αγοράς χωρίς παροχή εξασφαλίσεων το οποίο υπολογίζεται για διάφορες διάρκειες» και χρησιμοποιείται σε απλές αλλά και σε περισσότερο πολύπλοκες χρηματοοικονομικές συναλλαγές (Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα, 2019). Η χρήση του Euribor ως προεξοφλητικό επιτόκιο στην περίπτωση υπολογισμού της ΚΠΑ επιλέχθηκε διότι αναφέρεται από τους Dempster, Medova και

Villaverde (2011). Επίσης, το ελληνικό δημόσιο χρησιμοποιεί το Euribor ως προεξοφλητικό επιτόκιο στην περίπτωση του εξωδικαστικού μηχανισμού ρύθμισης οφειλών με τον Ν.4469/2017, γεγονός που σημαίνει ότι αναγνωρίζει την αξία και τη σημασία του στον υπολογισμό των ΚΠΑ (Ντρούκας, 2017).

Πίνακας 4.8 Καθαρά Παρούσα Αξία επένδυσης φωτοβολταϊκού πάρκου

	Έσοδα	Έξοδα	Κέρδος	Προεξοφλητικό επιτόκιο	ΚΠΑ
Έτος 1	504.140	256.700	247.440	0,67659	365,72
Έτος 2	521.640	1.500	520.140	0,457774	1.136,24
Έτος 3	535.290	1.500	533.790	0,309725	1.723,43
Έτος 4	544.600	1.500	543.100	0,209557	2.591,66
Έτος 5	574.070	1.000	573.070	0,141784	4041,85
Έτος 6	598.640	1.525	597.115	0,09593	6224,50
Έτος 7	627.410	1.525	625.885	0,064905	9643,08
Έτος 8	639.100	1.525	637.575	0,043914	14.518,67
Έτος 9	656.390	1.525	654.865	0,029712	22.040,51
Έτος 10	673.540	1.525	672.015	0,020103	33.428,99
Έτος 11	673.890	1.551	672.339	0,013601	49.431,87
Έτος 12	686.140	1.551	684.589	0,009203	74.391,47
Έτος 13	643.160	1.551	641.609	0,006226	103.047,65
Έτος 14	617.120	1.551	615.569	0,004213	146.123,08
Έτος 15	615.930	1.551	614.379	0,00285	215.552,41
Έτος 16	612.500	1.579	610.921	0,001928	316.793,31
Έτος 17	608.930	1.579	607.351	0,001305	465.484,40
Έτος 18	614.950	1.579	613.371	0,000883	694.805,19
Έτος 19	575.610	1.579	574.031	0,000597	961.057,99
Έτος 20	532.000	1.579	530.421	0,000404	1.312.530,46
<b>Σύνολο</b>					<b>4.434.932,46</b>

Εκτός της Καθαρής Παρούσας Αξίας, υπολογίστηκε και ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR). Χρησιμοποιώντας τις ταμειακές ροές του Πίνακα 4.8 και το αρχικό

κόστος της επένδυσης του Πίνακα 4.6 διαπιστώνεται πως ο IRR της εν λόγω επένδυσης είναι ίσος με 14,2%.

### 4.3 Ανάλυση κινδύνου

Επενδύσεις σε έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας υπόκεινται σε κινδύνους πολιτικούς, οικονομικούς, οργανωσιακούς και τεχνικούς. Επίσης, οι κίνδυνοι κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το στάδιο έργου (έναρξη, κατασκευή και λειτουργία). Επιπλέον, οι κίνδυνοι χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: α) ώριμοι κίνδυνοι (κίνδυνοι που προσδιορίζονται αλλά δεν ελέγχονται απόλυτα), β) αναδυόμενοι κίνδυνοι (κίνδυνοι που χρειάζονται αρκετή προσοχή και ερευνάται ο αντίκτυπός τους), γ) λανθάνοντες κίνδυνοι (κίνδυνοι που αναγνωρίζονται αλλά έχουν αβέβαιες επιπτώσεις). Στη βάση του συνδυασμού αυτών των δύο, χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση PEST και η μεθοδολογία Risk Breakdown Structure (RBS) προκειμένου να προσδιοριστούν οι κίνδυνοι, όπως αποτυπώνονται στον Πίνακα 4.9.

Ο εντοπισμός κινδύνου συχνά δεν παράγει τίποτα περισσότερο από έναν μακρύ κατάλογο κινδύνων, οι οποίοι μπορεί να είναι δύσκολο να κατανοηθούν ή να διαχειριστούν. Ο κατάλογος μπορεί να καθορίσει ποιοι κίνδυνοι πρέπει να αντιμετωπιστούν πρώτα, αλλά αυτό δεν παρέχει καμία εικόνα για τη δομή του κινδύνου για ένα έργο. Ο καλύτερος τρόπος για την αντιμετώπιση μεγάλου όγκου δεδομένων είναι η ανάλυση της δομής των πληροφοριών και για τη διαχείριση κινδύνων, αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη μέθοδο Risk Breakdown Structure (RBS) - μια ιεραρχική δομή κινδύνων ενός έργου. Η εν λόγω μέθοδος RBS μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση της κατανομής του κινδύνου σε ένα έργο ή σε μια επιχείρηση, βοηθώντας στην αποτελεσματική διαχείριση του κινδύνου, καθώς έχει οριστεί ως μια ομαδοποίηση κινδύνων προσανατολισμένη στην πηγή που οργανώνει και καθορίζει τη συνολική έκθεση σε κίνδυνο του έργου ή της επιχείρησης. Είναι επομένως μια ιεραρχική δομή πιθανών πηγών κινδύνου (Hillson, 2003).

Από την άλλη πλευρά, η λέξη PEST είναι αρκτικόλεξο για τέσσερις πηγές αλλαγής: πολιτικές, οικονομικές, κοινωνικές και τεχνολογικές. Η ανάλυση PEST είναι ένα ισχυρό και ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο για την κατανόηση του στρατηγικού κινδύνου, καθώς προσδιορίζει τις αλλαγές και τις επιπτώσεις του εξωτερικού μακρο περιβάλλοντος στην ανταγωνιστική θέση μιας επιχείρησης. Το εξωτερικό περιβάλλον

αποτελείται από παραμέτρους που είναι πέρα από τον έλεγχο μιας επιχείρησης, αλλά απαιτούν ανάλυση για την αναπροσαρμογή της εταιρικής στρατηγικής στο μεταβαλλόμενο επιχειρηματικό περιβάλλον. Οι επιχειρήσεις λειτουργούν ως μέρος ενός μεγαλύτερου οικοσυστήματος. Είναι ευάλωτοι σε μια ποικιλία εξωγενών παραγόντων, οι οποίοι μπορούν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην ανταγωνιστική θέση της εταιρείας. Επομένως θα πρέπει να κατανοηθούν οι εξωτερικοί παράγοντες και να αξιολογηθούν σχετικά με το πώς θα πρέπει να εξελιχθούν τα επιχειρηματικά μοντέλα για να προσαρμοστούν στο περιβάλλον τους. Οι επιπτώσεις των εξωτερικών παραγόντων μετριάζονται μέσω προληπτικής στρατηγικής και οι ευκαιρίες αξιοποιούνται μετά από νέες ανταγωνιστικές θέσεις που ενδέχεται να δημιουργηθούν (Sammut-Bonnici & Galea, 2015).

