



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής φωτοβολταϊκών
συστημάτων σε λεωφορεία**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΜΠΑΛΑΦΟΥΤΗ Δ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ-ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ

Επιβλέπων : Κ.Γ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής φωτοβολταϊκών συστημάτων σε λεωφορεία

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΜΠΑΛΑΦΟΥΤΗ ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ

Επιβλέπων : Κ.Γ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 24η Ιουλίου 2013

.....
Κ.Γ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Ν.Ι. Θεοδώρου
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Π.Μπούρκας
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2013

.....

Μπαλαφούτης Γεώργιος-Αλέξανδρος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Μπαλαφούτης Γεώργιος-Αλέξανδρος, 2013.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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 το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Στον παππού μου, Γιάννη

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Καραγιαννόπουλο για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω τη διπλωματική μου εργασία υπό την επίβλεψή του. Ευχαριστώ επίσης ιδιαίτερα την κα Αικατερίνη Πολυκράτη για την καθοδήγησή της και την υποστήριξή της καθ'όλη τη διάρκεια της υλοποίησης αυτής της εργασίας.

Ευχαριστώ θερμά τους γονείς μου και την αδερφή μου Ολίνα, για την ηθική και υλική τους υποστήριξη όλα αυτά τα χρόνια, για την απόλυτη στήριξη των επιλογών μου και για όλα όσα μου δίδαξαν και θα μου διδάξουν στη ζωή μου.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους μου Αλέξανδρο και Δημήτρη για τις στιγμές που ζήσαμε στα φοιτητικά μας χρόνια και τη στήριξη που μου προσέφεραν σε κάθε μου βήμα.

Αθήνα, Ιούλιος 2013

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	10
Abstract	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
1.1. Γενικά.....	12
1.2. Ιστορικά στοιχεία	13
1.3. Φυσική και λειτουργία των φωτοβολταϊκών	16
1.4. Ηλιακή ακτινοβολία	19
1.4.1. Γενικά.....	19
1.4.2. Μέτρηση και υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας.....	21
1.5. Είδη φωτοβολταϊκών	27
1.5.1. Φωτοβολταϊκά πυριτίου μεγάλου πάχους.....	28
1.5.2. Φωτοβολταϊκά λεπτών μεμβρανών (thin film).....	30
1.5.3. Υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία άλλων τεχνολογιών.....	33
1.6. Κατηγορίες και εφαρμογές Φ/Β συστημάτων.....	35
1.6.1. Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα	35
1.6.2. Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα	35
1.6.3. Εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	36
1.7. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....	37
1.8. Συσσωρευτές	38
1.8.1. Γενικά.....	38
1.8.2. Χαρακτηριστικά συσσωρευτών	39
1.8.3. Προδιαγραφές συσσωρευτών	44
1.8.4. Τεχνολογίες συσσωρευτών.....	45
1.8.5. Κατηγορίες συσσωρευτών.....	47

1.9.	Εφαρμογές των Φ/Β σε οχήματα	48
1.9.1.	Το ηλεκτρικό λεωφορείο Tindo.....	48
1.9.2.	Ενσωμάτωση Φ/Β συστημάτων σε αυτοκίνητα.....	50
	Σκοπός της εργασίας.....	52
2.	ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΛΕΩΦΟΡΕΙΟΥ	53
2.1.	Εισαγωγή	53
2.2.	Γενικά για το λεωφορείο	53
2.3.	Θέρμανση	55
2.4.	Κλιματισμός	58
2.5.	Εσωτερικός και εξωτερικός φωτισμός	59
2.6.	Ηλεκτρονικά καμπίνας	64
3.	Η ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	67
3.1.	Εισαγωγή	67
3.2.	Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις	69
3.3.	Υπολογισμός της Φ/Β εγκατάστασης της οροφής	83
3.3.1.	Γενικά.....	83
3.3.2.	Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια.....	87
3.3.3.	Ο ρυθμιστής φόρτισης.....	89
3.4.	Ο εναλλάκτης.....	92
3.5.	Οι συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης.....	95
3.6.	Συγκεντρωτικά – Το ισοζύγιο ενέργειας	98
3.6.1.	Η αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια	98
3.6.2.	Το ενεργειακό ισοζύγιο	104
4.	Η ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	121
4.1.	Εισαγωγή	121
4.2.	Το κόστος της εγκατάστασης.....	121
4.2.1.	Κόστος αρχικού εξοπλισμού	121

4.2.2.	Επιπρόσθετο ετήσιο κόστος εγκατάστασης	122
4.3.	Η εξοικονόμηση καυσίμου	126
4.3.1.	Η εξοικονόμηση λόγω αποσύνδεσης του εναλλάκτη	126
4.3.2.	Η εξοικονόμηση λόγω της ελαχιστοποιημένης χρήσης του εναλλάκτη εξαιτίας της προσφοράς ενέργειας της φ/β γεννήτριας.....	127
4.4.	Κέρδος και χρόνος απόσβεσης της εγκατάστασης	130
4.4.1.	Το μέσο ετήσιο κέρδος	130
4.4.2.	Ο χρόνος απόσβεσης της εγκατάστασης.....	130
4.4.3.	Εκτιμώμενο μακροπρόθεσμο κέρδος.....	131
5.	ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	132
5.1.	Σύνοψη	132
5.2.	Συμπεράσματα.....	133
5.3.	Το μέλλον.....	135
	Παράρτημα.....	135
	Βιβλιογραφία – Αναφορές.....	136

Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να διερευνήσει κατά πόσον είναι δυνατή και συμφέρουσα η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών διατάξεων στα λεωφορεία. Συγκεκριμένα, θα γίνει σχεδιασμός της εγκατάστασης ενός Φ/Β συστήματος για το λεωφορείο Urbino 18 της ΟΣΥ, καθώς και η αντίστοιχη τεchnοοικονομική μελέτη.

Στην εισαγωγή γίνεται παρουσίαση της φυσικής των φωτοβολταϊκών, περιγραφή των χαρακτηριστικών της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς και αναφορά στις κατηγορίες, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τέλος θα γίνει και μία περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών των συσσωρευτών οι οποίοι χρησιμοποιούνται σήμερα για τις διάφορες εφαρμογές.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται το ηλεκτρικό σύστημα του Urbino 18, τα συστήματα ψύξης, θέρμανσης, εξαερισμού, εσωτερικού και εξωτερικού φωτισμού, όπως και τα λοιπά ηλεκτρονικά της καμπίνας, δίνοντας έμφαση στις ηλεκτρικές τους καταναλώσεις.

Στο τρίτο κεφάλαιο εκπονείται η μελέτη της Φ/Β εγκατάστασης στην οροφή του λεωφορείου, υπολογίζοντας την απόδοση του και το ισοζύγιο ενέργειας που δημιουργείται ανά τις εποχές του χρόνου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η τεchnοοικονομική μελέτη και υπολογίζονται τα οικονομικά κέρδη σε ορίζοντα 23ετίας και ο εκτιμώμενος χρόνος απόσβεσης της εγκατάστασης.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται σχόλια και συμπεράσματα.

Λέξεις κλειδιά

Ηλιακή ενέργεια, ηλιακά πάνελ, φωτοβολταϊκά, λεωφορείο, ΑΠΕ, Urbino 18

Abstract

The aim of the present thesis is to explore at which point the integration of photovoltaic systems in buses is possible and advantageous. In detail, a photovoltaic system for the bus Urbino 18 of OSY will be designed and, additionally, the corresponding techno-economic study will be also presented.

Introduction presents the basic photovoltaic physics, a description of solar radiation characteristics and also the different categories of photovoltaics and their advantages and disadvantages. Finally, there will also be a description of the basic characteristics of the batteries that are currently being used in various applications.

In the second chapter, the electrical system of Urbino 18 is being analyzed. Cooling, heating, ventilation, internal and external lighting and the other electronic systems existing in the cabins are being discussed, underlining particularly their electrical consumption.

In the third chapter, the study of the photovoltaic installation on the bus roof is being worked out, calculating its efficiency and the energy balance that occurs for different times of the year.

In the fourth chapter, the techno-economic study is being presented and the 23year bus' life span oil and money profits are being calculated, as well as the estimated time needed for the installation to pay off.

In the last chapter, comments and conclusions are being presented.

Keywords

Solar energy, solar panels, photovoltaics, bus, renewable energy sources, Urbino 18

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά

Την τελευταία δεκαετία παρατηρείται μία έκρηξη στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς οι καταναλωτές έχουν στραφεί σε αυτή τη μορφή, σε μια προσπάθεια τόσο εξοικονόμησης χρημάτων, αλλά και βελτίωσης του περιβαλλοντικού τους προφίλ. Το γεγονός μάλιστα ότι είναι εύκολα αξιοποιήσιμες και εκμεταλλεύσιμες σε αντίθεση με τα υπόλοιπα είδη ενέργειας, οδήγησε στη χρήση της σε πληθώρα εφαρμογών, ακόμα και σε απομακρυσμένες και δυσπρόσιτες περιοχές του κόσμου που δεν υπάρχουν τα μέσα για αξιοποίηση παραδοσιακών μορφών ενέργειας, όπως το πετρέλαιο.

Η κατακόρυφη αύξηση της ζήτησης εξοπλισμού αξιοποίησης των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας όπως ηλιακά πάνελ (solar panels) και ανεμογεννητριών, οδήγησε τόσο σε αύξηση της παραγωγής τους –και πτώση των τιμών- όσο και σε περαιτέρω επιστημονική έρευνα για αποδοτικότερα συστήματα εκμετάλλευσης της ανανεώσιμης ενέργειας, με μεγαλύτερο χρόνο ζωής και αξιοπιστία. Η τάση αυτή οδήγησε στο να γίνει η παραγόμενη από φωτοβολταϊκά ηλεκτρική ενέργεια ολοένα και πιο φθηνή, ενώ μάλιστα εκτιμάται πως το 2016 το ολικό κόστος 1 Kwh προερχόμενης από ηλιακή ενέργεια θα είναι χαμηλότερο από το αντίστοιχο κόστος 1 Kwh προερχόμενης από ορυκτές πηγές όπως ο λιγνίτης[1].

Η ηλιακή ενέργεια σήμερα χρησιμοποιείται σε δεκάδες διαφορετικές εφαρμογές, με κύριους τρόπους εκμετάλλευσης τα φωτοβολταϊκά και τα ηλιοθερμικά συστήματα. Με τα φωτοβολταϊκά συστήματα παράγεται συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, ενώ με τα ηλιοθερμικά συλλέγεται η θερμική ενέργεια του ήλιου και επιτυγχάνεται θέρμανση του νερού, εξάτμιση του νερού σε μονάδες αφαλάτωσης κλπ. Μαζί με την αιολική ενέργεια θεωρούνται «καθαρές» μορφές ενέργειας και είναι ανεξάντλητες, αφού τόσο η ηλιακή ακτινοβολία όσο και ο άνεμος προέρχονται από την επίδραση του ήλιου στη γήινη ατμόσφαιρα, ο οποίος υπάρχει και θα υπάρχει για εκατομμύρια ακόμα χρόνια.

1.2. Ιστορικά στοιχεία

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Γάλλο επιστήμονα Edmond Becquerel, ο οποίος ενώ πειραματιζόταν με μεταλλικά ηλεκτρόδια βυθισμένα σε αγώγιμο διάλυμα, παρατήρησε ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξανόταν, όταν αυτά εκτίθεντο στο ηλιακό φως.

Το 1873 ο Άγγλος μηχανικός Willoughby Smith ανακάλυψε την φωτοαγωγιμότητα του σεληνίου (Se), ενώ εργαζόταν σε μελέτες για τοποθέτηση υποθαλάσσιων τηλεγραφικών καλωδίων. Κατά τη διάρκεια τους, παρατήρησε ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του σεληνίου μειωνόταν δραματικά όταν αυτό βρισκόταν κάτω από δυνατή ηλιακή ακτινοβολία, αναγκάζοντας τον να ασχοληθεί με το συγκεκριμένο φαινόμενο περαιτέρω. Μετά από κάποιες δοκιμές, κατάφερε να δημοσιεύσει και το αντίστοιχο άρθρο[2].

Το 1877 οι William Grylls Adams και Richard Evans Day παρατήρησαν το φωτοβολταϊκό φαινόμενο στο σελήνιο και δημοσίευσαν ένα άρθρο[3], στο οποίο απέδειξαν ότι ένα στερεό υλικό μπορεί να μετατρέψει την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, χωρίς να χρειάζεται κινούμενα μέρη ή προσφερόμενη θερμότητα.

Το 1883 ο Charles Fritts αναπτύσσει το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο, χρησιμοποιώντας σελήνιο πάνω σε ένα λεπτό στρώμα χρυσού, δημιουργώντας έτσι μια διάταξη με απόδοση της τάξης του 1%.

Το 1887 ο Heinrich Hertz ανακαλύπτει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ερευνώντας την φωτοαγωγιμότητα του υπεριώδους φωτός, παρατηρώντας συγκεκριμένα ότι το υπεριώδες φως αλλοιώνει την ελάχιστη απαιτούμενη τάση που χρειάζεται για να δημιουργηθεί σπίθα ανάμεσα σε δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια.

Το 1904 ο Wilhelm Hallwachs κατασκευάζει το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο ημιαγώγιμου τύπου, αποτελούμενο από ένωση χαλκού και οξειδίου του χαλκού.

Το 1905 ο Albert Einstein δημοσιεύει το άρθρο του για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο σε κβαντικό επίπεδο, για το οποίο και έλαβε το 1921 το βραβείο Nobel.

Το 1916 ο Robert Millikan μετά από διενέργεια πειραμάτων, απέδειξε επιστημονικά την ύπαρξη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

Το 1932 οι Audobert και Stora ανακαλύπτουν το φωτοβολταϊκό φαινόμενο στο σεληνιούχο κάδμιο (CdSe) , ένα φωτοβολταϊκό υλικό που χρησιμοποιείται και σήμερα.

Το 1954 η Bell Labs ανακοινώνει την κατασκευή των πρώτων σύγχρονων φωτοβολταϊκών στοιχείων σιλικόνης, με απόδοση περίπου 6%. Ταυτόχρονα ξεκινά και την κατασκευή φωτοβολταϊκών διατάξεων για διαστημικές εφαρμογές.

Το 1957 η Hoffman Electronics κατασκευάζει το πρώτο εμπορικό φωτοβολταϊκό στοιχείο, απόδοσης 8%. Τα έτη 1958, 1959, 1960, αυξάνει την απόδοση του σε 9% , 10% και 14% αντίστοιχα.

Το 1958 ο δορυφόρος Vanguard I χρησιμοποιεί μία μικρή φωτοβολταϊκή διάταξη για τη λειτουργία του ασυρμάτου του. Την ίδια χρονιά, οι δορυφόροι Explorer III, Vanguard II και Sputnik-III τίθενται σε τροχιά, εξοπλισμένοι με φωτοβολταϊκά συστήματα για την ενεργειακή υποστήριξη των ηλεκτρονικών τους. Τη περίοδο αυτή, η ηλιακή ενέργεια έγινε ευρέως αποδεκτή σαν πηγή ενέργειας για τις διαστημικές εφαρμογές και παραμένει έως και σήμερα.

Το 1962 η Bell Telephone Laboratory εκτοξεύει τον πρώτο τηλεπικοινωνιακό δορυφόρο ονόματι Telstar, ο οποίος λειτουργεί εξολοκλήρου με φωτοβολταϊκά στοιχεία ισχύος 14 watt.

Το 1963 η Ιαπωνία εγκαθιστά σε έναν φάρο την μεγαλύτερη έως τότε φωτοβολταϊκή συστοιχία, ισχύος 242 watt.

Το 1970 και με τη βοήθεια της Exxon Corporation, ο Dr. Elliot Berman σχεδιάζει ένα σημαντικά φθηνότερο φωτοβολταϊκό στοιχείο, χαμηλώνοντας το κόστος διάθεσης από 100 \$/watt στα 20 \$/watt. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην αρχή της ευρείας χρήσης των φωτοβολταϊκών διατάξεων σε καθημερινές εφαρμογές που το ρεύμα μέσω του διασυνδεδεμένου δικτύου δεν ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθεί, όπως διαβάσεις τρένων, σειρήνες και φώτα απομακρυσμένων φάρων, πλατφόρμες πετρελαίου κλπ.

Το 1976 οι David Carlson και Christopher Wronski της RCA Laboratories κατασκευάζουν τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφης σιλικόνης, απόδοσης 1,1%.

Το 1977 η παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων ξεπέρασε τα 500 kW.

Το 1980 στο University of Delaware κατασκευάζεται το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο τεχνολογίας λεπτού φιλμ (thin-film), με απόδοση που υπερβαίνει το 10%, χρησιμοποιώντας ένωση $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$.

Το 1981 ο Paul MacCready κατασκευάζει το πρώτο ηλιακό αεροπλάνο, το Solar Challenger, με το οποίο και πετά από την Γαλλία στην Αγγλία πάνω από τη θάλασσα της Μάγχης. Το αεροσκάφος είχε εγκαταστημένα στα φτερά του πάνω από 16.000 φωτοβολταϊκά στοιχεία που απέδιδαν 3.000 W.

Το 1982 ο Hans Tholstrup οδηγεί το πρώτο ηλιακό αυτοκίνητο, το Quiet Achiever, διανύοντας την 2.800 μιλίων απόσταση από το Sydney στο Perth, σε 20 μόλις ημέρες. Παράλληλα, η παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων υπερβαίνει τα 9.3 MW.

Το 1985 το University of South Wales κατασκευάζει τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία απόδοσης 20%.

Το 1986 η ARCO Solar κυκλοφορεί στο εμπόριο τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία τεχνολογίας λεπτού φιλμ (thin-film), με την ονομασία G-4000.

Το 1994 δημιουργείται το National Renewable Energy Laboratory και την ίδια χρονιά κατασκευάζει το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο που ξεπερνά το 30% σε απόδοση, από GaInP/GaAs .

Το 1999 η παγκόσμια παραγόμενη από φωτοβολταϊκά ενέργεια υπερβαίνει τα 1.000 MW.

Το 2001 η NASDA (National Space Development Agency) ανακοινώνει τα σχέδια της για την ανάπτυξη ενός δορυφορικού συστήματος ηλιακής ενέργειας, το οποίο θα αποστέλλει την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια πίσω στη γη. Η ενέργεια που έχει συλλεχθεί από τα φωτοβολταϊκά πάνελ, θα μεταδίδεται μέσω δεσμίδας laser σε ένα αερόπλοιο που θα ίπταται σε ύψος 19.500 μέτρων, το οποίο με τη σειρά του θα τη μεταδίδει προς τη γη[4].

Το 2006 για πρώτη φορά η χρήση πολυπυριτίου για κατασκευή Φ/Β ξεπερνά τη χρήση πολυπυριτίου για οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή. Την ίδια χρονιά, η απόδοση φωτοβολταϊκού στοιχείου σπάει το φράγμα του 40%.

Το 2008 επιτυγχάνεται νέο ρεκόρ απόδοσης φωτοβολταϊκής διάταξης 40,8% από το National Renewable Energy Laboratory (NREL).

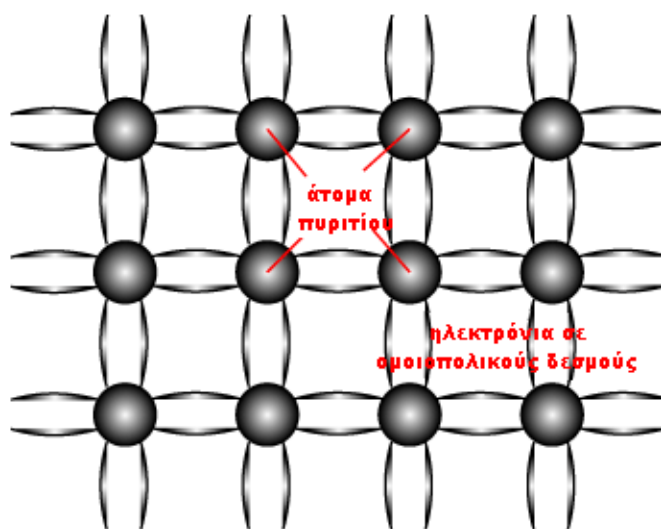
Το 2011 η δημιουργία νέων εργοστασίων στη Κίνα, σπρώχνει προς τα κάτω τα κόστη παραγωγής στα 1,25 \$ ανά watt για τα φωτοβολταϊκά τεχνολογίας πυριτίου. Οι εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών πάνελ παγκοσμίως, διπλασιάζονται.

Το 2012, τα νέα τρισδιάστατα φωτοβολταϊκά στοιχεία (3D PV-cells) υπόσχονται 30% μεγαλύτερη αποδοτικότητα ενέργειας[5].

1.3. Φυσική και λειτουργία των φωτοβολταϊκών

Το *φωτοβολταϊκό στοιχείο* (solar cell) είναι μια ηλεκτρική συσκευή που μετατρέπει την ενέργεια του φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια, μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Κατά το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, η ενέργεια του φωτός απορροφάται από τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού στοιχείου, με αποτέλεσμα αυτά να ξεφεύγουν από τις κανονικές τους θέσεις, αφήνοντας πίσω τους οπές, η κίνηση των οποίων οδηγεί στην δημιουργία και ύπαρξη ηλεκτρικού ρεύματος.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται κατά βάση από ημιαγωγούς, με τη πιο συνήθη πρώτη ύλη να είναι τη δεδομένη στιγμή το πυρίτιο[6]. Το καθαρό πυρίτιο αποτελείται από ένα τρισδιάστατο κρυσταλλικό πλέγμα ατόμων. Το πυρίτιο είναι στοιχείο της ομάδας IV, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι σχηματίζει ομοιοπολικούς δεσμούς με τέσσερα γειτονικά άτομα, όπως απεικονίζεται στο σχήμα 1.

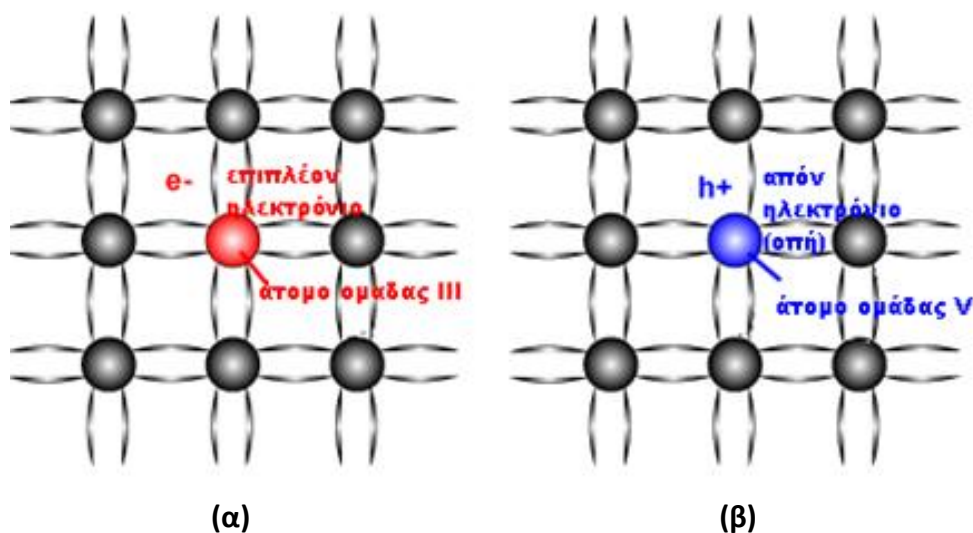


Σχήμα 1: Κρυσταλλικό πλέγμα πολυπυριτίου

Η αγωγιμότητα του πυριτίου μπορεί να αυξηθεί εισάγοντας μικρές ποσότητες προσμίξεων στο πλέγμα του πυριτίου. Αυτές οι προσμίξεις αποκαλούνται *υλικά*

νόθευσης (dopants). Ένα υλικό νόθευσης της ομάδας V, όπως το αρσενικό, έχει πέντε ηλεκτρόνια σθένους. Αντικαθιστά ένα άτομο πυριτίου στο πλέγμα, αλλά σχηματίζει και πάλι δεσμό με τα τέσσερα γειτονικά, οπότε το πέμπτο ηλεκτρόνιο σθένους έχει ασθενή δεσμό με το άτομο αρσενικού, όπως φαίνεται στο σχήμα 2α. Θερμική δόνηση του πλέγματος σε θερμοκρασία δωματίου επαρκεί για να καταστήσει το ηλεκτρόνιο ελεύθερο να κινηθεί, αφήνοντας ένα θετικά φορτισμένο ιόν As^+ , κι ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο. Επειδή αυτό το ηλεκτρόνιο μπορεί να μεταφέρει ρεύμα, η αγωγιμότητα του υλικού αυξάνεται. Αποκαλούμε αυτή τη δομή ημιαγωγό *n-τύπου*, επειδή οι ελεύθεροι φορείς είναι αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια[7].

Αντιστοίχως, ένα υλικό νόθευσης από την ομάδα III, όπως το βόριο, έχει τρία ηλεκτρόνια σθένους, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 2β. Το άτομο νόθευσης μπορεί να δανειστεί ένα ηλεκτρόνιο από το γειτονικό άτομο πυριτίου, το οποίο απομένει έτσι με ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο. Αυτό το άτομο με τη σειρά του, μπορεί να δανειστεί ένα ηλεκτρόνιο από γειτονικό άτομο πυριτίου, και ούτω καθεξής, με αποτέλεσμα το απόν ηλεκτρόνιο, το οποίο αποκαλείται *οπή* (hole), να μπορεί να διαδίδεται παντού στο πλέγμα. Η οπή συμπεριφέρεται ως θετικός φορέας και γι' αυτό αποκαλούμε αυτή τη δομή ημιαγωγό *p-τύπου*.



Σχήμα 2α: Νόθευση *n-τύπου*

Σχήμα 2β: Νόθευση *p-τύπου*

Η επαφή μεταξύ p-τύπου και n-τύπου πυριτίου αποκαλείται *δίοδος* και είναι η διάταξη ημιαγωγού που χρησιμοποιείται κατά βάση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Μία άλλου είδους επαφή είναι η επαφή μετάλλου-ημιαγωγού που αποκαλείται δίοδος Schottky, η οποία όμως συναντάται αρκετά σπανιότερα.

Πέρα όμως από τη μορφή της εμπεριεχόμενης διόδου, τα ηλιακά στοιχεία βασίζουν τη λειτουργία τους στη δημιουργία ενός ηλεκτροστατικού φράγματος δυναμικού, το οποίο εκτείνεται σε όλο το πλάτος του στοιχείου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό το φράγμα δυναμικού βρίσκεται κατανεμημένο σε μικρό βάθος από την επιφάνεια και τοποθετείται από την πλευρά από την οποία προσπίπτει το φως. Κάθε φωτόνιο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού ($E_g < h\nu$), έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να δημιουργηθεί ένα ζεύγος ελεύθερων φορέων, δηλαδή ένα ηλεκτρόνιο στη ζώνη αγωγιμότητας και μία οπή στη ζώνη σθένους[8].

Η αναγκαιότητα ύπαρξης του ηλεκτροστατικού φράγματος δυναμικού πηγάζει από την απαίτηση για διαχωρισμό των θετικών και αρνητικών φορέων φορτίου και τη συγκέντρωσή τους πάνω στις δύο όψεις του ηλιακού στοιχείου, δηλαδή τη φωτιζόμενη και την πίσω όψη τους. Συγκεκριμένα, επειδή μερικά από τα ζεύγη των φορέων αυτών δημιουργούνται μέσα ή και δίπλα από την περιοχή του ηλεκτροστατικού φράγματος δυναμικού, διαχωρίζονται προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν τη δυναμική τους ενέργεια.

Για την κατανόηση του μηχανισμού, μπορεί να υποτεθεί ότι τα ηλεκτρόνια συμπεριφέρονται σαν σφαίρες μάζας m_e που κυλούν πάνω σε κεκλιμένο επίπεδο, ενώ οι οπές συμπεριφέρονται σαν φυσαλίδες που αιωρούνται μέσα σε ένα υγρό. Στο μοντέλο αυτό, το ηλεκτρόνιο (σφαίρα), ελαχιστοποιεί τη δυναμική του ενέργεια κινούμενο προς τα κάτω, ενώ η οπή (φυσαλίδα) ελαχιστοποιεί τη δυναμική της ενέργεια κινούμενη προς τα άνω σε ένα διάγραμμα δυναμικής ενέργειας.

Για παράδειγμα, σε μία δίοδο p-n τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται φορτία στις δύο αντικρινές επιφάνειες και να δημιουργείται μία διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων του ηλιακού στοιχείου, για όσο διάστημα υπάρχει η ηλιακή διέγερση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *φωτοβολταϊκό φαινόμενο*.

1.4. Ηλιακή ακτινοβολία

1.4.1. Γενικά

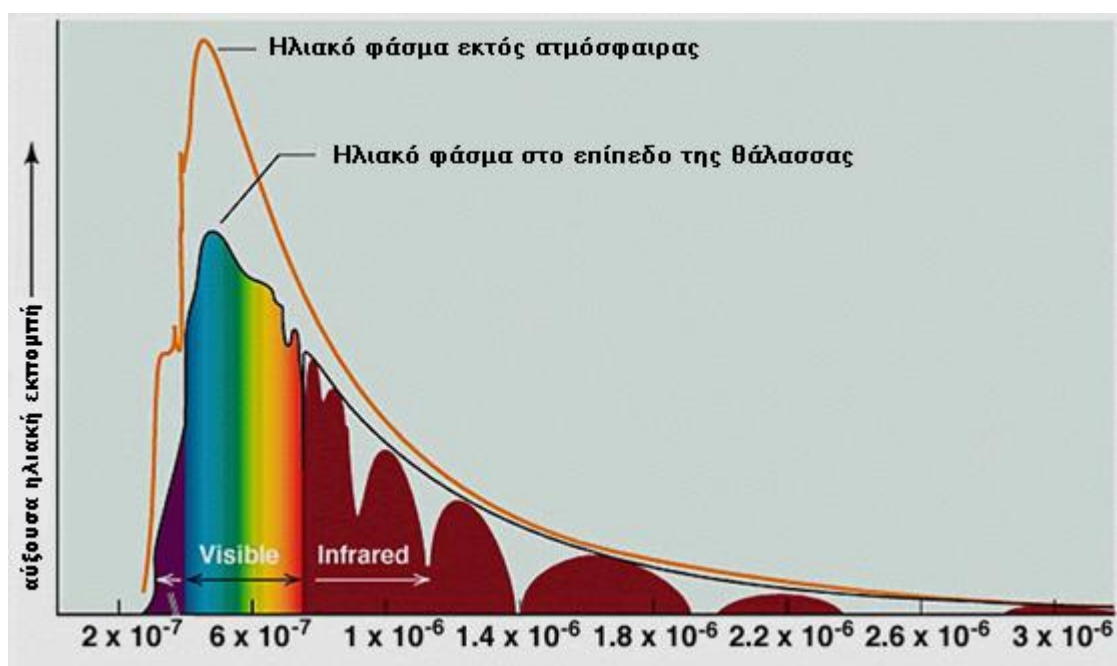
Ο ήλιος είναι μια πύρινη σφαίρα με ακτίνα 700.000 km, είναι δηλαδή 300 φορές βαρύτερος από τη γη. Από τον ήλιο ακτινοβολείται συνεχώς προς το διάστημα τεράστια ποσότητα ενέργειας διαφόρων μηκών κύματος, αποτελούμενη από φως και θερμότητα. Η ισχύς της ενέργειας αυτής που φτάνει τα εκατοντάδες χιλιάδες δισεκατομμύρια kW, οφείλεται στην πυρηνική διάσπαση του υδρογόνου, καθώς σε χρόνο ενός δευτερολέπτου 600 εκατομμύρια τόνοι του στοιχείου αυτού μετατρέπονται σε 596 εκατομμύρια τόνους ηλίου. Τα υπόλοιπα 4 εκατομμύρια μετατρέπονται στην ακτινοβολούμενη ενέργεια. Η καύση αυτή είναι τόσο ισχυρή, ώστε κάθε τετραγωνικό μέτρο του ήλιου να εκπέμπει 70.000 hp. Για να παραχθεί ενέργεια σε τέτοια κλίμακα θα πρέπει να καίγεται κάθε δευτερόλεπτο 11 δισεκατομμύρια φορές η ετήσια παραγωγή της γης σε κάρβουνο[9].

Στη γη φτάνει μόλις το μισό του δισεκατομμυριοστού αυτής της ακτινοβολίας και επιπλέον η ιονόσφαιρα και ορισμένα τμήματα της ατμόσφαιρας απορροφούν ένα μέρος της. Το αποτέλεσμα είναι η ηλιακή ακτινοβολία να δρα ενεργητικά στη ζωή του πλανήτη, εκτός από κάποιες ανεπιθύμητες διαταραχές στις τηλεπικοινωνίες, στις κλιματολογικές συνθήκες και σε ορισμένους οργανισμούς. Έχει υπολογιστεί ότι από τα 4.000 Q (1Q = ενεργειακό ισοδύναμο με 25.000 τόνους πετρελαίου) της ηλιακής ενέργειας που φτάνει κάθε χρόνο στη γη, 1.000 ανακλώνται στα εξωτερικά στρώματα της ατμόσφαιρας, 1.000 απορροφούνται από την ατμόσφαιρα, ενώ τα υπόλοιπα θερμαίνουν την επιφάνεια της γης.

Η μέση τιμή της έντασης της ακτινοβολίας, που προσπίπτει σε κάθετο επίπεδο στις ακτίνες του ήλιου, στα όρια της ατμόσφαιρας είναι 1353 W/m^2 (ηλιακή σταθερά). Η μεταβολή της απόστασης ηλίου-γης προκαλεί μεταβολή της έντασης κατά $\pm 3\%$ και η δράση των ηλιακών κηλίδων κατά $\pm 2\%$. Το ποσοστό της ελάττωσης της ακτινοβολίας, εξαρτάται από το μήκος της διαδρομής μέσα στην ατμόσφαιρα και από την κατάσταση της τελευταίας (συννεφιά, αιωρούμενα σωματίδια κλπ.). Η ελάττωση αυτή οφείλεται στη σκέδαση από τα μόρια του αέρα, τους υδρατμούς και

τη σκόνη και την απορρόφηση από το O₃, το H₂O και το CO₂. Η απορρόφηση δε γίνεται ομοιόμορφα, αλλά επιλεκτικά κατά ζώνες φάσματος[10].

Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας ισοδυναμεί με την εκπομπή μέλανος σώματος 5.762° K. Το φάσμα αυτό είναι συνεχές από 200 περίπου nm μέχρι 3.000 nm με αιχμή γύρω στα 4.800 nm. Η ατμόσφαιρα δεν μειώνει μόνο την ποσότητα, αλλά αλλάζει και τη φασματική σύνθεση της ακτινοβολίας.



Διάγραμμα 1: Το φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας

Το μεσημέρι μίας τυπικής μέρας, όταν δηλαδή ο ήλιος είναι στο ζενίθ, η ένταση της ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο είναι 1 kW/m², το 20% με 25% του οποίου οφείλεται στη διάχυτη ακτινοβολία. Η ένταση δεν είναι σταθερή, αλλά λόγω της περιστροφής της γης παρουσιάζει μεγάλη χρονική διακύμανση αφενός μεταξύ της μέγιστης τιμής την ημέρα και της μηδενικής τη νύχτα και αφετέρου διακύμανση ανάλογα με τη γεωγραφική θέση και την εποχή του έτους. Επιπροσθέτως η ακτινοβολία αυτή είναι αραιή. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά, η διακύμανση και η αραιή πυκνότητα είναι οι κύριες αιτίες των προβλημάτων που εμφανίζονται στην

επαρκή εκμετάλλευση και αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η αύξηση του ποσοστού των ενεργειακών αναγκών που καλύπτονται από τον ήλιο είναι ζωτικής σημασίας, όπως γίνεται αντιληπτό, καθώς πρόκειται για ανεξάντλητη πηγή ενέργειας και επιπλέον φιλική προς το περιβάλλον.

