

# **Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**

**Σχολή Οικονομικών Επιστημών και Διοίκησης Μεταπτυχιακό**

**Πρόγραμμα Σπουδών Διοίκησης επιχειρήσεων (MBA)**

## **Μεταπτυχιακή Διατριβή**

**“Επιχειρηματικό Σχέδιο για την Ανάπτυξη Επιχείρησης  
Παραγωγής Φωτοβολταϊκών Τρίτης Γενιάς στην Κύπρο”**

**Απόστολος Ιωακειμίδης**

**Επιβλέπων Καθηγητής  
Πάρις Κλεάνθους**

**Μάιος 2022**

Αριθμός λέξεων : 14955

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Απόστολος Ιωακειμίδης, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Πρόγραμμα Σπουδών Διοίκησης επιχειρήσεων (MBA) του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραιτήτως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Προγράμματος Σπουδών.

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή, Πάρη Κλεάνθους για την αποδοχή της επίβλεψης της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, όπως και για υποστήριξη και την καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές Κωνσταντίνο Κωστόπουλο, Νικόλαο Φίλιππα, Ευθύμιο Τσιώνα και Νεκτάριο Τζεμπελίκο για την ποιοτική και αποτελεσματική παρουσίαση των θεματικών ενοτήτων κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου, που είχε σαν αποτέλεσμα την παροχή των απαραίτητων γνωσιακών εφοδίων για τη διεκπεραίωση αυτής της διατριβής.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας ήταν η διερεύνηση της βιωσιμότητας μιας παραγωγικής μονάδας φωτοβολταϊκών τρίτης γενιάς (αναδεδόμενων) στην επικράτεια της Κυπριακής δημοκρατίας. Η εργασία βασίστηκε σε μελέτες των προηγούμενων ετών όπου τα δεδομένα ήταν διαφορετικά, αλλά και σε πρόσφατες μελέτες που κατέληξαν πως η διερεύνηση της βιωσιμότητας πρέπει να γίνεται βάσει των τοπικών χαρακτηριστικών της περιοχής ανάπτυξής τους

Η διερεύνηση του περιβάλλοντος κατέδειξε την αβεβαιότητα του διεθνούς πολιτικοοικονομικού περιβάλλοντος ως την κύρια απειλή για την εταιρία, αλλά και τις ευκαιρίες σε κοινωνικοπολιτικό επίπεδο που απορρέουν από την απαίτηση για αύξηση της παραγωγής ενέργειας από φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες. Οι κύρια απειλή που έχουν να αντιμετωπίσουν τα οργανικά φωτοβολταϊκά είναι η ώριμη τεχνολογία των φωτοβολταϊκών πυριτίου, ενώ η ευκαιρίες πηγάζουν από τις υλικές ιδιότητές τους που είναι το ελάχιστο βάρος, το χαμηλό κόστος παρασκευής, η ευκαμψία, και η επιλογή βαθμού διαφάνειας και χρώματος, δίνοντας τη δυνατότητα στόχευσης και σε αγορές που δεν μπορούν να εφαρμοστούν τα τυπικά φωτοβολταϊκά.

Η τεchnοοικονομική ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα της βιβλιογραφίας, στην Κυπριακή αγορά και την προσωπική εμπειρία. Έγινε λεπτομερής τεχνική ανάλυση του έργου ενώ η χρηματοοικονομική ανάλυση έδειξε πως η επένδυση μπορεί να είναι βιώσιμη σε αρκετά σενάρια καταλήγοντας σε θετική καθαρή παρούσα αξία και εσωτερική απόδοση~17.71%, με μεγαλύτερο εμπόδιο το υψηλό κόστος των Α' υλών. Η ανάπτυξη φωτοβολταϊκού πάρκου οργανικών φωτοβολταϊκών έδειξε πως το κόστος του παραγόμενου ρεύματος θα ήταν 0.932€/KWh που με βελτίωση του λειτουργικού χρόνου των φωτοβολταϊκών ή μείωση του κόστους των υλικών θα μπορούσε να μειωθεί πάνω από μια τάξη μεγέθους.

**Λέξεις κλειδιά:** Παραγωγή οργανικών φωτοβολταϊκών, OPVs, καθαρή παρούσα αξία, Κανονικοποιημένο κόστος ενέργειας, LCOE

## ABSTRACT

The goal of this work was the sustainability investigation of establishing a third generation (emerging) photovoltaic production line in Cyprus. The work was based on older literature reports from previous years when the circumstances were different but also in early reports which concluded that the sustainability of such studies must lean on data of the environment where the development will occur.

The investigation of business environment pinpointed the uncertainty of the politico economic environment as the main risk but also the opportunity that rises by the sociopolitical demand for an increase in energy production from environmentally friendly technologies. The main threat for the organic photovoltaics arises from the mature technology of silicon photovoltaic, while the opportunity comes from its physical properties which are the light weight, low production cost, flexibility, and the ability to select the transparency level and the color, allowing to target markets where the convention photovoltaics cannot be applied

The techno economic analysis was based on data of the literature, the Cyprus market and the personal experience. There was a detailed technical analysis of the project with the financial analysis showing that the investment can be viable under different scenarios, resulting in positive net present values and internal rate of return  $\sim 17.71\%$ , with the main barrier being the high cost of the raw materials. The development of a photovoltaic park using organic photovoltaics showed that the Levelized cost of electricity (LCOE) would be  $0.932\text{€}/\text{KWh}$  but with improvement of photovoltaics' lifetime or cost reduction of raw material the LCOE can be decreased by more than an order of magnitude.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	1
ABSTRACT .....	2
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	6
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	9
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ.....	10
1 Εισαγωγή.....	11
1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	12
1.2 Γενιές Φωτοβολταϊκών .....	14
2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	18
2.1 Κόστος Ενέργειας (LCOE) Φωτοβολταϊκών Τρίτης Γενιάς .....	18
2.2 Εναλλακτικές Αγορές για τα Φωτοβολταϊκά Τρίτης Γενιάς .....	38
3 Μακρο-περιβάλλον.....	41
3.1 Διεθνές μακροπεριβάλλον .....	41
3.1.1 Πολιτική.....	42
3.1.2 Οικονομία .....	43
3.1.3 Κοινωνία .....	44
3.1.4 Τεχνολογία.....	45
3.1.5 Νόμοι.....	46
3.1.6 Περιβάλλον .....	46
3.2 Κυπριακό μακροπεριβάλλον.....	46
3.2.1 Πολιτική .....	46
3.2.2 Οικονομία.....	48
3.2.3 Κοινωνία .....	50
3.2.4 Τεχνολογία .....	51
3.2.5 Νόμος.....	53
3.2.6 Περιβάλλον .....	53
3.3 Porter ανάλυση.....	53
4 Μικρο-περιβάλλον.....	56
4.1 Ανάλυση SWOT Προϊόντος .....	56

4.2	Ανάλυση SWOT επιχείρησης .....	57
5	Μεθοδολογία Έρευνας .....	58
5.1	Σκοπός Έρευνας.....	58
5.2	Συλλογή και Ανάλυση Δεδομένων για την Τεχνοοικονομική Ανάλυση.....	58
6	Τεχνοοικονομική Μελέτη Κατασκευής Μονάδας Παραγωγής Αναδυόμενων Φωτοβολταϊκών.....	59
6.1	Δεδομένα Επένδυσης, Εισροών Και Εκροών.....	59
6.1.1	Σκοπιμότητα Επένδυσης.....	59
6.1.2	Μηχανολογικός Εξοπλισμός Μονάδας.....	59
6.1.3	Τοποθεσία και κόστος Εγκατάστασης Μονάδας.....	60
6.1.4	Πρώτες Ύλες.....	61
6.1.5	Απασχολούμενο Προσωπικό .....	62
6.1.6	Προϊόντα Παραγωγής .....	63
6.1.7	Αποθέματα .....	64
6.1.8	Ενεργητικό .....	64
6.1.9	Χρηματοδότηση Παραγωγικής Μονάδας.....	65
6.1.10	Ετήσιο Κόστος Λειτουργίας και Κόστος Παραγωγής ΟΦΒ ανά m <sup>2</sup> και W.....	66
6.2	Χρηματοοικονομική Ανάλυση .....	68
6.2.1	Σημείο Διακοπής Λειτουργίας .....	68
6.2.2	Συντελεστής Μικτού Περιθωρίου Κέρδους.....	68
6.2.3	Καθαρή Παρούσα Αξία και Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης.....	68
7	LCOE ΦΒ Πάρκου στην Κύπρο.....	71
7.1	Δεδομένα ΦΒ Πάρκου .....	71
7.2	LCOE ΦΒ Πάρκου ΟΦΒ στη Κύπρο .....	71
8	Συμπεράσματα.....	75
	ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....	76
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	77
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	83
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	84



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1:Υποθέσεις για το κόστος και τον όγκο της παραγωγής βάσει του τύπου της γραμμής .....	27
Πίνακας 2: Κατανάλωση, επιφάνεια, συντήρηση ως ποσοστό του αρχικού κόστους, ηλεκτρική κατανάλωση, κόστος συντήρησης και κόστος αγοράς μηχανήματος ανά γραμμή παραγωγής. ....	60
Πίνακας 3: Κόστος υλικών για την παραγωγή των ΟΦΒ. ....	61
Πίνακας 4: Προσωπικό και αριθμός εργαζομένων του οργανισμού, μηνιαίος μισθός, τύπος εργαζομένου (Δ - διοικητικό , Γ - τεχνικό), ολικό κόστος, συνεισφορές και ολικό κόστος ανά έτος. ....	63
Πίνακας 5: Αποθέματα σε μήνες, ετήσιο ποσοστό αναγκών, κόστος ανά έτος και τελικό κόστος αποθεμάτων .....	64
Πίνακας 6 Στοιχεία ενεργητικού πρώτου έτους λειτουργία της μονάδας παραγωγής ΟΦΒ....	64
Πίνακας 7:Πηγές χρηματοδότησης για την λειτουργίας την μιας παραγωγικής μονάδας ΟΦΒ .....	65
Πίνακας 8: Επιμέρους κόστος παραγωγής ΟΦΒ ανά $m^2$ και $w$ και η ποσοστιαία επιβάρυνση στο τελικό κόστος. Τιμή πώλησης υποθέτοντας ένα περιθώριο 5% και το μεικτό κέρδος ανά παραγόμενο $W$ .....	66
Πίνακας 9: Κόστος επιμέρους στοιχείων για την αρχική εγκατάσταση ΦΒ πάρκου στην ΚΔ 71	
Πίνακας 10:Στοιχεία για τον υπολογισμό του LCOE του ΦΒ πάρκου λειτουργικού χρόνου ζωής 20 ετών. ....	72
Πίνακας 11 : Παρουσίαση τόκων και χρεολυσίων για την αποπληρωμή του δανείου .....	83
Πίνακας 12: Υπολογισμός ΚΠΑ .....	84

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Συνολική παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανά είδος πηγής σε TWh «Πηγή» (“Our World in Data” 2019).....	11
Διάγραμμα 2: Εκπομπές CO <sub>2</sub> σε παγκόσμιο επίπεδο, μετρημένες σε τόνους ανά έτος. «Πηγή» (“Our World in Data” 2020).....	12
Διάγραμμα 3: Σύγκριση του LCOE μεταξύ 2010 και 2019 διαφόρων ενεργειακών συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας «Πηγή» (IRENA 2019) .....	14
Διάγραμμα 5: Κατάταξη των φωτοβολταϊκών σε τρεις γενιές βάσει των υλικών του φωτο-ενεργού στρώματος. Τα ποσοστά δίνουν το μερίδιο αγοράς κάθε τεχνολογίας «Πηγή» (Ansari, Qurashi, and Nazeeruddin 2018).....	15
Διάγραμμα 6: Σχηματική απεικόνιση παραγωγής οργανικών φωτοβολταϊκών πάνω σε εύκαμπτο υπόστρωμα με τη τεχνική Roll-to-Roll. «Πηγή» (Välimäki et al. 2022).....	16
Διάγραμμα 7: Διαχρονική εξέλιξη της απόδοσης των αναδυόμενων ΦΒ «Πηγή» (NREL 2021) .....	17
Διάγραμμα 8: Μέσο κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού ( LEC) στις Η.Π.Α. το 2002 και το εκτιμημένο κόστος των οργανικών φωτοβολταϊκών (ΟΦΒ) (organic solar cells(OSC)) «Πηγή» (Kalowekamo and Baker 2009).....	20
Διάγραμμα 9: Πάνω και κάτω όριο κόστους παραγωγής ηλεκτρισμού (LEC) και το εκτιμημένο κόστος των οργανικών φωτοβολταϊκών (OPVs) για διάφορες αποδόσεις. «Πηγή» (Azzopardi et al. 2011).....	22
Διάγραμμα 10: Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος παραγωγής ενέργειας (LEC) «Πηγή» (Azzopardi et al. 2011).....	23
Διάγραμμα 11: Συστατικά μιας τυπικής οικονομοτεχνικής μελέτης για ΟΦΒ«Πηγή» (Lo et al. 2012).....	24
Διάγραμμα 12: Διαμόρφωση κόστους παραγωγής για ετήσιες δυναμικότητες 3, 30 και 300 MW <sub>p</sub> βάση τριών διαφορετικών γραμμών παραγωγής. «Πηγή» (Lo et al. 2012) .....	25
Διάγραμμα 13: Η επίδραση του λειτουργικού χρόνου ζωής και της απόδοσης των ΟΦΒ στο LCOE«Πηγή» (Mulligan et al. 2015).....	25
Διάγραμμα 14: Σύγκριση πάνω και κάτω ορίου (χρόνο ζωής από 2 ως 10 έτη ) κόστους παραγωγής ηλεκτρισμού (LCOE) για ΟΦΒ [OPV] με απόδοση 2, 3, 5, και 10% σε σχέση με άλλες πηγές. «Πηγή» (Mulligan et al. 2015) .....	26
Διάγραμμα 15: Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για το LCOE«Πηγή» (Gambhir, Sandwell, and Nelson 2016).....	29

Διάγραμμα 16: Κατανομή του LCOE για ΟΦΒ συστήματα επίγειας εγκατάστασης ή σε οροφές κτηρίων και για λειτουργικό χρόνο πέντε ή δέκα έτη. Οι κόκκινες κάθετες γραμμές ορίζουν το εύρος του κόστους των καθιερωμένων ΦΒ τεχνολογιών. «Πηγή» (Gambhir, Sandwell, and Nelson 2016) .....	30
Διάγραμμα 17: Διαγραμματική απεικόνιση μια τυπικής μείωσης της απόδοσης (PCE) των αναδύομενων ΦΒ. «Πηγή» (Nieto-Díaz, Crossland, and Groves 2021) .....	31
Διάγραμμα 18: Επίδραση του αρχικού κόστους των ΦΒ συστημάτων (module cost) στο LCOE, σε σχέση με την αρχική απόδοση ( $PCE_i$ ), το burn-in (B) και τη γραμμική πτώση της απόδοσης (D). Τα οριζόντια πορτοκαλί και μπλε πλαίσια δίνουν τα όρια του εκτιμημένου κόστους των ΟΦΒ (OPV) και ΠΦΒ(PVK) συστημάτων. Οι οριζόντιες διακεκομμένες γραμμές δίνουν τα όρια του LCOE στα νησιά Fiji. «Πηγή» (Nieto-Díaz, Crossland, and Groves 2021) .....	32
Διάγραμμα 19: Πρόβλεψη LCOE για ΟΦΒ και ΠΦΒ βάσει των βέλτιστων συσκευών που έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία συναρτήσει του αριθμού αντικατάστασης των αντίστοιχων στοιχείων κάθε 2,5 10 και 20 έτη για συνολικό χρόνο ζωής του έργου . «Πηγή» (Nieto-Díaz, Crossland, and Groves 2021).....	33
Διάγραμμα 20: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε χώρα και η μέση τιμή του LCOE που εκτιμήθηκε για τα αναδύομενα ΦΒ. «Πηγή» (Nieto-Díaz, Crossland, and Groves 2022)	34
Διάγραμμα 21: Εκτιμημένο LCOE ΦΒ πυριτίου και αναδύομενων ΦΒ για κάθε χώρα της μελέτης.«Πηγή»(Nieto-Díaz, Crossland, and Groves 2022) .....	35
Διάγραμμα 22: Βηματική μείωση του LCOE των αναδύομενων ΦΒ ( $PCE_i = 10\%$ , burn-in (B)=40%, D=10%/έτος και κόστος 0.245US\$/ $W_p$ ) μέσω της μείωσης των D=1%/έτος, B=10%, του συντελεστή προεξόφλησης στο 5%, του κόστους των ΦΒ κατά 50% (0.1225 US\$/ $W_p$ ), του κόστους εγκατάστασης 10% και αύξηση του $PCE_i = 20\%$ στην Ινδία, ΗΠΑ και Ιαπωνία. (η κόκκινη παράλληλη γραμμή δείχνει το LCOE των ΦΒ πυριτίου) «Πηγή» (Nieto-Díaz, Crossland, and Groves 2022).....	35
Διάγραμμα 23: Προβλεπόμενο LCOE των οργανικών φωτοβολταϊκών (πορτοκαλί) και φωτοβολταϊκών περοβσκίτη (μπλε) για Ινδία, ΗΠΑ και Ιαπωνία, βάσει των βέλτιστων δημοσιευμένων χαρακτηριστικών $PCE_i$ , B και D. «Πηγή» (Nieto-Díaz, Crossland, and Groves 2022).....	37
Διάγραμμα 24: Στατιστική ανάλυση του LCOE των ΟΦΒ και ΠΦΒ σε κάποιες από τις χώρες της μελέτης. «Πηγή» (Nieto-Díaz, Crossland, and Groves 2022) .....	37
Διάγραμμα 25: Ημιδιάφανα ΟΦ (α) ενσωματωμένα σε κτιριακές εγκαταστάσεις με δυνατότητα (β) επιλογής του χρώματός τους. «Πηγή» (Brus et al. 2019) .....	38
Διάγραμμα 26: (α) Δομή εύκαμπτου οργανικού φωτοβολταϊκού, (b)σχηματική απεικόνιση εγκατάστασης των οργανικών φωτοβολταϊκών σε θερμοκήπια, (c) φωτογραφία της ανάπτυξης	

των φύλλων Ροβίτσας (είδος φασολιού) υπό συνθήκες κανονικού φωτός (D) παρεμβάλλοντας ΟΦ (L) και στο σκοτάδι (D). «Πηγή» (Song et al. 2020).....	39
Διάγραμμα 27: Σχηματική αναπαράσταση ενσωμάτωσης ΟΦ σε οργανικό ηλεκτροχημικό τρανζίστορ. «Πηγή» (Park et al. 2018).....	40
Διάγραμμα 28: Φωτογραφία ενός ολοκληρωμένου συστήματος ΠΦΒ και εύκαμπτης μπαταρίας ενσωματωμένο σε έξυπνο ρολόι. «Πηγή»(Zhao et al. 2021).....	40
Διάγραμμα 29: Σχηματική απεικόνιση σημαντικών παραγόντων που πρέπει να διερευνηθούν για κάθε πλαίσιο της ανάλυσης PESTLE. ....	41
Διάγραμμα 30: Ποσοστό συμμετοχής των διάφορων πηγών ενέργειας στο μείγμα παραγωγής ηλεκτρισμού στη Κυπριακή δημοκρατία. «Πηγή» (Ritchie and Roser 2020).....	48
Διάγραμμα 31: Πορεία ΑΕΠ (δισ.\$) της ΚΔ κα ρυθμός μεταβολής του για την περίοδο 1970 με 2021. ....	48
<b>Διάγραμμα 32:</b> Δαπάνες ως ποσοστό του ΑΕΠ για Ε&Α ανάμεσα στα κράτη μέλη της ΕΕ (2019). «Πηγή» (ΥΣΤΑΤ 2021a).....	51
Διάγραμμα 33: Πηγές χρηματοδότησης ερευνητικών δαπανών το 2019 στην ΚΔ.«Πηγή»(ΥΣΤΑΤ 2021a).....	52
Διάγραμμα 34: Ισοδύναμο πλήρους απασχόλησης ερευνητικό δυναμικό στη ΚΔ κατά τομέα επιστήμης για τα έτη 1998 – 2019. «Πηγή» (ΥΣΤΑΤ 2021b).....	52
Διάγραμμα 35: Ανάλυση SWOT των αναδυόμενων ΦΒ. ....	56
Διάγραμμα 36 Ανάλυση SWOT επιχείρησης ανάπτυξης αναδυόμενων ΦΒ στην Κύπρο .....	57
Διάγραμμα 37: Ποσοστιαία συμμετοχή επιμέρους υλικών στο συνολικό κόστος των Α' υλών .....	62
Διάγραμμα 38: Ποσοστιαία κατανομή του κόστους των διαφόρων εξόδων στο ολικό κόστος παραγωγής του ΟΦΒ.....	67
Διάγραμμα 39: Ποσοστιαία κατανομή του κόστους των διαφόρων εξόδων στο ολικό κόστος παραγωγής του ΟΦΒ για μείωση του κόστους Α' υλών στο 10% της αρχικής τιμής. ....	67
Διάγραμμα 40: Μεταβολή ΚΠΑ σε σχέση με την χρόνο αποπληρωμής του τραπεζικού δανεισμού και του επιτοκίου. ....	69
Διάγραμμα 41: Μεταβολή ΚΠΑ σε σχέση με τον ετήσιο ρυθμό αύξησης των πωλήσεων και το αρχικό περιθώριο μικτού κέρδους.....	70
Διάγραμμα 42: Μεταβολή LCOE σε σχέση με τον ετήσιο ρυθμό μείωσης της απόδοσης και της αρχικής ονομαστική απόδοσης των ΟΦΒ (αριστερά), και σε σχέση με την χρόνο αποπληρωμής του τραπεζικού δανεισμού και του επιτοκίου της μονάδας παραγωγής (δεξιά). ....	73
Διάγραμμα 43: Σχέση του LCOE και του ποσοστού μείωσης του κόστους των Α' υλών .....	73

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

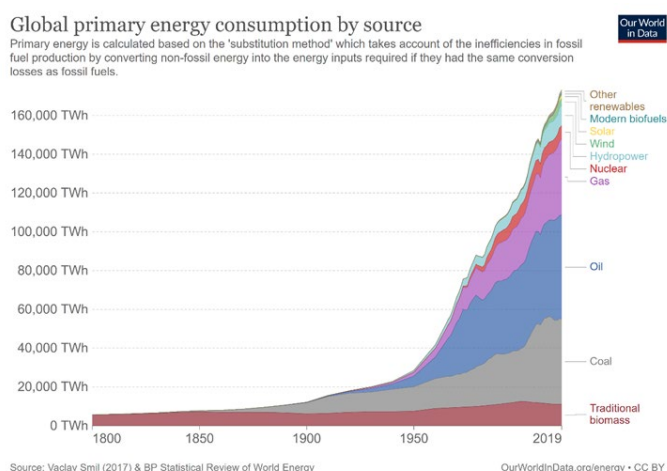
ΦΒ	φωτοβολταϊκά
LCOE	Levelized cost of electricity
ΟΦΒ	Οργανικά φωτοβολταϊκά
ΠΦΒ	Φωτοβολταϊκά περοβσκίτη
PCE:	Power conversion efficiency
GFF:	Geometrical fill factor
BOM	Balance of System
OPV	Organic photovoltaic
PVs	photovoltaics
OSC	Organic solar cells
ΚΔ	Κυπριακή Δημοκρατία
ΚΠΑ	Καθαρή παρούσα αξία
E&A	Έρευνα και ανάπτυξη

## ΑΠΟΛΟΣΗ ΟΡΩΝ

PCE	Απόδοση ενεργειακής μετατροπής (απόδοση)
LCOE	Κανονικοποιημένο κόστος ενέργειας
GFF	Γεωμετρικός συντελεστής πλήρωσης
OPVs	Οργανικό φωτοβολταϊκό
OSC	Οργανικό φωτοβολταϊκό κελί
Perovskite	Περοβσκίτης
Emerging PV	Αναδυόμενα ΦΒ

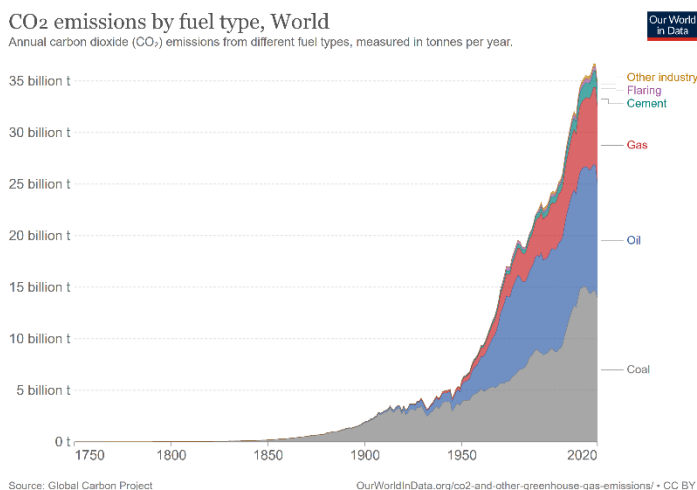
# 1 Εισαγωγή

Η πρόοδος της ανθρωπότητας συνδέεται άμεσα με την ικανότητα συλλογής και μετατροπής της ενέργειας σε ωφέλιμο έργο μέσα από τα διάφορα τεχνητά συστήματα που έχει αναπτύξει. Σημαντικό στοιχείο αυτής της διαδικασίας εκτός από την ικανότητα μετατροπής της ενέργειας σε ωφέλιμες μορφές είναι και το κατά πόσο αποτελεσματικά μπορεί να επιτευχθεί αυτό. Η συσχέτιση έγινε πιο έντονη μεταξύ της απόδοσης και της ταχείας οικονομικής ανάπτυξης μετά τη βιομηχανική επανάσταση κατά τη διάρκεια του δέκατου ένατου αιώνα (Διάγραμμα 1).



**Διάγραμμα 1:** Συνολική παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανά είδος πηγής σε TWh «Πηγή» (“Our World in Data” 2019)

Όμως παρά την ταχεία ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας η απαιτούμενη χρήση ορυκτών καυσίμων ως πηγή ενεργείας εγείρει ανησυχίες για τη βιωσιμότητα του τρέχοντος ενεργειακού μοντέλου ανάπτυξης, καθώς η ποσότητά των ενεργειακών πόρων είναι πεπερασμένη και οι επιπτώσεις που σχετίζονται με αυτές τις ανθρωπογενείς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι εξαιρετικά αρνητικές για το περιβάλλον και τον ανθρώπινο οργανισμό (Διάγραμμα 2).



**Διάγραμμα 2:** Εκπομπές CO<sub>2</sub> σε παγκόσμιο επίπεδο, μετρημένες σε τόνους ανά έτος. «Πηγή» (“Our World in Data” 2020)

## 1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με το παρόν ενεργειακό μοντέλο ανάπτυξης πρέπει να μειωθεί η εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, είτε μειώνοντας την ενεργειακή κατανάλωση εφαρμόζοντας μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας ή μέσω της ευρείας εκμετάλλευσης ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων, που είναι ανεξάντλητοι και έχουν πολύ μικρότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

Γενικά, η χρήση των ανανεώσιμων συστημάτων σε σύγκριση με τα συμβατικά ενεργειακά συστήματα δεν είναι, ακόμα, οικονομικά ανταγωνιστική αλλά έχουν το σημαντικό πλεονέκτημα της μειωμένης έως μηδενικής εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου, όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα. Στη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών το ποσοστό του ενεργειακού μίγματος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές έχει αυξηθεί, αλλά ακόμα υπολείπεται πολύ σε σχέση με τις συμβατικές πηγές (Διάγραμμα 1). Τον Ιούλιο του 2021 η Ευρωπαϊκή Ένωση έθεσε ως στόχο την κάλυψη του 32% των συνολικών ενεργειακών αναγκών της έως το 2030 από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.(Matteo 2021)

Τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών χαρακτηρίζονται σύμφωνα με τον πρωτογενή πόρο που καταναλώνεται για την παραγωγή ενέργειας, δηλαδή χωρίζονται σε συστήματα ηλιακής, αιολικής, γεωθερμικής, υδροηλεκτρικής ενέργειας κ.τ.λ. με το καθένα να έχει τα δικά του πλεονεκτήματα.(Herbaslı 2008) Όσον αφορά την ηλιακή ενέργεια, περίπου 3.4 εκατομμύρια Εξαjoule (EJ) φωτεινής ενέργειας φτάνουν στην επιφάνεια της γης κάθε χρόνο, που θα



μπορούσαν να υπερκαλύψουν την τρέχουσα παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας κατά 7000 με 8000 φορές.(Paul 2019)

Για την μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας απευθείας σε ηλεκτρική ισχύ χρησιμοποιούνται τα φωτοβολταϊκά (ΦΒ) συστήματα. Τα πλεονεκτήματα των ΦΒ σε σχέση με άλλες τεχνολογίες ενέργειας είναι η φιλικότητα προς το οικοσύστημα, οι μηδενικοί ρύποι εκπομπής και το χαμηλό κόστος συντήρησης. Τα κύρια μειονεκτήματα είναι τα τοξικά χημικά απόβλητα που παράγονται κατά τη διαδικασία κατασκευής τους, όπως και το υψηλότερο κόστος παραγωγής που είχαν σε σχέση με άλλα συστήματα ανανεώσιμων πηγών.(Baños et al. 2011) Δεδομένου του γενικευμένου ορισμού levelized cost of electricity (LCOE) που δίνεται από τη σχέση

$$LCOE = \frac{\text{συνολικό κόστος στη διάρκεια ζωής}}{\text{συνολική παρεχόμενη ενέργεια στη διάρκεια ζωής}} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (1)$$

όπου

$I_t$  - επενδυτικές δαπάνες το έτος  $t$

$M_t$  - δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης το έτος  $t$

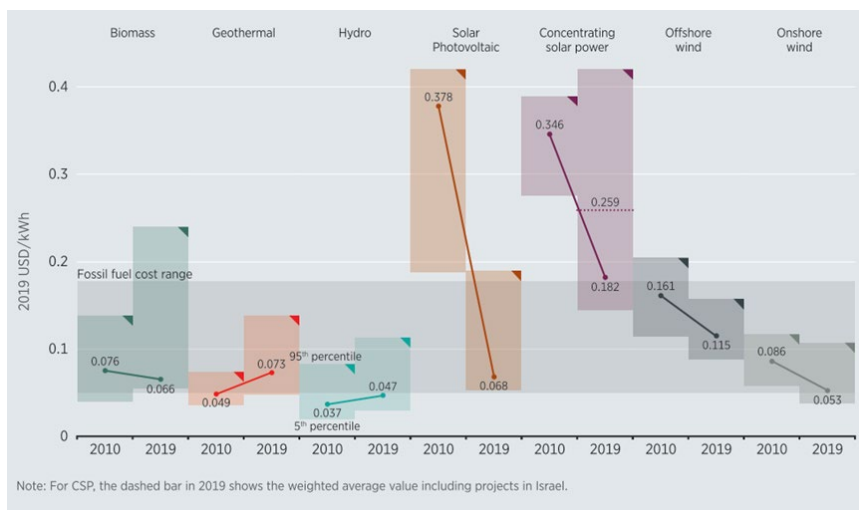
$F_t$  - δαπάνες καυσίμων το έτος  $t$

$E_t$  - ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται το έτος  $t$

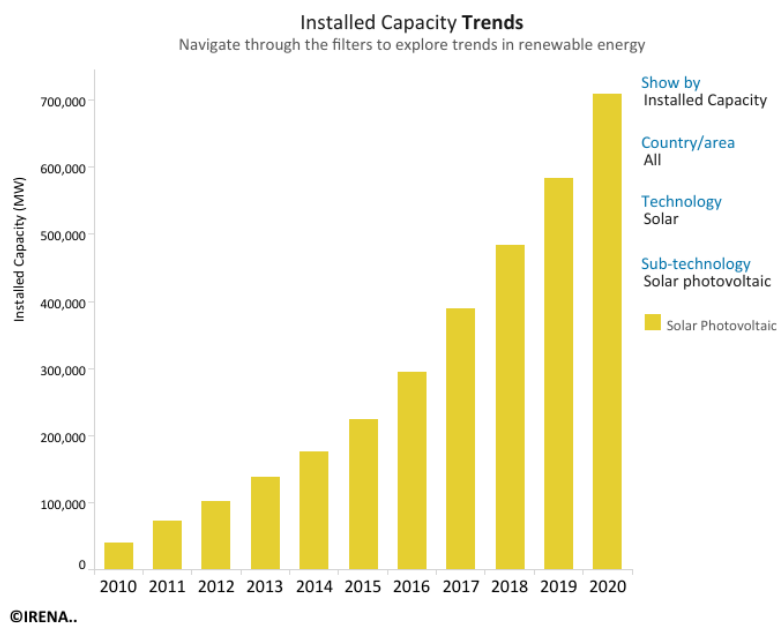
$r$  - προεξοφλητικό επιτόκιο

$n$  - αναμενόμενη διάρκεια ζωής του συστήματος

παρατηρούμε στο Διάγραμμα 3 πως τα ΦΒ πυριτίου παρουσίασαν απότομη πτώση στο κανονικοποιημένο κόστος ενέργειας (LCOE), η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αιτία αυτής της πτώσης είναι, μεταξύ άλλων, οι κεφαλαιακές επενδύσεις για έρευνα και ανάπτυξη (E&A), με το LCOE για το 2019 να εκτιμάτε περίπου στα 0.068 \$/KWh για ΦΒ μεγάλης κλίμακας.(IRENA 2019) Επακόλουθο αυτής της πτώσης στο LCOE είναι η ραγδαία αύξηση της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος (Διάγραμμα 4) που έφτασε τα 709.67 GW το 2020, καθιστώντας τα ΦΒ μία από τις κύριες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.