Πίνακας 4.9 Ανάλυση κινδύνων του έργου βάσει της μεθοδολογίας RBS και της ανάλυσης PEST

Φάση στην οποία βρίσκεται το έργο					
Κατηγορία κινδύνου	Κίνδυνος	Έναρξη του έργου	Κατασκευή του έργου	Λειτουργία του έργου	Κατηγορία κινδύνου
Πολιτικός	Αύξηση του ΦΠΑ	X			Ωριμος
Πολιτικός	Υστέρηση στην αδειοδότηση	X			Αναδυόμενος
Οικονομικός	Επιπλέον ασφάλιστρα λόγω ακραίων καιρικών φαινομένων		X	X	Λανθάνων

Οικονομικός	Αύξηση πρώτων υλών / εξοπλισμού	X	X	Ωριμος	
Κοινωνικός	Νομοθετικές ρυθμίσεις		X	X	Αναδυόμενος
Τεχνικός	Λάθη κατά τη συντήρηση			X	Λανθάνων
Τεχνικός	Δεν ικανοποιούνται τα ποσοστά απόδοσης από τον κατασκευαστή			X	Λανθάνων

Κάθε κίνδυνος από όσους αναφέρονται παραπάνω προσδιορίστηκε σε όρους πιθανότητας και αντικτύπου. Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται στον Πίνακα 4.10.

Πίνακας 4.10 Μήτρα κινδύνων

Κατηγορία κινδύνου	Κίνδυνος	Πιθανότητα	Αντίκτυπος
Πολιτικός	Αύξηση του ΦΠΑ	50%	Υψηλός
Πολιτικός	Υστέρηση στην αδειοδότηση	80%	Υψηλός
Οικονομικός	Επιπλέον ασφάλιστρα λόγω ακραίων καιρικών φαινομένων	20%	Μέτριος

Οικονομικός	Αύξηση πρώτων υλών / εξοπλισμού	40%	Υψηλός
Κοινωνικός	Νομοθετικές ρυθμίσεις	35%	Μέτριος
Τεχνικός	Λάθη κατά τη συντήρηση	10%	Χαμηλός
Τεχνικός	Δεν ικανοποιούνται τα ποσοστά απόδοσης από τον κατασκευαστή	10%	Υψηλός

Εκτός των ανωτέρω κινδύνων, θα πρέπει να επισημανθούν επίσης και τα παρακάτω:

α) Κατά την κατασκευή του έργου θα δημιουργηθεί ένα μεγάλο εργοτάξιο με μεγάλο αριθμό κινήσεων οχημάτων εντός και εκτός του χώρου. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε θόρυβο. Ωστόσο, ο θόρυβος αυτός θα έχει τοπικό αντίκτυπο και θα είναι βραχυπρόθεσμος. Επίσης, θα πρέπει να σημειωθεί πως το οικόπεδο στο οποίο θα δημιουργηθεί το φωτοβολταϊκό πάρκο είναι εκτός κατοικημένης περιοχής και επομένως δεν θα υπάρχει υψηλό επίπεδο ενόχλησης των κατοίκων.

β) Ο κίνδυνος μόλυνσης του εδάφους και των υπόγειων υδάτων από επικίνδυνα απόβλητα είναι εξαιρετικά χαμηλός.

γ) Τα κατασκευαστικά έργα μπορούν να καταστρέψουν τους βιότοπους και τη χλωρίδα και την πανίδα. Ωστόσο, στην τοποθεσία που βρίσκεται το οικόπεδο στο οποίο θα δημιουργηθεί το φωτοβολταϊκό πάρκο δεν υπάρχει κάποια αξία βιοποικιλότητας.

δ) Στο οικόπεδο στο οποίο θα δημιουργηθεί το φωτοβολταϊκό πάρκο δεν υπάρχουν ενδείξεις αρχαιολογικών ευρημάτων και δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι ο χώρος έχει αξία πολιτιστικής κληρονομιάς.

ε) Ο μεγάλος αριθμός οχημάτων που εισέρχονται στο χώρο για παράδοση κατά τη διάρκεια του μέγιστου χρόνου κατασκευής θα οδηγήσει σε επιδείνωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα λόγω των καυσαερίων του οχήματος. Μπορεί επίσης να

υπάρχουν σημαντικές επιπτώσεις λόγω σκόνης. Η μεγάλη υπό κατασκευή περιοχή θα παράγει υψηλά επίπεδα σκόνης με σημαντικό αντίκτυπο ιδίως στους εργαζόμενους στο εργοτάξιο και σε μικρότερο βαθμό στην τοπική κοινότητα και τους χρήστες του δρόμου υπό ορισμένες καιρικές συνθήκες. Επιπλέον, τα υψηλά επίπεδα σκόνης μπορούν επίσης να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στα έργα κατά τη θέση σε λειτουργία και τη δοκιμή, δεδομένου ότι ορισμένα θα τεθούν σε λειτουργία ενώ άλλα κατασκευάζονται ακόμη και είναι σημαντικό για δοκιμές απόδοσης τα πάνελ να μην καλύπτονται από σκόνη.

στ) Υπάρχουν γενικοί κίνδυνοι που σχετίζονται με τα εργοτάξια. Αυτά περιλαμβάνουν ολίσθηση και πτώσεις, ατυχήματα με και από κινούμενα φορτηγά και μηχανήματα, έκθεση σε χημικά και άλλα επικίνδυνα υλικά, έκθεση σε ηλεκτροπληξία και εγκαύματα, καιρικές επιπτώσεις (αφυδάτωση, θερμοπληξία). Ο κίνδυνος τέτοιων επιπτώσεων είναι προσωρινός (μόνο κατά τη διάρκεια κατασκευής του έργου), αλλά πρέπει να εφαρμοστεί ένα αποτελεσματικό σύστημα διαχείρισης της ασφάλειας και της υγιεινής στον χώρο εργασίας, με χρήση ατομικού προστατευτικού εξοπλισμού. Όμως, το ανθρώπινο δυναμικό είναι εξειδικευμένο και επομένως τα εργατικά ατυχήματα έχουν εξαιρετικά χαμηλή πιθανότητα εμφάνισης.

### **4.3 Σύγκριση απόδοσης σε φωτοβολταϊκό και αιολικό πάρκο**

Στην παρούσα ενότητα εξετάζεται συγκριτικά η απόδοση του φωτοβολταϊκού πάρκου με ένα αιολικό πάρκο στην ίδια περιοχή. Για το αιολικό πάρκο χρησιμοποιούνται επτά ανεμογεννήτριες με διαφορετική ονομαστική ισχύ. 110 kW, 225 kW, 275 kW, 600 kW, 850 kW, 1000 kW και 1250 kW. Η διάρκεια του επενδυτικού έργου είναι επίσης τα 20 έτη. Στα έξοδα υπολογίζεται το κόστος μελέτης και κατασκευής του πάρκου από συμβεβλημένη εταιρεία, όπως και ετήσιο κόστος συμβολαίου τεχνική συντήρησης για τη λειτουργία του συστήματος και τη διασφάλιση της μέγιστης απόδοσης χωρίς αναπροσαρμογή. Επιπλέον κόστος είναι και η ασφάλιση του συστήματος, με ετήσιο ασφάλιστρο στα 500 Ευρώ, με αναπροσαρμογή κάθε πέντε έτη κατά 5%. Τέλος, να σημειωθεί πως το έργο θα χρηματοδοτηθεί από ίδια κεφάλαια και θα πραγματοποιηθεί σε ιδιόκτητο οικόπεδο. Ο Πίνακας 4.11 συνοψίζει τα συνολικά έξοδα του αιολικού πάρκου.