1.4.2. Μέτρηση και υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας

1) Παράμετροι ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια επιφάνεια απαρτίζεται από τρεις συνιστώσες, όπως φαίνεται στο σχήμα 3: την *άμεση* που έρχεται κατευθείαν από τον ήλιο, την *διάχυτη* που προέρχεται από τον θόλο της ατμόσφαιρας, εξαιτίας της σκέδασης από άτομα, μόρια και αιωρούμενα σωματίδια και την *ανακλώμενη*, που προκαλείται από διάφορες κοντινές επιφάνειες, όταν η συλλεκτική επιφάνεια είναι κοντά σε κτίρια ή είναι κεκλιμένη, οπότε δέχεται ακτινοβολία από το έδαφος.

$$I = I_B + I_D + I_R \quad (1.1)$$

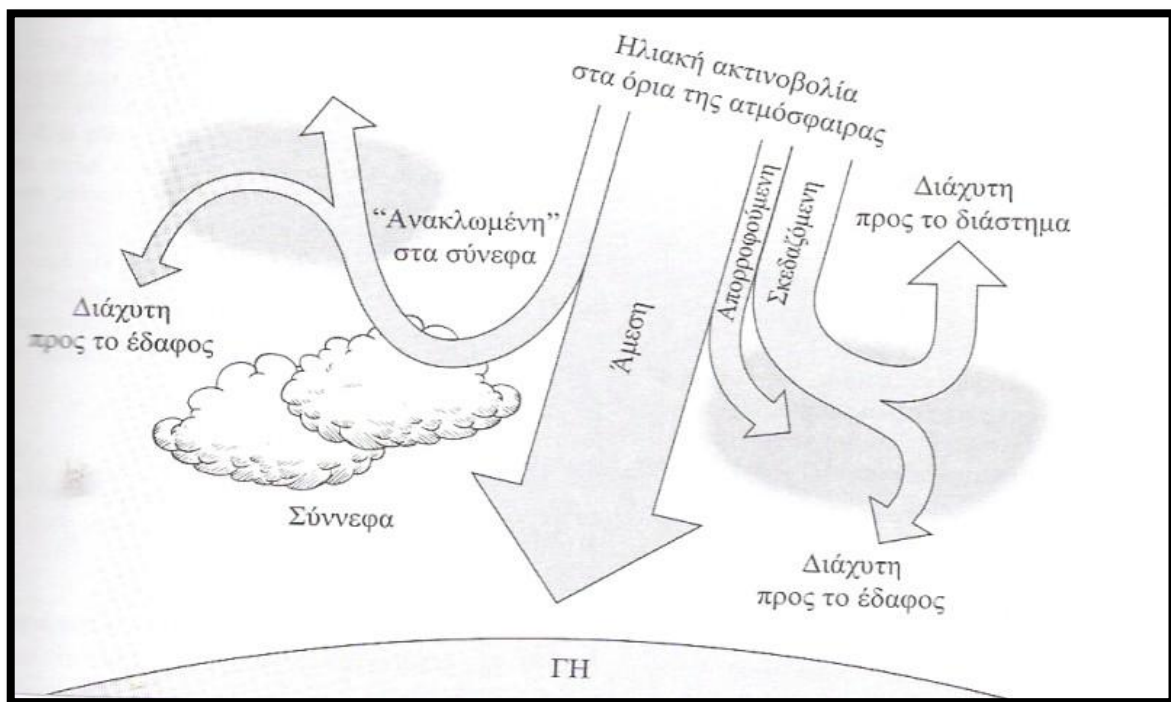
όπου I_B : η άμεση ακτινοβολία
 I_D : η διάχυτη ακτινοβολία
 I_R : η ανακλώμενη ακτινοβολία

Η εξίσωση (1.1) απλουστεύεται αν η επιφάνεια είναι επίπεδη και δεν υπάρχουν κτίρια ή άλλα υψώματα, οπότε $I_R = 0$. Τότε αρκεί κανείς να μετρήσει δύο από τα τρία μεγέθη, για να μπορεί μέσω της (1.1) να υπολογίσει το τρίτο.

Οι συνηθέστερες μονάδες της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή της ενέργειας που προσπίπτει ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου είναι τα W/m^2 , $kcal/m^2 \cdot day$, $kJ/m^2 \cdot day$, $MJ/m^2 \cdot month$, $langley/day$ ($1 y/day = 1 \text{ calorie/cm}^2 \cdot day$).

Τα βασικά όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το *πυρανόμετρο*[11] και το *πυρηλιόμετρο*. Το πυρανόμετρο (ακρίβεια: ~1%) μετρά την ακτινοβολία με θερμοηλεκτρική στήλη ή με φωτοβολταϊκό στοιχείο που σκεπάζεται από ημισφαίριο με γυάλινα τοιχώματα. Το πυρηλιόμετρο (ακρίβεια: από 0,2% έως

2%) μετρά την ακτινοβολία επίσης με θερμοηλεκτρική στήλη, που είναι τοποθετημένη στο κάτω μέρος ενός κυλίνδρου, του οποίου ο άξονας διατηρείται παράλληλος με τις ηλιακές ακτίνες με βοήθεια αστροστάτη. Με το όργανο αυτό μπορεί να μετρηθεί και η φασματική κατανομή της ακτινοβολίας. Ωστόσο το πυρηλιόμετρο είναι σημαντικά ακριβότερο από το πυρανόμετρο. Εκτός από τα δύο αυτά όργανα χρήσιμες πληροφορίες παρέχουν οι ηλιογράφοι, που μετρούν τη διάρκεια της ηλιοφάνειας με ακρίβεια της τάξης των 10 λεπτών της ώρας, τα ραδιόμετρα που μετρούν την ισχύ της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, και τα διωλιστιρόμετρα, που μετρούν την ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του εδάφους[10].



Σχήμα 3: Το ηλιακό φως που φτάνει προς την επιφάνεια της γης

II) Στοιχεία ακτινοβολίας για την Αθήνα

Οι μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας στον ελληνικό χώρο αφορούν κυρίως στην Αθήνα. Το Μετεωρολογικό Ινστιτούτο του Αστεροσκοπείου Αθηνών μετρά την ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, την άμεση ακτινοβολία και το ποσό ηλιοφάνειας. Στοιχεία ηλιοφάνειας έχει και η Ελληνική Μετεωρολογική Εταιρεία από σταθμούς που είναι διασκορπισμένοι σε όλη τη χώρα. Για τις περιοχές της Ελλάδας που δεν υπάρχουν δεδομένα χρησιμοποιούνται προσεγγιστικές μέθοδοι. Μια τέτοια μέθοδος είναι αυτή του Angstrom (1956) που υπολογίζει την *ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο*, συναρτήσει της ακτινοβολίας στο όριο της ατμόσφαιρας, σύμφωνα με τη σχέση:

$$I_H = I_0 \cdot (a + br) \quad (1.2)$$

όπου r : ο λόγος πραγματικής προς μέγιστη ηλιοφάνεια

a, b : συντελεστές που υπολογίζονται από μετεωρολογικά δεδομένα

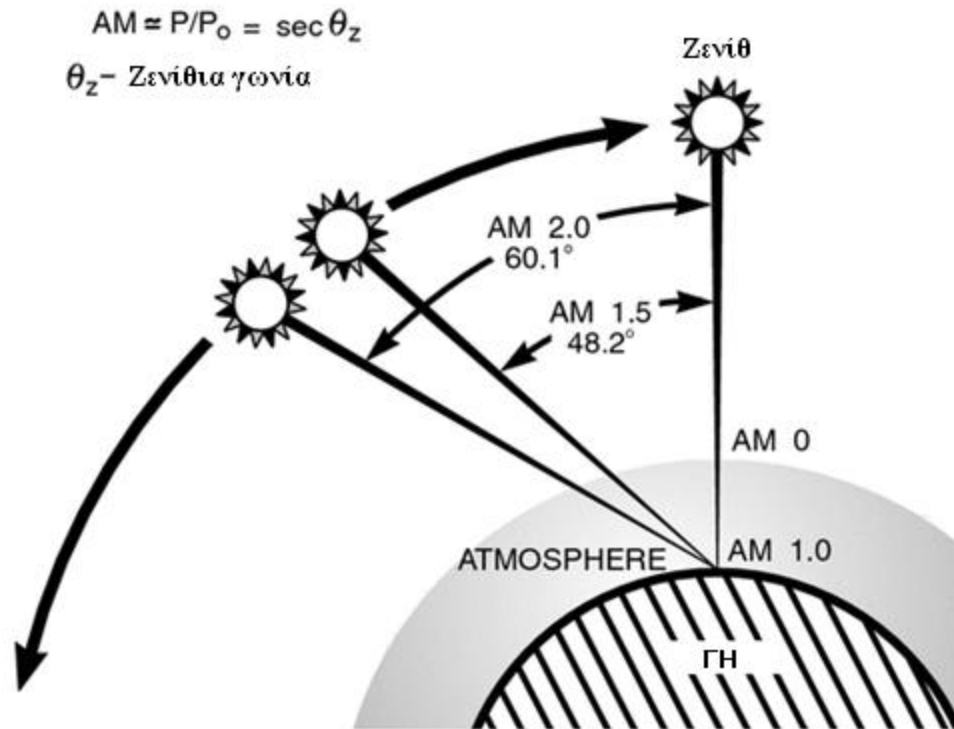
Για την Αθήνα έχουμε:

Τόπος	Βόρειο Πλάτος	Ανατολικό Μήκος	Ύψος	a	β	Ετήσιο MJ/m^2
Αθήνα	37°58'	23°43'	107	0,20	0,51	5,725

III) Η επίδραση της ατμόσφαιρας

Η επίδραση της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολία, εξαρτάται προφανώς από το μήκος της διαδρομής του φωτός μέσα στην ατμόσφαιρα. Αυτή μετράται με το μέγεθος της μάζας του αέρα (AM). Η μάζα του αέρα ισούται με το λόγο της

διαδρομής του φωτός μέσα στην ατμόσφαιρα προς το πάχος της ατμόσφαιρας. Η σχέση της γωνίας προσπτώσεως και του αριθμού της αέριας μάζας παρουσιάζεται στο σχήμα 4.



Σχήμα 4: Απεικόνιση της αέριας μάζας

Η πυκνότητα ισχύος της ολικής ακτινοβολίας κάθετα στην επιφάνεια συλλογής που αντιστοιχεί σε AM1, έχει τυπική τιμή περίπου 950 W/m². Καθώς το ύψος (EL, Elevation) του ήλιου, δηλαδή η γωνία των ακτινών του σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο του τόπου αλλάζει, οι ακτίνες του διανύουν διαφορετικό μήκος μέσα στην ατμόσφαιρα. Ο λόγος P/P₀ του μήκους διαδρομής του μήκους διαδρομής των ηλιακών ακτινών μέσα στην ατμόσφαιρα σε σχέση με το πάχος της ατμόσφαιρας, προσδιορίζει τον αριθμό που τίθεται μετά τα ακρωνύμια AM και όπως είναι φανερό εξαρτάται από τη ζενίθια γωνία θ_z μεταξύ των ακτινών και τη διεύθυνση του Ζενίθ του τόπου (σχήμα 5).

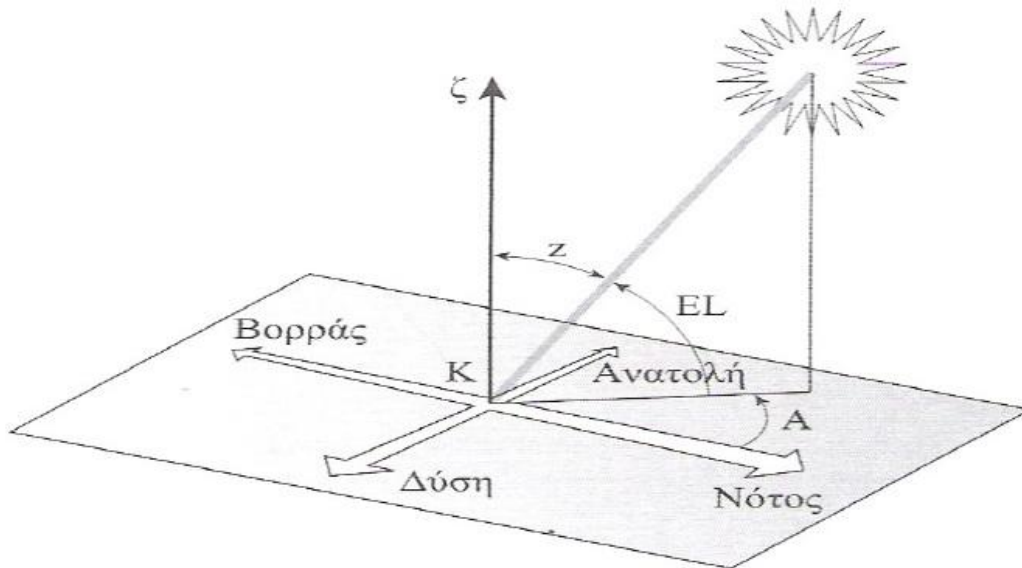


Σχήμα 5: Η ζενίθια γωνία

Για γωνία πρόσπτωσης των ακτινών ίση με $48,2^\circ$ έχουμε ηλιακό φάσμα AM1,5 και η αντίστοιχη πυκνότητα ισχύος της ολικής οριζόντιας ακτινοβολίας έχει τιμή περίπου 830 W/m^2 . Για γωνία $60,1^\circ$ έχουμε φάσμα AM2 και η πυκνότητα ισχύος καταγράφεται περίπου στα 700 W/m^2 . Η τιμή της ηλιακής σταθεράς αντιστοιχεί σε μηδενική αέρια μάζα AM0, δηλαδή στα όρια της ατμόσφαιρας, όπου η πυκνότητα ισχύος της ολικής κάθετης ηλιακής ακτινοβολίας έχει την τιμή της ηλιακής σταθεράς, 1.367 W/m^2 .

IV) Η θέση του ήλιου

Είναι πολύ σημαντικό να μπορεί να υπολογισθεί η θέση του ήλιου με δύο γωνίες στο οριζόντιο σύστημα, καθώς έτσι δίνεται η δυνατότητα να υπολογισθεί σχετικά απλά η πρόσπτωση ακτινοβολίας σε ένα συλλέκτη, όπως θα φανεί αργότερα. Οι γωνίες αυτές παρουσιάζονται στο σχήμα 6:



Σχήμα 6: Προσδιορισμός της ηλιακής θέσης

Οι γωνίες αυτές είναι το ύψος (EL, Elevation) του ήλιου, που είναι η γωνία μεταξύ της ευθείας από τον παρατηρητή προς τον ήλιο το οριζόντιο επίπεδο και η αζιμουθιακή γωνία του ήλιου, που αφορά στην αντίστοιχη γωνία μεταξύ του κατακόρυφου επιπέδου που περιέχει τον ήλιο και του γεωγραφικού μεσημβρινού, που συμβολίζεται συνήθως με A. Στα Φ/Β συστήματα, συνηθίζεται η αναφορά του αζιμούθιου του ήλιου, ως προς την κατεύθυνση του νότου, ανατολικά από 0-180° και δυτικά από 0 ως -180°. Το ύψος και το αζιμούθιο του ήλιου προσδιορίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\sin(EL) = \sin\lambda \cdot \sin\delta + \cos\lambda \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega$$

$$\sin(A) = \frac{\cos\delta \cdot \sin\omega}{\cos EL}$$

όπου λ : το γεωμετρικό πλάτος του τόπου

δ : η ηλιακή απόκλιση τη συγκεκριμένη ημέρα

ω : η ωριαία γωνία του ήλιου τη χρονική στιγμή t_A (ηλιακός χρόνος), όταν το ύψος και το αζιμούθιο του είναι EL και A αντίστοιχα. Προσδιορίζεται από τη

σχέση: $\omega = \frac{12-t_A}{24} \cdot 360$ με $t_A = \text{Τοπική ώρα} + E + 4(L_{st} - L_{loc})$, όπου E είναι η

εξίσωση του χρόνου που λαμβάνεται από τα αντίστοιχα διαγράμματα, L_{st} είναι

ο κεντρικός μεσημβρινός για την ώρα τοπικής ζώνης και L_{loc} είναι το γεωγραφικό μήκος της τοποθεσίας.

Η γωνία δ που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του ουράνιου Ισημερινού και τα κέντρα του ήλιου και της Γης, ονομάζεται ηλιακή απόκλιση[8] (Declination) και υπολογίζεται με τη βοήθεια της παρακάτω εξίσωσης:

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left[\frac{360}{365} \cdot (DoY + 284)\right]$$

όπου **DoY** : η μέρα του χρόνου, η οποία μεταβάλλεται από 1 (για την 1^η Ιανουαρίου) έως 365 (για την 31^η Δεκεμβρίου).

1.5. Είδη φωτοβολταϊκών

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

1. Φωτοβολταϊκά πυριτίου μεγάλου πάχους:

- Μονοκρυσταλλικού πυριτίου
- Πολυκρυσταλλικού πυριτίου
- Ταινίας πυριτίου.

2. Φωτοβολταϊκά λεπτών μεμβρανών (thin film):

- Άμορφου Πυριτίου
- Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe₂ ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS)
- Τελουριούχου Κάδμιου (CdTe)
- Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs)

3. Υβριδικά Φωτοβολταϊκά στοιχεία άλλων τεχνολογιών

1.5.1. Φωτοβολταϊκά πυριτίου μεγάλου πάχους

1) Μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Τα πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από κρυσταλλικό πυρίτιο. Το κρυσταλλικό πυρίτιο μορφοποιείται σε μεγάλα φύλλα, τα οποία μπορούν να καταταμηθούν σε συγκεκριμένο μέγεθος και να χρησιμοποιηθούν σε ένα πλαίσιο, όπως αυτό φαίνεται στο σχήμα 7. Τα πλαίσια αυτού του είδους είναι πιο ακριβά από τα πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου καθώς προέρχονται από πυρίτιο καλύτερης ποιότητας-καθαρότητας, ωστόσο χαρακτηρίζονται από υψηλότερη ικανότητα μετατροπής και συχνά, σε βάθος χρόνου, παρουσιάζουν καλύτερη σχέση κόστους-απόδοσης.

Η ικανότητα μετατροπής τους είναι της τάξης του 15-18%, κάτι που σημαίνει ότι από την ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνειά τους, το παραπάνω ποσοστό μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7% . Το πάχος τους είναι περίπου 0,3 mm. Το μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνειας ή «ενεργειακής πυκνότητας». Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος Czochralski και η μέθοδος float zone. Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου[12].

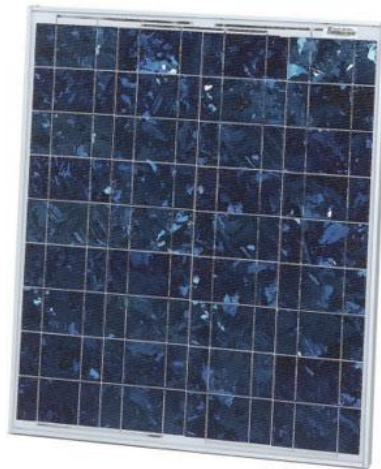


Σχήμα 7: Φ/Β πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου

II) Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου

Το πάχος των Φ/Β κελιών από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο είναι επίσης περίπου 0,3mm. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές, όπως είναι εμφανές στο σχήμα 8. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά.

Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία του εμπορίου διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15%. Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification), η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου (χύτευση) και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.



Σχήμα 8: Φ/Β πλαίσιο πολυκρυσταλλικού πυριτίου

III) Ταινίας Πυριτίου (Ribbon Silicon)

Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αναπτύσσεται από την Evergreen Solar. Η ειδοποιός διαφορά της είναι ότι προσφέρει έως και 50% μείωση στη χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνικές

κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου.

Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του κυμαίνεται περίπου στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3mm. Εργαστηριακά έχουν επιτευχθεί αποδόσεις μέχρι και της τάξης του 18%. Αποψη του Φ/Β ταινίας πυριτίου παρουσιάζεται στο σχήμα 9.



Σχήμα 9: Η μορφή της ταινίας πυριτίου

1.5.2. Φωτοβολταϊκά λεπτών μεμβρανών (thin film)

I) Άμορφου Πυριτίου

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην εν λόγω περίπτωση) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο (σχήμα 10). Λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται, η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Ο χαρακτηρισμός

άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται σημαντικά από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσής του σε σχέση με τα κρυσταλλικά Φ/Β, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για την παραγωγή ίδιας ποσότητας ενέργειας απαιτείται σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά τη διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούργια. Παρόλα αυτά, οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 mm ενώ το υπόστρωμα μπορεί να έχει πάχος από 1 έως 3 mm.



Σχήμα 10: Φ/Β πλαίσιο άμορφου πυριτίου

II) Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe₂ ή CIS, με προσθήκη γάλλιου)

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται χαμηλά, περίπου στο 11%.

III) Τελλουριούχου Κάδμιου (CdTe)

Το τελλουριούχο κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο περίπου στο 1 eV, το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα, κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα, με κύριο τη δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές προσφέρουν τη δεδομένη στιγμή αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Εργαστηριακά, η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων φθάνει το 16%.

Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Σημαντικότερος κατασκευαστής φωτοβολταϊκών στοιχείων CdTe είναι η First Solar. Τροχοπέδη για τη χρήση τους αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο, σύμφωνα με έρευνες, είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στη χρήση του. Σημαντικό πρόβλημα αποτελεί επίσης η έλλειψη του τελλουρίου στη φύση. Η μορφή του συγκεκριμένου Φ/Β στοιχείου παρουσιάζεται στο σχήμα 11.



Σχήμα 11: Φ/Β στοιχείο από τελλουριούχο κάδμιο

IV) Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs)

Το γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων, όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το αρσενικό δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το

αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43 eV, που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του, στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction), είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες, γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Επιπρόσθετα, έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας. Για αυτό, αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης τους, ενδείκνυνται για διαστημικές εφαρμογές. Ένα τέτοιο πλαίσιο παρουσιάζεται στο σχήμα 12. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος, γεγονός που την καθιστά απαγορευτική για τις συνηθισμένες εμπορικές εφαρμογές.



Σχήμα 12: Φ/Β πλαίσιο από αρσενικούχο γάλλιο, για διαστημική αποστολή

1.5.3. Υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία άλλων τεχνολογιών

Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών, με σκοπό να εκμεταλλευτεί τα πλεονεκτήματα της εκάστοτε τεχνολογίας, για μεγιστοποίηση της απόδοσης.

Μία πολύ σημαντική κατηγορία υβριδικών φωτοβολταϊκών είναι τα HIT - Heterojunction with Intrinsic Thin-layer (ετεροεπαφής με εσωτερική λεπτή στρώση). Τα πιο γνωστά εμπορικά υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειάζεται μικρότερη επιφάνεια για την επιτευξη της ίδιας εγκατεστημένης ισχύος. Τα αντίστοιχα επι μέρους φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Άλλα πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού προσφέρει τόσα πολλά, το υβριδικό φωτοβολταϊκό είναι και ελαφρώς ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια. Η μορφή του συγκεκριμένου πλαισίου παρουσιάζεται το σχήμα 13.

Πρέπει να επισημάνθει φυσικά ότι η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και τα διάφορα εργαστήρια ανα τον κόσμο παρουσιάζουν συνεχώς νέα υλικά και νέες μελέτες. Κάποιες από τις τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στοιχείων που πιθανώς να ξεχωρίσουν στο μέλλον είναι τα νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου, όπως και τα οργανικά/πολυμερή στοιχεία.



Σχήμα 13: Φ/Β πλαίσιο υβριδικής τεχνολογίας Sanyo HIT

1.6. Κατηγορίες και εφαρμογές Φ/Β συστημάτων

1.6.1. Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

Στα αυτόματα φωτοβολταϊκά συστήματα συγκαταλέγονται τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για κατοικίες και μικρούς οικισμούς που δεν είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Είναι η ιδανικότερη λύση για εγκαταστάσεις οι οποίες είναι μακριά από το κεντρικό δίκτυο και για τις οποίες η διασύνδεση είναι εξαιρετικά κοστοβόρα. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα, η συγκεκριμένη λύση χρησιμοποιείται κατά κόρον σε απομονωμένες περιοχές όπως μικρά νησιά και ορεινά χωριά.

Το συγκεκριμένο σύστημα αποτελείται από φωτοβολταϊκά πλαίσια και συσσωρευτές, όπου αποθηκεύεται η περισσευούμενη ενέργεια για την περίπτωση αυξημένης ενεργειακής ζήτησης ή χαμηλότερης ηλιακής ακτινοβολίας σε μεταγενέστερο χρόνο. Για τις περιπτώσεις που ακόμα και οι συσσωρευτές δεν είναι αρκετοί, συνήθως χρησιμοποιείται ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος Diesel το οποίο φορτίζει τους συσσωρευτές για να ικανοποιηθούν οι εκάστοτε ανάγκες.

1.6.2. Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες συστημάτων:

- Φ/Β συστήματα μεγέθους έως μερικών εκατοντάδων kWp που τροφοδοτούν κατοικίες, συγκροτήματα κατοικιών ή άλλα κτίρια και όπου η τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια πωλείται στο δίκτυο.
- Φ/Β σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο.

Όσον αφορά τα Φ/Β συστήματα που αναρτώνται σε κτίρια (σε προσόψεις, οροφές, κλπ.), σε σύνδεση με το δίκτυο, έχει τελευταία εκδηλωθεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αφού έχουν εδώ και κάποιο καιρό καταστεί πολύ αποδοτικά οικονομικά. Τα επιπρόσθετα οφέλη που προκύπτουν πέραν του οικονομικού για τον ιδιώτη, είναι η αποφυγή χρήση γης, όπως και η αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, γίνεται προσπάθεια για χρήση των Φ/Β και ως δομικών στοιχείων στα κτίρια, αυξάνοντας έτσι τα οικονομικά οφέλη, εκτός από αυτά που ήδη αναφέρθηκαν.

1.6.3. Εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων

Οι εφαρμογές των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι αμέτρητες. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη τροφοδοσία πλειάδας συστημάτων, από τα πιο χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων έως τα πιο απαιτητικά.

Τα <<μικρά>> φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος 0,001W – 100W χρησιμοποιούνται σε τροχόσπιτα, σκάφη αναψυχής, κλπ., για την εξυπηρέτηση αναγκών φωτισμού και ψύξης και για προϊόντα όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φανοί κ.ά.

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος 100W – 200kW χρησιμοποιούνται κυρίως για αφαλάτωση, άντληση και καθαρισμό νερού, για φωτισμό (δρόμων, πάρκων, αεροδρομίων), για συστήματα τηλεπικοινωνιών, τηλεμετρήσεων και συναγεμίου, για συστήματα σηματοδότησης (οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας) και τέλος για ψύξη (αγροτικών προϊόντων, φαρμάκων κ.λ.π.). Στον τομέα των τηλεπικοινωνιών η εφαρμογή των φωτοβολταϊκών καθιστά τερματικούς σταθμούς και αναμεταδότες αυτόνομους καθώς και αξιόπιστους, σε περιοχές δύσβατες και απροσπέλαστες. Στις διαστημικές εφαρμογές επίσης, έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως φωτοβολταϊκά μιας και αντλούν την ενέργειά τους από τον ήλιο, διατηρώντας έτσι την αυτονομία τους.

Σημαντική βοήθεια προσφέρουν επίσης στο ηλεκτρικό δίκτυο τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά πάρκα μιας και παρουσιάζουν μεγάλη απόδοση τις μεσημεριανές ώρες όπου η ζήτηση φορτίου είναι ιδιαίτερος αυξημένη. Προσπάθειες ακόμη έχουν γίνει σε διάφορες χώρες για την υποστήριξη αυτόνομων συστημάτων μικρής κλίμακας εντός πόλεων, όπως σε εκδοτήρια εισιτηρίων, παρκόμετρα και στάσεις λεωφορείων, προκειμένου να αποσυμφορηθεί η ενεργειακή ζήτηση του κεντρικού δικτύου[13].

Τέλος, η επιστήμη έχει στραφεί στη χρήση φωτοβολταϊκών τόσο στον τομέα των μεταφορών εμπορευμάτων, όσο και σε αυτόν των γενικότερων μετακινήσεων. Ένας από τους βασικότερους λόγους για αυτό είναι η σημαντική μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

1.7. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα φωτοβολταϊκά αποφέρουν σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία. Οφέλη για τον καταναλωτή, για τις αγορές ενέργειας και για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι επιγραμματικά τα παρακάτω:

- Είναι εντελώς φιλικά προς το περιβάλλον αφού δεν προκαλούνται ρύποι κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, εύκολα προσβάσιμη και δεν στοιχίζει απολύτως τίποτα
- Πολύ μικρές απαιτήσεις συντήρησης
- Η λειτουργία του Φ/Β συστήματος είναι παντελώς αθόρυβη και δεν προκαλεί ιδιαίτερη οπτική όχληση
- Με την κατάλληλη γεωγραφική κατανομή, και κοντά στους αντίστοιχους καταναλωτές ενέργειας, μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του δικτύου διανομής
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (25 χρόνια)
- Έχουν υψηλό λόγο επιστροφής επένδυσης και μεγάλο λόγο κέρδους ανά εγκατεστημένο Watt, ο οποίος όλο και μεγαλώνει
- Υπάρχει πάντα η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης, ώστε να ανταποκριθούν στις αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών
- Μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως είναι για παράδειγμα η στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτιρίου
- Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές: μπορούν να λειτουργήσουν άριστα τόσο ως αυτόνομα συστήματα, όσο και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας (συμβατικές ή ανανεώσιμες) και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον, ένα μεγάλο πλεονέκτημα του Φ/Β συστήματος είναι ότι μπορεί να διασυνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτροδότησης (διασυνδεδεμένο σύστημα), καταργώντας με τον τρόπο αυτό την ανάγκη για εφεδρεία και δίνοντας επιπλέον τη δυνατότητα στον χρήστη να πωλήσει τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου.

Ως βασικό μειονέκτημα των φωτοβολταϊκών συστημάτων θα μπορούσε να θεωρηθεί το αρχικό κόστος αγοράς τους, το οποίο, παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις

παραμένει ακόμη υψηλό. Μια γενική ενδεικτική τιμή είναι 1.500-2.000 ευρώ ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (kW) ηλεκτρικής ισχύος. Το ποσό αυτό, ωστόσο, μπορεί να αποσβεστεί σε περίπου 4-5 χρόνια και το Φ/Β σύστημα θα συνεχίσει να παράγει δωρεάν ενέργεια για τουλάχιστον άλλα 20 χρόνια.

Τα φωτοβολταϊκά, όπως και όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έχουν υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης και χαμηλό λειτουργικό κόστος, αντίθετα με τις συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες που συνήθως έχουν σχετικά μικρότερο αρχικό επενδυτικό κόστος και υψηλά λειτουργικά κόστη. Αυτό τα καθιστά πιο προσιτά σε ιδιώτες, οι οποίοι θέλουν μεν να κάνουν μια «πράσινη» επιλογή, αλλά χωρίς να είναι αναγκασμένοι να ασχολούνται συνεχώς με τη συντήρηση του νέου τους συστήματος.

1.8. Συσσωρευτές

1.8.1. Γενικά

Ο συσσωρευτής είναι μια διάταξη που αποθηκεύει χημική ενέργεια, και σε ζήτηση την μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια για να λειτουργήσει ένα εξωτερικό κύκλωμα. Η σημασία των συσσωρευτών στην καθημερινή ζωή είναι προφανής. Όμως, υπάρχει τάση να παραγκωνίζεται η ποικιλία τους και η κλίμακα υπό την οποία χρησιμοποιούνται, π.χ. το μέγεθός τους κυμαίνεται από κλάσμα του δεκάτου του κυβικού εκατοστόμετρου για συσσωρευτή ακουστικών, μέχρι πολλά κυβικά δεκάτομετρα για βιομηχανικές και στρατιωτικές χρήσεις, ενώ στο βιομηχανικό κόσμο, κατασκευάζονται από τέσσερις έως δέκα συσσωρευτές ανά έτος και ανά κεφαλή πληθυσμού.

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι αποτέλεσμα μιας αυθόρμητης χημικής αλλαγής (δηλαδή μιας αντίδρασης redox με αρνητική ελεύθερη ενέργεια) μέσα στο συσσωρευτή. Τα αντιδρώντα σωματίδια της οξειδοαναγωγής δεν πρέπει να αντιδρούν άμεσα αλλά να καταναλώνονται σε διαφορετικές θέσεις στον συσσωρευτή, δηλαδή στην άνοδο και στην κάθοδο και αυτό προκαλεί την κίνηση των ηλεκτρονίων μέσα σε εξωτερικό κύκλωμα μεταξύ των πόλων του συσσωρευτή. Πρακτικά, ένας συσσωρευτής σχεδιάζεται και κατασκευάζεται για μια συγκεκριμένη χρήση, π.χ. να

ανάβει το φως ενός φακού ή να ξεκινάει τη μηχανή του αυτοκινήτου. Για κάθε εφαρμογή, είναι απαραίτητα τα χαρακτηριστικά του συσσωρευτή κι αυτά θα καθορίσουν τις απαιτήσεις στις ηλεκτροδιακές αντιδράσεις και θα ορίσουν το σχέδιο του κελιού.

1.8.2. Χαρακτηριστικά συσσωρευτών

Για να λειτουργεί αποτελεσματικά ένας συσσωρευτής, πρέπει να αποδίδει σωστά σε οποιαδήποτε χρήση και γι' αυτό απαιτείται να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά που μπορεί να μετρηθούν και να χρησιμοποιηθούν για να κριθεί αν ένας συσσωρευτής είναι σωστός για μία δεδομένη εφαρμογή. Επίσης, σε μερικές περιπτώσεις (π.χ. συσσωρευτής για αυτοκίνητα) δεν υπάρχει το τέλειο σύστημα συσσωρευτή με όλες τις απαιτούμενες ιδιότητες. Όμως, είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό ότι η επιλογή ηλεκτροδιακών αντιδράσεων και ο σχεδιασμός του κελιού χαρακτηρίζουν τη λειτουργία του συσσωρευτή[8]. Επίσης, γίνεται προφανές ότι τα διάφορα χαρακτηριστικά των συσσωρευτών είναι αλληλένδετα μεταξύ τους και η αλλαγή στον σχεδιασμό για τη βελτίωση του ενός θα έχει αντίθετο αποτέλεσμα σε άλλο.

I) Δυναμικό

Το δυναμικό των πόλων ενός συσσωρευτή εξαρτάται από την αλλαγή της ελεύθερης ενέργειας στη συνολική αντίδραση του κελιού, και επομένως την επιλογή των ηλεκτροδιακών αντιδράσεων, τις κινητικές τους και την αντίσταση του κελιού και εκφράζεται από τη σχέση:

$$E_{\text{cell}} = E^c + E^A - |n_A| + |n_C| - iR_{\text{cell}}$$

όπου n_A , n_C : οι υπερτάσεις

R_{cell} : η αντίσταση του κελιού

Αυτή η εξίσωση έχει χρησιμοποιηθεί από τους σχεδιαστές συσσωρευτών ώστε το δυναμικό να είναι θετικό και υψηλό. Γι' αυτό, οι ηλεκτροδιακές αντιδράσεις επιλέγονται ώστε η ενεργή μάζα στο θετικό ηλεκτρόδιο να μειώνεται πολύ εύκολα και η ενεργή μάζα στο αρνητικό ηλεκτρόδιο να οξειδώνεται ταχέως. Τότε, η ελεύθερη ενέργεια για τη συνολική αντίδραση στο συσσωρευτή και τα $E^c - E^A$ θα είναι μια υψηλή θετική ποσότητα.

