



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΦΟΙΤΗΤΕΣ:

ΜΥΛΩΝΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ Α.Μ. 45284

ΜΠΟΥΓΙΟΥΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Α.Μ. 45528

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ :

ΑΤΑΝΑΣΟΒΑ – ΝΙΚΟΛΑΙΔΟΥ ΓΙΑΝΝΑ, PhD

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2024

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή

επιτροπή :

Δρ. Ατανάσοβα-Νικολαΐδου Γιάννα, ΕΔΙΠ	Δρ. Εξαρχάκος Γεώργιος, ΕΔΙΠ	Δρ. Μακρυγιάννης Παναγιώτης, ΕΔΙΠ

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και ΜΥΛΩΝΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ, 2024

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΜΥΛΩΝΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ του ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, με αριθμό μητρώου 45284 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών,
δηλώνω υπεύθυνα ότι:

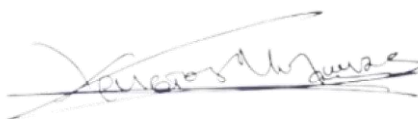
«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης,

βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματος μου».

Ο Δηλών

ΙΟΥΛΙΟΣ 2024



Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και ΜΠΟΥΓΙΟΥΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΙΟΥΛΙΟΣ, 2024

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΔΗΛΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΜΠΟΥΓΙΟΥΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ του ΛΕΩΝΙΔΑ, με αριθμό μητρώου 45528 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών,
δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματος μου».

Ο Δηλών



ΙΟΥΛΙΟΣ 2024

Περιεχόμενα

Κατάλογος Εικόνων	6
Κατάλογος Πινάκων.....	8
Περίληψη.....	9
Abstract.....	9
Εισαγωγή	10
1. Ενέργεια και Ενεργειακό Πρόβλημα.....	11
1.1 Το Ενεργειακό Πρόβλημα.....	11
1.2 Η Ενέργεια Γενικά.....	11
1.3 Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).....	12
1.4 Ενσωμάτωση ΑΠΕ στα Κτίρια	12
2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	14
2.1 Τι είναι οι ΑΠΕ.....	14
2.2 Είδη ΑΠΕ	14
2.2.1 Ηλιακή Ενέργεια	15
2.2.2 Αιολική Ενέργεια	17
3. Φωτοβολταϊκά Συστήματα	20
3.1 Εφαρμογή ΦΒ Συστημάτων.....	20
3.2 Δομή ΦΒ Συστημάτων	23
3.3 Λειτουργία και Απόδοση ΦΒ Συστημάτων	24
3.4 Στήριξη ΦΒ Συστημάτων.....	26
3.5 Τύποι ΦΒ Συστημάτων	27
3.6 Βαθμός Απόδοσης ΦΒ Συστημάτων	31
3.7 Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας των ΦΒ Συστημάτων	33
3.8 ΦΒ Συστήματα Συνδεδεμένα στο Δίκτυο	35
4. Αιολικά Συστήματα	37

4.1	Εκμετάλλευση Αιολικής Ενέργειας	37
4.2	Περιγραφή των Α/Γ.....	40
4.3	Α/Γ Σταθερής & Μεταβλητής Ταχύτητας.....	44
5.	Υβριδική Ενέργεια: Συνδυασμός Ηλιακής και Αιολικής Ενέργειας	47
5.1	Υβριδικά Συστήματα.....	47
5.2	Φωτοβολταϊκά(Φ/Β) Συστήματα & Γεννήτρια Πετρελαίου ή Φ/Β Συστήματα Συνδεδεμένα με το Δίκτυο του Παροχέα.....	48
5.3	Ανεμογεννήτρια/Γεννήτρια Πετρελαίου ή Ανεμογεννήτρια Συνδεμένη με το Δίκτυο του Παροχέα.....	49
5.4	Φ/Β & Ανεμογεννήτρια ή με Γεννήτρια Πετρελαίου ή Σύνδεση στο Δίκτυο Παροχέα.....	49
5.5	Εθνικό Πλαίσιο για τις ΑΠΕ & Υβριδικά Συστήματα.....	50
6.	Μελέτη Περίπτωσης	52
6.1	Εισαγωγή	52
6.2	Φορτία	52
6.3	Ανάλυση Φορτίου Μελέτης Περίπτωσης	53
6.4	Δίκτυο Παροχέα.....	56
6.5	Οικονομική Ανάλυση στο Λογισμικό HOMER.....	58
6.6	Το Πρόγραμμα HOMER.....	59
6.6.1	Παρόν Συνολικό Κόστος (NPC)	60
6.7	Τεχνοοικονομική Ανάλυση	62
6.7.1	1 ^η Προσομοίωση.....	63
6.7.2	2 ^η Προσομοίωση.....	67
6.7.3	3 ^η Προσομοίωση.....	75
7.	Συμπεράσματα.....	82
8.	Βιβλιογραφία	85

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 3. 1.α.: Βασική σύνθεση μια φωτοβολταϊκής συστοιχίας (SCADA SUPPORT PH).....	252
Εικόνα 3. 1.β.: Διάγραμμα απόδοσης ΦΒ σε σχέση με την θερμοκρασία (firstgreen.com ,2022).....	23
Εικόνα 3. 2: Σταθερή βάση Φ/Β συστημάτων (Σαμαράς & Παπανικολάου, 2012)	274
Εικόνα 3. 3: Σταθερή βάση σε οροφή κτιρίου(Σαμαράς & Παπανικολάου, 2012).....	274
Εικόνα 3. 4: Μονοκρυσταλλικά συστήματα (eco2day.gr, 2023)	296
Εικόνα 3. 5	307
Εικόνα 3. 6: Απεικόνιση των τριών διαφορετικών κατηγοριών ΦΒ συστημάτων (eco2day.gr, 2023).....	318
Εικόνα 3. 7: Τυπική διάταξη Φ/Β συστήματος στο ηλεκτρικό δίκτυο (pveasy.com, 2023).	335
Εικόνα 4. 1: Ροή ανέμου μέσω Α/Γ (gneng, 2020)].....	374
Εικόνα 4. 2: Παραγόμενη ισχύος ανά μονάδα μέτρησης του δίσκου δρομέα συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου (gneng, 2020)	385
Εικόνα 4. 3: Κατανομή της ταχύτητας καθ' ύψος σε m/s (gneng, 2020).....	407
Εικόνα 4. 4: Ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα (Powertalk, 2020).....	407
Εικόνα 4. 5: ΑνεμογεννήτριακάθετουάξονατύπουSavonius (Corbus & Meadors, 2005)	418
Εικόνα 4. 6: Βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας [Molina&Alvarez, 2011- Επεξεργασία)	429
Εικόνα 4. 7: Ανεμογεννήτρια σταθερής ταχύτητας (Φιορέντζη, 2019)	42
Εικόνα 6. 1: Κάτοψη της πολυκατοικίας από αεροφωτογραφία (GoogleEarth)	54
Εικόνα 6. 2: Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης Διαμερίσματος Α' Ορόφου	55
Εικόνα 6. 3: Εισαγωγή τοποθεσίας του υπό μελέτη ακινήτου	62
Εικόνα 6. 4: Ορισμός ηλεκτρικού φορτίου στο λογισμικό Homer σύμφωνα με τον Πίνακα 6.1	62
Εικόνα 6. 5: Λογαριασμός ηλεκτρικού ρεύματος της υπό μελέτης κατοικίας από τη ΔΕΗ.....	63
Εικόνα 6. 6: Ορισμός ηλεκτρικού δικτύου στο λογισμικό Homer	64
Εικόνα 6. 7: Αποτελέσματα της 1 ^{ης} μελέτης περίπτωσης	64
Εικόνα 6. 8: Συνολικό κόστος 1 ^{ης} μελέτης περίπτωσης	64
Εικόνα 6. 9: Κόστος 1 ^{ης} περίπτωσης/ έτος.....	65
Εικόνα 6. 10: «CompareEconomics».....	65
Εικόνα 6. 11: Καρτέλα «Electrical»	66
Εικόνα 6. 12: Χρήση δικτύου για την 1 ^η μελέτη περίπτωσης	66

Εικόνα 6. 13: Ρύποι 1 ^{ης} μελέτης περίπτωσης.....	67
Εικόνα 6. 14: Ηλιακά δεδομένα της περιοχής (Άλιμος).....	67
Εικόνα 6. 15: CanadianSolarCS6U-340Mμετιμή \$279.50] [https://www.solaris-shop.com/canadian-solar-maxpower-cs6u-340m-340w-mono-solar-panel/].....	68
Εικόνα 6. 16: Επιλογή φωτοβολταϊκού πάνελ στο λογισμικό.....	68
Εικόνα 6. 17: Επιλογή του μετατροπέα μέσα από το λογισμικό πρόγραμμα.....	69
Εικόνα 6. 18: Μετατροπέας SolaX X3 hybrid – 5.0T [https://www.solartopstore.com/products/solax-x3-hybrid-5-0t].....	69
Εικόνα 6. 19: Αποτελέσματα για τη 2 ^η μελέτη προσομοίωσης	70
Εικόνα 6. 20: Συνολικό κόστος για τη 2 ^η μελέτη προσομοίωσης	70
Εικόνα 6. 21: Κόστος για την 2 ^η μελέτη προσομοίωσης.....	71
Εικόνα 6. 22: Καρτέλα «CompareEconomics» σύγκριση μεταξύ της 1 ^{ης} και 2 ^{ης} μελέτης προσομοίωσης.....	72
Εικόνα 6. 23: Συγκριτικό γράφημα μεταξύ των δύο περιπτώσεων	72
Εικόνα 6. 24: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το εγκατεστημένο ΦΒ σύστημα των 3kW	73
Εικόνα 6. 25: Λειτουργία Φ/Β συστήματος κατά τη 2 ^η μελέτη προσομοίωσης	73
Εικόνα 6. 26: Λειτουργία δικτύου στη 2 ^η μελέτη προσομοίωσης	74
Εικόνα 6. 27: Παραγόμενοι ρύποι κατά τη 2 ^η μελέτη προσομοίωσης	74
Εικόνα 6. 28: Στοιχεία ανέμου από την περιοχή μελέτης (Άλιμος Αττικής).....	75
Εικόνα 6. 29: Γενικά χαρακτηριστικά της επιλεγθείσας ανεμογεννήτριας (https://www.windturbinestar.com/1kwv-v-aeolos-wind-turbine.html).....	76
Εικόνα 6. 30: Επιλογή του μοντέλου ανεμογεννήτριας στο λογισμικό	76
Εικόνα 6. 31: Αποτελέσματα της 3 ^{ης} μελέτης προσομοίωσης	77
Εικόνα 6. 32: Συνολικό κόστος για την 3 ^η μελέτη προσομοίωσης.....	77
Εικόνα 6. 33: Κόστος της 3 ^{ης} μελέτης προσομοίωσης	78
Εικόνα 6. 34: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το υβριδικό σύστημα	79
Εικόνα 6. 35: Λειτουργία φωτοβολταϊκού συστήματος για την 3 ^η μελέτη προσομοίωσης ...	80
Εικόνα 6. 36: Λειτουργία ανεμογεννήτριας κατά την 3 ^η μελέτη προσομοίωσης.....	80
Εικόνα 6. 37: Λειτουργία δικτύου στην 3 ^η μελέτη προσομοίωσης.....	81
Εικόνα 6. 38: Ρύποι της 3 ^{ης} μελέτης προσομοίωσης	82

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3. 1: Σύγκριση πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων ΦΒ συστημάτων (Ιδια επεξεργασία)	21
Πίνακας 4. 1: Τέσσερις περιοχές της καμπύλης ισχύος μιας Α/Γ (gneng, 2020)	39
Πίνακας 6. 1: Φορτία κατοικίας.....	56
Πίνακας 7. 1: Συνοπτικός πίνακας μελετών προσομοίωσης	83

Περίληψη

Οι ενεργειακές ανάγκες σήμερα καλύπτονται ως επί των πλείστων με τη χρήση συμβατικών καυσίμων και ορυκτών πόρων π.χ. λιγνίτης, πετρέλαιο, μαζούτ και φυσικό αέριο. Η αυξανόμενη χρήση αυτών των πηγών έχει οδηγήσει σε σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, με την κλιματική κρίση να είναι η σοβαρότερη σε παγκόσμιο επίπεδο. Η Ευρωπαϊκή Ένωση όπως και άλλοι φορείς έχουν αναλάβει πολυάριθμες πρωτοβουλίες, και η Ευρώπη είναι αποφασισμένη με παραπάνω πρόβλημα είναι η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), οι οποίες είναι ανεξάντλητες και φιλικές ως προς το περιβάλλον. Η αξιοποίηση των ΑΠΕ έχει αυξηθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια ενώ η χρήση τους γίνεται ακόμη και σε οικιακό επίπεδο. Συνεπώς, η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην τεchnοοικονομική μελέτη εγκατάστασης ενός υβριδικού οικιακού συστήματος στην περιοχή της Αττικής, στο νότιο προάστιο την επιβολή κανονισμών να μειώσει τη χρήση συμβατικών καυσίμων. Μία από τις λύσεις για το Άλιμος. Για την πραγματοποίηση της μελέτης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό HomerPro και αναλύθηκαν τέσσερις μελέτες περίπτωσης. Τα αποτελέσματα αναλύονται εκτενώς αποδεικνύοντας πως ένα καλά μελετημένο υβριδικό σύστημα σε οικιακό επίπεδο δύναται να μειώσει συντριπτικά τη χρήση συμβατικών καυσίμων για την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών των χρηστών μιας οικίας.

Abstract

Energy needs today are mostly covered by the use of conventional fuels and fossil resources such as lignite, oil, fuel oil and natural gas. The increasing use of these sources has led to serious environmental impacts, with the climate crisis being the most serious at the global level. The European Union as well as other actors have taken numerous initiatives, and Europe is determined with above problem is the use of renewable energy sources (RES), which are inexhaustible and environmentally friendly. The use of RES has increased dramatically in recent years and their use is even at the domestic level. Therefore, this paper focuses on the techno-economic study of the installation of a hybrid residential system in the south suburb of Attica, Attica, Greece to enforce regulations to reduce the use of conventional fuels. One of the solutions for Alimos. Homer Pro software was used to carry out the study and four case studies were analysed. The results are analysed extensively demonstrating that a well-designed hybrid system at the residential level can overwhelmingly reduce the use of conventional fuels to meet the energy needs of a home's occupants.

Εισαγωγή

Η ταχύτατη τεχνολογική πρόοδος που επιτεύχθηκε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, συνοδευόμενη από την ανακάλυψη μεγάλων αποθεμάτων πετρελαίου, οδήγησε τα κράτη να στραφούν σχεδόν αποκλειστικά στη χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κυρίως υδρογονανθράκων και άνθρακα, όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, το κάρβουνο, το λιγνίτη κ.λπ. Η χρήση αυτών των πηγών εξασφάλισε παγκόσμια πρόσβαση σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια.

Αυτές οι πηγές ήταν άφθονες στη φύση, και η ευκολία με την οποία μπορούσαν να επεξεργαστούν για την παραγωγή ενέργειας οδήγησε σε μια σημαντική ενεργειακή ανάπτυξη που βασιζόταν κυρίως στην εκμετάλλευση των φυσικών ενεργειακών πόρων της γης. Ακόμα και σήμερα, η παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας εξαρτάται κυρίως από ορυκτούς πόρους, παρά το γεγονός ότι υπάρχουν άφθονες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, η γεωθερμία κ.λπ.

Για το λόγο αυτό, λόγω της μεγάλης εξάρτησης του ανθρώπου από την ενέργεια και την αυξανόμενη ζήτησή της, η ανθρωπότητα πρέπει να στραφεί στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες ανανεώνονται φυσικά και θεωρούνται ανεξάντλητες. Επιπλέον, η ανεύθυνη και φυσικά αλόγιστη χρήση των ορυκτών πόρων για την παραγωγή ενέργειας έχει οδηγήσει στην υποβάθμιση του όζοντος και έχει προκαλέσει μη αναστρέψιμες επιπτώσεις στο περιβάλλον, καθώς και την κλιματική κρίση.

Βάσει της περιβαλλοντικής κρίσης, πολλά παγκόσμια συνέδρια έχουν διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια, προωθώντας της εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προκειμένου να παραχθεί ενέργεια. Η βιωσιμότητα του πλανήτη έχει γίνει προτεραιότητα για την παγκόσμια κοινότητα, και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απαιτείται για να επιτευχθεί μια ισορροπία στο περιβάλλον. Η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η ανάπτυξη των αντίστοιχων τεχνολογιών ξεκίνησε κυρίως μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση το 1973.

1. Ενέργεια και Ενεργειακό Πρόβλημα

1.1 Το Ενεργειακό Πρόβλημα

Κατά τη δεκαετία του 1950, άρχισε να αντιλαμβάνεται η κοινωνία το πρόβλημα της ενέργειας, ωστόσο με μια φιλοσοφική έννοια. Μολονότι ότι η κοινωνία πίστευε πως οι εκμεταλλεύσιμες ορυκτές πηγές θα κρατούσαν για ακόμη 20 χρόνια, αναγνωρίστηκε η ανάγκη για σοβαρή συζήτηση σχετικά με την ενεργειακή τροφοδότηση. Η ενεργειακή κρίση του 1973 συγκλόνισε τις τότε κυβερνήσεις, καθώς αναδείχθηκε η ύπαρξη ενός ενεργειακού προβλήματος. Η αυξανόμενη κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, το πρόβλημα της παραγωγής ενέργειας και η ανησυχία για τη ρύπανση του περιβάλλοντος αποτέλεσαν ένα σημαντικό ζήτημα για την ανθρωπότητα. Το ενεργειακό πρόβλημα προέκυψε από την αύξηση του πληθυσμού και την ολοένα ζήτηση για ενέργεια. Η τεχνολογική εξέλιξη, μαζί με την αυξανόμενη χρήση ηλεκτρονικών συσκευών, οδήγησε σε υπερκατανάλωση ενέργειας. Κάθε χώρα ανέπτυξε λύσεις και εφάρμοσε μέτρα για να επιτύχει ενεργειακή ανεξαρτησία και να παράγει ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές. Δεδομένου ότι η χρήση ενέργειας ευθύνεται για περισσότερο από 75% των αερίων του θερμοκηπίου, απαιτείται απανθρακοποίηση για την επίτευξη των κλιματικών στόχων που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει προτείνει μια σειρά μέτρων για τη δημιουργία ενός συνδεδεμένου ενεργειακού συστήματος, με στόχο την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης, την αξιοποίηση όλων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τον οικολογικό σχεδιασμό, την προώθηση ενεργειακών και τεχνολογικών προτύπων και την ενίσχυση της βιώσιμης και πράσινης οικονομίας (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019).

1.2 Η Ενέργεια Γενικά

Η ενέργεια είναι ένα ουσιαστικό κομμάτι της ανθρώπινης ύπαρξης, καθώς χωρίς αυτήν η καθημερινότητά των ανθρώπων σήμερα δεν θα ήταν εφικτή. Λόγω της ασυνείδητης κατανάλωσης ενέργειας από συμβατικές πηγές καυσίμων και των ανεπιθύμητων επιπτώσεων της αλόγιστης ενεργειακής κατανάλωσης, ο παγκόσμιος πληθυσμός έχει στραφεί προς την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Η παρούσα κλιματική κρίση θα συνεχιστεί, εκτός αν ληφθούν μέτρα που έχουν οριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση και άλλους φορείς. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2009/28/EK καθόρισε ότι έως το 2020, η ΕΕ θα έπρεπε να έχει τουλάχιστον 20% της ενέργειάς της προερχόμενη από ανανεώσιμες πηγές. Τον επόμενο χρόνο, τον Ιούλιο του 2021, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε τροποποιήσεις στην οδηγία αυτή όσον αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, προκειμένου να

ενημερωθούν οι στόχοι λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική κρίση. Ο νέος δεσμευτικός στόχος είναι η αύξηση της ανανεώσιμης ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα της ΕΕ στο 40% έως το 2030 (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2021).

1.3 Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν την αιολική ενέργεια, την ηλιακή ενέργεια, την υδροηλεκτρική ενέργεια, την ενέργεια από τους ωκεανούς, τη γεωθερμική ενέργεια, τη βιομάζα και τα βιοκαύσιμα. Οι ΑΠΕ αποτελούν εναλλακτικές λύσεις παραγωγής ενέργειας πέραν των ορυκτών καυσίμων ενώ δύναται να συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση των αέριων ρύπων που είναι υπεύθυνοι για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι ΑΠΕ επίσης δύναται να συνεισφέρουν και να βελτιώσουν το ενεργειακό σύστημα αφού θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως αρωγοί στη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από μη σταθερές και αναξιόπιστες αγορές ορυκτών καυσίμων (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2021^α).

1.4 Ενσωμάτωση ΑΠΕ στα Κτίρια

Για την αποτελεσματική εκμετάλλευση των ΑΠΕ σε κτίρια, απαιτείται η εφαρμογή ενός ενεργειακού σχεδιασμού που επικεντρώνεται στην αξιοποίηση της ηλιακής και αιολικής ενέργειας. Μέσω αυτού, επιδιώκεται η πλήρης αξιοποίηση του δυναμικού ενέργειας ενός κτιρίου με σκοπό τη σημαντική μείωση των ενεργειακών αναγκών του. Η εφαρμογή των ΑΠΕ σε ένα κτίριο ή μια ομάδα κτιρίων οδηγεί σε σημαντική μείωση της ενεργειακής ζήτησης (R.E.L National, 2005). Σήμερα, παρατηρείται αυξανόμενη εφαρμογή των ΑΠΕ στα κτίρια, είτε με σκοπό την κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών τους, είτε για την πλήρη κάλυψή τους. Οι κύριες μέθοδοι ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται στα κτίρια είναι οι εξής (Boyle, 1996):

1. Ηλιακοί συλλέκτες για θέρμανση νερού: Χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση του νερού που χρησιμοποιείται στο κτίριο.
2. Ηλιακοί συλλέκτες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας: Αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων.
3. Ανεμογεννήτριες: Χρησιμοποιούν την αιολική ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της περιστροφής των ανεμογεννητριών από τον άνεμο.

4. Βιομάζα και βιοκαύσιμα: Περιλαμβάνουν τη χρήση βιολογικών υλικών, όπως ξύλο, καλαμπόκι, κοπριά κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων κ.λπ., για την παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρικής ενέργειας.
5. Συστήματα γεωθερμικής ενέργειας: Αξιοποιούν τη θερμότητα που παράγεται από το έδαφος ή το υπέδαφος για τη θέρμανση ή ψύξη του κτιρίου.

Η εφαρμογή αυτών των ΑΠΕ στα κτίρια συμβάλλει στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και στην υποστήριξη της βιωσιμότητας και της προστασίας του περιβάλλοντος.

2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

2.1 Τι είναι οι ΑΠΕ

Οι ΑΠΕ αποτελούν ενεργειακές πηγές που βρίσκονται σε αφθονία στη φύση. Είναι πηγές ενέργειας που τις εκμεταλλεύονταν οι άνθρωποι στα πρώιμα χρόνια έως ότου ανακαλύψουν τα ορυκτά καύσιμα. Θεωρητικά οι ΑΠΕ είναι άφθονες ενώ η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον. Αρκετές χώρες χρησιμοποιούν τις ΑΠΕ ως μια πηγή εγχώριας ενέργειας με αποτέλεσμα να βελτιώνεται η οικονομία της εκάστοτε χώρας και ταυτόχρονα να ενισχύεται ο ενεργειακός τους εφοδιασμός. Τέλος, η χρήση ΑΠΕ μεταξύ άλλων συμβάλλει στη μείωση των αέριων ρύπων, στην αύξηση του βιοτικού επιπέδου και στην ενεργειακή εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα (allaboutenergy.gr, 2021). Οι ΑΠΕ έχουν διάφορες μορφές όπως:

2.2 Είδη ΑΠΕ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) αντιπροσωπεύουν ενεργειακές πηγές που υπάρχουν σε πληθώρα στη φύση. Αυτές οι πηγές ενέργειας ήταν αυτές που χρησιμοποιούνταν από τους ανθρώπους στα αρχικά στάδια, πριν ανακαλυφθούν τα ορυκτά καύσιμα. Θεωρητικά, οι ΑΠΕ είναι απεριόριστες και η χρήση τους δεν προκαλεί περιβαλλοντική ρύπανση. Πολλές χώρες χρησιμοποιούν τις ΑΠΕ ως εγχώρια πηγή ενέργειας, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της οικονομίας τους και την ενίσχυση της ενεργειακής τους ασφάλειας. Επιπλέον, η χρήση των ΑΠΕ συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών αερίων, στην αύξηση του βιοτικού επιπέδου και στη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα (allaboutenergy.gr, 2021). Οι ΑΠΕ περιλαμβάνουν διάφορες μορφές, όπως:

- Ηλιακή ενέργεια
- Αιολική ενέργεια
- Υδραυλική ενέργεια
- Γεωθερμική ενέργεια
- Βιομάζα
- Κυματική ενέργεια

Παρακάτω παρατίθεται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ΑΠΕ σε συνοπτική μορφή.

Πλεονεκτήματα των ΑΠΕ (allaboutenergy.gr, 2021) :

- Ανεξάντλητες και απεριόριστες.

- Συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα τα οποία δεν είναι ανεξάντλητα.
- Ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας μιας χώρας εξασφαλίζοντας ενεργειακή ασφάλεια.
- Αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος αφού οι ΑΠΕ είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες. Ως εκ τούτου καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο και ταυτόχρονα ανακουφίζονται τα συστήματα υποδομής με μείωση των απωλειών κατά τη μεταφορά της ενέργειας.
- Επιλογή κατάλληλης μορφής ΑΠΕ προσαρμοσμένη στις ανάγκες των χρηστών.
- Χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις τάσεις της διεθνούς οικονομίας.
- Αναζωογόνηση υποβαθμισμένων περιοχών κοινωνικά και οικονομικά αποτελώντας πόλο έλξης για την τοπική ανάπτυξη.
- Επενδύσεις σε ΑΠΕ οδηγούν σε νέες θέσεις εργασίας σε τοπικό επίπεδο.
- Φιλικές ως προς το περιβάλλον.

Μειονεκτήματα ΑΠΕ(allaboutenergy.gr, 2021):

- Λόγω του διεσπαρμένου δυναμικού των ΑΠΕ καθίσταται δύσκολο να συγκεντρωθεί μεγάλο μέγεθος ισχύος ώστε να μεταφερθεί και να αποθηκευτεί η ενέργεια.
- Οι ΑΠΕ διαθέτουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας. Για να υπάρχει σημαντική παραγωγή ενέργειας είθισται να απαιτούνται εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
- Η διαθεσιμότητα των ΑΠΕ επηρεάζεται από αρκετές διακυμάνσεις που έχουν μεγάλη διάρκεια που οδηγεί στην εφεδρεία άλλων πηγών ενέργειας ή ακριβές μεθόδους αποθήκευσης της ενέργειας.
- Μεγάλο κόστος αρχικής επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος συγκριτικά με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων.

Όπως διακρίνεται υπάρχουν αρκετές μορφές ΑΠΕ. Ωστόσο η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην ηλιακή και αιολική ενέργεια διότι η Μελέτη Περίπτωσης που παρουσιάζεται στο 4^ο Κεφάλαιο ειδικεύεται στις ανωτέρω ΑΠΕ σε ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας.

2.2.1 Ηλιακή Ενέργεια

Ο Markvart (2003) αναφέρει ότι η ηλιακή ενέργεια προέρχεται από τον ήλιο και συγκεκριμένα από τις ηλιακές ακτινοβολίες. Η θερμότητα που εκπέμπεται από τον ήλιο απορροφάται από τη Γη. Η ηλιακή ενέργεια θεωρείται η σημαντικότερη ανανεώσιμη πηγή

ενέργειας, αφού οποιαδήποτε μορφή ζωής στη Γη εξαρτάται από τον ήλιο. Συγκεκριμένα, τα φυτά δημιουργούν οργανικές ουσίες μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης για τη διατροφή τους. Έτσι, η φωτοσύνθεση αποτελεί τη βάση της διατροφικής αλυσίδας.

Ο ήλιος εκπέμπει τεράστιες ποσότητες ενέργειας, πολύ μεγαλύτερες από την παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση, περίπου 10.000 φορές. Προκειμένου να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες της Γης, απαιτείται μόνο το 0,01% της ενέργειας του ήλιου. Έτσι, ο ήλιος παρέχει ανεξάντλητη, καθαρή και οικονομική ενέργεια (Κραββαρίτης, 2013).

Προκειμένου να κατανοηθεί η δύναμη του Ήλιου, κρίνεται απαραίτητο να γίνει αναφορά σε κάποια σημαντικά γεγονότα ή μάλλον δεδομένα για το εν λόγω αστέρι καθώς και τη Γη. Συνεπώς, ο Ήλιος αφορά ένα άστρο με ηλικία περίπου 4,5 δισεκατομμυρίων ετών και βρίσκεται στο κέντρο του ηλιακού συστήματος, στο οποίο ανήκει και η Γη. Ο Ήλιος εκπέμπει περίπου 174.000 TW ενέργειας προς τη Γη, στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, ενώ στο εσωτερικό της Γης αυτός ο αριθμός είναι περίπου 32 TW. Η μάζα του ήλιου είναι περίπου 330.000 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα της Γης, και η ακτίνα του φτάνει τα 695.000 χιλιόμετρα. Αποτελείται κυρίως από υδρογόνο (73%) και ήλιο (25%), με το υπόλοιπο ποσοστό να αφορά βαρύτερα στοιχεία όπως οξυγόνο, σίδηρος, άνθρακας κ.ά. Η θερμοκρασία του ήλιου κυμαίνεται από περίπου 5800°C έως 15.000.000°C. Η ενέργεια του ήλιου μεταδίδεται στη Γη με τη μορφή ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος υψηλής συχνότητας, το οποίο ταξιδεύει σε μικρές ομάδες φωτονίων. Το φως του Ήλιου απαιτεί περίπου 8,5 λεπτά για να φτάσει στην επιφάνεια της Γης (η ταχύτητα του φωτός είναι 300.000 χιλιόμετρα/δευτερόλεπτο), και η απόσταση του από τη Γη είναι κατά μέσο όρο 150 εκατομμύρια χιλιόμετρα, γνωστή και ως "Αστρονομική Μονάδα" (AU). Λόγω του ότι η τροχιά της Γης γύρω από τον ήλιο δεν είναι τελείως κυκλική, η μέγιστη απόσταση που φτάνει κατά την 1^η Ιουλίου (αφήλιος) είναι 152,1 εκατομμύρια χιλιόμετρα, ενώ την 1^η Ιανουαρίου (περιήλιος) η απόσταση είναι 147,1 εκατομμύρια χιλιόμετρα (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2010). Η ηλιακή ενέργεια είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί με ενεργητικά ή παθητικά ηλιακά συστήματα, καθώς και με υβριδικές λύσεις.