Πίνακας 4.11 Έξοδα αιολικού πάρκου



	Μελέτη και κατασκευή	Κόστος συντήρησης	Ασφάλιση	Συνολικά έξοδα
Έτος 1	150,000	1,000	500	151,500
Έτος 2		1,000	500	1,500
Έτος 3		1,000	500	1,500
Έτος 4		1,000	500	1,500
Έτος 5		1,000	500	1,500
Έτος 6		1,000	525	1,525
Έτος 7		1,000	525	1,525
Έτος 8		1,000	525	1,525
Έτος 9		1,000	525	1,525
Έτος 10		1,000	525	1,525
Έτος 11		1,000	551.25	1,551
Έτος 12		1,000	551.25	1,551
Έτος 13		1,000	551.25	1,551
Έτος 14		1,000	551.25	1,551
Έτος 15		1,000	551.25	1,551
Έτος 16		1,000	578.81	1,579
Έτος 17		1,000	578.81	1,579
Έτος 18		1,000	578.81	1,579
Έτος 19		1,000	578.81	1,579
Έτος 20		1,000	578.81	1,579
<b>Σύνολο εξόδων</b>				<b>180,775</b>

Στη βάση των εσόδων και των εξόδων που αποτυπώνονται στον πιο κάτω Πίνακα 4.12, υπολογίζεται η καθαρά παρούσα αξία της εν λόγω επένδυσης. Αυτό που παρατηρείται είναι πως η ΚΠΑ της εν λόγω επένδυσης είναι μικρότερη από την ΚΠΑ της επένδυσης στο φωτοβολταϊκό πάρκο.

Πίνακας 4.12 Καθαρά Παρούσα Αξία επένδυσης φωτοβολταϊκού πάρκου

	Έσοδα	Έξοδα	Κέρδος	Προεξοφλητικό επιτόκιο	ΚΠΑ
Έτος 1	495.150	151.500	343.650	0.67659	507,91
Έτος 2	497.000	1.500	495.500	0.457774	1.082,41
Έτος 3	505.250	1.500	503.750	0.309725	1.626,44
Έτος 4	515.290	1.500	513.790	0.209557	2.451,79
Έτος 5	522.300	1.500	520.800	0.141784	3.673,19
Έτος 6	530.960	1.525	529.435	0.09593	5.518,99
Έτος 7	536.990	1.525	535.465	0.064905	8.249,97
Έτος 8	543.510	1.525	541.985	0.043914	12.341,92
Έτος 9	548.200	1.525	546.675	0.029712	18.399,21
Έτος 10	554.580	1.525	553.055	0.020103	27.511,40
Έτος 11	559.850	1.551	558.299	0.013601	41.047,40
Έτος 12	561.280	1.551	559.729	0.009203	60.823,45

<b>Έτος 13</b>	564.360	1.551	562.809	0.006226	90.391,73
<b>Έτος 14</b>	562.100	1.551	560.549	0.004213	133.062,49
<b>Έτος 15</b>	559.010	1.551	557.459	0.00285	195.582,25
<b>Έτος 16</b>	551.360	1.579	549.781	0.001928	285.089,14
<b>Έτος 17</b>	548.330	1.579	546.751	0.001305	419.039,50
<b>Έτος 18</b>	539.990	1.579	538.411	0.000883	609.893,12
<b>Έτος 19</b>	531.150	1.579	529.571	0.000597	886.621,87
<b>Έτος 20</b>	528.980	1.579	527.401	0.000404	1.305.057,45
<b>Σύνολο</b>					4.107.971,63

#### 4.4 Σύνοψη

Το φωτοβολταϊκό πάρκο δημιουργήθηκε στην περιοχή της Τοπικής Κοινότητας Εξάρχου, στον Δήμο Λοκρών του Νομού Φθιώτιδας σε οικόπεδο συνολικής έκτασης 6.200 τ.μ.. Το μοντέλο του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι το 255P\PLUTO\156-60\FS35\MC4\ SUNTECH, φωτοβολταϊκό πάνελ πυριτίου / πολυκρυσταλλικό, με ισχύ 255 Wp βασιζόμενο σε 392 πλαίσια με βάση ATLAS, με σύστημα αντικεραυνικής προστασίας με 4 ακίδες Franklin σε κάθε tracker. Το μοντέλο συλλέκτη είναι το PLUTO 255-Wdm και τα δύο μοντέλα αντιστροφών είναι τα Sunny Tripower 12000TL και Sunny Tripower 17000TL-10. Η διάρκεια της σύμβασης με τη ΔΕΔΔΗΕ είναι 20 έτη με ημερομηνία έναρξης του φωτοβολταϊκού πάρκου στις 01.01.2021. Το σύνολο των εξόδων υπολογίστηκε στα 285.475 Ευρώ και τα έσοδα στα 12.055.050 Ευρώ. Η καθαρά παρούσα αξία (NPV) της επένδυσης υπολογίστηκε στα 4.434.932,46 Ευρώ. Βάσει της μεθοδολογίας RBS και της ανάλυσης PEST διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν κίνδυνοι πολιτικοί, οικονομικοί, τεχνικοί και κοινωνικοί-περιβαλλοντικοί. Τέλος, διαπιστώθηκε πως σε μία αντίστοιχη επένδυση σε αιολικό πάρκο, η επένδυση στο φωτοβολταϊκό έχει υψηλότερη ΚΠΑ.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

### **5.1 Συμπεράσματα**

Η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> που σχετίζονται με την ενέργεια βρίσκεται στο επίκεντρο του ενεργειακού μετασχηματισμού παγκοσμίως και ιδίως στην Ευρώπη. Η γρήγορη απομάκρυνση από την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων που οδηγούν σε κλιματική αλλαγή προς καθαρότερες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας είναι το μέσο για την επίτευξη των στόχων της Συμφωνίας του Παρισίου για την κλιματική αλλαγή. Ο μετασχηματισμός αυτός υπαγορεύεται από τους εξής λόγους (IRENA, 2019):

α) Η ταχεία μείωση του κόστους των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: Το παγκόσμιο μέσο σταθμικό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας από όλες τις εμπορικά διαθέσιμες τεχνολογίες παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συνέχισε να μειώνεται το 2018 και αναμένεται να συνεχίσει να βαίνει μειούμενο.