Γενικότερα επιζητείται ένα υψηλό δυναμικό και αυτό ευνοείται από: i) Την επιλογή των ηλεκτροδιακών αντιστάσεων που οδηγούν σε μια συνολική ηλεκτροδιακή αντίδραση με υψηλή αρνητική αλλαγή ελεύθερης ενέργειας, ii) από ηλεκτροδιακές αντιδράσεις που δεν έχουν μεγάλες υπερτάσεις στην περιοχή του κελιού απ' όπου λαμβάνεται το ρεύμα και iii) τον σχεδιασμό ενός κελιού με μικρή αντίσταση, δηλαδή με ηλεκτρολύτη υψηλής αγωγιμότητας, διαχωριστικά μικρής αντίστασης και μικρή απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων.

II) Ρεύμα

Το ρεύμα είναι ένα μέτρο του ρυθμού με τον οποίο εκφορτίζεται ο συσσωρευτής. Το ρεύμα και το δυναμικό είναι συσχετισμένα, αλλά η ικανότητα να μεταφερθεί υψηλό ρεύμα χωρίς μείωση του δυναμικού εξαρτάται από πόσο ταχείες είναι οι αντιδράσεις μεταφοράς και από το σωστό σχεδιασμό του ενεργού υλικού ώστε να υπάρχουν πολλά ηλεκτροαρνητικά σωματίδια στο σημείο όπου γίνεται η μεταφορά ηλεκτρονίων. Το ενεργό υλικό γενικά συμπεριφέρεται ως ένα πορώδες υλικό, αλλά πρέπει να σημειωθεί ότι η σύστασή του και η δομή του μπορεί να αλλάξουν κατά την εκφόρτιση. Αυτό περιλαμβάνει και τη μετατροπή του ηλεκτροθετικού αγωγίου σε πολύ κακό αγωγό και έτσι το ρεύμα που μπορεί να λαμβάνεται από το κελί εξαρτάται από την κατάσταση του φορτίου και το ρυθμό από τον οποίο εκφορτίζεται. Έτσι, οι δύο αυτοί παράγοντες θα προσδιορίσουν την κατανομή του ενεργού υλικού στην πορώδη δομή.

III) Χωρητικότητα

Ως χωρητικότητα ορίζουμε το φορτίο που μπορεί να αποκτηθεί από ένα συσσωρευτή. Έτσι, συνήθως αναφέρεται με μονάδες ampere-hours (αμπεροώρες, Ah) και προφανώς έχει σχέση με το μέγεθος του συσσωρευτή. Η ονομαστική χωρητικότητα του κάθε ηλεκτροδίου μπορεί να υπολογιστεί από το βάρος του ενεργού w μέσω του νόμου του Faraday, δηλαδή:

$$C = \frac{wnF}{M}$$

όπου w : το βάρος του ενεργού υλικού

n : ο αριθμός των ανταλλασσόμενων ηλεκτρονίων

F : η σταθερά Faraday (96000 Cb)

M : η γραμμομοριακή μάζα του ενεργού υλικού

Η χωρητικότητα του συσσωρευτή θα καθορίζεται από το ηλεκτρόδιο με τη μικρότερη χωρητικότητα. Η πραγματική χωρητικότητα του κάθε ηλεκτροδίου και επομένως του συσσωρευτή εξαρτάται από το πόσο ενεργό υλικό μπορεί να καταναλωθεί κατά την εκφόρτιση και αυτό ορίζεται πειραματικά. Επίσης, η χωρητικότητα θα εξαρτάται από τις συνθήκες εκφόρτισης (π.χ. από το ποσό ρεύματος) και συνήθως μετράται με έλεγχο της τάσης σε σχέση με τον χρόνο κατά την εκφόρτιση ορισμένου ρεύματος.

Η οριζοντιότητα της καμπύλης εκφόρτισης, δηλαδή ουσιαστικά η μεταβολή του δυναμικού του συσσωρευτή κατά την εκφόρτιση και η δυνατότητα του κελιού να συνεχίσει να αποδίδει την αναμενόμενη χωρητικότητα σε αυξημένους ρυθμούς εκφόρτισης, είναι πολύ σημαντικές ιδιότητες του συσσωρευτή.

IV) Πυκνότητα αποθήκευσης ηλεκτρισμού

Αυτή η παράμετρος είναι ένα μέτρο του φορτίου, ανά βάρος, αποθηκευμένο στο συσσωρευτή, δηλαδή είναι η χωρητικότητα ανά μονάδα βάρους. Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι το βάρος αφορά όλο το συσσωρευτή, συμπεριλαμβανομένου του ηλεκτρολύτη, των ρευματοσυλλεκτών, των ακροδεκτών κτλπ. Γι αυτό, μια μεγάλη τιμή της πυκνότητας αποθήκευσης εξαρτάται από τον καλό σχεδιασμό ενός συσσωρευτή (δηλαδή, με ελαχιστοποίηση του βάρους των βοηθητικών στοιχείων) και προφανώς με την επιλογή των σωστών ηλεκτροδιακών αντιδράσεων.

Για μερικές χρήσεις, ο όγκος του συσσωρευτή αποτελεί μια πιο σημαντική παράμετρο από το βάρος. Τότε, η πυκνότητα αποθήκευσης και η πυκνότητα ενέργειας και ισχύος συνήθως ορίζονται με μονάδες ανά μονάδα όγκου και όχι ανά μονάδα βάρους.

V) Ρυθμός εκφόρτισης

Ο ρυθμός εκφόρτισης είναι όπως είναι για το ρεύμα ένα μέτρο του ρυθμού με το οποίο το φορτίο *απάγεται* από το κελί. Συνήθως αναφέρεται σε C/n που είναι το ρεύμα που εκφορτίζει την ονομαστική χωρητικότητα C του συσσωρευτή σε n αριθμό ωρών.

VI) Κύκλος ζωής

Οι μη επαναφορτιζόμενοι συσσωρευτές σχεδιάζονται μόνο για μία μονή εκφόρτιση αλλά οι επαναφορτιζόμενοι συσσωρευτές είναι για επαναλαμβανόμενους κύκλους φορτίσεων/εκφορτίσεων. Ο κύκλος ζωής ορίζεται ως ο αριθμός των κύκλων φορτίσεων/εκφορτίσεων που είναι δυνατόν να υποστεί ένας συσσωρευτής πριν να καταστραφεί.

Για έναν επαναφορτιζόμενο συσσωρευτή, είναι βασικό κατά τον κύκλο φορτίσεων/εκφορτίσεων να γίνεται αναδόμηση του ενεργού υλικού σε κατάλληλη

στάθμη ώστε να παρέχει επιπλέον εκφόρτιση. Το ενεργό υλικό πρέπει να έχει τη σωστή χημική σύσταση, μορφολογία και κατανομή στο κελί. Ο κύκλος ζωής πολύ συχνά σχετίζεται με το ποσοστό της κάθε εκφόρτισης κι αυτό υπονοεί ότι όταν γίνεται πλήρης εκφόρτιση του συσσωρευτή, πολλές φορές καταστρέφονται τα ηλεκτρόδια. Έτσι, ο συσσωρευτής μπορεί να χάσει τη λειτουργικότητά του σταδιακά ή να σταματήσει να λειτουργεί απότομα.

VII) Απόδοση ενέργειας

Με τους δευτερεύοντες συσσωρευτές για αποθήκευση ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα, η ενεργειακή απόδοση είναι σημαντική παράμετρος και εκφράζεται ως εξής

$$\% \text{ απόδοση ενέργειας} = (\text{ενέργεια που αποδίδεται κατά την εκφόρτιση/ενέργεια απαιτούμενη κατά την φόρτιση}) \times 100$$

Έτσι, φαίνεται ότι εξαρτάται από την απόδοση ρεύματος των ηλεκτροδιακών δράσεων και από τις υπερτάσεις που συμβαίνουν κατά τις αντιδράσεις φόρτισης/εκφόρτισης, καθώς και την αντίσταση του συσσωρευτή.

VIII) Οικονομικοί παράμετροι

Εδώ εξετάζονται δύο παράμετροι: α) το κόστος κατασκευής και β) το κόστος επισκευής κατά τη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή. Προφανώς, τα στοιχεία του συσσωρευτή πρέπει να είναι φθηνά ώστε το τελικό προϊόν να είναι ανταγωνιστικό, (αν και υπάρχουν συσσωρευτές που είναι πολύ ακριβοί, προοριζόμενοι για ειδικές εφαρμογές) και οι πρώτες ύλες πρέπει να είναι διαθέσιμες στην απαιτούμενη κλίμακα. Σε εφαρμογές που απαιτείται μεγάλη λειτουργική ζωή, το ποσοστό και το κόστος της συντήρησης των συσσωρευτών για να είναι σε καλή κατάσταση είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος που καθορίζει την επιλογή του συσσωρευτή.

1.8.3. Προδιαγραφές συσσωρευτών

Έχει γίνει ήδη προφανές ότι ένας συσσωρευτής κατασκευάζεται πάντα για μια συγκεκριμένη λειτουργία. Ο πίνακας 1 παρουσιάζει τις προδιαγραφές ενός συσσωρευτή αυτοκινήτου. Για έναν τέτοιο συσσωρευτή απαιτείται να έχει όχι μόνο μεγάλη ισχύ αλλά και υψηλή απόδοση ενέργειας, με συνέπεια αυτός να συμβάλλει τελικώς αρκετά στο βάρος του αυτοκινήτου. Για το λόγο αυτό δίνεται έμφαση στην πυκνότητα ενέργειας και ισχύος για να ελαχιστοποιηθεί ο όγκος και το βάρος του συσσωρευτή. Επίσης, πρέπει να έχει μεγάλη χωρητικότητα και να είναι επαναφορτιζόμενος. Ένας τυπικός συσσωρευτής αυτοκινήτου παρουσιάζεται στο σχήμα 14.

Δυναμικό	9-40 V
Χωρητικότητα	10-250 Ah
Μέγεθος	0.1-0.5 m ³
Κύκλοι ζωής	> 600 με μεγάλο ποσοστό εκφόρτισης
Πυκνότητα ενέργειας	> 50 Wh/kg
Πυκνότητα ισχύος	
συνεχή για περίοδο 20 sec	> 20 W/kg > 100 W/kg
Απόδοση ενέργειας	> 60%
Θερμοκρασία	235 – 313 K
Δονήσεις/ταλαντώσεις	> 5 g*
Σοκ	> 30 g*
Χρήση	Διαλείπουσα με άνιση ζήτηση κατά τη χρήση. Θα πρέπει να αποθηκεύεται και να αντέχει στην υπερφόρτιση
Συντήρηση	Λίγη
Αξιοπιστία	Πολύ υψηλή
Κόστος	Το κόστος του συσσωρευτή με την ενέργεια για φόρτιση να είναι αντίστοιχο με τα χιλιόμετρα που διανύονται για βενζίνη αξίας 1500 ευρώ
Αγορά	Πολλά εκατομμύρια κομμάτια τον χρόνο

Πίνακας 1: Προδιαγραφές για συσσωρευτή αυτοκινήτου

Παράλληλα ο συσσωρευτής μπορεί να είναι συχνά τελείως αποφορτισμένος και να λειτουργεί. Γι' αυτό υπάρχει απαίτηση να έχει μεγάλο αριθμό κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης, σε μεγάλο ποσοστό εκφόρτισης (~50% εκφόρτιση). Η απόδοση ενέργειας είναι επίσης σημαντική, γιατί για κάθε πτώση από το 100%,

εμπεριέχεται και η ανάλογη αύξηση στα έξοδα λειτουργίας. Οι άλλες προδιαγραφές αναγνωρίζουν τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί το αυτοκίνητο, δηλαδή θα πρέπει να τρέχει με κανονική ταχύτητα, να επιταχύνει περιοδικά και να χρησιμοποιείται σε τυχαία διαστήματα, όπου και φυλάσσεται ακίνητο από μερικά λεπτά μέχρι και μερικές εβδομάδες.



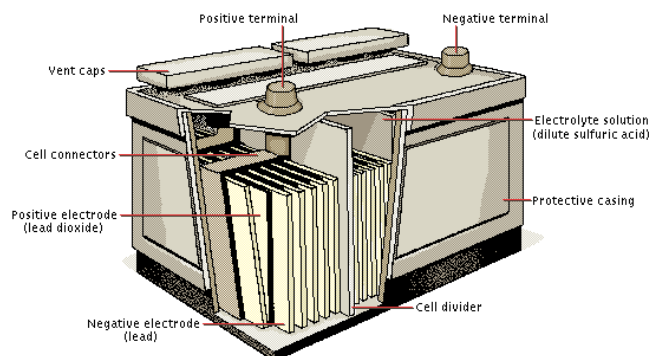
Σχήμα 14: Μια τυπική μπαταρία αυτοκινήτου

1.8.4. Τεχνολογίες συσσωρευτών

I) Μολύβδου – Οξέος (Lead-Acid)

Η κύρια χρήση τους είναι για την εκκίνηση του αυτοκινήτου, με εκατομμύρια κομμάτια να πωλούνται ανά τον κόσμο κάθε χρόνο. Όμως χρησιμοποιούνται και σε ηλεκτρικά αυτοκίνητα, όπως και σε σταθερές μονάδες φόρτισης για την παροχή ισχύος. Τελευταία παράγονται και μικροί συσσωρευτές μολύβδου, αντίστοιχοι με τους συσσωρευτές νικελίου-καδμίου, για όργανα και ραδιόφωνα. Στην εικόνα 15 φαίνεται σχηματικά η τομή ενός συσσωρευτή μολύβδου-οξέος. Ο σχεδιασμός συσσωρευτών μολύβδου-οξέος συνεχώς βελτιώνεται. Έτσι έχει μειωθεί το συνολικό του βάρος με αλλαγές στο ενεργό υλικό και στα πλέγματα και η πυκνότητα ενέργειας

του έχει φτάσει στις 32 Wh/kg, χωρίς επίπτωση στη λειτουργία του. Το δυναμικό κελιού είναι το υψηλότερο που έχει επιτευχθεί, αγγίζοντας τα 2,1 volts .



Σχήμα 15: Τομή συσσωρευτή μολύβδου-οξέος

II) Νικελίου – Καδμίου (NiCad)

Οι συσσωρευτές νικελίου-καδμίου είναι ο τύπος που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπως φορητοί υπολογιστές, ξυριστικές μηχανές κ.α. και είναι αδιαμφισβήτητα καλύτεροι από τους συσσωρευτές μολύβδου-οξέος, αφού έχουν διπλάσια πυκνότητα ενέργειας αλλά και 50% περισσότερους κύκλους ζωής. Παρολαυτά το ηλεκτροχημικό ζεύγος νικελίου-καδμίου αποφέρει πολύ χαμηλότερο δυναμικό ανα κελί (1.25v), με αποτέλεσμα να χρειάζονται περισσότερα κελιά για να έχουμε το ζητούμενο δυναμικό[14]. Επιπρόσθετα, είναι και 4 φορές πιο ακριβοί.

III) Νικελίου – Σιδήρου (NiFe)

Οι συγκεκριμένοι συσσωρευτές έχουν μεγαλύτερο αριθμό κύκλων ζωής και μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας από αυτούς του μολύβδου-οξέος, αλλά δυστυχώς τα αρνητικά τους είναι πολύ σημαντικότερα. Καταρχάς έχουν πολύ υψηλή εσωτερική αντίσταση, κάτι το οποίο οδηγεί στην εκφόρτιση τους με ταχύτερους ρυθμούς (10% ανά εβδομάδα). Ακόμα, η απόδοση τους σε θερμοκρασίες άνω των 26° C πέφτει σημαντικότερα. Τέλος, είναι και αυτοί 4 φορές πιο ακριβοί από τους αντίστοιχους

συσσωρευτές μολύβδου-οξέος. Για τους παραπάνω λόγους υπάρχει ελάχιστη έρευνα πάνω στη συγκεκριμένη τεχνολογία και δεν κυκλοφορούν ευρέως τη δεδομένη στιγμή στην αγορά.

1.8.5. Κατηγορίες συσσωρευτών

I) Συσσωρευτές εκκίνησης

Τέτοιοι συσσωρευτές χρησιμοποιούνται στα οχήματα για την εκκίνηση τους. Κατά την εκκίνηση του οχήματος ο συσσωρευτής χρησιμοποιείται μόνο για μερικά δευτερόλεπτα και όλον τον υπόλοιπο καιρό φορτίζεται από τον *εναλλάκτη*, ανάλογα πάντα και με τη χρήση ηλεκτρικών/ηλεκτρονικών συσκευών που γίνεται. Αν και είναι πολύ καλοί για να προσφέρουν υψηλή ισχύ για μικρό χρονικό διάστημα, δεν είναι κατάλληλοι για υψηλό ποσοστό εκφόρτισης, καθώς μειώνει δραματικά τον κύκλο ζωής τους.

II) Συσσωρευτές υψηλού ποσοστού εκφόρτισης

Οι συγκεκριμένοι συσσωρευτές είναι ένα βήμα καλύτεροι από τους συσσωρευτές εκκίνησης, αφού έχουν πολύ πιο παχιές πλάκες και είναι ειδικά σχεδιασμένοι για χρήση με υψηλά ποσοστά εκφόρτισης στους 400 έως 1000 κύκλους ζωής. Λόγω αυτής τους της χρήσιμης ιδιότητας, θα είναι αυτοί που θα χρησιμοποιηθούν στην συγκεκριμένη μελέτη.

III) Συσσωρευτές βιομηχανικής χρήσης

Οι συσσωρευτές αυτοί αν και ανταποκρίνονται εξαιρετικά στα υψηλά ποσοστά εκφόρτισης και έχουν πάνω από 1000 κύκλους ζωής, είναι απίστευτα ογκώδεις, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η χρήση τους σε βιομηχανικές εφαρμογές.

1.9. Εφαρμογές των Φ/Β σε οχήματα

1.9.1. Το ηλεκτρικό λεωφορείο Tindo

Το Tindo[13] δημιουργήθηκε από την Designline International, μια εταιρεία της Νέας Ζηλανδίας. Δεν είναι ένα υβριδικό, αλλά ένα πλήρως ηλεκτρικό όχημα, με ενσωματωμένα Φ/Β πάνελ στην οροφή του (Uni-Solar PVL - 68 W), με στόχο τη βελτίωση της αυτονομίας του. Άποψη του Tindo παρουσιάζεται στο σχήμα 16.



Σχήμα 16: Tindo

Το ηλιακό ηλεκτρικό λεωφορείο της Αδελαΐδας είναι το πρώτο στον κόσμο που μπορεί να επαναφορτιστεί 100% με την ηλιακή ενέργεια, και θα χρησιμοποιείται καθημερινά από τους ανθρώπους της Αδελαΐδας μέσω της δωρεάν υπηρεσίας της Αδελαΐδας Bus Connector. Το Tindo - το Kaurna Aboriginal όνομα για τον ήλιο - είναι το αποκορύφωμα των οχτώ ετών έργου του Συμβουλίου για να παραδώσει ένα αμιγώς ηλεκτρικό λεωφορείο στην κοινότητα.

Διεθνείς έρευνες δείχνουν ότι οι άνθρωποι προτιμούν έντονα ηλεκτρικά λεωφορεία σε σχέση με αυτά που κινούνται με άλλα μέσα, όπως είναι οι μηχανές ντίζελ. Ηλεκτρικά λεωφορεία μπορούν να λειτουργούν σε πολυσύχναστους δρόμους της πόλης και κατοικημένες γειτονιές με ένα καθαρό και ήσυχο τρόπο, που τα καθιστά πολύ δημοφιλή τόσο με τους επιβάτες και το κοινό. Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία μπαταριών έχουν βοηθήσει την επιτυχή ανάπτυξη των αμιγώς ηλεκτρικών λεωφορείων με κατάλληλη κλίμακα μεταξύ των φορτίσεων.

Το Tindo χρησιμοποιεί 11 μονάδες μπαταρίας Zebra, δίνοντας πρωτοφανή ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας και λειτουργικότητας. Οι ελβετικής κατασκευής μπαταρίες Zebra χρησιμοποιούν τεχνολογία χλωριούχου νατρίου / νικελίου και έχουν μεγάλα οφέλη, συμπεριλαμβανομένων των παρακάτω:

- Είναι σχεδιασμένες για μεγάλη διάρκεια ζωής και είναι αξιόπιστες
- Δεν επηρεάζονται από εξωτερικές θερμοκρασίες
- Μπορούν να αποθηκευτούν επ' αόριστον πλήρως φορτισμένες
- Είναι ελαφριές
- Παρουσιάζουν υψηλή ενέργεια και πυκνότητα ισχύος

Οι Zebra μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στο Tindo είναι ουσιαστικά ελεύθερες συντήρησης, και ως εκ τούτου αυτό αναμένεται να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση κόστους. Το μοναδικό σύστημα διαχείρισης των μπαταριών εξασφαλίζει ότι οι μπαταρίες δε μπορούν να υποστούν βλάβη από ακατάλληλη λειτουργία ή πρωτόκολλα υπερφόρτισης. Σε αντίθεση με άλλες μπαταρίες για ηλεκτρικά λεωφορεία, αυτές οι ελεγχόμενης θερμοκρασίας μπαταρίες λειτουργούν χωρίς μείωση του προσδόκιμου ζωής ή της απόδοσης σχεδόν σε οποιοσδήποτε συνθήκες.

Η ηλεκτρική ενέργεια από τις μπαταρίες τροφοδοτεί τον μετατροπέα του κινητήρα. Ο μετατροπέας μετατρέπει αυτή την ηλεκτρική ενέργεια σε μορφή κατάλληλη για το ηλεκτρικό μοτέρ. Ο ηλεκτρικός κινητήρας χρησιμοποιεί την ενέργεια από τον μετατροπέα για να παράγει περιστροφική κίνηση. Η περιστροφική κίνηση από το μοτέρ είναι συνδεδεμένη με την αλυσίδα.

Όταν το όχημα επιβραδύνει, οι μπαταρίες δεν οδηγούν πλέον το όχημα. Ο κινητήρας μετατρέπεται ηλεκτρονικά σε μια γεννήτρια. Η κίνηση προς τα εμπρός του λεωφορείου στη συνέχεια κινεί το μοτέρ / γεννήτρια για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια η οποία αποθηκεύεται στις μπαταρίες. Αυτό αναφέρεται ως αναγεννητική πέδηση και βελτιώνει ακόμα περισσότερο την αυτονομία του Tindo, η οποία αγγίζει τα 200 χιλιόμετρα μεταξύ διαδοχικών φορτίσεων, σε τυπικές αστικές συνθήκες.

Το Tindo επαναφορτίζεται μέσω ενός φωτοβολταϊκού συστήματος (PV) στον Κεντρικό Σταθμό Λεωφορείων της Αδελαΐδας. Το σύστημα φωτοβολταϊκών στη στέγη του σταθμού είναι σήμερα το μεγαλύτερο διασυνδεδεμένο σύστημα της

Αδελαιΐδας, δημιουργώντας σχεδόν 70.000 κιλοβατώρες ηλεκτρικής ενέργειας μηδενικής εκπομπής άνθρακα κάθε χρόνο που αντισταθμίζουν τη συνολική ενέργεια που απαιτείται για την επαναφόρτιση των μπαταριών του Tindo.

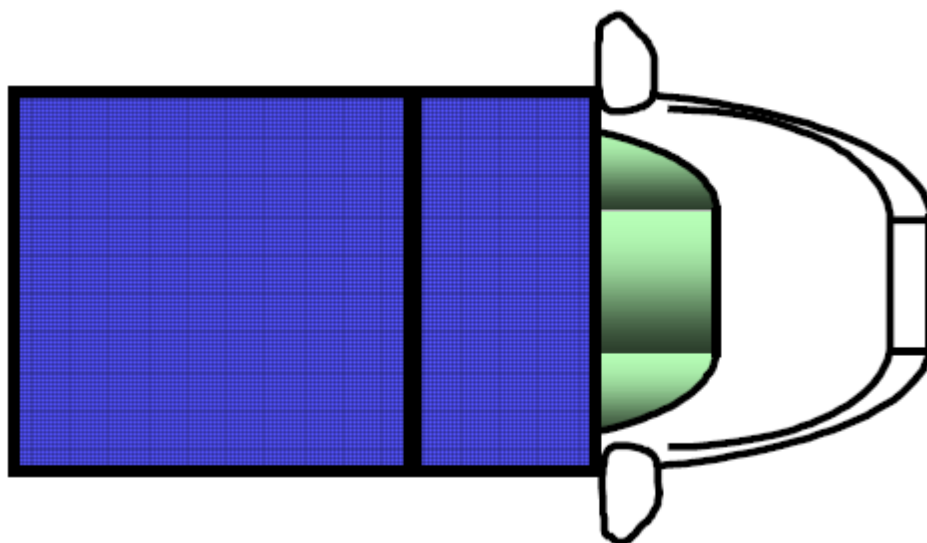
Υπάρχουν πολύ λίγα καθαρής μπαταρίας ηλεκτρικά λεωφορεία σε όλο τον κόσμο. Τα περισσότερα από αυτά χαρακτηρίζονται από πολύ μικρότερο μέγεθος, και έχουν μικρότερο λειτουργικό φάσμα. Το Tindo είναι το μόνο αμιγώς ηλεκτρικό λεωφορείο που επαναφορτίζεται κατά 100% μέσω ηλιακής ενέργειας. Είναι τέλος σημαντικό να σημειωθεί ότι το Tindo δε θα ήταν ουδέτερου ισοζυγίου διοξειδίου του άνθρακα, εάν επαναφορτιζόταν από το κλασσικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της Νότιας Αυστραλίας.

1.9.2. Ενσωμάτωση Φ/Β συστημάτων σε αυτοκίνητα

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα για τη μαζική εφαρμογή των Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων (Electric Vehicles - EV) είναι η μικρή χωρητική ικανότητα των συμβατικών ηλεκτρικών συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Παρά το γεγονός ότι αυτός ο περιορισμός έχει ξεπεραστεί σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνολογίες, όπως οι κυψέλες καυσίμου και οι υψηλής χωρητικότητας μπαταρίες, εξακολουθεί να είναι δύσκολο να αναπτυχθεί μία οικονομικά βιώσιμη και κοινωνικά αποδεκτή μαζική χρήση EV. Σε αυτό το πλαίσιο, η ηλιακή ενέργεια δεν είναι μια πρακτική λύση. Ωστόσο, εάν θεωρηθεί η συγκεκριμένη περίπτωση κατά την οποία μια μικρή μεγέθους, υψηλής απόδοσης EV λειτουργεί σε συνθήκες χαμηλών απαιτήσεων σε ένα ηλιόλουστο, προβλέψιμο περιβάλλον, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αποτελέσει μια λύση για τη μείωση του μεταφορικού κόστους.

Πολλές μελέτες τα τελευταία χρόνια δείχνουν ότι η μέση απόσταση των προαστιακών ταξιδιών στις αμερικανικές πόλεις είναι περίπου 15 χιλιόμετρα. Σε αυτήν την περίπτωση, τα EV μπορεί να αναπτυχθούν με μειωμένο φορτίο των μπαταριών, και ως εκ τούτου με μειωμένη μονάδα παραγωγής ενέργειας. Σε αυτές τις συνθήκες, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να διαχειριστεί, ώστε να παράγει μια απτή συνεισφορά στην πηγή ενέργειας του EV. Στην περίπτωση αυτή θεωρούμε ένα

ελαφρύ, μικρού μεγέθους και υψηλής απόδοσης EV που λειτουργεί σε συνθήκες χαμηλών απαιτήσεων ενέργειας σε ένα ηλιόλουστο περιβάλλον. Τότε η ηλιακή ενέργεια μπορεί να γίνει μια πραγματική λύση για τη μείωση του κόστους των περιφερειακών μεταφορών. Η ενέργεια που συλλέγεται από τα ηλιακά κύτταρα που βρίσκονται στην οροφή του οχήματος (σχήμα 17) μπορεί να αποτελέσει σημαντικό μέρος της συνολικής ενέργειας που απαιτείται από το όχημα κατά τη μετακίνηση ή τη φόρτιση των μπαταριών του.



Σχήμα 17: Κάτοψη οχήματος με εγκατεστημένο Φ/Β σύστημα στην οροφή

Εκτός όμως από τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα, μέσω της χρήσης Φ/Β συστημάτων θα μπορούσαν πιθανώς να υπάρξουν οφέλη και για τα συμβατικά αυτοκίνητα. Ένα ηλιακό πάνελ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη διαρκή φόρτιση της μπαταρίας του αυτοκινήτου και την τροφοδοσία των φορτίων του ηλεκτρικού του συστήματος, οδηγώντας έτσι σε αξιόλογη εξοικονόμηση βενζίνης, καθώς θα υπάρχει μειωμένη χρήση του εναλλάκτη του. Η συγκεκριμένη υπόθεση πρόκειται να ελεγχθεί αναλυτικά στην παρούσα εργασία.

Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι να μελετηθεί αν η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων στην οροφή του λεωφορείου Solaris Urbino 18 της ΟΣΥ θα είναι μακροπρόθεσμα επικερδής. Το λεωφορείο που θα εξεταστεί είναι ένα αρθρωτό λεωφορείο μήκους 18 μέτρων, το οποίο χρησιμοποιείται σε διάφορα δρομολόγια σε όλο το λεκανοπέδιο. Για να επιτευχθεί αυτό θα αναλυθούν όλα τα μέρη του λεωφορείου υπολογίζοντας τις αντίστοιχες προκύπτουσες ηλεκτρικές καταναλώσεις και, με βάση την απόδοση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, θα αποσαφηνιστεί ποιά από τα ηλεκτρικά φορτία θα μπορέσουν να τροφοδοτηθούν επιτυχώς και τι εξοικονόμηση αυτό θα αποφέρει.

2. ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΛΕΩΦΟΡΕΙΟΥ

2.1. Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί το ηλεκτρομηχανολογικό σύστημα του λεωφορείου, με ιδιαίτερη έμφαση τις ηλεκτρικές του καταναλώσεις καθώς αυτό είναι το ενεργειακό μέρος του οχήματος που θα γίνει προσπάθεια να καλυφθεί με εναλλακτικό τρόπο, εν προκειμένω με τη χρήση Φ/Β συστημάτων.

Θα αναλυθούν εκτενώς η ψύξη, η θέρμανση, ο εσωτερικός και εξωτερικός φωτισμός και τα επιπρόσθετα ηλεκτρονικά συστήματα του λεωφορείου και θα γίνει προσπάθεια αναλυτικής απεικόνισης της ιδιάζουσας, λόγω μεγέθους, μορφής του.

2.2. Γενικά για το λεωφορείο

Πρέπει καταρχάς να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο λεωφορείο είναι μια πολύ καλή επιλογή για την εκπόνηση της παρούσης μελέτης, καθώς η αρθρωτή μορφή του, του προσδίδει αρκετά μεγάλη επιφάνεια οροφής, γεγονός εξαιρετικά σημαντικό εφόσον πρόκειται ουσιαστικά να εξεταστεί μια ιδιότυπη μορφή φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Στον πίνακα 2 συνοψίζονται κάποια πολύ σημαντικά και χαρακτηριστικά στοιχεία για το συγκεκριμένο όχημα.

Διαστάσεις	18m x 2,55m
Θερμοκρασία λειτουργίας	-25° C έως +60° C
Χωρητικότητα δοχείου καυσίμων	350lt
Ένταση θορύβου εντός οχήματος	79.3dB στα 50 km/h
Ισχύς κινητήρα	228KW (310HP, καθαρή ισχύς 266KW)
Τροφοδοσία κυλίνδρων με αέρα	Με υπερπληρωτή HolsetHY40W
Σύστημα κλιματισμού	SUTRAK AC 136.1 (182.000 BTU)
Τάση τροφοδοσίας	24V σε όλα τα συστήματα (ψύξη, θέρμανση, φωτισμός)
Μπαταρίες	12V@230Ah (2 σε σειρά)
Εναλλάκτης	BOSCH NCB2-28V με ενσωματωμένο ρυθμιστή τάσεως
Μίζα	24V/4KW (Bosch 0 001 231 036)

Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Urbino 18

Όσον αφορά την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, η ηλεκτρική εγκατάσταση, καθώς και ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός του Urbino 18 δεν αλληλοεπηρεάζονται στη λειτουργία τους, ακόμη και αν υπάρχει άμεση γειννίαση. Η συμπεριφορά του ίδιου οχήματος καθώς και η συμπεριφορά του ηλεκτρικού/ηλεκτρονικού εξοπλισμού, είναι ουδέτερη.

Ο εξωτερικός φωτισμός του γίνεται με εμπρόσθια φώτα, πίσω φώτα φρένου, φώτα ομίχλης, περιμετρικό φωτισμό, και σύστημα φλας στο άνω μέρος της πίσω πλευράς.

Η εκτιμώμενη διάρκεια χρήσης (ζωής) του Urbino 18, με βάση τα λεγόμενα του διευθυντή του τεχνικού τμήματος της ΟΣΥ και δεδομένων των τωρινών οικονομικών συνθηκών τόσο της εταιρείας όσο και της χώρας, υπολογίζεται στα 23 χρόνια. Άποψη του οχήματος παρουσιάζεται στο σχήμα 18.



Σχήμα 18: Πλάγια άποψη του Solaris Urbino 18

2.3. Θέρμανση

Τα συστήματα ψύξης του κινητήρα και θέρμανσης του λεωφορείου συνδέονται μεταξύ τους έτσι ώστε να εξασφαλίζουν την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της θερμότητας που παράγεται κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα, όπως ακριβώς γίνεται και στα αυτοκίνητα. Κατά τη λειτουργία της θέρμανσης, η θερμοκρασία σταθεροποιείται περίπου στους 18° C.