Αναλυτικότερα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι συστήματα που μπορούν να συλλέξουν την ηλιακή ακτινοβολία και να τη μετατρέψουν σε θερμότητα για χρήση σε νερό, αέρα ή άλλα ρευστά. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας σε αυτά τα συστήματα είναι σχετικά απλή και υπάρχουν πολλές δυνατότητες εφαρμογής της σε θερμικές χρήσεις χαμηλής θερμοκρασίας.

Ο πιο γνωστός τύπος ενεργητικού ηλιακού συστήματος είναι οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, που εγκαθίστανται συνήθως στις στέγες των κτιρίων. Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες αποτελούνται από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, οι οποίοι συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, καθώς και ένα δοχείο αποθήκευσης για τη θερμότητα και σωληνώσεις που τη μεταφέρουν. Η ηλιακή ενέργεια που απορροφάται από τους ηλιακούς συλλέκτες μεταφέρεται στο δοχείο αποθήκευσης. Συνήθως, οι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται προς νότο και με κλίση 30° - 60° ως προς τον ορίζοντα, για να επιτευχθεί η μέγιστη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας σε ετήσια βάση (Αμανατίδης, 2020). Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα αποτελούνται κυρίως από δύο μέρη ήτοι:

- Τμήμα συλλογής δηλαδή ηλιακός συλλέκτης και
- Τμήμα αποθήκευσης δηλαδή το δοχείο στο οποίο αποθηκεύεται το θερμό νερό. Το εν λόγω δοχείο διαθέτει ένα σύστημα με ηλεκτρική αντίσταση με θερμοστάτη προκειμένου να παραχθεί ζεστό νερό ειδικά σε περιόδους όπου δεν υφίσταται ηλιοφάνεια.

Εν συνεχεία τα ενεργειακά ηλιακά συστήματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες με βάση το κύκλωμα κυκλοφορίας του θερμαινόμενου μέσου, ήτοι:

- Ανοιχτό κύκλωμα δηλαδή υφίσταται απευθείας θέρμανση του νερού χρήσης και
- Κλειστό κύκλωμα δηλαδή υπάρχει άμεση θέρμανση του νερού χρήσης.

Όσον αφορά τα παθητικά ηλιακά συστήματα σχετίζονται με δομικά στοιχεία που παρέχουν θέρμανση σε ένα κτίριο. Ωστόσο δύναται να παρέχουν και δροσισμό μέσω της εκμετάλλευσης των φυσικών πηγών ενέργειας. Σκοπός των παθητικών συστημάτων είναι να παρέχουν φυσικό φωτισμό και τη ρύθμιση της θερμοκρασίας μέσα στους εσωτερικούς χώρους σε ένα κτίριο. Προκειμένου να συλλεχθεί η ηλιακή ενέργεια στα παθητικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούνται γυάλινα ή διάφανα στοιχεία ώστε να υπάρξει μίμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Συνεπώς, η θερμότητα που προέρχεται από τον ήλιο εγκλωβίζεται μέσα στον εσωτερικό χώρο (BRITA, 2007). Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα παθητικό ηλιακό σύστημα. Από το σχήμα διακρίνεται ότι η θερμότητα του ήλιο μπορεί να αποθηκευτεί στο εσωτερικό ενός χώρου ενός κτιρίου με φυσικά μέσα.

2.2.2 Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια αποτελεί άλλη μια ΑΠΕ και σχετίζεται με την κινητική ενέργεια του ανέμου. Ως εκ τούτου, η θερμότητα του αέρα δύναται να απορροφάται από το έδαφος και

το νερό και μεταφέρεται στον αέρα με αποτέλεσμα να παράγονται θερμοκρασιακές μεταβολές όπως και μεταβολές στην πίεση και την πυκνότητα του αέρα. Όλα τα παραπάνω συνδυαστικά παράγουν δυνάμεις που ωθούν τον αέρα (ΚΑΠΕ, 1999).

Πιο συγκεκριμένα, η αιολική ενέργεια παράγεται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία λόγω του ότι η ανομοιόμορφη θέρμανση στην επιφάνεια της γης έχει τη δυνατότητα να μετακινεί μεγάλες μάζες αέρα από μια περιοχή σε μια άλλη με αποτέλεσμα να δημιουργούνται άνεμοι. Η αιολική ενέργεια χαρακτηρίζεται ως ήπια ενέργεια, ανεξάντλητη και φυσικά φιλική προς το περιβάλλον. Το συνολικό αιολικό δυναμικό του πλανήτη ανά έτος εκτιμάται ότι μπορεί να καλύψει έως και δύο φορές τις ανθρώπινες ανάγκες. Συνεπώς, εφόσον υπήρχε η κατάλληλη τεχνολογία, οι ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας θα δύναται να καλυφθούν αποκλειστικά και μόνο από την αιολική ενέργεια.

Υπολογίζεται ότι στο 25% της γήινης επιφάνειας, οι μέση ταχύτητα των ανέμων είναι 1m/s (σε ύψος 10m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους). Σε περίπτωση που η ταχύτητα των ανέμων είναι μεγαλύτερη από την προαναφερθείσα τότε το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής χαρακτηρίζεται ως εκμεταλλεύσιμο. Ήτοι, εφόσον υπάρχουν αιολικές εγκαταστάσεις, αυτές θεωρούνται ως οικονομικά βιώσιμες. Με αφορμή το ανωτέρω, το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί κατά πολύ και θεωρείται πλέον ότι η αιολική ενέργεια διαπερνά την «πρώτη» περίοδο ωριμότητας αφού πλέον μπορεί να ανταγωνιστεί τις συμβατικές μορφές ενέργειας (allaboutenergy, 2020).

Η Ελλάδα διαθέτει ένα πλούσιο αιολικό δυναμικό ενώ αν μπορούσε να εκμεταλλευτεί στην πληρότητα του, θα μπορούσε να εξασφαλίσει τις ενεργειακές ανάγκες όλου του Ελληνικού πληθυσμού. Από τις αρχές του 1980 έως και σήμερα έχουν κατασκευαστεί αρκετά αιολικά πάρκα, με το πρώτο να βρίσκεται στην Κύθνο (1982), έπειτα στην Άνδρο, Εύβοια, Λήμνο, Λέσβο, Χίο και Σάμο καθώς και στην Κρήτη. Η συνολική ισχύς όλων των πάρκων αυτών είναι μεγαλύτερη από 30MW (allaboutenergy, 2020).

Η αιολική ενέργεια μπορεί να εκμεταλλευτεί με ανεμογεννήτριες ήτοι μηχανές οι οποίες δύναται να μετατρέψουν την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Δύο είδη ανεμογεννητριών υπάρχουν: του οριζοντίου άξονα (horizontalaxis) και του κατακόρυφου άξονα (verticalaxis).

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας σε μια χώρα έχει τα εξής οφέλη: συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνοντας ταυτόχρονα τις περιβαλλοντικές ρυπογόνες εκπομπές, μειώνει την ανάγκη για συμβατικά καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, βελτιώνει την ποιότητα του περιβάλλοντος και δημιουργεί νέες

θέσεις εργασίας. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, για κάθε νέο 1MW αιολικής ενέργειας απαιτούνται περίπου 14 νέες θέσεις εργασίας (allaboutenergy, 2020).

Ωστόσο, υπάρχουν κάποια συνοδευτικά μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών. Ένα από αυτά είναι ο θόρυβος που προκαλείται από τη λειτουργία τους. Επίσης, μπορεί να προκαλούν ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές σε ραδιοφωνικά και τηλεοπτικά σήματα, αν και αυτό είναι σπάνιο φαινόμενο.

3. Φωτοβολταϊκά Συστήματα

3.1 Εφαρμογή ΦΒ Συστημάτων

Η τεχνολογία των ΦΒ Συστημάτων είναι δυνατόν να χαρακτηριστεί ως μια άμεση, απλή και αποδοτική μέθοδος μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα Φ/Β πλαίσια χρησιμοποιούν ηλεκτρικά κύτταρα που κατασκευάζονται από πυρίτιο. Τα εν λόγω κύτταρα μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια, δίχως να απαιτούν μεγάλη και περίπλοκη συντήρηση, ενώ είναι φιλικά απέναντι στο περιβάλλον. Μέσω αυτής της διαδικασίας, παράγεται καθαρή ενέργεια, καθιστώντας την τεχνολογία Φ/Β μία από τις πιο ασφαλείς και περιβαλλοντικά φιλικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Παπαθανασίου, 2008).

Τα ανωτέρω πλεονεκτήματα από μόνα τους αρκετά προκειμένου να προωθηθεί η παγκόσμια πράσινη ανάπτυξη. Πιο συγκεκριμένα, τα οφέλη που προσφέρουν τα ΦΒ συστήματα μπορούν να κατανοηθούν ως εξής: κατά τη στιγμή που παράγεται 1KW ηλεκτρικής ενέργειας από ένα ΦΒ σύστημα, σε ετήσια βάση αποτρέπεται η έκλυση περίπου 1,5 τόνου διοξειδίου του άνθρακα προς την ατμόσφαιρα. Για την παραγωγή της ίδιας ισχύος από συμβατικά καύσιμα π.χ. πετρέλαιο, απαιτούνται για την παραγωγή 1kW, 2.2 βαρέλια πετρελαίου (Λαδάς, 2012). Φυσικά υφίσταται και μειονεκτήματα τα οποία μαζί με τα πλεονεκτήματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας	Υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης λόγω υψηλού κόστους των Φ/Β στοιχείων
Μηδενική ρύπανση στο περιβάλλον	Κόστος συσσωρευτών σε περίπτωση που απαιτείται αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας (σε αυτόνομα Φ/Β συστήματα)
Αθόρυβη λειτουργία και ελάχιστη συντήρηση και υψηλή αξιοπιστία και μεγάλη αντοχή σε ακραία καιρικά φαινόμενα	Απαιτείται μεγάλη επιφάνεια λόγω της μικρής πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας
Μεγάλη διάρκεια ζωής με Μ.Ο ζωής 25 έτη και απλή μέθοδος κατασκευής των Φ/Β συστημάτων	Η παραγωγή ενέργειας εξαρτάται άμεσα από τις καιρικές συνθήκες οι οποίες είναι απρόβλεπτες

Αρκετά μεγάλη παραγόμενη ισχύ σε σύγκριση με την αναλογία ως προς το βάρος της διάταξης τους.	
Μπορεί να προσφέρει ενεργειακή ανεξαρτησία σε μια χώρα	
Βαθμιαία αύξηση μικροηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει την ολοένα αυξανόμενη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια	

Πίνακας 3. 1: Σύγκριση πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων ΦΒ συστημάτων (Ιδια επεξεργασία)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων αποτελεί μια απευθείας, εύκολη και αποδοτική μέθοδο μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια χρησιμοποιούν ηλεκτρικά κύτταρα που κατασκευάζονται από πυρίτιο. Αυτά τα κύτταρα μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, χωρίς να απαιτούν μεγάλη ή περίπλοκη συντήρηση και είναι επίσης φιλικά προς το περιβάλλον. Αυτά τα συστήματα παράγουν καθαρή ενέργεια, καθιστώντας τα φωτοβολταϊκά έναν από τους καθαρότερους και ασφαλέστερους τρόπους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Προς το παρόν, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακές πηγές έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Υπάρχει μια συνεχής ανάγκη για αξιόπιστη, καθαρή και οικονομική ενέργεια, και προβλέπεται ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα γίνουν μια από τις κύριες πηγές ενέργειας σε σύγκριση με τις υπάρχουσες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας έως το 2030.

Η αύξηση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας που παρατηρείται επί του παρόντος οφείλεται σε παράγοντες όπως η ένταση ανάμεσα στη Ρωσία και την Ουκρανία. Η πλήρης διακοπή των εξαγωγών φυσικού αερίου από τη Ρωσία στο τέλος του προηγούμενου έτους οδήγησε σε αύξηση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με το Bloomberg, αναμένεται μια δύσκολη κατάσταση στην ενεργειακή αγορά καθώς η Ρωσία προτίθεται να σταματήσει τις εξαγωγές φυσικού αερίου προς πολλές χώρες που αρνούνται να πληρώσουν σε ρούβλια(ΑΥΓΗ, 2022).

Στην Ελλάδα, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας για τους μεγάλους καταναλωτές έχει αυξηθεί σημαντικά, με την υψηλότερη τιμή να καταγράφεται τον Ιούλιο του 2022 στα 327€/MWh. Σήμερα (Ιούνιος 2023) η τιμή της MWh έχει μειωθεί στα 260€/MWh(ΡΑΕ, 2023).

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα και τα συστήματα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο του εκάστοτε παρόχου ενέργειας (ΔΕΗ, elpedison, protergia κ.α) αντιπροσωπεύουν δύο διαφορετικές κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων στην ελληνική αγορά.

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα λειτουργούν ανεξάρτητα από το δίκτυο ηλεκτροδότησης και χρησιμοποιούνται κυρίως σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν είναι εφικτή η σύνδεση με το δίκτυο. Αυτά τα συστήματα αποθηκεύουν την παραγόμενη ηλιακή ενέργεια σε μπαταρίες για την παροχή ενέργειας όταν δεν υπάρχει ήλιος. Αποτελούν μια εξαιρετική λύση για τις απομακρυσμένες περιοχές όπου η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από το κεντρικό δίκτυο είναι περιορισμένη ή ανύπαρκτη.

Από την άλλη πλευρά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα που είναι διασυνδεδεμένα στο δίκτυο του εκάστοτε παρόχου ενέργειας λειτουργούν παράλληλα με το δίκτυο και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο. Οι καταναλωτές που έχουν τέτοια συστήματα λαμβάνουν πίσω από τον πάροχο αντίτιμο για την παραγόμενη ενέργεια μέσω ενός συστήματος τιμολόγησης που ονομάζεται "feed-in-tariff" (FIT). Στο τέλος του έτους, ο καταναλωτής πληρώνει τη διαφορά μεταξύ της καταναλωθείσας του ενέργειας και της παραγόμενης ενέργειας. Το FIT αντιπροσωπεύει το ποσό που ο πάροχος ενέργειας πληρώνει στον καταναλωτή για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας (Ofualagba, 2008).

Ο σχεδιασμός του τιμολογίου FIT είναι σημαντικός για να διασφαλιστεί η οικονομική βιωσιμότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων που είναι διασυνδεδεμένα στο δίκτυο. Ένα καλά σχεδιασμένο τιμολόγιο FIT πρέπει να λαμβάνει υπόψη το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος, το επίπεδο των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά, καθώς και άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την ανταγωνιστικότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων (Ofualagba, 2008).

Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις στην Ελλάδα συνολικά αποτελούν σημαντικό ποσοστό της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η επένδυση σε φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να έχει οικονομικά οφέλη για τους καταναλωτές, ενώ συνεισφέρει επίσης στην ενεργειακή αυτονομία και την προστασία του περιβάλλοντος.

Συνοψίζοντας, η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων αυξάνεται ταχύτατα σε παγκόσμιο επίπεδο λόγω της ανάγκης για αξιόπιστη, καθαρή και οικονομική ενέργεια. Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις μπορούν να λειτουργήσουν είτε αυτόνομα, εξυπηρετώντας απομακρυσμένες περιοχές, είτε να είναι διασυνδεδεμένες με το δίκτυο για να παρέχουν

ενέργεια στους καταναλωτές. Η τεχνολογία αυτή συνεχίζει να βελτιώνεται και να εξελίσσεται, και αναμένεται ότι θα συνεχίσει να αποτελεί σημαντική πηγή ενέργειας στο μέλλον.

3.2 Δομή ΦΒ Συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούν ηλιακές κυψέλες που βασίζονται σε ημιαγωγούς υλικούς και συνδέονται με ζεύγη αρνητικής και θετικής φόρτισης (p-n junctions) για τη δημιουργία ηλεκτροδιδίων. Οι κυψέλες συνδέονται μεταξύ τους σε ομάδες, σχηματίζοντας τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (modules). Η σύνδεση των ηλεκτροδίων σε σειρά οδηγεί σε αύξηση της τάσης, ενώ η ισχύς του πλαισίου είναι ίση με την ισχύ της κυψέλης. Αντίθετα, η παράλληλη σύνδεση αυξάνει την ισχύ του πλαισίου, ενώ η τάση παραμένει ίδια με την τάση μιας κυψέλης.

Η επιλογή μεταξύ σειριακής και παράλληλης σύνδεσης εξαρτάται από τις ανάγκες του καταναλωτή. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν διάφοροι συνδυασμοί στις διάφορες στρώσεις συνδετήρων μεταξύ των πλαισίων. Το μέγεθος και η μορφή του πλαισίου καθορίζονται από διάφορες παράμετρους, όπως ο τρόπος εγκατάστασης, η θέση και η μεταφορά.

Συνολικά, το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από συστοιχίες φωτοβολταϊκών πλαισίων που στηρίζονται σε μεταλλικές βάσεις και συνδέονται με αντιστροφείς που μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο ρεύμα.

Σύμφωνα με το SMA(2018), ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τον ακόλουθο βασικό εξοπλισμό:

- Φωτοβολταϊκή γεννήτρια (PVgenerator): Αυτή είναι η μονάδα του φωτοβολταϊκού συστήματος που περιλαμβάνει τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και παράγει συνεχές ρεύμα.
- Ανιστροφέας (inverter): Αυτή η συσκευή μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία σε εναλλασσόμενο ρεύμα που είναι συμβατό με το δίκτυο ή τον φορτιστή.
- Ρυθμιστής φόρτισης (chargecontroller): Αυτή η συσκευή χρησιμοποιείται σε αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα για να ρυθμίζει τη φόρτιση των μπαταριών ή των συσσωρευτών.
- Δίοδος: Η δίοδος τοποθετείται στη σειριακή σύνδεση των παράλληλα συνδεδεμένων πλαισίων και αποτρέπει την ανάδρομη ροή του ρεύματος.

- Συστήματα ελέγχου (connectionboxes): Αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν οπτικές ίνες και το κεντρικό τους σύστημα που φιλοξενείται στο κέντρο ελέγχου. Οι οπτικές ίνες μεταφέρουν δεδομένα όπως ισχύ, ένταση, τάση και συχνότητα.
- Διακόπτες ισχύος: Αυτοί οι αυτόματοι διακόπτες προστατεύουν το φωτοβολταϊκό σύστημα από υπερένταση, υποένταση, υπέρταση και υπόταση.

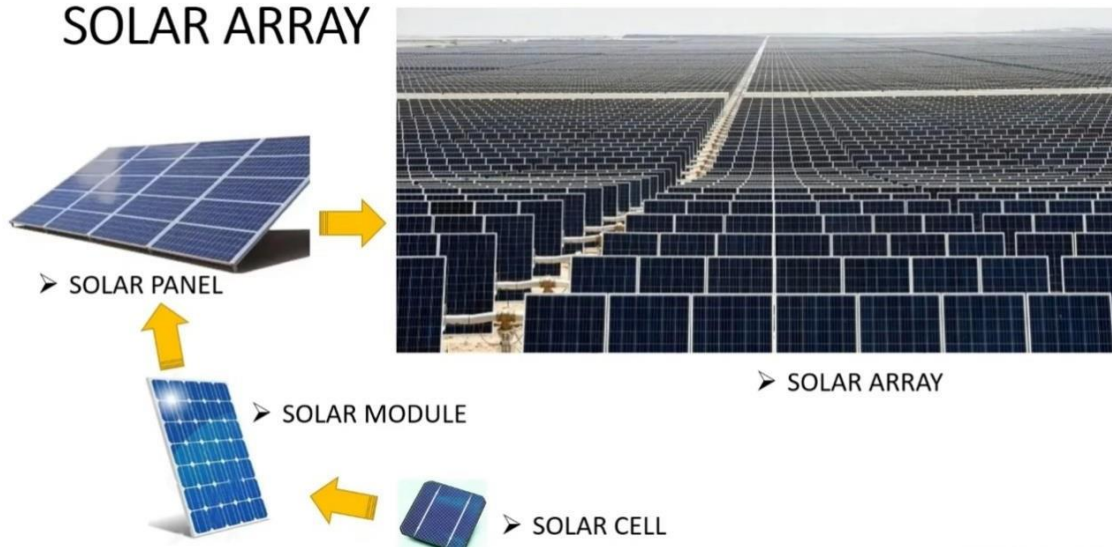
Επιπλέον, ο εξοπλισμός περιλαμβάνει καλώδια και μετρητές που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση και τη μέτρηση των συστατικών του φωτοβολταϊκού συστήματος.

3.3 Λειτουργία και Απόδοση ΦΒ Συστημάτων

Οι μετρητές αποτελούν σημαντικό μέρος των φωτοβολταϊκών συστημάτων, καθώς καταγράφουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία από απόσταση. Αυτοί οι μετρητές λειτουργούν ως μετασχηματιστές έντασης και τάσης και συνδέονται ανάμεσα τους, ενώ καταγράφουν τις μετρήσεις σε ένα σύστημα όπως το ENERGRID.

Όσον αφορά τα καλώδια των φωτοβολταϊκών συστημάτων, έχουν κρίσιμο ρόλο καθώς συνδέουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα με το δίκτυο. Οι διατομές των καλωδίων εξαρτώνται από το επίπεδο έντασης του ρεύματος που διαρρέει. Η SMA(2018) προσφέρει πιθανώς περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις ακριβείς διατομές καλωδίων που απαιτούνται για τα διάφορα επίπεδα έντασης.

SOLAR ARRAY

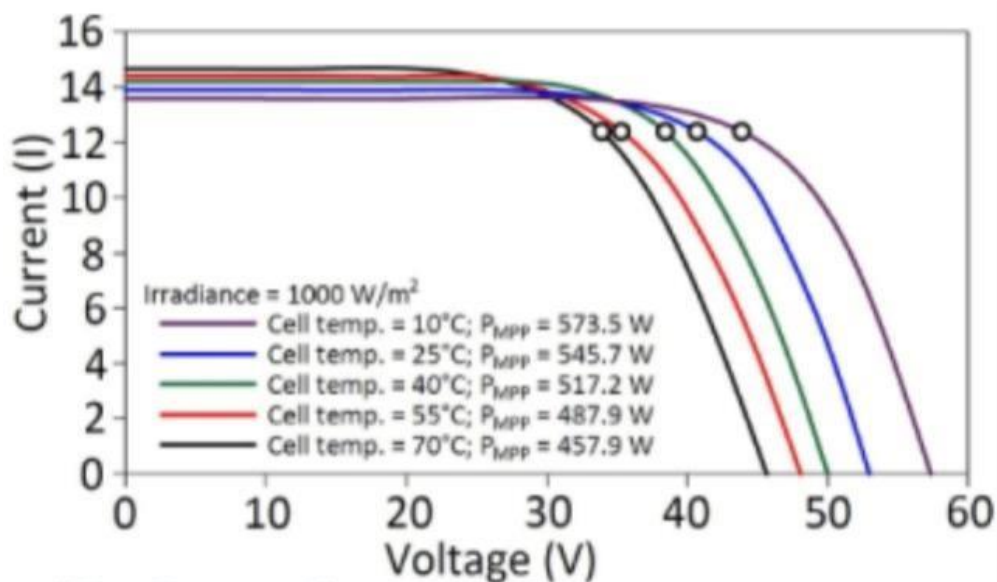


Εικόνα 3. 1 α.: Βασική σύνθεση μια φωτοβολταϊκής συστοιχίας (SCADA SUPPORT PH)

Η κατανόηση του πώς λειτουργεί σωστά ένα φωτοβολταϊκό σύστημα βασίζεται στη σωστή μελέτη και σχεδίαση του συστήματος. Όπως αναφέρει η Κατσούλη (2010), έρευνες έχουν δείξει ότι οι μετεωρολογικές συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και να μειώσουν την πιθανή ισχύ τους ακόμη και κατά 18%. Επομένως, οι καιρικές συνθήκες αποτελούν έναν από τους μεγαλύτερους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη σχεδίαση ενός τέτοιου συστήματος. Πέρα από τις καιρικές συνθήκες, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων όπως (sunshine-energy, 2021):

- Η ισχύς που παράγεται επηρεάζεται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Άρα όσο πιο μεγάλη η ακτινοβολία τόσο μεγαλύτερη η ισχύς που παράγεται.
- Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα ΦΒ συστήματα επηρεάζεται αρνητικά από τις υψηλές θερμοκρασίες. Ως εκ τούτου, σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες μειώνεται η απόδοση των συστημάτων αυτών και θα πρέπει να τοποθετείται ένα σύστημα ψύξης ώστε το σύστημα να αποδίδει αποτελεσματικά.
- Η τοποθεσία των ΦΒ παίζει επίσης σημαντικό ρόλο για την αποτελεσματική απόδοση τους.
- Η ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου επίσης δύναται να επηρεάζουν την απόδοση των ΦΒ συστημάτων και για το λόγο αυτό θα πρέπει να γίνεται μελέτη αυτών των παραμέτρων.

- Η ρύπανση επηρεάζει επιπλέον τα ΦΒ συστήματα. Πιο συγκεκριμένα, η παρουσία σκόνης, φύλλων, γύρης και αλατιού δύναται να μειώσει την συνολική απόδοση του ΦΒ συστήματος.
- Η διάρκεια ζωής παίζει επίσης παράγοντα μείζονος σημασίας, ήτοι, κάθε έτος που περνάει η παραγόμενη ισχύ μειώνεται κατά 2%.
- Κατά τη μελέτη των ΦΒ συστημάτων θα πρέπει να υπολογίζονται και η σκίαση των δένδρων αλλά και άλλα εμπόδια όπως στύλοι ΔΕΗ, κεραιές, σκεπές άλλων κατοικιών/κτιρίων.
- Τέλος, κατά τη μελέτη των ΦΒ, θα πρέπει να υπολογίζονται και η ηλεκτρικές απώλειες που λαμβάνουν χώρα στους αγωγούς που συνδέουν τα πλαίσια, στις συστοιχίες αλλά και στις ανάμεσα συνδέσεις που υφίσταται. Οι απώλειες αυτές δύναται να αγγίξουν ακόμη και το 30% της συνολικής παραγόμενης ισχύος.



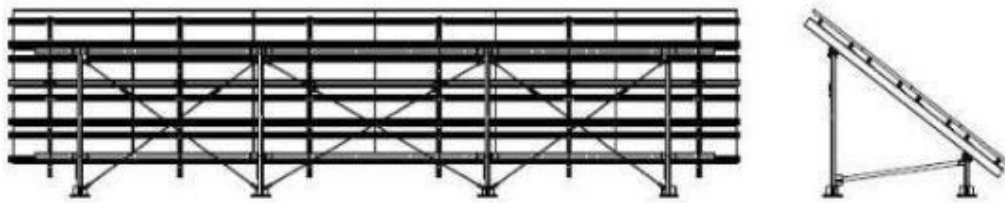
Εικόνα 3. 1.Β.: Διάγραμμα απόδοσης ΦΒ σε σχέση με την θερμοκρασία (firstgreen.com ,2022)

3.4 Στήριξη ΦΒ Συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν με δύο βασικούς τρόπους: με σταθερή κλίση ως προς τον ορίζοντα και με χρήση συστημάτων παρακολούθησης της ηλιακής πορείας ή αλλιώς συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου.

Οι σταθερές βάσεις είναι οι πιο συνηθισμένες και οικονομικές. Η λειτουργία τους είναι απλή: κατά τις μεσημβρινές ώρες, οι ηλιακές ακτίνες πέφτουν κάθετα στα πάνελ με κλίση 30°. Αυτή η γωνία θεωρείται ικανοποιητική, ειδικά για τις ελληνικές συνθήκες, καθ' όλους τους μήνες του έτους. Οι βάσεις κατασκευάζονται κυρίως από ανοξείδωτο χάλυβα ή αλουμίνιο και τοποθετούνται είτε στο έδαφος είτε σε σκεπές. Πριν την εγκατάστασή τους,

πρέπει να πραγματοποιηθεί μια τεχνική μελέτη για την εξασφάλιση της σταθερότητας και της αντοχής τους (Σαμαράς & Παπανικολάου, 2012).



Εικόνα 3. 2: Σταθερή βάση Φ/Β συστημάτων(Σαμαράς & Παπανικολάου, 2012)



Εικόνα 3. 3: Σταθερή βάση σε οροφή κτιρίου(Σαμαράς & Παπανικολάου, 2012)

Στο δεύτερο σύστημα στήριξης, ήτοι της ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου, σκοπός είναι η μεγιστοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για να επιτευχθεί αυτό, οι ηλιακές ακτίνες πρέπει να προσπίπτουν κάθετα στα πάνελ. Αυτοί οι συγκεκριμένοι τύποι βάσεων προσφέρουν υψηλότερες αποδόσεις, αυξάνοντας την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ακόμη και κατά 30% σε σχέση με τις σταθερές βάσεις, παρά το γεγονός ότι είναι πιο πολύπλοκες στην κατασκευή τους (Σαμαράς & Παπανικολάου, 2012).

3.5 Τύποι ΦΒ Συστημάτων

Γενικά υφίσταται δύο κύριοι τύποι ΦΒ συστημάτων:

- 1) Με βάση το πυρίτιο,
- 2) Υβριδικά ΦΒ συστήματα

Τα συστήματα με βάση το πυρίτιο χωρίζονται σε τρεις περαιτέρω κατηγορίες:

- 1) Μονοκρυσταλλικά συστήματα,
- 2) Πολυκρυσταλλικά συστήματα,
- 3) Ημιαγωγικούς λεπτών υμενίων.