β) Βελτιώσεις στην ποιότητα του αέρα: Η ατμοσφαιρική ρύπανση οδηγεί σε σημαντικό αρνητικό αντίκτυπο στη δημόσια υγεία, που προκαλείται κυρίως από μη ρυθμιζόμενες, αναποτελεσματικές και ρυπογόνες πηγές ενέργειας (π.χ. καύση ορυκτών καυσίμων, χημικές εκπομπές). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μείωση της ποιότητας ζωής των ατόμων και άσκηση πιέσεων στα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης. Η μετάβαση σε καθαρές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα βελτιώσει την ποιότητα του αέρα και θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη ευημερία μειώνοντας την κακή υγεία και αυξάνοντας την παραγωγικότητα. Η αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα μπορούσε ενδεχομένως να οδηγήσει σε μείωση του κόστους υγείας από την ατμοσφαιρική ρύπανση και τις κλιματικές επιπτώσεις.

γ) Μείωση των εκπομπών άνθρακα: Το χάσμα μεταξύ των παρατηρούμενων εκπομπών και των μειώσεων που απαιτούνται για την επίτευξη διεθνώς συμφωνημένων κλιματικών στόχων διευρύνεται. Ο μετασχηματισμός του παγκόσμιου ενεργειακού συστήματος πρέπει να επιταχυνθεί ουσιαστικά για την επίτευξη των στόχων της Συμφωνίας του Παρισιού, η οποία αποσκοπεί στη διατήρηση της αύξησης των μέσων παγκόσμιων θερμοκρασιών σε περίπου 1,5 βαθμούς Κελσίου (°C) τον τρέχοντα αιώνα, σε σύγκριση με την προ-βιομηχανική επίπεδα. Αυτό απαιτεί μείωση κατά 70% των εκπομπών που σχετίζονται με την ενέργεια έως το 2050 σε σύγκριση με τα τρέχοντα επίπεδα.

δ) Ενεργειακή ασφάλεια: Η μετατροπή του παγκόσμιου ενεργειακού συστήματος θα βελτιώσει επίσης την ενεργειακή ασφάλεια και θα ενισχύσει την προσιτή και καθολική ενεργειακή πρόσβαση. Για χώρες που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα, η ενεργειακή ασφάλεια είναι ένα σημαντικό ζήτημα. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να προσφέρουν μια εναλλακτική λύση αυξάνοντας την ποικιλομορφία των πηγών ενέργειας μέσω της τοπικής παραγωγής, συμβάλλοντας έτσι στην ευελιξία του συστήματος και την αντοχή σε κραδασμούς (σοκ). Ομοίως, η πρόσβαση στην ενέργεια είναι ένας τομέας μεγάλης ανισότητας και οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να εφαρμοστούν σε αγροτικές περιοχές,

αξιοποιώντας την αγροτική ηλεκτροδότηση, κοινοτικές ενεργειακές πρωτοβουλίες και καταναμημένους ενεργειακούς πόρους.

ε) Κοινωνικά και οικονομικά οφέλη: Η μετατροπή του παγκόσμιου ενεργειακού συστήματος θα απέφερε επίσης σημαντικά κοινωνικοοικονομικά οφέλη, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για την επιρροή οποιασδήποτε πολιτικής απόφασης. Η ανάπτυξη μιας τοπικής βιομηχανίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει θέσεις εργασίας σε διάφορους τομείς, απασχολώντας ανθρώπινο δυναμικό και των δύο φύλων. Εάν δεν αναπτυχθούν τοπικές βιομηχανίες, οι χώρες με προβλήματα ενεργειακής ασφάλειας θα οδηγούνταν απλώς από την εισαγωγή ορυκτών καυσίμων στην εισαγωγή εξοπλισμού ανανεώσιμης ενέργειας. Επιπρόσθετα, ο ενεργειακός μετασχηματισμός αναμένεται να ενισχύσει επίσης το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν κατά 2,5% και τη συνολική απασχόληση κατά 0,2% παγκοσμίως έως το 2050.

Τα ορυκτά καύσιμα καλύπτουν επί του παρόντος όλες τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες σε μεγάλο βαθμό. Αυτά τα ορυκτά καύσιμα πρέπει αργά να αντικατασταθούν από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας λαμβάνοντας υπόψη τους ρυθμούς εξάντλησης και τη νομοθεσία εκπομπών αερίων στις χώρες (Συμφωνία του Παρισιού). Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να μειώσει τις εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα. Ειδικά η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να διαδραματίσει ζωτικό ρόλο προς αυτήν την κατεύθυνση. Η ηλιακή ενέργεια είναι η πιο εύκολα διαθέσιμη και ανεξάντλητη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά πάρκα είναι ένας άμεσος τρόπος αξιοποίησης αυτής της μορφής ενέργειας (Prasad, Singh & Nagar, 2017).

Η πιο σημαντική συνέργεια του παγκόσμιου ενεργειακού μετασχηματισμού προέρχεται από το συνδυασμό αυξανόμενων τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας χαμηλού κόστους και της ευρύτερης υιοθέτησης ηλεκτρικής ενέργειας για εφαρμογές τελικής χρήσης στις μεταφορές και τη θερμότητα. Για να επιτευχθεί η ενεργειακή μετάβαση με το ρυθμό και την απαιτούμενη κλίμακα, θα απαιτηθεί σχεδόν πλήρης απαλλαγή από τον άνθρακα στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας έως το 2050. Από την πλευρά της τελικής χρήσης, το μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας θα αυξηθεί από μόλις 20% σήμερα σε σχεδόν 50% έως το 2050. Η ηλιακή ενέργεια μέσω των φωτοβολταϊκών πάρκων θα μπορούσε να συμβάλει προς αυτήν την κατεύθυνση, παρέχοντας ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής ζήτησης

ηλεκτρικής ενέργειας (IRENA, 2019). Ουσιαστικά, η ηλιακή φωτοβολταϊκή τεχνολογία είναι μία από τις ανανεώσιμες τεχνολογίες, η οποία έχει τη δυνατότητα να διαμορφώσει ένα καθαρό, αξιόπιστο, επεκτάσιμο και οικονομικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας για το μέλλον (Gul, Kotak & Muneer, 2016).

Στη βάση αυτή η παρούσα εργασία προέβη σε μία οικονομική αξιολόγηση και ανάλυση κινδύνου ενός φωτοβολταϊκού πάρκου. Το πρώτο συμπέρασμα αυτής της εργασίας είναι πως, με την κατάλληλη και την επαρκή οικονομική ανάλυση και ανάλυση κινδύνου, όπως και στην παρούσα έρευνα, μπορεί να αξιολογηθεί μία επένδυση σε ένα φωτοβολταϊκό πάρκο. Αυτό το εύρημα θα πρέπει να συνδυαστεί με το γεγονός ότι ορισμένες έρευνες έχουν αναφέρει μειωμένη απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων (Darwish et al., 2014; Ma et al., 2018; Usman et al., 2020). Κατά συνέπεια, είναι αναγκαία και ιδιαίτερα χρήσιμη η ανάλυση κινδύνου και η οικονομική αξιολόγηση μίας τέτοιας επένδυσης, όπως υποστηρίζεται από διάφορους ερευνητές (Kymakis et al., 2009; Khatib et al., 2013; Simon & Mosey, 2013; Brunt et al., 2020).