**Διάγραμμα 3:** Σύγκριση του LCOE μεταξύ 2010 και 2019 διαφόρων ενεργειακών συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας «Πηγή» (IRENA 2019)



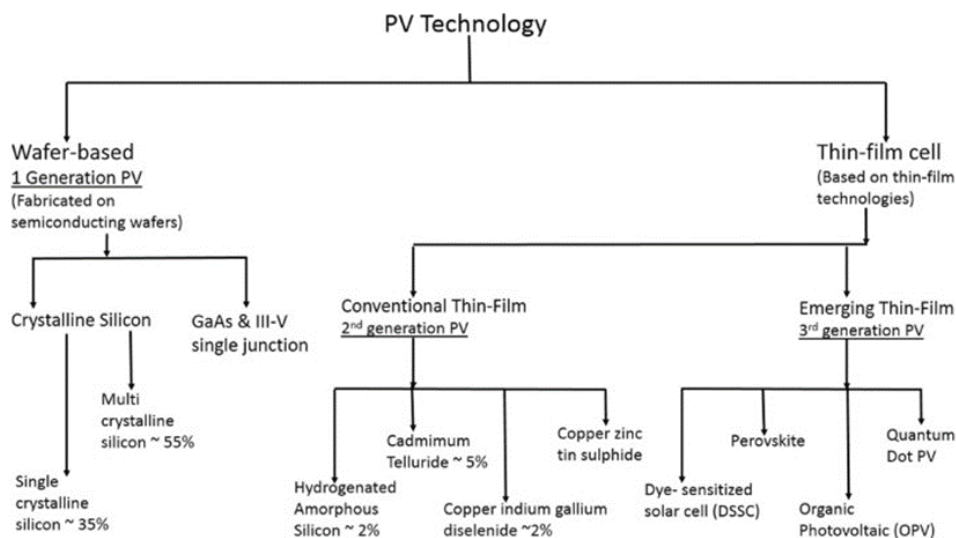
**Διάγραμμα 1:** Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ φωτοβολταϊκών συστημάτων από το 2010 – 2020. «Πηγή» (IRENA 2020)

## 1.2 Γενιές Φωτοβολταϊκών

Τα ΦΒ στοιχεία αποτελούνται από διασυνδεδεμένες φωτοβολταϊκές κυψελίδες(κελιά) μετατρέποντας το ηλιακό φως σε συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα (DC). Το κύριο μέρος που χαρακτηρίζει τα ΦΒ είναι τα φωτοενεργό στρώμα (ημιαγώγιμα υλικά) τα οποία εμφανίζουν το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Για πρώτη φορά παρατηρήθηκε από τον Edmond Becquerel το

1839, το οποίο εμφανίζεται σε συγκεκριμένους ημιαγωγούς όταν διεγερθούν από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κατάλληλης ενέργειας, παράγοντας τη λεγόμενη φωτοτάση.

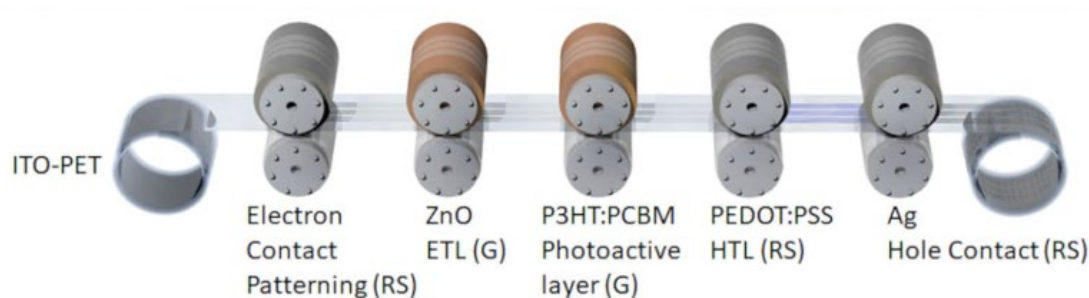
Η πρώτη ηλιακή κυψελίδα χαμηλής απόδοσης (~1 %) κατασκευάστηκε από τον Fritz το 1883 που στο πέρασμα των δεκαετιών με εφαρμογή καινοτόμων υλικών, δομών και διαδικασιών παρασκευής οδήγησαν σε πιστοποιημένες αποδόσεις άνω του 40%. (Dimroth et al. 2014) Οι διάφορες καινοτομίες που έχουν εφαρμοστεί στα ΦΒ συστήματα επιτρέπουν την ταξινόμηση σε τρεις γενιές (Διάγραμμα 5). (Ansari, Qurashi, and Nazeeruddin 2018)



**Διάγραμμα 4:** Κατάταξη των φωτοβολταϊκών σε τρεις γενιές βάσει των υλικών του φωτο-ενεργού στρώματος. Τα ποσοστά δίνουν το μερίδιο αγοράς κάθε τεχνολογίας «Πηγή» (Ansari, Qurashi, and Nazeeruddin 2018)

Τα φωτοβολταϊκά πρώτης γενιάς, τα οποία κατέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς, αποτελούνται από πυρίτιο (Si) (πάχους έως 200μm) παρέχοντας υψηλή απόδοση αλλά και σχετικά υψηλό κόστος κατασκευής. Η δεύτερη γενιά αναπτύχθηκε με στόχο την μείωση του κόστους κατασκευής, δεδομένου πως το φωτοενεργό υλικό απαιτεί χαμηλότερο βαθμό κρυσταλλικότητας όπως και λιγότερη ποσότητα υλικού σε σχέση με αυτά της πρώτης γενιάς, καθώς αποτελούνται από λεπτά υμένια λίγων νανομέτρων (nm) έως μερικών δεκάδων μικρομέτρων (μm). Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για αυτή τη γενιά ΦΒ είναι τα α-Si:H, CIGS, CdTe κ.α., τα οποία μείωσαν μεν το κόστος αλλά η απόδοσή τους είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με της πρώτης γενιάς, και ως εκ τούτου απαιτούν μεγαλύτερη επιφάνεια. Έτσι, η ανάγκη για ΦΒ υψηλότερης απόδοσης αποτελούμενα από οικονομικά υλικά που μπορούν να επεξεργαστούν εφαρμόζοντας μεθόδους χαμηλού κόστους, ώθησαν στην ανάπτυξη των ΦΒ τρίτης γενιάς. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει διάφορες δομές όπως τα tandem cells και νέα υλικά όπως κβαντικά σωματίδια, οργανικά υλικά και τον οργανικό-ανόργανο περοβσκίτη (αποκαλούμενα και αναδυόμενα λεπτά υμένια [emerging thin-films]). Η ανάπτυξη αυτών των

υλικών βασίστηκε στην υψηλή οπτική απορρόφηση και συγχρόνως στην αποτελεσματική συλλογή φορτίων ώστε να επιτευχθούν υψηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τα ΦΒ δεύτερης γενιάς. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες που απαιτούνται για την σύνθεση των υλικών, όπως και η παρασκευή τους μέσω της χρήσης υγρών διαλυμάτων επιτρέπουν την κατασκευή πάνω σε λεπτά εύκαμπτα υποστρώματα (π.χ. PET,PEN) με τεχνικές όπως η roll-to-roll και sheet-to-sheet (Διάγραμμα 6).(Välimäki et al. 2022)



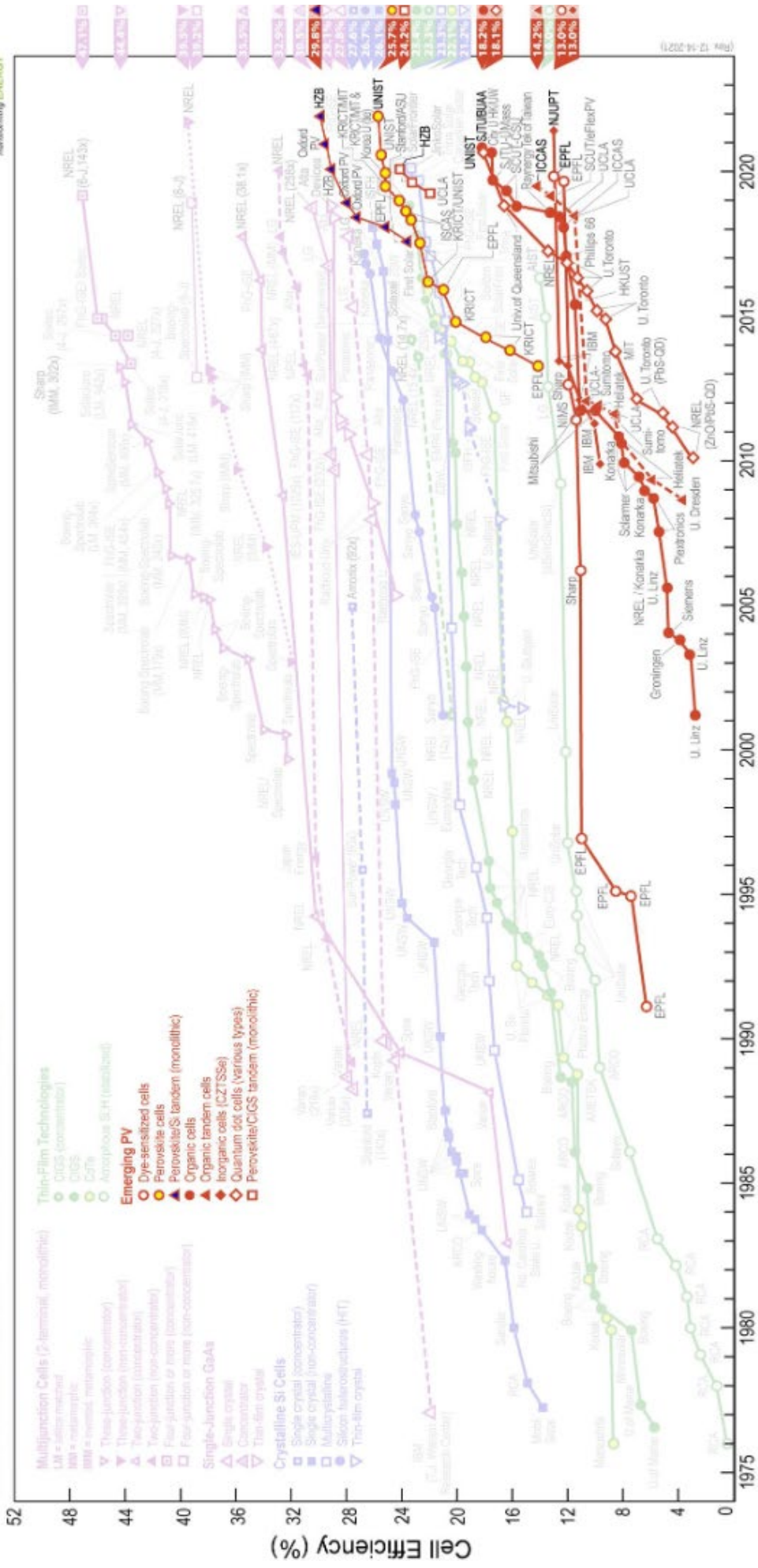
**Διάγραμμα 5:** Σχηματική απεικόνιση παραγωγής οργανικών φωτοβολταϊκών πάνω σε εύκαμπτο υπόστρωμα με τη τεχνική Roll-to-Roll. «Πηγή» (Välimäki et al. 2022)

Έτσι τα φωτοβολταϊκά τρίτης γενιάς έχουν κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές όπως: (Mathews et al. 2019)

- Ελάχιστο βάρος
- Χαμηλό κόστος παρασκευής
- Ευκαμψία
- Επιλογή βαθμού διαφάνειας
- Επιλογή χρώματος

Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6) φαίνεται η εργαστηριακή απόδοση των αναδυόμενων ΦΒ, όπου όπως φαίνεται τα οργανικά φωτοβολταϊκά (ΟΦΒ) παρουσίασαν μια απότομη αύξηση το 2019, με τη μέγιστη τιμή το 2021 να είναι 18.2%. Τα φωτοβολταϊκά τύπου περοβσκίτη (ΠΦΒ) επέδειξαν τον υψηλότερο ρυθμό αύξησης της απόδοσής τους σε σχέση με οποιοδήποτε άλλη τεχνολογία ΦΒ, με τη μέγιστη καταγεγραμμένη τιμή για το 2021 να είναι 25.7%.(NREL 2021)

# Best Research-Cell Efficiencies



Διάγραμμα 6: Διαχρονική εξέλιξη της απόδοσης των αναοδόμενων ΦΒ «Πιγή» (NREL 2021)

## 2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Δεδομένου πως η ενέργεια έχει χαρακτηριστικά ανελαστικής ζήτησης για κάθε νοικοκυριό και επιχείρηση, αφού αποτελεί βασικό συντελεστή εισροής για σχεδόν όλες τις διαδικασίες, και κατατάσσεται στα ομογενή αγαθά, η ανταγωνιστικότητα στο παραγόμενο κόστος της ενέργειας σε σχέση με άλλες πηγές ενέργειας είναι το πλέον σημαντικό χαρακτηριστικό για την βιωσιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης. Για το σκοπό αυτό η σχέση (1) του LCOE με διάφορες παραλλαγές εφαρμόζεται για να μπορέσει να διερευνηθεί η ανταγωνιστικότητά μιας επένδυσης για την παραγωγή ενέργειας. Έτσι σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν βιβλιογραφικά δεδομένα σε χρονολογική σειρά, όπου έχουν γίνει μελέτες για το LCOE των οργανικών φωτοβολταϊκών (ΟΦΒ) ή περοβσκίτη (ΠΦΒ). Παρόλο που τα φωτοβολταϊκά αυτά είναι διαφορετικού τύπου ενεργού στρώματος οι τεχνικές παραγωγής είναι πανομοιότυπες και έτσι πιθανότατα σε μια γραμμή παραγωγής θα μπορούσαν να αναπτυχθούν και οι δύο διαφορετικοί τύποι. Έπειτα θα παρουσιαστούν προτάσεις χρήσης των ΦΒ τρίτης γενιάς σε διαφορετικές εφαρμογές/αγορές λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών τους σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές ΦΒ.

### 2.1 Κόστος Ενέργειας (LCOE) Φωτοβολταϊκών Τρίτης Γενιάς

Σχεδόν είκοσι τρία χρόνια μετά την πρώτη εργαστηριακή ανάπτυξη ενός οργανικού φωτοβολταϊκού (ΟΦΒ) με απόδοση 1%, ο Joseph Kalowekamo κ.α. παρουσίασαν την πρώτη μελέτη για το LCOE ενός ΟΦΒ με απόδοση 5% σε εργοστάσιο παραγωγικής δυναμικότητας 10 MW<sub>p</sub> τον χρόνο. (Kalowekamo and Baker 2009) Οι υποθέσεις τους για τη δομή του ΟΦΒ, είναι η ανάπτυξη τους πάνω σε πλαστικό υπόστρωμα επικαλυμμένο με indium Tin oxide (ITO), ως φωτοενεργό στρώμα θα χρησιμοποιούνταν τα Φουλερένια (C<sub>60</sub>) σε συνδυασμός με τις φθαλοκυανίνες χαλκού και του κασσίτερου (CuPc, SnPc), η πίσω επαφή θα σχηματιζόταν με την ανάπτυξη αλουμινίου ή αργύρου και η ενθυλάκωση για την προστασία από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες θα γινόταν με τη χρήση, επίσης, πλαστικών φύλλων. Για τον υπολογισμό των αρχικών κεφαλαιακών αναγκών, και καθώς δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για κάθε παραγωγική διαδικασία ξεχωριστά, επιλέχθηκε η διαδικασία προσέγγισης top-down, όπου εκτιμήθηκε το μέσω κόστος μιας start-up βάσει των δεδομένων από παλαιότερες τεχνολογίες ΦΒ. Επιπλέον του κόστους των υλικών και των κεφαλαιουχικών εγκαταστάσεων, εκτιμήθηκαν το κόστος εργασίας και το υπερκεφαλικό κόστος όπως και υποτέθηκε πως το 95% της παραγωγής των κελιών θα είναι προϊόντα που θα πληρούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά (95% cell production yield) ενώ τα ολοκληρωμένα ΦΒ στοιχεία (modules) θα είναι το 98 % ποιοτικά αποδεκτά (98 % module production yield). Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω

υποθέσεις καταλήξαν πως το οικονομικό κόστος παρασκευής των ΟΦΒ ανά μονάδα επιφάνειας κυμαίνεται από 48.80\$/m<sup>2</sup> ως 138.90\$/m<sup>2</sup>, ή το κόστος ανά μονάδα μέγιστης δυνατής ισχύος (Watt peak (W<sub>p</sub>)) από 1 ως 2.83 \$/W<sub>p</sub>.

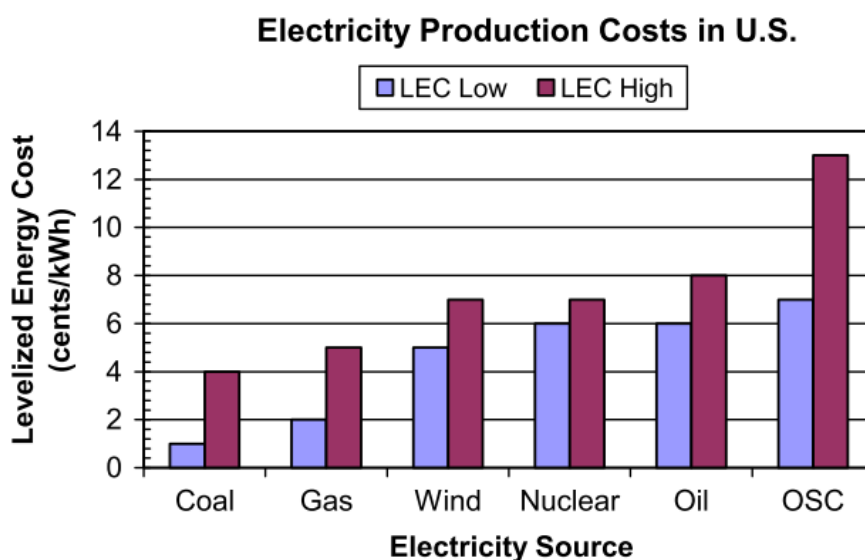
Περαιτέρω ανάλυση της ευαισθησίας έδειξε πως η απόδοση του φωτοβολταϊκού έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στο κόστος παραγωγής των ΟΦΒ στοιχείων αν μονάδα W<sub>p</sub>, ακολουθούμενη από το cell yield, το κόστος του υποστρώματος (plastic substrate/ITO), ενώ η ευαισθησία στο χρόνο ζωής των μηχανολογικών εγκαταστάσεων παραγωγής και στα επιτόκια είναι εξαιρετικά περιορισμένη. Έπειτα υπολογίστηκε το levelized energy cost (LEC), όπου στο κόστος παραγωγής προστέθηκαν τα επιπλέον κόστη εγκατάστασης συνυπολογίζοντας τα balance of system cost (BOS), το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας και τον χρόνο ζωής τους. Αναφορικά με το κόστος των BOS εμπεριέχονται τα κόστη της γης, περιφερικά ηλεκτρομηχανολογικά και ηλεκτρονικά συστήματα, καλωδιώσεις, κόστη μεταφοράς και εγκατάστασης. Τελικά κατέληξαν πως το αρχικό κεφαλαιακό κόστος εγκατάστασης (install capital cost (ICC)) κυμαίνεται από 2.48\$ ως 4.28\$ για κάθε εγκατεστημένη μονάδα παραγωγής ισχύος. Επίσης, για την περίοδο ανάκτησης κεφαλαίου (Capital Recovery Factor (CRF))

$$CRF = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (2)$$

ο συντελεστή προεξόφλησης ορίστηκε  $r = 10\%$  και χρόνο ζωής της επένδυσης  $n = 5$  χρόνια. Για τον συντελεστή χωρητικότητας (Capacity Factor (CF)) υπέθεσαν ένα ποσοστό 15% όπου είναι ο χρόνος παραγωγής ενέργειας και το καθαρό ποσοστό ενέργειας που παράγεται. Δηλαδή εμπεριέχει τη μέση παραγομένη ισχύ κατά τη διάρκεια του έτους (ηλιοφάνεια, καιρικές αλλαγές, γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας κλπ.) όπως και απώλειες του συστήματος (~20%) κατά τη μετατροπή του συνεχόμενου ρεύματος (DC) σε εναλλασσόμενο (AC). Υπολογίζοντας επιπλέον κόστη λειτουργίας και συντήρησης (operating and maintenance (O&M)) χρησιμοποίησαν τον τύπο

$$LCE = \frac{(ICC \cdot 1000 \cdot CRF)}{CF \cdot 8760} + O\&M \quad (3)$$

Κατέληξαν σε LCE που είναι ασύμφορο (0.49\$ μέχρι 0.85\$/kWh) σε σχέση με άλλα συστήματα παραγωγής ενέργειας. Επανυπολογίζοντας για ΟΦ με απόδοση 15% και λειτουργικό χρόνο ζωής 20 χρόνια κατέληξαν σε τιμές που κυμαίνονται από 0.07\$ ως 0.13\$/kWh. Το κόστος αυτό ήταν ανταγωνιστικό σε σχέση με το κόστος των φωτοβολταϊκών πυριτίου το 2002 που κυμαινόταν από 0.25\$–0.50\$/kWh, αλλά το κόστος σε σχέση με άλλες πηγές ενέργειας ήταν σχετικά υψηλότερο (Διάγραμμα 8).



**Διάγραμμα 7:** Μέσο κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού ( LEC) στις Η.Π.Α. το 2002 και το εκτιμημένο κόστος των οργανικών φωτοβολταϊκών (ΟΦΒ) (organic solar cells(OSC)) «Πηγή» (Kalowekamo and Baker 2009)

Το συμπέρασμά τους ήταν πως το κόστος παραγωγής είναι σημαντικό όταν η απόδοση των ΟΦ είναι χαμηλή, και έτσι μόνο με υψηλότερες αποδόσεις και βελτίωση του λειτουργικού χρόνου ζωής θα καθίσταντο ανταγωνιστικά σε σχέση με άλλες πηγές παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Το 2011 οι Brian Azzopardi κ.α. υπολόγισαν το LCOE με μεγαλύτερη ακρίβεια βάσει των νέων δεδομένων, όπως η υψηλότερη απόδοση των ΟΦ, και η συσσωρευμένη εμπειρία όσο αναφορά τις μεθόδους και τις τεχνικές παραγωγής, επιτρέποντάς τους να ακολουθήσουν bottom-up προσέγγιση.(Azzopardi et al. 2011). Μια από τις βασικές διαφορές σε σχέση με τη προαναφερθείσα μελέτη είναι η ανάπτυξη του ΟΦ με την τεχνική roll to roll, που δίνει τη δυνατότητα για την παραγωγή όλων το στρωμάτων του ΟΦΒ μέσω υγρών τεχνικών επικάλυψης. Για την ανάλυση θεωρήθηκε πως το ΟΦΒ σχηματίζεται πάνω σε πλαστικό υπόστρωμα επικαλυμμένο με ΙΤΟ, ακολουθούμενο από την επικάλυψη με τον συλλέκτη ηλεκτρονίων (electron selective contact (ESL)) αποτελούμενο από οξείδιο του ψευδαργύρου(ZnO), το φωτοενεργό στρώμα χρησιμοποιώντας μείγμα πολυμερούς poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) (P3HT) και το παράγωγο των Φουλερενίων Phenyl-C61-butyric acid methyl ester (PCBM), έπειτα τον συλλέκτη οπών με εφαρμογή του αγωγίμου πολυμερούς poly(3,4-ethylenedioxythiophene): polystyrene sulfonate (PEDOT:PSS), η πίσω επαφή σχηματίζεται με την χρήση μελάνης αργύρου (Silver ink) και η προστατευτική ενθυλάκωση έγινε με πλαστικό φύλλο. Τα εργαστηριακά αναπτυγμένα ΟΦΒ κελιά εκείνη την εποχή παρείχαν μέγιστη απόδοση μέχρι και 7%. Έχοντας ένα πρότυπο σύστημα ανάπτυξης των ΟΦΒ λεγόμενο ProcessOne, μπόρεσαν να προσδιορίσουν με μεγάλη ακρίβεια τα οικονομικά μεγέθη



για τα βασικά μηχανολογικά συστήματα, την απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας, και το κόστος των υλικών.

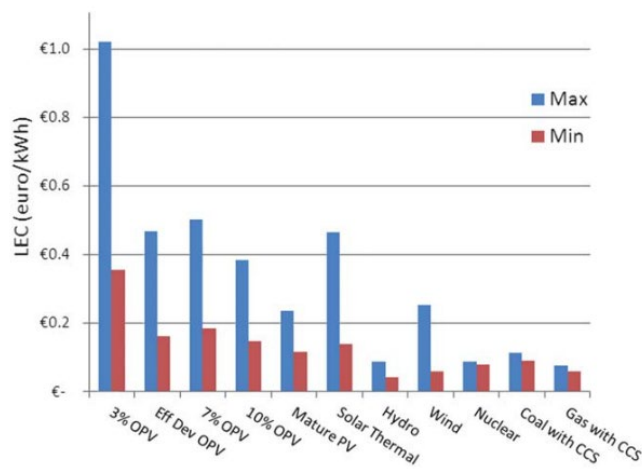
Ένα πρώτο συμπέρασμα ήταν πως το αρχικό επενδυτικό κεφάλαιο είναι πολύ χαμηλότερο σε σχέση με τα αρχικά κεφάλαια που θα χρειαζόνταν για την παραγωγή των ώριμων τεχνολογιών ΦΒ. Συγκεκριμένα υπολόγισαν τις ανάγκες σε περίπου 0.5 εκ. € για παραγωγή 20,000 m<sup>2</sup> με 95% module yield. Θεωρώντας πως τα ΟΦΒ θα έχουν μια απόδοση 5% αυτό μεταφράζεται σε περίπου 0.5 εκ. €/MW<sub>p</sub>, ενώ για τις ώριμες τεχνολογίες ΦΒ απαιτούνται αρχικές επενδύσεις από 0.328 ως 3.28 εκ. €/MW<sub>p</sub>. Για τον υπολογισμό του levelized cost of investment (C<sub>inv</sub>) για κάθε παραγόμενο m<sup>2</sup> ΟΦΒ σε όλη τη διάρκεια ζωής της μονάδας παραγωγής χρησιμοποίησαν τον τύπο

$$C_{inv} = \frac{\text{Total Capital Cost} \cdot \text{CRF} + \text{Maintenance}}{\text{Yearly Output Rate} \cdot \text{Plant Lifetime}}$$

όπου για το CRF (σχέση 2) έθεσαν n=10 και r=7%, τη δυναμικότητα παραγωγής στα 20,000 m<sup>2</sup> και το κόστος συντήρησης στο 4% του levelized capital cost καταλήγοντας σε κεφαλαιακό κόστος επένδυσης των 3.93€/m<sup>2</sup>. Ακολούθως, υπολόγισαν τα εργατικά κόστη βασιζόμενοι σε διαθέσιμα δεδομένα από τη δανέζικη αγορά, και υπερκεφαλικό κόστος που περιείχε ενοίκια, εγγυήσεις προς τους αγοραστές, κόστη έρευνας και ανάπτυξης, όπου προστέθηκε και άλλο 10% υπερκεφαλικό για μεταφορικά και περιθώριο κέρδους. Συνυπολογίζοντας όλα αυτά, κατέληξαν πως το κόστος των ΟΦΒ στοιχείων (ή Balance of module (BOM)) θα κυμαίνεται από 191.89 €/m<sup>2</sup> ως 63.16 €/m<sup>2</sup>. Για απόδοση 7% και ενεργή επιφάνεια 67% (επιφάνεια φωτοενεργού στρώματος σε σχέση με όλη την επιφάνεια του φωτοβολταϊκού) το κόστος ανά μονάδα μέγιστης δυνατής ισχύς είναι 4.09 ως 1.35 €/W<sub>p</sub>. Το μεγαλύτερο μερίδιο του κόστους (>60%) αποδόθηκε στο κόστος των υλικών. Οι συγγραφείς τόνισαν πως η υπολειμματική αξία της παραγωγικής μονάδας μετά το πέρας των 20 χρόνων δεν υπολογίστηκε το οποίο θα μείωνε και άλλο το κόστος ανά W<sub>p</sub>. Προχωρώντας σε μια ανάλυση του κόστους των Balance of system (BOS) αναγνώρισαν πως είναι αρκετά δύσκολο να προσδιοριστεί λόγω διαφοροποιήσεων π.χ. στο είδος της εγκατάστασης (οροφές, ενσωματωμένα σε κτήρια, επίγεια κλπ.), τη περιοχή εγκατάστασης, τη χωρητικότητα παραγωγής των ΦΒ κ.α. Για τη περαιτέρω ανάλυση υπέθεσαν 1 KW<sub>p</sub> εγκατάσταση διασυνδεδεμένη με το δίκτυο, στην οροφή των κτιρίων και λειτουργικό χρόνο ζωής 25 χρόνων (για να είναι συγκρίσιμα με τον λειτουργικό χρόνο ζωής των άλλων ΦΒ). Τα ΟΦΒ έχουν μικρότερο λειτουργικό χρόνο ζωής από τα 25 χρόνια, αλλά για το μοντέλο θεωρήσαν πως θα υπάρχει αντικατάσταση των εγκατεστημένων ΟΦΒ στο τέλος ζωής τους όπως και των BoS όπου χρειάζεται. Έτσι για τον υπολογισμό του κόστους αθροίστηκαν

- το αρχικό κόστος επένδυσης για τα φωτοβολταϊκά συστήματα (modules),  $C_{BOM}$
- το αρχικό κόστος για τα περιφερικά συστήματα BOS (π.χ. inverter, metering, switchgear, πλαίσια στήριξης, εργατικά κόστη εγκατάστασης),  $C_{BOS}$
- Εργατικά κόστη αντικατάστασης
- Συστήματα αντικατάστασης των BOS.
- Ενώ αφαιρέθηκε η υπολειπόμενη αξία των εξαρτημάτων μετά το πέρας του χρόνου ζωής,  $C_{BOM}^{adj}$

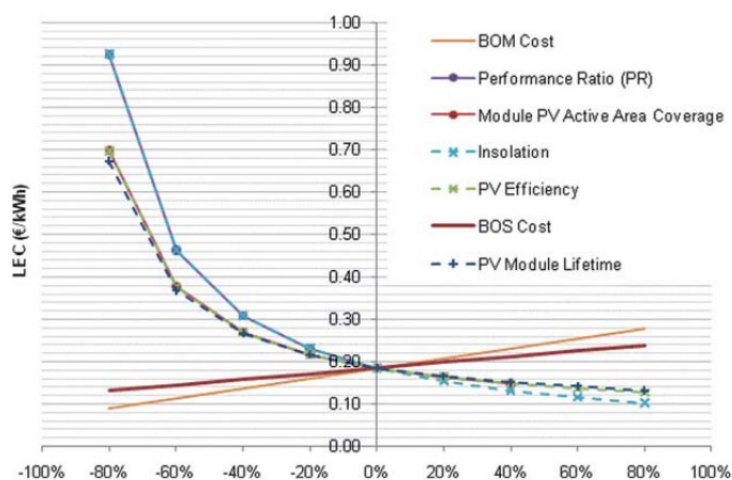
Τελικά, χρησιμοποιώντας για το μοντέλο ως λειτουργικό χρόνο ζωής των ΟΦ στοιχείων (modules) 5 χρόνια, απόδοση 7% της ενεργού περιοχής, μέση ετήσια ακτινοβολία 1700 KWh/m<sup>2</sup> το levelized energy cost υπολογίστηκε να κυμαίνεται από 0.19 €/ kWh ως 0.47€/ kWh. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιώντας και άλλες παραμέτρους (πχ. 3 % και 10% απόδοση) με άλλες πηγές ενέργειας και των ώριμων ΦΒ τεχνολογιών παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 9. Από το διάγραμμα φαίνεται πως το κόστος είναι γενικά μεγαλύτερο σε σχέση με άλλα συστήματα ενέργειας, όμως υπό προϋπόθεσης μπορεί να προσεγγίσει το κόστος των ώριμων ΦΒ τεχνολογιών.