Ξεκινώντας από τα μονοκρυσταλλικά συστήματα, κατασκευάζονται από κρύσταλλο πυριτίου, τα οποία έχουν κοπή σε κυλινδρική μορφή. Αυτά τα συστήματα θεωρούνται ως οι πιο αποδοτικές μορφές φωτοβολταϊκών συστημάτων, με βιομηχανική απόδοση που μπορεί να φτάσει έως και 18% για κάθε πλαίσιο. Σε εργαστηριακές συνθήκες, η απόδοσή τους μπορεί να φτάσει μέχρι και 25%. Η υψηλή απόδοση των μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών οφείλεται στην υψηλή ποιότητα του πυριτίου που χρησιμοποιείται για την κατασκευή τους. Επιπλέον, τα μονοκρυσταλλικά συστήματα απαιτούν λιγότερο χώρο σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες, παράγοντας περισσότερη ενέργεια ακόμη και τέσσερις φορές περισσότερο. Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής των μονοκρυσταλλικών στοιχείων είναι περίπου 25 χρόνια υπό κατάλληλες συνθήκες συντήρησης. Επιπλέον, σε περιπτώσεις με μειωμένη ηλιοφάνεια, τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία έχουν καλύτερη απόδοση σε σύγκριση με τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία.

Ωστόσο, υπάρχουν κάποια αρνητικά στα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Το αρχικό κόστος επένδυσης είναι υψηλό, και υπάρχει ο κίνδυνος της μείωσης της απόδοσης όταν υπάρχει σκόνη, ρύπους, φύλλα, σκιά ή χιόνι πάνω στα πάνελ. Επιπλέον, η απόδοσή τους μειώνεται σε υψηλές θερμοκρασίες, αν και σε μικρότερο βαθμό σε σύγκριση με τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία (PennState, 2020).

Τέλος, η κατασκευή των μονοκρυσταλλικών συστημάτων έχει ως βάση τις τεχνολογίες CZ(Czochralski) και FZ(floatzone). Τα εν λόγω συστήματα έχουν καλύτερη απόδοση σε συνθήκες με υψηλές θερμοκρασίες. Παρόλα αυτά, σε χαμηλές θερμοκρασίες, η απόδοσή τους πέφτει σημαντικά ωστόσο σε λιγότερο ποσοστό συγκριτικά με τα πολυκρυσταλλικά συστήματα (PennState, 2020).

Monocrystalline



Solar panel

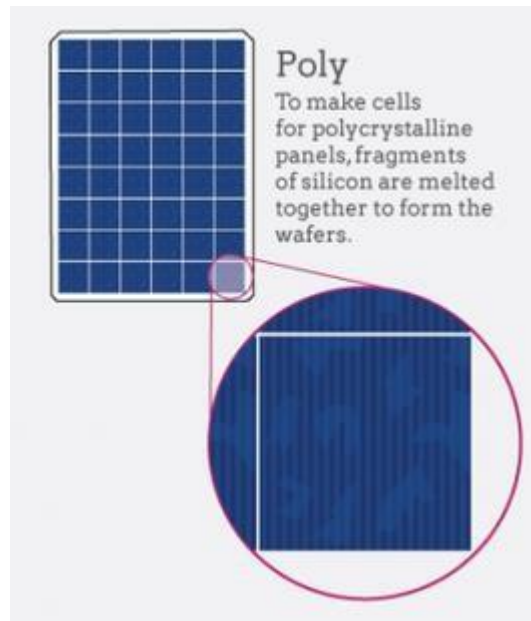


Solar cell

Εικόνα 3. 4: Μονοκρυσταλλικά συστήματα (eco2day.gr, 2023)

Όσον αφορά τα πολυκρυσταλλικά συστήματα, πρωτοεμφανίστηκαν το 1981 και η διαδικασία κατασκευής τους βασίζεται στο λιώσιμο και την επανακρυσταλλοποίηση κρυστάλλων πυριτίου. Οι κρυσταλλοποιημένοι κρύσταλλοι λιώνουν μαζί και σχηματίζουν ένα μείγμα, το οποίο ψύχεται και μετατρέπεται σε τετράγωνα μπλοκ. Τα μπλοκ αυτά τεμαχίζονται σε λεπτές φέτες που τοποθετούνται στο πλαίσιο για να σχηματιστεί η φωτοβολταϊκή κυψέλη. Οι κυψέλες επικαλύπτονται με αντιανακλαστική επίστρωση για να αυξηθεί η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Αναφορικά με την απόδοσή τους, σε συνθήκες περιβάλλοντος έχουν μια απόδοση περίπου 13%, ενώ σε εργαστηριακές συνθήκες αυτό το ποσοστό μπορεί να φτάσει το 20%. Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά συστήματα είναι σχετικά απλά και οικονομικά, και δεν παράγουν απόβλητα σε σύγκριση με τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία (PennState, 2020).

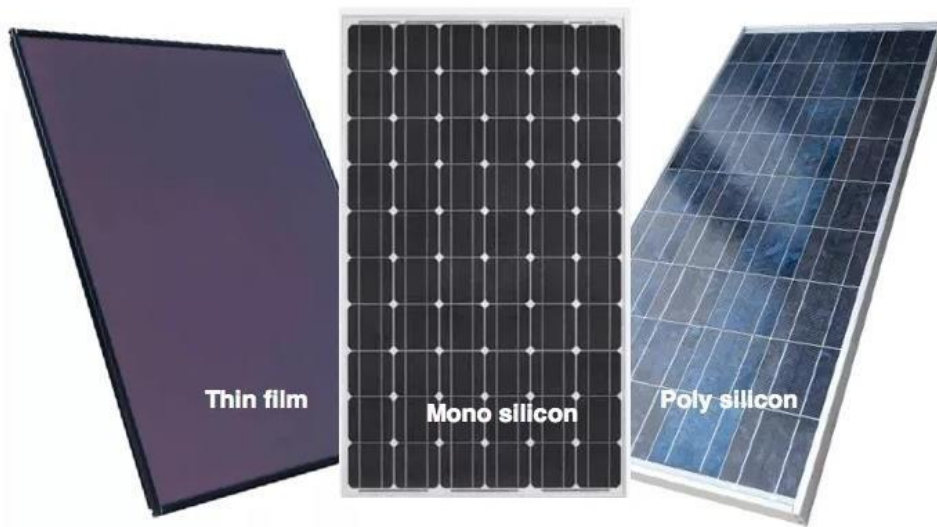
Ωστόσο, σε σύγκριση με τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία, τα πολυκρυσταλλικά έχουν μειωμένη απόδοση λόγω της χαμηλότερης καθαρότητας της σιλικόνης. Επιπλέον, απαιτούν μεγαλύτερη επιφάνεια για να παράγουν την ίδια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας σε σύγκριση με τα μονοκρυσταλλικά συστήματα (PennState, 2020).



Εικόνα 3. 5

Τέλος, οι ημιαγωγοί λεπτών υμενίων (thinfilms) χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες οι οποίες έχουν ως εξής:

- 1) Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS). Η απόδοση της κατηγορίας αυτής μπορεί να αγγίξει το 11% παρόλο που διαθέτει εξαιρετική απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας. Σε εργαστηριακές συνθήκες η απόδοση αυξάνεται στο 19% και αποτελεί τη μεγαλύτερη μεταξύ των τεχνολογιών φ/β λεπτής επιστρώσεως,
- 2) Άμορφο πυρίτιο (a-Si). Το άμορφο πυρίτιο δημιουργείται με την εναπόθεση μίας ή και περισσότερων στρώσεων Φ/Β υλικών και εδράζονται σε ένα υπόστρωμα υποστήριξης γυαλιού ή αλουμινίου. Θεωρείται άμορφο αφού τα άτομα πυριτίου έχουν τυχαία διάταξη. Η απόδοση τους κυμαίνεται από 8% σε κανονικές περιβαλλοντικές συνθήκες έως 14 σε εργαστηριακές συνθήκες. Δεν επηρεάζονται από υψηλές θερμοκρασίες,
- 3) Τελουριούχο κάδμιο (CdTe). Η απόδοση του CdTe αγγίζει το 8% παρόλο που έχει ενεργειακό χάσμα κοντά στο 1,44eV ήτοι ότι διαθέτει υψηλό συντελεστή απορρόφησης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Η εν λόγω κατηγορία έχει αποδειχθεί από έρευνες ότι εκπέμπει καρκινογόνους ρύπους λόγω του καδμίου και για το λόγο αυτό υπάρχουν προβληματισμοί για περαιτέρω χρήση,
- 4) Αρσενικό γάλλιο (GaAs). Το γάλλιο αποτελεί παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων π.χ. το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος ενώ αποτελούν δηλητηριώδες μέταλλα. Το αρσενικό γάλλιο διαθέτει ενεργειακό διάκενο 1,43eV και είναι η ιδανική περίπτωση για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 3. 6: Απεικόνιση των τριών διαφορετικών κατηγοριών ΦΒ συστημάτων (eco2day.gr, 2023)

3.6 Βαθμός Απόδοσης ΦΒ Συστημάτων

Η απόδοση των ΦΒ επηρεάζεται από εξωτερικούς και εσωτερικούς παράγοντες και ως εκ τούτου δεν είναι σταθερή.

Όσον αφορά τους εξωτερικούς παράγοντες:

- Ηλιακή ακτινοβολία: καθώς αυξάνεται η ηλιακή ακτινοβολία αυξάνεται και η παραγωγή ισχύος άρα ένα ΦΒ σύστημα εξαρτάται άμεσα από τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία.
- Σκίαση: η σκίαση παίζει ρόλο μείζονος καθώς η παρατεταμένη σκίαση λόγω βλάστησης είτε λόγω σκίασης είτε από σκόνες/ρύπους κλπ. η παραγωγή ισχύος μειώνεται. Επίσης, αν υπάρχει παρατεταμένη σκίαση σε ένα στοιχείο ωστόσο υπάρχει φωτισμός όλων των υπολοίπων στοιχείων, τότε υπάρχει η περίπτωση το μοναδικό στοιχείο το οποίο δεν φωτίζεται να καταστραφεί με αποτέλεσμα να καταστραφεί όλο το ΦΒ σύστημα.
- Θερμοκρασία: μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζει αρνητικά ένα ΦΒ σύστημα.

- Άνεμος: Ο άνεμος επιδρά τη λειτουργία ενός ΦΒ συστήματος. Κατά την περίπτωση κρύου ανέμου, ένα ΦΒ λειτουργεί σε πιο χαμηλή θερμοκρασία σε σχέση με τη λειτουργία τους εάν υπήρχε άπνοια.
- Ρύπανση: σε συνθήκες ρύπανσης τα ΦΒ συστήματα επηρεάζονται δηλαδή μειωμένη παραγωγή ισχύος. Η παρουσία σκόνης, χιονιού, φύλλων, εντόμων και ακαθαρσιών επενεργεί την απόδοση του συστήματος. Ειδικά, στα αστικά κέντρα, οι παραπάνω παράγοντες είναι αρκετά πιο έντονοι λόγω της ύπαρξης αιθάλης που προσκολλάται στην επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων.
- Ηλεκτρικές απώλειες: ένα ΦΒ σύστημα υφίσταται απώλειες και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Αναφορικά με τους εσωτερικούς παράγοντες:

- **Αντίσταση R_s** : αύξηση της απόστασης μεταξύ της όψης του στοιχείου και της ένωσης p-n, οδηγεί στην αύξηση απωλειών ισχύος.
- **Οπτικές απώλειες**: Οι οπτικές απώλειες σχετίζονται με την ανακλαστικότητα ενός ΦΒ συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, υφίσταται διαφοροποίηση του φάσματος της ακτινοβολίας και τη διαφοροποίηση της πόλωσης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η επίδραση αυτή σε ετήσια βάση σε υπολογίζεται 2%. Λόγω της καλής ποιότητας των ΦΒ συστημάτων οι οπτικές απώλειες είναι θεωρούνται μηδαμινές.
- **Χωροταξική τοποθέτηση**: όσο πιο πυκνές είναι οι συστοιχίες των ΦΒ στοιχείων τόσο αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης των ΦΒ συστημάτων.

Ο συντελεστής απόδοσης, ενός ΦΒ συστήματος, υπολογίζεται ως:

$$n = \frac{p_{mmp}}{A * G} = \frac{l_{mmp} * v_{mmp}}{A * G} = \frac{FFISC * v_{oc}}{A * G}$$

Όπου,

p_{mmp} αφορά τη μέγιστη ισχύ,

A αφορά την επιφάνεια του φ/β στοιχείου και

G αφορά την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Συνεπώς, η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων επηρεάζεται από πολλούς εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες, και ένας κύριος παράγοντας είναι το υλικό κατασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα εξαρτάται από την ένταση του ηλιακού φωτός που απορροφάται,

την αποτελεσματικότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια και την αναλογία της επιφάνειας που καλύπτεται από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (iqsolarpower.com, 2014).

Όσον αφορά τη σύνδεση των φωτοβολταϊκών στοιχείων, αυτή μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, όπως η σειριακή (συνδέοντας τα στοιχεία σε σειρά) ή η παράλληλη (συνδέοντας τα στοιχεία παράλληλα). Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών στοιχείων, μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί η τάση και η ένταση του ρεύματος που παράγεται. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται η επιθυμητή τάση και ένταση στο φωτοβολταϊκό σύστημα (iqsolarpower.com, 2014).

Συνοψίζοντας, η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του υλικού κατασκευής και της σύνδεσης των στοιχείων. Η επιλογή των κατάλληλων υλικών και της κατάλληλης σύνδεσης μπορεί να επηρεάσει την απόδοση και την αποτελεσματικότητα του συστήματος.

Σύμφωνα με τον Πυλαρινό (2015), τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν μπορούν να παράγουν απευθείας εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτείται η χρήση ενός μετατροπέα. Οι διαθέσιμοι μετατροπείς περιλαμβάνουν μετατροπείς DC/DC, μετατροπείς DC/AC (αντιστροφείς), μετατροπείς AC/DC (ανορθωτικές διατάξεις) και μετατροπείς AC/AC (μετασχηματιστές).

Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται αντιστροφείς, αυτοί πρέπει να είναι μονοφασικοί ή τριφασικοί. Η επιλογή του αντιστροφέα πρέπει να γίνει με προσοχή, καθώς μια βλάβη σε αυτόν μπορεί να απενεργοποιήσει ολόκληρο το σύστημα. Η τοποθέτηση του μετατροπέα γίνεται μετά από μελέτη, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η αξιοπιστία της κατασκευάστριας εταιρίας, η διάρκεια ζωής του συστήματος, ο βαθμός απόδοσης και άλλοι παράγοντες (ostriasolar.gr, 2011).

3.7 Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας των ΦΒ Συστημάτων

Προκειμένου να αποθηκευτεί ηλεκτρική ενέργεια η οποία παράγεται από ένα ΦΒ σύστημα απαιτείται ένας ηλεκτρικός συσσωρευτής ή μπαταρία. Οι μπαταρίες μπορούν να μετατρέψουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια και δεν υπόκεινται στους περιορισμούς του κύκλου Carnot, επομένως η μετατροπή ενέργειας είναι αποδοτική (Linden&Reddy, 2002).

Η μπαταρία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος αποτελείται από διάφορα στοιχεία που συνδέονται με συγκεκριμένο τρόπο. Η σύνδεση των στοιχείων μπορεί να είναι σε παράλληλη ή σε σειρά σύνδεση. Μια μπαταρία αποτελείται από:

- Το ηλεκτρόδιο ανόδου ή αρνητικό ηλεκτρόδιο (το ηλεκτρόδιο μείωσης ή καυσίμου), το οποίο παραχωρεί ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα και οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης,
- Το ηλεκτρόδιο καθόδου ή θετικό ηλεκτρόδιο (το ηλεκτρόδιο οξείδωσης), το οποίο δέχεται ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα και μειώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής διαδικασίας και
- Τον ηλεκτρολύτη (ιοντικό αγωγό), ο οποίος παρέχει το μέσο για τη μεταφορά του φορτίου, με τη μορφή ιόντων, μέσα στο στοιχείο ανάμεσα στην άνοδο και την κάθοδο. Ο ηλεκτρολύτης είναι τυπικά ένα υγρό, όπως το νερό ή άλλοι διαλύτες, με διαλυμένα άλατα, οξέα ή αλκάλια να μεταδίδουν την ιοντική αγωγιμότητα.

Σημειώνεται ότι τα ηλεκτρόδια μιας μπαταρίας δεν πρέπει να έρχονται σε επαφή μεταξύ τους, παρά το γεγονός ότι είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένοι. Οι συνδυασμοί που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη απόδοση στην παραγωγή τάσης θεωρούνται οι πιο επιθυμητοί. Πάντως, αυτοί οι συνδυασμοί δεν είναι πάντα πρακτικοί, καθώς επηρεάζονται από παράγοντες όπως οι αντιδράσεις των υλικών μεταξύ τους στη μπαταρία. Επιπλέον, η επιλογή του ανόδου της μπαταρίας βασίζεται σε διάφορες ιδιότητες, όπως:

- Ενεργειακή απόδοση: Η άνοδος πρέπει να έχει υψηλή ενεργειακή απόδοση για να μετατρέψει αποτελεσματικά την χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Χωρητικότητα: Η άνοδος πρέπει να έχει επαρκή χωρητικότητα για να αποθηκεύσει αρκετή ηλεκτρική ενέργεια.
- Διάρκεια ζωής: Η άνοδος πρέπει να έχει μακρά διάρκεια ζωής για να διατηρήσει την απόδοσή της για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Αξιοπιστία: άνοδος πρέπει να είναι αξιόπιστη και να λειτουργεί στις αναμενόμενες συνθήκες για να εξασφαλίσει σταθερή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Χαμηλό κόστος.
- Ευκολία κατά την κατασκευή.
- Καλή αγωγιμότητα.

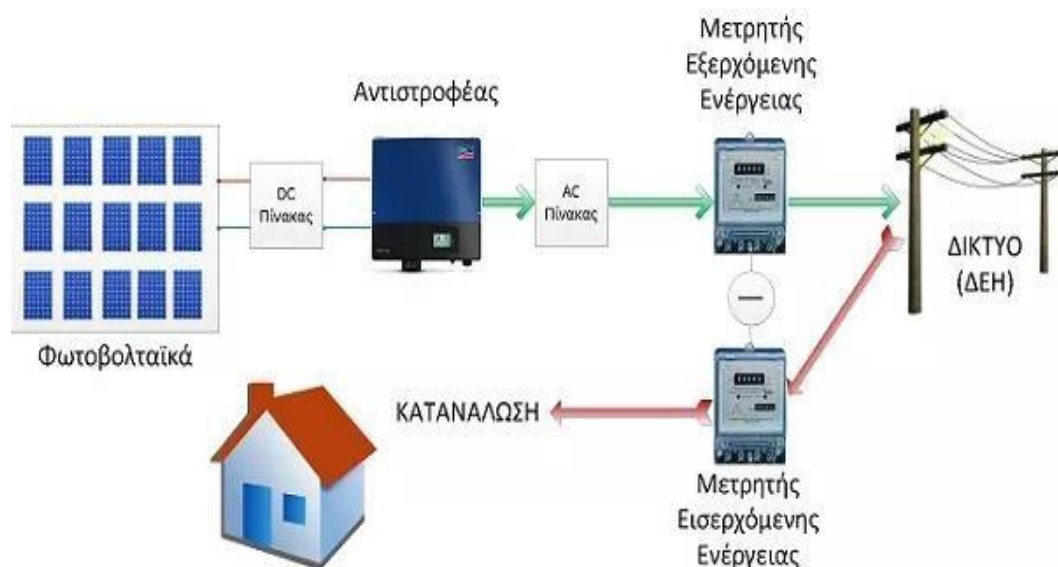
Σημειώνεται ότι τα αρνητικά ηλεκτρόδια κατά κανόνα χρησιμοποιούν υλικά όπως το λίθιο, το υδρογόνο και ο ψευδάργυρος. Από την άλλη πλευρά, τα υλικά της καθόδου

περιλαμβάνουν το θείο, τα οξείδια του θείου, το αλογόνο και άλλα χημικά συστατικά που περιέχουν οξυγόνο και υδρογόνο.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η κάθοδος μιας μπαταρίας πρέπει να είναι ένας αποτελεσματικός οξειδωτικός παράγοντας, να έχει σταθερή επαφή με τον ηλεκτρολύτη και να έχει ικανοποιητική σταθερότητα λειτουργίας. Επιπλέον, ένας ηλεκτρολύτης πρέπει να έχει καλή ιοντική αγωγιμότητα ώστε να μην είναι ηλεκτρικά αγώγιμος για να αποφευχθούν εσωτερικά βραχυκυκλώματα. Επιπλέον, ο ηλεκτρολύτης δεν πρέπει να αντιδρά με τα ηλεκτρόδια, να μην επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, να είναι ασφαλής και να έχει χαμηλό κόστος.

3.8 ΦΒ Συστήματα Συνδεδεμένα στο Δίκτυο

Για τη σύνδεση ενός ΦΒ συστήματος με το ηλεκτρικό δίκτυο, υπάρχουν κάποιοι κανόνες που πρέπει να τηρηθούν ώστε να μην ξεπερνιούνται τα όρια που έχουν θέσει διαχειριστές τους ηλεκτρικού δικτύου. Η ομαλή λειτουργία του δικτύου επιτυγχάνεται και ελέγχεται από συσκευές προστασίας και ρύθμισης της τάσης. Αυτές οι συσκευές έχουν ως στόχο να διασφαλίσουν την παροχή αποδεκτής ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας προς τους καταναλωτές του δικτύου, να μειώσουν την πιθανότητα βλαβών και να προσφέρουν υψηλό επίπεδο ασφαλείας. Παρακάτω απεικονίζεται μια τυπική διάταξη ενός ΦΒ το οποίο είναι συνδεδεμένο στο ηλεκτρικό δίκτυο.



Εικόνα 3. 7: Τυπική διάταξη Φ/Β συστήματος στο ηλεκτρικό δίκτυο (pveasy.com, 2023)

Οι βλάβες που μπορεί να προκύψουν κατά τη σύνδεση ενός Φ/Β συστήματος με το ηλεκτρικό δίκτυο περιλαμβάνουν (Φραγκιουδάκη, 2011; Yang & Kratz, 2007).

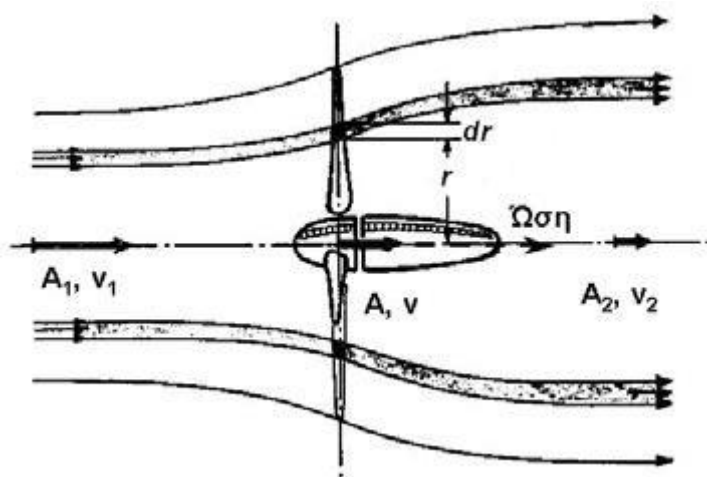
1. **Μεταβολές της τάσης και εκπομπές Flicker**: Οι μεταβολές της τάσης που προκαλούνται από τα Φ/Β συστήματα μπορεί να προκαλέσουν διακυμάνσεις στη φωτεινότητα των λαμπτήρων, γνωστές και ως Flicker. Οι διακυμάνσεις αυτές μπορεί να προκαλέσουν οπτική ενόχληση στους ανθρώπους. Για τον έλεγχο αυτών των μεταβολών χρησιμοποιείται ο δείκτης flicker, που χωρίζεται σε βραχείας διάρκειας (Pst) και μακράς διάρκειας (Plt). Το πρότυπο IEC 61000-3-3 καθορίζει τις αποδεκτές τιμές του δείκτη flicker για να διασφαλιστεί η ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας.
2. **Έγχυση αρμονικών**: Η έγχυση αρμονικών συνιστωσών στο ηλεκτρικό δίκτυο είναι αποτέλεσμα της ύπαρξης μη γραμμικών φορτίων, όπως λαμπτήρες φθορισμού, συσκευές χωρίς διακοπή της λειτουργίας τους (π.χ. ψυγεία) και μετασχηματιστές. Η έγχυση αρμονικών μπορεί να προκαλέσει προβλήματα όπως απόκλιση της τάσης, βλάβες σε μηχανές, μετασχηματιστές, πυκνωτές, καλώδια, ηλεκτρονικούς διακόπτες, μετρητές και ηλεκτρονικές συσκευές, καθώς και παρεμβολές σε τηλεπικοινωνιακά σήματα. Η χρήση κατάλληλων μετατροπέων μπορεί να μειώσει αυτά τα προβλήματα.
3. **Νησιδοποίηση ή «Φαινόμενο Νησίδας»**: Η νησιδοποίηση αναφέρεται σε μια κατάσταση όπου ένα τμήμα του ηλεκτρικού δικτύου παραμένει ηλεκτροδοτούμενο από μονάδες παραγωγής, ακόμη κι όταν το υπόλοιπο δίκτυο είναι ανενεργό. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν υπάρχει αποσύνδεση ενός τμήματος του δικτύου λόγω ανίχνευσης σφάλματος ή προγραμματισμένης διακοπής. Για να διασφαλιστεί η ποιότητα της ενέργειας προς τους καταναλωτές, απαιτείται η ανίχνευση της νησιδοποίησης και η ασφαλής αποσύνδεση του Φ/Β συστήματος από το δίκτυο (Sivakumar, 2013).

Οι παραπάνω βλάβες αντιμετωπίζονται με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών και εξοπλισμού, όπως η χρήση μετατροπέων, προστατευτικών συσκευών και συστημάτων ελέγχου. Η συμμόρφωση με τα πρότυπα όπως το IEC 61000-3-3 είναι σημαντική για τη διασφάλιση της ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας και την προστασία του ηλεκτρικού δικτύου.

4. Αιολικά Συστήματα

4.1 Εκμετάλλευση Αιολικής Ενέργειας

Η ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια με τη χρήση ανεμογεννητριών (Α/Γ). Η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από την ποσότητα του ανέμου που διαπερνά τα πτερύγια των ανεμογεννητριών κατά μια μονάδα χρόνου. Αυτή η ροή του ανέμου ονομάζεται "πυκνότητα ισχύος του ανέμου". Η Εικόνα 4.1 παρουσιάζει τη ροή του ανέμου καθώς διαπερνά την επιφάνεια και σαρώνει τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας.



Εικόνα 4. 1: Ροή ανέμου μέσω Α/Γ (gneng, 2020)]

Κανείς μπορεί να διακρίνει από την Εικόνα 4.1 ότι οι ανεμογεννήτριες (Α/Γ) επηρεάζουν την ταχύτητα του ανέμου, μειώνοντάς την από την αρχική ταχύτητα v_1 πριν από τον δρομέα σε μια μειωμένη ταχύτητα ροής αέρα v_2 πίσω από αυτόν. Η διαφορά στην ταχύτητα του ανέμου αντιπροσωπεύει την κινητική ενέργεια που αφαιρείται από τον αέρα και μεταφέρεται προς τον δρομέα και τον συνδεδεμένο ηλεκτρογεννήτριο στο άλλο άκρο του συστήματος μετάδοσης κίνησης. Η θεωρητική ισχύς που παράγεται από μια ανεμογεννήτρια υπολογίζεται ως εξής:

$$P = C_p * \rho * \frac{v_1^3}{2} * A$$

Όπου,

ρ είναι η πυκνότητα του αέρα σε kg/m^3 ,

C_p είναι ο συντελεστής ισχύος,

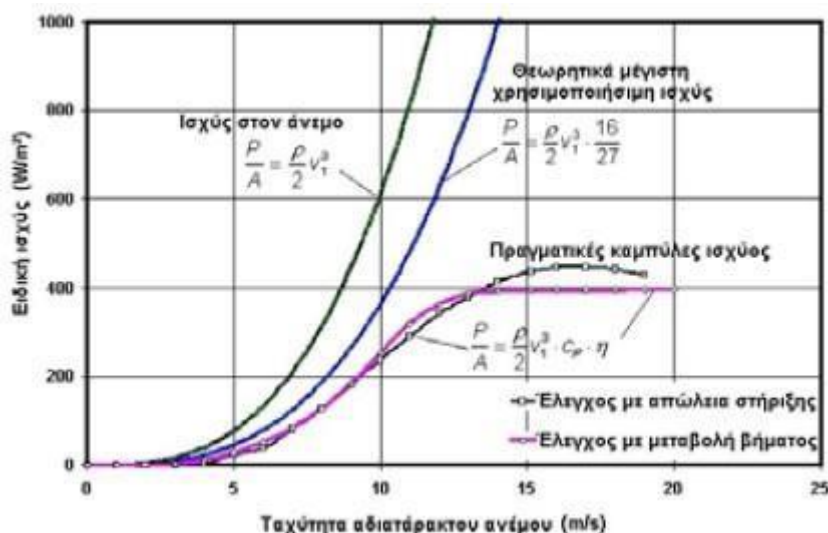
η είναι η μηχανική/ηλεκτρική αποδοτικότητα και

Α το εμβαδόν του δίσκου του δρομέα.

Σε συνθήκες ιδανικές, η μέγιστη τιμή του συντελεστή ισχύος [γνωστή και ως κατάσταση «όριο Betz», είναι:

$$\frac{16}{27} = 0,593$$

Σύμφωνα με το προηγούμενο κείμενο, μια ανεμογεννήτρια σε θεωρητική βάση μπορεί να αποσπάσει το 59,3% του ενεργειακού περιεχομένου της ροής αέρα. Όμως, υπό ρεαλιστικές συνθήκες ο συγκεκριμένος συντελεστής δεν μπορεί να υπερβεί το 0,5%, καθώς αυτός ο υψηλός θεωρητικός αριθμός δεν λαμβάνει υπόψη τις αεροδυναμικές απώλειες της ανεμογεννήτριας. Η Εικόνα 4.2 κατοπτρίζει την ισχύ που παράγεται ανά μονάδα επιφάνειας του δίσκου του δρομέα σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου.