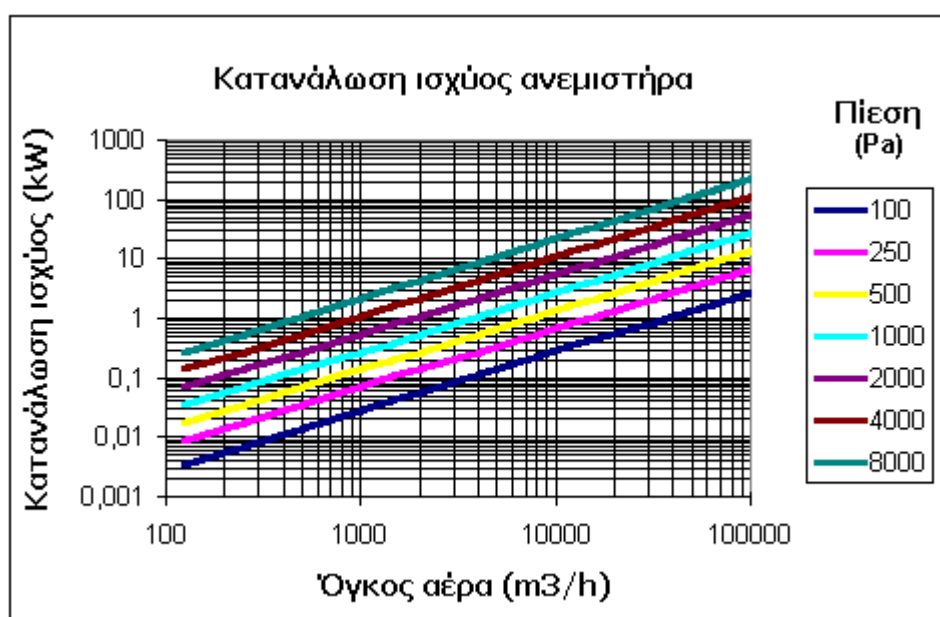
Τα λεωφορεία Urbino 18 έχουν τις ακόλουθες συσκευές για να θερμαίνουν τον χώρο των επιβατών και την καμπίνα του οδηγού:

- Το μπροστινό καλοριφέρ με ανεμιστήρα στο χώρο του οδηγού είναι τοποθετημένο κάτω από τη θέση του, από μία μεριά του πλαισίου, και είναι

κατασκευασμένο από την Aurora (θερμαντική ισχύς 13,7 kW, απόδοση ταχύτητας αέρα 594 m³ ανά ώρα)

- Το Urbino 18 έχει 4 θερμαντήρες στον χώρο των επιβατών. Είναι κατασκευασμένοι από την Aurora (θερμαντική ισχύς 7,2 kW, απόδοση ταχύτητας αέρα 385 m³ ανά ώρα)
- Στο Urbino 18 υπάρχουν ακόμη 2 αερόθερμοι θερμαντήρες, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι πάνω από το δάπεδο, στο πλαϊνό τοίχωμα κάτω από τα παράθυρα του λεωφορείου. Είναι κατασκευασμένοι από τον Pedro Sanz (θερμαντική ισχύς 7,3 kW, απόδοση ταχύτητας αέρα 411 m³ ανά ώρα)

Επίσης, χρησιμοποιείται σύστημα θέρμανσης (με ρόλο κυκλοφορητή της θερμότητας του κινητήρα) Webasto, για το οποίο όμως δεν υπάρχει διαθέσιμη καμία άλλη πληροφορία. Για τον λόγο αυτό, θα υποτεθεί ότι το Urbino 18 χρησιμοποιεί το ισχυρότερο σύστημα θέρμανσης της Webasto[15], το Thermo 350. Το συγκεκριμένο σύστημα έχει ηλεκτρική κατανάλωση 140 W. Επειδή δεν υπάρχουν διαθέσιμα περαιτέρω δεδομένα ούτε για τους ανεμιστήρες (θερμαντήρες), θα χρησιμοποιηθεί το διάγραμμα 2 για να εξαχθούν συμπεράσματα για την ηλεκτρική τους κατανάλωση[16]:



Διάγραμμα 2: Ηλεκτρική κατανάλωση ανεμιστήρα συναρτήσει της απόδοσης ταχύτητα αέρα

Συνεπώς, για μια τυπική πίεση ανεμιστήρα της τάξεως των 1000 Pa , έχουμε:
i) για το μπροστινό καλοριφέρ απόδοσης ταχύτητας αέρα 594 m³ ανά ώρα, ηλεκτρική κατανάλωση 190 W, ii) για τον καθένα από τους 4 θερμαντήρες στον χώρο των επιβατών απόδοσης ταχύτητα αέρα 385 m³ ανά ώρα, ηλεκτρική κατανάλωση 110 W και iii) για τον καθένα από τους 2 θερμαντήρες Pedro Sanz απόδοσης ταχύτητα αέρα 411 m³ ανά ώρα, ηλεκτρική κατανάλωση 120 W.

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας γίνεται με τον ελεγκτή Wabco ATC (Automatic Temperature Control), ο οποίος απεικονίζεται στο σχήμα 19. Τα ακόλουθα στοιχεία ελέγχονται από το σύστημα θέρμανσης:

- Ρύθμιση περιστροφής του ανεμιστήρα
- Θερμοκρασία στην καμπίνα του οδηγού
- Ρύθμιση κατεύθυνσης του αέρα
- Ενεργοποίηση του κλιματισμού στην καμπίνα του οδηγού
- Ενεργοποίηση του κλιματισμού στον χώρο των επιβατών
- Ενεργοποίηση επιπρόσθετης θέρμανσης



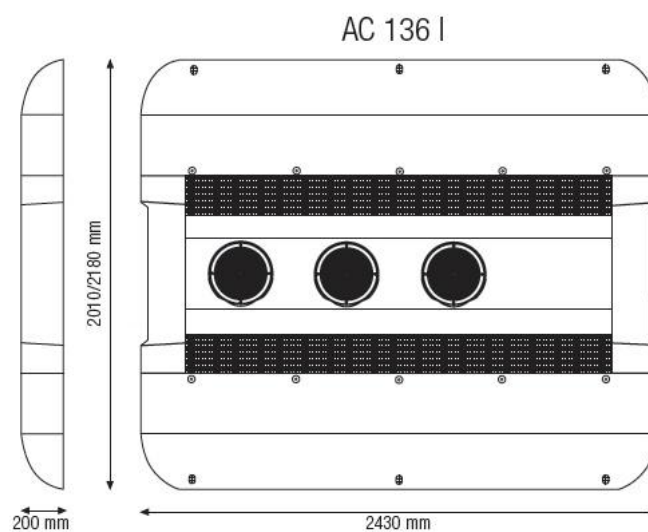
Σχήμα 19: Ο ελεγκτής Wabco ATC (κάτω) και οι διακόπτες λειτουργίας του

2.4. Κλιματισμός

Για τον κλιματισμό του Urbino 18 χρησιμοποιείται το σύστημα οροφής SUTRAK AC 136.1 (σχήμα 20), απόδοσης 182.000 BTU. Το κλιματιστικό απορροφά καταρχάς ισχύ από τον κινητήρα, καθώς ο συμπιεστής του συνδέεται με τον κινητήρα μέσω ιμάντα. Η απορροφούμενη ισχύς από τον κινητήρα κατά τον κλιματισμό[17] είναι 30 kW. Λειτουργεί, όπως όλα τα ηλεκτρονικά του λεωφορείου στα 24 V και απορροφά 58 A για τις υπόλοιπες λειτουργίες του εκτός του συμπιεστή (ανεμιστήρες, ατμοποιητής κλπ.), άρα καταναλώνει ισχύ $24 \times 58 = 1.392 \text{ W}$ προερχόμενη από τον συσσωρευτή. Σε λειτουργία air-conditioning έχει ψυκτική ισχύ 27 kW.

Το SUTRAK AC 136.1 έχει και λειτουργία θέρμανσης, κατά την οποία αποδίδει θερμαντική ισχύ 37 kW. Επειδή όμως η συμβατική θέρμανση του λεωφορείου κρίνεται επαρκής, η συγκεκριμένη επιπρόσθετη θέρμανση χρησιμοποιείται εξαιρετικά σπάνια, οπότε και δε θα ληφθεί στη παρούσα εργασία υπόψιν.

Στη λειτουργία εξαερισμού, το κλιματιστικό σύστημα απλώς μεταφέρει τον εξωτερικό αέρα στο εσωτερικό της καμπίνας με χρήση των ανεμιστήρων του. Το σύστημα έχει ονομαστική απόδοση ταχύτητας αέρα 4.400 m^3 ανά ώρα, άρα με χρήση του διαγράμματος 2 ξανά, υπολογίζεται ότι η ηλεκτρική κατανάλωση των ανεμιστήρων είναι περίπου 1100 W.



Σχήμα 20: Το κλιματιστικό σύστημα SUTRAK AC 136.1

2.5. Εσωτερικός και εξωτερικός φωτισμός

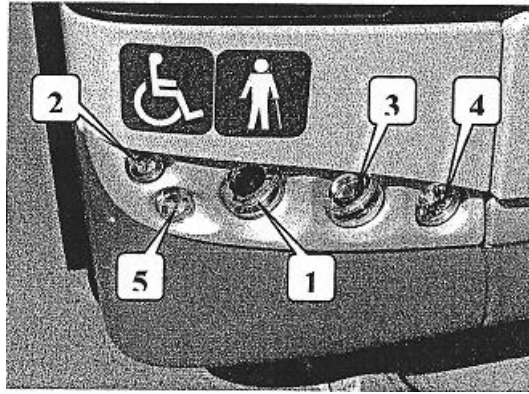
I) Εξωτερικός φωτισμός

Ο εξωτερικός φωτισμός αποτελείται από μία ομάδα μπροστινών λαμπτήρων, μία ομάδα οπίσθιων λαμπτήρων, πλευρικούς ενδεικτικούς λαμπτήρες και τους λαμπτήρες καθορισμού όγκου σε κάθε πλευρά του λεωφορείου. Στον πίνακα 3 δίνονται όλοι οι λαμπτήρες και τα εξωτερικά φώτα του λεωφορείου.

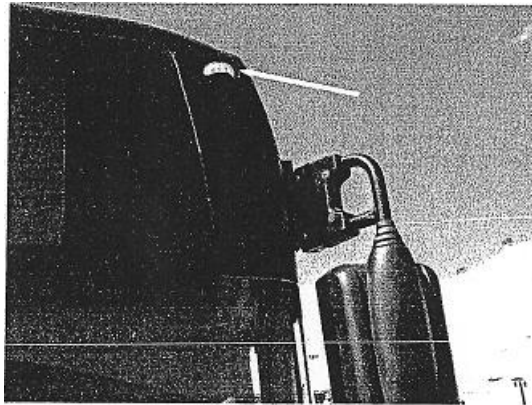
Λαμπτήρες	Τύπος	Κατανάλωση	Ποσότητα
Φώτα στάθμευσης	R5W	5W	2
Φώτα πορείας (μεσαία σκάλα)	H1	70W	2
Προβολείς (μεγάλη σκάλα)	H7	70W	2
Προβολείς ομίχλης	H1	70W	2
Μπροστινά φλας	PY21W	21W	2
Λυχνίες όγκου (επάνω)	LED diode	1W	2
Πλευρικά φλας	P21W	21W	2
Πλευρικοί λαμπτήρες όγκου	LED diode	1W	15
Φώτα στάθμευσης (στοπ)	R5W	5W	2
Πίσω φλας	P21W	21W	2
Φώτα όπισθεν	P21W	21W	2
Πίσω φώτα ομίχλης	P21W	21W	2
Φώτα στάθμευσης (επάνω)	R5W	5W	2
Φώτα πινακίδας αριθμού κυκλ.	C5W	5W	2
Σύστημα LCD απεικόνισης προορισμού GORBA	HPL	25W	2

Πίνακας 3: Αναλυτικός πίνακας εξωτερικού φωτισμού και λαμπτήρων του Urbino 18

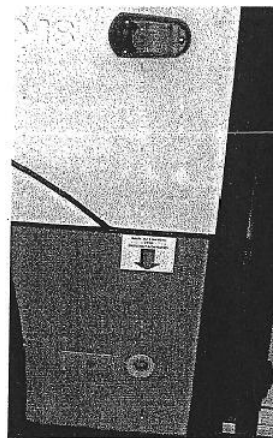
Φυσικά δεν ανάβουν όλοι οι παραπάνω λαμπτήρες ταυτόχρονα και η συγκεντρωτική τους κατανάλωση θα υπολογισθεί αργότερα. Στα σχήματα 21 έως 26 που ακολουθούν παρατίθενται μερικές εικόνες του Urbino 18 οι οποίες απεικονίζουν τα φώτα και τους λαμπτήρες του, προς χάριν πληρέστερης εικόνας του συστήματος φωτισμού το λεωφορείου. Δυστυχώς τα σχήματα που ανακτήθηκαν από το αρχείο είναι ασπρόμαυρα, κάτι που τα καθιστά ελαφρώς δυσδιάκριτα.



Σχήμα 21: Άποψη του μπροστινού λαμπτήρα: 1 – φώτα πορείας, 2 – μπροστινά φλας, 3 – φώτα ομίχλης, 4 – φώτα οδήγησης, 5 – φώτα στάθμευσης



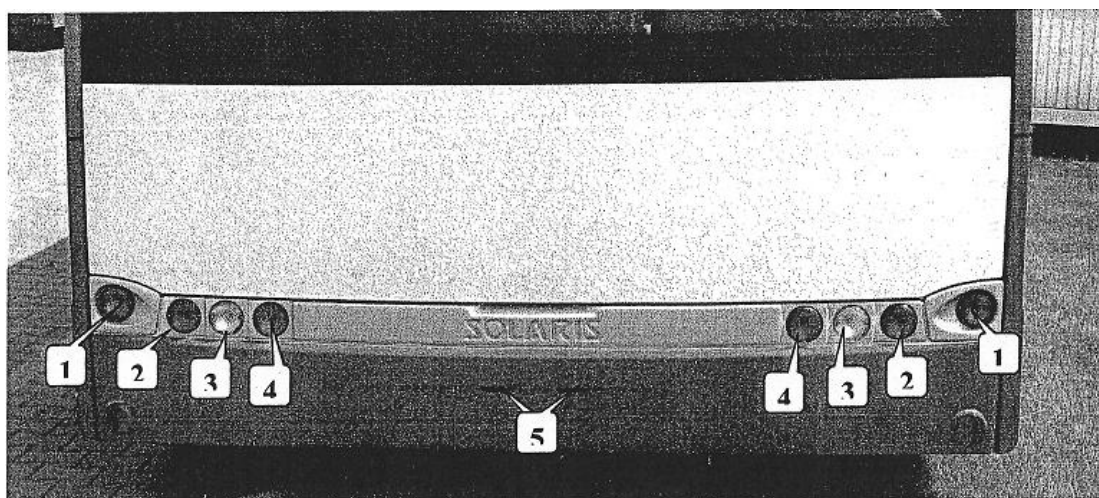
Σχήμα 22: Λαμπτήρες καθορισμού όγκου (μπροστινοί)



Σχήμα 23: Διοδικές λυχνίες (πλάγια)



Σχήμα 24: Πλευρικό φλας



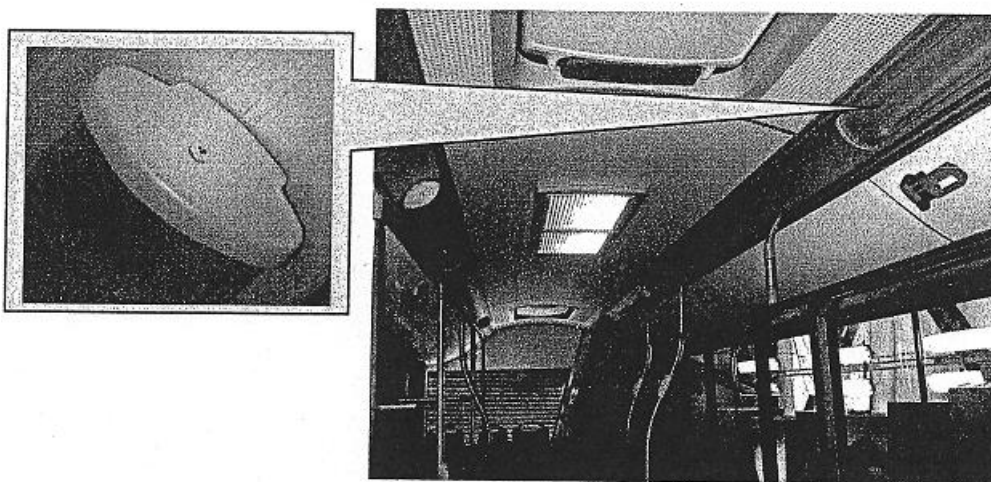
Σχήμα 25: Ομάδα οπίσθιου φωτισμού (κάτω μέρος): 1 - πίσω φλας , 2 - φώτα στάθμευσης (στοπ), 3 - φως της όπισθεν , 4 - φώτα ομίχλης , 5 - φώτα πινακίδας αριθμού κυκλοφορίας



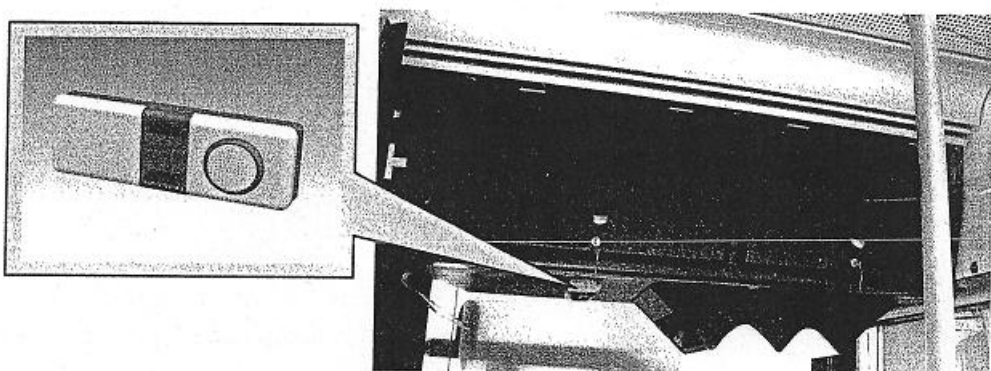
Σχήμα 26: Ομάδα λαμπτήρων στάθμευσης (πάνω μέρος)

II) Εσωτερικός φωτισμός

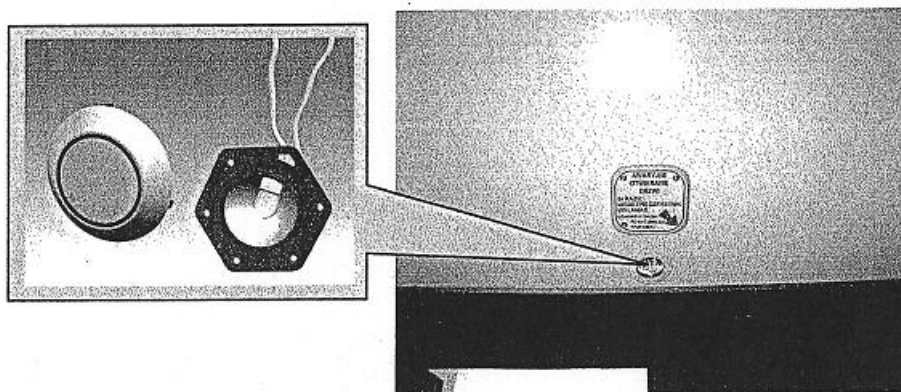
Ο εσωτερικός φωτισμός πραγματοποιείται με: i) λαμπτήρες πυρακτώσεως τοποθετημένες στον χώρο των επιβατών (σχήμα 27) , ii) λαμπτήρα στην καμπίνα του οδηγού (σχήμα 28) , iii) τέσσερις λαμπτήρες πάνω από τις εισόδους του Urbino 18 (σχήμα 29) και iv) έναν λαμπτήρα στον χώρο του κινητήρα (σχήμα 30). Πρόσβαση στους λαμπτήρες πυράκτωσης (για περίπτωση αλλαγής) δύναται από το εσωτερικό του λεωφορείου, αφού αφαιρεθεί το κάλυμμα της λάμπας.



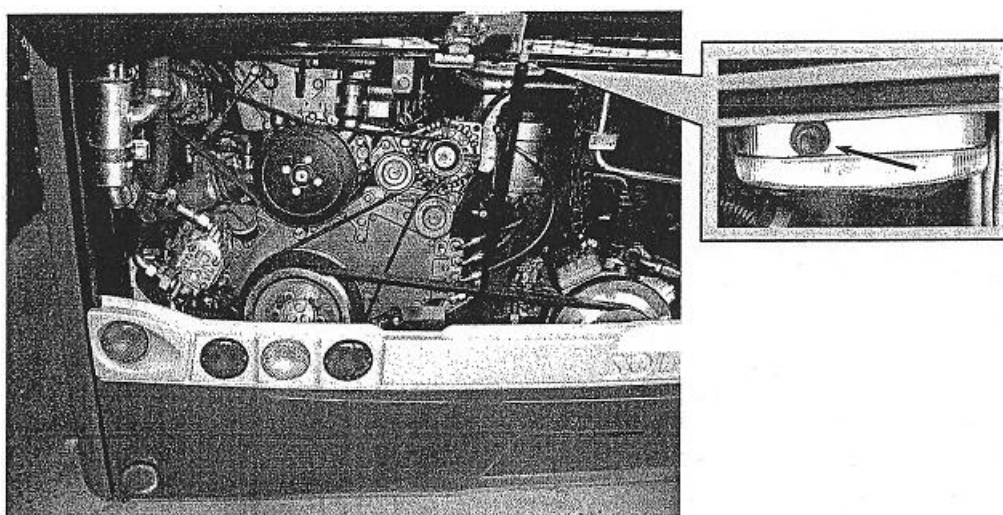
Σχήμα 27: Φωτισμός του χώρου των επιβατών



Σχήμα 28: Φωτισμός στο χώρο του οδηγού



Σχήμα 29: Φωτισμός πάνω από την είσοδο



Σχήμα 30: Φωτισμός στον χώρο του κινητήρα. Πρόσβαση στη λάμπα δίνεται αφού ανοίξει η πτυσσόμενη επιφάνεια συντήρησης του κινητήρα (πίσω και κάτω)

Στον χώρο των επιβατών ο φωτισμός πραγματοποιείται με λάμπες πυράκτωσης 50 W και 30 W. Η καμπίνα του οδηγού φωτίζεται με δύο λαμπτήρες 21 W και 10 W. Στον χώρο του κινητήρα υπάρχει μια λάμπα ισχύος 21 W.

2.6. Ηλεκτρονικά καμπίνας

I) Θολοειδής έγχρωμη κάμερα οροφής DBD 104060

Πρόκειται για μια κάμερα οροφής με Farbe αντιβανδαλιστικό κάλυμμα. Είναι θολοειδής έγχρωμη CCD, με τύπο ακροδέκτη BNC/AMP. Χρησιμοποιείται από τον οδηγό για επισκόπηση του χώρου των επιβατών, όπως και για εύκολο έλεγχο των εξόδων κατά την επιβίβαση/αποβίβαση. Έχει τάση λειτουργίας 12V DC και κατανάλωση ισχύος 1,5 W. Η κάμερα φαίνεται στο σχήμα 31.



Σχήμα 31: Κάμερα οροφής DBD 104060

II) 7” LCD οθόνη Rosho LCM 703 P

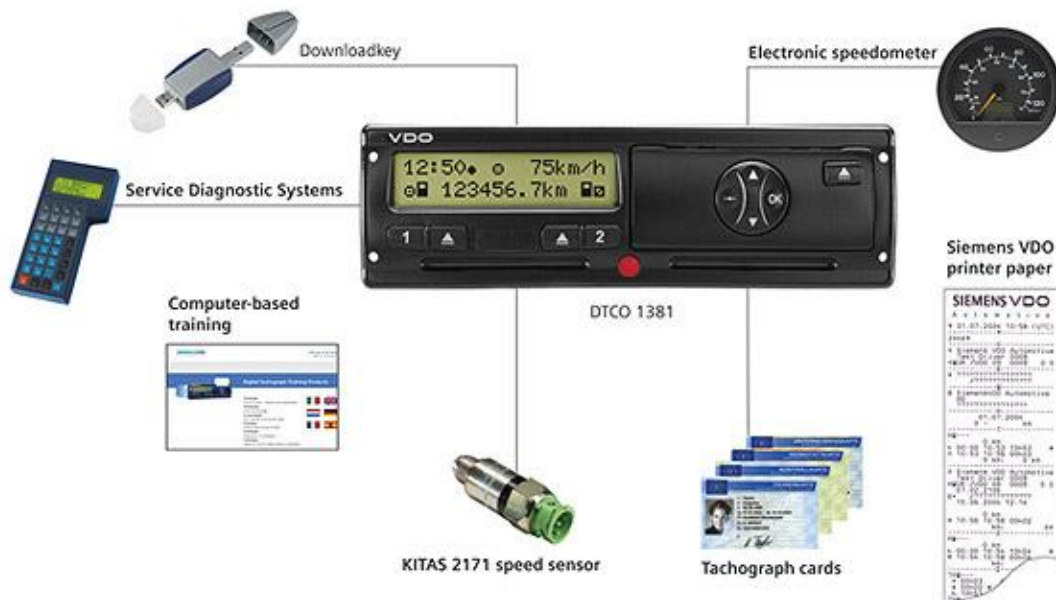
Συνδέεται με την κάμερα οροφής μέσω του ακροδέκτη BNC/AMP και απεικονίζει ό,τι βρίσκεται στην ακτίνα εμβέλειας της κάμερας. Έχει κομψό κάλυμμα, υψηλή φωτεινότητα και αντίθεση και έγχρωμη εικόνα. Λειτουργεί με 12 V DC και καταναλώνει 9,6 W. Η μορφή της οθόνης παρουσιάζεται στο σχήμα 32.



Σχήμα 32: LCD οθόνη LCM 703 P

III) Ταχογράφος DTCO 1381

Ο ταχογράφος DTCO 1381 χρησιμοποιείται για μέτρηση της ταχύτητας του οχήματος, μέτρηση της κατανάλωσης και καταγραφή των διαδρομών του λεωφορείου. Επίσης ενημερώνει τον οδηγό σε πραγματικό χρόνο για διάφορα σημαντικά θέματα όπως μπλοκαρισμένοι δρόμοι, αλλαγές δρομολογίων κλπ. Έχει κατανάλωση ισχύος 9,6 W. Ο συγκεκριμένος ταχογράφος φαίνεται στο σχήμα 33.



Σχήμα 33: Ο ταχογράφος DTCO 1381 και οι διάφορες λειτουργίες του

IV) Λοιπά ηλεκτρονικά

- **Μίζα Bosch 0 001 231 036:** Χρησιμοποιείται για την εκκίνηση του κινητήρα, δηλαδή σε ελάχιστες στιγμές μέσα στη μέρα. Έχει τάση 24V και κατανάλωση 4 kW και αν και ο χρόνος χρήσης του είναι λίγος, λόγω της τεράστιας κατανάλωσής του το ρεύμα που τραβά από τον συσσωρευτή είναι υπολογίσιμο.
- **Ακυρωτικά μηχανήματα και άλλα μικροηλεκτρονικά:** Επειδή δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες για καταναλώσεις άλλων μικροηλεκτρονικών συσκευών –που σίγουρα θα υπάρχουν- όπως τα ακυρωτικά μηχανήματα, θα υποτεθεί επιπρόσθετη κατανάλωση 10 W για τις συσκευές αυτές.

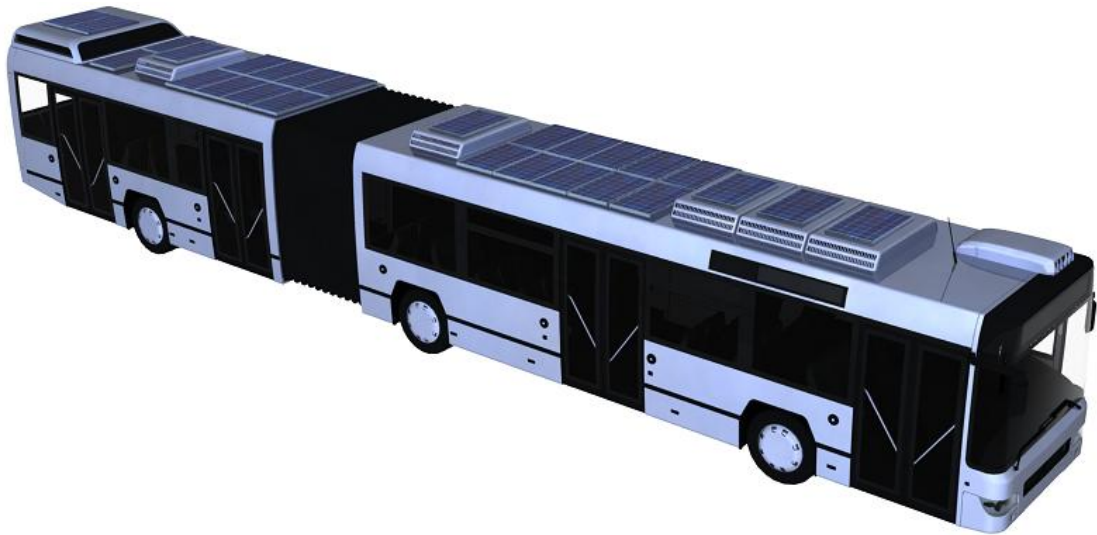
3. Η ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

3.1. Εισαγωγή

Έχοντας υπολογίσει τις ηλεκτρικές καταναλώσεις κάθε συστήματος και εξαρτήματος του Urbino 18, θα αναλυθεί τώρα η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση στην οροφή του λεωφορείου. Στα σχήματα 34, 35, 36, 37 παρουσιάζεται μια ποιοτική 3d απεικόνιση της ολοκληρωμένης εγκατάστασης. Σημειώνουμε ότι η απεικόνιση αυτή είναι καθαρά ενδεικτική, καθώς τόσο η πραγματική μορφή του λεωφορείου που θα μελετηθεί, όσο και η εγκατάσταση των πάνελ, διαφέρουν αισθητά.



Σχήμα 34: Πλάγια όψη της Φ/Β εγκατάστασης στην οροφή του λεωφορείου



Σχήμα 35: Πλάγια πάνω όψη της Φ/Β εγκατάστασης στην οροφή του λεωφορείου



Σχήμα 36: Οριζόντια όψη της Φ/Β εγκατάστασης στην οροφή του λεωφορείου



Σχήμα 37: Οριζόντια πάνω όψη της Φ/Β εγκατάστασης στην οροφή του λεωφορείου

Για την υλοποίηση αυτής της μελέτης, θα πρέπει αρχικά να υπολογισθεί η συγκεντρωτική ηλεκτρική κατανάλωση ανά μήνα του έτους, καθώς λόγω της διαφορετικής θερμοκρασίας, ακτινοβολίας αλλά και των διαφορετικών ωρών ανατολής και δύσης του ηλίου, η κατανάλωση διαφέρει σημαντικά από μήνα σε μήνα.

Στη συνέχεια θα υπολογιστούν τα χαρακτηριστικά των Φ/Β στοιχείων της εγκατάστασης, δηλαδή την επιφάνεια και την απόδοσή τους, και πάλι ξεχωριστά για κάθε μήνα του έτους, καθώς η μέση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια διαφέρει επίσης εξαιρετικά από μήνα σε μήνα.

Με τον υπολογισμό του ισοζυγίου ενέργειας που προκύπτει, θα προσδιορισθεί η αναγκαία χωρητικότητα και κατά συνέπεια και ο αναγκαίος αριθμός συσσωρευτών που απαιτείται για την απρόσκοπτη και αποδοτική λειτουργία του συστήματος, καθώς και το κάθε πότε θα χρειάζεται να λειτουργεί ο εναλλάκτης.

3.2. Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις

Για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής κατανάλωσης ανά μήνα, είναι αναγκαίο να γίνουν εξ'αρχής κάποιες παραδοχές. Οι παραδοχές αυτές προέκυψαν είτε από διασαφηνιστικές ερωτήσεις προς το προσωπικό του τεχνικού τμήματος της ΟΣΥ, είτε από προσωπική εμπειρία.

Πρώτον, προέκυψαν επαρκή στοιχεία για τους μήνες χρήσης του air-condition και της θέρμανσης. Το air-condition χρησιμοποιείται περίπου 4 μήνες το χρόνο, η θέρμανση 3 μήνες το χρόνο και τους υπόλοιπους μήνες ο εξαερισμός γίνεται όποτε χρειαστεί απλώς με το άνοιγμα των παραθύρων. Η χρήση του air-condition γίνεται περίπου στο διάστημα 15 Μαΐου – 15 Σεπτεμβρίου, ενώ η χρήση της θέρμανσης γίνεται κατά τους μήνες Δεκέμβριος – Ιανουάριος – Φεβρουάριος. Επειδή οι ηλιακές συνθήκες κατά τους μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο είναι παρόμοιες, θα υποθεθεί ότι η χρήση του air-condition γίνεται στο διάστημα 1 Μαΐου – 31 Αυγούστου, χωρίς αυτό να δημιουργεί αξιόλογη απόκλιση στα αποτελέσματα.

Δεύτερον, επειδή στα ηλεκτρονικά και στα φώτα του λεωφορείου εμπεριέχονται κάποια συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για μικρά συνολικά

χρονικά διαστήματα, όπως τα φώτα στάθμευσης (στοπ) και τα πλευρικά φλας, θα πρέπει να θεωρηθούν οι συνολικοί χρόνοι χρήσης τους μέσα στη μέρα. Αυτό θα γίνει καθαρά εμπειρικά και οι παραδοχές φαίνονται στον πίνακα 4.

Επίσης, οι ώρες λειτουργίας κάθε λεωφορείου διαφέρουν από γραμμή σε γραμμή. Άλλα ξεκινούν τα δρομολόγια 05.00 και λήγουν 23.00 ενώ άλλα μπορεί να ξεκινούν 06.00 και να λήγουν 23.30 κλπ. Θα πρέπει όμως να υπάρχει μια κοινή βάση χρόνου, συνεπώς για να επιλυθεί το θέμα αυτό θα θεωρηθεί ότι τα Urbino 18 βρίσκονται σε κίνηση από τις 06.00 έως τις 24.00 .

Τέλος, θα θεωρηθεί ότι κατά το ξεκίνημα της ημέρας, οι συσσωρευτές είναι 100% φορτισμένοι, με χρήση μετασχηματιστή στο αμαξοστάσιο. Η ενέργεια και το κόστος που απαιτείται για να γίνει αυτό θα υπολογισθεί αργότερα.

Λαμπτήρες	Χρονικό διάστημα ημερήσιας χρήσης	Ισχύς	Ποσότητα	Συνολική ημερήσια κατανάλωση
Φώτα στάθμευσης	1h	5W	2	10Wh
Μπροστινά φλας	0,75h	21W	2	31,5Wh
Πλευρικά φλας	0,75h	21W	2	31,5Wh
Φώτα στάθμευσης (στοπ)	1h	5W	2	10Wh
Πίσω φλας	0,75h	21W	2	31,5Wh
Φώτα όπισθεν	0,25h	21W	2	10,5Wh
Φώτα στάθμευσης (επάνω)	1h	5W	2	10Wh

Πίνακας 4: Συνολική κατανάλωση λαμπτήρων εξωτερικού φωτισμού σύντομης χρήσης

Για τον υπολογισμό όλων των υπόλοιπων καταναλώσεων θα πρέπει να γίνει ξεχωριστή ανάλυση για κάθε μήνα, όπως και θα γίνει παρακάτω, καθώς διαφέρουν μεταξύ τους αισθητά. Η διαδικασία υπολογισμού είναι η ίδια για όλους τους μήνες. Επιπλέον, θα βρεθούν χωριστά οι καταναλώσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, καθώς λόγω του επιπρόσθετου φωτισμού διαφέρουν επίσης εξαιρετικά. Η σημασία αυτής της κίνησης θα φανεί αργότερα. Σημειώνεται τέλος, ότι φως υπάρχει για περίπου 30 ακόμα λεπτά μετά την δύση του ηλίου[18].