Αυτή η οικονομική αξιολόγηση μπορεί να γίνει με τη χρήση της καθαρής παρούσας αξίας, ή και του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης, όπως διεξήχθη σε αυτήν την εργασία, στη βάση και άλλων μελετών (Poullikkas, 2009; Ong & Thum, 2013; Al-Odeh et al., 2016; Guaita-Pradas & Blasco-Ruiz, 2020; Walker et al., 2020). Σε αυτό το πλαίσιο, το φωτοβολταϊκό πάρκο διαπιστώθηκε πως είναι μία σημαντική επενδυτική ευκαιρία, όπως και στη μελέτη των Guaita-Pradas και Blasco-Ruiz (2020), αλλά σε αντίθεση με τις μελέτες των Al-Odeh et al. (2016) και των Ong και Thum (2013). Αυτό το εύρημα σημαίνει ότι θα πρέπει κατά την αξιολόγηση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου να λαμβάνονται υπόψη αρκετές παράμετροι, όπως οι κλιματολογικές συνθήκες, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού συστήματος, καθώς και η περίοδος της επένδυσης.

Ένα ακόμη συμπέρασμα που προκύπτει από την ανάλυση που διεξήχθη είναι πως απορρέουν σημαντικά οικονομικά οφέλη από μία τέτοια επένδυση, όπως έχει υποστηριχθεί από διάφορους μελετητές (Kymakis et al., 2009; Attari et al., 2016; Jäger-Waldau, 2019; Usman et al., 2020; Yahya et al., 2021). Πέραν των οικονομικών οφελών, η επένδυση αυτή ενέχει σημαντικά κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες έρευνες (Turney & Fthenakis, 2011; Kumi & Brew-Hammond, 2013; Attari et al., 2016; Ali et al., 2018; Aresolar, 2020; Usman

et al., 2020). Επομένως, θα πρέπει οι κυβερνήσεις να ενθαρρύνουν τις επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ιδίως στην Ελλάδα, τόσο η αιολική όσο και η ηλιακή ενέργεια είναι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας που μπορούν να αναπτυχθούν σε μεγάλο βαθμό. Επίσης, μπορούν να συμβάλουν στην ενίσχυση της απασχόλησης σε μία περίοδο δύσκολη για τη χώρα, τόσο λόγω της παρατεταμένης κρίσης κατά τα προηγούμενα έτη, όσο και λόγω των οικονομικών επιπτώσεων της πανδημίας Covid-19. Επιπλέον, η επένδυση σε τέτοιου είδους αναπτυξιακά έργα εκτός των οικονομικών οφελών ενέχει και σημαντικά πλεονεκτήματα σε όρους ηλεκτροδότησης και διασφάλισης της ενεργειακής ανεξαρτησίας πολλών περιοχών (WWF, 2012; United States Environmental Protection Agency, 2018; Donev et al., 2018) στη βάση της γεωμορφολογίας της Ελλάδας.

## 5.2 Προτάσεις πρακτικής εφαρμογής

Ο ενεργειακός τομέας στην Ελλάδα είναι έτοιμος να αναπτυχθεί σημαντικά, καθοδηγούμενος από τους εξής παράγοντες (Greensolver, 2020): α) απαιτούμενη βελτιστοποίηση του ενεργειακού μείγματος, β) απελευθέρωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου, γ) προσπάθειες για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και μείωση του κόστους, δ) σημαντικές πρωτοβουλίες ανάπτυξης υποδομής ηλεκτρικής ενέργειας, ε) ίδρυση του Ελληνικού Χρηματιστηρίου Ενέργειας (HEEX), το οποίο δεσμεύεται να παρέχει υψηλά ποιοτικές, διαφανείς και αμερόληπτες υπηρεσίες σε όλους τους συμμετέχοντες στην περιβαλλοντική αγορά, εργαζόμενοι προς το μοντέλο-στόχο της ΕΕ και σύζευξη της αγοράς της με γειτονικές χώρες, στ) το πρόγραμμα εξοικονόμησης ενέργειας στα νοικοκυριά του 2018, το οποίο παρείχε σε οικογένειες χαμηλού εισοδήματος επιχορηγήσεις που καλύπτουν το 60% του επενδυτικού κόστους των ηλιακών θερμοσιφώνων. Η τεράστια διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σύστημα και η βελτίωση της ενέργειας αποτελεσματικότητα, αντανακλούν τις προσπάθειες της Ελλάδας να υιοθετήσει τις ευρωπαϊκές και εθνικές πολιτικές. Μέχρι το 2030, εκτιμάται ότι η συνολική ικανότητα σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα αυξηθεί κατά 61-64% στην Ελλάδα, αγγίζοντας τα 18,9GW. Εκτιμάται ότι τα φωτοβολταϊκά θα αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με συνολική ικανότητα 7,7GW. Για να επιτύχει τους στόχους αυτούς έως το 2030, η Ελλάδα θα χρειαστεί επενδύσεις 43 δισεκατομμυρίων Ευρώ. Το συνολικό ποσό των νέων επενδύσεων στον τομέα

ηλεκτρικής ενέργειας σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την επόμενη δεκαετία εκτιμάται ότι θα αποφέρει όφελος στο ΑΕΠ άνω των 12 δισεκατομμυρίων ευρώ (Greensolver, 2020).

Προκειμένου να επιτευχθούν τα ανωτέρω, θα πρέπει να υπάρξει ένα φιλικό επενδυτικό κλίμα, όπως σταθερό φορολογικό πλαίσιο, μειωμένοι φορολογικοί συντελεστές και φορολογικά κίνητρα. Επίσης, η κυβέρνηση μπορεί να συνεργαστεί με τραπεζικά ιδρύματα και φορείς εκπόνησης μελετών, εγκατάστασης και συντήρησης αυτών των επενδύσεων, προκειμένου να δημιουργήσουν ένα ρυθμιστικό και φορολογικό πλαίσιο, το οποίο θα είναι φιλικό προς τις επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Εκτός των ανωτέρω, απαραίτητη είναι και η ενημέρωση των πολιτών / μελλοντικών επενδυτών ως προς τα οφέλη από μία τέτοια επένδυση, προκειμένου αναλάβουν το ρίσκο.

Με αναφορά στους κινδύνους αυτών των έργων, θα είναι χρήσιμη η δημιουργία εθνικών και υπερεθνικών δικτύων εμπειρογνομόνων (π.χ. ευρωπαϊκά δίκτυα), τα οποία θα παρέχουν καθοδήγηση και συμβουλευτική στους ενδιαφερόμενους. Για παράδειγμα, η Παγκόσμια Τράπεζα (συμπεριλαμβανομένης της Διεθνούς Τράπεζας για την Ανασυγκρότηση και την Ανάπτυξη, της Διεθνούς Ένωσης Ανάπτυξης, τον οργανισμό International Finance Corporation και τον Πολυμερή Οργανισμός Εγγυήσεων Επενδύσεων) βοηθά τις χώρες-πελάτες να εξασφαλίσουν τον οικονομικά προσιτό, αξιόπιστο και βιώσιμο ενεργειακό εφοδιασμό που απαιτείται για τον τερματισμό της ακραίας φτώχειας και την προώθηση της κοινής ευημερίας. Η προσέγγιση αντικατοπτρίζει τους στόχους της Πρωτοβουλίας Βιώσιμης Ενέργειας για Όλους: επίτευξη καθολικής πρόσβασης, επιτάχυνση βελτιώσεων στην ενεργειακή απόδοση και διπλασιασμός του παγκόσμιου μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έως το 2030. Η Παγκόσμια Τράπεζα αναγνωρίζει ότι κάθε χώρα καθορίζει τη δική της πορεία για την επίτευξη της ενέργειας και ότι η μετάβαση κάθε χώρας σε έναν αειφόρο ενεργειακό τομέα περιλαμβάνει έναν μοναδικό συνδυασμό ευκαιριών και προκλήσεων πόρων, προωθώντας διαφορετική έμφαση στην πρόσβαση, την αποδοτικότητα και την ανανεώσιμη ενέργεια (International Finance Corporation, 2015).