Εικόνα 4. 2: Παραγόμενη ισχύς ανά μονάδα μέτρησης του δίσκου δρομέα συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου (gneng, 2020)

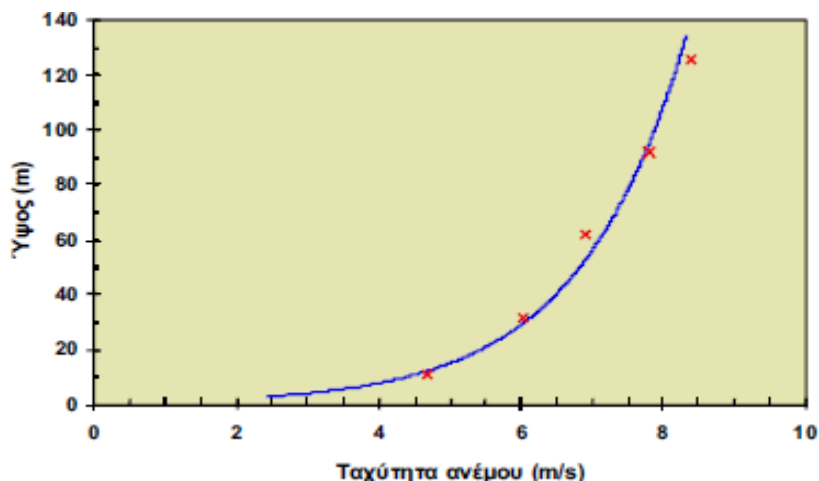
Η πυκνότητα ισχύος του ανέμου εξαρτάται από τον κύβο της ταχύτητάς του. Δηλαδή, κατά την περίπτωση που η ταχύτητα του ανέμου διπλασιαστεί, η ισχύς που περιέχεται στον άνεμο θα αυξηθεί στο οκταπλάσιο. Ωστόσο, στην πράξη, αυτή η αναλογία δεν ισχύει λόγω των απωλειών που υφίσταται στη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ρεαλιστική καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας διαθέτει τέσσερις διακριτές περιοχές ταχύτητας του ανέμου. Οι περιοχές αυτές αναλύονται στον παρακάτω πίνακα:

Περιοχή Λειτουργίας	Περιγραφή Λειτουργίας Παραγόμενη Ισχύς συναρτήσει της Ταχύτητας του Ανέμου	Ενδεικτικό Εύρος Ταχύτητας του Ανέμου [m/s]
Περιοχή 1	Οι ταχύτητες του ανέμου είναι πολύ μικρές για παραγωγή εκμεταλλεύσιμης ενέργειας	0-4
Περιοχή 2	Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος αυξανόμενη με την ταχύτητα του ανέμου	4-13
Περιοχή 3	Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με σταθερό ρυθμό [ονομαστική ισχύς]. Η απόδοση των πτερυγίων της Α/Γ μειώνεται σκόπιμα καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου	13-20
Περιοχή 4	Δεν παράγεται ισχύς. Οι άνεμοι είναι πολύ δυναμικοί ώστε να δικαιολογείται	Ταχύτητα επιβίωσης – 20m/s έως την ονομαστική ταχύτητα επιβίωσης σε θυελλώδεις ανέμους

Πίνακας 4. 1: Τέσσερις περιοχές της καμπύλης ισχύος μιας Α/Γ (gneng, 2020)

Από τον Πίνακα 4.1 κανείς παρατηρεί ότι η Περιοχή 1 κάτω από την ταχύτητα εκκίνησης δεν παράγει επαρκή ενέργεια για εκμετάλλευση, ενώ η περιοχή 4 πέραν της ταχύτητας διακοπής αποτελεί κρίσιμη κατάσταση όπου η λειτουργία της ανεμογεννήτριας διακόπτεται για λόγους ασφαλείας. Επιπλέον, η πυκνότητα του αέρα επηρεάζει την παραγωγή αιολικής ισχύος. Σε μεγαλύτερα ύψη, όπως σε περιοχές με ψηλά όρη, η πυκνότητα του αέρα μειώνεται και, συνεπώς, μειώνεται και η διαθέσιμη ισχύς. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση έως και 40% της παραγόμενης ισχύος. Επιπλέον, η πυκνότητα του αέρα επηρεάζεται από τη θερμοκρασία. Σε χαμηλές θερμοκρασίες, η πυκνότητα του αέρα είναι μεγαλύτερη, επιτρέποντας μεγαλύτερη παραγωγή αιολικής ισχύος. Επίσης, η ταχύτητα του εδάφους επηρεάζει την ταχύτητα του ανέμου. Η παρουσία δασών ή κτιρίων κοντά στο έδαφος μπορεί να μειώσει την ταχύτητα του ανέμου. Επομένως, ο άνεμος υφίσταται

μεγαλύτερη διάτμηση κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, ενώ μπορεί να μειωθεί σε περιοχές όπως οι επίπεδοι ανοιχτοί αγροί. Επιπλέον, οι απότομες αλλαγές ύψους, όπως οι κορυφογραμμές ή οι ακρογιαλιές, μπορούν να επηρεάσουν τη διάτμηση του ανέμου. Η Εικόνα 4.3 απεικονίζει τη μορφή του οριακού στρώματος της ταχύτητας του ανέμου και εμφανίζει τις πιθανές διακυμάνσεις της ταχύτητας κατά μήκος του ύψους (gneng, 2020).



Εικόνα 4. 3: Κατανομή της ταχύτητας καθ' ύψος σε m/s(gneng, 2020)

4.2 Περιγραφή των Α/Γ

Υπάρχουν δύο ειδών ανεμογεννήτριες ήτοι οι ΑΓ οριζοντίου άξονα (horizontalaxis) και οι ΑΓ κάθετου άξονα (verticalaxis) (ΚΑΠΕ, 1999).



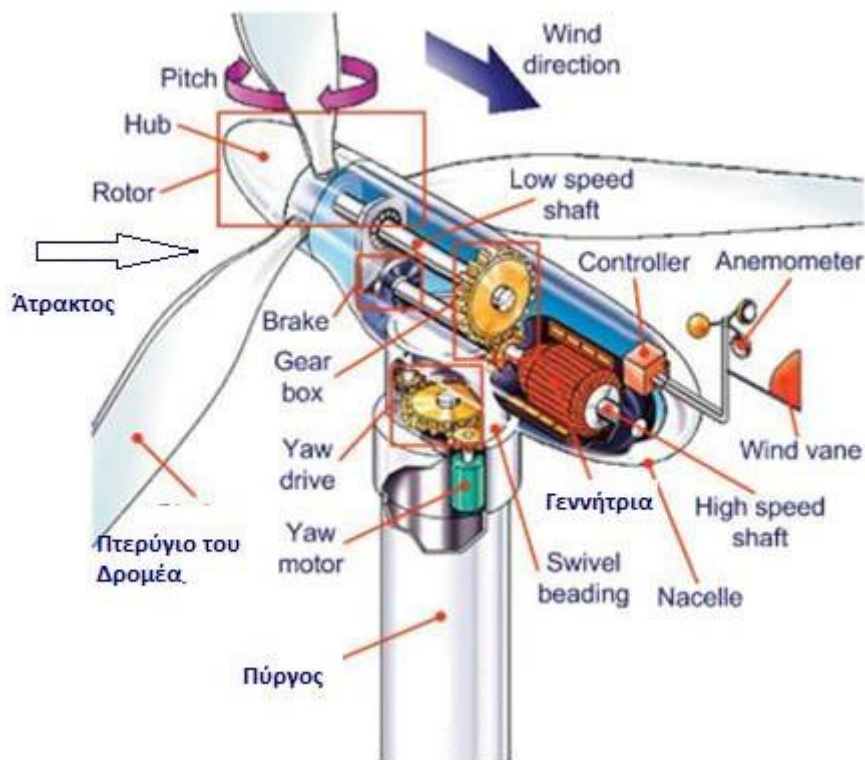
Εικόνα 4. 4: Ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα (Powertalk, 2020)



Εικόνα 4. 5: ΑνεμογεννήτριακάθετουάξονατύπουSavonius(Corbus & Meadors, 2005)

Η ανατομία μιας γεννήτριας θα μπορούσε να χωρισθεί σε τέσσερα βασικά σημεία:

1. Δρομέας: Ο δρομέας αλλιώς rotor, συμπεριλαμβάνει δύο ή τρία πτερύγια, μια πλήμνη στην οποία συνδέονται τα πτερύγια με τον κινητήριο άξονα της ΑΓ (χαμηλής ταχύτητας) και τα υδραυλικά ή μηχανικά οδηγούμενα συστήματα των συνδέσμων του συστήματος.
2. Άτρακτος: Η άτρακτος ή αλλιώς gearbox, αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα μέρη μιας ΑΓ αφού είναι ο πυρήνας του όλου συστήματος. Η άτρακτος θα πρέπει να συντηρείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, διότι βλάβη αυτής επιφέρει την παύση του όλου συστήματος. Περιλαμβάνει τον μετατροπέα στροφών, τη γεννήτρια, τους άξονες και τους συνδέσμους, το κάλυμμα της , ένα μηχανικό δισκό-φρενο και ένα σύστημα εκτροπής.
3. Πύργοςκαι θεμελίωση: Ο πύργος ή αλλιώς towerκαι το θεμέλιο (foundation) αποτελούν το σύστημα που στηρίζουν τον δρομέα και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης.
4. Τους ηλεκτρικούς ελεγκτές και τις καλωδιώσεις καθώς και τον εξοπλισμό εποπτείας και ελέγχου.



Εικόνα 4. 6: Βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας [Molina&Alvarez, 2011- Επεξεργασία]

Πιο συγκεκριμένα, ο δρομέας μιας ανεμογεννήτριας διαθέτει διάφορους αριθμούς πτερυγίων. Ωστόσο, συνήθως ο αριθμός αυτός κυμαίνεται μεταξύ δύο και τριών πτερυγίων. Σύμφωνα με τον κανόνα, όσο λιγότερα πτερύγια έχει ο δρομέας, τόσο πιο γρήγορα περιστρέφεται. Λόγω της τεχνολογικής εξέλιξης, οι δρομείς τώρα κινούνται με υψηλές ταχύτητες περιστροφής, οδηγώντας ηλεκτρογεννήτριες. Ως εκ τούτου, οι δρομείς πρέπει να περιστρέφονται όσο το δυνατόν πιο γρήγορα, προκειμένου να μειωθεί η μάζα των γραναζιών που μεταδίδουν την κίνηση από τον δρομέα στη γεννήτρια. Συνεπώς, ο αριθμός των πτερυγίων του δρομέα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα τρία. Μέσα στην άτρακτο υπάρχουν αρκετά συστήματα μείζονος σημασίας όπως:

- Κύριος άξονας: Είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά της κινητήριου ροπής από το σύστημα του δρομέα προς το σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Η στήριξη του κύριου άξονα του πραγματοποιείται από τα έδρανα.
- Δισκό-φreno: Το δισκόφreno εγκαθίσταται κυρίως στη θέση πριν από τον μετατροπέα στροφών ωστόσο καμιά φορά μετά από αυτόν, στον άξονα της υψηλής ταχύτητας. Στόχος του δισκόφρενου είναι η μείωση της ταχύτητας της περιστροφής του ρότορα της ηλεκτρογεννήτριας.

- Μετάδοση της κίνησης: Η κίνηση της ανεμογεννήτριας μεταδίδεται μέσω ενός 2βαθμου ή 2βαθμου κιβωτίου μετασχηματισμού χαμηλής ταχύτητας του δρομέα (μέση ταχύτητα 20-110rpm) σε ταχύτητες υψηλότερες δηλαδή πάνω από 1000rpm δηλαδή της ταχύτητας στις οποίες λειτουργούν οι ηλεκτρικές γεννήτριες.
- Ηλεκτρογεννήτρια: Το εν λόγω σύστημα μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Για να μπορέσει μια ηλεκτρογεννήτρια να συνδεθεί με το ηλεκτρικό δίκτυο θα πρέπει να είναι συμβατές με τις διατάξεις του δρομέα και του μετατροπέα στροφών στην περιοχή της εισόδου όπως και στην έξοδο με τη διανομή του παρόχου ηλεκτρικού και τις τοπικές απαιτήσεις ισχύος.
- Σύστημα εκτροπής: Το σύστημα μετατροπής εξάγει όσο το δυνατό περισσότερη κινητική ενέργεια του ανέμου. Προκειμένου να γίνει αυτό, ο δρομέας θα πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένος με την κατεύθυνση του ανέμου. Ανεμογεννήτριες έως 25kWείθισται να χρησιμοποιούν έναν ουραίο ανεμοδείκτη ώστε η μηχανή να παραμείνει ευθυγραμμισμένη με τον άνεμο. Σε περίπτωση που αλλάξει η κατεύθυνση του ανέμου τότε οι αισθητήρες ανέμου ενεργοποιούν τον μηχανισμό ελέγχου εκτροπής ο οποίος περιστρέφει την άτρακτο καθώς και τον δρομέα έως ότου ευθυγραμμιστεί η ανεμογεννήτρια.

Ο πύργος της ανεμογεννήτριας είναι ένα σημαντικό μέρος του συστήματος, καθώς υποστηρίζει τον δρομέα. Ο σκοπός του πύργου είναι να ανυψώσει τον δρομέα σε μια συγκεκριμένη ύψη όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι υψηλή, με αποτέλεσμα να υπάρχει μικρότερη διάτμηση σε σύγκριση με το επίπεδο του εδάφους. Συνήθως, το ύψος του πύργου είναι ίσο με τη διάμετρο του δρομέα. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι ο δρομέας πρέπει να κατασκευάζεται από ανθεκτικά υλικά που μπορούν να αντέχουν σε διάφορα φορτία, όπως η βαρύτητα, τα φορτία περιστροφής και οι δυνάμεις του ανέμου. Επιπλέον, ο πύργος πρέπει να αντέχει τις περιβαλλοντικές επιδράσεις καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του (που μπορεί να είναι 20 έτη ή περισσότερο). Λόγω της σημασίας του πύργου, το κόστος του είναι αρκετά υψηλό και ανέρχεται στο 20% του συνολικού κόστους.

Στη συνέχεια, η έλεγχος της ισχύος συνδέεται με την παραγωγή ισχύος σε ανεμογεννήτριες. Στις σημερινές ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικές αρχές αεροδυναμικού ελέγχου για να περιοριστεί η παραγωγή ισχύος στην ονομαστική ισχύ της γεννήτριας. Η πρώτη αρχή είναι η παθητική μορφή ισχύος, γνωστή και ως "έλεγχος με απώλεια στήριξης". Σε αυτήν την περίπτωση, η παραγωγή ισχύος επηρεάζεται από τις ενσωματωμένες αεροδυναμικές ιδιότητες των πτερυγίων, χωρίς κινούμενα μέρη που μπορούν να ρυθμιστούν. Το πάχος και η κλίση των πτερυγίων αλλάζουν κατά μήκος τους για να

προκαλέσουν τύρβη πίσω από το πτερύγιο, αυξάνοντας έτσι την ταχύτητα του ανέμου. Η δημιουργία τύρβης οδηγεί στη διάχυση της ενέργειας του ανέμου, με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής ισχύος σε υψηλές ταχύτητες ανέμου. Οι μηχανές που χρησιμοποιούν αυτήν την αρχή συνήθως έχουν αερόφρενα στα άκρα των πτερυγίων για να ακινητοποιηθούν, αν απαιτηθεί. Η δεύτερη αρχή είναι η ενεργή αρχή που ονομάζεται "έλεγχος με μεταβολή του βήματος". Σε αυτήν την περίπτωση, η γωνία των πτερυγίων του δρομέα μπορεί να ρυθμιστεί ενεργά από το σύστημα ελέγχου της μηχανής.

4.3 Α/Γ Σταθερής & Μεταβλητής Ταχύτητας

Οι ανεμογεννήτριες (Α/Γ) μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την περιστροφική ταχύτητα: σταθερής ταχύτητας και μεταβλητής ταχύτητας. Οι ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας μπορούν να συνδεθούν απευθείας στο ηλεκτρικό δίκτυο μέσω ενός μετασχηματιστή που προσαρμόζει την τάση εξόδου της ανεμογεννήτριας στην τάση εξόδου του ηλεκτρικού δικτύου. Όταν η συχνότητα του δικτύου (f σε Hz) παραμένει σταθερή και η ανεμογεννήτρια έχει ένα συγκεκριμένο αριθμό πόλων (p), η ταχύτητα (n σε rpm) της ανεμογεννήτριας είναι σχεδόν ανεξάρτητη από την ταχύτητα του ανέμου και παραμένει σταθερή όταν πρόκειται για μια σύγχρονη ανεμογεννήτρια. Αυτή η σχέση δίνεται από την εξίσωση:

$$n = 60 * f * p$$

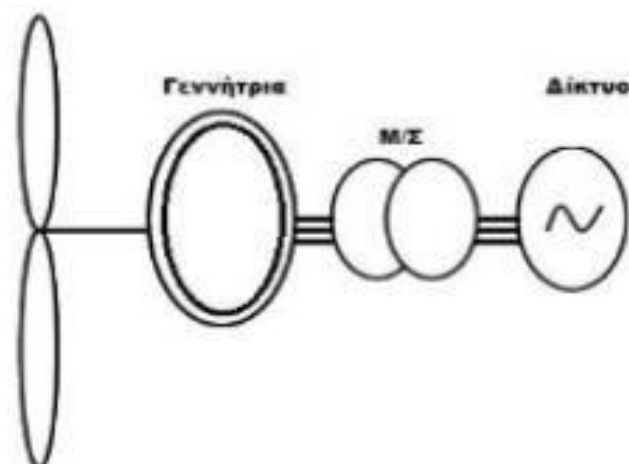
Σε περίπτωση που η ταχύτητα του ανέμου είναι σχεδόν σταθερή τότε η ταχύτητα διαμορφώνεται ως εξής:

$$n = (1 - s) * 60 * f * p$$

Όπου,

s είναι η ολίσθηση.

Οι ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας έχουν αρκετά πλεονεκτήματα. Αυτά περιλαμβάνουν τη στιβαρή και απλή κατασκευή τους, την απλότητα του συστήματος ελέγχου και το χαμηλό κόστος συντήρησης. Ωστόσο, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Αυτά περιλαμβάνουν τη μη βέλτιστη αξιοποίηση της ανεμογεννήτριας για περισσότερες ταχύτητες ανέμου και τις μεγάλες μηχανικές ταλαντώσεις που υφίστανται οι μηχανές λόγω των απότομων μεταβολών της ροπής που προκαλούνται από τις απότομες μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει μια ανεμογεννήτρια σταθερής ταχύτητας.



Εικόνα 4. 7: Ανεμογεννήτρια σταθερής ταχύτητας (Φιορέντζη, 2019)

Οι ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας έχουν ένα κύριο χαρακτηριστικό, που είναι η δυνατότητά τους να προσαρμόζουν την ταχύτητα περιστροφής τους στην ταχύτητα του ανέμου. Ο στόχος αυτών των ανεμογεννητριών είναι να μεγιστοποιήσουν το ποσοστό αιολικής ενέργειας που μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια, δηλαδή τη μέγιστη παραγόμενη ισχύ. Η σύνδεση αυτών των ανεμογεννητριών με το ηλεκτρικό δίκτυο γίνεται μέσω ενός ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος, ο οποίος απομονώνει την ταχύτητα περιστροφής της ανεμογεννήτριας από τη συχνότητα του δικτύου, επιτρέποντας έτσι στην ανεμογεννήτρια να λειτουργεί σε διάφορες ταχύτητες. Ο στόχος αυτής της ανεμογεννήτριας είναι η μέγιστη απόδοση ισχύος, η οποία επιτυγχάνεται μέσω της κατάλληλης προσαρμογής της γωνιακής ταχύτητας με τη χρήση του ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος (Φιορέντζη, 2019).

Συνεπώς, το κύριο πλεονέκτημα μιας ανεμογεννήτριας σταθερής ταχύτητας είναι η βέλτιστη ενεργειακή απόδοσή της. Επιπλέον, αυτού του είδους ανεμογεννήτριες επιτρέπουν τον έλεγχο της ανενεργής ισχύος που παράγεται και ενσωματώνεται στο δίκτυο, χάρη στη χρήση ηλεκτρονικών μετατροπέων. Όλα αυτά συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας της συνολικής ενέργειας που διανέμεται στο ηλεκτρικό δίκτυο, με ελάχιστα σφάλματα. Τέλος, επειδή οι στροφές της ανεμογεννήτριας μεταβάλλονται λόγω των διακυμάνσεων στην ταχύτητα του ανέμου, δεν υπάρχουν απότομες μεταβολές στη μηχανική ροπή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην υποστεί φθορά ο άξονας της μηχανής, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η αναμενόμενη διάρκεια ζωής της μηχανής (Φιορέντζη, 2019).

Πέρα από τα πλεονεκτήματα, υπάρχουν επίσης μειονεκτήματα που τα χαρακτηρίζουν. Ένα από αυτά είναι η υψηλή πολυπλοκότητα υλοποίησης που συνεπάγεται, καθώς και το

αρχικό υψηλό κόστος εγκατάστασης. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι η χρήση μετατροπών που προκαλούν την έγχυση υψηλότερων αρμονικών στο δίκτυο. Αυτό απαιτεί τη χρήση φίλτρων για να περιορίσουν το ποσοστό του συνολικού αρμονικού περιεχομένου στο δίκτυο. Επιπλέον, η υψηλή συχνότητα λειτουργίας του μετατροπέα ισχύος οδηγεί σε αυξημένες διακοπτικές απώλειες στα ημιαγωγικά στοιχεία και, ως εκ τούτου, αυξάνονται οι συνολικές απώλειες του συστήματος (Φιορέντζη, 2019).

Γενικά, οι ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την παραγόμενη ισχύ. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει μικρές ανεμογεννήτριες με ισχύ 0,3 έως 10 kW. Αυτές συναντώνται κυρίως σε απομακρυσμένες και απομονωμένες περιοχές όπου η σύνδεση στο δίκτυο δεν είναι δυνατή. Δεν απαιτούν γρήγορους ανέμους για να παράγουν ενέργεια. Στη συνέχεια, υπάρχουν οι ανεμογεννήτριες μεσαίας κατηγορίας με ισχύ 10 έως 500 kW, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε μεγάλα υβριδικά συστήματα. Στην τρίτη κατηγορία εντάσσονται οι μεγάλες ανεμογεννήτριες με παραγωγική ικανότητα άνω των 500 kW και δυνατότητα παραγωγής έως και 7 MW. Σημειώνεται ότι ο όρος "μεγάλες" ανεμογεννήτριες αναφέρεται όχι μόνο στην ισχύ που παράγουν, αλλά και στο μέγεθος τους που υπερβαίνει τα 90 μέτρα. Φυσικά, με την πρόοδο της τεχνολογίας, εξελίσσονται και οι ανεμογεννήτριες με στόχο την αύξηση της απόδοσης των μηχανημάτων και τη μείωση ορισμένων μειονεκτημάτων, όπως για παράδειγμα ο θόρυβος (Patel, 1999).

5. Υβριδική Ενέργεια: Συνδυασμός Ηλιακής και Αιολικής Ενέργειας

5.1 Υβριδικά Συστήματα

Η εν λόγω εργασία επικεντρώνεται στην τεχνοοικονομική μελέτη ενός υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με ΦΒ και αιολικά σύστημα. Συνεπώς, το παρόν κεφάλαιο αναλύει την υβριδική ενέργεια βασισμένη στα φωτοβολταϊκά και αιολικά συστήματα.

Τα υβριδικά συστήματα ξεπερνούν τα ατομικά συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) επειδή μόνο τα ΑΠΕ δεν είναι ικανά να καλύψουν μόνα τους τις ενεργειακές ανάγκες ενός κτιρίου ή μιας συνοικίας. Αυτό συμβαίνει διότι η παραγωγή ενέργειας από τα ΑΠΕ δεν είναι σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, αλλά εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες σε μια περιοχή. Ειδικότερα, τα φωτοβολταϊκά συστήματα που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια, εξαρτώνται από την ένταση του ηλιακού φωτός που λαμβάνουν τα φωτοκύτταρα τους. Έτσι, αν υπάρχουν σύννεφα ή κατά τη διάρκεια της νύχτας, η παραγωγή ενέργειας μειώνεται ή σταματά εντελώς. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα και να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα και αξιοπιστία της ενέργειας που παρέχει ένα σύστημα, αναπτύχθηκαν τα υβριδικά συστήματα. Αυτά τα συστήματα συνδυάζουν δύο ή περισσότερες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας προκειμένου να επιτύχουν μεγαλύτερη αποδοτικότητα. Στα υβριδικά συστήματα, οι διάφορες πηγές ενέργειας συνδέονται με συνεχή ή εναλλασσόμενη τάση, και μπορούν να χωριστούν σε τρεις κύριες κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης και τις διαφορετικές πηγές ενέργειας και φορτίων που χρησιμοποιούν (Τσούτσος & Κανάκης, 2015). Οι τρεις κατηγορίες έχουν ως εξής (R.E.LNational, 2005):

1. Συστήματα με γραμμές μεταφοράς με συνεχή τάση: DC Lines
2. Συστήματα με γραμμές μεταφοράς με εναλλασσόμενη τάση: AC Lines
3. Συστήματα με γραμμές σε σύζευξη μεταφοράς με συνεχή και εναλλασσόμενη τάση: DC/AC Lines

Στην πρώτη κατηγορία, τα συστήματα συνδέονται με γραμμές μεταφοράς συνεχούς τάσης και η παραγόμενη ισχύς μπορεί να αποθηκευτεί σε μπαταρίες. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Σημειώνεται ότι, επειδή το φορτίο λειτουργεί με εναλλασσόμενη τάση, απαιτείται ένας μετατροπέας DC/AC για να συνδεθούν οι δύο

αυτές τάσεις. Η δεύτερη κατηγορία δε χρήζει μετατροπέα και η σύνδεσή τους μπορεί να γίνει απευθείας με δίκτυο του παρόχου. Στην τρίτη κατηγορία είναι οι γραμμές μεταφοράς DC/ACLines, η πιο κοινή καθώς συνδυάζει τις δύο πρώτες κατηγορίες. Τα διάφορα στοιχεία του συστήματος συνδέονται χωριστά ανάλογα με τον τύπο τάσης που αντιστοιχεί σε καθένα από αυτά.

Ως εκ τούτου, οι γραμμές μεταφοράς με συνεχή και εναλλασσόμενη τάση διακρίνονται από τα κάτωθι (Τσούτσος & Κανάκης, 2015):

- Οι κύριες πηγές ενέργειας καλύπτουν την πλειοψηφία του ποσοστού ισχύος φερειπείν τα ΦΒ συστήματα και τις ΑΓ,
- Τις δευτερογενείς πηγές ενέργειας που καλύπτουν την λοιπή παραγωγή ενέργειας η οποία δεν παράγεται από τις ΑΠΕ π.χ. παροχή ρεύματος το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας,
- Το σύστημα αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας από τις ΑΠΕ, με μπαταρίες. Το σύστημα αποθήκευσης εφαρμόζεται όταν ένα υβριδικό σύστημα δεν είναι συνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο και δεν υπάρχει η επιλογή του net-metering,
- Ελεγκτής φόρτισης της μπαταρίας,
- Υλικά εγκατάστασης π.χ. καλώδια, βάσεις,
- Το φορτίο που πρέπει να καλυφθεί από το ενεργειακό σύστημα.

5.2 Φωτοβολταϊκά(Φ/Β) Συστήματα & Γεννήτρια Πετρελαίου ή Φ/Β Συστήματα Συνδεδεμένα με το Δίκτυο του Παροχέα

Σε περιοχές με υψηλό υψόμετρο, η ηλιακή ενέργεια θεωρείται η καταλληλότερη λύση για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Ωστόσο, για να υπάρχει συνεχής εφοδιασμός ενέργειας προς τον χρήστη, απαιτείται επίσης ένας πετρελαιογεννήτρια. Αυτό το υβριδικό σύστημα επιτρέπει την εξοικονόμηση σημαντικής ποσότητας ενέργειας, και έρευνες έχουν αποδείξει ότι μπορεί να εξοικονομήσει έως και 80% σε σύγκριση με τα μικρά αυτόνομα συστήματα (Σωκράτης, 2004).

Συνεπώς, ένα υβριδικό σύστημα φωτοβολταϊκών πάνελ σε μια περιοχή με υψηλό ηλιακό δυναμικό, σε συνδυασμό με το δίκτυο του παρόχου, αποτελεί τη βέλτιστη οικολογικά και οικονομικά βιώσιμη λύση. Ακόμα και αν το ποσοστό παραγωγής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά είναι χαμηλό, ο χρήστης μπορεί να παράγει ενέργεια από τη γεννήτρια χωρίς επιπλέον χρεώσεις (δηλαδή να μην αγοράζει ενέργεια από το δίκτυο) (Σωκράτης, 2004).

5.3 Ανεμογεννήτρια/Γεννήτρια Πετρελαίου ή Ανεμογεννήτρια Συνδεδεμένη με το Δίκτυο του Παροχέα

ός, απαιτείται η εγκατάσταση του συστήματος σε περιοχές με υψηλή αιολική ενέργεια, όπως για παράδειγμα νησιά. Η μέση ταχύτητα του ανέμου θα πρέπει κυρίως να είναι μεγαλύτερη από 3,5 m/s, καθώς η πλειοψηφία των ανεμογεννητριών έχουν αυτήν την ελάχιστη απαιτούμενη ταχύτητα.

Όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι ικανοποιητική, δηλαδή μεγαλύτερη από την προαναφερθείσα τιμή, η ανεμογεννήτρια μπορεί να παράγει την απαιτούμενη ενέργεια για το φορτίο και ταυτόχρονα να αποθηκεύει την περίσσεια ενέργειας σε μπαταρίες. Ωστόσο, όταν η ταχύτητα του ανέμου δεν είναι ικανοποιητική, η ανεμογεννήτρια δεν μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του φορτίου και γι' αυτό η γεννήτρια πετρελαίου συμβάλλει στην παροχή ενέργειας. Ωστόσο, όταν το σύστημα είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο, η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών γίνεται από το δίκτυο, όπως έχει δείξει μια μελέτη από τον Ortjohann και συνεργάτες το 2007.

5.4 Φ/Β & Ανεμογεννήτρια ή με Γεννήτρια Πετρελαίου ή Σύνδεση στο Δίκτυο Παροχέα

Η ιδανική λύση θεωρείται ο συνδυασμός φωτοβολταϊκών συστημάτων και ανεμογεννητριών, καθώς αυτές οι δύο πηγές ενέργειας συμπληρώνουν η μία την άλλη. Αποτέλεσμα αυτού του συνδυασμού είναι η ικανοποιητική παραγωγή ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Το υβριδικό αυτό σύστημα περιλαμβάνει φωτοβολταϊκά πάνελ, ανεμογεννήτρια και εγκαταστάσεις που δεν είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο, προκειμένου να καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες μικρών κτιρίων. Σε αυτήν την περίπτωση, η ποιότητα της ισχύος δεν είναι προτεραιότητα.