Ι) Ιανουάριος

Ανατολή ηλίου[18]: 07.40

Δύση ηλίου: 17.28

Διάρκεια ημέρας: 9 ώρες και 48 λεπτά

Χρήση θέρμανσης: NAI, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας

Χρήση ψύξης: OXI

Χρήση φωτισμού: 06.00 – 08.00 και 18.00 – 24.00

Ηλεκτρικό σύστημα	Χρονικό διάστημα ημερήσιας χρήσης	Ισχύς	Ποσότητα	Συνολική ημερήσια κατανάλωση
Προβολείς (μεσαίοι ή μεγάλοι)	8h	70W	2	1120Wh
Λυχνίες όγκου (επάνω)	8h	1W	2	16Wh
Πλευρικοί λαμπτήρες όγκου	8h	1W	15	120Wh
Φώτα πινακίδας αριθμού κυκλ.	8h	5W	2	80Wh
Σύστημα GORBA	18h	25W	2	900Wh
Προβολείς ομίχλης	1h	70W	2	140Wh
Πίσω φώτα ομίχλης	1h	21W	2	42Wh
Συσκευές σύντομης χρήσης (π.4)	-	-	-	135Wh
Λαμπτήρες πυρακτώσεως	8h	50W	4	1600Wh
Λαμπτήρες πάνω από τις εισοδ.	8h	30W	4	960Wh
Λαμπτήρας 1 στο χώρο οδηγού	8h	21W	1	168Wh
Λαμπτήρας 2 στο χώρο οδηγού	8h	10W	1	80Wh
Λαμπτήρας στον κινητήρα	8h	21W	1	168Wh
Σύστημα ψύξης	-	-	-	-
Σύστημα θέρμανσης Webasto	18h	140W	1	2520Wh
Μπροστά καλοριφέρ	18h	190W	1	3420Wh
Θερμαντήρες επιβατών	18h	120W	4	8640Wh
Θερμαντήρες Pedro Sanz	18h	110W	2	3960Wh
Θολοειδής κάμερα οροφής	18h	1,5W	1	27Wh
LCD οθόνη LCM 703 P	18h	9,6W	1	173Wh
Ταχογράφος DTCO 1381	18h	9,6W	1	173Wh
Μίζα Bosch	0,02h	4kW	1	80Wh
Άλλα μικροηλεκτρονικά	18h	10W	1	180Wh

Πίνακας 5: Αναλυτικός πίνακας ηλεκτρικών καταναλώσεων για τον μήνα Ιανουάριο

Συνολική ημερήσια κατανάλωση: **24,702 kWh**

Συνολική *ωριαία* κατανάλωση κατά τη διάρκεια της ημέρας (10 ώρες): **1,123 kWh**

Συνολική *ωριαία* κατανάλωση κατά τη διάρκεια της νύχτας (8 ώρες): **1,684 kWh**

II) Φεβρουάριος

Ανατολή ηλίου: 07.17

Δύση ηλίου: 18.02

Διάρκεια ημέρας: 10 ώρες και 45 λεπτά

Χρήση θέρμανσης: ΝΑΙ, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας

Χρήση ψύξης: ΟΧΙ

Χρήση φωτισμού: 06.00 – 07.15 και 18.30 – 24.00

Ηλεκτρικό σύστημα	Χρονικό διάστημα ημερήσιας χρήσης	Ισχύς	Ποσότητα	Συνολική ημερήσια κατανάλωση
Προβολείς (μεσαίοι ή μεγάλοι)	6,75h	70W	2	945Wh
Λυχνίες όγκου (επάνω)	6,75h	1W	2	13,5Wh
Πλευρικοί λαμπτήρες όγκου	6,75h	1W	15	101,25Wh
Φώτα πινακίδας αριθμού κυκλ.	6,75h	5W	2	67,5Wh
Σύστημα GORBA	18h	25W	2	900Wh
Προβολείς ομίχλης	1h	70W	2	140Wh
Πίσω φώτα ομίχλης	1h	21W	2	42Wh
Συσκευές σύντομης χρήσης (π.4)	-	-	-	135Wh
Λαμπτήρες πυρακτώσεως	6,75h	50W	4	1350Wh
Λαμπτήρες πάνω από τις εισοδ.	6,75h	30W	4	810Wh
Λαμπτήρας 1 στο χώρο οδηγού	6,75h	21W	1	141,75Wh
Λαμπτήρας 2 στο χώρο οδηγού	6,75h	10W	1	67,5Wh
Λαμπτήρας στον κινητήρα	6,75h	21W	1	141,75Wh
Σύστημα ψύξης	-	-	-	-
Σύστημα θέρμανσης Webasto	18h	140W	1	2520Wh
Μπροστά καλοριφέρ	18h	190W	1	3420Wh
Θερμαντήρες επιβατών	18h	120W	4	8640Wh
Θερμαντήρες Pedro Sanz	18h	110W	2	3960Wh
Θολοειδής κάμερα οροφής	18h	1,5W	1	27Wh
LCD οθόνη LCM 703 P	18h	9,6W	1	173Wh
Ταχογράφος DTCO 1381	18h	9,6W	1	173Wh
Μίζα Bosch	0,02h	4kW	1	80Wh
Άλλα μικροηλεκτρονικά	18h	10W	1	180Wh

Πίνακας 6: Αναλυτικός πίνακας ηλεκτρικών καταναλώσεων για τον μήνα Φεβρουάριο

Συνολική ημερήσια κατανάλωση: **24,001 kWh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της ημέρας (11,25 ώρες): **1,123 kWh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της νύχτας (6,75 ώρες): **1,684 kWh**

III) Μάρτιος

Ανατολή ηλίου: 06.36

Δύση ηλίου: 18.32

Διάρκεια ημέρας: 11 ώρες και 56 λεπτά

Χρήση θέρμανσης: ΟΧΙ

Χρήση ψύξης: ΟΧΙ

Χρήση φωτισμού: 06.00 – 06.30 και 19.00 – 24.00

Ηλεκτρικό σύστημα	Χρονικό διάστημα Ημερήσιας χρήσης	Ισχύς	Ποσότητα	Συνολική ημερήσια κατανάλωση
Προβολείς (μεσαίοι ή μεγάλοι)	5,5h	70W	2	770Wh
Λυχνίες όγκου (επάνω)	5,5h	1W	2	11Wh
Πλευρικοί λαμπτήρες όγκου	5,5h	1W	15	82,5Wh
Φώτα πινακίδας αριθμού κυκλ.	5,5h	5W	2	55Wh
Σύστημα GORBA	18h	25W	2	900Wh
Προβολείς ομίχλης	1h	70W	2	140Wh
Πίσω φώτα ομίχλης	1h	21W	2	42Wh
Συσκευές σύντομης χρήσης (π.4)	-	-	-	135Wh
Λαμπτήρες πυρακτώσεως	5,5h	50W	4	1100Wh
Λαμπτήρες πάνω από τις εισοδ.	5,5h	30W	4	660Wh
Λαμπτήρας 1 στο χώρο οδηγού	5,5h	21W	1	115,5Wh
Λαμπτήρας 2 στο χώρο οδηγού	5,5h	10W	1	55Wh
Λαμπτήρας στον κινητήρα	5,5h	21W	1	115,5Wh
Σύστημα ψύξης	-	-	-	-
Σύστημα θέρμανσης Webasto	-	-	-	-
Μπροστά καλοριφέρ	-	-	-	-
Θερμαντήρες επιβατών	-	-	-	-
Θερμαντήρες Pedro Sanz	-	-	-	-
Θολοειδής κάμερα οροφής	18h	1,5W	1	27Wh
LCD οθόνη LCM 703 P	18h	9,6W	1	173Wh
Ταχογράφος DTCO 1381	18h	9,6W	1	173Wh
Μίζα Bosch	0,02h	4kW	1	80Wh
Άλλα μικροηλεκτρονικά	18h	10W	1	180Wh

Πίνακας 7: Αναλυτικός πίνακας ηλεκτρικών καταναλώσεων για τον μήνα Μάρτιο

Συνολική ημερήσια κατανάλωση: **4,739 kWh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της ημέρας (12,5 ώρες): **92,5 Wh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της νύχτας (5,5 ώρες): **654,4 Wh**

IV) Απρίλιος

Ανατολή ηλίου: 06.50

Δύση ηλίου: 20.01

Διάρκεια ημέρας: 13 ώρες και 11 λεπτά

Χρήση θέρμανσης: ΟΧΙ

Χρήση ψύξης: ΟΧΙ

Χρήση φωτισμού: 06.00 – 07.00 και 20.30 – 24.00

Ηλεκτρικό σύστημα	Χρονικό διάστημα ημερήσιας χρήσης	Ισχύς	Ποσότητα	Συνολική ημερήσια κατανάλωση
Προβολείς (μεσαίοι ή μεγάλοι)	4,5h	70W	2	630Wh
Λυχνίες όγκου (επάνω)	4,5h	1W	2	9Wh
Πλευρικοί λαμπτήρες όγκου	4,5h	1W	15	67,5Wh
Φώτα πινακίδας αριθμού κυκλ.	4,5h	5W	2	45Wh
Σύστημα GORBA	18h	25W	2	900Wh
Προβολείς ομίχλης	-	-	-	-
Πίσω φώτα ομίχλης	-	-	-	-
Συσκευές σύντομης χρήσης (π.4)	-	-	-	135Wh
Λαμπτήρες πυρακτώσεως	4,5h	50W	4	900Wh
Λαμπτήρες πάνω από τις εισοδ.	4,5h	30W	4	540Wh
Λαμπτήρας 1 στο χώρο οδηγού	4,5h	21W	1	94,5Wh
Λαμπτήρας 2 στο χώρο οδηγού	4,5h	10W	1	45Wh
Λαμπτήρας στον κινητήρα	4,5h	21W	1	94,5Wh
Σύστημα ψύξης	-	-	-	-
Σύστημα θέρμανσης Webasto	-	-	-	-
Μπροστά καλοριφέρ	-	-	-	-
Θερμαντήρες επιβατών	-	-	-	-
Θερμαντήρες Pedro Sanz	-	-	-	-
Θολοειδής κάμερα οροφής	18h	1,5W	1	27Wh
LCD οθόνη LCM 703 P	18h	9,6W	1	173Wh
Ταχογράφος DTCO 1381	18h	9,6W	1	173Wh
Μίζα Bosch	0,02h	4kW	1	80Wh
Άλλα μικροηλεκτρονικά	18h	10W	1	180Wh

Πίνακας 8: Αναλυτικός πίνακας ηλεκτρικών καταναλώσεων για τον μήνα Απρίλιο

Συνολική ημερήσια κατανάλωση: **4,094 kWh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της ημέρας (13,5 ώρες): **92,5 Wh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της νύχτας (4,5 ώρες): **631,7 Wh**

V) Μάιος

Ανατολή ηλίου: 06.15

Δύση ηλίου: 20.28

Διάρκεια ημέρας: 14 ώρες και 13 λεπτά

Χρήση θέρμανσης: ΟΧΙ

Χρήση ψύξης: ΝΑΙ, καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας

Χρήση φωτισμού: 06.00 – 06.15 και 21.00 – 24.00

Ηλεκτρικό σύστημα	Χρονικό διάστημα ημερήσιας χρήσης	Ισχύς	Ποσότητα	Συνολική ημερήσια κατανάλωση
Προβολείς (μεσαίοι ή μεγάλοι)	3,25h	70W	2	455Wh
Λυχνίες όγκου (επάνω)	3,25h	1W	2	6,5Wh
Πλευρικοί λαμπτήρες όγκου	3,25h	1W	15	48,75Wh
Φώτα πινακίδας αριθμού κυκλ.	3,25h	5W	2	32,5Wh
Σύστημα GORBA	3,25h	25W	2	162,5Wh
Προβολείς ομίχλης	-	-	-	-
Πίσω φώτα ομίχλης	-	-	-	-
Συσκευές σύντομης χρήσης (π.4)	-	-	-	135Wh
Λαμπτήρες πυρακτώσεως	3,25h	50W	4	650Wh
Λαμπτήρες πάνω από τις εισοδ.	3,25h	30W	4	390Wh
Λαμπτήρας 1 στο χώρο οδηγού	3,25h	21W	1	68,25Wh
Λαμπτήρας 2 στο χώρο οδηγού	3,25h	10W	1	32,5Wh
Λαμπτήρας στον κινητήρα	3,25h	21W	1	68,25Wh
Σύστημα ψύξης	18h	1392W	1	25506Wh
Σύστημα θέρμανσης Webasto	-	-	-	-
Μπροστά καλοριφέρ	-	-	-	-
Θερμαντήρες επιβατών	-	-	-	-
Θερμαντήρες Pedro Sanz	-	-	-	-
Θολοειδής κάμερα οροφής	18h	1,5W	1	27Wh
LCD οθόνη LCM 703 P	18h	9,6W	1	173Wh
Ταχογράφος DTCO 1381	18h	9,6W	1	173Wh
Μίζα Bosch	0,02h	4kW	1	80Wh
Άλλα μικροηλεκτρονικά	18h	10W	1	180Wh

Πίνακας 9: Αναλυτικός πίνακας ηλεκτρικών καταναλώσεων για τον μήνα Μάιο

Συνολική ημερήσια κατανάλωση: **28,48 kWh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της ημέρας (14,75 ώρες): **1,485 kWh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της νύχτας (3,25 ώρες): **2,024 kWh**

VI) Ιούνιος

Ανατολή ηλίου: 06.01

Δύση ηλίου: 20.49

Διάρκεια ημέρας: 14 ώρες και 48 λεπτά

Χρήση θέρμανσης: ΟΧΙ

Χρήση ψύξης: ΝΑΙ, καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας

Χρήση φωτισμού: 21.15 – 24.00

Ηλεκτρικό σύστημα	Χρονικό διάστημα ημερήσιας χρήσης	Ισχύς	Ποσότητα	Συνολική ημερήσια κατανάλωση
Προβολείς (μεσαίοι ή μεγάλοι)	2,75h	70W	2	385Wh
Λυχνίες όγκου (επάνω)	2,75h	1W	2	5.5Wh
Πλευρικοί λαμπτήρες όγκου	2,75h	1W	15	41,25Wh
Φώτα πινακίδας αριθμού κυκλ.	2,75h	5W	2	27,5Wh
Σύστημα GORBA	2,75h	25W	2	137,5Wh
Προβολείς ομίχλης	-	-	-	-
Πίσω φώτα ομίχλης	-	-	-	-
Συσκευές σύντομης χρήσης (π.4)	-	-	-	135Wh
Λαμπτήρες πυρακτώσεως	2,75h	50W	4	550Wh
Λαμπτήρες πάνω από τις εισοδ.	2,75h	30W	4	330Wh
Λαμπτήρας 1 στο χώρο οδηγού	2,75h	21W	1	57,75Wh
Λαμπτήρας 2 στο χώρο οδηγού	2,75h	10W	1	27,5Wh
Λαμπτήρας στον κινητήρα	2,75h	21W	1	57,75Wh
Σύστημα ψύξης	18h	1392W	1	25506Wh
Σύστημα θέρμανσης Webasto	-	-	-	-
Μπροστά καλοριφέρ	-	-	-	-
Θερμαντήρες επιβατών	-	-	-	-
Θερμαντήρες Pedro Sanz	-	-	-	-
Θολοειδής κάμερα οροφής	18h	1,5W	1	27Wh
LCD οθόνη LCM 703 P	18h	9,6W	1	173Wh
Ταχογράφος DTCO 1381	18h	9,6W	1	173Wh
Μίζα Bosch	0,02h	4kW	1	80Wh
Άλλα μικροηλεκτρονικά	18h	10W	1	180Wh

Πίνακας 10: Αναλυτικός πίνακας ηλεκτρικών καταναλώσεων για τον μήνα Ιούνιο

Συνολική ημερήσια κατανάλωση: **28,2 kWh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της ημέρας (15,25 ώρες): **1,485 kWh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της νύχτας (2,75 ώρες): **2,024 kWh**

VII) Ιούλιος

Ανατολή ηλίου: 06.14

Δύση ηλίου: 20.47

Διάρκεια ημέρας: 14 ώρες και 33 λεπτά

Χρήση θέρμανσης: ΟΧΙ

Χρήση ψύξης: ΝΑΙ, καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας

Χρήση φωτισμού: 06.00 – 06.15 και 21.15 – 24.00

Ηλεκτρικό σύστημα	Χρονικό διάστημα ημερήσιας χρήσης	Ισχύς	Ποσότητα	Συνολική ημερήσια κατανάλωση
Προβολείς (μεσαίοι ή μεγάλοι)	3h	70W	2	420Wh
Λυχνίες όγκου (επάνω)	3h	1W	2	6Wh
Πλευρικοί λαμπτήρες όγκου	3h	1W	15	45Wh
Φώτα πινακίδας αριθμού κυκλ.	3h	5W	2	30Wh
Σύστημα GORBA	18h	25W	2	900Wh
Προβολείς ομίχλης	-	-	-	-
Πίσω φώτα ομίχλης	-	-	-	-
Συσκευές σύντομης χρήσης (π.4)	-	-	-	135Wh
Λαμπτήρες πυρακτώσεως	3h	50W	4	600Wh
Λαμπτήρες πάνω από τις εισοδ.	3h	30W	4	360Wh
Λαμπτήρας 1 στο χώρο οδηγού	3h	21W	1	63Wh
Λαμπτήρας 2 στο χώρο οδηγού	3h	10W	1	30Wh
Λαμπτήρας στον κινητήρα	3h	21W	1	63Wh
Σύστημα ψύξης	18h	1392W	1	25506Wh
Σύστημα θέρμανσης Webasto	-	-	-	-
Μπροστά καλοριφέρ	-	-	-	-
Θερμαντήρες επιβατών	-	-	-	-
Θερμαντήρες Pedro Sanz	-	-	-	-
Θολοειδής κάμερα οροφής	18h	1,5W	1	27Wh
LCD οθόνη LCM 703 P	18h	9,6W	1	137Wh
Ταχογράφος DTCO 1381	18h	9,6W	1	137Wh
Μίζα Bosch	0,02h	4kW	1	80Wh
Άλλα μικροηλεκτρονικά	18h	10W	1	180Wh

Πίνακας 11: Αναλυτικός πίνακας ηλεκτρικών καταναλώσεων για τον μήνα Ιούλιο

Συνολική ημερήσια κατανάλωση: **28,34 kWh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της ημέρας (15 ώρες): **1,485 kWh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της νύχτας (3 ώρες): **2,024 kWh**

VIII) Αύγουστος

Ανατολή ηλίου: 06.39

Δύση ηλίου: 20.19

Διάρκεια ημέρας: 13 ώρες και 40 λεπτά

Χρήση θέρμανσης: ΟΧΙ

Χρήση ψύξης: ΝΑΙ, καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας

Χρήση φωτισμού: 06.00 – 06.45 και 20.45 – 24.00

Ηλεκτρικό σύστημα	Χρονικό διάστημα ημερήσιας χρήσης	Ισχύς	Ποσότητα	Συνολική ημερήσια κατανάλωση
Προβολείς (μεσαίοι ή μεγάλοι)	4h	70W	2	560Wh
Λυχνίες όγκου (επάνω)	4h	1W	2	8Wh
Πλευρικοί λαμπτήρες όγκου	4h	1W	15	60Wh
Φώτα πινακίδας αριθμού κυκλ.	4h	5W	2	40Wh
Σύστημα GORBA	18h	25W	2	900Wh
Προβολείς ομίχλης	-	-	-	-
Πίσω φώτα ομίχλης	-	-	-	-
Συσκευές σύντομης χρήσης (π.4)	-	-	-	135Wh
Λαμπτήρες πυρακτώσεως	4h	50W	4	800Wh
Λαμπτήρες πάνω από τις εισοδ.	4h	30W	4	480Wh
Λαμπτήρας 1 στο χώρο οδηγού	4h	21W	1	84Wh
Λαμπτήρας 2 στο χώρο οδηγού	4h	10W	1	40Wh
Λαμπτήρας στον κινητήρα	4h	21W	1	84Wh
Σύστημα ψύξης	18h	1392W	1	25506Wh
Σύστημα θέρμανσης Webasto	-	-	-	-
Μπροστά καλοριφέρ	-	-	-	-
Θερμαντήρες επιβατών	-	-	-	-
Θερμαντήρες Pedro Sanz	-	-	-	-
Θολοειδής κάμερα οροφής	18h	1,5W	1	27Wh
LCD οθόνη LCM 703 P	18h	9,6W	1	137Wh
Ταχογράφος DTCO 1381	18h	9,6W	1	137Wh
Μίζα Bosch	0,02h	4kW	1	80Wh
Άλλα μικροηλεκτρονικά	18h	10W	1	180Wh

Πίνακας 12: Αναλυτικός πίνακας ηλεκτρικών καταναλώσεων για τον μήνα Αύγουστο

Συνολική ημερήσια κατανάλωση: **28,88 kWh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της ημέρας (14 ώρες): **1,485 kWh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της νύχτας (4 ώρες): **2,024 kWh**

IX) Σεπτέμβριος

Ανατολή ηλίου: 07.06

Δύση ηλίου: 19.32

Διάρκεια ημέρας: 12 ώρες και 26 λεπτά

Χρήση θέρμανσης: ΟΧΙ

Χρήση ψύξης: ΟΧΙ

Χρήση φωτισμού: 06.00 – 07.00 και 20.00 – 24.00

Ηλεκτρικό σύστημα	Χρονικό διάστημα ημερήσιας χρήσης	Ισχύς	Ποσότητα	Συνολική ημερήσια κατανάλωση
Προβολείς (μεσαίοι ή μεγάλοι)	5h	70W	2	700Wh
Λυχνίες όγκου (επάνω)	5h	1W	2	10Wh
Πλευρικοί λαμπτήρες όγκου	5h	1W	15	75Wh
Φώτα πινακίδας αριθμού κυκλ.	5h	5W	2	50Wh
Σύστημα GORBA	18h	25W	2	900Wh
Προβολείς ομίχλης	-	-	-	-
Πίσω φώτα ομίχλης	-	-	-	-
Συσκευές σύντομης χρήσης (π.4)	-	-	-	135Wh
Λαμπτήρες πυρακτώσεως	5h	50W	4	1000Wh
Λαμπτήρες πάνω από τις εισοδ.	5h	30W	4	600Wh
Λαμπτήρας 1 στο χώρο οδηγού	5h	21W	1	105Wh
Λαμπτήρας 2 στο χώρο οδηγού	5h	10W	1	50Wh
Λαμπτήρας στον κινητήρα	5h	21W	1	105Wh
Σύστημα ψύξης	-	-	-	-
Σύστημα θέρμανσης Webasto	-	-	-	-
Μπροστά καλοριφέρ	-	-	-	-
Θερμαντήρες επιβατών	-	-	-	-
Θερμαντήρες Pedro Sanz	-	-	-	-
Θολοειδής κάμερα οροφής	18h	1,5W	1	27Wh
LCD οθόνη LCM 703 P	18h	9,6W	1	173Wh
Ταχογράφος DTCO 1381	18h	9,6W	1	173Wh
Μίζα Bosch	0,02h	4kW	1	80Wh
Άλλα μικροηλεκτρονικά	18h	10W	1	180Wh

Πίνακας 13: Αναλυτικός πίνακας ηλεκτρικών καταναλώσεων για τον μήνα Σεπτέμβριο

Συνολική ημερήσια κατανάλωση: **4,361 kWh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της ημέρας (13 ώρες): **92,5 Wh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της νύχτας (5 ώρες): **631,7 Wh**

Χ) Οκτώβριος

Ανατολή ηλίου: 07.34

Δύση ηλίου: 18.47

Διάρκεια ημέρας: 11 ώρες και 13 λεπτά

Χρήση θέρμανσης: ΟΧΙ

Χρήση ψύξης: ΟΧΙ

Χρήση φωτισμού: 06.00 – 07.30 και 19.15 – 24.00

Ηλεκτρικό σύστημα	Χρονικό διάστημα ημερήσιας χρήσης	Ισχύς	Ποσότητα	Συνολική ημερήσια κατανάλωση
Προβολείς (μεσαίοι ή μεγάλοι)	6,25h	70W	2	875Wh
Λυχνίες όγκου (επάνω)	6,25h	1W	2	12.5Wh
Πλευρικοί λαμπτήρες όγκου	6,25h	1W	15	93,75Wh
Φώτα πινακίδας αριθμού κυκλ.	6,25h	5W	2	62.,Wh
Σύστημα GORBA	18h	25W	2	900Wh
Προβολείς ομίχλης	-	-	-	-
Πίσω φώτα ομίχλης	-	-	-	-
Συσκευές σύντομης χρήσης (π.4)	-	-	-	135Wh
Λαμπτήρες πυρακτώσεως	6,25h	50W	4	1250Wh
Λαμπτήρες πάνω από τις εισοδ.	6,25h	30W	4	750Wh
Λαμπτήρας 1 στο χώρο οδηγού	6,25h	21W	1	131,25Wh
Λαμπτήρας 2 στο χώρο οδηγού	6,25h	10W	1	62,5Wh
Λαμπτήρας στον κινητήρα	6,25h	21W	1	131,25Wh
Σύστημα ψύξης	-	-	-	-
Σύστημα θέρμανσης Webasto	-	-	-	-
Μπροστά καλοριφέρ	-	-	-	-
Θερμαντήρες επιβατών	-	-	-	-
Θερμαντήρες Pedro Sanz	-	-	-	-
Θολοειδής κάμερα οροφής	18h	1,5W	1	27Wh
LCD οθόνη LCM 703 P	18h	9,6W	1	173Wh
Ταχογράφος DTCO 1381	18h	9,6W	1	173Wh
Μίζα Bosch	0,02h	4kW	1	80Wh
Άλλα μικροηλεκτρονικά	18h	10W	1	180Wh

Πίνακας 14: Αναλυτικός πίνακας ηλεκτρικών καταναλώσεων για τον μήνα Οκτώβριο

Συνολική ημερήσια κατανάλωση: **5,03 kWh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της ημέρας (11,75 ώρες): **92,5 Wh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της νύχτας (6,25 ώρες): **631,7 Wh**

XI) Νοέμβριος

Ανατολή ηλίου: 07.06

Δύση ηλίου: 17.13

Διάρκεια ημέρας: 10 ώρες και 7 λεπτά

Χρήση θέρμανσης: ΟΧΙ

Χρήση ψύξης: ΟΧΙ

Χρήση φωτισμού: 06.00 – 07.00 και 17.45 – 24.00

Ηλεκτρικό σύστημα	Χρονικό διάστημα ημερήσιας χρήσης	Ισχύς	Ποσότητα	Συνολική ημερήσια κατανάλωση
Προβολείς (μεσαίοι ή μεγάλοι)	7,25h	70W	2	1015Wh
Λυχνίες όγκου (επάνω)	7,25h	1W	2	14,5Wh
Πλευρικοί λαμπτήρες όγκου	7,25h	1W	15	108,75Wh
Φώτα πινακίδας αριθμού κυκλ.	7,25h	5W	2	82,5Wh
Σύστημα GORBA	18h	25W	2	900Wh
Προβολείς ομίχλης	1h	70W	2	140Wh
Πίσω φώτα ομίχλης	1h	21W	2	42Wh
Συσκευές σύντομης χρήσης (π.4)	-	-	-	135Wh
Λαμπτήρες πυρακτώσεως	7,25h	50W	4	1450Wh
Λαμπτήρες πάνω από τις εισοδ.	7,25h	30W	4	870Wh
Λαμπτήρας 1 στο χώρο οδηγού	7,25h	21W	1	152,25Wh
Λαμπτήρας 2 στο χώρο οδηγού	7,25h	10W	1	72,5Wh
Λαμπτήρας στον κινητήρα	7,25h	21W	1	152,25Wh
Σύστημα ψύξης	-	-	-	-
Σύστημα θέρμανσης Webasto	-	-	-	-
Μπροστά καλοριφέρ	-	-	-	-
Θερμαντήρες επιβατών	-	-	-	-
Θερμαντήρες Pedro Sanz	-	-	-	-
Θολοειδής κάμερα οροφής	18h	1,5W	1	27Wh
LCD οθόνη LCM 703 P	18h	9,6W	1	173Wh
Ταχογράφος DTCO 1381	18h	9,6W	1	173Wh
Μίζα Bosch	0,02h	4kW	1	80Wh
Άλλα μικροηλεκτρονικά	18h	10W	1	180Wh

Πίνακας 15: Αναλυτικός πίνακας ηλεκτρικών καταναλώσεων για τον μήνα Νοέμβριο

Συνολική ημερήσια κατανάλωση: **5,738 kWh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της ημέρας (10,75 ώρες): **92,5 Wh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της νύχτας (7,25 ώρες): **654,4 Wh**

XII) Δεκέμβριος

Ανατολή ηλίου: 07.35

Δύση ηλίου: 17.07

Διάρκεια ημέρας: 9 ώρες και 32 λεπτά

Χρήση θέρμανσης: ΝΑΙ, καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας

Χρήση ψύξης: ΟΧΙ

Χρήση φωτισμού: 06.00 – 07.30 και 17.30 – 24.00

Ηλεκτρικό σύστημα	Χρονικό διάστημα ημερήσιας χρήσης	Ισχύς	Ποσότητα	Συνολική ημερήσια κατανάλωση
Προβολείς (μεσαίοι ή μεγάλοι)	8h	70W	2	1120Wh
Λυχνίες όγκου (επάνω)	8h	1W	2	16Wh
Πλευρικοί λαμπτήρες όγκου	8h	1W	15	120Wh
Φώτα πινακίδας αριθμού κυκλ.	8h	5W	2	80Wh
Σύστημα GORBA	18h	25W	2	900Wh
Προβολείς ομίχλης	1h	70W	2	140Wh
Πίσω φώτα ομίχλης	1h	21W	2	42Wh
Συσκευές σύντομης χρήσης (π.4)	-	-	-	135Wh
Λαμπτήρες πυρακτώσεως	8h	50W	4	1600Wh
Λαμπτήρες πάνω από τις εισοδ.	8h	30W	4	960Wh
Λαμπτήρας 1 στο χώρο οδηγού	8h	21W	1	168Wh
Λαμπτήρας 2 στο χώρο οδηγού	8h	10W	1	80Wh
Λαμπτήρας στον κινητήρα	8h	21W	1	168Wh
Σύστημα ψύξης	-	-	-	-
Σύστημα θέρμανσης Webasto	18h	140W	1	2520Wh
Μπροστά καλοριφέρ	18h	190W	1	3420Wh
Θερμαντήρες επιβατών	18h	120W	4	8640Wh
Θερμαντήρες Pedro Sanz	18h	110W	2	3960Wh
Θολοειδής κάμερα οροφής	18h	1,5W	1	27Wh
LCD οθόνη LCM 703 P	18h	9,6W	1	173Wh
Ταχογράφος DTCO 1381	18h	9,6W	1	173Wh
Μίζα Bosch	0,02h	4kW	1	80Wh
Άλλα μικροηλεκτρονικά	18h	10W	1	180Wh

Πίνακας 16: Αναλυτικός πίνακας ηλεκτρικών καταναλώσεων για τον μήνα Δεκέμβριο

Συνολική ημερήσια κατανάλωση: **24,702 kWh**

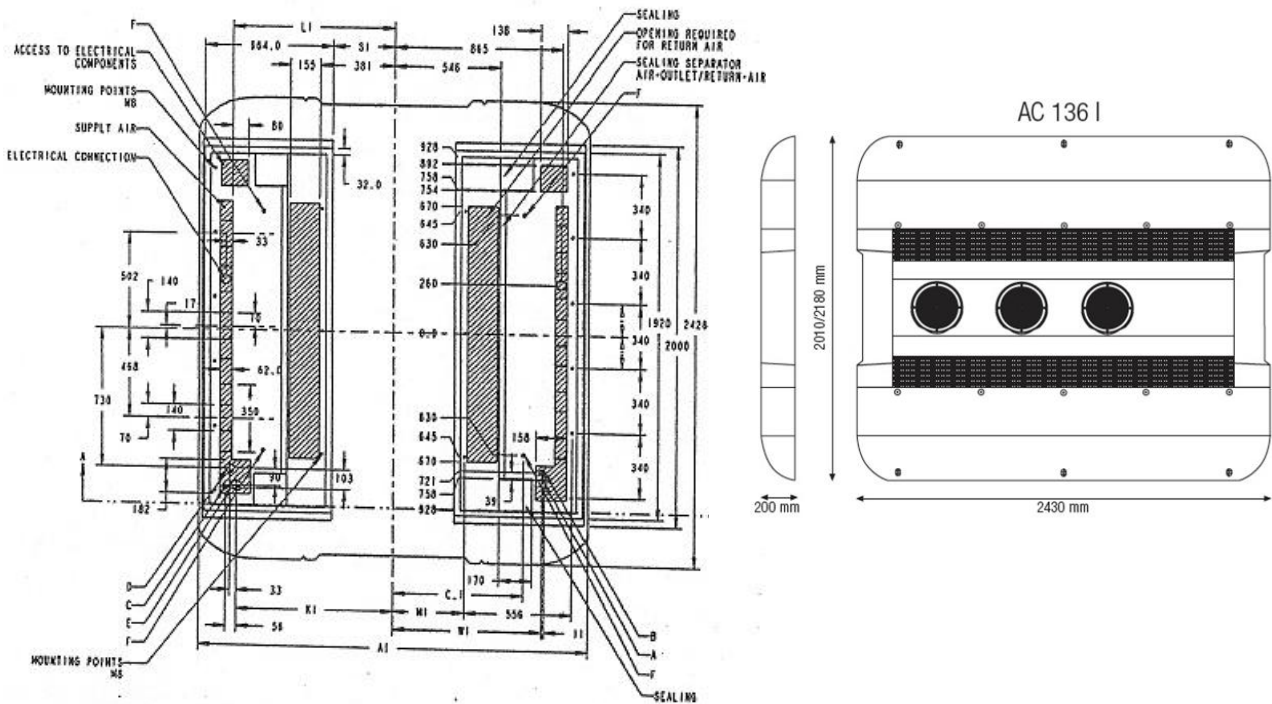
Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της ημέρας (10 ώρες): **1,123 kWh**

Συνολική ωριαία κατανάλωση κατά τη διάρκεια της νύχτας (8 ώρες): **1,684 kWh**

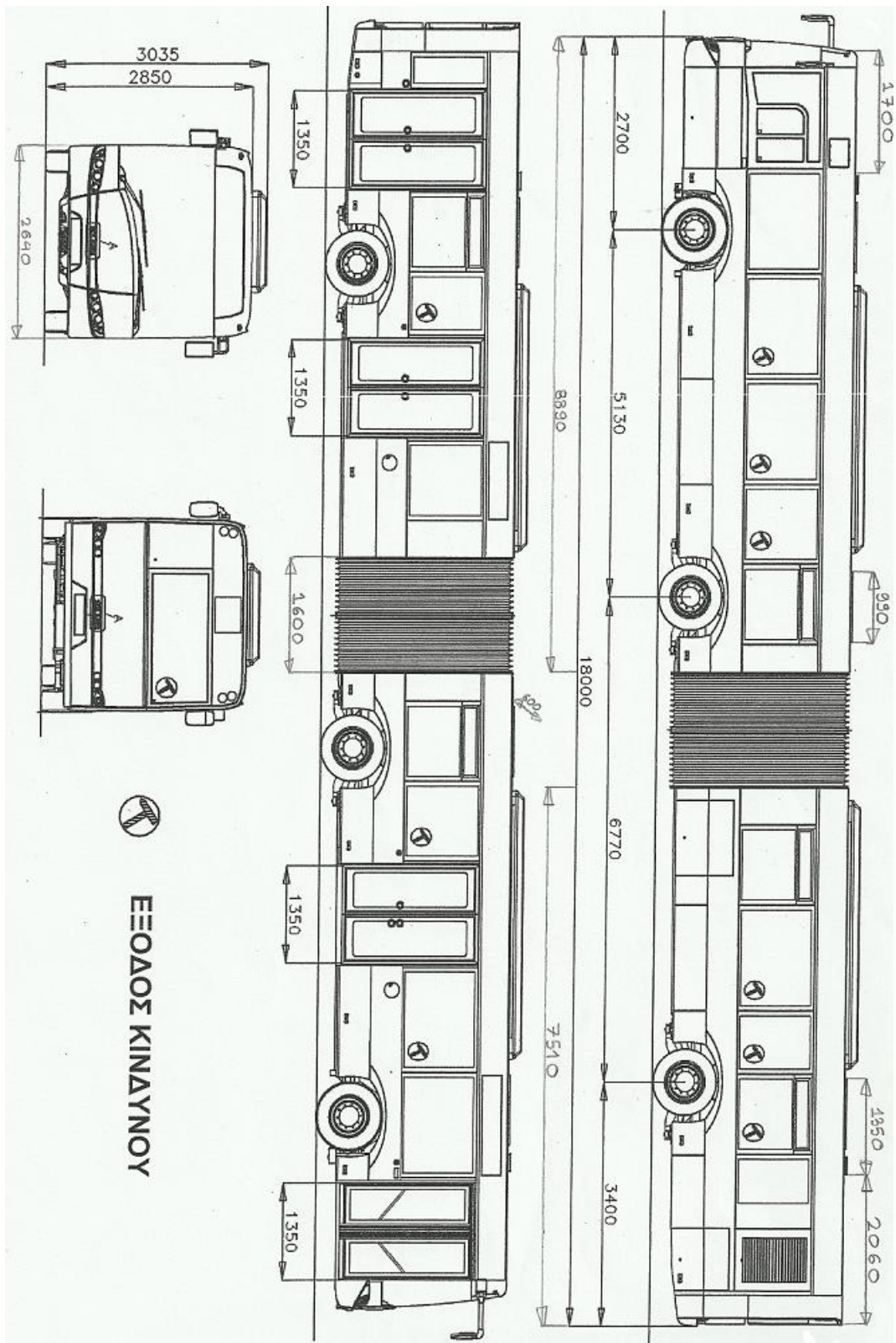
3.3. Υπολογισμός της Φ/Β εγκατάστασης της οροφής

3.3.1. Γενικά

Για τον ακριβή υπολογισμό των χαρακτηριστικών της Φ/Β εγκατάστασης, θα χρειαστούν καταρχάς οι αναλυτικές διαστάσεις του λεωφορείου και του συστήματος κλιματισμού οροφής SUTRAK AC 136.1 . Οι ζητούμενες διαστάσεις προκύπτουν από τα σχήματα 38, 39. Όσες διαστάσεις χρειάζονται για τους υπολογισμούς αλλά δεν υπήρχαν στα σχήματα, υπολογίστηκαν με αναλογική μέθοδο και σχεδιάστηκαν επι τούτου, με σχετική ακρίβεια.