Ωστόσο, η ηλιακή ενέργεια δεν είναι η μόνη ελκυστική ανανεώσιμη μορφή ενέργειας στην Ελλάδα. Η Ελλάδα διαθέτει επίσης μερικές από τις πιο ελκυστικές τοποθεσίες για



τη χρήση της αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη. Διατηρώντας παράγοντες μέσης χωρητικότητας περίπου 25% για την ηπειρωτική χώρα και 30% για τα νησιά. Το οικονομικό δυναμικό αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα εκτιμάται σε 10.000 - 12.000 MW. Η συνολική ικανότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από το 2008 έως το 2019 ήταν 5.468 MW. Το 2018, η συνολική ικανότητα του ανέμου ήταν μεγαλύτερη από τα φωτοβολταϊκά κατά 64MW, ωστόσο εκτιμάται ότι θα είναι τα φωτοβολταϊκά η μεγαλύτερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας την επόμενη δεκαετία (Greensolver, 2020). Σε αυτό το πλαίσιο θα ήταν χρήσιμη η διεξαγωγή και άλλων μελετών σχετικά με το μέλλον και τη δυνατότητα της Ελλάδας να φιλοξενήσει επενδύσεις στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούν να γίνουν στοχευμένες κινήσεις από μέρους των αρμόδιων φορέων (π.χ. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Υπουργείο Οικονομικών, Υπουργείο Ανάπτυξης), ούτως ώστε να υπάρξει αυξημένο ενδιαφέρον για επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα.

Αυτό που θα πρέπει να τονιστεί, όμως, είναι πως οι συγκεκριμένες επενδύσεις θα πρέπει να συνοδεύονται από κατάλληλες και επαρκείς περιβαλλοντικές μελέτες, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι έχουν ληφθεί υπόψη οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι και έχουν ληφθεί μέτρα για την αντιμετώπισή τους. Επίσης, αναγκαίες είναι και συναφείς έρευνες που να αξιολογούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε επίπεδο κοινωνίας και οικονομίας. Τέλος, πρόβλεψη θα πρέπει να γίνει και ως προς την πολιτιστική αξία των χώρων που προορίζονται να φιλοξενήσουν επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επομένως, απαιτείται συνεργασία μεταξύ διαφόρων ενδιαφερομένων μερών, καθώς και έρευνες από μέρους αυτών των φορέων, προκειμένου οι επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να έχουν το μικρότερο δυνατό κόστος και τη μέγιστη δυνατή ωφέλεια σε όρους βιωσιμότητας (οικονομία, κοινωνία, περιβάλλον).

Συνολικά, απαιτούνται έρευνες στον τομέα των φωτοβολταϊκών πηγών ενέργειας, που θα λαμβάνουν υπόψη όλους εκείνους τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοσή τους. Η γεωγραφική μεταβλητότητα της απόδοσης της ηλιακής ενέργειας οφείλεται κυρίως στην κατανομή του ηλιακού πόρου. Το συνολικό μοτίβο του πόρου (θεωρητικό φωτοβολταϊκό δυναμικό) καθορίζεται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος, την εμφάνιση των νεφών, την ανύψωση και τη σκίαση του εδάφους, τη συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού αερολύματος και την ατμοσφαιρική υγρασία. Σε περιφερειακές έως

τοπικές κλίμακες, ο ηλιακός πόρος επηρεάζεται επίσης από την εγγύτητα στη θάλασσα και τα μεγάλα υδάτινα σώματα, καθώς και από αστικές και βιομηχανικές περιοχές. Αυτό δημιουργεί μια πολύ διαφορετική χωρική κατανομή των ηλιακών πόρων. Η θερμοκρασία του αέρα είναι ο δεύτερος πιο σημαντικός γεωγραφικός παράγοντας, καθώς επηρεάζει την αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών. Η ισχύς εξόδου είναι επίσης μεταβλητή στο χρόνο: αλλάζει με την πάροδο των εποχών και των ημερών λόγω αστρονομικών και γεωγραφικών παραγόντων, καθώς και καιρικών συνθηκών. Επιπλέον, η πρακτική χρήση των ηλιακών σταθμών περιορίζεται από διάφορους φυσικούς και κανονιστικούς περιορισμούς στη χρήση γης. Η πρακτική αξιολόγηση δυναμικού των φωτοβολταϊκών παρέχει υψηλότερη προστιθέμενη αξία συμπεριλαμβάνοντας όλους αυτούς τους πρόσθετους παράγοντες (Energy Sector Management Assistance Program, 2020).

### **5.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα**

Η παρούσα έρευνα βασίστηκε στην αξιοποίηση συγκεκριμένων μεθοδολογιών για την οικονομική αξιολόγηση του έργου και την ανάλυση του κινδύνου. Ωστόσο, στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται και άλλες μεθοδολογίες, καθώς και η χρήση συγκεκριμένων στατιστικών προγραμμάτων για την εκτίμηση κινδύνων και την ανάλυση της βιωσιμότητας του έργου, στη βάση πολλαπλών σεναρίων (π.χ. όσον αφορά στις καιρικές συνθήκες). Ως εκ τούτου, σε μία μελλοντική έρευνα μπορεί να γίνει χρήση αυτών των στατιστικών προγραμμάτων, ούτως ώστε να διεξαχθεί μία πληρέστερη και πιο αναλυτική μελέτη αξιολόγησης της βιωσιμότητας του φωτοβολταϊκού πάρκου, στη βάση διαφορετικών σεναρίων.

Ένας ακόμη περιορισμός αφορά στο ότι τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας δεν μπορούν να γενικευθούν, καθώς η μελέτη αφορά ένα φωτοβολταϊκό πάρκο σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία, με συγκεκριμένες προδιαγραφές ως προς τα τεχνικά του χαρακτηριστικά. Επομένως, απαιτούνται περαιτέρω μελέτες για την απόδοση των φωτοβολταϊκών πάρκων και σε άλλες τοποθεσίες, αλλά και με άλλα χαρακτηριστικά. Αυτές οι έρευνες θα μπορούσαν να οδηγήσουν και σε συμπεράσματα που αφορούν την αποτελεσματικότητα διαφορετικών τύπων φωτοβολταϊκών, καθώς και τα χαρακτηριστικά των τοποθεσιών που οδηγούν ένα φωτοβολταϊκό πάρκο σε υψηλή απόδοση.