Σύμφωνα με τη μελέτη των Ortjohann και συνεργατών (2007), όταν η ποιότητα της ισχύος είναι προτεραιότητα ή όταν δεν υπάρχει επαρκής ενέργεια για να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου μόνο με τα φωτοβολταϊκά πάνελ ή την ανεμογεννήτρια, τότε η γεννήτρια πετρελαίου τίθεται σε λειτουργία για να καλύψει αυτές τις ανάγκες ενέργειας.

Ένας εναλλακτικός συνδυασμός περιλαμβάνει φωτοβολταϊκά πάνελ, ανεμογεννήτρια και σύνδεση στο δίκτυο. Σε αυτήν τη σύζευξη, τα φωτοβολταϊκά πάνελ και η ανεμογεννήτρια έχουν προτεραιότητα και στη συνέχεια το δίκτυο του παρόχου λειτουργεί ως εφεδρική

πηγή ενέργειας. Αυτό το σύστημα προσφέρει τα πλεονεκτήματα του δεύτερου συνδυασμού χωρίς το υψηλό κόστος απόκτησης γεννήτριας πετρελαίου. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα είναι οικονομικά επωφελές μόνο όταν το συνολικό κόστος αγοράς ενέργειας από το δίκτυο είναι μικρότερο από το κόστος της γεννήτριας.

5.5 Εθνικό Πλαίσιο για τις ΑΠΕ & Υβριδικά Συστήματα

Στην Ελλάδα, υπάρχει μια σημαντική προσπάθεια να αναπτυχθούν Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) με σκοπό να αντιμετωπιστούν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και να εξοικονομηθούν οι φυσικοί πόροι. Η Ελλάδα έχει κατάλληλο κλίμα και γεωγραφική θέση για την ανάπτυξη ΑΠΕ και η ανάπτυξή τους βρίσκεται σε ανοδική πορεία. Ανεξάρτητοι παραγωγοί ΑΠΕ έχουν αξιοποιήσει τις εγγυημένες τιμές και τις κυβερνητικές επιδοτήσεις ως οικονομικά κίνητρα για τις επενδύσεις τους. Ωστόσο, η ανάπτυξη των ΑΠΕ αντιμετωπίζει προκλήσεις όπως οι αδειοδοτικές διαδικασίες, ο σχεδιασμός των δικτύων μεταφοράς ενέργειας και η έλλειψη χωροταξικού πλαισίου. Η χρήση ΑΠΕ ενισχύει την εθνική οικονομία και συμβάλλει στην ενεργειακή ανεξαρτησία της χώρας. Το Σύνταγμα της Ελλάδας περιλαμβάνει διατάξεις που αφορούν τις ΑΠΕ και την ενέργεια γενικά, με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος και την αειφορία.

Σχετικοί νόμοι για το περιβάλλον και την ενέργεια (συμπεριλαμβανομένων των ΑΠΕ) είναι:

- Νόμος-Πλαίσιο: 40/75 «Λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας»: αποτέλεσε το εφαλτήριο σημείο για τη δημιουργία άλλων νόμων και θεσμικών πλαισίων αναφορικά με την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος.
- Νόμος 2244/1994: «Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 168/07.10.1994). Ο εν λόγω νόμος σχετίζεται με τη ρύθμιση θεμάτων για την ηλεκτροπαραγωγή που προέρχεται από ΑΠΕ αλλά και από συμβατικά καύσιμα. Ο νόμος βασίζεται σε έναν αντίστοιχο γερμανικό νόμο και κανείς θα έλεγε ότι αποτέλεσε το θεμέλιο για την εξέλιξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα.
- Νόμος 2773/1999: «Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις». Ο νόμος αυτός αναφέρεται στην απελευθέρωση της ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά. Επιπλέον, προστίθεται σε αυτόν πολλά τμήματα άλλα όπως για παράδειγμα η απελευθέρωση της αγοράς, η εποπτεία του κράτους καθώς και η σύσταση της Ρυθμικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ). Επίσης, ο εν λόγω νόμος έχει θέσει το πλαίσιο με το οποίο καθορίζεται ο τρόπος μεταφοράς της ενέργειας και προσδιορίζει τη θέση των παρόχων ηλεκτρικής

ενέργειας στο θέμα μεταφοράς της ενέργειας διατηρώντας ένα αρκετά ευνοϊκό τιμολόγιο θέτοντας ως προτεραιότητα την πρόσβαση στο δίκτυο.

- Νόμος 2941/2001: «Απλοποίηση διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών, αδειοδότησης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ρύθμιση θεμάτων της Α.Ε. «ΕΛΛΗΝΙΚΑΝΑΥΠΗΓΕΙΑ» και άλλες διατάξεις». Ο συγκεκριμένος νόμος απλοποιεί τις διαδικασίες αναφορικά με την ίδρυση μιας εταιρείας η οποία σχετίζεται με την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ. Αποτελεί μια σημαντική προσθήκη στην υφιστάμενη νομοθεσία αφού προέβει σε διορθώσεις στους νόμους που προϋπήρχαν.
- Νόμος 3017/2002: «Κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο για τη Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών» αναφορικά με την αλλαγή του κλίματος. Ο εν λόγω νόμος έχει μείζονα σημασία ειδικά για τη χώρα μας και η Ελλάδα έχει δεσμευτεί μέσω της υπογραφής του πρωτοκόλλου για να αντιμετωπίσει την επιδείνωση του θερμοκηπικού φαινομένου.
- Νόμος 3175/2003: «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανσης και άλλες διατάξεις». Στόχος του νόμου είναι η δημιουργία προϋποθέσεων για την ορθή αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού της Ελλάδας. Η αξιοποίηση του ως μορφή ΑΠΕ προωθεί τη βιώσιμη ανάπτυξη εξυπηρετώντας το γενικό συμφέρον. Ως αξιοποίηση νοείται η έρευνα, η εκμετάλλευση καθώς και η διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού.
- Νόμος 3468/2006: «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις». Σκοπός του νόμου αυτού είναι η προώθηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και μονάδες Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης. Ο εν λόγω νόμος ενσωματώνει την Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) 2018/2001 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου της 11/12/2018.
- Νόμος 3851/2010: «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής». Σκοπός του νόμου είναι η προστασία του κλίματος, μέσω της προώθησης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Σχετίζεται επίσης και με την επιτάχυνση της ανάπτυξης ΑΠΕ όπως και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Με βάση το νόμο αυτό, η χώρα μας αυξάνει τον εθνικό στόχο αναφορικά με τη χρήση ΑΠΕ προκειμένου η συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ να αγγίζει το 20%.

- Νόμος 4062/2012: «Αξιοποίηση του πρώην Αεροδρομίου Ελληνικού - Πρόγραμμα ΗΛΙΟΣ - Προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (Ενσωμάτωση Οδηγίας 2009/28/ΕΚ) - Κριτήρια Αειφορίας Βιοκαυσίμων και Βιορευστών (Ενσωμάτωση Οδηγίας 2009/30/ΕΚ)». Το πρόγραμμα ΗΛΙΟΣ αποτελεί μια διεθνή συνεργασία με γνώμονα την ανάπτυξη, την παραγωγή και την εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από την ηλιακή ενέργεια στην Ελλάδα. Η ανώνυμη εταιρεία δύναται μελλοντικά να ιδρύσει και άλλες εταιρείες που θα σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας πάλι από ηλιακή ενέργεια και θα είναι απαλλαγμένη από κάθε είδους φόρο ήτοι δημόσιο, άμεσο ή έμμεσο.
- Νόμος 4951/2022: «Εκσυγχρονισμός της αδειοδοτικής διαδικασίας Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας Β' φάση, Αδειοδότηση παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, πλαίσιο ανάπτυξης Πιλοτικών Θαλάσσιων Πλωτών Φωτοβολταϊκών Σταθμών και ειδικότερες διατάξεις για την ενέργεια και την προστασία του περιβάλλοντος».

6. Μελέτη Περίπτωσης

6.1 Εισαγωγή

Στόχος της εργασίας είναι να μελετήσει και να αναλύσει τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε ένα οικιακό κτίριο στην Αθήνα, και συγκεκριμένα στο κέντρο των Αθηνών στα Άνω Πετράλωνα. Σκοπός της μελέτης είναι να αποδειχθεί αν η χρήση ΑΠΕ σε μια οικία αποτελεί επικερδή λύση και ποια σενάρια ΑΠΕ είναι τα πιο βέλτιστα. Το πρόγραμμα με το οποίο θα γίνει η ανάλυση είναι το HOMER που χρησιμοποιείται από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Το συγκριμένο πρόγραμμα δημιουργήθηκε με βάση την τεχνοοικονομική μελέτη και ανάλυση των υβριδικών συστημάτων τα οποία εφαρμόζονται σε καταστήματα, ξενοδοχεία και γενικά επιχειρήσεις. Στον πρόγραμμα αυτό μπορούν να ελεγχθούν όλες οι πιθανές παραλλαγές που δύναται να προκύψουν αφού εφαρμοστούν στο σύστημα πολλές επιλογές ΑΠΕ. Επιπρόσθετα, με βάση το ενεργειακό επίπεδο, μπορεί να εξεταστεί αλλά και να επιλεγεί η καλύτερη οικονομική λύση για το κτίριο που μελετάται (HOMER, 2022).

6.2 Φορτία

Τα φορτία στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας χωρίζονται σε βιομηχανικά, εμπορικά και οικιακά ανάλογα με τη συμμετρία τους (τριφασικό ή μονοφασικό), το μέγεθος τους, τη

σταθερότητά τους προς το χρόνο, τη συχνότητα και την τάση, καθώς και την περίοδο λειτουργίας τους (συστηματική ή τυχαία λειτουργία).

Το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της ικανότητάς του να μεταφέρει μεγάλες ποσότητες ισχύος, μπορεί να τροφοδοτήσει μεγάλα φορτία, όπως αυτά που συναντώνται σε ξενοδοχεία. Αντίστοιχα, τα μικρά φορτία μπορούν να εξυπηρετηθούν από το σύστημα διανομής μεσαίας τάσης.

Τα φορτία σε μια οικία περιλαμβάνουν φορτία φωτισμού, θέρμανσης, ψύξης κ.λπ. Η πραγματική ισχύς τους μετριέται σε κιλοβατ-ώρες (kW). Η ισχύς των φορτίων μπορεί να διαφέρει κατά τη διάρκεια της ημέρας, και η ημερήσια καμπύλη φορτίου μιας ηλεκτρικής εταιρίας αποτελεί μια συνολική εικόνα της ζήτησης φορτίου από τις διάφορες κατηγορίες καταναλωτών. Η μέγιστη τιμή του φορτίου κατά τη διάρκεια μιας 24ωρης περιόδου ονομάζεται ημερήσια αιχμή φορτίου ή μέγιστο ημερήσιο φορτίο.

Ο συντελεστής φορτίου σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο εκφράζει τη σχέση μεταξύ της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης κατά την περίοδο αυτή και της μέγιστης ηλεκτρικής κατανάλωσης που θα μπορούσε να έχει ο καταναλωτής. Ο συντελεστής φορτίου μπορεί να υπολογιστεί για οποιαδήποτε χρονική περίοδο, είτε αυτή είναι μία μέρα, ένας μήνας ή ακόμα και ένας χρόνος.

Συνήθως υπάρχει διαφορά στην ημερήσια αιχμή φορτίου μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών καταναλωτών. Αυτή η διαφορά συμβάλλει στη βελτίωση του συνολικού συντελεστή φορτίου του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Για την οικονομική λειτουργία του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι επιθυμητό να έχει υψηλό συντελεστή φορτίου. Σήμερα, οι τυπικοί συντελεστές φορτίου των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνονται από 55%-70% (Φούσιας, 2006).

6.3 Ανάλυση Φορτίου Μελέτης Περίπτωσης


Για την πραγματοποίηση μιας τεχνοοικονομικής μελέτης θα πρέπει αρχικά να εξεταστεί τι παροχή ισχύος απαιτείται από το κτίριο που μελετάται ώστε να γίνει και ορθή διαστασιολόγηση του συστήματος ΑΠΕ που θα εγκατασταθεί. Είθισται στην Αθήνα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω της υψηλής θερμοκρασίας να υπάρχει μεγάλη διαφορά ισχύος σε σύγκριση με τους χειμερινούς μήνες.



Εικόνα 6. 1: Κάτοψη της πολυκατοικίας από αεροφωτογραφία (GoogleEarth)

Το συνολικό εμβαδό της οικίας που μελετάται είναι $116,6926\text{m}^2$ και απαρτίζεται από ένα σαλόνι, 3 υπνοδωμάτιο, κουζίνα, ένα λουτρό και ένα WC. Επίσης διαθέτει μακρύ χωλ το οποίο οδηγεί στα υπνοδωμάτια. Τονίζεται ότι η πολυκατοικία χτίστηκε το 1994, διαθέτει θερμαντικά σώματα αλλά όχι ηλιακό θερμοσίφωνα. Οι θερμικές και ψυκτικές ανάγκες του διαμερίσματος (1^{ου} ορόφου) καλύπτονται κυρίως από κλιματιστικά και ηλεκτρικό θερμοσίφωνα. Το κτίριο από το σχετικό Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης που έχει

εκδοθεί εν έτη 2022 ανήκει στην κατηγορία Δ και παρατίθεται στην παρακάτω εικόνα.

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (ΠΕΑ) ΕΠΙΣΜΗΝΑΓΟΥ ΜΟΚΑ 1Α 17455 , ΑΛΙΜΟΣ			
Αρ. Πρωτοκόλλου:	295114/2022	Αρ. Ασφαλείας:	H8N7H-Q0A1D-VP5AE-Z
Ημερομηνία Έκδοσης:	14/12/2022	Ημερομηνία Ισχύος:	14/12/2032
• Ελέγξε την εγκυρότητα του ΠΕΑ: https://www.buildingoert.gr/iso9001CertView			
Τίτλος Κτηριακής Μονάδας: "ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ Α' ΟΡΟΦΟΥ"			
Χρήση:	Πολυκατοικία		
Κλιματική Ζώνη:	B		
Συνολική Επιφάνεια:	116.69		
Ωφέλιμη Επιφάνεια:	116.69		
Ενεργειακή κατηγορία:	Υφιστάμενη		Δυνητική
Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης:			
EP ≤ 0,33 R _R	A+		
0,33 R _R < EP ≤ 0,50 R _R	A		
0,50 R _R < EP ≤ 0,75 R _R	B+		
0,75 R _R < EP ≤ 1,00 R _R	B		
1,00 R _R < EP ≤ 1,41 R _R	Γ		Γ
1,41 R _R < EP ≤ 1,82 R _R	Δ		Δ
1,82 R _R < EP ≤ 2,27 R _R	E		
2,27 R _R < EP ≤ 2,73 R _R	Z		
2,73 R _R < EP	H		
• Μετά την εφαρμογή των παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης σύμφωνα με τη βέλτιστη (1η) σύσταση			
Υπολογιζόμενη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας*			
Κτηρίου αναφοράς [kWh/m ²]:	72.8		
Επιθεωρούμενου κτηρίου [kWh/m ²]:	109.9		
Πραγματική Ετήσια Κατανάλωση Επιθεωρούμενου Κτηρίου:			
Ηλεκτρικής ενέργειας [kWh/m ²]:	0.0		
Θερμικής ενέργειας (καύσιμα) [kWh/m ²]:	0.0		
Συνολική ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [kWh/m ²]:	0.0		
Ετήσιες εκπομπές CO2 επιθεωρούμενου κτηρίου			
Υπολογιζόμενες ετήσιες εκπομπές CO2 [kg /m ²]:	29.7		
Πραγματικές ετήσιες εκπομπές CO2 [kg /m ²]:	0.0		
Θερμική άνεση <input type="checkbox"/>	Οπτική άνεση <input type="checkbox"/>	Ακουστική άνεση <input type="checkbox"/>	Ποιότητα εσωτερικού αέρα <input type="checkbox"/>
• Η ενεργειακή απόδοση ενός κτηρίου προσδιορίζεται βάσει της υπολογιζόμενης ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών που συνδέονται με τη χρήση του ώστε να επιτυγχάνονται συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης.			

Εικόνα 6. 2. Α : Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης Διαμερίσματος Α' Ορόφου

Στον πίνακα που ακολουθεί διακρίνονται τα ηλεκτρικά φορτία της κατοικίας.

Είδος ηλεκτρικής συσκευής	Ώρες Λειτουργίας την ημέρα [h]	Ημερήσια Κατανάλωση [Wh/μέρα]
24 λάμπες 4W	8	768 ¹
1 ψυγείο 150W	24	3600
1 A/C 2000W	4	8000
1 Η/Υ 400W	8	3200
Φούρνος 3000W	2	6000
Τηλεόραση 120W	4	480
1 βραστήρας νερού 500W	1	500
Πλυντήριο Ρούχων 1500W	1	1500
1 Ηλεκτρικό Σίδερο 1200W	0.5	600
Ηλεκτρική Σκούπα 1000W	0.5	500
Απορροφητήρας 300W	2	600
2 Φορτιστές Συσκευών 20 W	10	400
1 αφυγραντήρας 290W	24	6960
1 τοστιέρα 800W	0.1	80
Συνολική Ημερήσια Κατανάλωση		33.108Wh=33,11kWh
Συνολική Ετήσια Κατανάλωση		12.085,15MWh

Πίνακας 6. 1: Φορτία κατοικίας

6.4 Δίκτυο Παροχέα

Στην εν λόγω εργασία γίνονται δύο σενάρια: πως το σύστημα είναι διασυνδεδεμένο στο δίκτυο ηλεκτρισμού και χωρίς να είναι. Στο πρώτο σενάριο, ήτοι το σύστημα είναι

¹ 24 λάμπες * 4W * 8 ώρες = 768Wh

συνδεδεμένο στο δίκτυο, η περίσσεια ενέργεια από τις ΑΠΕ που θα εφαρμοστούν θα μεταφέρεται στο δίκτυο και ο καταναλωτής θα λαμβάνει μια σχετική έκπτωση στο λογαριασμό του. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται «NetMetering» και ο όρος «net» νοείται η χρέωση ή πίστωση του καταναλωτή και συγκεκριμένα στη διαφορά ανάμεσα της καταναλισκόμενης και παραγόμενης ενέργειας σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (ΣΕΦ, 2022).

Το άρθρο 59 από το Ν. 4543/2021 (ΦΕΚ 193 Α'2021) αναφέρει πως με τον όρο ενεργειακό συμψηφισμό νοείται *«οσυμψηφισμός της εγχεόμενης στο Δίκτυο ενέργειας από σταθμό παραγωγής με την απορροφώμενη ενέργεια στην εγκατάσταση κατανάλωσης του αυτοπαραγωγού. Ο σταθμός παραγωγής μπορεί να εγκατασταθεί στον ίδιο ή όμορο χώρο με την εγκατάσταση κατανάλωσης. Είναι δυνατή η εγκατάσταση του σταθμού σε απομακρυσμένο της ηλεκτρικής εγκατάστασης χώρο αρκεί να συνδέεται ηλεκτρικά με αποκλειστική γραμμή διασύνδεσης η οποία αποτελείται μέρος της εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης. Με βάση το υφιστάμενο πλαίσιο, στον ενεργειακό συμψηφισμό η παραγόμενη ενέργεια δεν είναι απαραίτητο να ταυτοχρονίζεται με την καταναλισκόμενη»*.

Στη χώρα μας, το NetMetering θεωρείται νόμιμο από το Γενάρη του 2015 εν αντιθέσει που σε άλλες χώρες εδώ και χρόνια αποτελεί τον κύριο τρόπο συμψηφισμού ενέργειας με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Χαρακτηρίζεται ως η καλύτερη λύση για τη μείωση του κόστους ρεύματος για τις κατοικίες και τις επιχειρήσεις και μπορεί κανείς να εκμηδενίσει ακόμη και το κόστος θέρμανσης και ψύξης αν συνδυαστεί κατάλληλα για παράδειγμα με ένα σύστημα αντλίας θερμότητας.

Μέσω της εν λόγω τεχνολογίας θα πρέπει να γίνει εγκατάσταση δύο μετρητών ή ένας μετρητής διπλής ροής. Οι μετρητές αυτοί έχουν τη δυνατότητα να μετρούν την ενέργεια που δύναται να παράγει ένα σύστημα ΑΠΕ αλλά και την ενέργεια που εισέρχεται από τον πάροχο. Η παραγόμενη ενέργεια από το σύστημα ΑΠΕ μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση από έναν αντιστροφέα και μετά αυτή εισέρχεται στο κτίριο ή δίκτυο. Θα πρέπει να αναφερθεί πως εάν τη στιγμή το κτίριο καταναλώνει ενέργεια, τότε αυτή λαμβάνεται από το σύστημα ΑΠΕ. Εν αντιθέσει, διοχετεύεται στο δίκτυο και γίνεται μέτρηση από τον μετρητή και πιστώνεται στο χρήστη ώστε να το πάρει πίσω κατά τη διάρκεια του χειμώνα ή τις νυχτερινές ώρες (ΣΕΦ, 2022).

Στην παρούσα μελέτη, το λογισμικό το οποίο εφαρμόζεται είναι το «HOMER» ενώ το netmetering δεν μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια αφού δύναται να εισαχθεί μόνο η τιμή πώλησης και η τιμή αγοράς από το δίκτυο του παρόχου χωρίς όμως να υπολογίζεται η

διαγραφή τυχόν πλεονασμάτων εφόσον υπάρχει σε κάθε δωδεκάμηνη περίοδο. Ο σωστός τρόπος υπολογισμού των πλεονασμάτων όπως και η τιμή πώλησης ως προς το δίκτυο γίνεται με παραδοχή. Έτσι για σκοπούς του λογισμικού, η τιμή πώλησης στο δίκτυο ορίζεται τυχαία με τιμή 0,08€/kWh.

6.5 Οικονομική Ανάλυση στο Λογισμικό HOMER

Η μελέτη περίπτωσης θα μοντελοποιηθεί στο μέσω του λογισμικού προγράμματος HOMER που έχει ως στόχο την αξιολόγηση των ενεργειακών χαρακτηριστικών της κατοικίας που μελετάται. Το HOMER μπορεί με βάση τα στοιχεία που του καταχωρούνται από το χρήστη να κάνει υπολογισμούς για την εκάστοτε περίπτωση που μελετάται και αναλόγως βέβαια τις παραμέτρους που εισάγονται στο πρόγραμμα. Το πρόγραμμα μπορεί επίσης να παρουσιάσει το Παρόν Συνολικό Κόστος [NetPresentCost - NPC] του συνολικού συστήματος.

Για το σκοπό της εν λόγω εργασίας, ο συνολικός χρόνος ζωής για το συνολικό σύστημα που θα μελετηθεί είναι τα 25 χρόνια λόγω των βλαβών που δύναται να υποστούν οι διάφοροι συντελεστές του υβριδικού συστήματος. Επίσης, λαμβάνεται υπόψη η μείωση της απόδοσης του συνολικού συστήματος. Για παράδειγμα τα φωτοβολταϊκά συστήματα διαθέτουν περίπου 15-20 χρόνια ζωής και έπειτα από το διάστημα αυτό θα πρέπει να αντικατασταθούν με νέα. Η τιμή του κάθε τμήματος του συστήματος θα περιλαμβάνει και την τιμή αντικατάστασης τους καθώς και της συνδεσμολογίας τους (βάσεις κλπ.).



Εικόνα 6.2.B: Διάγραμμα μείωσης της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πάνελ σε συνάρτηση με τον χρόνο (8billionTrees.com, 2022)

6.6 Το Πρόγραμμα HOMER

Το Homer αποτελεί ένα λογισμικό βελτιστοποίησης συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας που αναπτύχθηκε από το Εθνικό εργαστήριο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας των ΗΠΑ (NREL). Σκοπός του είναι να βοηθήσει στον σχεδιασμό συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας και να διευκολύνει την σύγκριση των τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ πολλών διαφορετικών επιλογών (Τσικαλάκης, 2014, HOMER, 2023).

Το Homer μοντελοποιεί τη φυσική συμπεριφορά ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και υπολογίζει το κόστος του κύκλου ζωής του. Αυτό περιλαμβάνει το συνολικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος καθόλη τη διάρκεια ζωής του. Οι χρήστες του Homer έχουν τη δυνατότητα να συγκρίνουν πολλές διαφορετικές επιλογές σχεδιασμού, αξιολογώντας τα τεχνικά και οικονομικά τους χαρακτηριστικά. Επιπλέον, το Homer βοηθά στον καθορισμό της βέλτιστης διανομής των συστημάτων αυτών και καταγράφει τις επιπτώσεις της αβεβαιότητας και των αλλαγών στις μεταβλητές εισόδου (Τσικαλάκης, 2014, HOMER, 2023).

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας παράγει ηλεκτρική ενέργεια και πιθανώς θερμότητα για να εξυπηρετήσει ένα φορτίο που βρίσκεται κοντά σε αυτό. Τέτοια συστήματα μπορούν να αποτελούνται από οποιοδήποτε συνδυασμό συστημάτων παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και μπορεί να είναι είτε διασυνδεδεμένα με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είτε αυτόνομα. Το Homer μπορεί να μοντελοποιήσει οποιοδήποτε από αυτά τα συστήματα, ανάλογα με τις ανάγκες και τις προδιαγραφές του χρήστη όπως για παράδειγμα φωτοβολταϊκά συστήματα, ανεμογεννήτριας, μικρά υδροηλεκτρικά έργα, γεννήτριες βιομάζας, παλινδρομικούς κινητήρες και γεννήτριες, μικρογεννήτριες κυψέλες καυσίμου, μπαταρίες, υβριδικά συστήματα και αποθήκευση υδρογόνου (Τσικαλάκης, 2014, HOMER, 2023).

Το συγκεκριμένο λογισμικό σε σχέση με άλλα διαθέσιμα λογισμικά που υφίσταται, το εν λόγω είναι αρκετά πιο απλό στη λειτουργία τους και δίνει λεπτομερή περιγραφή στα αποτελέσματα ενώ ταυτόχρονα δίνει και περισσότερες δυνατότητες ανάλυσης των συστημάτων που εξετάζονται. Οι τρεις βασικές λειτουργίες του προγράμματος είναι οι

προσομοίωση, η βελτιστοποίηση και η ανάλυση ευαισθησίας (Τσικαλάκης, 2014, HOMER, 2023).

6.6.1 Παρόν Συνολικό Κόστος (NPC)

Το Συνολικό Κόστος Παρουσίασης (NPC) είναι ένα μέτρο που χρησιμοποιείται στο λογισμικό βελτιστοποίησης συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, όπως το Homer, για να αξιολογήσει το συνολικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου (HOMER, 2023).

Το NPC λαμβάνει υπόψη το κόστος των συστημάτων παραγωγής, αποθήκευσης και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και τα λειτουργικά έξοδα, τις απαιτούμενες συντηρήσεις και τις αντίστοιχες επιδόσεις. Επίσης, λαμβάνει υπόψη τις αποτιμήσεις του κόστους κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος, όπως είναι η αξία της χρήσης ενός συστήματος σε διαφορετικά χρονικά σημεία (HOMER, 2023).

Συνολικά, το NPC παρέχει μια συνολική απεικόνιση του κόστους που απαιτείται για την εγκατάσταση και λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Με βάση αυτό το μέτρο, οι χρήστες μπορούν να συγκρίνουν διαφορετικές τεχνολογίες, σχέδια και επιλογές σχεδιασμού για το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και να επιλέξουν την καλύτερη λύση βάσει των οικονομικών τους αναγκών και περιορισμών (HOMER, 2023).

Η τιμή NPC υπολογίζεται ως κάτωθι (HOMER, 2023):

$$C_{NPC} = \frac{C_{\text{annual,tot}}}{CRF(i, N)}$$

Όπου,

C_{NPC} = Ολικό κόστος/κέρδος του συστήματος για όλη την υπολογιζόμενη διάρκεια

ζωής του συστήματος σε €,

$C_{\text{annual,tot}}$ = Ετήσιο συνολικό κόστος του συστήματος (€/έτος),

$CRF[i, N]$ = Παράγοντας αντικατάστασης κόστους.

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

Όπου,

i= Παράγοντας επιθυμητού κέρδους συστήματος που ορίζεται ως 10%

Οι τιμές για όλες τις μηχανές του συστήματος, καθώς και η συνολική τιμή, παρέχονται χωριστά για κάθε συνδυασμό. Επιπλέον, το σύστημα λαμβάνει υπόψη το κόστος λειτουργίας και συντήρησης κάθε στοιχείου. Το πρόγραμμα είναι δυνατόν να αναγνωρίζει το κόστος λειτουργίας, το κόστος αγοράς ή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο ανάλογα με την σύνδεση στο δίκτυο.

Σύμφωνα με την παρούσα μελέτη, το κόστος αγοράς από το δίκτυο είναι 0,08€/kWh, βάσει της Μεσοσταθμικής Τιμής Αγοράς της Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα. Ωστόσο, λόγω της ενεργειακής κρίσης που υφίσταται αυτήν την περίοδο, το δίκτυο δεν αγοράζει ενέργεια από παραγωγούς (ΑΔΜΗΕ, 2023).

Για να είναι πιο αποτελεσματικά τα αποτελέσματα στην ανάλυση του προγράμματος HOMER μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ακόμη κριτήριο για την επιλογή του συστήματος σε σχέση με την οικονομική ανάλυση του συστήματος. Το εν λόγω κριτήριο ονομάζεται ως το Κόστος Ενέργειας (CostofEnergy-COE) και αναφέρεται στο μέσο κόστος ανά kWh της χρήσιμης ενέργειας που παράγεται στο σύστημα και έχει ως εξής:

$$COE = \frac{C_{\text{annual,tot}}}{E_{\text{total}}}$$

$$E_{\text{total}} = E_{\text{prime,AC}} + E_{\text{prime,DC}} + E_{\text{grid,sales}}$$

Όπου,

$C_{\text{annual,tot}}$ = Ετήσιο συνολικό κόστος του συστήματος (€/χρόνο),

$E_{\text{prime,AC}}$ = Το AC φορτίο που καλύπτεται (kWh/χρόνο),

$E_{\text{prime,DC}}$ = Το DC φορτίο που καλύπτεται (kWh/χρόνο),

$E_{\text{grid_sales}}$ = Το σύνολο αγοραπωλησίας της ενέργειας από/προς το δίκτυο (kWh/χρόνο).