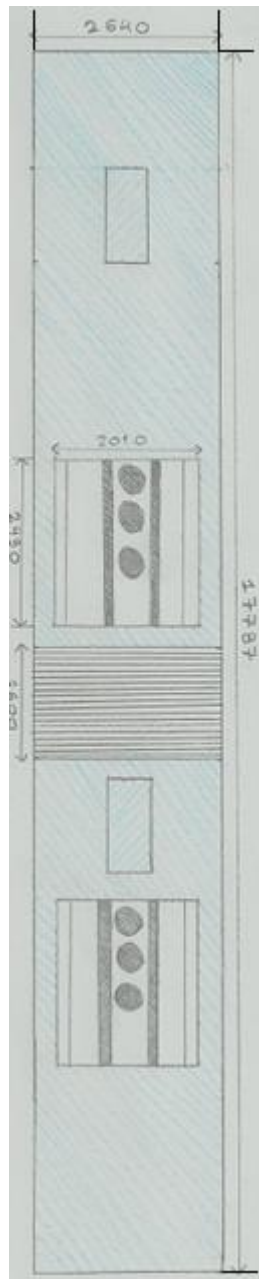


Σχήμα 38: Οι διαστάσεις του air-condition SUTRAK AC 136.1



Σχήμα 39: Οι διαστάσεις του Urbino U18

Με χρήση των διαστάσεων που προσδιορίζονται στα παραπάνω σχήματα, προκύπτει η ακόλουθη κάτοψη της οροφής, όπως φαίνεται στο σχήμα 40. Στην κάτοψη αυτή έχουν σχεδιαστεί με μπλε διαγράμμιση όλες οι περιοχές που θα εγκατασταθούν φωτοβολταϊκά στοιχεία / πλαίσια.



Σχήμα 40: Κάτοψη της οροφής του Urbino U18

Να σημειωθεί εδώ ότι το κλιματιστικό που χρησιμοποιείται στο σχέδιο του λεωφορείου στο σχήμα 39, είναι διαφορετικό από το SUTRAK AC 136.1, το οποίο έχει πολύ μικρότερες διαστάσεις. Συνεπώς η όψη της οροφής του λεωφορείου στο σχήμα 39, δεν αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα. Η σωστή όψη της οροφής του Urbino U18 που εξετάζεται, φαίνεται καθαρά στα σχήματα 18 και 41. Βάσει αυτών των διαστάσεων και με τα δεδομένα του σχήματος 38, έχει σχεδιαστεί με σχετική ακρίβεια η κάτοψη του οχήματος, όπως αυτό εμφανίζεται στο σχήμα 40.



Σχήμα 41: Όψη της θέσης του air-condition στην οροφή του λεωφορείου

Όπως φαίνεται στην κάτοψη του σχήματος 40, θα τοποθετηθούν φωτοβολταϊκά πλαίσια σε όλη την επιφάνεια της οροφής του λεωφορείου, εκτός από την επιφάνεια που καταλαμβάνει το air-condition και, φυσικά, την άρθρωσή του. Στην επιφάνεια του air-condition δεν θα μπορούσε να γίνει εγκατάσταση καθώς θα πρέπει να είναι ελεύθερη ώστε να απορροφά ανεμπόδιστα τον εξωτερικό αέρα.

Όσον αφορά τις εξόδους κινδύνου (οι οποίες χρησιμοποιούνται και για εξαερισμό), σε αυτές μπορούν να εγκατασταθούν επιτυχώς φωτοβολταϊκά πλαίσια, αλλά θα πρέπει τα πλαίσια αυτά να έχουν τις διαστάσεις των εξόδων κινδύνου, ώστε να μπορούν αυτές να ανοίξουν, αν παραστεί ανάγκη, χωρίς πρόβλημα.

3.3.2. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια

Όπως προκύπτει από το σχήμα 40 με απλό υπολογισμό εμβαδού, η επιφάνεια στην οποία μπορούν να εγκατασταθούν φωτοβολταϊκά πλαίσια αντιστοιχεί σε: $17,787 \times 2,64 - 1,6 \times 2,64 - 2 (2,01 \times 2,43) = 32,965 \text{ m}^2$

Θα θεωρηθεί καταρχάς ότι οι επιλογές των Φ/Β πλαισίων δεν θα περιοριστούν σε αυτά του εμπορίου, αλλά πως υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής πλαισίων οποιονδήποτε διαστάσεων είναι επιθυμητό. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου που θα χρησιμοποιηθούν για τη σύνθεση των πλαισίων μας, φαίνονται στο σχήμα 42 και έχουν τα παρακάτω στοιχεία:

Χαρακτηριστικά	
Μέση ισχύς (Watts)	4 W_p
Μέσο ρεύμα (Amperes)	8 I_m
Μέση τάση (Volts)	0.5 V_m
Απόδοση	17,6%

Πίνακας 17: Χαρακτηριστικές τιμές των Φ/Β στοιχείων

Οι συσσωρευτές μολύβδου που θα χρησιμοποιηθούν έχουν από 6 κυψελίδες που η κάθε μία δίνει τάση 2,1 V , άρα ο συσσωρευτής έχει τάση $6 \times 2,1 = 12,6 \text{ V}$ (αν και λέμε ότι έχει ονομαστική τάση $\sim 12 \text{ V}$). Για την φόρτιση ενός συσσωρευτή μολύβδου, χρειάζεται τάση $6 \times 2,4 = 14,4 \text{ V}$. Εμείς έχουμε δύο σε σειρά άρα για τη φόρτιση τους θέλουμε τάση $2 \times 14,4 = 28,8 \text{ V}$. Χρειαζόμαστε επιπλέον 0,7 V για την πτώση τάσης στην προστατευτική δίοδο που υπάρχει συνήθως μεταξύ συσσωρευτή και φωτοβολταϊκής γεννήτριας, ώστε να μην διοχετεύεται ρεύμα από τον συσσωρευτή προς τα φωτοβολταϊκά πλαίσια[8]. Συνεπώς απαιτείται συνολική φόρτιση 29,5 V. Αν υπολογίσουμε και μια ελάχιστη πτώση τάσης λόγω της

αντίστασης των καλωδίων, χρειαζόμαστε τα φωτοβολταϊκά μας πλαίσια να έχουν τάση εξόδου **30V**.

Από τη στιγμή που κάθε ένα από τα φ/β στοιχεία μας έχει ονομαστική τάση εξόδου $0.5V$, κάθε φ/β πάνελ θα αποτελείται από 60 φ/β στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά και θα έχει ισχύ **240W**. Τα φ/β πλαίσια μας επειδή προορίζονται για συγκεκριμένων διαστάσεων οροφή – όπου ακόμα και λίγα τετραγωνικά εκατοστά επιφάνειας είναι εξαιρετικά πολύτιμα – θα έχουν την μορφή που φαίνεται στο σχήμα 43.



Σχήμα 42: Τα φ/β στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν



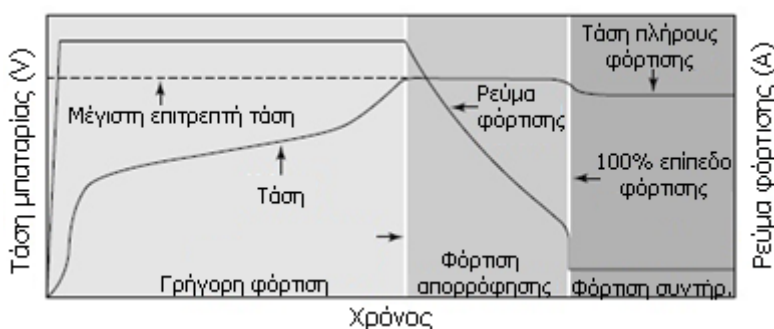
Σχήμα 43: Η μορφή των φ/β πλαισίων που θα κατασκευαστούν – δεν υπάρχουν μεταλλικά μέρη

Παρόλο που δεν υπάρχει μέταλλο περιμετρικά των πλαισίων, θα θεωρηθεί 0,5 εκατοστό μη ωφέλιμου μήκους στα 100, οπότε η ωφέλιμη επιφάνεια π.χ. ενός πλαισίου $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ θα είναι $0,99 \text{ m} \times 0,99 \text{ m} = 0,98 \text{ m}^2$. Συνεπώς προκύπτει συντελεστής κάλυψης $\sigma_k = 0,98$. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η απόδοση των φ/β στοιχείων είναι $\eta = 17,6\%$, οπότε η απόδοση των πλαισίων θα είναι $\eta_\pi = 0,98 \times 0,176$, άρα $\eta_\pi = 17,25\%$.

Τα πλαίσια θα μπορούν να πάρουν οποιοδήποτε σχήμα, με τον περιορισμό να είναι απλά κατανομημένα ανά 60, ώστε να παίρνουμε τα ζητούμενα 30V. Το κάθε φ/β στοιχείο έχει διαστάσεις $0,1524 \text{ m} \times 0,1524 \text{ m} = 23,226 \times 10^{-3} \text{ m}^2$. Άρα το κάθε φ/β πλαίσιο έχει διαστάσεις $60 \times 0,023226 \times \frac{1}{0,98} = 1,422 \text{ m}^2$. Οπότε ο συνολικός αριθμός των πλαισίων που θα χρησιμοποιηθούν είναι $32,965 / 1,422 = 23,182$ δηλαδή **23 πλαίσια**. Τα πλαίσια αυτά αν συνδεθούν παράλληλα, τότε η φ/β μας γεννήτρια θα έχει στην έξοδο τάση **30 V** και μέγιστο ρεύμα $23 \times 8 = 184 \text{ A}$, δηλαδή μέγιστη ισχύ $P = V \times I = 5,52 \text{ kW}$.

3.3.3. Ο ρυθμιστής φόρτισης

Ένας τυπικός ρυθμιστής φόρτισης εξασφαλίζει το ότι δε θα καταστραφούν οι μπαταρίες λόγω υπερφόρτισης, ρυθμίζοντας την τάση και το ρεύμα που στέλνεται στους συσσωρευτές κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Κάθε ρυθμιστής έχει πολλαπλά στάδια, κατά τα οποία ρυθμίζει διαφορετικά την τάση και το ρεύμα. Στο διάγραμμα 3 φαίνονται τα 3 στάδια ενός ρυθμιστή φόρτισης[19]:



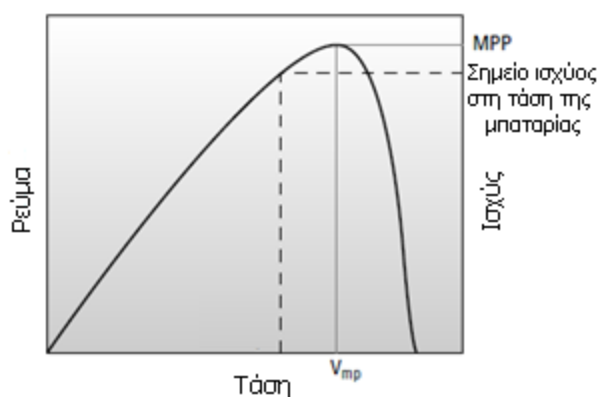
Διάγραμμα 3: Τα τρία στάδια φόρτισης ενός τυπικού ρυθμιστή φόρτισης

Στο πρώτο στάδιο φόρτισης, που είναι το στάδιο γρήγορης φόρτισης, η μπαταρία τροφοδοτείται με όσο περισσότερα ampere είναι δυνατόν, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η τάση της. Η διαδικασία φόρτισης συνεχίζεται, μέχρι η τάση του συσσωρευτή να φτάσει ένα εργοστασιακά προκαθορισμένο σημείο, που λέγεται σημείο τάσης γρήγορης φόρτισης (bulk voltage set-point) . Σε αυτό το σημείο, η τροφοδοσία του ρεύματος πρέπει να μειωθεί. Αν αυτό δε γίνει, ο συσσωρευτής δε μπορεί να «αποδεχτεί» αποτελεσματικά τη φόρτιση, και το επιπλέον ρεύμα μετατρέπεται σε θερμότητα.

Στο δεύτερο στάδιο φόρτισης, που λέγεται φόρτιση απορρόφησης, ο ρυθμιστής φόρτισης κρατά το ρεύμα σταθερό ενώ μειώνει το ρεύμα που στέλνει στη μπαταρία. Όταν αυτή η διαδικασία ολοκληρωθεί, η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη. Η συγκεκριμένη διαδικασία χρειάζεται ώρες.

Στο τρίτο στάδιο φόρτισης, ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει να κρατά την μπαταρία πλήρως φορτισμένη και να ξαναρχίζει τη διαδικασία φόρτισης αν διαπιστώσει ότι η τάση της έπεσε κάτω από το επίπεδο της πλήρους φόρτισης.

Η νέα τεχνολογία ρυθμιστών φόρτισης είναι ρυθμιστές φόρτισης με ανίχνευση μεγίστου σημείου ισχύος (MPPT - Maximum Power Point Tracker) . Ένας ρυθμιστής φόρτισης MPPT, επιτρέπει στην φωτοβολταϊκή συστοιχία να λειτουργεί στο μέγιστο σημείο ισχύος της (MPP), ανεξάρτητα με την τάση της μπαταρίας την εκάστοτε στιγμή. Η σημαντική ιδιότητά του είναι ότι παίρνει την ισχύ της φ/β συστοιχίας στο MPP και αποδίδει την ίδια ποσότητα ισχύος (μείον τις απώλειες φυσικά) στη μπαταρία, κι ας είναι η τάση στο MPP μεγαλύτερη από αυτήν που απαιτείται για φόρτιση, αφού έχει τη δυνατότητα να μειώσει την τάση στα επίπεδα της τάσης της μπαταρίας. Συνεπώς, αποδίδεται μεγαλύτερη ισχύς στην μπαταρία, σε σχέση με έναν τυπικό ρυθμιστή φόρτισης PWM. Στο διαγραμμα 4 παρουσιάζεται μια σύγκριση μεταξύ του μεγίστου σημείου ισχύος και του σημείου ισχύος στην ονομαστική τάση της μπαταρίας. Ο ρόλος του ρυθμιστή τάσης στην περίπτωση αυτή είναι να χαμηλώσει τη τάση στα επιθυμητά επίπεδα, χωρίς όμως να απωλεσθεί ενέργεια, αυξάνοντας δηλαδή αντιστοίχως το ρεύμα.



Διάγραμμα 4: Το σημείο μέγιστης ισχύος (MPP)

Για τη μελέτη αυτής της εργασίας, και επειδή είναι απαραίτητη όσο περισσότερη ενέργεια γίνεται ανά πάσα στιγμή από τη φ/β μας συστοιχία, θα χρησιμοποιηθεί ο ακριβότερος αλλά πολύ αποδοτικότερος ρυθμιστής φόρτισης MPPT. Η φ/β συστοιχία έχει μέγιστο ρεύμα εξόδου της τάξης των 184 A, το οποίο είναι πολύ μεγάλο για να το χειριστεί ένας μόνο ρυθμιστής φόρτισης.

Για να αντιμετωπιστεί αυτό, θα χρησιμοποιηθούν 3 ρυθμιστές φόρτισης. Ο πρώτος είναι ο MPPT Outback FLEXmax FM 80 (σχήμα 44). Ο συγκεκριμένος ρυθμιστής φόρτισης προορίζεται για φόρτιση μπαταριών 12 έως 60 V και έχει ρεύμα εξόδου έως 80 A. Έχουμε 23 πλαίσια και κάθε πλαίσιο μας έχει έξοδο 8 A, συνεπώς αρχικά θα συνδεθούν 9 πλαίσια *παράλληλα* παίρνοντας έξοδο 72 A και θα συνδεθεί η έξοδός τους αυτή στον ρυθμιστή φόρτισης 1. Ο δεύτερος και ο τρίτος ρυθμιστής φόρτισης θα είναι το μοντέλο MPPT Outback FLEXmax FM 60. Ο συγκεκριμένος ρυθμιστής φόρτισης έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με τον προηγούμενο, με τη μόνη διαφορά ότι έχει ρεύμα εξόδου έως 60 A. Θα γίνει λοιπόν το ίδιο ακριβώς με τα επόμενα 7 πλαίσια, με αποτέλεσμα να αποδίδουν μέγιστο ρεύμα 56 A, και θα συνδεθεί η έξοδός τους στον ρυθμιστή φόρτισης 2. Η διαδικασία θα ολοκληρωθεί συνδέοντας επίσης παράλληλα τα εναπομείναντα 7 πλαίσια, παίρνοντας ξανά μέγιστο ρεύμα εξόδου 56 A, το οποίο και θα οδηγηθεί στον τρίτο ρυθμιστή φόρτισης. Τέλος, οι εξοδοί των ρυθμιστών φόρτισης θα συνδεθούν επίσης παράλληλα, και η κοινή έξοδός τους θα συνδεθεί με τον συσσωρευτή.

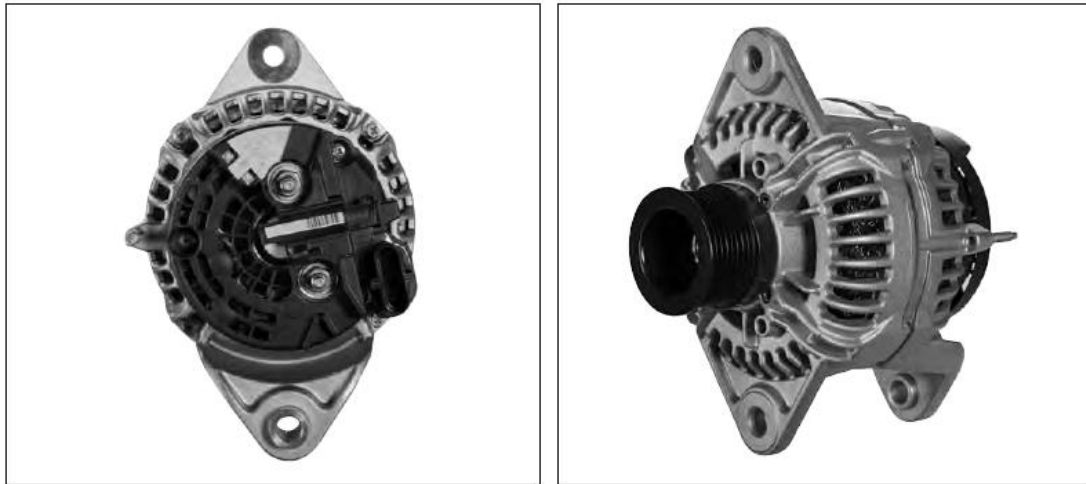


Σχήμα 44: Ρυθμιστής φόρτισης MPPT Outback FLEXmax FM 80

3.4. Ο εναλλάκτης

Το σύστημα φόρτισης του οχήματος, απαρτίζεται από βασικά 3 μέρη: τον συσσωρευτή, τον ρυθμιστή τάσης και τον εναλλάκτη. Ο εναλλάκτης λειτουργεί όταν δουλεύει και η μηχανή του οχήματος, για να παράγει ενέργεια η οποία αποθηκεύεται στον συσσωρευτή, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων του λεωφορείου.

Το Urbino 18 είναι εξοπλισμένο με έναν εναλλάκτη NCB2-28V με ενσωματωμένο ρυθμιστή τάσης, ο οποίος φαίνεται στο σχήμα 45. Έχει έξοδο τάσης 28 V και ρεύματος έως 110 A. Ο εναλλάκτης συνδέεται με την μηχανή του λεωφορείου με ιμάντα μετάδοσης, κάτι που σημαίνει ότι απορροφά κινητική ενέργεια (περιστροφική εν προκειμένω) από αυτή της μηχανής, την οποία εν συνεχεία διαμέσω του πεδίου που προκαλούν οι μαγνήτες του, μετατρέπει σε ηλεκτρική. Αναλυτικότερες πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας του εναλλάκτη, ο οποίος είναι ουσιαστικά μία μικρού μεγέθους ηλεκτρική γεννήτρια, παρατίθενται στο παράρτημα της παρούσας εργασίας.



Σχήμα 45: Ο εναλλάκτης NCB2-28V

Το «πρόβλημα» με τον εναλλάκτη, είναι ότι είναι πάντα συνδεδεμένος μέσω του μιάντα με τη μηχανή και περιστρέφεται συνεχώς, ακόμα και όταν η μπαταρία δεν έχει ανάγκη από φόρτιση, δηλαδή ακόμα και όταν δεν υπάρχουν τροφοδοτούμενα φορτία. Στη περίπτωση αυτή, απλώς συντηρεί την κατάσταση πλήρους φόρτισης της μπαταρίας προσφέροντας της ελάχιστη προς καθόλου ενέργεια, καθώς λόγω εσωτερικής αντίστασης αυτή τείνει διαρκώς να αποφορτίζεται. Αυτό οδηγεί στη κατανάλωση καυσίμου ακόμα και όταν δεν απαιτείται καθόλου ηλεκτρική ενέργεια για τις λειτουργίες του οχήματος.

Επειδή στη συγκεκριμένη μελέτη υπάρχει εξωτερική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (η φ/β γεννήτρια), θα γίνει προσπάθεια να φορτίζεται μέσω αυτής η μπαταρία για όσο αυτό είναι δυνατόν και μόνο στις περιπτώσεις που αυτό δεν μπορεί να συμβεί λόγω χαμηλής ηλιοφάνειας ή μεγάλων ηλεκτρικών απαιτήσεων θα γίνεται χρήση του εναλλάκτη. Για να εξοικονομηθεί όμως καύσιμο κατά τη διάρκεια του χρόνου που ο εναλλάκτης δε χρησιμοποιείται, θα υποθεθεί ότι όταν αυτός βρίσκεται σε αχρηστία, όχι απλά δεν στέλνει ρεύμα προς την μπαταρία, αλλά αποσυνδέεται τελείως ο μιάντας του από την μηχανή. Αυτό μπορεί να γίνει εφικτό με έναν πολύ μικρό σερβοκινητήρα. Ο σερβοκινητήρας θα είναι συνδεδεμένος με απλό αισθητήρα τάσης κατασκευασμένο με γέφυρα Wheatstone, η οποία θα επιτρέπει στο ρεύμα να

περνά (και να συνδέει εν συνεχεία ο σερβοκινητήρας τον μάντα) όταν η τάση του συσσωρευτή πέσει κάτω από μια προεπιλεγμένη τιμή, π.χ. τα 28,8 V.

Από πειράματα και δοκιμές[20] οδηγών αυτοκινήτων, έχει προκύψει ότι η εξοικονόμηση καυσίμου όταν ο μάντας που συνδέει τον εναλλάκτη με τη μηχανή είναι αποσυνδεδεμένος, είναι της τάξης του **10,3%**. Αντίστοιχες δοκιμές[20] με τον μάντα συνδεδεμένο αλλά τον εναλλάκτη αποσυνδεδεμένο από κάθε είδους φορτίο, αποδεικνύουν εξοικονόμηση της τάξης του 5-7%, θα θεωρηθεί δηλαδή εξοικονόμηση **6%**. Βάσει των πιο πάνω δεδομένων, είναι εύκολα αντιληπτό ότι η σύνδεση και μόνο του εναλλάκτη με τη μηχανή μέσω μάντα, όταν δεν υπάρχουν φορτία που να απαιτούν ρεύμα πέραν της απλής διατήρησης της τάσης της μπαταρίας ώστε να αντισταθμιστεί η μείωση της λόγω εσωτερικής αντίστασης (floating charge), είναι υπεύθυνη για το $10,3 - 6 = 4,3\%$ της συνολικής κατανάλωσης καυσίμων του οχήματος. Η συγκεκριμένη εξοικονόμηση προκύπτει λόγω της αποφυγής απωλειών τριβής, μετάδοσης και ηλεκτρομηχανικής μετατροπής. Τα δεδομένα αυτά είναι φυσικά για αυτοκίνητα, αλλά λόγω του ότι τα λεωφορεία έχουν, αναλογικά με την ισχύ του κινητήρα τους και του εναλλάκτη σε σχέση με αυτόν των αυτοκινήτων, μεγαλύτερες ηλεκτρικές ανάγκες από τα αυτοκίνητα, τα ποσοστά θα μπορούσαν να είναι μόνο μεγαλύτερα. Θα γίνουν αποδεκτά συνεπώς σαν οδηγός τα συγκεκριμένα ποσοστά εξοικονόμησης κατανάλωσης για τη συγκεκριμένη μελέτη. Τα ακριβή ποσοστά θα υπολογιστούν στη συνέχεια.

Το υπόλοιπο ποσοστό εξοικονόμησης είναι ανάλογο των φορτίων που θα πρέπει να τροφοδοτηθούν ανά πάσα στιγμή, κάτι που διαφέρει εξαιρετικά από μήνα σε μήνα, όπως έχει υπολογιστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ο υπολογισμός των συνολικών ποσοστών εξοικονόμησης καυσίμου ανά μήνα, θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί το θέμα της απόδοσης του εναλλάκτη[21]. Ένας τυπικός κινητήρας diesel, έχει απόδοση περίπου **35%**. Η τυπική τιμή απόδοσης του μάντα μετάδοσης είναι **98%**. Ακόμα, ένας εναλλάκτης του εμπορίου έχει απόδοση περίπου **55%**. Αυτό σημαίνει ότι η μετατροπή του καυσίμου σε ηλεκτρικό ρεύμα γίνεται με απόδοση:

$$n = 0,35 \times 0,98 \times 0,55 = 0,18865$$

Δηλαδή, για το αντίστοιχο ενός λίτρου πετρελαίου diesel που είναι **10,12 kW** ενέργειας[22], παίρνουμε μόνο $10,12 \times 0,18865 = 1,91 \text{ kW}$ ηλεκτρικής ενέργειας. Με την τωρινή τιμή του λίτρου του πετρελαίου diesel περίπου στα 1,35 ευρώ/λίτρο, έχουμε τιμή ανά κιλοβάτ στα **0,707 ευρώ** . Με δεδομένο ότι τη αυτή τη στιγμή η μέση τιμή της εμπορικής κιλοβατώρας από το δίκτυο διανομής είναι περίπου **0,061 ευρώ**, η φόρτιση του συσσωρευτή μέσω του εναλλάκτη κρίνεται παντελώς ασύμφορη.

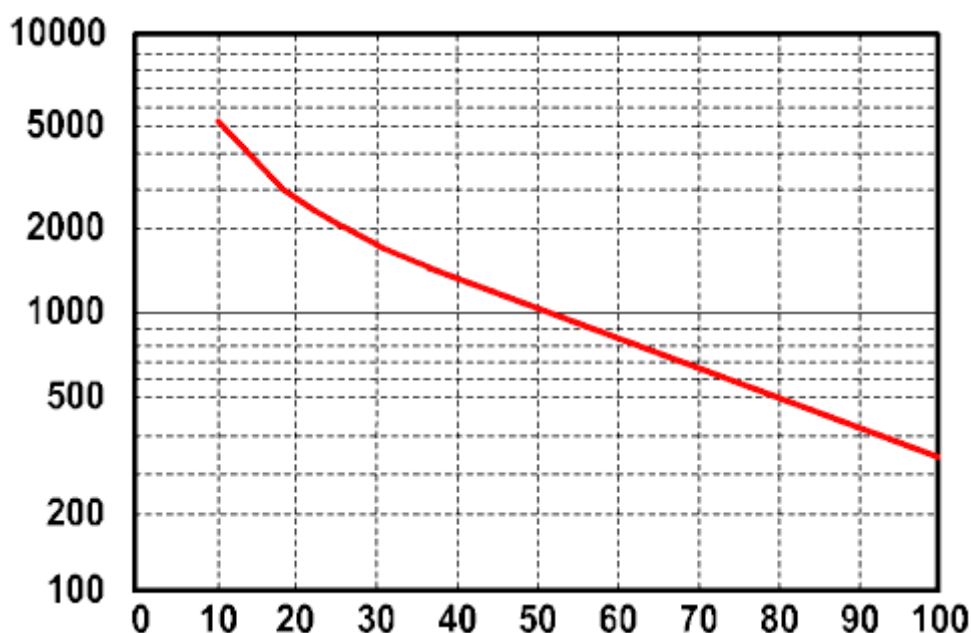
3.5. Οι συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το Urbino 18 είναι εξοπλισμένο με 2 συσσωρευτές των 12V σε σειρά, χωρητικότητας 230 Ah ο καθένας. Οι συγκεκριμένοι συσσωρευτές είναι απλοί συσσωρευτές εκκίνησης, προοριζόμενοι να αποδίδουν μεγάλες τιμές ρεύματος αλλά για σύντομα χρονικά διαστήματα, ουσιαστικά δηλαδή μόνο για την εκκίνηση του οχήματος. Οι συσσωρευτές αυτοί θεωρούνται αποφορτισμένοι όταν η χωρητικότητά τους πέσει κάτω του 90%, εξαναγκάζοντας ουσιαστικά τον εναλλάκτη σε συνεχή λειτουργία.

Επειδή στη προκειμένη περίπτωση στόχος μας είναι να αξιοποιείται όσο το δυνατόν περισσότερο ρεύμα προερχόμενο από την φ/β γεννήτρια γίνεται και να χρησιμοποιείται ο εναλλάκτης όσο το δυνατόν λιγότερο χρόνο, οι συγκεκριμένοι συσσωρευτές πρέπει να αντικατασταθούν από συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης. Αυτό θα επιτρέψει την αποθήκευση πολύ περισσότερης ενέργειας από αυτή που θα αποθηκευόταν σε έναν συσσωρευτή εκκίνησης, με αποτέλεσμα να υπάρχει αρκετή για χρήση σε στιγμές χαμηλής ηλιοφάνειας αλλά και να προκύπτει πολύ λιγότερη απορριπτόμενη ενέργεια λόγω πληρότητας του συσσωρευτή.

Οι συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης, είναι κατασκευασμένοι έτσι ώστε να επιδέχονται ποσοστό εκφόρτισης μέχρι και 80% χωρίς προβλήματα. Παρ' όλ' αυτά, επειδή όπως και σε όλους τους συσσωρευτές, ο χρόνος ζωής του συγκεκριμένου συσσωρευτή μειώνεται για μεγαλύτερα ποσοστά εκφόρτισης (DOD – Depth Of Discharge) του, είναι προτιμότερο από οικονομικής άποψης οι κύκλοι εκφόρτισης να είναι μόνο της τάξης του 50%. Ο εκτιμώμενος αριθμός κύκλων

φορτίσεων/εκφορτίσεων σε σχέση με το ποσοστό εκφόρτισης του συσσωρευτή, παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5.



Διάγραμμα 5: Η σχέση ποσοστού εκφόρτισης και κύκλων ζωής

Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των συσσωρευτών βαθιάς εκφόρτισης και των υπολοίπων συσσωρευτών είναι ότι οι πλάκες τους αποτελούνται από συμπαγή μόλυβδο και όχι σπογγώδη. Αυτό τους προσδίδει μικρότερη επιφάνεια και άρα μικρότερη στιγμιαία ισχύ, αυτή ακριβώς δηλαδή που χρειάζονται οι συσσωρευτές εκκίνησης. Επειδή οι συγκεκριμένοι συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης που επιλέχθηκαν θα πρέπει προφανώς να χρησιμοποιηθούν και για την εκκίνηση του κινητήρα, πρέπει να ακολουθηθεί ένας γενικός κανόνας ο οποίος ισχύει για τη σύγκριση μεταξύ συσσωρευτών εκκίνησης και βαθιάς εκφόρτισης[23]. Κατά τον κανόνα αυτό, για να αποδώσει ένας συσσωρευτής βαθιάς εκφόρτισης το ίδιο ρεύμα που μπορεί να αποδώσει ένας συσσωρευτής εκκίνησης, πρέπει να έχει κατά 20% μεγαλύτερη χωρητικότητα. Συνεπώς οι συσσωρευτές που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι κατά 20% μεγαλύτεροι σε χωρητικότητα από τους προηγούμενους, δηλαδή $1,2 \times 230 \text{ Ah} = 276 \text{ Ah}$. Επειδή φυσικά δεν υπάρχει στο εμπόριο συσσωρευτής με αυτήν ακριβώς τη χωρητικότητα, θα χρησιμοποιηθεί ο αμέσως κοντινότερος,

χωρητικότητας **280 Ah**, συγκεκριμένα ο Solar SMF 12V 280Ah. Τέλος, θα θεωρηθεί για αρχή ότι υπάρχουν μόνο 2 σε σειρά όπως πριν, αν και αυτό ενδέχεται με τους μεταγενέστερους υπολογισμούς να αλλάξει.

Σημαντικό είναι τέλος να αναφερθούν και οι τιμές τάσης του συσσωρευτή που αντιστοιχούν σε κάθε επίπεδο φόρτισης του (SOC – State Of Charge). Αυτές φαίνονται αναλυτικά στον πίνακα 18. Από τις τιμές αυτές, σημειώνονται ιδιαίτερα οι δύο βασικές τιμές που αντιστοιχούν σε ποσοστά φόρτισης 50% και 20%, καθώς θα χρειαστούν αργότερα.

State of Charge	Συσσωρευτής 12V	Συσσωρευτής 24V
100%	12,7	25,4
90%	12,5	25
80%	12,42	24,84
70%	12,32	24,64
60%	12,20	24,4
50%	12,06	24,12
40%	11,9	23,8
30%	11,75	23,5
20%	11,58	23,16
10%	11,31	22,62
0%	10,5	21

Πίνακας 18: Η τάση στον συσσωρευτή με βάση το επίπεδο φόρτισής του

3.6. Συγκεντρωτικά – Το ισοζύγιο ενέργειας

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα υπολογιστεί το ισοζύγιο ενέργειας που δημιουργείται για κάθε μήνα του χρόνου, καθώς κατά τη διάρκεια του έτους αλλά και της ημέρας μεταβάλλονται τόσο οι καταναλώσεις όσο και η αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη φ/β γεννήτρια. Εκτός από τον διαχωρισμό από μήνα σε μήνα, θα γίνει και διαχωρισμός από ώρα σε ώρα της ημέρας, για μεγαλύτερη ακρίβεια, καθώς οι καταναλώσεις είναι δυναμικές και εξαρτώνται άμεσα από το αν υπάρχει τη δεδομένη στιγμή ηλιακό φως ή όχι. Με τον υπολογισμό αυτό θα προκύψουν τα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία είναι αναγκαία η χρήση του εναλλάκτη, ο αριθμός των συσσωρευτών που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για μέγιστα αποτελέσματα και η τελική εξοικονόμηση καυσίμου που θα επιτευχθεί.