**Διάγραμμα 8:** Πάνω και κάτω όριο κόστους παραγωγής ηλεκτρισμού (LEC) και το εκτιμημένο κόστος των οργανικών φωτοβολταϊκών (OPVs) για διάφορες αποδόσεις. «Πηγή» (Azzopardi et al. 2011)

Η ανάλυση ευαισθησίας έγινε για τιμές από -80% ως 80% σε σχέση με τις βασικές τιμές, όπως παρουσιάστηκαν παραπάνω, ενώ για τη θεωρητική σε σχέση με την πραγματική απόδοση είχε οριστεί συντελεστής 0.85 (performance ratio (PR)). Η PR μειώνει την απόδοση του ΦΒ λόγω ηλεκτρικών απωλειών του συστήματος και προβλημάτων οπτικής διαπερατότητας της επιφάνειας του ΦΒ (π.χ. σκόνη, χιόνια κ.α.). Τα αποτελέσματα έδειξαν πως τη μεγαλύτερη επίδραση στην LCE έχουν η PR, ο λειτουργικός χρόνος ζωής του ΦΒ στοιχείου

(module), η επιφάνεια της ενεργού περιοχής σε σχέση με την ολική επιφάνεια του ΦΒ, η συνολική ακτινοβολία στη διάρκεια του ημερολογιακού έτους και η απόδοση του ΟΦΒ όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 10.



**Διάγραμμα 9:** Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος παραγωγής ενέργειας (LEC) «Πηγή» (Azzopardi et al. 2011)

Οι Vivien Lo κα. κατηγοριοποίησαν τα πιθανά κόστη σε μεταβλητά και σταθερά. (Lo et al. 2012) Όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 11, στα σταθερά κόστη κατέταξαν τα υλικά από τους προμηθευτές, την άμεση εργασία που απαιτείται για τη παραγωγή των ΟΦΒ και την απαιτούμενη ενέργεια. Στα σταθερά κόστη συμπεριλαμβάνονται το κόστος των κτηριακών και μηχανολογικών εγκαταστάσεων, τα υπερκεφαλικά, η συντήρηση, ο αναλώσιμος εξοπλισμός και το κεφάλαιο κίνησης. Η ανάλυση έγινε για τρεις διαφορετικές γραμμές παραγωγής

- Πρωτότυπη/πilotική γραμμή (χαμηλό κόστος)
- Αυτοματοποιημένη ημισυνεχής γραμμή (μεσαίο κόστος)
- Αυτοματοποιημένη συνεχής γραμμή (υψηλό κόστος)

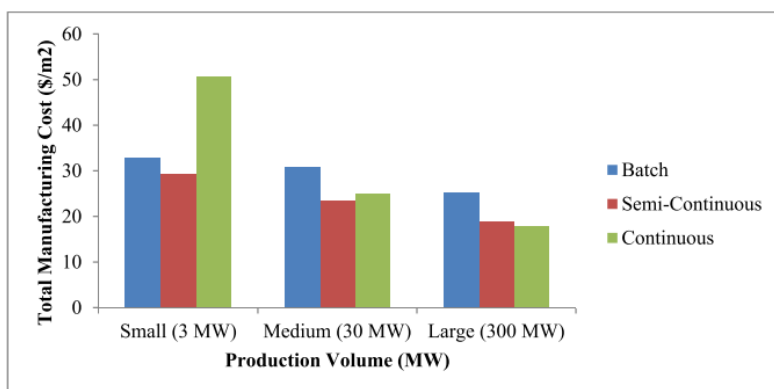
Οι υποθέσεις που έκανα για την ανάλυση του μοντέλου τους ήταν

- Το κόστος της ενέργειας που θα καταναλωθεί για τη λειτουργία των μονάδων θεωρήθηκε σταθερό στα 0.08 \$/kWh
- Το κόστος του μηχανολογικού εξοπλισμού για την ημισυνεχή και συνεχή γραμμή αντιστοιχεί στην αγορά νέων συστημάτων, όπου στην περίπτωση της ημισυνεχούς θα υπήρχαν και κάποια μεταχειρισμένα μηχανήματα καθώς δεν θα υπήρχε η απαίτηση όλα τα συστήματα να είναι custom made.
- Το κόστος μονάδας δίνεται σε \$/m<sup>2</sup> και παραγόμενη δυναμικότητας ισχύς δίνεται σε W/m<sup>2</sup>

Cost Model Component	Description
<b>Cost Summary (General)</b>	Sums up all variable and fixed costs associated with each process step based on specified parameters and manufacturing conditions. Final manufacturing cost information is obtained.
<b>Process Input (General)</b>	Specifies the values of the variables that are required in the cost calculations. For example: working hours/day, work days/year, production rate, machine downtimes, wage rate, etc.
<b>Materials (General)</b>	Summarizes cost of raw materials. Cost is reported in \$/g, g/m <sup>2</sup> and \$/m <sup>2</sup> . Different price points of raw materials at various purchase volumes are provided.
<b>Variable Costs: (Specific)</b>	
Materials	Includes cost of all raw materials used specifically for each process step. Cost is reported in \$/W, \$/m <sup>2</sup> and \$/year.
Direct Labour	Includes cost of labour associated with each process step. Cost is reported in \$/W, \$/m <sup>2</sup> and \$/year.
Energy	Includes cost of power consumed in each process step. Cost is reported in \$/W, \$/m <sup>2</sup> and \$/year.
<b>Fixed Costs: (Specific)</b>	
Equipment	Includes cost of all production equipment used specifically for each process step. Cost is reported in \$/W, \$/m <sup>2</sup> , \$/year, and total investment. Initial investment cost is amortized based on the total production output over the lifetime of the equipment.
Building	Includes the cost of renting building space that is used particularly for each process step. Cost is reported in \$/W, \$/m <sup>2</sup> and \$/year.
Fixed Overhead	Includes the cost of office staff and other general administrative expenses that is allocated to each process step. Cost is equivalent to 40% of direct labour cost. Cost is reported in \$/W, \$/m <sup>2</sup> and \$/year.
Maintenance	Includes the cost of maintenance of equipment for each process step. Cost is equivalent to 5% of equipment cost. Cost is reported in \$/W, \$/m <sup>2</sup> and \$/year.
Tooling	Includes the cost of any replaceable parts of manufacturing equipment used in each process step. Cost is reported in \$/W, \$/m <sup>2</sup> , \$/year and total investment.
Working Capital	Includes cash and other liquid assets that can be converted to cash within 6 months. Cost is equivalent to 6% of 3 months worth of total variable cost for each process step. Cost is reported in \$/W, \$/m <sup>2</sup> , \$/year and total investment.

**Διάγραμμα 10:** Συστατικά μιας τυπικής οικονομοτεχνικής μελέτης για ΟΦΒ«Πηγή» (Lo et al. 2012)

Η ανάλυση έγινε επίσης για τρεις διαφορετικές δυναμικότητες παραγωγής δηλ. 3, 30 και 300 MW<sub>p</sub>. Το κόστος παραγωγής μειώνεται όσο αυξάνεται η δυναμικότητά (Διάγραμμα 12), αφού οι μεγαλύτεροι όγκοι παραγωγής μπορούν να καλύψουν το σταθερό κόστος και να μειώσουν το κόστος των υλικών καθώς θα τα προμηθεύονται σε μεγαλύτερες ποσότητες. Παρατηρούμε, επίσης, πως για δυναμικότητα 300MW<sub>p</sub> το κόστος είναι παρόμοιο για την αυτοματοποιημένη ημισυνεχή και συνεχή, όπου σαν συμπέρασμα της ανάλυσης είναι πως το κόστος των ΟΦΒ θα εξαρτηθεί από τον όγκο της παραγωγής και συνεπώς από τη ζήτηση. Βάση των αποτελεσμάτων και του κόστους της αρχικής επένδυσης προτείνουν πως η εγκατάσταση μιας αυτοματοποιημένη ημισυνεχούς γραμμής είναι η καταλληλότερη στρατηγική, παρά μια χαμηλού κόστους πιλοτική γραμμή, που πιθανώς θα ήταν προτιμητέα λόγω του χαμηλότερου αρχικού κόστους. Βέβαια, όπως σημειώνουν οι συντάκτες η αναφορά αυτή πρέπει να θεωρηθεί σαν ένα πλαίσιο ανάλυσης καθώς επιδέχεται αρκετών διαφοροποιήσεων λόγω διαφορετικών στρατηγικών μάρκετινγκ, κατάστασης της αγοράς, τεχνολογικών προόδων κ.τ.λ.



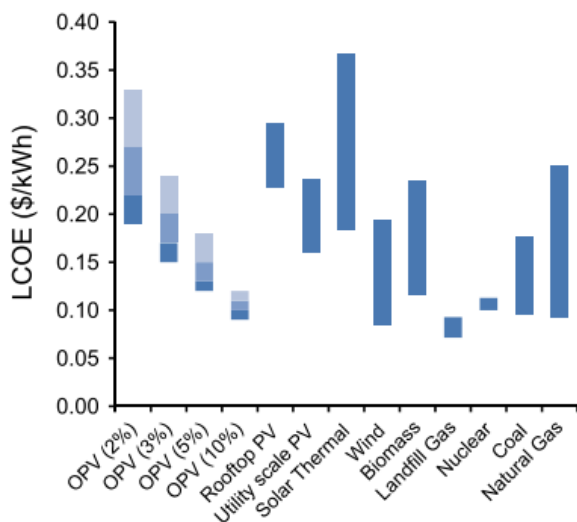
**Διάγραμμα 11:** Διαμόρφωση κόστους παραγωγής για ετήσιες δυναμικότητες 3, 30 και 300 MW<sub>p</sub> βάση τριών διαφορετικών γραμμών παραγωγής. «Πηγή» (Lo et al. 2012)

Το 2015 οι J. Mulligan κ.α. (Mulligan et al. 2015) δημοσίευσαν μια νέα μελέτη για το κόστος των ΟΦΒ, με δομή P3HT:PCBM/PEDOT:PSS/Al όπου το ακριβό PET/ITO υπόστρωμα αντικαθίσταται από το PET/Ag grid και το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας του φωτοενεργού στρώματος στο μοντέλο ήταν 76%, σε συμφωνία με την τεχνολογική πρόοδο το 2015. Οι υπόλοιποι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν σχεδόν ίδιοι με τις προηγούμενες μελέτες δηλαδή, ΟΦΒ πάρκο μέγιστης δυνατής ισχύος 5kWp απόδοση 3%, λειτουργικό χρόνο ζωής τρία χρόνια υπό ακτινοβολία 1700 kWh/m<sup>2</sup>/y. Για το κόστος παραγωγής ΟΦΒ στοιχείων με μεθόδου μεγάλης κλίμακας χρησιμοποιήσαν μια μέση τιμή 7.85\$/m<sup>2</sup>, στηριζόμενοι σε προηγούμενες αναφορές τους. Αναφορικά με το κόστος των BOS και του χρόνου ζωής τους, εφάρμοσαν τιμές βάσει των εμπορικών δεδομένων ενώ υπέθεσαν πως θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και χαμηλότερες τιμές βάση άλλων προβλέψεων. Επίσης, αναφέρουν πως στη μελέτη υπολόγισαν και έξοδα διαχείρισης των αποβλήτων μετά το τέλος ζωής, ενώ δεν ενσωμάτωσαν χρηματοοικονομικές εκτιμήσεις όπως φόροι, κόστος εκπομπής ρύπων ή κρατικά κίνητρα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα το LCOE μπορεί να μειωθεί με δεδομένες τις προβλέψεις μέχρι και 0.09 \$/KWh όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 13.

		Efficiency (%)					
		1	2	3	4	5	10
Lifetime (Yrs)	1	0.95	0.51	0.37	0.29	0.25	0.16
	2	0.59	0.33	0.24	0.20	0.18	0.12
	3	0.47	0.27	0.20	0.17	0.15	0.11
	4	0.41	0.24	0.18	0.16	0.14	0.11
	5	0.37	0.22	0.17	0.15	0.13	0.10
	10	0.30	0.19	0.15	0.13	0.12	0.09

**Διάγραμμα 12:** Η επίδραση του λειτουργικού χρόνου ζωής και της απόδοσης των ΟΦΒ στο LCOE«Πηγή» (Mulligan et al. 2015)

Η σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές για τις διάφορες πηγές ενέργειας δείχνουν πως τα ΟΦΒ είναι ανταγωνιστικότερα από τα παραδοσιακά ΦΒ, ενώ υπό προϋποθέσεις (πχ. 10% απόδοση) μπορούν να είναι ανταγωνιστικά ακόμα και σε σύγκριση με συστήματα συμβατικών πηγών ενέργεια.



**Διάγραμμα 13:** Σύγκριση πάνω και κάτω ορίου (χρόνο ζωής από 2 ως 10 έτη ) κόστους παραγωγής ηλεκτρισμού (LCOE) για ΟΦΒ [OPV] με απόδοση 2, 3, 5, και 10% σε σχέση με άλλες πηγές. «Πηγή» (Mulligan et al. 2015)

Οι Ajat Gambhir κ.α. χρησιμοποίησαν πιθανοθεωρητικό μοντέλο για τη πρόβλεψη της διαμόρφωσης του LCOE από ΟΦΒ. (Gambhir, Sandwell, and Nelson 2016) Η μέθοδος που ακολούθησαν ήταν bottom-up, ξεκινώντας με μια ανάλυση του κόστους σε σχέση με την αύξηση της παραγωγικής δυνατότητας όπως και του όγκου των εισροών (οικονομίες κλίμακας), και έπειτα εφάρμοσαν στοχαστική ανάλυση (Monte Carlo) για τις εισροές και ανάλυση ευαισθησίας. Τα βήματα της ανάλυσης είχαν ως εξής

- Παρουσίαση της δομής του ΟΦΒ στοιχείου
- Κόστος υλικών σε βιομηχανική κλίμακα
- Κόστος παρασκευής με βιομηχανική κλίμακα
- Πιθανοθεωρητική ανάλυση του κόστους των ΟΦΒ στοιχείων
- Εκτίμηση του LCOE

Η δομή της ΟΦΒ κυψελίδας που χρησιμοποίησαν για το μοντέλο τους είναι μια τυπική δομή, ίδια με αυτή των Brian Azzopardi κ.α. που παρουσιάστηκε παραπάνω. Οι τιμές των υλικών βασίζονται σε πραγματικές τιμές από προσφορές που πήραν από τις εκάστοτε εταιρίες, σημειώνοντας πως το κόστος βασίζεται σε παραγγελίες μικρών ποσοτήτων, ενώ σε περίπτωση παραγγελιών βιομηχανικής κλίμακας εκτιμούν πως θα ήταν ένα πέμπτο ως ένα δέκατο πιο

χαμηλό. Το κόστος των εγκαταστάσεων Πίνακας 1 βασίζεται σε πραγματικές τιμές και η εκτίμηση έγινε για την περίπτωση τριών γραμμών παραγωγής roll-to-roll διαφορετικής δυναμικότητας,

**Πίνακας 1:** Υποθέσεις για το κόστος και τον όγκο της παραγωγής βάσει του τύπου της γραμμής

Γραμμή παραγωγής	Κόστος εγκατάστασης ( εκατ. €)	Επιφάνεια παραγωγής (Km <sup>2</sup> /χρόνο)
Πρωτότυπη/πilotική	0.53	20
Ενδιάμεση	1.5	264
Βιομηχανική	6.3	6300

Για τον πιθανοθεωρητικό υπολογισμό του κόστους παραγωγής ΟΦΒ με τη χρήση της μεθόδου Monte Carlo ( $i = 100,000$  επαναλήψεις) χρησιμοποιήθηκε η σχέση

$$C_i = \frac{E_i + P_i + L_i + V_i + M_i + U_i + O_i}{1000 * PCE_i * GFF_i}$$

Όπου

$C_i$  κόστος ΟΦΒ στοιχείου, σε US\$/Wp

$E_i$  ετήσιο κόστος κατασκευαστικού εξοπλισμού, σε US\$/m<sup>2</sup>

$P_i$  ετήσιο κόστος μονάδας εγκατάστασης, σε US\$/m<sup>2</sup>

$L_i$  κόστος εργασίας σε US\$/m<sup>2</sup>

$V_i$  κόστος γενικών εξόδων (υπερκεφαλικά), σε US\$/m<sup>2</sup>

$M_i$  κόστος υλικών, σε US\$/m<sup>2</sup>

$U_i$  κόστος ενέργειας και άλλων συναφών, σε US\$/m<sup>2</sup>

$O_i$  κόστος λειτουργίας και συντήρησης, σε US\$/m<sup>2</sup>

$PCE_i$  απόδοση ισχύος ΦΒ στοιχείου (σε %) μετρημένη υπό ακτινοβολία 1000 W/m<sup>2</sup>

$GFF_i$  γεωμετρικός συντελεστής πλήρωσης (ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας της ενεργού περιοχής προς όλη την επιφάνεια του φωτοβολταϊκού)

Οι παράμετροι  $E_i$  και  $P_i$  υπολογίστηκαν βάση του αρχικού κόστους του κατασκευαστικού εξοπλισμού ( $EI_i$ ), και της αρχικής επένδυσης για την εγκατάσταση ( $PI_i$ ) με τη χρήση των σχέσεων

$$E_i = \frac{EI_i d_i}{1 - (1 + d_i)^{-Y_i}}$$

$$P_i = \frac{PI_i d_i}{1 - (1 + d_i)^{-Y_i}}$$

Δηλαδή για κάθε επανάληψη (i) υπολογίστηκαν σταθερά ετήσια ράντα για χρονικό διάστημα  $Y_i$  έτη και συντελεστή προεξόφλησης  $d_i$  έτσι ώστε το άθροισμα να είναι ίσο με το αρχικό κόστος  $EI_i$  και  $PI_i$ . Επίσης για κάθε επανάληψη (i) υπολογίστηκε συντελεστής για οικονομίες κλίμακας στο αρχικό κόστος, στο ετήσιο εργατικό κόστος και στα υπερκεφαλικά κόστη μέσω των σχέσεων

$$EI_i = EI_0(1 - S_i)^{n(EI)_i}$$

$$L_i = L_0(1 - S_i)^{n(L)_i}$$

$$V_i = V_0(1 - S_i)^{n(O)_i}$$

Όπου για παράδειγμα το αρχικό κόστος  $EI_i$  για την i επανάληψη προκύπτει από τη διαδικασία μεγέθυνσης της πιλοτικής γραμμής κόστους  $EI_0$  κατά τον παράγοντα μεγέθυνσης  $S_i$  που αναπαριστά το ποσοστό μείωσης του κόστους σε % για κάθε διπλασιασμό του μεγέθους  $n(EI)_i$ .

Ο τύπος που χρησιμοποιήσαν για τον υπολογισμό του LCOE είναι

$$LCOE = \frac{M_0 + B_0 + \sum_t \frac{(M_t + B_t + O_t)}{(1 + d)^t}}{\sum_t \frac{(E_t)}{(1 + d)^t}}$$

Όπου

$M_0$  είναι η αρχική τιμή του ΟΦΒ στοιχείου συμπεριλαμβανομένων των περιθωρίων (margins) ανά εγκατεστημένο  $Wp$

$B_0$  είναι το αρχικό κόστος του ΒοS ανά εγκατεστημένο  $Wp$

$M_t$  είναι η τιμή της αντικατάστασης των ΟΦΒ στοιχείου το έτος t (για εγκατάσταση ΟΦΒ με διάρκεια ζωής 10 έτη και διάρκεια ζωής των ΟΦΒ στοιχείων 5 έτη)



$B_t$  είναι το κόστος του του BoS που σχετίζεται με την αντικατάσταση μονάδων το έτος  $t$  (πάλι ισχύει μόνο για ΟΦΒ στοιχεία με διάρκεια ζωής 5 ετών)

$O_t$  είναι το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ανά εγκατεστημένο  $W_p$  το έτος  $t$

$E_t$  είναι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από κάθε  $W_p$  εγκατεστημένης μονάδας το έτος  $t$

$d$  είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο

$t$  το έτος του λειτουργικού χρόνου ζωής

Για τη κάθε μεταβλητή όρισαν ένα εύρος ισοπίθανων αρχικών τιμών (ομοιόμορφη κατανομή) για κάθε επανάληψη της μεθόδου Monte Carlo ενώ οι παράμετροί που χρησιμοποιήσαν για το μοντέλο φαίνονται στο Διάγραμμα 15.

Component	Assumption (for costs, present day costs assumed)
Module margin	Assumption of 10% (following Azzopardi et al. [13])
Installation costs (current costs assumed)	US\$0.51/Wp [12], with OPV replacement of module cost US\$0.26/Wp (estimated at half original installation cost [13])
Balance of system component costs (current costs assumed)	For roof-mounted: US\$0.6/Wp (of which inverter US\$0.55, energy meter US\$0.04 [12]) For ground-mounted, US\$0.3/Wp (combined) [39]
O&M costs	Annual cost of 0.5% of initial Module plus Balance of Systems cost [12]
System lifetime	20 years for Balance of Systems components 20 years for c-Si, CIGS, CdTe modules 5–10 years for OPV modules
Module degradation rate	Linear 1% per year for c-Si, CIGS, CdTe modules Linear 4% per year for OPV (5 year lifetime) Linear 2% per year for OPV (10 year lifetime) [12]
Discount/finance rate	10% (illustrative private borrowing rate)
Irradiance level	Assumed at 1700 kWh/m <sup>2</sup> /yr with performance ratio of 0.8

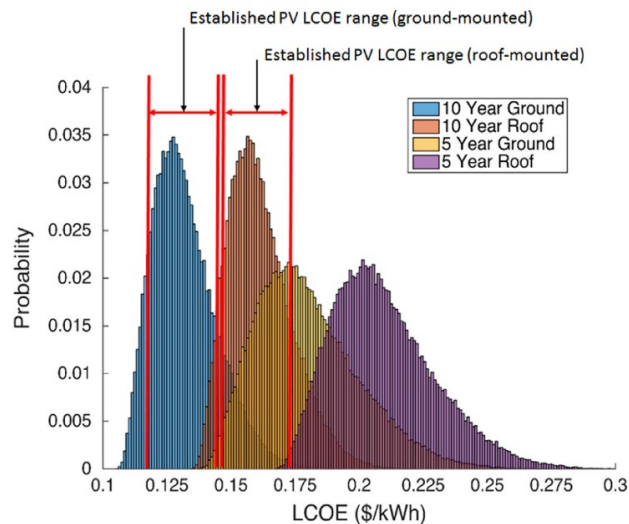
**Διάγραμμα 14:** Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για το LCOE«Πηγή» (Gambhir, Sandwell, and Nelson 2016)

Βάσει της ανάλυσης κατέληξαν για το κόστος των ΟΦΒ στην ενδιάμεση τιμή 0.28\$/ $W_p$ . Για την ανάλυση ευαισθησίας χρησιμοποίησαν πάλι τη Monte Carlo μέθοδο όπου όμως οι αρχικές τιμές εισαγωγής των μεταβλητών του κόστους θεωρήθηκε ότι έχουν μια κανονική κατανομή, με κέντρο κοντά στον μέσο του πάνω και του κάτω ορίου που επιλέχτηκε να ορίζουν το 95% των τυχαίων τιμών εισαγωγής. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας οι εισροές που έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στο τελικό κόστος των ΟΦΒ στοιχείων είναι

- Το μέγεθος της εγκατεστημένης γραμμής παραγωγής
- Το κόστος των υλικών

- Ο γεωμετρικός συντελεστής πλήρωσης
- Η απόδοση των ΟΦΒ στοιχείων

Στο Διάγραμμα 16 δίνεται το LCOE που υπολογίστηκε για ΟΦΒ στοιχεία με λειτουργικό χρόνο ζωής πέντε ή δέκα χρόνια ενώ δίνεται και το αντίστοιχο LCOE για τις καθιερωμένες τεχνολογίες ΦΒ.

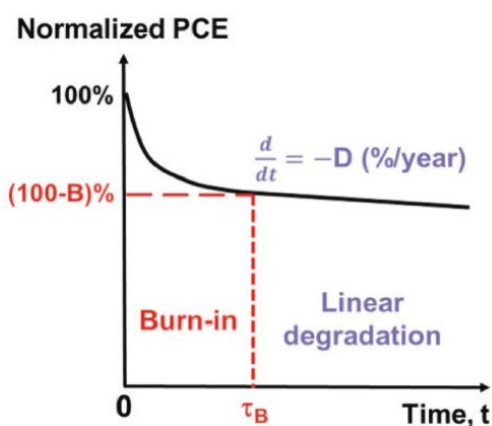


**Διάγραμμα 15:** Κατανομή του LCOE για ΟΦΒ συστήματα επίγειας εγκατάστασης ή σε οροφές κτηρίων και για λειτουργικό χρόνο πέντε ή δέκα έτη. Οι κόκκινες κάθετες γραμμές ορίζουν το εύρος του κόστους των καθιερωμένων ΦΒ τεχνολογιών. «Πηγή» (Gambhir, Sandwell, and Nelson 2016)

Το LCOE των καθιερωμένων ΦΒ κυμαίνεται από 0.115-0.142\$/KWh για επίγειες εγκαταστάσεις, με το αντίστοιχο διατεταρτημοριακό (25° – 75° εκατοστημόριο) διάστημα για τα ΟΦΒ με λειτουργικό χρόνο ζωής 10 έτη να είναι 0.1223-0.139\$/KWh (μέσος 0.130\$/KWh). Για εγκαταστάσεις σε οροφές το LCOE των καθιερωμένων ΦΒ κυμαίνεται από 0.144-0.170\$/KWh με το αντίστοιχο για τα ΟΦΒ με λειτουργικό χρόνο ζωής 10 έτη να είναι 0.152-0.169\$/KWh(μέσος 0.160\$/KWh). Στην περίπτωση που ο λειτουργικός χρόνος ζωής των ΟΦΒ είναι 5 έτη το εύρος του κόστους είναι πολύ υψηλότερο από αυτό των καθιερωμένων ΦΒ. Από τα αποτελέσματα γίνεται σαφές πως το LCOE των ΟΦΒ μπορεί να γίνει ανταγωνιστικό σε σχέση με τις καθιερωμένες τεχνολογίες ΦΒ, δεδομένου πως ο λειτουργικός χρόνος ζωής τους είναι 10 χρόνια. Έτσι, δεδομένης της ευαισθησίας του LCOE στα τρία χαρακτηριστικά κόστος, απόδοση και λειτουργικός χρόνος ζωής, η σωστή στόχευση για την περαιτέρω βελτίωσή τους είναι παράγοντες κλειδιά για την καθιέρωση των ΟΦΒ ως ανταγωνιστικά συστήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα. Ενώ, απαντώντας στο ερώτημα γιατί θα πρέπει να επενδυθούν κεφάλαια για την περαιτέρω ανάπτυξη των ΟΦΒ, οι συντάκτες απαριθμούν μια σειρά από πλεονεκτήματα που καθιστούν τη συγκεκριμένη τεχνολογία μοναδική όπως :

- Το πολύ χαμηλότερο energy payback time (EPBT)
- Η απλούστερη παραγωγική διαδικασία
- Η χαμηλότερη απαιτούμενη αρχική επένδυση
- Η δυνατότητα παραγωγής σε εύκαμπτες επιφάνειες
- Η χρήση υλικών που βρίσκονται σε αφθονία

Το 2021 ο Balder A. Nieto-Díaz ακολούθησαν ανάλογες με τις προαναφερθείσες αναλύσεις για τον υπολογισμό του LCOE, αλλά εισήγαγαν στο μοντέλο τους μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση για τον ρυθμό μείωσης της απόδοσης των ΟΦΒ και των φωτοβολταϊκών τύπου οργανικού-ανόργανου περοβσκίτη (ΠΒΦ). (Nieto-Díaz, Crossland, and Groves 2021) Βάσει των μέχρι τώρα αναφορών, η συμπεριφορά αυτή φαίνεται να είναι κοινή και για τις δυο τεχνολογίες των αναδυόμενων ΦΒ, τα οποία υφίστανται μια αρχική γρήγορη πτώση της απόδοσης και έπειτα μια πιο αργή γραμμική μείωση. Στο Διάγραμμα 17 παρουσιάζεται η διαγραμματική απεικόνιση μιας τυπικής μείωσης στις απόδοσης, με την αρχική πτώση (burn-in period) να την συμβολίζουν με B και τον ρυθμό της γραμμικής πτώσης με D.



**Διάγραμμα 16:** Διαγραμματική απεικόνιση μια τυπικής μείωσης της απόδοσης (PCE) των αναδυόμενων ΦΒ. «Πηγή» (Nieto-Díaz, Crossland, and Groves 2021)

Για τον αντίστοιχο υπολογισμό του LCOE χρησιμοποίησαν τη βασική σχέση της παρούσας αξίας του ολικού κόστους ως προς την παρούσα αξία της παραγόμενης ενέργειας, προεξοφλημένα στο παρόν

$$LCOE = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^l \frac{C_t}{(1+d)^t}}{\sum_{t=1}^l \frac{E_t}{(1+d)^t}}$$

Όπου

$I_0$  είναι το κόστος εγκατάστασης σε US\$

$C_t$  είναι το συνολικό κόστος το έτος  $t$  σε US\$, περιλαμβάνοντας το λειτουργικό κόστος και το κόστος αντικατάστασης των πάνελ/μετατροπέων στο τέλος ζωής τους

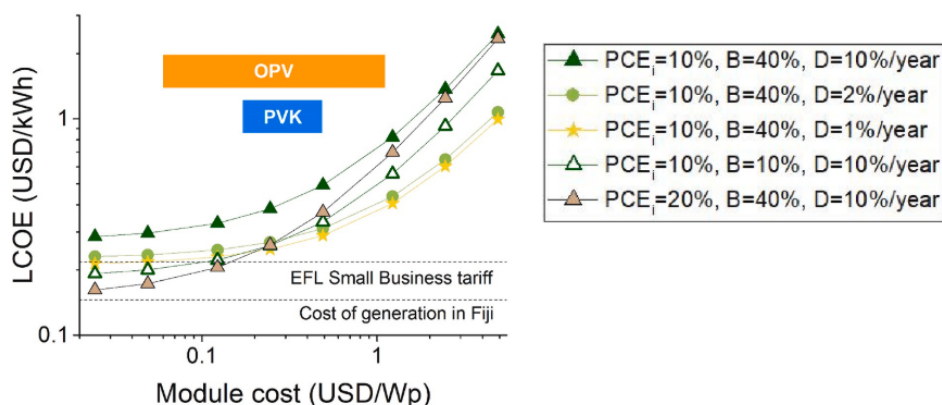
$E_t$  είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το έτος  $t$  σε kWh

$t$  το έτος του λειτουργικού χρόνου ζωής

$l$  είναι ο συνολικός λειτουργικός χρόνος ζωής του έργου μετρούμενο σε έτη

$d$  είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο

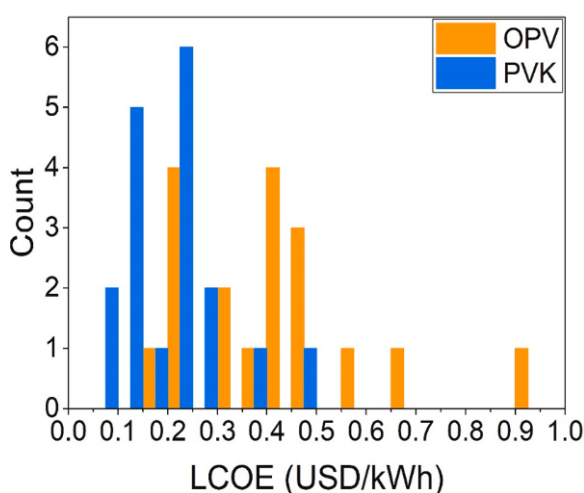
Για την ανάλυση χρησιμοποιήσαν σαν υπόθεση μια εγκατάσταση διασυνδεδεμένου συστήματος ΦΒ στη περιοχή Suva, των νησιών Fiji λόγω της εκτεταμένης ετήσιας ηλιοφάνειας. Συγκεκριμένα, υπέθεσαν για το μοντέλο τους, ένα σύστημα εγκατεστημένης αρχική ονομαστικής ισχύος  $5.5MW_p$ , με τοπικό συντελεστή προεξόφλησης 10% και χρήσιμο χρόνο ζωής του έργου 20 έτη. Στην ανάλυση που έκαναν (Διάγραμμα 18) για το πως επηρεάζουν οι παράμετροι της αρχικής απόδοσης ( $PCE_i$ ), burn-in (B) και γραμμική πτώση της απόδοσης (D) το LCOE, βρήκαν πως για χαμηλό κόστος ΦΒ συστημάτων (module cost) το LCOE είναι πιο ευαίσθητο στο  $PCE_i$  και στο B, ενώ για υψηλό κόστος το  $PCE_i$  φαίνεται να έχει πολύ περιορισμένη επίδραση. Άρα η επίδραση του B στο LCOE, γενικά φαίνεται να είναι πολύ έντονη ανεξαρτήτως του κόστους των ΦΒ συστημάτων.