Στην παρούσα εργασία δεν θα εφαρμοστεί το κριτήριο του Κόστους Ενέργειας λόγω του ότι το Συνολικό Παρόν Κόστος χαρακτηρίζεται ως αρκετά πιο ακριβή κριτήριο για την οικονομική ανάλυση των αποτελεσμάτων (HOMER, 2023).

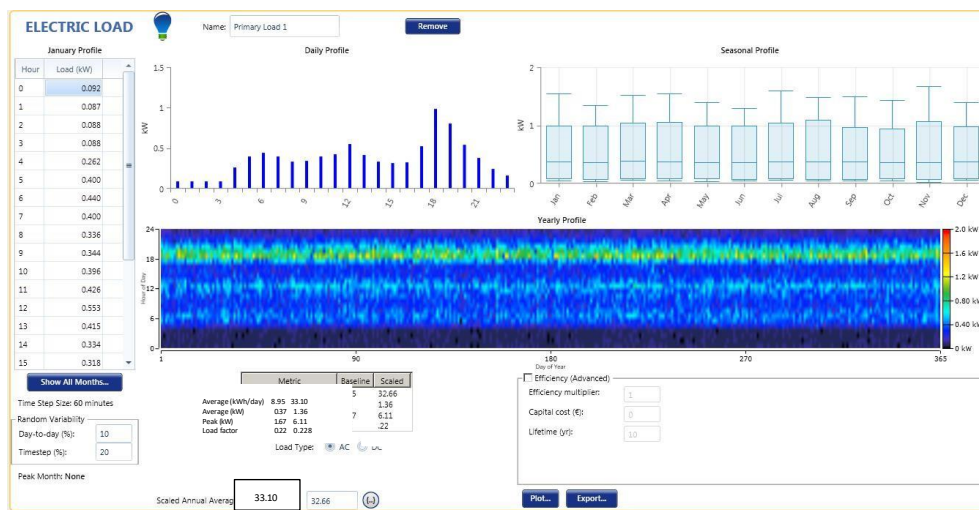
6.7 Τεχνοοικονομική Ανάλυση

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η κατοικία που μελετάται σχετίζεται με μια πολυκατοικία που βρίσκεται στο Νότιο Προάστιο της Αττικής, τον Άλιμο. Για να ξεκινήσει η οποιαδήποτε προσομοίωση αρχικά ορίζεται στο πρόγραμμα η τοποθεσία του ακινήτου. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να εισαχθεί ο ταχυδρομικός κώδικας της περιοχής στο σημείο «LocationSearch», ήτοι:



Εικόνα 6. 3: Εισαγωγή τοποθεσίας του υπό μελέτη ακινήτου

Έπειτα το πρόγραμμα «ζητάει» να οριστεί το ηλεκτρικό φορτίο που καταναλώνει η κατοικία. Συνεπώς ως χρήστης θα πρέπει να μεταβεί στην καρτέλα «Load». Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται το ηλεκτρικό φορτίο. Διακρίνεται ότι έχει συμπληρωθεί το πεδίο «ScaledAnnualAverage(kWh/day)» με τον αριθμό 33,108kWh που αντιστοιχεί στην ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπροσθέτως επιλέγεται το είδος του κτίσματος ήτοι «Residential» αφού μελετάται κατοικία.



Εικόνα 6. 4: Ορισμός ηλεκτρικού φορτίου στο λογισμικό Homer σύμφωνα με τον Πίνακα 6.1

Στόχος της εν λόγω μελέτης είναι να επιβεβαιωθεί ότι η χρήση ΑΠΕ σε κτίρια αποτελεί μια επιλογή συμφέρουσα. Συνεπώς, στην εργασία αυτή θα μελετηθούν τέσσερις περιπτώσεις μελέτης και έχουν ως εξής:

- Η κατοικία/διαμέρισμα να είναι συνδεδεμένη μόνο με το δίκτυο της ηλεκτροδότησης άρα net-metering. Όπως έγινε αναφορά και παραπάνω, η τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο αυτή τη στιγμή κυμαίνεται στα περίπου 0,08€/kWh ενώ η τιμή χρέωσης από τον πάροχο ενέργειας είναι 0,11059€/kWh.



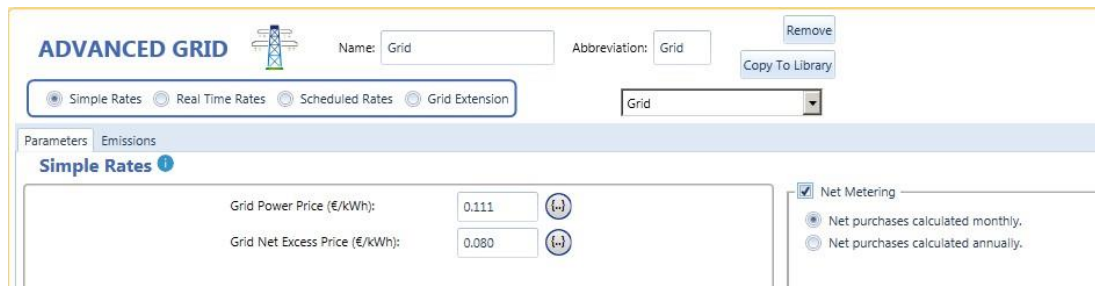
Εικόνα 6. 5: Λογαριασμός ηλεκτρικού ρεύματος της υπό μελέτης κατοικίας από τη ΔΕΗ

- Σύνδεση διαμερίσματος με ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 3kWh και με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας,
- Σύνδεση διαμερίσματος με ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 7kWh, με μια ανεμογεννήτρια ισχύος 1kWh και με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

6.7.1 1^η Προσομοίωση

Η σύνδεση του διαμερίσματος με το ηλεκτρικό δίκτυο υποδηλώνει ότι στο λογισμικό θα πρέπει αρχικά να δηλωθεί το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας στο λογισμικό HOMER. Προκειμένου να γίνει αυτό, ο χρήστης θα πρέπει να μεταβεί στην καρτέλα «Components»

και έπειτα στην καρτέλα «Grid». Στη συγκεκριμένη καρτέλα μπορεί να οριστεί η τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο ανά kWh.

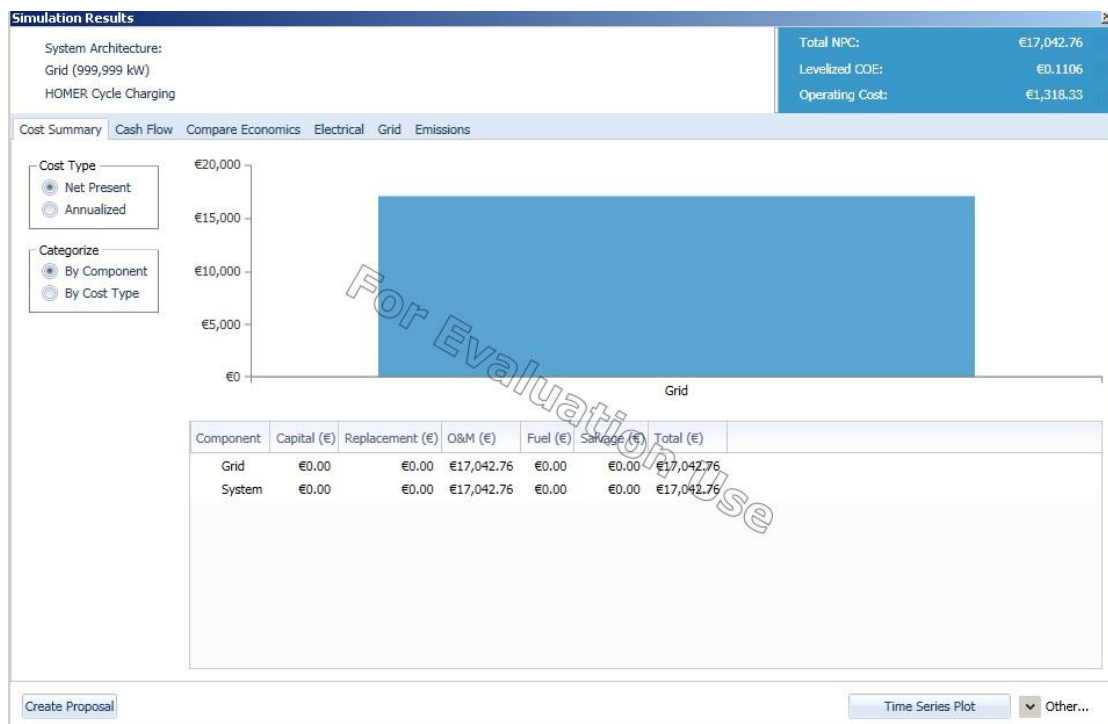


Εικόνα 6. 6: Ορισμός ηλεκτρικού δικτύου στο λογισμικό Homer

Διακρίνεται πως εισάγεται η τιμή αγοράς και πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Διακρίνεται επίσης πως έχει επιλεγθεί η επιλογή net-metering αφού απαιτείται για τη συνέχεια της ανάλυσης. Εν συνεχεία μέσω της εντολής «Calculate» εμφανίζονται τα αποτελέσματα της 1^{ης} μελέτης περίπτωσης.

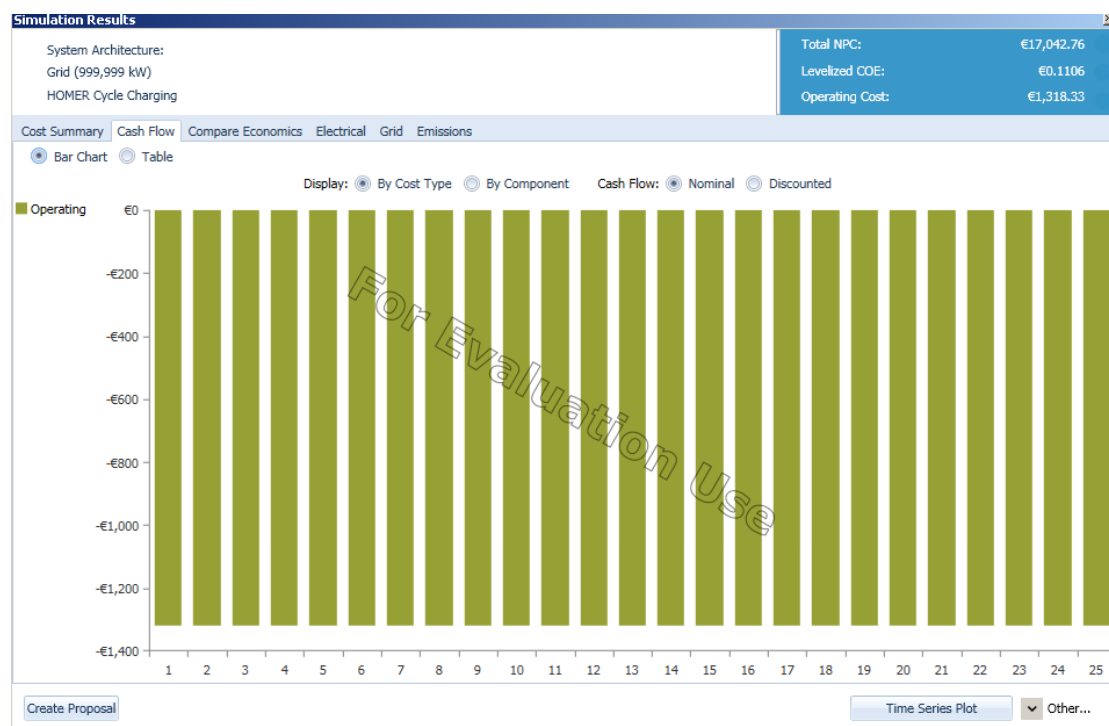
Architecture	Dispatch	NPC (€)	COE (€)	Operating cost (€/yr)	Initial capital (€)	Ren. Frac. (%)	Total Fuel (L/yr)	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)
999,999 CC		€17,043	€0.111	€1,318	€0.00	0	0	11,921	0

Εικόνα 6. 7: Αποτελέσματα της 1^{ης} μελέτης περίπτωσης



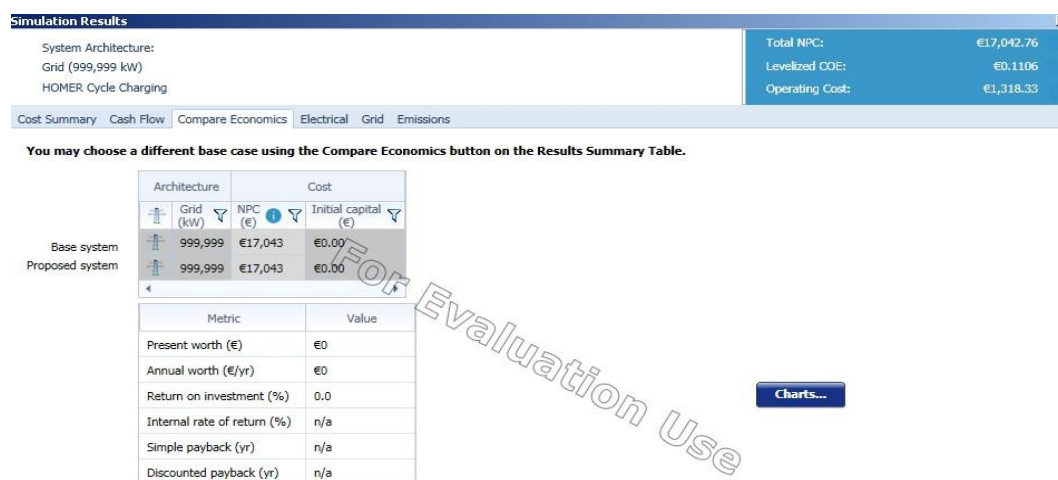
Εικόνα 6. 8: Συνολικό κόστος 1^{ης} μελέτης περίπτωσης

Στην καρτέλα «CostSummary» εμφανίζεται το συνολικό κόστος ανά εξάρτημα. Πάντως στην 1^η περίπτωση διακρίνεται μόνο το δίκτυο ηλεκτρισμού και το Συνολικό Παρόν Κόστος (NPC) ανέρχεται στα περίπου 17.043€.

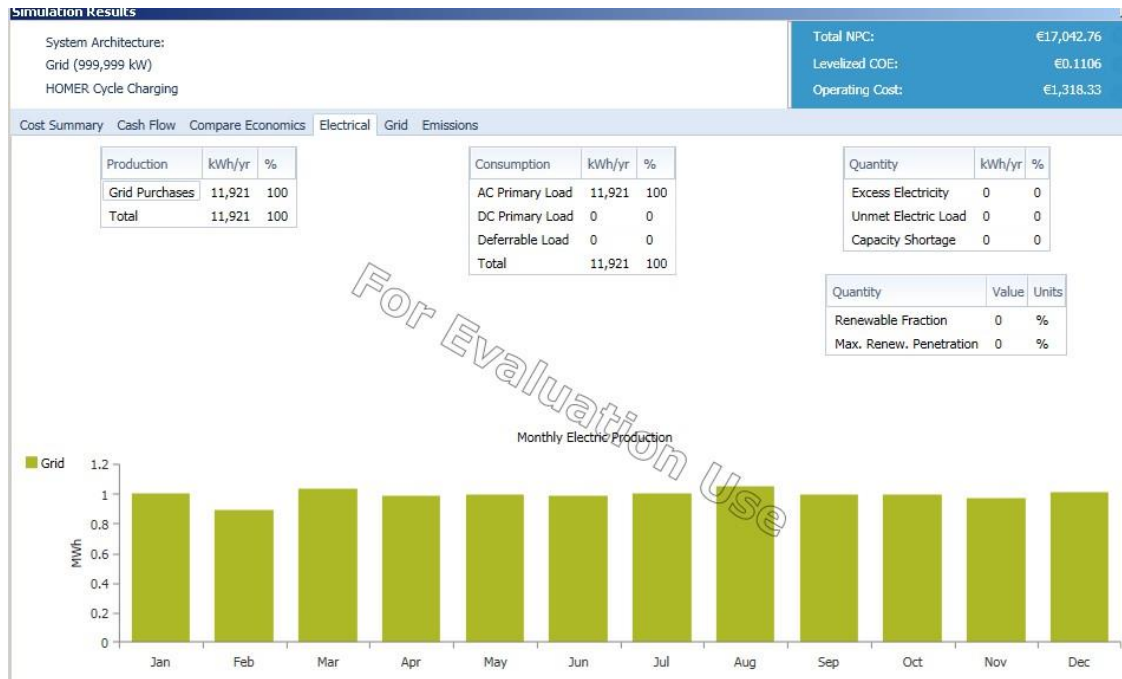


Εικόνα 6. 9: Κόστος 1^{ης} περίπτωσης/ έτος

Από την παραπάνω εικόνα διακρίνεται ότι για κάθε έτος, τα έξοδα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ίδια διότι θεωρείται ότι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι σταθερή. Έπειτα γίνεται μετάβαση στην καρτέλα «CompareEconomics» όμως δεν δίδεται κάποια πληροφορία αφού δεν υφίσταται κάποια σύγκριση. Η καρτέλα «Electrical» κατοπτρίζει ότι το 100% του φορτίου τροφοδοτείται από το δίκτυο ηλεκτρισμού.

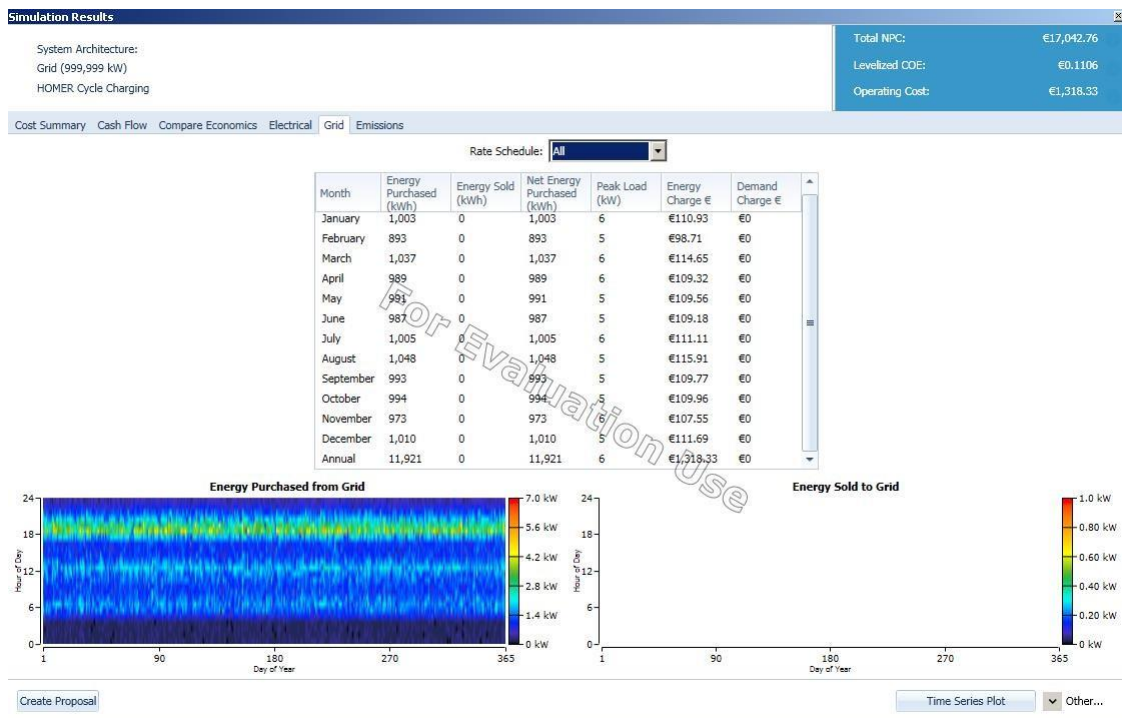


Εικόνα 6. 10: «CompareEconomics»



Εικόνα 6. 11: Καρτέλα «Electrical»

Στην καρτέλα «Grid» δίδονται πληροφορίες για τη χρήση του δικτύου ηλεκτρισμού για όλο το έτος.



Εικόνα 6. 12: Χρήση δικτύου για την 1^η μελέτη περίπτωσης

Εν τέλει γίνεται να εξαχθούν οι ρύποι του διαμερίσματος για την 1^η μελέτη περίπτωσης οι οποίοι προέρχονται αποκλειστικά από τη ηλεκτρικό δίκτυο.



Εικόνα 6. 13: Ρύποι 1^{ης} μελέτης περίπτωσης

6.7.2 2^η Προσομοίωση

Για τη 2^η μελέτη περίπτωσης το ΦΒ πλαίσιο που εφαρμόζεται είναι 3kW και το σύστημα είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Το λογισμικό απαιτεί τα ηλιακά δεδομένα της περιοχής και ως εκ τούτου ο χρήστης θα πρέπει να μεταβεί στην καρτέλα «Resources» και έπειτα την επιλογή «SolarGrid» ώστε να «κατεβάσει» τα δεδομένα από το διαδίκτυο.



Εικόνα 6. 14: Ηλιακά δεδομένα της περιοχής (Άλιμος)

Παρατηρείται ότι η ηλιοφάνεια κατά τους θερινούς μήνες είναι πιο αυξημένη ενώ κατά τη διάρκεια του χειμώνα η ηλιοφάνεια μειώνεται σταδιακά. Έπειτα ορίζεται το πάνελ που θα χρησιμοποιηθεί στη μελέτη. Από τον κατάλογο του λογισμικού επιλέγεται το μοντέλο CanadianSolarCS6U-340M το οποίο έχει ισχύς 340W, με απόδοση 17.50% και το κόστος το οποίου ανέρχεται στα περίπου 285€ (σε αναλογία με δολάρια).

CANADIAN SOLAR MAXPOWER CS6U-340M 340W MONO SOLAR PANEL



Image
Coming
Soon

CANADIAN SOLAR

MSRP: ~~\$358.27~~

\$279.50

(YOU SAVE \$78.77)

SKU: SLG-110-1111

Note: Out of Stock

Condition: New

Weight: 49.40 LBS

Shipping: Calculated at checkout

Unavailable. See manufacturer for similar products.

- Buy 4 - 23 and get 2% off
- Buy 24 or above and get 5% off

Εικόνα 6. 15: CanadianSolarCS6U-340M με τιμή \$279.50] <https://www.solaris-shop.com/canadian-solar-maxpower-cs6u-340m-340w-mono-solar-panel/>

Στην επιλογή καρτέλας «Components» γίνεται η επιλογή του Φ/Β πάνελ. Για την ισχύ των 3kW επιλέχθηκε το CS6U-340M και Derating Factor όπως ορίζει το λογισμικό HOMER για την εν λόγω μελέτη είναι στο 88%.

The screenshot shows the HOMER software interface for selecting a solar panel component. The 'Properties' tab is active, displaying the following information for the CanadianSolar MaxPower CS6U-340M panel:

- Name: CanadianSolar MaxPower CS6U-340M
- Abbreviation: CS6U-340M
- Panel Type: Flat plate
- Rated Capacity (kW): 3
- Temperature Coefficient: -0.41
- Operating Temperature (°C): 45.00
- Efficiency (%): 17.49
- Manufacturer: Canadian Solar
- Data Sheet for CS6U-340M
- Notes: 72 Mono-crystalline cells. The MaxPower CS6U monocrystalline line offers a number of variations: from nominal max power of 325W, 330W, 335W, to 340W. This component represents the 340W monocrystalline module, which offers excellent module efficiency of up to 17.49%.

The 'Cost' section shows:


- Capacity (kW): 3
- Capital (€): 284.75
- Replacement (€): 284.75
- O&M (€/year): 10.00
- Lifetime time (years): 25.00

The 'Sizing' section shows:

- Search Space: kW (0, 3)
- Electrical Bus: AC (selected), DC
- Derating Factor (%): 88.00

Εικόνα 6. 16: Επιλογή φωτοβολταϊκού πάνελ στο λογισμικό

Στο επόμενο βήμα θα πρέπει να γίνει η επιλογή ενός μετατροπέα αφού τα φβ συστήματα παράγουν συνεχές ρεύμα και θα πρέπει να γίνει εναλλαγή σε εναλλασσόμενο ρεύμα προκειμένου να καταναλωθεί. Έπειτα από έρευνα επιλέγεται ο μετατροπέας SolaXX3 hybrid – 5.0T.

CONVERTER 
SolaX X3-hybrid5 Name: SolaX X3-hybrid5 Remove
Complete Catalog Abbreviation: SolaX5 Copy To Library

Properties
 Name: SolaX X3-hybrid5
 Abbreviation: SolaX5
[Data Sheet for REFUHybrid 100](#)
 Notes:
 Three phase (X3) hybrid- 5.0T.
 Input DC: 6kW max input power with 720V.
 Output AC: 5000VA nominal power. Nominal AC current 7.6 A output.
 Output DC: recommended battery voltage of 200V.
 MPPT efficiency: 99.9%. Euro efficiency of 97.0%. Max efficiency of 97.6%.

Capacity (kW)	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)
5	€2,778.16	€2,778.16	€0.0

Click here to add new item

Capacity Optimization
 HOMER Optimizer™
 Search Space
 Size (kW)
 0
 5

SolaX

Inverter Input
 Lifetime (years): 25.00
 Efficiency (%): 97.00
 Parallel with AC generator?

Rectifier Input
 Relative Capacity (%): 0.00
 Efficiency (%): 0.00

Could not connect to the Internet. Some features will be unavailable.

Εικόνα 6. 17: Επιλογή του μετατροπέα μέσα από το λογισμικό πρόγραμμα

Home > SolaX X3-Hybrid-5.0T



SolaX X3-Hybrid-5.0T

€2.296,00 excl. VAT | €2.778,16 inc VAT

Quantity

1

Add to Cart

Buy it now

SolaX X3-Hybrid-5.0T

X3-Hybrid-5.0T / X3-Hybrid-6.0T / X3-Hybrid-8.0T / X3-Hybrid-10.0T

Three phase, dual MPPT inverters

X-Hybrid Three Phase

The new X-Hybrid 3-phase inverter from SolaX is the latest incarnation of the market leading range of hybrid inverters, offering a flexible and scalable solution for both domestic and commercial applications. The 3-phase series includes inverters ranging in size from 5 to 10kW, and with the ability to install multiple inverters in parallel, scalable battery storage for commercial applications is now a reality. The inverter is equipped with a built-in EPS (Emergency Power Supply), had multiple communication options and can be controlled remotely.

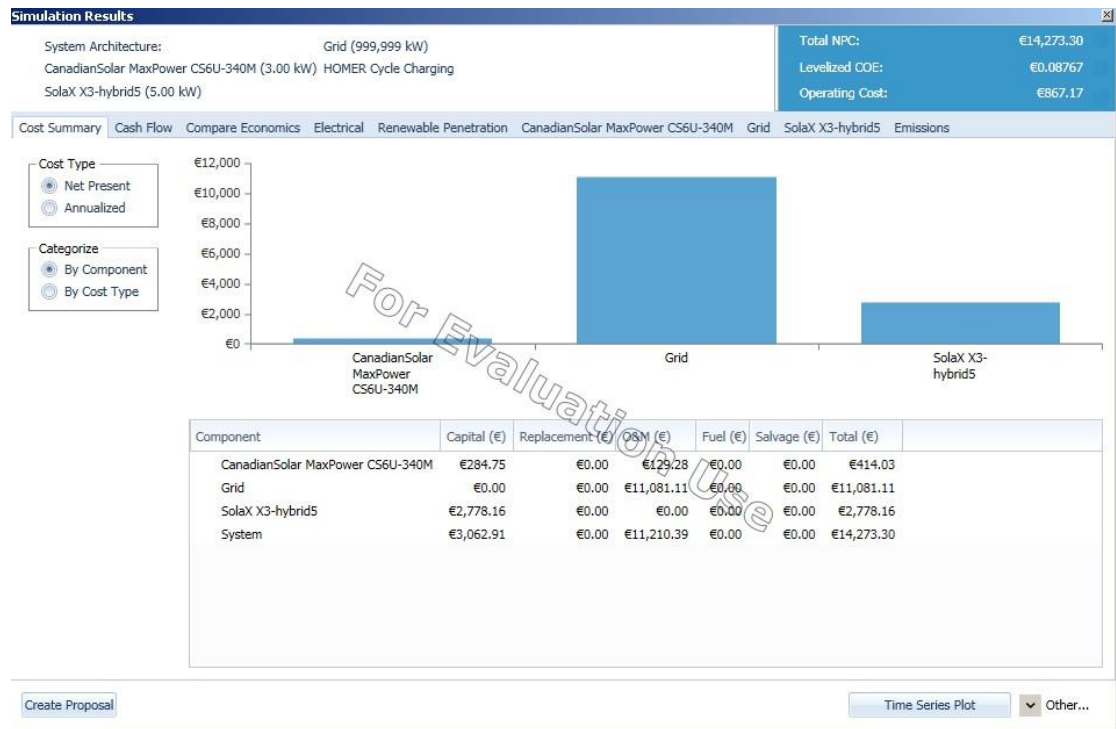
Εικόνα 6. 18: Μετατροπέας SolaX X3 hybrid – 5.0T [<https://www.solartopstore.com/products/solax-x3-hybrid-5-0t>]

Η σημερινή τιμή του μετατροπέα είναι 2.278.16€ ενώ αν αντικατασταθεί στο μέλλον, το κόστος θεωρείται ίδιο. Η απόδοση του εν λόγω μετατροπέα είναι 97% και το προσδόκιμο ζωής τα 25 χρόνια. Μετά ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το «Calculate» ώστε να γίνει ο υπολογισμός των αποτελεσμάτων της δεύτερης μελέτης περίπτωσης.