3.6.1. Η αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια

Από τις μετρήσεις[24] του TEE για τις κλιματικές συνθήκες στην Αθήνα, ξεχωρίζουν δύο εξαιρετικά χρήσιμοι πίνακες δεδομένων. Ο πρώτος (πίνακας 19) αφορά τη μέση μηνιαία θερμοκρασία 24ώρου, ενώ ο δεύτερος (πίνακας 20) αφορά τη μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο. Στους πίνακες αυτούς διακρίνονται τα εξής σημαντικότερα στοιχεία:

ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
10.3	10.6	12.3	16.0	20.7	25.4	28.1	28.0	24.3	19.6	16.4	12.0

Πίνακας 19: Μέση μηνιαία θερμοκρασία 24ώρου

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Ελληνικό	63.0	79.0	117.7	154.3	195.4	214.0	222.4	202.7	152.6	109.0	70.7	55.7
Φιλαδέλφεια	63.3	77.7	118.9	152.7	190.4	207.4	214.5	198.6	156.0	111.1	68.1	54.4
Αθήνα	63.15	78.35	118.3	153.5	192.9	210.7	218.45	200.65	154.6	110.05	69.4	55.05

Πίνακας 20: Μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο [kWh/m²]

Στον πίνακα 19 εμφανίζονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες, οι οποίες θα χρειαστούν για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης της απόδοσης της φ/β γεννήτριας, που για της υπάρχουσας τεχνολογίας πλαίσια υπολογίζεται ως εξής: $\sigma_{\theta} = 1,00 - (\text{θερμοκρασία πάνελ} - 25^{\circ}) \times 0,004$, όπου θερμοκρασία πάνελ είναι η θερμοκρασία του αέρα αυξημένη κατά 30° κελσίου. Στον πίνακα 20, παρουσιάζεται η μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε οριζόντιο επίπεδο, όπως δηλαδή η οροφή του λεωφορείου που εξετάζεται. Οι τιμές έχουν παρθεί για τις περιοχές του Ελληνικού και της Ν. Φιλαδέλφειας, συνεπώς θα θεωρηθεί ότι ο μέσος όρος των τιμών αυτών των δύο περιοχών, είναι αντιπροσωπευτικός και προσεγγίζει σημαντικά τη μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, σε όλη τη πόλη της Αθήνας.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν και ένας συντελεστής σκίασης των φ/β πάνελ, καθώς όπως είναι λογικό, λόγω του ότι το λεωφορείο κινείται στη πόλη, υπάρχουν στιγμές που η οροφή του βρίσκεται μερικώς ή και ολικώς υπό σκιά προερχόμενη από τα κτίρια, ψηλά δέντρα κ.α. Αν θεωρηθεί εμπειρικά ότι το λεωφορείο βρίσκεται το 20% του χρόνου της κίνησης του υπό σκιά, τότε προκύπτει συντελεστής σκίασης $\sigma_{\sigma} = 0,8$.

Η ημερήσια πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας ανά m² οριζόντιας επιφάνειας, υπολογίζεται φυσικά διαιρώντας τις τιμές του πίνακα 20 με τον αριθμό των ημερών που αντιστοιχούν σε κάθε μήνα. Γνωρίζοντας τη συνολική ημερήσια αποδιδόμενη ισχύ ανά m², μπορεί να υπολογιστεί η μέση ωριαία αποδιδόμενη ισχύς ανά m², αφού έχουν ήδη βρεθεί στοιχεία για τη διάρκεια της ημέρας κάθε μήνα. Έτσι, η ωριαία αποδιδόμενη ενέργεια λόγω του φωτοβολταϊκού φαινομένου υπολογίζεται από τον τύπο $E = \Pi \times S \times n_{\pi} \times \sigma_{\theta} \times \sigma_{\sigma} \times \sigma_{\rho}$, όπου Π η μέση ωριαία αποδιδόμενη ισχύς και S η συνολική αξιοποιήσιμη επιφάνεια φ/β πλαισίων, η οποία έχει ήδη βρεθεί. Για τους

υπολογισμούς θα θεωρηθεί συντελεστής καθαρότητας των πλαισίων $\sigma_p = 0.95$. Με βάση τα παραπάνω, θα υπολογιστεί τώρα το ενεργειακό ισοζύγιο για κάθε μήνα και ανά μία ώρα για τις ώρες χρήσης του λεωφορείου, δηλαδή 06.00 – 24.00 . Η διαδικασία υπολογισμού είναι η ίδια για όλους τους μήνες.

- **Ιανουάριος**

Διάρκεια ημέρας: 9 ώρες και 48 λεπτά

Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία: $63,15 / 31 = 2,037 \text{ kWh} / \text{m}^2$

Μέση ωριαία ηλιακή ακτινοβολία: $2037 / 9,8 = 207,867 \text{ Wh} / \text{m}^2$

Συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης: $\sigma_\theta = 1 - (40,3 - 25) \times 0,004 = 0,939$

Ωριαία αποδιδόμενη ενέργεια: $E = 207,867 \times 32,965 \times 0,1725 \times 0,8 \times 0,939 \times 0,95$

E = 0,844 kWh για τις ώρες ηλιοφάνειας

- **Φεβρουάριος**

Διάρκεια ημέρας: 10 ώρες και 45 λεπτά

Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία: $78,35 / 28 = 2,786 \text{ kWh} / \text{m}^2$

Μέση ωριαία ηλιακή ακτινοβολία: $2786 / 10,75 = 259,163 \text{ Wh} / \text{m}^2$

Συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης: $\sigma_\theta = 1 - (40,6 - 25) \times 0,004 = 0,938$

Ωριαία αποδιδόμενη ενέργεια: $E = 259,163 \times 32,965 \times 0,1725 \times 0,8 \times 0,938 \times 0,95$

E = 1,106 kWh για τις ώρες ηλιοφάνειας

- **Μάρτιος**

Διάρκεια ημέρας: 11 ώρες και 56 λεπτά

Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία: $118,3 / 31 = 3,816 \text{ kWh} / \text{m}^2$

Μέση ωριαία ηλιακή ακτινοβολία: $3816 / 11,933 = 319,785 \text{ Wh} / \text{m}^2$

Συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης: $\sigma_\theta = 1 - (42,3 - 25) \times 0,004 = 0,931$

Ωριαία αποδιδόμενη ενέργεια: $E = 319,785 \times 32,965 \times 0,1725 \times 0,8 \times 0,931 \times 0,95$

E = 1,286 kWh για τις ώρες ηλιοφάνειας

- **Απρίλιος**

Διάρκεια ημέρας: 13 ώρες και 11 λεπτά

Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία: $153,5 / 30 = 5,117 \text{ kWh} / \text{m}^2$

Μέση ωριαία ηλιακή ακτινοβολία: $5117 / 13,183 = 388,151 \text{ Wh} / \text{m}^2$

Συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης: $\sigma_0 = 1 - (46 - 25) \times 0,004 = 0,916$

Ωριαία αποδιδόμενη ενέργεια: $E = 388,151 \times 32,965 \times 0,1725 \times 0,8 \times 0,916 \times 0,95$

E = 1,537 kWh για τις ώρες ηλιοφάνειας

- **Μάιος**

Διάρκεια ημέρας: 14 ώρες και 13 λεπτά

Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία: $192,4 / 31 = 6,207 \text{ kWh} / \text{m}^2$

Μέση ωριαία ηλιακή ακτινοβολία: $6207 / 14,217 = 436,59 \text{ Wh} / \text{m}^2$

Συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης: $\sigma_0 = 1 - (50,7 - 25) \times 0,004 = 0,897$

Ωριαία αποδιδόμενη ενέργεια: $E = 436,59 \times 32,965 \times 0,1725 \times 0,8 \times 0,897 \times 0,95$

E = 1,693 kWh για τις ώρες ηλιοφάνειας

- **Ιούνιος**

Διάρκεια ημέρας: 14 ώρες και 48 λεπτά

Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία: $210,7 / 30 = 7,023 \text{ kWh} / \text{m}^2$

Μέση ωριαία ηλιακή ακτινοβολία: $7023 / 14,8 = 474,527 \text{ Wh} / \text{m}^2$

Συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης: $\sigma_0 = 1 - (55,7 - 25) \times 0,004 = 0,877$

Ωριαία αποδιδόμενη ενέργεια: $E = 474,527 \times 32,965 \times 0,1725 \times 0,8 \times 0,877 \times 0,95$

E = 1,798 kWh για τις ώρες ηλιοφάνειας

- **Ιούλιος**

Διάρκεια ημέρας: 14 ώρες και 33 λεπτά

Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία: $218,45 / 31 = 7,047 \text{ kWh} / \text{m}^2$

Μέση ωριαία ηλιακή ακτινοβολία: $7047 / 14,55 = 484,33 \text{ Wh} / \text{m}^2$

Συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης: $\sigma_\theta = 1 - (58,1 - 25) \times 0,004 = 0,868$

Ωριαία αποδιδόμενη ενέργεια: $E = 484,33 \times 32,965 \times 0,1725 \times 0,8 \times 0,868 \times 0,95$

E = 1,817 kWh για τις ώρες ηλιοφάνειας

- **Αύγουστος**

Διάρκεια ημέρας: 13 ώρες και 40 λεπτά

Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία: $200,65 / 31 = 6,473 \text{ kWh} / \text{m}^2$

Μέση ωριαία ηλιακή ακτινοβολία: $6473 / 13,667 = 473,623 \text{ Wh} / \text{m}^2$

Συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης: $\sigma_\theta = 1 - (58 - 25) \times 0,004 = 0,868$

Ωριαία αποδιδόμενη ενέργεια: $E = 473,623 \times 32,965 \times 0,1725 \times 0,8 \times 0,868 \times 0,95$

E = 1,777 kWh για τις ώρες ηλιοφάνειας

- **Σεπτέμβριος**

Διάρκεια ημέρας: 12 ώρες και 26 λεπτά

Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία: $154,6 / 30 = 5,153 \text{ kWh} / \text{m}^2$

Μέση ωριαία ηλιακή ακτινοβολία: $5153 / 12,433 = 414,462 \text{ Wh} / \text{m}^2$

Συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης: $\sigma_\theta = 1 - (54,3 - 25) \times 0,004 = 0,883$

Ωριαία αποδιδόμενη ενέργεια: $E = 414,462 \times 32,965 \times 0,1725 \times 0,8 \times 0,883 \times 0,95$

E = 1,582 kWh για τις ώρες ηλιοφάνειας

- **Οκτώβριος**

Διάρκεια ημέρας: 11 ώρες και 13 λεπτά

Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία: $110,05 / 31 = 3,55 \text{ kWh} / \text{m}^2$

Μέση ωριαία ηλιακή ακτινοβολία: $3550 / 11,217 = 316,484 \text{ Wh} / \text{m}^2$

Συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης: $\sigma_{\theta} = 1 - (49,6 - 25) \times 0,004 = 0,902$

Ωριαία αποδιδόμενη ενέργεια: $E = 316,484 \times 32,965 \times 0,1725 \times 0,8 \times 0,902 \times 0,95$

E = 1,237 kWh για τις ώρες ηλιοφάνειας

- **Νοέμβριος**

Διάρκεια ημέρας: 10 ώρες και 7 λεπτά

Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία: $69,4 / 30 = 2,313 \text{ kWh} / \text{m}^2$

Μέση ωριαία ηλιακή ακτινοβολία: $2313 / 10,117 = 228,625 \text{ Wh} / \text{m}^2$

Συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης: $\sigma_{\theta} = 1 - (46,4 - 25) \times 0,004 = 0,914$

Ωριαία αποδιδόμενη ενέργεια: $E = 228,625 \times 32,965 \times 0,1725 \times 0,8 \times 0,914 \times 0,95$

E = 0,903 kWh για τις ώρες ηλιοφάνειας

- **Δεκέμβριος**

Διάρκεια ημέρας: 9 ώρες και 32 λεπτά

Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία: $55,05 / 31 = 1,776 \text{ kWh} / \text{m}^2$

Μέση ωριαία ηλιακή ακτινοβολία: $1776 / 9,533 = 186,300 \text{ Wh} / \text{m}^2$

Συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης: $\sigma_{\theta} = 1 - (42 - 25) \times 0,004 = 0,932$

Ωριαία αποδιδόμενη ενέργεια: $E = 186,300 \times 32,965 \times 0,1725 \times 0,8 \times 0,932 \times 0,95$

E = 0,750 kWh για τις ώρες ηλιοφάνειας

3.6.2. Το ενεργειακό ισοζύγιο

Έχοντας υπολογίσει τόσο τις ηλεκτρικές καταναλώσεις ανά ώρα της ημέρας, όσο και την αποδιδόμενη από την φ/β γεννήτρια ενέργεια ανά ώρα της ημέρας, μπορεί πλέον να εξεταστεί το ενεργειακό ισοζύγιο που δημιουργείται κατά τη διάρκεια μιας τυπικής ημέρας λειτουργίας του λεωφορείου.

Ένας συσσωρευτής μολύβδου-οξέος έχει απόδοση $\alpha = 0,9$, κάτι που σημαίνει ότι για κάθε 1 W προσφερόμενης ενέργειας από την φ/β γεννήτρια, αποθηκεύεται στον συσσωρευτή 0,9 W άμεσα αξιοποιήσιμης ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, οι τιμές της αποδιδόμενης ενέργειας που βρέθηκαν προηγουμένως, πρέπει να πολλαπλασιαστούν με τον συντελεστή $\alpha = 0,9$ ώστε να βρεθεί η πραγματική ενέργεια που αποθηκεύεται στον συσσωρευτή και μπορεί άμεσα να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία των ηλεκτρικών αναγκών του λεωφορείου.

Επίσης, θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν στους υπολογισμούς και η απόδοση του ρυθμιστή φόρτισης. Για το συγκεκριμένο μοντέλο, όπως προκύπτει από τα τεχνικά χαρακτηριστικά που δημοσιεύει η κατασκευάστρια εταιρεία[25], η απόδοση είναι της τάξης του 98,1%, προκύπτει δηλαδή συντελεστής $\eta_p = 0,981$. Η τελική συνεπώς μέση ωριαία αποθηκευόμενη ενέργεια στον συσσωρευτή προκύπτει ως εξής: $E_{ap} = E \times \alpha \times \eta_p$. Οι τιμές της μέσης ωριαίας αποθηκευόμενης ενέργειας που προκύπτουν για κάθε μήνα του χρόνου, παρουσιάζονται στον πίνακα 21.

Μήνας	Αποδιδόμενη ενέργεια (E)	Αποθηκευόμενη ενέργεια (E _{απ})
Ιανουάριος	0,844 kW	0,745 kW
Φεβρουάριος	1,106 kW	0,977 kW
Μάρτιος	1,286 kW	1,135 kW
Απρίλιος	1,537 kW	1,357 kW
Μάιος	1,693 kW	1,495 kW
Ιούνιος	1,798 kW	1,588 kW
Ιούλιος	1,817 kW	1,604 kW
Αύγουστος	1,777 kW	1,569 kW
Σεπτέμβριος	1,582 kW	1,397 kW
Οκτώβριος	1,237 kW	1,100 kW
Νοέμβριος	0,903 kW	0,797 kW
Δεκέμβριος	0,750 kW	0,662 kW

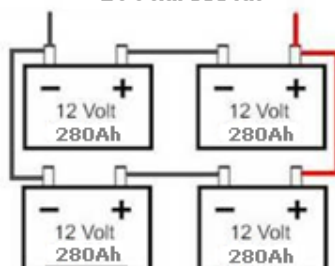
Πίνακας 21: Η προκύπτουσα μέση ωριαία αποθηκευόμενη ενέργεια για κάθε μήνα

Όπως έχει αναφερθεί ήδη, θα θεωρηθεί ότι οι συσσωρευτές του λεωφορείου είναι πλήρως φορτισμένοι όταν αυτό ξεκινά από το αμαξοστάσιο, με χρήση μετασχηματιστή. Αυτό είναι αναγκαίο γιατί στις 06.00 που ξεκινά το λεωφορείο δεν έχει ανατείλλει ακόμη ο ήλιος, με αποτέλεσμα η παραγόμενη ενέργεια από τη φ/β γεννήτρια να είναι μηδενική και ο συσσωρευτής να εκφορτίζεται γρήγορα, αφού δεν υπάρχει αποδιδόμενη ενέργεια από την φ/β γεννήτρια για να την φορτίσει.

Από τις καταναλώσεις και τις ενεργειακές απολαβές που υπολογίστηκαν, με μια πρόχειρη οπτική εκτίμηση, οι 2 συσσωρευτές των 12 V σε σειρά που είχε ως τώρα το Urbino 18, κρίνονται ανεπαρκείς για την αποθήκευση αρκετής ενέργειας ώστε να υποστηρίξει τις ηλεκτρικές λειτουργίες του απρόσκοπτα καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Συνεπώς, θα πρέπει να προστεθούν άλλοι 2 ίδιοι συσσωρευτές

των 12 V, οι οποίοι θα είναι επίσης σε σειρά μεταξύ τους ώστε να δίνουν στην έξοδο 24 V, θα είναι όμως ταυτόχρονα συνδεδεμένοι παράλληλα με τους ήδη υπάρχοντες (σχήμα 46). Ως αποτέλεσμα, θα επιτευχθεί συνολική χωρητικότητα $280\text{Ah} \times 2 = 560\text{Ah}$ (13,44 kW) .

Σε σειρά/παράλληλη σύνδεση
= 24 V και 560 Ah



Σχήμα 46: Η σύνδεση των τεσσάρων συσσωρευτών και τα χαρακτηριστικά τους

Επειδή ο συσσωρευτής βαθιάς εκφόρτισης μολύβδου-οξέος είναι άχρηστος μόλις το επίπεδο φόρτισης του (SOC) πέσει κάτω του 20%, θα θεωρηθεί ότι για τάση **23,16 V** του συσσωρευτή η οποία υποδεικνύει ότι η φόρτιση είναι στο 20% (Πίνακας 18) , μπαίνει μέσω του σερβοκινητήρα που προαναφέρθηκε στη θέση του ο μάντας του εναλλάκτη και ενεργοποιείται ο εναλλάκτης. Ο εναλλάκτης θα χρησιμοποιηθεί μέχρι η τάση του συσσωρευτή να ανέβει στα **24,84 V**, τάση η οποία υποδεικνύει ότι το επίπεδο φόρτισης είναι στο 80% (Πίνακας 18), οπότε και θα ξανά-απενεργοποιηθεί ο εναλλάκτης, με τον σερβοκινητήρα να αφαιρεί τον μάντα μετάδοσης από τη θέση του. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η τάση μετράται με αισθητήρα τάσης κατασκευασμένο με χρήση γέφυρας Wheatstone. Για να φτάσει ο συσσωρευτής από το 20% έως το 80% της φόρτισης, χρειάζεται να του προσφερθεί πλεόνασμα ενέργειας $560 \times (0.8 - 0.2) \times \frac{1}{0.9} = 373,33 \text{ Ah}$. Υπενθυμίζουμε ότι ο εναλλάκτης του Urbino 18 έχει έξοδο 110A.

Με χρήση των παραπάνω δεδομένων, θα γίνει τώρα ο υπολογισμός του ενεργειακού ισοζυγίου για κάθε μήνα και ανά μία ώρα ξεχωριστά. Για κάθε ωριαίο

διάστημα και ανάλογα με την καταναλισκόμενη και την αποθηκευόμενη ενέργεια που προέκυψε, θα καταγράφονται οι εναπομείνουσες διαθέσιμες Ah του συσσωρευτή και το αντίστοιχο επίπεδο φόρτισης (SOC) που θα προκύπτει. Στις περιπτώσεις που η καταναλισκόμενη ή η αποθηκευόμενη ενέργεια αλλάζουν ενδιάμεσα του ωριαίου διαστήματος λόγω δύσης ή ανατολής του ηλίου, ο υπολογισμός θα γίνεται με βάση τη χρονική στιγμή που έγινε αυτή η αλλαγή. Για τον μήνα Μάιο π.χ. που ο ήλιος ανατέλλει στις 6.15, θα έχουμε αποθηκευόμενη ισχύ $E_{ap} = \frac{15}{60} \times 0 + \frac{45}{60} \times 1,495 = 1,21 kWh$ (για το διάστημα 06.00 έως 07.00). Όταν η αποθηκευόμενη ενέργεια είναι συστηματικά ανεπαρκής, με αποτέλεσμα το επίπεδο φόρτισης πέσει στο 20%, θα ξεκινά η χρήση του εναλλάκτη, σε χρονική στιγμή η οποία θα καταγράφεται. Θα πρέπει ακόμα να αναφερθεί ότι οι αναγραφόμενες τιμές για τις διαθέσιμες Ah και το επίπεδο φόρτισης ισχύουν κατά το ξεκίνημα της εκάστοτε ωριαίας περιόδου.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι γίνεται χρήση της μέσης ωριαίας αποδιδόμενης ενέργειας από το φ/β σύστημα, έχοντας προφανώς υποθέσει ότι για κάθε ωριαίο διάστημα της ημέρας, προσπίπτει η ίδια ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια των φ/β πλαισίων. Αυτό φυσικά δεν είναι απολύτως ορθό, καθώς υπάρχει μεγάλη διαφορά στην ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει π.χ. στο διάστημα 07.00 – 08.00 και στο διάστημα 13.00 – 14.00 (υπέρ του δευτέρου), λόγω της διαφορετικής γωνίας πρόσπτωσης του ηλιακού φωτός. Παρ'ολ'αυτά, επειδή όπως θα φανεί και πιο κάτω, δεν γίνεται σε κανένα μήνα χρήση του εναλλάκτη προτού δύσει ο ήλιος, η συγκεκριμένη υπόθεση δεν επιφέρει καμία απολύτως αλλαγή στα τελικά αποτελέσματα καθώς με τη δύση του ηλίου έχει αποθηκευθεί όλη η μέση ημερήσια αποδιδόμενη ενέργεια, με αποτέλεσμα να μη μας ενδιαφέρει με τι ταχύτητα προσφέρθηκε κάθε κομμάτι την ενέργειας αυτής κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Η διαδικασία υπολογισμού που θα ακολουθηθεί, είναι ακριβώς η ίδια για όλους τους μήνες.

I) Ιανουάριος

Ωρα	Καταναλισκόμενη Ισχύς (Wh)	Αποθηκευόμενη Ισχύς (Wh)	Διαθέσιμες Ah (αρχικά)	SOC (αρχικά)
06.00 – 07.00	1684 (70,16 Ah)	0	560	100%
07.00 – 08.00	1684 (70,16 Ah)	248,34 (10,35 Ah)	489,84	87,47%
08.00 – 09.00	1123 (46,79 Ah)	745 (31,04 Ah)	430,13	76,81%
09.00 – 10.00	1123 (46,79 Ah)	745 (31,04 Ah)	414,38	74,00%
10.00 – 11.00	1123 (46,79 Ah)	745 (31,04 Ah)	398,63	71,18%
11.00 – 12.00	1123 (46,79 Ah)	745 (31,04 Ah)	382,88	68,37%
12.00 – 13.00	1123 (46,79 Ah)	745 (31,04 Ah)	367,13	65,56%
13.00 – 14.00	1123 (46,79 Ah)	745 (31,04 Ah)	351,38	62,75%
14.00 – 15.00	1123 (46,79 Ah)	745 (31,04 Ah)	335,63	59,93%
15.00 – 16.00	1123 (46,79 Ah)	745 (31,04 Ah)	319,88	57,12%
16.00 – 17.00	1123 (46,79 Ah)	745 (31,04 Ah)	304,13	54,31%
17.00 – 18.00	1123 (46,79 Ah)	347,67 (14,49 Ah)	271,83	48,54%
18.00 – 19.00	1684 (70,16 Ah)	0	201,67	36,01%
19.00 – 20.00	1684 (70,16 Ah)	2156 (89,83 Ah)	131,51	23,48%
20.00 – 21.00	1684 (70,16 Ah)	2640 (110 Ah)	151,18	26,00%
21.00 – 22.00	1684 (70,16 Ah)	2640 (110 Ah)	191,02	34,11%
22.00 – 23.00	1684 (70,16 Ah)	2640 (110 Ah)	230,86	41,23%
23.00 – 24.00	1684 (70,16 A)	2640 (110 Ah)	270,70	48,34%
Τέλος ημέρας	-	-	310,54	55,45%

Πίνακας 22: Το ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον μήνα Ιανουάριο

Χρόνος χρήσης εναλλάκτη: **4 ώρες και 49 λεπτά (ενεργοποίηση στις 19.11)**

Απαιτούμενη ενέργεια για πλήρη φόρτιση συσσωρευτή στο αμαξοστάσιο: $(100\% - 55,45\%) \times 13,44\text{kW} \times \frac{1}{0,9} = 0,4455 \times 13,44 \times 1,111 = \mathbf{6,65\text{ kW}}$

II) Φεβρουάριος

Ώρα	Καταναλισκόμενη Ισχύς (Wh)	Αποθηκευόμενη Ισχύς (Wh)	Διαθέσιμες Ah (αρχικά)	SOC (αρχικά)
06.00 – 07.00	1684 (70,16 Ah)	0	560	100%
07.00 – 08.00	1263,25 (52,64 Ah)	700,18 (29,17 Ah)	489,84	87,47%
08.00 – 09.00	1123 (46,79 Ah)	977 (40,71 Ah)	466,47	83,30%
09.00 – 10.00	1123 (46,79 Ah)	977 (40,71 Ah)	460,39	82,21%
10.00 – 11.00	1123 (46,79 Ah)	977 (40,71 Ah)	454,31	81,13%
11.00 – 12.00	1123 (46,79 Ah)	977 (40,71 Ah)	448,23	80,04%
12.00 – 13.00	1123 (46,79 Ah)	977 (40,71 Ah)	442,15	78,96%
13.00 – 14.00	1123 (46,79 Ah)	977 (40,71 Ah)	436,07	77,87%
14.00 – 15.00	1123 (46,79 Ah)	977 (40,71 Ah)	429,92	76,77%
15.00 – 16.00	1123 (46,79 Ah)	977 (40,71 Ah)	423,84	75,69%
16.00 – 17.00	1123 (46,79 Ah)	977 (40,71 Ah)	417,76	74,60%
17.00 – 18.00	1123 (46,79 Ah)	977 (40,71 Ah)	411,68	73,51%
18.00 – 19.00	1403 (58,46 Ah)	32,57 (1,357 Ah)	405,60	72,43%
19.00 – 20.00	1684 (70,16 Ah)	0	348,50	62,23%
20.00 – 21.00	1684 (70,16 Ah)	0	278,34	49,70%
21.00 – 22.00	1684 (70,16 Ah)	0	208,18	37,18%
22.00 – 23.00	1684 (70,16 Ah)	1672 (69,67 Ah)	138,02	24,65%
23.00 – 24.00	1684 (70,16 Ah)	2640 (110 Ah)	137,53	24,56%
Τέλος ημέρας	-	-	177,37	31,67%

Πίνακας 23: Το ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον μήνα Φεβρουάριο

Χρόνος χρήσης εναλλάκτη: **1 ώρα και 38 λεπτά (ενεργοποίηση στις 22.22)**

Απαιτούμενη ενέργεια για πλήρη φόρτιση συσσωρευτή στο αμαξοστάσιο: $(100\% - 31,67\%) \times 13,44\text{kW} \times \frac{1}{0,9} = 0,6833 \times 13,44 \times 1,111 = \mathbf{10,20\text{ kW}}$

III) Μάρτιος

Ώρα	Καταναλισκόμενη Ισχύς (Wh)	Αποθηκευόμενη Ισχύς (Wh)	Διαθέσιμες Ah (αρχικά)	SOC (αρχικά)
06.00 – 07.00	373,45 (15,56 Ah)	454 (18,92 Ah)	560	100%
07.00 – 08.00	92,5 (3,85 Ah)	1135 (47,29 Ah)	560	100%
08.00 – 09.00	92,5 (3,85 Ah)	1135 (47,29 Ah)	560	100%
09.00 – 10.00	92,5 (3,85 Ah)	1135 (47,29 Ah)	560	100%
10.00 – 11.00	92,5 (3,85 Ah)	1135 (47,29 Ah)	560	100%
11.00 – 12.00	92,5 (3,85 Ah)	1135 (47,29 Ah)	560	100%
12.00 – 13.00	92,5 (3,85 Ah)	1135 (47,29 Ah)	560	100%
13.00 – 14.00	92,5 (3,85 Ah)	1135 (47,29 Ah)	560	100%
14.00 – 15.00	92,5 (3,85 Ah)	1135 (47,29 Ah)	560	100%
15.00 – 16.00	92,5 (3,85 Ah)	1135 (47,29 Ah)	560	100%
16.00 – 17.00	92,5 (3,85 Ah)	1135 (47,29 Ah)	560	100%
17.00 – 18.00	92,5 (3,85 Ah)	1135 (47,29 Ah)	560	100%
18.00 – 19.00	92,5 (3,85 Ah)	605,33 (25,22Ah)	560	100%
19.00 – 20.00	654,4 (27,67 Ah)	0	560	100%
20.00 – 21.00	654,4 (27,67 Ah)	0	532,33	95,06%
21.00 – 22.00	654,4 (27,67 Ah)	0	504,66	90,12%
22.00 – 23.00	654,4 (27,67 Ah)	0	477,99	85,18%
23.00 – 24.00	654,4 (27,67 Ah)	0	450,32	80,41%
Τέλος ημέρας	-	-	422,65	75,47%

Πίνακας 24: Το ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον μήνα Μάρτιο

Χρόνος χρήσης εναλλάκτη: **0 ώρες**

Ο συσσωρευτής δεν θα φορτιστεί στο αμαξοστάσιο, η αποδιδόμενη φ/β ενέργεια κρίνεται επαρκής για να τον φορτίσει στο 100% την αμέσως επόμενη ημέρα.

IV) Απρίλιος

Ώρα	Καταναλισκόμενη Ισχύς (Wh)	Αποθηκευόμενη Ισχύς (Wh)	Διαθέσιμες Ah (αρχικά)	SOC (αρχικά)
06.00 – 07.00	631,7 (26,32 Ah)	226,21 (9,43 Ah)	560	100%
07.00 – 08.00	92,5 (3,85 Ah)	1357 (56,54 Ah)	543,11	96,98%
08.00 – 09.00	92,5 (3,85 Ah)	1357 (56,54 Ah)	560	100%
09.00 – 10.00	92,5 (3,85 Ah)	1357 (56,54 Ah)	560	100%
10.00 – 11.00	92,5 (3,85 Ah)	1357 (56,54 Ah)	560	100%
11.00 – 12.00	92,5 (3,85 Ah)	1357 (56,54 Ah)	560	100%
12.00 – 13.00	92,5 (3,85 Ah)	1357 (56,54 Ah)	560	100%
13.00 – 14.00	92,5 (3,85 Ah)	1357 (56,54 Ah)	560	100%
14.00 – 15.00	92,5 (3,85 Ah)	1357 (56,54 Ah)	560	100%
15.00 – 16.00	92,5 (3,85 Ah)	1357 (56,54 Ah)	560	100%
16.00 – 17.00	92,5 (3,85 Ah)	1357 (56,54 Ah)	560	100%
17.00 – 18.00	92,5 (3,85 Ah)	1357 (56,54 Ah)	560	100%
18.00 – 19.00	92,5 (3,85 Ah)	1357 (56,54 Ah)	560	100%
19.00 – 20.00	92,5 (3,85 Ah)	1357 (56,54 Ah)	560	100%
20.00 – 21.00	373,45 (15,56 Ah)	0	560	100%
21.00 – 22.00	654,4 (27,67 Ah)	0	544,44	97,22%
22.00 – 23.00	654,4 (27,67 Ah)	0	516,77	92,28%
23.00 – 24.00	654,4 (27,67 Ah)	0	489,10	87,34%
Τέλος ημέρας	-	-	461,43	82,40%

Πίνακας 25: Το ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον μήνα Απρίλιο

Χρόνος χρήσης εναλλάκτη: **0 ώρες**

Ο συσσωρευτής δεν θα φορτιστεί στο αμαξοστάσιο, η αποδιδόμενη φ/β ενέργεια κρίνεται επαρκής για να τον φορτίσει στο 100% την αμέσως επόμενη ημέρα.