Εκτός των ανωτέρω, η παρούσα έρευνα δεν εξέτασε τον αντίκτυπο του έργου στο περιβάλλον και στην ποιότητα ζωής των κατοίκων, στη βάση της άποψης των τελευταίων. Κατά συνέπεια, κατά την ανάλυση βιωσιμότητας ενός έργου στο πεδίο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μέλλον είναι αναγκαία και η διερεύνηση διαφόρων ενδιαφερομένων μερών και πρωτίστως των κατοίκων. Μία τέτοια έρευνα είναι αναγκαία διότι η στάση και η συμπεριφορά των κατοίκων, όπως αποτυπώνονται στις απόψεις τους, μπορεί να αποτελέσει παράγοντα διευκόλυνσης ή αντίθετα παράγοντα παρεμπόδισης του έργου. Έτσι, είναι σημαντικό να διερευνηθεί η άποψή τους για το συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό πάρκο.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

- Ali, W., Farooq, H., Rehman, A. U., Awais, Q., Jamil, M., & Noman, A. (2018). *Design Considerations of Stand-Alone Solar Photovoltaic Systems*. Proceedings of the International Conference on Computing, Electronic and Electrical Engineering (ICE Cube), Quetta, Pakistan, 12–13 November 2018, doi: 10.1109/ICECUBE.2018.8610970.
- Al-Odeh, M., Schafer, M., Badar, M. A., & Peters, R. (2016). The viability of residential grid-connected solar photovoltaic systems in the state of Indiana. *Journal of Business, Economics and Finance*, 5(4), 376-388.
- Altintas, K., Turk, T., & Vayvay O. (2016). Renewable Energy for a Sustainable Future. *Marmara Journal of Pure and Applied Sciences*, 1, 7-13.

- Aresolar (2020). The Benefits of Going Solar: Helping the Environment While Saving You Money. Ανακτήθηκε από: <https://aresolar.com/the-benefits-of-going-solar-helping-the-environment-while-saving-you-money/>
- Attari, K., Elyaakoubi, A., & Asselman, A. (2016). Performance analysis and investigation of a grid-connected photovoltaic installation in Morocco. *Energy Reports*, 2, 261-266.
- Belluardo, G., Ingenhoven, P., Sparber, W., Wagner, J., Weihs, P., & Mosera, D. (2015). Novel method for the improvement in the evaluation of outdoor performance loss rate in different PV technologies and comparison with two other methods. *Solar Energy*, 117, 139-152.
- Brunet, C., Savadogo, O., Baptiste, P., Bouchard, M. A., Rakotoary, J. C., Ravoninjatovo, A., Cholez, C., Gendron, C., & Merveille, N. (2020). Impacts Generated by a Large-Scale Solar Photovoltaic Power Plant Can Lead to Conflicts between Sustainable Development Goals: A Review of Key Lessons Learned in Madagascar. *Sustainability*, 12, doi:10.3390/su12187471.
- Chimtavee, A., Ketjoy, N., Sriprapha, K., & Vaivudh, S. (2011). Evaluation of PV Generator Performance and Energy Supplied Fraction of the 120 kWp PV Microgrid System in Thailand. *Energy Procedia*, 9, 117-127.
- Darwish, M. A., Abdulrahim, H. K., & Sharif, A. O. (2014). Photovoltaic Power Stations (PVPS). *Global Journal of Researches in Engineering: J General Engineering*, 14(5), 1-34.
- Dempster, M., Medova, E., & Villaverde, M. (2011). Long-term interest rates and consol bond valuation. Στο: G. Mitra & K. Schwaiger (Eds.), *Asset and liability management handbook* (σελ. 79-109). Hampshire: Palgrave Macmillan.
- Donev, J., Yyelland, B., Stenhouse, K., Hanania, J., & Afework, B. (2018). Energy Education. Types of Photovoltaic Cells. Ανακτήθηκε από: <http://www.nef.org.uk/knowledge-hub/solar-energy/types-of-photovoltaic-pv-cells>
- Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα (2019). Τι είναι τα επιτόκια αναφοράς, γιατί είναι τόσο σημαντικά και γιατί αναμορφώνονται; Ανακτήθηκε από:

[https://www.ecb.europa.eu/explainers/tell-me-more/html/benchmark\\_rates\\_qa.el.html](https://www.ecb.europa.eu/explainers/tell-me-more/html/benchmark_rates_qa.el.html)

Ellabban, O., Abu-Rub H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748-764.

Energy Sector Management Assistance Program (2020). Global Photovoltaic Power Potential by Country. Ανακτήθηκε από: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/466331592817725242/pdf/Glob-al-Photovoltaic-Power-Potential-by-Country.pdf>

Fridleifsson, I. B. (2001). Geothermal energy for the benefit of the people. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5, 299-312.

Gielen, D., Boshell F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38-50.

Gitman, L. J. (2015). *Principles of Managerial Finance*. New York: Pearson.

Greensolver (2020). Country Overview | Greece Renewable Energy 2020-2030. Ανακτήθηκε από: <https://greendealflow.com/wp-content/uploads/2020/07/Greece.pdf>

Guaita-Pradas, I., & Blasco-Ruiz, A. (2020). Analyzing Profitability and Discount Rates for Solar PV Plants. A Spanish Case. *Sustainability*, 12, doi:10.3390/su12043157.

Gul, M., Kotak, Y., & Muneer, T. (2016). Review on recent trend of solar photovoltaic technology. *Energy Exploration & Exploitation*, 34(4), 485-526.

Hillson, D. (2003). Using a Risk Breakdown Structure in project management. *Journal of Facilities Management*, 2(1), 85-97.

IEA (2019). Renewables 2019. Market analysis and forecast from 2019 to 2024. Ανακτήθηκε από: <https://www.iea.org/reports/renewables-2019>

- International Finance Corporation (2015). Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants. Ανακτήθηκε από: [https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/a1b3dbd3-983e-4ee3-a67b-cdc29ef900cb/IFC+Solar+Report\\_Web+\\_08+05.pdf?MOD=AJPERES&CVI=D=kZePDPG](https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/a1b3dbd3-983e-4ee3-a67b-cdc29ef900cb/IFC+Solar+Report_Web+_08+05.pdf?MOD=AJPERES&CVI=D=kZePDPG)
- IRENA (2019). Future of solar photovoltaic. Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. Ανακτήθηκε από: [https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA\\_Future\\_of\\_Solar\\_PV\\_2019.pdf](https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf)
- Ismail, O. S., Ajide, O. O., & Akingbesote, F. (2012). Performance Assessment of Installed Solar PV System: A Case Study of Oke-Agunla in Nigeria. *Scientific Research Engineering*, 4(8), 453-458.
- Jäger-Waldau, A. (2019). PV Status Report 2019. Ανακτήθηκε από: [https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/kjna29938enn\\_1.pdf](https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/kjna29938enn_1.pdf)
- Jansson, P. M., Whitten, K., & Schmalzel, J. L. (2011). Photovoltaic Module Shading: Smart Grid Impacts. Ανακτήθηκε από: <https://petermarkjansson.com/research/photovoltaic-system-optimization/>
- Johansson, T. B., Nakicenovic, N., Patwardhan, A., & Gomez-Echeverri, L. (2012). *Global Energy Assessment (GEA)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jordan, D. C., Marion, B., Deline, C., & Barnes, T. (2020). Bolinger, M. PV Field Reliability Status—Analysis of 100,000 Solar Systems. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 28, 739-754.
- Kaygusuz, K. (2009). Wind Power for a Clean and Sustainable Energy Future. *Energy Sources, Part B*, 4(1), 122-133.
- Khatib, T., Sopian, K., & Kazema, H. A. (2013). Actual performance and characteristic of a grid connected photovoltaic power system in the tropics: A short term evaluation. *Energy Conversion and Management*, 71, 115-119.