Architecture		Cost			System		CS6U-340M		SolaX5		Grid				
CS6U-340M (kW)	Grid (kW)	SolaX5 (kW)	Dispatch	NPC (€)	COE (€)	Operating cost (€/yr)	Initial capital (€)	Rain Freq (%)	Total Fuel (L/yr)	Capital Cost (€)	Production (kWh/yr)	Rectifier Mean Output (kW)	Inverter Mean Output (kW)	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)
3.00	999,999	5.00	CC	€14,273	€0.0877	€867.17	€3,063	33.1	0	285	4,299	0	0.476	8,424	673
	999,999		CC	€17,043	€0.111	€1,318	€0.00	0	0					11,921	0

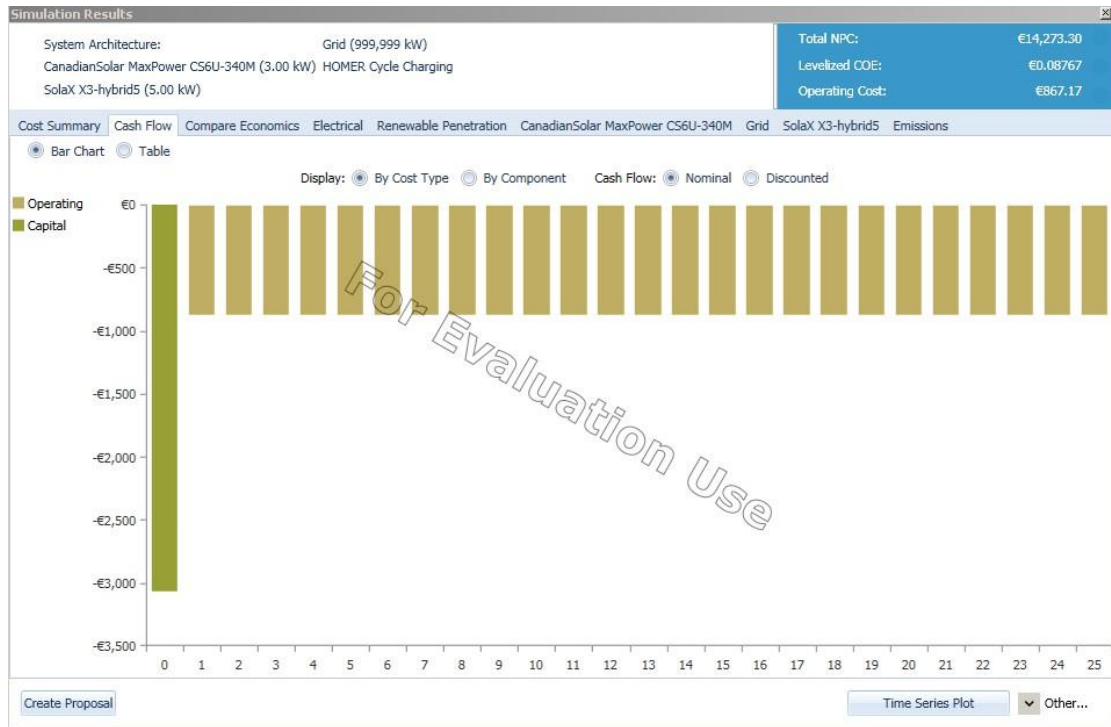
Εικόνα 6. 19: Αποτελέσματα για τη 2^η μελέτη προσομοίωσης

Θα πρέπει να επιλεγεί η βέλτιστη περίπτωση ώστε να εμφανιστούν οι τεχνικές λεπτομέρειες.



Εικόνα 6. 20: Συνολικό κόστος για τη 2^η μελέτη προσομοίωσης

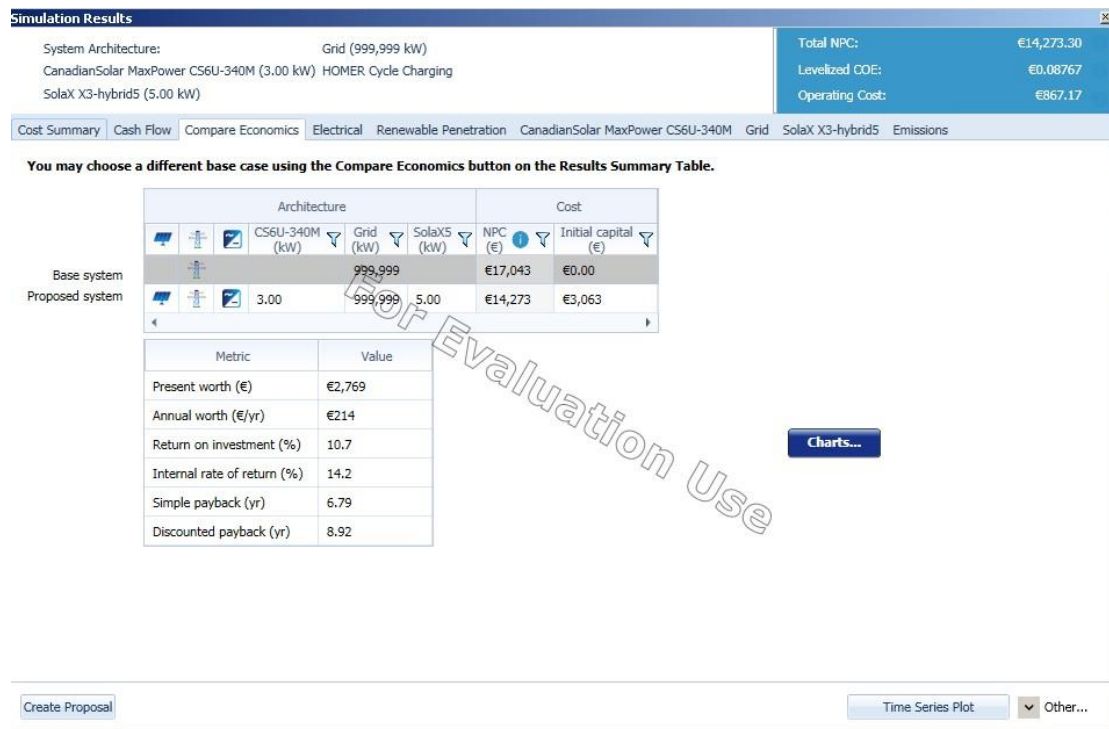
Στην καρτέλα «CostSummary» συνολικό κόστος της επένδυσης είναι 14.273,30€ με αρχικό κεφάλαιο τα 3.062.91€. Στη συνολική διάρκεια ζωής του συστήματος, το κόστος επιμερίζεται για το ρεύμα που αγοράζεται μέσα από το δίκτυο ηλεκτρισμού.



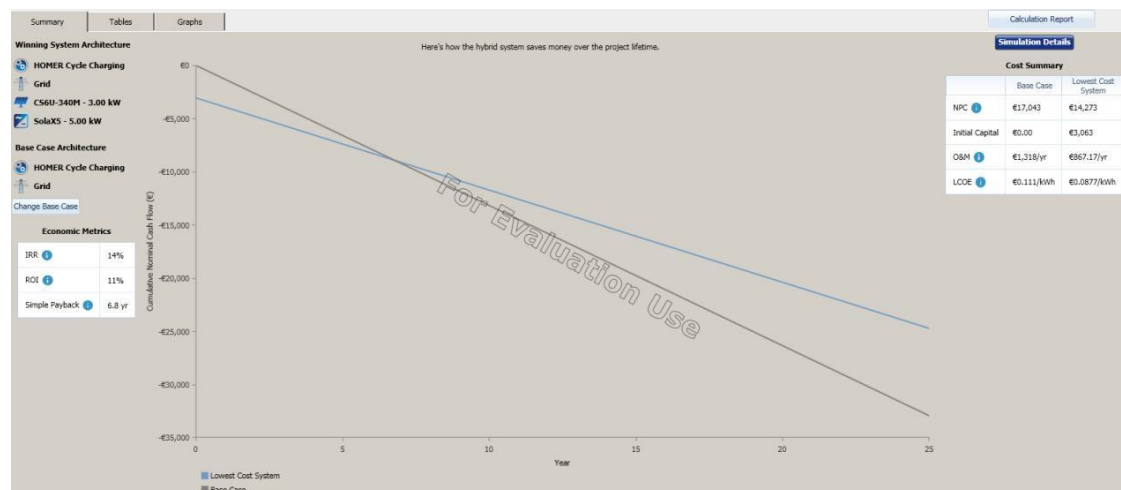
Εικόνα 6. 21: Κόστος για την 2^η μελέτη προσομοίωσης

Από την παραπάνω εικόνα διαφαίνεται ότι κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους της επένδυσης υπάρχουν σημαντικά κόστη τα οποία ωστόσο με το πέρασμα του χρόνου μειώνονται σημαντικά και σταθερά.

Έπειτα γίνεται σύγκριση μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης μελέτης προσομοίωσης δηλαδή σύνδεση με το δίκτυο και μετά σύνδεση με το δίκτυο και εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 3kW.



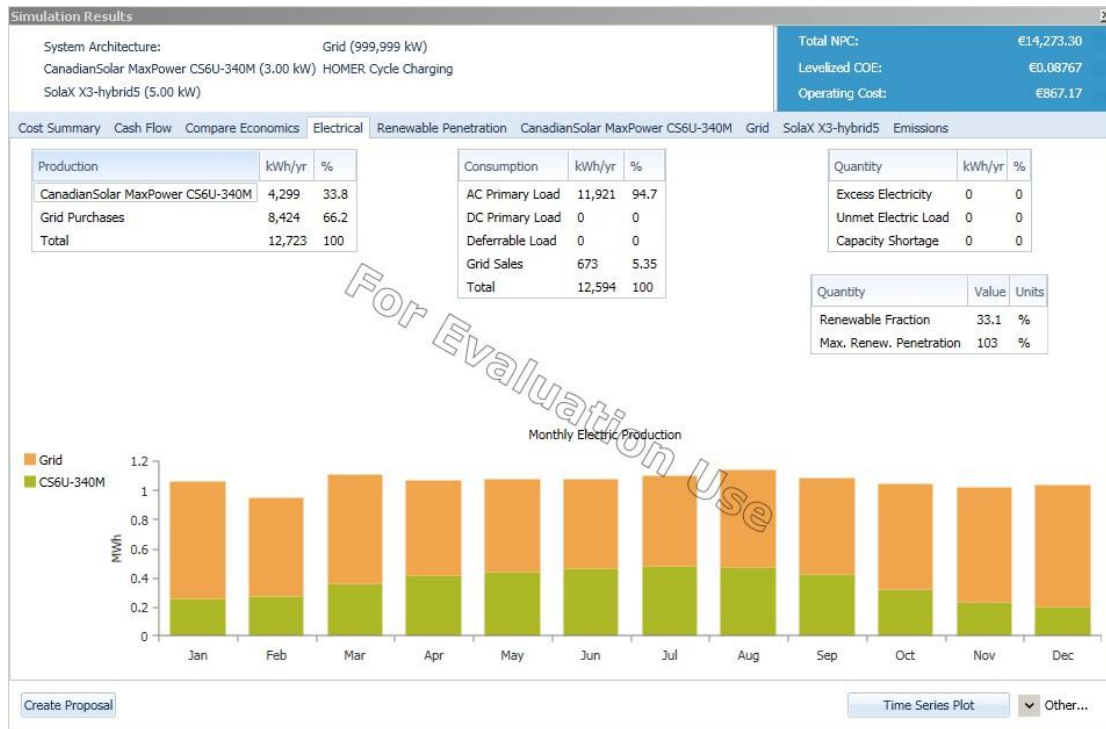
Εικόνα 6. 22: Καρτέλα «CompareEconomics» σύγκριση μεταξύ της 1^{ης} και 2^{ης} μελέτης προσομοίωσης



Εικόνα 6. 23: Συγκριτικό γράφημα μεταξύ των δύο περιπτώσεων

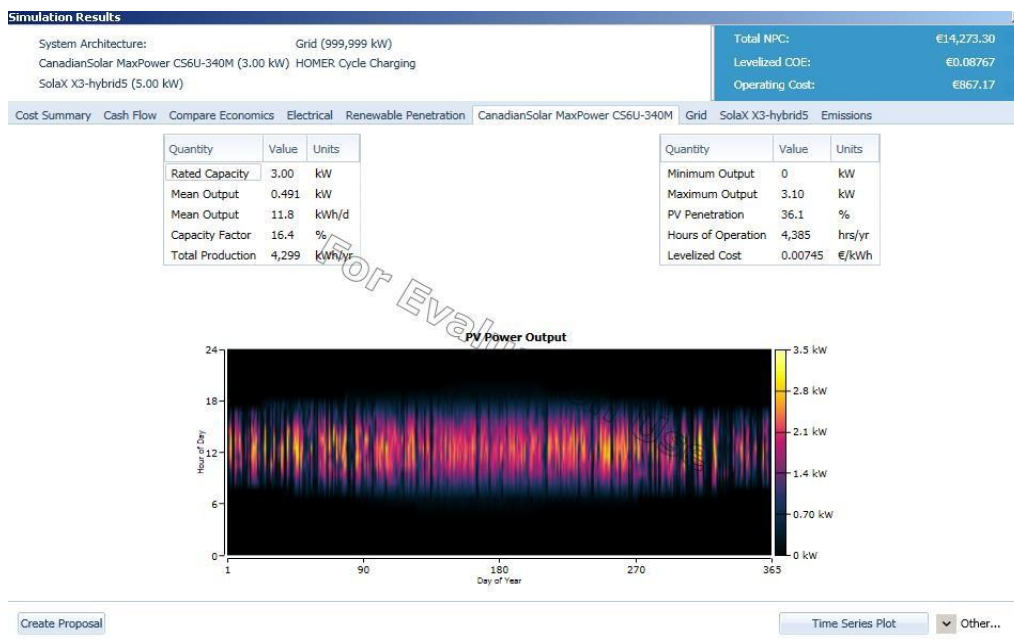
Παρατηρείται από τις Εικόνες 6.22 και 6.23 ότι η διαφορά στο συνολικό κόστος επένδυσης δηλαδή το NPC είναι 2770.00€ (17.043€-14.273€) και το ποσοστό επιστροφής της επένδυσης κυμαίνεται στο 11% [ROI] με χρόνο απόσβεσης τα 11 χρόνια.

Από την Εικόνα 6.24 διαφαίνονται τα ποσοστά παραγωγής ενέργειας μεταξύ του φωτοβολταϊκού συστήματος και του δικτύου.



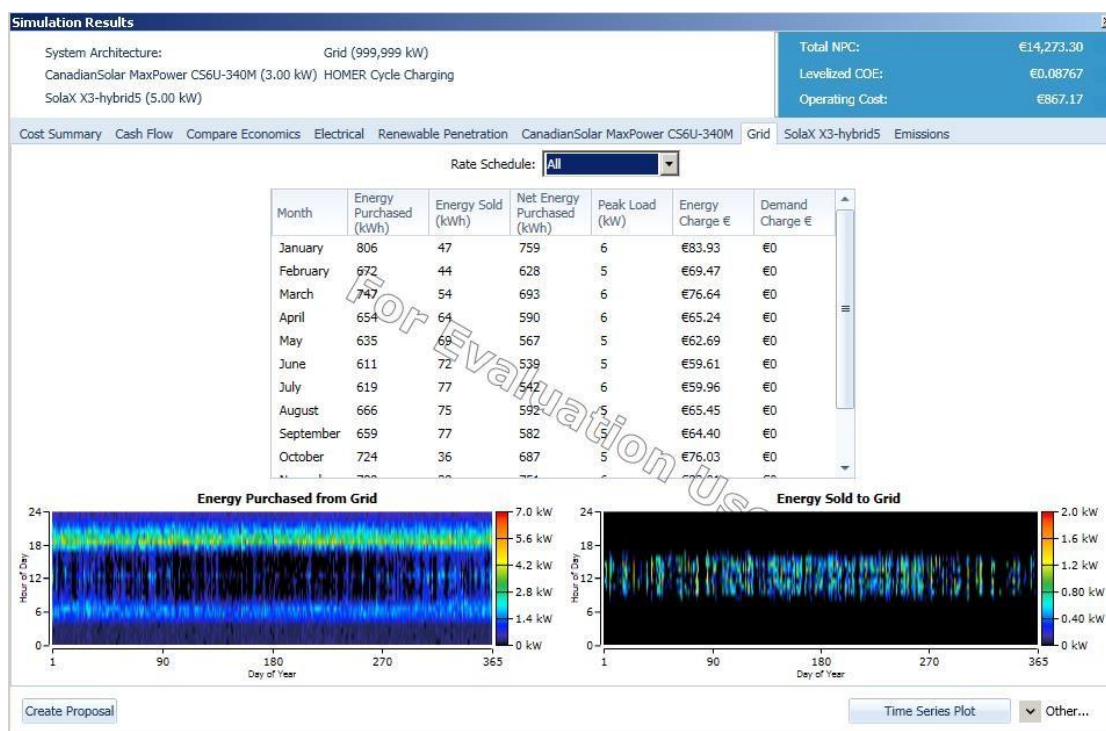
Εικόνα 6. 24: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το εγκατεστημένο ΦΒ σύστημα των 3kW

Παρατηρείται επίσης ότι το ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το εγκατεστημένο σύστημα είναι περίπου 34% και το αντίστοιχο ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο είναι περίπου 66%. Το 94.7% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας καταναλώνεται από το διαμέρισμα που μελετάται και το λοιπό ποσοστό πωλείται στο δίκτυο συγκεκριμένα 673kWhανά έτος.



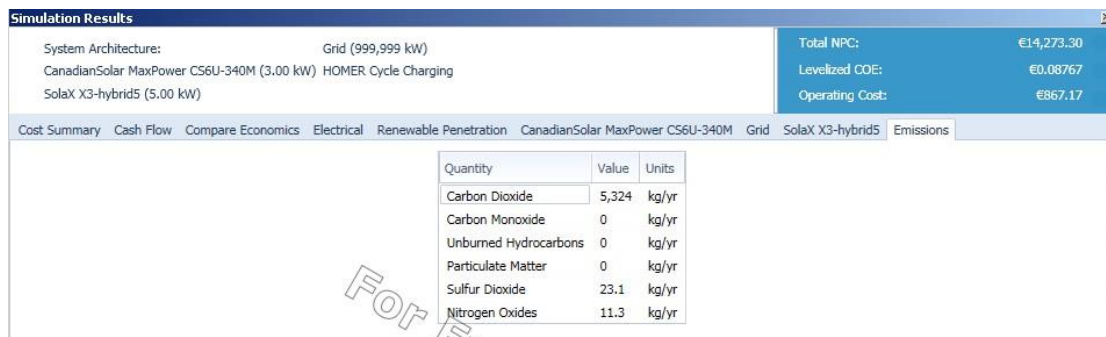
Εικόνα 6. 25: Λειτουργία Φ/Β συστήματος κατά τη 2^η μελέτη προσομοίωσης

Στην Εικόνα 6.25 διαφάνεται πως κατά τη διάρκεια των μεσημεριανών ωρών και ειδικά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες το εγκατεστημένο σύστημα λειτουργεί με μεγαλύτερη απόδοση λόγω της αυξημένης ηλιοφάνειας.



Εικόνα 6. 26: Λειτουργία δικτύου στη 2^η μελέτη προσομοίωσης

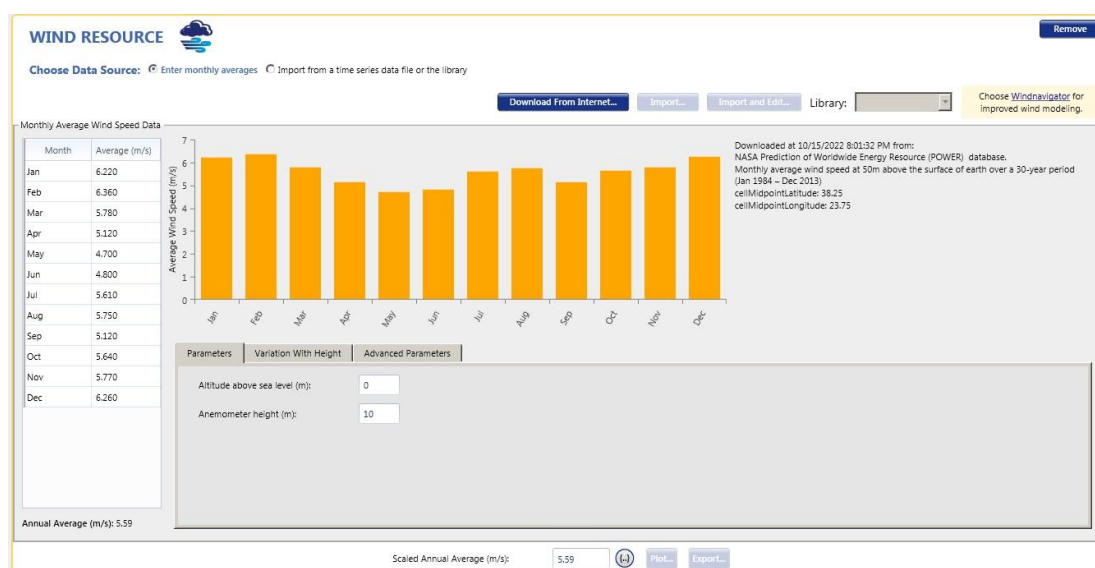
Στην Εικόνα 6.26 παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο συμβαίνει κατά τις πρωινές και βραδινές ώρες. Αυτό σημαίνει πως κατά το διάστημα αυτό δεν χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Επιπλέον, κατά τις μεσημεριανές ώρες και σε αρκετές μέρες του έτους, όταν υπάρχει περίσσεια ενέργειας, πωλείται μέρος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ στο δίκτυο.



Εικόνα 6. 27: Παραγόμενοι ρύποι κατά τη 2^η μελέτη προσομοίωσης

6.7.3 3^η Προσομοίωση

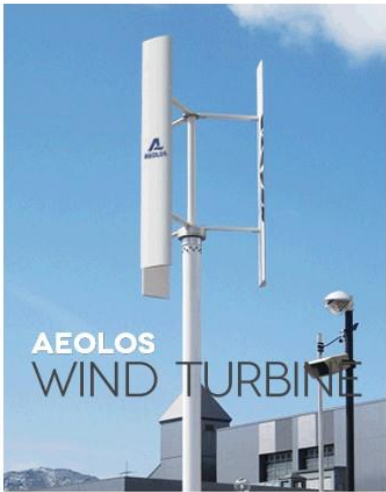
Στο εν λόγω υποκεφάλαιο διερευνάται η πιθανότητα εγκατάστασης μιας οικιακής ανεμογεννήτριας ισχύος 1kW σε συνδυασμό με ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 7kW, με σκοπό τη σύνδεσή τους στο δίκτυο ηλεκτρισμού. Για να πραγματοποιηθεί η εισαγωγή της ανεμογεννήτριας στο λογισμικό, πρέπει να αναζητηθούν πρώτα τα αιολικά δεδομένα για την περιοχή της μελέτης. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τη μετάβαση στην καρτέλα «Resources», επιλέγεται «Wind» και έπειτα «DownloadfromtheInternet». Τα ανωτέρω παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 6. 28: Στοιχεία ανέμου από την περιοχή μελέτης (Άλιμος Αττικής)

Μέσω της παραπάνω εικόνας, παρατηρείται ότι τους θερινούς μήνες οι άνεμοι είναι πιο ισχυροί και κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών υπάρχει μείωση των ανέμων. Έπειτα το μοντέλο της ανεμογεννήτριας θα πρέπει να επιλεγθεί. Ως εκ τούτου, από τον κατάλογο του λογισμικού επιλέγεται το μοντέλο Aelos-V1kW της εταιρίας Lotus Energy Technology Co. Πρόκειται για ανεμογεννήτρια με κάθετο άξονα και ισχύ 1kW, και το κόστος αγοράς και εγκατάστασής της ανέρχεται στα 4.300€ με διάρκεια ζωής τα 20 χρόνια.

Aeolos-V 1kW vertical wind turbine



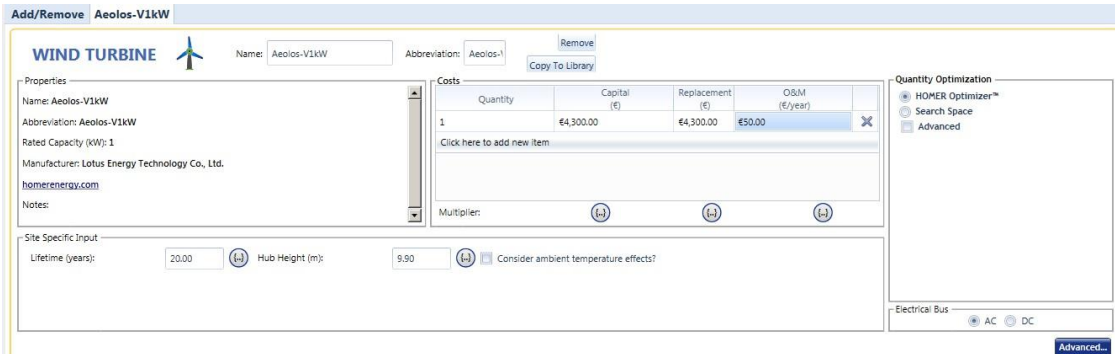
**AEOLOS
WIND TURBINE**

Design Lifetime	20 Years
Warranty	Standard 5 Years

Aeolos Wind Turbine 1kW Specification

Rated Power	1 kW
Maximum Output Power	1500 W
Output Voltage	48/110 V
Rotor Height	2.8 m (9.2 ft)
Rotor Diameter	2.0 m (6.6 ft)
Start-up Wind Speed	1.5 m/s (3.4 mph)
Rated Wind Speed	10 m/s (22.3 mph)
Survival Wind Speed	50 m/s (111.5 mph)
Generator	Permanent Magnetic Generator
Generator Efficiency	>0.96
Turbine Weight	28 kg (61.6 lbs)
Noise	<45dB(A)
Temperature Range	-20°C to +50°C

Εικόνα 6. 29: Γενικά χαρακτηριστικά της επιλεχθείσας ανεμογεννήτριας (<https://www.windturbinestar.com/1kww-v-aeolos-wind-turbine.html>)



The screenshot shows the 'Add/Remove' interface for the 'Aeolos-V1kW' wind turbine model. The interface includes a 'Properties' section with fields for Name, Abbreviation, and Manufacturer. A 'Costs' table is visible with columns for Quantity, Capital, Replacement, and O&M. The 'Site Specific Input' section contains fields for Lifetime (years) and Hub Height (m). The 'Quantity Optimization' section has radio buttons for 'HOMER Optimizer', 'Search Space', and 'Advanced'. An 'Advanced...' button is located at the bottom right.

Εικόνα 6. 30: Επιλογή του μοντέλου ανεμογεννήτριας στο λογισμικό

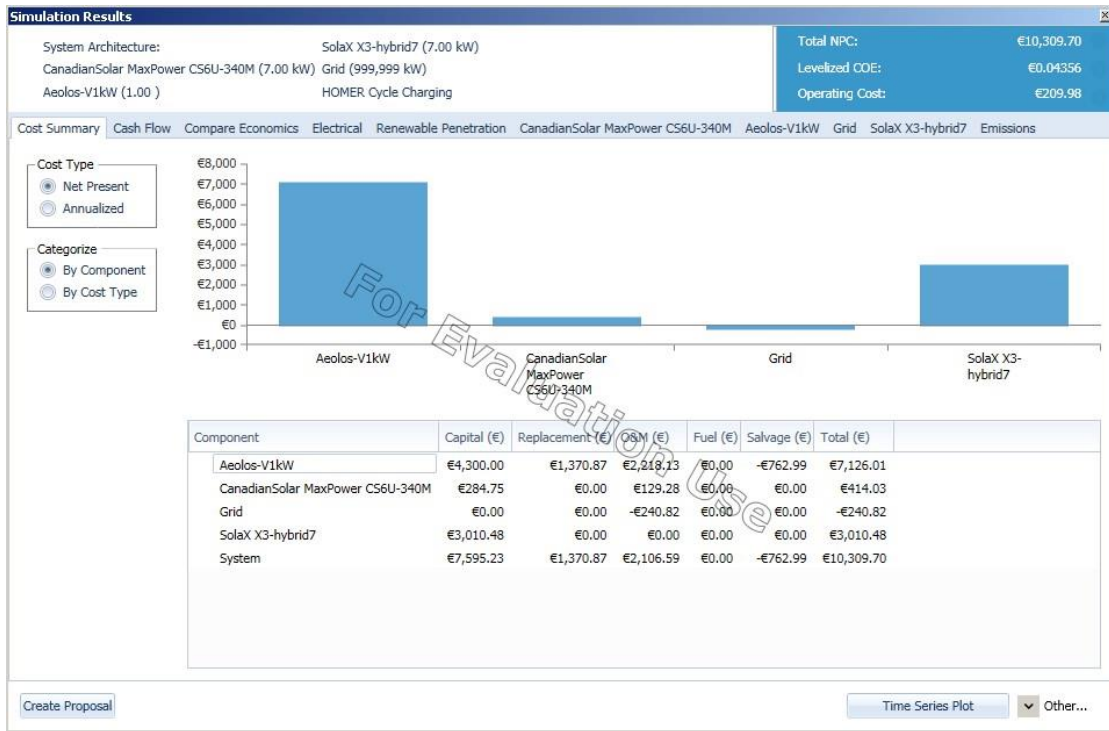
Λόγω της προσθήκης ανεμογεννήτριας ισχύος 1kW στο σύστημα που εξετάζεται, η ισχύς του φωτοβολταϊκού συστήματος μειώνεται από 8kW σε 7kW. Συνεπώς, το υβριδικό σύστημα για αυτήν την περίπτωση αποτελείται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 7kW, μια ανεμογεννήτρια ισχύος 1kW και το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Όσον αφορά τα φωτοβολταϊκά πάνελ, θα χρησιμοποιηθεί το ίδιο μοντέλο, δηλαδή το CanadianSolarCS6U- 340M, καθώς και ο ίδιος μετατροπέας, τον SolaXX3hybrid - 8.OT.

Έπειτα ο χρήστης μεταβαίνει στην καρτέλα «Calculate» ώστε να υπολογιστούν τα νέα δεδομένα.