**Διάγραμμα 17:** Επίδραση του αρχικού κόστους των ΦΒ συστημάτων (module cost) στο LCOE, σε σχέση με την αρχική απόδοση ( $PCE_i$ ), το burn-in (B) και τη γραμμική πτώση της απόδοσης (D). Τα οριζόντια πορτοκαλί και μπλε πλαίσια δίνουν τα όρια του εκτιμημένου κόστους των ΟΦΒ (OPV) και ΠΦΒ (PVK) συστημάτων. Οι οριζόντιες διακεκομμένες γραμμές δίνουν τα όρια του LCOE στα νησιά Fiji. «Πηγή» (Nieto-Díaz, Crossland, and Groves 2021)

Έπειτα χρησιμοποιώντας βέλτιστες τιμές της αρχικής απόδοσης ( $PCE_i$ ), burn-in (B) και της γραμμικής πτώσης της απόδοσης (D) εργαστηριακά ανεπτυγμένων ΟΦΒ και ΠΦΒ, υπολόγισαν το LCOE για αντικατάσταση των ΦΒ κάθε 2, 5, 10 και 20 χρόνια. Οι άλλοι

παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ίδιοι με παραπάνω (δηλ.  $5.5\text{MW}_p$ , συντελεστή προεξόφλησης 10% και χρήσιμο χρόνο ζωής του έργου 20 έτη) ενώ για το κόστος ανάπτυξης των ΦΒ συστημάτων υπέθεσαν πως είναι ίσο με αυτό των ΦΒ πυριτίου ( $0.245\text{ US\$/Wp}$ ), καθώς το εύρος των τιμών που έχουν παρουσιαστεί στη βιβλιογραφία είναι αρκετά μεγάλο. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 19, συνολικά οκτώ τελικές προβλεφθείς τιμές για τα ΠΦΒ και δύο για τα ΟΦΒ είναι κάτω από τη μέγιστη τιμή πώλησης στα νησιά Figi ( $0.22\text{ US\$/KWh}$ ), ενώ επτά από τις τιμές για τα ΠΦΒ είναι χαμηλότερες και από την ελάχιστη τιμή πώλησης του ρεύματος ( $0.15\text{ US\$/KWh}$ ). Σημειώνοντας, πως αν κάποιες από τις προβλέψεις των πιθανών τεχνικών βελτιώσεων επιτευχθεί για τα ΟΦΒ και ΠΦΒ, τα συστήματα αυτά θα μπορούσαν να γίνουν ανταγωνιστικά στον κλάδο της βιομηχανικής πώλησης ηλεκτρικού ρεύματος.



**Διάγραμμα 18:** Πρόβλεψη LCOE για ΟΦΒ και ΠΦΒ βάσει των βέλτιστων συσκευών που έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία συναρτήσει του αριθμού αντικατάστασης των αντίστοιχων στοιχείων κάθε 2,5 10 και 20 έτη για συνολικό χρόνο ζωής του έργου. «Πηγή» (Nieto-Díaz, Crossland, and Groves 2021)

Το 2022 οι Nieto-Díaz κ.α. δημοσίευσαν μια καινούργια μελέτη ακολουθώντας την LCOE ανάλυση που παρουσιάστηκε παραπάνω αλλά διερεύνησαν την εξάρτηση της τοποθεσίας στην ανταγωνιστικότητα των αναδυόμενων ΦΒ.(Nieto-Díaz, Crossland, and Groves 2022) Επιλέχθηκαν οκτώ χώρες που διαφέρουν στο επίπεδο ηλιοφάνειας, ευνοϊκού πλαισίου επενδύσεων, εργατικό κόστος και κόστος γης, διερευνώντας ποια από αυτά τα χαρακτηριστικά τοποθετούν τα ΟΦΒ και ΠΦΒ πιο κοντά στην αγορά, η οποία κυριαρχεί από τα ΦΒ πυριτίου. Οι χώρες αυτές είναι οι

- A. ΗΠΑ, καθώς αποτελεί μια από τρεις μεγαλύτερες αγορές ΦΒ,
- B. Βραζιλία, υψηλό συντελεστή προεξόφλησης
- C. Αυστραλία, λόγω υψηλού επιπέδου ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια του έτους

- D. Ινδία, πολύ χαμηλό κόστος εγκατάστασης
- E. Ιαπωνία, υψηλό κόστος εγκατάστασης
- F. Νότια Αφρική, εκτεταμένη ηλιοφάνεια/υψηλό συντελεστή προεξόφλησης και πληθωρισμού
- G. Ηνωμένο Βασίλειο, χαμηλό επίπεδο ηλιοφάνειας
- H. Ισπανία, υψηλό επίπεδο ηλιοφάνειας

Η τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για τη διερεύνηση παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 20, όπως επίσης και το εκτιμημένο LCOE για κάθε χώρα.

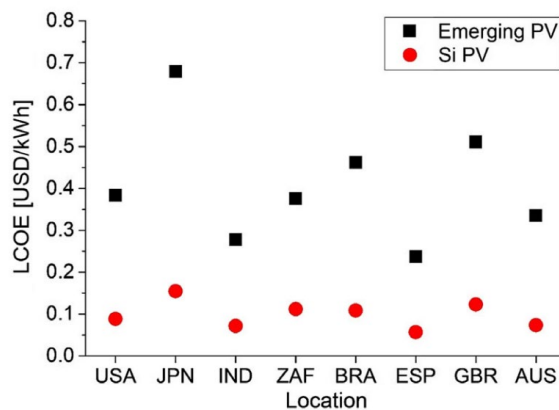
	PV <sup>a)</sup> Yield [kWh kWp <sup>-1</sup> ] <sup>[3]</sup>	Peak sun hours [hours] <sup>[4]</sup>	Capital cost [USD kW <sup>-1</sup> ] <sup>[1]</sup>	DCR [%] <sup>[5,6]</sup>	Inflation rate [%] <sup>[7]</sup>	Emerging PV LCOE [USD kWh <sup>-1</sup> ]
USA	1558	1710	1107	6.5	1.8	0.3833
Japan	1223	1346	1864	4	0.5	0.6793
India	1568	1842	585	9	7.7	0.2777
South Africa	1826	1994	1009	11.5	4.1	0.3755
Brazil	1562	1829	1194	9	3.7	0.4622
Spain	1568	1649	685	5.5	0.7	0.2376
UK	913	976	900	5.75	1.7	0.5111
Australia	1802	2010	1187	5.75	1.6	0.3356

<sup>a)</sup>PV: photovoltaic; DCR: discount rate; LCOE: levelized cost of energy

**Διάγραμμα 19:** Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε χώρα και η μέση τιμή του LCOE που εκτιμήθηκε για τα αναδυόμενα ΦΒ. «Πηγή» (Nieto-Díaz, Crossland, and Groves 2022)

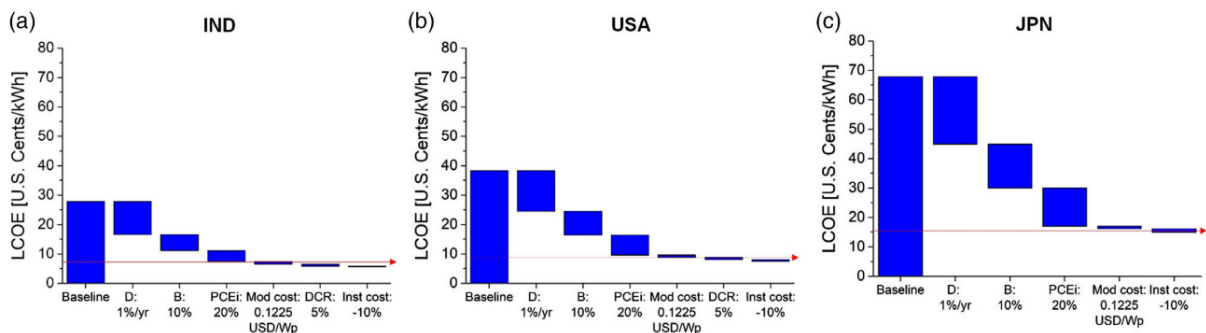
Για τη μελέτη θεωρήθηκε πως κάθε σύστημα είναι εγκατεστημένης αρχική ονομαστικής ισχύος 5.5MWp, και χρήσιμο χρόνο ζωής του έργου 20 έτη. Το LCOE υπολογίστηκε για ΦΒ πυριτίου με τεχνικά χαρακτηριστικά,  $PCE_i = 20\%$ , burn-in (B)=2% και  $D=0.7\%/έτος$ , και για τα αναδυόμενα ΦΒ (ΟΦΒ,ΠΦΒ) με τεχνικά χαρακτηριστικά  $PCE_i = 10\%$ , burn-in (B)=40% και  $D=10\%/έτος$ . Για τα αναδυόμενα ΦΒ θεωρήθηκε πως θα αντικαθίστανται κάθε 5 χρόνια με κόστος ανακαίνισης 10% του αρχικού κόστους συν το κόστος επανεγκατάστασης νέων ΦΒ συστημάτων (modules). Από τα αποτελέσματα της μελέτης (Διάγραμμα 21) φάνηκε πως τα ΦΒ πυριτίου αναμένεται να έχουν χαμηλότερο LCOE από τα αναδυόμενα ΦΒ, αλλά η διαφορά μεταξύ τους εξαρτάται από τη τοποθεσία. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων φαίνεται πως η διάθεση ακριβών επενδυτικών κεφαλαίων (υψηλός συντελεστής προεξόφλησης) δεν είναι υποχρεωτικά αποτρεπτικός παράγοντας για χαμηλό LCOE, καθώς η Ινδία με τον δεύτερο υψηλότερο συντελεστή μπορεί να πετύχει αρκετά χαμηλό LCOE. Επίσης το Ηνωμένο βασίλειο παρόλη τη χαμηλής διάρκειας ηλιοφάνεια μπορεί να πετύχει χαμηλότερο LCOE από αυτόν της Ιαπωνίας που έχει μεγαλύτερης διάρκειας ηλιοφάνεια. Από στατιστική ανάλυση στο σύνολο των αποτελεσμάτων φάνηκε πως μεγάλη επίδραση στο LCOE έχει ο συντελεστής προεξόφλησης, δηλαδή αύξηση του συντελεστή

προεξόφλησης προκαλεί ταχεία αύξηση του LCOE. Οι συντάκτες το συνέδεσαν με την απαίτηση για γρήγορη και υψηλή απόδοση που θα πρέπει να έχει μια επενδύσεις με υψηλό συντελεστή προεξόφλησης ώστε να είναι θετική η παρούσα αξία, και της γρήγορης αρχικής πτώσης της απόδοσης των αναδυόμενων ΦΒ. Επίσης το κόστος εγκατάστασης έχει υψηλή συσχέτιση με το LCOE και για τους δύο τύπους φωτοβολταϊκών (αναδυόμενα, πυριτίου), όπου όμως σημειώνουν υπάρχει πολύ περιθώριο μείωσης του κόστους για τα αναδυόμενα ΦΒ καθώς έχουν τη δυνατότητα να τοποθετηθούν με αυτοκόλλητες ταινίες που θα βρίσκονται στο πίσω μέρος της του πάνελ.



**Διάγραμμα 20:** Εκτιμημένο LCOE ΦΒ πυριτίου και αναδυόμενων ΦΒ για κάθε χώρα της μελέτης. «Πηγή»(Nieto-Díaz, Crossland, and Groves 2022)

Μελέτησαν, επίσης, τα τεχνικοοικονομικά χαρακτηριστικά των αναδυόμενων φωτοβολταϊκών που θα έπρεπε να βελτιωθούν σε κάθε χώρα ώστε να καταστούν ανταγωνιστικά. Διερευνήθηκαν οι υποθέσεις όπου τα αναδυόμενα ΦΒ με τυπικά τεχνικά χαρακτηριστικά ( $PCE_i = 10\%$ , burn-in (B)=40%,  $D=10\%/έτος$  και κόστος  $0.245US\$/W_p$ ) βελτιωθούν σε  $PCE_i = 20\%$ , burn-in (B)=10%,  $D=1\%/έτος$  το κόστος να μειωθεί κατά 50%, ο συντελεστής προεξόφλησης στο 5%, και το κόστος εγκατάστασης των πάνελ να μειωθεί κατά 10%.



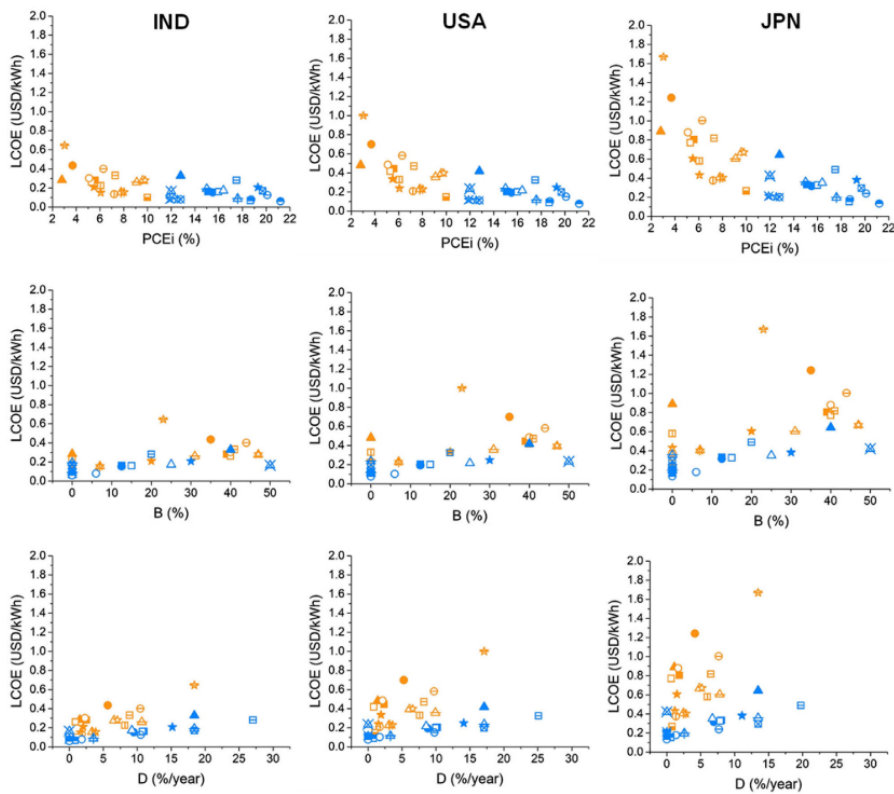
**Διάγραμμα 21:** Βηματική μείωση του LCOE των αναδυόμενων ΦΒ ( $PCE_i = 10\%$ , burn-in (B)=40%,  $D=10\%/έτος$  και κόστος  $0.245US\$/W_p$ ) μέσω της μείωσης των  $D=1\%/έτος$ ,  $B=10\%$ , του συντελεστής

προεξόφλησης στο 5%, του κόστους των ΦΒ κατά 50% ( $0.1225 \text{ US\$/W}_p$ ), του κόστους εγκατάστασης 10% και αύξηση του  $\text{PCE}_i = 20\%$  στην Ινδία, ΗΠΑ και Ιαπωνία. (η κόκκινη παράλληλη γραμμή δείχνει το LCOE των ΦΒ πυριτίου) «Πηγή» (Nieto-Díaz, Crossland, and Groves 2022)

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της ανάλυσης στο Διάγραμμα 22 (παρουσιάζονται μόνο τρεις από όλες τις χώρες της μελέτης), βρέθηκε πως σε όλες τις περιπτώσεις το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να γίνει ανταγωνιστικό σε σχέση με το κόστος παραγωγής από τα ΦΒ πυριτίου. Τονίζεται πως σημαντικό σημείο είναι η επίδραση των τεχνικό-οικονομικών παραμέτρων στη μείωση του LCOE που διαφέρει από χώρα σε χώρα. Για παράδειγμα το LCOE στην Ινδία μπορεί να γίνει ανταγωνιστικό σε σχέση με τα ΦΒ πυριτίου βελτιώνοντας το PCE, το D και B ενώ σε άλλες χώρες πρέπει να γίνει περεταίρω μείωση και του κόστους παρασκευής των ΟΦΒ και ΠΦΒ. Επίσης, η μείωση του συντελεστή προεξόφλησης επιφέρει μια μείωση του LCOE κατά 6% στη Νότια Αφρική, 4% στην Βραζιλία και 1-2 % στις υπόλοιπες χώρες. Συνυπολογίζοντας όλες τις παραμέτρους βελτίωσης των αναδυόμενων ΦΒ, υπολόγισαν πως μπορεί να υπάρξει μια μείωση του LCOE από περίπου 79% ως 83% για κάθε χώρα σε σχέση με την αρχική τιμή που θεωρήθηκε ως βάση της ανάλυσης.

Τέλος, Βασιζόμενοι στα τεχνικά χαρακτηριστικά που έχουν δημοσιευτεί στη διεθνή βιβλιογραφία για εργαστηριακής κλίμακας συσκευές (ενεργή επιφάνεια  $<1 \text{ cm}^2$ ) αναδυόμενων ΦΒ, και με την υπόθεση πως αυτά θα μπορέσουν να εφαρμοστούν και σε βιομηχανικής κλίμακας συσκευές (ιστορικά υπάρχει υστέρηση 5 ετών), δημιούργησαν ένα διάγραμμα για το LCOE βάσει των χαρακτηριστικών τους. Για την ανάλυση υποτέθηκε, ξανά, πως το έργο θα έχει χρήσιμο χρόνο ζωής 20 χρόνια, αρχική ονομαστική ισχύ  $5.5 \text{ MW}_p$ , και κόστος κατασκευής των ΦΒ στοιχείων  $0.245 \text{ US\$/W}_p$  με τα τοπικά χαρακτηριστικά (ηλιοφάνεια, πληθωρισμός, συντελεστής προεξόφλησης, και λοιπά κόστη) για κάθε χώρας να διαφοροποιούνται ανάλογα. Στο Διάγραμμα 23 φαίνεται η ανάλυση για τρεις χώρες (Ινδία, ΗΠΑ, Ιαπωνία), όπου διακρίνεται πως τα ΠΦΒ μπορούν να επιτύχουν χαμηλότερο LCOE λόγω των υψηλότερων αποδόσεων που έχουν δημοσιευτεί, ενώ πάλι διακρίνεται η σημασία που έχουν τα χαρακτηριστικά κάθε χώρας στην πρόβλεψη του LCOE.





**Διάγραμμα 22:** Προβλεπόμενο LCOE των οργανικών φωτοβολταϊκών (πορτοκαλί) και φωτοβολταϊκών περοβσκήτη (μπλε) για Ινδία, ΗΠΑ και Ιαπωνία, βάσει των βέλτιστων δημοσιευμένων χαρακτηριστικών  $PCE_i$ , B και D. «Πηγή» (Nieto-Díaz, Crossland, and Groves 2022)

Στο Διάγραμμα 24 παρουσιάζεται η συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ των επιμέρους τεχνικών παραμέτρων ( $PCE_i$ , B, D) των ΟΦΒ και ΠΦΒ, και του LCOE για τις τρεις χώρες, δείχνοντας ξανά πως το προβλεπόμενο LCOE για τα αναδυόμενα ΦΒ εξαρτώνται από τη χώρα που θα αναπτυχθούν και θα εφαρμοστούν.

LCOE correlation versus	OPVs in			PVKs in		
	INDIA	USA	JAPAN	INDIA	USA	JAPAN
$PCE_i$	-0.55	-0.64	-0.68	-0.14	-0.24	-0.32
B	0.50	0.46	0.45	0.67	0.73	0.79
D	0.77	0.69	0.64	0.86	0.79	0.72

**Διάγραμμα 23:** Στατιστική ανάλυση του LCOE των ΟΦΒ και ΠΦΒ σε κάποιες από τις χώρες της μελέτης. «Πηγή» (Nieto-Díaz, Crossland, and Groves 2022)

## 2.2 Εναλλακτικές Αγορές για τα Φωτοβολταϊκά Τρίτης Γενιάς

Οι πρώτες αναλύσεις βιωσιμότητας για της παραγωγής των αναδυόμενων ΦΒ έγιναν το 2009, όπως παρουσιάστηκαν στη παράγραφο 2.1. Το 2010 το μέσο LCOE για τα ΦΒ πυριτίου ήταν 0.378 US\$/KWh ενώ μειώθηκε στα 0.068 US\$/KWh το 2019 (Διάγραμμα 3). Αυτή η μεγάλη πτώση στο LCOE των ΦΒ πυριτίου δημιούργησε εμπόδιο εισόδου στην αγορά για τα αναδυόμενα ΦΒ. Έτσι, βασιζόμενοι στα μοναδικά χαρακτηριστικά τους (Κεφάλαιο 1.2) προτάθηκαν νέες εφαρμογές, που θα επέτρεπαν την είσοδο σε αυτές τις αγορές όπου δεν μπορούν να εφαρμοστούν τα ΦΒ πυριτίου. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά κάποιες από αυτές τις εφαρμογές.(Xiao and Li 2022; Wu et al. 2021)

### A. Ενσωματωμένα σε κτιριακές εγκαταστάσεις (building integrated solar cells).

Βασιζόμενοι στο ελάχιστο βάρος τους, όπως και στην επιλογή του χρώματος και της διαφάνειάς τους, τα αναδυόμενα ΦΒ μπορούν να εγκατασταθούν σε κτιριακές εγκαταστάσεις όπου το φορτίο που μπορούν να σηκώσουν είναι χαμηλό με αποτέλεσμα να μην μπορούν να τοποθετηθούν ΦΒ πυριτίου.(Riede, Spoltore, and Leo 2021) Επίσης μπορούν να εφαρμοστούν πάνω σε τζάμια και να ρυθμιστεί το χρώμα και η διαφάνεια ανάλογα με τις ανάγκες της εγκατάστασης, ενώ στα “έξυπνα παράθυρα” ο βαθμός διαφάνειας μπορεί να ρυθμίζεται δυναμικά.(Διάγραμμα 25)

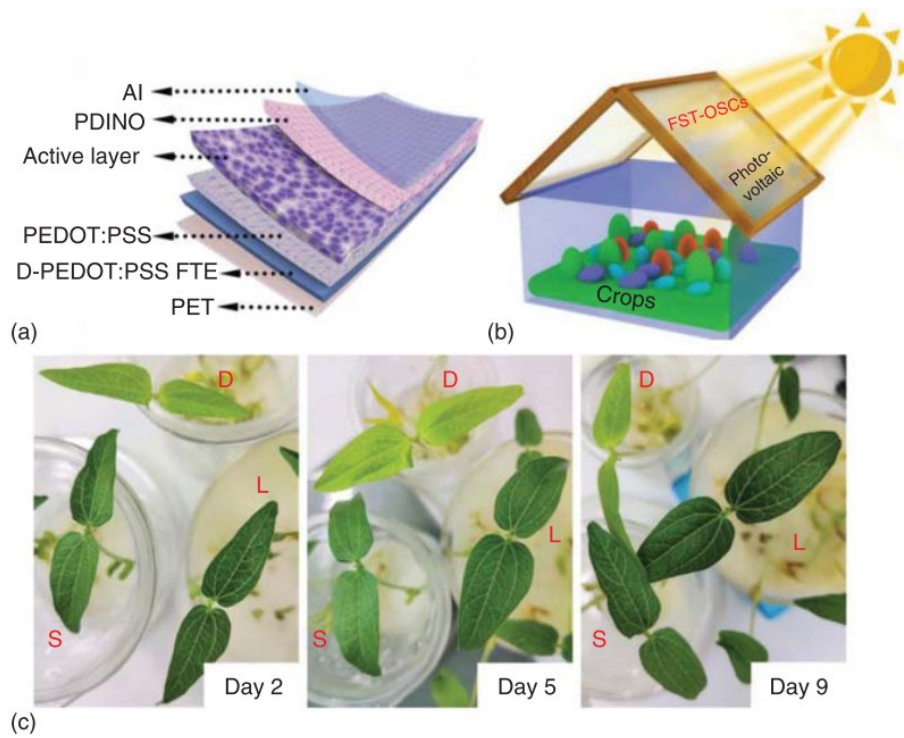


(a)

(b)

**Διάγραμμα 24:** Ημιδιάφανα ΟΦ (a) ενσωματωμένα σε κτιριακές εγκαταστάσεις με δυνατότητα (β) επιλογής του χρώματός τους. «Πηγή» (Brus et al. 2019)

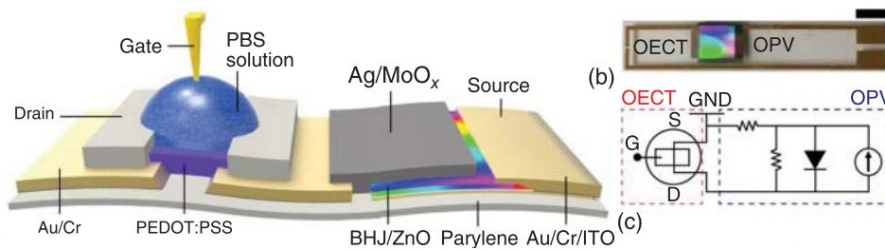
Η τοποθέτηση σε θερμοκήπια είναι μια εφαρμογή που έχει διερευνηθεί με ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, η δυνατότητα προσαρμογής του φάσματος απορρόφησης επιτρέπει τη διέλευση των χρήσιμων για τα φυτά (φωτομορφογένεση) φασμάτων φωτός και την απορρόφηση των υπολοίπων, λειτουργώντας ως πηγές ενέργειας των συστημάτων που ρυθμίζουν το εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου συνεισφέροντας στη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας για την λειτουργία τους (Διάγραμμα 26).



**Διάγραμμα 25:** (a) Δομή εύκαμπτου οργανικού φωτοβολταϊκού, (b) σχηματική απεικόνιση εγκατάστασης των οργανικών φωτοβολταϊκών σε θερμοκήπια, (c) φωτογραφία της ανάπτυξης των φύλλων Ροβίτσας (είδος φασολιού) υπό συνθήκες κανονικού φωτός (D) παρεμβάλλοντας ΟΦ (L) και στο σκοτάδι (D). «Πηγή» (Song et al. 2020)

#### B. Ενσωμάτωση σε φορητά συστήματα (wearable integrated)

Η ευκαμψία επιτρέπει τα ΟΦ να ενσωματωθούν ως συστήματα για τη παραγωγή ενέργειας σε φορητά συστήματα όπως ηλεκτρονικά ρολόγια, LEDs κ.α. όπως και για indoor εφαρμογές (πχ. ηλεκτρονικοί αισθητήρες) που θα μπορούν να επικοινωνούν συνέχεια με το διαδίκτυο βασισμένο στην ιδέα του internet of things. (Mathews et al. 2019) Επίσης έχουν παρουσιαστεί εφαρμογές για τη παροχή ενέργειας σε εμφυτεύματα (λόγω της βιοσυμβατότητας) που απαιτούν την χρήση ενέργειας και γενικά να δημιουργηθούν ολοκληρωμένα συστήματα σε συνδυασμό με την ευρύτερη νέα γενιά οργανικών και εύκαμπτων ηλεκτρονικών (Διάγραμμα 27).



**Διάγραμμα 26:** Σχηματική αναπαράσταση ενσωμάτωσης ΟΦ σε οργανικό ηλεκτροχημικό τρανζίστορ. «Πηγή» (Park et al. 2018)

### C. Ολοκληρωμένα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (Integrated Energy Storage System)

Μια άλλη εφαρμογή είναι η ολοκλήρωση με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, και ιδίως με νέες μπαταρίες λεπτών υμενίων - στερεάς κατάστασης (thin film solid state batteries) οι οποίες μπορούν να είναι εύκαμπτες (Διάγραμμα 28). Τα ολοκληρωμένα συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα εύρος από μικρό-εφαρμογές όπως βιοαισθητήρες και φορητές μικροσυσκευές ως μεγάλα συστήματα όπως φωτοβολταϊκά πάρκα. Πέρα από την αποθήκευση ενέργειας σε μπαταρίες, η χρήση των ΟΦ έχει προταθεί και για τη παραγωγή υδρογόνου μέσω της διάσπασης του νερού σε ηλεκτρολυτικά κελιά, όπου το παραγόμενο υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί μετέπειτα για την παραγωγή ενέργειας .



**Διάγραμμα 27:** Φωτογραφεία ενός ολοκληρωμένου συστήματος ΠΦΒ και εύκαμπτης μπαταρίας ενσωματωμένο σε έξυπνο ρολόι. «Πηγή»(Zhao et al. 2021)

### 3 Μακρο-περιβάλλον

Σε αυτό το Κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση PESTLE του παρόντος εξωτερικού περιβάλλοντος, δηλαδή θα περιγράψει το πολιτικό (Political), οικονομικό (Economic), κοινωνικό (Social), τεχνολογικό (Technological), νομικό (Legal) και περιβαλλοντικό (Environmental) πλαίσιο που θα επιχειρεί ο οργανισμός και ενδέχεται να επηρεάσουν την στρατηγική και τις δράσεις του. Στο Διάγραμμα 29 αποτυπώνονται σχηματικά κάποιοι γενικοί παράγοντες που θα πρέπει να διερευνηθούν για το κατά πόσο και πώς μπορούν να επηρεάσουν τον οργανισμό. Παρακάτω, θα αναλυθούν πρώτα οι παράγοντες του διεθνούς περιβάλλοντος και έπειτα θα γίνει εστίαση στο αντίστοιχο Κυπριακό.



**Διάγραμμα 28:** Σχηματική απεικόνιση σημαντικών παραγόντων που πρέπει να διερευνηθούν για κάθε πλαίσιο της ανάλυσης PESTLE.