- Kumi, E. N., & Brew-Hammond, A. (2013). Design and Analysis of a 1MW Grid-Connected Solar PV System in Ghana. Ανακτήθηκε από: <https://media.africaportal.org/documents/wps78.pdf>
- Kymakis, E., Kalykakis, S., & Papazoglou, T. M. (2009). Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete. *Energy Conversion and Management*, 50(3), 433-438.
- Leloux, J., Narvarte, L., & Trebosc, D. (2012). Review of the performance of residential PV systems in Belgium. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 178-184.
- Ma, J., Pan, X., Man, K. L., Li, X., Wen, H., & Ting, T. O. (2018). Detection and Assessment of Partial Shading Scenarios on Photovoltaic Strings. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54, 6279-6289.
- Marks-Bielska, R., Bielski, S., Pik, K., & Kurowska, K. (2020). The Importance of Renewable Energy Sources in Poland's Energy Mix. *Energies*, 13, doi:10.3390/en13184624.
- McSweeney, B. (2006). Net Present Value: the illusion of certainty. *Interscience, Strategy Change*, 15, 47-51.
- Mitiu, M. A., Olteanu, M. V., Raischi, N. S., Balaceanu, C. M., & Cociorva, D. (2018). Efficiency of polycrystalline photovoltaic parks in Romania. Possibility of Using Renewable Energy. *Thermal Science*, 22(2), 665-671.
- Ντρούκας, Κ. Ν. (2017). Εξωδικαστικός μηχανισμός ρύθμισης οφειλών (Νόμος 4469/2017) και προεξοφλητικό επιτόκιο. Ανακτήθηκε από: <https://www.taxheaven.gr/circulars/26937/arora-upd-exwdikastikos-mhxanismos-ryomishs-ofeilwn-nomos-4469-2017-kai-proexoflhtiko-epitokio>
- Nábrádi, A., & Szöllösi, L. (2007). Key aspects of investment analysis. *Applied Studies in Agribusiness and Commerce*, 1(1), 53-56.
- Ong, T. S., & Thum, C. H. (2013). Net Present Value and Payback Period for Building Integrated Photovoltaic Projects in Malaysia. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 3(2), 153-171.

- Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1513-1524.
- Poullikkas, A. (2009). Parametric cost-benefit analysis for the installation of photovoltaic parks in the island of Cyprus. *Energy Policy*, 37(9), 3673-3680.
- Prasad, A. R., Singh, S., & Nagar, H. (2017). Importance of Solar Energy Technologies for Development of Rural Area in India. *IJSRST*, 3(6), 585-599.
- Romero-Cadaval, R., Spagnuolo, G., Franquelo, L. G., Ramos-Paja, C. A., Suntio, T., & Xiao, W. M. (2013). Grid-Connected Photovoltaic Generation Plants: Components and Operation. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 7(3), 6-20.
- Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. (2005). *Corporate Finance. International Edition*. McGraw-Hill.
- Ruiz, J. A., Juarez, M. C., Morales, M. P., Munoz, P., & Mendivil, M. A. (2013). Biomass gasification for electricity generation: Review of current technology barriers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 174-183.
- Rupnik, B., & Westbrook, O. (2014). Ambient temperature correction of photovoltaic system performance data. IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), Denver, CO, USA, doi: 10.1109/PVSC.2014.6925312.
- Sammut-Bonnici, T., & Galea, D. (2015). *PEST analysis. Wiley Encyclopedia of Management*. New York: John Wiley & Sons.
- Sharma, V., Kumar, A., Sastry, O. S., & Chandel, S. S. (2013). Performance assessment of different solar photovoltaic technologies under similar outdoor conditions. *Energy*, 58, 511-518.
- Simon, J., & Mosey, G. (2013). Feasibility Study of Economics and Performance of Solar Photovoltaics at the Sky Park Landfill Site in Eau Claire, Wisconsin. Ανακτήθηκε από: <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56995.pdf>
- Solar Reviews (2021). How much will solar panels cost for your home in 2021?. Ανακτήθηκε από: <https://www.solarreviews.com/solar-panel-cost>



- Srirangan, K., Akawi L., Moo-Young M., & Chou, P. C. (2012). Towards sustainable production of clean energy carriers from biomass resources. *Applied Energy*, 100, 172-186.
- Suri, M., Cebecauer, T., Skoczek, A., Marais, R., Mushwana, C., Reinecke, J., & Meyer, R. (2014). Cloud cover impact on photovoltaic power production in South Africa. Ανακτήθηκε από: <https://solargis2-web-assets.s3.eu-west-1.amazonaws.com/public/publication/2014/7e83f59297/Suri-et-al-SASEC2014-Cloud-cover-impact-on-PV-power-production-in-South-Africa.pdf>
- Temiz, D., & Gokmen, A. (2010). The importance of renewable energy sources in Turkey. *International Journal of Economics and Finance Studies*, 2(2), 23-30.
- Timilsina, G. R., Kurdgelashvili, L., & Narbel, P. A. (2011). A Review of Solar Energy Markets, Economics and Policies. Ανακτήθηκε από: <http://documents1.worldbank.org/curated/en/546091468178728029/pdf/WPS5845.pdf>
- Turney, D., & Fthenakis, V. (2011). Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 3261-3270.
- United States Environmental Protection Agency (2018). The Multiple Benefits of Energy Efficiency and Renewable Energy. Ανακτήθηκε από: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-07/documents/mbg\\_1\\_multiplebenefits.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-07/documents/mbg_1_multiplebenefits.pdf)
- Usman, Z., Tah, J., Abanda, H., & Nche, C. (2020). A Critical Appraisal of PV-Systems' Performance. *Buildings*, 10, doi:10.3390/buildings10110192.
- Walker, A., Lockhart, E., Desai, J., Ardani, K., Klise, G., Lavrova, O., Tansy, T., Deot, J., Fox, B., & Pochiraju, A. (2020). *Model of Operation-andMaintenance Costs for Photovoltaic Systems*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-5C00-74840. Ανακτήθηκε από: <https://www.nrel.gov/docs/fy20osti/74840.pdf>.

WWF (2012). Solar PV Atlas: Solar Power in Harmony with Nature Towards 100 per cent renewable energy. Ανακτήθηκε από: [https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/solar\\_atlas\\_low\\_res\\_final\\_8\\_jan\\_2013\\_1\\_.pdf](https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/solar_atlas_low_res_final_8_jan_2013_1_.pdf)

Yahya, A. M., Mahmoud, A. K., Daher, D. H., Gaillard, L., Menezo, C., Youm, I., & Mellit, A. (2021). Performance analysis of a 48kWp grid-connected photovoltaic plant in the Sahelian climate conditions of Nouakchott, Mauritania. *Preprints*, doi: 10.20944/preprints202102.0275.v1.