Architecture	Cost	System	CS6U-340M	Aeolos-V1kW	SolaX3
CS6U-340M (kW)	NPC (€)	Initial capital (€)	Capital Cost (€)	Capital Cost (€)	Production (kWh/yr)
7.00	€6,616	€3,295	285	4,300	10,031
1	€10,310	€7,595	0	4,300	10,031
1	€20,325	€4,300	0	4,300	2,689

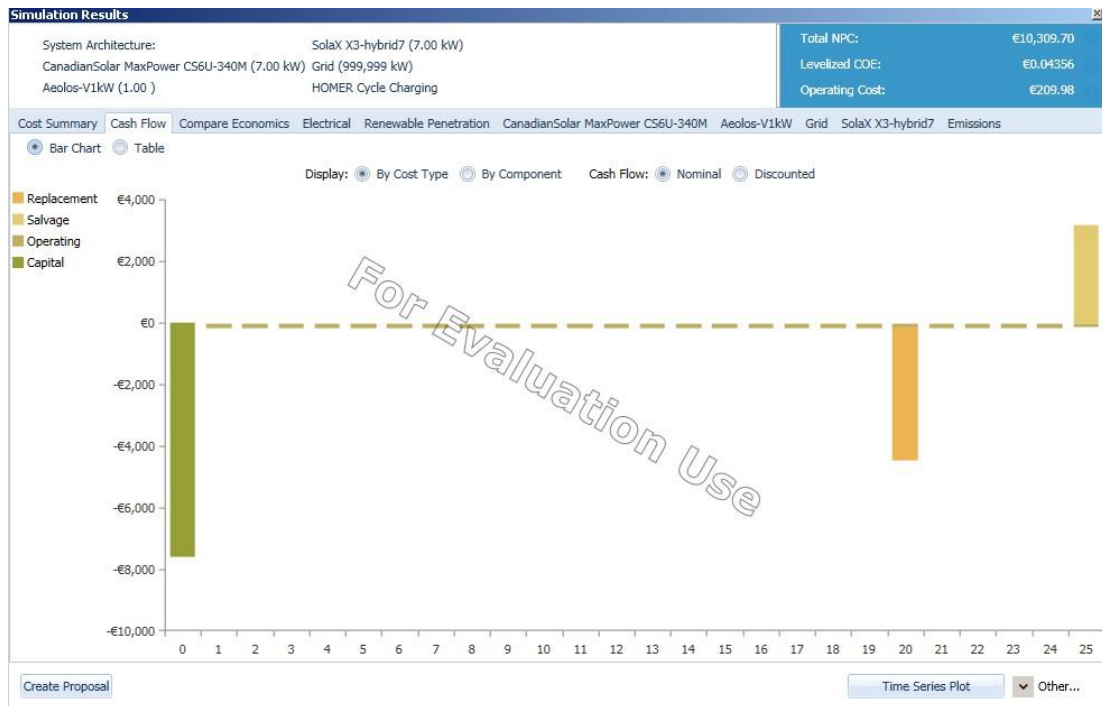
Εικόνα 6. 31: Αποτελέσματα της 3^{ης} μελέτης προσομοίωσης

Επιλέγεται έπειτα η 3^η μελέτη ώστε να εμφανιστούν παραπάνω λεπτομέρειες.



Εικόνα 6. 32: Συνολικό κόστος για την 3^η μελέτη προσομοίωσης

Στην καρτέλα «CostSummary» φαίνεται ότι συνολικό κόστος της επένδυσης ανέρχεται στο ποσό των 10.309€ και η αρχική επένδυση για την υλοποίηση του συστήματος ανέρχεται στα 7.595,23€. Επίσης, παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια των 25 ετών, που είναι η προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του συστήματος, η πλειοψηφία του κόστους προορίζεται για την ανεμογεννήτρια και το μετατροπέα. Σημειώνεται πως το κόστος του ρεύματος δεν υφίσταται, καθώς όλες οι ενεργειακές ανάγκες καλύπτονται από το υβριδικό σύστημα, προσφέροντας ένα οικονομικά αποδοτικό αποτέλεσμα για τη διάρκεια της λειτουργίας του.



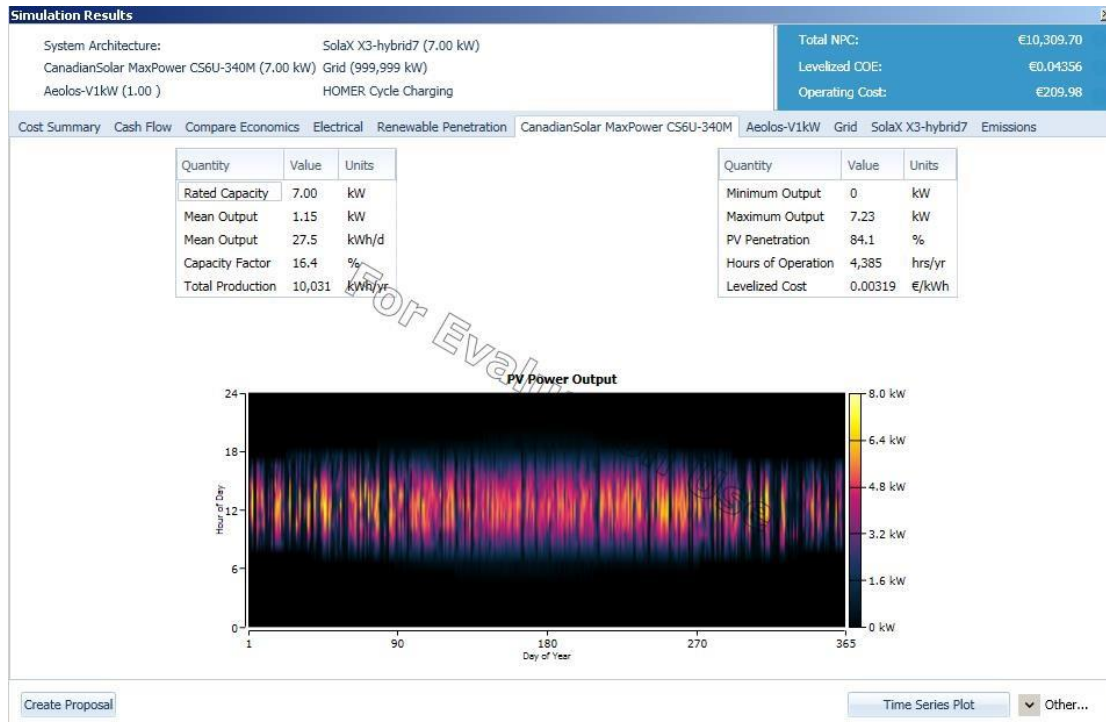
Εικόνα 6. 33: Κόστος της 3^{ης} μελέτης προσομοίωσης

Από την παραπάνω εικόνα διαφαίνεται πως κατά τη διάρκεια του πρώτου χρόνου επένδυσης υπάρχουν αρκετά κόστη (όπως και στη 2^η περίπτωση). Ωστόσο μετά το 2^ο έτος της λειτουργίας του υβριδικού συστήματος η επένδυση έχει αποσβεσθεί. Στο 20^ο έτος της λειτουργίας φαίνεται ότι υπάρχει ένα επιπρόσθετο κόστος το οποίο σχετίζεται με την αντικατάσταση της ανεμογεννήτριας αφού η συνολική διάρκεια ζωής της ορίστηκε στα 20 χρόνια. Έπειτα από 5 έτη ήτοι στο 25^ο έτος της επένδυσης προστίθεται και ένα επιπλέον κόστος δηλαδή εκείνο της αντικατάστασης του φωτοβολταϊκού πάνελ.



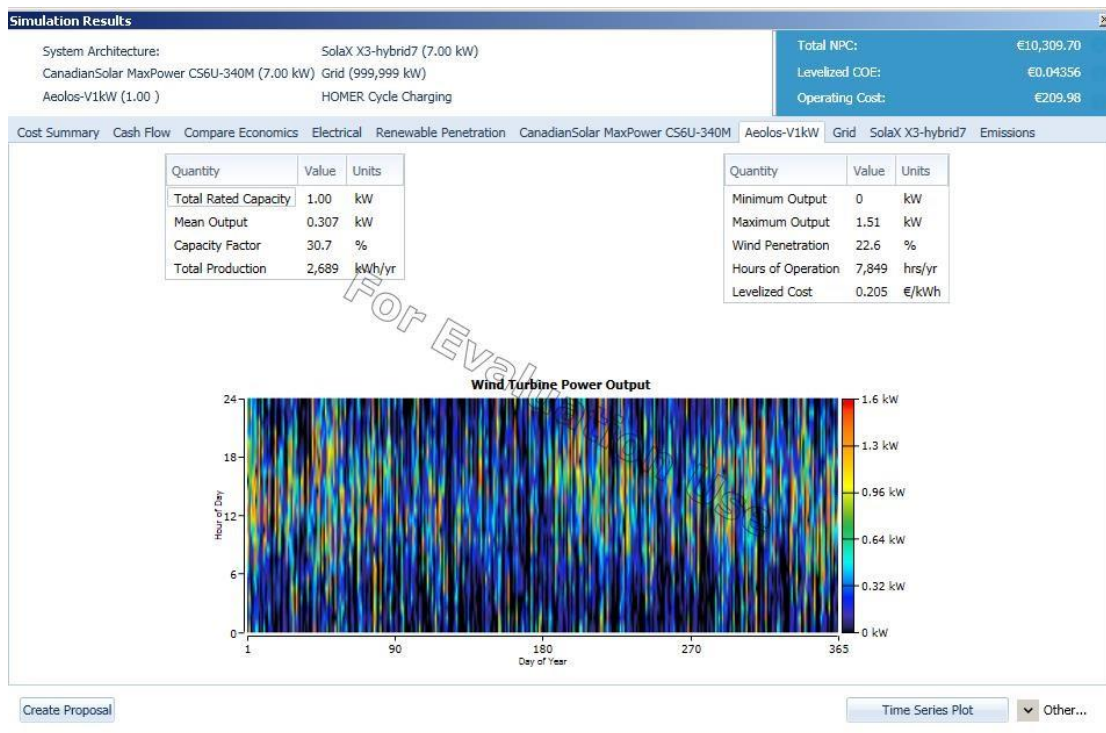
Εικόνα 6. 34: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το υβριδικό σύστημα

Από την παραπάνω εικόνα διαφαίνεται ότι το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα ανέρχεται στο 54% περίπου και το αντίστοιχο ποσοστό από την ανεμογεννήτρια ανέρχεται στο 14.4%. Επιπλέον, το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από το δίκτυο ανέρχεται στο 31.6%. Επίσης, παρατηρούμε ότι το 65.1% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας καταναλώνεται από το νοικοκυριό, ενώ το υπόλοιπο 34.9% (περίπου 6387 kWh ανά έτος) πωλείται πίσω στο δίκτυο.



Εικόνα 6. 35: Λειτουργία φωτοβολταϊκού συστήματος για την 3^η μελέτη προσομοίωσης

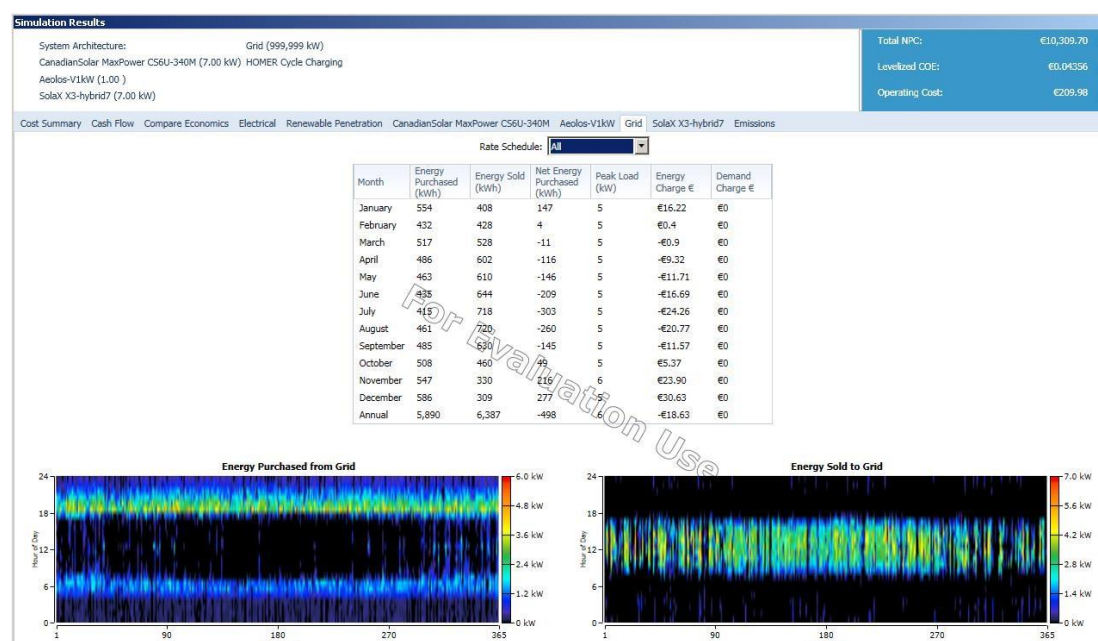
Στην Εικόνα 6.35 διαφαίνεται πως κατά τη διάρκεια των μεσημεριανών ωρών και ειδικά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες το εγκατεστημένο σύστημα λειτουργεί με μεγαλύτερη απόδοση λόγω της αυξημένης ηλιοφάνειας (όπως και στη 2^η μελέτη προσομοίωσης).



Εικόνα 6. 36: Λειτουργία ανεμογεννήτριας κατά την 3^η μελέτη προσομοίωσης

Μέσα από την Εικόνα 6.36 παρατηρούμε ότι η ανεμογεννήτρια λειτουργεί σε συνεχή βάση καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και σχεδόν όλο το έτος, σε αντίθεση με το φωτοβολταϊκό σύστημα που λειτουργεί μόνο κατά συγκεκριμένες ώρες μέσα στην ημέρα. Επιπλέον, παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια του χειμώνα, η ανεμογεννήτρια λειτουργεί πιο αποδοτικά, καθώς οι ριπές ανέμου είναι πιο έντονες κατά τους χειμωνιάτικους μήνες σε σύγκριση με την υπόλοιπη διάρκεια του έτους.

Στην καρτέλα «RenewablePenetration» διαφαινόνται οι συνδυαστικές λειτουργίες του υβριδικού συστήματος και πως συμβάλλουν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια του έτους.



Εικόνα 6. 37: Λειτουργία δικτύου στην 3^η μελέτη προσομοίωσης

Από την Εικόνα 6.37 παρατηρούμε ότι η περισσότερη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο συμβαίνει κατά τις πρωινές και βραδινές ώρες. Κατά τη διάρκεια αυτών των χρονικών περιόδων, το υβριδικό σύστημα δεν παράγει ηλεκτρική ενέργεια ή παράγει μόνο ελάχιστη ενέργεια. Επιπλέον, παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια των μεσημεριανών ωρών υπάρχει περίσσεια ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα, το οποίο οδηγεί στην πώληση μέρους της παραγόμενης ενέργειας πίσω στο δίκτυο.

Τέλος παρουσιάζεται το σύνολο των ρύπων όπως αυτοί εκπέμπονται κατά την 3^η μελέτη προσομοίωσης και προέρχονται από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Simulation Results																							
System Architecture: Grid (999,999 kW)		Total NPC: €10,309.70																					
CanadianSolar MaxPower CS6U-340M (7.00 kW) HOMER Cycle Charging		Levelized COE: €0.04356																					
Aeolos-V1kW (1.00)		Operating Cost: €209.98																					
SolaX X3-hybrid7 (7.00 kW)																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Quantity</th> <th>Value</th> <th>Units</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon Dioxide</td> <td>3,722</td> <td>kg/yr</td> </tr> <tr> <td>Carbon Monoxide</td> <td>0</td> <td>kg/yr</td> </tr> <tr> <td>Unburned Hydrocarbons</td> <td>0</td> <td>kg/yr</td> </tr> <tr> <td>Particulate Matter</td> <td>0</td> <td>kg/yr</td> </tr> <tr> <td>Sulfur Dioxide</td> <td>16.1</td> <td>kg/yr</td> </tr> <tr> <td>Nitrogen Oxides</td> <td>7.89</td> <td>kg/yr</td> </tr> </tbody> </table>			Quantity	Value	Units	Carbon Dioxide	3,722	kg/yr	Carbon Monoxide	0	kg/yr	Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr	Particulate Matter	0	kg/yr	Sulfur Dioxide	16.1	kg/yr	Nitrogen Oxides	7.89	kg/yr
Quantity	Value	Units																					
Carbon Dioxide	3,722	kg/yr																					
Carbon Monoxide	0	kg/yr																					
Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr																					
Particulate Matter	0	kg/yr																					
Sulfur Dioxide	16.1	kg/yr																					
Nitrogen Oxides	7.89	kg/yr																					

Εικόνα 6. 38: Ρύποι της 3^{ης} μελέτης προσομοίωσης

7. Συμπεράσματα

Οι ΑΠΕ τα τελευταία χρόνια ολοένα και κερδίζουν έδαφος και αποκτάνε όλο και μεγαλύτερη σημασία σε παγκόσμιο επίπεδο γεγονός που τις καθιστά οικονομικά προσιτές ακόμη και για χρήση σε οικιακό επίπεδο. Η εγκατάσταση ενός απλού υβριδικού συστήματος με ένα φωτοβολταϊκό πάνελ και μια μικρή βεληνεκούς οικιακή ανεμογεννήτρια μπορεί να παρέχει την απαραίτητη ενέργεια για να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες μιας κατοικίας. Παρά ταύτα, στην Ελλάδα, η εγκατάσταση οικιακών υβριδικών συστημάτων εξακολουθεί να βρίσκεται σε πρωταρχικό στάδιο γεγονός που οφείλεται ως επί το πλείστο στο υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης καθώς και στην έλλειψη γνώσης των πολιτών όσον αφορά τις ΑΠΕ.

Τονίζεται ωστόσο πως η χώρα μας διαθέτει ένα μεγάλο ενεργειακό δυναμικό συγκεκριμένα ηλιακή και αιολική ενέργεια, το οποίο δυναμικό μπορεί να καλύψει το μεγαλύτερο ποσοστό των ενεργειακών αναγκών της χώρας. Η ιδιαίτερη τοπογραφία και κλιματολογία της Ελλάδας αποτελούν κλιματικό θησαυρό και παρά το γεγονός ότι έχουν εγκατασταθεί συστήματα εκμετάλλευσης των ΑΠΕ σε πολλά σημεία της Ελλάδας, αυτά δεν επαρκούν για να καλύψουν τις συνολικές ενεργειακές ανάγκες. Ωστόσο, με τη σωστή εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών, η Ελλάδα μπορεί να επιτύχει τουλάχιστον εν μέρει την ενεργειακή ανεξαρτησία και να μειώσει την εξάρτησή της από άλλες χώρες για ορυκτά καύσιμα.

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να παρουσιάσει τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τους τρόπους εκμετάλλευσής τους. Η μελέτη περίπτωσης εστίασε στην τεχνοοικονομική αξιολόγηση ενός οικιακού υβριδικού συστήματος στην περιοχή Άλιμος που βρίσκεται στη νότια πλευρά της Αττικής. Εκτελέστηκαν συνολικά τρεις μελέτες προσομοίωσης, τα αποτελέσματα αυτών παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

Περίπτωση Μελέτης	NPC [€]	Αρχική Επένδυση [€]
1 ^η : Σύνδεση οικίας μόνο με το δίκτυο ηλεκτρισμού	17.047,78	0
2 ^η : PV 3kW και σύνδεση οικίας με το δίκτυο	14.273,30	3.062,91
3 ^η : PV 7kW, WT 1kW και σύνδεση οικίας με το δίκτυο	10.309,70	7.595,23

Πίνακας 7. 1: Συνοπτικός πίνακας μελετών προσομοίωσης

Από τον παραπάνω πίνακα διακρίνεται πως η καλύτερη μελέτη προσομοίωσης είναι η 3^η μελέτη προσομοίωσης με NPC 10.309,70€ και αρχικό κόστος επένδυσης τα 7.595,23€. Παρά το γεγονός ότι το αρχικό κόστος επένδυσης ήταν το μεγαλύτερο από όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν (λόγω του αυξημένου κόστους των ανεμογεννητριών), η απόσβεση της επένδυσης έγινε μετά το πρώτο έτος λειτουργίας του υβριδικού συστήματος. Τονίζεται ωστόσο πως στα 20 έτη, υπάρχει το κόστος αντικατάστασης της ανεμογεννήτριας ενώ στη 2^η μελέτη περίπτωσης, η αντικατάσταση των φωτοβολταϊκών πάνελ γίνεται στα 25 χρόνια. Τέλος, η συντήρηση των ανεμογεννητριών κοστίζει περισσότερο σε σχέση με τη συντήρηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.

Στη 2^η μελέτη προσομοίωσης (φωτοβολταϊκό σύστημα 3kW) και σύνδεση του διαμερίσματος με το ηλεκτρικό δίκτυο, το NPC ισούται με 14.273,30€ ενώ η αρχική επένδυση ανήλθε στα περίπου 3.060€. Η εν λόγω διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι το εν λόγω σύστημα δεν μπορεί να καλύψει ολοκληρωτικά τις ενεργειακές ανάγκες του διαμερίσματος και συνεπώς πρέπει να αγοραστεί ηλεκτρικό ρεύμα από το δίκτυο.

Οδεύοντας προς το τέλος της παρούσας εργασίας συμπεραίνεται πως ενώ υπάρχουν αρκετά αξιολογικά λογισμικά ώστε να πραγματοποιούνται προσομοιώσεις διαφόρων συνδυασμών (φβ συστήματα, ανεμογεννήτριες, ηλεκτρικό δίκτυο κλπ.). Επίσης συμπεραίνεται πως το αρχικό κόστος επένδυσης είναι μεγάλο για τέτοια συστήματα (οικιακού βεληνεκούς). Έχοντας ως δεδομένο ότι στην Ελλάδα οι πολίτες ανήκουν στη μεσαία οικονομική τάξη, μια επένδυση της τάξης των περίπου 6.000€ μοιάζει σχετικά αδύνατο. Παρά το γεγονός ότι οι εκάστοτε κυβερνήσεις προωθούν την ιδέα των οικιακών

ΑΠΕ ώστε να υπάρχει μια βιώσιμη ανάπτυξη της χώρας και να προωθείται η ιδέα μιας «καθαρής» χώρας αλλά και να υπάρχει ενεργειακή ανεξαρτησία, η χρήση ΑΠΕ σε οικιακό επίπεδο βρίσκεται ακόμα σε πρωτόλειο στάδιο.

8. Βιβλιογραφία

Βιβλία

- Boyle, G., 1996. *Renewable Energy, Power for a Sustainable Future*. 3η επιμ. Oxford: Oxford Univeristy.
- Linden, D. & Reddy, T., 2002. *Handbook of batteries*. 1 επιμ. New York: McGraw-Hill.
- Markvart, T., 2003. *Ηλεκτρισμός από ηλιακή ενέργεια*. Αθήνα: ΙΩΝ.
- Patel, M., 1999. *Wind and Solar Power Systems, Florida*. 1η επιμ. Florida: CRC Press.
- Yang, X. & Kratz, M., 2007. *Power System Flicker Analysis and Numeric Flicker Meter Emulation*. Λωζάνη, IEEE.

Άρθρα

- Barbosa, P., 2006. *Three-phase harmonic power flow using the current injection method*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://www.researchgate.net/publication/277653450_Three-Phase_Harmonic_Power_Flow_Using_the_Current_Injection_Method
[Πρόσβαση 28 12 2021].
- Bahar, A., 1997. *Photovoltaic roof tiles: Design and integration in buildings*. Southampton: University of Southampton.
- Biçen, T. & Vardar, A., 2018. A Research on Solar Based Renewable Energy Production. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, pp. 59-68.
- Dulaimi, N., 2018. *Design of an Off-Grid Solar PV System for a Rural Shelter*. Ιορδανία: University of Sharjah.
- Ofualagba, G., 2008. *Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*. s.l., IEEE.
- Ortjohann, E. και ουν., 2007. *Simulation and Implementation of an Expandable Hybrid Power System*. s.l., s.n.
- PennState, 2020. *Types of PV technology and recent innovations*. Pennsylvania: Pennsylvania University .
- Sivakumar, N., 2013. Islanding Issues of Grid-connected PV Systems. *International Journal of Engineering and Technology*, pp. 726-733.

Τεχνικές Εκθέσεις/Διπλωματικές Εργασίες

- Αμανατίδης, Ε., 2020. *Ανανεώσιμες Μορφές Ενέργειας: Ενότητα 3: Θερμικά Ηλιακά Συστήματα*, Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Κατσούλη, Ε., 2010. *Εφαρμογές τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε χώρες της Μεσογείου με έμφαση την ηλιακή ενέργεια*. Αθήνα : ΕΜΠ.
- Κεϊσίδης, Κ. & Βασίλας, Ι., 2017. *Συγκριτική μελέτη εγκατάστασης οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος σε εξοχική κατοικία με φωτοβολταϊκή εγκατάσταση σε οικόπεδο στην περιοχή της Σαμοθράκης*. Σέρρες: ΤΕΙ Σερρών .
- Λαδάς, Θ., 2012. *Οικονομοτεχνική Μελέτη Εγκατάστασης Διασυνδεδεμένου Οικιακού Συστήματος Φωτοβολταϊκών*. Αθήνα: ΕΜΠ.
- ΚΑΠΕ, 1999. *Οδηγός Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ*, Αθήνα : ΚΑΠΕ.
- Λοΐζος, Λ. & Μιχαήλ, Μ., 2015. *Σενάρια εγκατάστασης Φ/Β με Συμψηφισμό Ενέργειας στην Κύπρο*. Θεσσαλονίκη : ΑΠΘ.
- Παπαθανασίου, Σ., 2008. *Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες*. Αθήνα : ΕΜΠ.
- Πυλαρινός, Δ., 2015. *Εισαγωγή στα Ηλεκτρονικά Ισχύος*. Χανιά : ΤΕΙ Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών ΤΕ.
- Σαμαράς, Π. & Παπανικολάου, Μ., 2012. *Μελέτη και Χρηματοοικονομική Ανάλυση Φωτοβολταϊκού Συστήματος 10kW*. Σέρρες: ΤΕΙ Σερρών .
- ΣΕΦ, 2022. *Αυτοπαραγωγή με ενεργειακό συμψηφισμό και εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό για ιδιώτες, επιχειρήσεις και ενεργειακές κοινότητες με ή χωρίς αποθήκευση*, Αθήνα: helarco.
- Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών , 2022. *Net-metering: Αυτοπαραγωγή με ενεργειακό συμψηφισμό και εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό για ιδιώτες, επιχειρήσεις και ενεργειακές κοινότητες με ή χωρίς αποθήκευση*, Αθήνα: helarco.
- Σωκράτης , Κ., 2004. *Ήπιες μορφές ενέργειας, Μηχανική των φωτοβολταϊκών συστημάτων*. 1η επιμ. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη ΑΕ.
- Τσακαλάκης, Α., 2014. *Εισαγωγή στο Λογισμικό HOMER*, Ηράκλειο : s.n.
- Τσούτσος, Θ. & Κανάκης, Ι., 2015. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. 1η επιμ. Αθήνα: Παπασωτηρίου και ΣΙΑ ΙΚΕ.
- Φιορέντζη, Γ., 2019. *Βέλτιστος Ενεργειακός Σχεδιασμός για Ασφαλή Κάλυψη των Ενεργειακών Αναγκών Πλωτής Πλατφόρμας - Επιστημονικού Εργαστηρίου*. Χανιά : Πολυτεχνείο Κρήτης .

Φούσιας, Χ., 2006. *Μελέτη τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας χαμηλού κόστους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε απομονωμένες περιοχές*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης - Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης .

Φραγκιουδάκη, Α., 2011. *Οικιακό Φωτοβολταϊκό Σύστημα συνδεδεμένο στο Δίκτυο*. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών .

Internet

allaboutenergy.gr, 2021. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <http://www.allaboutenergy.gr/Piges23.html> [Πρόσβαση 10 02 2022].

allaboutenergy, 2020. *Αιολική ενέργεια*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <http://www.allaboutenergy.gr/AiolikiEnergeia.html> [Πρόσβαση 25 06 2022].

BRITA, 2007. *Passive Solar Systems*. [Ηλεκτρονικό] Available at: http://www.brita-in-pubs.eu/bit/uk/03viewer/retrofit_measures/pdf/FINAL_06_PassiveSolarHeating_Karin_2007-10-24_red_kth_printq.pdf [Πρόσβαση 26 12 2021].

gneng, 2020. *Αιολική Ενέργεια*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <http://gneng.blogspot.com/p/blog-page.html> [Πρόσβαση 25 08 2022].

HOMER, 2022. *HOMER Software v2.2*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.homerenergy.com/> [Πρόσβαση 29 08 2022].

iqsolarpower.com, 2014. *Τα βασικά που πρέπει να ξέρεις για τα φωτοβολταϊκα*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.iqsolarpower.com/voltampere/> [Πρόσβαση 25 08 2022].

ostriasolar.gr, 2011. *Μετατροπείς Τάσης [InvertersDC/AC]*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <http://www.ostriasolar.gr/index.php/inverters-dcac> [Πρόσβαση 07 02 2022].

pveducation.org, 2021. *First photovoltaic Devices*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/manufacturing-si-cells/first->

- photovoltaic-devices
[Πρόσβαση 31 12 2021].
- R.E.L National, 2005. *Getting Started: HOMER*, USA: s.n.
- Rise Institute, 2022. *RISE - Rise Institute for Sustainable Energy*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://rise.esmap.org/>
[Πρόσβαση 28 06 2022].
- SMA, 2018. *Sunny Boy*. [Ηλεκτρονικό]
Available at:
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjA8LLr2cDqAhVLY5oKHSZqDogQFjADegQIAxAB&url=http%3A%2F%2Flibrary.tee.gr%2Fdigital%2Fm2102%2Fm2102_tsili.pdf&usg=AOvVaw3d8uaoi9dG1J42EDG15_P6
[Πρόσβαση 23 12 2021].
- sunshine-energy, 2021. *Ηλιοθερμικά - Φωτοβολταϊκά Συστήματα*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://sunshine-energy.gr/>
[Πρόσβαση 22 12 2021].
- ΑΥΓΗ, 2022. *Bloomberg / Στα ύψη η τιμή του ρεύματος και το 2023*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://www.avgi.gr/oikonomia/416454_sta-ypsi-i-timi-toy-reymatos-kai-2023
[Πρόσβαση 29 06 2022].
- Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών , 2010. *Ηλιακό Σύστημα - Ο Ήλιος*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://www.astro.noa.gr/journal/Basic/journal_solhelios.htm
[Πρόσβαση 31 12 2021].
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019. *Μετάβαση στην καθαρή ενέργεια*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/energy-and-green-deal_el
[Πρόσβαση 31 12 2021].
- Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2021α. *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/el/FTU_2.4.9.pdf
[Πρόσβαση 25 06 2022].
- Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2021. *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/el/sheet/70/renewable-energy>
[Πρόσβαση 03 01 2022].

Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, 2019. *Εγκατάσταση σταθμών παραγωγής από αυτοπαραγωγούς με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού ή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού*. Αθήνα: Ελληνική Δημοκρατία .

ΡΑΕ, 2022. *Ευρωπαϊκός Χάρτης Τιμών Ηλεκτρισμού της Αγοράς Επόμενης Ημέρας*.

[Ηλεκτρονικό]

Available

at:

<https://www.rae.gr/map-graph/>

[Πρόσβαση 24 07 2022].