#### 3.1 Διεθνές μακροπεριβάλλον

Για την αξιολόγηση του διεθνούς μακροπεριβάλλοντος λήφθηκαν υπόψη κυρίως οι περιοχές της Ασίας (κυρίως χώρες της άπω ανατολής), της Βόρειας Αμερικής και της Ευρώπης, καθώς συγκεντρώνουν τα περισσότερα κράτη που συμμετέχουν στην παραγωγή συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

### 3.1.1 Πολιτική

Οι πολιτικοί ηγέτες με προεξέχοντες αυτούς των πιο ανεπτυγμένων κρατών, υπό τη πίεση των πολιτών, έχουν αναγνωρίσει την ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος και την ανάγκη αλλαγής παραγωγικού και καταναλωτικού μοντέλου με ένα πιο φιλικό προς το περιβάλλον και τα οικοσυστήματα. Σε διεθνές επίπεδο οι περισσότεροι ηγέτες των κρατών έχουν δεσμευθεί με την υπογραφή της συμφωνίας του Παρισιού ώστε να: (European-Commission 2016)

- μειωθούν οι εκπομπές των αέριων ρύπων
- βελτιωθεί η διαφάνεια και ο παγκόσμιος απολογισμός
- βελτιωθεί η προσαρμοστικότητα των κοινωνιών στις κλιματικές αλλαγές
- ελαχιστοποιηθούν και να αντιμετωπισθούν οι πιθανές απώλειες και ζημιές που μπορεί να προκύψουν από τις πολιτικές για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής
- συμπεριλάβουν οι τοπικές και περιφερειακές αρχές στο σχεδιασμό τους πολιτικές για τη ανάλυση της κλιματικής αλλαγής
- παρέχουν υποστήριξη στις αναπτυσσόμενες χώρες ώστε να μετριάσουν την επιπτώσεις από την αλλαγή για την περιβαλλοντική προστασία

Συγκεκριμένα η ευρωπαϊκή ένωση στα πλαίσια της υπογραφής της συμφωνίας του Παρισιού έχει θέσει σαν στόχους ως το 2050 (European-Commission 2020)

- Την προστασία και διατήρηση και ενίσχυση του περιβαλλοντικού κεφαλαίου της ένωσης
- Την μετατροπή της σε μια αποδοτική, πράσινη και ανταγωνιστική οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα
- Να προστατέψει την υγεία και την ευημερία των ευρωπαίων πολιτών από απειλές και πιέσεις που συνδέονται με το περιβάλλον

Το πολιτικά μέσα που θα χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη των παραπάνω στόχων είναι

- Η καλύτερη εφαρμογή του κανονιστικού πλαισίου
- Η καλύτερη πληροφόρηση μέσω της βελτίωσης της βάσης δεδομένων
- Η αύξηση και καλύτερα στόχευση των επενδύσεων για την περιβαλλοντική και κλιματική πολιτική
- Η πλήρης ενσωμάτωση των περιβαλλοντικών αρχών και στις υπόλοιπες πολιτικές.
- Τη βελτίωση της βιωσιμότητας των πόλεων

Ένα άλλο πολιτικό στοιχείο που μπορεί να επηρεάσει τον μακροπρόθεσμο σχεδιασμό είναι η εμφάνιση αρκετών αυταρχικών και εθνικιστικών κυβερνήσεων που ενισχύουν την διαφθορά και βάζουν τεχνητούς φραγμούς στην υγιή ανταγωνιστικότητα και ανάπτυξη νέων επιχειρήσεων. Η αύξηση αυτών των κυβερνήσεων δημιουργεί συνθήκες αθέμιτου ανταγωνισμού σε παγκόσμιο επίπεδο, ενώ κατά τη διάρκεια της υγειονομικής κρίσης του COVID-19 πολλές από αυτές τις κυβερνήσεις διευρύναν τον αυταρχικό χαρακτήρα τους ενισχύοντας ακόμα περισσότερο την διαφθορά. (Morgan 2021)(Carothers and Wong 2022)

Η εκλογή του Donald Trump στην Προεδρία των ΗΠΑ το διάστημα 2017 ως το 2021 έδωσε το έναυσμα για την ανάσχεση της παγκοσμιοποίησης και την επιστροφή στις εθνικές οικονομίες. Πολλές χώρες έχουν συνταχτεί με αυτή την πολιτική αλλαγή, ανάμεσά τους και το Ηνωμένο βασίλειο που έχει αποχωρήσει από την κοινή Ευρωπαϊκή αγορά. Πιο πρόσφατο συμβάν σε αυτής της αναστροφή της παγκοσμιοποιημένης αγοράς είναι η προσπάθεια διακοπής των οικονομικών σχέσεων του “δυτικού” κόσμου με την Ρωσία ιδίως μετά την εισβολή στην Ουκρανία. Στο πλαίσιο αυτό πολλές χώρες δεν συντάχθηκαν με την θέση της επιβολής κυρώσεων, με αποτέλεσμα να υπάρχει η απειλή οικονομικών κυρώσεων αναμεσα στις οποίες είναι η Κίνα και η Ινδία. Αυτή η διαμορφούμενη κατάσταση δημιουργεί εξαιρετικά ρευστό παγκόσμιο πολιτικό σκηνικό που με τη σειρά του μπορεί να δυσχεράνει το εμπόριο, αυξάνοντας το κόστος των εισροών και μειώνοντας των αριθμό των αγορών που μπορούν να στοχεύσουν οι εταιρίες.

### **3.1.2 Οικονομία**

Μετά από μια 10ετη παγκόσμια ανάπτυξη με μέσο ρυθμό 3% η παγκόσμια οικονομία εμφάνισε μια δραματική πτώση στο -3.6 % το 2020 λόγω της πανδημίας του COVID-19. Το 2021 η παγκόσμια οικονομία ανέκαμψε ισχυρά με έναν μέσο ρυθμό 6.1% μετά την άρση των περισσότερων κοινωνικό-οικονομικών περιορισμών. Η μεγάλη αυτή διακύμανση στην οικονομική δραστηριότητα δημιούργησε πίεση στην παγκόσμια εφοδιαστική αλυσίδα και προκάλεσε την αύξηση του πληθωρισμού. Σε συνδυασμό με την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία οι παγκόσμιοι οργανισμοί προβλέπουν ρυθμό ανάπτυξη περίπου 3.6 % για τα επόμενα δύο χρόνια, χαμηλότερο από την αρχικά προβλεφθέντα, ενώ ο πληθωρισμός για το 2022 προβλέπεται στο 5.7 % για τις ανεπτυγμένες αγορές και 8.7 % για τις αναπτυσσόμενες οικονομίες.(IMF 2022) Για την ανάσχεση του πληθωρισμού η Ομοσπονδιακή τράπεζα της Αμερικής αναμένεται να αυξήσει δραστικά τα επιτόκια μέχρι τον Ιούνιο του 2022 στις 1.25% με 1.50%, που πιθανότητα θα προκαλέσουν μια αύξηση και τον διεθνών επιτοκίων δανεισμού αυξάνοντας το ρίσκο πτώχευσης για τις υπερδανεισμένες επιχειρήσεις και κράτη.(Ghosh and

Bhat 2022)Το ρίσκο αυτό έχει αυξηθεί για πολλές οικονομίες, καθώς κατά τη περίοδο του COVID-19 ο παγκόσμιος δανεισμός άγγιξε τα 226 τρισεκ. \$, παρουσιάζοντας τον μεγαλύτερο ρυθμός αυξήσεις στην ιστορία. (IMF 2021)

Άλλη επίπτωση της πανδημίας COVID-19 ήταν η απότομη αύξηση της ανεργίας το 2020 κατά μέσο όρο στο 8.8% στις χώρες του ΟΟΣΑ (οργανισμός οικονομικής συνεργασίας και ανάπτυξης) που μειώθηκε στο 5.73%.(OECD 2021). Παρόλη τη μείωση της ανεργίας που επιτεύχθηκε αργότερα, παρουσιάστηκε διεύρυνση των οικονομικών ανισοτήτων οι οποίες έπληξαν εντονότερα τις γυναίκες και τους εργαζομένους με χαμηλή ειδίκευση ή ελαστικές σχέσεις εργασίας.(World-Bank 2022)

Από την άλλη, οι παγκόσμιες επενδύσεις στον τομέα της ενεργειακής μετάβασης επέδειξαν μεγάλη αντοχή δεδομένης της γενικής οικονομικής κατάστασης φτάνοντας τα 755 δις. \$, αυξημένες σε σχέση με το 2020 που έφτασαν τα 595 δις. \$. Το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών των επενδύσεων κατευθύνθηκε στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας φτάνοντας τα 366 δις.\$ αυξημένα κατά 6.5% σε σχέση με το 2020. (BloombergNEF 2022)

### **3.1.3 Κοινωνία**

Η κοινωνική συνειδητοποίηση της συντελούμενης κλιματικής αλλαγής από ανθρωπογενής δραστηριότητες φαίνεται να θεμελιώνεται σταθερά, και πέρα από τη στάση των πολιτών στην κλιματική αλλαγή πολλές ομάδες λαμβάνουν ενεργητική δράση για την ευαισθητοποίηση όλο και μεγαλύτερου μέρους της κοινωνίας. (Taube et al. 2021)(Guskin, Clement, and Achenbach 2019). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της αλλαγής είναι η αύξηση στη δημοφιλία των ‘πράσινων’ κομμάτων, ιδίως στην Ευρώπη, σηματοδοτώντας της εισαγωγή στο δημόσιο διάλογο τον προβληματισμό και τις θέσεις για ένα πιο βιώσιμο μοντέλο ανάπτυξης. Συγκεκριμένα τα κόμματα Πράσινοι-Ευρωπαϊκή Ελεύθερη Συμμαχία αύξησε τις έδρες του στο ευρωπαϊκό κοινοβούλιο το 2019 λαμβάνοντας 69 από τις 705 σε σχέση με το 2014 που είχε 50 από τις 751.(Greens/EFA 2019) Την ίδια ώρα πολλά κόμματα της Ευρώπης εισάγουν στα καταστατικά τους σχεδιασμούς για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής ώστε να προσελκύσουν του ψηφοφόρους. (Debus and Tosun 2021)

Σε έρευνα που έγινε το 2021 σε 17 χώρες έδειξε πως η βιώσιμη ανάπτυξη συναποτελεί όλο και μεγαλύτερο μέρος των καταναλωτικών αποφάσεων, καθώς θεωρούν πως οι ίδιοι διαδραματίζουν το βασικό καταλυτικό παράγοντα για την αυτή την αλλαγής. Από τα αποτελέσματα της έρευνας φάνηκε πως το 85 % των πολιτών έχουν στραφεί προς πιο περιβαλλοντικά φιλικές καταναλωτικές συνήθειες, με τις νεότερες γενιές να είναι πιο



προσανατολισμένες προς αυτή την αλλαγή. Παρόλο που η τιμή και η ποιότητα συνεχίζουν να διατηρούν τα πρωτεύοντα κριτήρια στη καταναλωτική συμπεριφορά, στον βιομηχανικό κλάδο της παραγωγή ενέργειας η βιωσιμότητα αποτελεί το κύριο κριτήριο της καταναλωτικής συνήθειας για το μεγαλύτερο μέρος των πολιτών (74 %) , όντας το υψηλότερο σε σύγκριση με οποιοδήποτε άλλο κλάδο.(businesswire 2021)

### 3.1.4 Τεχνολογία

Η στρατηγική των επενδύσεων για έρευνα και ανάπτυξη (E&A) παρουσιάζει μεγάλη διαφοροποίηση από χώρα σε χώρα. Γενικά οι επενδύσεις στις Χώρες της ΟΣΑΑ παρουσίασαν χαμηλότερο ρυθμό αύξησης το 2020 της τάξης του 1.8 % σε σχέση με το 5% ένα χρόνο πριν. Σύμφωνα με τον ΟΟΣΑ, αιτία αυτής της μείωσης είναι η πανδημική κρίση COVID-19 σημειώνοντας όμως πως είναι η πρώτη φορά που μια παγκόσμια κρίση δεν οδηγεί σε μείωση των επενδύσεων. Αυτό καταδεικνύει την αναγνώριση από όλα τα μέρη πως οι επενδύσεις σε E&A έχουν σημαντικό ρόλο για να ξεπεραστούν οι κρίσεις.(OECD 2022) Η κινεζική οικονομία παραμένει η χώρα με τις μεγαλύτερες επενδύσεις σε E&A στο κόσμο ακολουθούμενη από τις ΗΠΑ, ενώ οι χώρες της Ευρωζώνης υστερούν κατά πολύ. Το ποσό που διατέθηκε το 2021 στην κινεζική οικονομία αγγίζει τα 621.5 δις.\$, στις ΗΠΑ τα 598.7 δις.\$, ενώ από τις χώρες της Ευρωζώνης η Γερμανία ήταν η χώρα με τις υψηλότερες επενδύσεις με μόλις 127.25 δις.\$.(Statista 2021) Ποσοστιαία, η Κίνα και οι ΗΠΑ αύξησαν το 2020 το ποσό που δαπανούν για E&A κατά 18.% και 9.1 % αντίστοιχα, ενώ η Ευρωζώνη μείωσε αυτό το ποσοστό κατά 2.2 %, κυρίως λόγω της πτώσης στους κλάδους της αυτοκινητοβιομηχανίας, της αεροναυπηγικής και της άμυνας.(European-Commission 2021)

Οι υψηλές επενδύσεις της Κίνας σε E&A τις τελευταίες δεκαετίες ώθησε την κινεζική τεχνολογία σε αύξηση των παραγωγικών δυνατοτήτων μετατρέποντάς την σε έναν από τους μεγαλύτερους παγκόσμιους εξαγωγούς βιομηχανικών προϊόντων. Στον κλάδο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οι πολιτικές στήριξης του κράτους οδήγησε στην αλματώδη αύξηση της παραγωγικής δυνατότητας υδροηλεκτρικών σταθμών και ΦΒ. Ειδικότερα, μέσα σε μια δεκαετία ( 2010 – 2021) η Κινεζική οικονομία κατέστη η μεγαλύτερος παραγωγός και εξαγωγός πολύ-κρυσταλλικών και μονο-κρυσταλλικών ΦΒ πυριτίου, όταν το 2010 ο συγκεκριμένος κλάδος είχε ελάχιστη συνεισφορά στην οικονομία. Η ταχεία ανάπτυξη του κλάδου βασίστηκε στην ταυτόχρονη αύξηση της απόδοσης των ΦΒ μέσω της αθρόας επένδυσης σε E&A και την δραματική πτώση στο κόστος παραγωγής μέσω των οικονομιών μεγέθους.(Mori 2022)

Τέλος όπως παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 1.2 διάφορες τεχνολογίες ΦΒ είναι υπό ανάπτυξη, άλλες σε πιο ώριμο στάδιο και άλλες ακόμα σε εμβρυικό στάδιο ανάπτυξης με τα ΦΒ πρώτης γενιάς να κατέχουν το συντριπτικά μεγαλύτερο κομμάτι της αγοράς.

### **3.1.5 Νόμοι**

Γενικά, οι νόμοι και οι περιορισμοί που αφορούν για παράδειγμα τις εργασιακές σχέσεις, τη προστασία των καταναλωτών, τη χρήση γης κ.α. διαφοροποιούνται σε μεγάλο βαθμό από κράτος σε κράτος. Ακόμα και σε κοινές αγορές όπως είναι η Ευρωζώνη υπάρχουν κάποιες κατευθυντήριες οδηγίες αλλά η εφαρμογή τους προσαρμόζεται από κάθε μέλος ανάλογα με την εθνικές κυβερνήσεις. Παρόλα αυτά υπάρχουν κάποιοι κοινοί νόμοι και περιορισμοί που αφορούν την είσοδο στην κοινή αγορά της ΕΕ, όπως για παράδειγμα οι δασμοί που επέβαλε η Ευρωζώνη στην εισαγωγή ΦΒ από τη Κίνα με νόμους για το αντί-ντάμπινγκ πριν περίπου 10 χρόνια και οποίοι έληξαν το 2019. (Mori 2022) Άρα είναι σημαντικό να είναι γνωστοί οι νόμοι και οι περιορισμοί σε κάθε περιοχή που θα πρέπει να δραστηριοποιείται ο οργανισμός είτε αυτό αφορά εισροές είτε εκροές.

### **3.1.6 Περιβάλλον**

Καθώς η παρουσίαση των υπόλοιπο πλαισίων της PESTLE ανάλυσης αφορά την εφαρμογή συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργεια που συνδέεται άμεσα με τα περιβαλλοντικά ζητήματα, τα στοιχεία αυτής της ανάλυσης ενσωματώθηκαν στις παραπάνω αναλύσεις.

## **3.2 Κυπριακό μακροπεριβάλλον**

Σε αυτό το μέρος θα γίνει ανάλυση του Κυπριακού περιβάλλοντος όπου θα δραστηριοποιείται αρχικά ο οργανισμός. Η Κυπριακή δημοκρατία είναι κράτος μέλος της Ευρωζώνης και έτσι ορισμένοι πολιτικοί και οικονομικοί παράγοντες εξαρτώνται από κοινές αποφάσεις της ΕΕ.

### **3.2.1 Πολιτική**

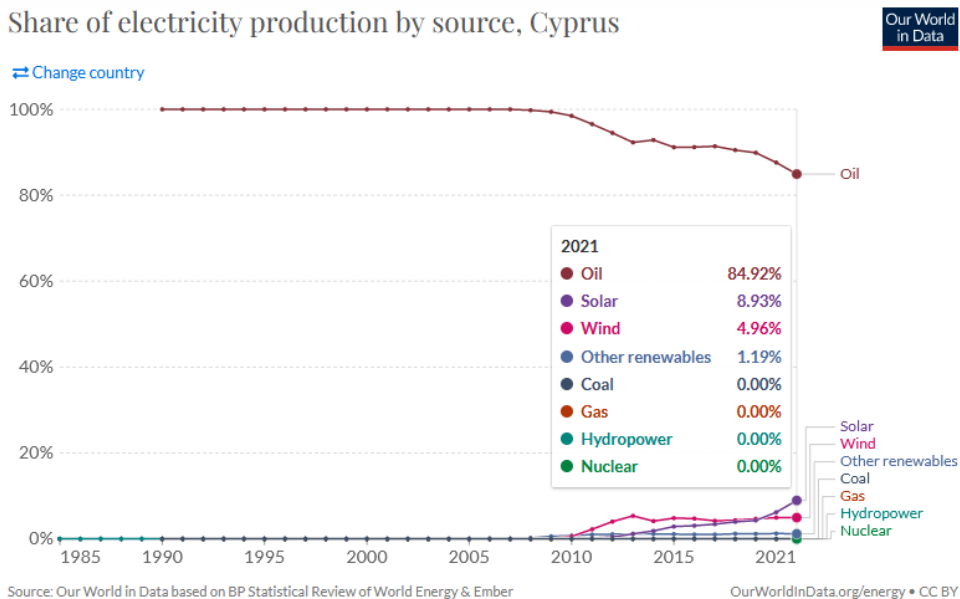
Το σύστημα πολιτικής διακυβέρνησης στην Κυπριακή Δημοκρατία (ΚΔ) είναι Προεδρική κοινοβουλευτική δημοκρατία. Με την Τουρκική εισβολή στη Κύπρο το 1974 η ελεγχόμενες από την ΚΔ περιοχές περιορίστηκε στο 58% της νησιωτικής έκτασης. Η πολιτική αστάθεια και η εισβολή είχε ως συνέπεια την απότομη πτώση στο ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕΠ) κατά 16.9%. (Countryeconomy 2021) Στα χρόνια που ακολούθησαν αποκαταστάθηκε σταδιακά η

σταθερότητα στο πολιτικό σύστημα, ενώ με τη συμβολή διεθνών χρηματοδοτικών οργανισμών το βιοτικό επίπεδο και το ΑΕΠ των πολιτών βελτιώθηκε σταδιακά, κατατάσσοντάς την πολύ ψηλά βάσει του δείκτη ανθρώπινης ανάπτυξης. Έκτοτε, οι πολιτικές συνομιλίες με τη Τουρκική δημοκρατία και με τις κατεχόμενες από αυτήν περιοχές για την αποκατάσταση μιας κοινής διακυβέρνηση σε όλη την επικράτεια του νησιού έχουν αποβεί άκαρπες, χαρακτηριζόμενες από περιόδους μεγάλης έντασης. Η χρόνια αβεβαιότητα για τις εξελίξεις σε πολιτικό επίπεδο, καθώς και η έντονη πολιτική αντιπαράθεση στο εσωτερικό τη ΚΔ έχει ως συνέπεια να παραγνωρίζονται σε μεγάλο βαθμό άλλες αναγκαίες πολιτικές για την βελτίωση της λειτουργίας του κράτους. Το 2004 η Κύπρος έγινε μέλος της ΕΕ και το 2008 μέλος της Ευρωζώνης, ενώ συμμετέχει και στον παγκόσμιο οργανισμό εμπορίου ως ανεξάρτητο κράτος και ως μέλος της ΕΕ.

Οι πολιτικές τα τελευταία 20 χρόνια επικεντρώνονται στην ενίσχυση του κλάδου των υπηρεσιών καθώς και στη χαμηλή φορολογία των επιχειρήσεων και των φυσικών προσώπων, με πρόθεση την αύξηση της φορολογίας των επιχειρήσεων ώστε να εναρμονιστεί με ευρωπαϊκές οδηγίες.(Euronews 2021) Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια επιδείνωση του αντιλαμβανόμενου δείκτη διαφθοράς που μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά το επενδυτικό κλίμα τα επόμενα χρόνια.(CiF 2021) Η πολιτική στάση που κράτησε η ΚΔ σε σχέση με τη πρόσφατη εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία επιδείνωσε τις πολιτικές σχέσεις με τη Ρωσία, η οποία αποτελούσε αγορά προέλευσης επενδύσεων στην ΚΔ.

Ως μέλος της ΕΕ έχει δεσμευτεί για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων όπως παρουσιάστηκαν στην αντίστοιχη ανάλυση του διεθνούς περιβάλλοντος. Ο στόχος του 2020 για ποσοστό παραγωγής ηλεκτρισμού κατά 13 % από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας υπερκαλύφθηκε, με το 2021 η συμμετοχή από ανανεώσιμες πηγές να είναι ~15.1%. Η ηλιακή αποτελούσε την κύρια πηγή ανανεώσιμης ενέργειας φτάνοντας το 8.93% (450MWh/έτος) της συνολικής παραγόμενης ενέργειας (Διάγραμμα 30). Μέχρι το 2030, η ΚΔ έχει δεσμευτεί ότι θα αυξήσει το ποσοστό από ανανεώσιμες πηγές στο 23 %.

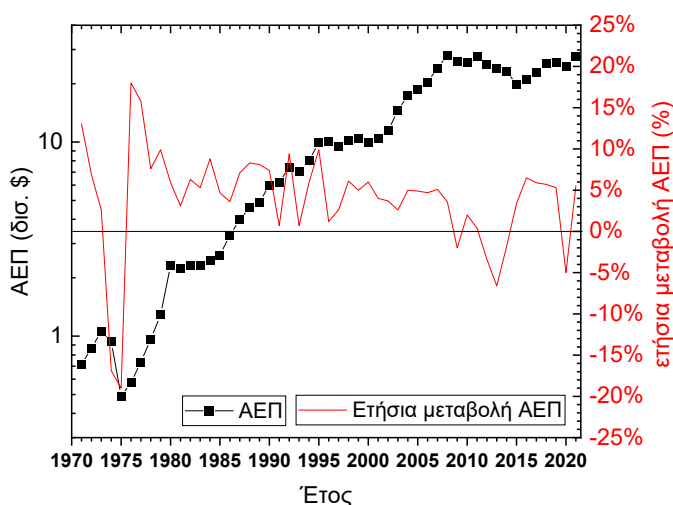
### Share of electricity production by source, Cyprus



**Διάγραμμα 29:** Ποσοστό συμμετοχής των διάφορων πηγών ενέργειας στο μείγμα παραγωγής ηλεκτρισμού στη Κυπριακή δημοκρατία. «Πηγή» (Ritchie and Roser 2020)

### 3.2.2 Οικονομία

Η παγκόσμια οικονομική κρίση του 2010 προκάλεσε μείωση του ΑΕΠ της ΚΔ για σειρά ετών που διήρκεσε μέχρι και 2015 όπου και η οικονομία πέρασε σε θετικού ρυθμούς ανάπτυξης μέχρι και το 2019. Η Πανδημία του COVID-19 προκάλεσε ξανά ύφεση το 2020 με το ΑΕΠ της ΚΔ να ανακάμπτει το 2021 διαμορφούμενο στα 27.64 δις. \$ (23.35 δις €), αυξημένο κατά 5.5% σε σχέση με το 2020 (Διάγραμμα 31). Η Eurostat ανακοίνωσε (10/02/2022) πως αναμένει αύξηση του ΑΕΠ κατά 4.1 % και 3.5 % για τα έτη 2022 και 2023, αντίστοιχα. (European-Commission 2022)



**Διάγραμμα 30:** Πορεία ΑΕΠ (δισ.\$) της ΚΔ και ρυθμός μεταβολής του για την περίοδο 1970 με 2021.

Οι βασικοί οικονομικοί δείκτες για τη ΚΔ διαμορφώθηκαν ως εξής (01/05/2022): (CBC 2022)

- Η ανεργία παρουσίασε μείωση στο 6.3% το 4<sup>ο</sup> τρίμηνο του 2021, σε σύγκριση με 8% το αντίστοιχο τρίμηνο του 2020
- Το Δημοσιονομικό Ισοζύγιο Κεντρικής Κυβέρνησης εμφάνισε έλλειμμα 351 εκ. € (1.5% ΑΕΠ), βελτιωμένο σε σχέση με το αντίστοιχο του 2020 που ήταν 1,342.9 εκ. € (6.2% ΑΕΠ)
- Το ισοζύγιο τρεχουσών συναλλαγών της ΚΔ κατέγραψε βελτίωση, με το έλλειμμα το 2021 να μειώνεται στα 1,695.8 εκ. € από 2,177.2 εκ. € το 2020
- Το δημόσιο εξωτερικό χρέος το 2020 ήταν 24.85 δις. € (115% ΑΕΠ) ενώ το συνολικό ακαθάριστο εξωτερικό χρέος διαμορφώθηκε στα 190,427 δις. € (880.9 % ΑΕΠ)
- το επιτόκιο για δάνεια εταιρειών για ποσά μέχρι 1 εκ. € διαμορφώθηκε στο 3.21%, ενώ το επιτόκιο για ποσά άνω του 1 εκ. € στο 2.86%.

Αναφορικά με τη οικονομική δομή της ΚΔ, το ΑΕΠ στηρίζεται κατά συντριπτικό ποσοστό στις υπηρεσίες με τη βιομηχανία και τον πρωτογενή τομέα να ακολουθούν με μεγάλη διαφορά. Συγκεκριμένα η ενδεικτική συμμετοχή των κλάδων στο ΑΕΠ με στοιχεία του 2017 είναι

- Παροχή υπηρεσιών 86.8 %
- Βιομηχανία 11 %
- Γεωργία και Αλιεία 2.3 %

Οι κύριοι τομείς κάθε κλάδου είναι

- τουρισμός, χρηματοοικονομικές υπηρεσίες, ναυτιλία
- τσιμεντοβιομηχανία, βιομηχανία γύψου, κλωστοϋφαντουργία, ελαφρά χημικά, προϊόντα μεταλλικά, πλαστικά, δερμάτινα, φαρμακευτικά
- Γεωργία και Αλιεία

Η απόδοση του κυπριακού ομολόγου εμφανίζει ταχεία άνοδο το τελευταίο εξάμηνο με το δεκαετές ομολόγο να είναι 2.145% (05/2022) ενώ 6 μήνες πριν ήταν 0.397%. , αυξάνοντάς την διαφορά από το αντίστοιχο γερμανικό στις 129.5 μονάδες βάσης, σε αντίθεση με το διετές ομολόγο(0.361%) που έχει μια διαφορά 20.7 μονάδων βάσης. Αυτό αντανακλά σε μεγάλο βαθμό την αβεβαιότητα για τη μακροπρόθεσμη αντοχή των περιφερειακών οικονομιών μετά την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία. Οι τρεις από τους τέσσερις μεγάλους οργανισμούς αξιολόγησης τοποθετούν την οικονομία της ΚΔ στη κλίμακα της επενδυτικής βαθμίδας με την

προοπτική να είναι γενικά σταθερή. Η θέση αυτή είναι βελτιωμένη σε σχέση με το 2013 που είχε υποβαθμιστεί σε οικονομία μεγάλου ρίσκου πτώχευσης.(WGB 2022)

### 3.2.3 Κοινωνία

Η ΚΔ είναι μικρή νησιωτική χώρα με συνολικό πληθυσμό περίπου 888 χιλ. κατοίκους. Το προσδόκιμο ζωής είναι αρκετά υψηλό στα 84.2 χρόνια για τις γυναίκες και 80.1 για τους άνδρες. Το επίπεδο μόρφωσης της πληθυσμιακής ομάδας 25-54 χρονών να είναι ένα από τα υψηλότερα στην ΕΕ με τα ποσοστά να διαμορφώνονται το 2020:(Eurostat 2020)

- 13.7 % χαμηλό επίπεδο
- 36.8 % μεσαίο επίπεδο
- 49.6 % υψηλό επίπεδο

Τα ποσοστά του πληθυσμού που έχουν τριτοβάθμια εκπαίδευση στην ηλικιακή ομάδα 25-34 είναι υψηλότερα με τους άνδρες να φτάνουν το 51% και τις γυναίκες το 69.5 %. Ένας στους τρεις στην ηλικιακή ομάδα 25-34 χρονών επιλέγει να σπουδάσει διοίκηση επιχειρήσεων ή νομικά ενώ ένα στους πέντε νέους άνδρες επιλέγει σπουδές μηχανικής, μεταποίησης και κατασκευών.(ΥΣΤΑΤ 2022)

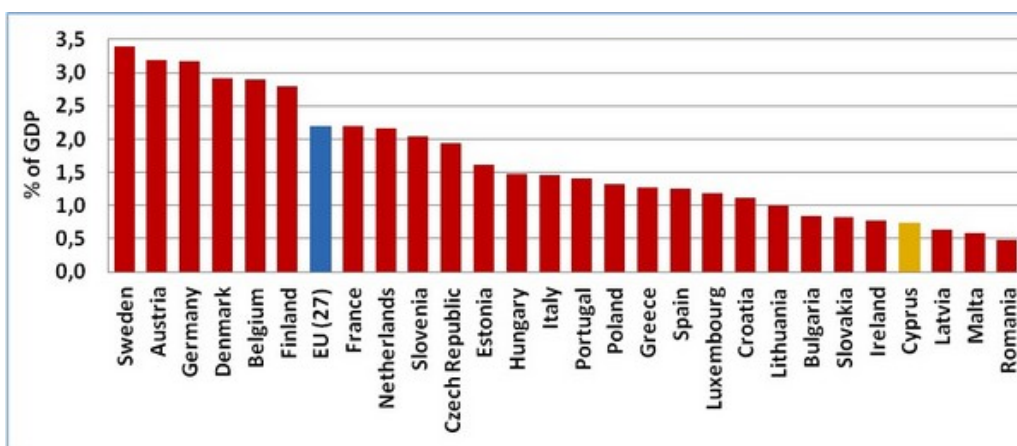
Το κατά κεφαλήν διαθέσιμο εισόδημα για το 2018 βρίσκεται περίπου στο 88 % του μέσου όρου της ΕΕ των 27, με τις καταναλωτικές δαπάνες να είναι στο 96% του μέσου όρου. Τα ποσοστά του κινδύνου φτώχειας και κοινωνικού αποκλεισμού, μετά τα επιδόματα, διαμορφώνεται στο 17.6 % του πληθυσμού για το 2019, με το ποσοστό να είναι χαμηλότερο από τον μέσο όρο της ΕΕ (21.9%).(Eurostat 2022) Ο δείκτης εισοδηματικής ανισότητας διαμορφώθηκε στο 4.3 το 2020 κατατάσσοντας την 11<sup>η</sup> ανάμεσα στις 20 χώρες της ΕΕ, με χαμηλότερο ποσοστό την Σλοβενία (3.32) και υψηλότερο τη Βουλγαρία (8.01).(TradingEconomics 2020)

Η αντίληψη των πολιτών της ΚΔ δείχνει πως μεγάλο μέρος της κοινωνίας αντιλαμβάνεται τους μελλοντικούς κινδύνους της κλιματικής αλλαγής. Η αύξηση της θερμοκρασίας και οι παρατεταμένοι καύσωνες είναι τα σημαντικότερα καιρικά φαινόμενα που αντιλαμβάνονται οι Κύπριοι πολίτες ως τις πιο σημαντικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Οι επίδραση των φαινομένων στη καθημερινότητα των πολιτών είναι πολύ μεγάλη, ενώ τα ποσοστά αυτών που πιστεύουν πως η μελλοντική επίδραση στη καθημερινότητα θα είναι εντονότερη αυξάνονται κατά πολύ. Το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού (71 %) θεωρεί το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής πολύ σημαντικό ενώ ένα 20% το θεωρεί πολύ σημαντικό, συμπεραίνοντας πως το 90 % του πληθυσμού είναι ευαισθητοποιημένο σε θέματα του

περιβάλλοντος. Πέρα από τη στάση των πολιτών, ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό (30 %) των πολιτών έχει αναπροσαρμόσει πολλές ή πάρα πολλές συνήθειες της καθημερινότητάς του λόγω του αντίκτυπου της κλιματικής αλλαγής. (SigmaLive 2021)

### 3.2.4 Τεχνολογία

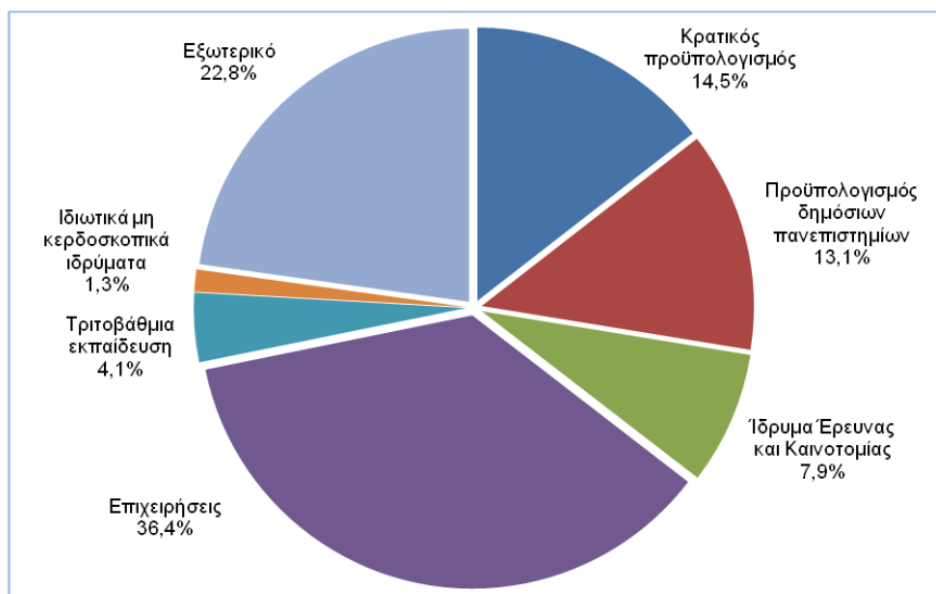
Οι συνολικές δαπάνες για E&A στην Κύπρο το 2019 αποτιμάται στα 164.4 εκ. €. που αντιστοιχεί στο 0,74% του ΑΕΠ, έναντι 133.1 εκ. €. (0,62% του ΑΕΠ) το 2018. Καταλαμβάνοντας μια από τις χαμηλότερες θέσεις ανάμεσα στα κράτη μέλη της ΕΕ (Διάγραμμα 32).



**Διάγραμμα 31:** Δαπάνες ως ποσοστό του ΑΕΠ για E&A ανάμεσα στα κράτη μέλη της ΕΕ (2019).

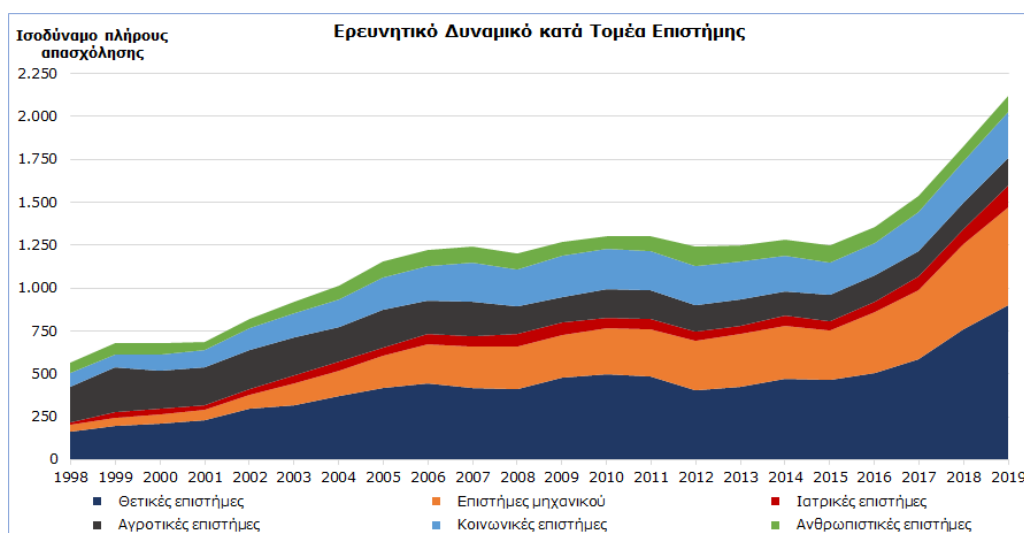
«Πηγή» (ΥΣΤΑΤ 2021a)

Το μεγαλύτερο ποσοστό ερευνητικών δαπανών για το 2019 προήλθε από τον ιδιωτικό τομέα αντιστοιχώντας στο 43 % του συνόλου, με το 57 % να κατευθύνεται προς τον κλάδο της ενημέρωσης και της επικοινωνίας και το 31 % προς τη μεταποιητική βιομηχανία με κύριου τομείς τα φαρμακευτικά προϊόντα, τα ηλεκτρολογικά, ηλεκτρονικά, και οπτικά προϊόντα. Η τριτοβάθμια εκπαίδευση (38.3 %) και τα ιδιωτικά μη-κερδοσκοπικά ιδρύματα (11.3 %) είχαν δαπάνες που αντιστοιχούν στο 49.6 % του συνολικού ποσοστού για E&A. Οι κύριες πηγές χρηματοδότησης ήταν δημόσιοι πόροι (22.4 %) (κρατικός προϋπολογισμός και ιδρύματα έρευνας και τεχνολογίας), 13.1 % από τον προϋπολογισμό των δημόσιων πανεπιστημίων, 22.8 % από εξωτερικές πηγές συμπεριλαμβανομένων ευρωπαϊκών κονδυλίων και το υπόλοιπο από άλλους ιδιωτικούς φορείς (Διάγραμμα 33).(ΥΣΤΑΤ 2021a)



**Διάγραμμα 32:** Πηγές χρηματοδότησης ερευνητικών δαπανών το 2019 στην ΚΔ.«Πηγή»(ΥΣΤΑΤ 2021a).

Το μεγαλύτερο ποσοστό (~40 %) των δαπανών για Ε&Α κατευθύνθηκε προς τις θετικές επιστήμες (62.5 εκ. €.), ακολουθούμενο από τις επιστήμες μηχανικής (~34 %, 56.4 εκ. €.), ενώ πολύ λιγότερα ποσά δαπανήθηκαν για Ε&Α στις κοινωνικές, ιατρικές, αγροτικές και ανθρωπιστικές επιστήμες με ποσοστά 11,2, 6,4, 4,6 και 3,8 %, αντίστοιχα. Η απασχόληση του ερευνητικού δυναμικού στη ΚΔ παρουσιάζει αύξηση τα τελευταία χρόνια φτάνοντας τα 4.082 άτομα, όπου σε όρους πλήρους απασχόλησης υπολογίζεται στα 2.121 άτομα. Κατά αναλογία των δαπανών, το μεγαλύτερο ποσοστό απασχολείται με τον τομέα των θετικών επιστημών ακολουθούμενο από τις επιστήμες μηχανικής όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 34.



**Διάγραμμα 33:** Ισοδύναμο πλήρους απασχόλησης ερευνητικό δυναμικό στη ΚΔ κατά τομέα επιστήμης για τα έτη 1998 – 2019. «Πηγή» (ΥΣΤΑΤ 2021b)



### 3.2.5 Νόμος

Στη ΚΔ υπάρχουν νόμοι που διέπουν την αδειοδότηση και τη λειτουργία βιομηχανικών μονάδων όπως και για τις βιομηχανικές εκπομπές ρύπων.

Ο νόμος περί Ακινήτου Ιδιοκτησίας της Δημοκρατίας (Μίσθωση Ιδιοκτησίας μέσα σε Κυβερνητικές Βιομηχανικές Περιοχές) με τον τροποποιητικό κανονισμό του 2017 ορίζει πως να μπορεί να ζητηθεί η εκμίσθωση κρατικής γης για παραγωγή ερευνητικού κέντρου ή για κέντρο καινοτομίας και εργαστήριο έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης προϊόντων και εκκολαπτηρίων επιχειρήσεων υψηλής τεχνολογίας, με τα κριτήρια να καθορίζονται στην παράγραφο (α) που αναφέρει πως κατά την εξέταση των αιτήσεων η Συμβουλευτική Επιτροπή Βιομηχανικών Περιοχών θα λαμβάνει υπόψη της τη φύση της προτεινόμενης βιομηχανίας και τη συνεισφορά της στην οικονομία του τόπου.(ΥπΕνΕΒ 2022)

Ο περί Βιομηχανικών Εκπομπών (Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Έλεγχος της Ρύπανσης) Νόμος του 2013 (184(I)/2013) ρυθμίζει τις διαδικασίες για εκπομπή και τη καταγραφή των ρύπων, αναμεσά τους και για τους οργανικούς διαλύτες που είναι οι κύριοι διαλύτες για την ανάπτυξη των αναδύομενων ΟΦ.(ΠΔΣ 2021)

### 3.2.6 Περιβάλλον

Όπως και στην ανάλυση του διεθνούς περιβάλλοντος τα στοιχεία αυτής της ανάλυσης ενσωματώθηκαν στις παραπάνω αναλύσεις.

## 3.3 Porter ανάλυση

Στην ανάλυση κατά Porter θα διερευνηθούν οι πέντε ανταγωνιστικές δυνάμεις που επιδρούν και διαμορφώνουν έναν κλάδο και βοηθούν στην επιλογή των βέλτιστων στρατηγικών για έναν οργανισμό.(Porter 2008) Ακολουθώς, παρουσιάζονται οι πέντε δυνάμεις για τον κλάδο των ΦΒ.

- **Νεοεισερχόμενοι στον κλάδο, Απειλή μικρή**

Η βιομηχανική παραγωγή απαιτεί ένα υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης και έτσι η δημιουργία άλλης βιομηχανικής μονάδας στον κλάδο των ΦΒ είναι αρκετά απίθανη στη Κύπρο. Επίσης, τα αναδύομενα ΦΒ είναι τεχνολογία αιχμής με αποτέλεσμα να μην μπορεί να δημιουργηθεί εύκολα κάποιο πλεονέκτημα κόστους για να μπορέσει να μπει ανταγωνιστής

στην αγορά. Τέλος, η δημιουργία δικτύου πωλήσεων όπως και η γνώση της αγοράς θα μπορούσαν να καταστήσουν την είσοδο εξαιρετικά δαπανηρή και επικίνδυνη.

- **Υποκατάστατα προϊόντα, Απειλή υψηλή**

Τα αναδυόμενα ΦΒ είναι μια ανώριμη τεχνολογία που ενέχει μεγάλο κίνδυνο να μην μπορέσει να ανταγωνιστεί μια τυχόν περαιτέρω πτώση της τιμής των ΦΒ πυριτίου η οποία είναι ώριμη κυριαρχώντας στην αγορά. Όπως παρουσιάστηκε στην εισαγωγή υπάρχουν και άλλες τεχνολογίες που βρίσκονται υπό ανάπτυξη και είναι στην αγορά όπως τα ΦΒ δεύτερης γενιάς. Τέλος άλλα προϊόντα που χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρισμού όπως θερμοηλεκτρικά, θερμο-φωτοβολταϊκά συστήματα και συγκεντρωτικά φωτοβολταϊκά μπορούν να είναι ανταγωνιστικά. Ωστόσο οι παραπάνω τεχνολογίες δεν μπορούν να παραχθούν με τη χρήση των τεχνικών χαμηλού κόστους (Κεφάλαιο 1.2).

- **Διαπραγματευτική δύναμη των προμηθευτών, Απειλή μέτρια**

Οι πρώτες ύλες για την παραγωγή των αναδυόμενων ΦΒ δεν διατίθενται ακόμα με βιομηχανική κλίμακα, παρόλα αυτά πολλές εταιρίες στο εξωτερικό παράγουν αυτά τα υλικά έχοντας δημιουργήσει μια ανταγωνιστική αγορά. Πιθανά μελλοντικά υλικά που θα συντελούσαν στην ανάπτυξη αναδυόμενων ΦΒ με βελτιωμένα χαρακτηριστικά από συγκριμένες εταιρίες θα ενίσχυαν τη διαπραγματευτική τους θέση. Επίσης, καθώς οι παραγωγικές διαδικασίες δεν είναι ακόμα πλήρως τυποποιημένες η ανάπτυξη νέων τεχνικών που θα μπορούσαν να είναι πιο παραγωγικές ή αποτελεσματικές θα μπορούσαν επίσης να προσδώσουν διαπραγματευτική ισχύ σε εταιρίες προμηθευτές. Στο σύνολο, αρκετές εταιρίες, ερευνητικά ιδρύματα και πανεπιστήμια συμμετέχουν στην έρευνα και ανάπτυξη των παραπάνω εισροών και έτσι φαίνεται αρκετά δύσκολη η δημιουργία μονοπωλίων.

- **Διαπραγματευτική δύναμη των αγοραστών, Απειλή μέτρια**

Όπως παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 1 η αγορά των ΦΒ αυξάνει με γρήγορο ρυθμό. Η συγκεκριμένη αγορά των αναδυόμενων ΦΒ, που τα διαφοροποιεί λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών τους, είναι ακόμα πολλή μικρή. Η παγκόσμια αγορά έχει αρκετές

δυνατότητες να αναπτυχθεί, με τους αγοραστές να είναι μεν περιορισμένοι στα αρχικά στάδια αλλά αντίστοιχα δεν υπάρχουν αρκετοί πωλητές πέρα από παραγωγούς με πιλοτικές γραμμές. Άρα η διαπραγματευτική ισχύ των δύο αντίρροπων δυνάμεων είναι ισορροπημένη. Όμως, η υψηλή αβεβαιότητα των πιθανών μελλοντικών αγοραστών και πωλητών είναι δύσκολο να προβλεφθεί και έτσι είναι δύσκολο να γίνει εκτίμηση αν και προς ποια πλευρά θα ενισχυθεί η διαπραγματευτική ισχύ.

- **Επίπεδο ανταγωνισμού υφιστάμενων επιχειρήσεων, Απειλή υψηλή**

Στην Κυπριακή αγορά δεν υπάρχουν εταιρίες που να παράγουν ΦΒ οποιοδήποτε τύπου. Έτσι, στην εσωτερική αγορά δραστηριοποιούνται μόνο εταιρίες εμπορίας ΦΒ πυριτίου που μπορούν να θεωρηθούν ανταγωνιστικές επιχειρήσεις. Αν επιλέγαμε τις εναλλακτικές αγορές όπως παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 2.2 , τότε δεν υπάρχει καθόλου ανταγωνισμός. Σε διεθνές επίπεδο υπάρχουν εταιρίες οι οποίες είναι θυγατρικές μεγάλων επιχειρηματικών ομίλων και βρίσκονται στη διαδικασία διερεύνησης των δυνατοτήτων παραγωγής. Η εταιρία με το μεγαλύτερο πορτοφόλι πνευματικών δικαιωμάτων είναι η Γαλλική ARMOR που έχει εισάγει το οργανικό φωτοβολταϊκό με την επωνυμία ASCA®.(ARMOR 2022) Άλλες εταιρίες στον κλάδο των οργανικών φωτοβολταϊκών είναι η Γερμανική Heliatek και η Βελγική InfinityPV.(Heliatek 2022; InfinityPV 2022) Οι εταιρίες αυτές έχουν επενδύσει μεγάλα κεφάλαια και έτσι τα εμπόδια εξόδου είναι υψηλά, αλλά καμία εταιρία δεν έχει καταφέρει να κερδίσει κάποιο μεγάλο κομμάτι της ήδη μικρής αγοράς των αναδυόμενων ΦΒ ούτε έχουν καταφέρει να ανταγωνιστούν την αγορά των ΦΒ πυριτίου. Οι περισσότερες εταιρίες βρίσκονται στο στάδιο E&A των πιθανών εφαρμογών και σε συνεργασία με άλλους φορείς, όπως πανεπιστήμια, ερευνητικά ινστιτούτα ή επιχειρήσεις διεκδικούν εξωτερικές χρηματοδοτήσεις για τη την ανάπτυξη των εφαρμογών.

## 4 Μικρο-περιβάλλον

Στο Κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η ανάλυση SWOT, δηλαδή τα ισχυρά και αδύναμα σημεία (Strength, weaknesses) της εταιρίας, όπως και οι ευκαιρίες και απειλές (opportunities, Threats) του περιβάλλοντος που δραστηριοποιείται η εταιρία, ενώ η ίδια ανάλυση θα γίνει και για το προϊόν (αναδυόμενα ΦΒ).

### 4.1 Ανάλυση SWOT Προϊόντος

Παρακάτω, παρουσιάζεται η ανάλυση SWOT για τα αναδυόμενα ΦΒ (Διάγραμμα 35).

<b>+</b>	<b>Δυνάμεις</b>	<b>Αδυναμίες</b>	<b>-</b>
Προϊόντος	<ul style="list-style-type: none"><li>Ελάχιστο βάρος</li><li>Χαμηλό κόστος παρασκευής σε σχέση με τα ΦΒ Πυριτίου</li><li>Ευκαμψία</li><li>Επιλογή βαθμού διαφάνειας</li><li>Επιλογή χρώματος</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Ανώριμη τεχνολογία</li><li>Μικρότερος λειτουργικός χρόνος ζωής σε σχέση με ΦΒ Πυριτίου</li><li>Πιθανή τοξικότητα του υβριδικού περοβισκίτη (Μόλυβδος)</li></ul>	Προϊόντος
Προϊόντος	<ul style="list-style-type: none"><li>Αναπτυσσόμενη διαφοροποιημένη αγορά</li><li>Χρηματοδοτούμενη E&amp;A σε παγκόσμιο επίπεδο</li><li>Συμβατότητα με συναφή αναπτυσσόμενα προϊόντα ευκάμπτων ηλεκτρονικών</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Περεταίρω μείωση του κόστους ΦΒ Πυριτίου</li><li>Παράλληλη E&amp;A άλλων τεχνολογιών ΦΒ</li><li>Απουσία βιομηχανικής παραγωγής πρώτων υλών και μηχανολογικού εξοπλισμού</li></ul>	Προϊόντος
<b>+</b>	<b>Ευκαιρίες</b>	<b>Απειλές</b>	<b>-</b>

Διάγραμμα 34: Ανάλυση SWOT των αναδυόμενων ΦΒ.

## 4.2 Ανάλυση SWOT επιχείρησης

Παρακάτω, παρουσιάζεται η ανάλυση SWOT για την επιχείρηση παραγωγής αναδυόμενων ΦΒ (Διάγραμμα 36) στην Κύπρο.

<b>+</b>	<b>Δυνάμεις</b>	<b>Αδυναμίες</b>	<b>-</b>
<b>Επιχείρησης</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Έμπειρο προσωπικό στην Ε&amp;Α των ανερχόμενων ΦΒ.</li> <li>• Εμπειρία στην διεκδίκηση και διαχείριση χρηματοδοτικών έργων</li> <li>• Δικτύωση με παραγωγούς υλικών και ηγέτες του κλάδου</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Απουσία πνευματικά κατοχυρωμένων πατεντών</li> <li>• Νεοσύστατη επιχείρηση- μη αναγνωρίσιμη</li> <li>• Απουσία δικτύων διανομής</li> <li>• Πρόσθετο κόστος για τυποποίηση και αδειοδότησης προϊόντων</li> </ul>	<b>Επιχείρησης</b>
<b>Επιχείρησης</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Απουσία ανταγωνιστικής βιομηχανίας στη Κύπρο</li> <li>• Αύξηση τιμών ενέργειας</li> <li>• Δέσμευση για αύξηση των ΑΠΕ</li> <li>• Χαμηλή φορολογία</li> <li>• Ευκαιρίες εξωτερικής χρηματοδότησης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δυσίωνο διεθνές οικονομικό περιβάλλον</li> <li>• Ανταγωνιστικές εταιρίες στο εξωτερικό</li> <li>• Κρατικές πολιτικές επικέντρωσης σε βιομηχανίες υπηρεσιών</li> </ul>	<b>Επιχείρησης</b>
<b>+</b>	<b>Ευκαιρίες</b>	<b>Απειλές</b>	<b>-</b>

**Διάγραμμα 35** Ανάλυση SWOT επιχείρησης ανάπτυξης αναδυόμενων ΦΒ στην Κύπρο

## **5 Μεθοδολογία Έρευνας**

Στο παρόν Κεφάλαιο θα παρουσιαστεί ο σκοπός της έρευνας και η μέθοδος που θα ακολουθηθεί στην συλλογή και την ανάλυση των δεδομένων που θα παρατεθούν στο επόμενο Κεφάλαιο.

### **5.1 Σκοπός Έρευνας**

Στη παρούσα μελέτη περίπτωσης θα εξεταστεί από τεχνοοικονομική σκοπιά η εγκατάσταση και λειτουργία μιας βιομηχανικής μονάδας παραγωγής αναδύομενων ΦΒ στην Κύπρο, δεδομένου του περιβάλλοντος που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 3. Σκοπός της μελέτης είναι να διερευνηθεί η βιωσιμότητα της επένδυσης σε αναδύομενα ΦΒ συστημάτων. Βασική παράμετρος για την ανταγωνιστικότητα και άρα την βιωσιμότητα του έργου είναι το LCOE. Αρχικά θα γίνει εκτίμηση του κόστους παραγωγής ανά KW (Κεφάλαιο 6) και μέσω αυτού θα εκτιμηθεί το LCOE που θα παρουσιαστεί στο Κεφάλαιο 7 για ΦΒ πάρκο 1500KW. Πέρα από την ανάλυση LCOE για την γενική αγορά της ηλεκτροπαραγωγής, η βιωσιμότητα της παραγωγικής μονάδας θα μπορούσε να μελετηθεί για στόχευση σε εναλλακτικές αγορές που όμως είναι δύσκολο να εκτιμηθεί, καθώς στο πλαίσιο αυτής της εργασίας είναι αδύνατο να συλλεχθούν αυτά τα δεδομένα.

### **5.2 Συλλογή και Ανάλυση Δεδομένων για την Τεχνοοικονομική Ανάλυση**

Η συλλογή των δεδομένων για το κόστος ανέγερσης του βιομηχανικού οικήματος της εγκατάστασης θα χρησιμοποιηθούν πληροφορίες από την Κυπριακή αγορά ενώ για το οικόπεδο θα θεωρηθεί πως θα υπάρξει παραχώρηση για ενοικίαση από τη ΚΔ βάσει της πρόνοιας του άρθρου 18, του περί Ακινήτου Ιδιοκτησίας (Διακατοχή Εγγραφή και Εκτίμηση) Νόμου, Κεφ.224 και από τους περί Ακινήτου Ιδιοκτησίας της Δημοκρατίας (Διάθεση) Κανονισμούς, ΚΔΠ 173/1989.(Τμήμα\_Κτηματολογίου&Χωρομετρίας 2015). Η διάταξη και το κόστος του μηχανολογικού εξοπλισμού θα βασιστεί σε βιβλιογραφικά δεδομένα. Το κόστος των πρώτων υλών θα υπολογιστεί από πληροφορίες διάφορων προμηθευτών και βιβλιογραφικά δεδομένα, το εργατικό κόστος θα εκτιμηθεί βάσει των δεδομένων της στατιστικής υπηρεσίας Κύπρου. Για το κόστος δανεισμού θα χρησιμοποιηθούν πληροφορίες από την κεντρική τράπεζα Κύπρου.

## **6 Τεχνοοικονομική Μελέτη Κατασκευής Μονάδας Παραγωγής Αναδεδόμενων Φωτοβολταϊκών**

Σε αυτό το Κεφάλαιο θα παρουσιαστή η σκοπιμότητα της επένδυσης, το κόστος της εγκατάστασης, οι εισροές και οι εκροές της μονάδας όπως και οικονομική ανάλυση της βιωσιμότητας του έργου.

### **6.1 Δεδομένα Επένδυσης, Εισροών Και Εκροών**

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για την οικονομική ανάλυση της επένδυσης.

#### **6.1.1 Σκοπιμότητα Επένδυσης**

Η επένδυση αποσκοπεί στην ανέγερση βιομηχανικής μονάδας για παρασκευή οργανικών φωτοβολταϊκών στην Κύπρο. Η εγκατάσταση θα βρίσκεται εντός των ελεγχόμενων από τη ΚΔ περιοχών. Σκοπός της επένδυσης είναι να χρηματοδοτηθεί ένα βιώσιμο έργο που θα συνεισφέρει στην οικονομική ανάπτυξη της ΚΔ και θα ενισχύσει τη δυνατότητα της εγχώριας αγοράς να επεκτείνει την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Κάποια από τα κοινωνικοοικονομικά οφέλη που απορρέουν από την αύξηση της ενεργειακής παραγωγής από ΦΒ παρουσιάστηκαν στο Εισαγωγικό κεφάλαιο. Επιγραμματικά τα πιο σημαντικά είναι:

- Φιλικά προς το περιβάλλον, που συνεπάγεται βελτίωση της ποιότητας της ζωής των πολιτών.
- Ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, που συνεπάγεται βελτίωση της ενεργειακής επάρκειας και ασφάλειας και απεξάρτηση από τις πολιτικές των ορυκτών καυσίμων.
- Αποκεντρωμένα, που συνεπάγεται βελτίωση της ενεργειακής κάλυψης τοπικών αναγκών, ενίσχυση της τοπικής οικονομίας και μείωση των απωλειών λόγω μεταφοράς.

#### **6.1.2 Μηχανολογικός Εξοπλισμός Μονάδας**

Ο μηχανολογικό εξοπλισμός που θα χρειαστεί βασίζεται στην βιβλιογραφική αναφορά των Ian Mathews κ.α.(Mathews et al. 2020) Στη συγκεκριμένη αναφορά η ανάλυση έγινε για την παραγωγή φωτοβολταϊκών περοβσκίτη με τη τεχνική Roll-to-Roll πάνω σε εύκαμπτα υποστρώματα. Αντίστοιχος μηχανολογικός εξοπλισμός χρησιμοποιείται για την παραγωγή ευκάμπτων οργανικών φωτοβολταϊκών με τα διαδοχικά βήματα να είναι:

- Σχηματισμός μοτίβου με χρήση LASER στο εύκαμπτο υπόστρωμα PET/ITO για το σχηματισμό του μπροστά ηλεκτροδίου (κάθοδος)
- Επίστρωση υμενίου συλλογής ηλεκτρονίων πάνω στο PET/ITO με τεχνική Slot-die
- Επίστρωση υμενίου φωτονεργού υλικού με τεχνική Slot-die
- Επίστρωση υμενίου συλλογής οπών με τεχνική Slot-die
- Σχηματισμός πίσω ηλεκτροδίου Ag με τεχνική screen printing (άνοδος)
- Ενθυλάκωση με προστατευτικό κάλυμμα χρησιμοποιώντας πλαστικοποιητή
- Τεμαχισμός και ηλεκτρική σύνδεση
- Έλεγχος απόδοσης του ΟΦΒ

Η συνολική επιφάνεια μίας γραμμής παραγωγής είναι 57 m<sup>2</sup> με κατανάλωση ρεύματος 117 KW. Το συνολικό κόστος εκτιμάτε περίπου στις 800,000 US\$ (755,835 €). Οι αποσβέσεις υπολογίστηκαν γραμμικά με χρόνο ζωής 20 έτη και έτσι προκύπτει συνολικό κόστος 37,792 €/έτος. Το κόστος της κατανάλωσης βασίστηκε στην μέση τιμή της ΑΗΚ (04/2022) για παροχή μεσαίας τάσης (15.48 cents/KWh). Οι επιμέρους τιμές για μια γραμμή παραγωγής παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

**Πίνακας 2:** Κατανάλωση, επιφάνεια, συντήρηση ως ποσοστό του αρχικού κόστους, ηλεκτρική κατανάλωση, κόστος συντήρησης και κόστος αγοράς μηχανήματος ανά γραμμή παραγωγής.

Μηχάνημα	Κατανάλωση (KW)	Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	Αναλώσιμα (%capex/yr)	KWh/yr	Capex (€/yr)	κόστος (€)
ITO patternig tool	15	15	10	29,520	11,191	111,905
slot-lot die	25	12	10	49,200	44,098	440,983
screen printer	15	10	10	29,520	7,492	74,920
laminator	50	10	4	98,400	1,252	31,296
sheet and pin	10	5	4	19,680	1,290	32,244
module tester	2	5	4	3,936	2,580	64,488
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>117</b>	<b>57</b>		<b>230,256</b>	<b>67,902</b>	<b>755,835</b>

### 6.1.3 Τοποθεσία και κόστος Εγκατάστασης Μονάδας

Η εγκατάσταση της μονάδας θα πραγματοποιηθεί σε οικόπεδο το οποίο θα βρίσκεται μέσα σε βιομηχανική ζώνη που θα εκμισθωθεί από την ΚΔ. Για την απαιτούμενη έκταση της βιομηχανικής μονάδας θέτουμε έναν λόγο τρεις φορές την παραγωγική γραμμή σε συμφωνία με τους Ian Mathews κ.α. Άρα η ελάχιστη επιφάνεια που χρειάζεται η μονάδα για μια γραμμή παραγωγής είναι 171 m<sup>2</sup>. Βάσει πληροφοριών από τοπικούς κατασκευαστές το κόστος



ανέγερσης του κτιρίου κυμαίνεται από 800 – 1,200 €/m<sup>2</sup>, και έτσι καθορίστηκε στα 1,000 €/m<sup>2</sup>, 171,000 € για κάθε γραμμή παραγωγής. Το κόστος συντήρησης θεωρήθηκε 4 % της αρχική αξίας (6,840 €/έτος ) και η απόσβεση θεωρήθηκε γραμμική με χρόνος ζωής τα 30 χρόνια και άρα το κόστος είναι 5,700 €/έτος. Το κόστος ενοικίασης του οικοπέδου είναι σύμφωνα με τον περί Ακινήτου Ιδιοκτησίας (Διακατοχή Εγγραφή και Εκτίμηση) Νόμου, Κεφ.224 και υπολογίζεται σε ποσοστό 1 % - 3.5% το χρόνο επί της αγοραίας αξίας του ακινήτου. Δεδομένου ότι ο μέσος συντελεστής δόμησης είναι 90% και κάλυψης 60 % θα χρειαστεί ένα οικόπεδο ελάχιστης επιφάνειας 285 m<sup>2</sup> για κάθε γραμμή παραγωγής. Η αγοραία αξία των ακινήτων βάσει έρευνας έχει μεγάλες διακυμάνσεις που εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες όπως η βιομηχανική ζώνη, η τοποθεσία μέσα στη ζώνη, το μέγεθος κ.α. Επιλέχθηκε βιομηχανικό οικόπεδο επιφάνειας 1,000 m<sup>2</sup> στην βιομηχανική περιοχή του Ύψωνα Λεμεσού, με αγοραία αξία 200 €/m<sup>2</sup> και άρα ολική αγοραία αξία 200,000 €. Υποθέτοντας συντελεστή ενοικίασης 2 % το ετήσιο ενοίκιο καθορίζεται στα 4,000 €.

#### 6.1.4 Πρώτες Ύλες

Τα υλικά που χρειάζονται για την παρασκευή ΟΦΒ είναι:

1. Εύκαμπτο υπόστρωμα PET επιστρωμένο με ΙΤΟ (κάθοδος)
2. Υλικό για τον σχηματισμό του συλλέκτη ηλεκτρονίων
3. Χημικοί διαλύτες και πρόσθετα για τον συλλέκτη ηλεκτρονίων
4. Υλικό για τον σχηματισμό του φωτοενεργού στρώματος
5. Χημικοί διαλύτες και πρόσθετα για το φωτοενεργό στρώμα
6. Υλικό για τον σχηματισμό του συλλέκτη οπών
7. Χημικοί διαλύτες και πρόσθετα για τον συλλέκτη οπών
8. Χημικά πάστα για τον σχηματισμό τους πίσω ηλεκτροδίου (άνοδος)
9. Εύκαμπτα φύλλα Ενθυλάκωσης για προστασία από το περιβάλλον
10. Κολητικές ταινίες διπλής όψης
11. Υλικά για ηλεκτρική σύνδεση

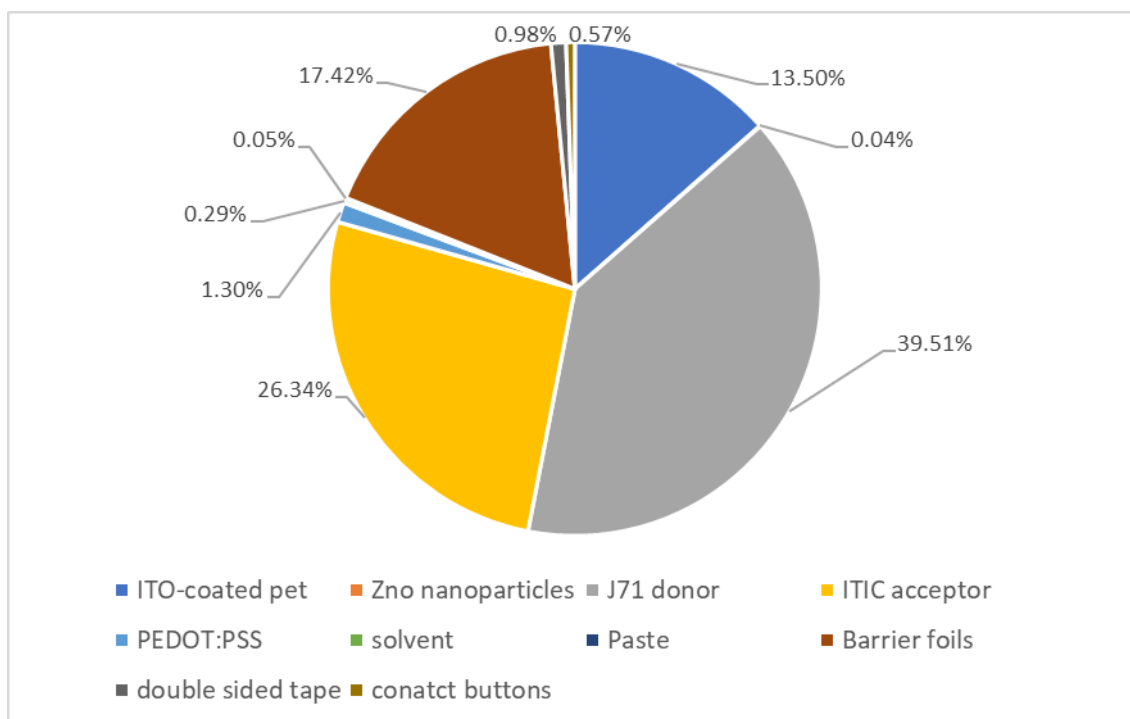
Οι ενδεικτικές τιμές για κάθε υλικό και απαιτούμενη ποσότητα για κάθε m<sup>2</sup> παραγόμενου ΟΦΒ δίνονται στον Πίνακα 3. Το κόστος των υλικών αντιστοιχεί σε σχετικά μικρές ποσότητες άρα υπάρχει αρκετά μεγάλο περιθώριο μείωσης του κόστους αγοράς.

**Πίνακας 3:** Κόστος υλικών για την παραγωγή των ΟΦΒ.

υλικά	μονάδα	Κόστος(€/μονάδα)	κατανάλωση(μονάδα/m <sup>2</sup> )	Κόστος(€/m <sup>2</sup> )
ITO-coated pet	m <sup>2</sup>	29.40	1	29.40
ZnO nanoparticles	g	1.48	0.055	0.08

J71 donor	g	1,075.42	0.08	86.03
ITIC acceptor	g	716.95	0.08	57.36
PEDOT:PSS	mL	0.62	4.6	2.84
solvent	mL	0.06	11	0.63
Ag Paste	g	0.75	0.14	0.10
Barrier foils	m <sup>2</sup>	18.97	2	37.93
double sided tape	g	0.71	3	2.13
contact buttons	pair	0.09	13.1	1.24
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>1,844.44</b>	<b>35.06</b>	<b>217.75</b>

Στο Διάγραμμα 37 παρουσιάζεται διαγραμματικά η επιβάρυνση που έχει κάθε υλικό στο συνολικό κόστος των Α' υλών, όπου όπως φαίνεται τα υλικά του φωτοενεργού στρώματος (J71, ITIC) καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό.



**Διάγραμμα 36:** Ποσοστιαία συμμετοχή επιμέρους υλικών στο συνολικό κόστος των Α' υλών

### 6.1.5 Απασχολούμενο Προσωπικό

Το προσωπικό που απαιτείται για παραγωγή των ΟΦΒ χωρίζεται σε διοικητικό και τεχνικό. Στον Πίνακα 4 παρουσιάζεται το προσωπικό του οργανισμού, όπου δίνεται ο αριθμός των απασχολούμενων για κάθε γραμμή παραγωγής, ο μηνιαίος μισθός βασιζόμενοι στα στατιστικά δεδομένα της στατιστικής υπηρεσίας της ΚΔ, τις συνεισφορές βάσει των κρατήσεων στη ΚΔ, και το ολικό ποσό ανά έτος που θα κοστίσει το προσωπικό. Ο τύπος Δ και Γ αντιστοιχεί σε

διοικητικό και τεχνικό προσωπικό. Το προσωπικό θα εργάζεται μία βάρδια 8 ωρών με τον μέσο όρο των εργασιμών ημερών στην ΚΔ να είναι 246.

**Πίνακας 4:** Προσωπικό και αριθμός εργαζομένων του οργανισμού, μηνιαίος μισθός, τύπος εργαζομένου (Δ - διοικητικό , Τ - τεχνικό), ολικό κόστος, συνεισφορές και ολικό κόστος ανά έτος.

Θέση	Εργαζόμενοι	Μισθός (€)	Τύπος	Ολικό κόστος (€)	Συνεισφορές (€)	Ολικό/έτος (€/yr)
Γενικό Διευθυντή	1	3,000	Δ	3,000	529	42,353
Γραμματέας	1	1,000	Δ	1,000	176	14,118
Διευθυντή παραγωγής	1	2,500	Δ	2,500	441	35,294
Χειριστές παραγωγής	4	1,600	Τ	6,400	1,129	90,353
Διευθυντής ποιοτικού ελέγχου	1	2,500	Δ	2,500	441	35,294
Ποιοτικοί ελεγκτές	2	1,600	Τ	3,200	565	45,176
Διευθυντής εφοδιαστικής αλυσίδας	1	2,500	Δ	2,500	441	35,294
Υπάλληλοι αποθήκης	2	800	Τ	1,600	282	22,588
Διευθυντής πωλήσεων	1	2,500	Δ	2,500	441	35,294
Υπάλληλοι πωλήσεων	1	1,600	Τ	1,600	282	22,588
Διευθυντής οικονομικών	1	2,500	Δ	2,500	441	35,294
Λογιστής	1	1,600	Τ	1,600	282	22,588
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>17</b>	<b>23,700</b>		<b>30,900</b>	<b>5,453</b>	<b>436,235</b>

### 6.1.6 Προϊόντα Παραγωγής

Τα προϊόντα που θα παραχθούν θα είναι εύκαμπτα οργανικά φωτοβολταϊκά με διαστρωμάτωση PET/ κάθοδος /συλλέκτης οπών/ ενεργό στρώμα/ συλλέκτης ηλεκτρονίων /άνοδος, συγκεκριμένα PET/ITO/ PEDOT:PSS / J71:ITIC / ZnO / Ag και θα είναι ενθυλακωμένα με εύκαμπτη επικάλυψη για τη προστασία από το εξωτερικό περιβάλλον. Η απόδοση (PCE) των ΦΒ είναι 7 % , ενώ ο λειτουργικός τους χρόνος θα είναι μέχρι το 80% της αρχικής ονομαστικής απόδοσης, θεωρώντας γραμμικό ρυθμό μείωσης της απόδοσης 5% το χρόνο. Ο γεωμετρικός συντελεστής κάλυψης (επιφάνεια ενεργού περιοχής ως προς την ολική επιφάνεια του φωτοβολταϊκού) υποτέθηκε πως είναι 80 %. Η παραγωγική δυνατότητα της μονάδας είναι 30 δευτερόλεπτα για κάθε πάνελ με διαστάσεις μήκος = 1.2 m και πλάτος = 0.6 m με τη κάθε ΦΒ κυψελίδα να είναι 1x1 cm<sup>2</sup> . Έτσι όγκος παραγωγής είναι 144,530 m<sup>2</sup>/έτος ή 8,094 KW/έτος. Από τα αναδυόμενα ΦΒ επιλέχθηκαν τα οργανικά φωτοβολταϊκά,, καθώς παρόλο που τα φωτοβολταϊκά τύπου υβριδικού περοσβκίτη έχουν υψηλότερος αποδόσεις, εμπεριέχουν μόλυβδο το οποίο πιθανότητα να χρειάζεται ειδικές άδειες για την εγκατάσταση και τη διαχείριση των αποβλήτων το οποίο θα περιπλέξει την ανάλυση. Όμως οι τεχνικές

παραγωγής είναι κοινές οπότε η ίδια εγκατεστημένη μονάδα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή φωτοβολταϊκών περοβσκήτη.

### 6.1.7 Αποθέματα

Τα αποθέματα υποτέθηκαν με βάση βιομηχανικές πρακτικές για την διατήρηση της ομαλής παραγωγής. Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται η διάρκεια των αποθεμάτων, το ποσοστό σε σχέση με τις ετήσιες ανάγκες, το ετήσιο κόστος των επιμέρους εξόδων και το κόστος των αποθεμάτων.

**Πίνακας 5:** Αποθέματα σε μήνες, ετήσιο ποσοστό αναγκών, κόστος ανά έτος και τελικό κόστος αποθεμάτων

Τύπος	Αποθέματα (μήνες)	Ποσοστό (%)	Κόστος (€/yr)	Κόστος αποθεμάτων(€)
Ετήσιοι μισθοί (ταμείο)	3	0.250	436,235	109,059
Ετήσιο κόστος ηλεκτρικής κατανάλωσης (ταμείο)	5	0.417	35,644	14,852
Αποθέματα Α' υλών	2	0.167	31,470,857	5,245,143
Ετήσια μηχανολογικά capex (ταμείο)	3	0.250	67,902	16,975
Ετήσια κτηριακά capex (ταμείο)	4	0.333	6,840	2,280
Ετήσιο ενοίκιο(ταμείο)	4	0.333	4,000	1,333
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>21</b>		<b>32,021,477</b>	<b>5,389,642</b>

### 6.1.8 Ενεργητικό

Βάσει των επιμέρους στοιχείων του ενεργητικού που υπολογίστηκαν, στο Πίνακα 6 παρουσιάζονται τα συνολικά ποσά.

**Πίνακας 6** Στοιχεία ενεργητικού πρώτου έτους λειτουργίας της μονάδας παραγωγής ΟΦΒ

Τρέχον ενεργητικό	Ποσό(€)
<b>Αποθέματα</b>	
μηχανολογικά capex	16,975
Υλικά	5,245,143
Κτηριακά capex	2,280
<b>Ταμείο</b>	
μισθοί	109,059
κόστος ηλεκτρικού	14,852
ενοίκιο	1,333

<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	5,389,642
Κτήρια	171,000
Μηχανολογικά	755,835
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	926,835
<b>ΣΥΝΟΛΟ ενεργητικού</b>	<b>6,316,477</b>

### 6.1.9 Χρηματοδότηση Παραγωγικής Μονάδας

Η αρχική χρηματοδότηση του έργου θα βασιστεί κατά 80 % σε τραπεζικό δανεισμό και κατά 20 % σε ίδια κεφάλαια, που θα προέλθουν από ΕΕ προγράμματα χρηματοδότησης νέων επιχειρήσεων μέσω του προγράμματος Horizon Europe και ιδιώτες επενδυτές. Τα επιμέρους ποσά και το ποσοστό παρουσιάζονται στον Πίνακα 7

**Πίνακας 7:** Πηγές χρηματοδότησης για τη λειτουργία μιας παραγωγικής μονάδας ΟΦΒ

Πηγές χρηματοδότησης	Ποσό(€)	Ποσοστό(%)
Τραπεζικός δανεισμός	5,053,181	0.8
Ίδια κεφάλαια	1,263,295	0.2
<b>Σύνολο</b>	<b>6,316,477</b>	<b>1</b>

Η αποπληρωμή του τραπεζικού κεφαλαίου θα γίνει σε 20 ισόποσες ετήσιες δόσεις με επιτόκιο δανεισμού 3.21%. Αυτό το ποσοστό είναι υψηλότερο από αυτό που δίνεται για δάνεια πάνω από 1εκ. € όπως παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 3.2.2. Όμως, δεδομένου πως η επένδυση θα γίνει μελλοντικά με τη τάση των επιτοκίων να είναι αυξητική επιλέχθηκε μια υψηλότερη τιμή. Ο υπολογισμός της ετήσιας δόσης αποπληρωμής του δανείου υπολογίστηκε με τον τύπο του συντελεστή ανάκτησης κεφαλαίου:

$$ΣΑΚ = \frac{\varepsilon(1 + \varepsilon)^t}{(1 + \varepsilon)^t - 1} = 6.85\%$$

Άρα η ετήσια δόση είναι : 346,282 €

Στο Παράστημα I (Πίνακας 11) παρουσιάζονται αναλυτικά οι τόκοι και τα τοκοχρεολύσια κατά τη διάρκεια της αποπληρωμής του δανείου

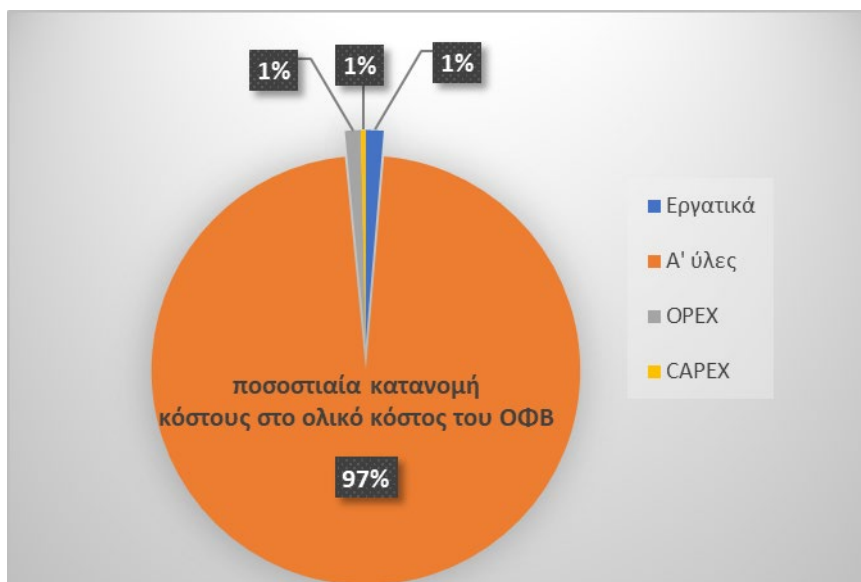
### 6.1.10 Ετήσιο Κόστος Λειτουργίας και Κόστος Παραγωγής ΟΦΒ ανά m<sup>2</sup> και W

Στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται τα επιμέρους κόστη ανά m<sup>2</sup> και W παραγόμενου ΟΦΒ και το ποσοστό που κάθε είδος κόστους επιβαρύνει την παραγωγή τους. Επίσης, παρουσιάζεται το κόστος πώλησης και το μεικτό κέρδος ανά w θεωρώντας περιθώριο κέρδους 5%.

**Πίνακας 8:** Επιμέρους κόστος παραγωγής ΟΦΒ ανά m<sup>2</sup> και w και η ποσοστιαία επιβάρυνση στο τελικό κόστος. Τιμή πώλησης υποθέτοντας ένα περιθώριο 5% και το μεικτό κέρδος ανά παραγόμενο W.

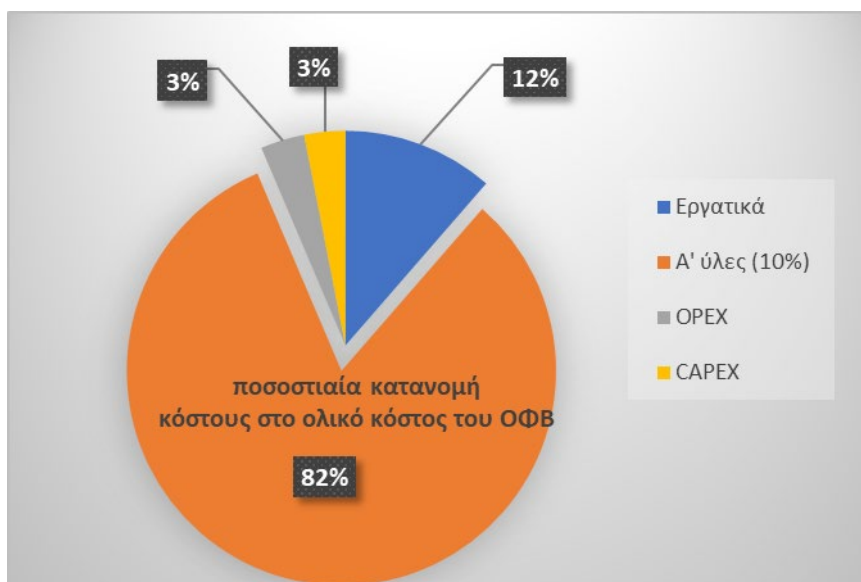
Είδος κόστους	Κόστος (€/m <sup>2</sup> )	Κόστος (€/W)	Ποσοστό	τιμή πώλησης (€/W)	Μεικτό Κέρδος (€/W)
Εργατικά	3.0183	0.0539	0.0135	0.0566	0.0027
Ηλεκτρική κατανάλωση	0.2466	0.0044	0.0011	0.0046	0.0002
Α' ύλες	217.7463	3.8883	0.9710	4.0827	0.1944
Μηχανολογικές αποσβέσεις	0.2615	0.0047	0.0012	0.0049	0.0002
Μηχανολογικά CAPEX	0.4698	0.0084	0.0021	0.0088	0.0004
Κτηριακές αποσβέσεις	0.0394	0.0007	0.0002	0.0007	0.0000
Κτηριακά CAPEX	0.0473	0.0008	0.0002	0.0009	0.0000
Ενοίκιο οικοπέδου	0.0277	0.0005	0.0001	0.0005	0.0000
Δόση δανείου	2.3959	0.0428	0.0107	0.0449	0.0021
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>224.2529</b>	<b>4.0045</b>	<b>1.0000</b>	<b>4.2047</b>	<b>0.2002</b>

Στο Διάγραμμα 38 παρουσιάζεται διαγραμματικά η επιβάρυνση κάθε είδους κόστους στο ολικό κόστος παραγωγής των ΟΦΒ. Όπως φαίνεται και στη διαγραμματική απεικόνιση η μεγαλύτερη επιβάρυνση προέρχεται από το κόστος των Α' υλών.



**Διάγραμμα 37:** Ποσοστιαία κατανομή του κόστους των διαφόρων εξόδων στο ολικό κόστος παραγωγής του ΟΦΒ

Όπως φαίνεται η συνεισφορά του κόστους των Α' υλών είναι συντριπτική φτάνοντας το 97%. Ακόμα και με μείωση του κόστους των Α' υλών στο 10 % της αρχικής τους τιμής η συνεισφορά είναι ακόμα πολύ υψηλή φτάνοντας το 82% (Διάγραμμα 39). Η μείωση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του τελικού κόστους ανά W από τα 4.0€ στα 0.47€, δηλαδή σχεδόν γραμμικά λόγω της μεγάλης συνεισφοράς του στο τελικό κόστος.



**Διάγραμμα 38:** Ποσοστιαία κατανομή του κόστους των διαφόρων εξόδων στο ολικό κόστος παραγωγής του ΟΦΒ για μείωση του κόστους Α' υλών στο 10% της αρχικής τιμής.

## 6.2 Χρηματοοικονομική Ανάλυση

Στη χρηματοοικονομική ανάλυση θα παρουσιαστούν το σημείο διακοπής λειτουργίας, τον συντελεστή μικτού περιθωρίου κέρδους, τη κατάσταση των καθαρών ταμειακών ροών και της παρούσας αξία, ο συντελεστής εσωτερικής απόδοσης βάσει κάποιων υποθέσεων όπως η ομαλότητα της λειτουργίας και του εξωτερικού περιβάλλοντος, όπως επίσης θα μελετηθεί η ευαισθησία της ΚΠΑ σε σχέση με κάποιες παραμέτρους.

### 6.2.1 Σημείο Διακοπής Λειτουργίας

Όπως προκύπτει από τα δεδομένα, βάσει των υποθέσεων, η ετήσια παραγωγή είναι 8.094MW άρα το σταθερό κόστος ανά παραγόμενο W τον πρώτο χρόνο λειτουργίας είναι

$$\text{Σταθερό κόστος} = 122.2 \text{ χιλ. €}$$

Ενώ το μεταβλητό κόστος είναι

$$\text{Μεταβλητό κόστος} = 31,942.7 \text{ χιλ. €}$$

Με την τιμή πώλησης να είναι 4.2047 €/W το σημείο διακοπής λειτουργίας (ΣΔΛ) είναι όταν οι πωλήσεις ΟΦΒ σε MW το χρόνο είναι

$$\Sigma\Delta\Lambda = 2.907 \text{ MW}$$

### 6.2.2 Συντελεστής Μικτού Περιθωρίου Κέρδους

Ο συντελεστής μεικτού περιθωρίου κέρδους προκύπτει από τον υπολογισμό της σχέσης

$$r = \frac{\text{τιμή πώλησης} - \text{μεταβλητό κόστος ανα μονάδα προϊόντος}}{\text{τιμή πώλησης}}$$

Βρίσκουμε τον δείκτη συμβολής προς τις πωλήσεις που δείχνει την ευαισθησία των εσόδων στην μεταβολή των πωλήσεων. Από τα παραπάνω βρίσκουμε για τον πρώτο χρόνο λειτουργίας

$$r = 6.138\%$$

Ο χαμηλός συντελεστής δείχνει πως ο όγκος των πωλήσεων έχει μικρή επίδραση στο μεικτό κέρδος.

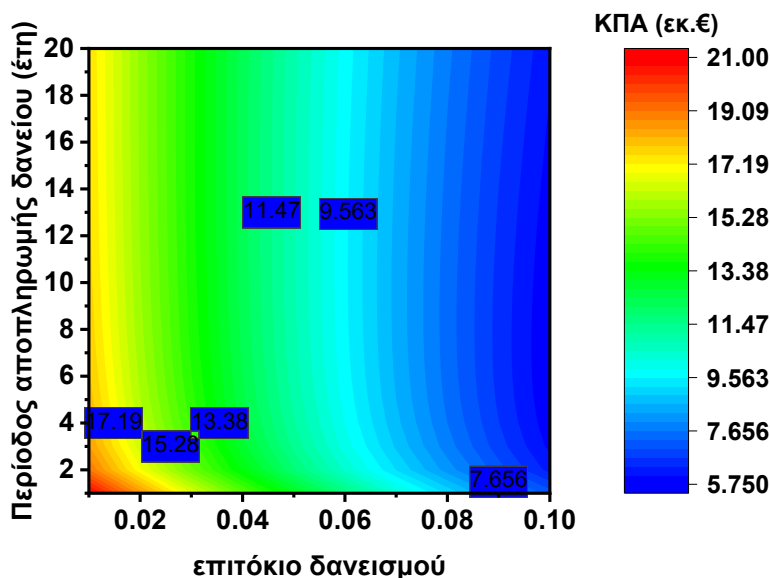
### 6.2.3 Καθαρή Παρούσα Αξία και Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης

Η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης υπολογίστηκε βάσει των υποθέσεων



- A. Η διάρκεια του έργου είναι 20 χρόνια και δεν προκύπτουν έξοδα E&A που να χρηματοδοτούνται από το έργο
- B. Το αρχικό περιθώριο της τιμής πώλησης είναι 5% του κόστους παραγωγής και αυξάνει κάθε χρόνο 0.3% σε σχέση με το αρχικό περιθώριο, δεδομένου ότι βελτιώνεται η παραγωγικότητα.
- C. Έξοδα μάρκετινγκ και λοιπά είναι 1% επί των εσόδων και το ποσοστό μένει σταθερό κατά τη διάρκεια του έργου
- D. Ο αρχικός όγκος των πωλήσεων είναι στο 70% της παραγωγικής ικανότητας της μονάδας και κάθε χρόνο αυξάνει κατά 1% σε σχέση με τον προηγούμενο χρόνο.
- E. Ο εταιρικός φόρος στη ΚΔ είναι 12.5% χωρίς κλιμάκωση.
- F. Ο συντελεστής απόσβεσης υπολογίστηκε από το μεσοσταθμικό κόστος του κεφαλαίου, όπου το 80% του τραπεζικού δανεισμού τοκίζεται με 3.21% και το 20 % των ιδίων κεφαλαίων με 6 %.

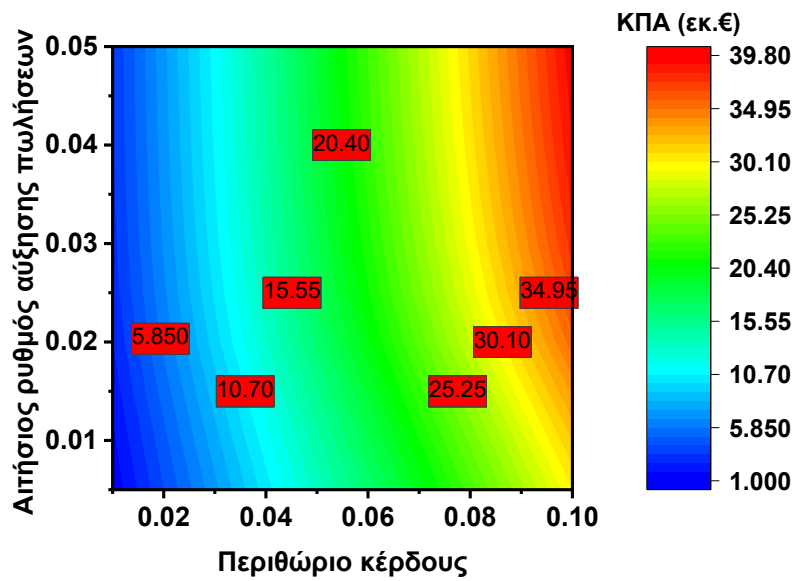
Από τους υπολογισμούς που παρουσιάζονται στο Παράτημα ΙΙ (Πίνακας 12) προκύπτει συνολική ΚΤΡ 19.78 εκ. € με το κόστος της αρχικής επένδυσης να είναι 6.32 εκ. € με τη ΚΠΑ να είναι 13.47 εκ. € και άρα η επένδυση είναι αποδεκτή. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι ~17.71 %.



**Διάγραμμα 39:** Μεταβολή ΚΠΑ σε σχέση με την χρόνο αποπληρωμής του τραπεζικού δανεισμού και του επιτοκίου.

Περαιτέρω ανάλυση της ευαισθησίας της ΚΠΑ σε σχέση με το επιτόκιο δανεισμό και το χρόνο αποπληρωμής των δανείων έδειξε πως για χρόνο αποπληρωμής των δανείων πάνω από πέντε χρόνια η ευαισθησία της ΚΠΑ είναι ελάχιστη. Επίσης η ΚΠΑ είναι ελάχιστα

ευαίσθητη στο ρυθμό αύξησης των πωλήσεων όπως φάνηκε και από τον συντελεστή μικτού περιθωρίου κέρδους, ενώ είναι πάρα πολύ ευαίσθητη στο αρχικό περιθώριο μικτού κέρδους (Διάγραμμα 41).



**Διάγραμμα 40:** Μεταβολή ΚΠΑ σε σχέση με τον ετήσιο ρυθμό αύξησης των πωλήσεων και το αρχικό περιθώριο μικτού κέρδους

## 7 LCOE ΦΒ Πάρκου στην Κύπρο

Στο παρόν Κεφάλαιο θα υπολογιστεί το LCOE για ΦΒ πάρκο ονομαστικής ισχύος 1500KW στην Κύπρο, και θα γίνει ανάλυση της ευαισθησίας του LCOE για κάποιες παραμέτρους.

### 7.1 Δεδομένα ΦΒ Πάρκου

Για την ανάλυση θεωρήθηκε η ανάπτυξη ΦΒ πάρκου χρησιμοποιώντας ΟΦΒ που υποθέτουμε ότι αγοράστηκαν στην τιμή πώλησής τους έτσι όπως υπολογίστηκε στο παραπάνω κεφάλαιο, δηλ. 4.2047 (€/W). Ο χρόνος ζωής του έργου τέθηκε στα 20 έτη, δηλαδή όσα είναι τα έτη λειτουργικού χρόνου των Πάνελ πυριτίου. Τα χαρακτηριστικά των ΦΒ πάνελς χαρακτηριστικά όπως παρουσιάστηκαν στο 6.1.6 και έτσι θα αντικαθίστανται κάθε 4 έτη, με τα εργατικά κόστη επανεγκατάστασης να είναι 45 €/KW που είναι χαμηλότερα από το αρχικό εργατικό κόστος εγκατάστασής τους. Για την εγκατάσταση χρειάζονται 26,786 m<sup>2</sup> επιφάνεια ΟΦΒ. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης (O&M) τέθηκε στο 0.5% του αρχικού κόστους εγκατάστασης που συνάδει με τα δεδομένα για τα ΦΒ πάρκα. Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται τα δεδομένα που συλλεχτήκαν από την κυπριακή αγορά για τα μέρη του ΦΒ πάρκου πέρα των πάνελ.

**Πίνακας 9:** Κόστος επιμέρους στοιχείων για την αρχική εγκατάσταση ΦΒ πάρκου στην ΚΔ

Τύπος	Κόστος(€/KW)	Κόστος(€)
ΦΒ πάνελ	4,204	6,307,112
inverters	144	216,000
balance of system	96	144,000
Εργατικά εγκατάστασης	90	135,000
Συνδέσεις	40	60,000
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>4,575</b>	<b>6,862,112</b>

### 7.2 LCOE ΦΒ Πάρκου ΟΦΒ στη Κύπρο

Για τον υπολογισμό του LCOE χρησιμοποιήθηκε ο τύπος

$$LCOE = \frac{M_0 + B_0 + \sum_t \frac{(M_t + B_t + O_t)}{(1+d)^t}}{\sum_t \frac{(E_t)}{(1+d)^t}}$$

όπως παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2.1. Ο συντελεστής απόσβεσης που χρησιμοποιήθηκε είναι 0.98 % που προκύπτει από τον ονομαστικό συντελεστή απόσβεσης 3% που είναι μια τυπική τιμή για τα ΦΒ και από τον πληθωρισμό με τιμή 2%. Οι τιμές είναι χαμηλότερες από τις τρέχουσες τιμές αλλά όπως παρουσιάστηκε και στο Κεφάλαιο 3, το διεθνές περιβάλλον

βρίσκεται σε κατάσταση μη ομαλότητας, και έτσι αυτές οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν αντικατοπτρίζουν πιο ομαλές καταστάσεις. Για τον υπολογισμό του  $d$  χρησιμοποιήθηκε ο τύπος

$$d = \frac{\text{ονομαστικό } d - \text{πληθωρισμός}}{1 + \text{πληθωρισμός}}$$

Η μέση ετήσια ηλιοφάνεια στη ΚΔ είναι 2,000 KWh/m<sup>2</sup>/yr, ενώ για τις απώλειες στην απόδοση τέθηκαν στο 20 % (τυπική τιμή για ΦΒ) που προκύπτουν από αντανakλάσεις, ηλεκτρικές αντιστάσεις, απώλειες στη μετατροπή DC-AC κ.α. Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται οι τιμές για τα διάφορα στοιχεία που απαιτούνται για τον υπολογισμό του LCOE στη διάρκεια ζωής του ΦΒ πάρκου. Στο άθροισμα φαίνεται η καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ) κάθε στοιχείου.

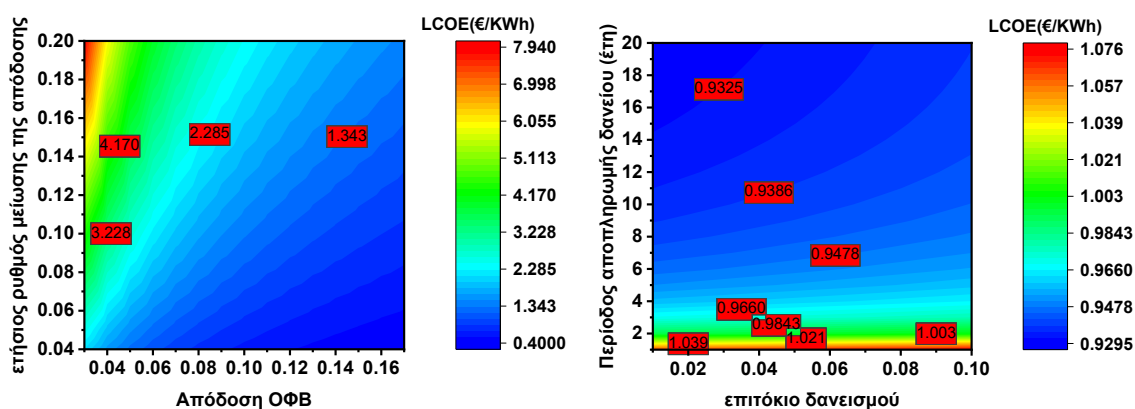
**Πίνακας 10:** Στοιχεία για τον υπολογισμό του LCOE του ΦΒ πάρκου λειτουργικού χρόνου ζωής 20 ετών.

έτος	O&M(€)	Επανεγκατάσταση (€)			παραγόμενη ενέργεια/έτος (KWh/έτος)
		Inverter	πάνελ	εργατικά	
1	339,774				2,317,282
2	336,476				2,177,102
3	333,209				2,039,427
4	329,974		6,065,720	64,917	1,904,219
5	326,770				2,228,592
6	323,598				2,093,778
7	320,456				1,961,372
8	317,345		5,833,566	62,432	1,831,339
9	314,264				2,143,297
10	311,213	195,922			2,013,643
11	308,191				1,886,304
12	305,199		5,610,298	60,043	1,761,248
13	302,236				2,061,267
14	299,302				1,936,575
15	296,396				1,814,110
16	293,518		5,395,575	57,745	1,693,840
17	290,668				1,982,376
18	287,846				1,862,456
19	285,052				1,744,678
20	282,284				1,629,011
<b>ΚΠΑ</b>	<b>6,203,771</b>	<b>195,922</b>	<b>22,905,159</b>	<b>245,136</b>	<b>39,081,915</b>

Τελικά με τη χρήση του τύπου προκύπτει LCOE για το ΦΒ πάρκο

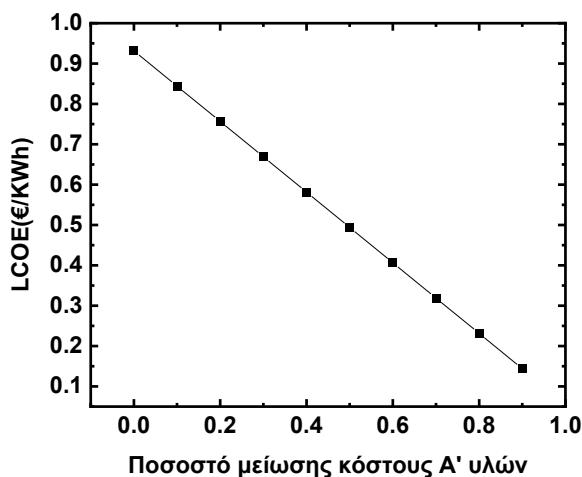
$$LCOE = 0.932 \text{ €/KWh}$$

Εξετάστηκε, επίσης, η επίδραση του ετήσιου ποσοστού μείωσης της απόδοσης των ΟΦΒ και της αρχικής ονομαστικής τιμής της απόδοσης του LCOE. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 41(αριστερά) η πιο σημαντική παράμετρος από τις δύο για την μείωση του LCOE είναι η βελτίωση του χρόνου ζωής των Πάνελ. Ακόμα και για ονομαστική απόδοση μόλις 3%, η αύξηση του χρόνου ζωής επιφέρει μείωση στο LCOE κατά σχεδόν μια τάξη μεγέθους. Σε σχέση με τους όρους δανεισμού της μονάδας παραγωγής συμπεραίνεται πως για γρήγορη αποπληρωμή του τραπεζικού δανεισμού (λιγότερη από έξι χρόνια) επιφέρει αύξηση στο LCOE.



**Διάγραμμα 41:** Μεταβολή LCOE σε σχέση με τον ετήσιο ρυθμό μείωσης της απόδοσης και της αρχικής ονομαστική απόδοσης των ΟΦΒ (αριστερά), και σε σχέση με την χρόνο αποπληρωμής του τραπεζικού δανεισμού και του επιτοκίου της μονάδας παραγωγής (δεξιά).

Τέλος, Εξετάστηκε η επίδραση της μείωσης του κόστους των Α' υλών, που όπως αναλύθηκε παραπάνω αποτελεί το 90% του κόστους των φωτοβολταϊκών. Στο Διάγραμμα 43 παρουσιάζεται η καμπύλη εξάρτησης των δύο ποσοτήτων.



**Διάγραμμα 42:** Σχέση του LCOE και του ποσοστού μείωσης του κόστους των Α' υλών

Όπως φαίνεται και σε αυτή τη περίπτωση η επίδραση του κόστους των Α' υλών είναι πολύ μεγάλη, με τη σχέση μεταξύ του LCOE και του ποσοστού μείωσης του κόστους των Α' υλών να είναι γραμμική. Η κλίση της ευθείας είναι - 0.87, που σημαίνει πως για κάθε μονάδα μείωσης του κόστους των Α' υλών το LCOE μειώνεται κατά 0.87 €/KWh, όπου για 90% μείωση μπορεί να επιτευχθεί LCOE ίσο με 0,144 €/KWh.

## 8 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, η τιμή των Α' υλών έχει σημαντική επίδραση σε όλη την αλυσίδα αξίας του προϊόντος, αυξάνοντας το κόστος των ΟΦΒ και κατά συνέπεια μειώνει την ανταγωνιστικότητα της τιμής για ηλεκτροπαραγωγή βιομηχανικής κλίμακας. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως οι τιμές των Α' υλών που χρησιμοποιήθηκαν είναι για σχετικά μικρές ποσότητες και άρα μια περαιτέρω μείωση είναι εφικτή. Όμως, η E&A κυρίως υλικών για το φωτοενεργό στρώμα είναι πολύ δυναμική και πολύ συχνά εφευρίσκονται νέα υλικά με αποτέλεσμα οι εταιρίες να αποφεύγουν τη δημιουργία βιομηχανιών κλίμακας. Μια λύση που θα μπορούσε να δώσει το οικονομικό κίνητρο στις εταιρίες παραγωγής υλικών να επενδύσουν στην βιομηχανική παραγωγή και στην βελτίωση της απόδοσης των διαδικασιών είναι να επιτευχθούν συμφωνίες αποκλειστικότητας για μακροχρόνια αγορά μεγάλων ποσοτήτων συγκεκριμένων υλικών. Επίσης, καθώς η αγορά των Α' υλών έχει χαρακτηριστικά που θα την ορίζαν ως ανταγωνιστική, αφού αρκετές εταιρίες διαθέτουν τα πιο κοινά υλικά, μπορεί να γίνει διαπραγμάτευση με διάφορες εταιρίες ώστε να επιτευχθεί μείωση στο κόστος προμήθειάς τους.

Όπως επίσης διαπιστώθηκε η αύξηση του όγκου των πωλήσεων δεν έχει μεγάλη επίδραση στην αύξηση των κερδών, καθώς το υψηλό μεταβλητό κόστος μειώνει τα περιθώρια κέρδους. Όμως, η αύξηση της αποδοτικότητας μπορεί να επιφέρει αρκετά υψηλά κέρδη καθώς θα βελτιώσει το περιθώριο λειτουργίας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με εκπαίδευση του προσωπικού, αποτελεσματική διοίκηση, όπως και τον αποτελεσματικό προγραμματισμό για τη διαχείριση των αποθεμάτων που αποτελεί ένα στοιχείο δέσμευσης μεγάλης ποσότητας ταμειακών διαθεσίμων λόγω του υψηλού κόστους των Α' υλών.

Η επικέντρωση σε εναλλακτικές αγορές που προσφέρουν μεγαλύτερο περιθώριο κέρδους και δεν μπορούν να είναι ανταγωνιστικά τα ΦΒ πυριτίου, θα αποτελούσε μια λύση ώστε η εταιρία να αποφύγει τον ανταγωνισμό με ένα ώριμο προϊόν. Οπότε μια μελλοντική διερεύνηση σε επιμέρους εναλλακτικές αγορές θα αποτελούσε πρόταση για μελλοντική μελέτη.

Τέλος, με τη διερεύνηση χρήσης άλλων υλικών φωτοενεργού στρώματος (τα οποία είναι εκατοντάδες), μεταξύ των οποίων ο περοβσκίτης, όπως και διαφορετικών γραμμών παραγωγής θα μπορούσε να διαπιστωθεί η ανταγωνιστικότητα των αναδυόμενων ΦΒ ακόμα και στην χονδρική αγορά ηλεκτρικού ρεύματος. Ο υψηλότερος συνδυασμός απόδοσης και χρόνου ζωής ΟΦ που έχει αναφερθεί σε εργαστηριακή κλίμακα είναι 17.23 % με διατήρηση του 93 % της αρχικής του απόδοσης μετά από 1800 συνεχόμενες ώρες φωτοβολήσης ενθαρρύνοντας τη συνέχιση της E&A τους. (Liao et al. 2022)

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Τα φωτοβολταϊκά τρίτης γενιάς (αναδυόμενα) είναι μια νέα ανώριμη τεχνολογία που ενσωματώνει όμως όλες τις προϋποθέσεις για τη βιώσιμη ανάπτυξή τους. Προηγούμενες μελέτες σε άλλες χώρες, όπως και αυτή η μελέτη για την Κυπριακή αγορά έδειξαν πως υπό κάποιες προϋποθέσεις μπορούν να καταστούν μια ανταγωνιστική τεχνολογία στην αγορά των φωτοβολταϊκών για βιομηχανική παραγωγή ενέργειας. Κύρια προϋπόθεση από πλευράς εισροών για την παραγωγή είναι η μείωση του κόστους των Α' υλών του φωτοενεργού στρώματος το οποία είναι εκτός του ελέγχου της εταιρίας. Ως λύση προτείνονται στρατηγικές συμφωνίες και διαπραγματεύσεις με παραγωγούς που θα μπορούσε να οδηγήσει σε αισθητή μείωση του κόστους τους. Από την πλευρά των εκροών, που είναι στο έλεγχο της εταιρίας, η βελτίωση της παραγωγικότητας και του λειτουργικού χρόνου ζωής των οργανικών φωτοβολταϊκών, θα επέτρεπαν σε επενδυτές την χρηματοοικονομικά βιώσιμη ανάπτυξη φωτοβολταϊκών πάρκων τα οποία μπορούν να καταστούν ανταγωνιστικά σε σχέση με τα πάρκα πυριτίου. Τέλος, θα αποτελούσε μια εξαιρετική μελλοντική μελέτη η παραγωγής φωτοβολταϊκών τρίτης γενιάς για στόχευση σε εναλλακτικές αγορές όπου πολλές από τις παραπάνω προϋπόθεσης δεν αποτελούν εμπόδιο, ενώ τα φωτοβολταϊκά πυριτίου δεν βρίσκουν εφαρμογή και άρα δεν θεωρούνται ανταγωνιστικά προϊόντα.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ansari, Mohammed Istafaul Haque, Ahsanulhaq Qurashi, and Mohammad Khaja Nazeeruddin. 2018. “Frontiers, Opportunities, and Challenges in Perovskite Solar Cells: A Critical Review.” *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 35 (June): 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2017.11.002>.
- ARMOR. 2022. “The ASCA Film.” 2022. <https://en.asca.com/>.
- Azzopardi, Brian, Christopher J.M. Emmott, Antonio Urbina, Frederik C. Krebs, Joseph Mutale, and Jenny Nelson. 2011. “Economic Assessment of Solar Electricity Production from Organic-Based Photovoltaic Modules in a Domestic Environment.” *Energy and Environmental Science* 4 (10): 3741–53. <https://doi.org/10.1039/c1ee01766g>.
- Baños, R., F. Manzano-Agugliaro, F.G. Montoya, C. Gil, A. Alcayde, and J. Gómez. 2011. “Optimization Methods Applied to Renewable and Sustainable Energy: A Review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (4): 1753–66. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.12.008>.
- BloombergNEF. 2022. “Energy Transition Investment Trends 2022.”
- Brus, Viktor V, Jaewon Lee, Benjamin R Luginbuhl, Seo-Jin Ko, Guillermo C Bazan, and Thuc-Quyen Nguyen. 2019. “Solution-Processed Semitransparent Organic Photovoltaics: From Molecular Design to Device Performance.” *Advanced Materials* 31 (30): 1900904. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/adma.201900904>.
- businesswire. 2021. “Recent Study Reveals More Than a Third of Global Consumers Are Willing to Pay More for Sustainability as Demand Grows for Environmentally-Friendly Alternatives.” 2021. <https://www.businesswire.com/news/home/20211014005090/en/Recent-Study-Reveals-More-Than-a-Third-of-Global-Consumers-Are-Willing-to-Pay-More-for-Sustainability-as-Demand-Grows-for-Environmentally-Friendly-Alternatives>.
- Carothers, Thomas, and David Wong. 2022. “Authoritarian Weaknesses and the Pandemic.” Carnegie Endowment for International Peace. 2022. <https://carnegieendowment.org/2020/08/11/authoritarian-weaknesses-and-pandemic-pub-82452>.
- CBC. 2022. “Ετήσιοι Οικονομικοί Δείκτες.” 2022. <https://www.centralbank.cy/el/statistics/economic-indicators/annual-economic-indicators>.

- CiF. 2021. “Περαιτέρω Επιδείνωση Της Κύπρου Στο Δείκτη Αντίληψης Της Διαφθοράς Της Διεθνούς Διαφάνειας, Και Για Το 2021.” 2021.  
<https://cyprusintegrityforum.org/25012022/>.
- Countryeconomy. 2021. “Cyprus GDP - Gross Domestic Product.” 2021.  
<https://countryeconomy.com/gdp/cyprus?year=1974>.
- Debus, Marc, and Jale Tosun. 2021. “The Manifestation of the Green Agenda: A Comparative Analysis of Parliamentary Debates.” *Environmental Politics* 30 (6): 918–37.  
<https://doi.org/10.1080/09644016.2020.1864130>.
- Dimroth, Frank, Matthias Grave, Paul Beutel, Ulrich Fiedeler, Christian Karcher, Thomas N D Tibbits, Eduard Oliva, et al. 2014. “Wafer Bonded Four-Junction GaInP/GaAs//GaInAsP/GaInAs Concentrator Solar Cells with 44.7% Efficiency.” *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 22 (3): 277–82.  
<https://doi.org/10.1002/PIP.2475>.
- Euronews. 2021. “Κύπρος - ΥΠΟΙΚ: Φορολογική Μεταρρύθμιση, Με Αύξηση Εταιρικού Φόρου Και Εισαγωγή Πράσινων Φόρων.” 2021.  
<https://gr.euronews.com/2021/12/09/kypros-ypourg-os-oikonomikon-forologia-metarhythmisi-auksisi-etairikos-foros-prasinos>.
- European-Commission. 2016. “Paris Agreement.” 2016. [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_en).
- . 2020. “Environment Action Programme to 2020.” 2020.  
<https://ec.europa.eu/environment/action-programme/>.
- . 2021. “2021 EU Industrial R&D Investment Scoreboard Remains Robust in ICT, Health and Green Sectors.” 2021.  
[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_21\\_6599](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_6599).
- . 2022. “Economic Forecast for Cyprus.” 2022. [https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/economic-performance-and-forecasts/economic-performance-country/cyprus/economic-forecast-cyprus\\_en](https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/economic-performance-and-forecasts/economic-performance-country/cyprus/economic-forecast-cyprus_en).
- Eurostat. 2020. “Educational Attainment Statistics.” 2020.  
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Educational\\_attainment\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Educational_attainment_statistics).
- . 2022. “Income and Living Conditions – Overview.” 2022.  
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/income-and-living-conditions/overview>.
- Gambhir, Ajay, Philip Sandwell, and Jenny Nelson. 2016. “The Future Costs of OPV – A Bottom-up Model of Material and Manufacturing Costs with Uncertainty Analysis.” *Solar Energy Materials and Solar Cells* 156: 49–58.

- <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.05.056>.
- Ghosh, Indradip, and Prerana Bhat. 2022. “Fed to Raise Rates Aggressively in Coming Months, Say Economists: Reuters Poll.” Reuters. 2022.  
<https://www.reuters.com/business/fed-raise-rates-aggressively-coming-months-say-economists-2022-04-11/>.
- Greens/EFA. 2019. “The Greens/EFA.” 2019. <https://www.greens-efa.eu/en/>.
- Guskin, Emily, Scott Clement, and Joel Achenbach. 2019. “Americans Broadly Accept Climate Science, but Many Are Fuzzy on the Details.” Science. 2019.  
[https://www.washingtonpost.com/science/americans-broadly-accept-climate-science-but-many-are-fuzzy-on-the-details/2019/12/08/465a9d5e-0d6a-11ea-8397-a955cd542d00\\_story.html](https://www.washingtonpost.com/science/americans-broadly-accept-climate-science-but-many-are-fuzzy-on-the-details/2019/12/08/465a9d5e-0d6a-11ea-8397-a955cd542d00_story.html).
- Heliatek. 2022. “Heliatek.” 2022. <https://www.heliatek.com/en/>.
- Hepbasli, Arif. 2008. “A Key Review on Exergetic Analysis and Assessment of Renewable Energy Resources for a Sustainable Future.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12 (3): 593–661. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.001>.
- IMF. 2021. “Global Debt Reaches a Record \$226 Trillion.” IMFBlog. 2021.  
<https://blogs.imf.org/2021/12/15/global-debt-reaches-a-record-226-trillion/>.
- . 2022. “World Economic Outlook.” 2022. <https://www.imf.org/en/Publications/WEO>.
- InfinityPV. 2022. “InfinityPV.” 2022. <https://infinitypv.com/>.
- IRENA. 2019. “Global LCOE and Auction Values.” 2019.  
<https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Costs/Global-LCOE-and-Auction-values>.
- . 2020. “Solar Energy Data.” 2020. <https://doi.org/https://www.irena.org/solar>.
- Kalowekamo, Joseph, and Erin Baker. 2009. “Estimating the Manufacturing Cost of Purely Organic Solar Cells.” *Solar Energy* 83 (8): 1224–31.  
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.02.003>.
- Liao, Qing, Qian Kang, Yi Yang, Zhong Zheng, Jinzhao Qin, Bowei Xu, and Jianhui Hou. 2022. “Highly Stable Organic Solar Cells Based on an Ultraviolet-Resistant Cathode Interfacial Layer.” *CCS Chemistry* 4 (3): 938–48.  
<https://doi.org/10.31635/ccschem.021.202100852>.
- Lo, Vivien, Clint Landrock, Bozena Kaminska, and Elicia Maine. 2012. “Manufacturing Cost Modeling for Flexible Organic Solar Cells.” *2012 Proceedings of Portland International Center for Management of Engineering and Technology: Technology Management for Emerging Technologies, PICMET’12*, no. May 2015: 2951–56.
- Mathews, Ian, Sai Nithin Kantareddy, Tonio Buonassisi, and Ian Marius Peters. 2019.

- “Technology and Market Perspective for Indoor Photovoltaic Cells.” *Joule* 3 (6): 1415–26. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.03.026>.
- Mathews, Ian, Sarah Sofia, Erica Ma, Joel Jean, Hannu S. Laine, Sin Cheng Siah, Tonio Buonassisi, and Ian Marius Peters. 2020. “Economically Sustainable Growth of Perovskite Photovoltaics Manufacturing.” *Joule* 4 (4): 822–39. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.01.006>.
- Matteo, Ciucci. 2021. “Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.” 2021. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/el/sheet/70/renewable-energy>.
- Morgan, Melissa. 2021. “Understanding the Global Rise of Authoritarianism.” Stanford University. 2021. <https://fsi.stanford.edu/news/understanding-global-rise-authoritarianism>.
- Mori, Akihisa. 2022. *China ’ s Carbon-Energy Policy and Asia ’ s Energy Transition*. Edited by Mori Akihisa. 1st ed. Routledge: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003190905>.
- Mulligan, Cara J., Chhinder Bilen, Xiaojing Zhou, Warwick J. Belcher, and Paul C. Dastoor. 2015. “Levelised Cost of Electricity for Organic Photovoltaics.” *Solar Energy Materials and Solar Cells* 133: 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2014.10.043>.
- Nieto-Díaz, Balder A., Andrew F. Crossland, and Christopher Groves. 2021. “A Levelized Cost of Energy Approach to Select and Optimise Emerging PV Technologies: The Relative Impact of Degradation, Cost and Initial Efficiency.” *Applied Energy* 299 (February): 117302. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117302>.
- . 2022. “How Does Location Determine the Economic Competitiveness of Grid-scale Emerging PV?” *Energy Technology* 2101012: 1–9. <https://doi.org/10.1002/ente.202101012>.
- NREL. 2021. “Best Research-Cell Efficiency Chart | Photovoltaic Research | NREL.” *Best Research-Cell Efficiency Chart | Photovoltaic Research | NREL*.
- OECD. 2021. “Unemployment Rates, OECD - Updated: December 2021.” 2021. <https://www.oecd.org/newsroom/unemployment-rates-oecd-update-december-2021.htm>.
- . 2022. “OECD Main Science and Technology Indicators.” 2022. <https://www.oecd.org/sti/msti-highlights-march-2022.pdf>.
- “Our World in Data.” 2019. 2019. <https://ourworldindata.org/energy-mix>.
- . “Our World in Data.” 2020. 2020. <https://ourworldindata.org/emissions-by-fuel>.
- Park, Sungjun, Soo Won Heo, Wonryung Lee, Daishi Inoue, Zhi Jiang, Kilho Yu, Hiroaki Jinno, et al. 2018. “Self-Powered Ultra-Flexible Electronics via Nano-Grating-Patterned Organic Photovoltaics.” *Nature* 561 (7724): 516–21. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0536-x>.

- Paul, Breez. 2019. "Solar Power." In *Power Generation Technologies*, 3rd ed., 293–321. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-03267-6>.
- Porter, Michael E. 2008. "The Five Competitive Forces That Shape Strategy." *Harvard Business Review* 86 (1): 78-93,137.
- Riede, Moritz, Donato Spoltore, and Karl Leo. 2021. "Organic Solar Cells—The Path to Commercial Success." *Advanced Energy Materials* 11 (1): 1–10. <https://doi.org/10.1002/aenm.202002653>.
- Ritchie, Hannah, and Max Roser. 2020. "Energy." *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/energy>.
- Sigmalive. 2021. "Πώς Αντιλαμβάνονται Οι Κύπριοι Την Κλιματική Αλλαγή;" 2021. <https://city.sigmalive.com/article/2021/10/29/pos-antilambanontai-oi-kuprioi-ten-klimatike-allage/>.
- Song, Wei, Billy Fanady, Ruixiang Peng, Ling Hong, Lirong Wu, Wenxia Zhang, Tingting Yan, Tao Wu, Sanhui Chen, and Ziyi Ge. 2020. "Foldable Semitransparent Organic Solar Cells for Photovoltaic and Photosynthesis." *Advanced Energy Materials* 10 (15): 2000136. <https://doi.org/10.1002/aenm.202000136>.
- Statista. 2021. "Leading Countries by Gross Research and Development (R&D) Expenditure Worldwide in 2021." 2021. <https://www.statista.com/statistics/732247/worldwide-research-and-development-gross-expenditure-top-countries/>.
- Taube, Oliver, Michael Andrew Ranney, Laura Henn, and Florian G. Kaiser. 2021. "Increasing People's Acceptance of Anthropogenic Climate Change with Scientific Facts: Is Mechanistic Information More Effective for Environmentalists?" *Journal of Environmental Psychology* 73 (October 2020): 101549. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2021.101549>.
- TradingEconomics. 2020. "Cyprus - Inequality of Income Distribution." 2020. <https://tradingeconomics.com/cyprus/inequality-of-income-distribution-eurostat-data.html>.
- Välimäki, Marja K, Elina Jansson, Valentijn J J Von Morgen, Mari Ylikunnari, Kaisa Leena, Pekka Ontero, Minna Kehusmaa, Pentti Korhonen, and Thomas M Kraft. 2022. "Accuracy Control for Roll and Sheet Processed Printed Electronics on Flexible Plastic Substrates." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 6255–73. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-08717-z>.
- WGB. 2022. "Cyprus Government Bonds - Yields Curve." 2022. <http://www.worldgovernmentbonds.com/country/cyprus/>.
- World-Bank. 2022. "Global Growth to Slow through 2023, Adding to Risk of 'Hard Landing'".

- in Developing Economies.” 2022. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2022/01/11/global-recovery-economics-debt-commodity-inequality>.
- Wu, Junjiang, Mengyuan Gao, Yubo Chai, Pengke Liu, Bo Zhang, Junwei Liu, and Long Ye. 2021. “Towards a Bright Future: The Versatile Applications of Organic Solar Cells.” *Materials Reports: Energy* 1 (4): 100062. <https://doi.org/10.1016/j.matre.2021.100062>.
- Xiao, Chengyi, and Weiwei Li. 2022. “Potential Applications of Organic Solar Cells.” *Organic Solar Cells*, 645–76. <https://doi.org/10.1002/9783527833658.ch18>.
- Zhao, Jiangqi, Zhengjie Xu, Zhan Zhou, Shibo Xi, Yunpeng Xia, Qingyong Zhang, Lanqin Huang, et al. 2021. “A Safe Flexible Self-Powered Wristband System by Integrating Defective MnO<sub>2</sub>-XNanosheet-Based Zinc-Ion Batteries with Perovskite Solar Cells.” *ACS Nano* 15 (6): 10597–608. <https://doi.org/10.1021/acsnano.1c03341>.
- ΠΔΣ. 2021. “Ο Περί Βιομηχανικών Εκπομπών (Ολοκληρωμένη Πρόληψη Και Έλεγχος Της Ρύπανσης) Νόμος Του 2013 (184(I)/2013).” 2021. [http://www.cylaw.org/nomoi/enop/non-ind/2013\\_1\\_184/full.html](http://www.cylaw.org/nomoi/enop/non-ind/2013_1_184/full.html).
- Τμήμα\_Κτηματολογίου&Χωρομετρίας. 2015. “Διάθεση Κρατικής Γης.” 2015. <https://portal.dls.moi.gov.cy/el-gr/Οδηγός του Πολίτη/Pages/ΔΙΑΘΕΣΗ ΚΡΑΤΙΚΗΣ ΓΗΣ.aspx>.
- ΥπΕνΕΒ. 2022. “ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ - Νομοθεσία.” 2022. <http://www.meci.gov.cy/MECI/sit/sit.nsf/All/2E0D0D11BDD7656EC22581B80025151E?OpenDocument>.
- ΥΣΤΑΤ. 2021a. “Research and Development Activity in Cyprus in 2019.” 2021. <https://www.pio.gov.cy/en/press-releases-article.html?id=21614#flat>.
- . 2021b. “Έρευνα Και Ανάπτυξη.” 2021. <https://www.cystat.gov.cy/el/SubthemeStatistics?s=49>.
- . 2022. “Infographics.” 2022. <https://www.cystat.gov.cy/el/Infographics/>.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

### Υπολογισμός τοκοχρεολυσίων δανεισμού

Πίνακας 11 : Παρουσίαση τόκων και χρεολυσίων για την αποπληρωμή του δανείου

έτος	Ετήσια δόση(€)	Τόκος(€)	Χρεολύσιο(€)	Ανεξόφλητο δάνειο(€)
1	346282	162207	184075	6579355
2	346282	211197	135085	6233073
3	346282	200082	146200	5886792
4	346282	188966	157316	5540510
5	346282	177850	168431	5194228
6	346282	166735	179547	4847946
7	346282	155619	190663	4501664
8	346282	144503	201778	4155382
9	346282	133388	212894	3809100
10	346282	122272	224010	3462819
11	346282	111156	235125	3116537
12	346282	100041	246241	2770255
13	346282	88925	257357	2423973
14	346282	77810	268472	2077691
15	346282	66694	279588	1731409
16	346282	55578	290704	1385127
17	346282	44463	301819	1038846
18	346282	33347	312935	692564
19	346282	22231	324051	346282
20	346282	11116	335166	0

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β Υπολογισμός ΚΠΑ

**Πίνακας 12: Υπολογισμός ΚΠΑ**

0	όγκος πωλήσεων (ΜΜ/γρ)	Κόστος (€/Wp)	Τιμή πώλησης (€/Wp)	Έσοδα πωλήσεων (εκ. €)	κόστος πωλήσεων (εκ. €)	Λοιπά έσοδα (εκ. €)	Μεικτά κέρδη (εκ. €)	Αποσβέσεις (εκ. €)	Τόκοι (εκ. €)	καθαρά κέρδη προ φόρων(εκ. €)	Φόροι (εκ. €)	Καθαρά κέρδη μετά φόρων(εκ. €)	Αποσβέσεις (εκ. €)	Τόκοι(εκ. €)	ΚΤΡ (εκ. €)
1	5.665572864	4.005	4.205	23.82226954	22.68787575	0.238	0.896	0.0485	0.162	0.690	0.086	0.604	0.0435	0.162	0.780
2	5.722228593	4.005	4.205	24.1292365	22.91475451	0.241	0.973	0.0435	0.211	0.719	0.090	0.629	0.0435	0.211	0.820
3	5.779450879	4.005	4.205	24.43996057	23.14390205	0.244	1.052	0.0435	0.200	0.808	0.101	0.707	0.0435	0.200	0.851
4	5.837245387	4.005	4.205	24.7544862	23.37534107	0.248	1.132	0.0435	0.189	0.899	0.112	0.787	0.0435	0.189	0.879
5	5.895617841	4.005	4.205	25.07285834	23.60909448	0.251	1.213	0.0435	0.178	0.992	0.124	0.868	0.0435	0.178	0.905
6	5.95457402	4.005	4.205	25.39512248	23.84518543	0.254	1.296	0.0435	0.167	1.086	0.136	0.950	0.0435	0.167	0.929
7	6.01411976	4.005	4.205	25.72132462	24.08363728	0.257	1.380	0.0435	0.156	1.181	0.148	1.034	0.0435	0.156	0.952
8	6.074260957	4.005	4.205	26.05151129	24.32447366	0.261	1.467	0.0435	0.145	1.279	0.160	1.119	0.0435	0.145	0.972
9	6.135003567	4.005	4.205	26.38572955	24.56771839	0.264	1.554	0.0435	0.133	1.377	0.172	1.205	0.0435	0.133	0.991
10	6.196353603	4.005	4.205	26.72402704	24.81339558	0.267	1.643	0.0435	0.122	1.478	0.185	1.293	0.0435	0.122	1.008
11	6.258317139	4.005	4.205	27.0664519	25.06152953	0.271	1.734	0.0435	0.111	1.580	0.197	1.382	0.0435	0.111	1.023
12	6.32090031	4.005	4.205	27.41305285	25.31214483	0.274	1.827	0.0435	0.100	1.683	0.210	1.473	0.0435	0.100	1.037
13	6.384109313	4.005	4.205	27.76387918	25.56526628	0.278	1.921	0.0435	0.089	1.789	0.224	1.565	0.0435	0.089	1.049
14	6.447950406	4.005	4.205	28.11898073	25.82091894	0.281	2.017	0.0435	0.078	1.896	0.237	1.659	0.0435	0.078	1.061
15	6.51242991	4.005	4.205	28.47840792	26.07912813	0.285	2.114	0.0435	0.067	2.004	0.251	1.754	0.0435	0.067	1.070
16	6.577554209	4.005	4.205	28.84221175	26.33991941	0.288	2.214	0.0435	0.056	2.115	0.264	1.850	0.0435	0.056	1.079
17	6.643329752	4.005	4.205	29.21044388	26.6033186	0.292	2.315	0.0435	0.044	2.227	0.278	1.949	0.0435	0.044	1.086
18	6.709763049	4.005	4.205	29.58315632	26.86935179	0.296	2.418	0.0435	0.033	2.341	0.293	2.048	0.0435	0.033	1.092
19	6.77686068	4.005	4.205	29.96040202	27.13804531	0.300	2.523	0.0435	0.022	2.457	0.307	2.150	0.0435	0.022	1.097
20	6.844629286	4.005	4.205	30.34223432	27.40942576	0.303	2.629	0.0435	0.011	2.575	0.322	2.253	0.0435	0.011	1.101
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>															<b>19,783</b>