V) Μάιος

Ώρα	Καταναλισκόμενη Ισχύς (Wh)	Αποθηκευόμενη Ισχύς (Wh)	Διαθέσιμες Ah (αρχικά)	SOC (αρχικά)
06.00 – 07.00	1620 (67,5 Ah)	1121 (46,72 Ah)	560	100%
07.00 – 08.00	1485 (61,88 Ah)	1495 (62,29 Ah)	539,22	96,29%
08.00 – 09.00	1485 (61,88 Ah)	1495 (62,29 Ah)	539,63	96,36%
09.00 – 10.00	1485 (61,88 Ah)	1495 (62,29 Ah)	540,04	96,44%
10.00 – 11.00	1485 (61,88 Ah)	1495 (62,29 Ah)	540,45	96,51%
11.00 – 12.00	1485 (61,88 Ah)	1495 (62,29 Ah)	540,86	96,58%
12.00 – 13.00	1485 (61,88 Ah)	1495 (62,29 Ah)	541,27	96,65%
13.00 – 14.00	1485 (61,88 Ah)	1495 (62,29 Ah)	541,68	96,72%
14.00 – 15.00	1485 (61,88 Ah)	1495 (62,29 Ah)	542,09	96,79%
15.00 – 16.00	1485 (61,88 Ah)	1495 (62,29 Ah)	542,50	96,86%
16.00 – 17.00	1485 (61,88 Ah)	1495 (62,29 Ah)	542,91	96,93%
17.00 – 18.00	1485 (61,88 Ah)	1495 (62,29 Ah)	543,32	97,00%
18.00 – 19.00	1485 (61,88 Ah)	1495 (62,29 Ah)	543,73	97,07%
19.00 – 20.00	1485 (61,88 Ah)	1495 (62,29 Ah)	544,14	97,14%
20.00 – 21.00	1485 (61,88 Ah)	697,67 (29,07 Ah)	544,55	97,21%
21.00 – 22.00	2024 (84,33 Ah)	0	511,74	91,38%
22.00 – 23.00	2024 (84,33 Ah)	0	427,41	76,32%
23.00 – 24.00	2024 (84,33 Ah)	0	343,08	61,26%
Τέλος ημέρας	-	-	258,75	46,21%

Πίνακας 26: Το ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον μήνα Μάιο

Χρόνος χρήσης εναλλάκτη: **0 ώρες**

Απαιτούμενη ενέργεια για πλήρη φόρτιση συσσωρευτή στο αμαξοστάσιο: $(100\% - 46,21\%) \times 13,44\text{kW} \times \frac{1}{0,9} = 0,5379 \times 13,44 \times 1,111 = \mathbf{8,03\text{ kW}}$

VI) Ιούνιος

Ώρα	Καταναλισκόμενη Ισχύς (Wh)	Αποθηκευόμενη Ισχύς (Wh)	Διαθέσιμες Ah (αρχικά)	SOC (αρχικά)
06.00 – 07.00	1485 (61,88 Ah)	1561,53 (65,06 Ah)	560	100%
07.00 – 08.00	1485 (61,88 Ah)	1588 (66,17 Ah)	560	100%
08.00 – 09.00	1485 (61,88 Ah)	1588 (66,17 Ah)	560	100%
09.00 – 10.00	1485 (61,88 Ah)	1588 (66,17 Ah)	560	100%
10.00 – 11.00	1485 (61,88 Ah)	1588 (66,17 Ah)	560	100%
11.00 – 12.00	1485 (61,88 Ah)	1588 (66,17 Ah)	560	100%
12.00 – 13.00	1485 (61,88 Ah)	1588 (66,17 Ah)	560	100%
13.00 – 14.00	1485 (61,88 Ah)	1588 (66,17 Ah)	560	100%
14.00 – 15.00	1485 (61,88 Ah)	1588 (66,17 Ah)	560	100%
15.00 – 16.00	1485 (61,88 Ah)	1588 (66,17 Ah)	560	100%
16.00 – 17.00	1485 (61,88 Ah)	1588 (66,17 Ah)	560	100%
17.00 – 18.00	1485 (61,88 Ah)	1588 (66,17 Ah)	560	100%
18.00 – 19.00	1485 (61,88 Ah)	1588 (66,17 Ah)	560	100%
19.00 – 20.00	1485 (61,88 Ah)	1588 (66,17 Ah)	560	100%
20.00 – 21.00	1485 (61,88 Ah)	1296,87 (54,04 Ah)	560	100%
21.00 – 22.00	1889,25 (78,7 Ah)	0	552,16	98,60%
22.00 – 23.00	2024 (84,33 Ah)	0	473,46	84,55%
23.00 – 24.00	2024 (84,33 Ah)	0	389,13	69,49%
Τέλος ημέρας	-	-	304,80	54,43%

Πίνακας 27: Το ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον μήνα Ιούνιο

Χρόνος χρήσης εναλλάκτη: **0 ώρες**

Απαιτούμενη ενέργεια για πλήρη φόρτιση συσσωρευτή στο αμαξοστάσιο: $(100\% - 54,43\%) \times 13,44\text{kW} \times \frac{1}{0,9} = 0,4557 \times 13,44 \times 1,111 = \mathbf{6,81\text{ kW}}$

VII) Ιούλιος

Ώρα	Καταναλισκόμενη Ισχύς (Wh)	Αποθηκευόμενη Ισχύς (Wh)	Διαθέσιμες Ah (αρχικά)	SOC (αρχικά)
06.00 – 07.00	1619,75 (67,49 Ah)	1229,73 (51,24 A)	560	100%
07.00 – 08.00	1485 (61,88 Ah)	1604 (66,83 A)	543,75	90,03%
08.00 – 09.00	1485 (61,88 Ah)	1604 (66,83 A)	548,70	97,98%
09.00 – 10.00	1485 (61,88 Ah)	1604 (66,83 A)	553,65	98,87%
10.00 – 11.00	1485 (61,88 Ah)	1604 (66,83 A)	558,60	99,75%
11.00 – 12.00	1485 (61,88 Ah)	1604 (66,83 A)	560	100%
12.00 – 13.00	1485 (61,88 Ah)	1604 (66,83 A))	560	100%
13.00 – 14.00	1485 (61,88 Ah)	1604 (66,83 A)	560	100%
14.00 – 15.00	1485 (61,88 Ah)	1604 (66,83 A)	560	100%
15.00 – 16.00	1485 (61,88 Ah)	1604 (66,83 A)	560	100%
16.00 – 17.00	1485 (61,88 Ah)	1604 (66,83 A)	560	100%
17.00 – 18.00	1485 (61,88 Ah)	1604 (66,83 A)	560	100%
18.00 – 19.00	1485 (61,88 Ah)	1604 (66,83 A)	560	100%
19.00 – 20.00	1485 (61,88 Ah)	1604 (66,83 A)	560	100%
20.00 – 21.00	1485 (61,88 Ah)	1256,47 (52,35 A)	560	100%
21.00 – 22.00	1889,25 (78,72 Ah)	0	550,47	98,30%
22.00 – 23.00	2024 (84,33 Ah)	0	466,14	83,24%
23.00 – 24.00	2024 (84,33 Ah)	0	381,81	68,18%
Τέλος ημέρας	-	-	297,48	53,12%

Πίνακας 28: Το ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον μήνα Ιούλιο

Χρόνος χρήσης εναλλάκτη: **0 ώρες**

Απαιτούμενη ενέργεια για πλήρη φόρτιση συσσωρευτή στο αμαξοστάσιο: $(100\% - 49,97\%) \times 13,44\text{kW} \times \frac{1}{0,9} = 0,5003 \times 13,44 \times 1,111 = \mathbf{7,47\text{ kW}}$

VIII) Αύγουστος

Ώρα	Καταναλισκόμενη Ισχύς (Wh)	Αποθηκευόμενη Ισχύς (Wh)	Διαθέσιμες Ah (αρχικά)	SOC (αρχικά)
06.00 – 07.00	1889,25 (78,72 Ah)	549,15 (22,88 Ah)	560	100%
07.00 – 08.00	1485 (61,88 Ah)	1569 (65,38 Ah)	504,16	90,03%
08.00 – 09.00	1485 (61,88 Ah)	1569 (65,38 Ah)	509,11	90,91%
09.00 – 10.00	1485 (61,88 Ah)	1569 (65,38 Ah)	514,06	91,80%
10.00 – 11.00	1485 (61,88 Ah)	1569 (65,38 Ah)	519,01	92,68%
11.00 – 12.00	1485 (61,88 Ah)	1569 (65,38 Ah)	523,96	93,56%
12.00 – 13.00	1485 (61,88 Ah)	1569 (65,38 Ah)	528,91	94,45%
13.00 – 14.00	1485 (61,88 Ah)	1569 (65,38 Ah)	533,86	95,33%
14.00 – 15.00	1485 (61,88 Ah)	1569 (65,38 Ah)	538,81	96,22%
15.00 – 16.00	1485 (61,88 Ah)	1569 (65,38 Ah)	543,76	97,10%
16.00 – 17.00	1485 (61,88 Ah)	1569 (65,38 Ah)	548,71	97,98%
17.00 – 18.00	1485 (61,88 Ah)	1569 (65,38 Ah)	553,66	98,87%
18.00 – 19.00	1485 (61,88 Ah)	1569 (65,38 Ah)	558,61	99,75%
19.00 – 20.00	1485 (61,88 Ah)	1569 (65,38 Ah)	560	100%
20.00 – 21.00	1619,75 (67,25 Ah)	496,85 (20,70 Ah)	560	100%
21.00 – 22.00	2024 (84,33 Ah)	0	513,45	91,69%
22.00 – 23.00	2024 (84,33 Ah)	0	429,12	76,63%
23.00 – 24.00	2024 (84,33 Ah)	0	344,79	61,57%
Τέλος ημέρας	-	-	260,46	46,51%

Πίνακας 29: Το ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον μήνα Αύγουστο

Χρόνος χρήσης εναλλάκτη: **0 ώρες**

Απαιτούμενη ενέργεια για πλήρη φόρτιση συσσωρευτή στο αμαξοστάσιο: $(100\% - 46,51\%) \times 13,44\text{kW} \times \frac{1}{0,9} = 0,5349 \times 13,44 \times 1,111 = \mathbf{7,99\text{ kW}}$

IX) Σεπτέμβριος

Ώρα	Καταναλισκόμενη Ισχύς (Wh)	Αποθηκευόμενη Ισχύς (Wh)	Διαθέσιμες Ah (αρχικά)	SOC (αρχικά)
06.00 – 07.00	631,7 (26,32 Ah)	0	560	100%
07.00 – 08.00	92,5 (3,85 Ah)	1257,3 (52,39 Ah)	533,68	95,30%
08.00 – 09.00	92,5 (3,85 Ah)	1397 (58,21 Ah)	560	100%
09.00 – 10.00	92,5 (3,85 Ah)	1397 (58,21 Ah)	560	100%
10.00 – 11.00	92,5 (3,85 Ah)	1397 (58,21 Ah)	560	100%
11.00 – 12.00	92,5 (3,85 Ah)	1397 (58,21 Ah)	560	100%
12.00 – 13.00	92,5 (3,85 Ah)	1397 (58,21 Ah)	560	100%
13.00 – 14.00	92,5 (3,85 Ah)	1397 (58,21 Ah)	560	100%
14.00 – 15.00	92,5 (3,85 Ah)	1397 (58,21 Ah)	560	100%
15.00 – 16.00	92,5 (3,85 Ah)	1397 (58,21 Ah)	560	100%
16.00 – 17.00	92,5 (3,85 Ah)	1397 (58,21 Ah)	560	100%
17.00 – 18.00	92,5 (3,85 Ah)	1397 (58,21 Ah)	560	100%
18.00 – 19.00	92,5 (3,85 Ah)	1397 (58,21 Ah)	560	100%
19.00 – 20.00	92,5 (3,85 Ah)	745,07 (31,04 Ah)	560	100%
20.00 – 21.00	631,7 (26,32 Ah)	0	560	100%
21.00 – 22.00	631,7 (26,32 Ah)	0	533,68	95,30%
22.00 – 23.00	631,7 (26,32 Ah)	0	507,36	90,06%
23.00 – 24.00	631,7 (26,32 Ah)	0	481,04	85,09%
Τέλος ημέρας	-	-	454,72	81,20%

Πίνακας 30: Το ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον μήνα Σεπτέμβριο

Χρόνος χρήσης εναλλάκτη: **0 ώρες**

Ο συσσωρευτής δεν θα φορτιστεί στο αμαξοστάσιο, η αποδιδόμενη φ/β ενέργεια κρίνεται επαρκής για να τον φορτίσει στο 100% την αμέσως επόμενη ημέρα.

Χ) Οκτώβριος

Ώρα	Καταναλισκόμενη Ισχύς (Wh)	Αποθηκευόμενη Ισχύς (Wh)	Διαθέσιμες Ah (αρχικά)	SOC (αρχικά)
06.00 – 07.00	631,7 (26,32 Ah)	0	560	100%
07.00 – 08.00	362,1 (15,09 Ah)	476,67 (19,86 Ah)	533,68	95,30%
08.00 – 09.00	92,5 (3,85 Ah)	1100 (45,83 Ah)	538,45	96,15%
09.00 – 10.00	92,5 (3,85 Ah)	1100 (45,83 Ah)	560	100%
10.00 – 11.00	92,5 (3,85 Ah)	1100 (45,83 Ah)	560	100%
11.00 – 12.00	92,5 (3,85 Ah)	1100 (45,83 Ah)	560	100%
12.00 – 13.00	92,5 (3,85 Ah)	1100 (45,83 Ah)	560	100%
13.00 – 14.00	92,5 (3,85 Ah)	1100 (45,83 Ah)	560	100%
14.00 – 15.00	92,5 (3,85 Ah)	1100 (45,83 Ah)	560	100%
15.00 – 16.00	92,5 (3,85 Ah)	1100 (45,83 Ah)	560	100%
16.00 – 17.00	92,5 (3,85 Ah)	1100 (45,83 Ah)	560	100%
17.00 – 18.00	92,5 (3,85 Ah)	1100 (45,83 Ah)	560	100%
18.00 – 19.00	92,5 (3,85 Ah)	861,67 (35,90 Ah)	560	100%
19.00 – 20.00	496,9 (20,70 Ah)	0	560	100%
20.00 – 21.00	631,7 (26,32 Ah)	0	539,30	96,30%
21.00 – 22.00	631,7 (26,32 Ah)	0	512,98	91,60%
22.00 – 23.00	631,7 (26,32 Ah)	0	486,66	86,90%
23.00 – 24.00	631,7 (26,32 Ah)	0	460,34	82,20%
Τέλος ημέρας	-	-	434,02	77,50%

Πίνακας 31: Το ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον μήνα Οκτώβριο

Χρόνος χρήσης εναλλάκτη: **0 ώρες**

Ο συσσωρευτής δεν θα φορτιστεί στο αμαξοστάσιο, η αποδιδόμενη φ/β ενέργεια κρίνεται επαρκής για να τον φορτίσει στο 100% την αμέσως επόμενη ημέρα.

ΧΙ) Νοέμβριος

Ώρα	Καταναλισκόμενη Ισχύς (Wh)	Αποθηκευόμενη Ισχύς (Wh)	Διαθέσιμες Ah (αρχικά)	SOC (αρχικά)
06.00 – 07.00	654,4 (27,27 Ah)	0	560	100%
07.00 – 08.00	92,5 (3,85 Ah)	717,3 (29,89 Ah)	532,73	95,13%
08.00 – 09.00	92,5 (3,85 Ah)	797 (33,21 Ah)	558,77	99,78%
09.00 – 10.00	92,5 (3,85 Ah)	797 (33,21 Ah)	560	100%
10.00 – 11.00	92,5 (3,85 Ah)	797 (33,21 Ah)	560	100%
11.00 – 12.00	92,5 (3,85 Ah)	797 (33,21 Ah)	560	100%
12.00 – 13.00	92,5 (3,85 Ah)	797 (33,21 Ah)	560	100%
13.00 – 14.00	92,5 (3,85 Ah)	797 (33,21 Ah)	560	100%
14.00 – 15.00	92,5 (3,85 Ah)	797 (33,21 Ah)	560	100%
15.00 – 16.00	92,5 (3,85 Ah)	797 (33,21 Ah)	560	100%
16.00 – 17.00	92,5 (3,85 Ah)	797 (33,21 Ah)	560	100%
17.00 – 18.00	232,98 (9,71 Ah)	172,68 (7,20 Ah)	560	100%
18.00 – 19.00	654,4 (27,27 Ah)	0	557,49	99,55%
19.00 – 20.00	654,4 (27,27 Ah)	0	530,22	94,68%
20.00 – 21.00	654,4 (27,27 Ah)	0	502,95	89,81%
21.00 – 22.00	654,4 (27,27 Ah)	0	475,68	84,94%
22.00 – 23.00	654,4 (27,27 Ah)	0	448,41	80,07%
23.00 – 24.00	654,4 (27,27 Ah)	0	421,14	75,20%
Τέλος ημέρας	-	-	393,87	70,33%

Πίνακας 32: Το ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον μήνα Νοέμβριο

Χρόνος χρήσης εναλλάκτη: **0 ώρες**

Ο συσσωρευτής **δεν** θα φορτιστεί στο αμαξοστάσιο, η **αποδιδόμενη φ/β ενέργεια κρίνεται επαρκής για να τον φορτίσει στο 100% την αμέσως επόμενη ημέρα.**

XII) Δεκέμβριος

Ώρα	Καταναλισκόμενη Ισχύς (Wh)	Αποθηκευόμενη Ισχύς (Wh)	Διαθέσιμες Ah (αρχικά)	SOC (αρχικά)
06.00 – 07.00	1684 (70,16 Ah)	0	560	100%
07.00 – 08.00	1403,5 (58,48 Ah)	275,83 (11,49 Ah)	489,84	87,47%
08.00 – 09.00	1123 (46,79 Ah)	662 (27,58 Ah)	442,85	79,08%
09.00 – 10.00	1123 (46,79 Ah)	662 (27,58 Ah)	423,64	75,65%
10.00 – 11.00	1123 (46,79 Ah)	662 (27,58 Ah)	404,43	72,22%
11.00 – 12.00	1123 (46,79 Ah)	662 (27,58 Ah)	385,22	68,79%
12.00 – 13.00	1123 (46,79 Ah)	662 (27,58 Ah)	366,01	65,36%
13.00 – 14.00	1123 (46,79 Ah)	662 (27,58 Ah)	346,80	62,25%
14.00 – 15.00	1123 (46,79 Ah)	662 (27,58 Ah)	327,59	58,50%
15.00 – 16.00	1123 (46,79 Ah)	662 (27,58 Ah)	308,38	55,07%
16.00 – 17.00	1123 (46,79 Ah)	662 (27,58 Ah)	289,17	51,64%
17.00 – 18.00	1403,5 (58,48 Ah)	77,23 (3,22 Ah)	269,96	48,21%
18.00 – 19.00	1684 (70,16 Ah)	0	214,70	38,34%
19.00 – 20.00	1684 (70,16 Ah)	1452 (60,4 Ah)	144,54	25,81%
20.00 – 21.00	1684 (70,16 Ah)	2640 (110 Ah)	134,78	24,07%
21.00 – 22.00	1684 (70,16 Ah)	2640 (110 Ah)	174,62	31,18%
22.00 – 23.00	1684 (70,16 Ah)	2640 (110 Ah)	214,46	38,30%
23.00 – 24.00	1684 (70,16 Ah)	2640 (110 Ah)	254,30	45,41%
Τέλος ημέρας	-	-	294,14	52,53%

Πίνακας 33: Το ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον μήνα Δεκέμβριο

Χρόνος χρήσης εναλλάκτη: **4 ώρες και 33 λεπτά (ενεργοποίηση στις 19.27)**

Απαιτούμενη ενέργεια για πλήρη φόρτιση συσσωρευτή στο αμαξοστάσιο: $(100\% - 52,53\%) \times 13,44\text{kW} \times \frac{1}{0,9} = 0,4747 \times 13,44 \times 1,111 = \mathbf{7,09\text{ kW}}$

Από τους παραπάνω υπολογισμούς, εξάγονται εξαιρετικά χρήσιμα συμπεράσματα για τη συγκεκριμένη εργασία. Καταρχάς, από τους πίνακες 24, 25, 30, 31 και 32 που αφορούν διαδοχικά τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο, Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Νοέμβριο, είναι εμφανές ότι τους συγκεκριμένους μήνες, όπου δεν απαιτείται χρήση ψύξης ή θέρμανσης, η φ/β γεννήτρια αντικαθιστά πλήρως το ρόλο του εναλλάκτη. Μάλιστα, δημιουργείται τέτοιο ενεργειακό πλεόνασμα κατά τη διάρκεια της ημέρας που η φ/β γεννήτρια δύναται κάθε επόμενη ημέρα λειτουργίας να φορτίσει πλήρως στο 100% τους συσσωρευτές, των οποίων η αποθηκευμένη ενέργεια έχει υποστεί μείωση λόγω των νυχτερινών ωρών λειτουργίας της προηγούμενης ημέρας, κατά τις οποίες η ενεργειακή απολαβή από το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι φυσικά μηδενική. Το συγκεκριμένο γεγονός οδηγεί σε πλήρη ηλεκτρική αυτονομία του Urbino 18 για τους συγκεκριμένους μήνες, αφού δεν απαιτείται φόρτιση των συσσωρευτών του στο αμαξοστάσιο.

Όσον αφορά τους μήνες Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο (πίνακες 26, 27, 28 και 29), παρατηρείται ότι τους συγκεκριμένους μήνες η φ/β γεννήτρια μπορεί να παρακαλύψει πλήρως τις υψηλές ενεργειακές ανάγκες του Urbino 18 κατά τη διάρκεια της ημέρας, αφού λόγω της έντονης ηλιοφάνειας των συγκεκριμένων μηνών, η αποθηκευόμενη ενέργεια είναι εξαιρετικά υψηλή. Φυσικά όπως είναι προφανές, κατά τη διάρκεια της νύχτας και λόγω της χρήσης του κλιματισμού, η ενέργεια των συσσωρευτών μειώνεται με ταχύτατους ρυθμούς, με αποτέλεσμα να καθιστάται αναγκαία η φόρτιση του στο αμαξοστάσιο μόλις το Urbino 18 τεθεί εκτός υπηρεσίας.

Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει το ενεργειακό ισοζύγιο των χειμερινών μηνών, όπου είναι αναγκαία η χρήση της θέρμανσης. Όπως φαίνεται στους πίνακες 22, 23 και 33 (για τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Δεκέμβριο αντίστοιχα), η ωριαία αποθηκευόμενη ενέργεια στους συσσωρευτές κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι αρκετά χαμηλή και αποτυγχάνει να καλύψει πλήρως τις ηλεκτρικές ανάγκες του λεωφορείου. Αναγκαστικά λοιπόν χρησιμοποιείται και η ήδη αποθηκευμένη ενέργεια ώστε να καλυφθεί το ενεργειακό έλλειμμα. Αυτό έχει ως συνέπεια την μείωση της ενέργειας των συσσωρευτών με εξαιρετικά γρήγορους ρυθμούς, ειδικότερα μάλιστα κατά τη διάρκεια της νύχτας, η οποία οδηγεί σε πρώτο χρόνο σε υποχρεωτική χρήση του εναλλάκτη όταν το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών (SOC) πέσει στο 20% και σε δεύτερο χρόνο σε αναγκαστική πλήρη φόρτιση τους στο αμαξοστάσιο.

4. Η ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

4.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα εκπονηθεί η τεχνοοικονομική μελέτη της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης του Urbino 18. Θα υπολογιστεί καταρχάς το αρχικό κόστος της εγκατάστασης, όπως και το ετήσιο επιπρόσθετο κόστος που προκύπτει για την αντικατάσταση των συσσωρευτών.

Στη συνέχεια θα υπολογιστεί το ποσοστό εξοικονόμησης πετρελαίου diesel που επιτυγχάνεται με τη χρήση της συγκεκριμένης εγκατάστασης, λαμβάνοντας υπόψιν τα στοιχεία που προέκυψαν στο προηγούμενο κεφάλαιο όσον αφορά τους χρόνους χρήσης του εναλλάκτη και την προκύπτουσα αποθηκευόμενη στους συσσωρευτές ενέργεια λόγω της ύπαρξης της φ/β γεννήτριας.

Τέλος, θα υπολογιστεί ο χρόνος απόσβεσης της εγκατάστασης του συγκεκριμένου φ/β συστήματος, καθώς και το εκτιμώμενο καθαρό κέρδος που θα προκύψει κατά τη διάρκεια της ζωής του λεωφορείου, βάσει των στοιχείων που έχουν εξαχθεί. Να σημειωθεί εδώ πως όλες οι οικονομικές τιμές που εμφανίζονται στη παρούσα μελέτη έχουν βρεθεί με χρήση του διαδικτύου και ισχύουν για τον Ιούλιο του 2013.

4.2. Το κόστος της εγκατάστασης

4.2.1. Κόστος αρχικού εξοπλισμού

Ο αρχικός εξοπλισμός αποτελείται από α) τα φωτοβολταϊκά πάνελ, β) τους συσσωρευτές, γ) τους ρυθμιστές φόρτισης, δ) τον σερβοκινητήρα με το αντίστοιχο ηλεκτρονικό κύκλωμα και ε) την απαραίτητη καλωδίωση. Η τιμή ενός μέσου φωτοβολταϊκού πάνελ 240W –όπως αυτά που χρησιμοποιούνται- είναι τη δεδομένη στιγμή 200 € (με σταθερά πτωτικές τάσεις) και κάθε εγκατάσταση χρειάζεται 13 πάνελ. Οι ρυθμιστές φόρτισης που χρησιμοποιούνται, οι MPPT Outback FlexMax 80

και MPPT Outback FlexMax 60, έχουν κόστος 480 € και 440 € αντίστοιχα. Θα χρησιμοποιηθούν όπως έχει ήδη αναφερθεί, 2 συσκευές MPPT Outback FlexMax 60 και μία MPPT Outback FlexMax 80. Ο συσσωρευτής Winner Solar SMF 12V 280Ah κοστίζει 290 € και απαιτούνται 4 για τη λειτουργία του συστήματος όπως αυτό έχει σχεδιαστεί. Ο σερβοκινητήρας με το αντίστοιχο ηλεκτρονικό κύκλωμα είναι σχετικά φθηνός, με το κόστος του να ανέρχεται περίπου στα 150 €. Τέλος θα θεωρηθεί και ένα χονδρικό κόστος της τάξεως των 50 € για την απαραίτητη καλωδίωση. Το αναλυτικό αρχικό κόστος του εξοπλισμού παρουσιάζεται στον πίνακα 34.

Είδος	Ποσότητα	Κόστος
Φωτοβολταϊκό πάνελ	13	2600 €
Συσσωρευτές	4	1160 €
Outback FlexMax 80	1	480 €
Outback FlexMax 60	2	880 €
Σερβοκινητήρας	1	150 €
Καλώδια	1	50 €

Πίνακας 34: Το αρχικό κόστος του εξοπλισμού του φωτοβολταϊκού συστήματος του Urbino 18

Συνεπώς, το αρχικό κόστος για την εγκατάσταση του φ/β συστήματος που εξετάζεται, ορίζεται στα 5320 €. Λόγω της μαζικότητας της παραγγελίας (ο στόλος απαρτίζεται από 100 Urbino 18), είναι δυνατόν και απολύτως λογικό να θεωρήσουμε έκπτωση της τάξεως του 10%, με αποτέλεσμα το κόστος της εγκατάστασης για κάθε λεωφορείο να ανέρχεται σε $C_{εγκ} = 4788$ €.

4.2.2. Επιπρόσθετο ετήσιο κόστος εγκατάστασης

Εκτός από το αρχικό κόστος της εγκατάστασης, θα πρέπει να υπολογιστεί επίσης και το επιπρόσθετο κόστος που προκύπτει για την ετήσια χρήση αυτής. Το

επιπρόσθετο κόστος αυτό αποτελείται από το κόστος αντικατάστασης των συσσωρευτών, οι οποίοι θα πρέπει να αλλάζονται κάθε μερικά χρόνια, καθώς και από το ενεργειακό κόστος που προκύπτει λόγω της αναγκαίας φόρτισης των συσσωρευτών στο αμαξοστάσιο, κάποιους από τους μήνες του χρόνου.

Καταρχάς θα βρεθεί ο εκτιμώμενος χρόνος ζωής των συσσωρευτών βαθιάς εκφόρτισης που θα χρησιμοποιηθούν. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο χρόνος ζωής των συγκεκριμένων συσσωρευτών, δηλαδή ο επιτρεπόμενος αριθμός κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης, μεταβάλλεται εξαιρετικά ανάλογα με επίπεδο εκφόρτισης κατά το οποίο ξεκινά η φόρτισή τους. Όπως φαίνεται όμως από τους πίνακες 22 έως 33, έχουμε πολύ διαφορετικά ποσοστά εκφόρτισης για κάθε μήνα, με αποτέλεσμα να αντιστοιχεί στον καθένα και διαφορετικός εκτιμώμενος χρόνος ζωής. Ο εκτιμώμενος αριθμός κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης που αντιστοιχεί σε φόρτιση που ξεκινά από το εκάστοτε τελικό επίπεδο φόρτισης, έχει ήδη παρουσιαστεί στο διάγραμμα 5. Με τη χρήση του συγκεκριμένου διαγράμματος και των πινάκων 22 έως 33, εξάγονται τα παρακάτω στοιχεία, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 35.

Μήνας	Τελικό επίπεδο φόρτισης	Κύκλοι ζωής
Ιανουάριος	20%	500
Φεβρουάριος	20%	500
Μάρτιος	75,47%	2000
Απρίλιος	82,40%	3050
Μάιος	46,21%	930
Ιούνιος	54,43%	1200
Ιούλιος	53,12%	1150
Αύγουστος	46,51%	940
Σεπτέμβριος	81,20%	2950
Οκτώβριος	77,50%	2700
Νοέμβριος	70,33%	1850
Δεκέμβριος	20%	500

Πίνακας 35: Οι κύκλοι ζωής που αντιστοιχούν σε κάθε επίπεδο φόρτισης (SOC)

Λόγω της εξαιρετικά μεγάλης απόκλισης μεταξύ των μηνών, για να βρεθεί η πραγματική διάρκεια ζωής των συσσωρευτών, θα πρέπει τα στοιχεία του πίνακα 35 να αναχθούν σε ετήσια βάση. Κατά συνέπεια, ο εκτιμώμενος χρόνος ζωής των συσσωρευτών προκύπτει ως εξής:

$$(31 \times 500 + 28 \times 500 + 31 \times 2000 + 30 \times 3050 + 31 \times 930 + 30 \times 1200 + 31 \times 1150 + 31 \times 940 + 30 \times 2950 + 31 \times 2700 + 30 \times 1850 + 31 \times 500) / 365 = 1523 \text{ κύκλοι ζωής}$$

Οι 1523 κύκλοι ζωής αντιστοιχούν σε $1523 / 365 = 4,17$ χρόνια, δηλαδή περίπου 4 χρόνια και 2 μήνες ικανοποιητικής λειτουργίας των συσσωρευτών. Με δεδομένο ότι ο εκτιμώμενος χρόνος ζωής των απλών συσσωρευτών εκκίνησης που είναι ήδη εγκατεστημένοι στο Urbino 18 είναι όπως προέκυψε από στοιχεία του τεχνικού τμήματος τα 5 χρόνια, παρατηρούμε ότι η αντικατάστασή τους από συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης, δεν επιφέρει μεγάλη αλλαγή στη χρονική διάρκεια που απαιτείται μέχρι την αλλαγή τους. Παρ'ολ'αυτά λόγω του ότι είναι ελαφρώς ακριβότεροι, χρειάζονται οι διπλάσιοι και διαρκούν και 10 μήνες λιγότερο, υπάρχει ένα επιπρόσθετο ετήσιο κόστος. Με δεδομένο ότι οι υπάρχοντες τυπικοί συσσωρευτές εκκίνησης χαρακτηριστικών 12 V και 230 Ah έχουν κόστος 220 €, το επιπρόσθετο κόστος αυτό υπολογίζεται ως εξής:

$$C_{\text{συσ}} = \frac{290 \text{ ευρώ} \times 4 \text{ συσσωρευτές}}{4,17 \text{ έτη}} - \frac{220 \text{ ευρώ} \times 2 \text{ συσσωρευτές}}{5 \text{ έτη}}$$

$$C_{\text{συσ}} = 278,18 - 88 = 190,18 \text{ €}$$

Έχοντας υπολογίσει το ετήσιο επιπρόσθετο κόστος που προκύπτει λόγω της αντικατάστασης των συσσωρευτών εκκίνησης με συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης, θα υπολογιστεί σε αυτό το σημείο και το ετήσιο επιπρόσθετο κόστος λόγω της αναγκαίας φόρτισης των συσσωρευτών στο αμαξοστάσιο κατά τη διάρκεια της νύχτας, ώστε να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία τους. Η απαιτούμενη ενέργεια για

τη φόρτιση των συσσωρευτών για κάθε μήνα που αυτό χρειάζεται (ανά ημέρα), έχει ήδη υπολογιστεί στους πίνακες 22, 23, 26, 27, 28, 29 και 33. Να σημειώσουμε εδώ ότι θεωρώντας απόδοση ενός τυπικού μετασχηματιστή $\eta_{\mu} = 0,95$ όλες οι τιμές που έχουν βρεθεί θα πρέπει να πολλαπλασιαστούν με $\frac{1}{0,95}$ ώστε να βρεθεί η ακριβής ενέργεια που θα απορροφηθεί από το δίκτυο διανομής. Με το εμπορικό κόστος της κιλοβατώρας[26] να διαμορφώνεται στα 0,0608 €/kWh, το συνολικό κόστος που προκύπτει για κάθε μήνα παρουσιάζεται στον πίνακα 36.

Μήνας	Απαιτούμενη ενέργεια φόρτισης	Κόστος
Ιανουάριος	217 kWh	13,19 €
Φεβρουάριος	300,63 kWh	18,28 €
Μάρτιος	0 kWh	0 €
Απρίλιος	0 kWh	0 €
Μάιος	262,03 kWh	15,93 €
Ιούνιος	215,05 kWh	13,08 €
Ιούλιος	243,76 kWh	14,82 €
Αύγουστος	260,73 kWh	15,85 €
Σεπτέμβριος	0 kWh	0 €
Οκτώβριος	0 kWh	0 €
Νοέμβριος	0 kWh	0 €
Δεκέμβριος	231,36 kWh	14,07 €

Ετήσιο κόστος	105,22 €
----------------------	-----------------

Πίνακας 36: Μηνιαίο και ετήσιο κόστος φόρτισης των συσσωρευτών μέσω του δικτύου διανομής

Συνεπώς, το ολικό επιπρόσθετο ετήσιο κόστος προκύπτει ως εξής:

$$C_{\text{επιπ}} = C_{\text{συσ}} + C_{\text{φορ}} = 190,18 + 105,22 = \mathbf{295,4 \text{ €}}$$

4.3. Η εξοικονόμηση καυσίμου

Στο σημείο αυτό θα υπολογιστεί το ακριβές ποσοστό εξοικονόμησης καυσίμου diesel που επιτυγχάνεται με τη χρήση του συγκεκριμένου φ/β συστήματος, όπως αυτό προκύπτει από την εξαιρετικά ελαχιστοποιημένη χρήση του εναλλάκτη και την αντικατάσταση του ως κύρια πηγή φόρτισης των συσσωρευτών, αφενός από την φ/β γεννήτρια και αφετέρου από τον μετασχηματιστή στο αμαξοστάσιο.

Από τα επίσημα στοιχεία του τεχνικού τμήματος της ΟΣΥ που αφορούν το σύνολο των Urbino 18 που βρίσκονται σε υπηρεσία, προκύπτει ότι κατά το έτος 2011 τα 100 διαθέσιμα Urbino 18 διένυσαν 7.713.707 km και κατανάλωσαν συνολικά 4.307.302 λίτρα καυσίμου diesel. Συνεπώς, κάθε όχημα έχει αυτή τη στιγμή μέση κατανάλωση **43.073,02** λίτρα πετρελαίου diesel ανά έτος.

4.3.1. Η εξοικονόμηση λόγω αποσύνδεσης του εναλλάκτη

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, η εξοικονόμηση καυσίμου λόγω ολικής αποσύνδεσης του εναλλάκτη από τον ιμάντα μετάδοσης της μηχανής αγγίζει το 4,3% [20] και αφορά αποφυγή τριβών μετάδοσης και απωλειών ηλεκτρομηχανικής μετατροπής. Επιπρόσθετα, έχει ήδη αποδειχτεί στην συγκεκριμένη μελέτη ότι η ολική αποσύνδεση του εναλλάκτη στο συγκεκριμένο ιδιότυπο σύστημα είναι εφικτή λόγω της μεγάλης χωρητικότητας των συσσωρευτών του, εκτός από μερικούς μήνες το χρόνο που η μειωμένη ηλιοφάνεια δημιουργεί αρνητικό ισοζύγιο ενέργειας και δεν το επιτρέπει. Οι μήνες αυτοί παρουσιάζονται στον πίνακα 37, μαζί με τον χρόνο που γίνεται η αναγκαστική χρήση του εναλλάκτη:

Μήνας	Χρόνος χρήσης εναλλάκτη	Ποσοστό επί του συνολικού χρόνου υπηρεσίας του Urbino 18
Ιανουάριος	4 ώρες και 49 λεπτά	26,76%
Φεβρουάριος	1 ώρα και 28 λεπτά	8,17%
Δεκέμβριος	4 ώρες και 33 λεπτά	25,28%

Πίνακας 37: Οι μήνες που απαιτείται η χρήση του εναλλάκτη και ο χρόνος χρήσης του

Λόγω της αναγκαστικής χρήσης του εναλλάκτη κατά τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Δεκέμβριο, η ετήσια εξοικονόμηση καυσίμου λόγω ολικής αποσύνδεσης του εναλλάκτη, υποχωρεί χαμηλότερα από το 4,3%. Το ακριβές ποσοστό υπολογίζεται με χρήση του πίνακα 37 ως εξής:

$$0,043 \times (31 \times 0,7324 + 28 \times 0,9183 + 31 \times 1 + 30 \times 1 + 31 \times 1 + 30 \times 1 + 31 \times 1 + 31 \times 1 + 30 \times 1 + 31 \times 1 + 30 \times 1 + 31 \times 0,7472) / 365 = 0,043 \times 0,949 = 0,0408 = \mathbf{4,08\%}$$

Κατά συνέπεια, προκύπτει ετήσια εξοικονόμηση καυσίμου λόγω του εξαιρετικά μειωμένου χρόνου σύνδεσης του εναλλάκτη: $43.073,02 \times 0,0408 = \mathbf{1.757,38 \text{ λίτρα}}$

4.3.2. Η εξοικονόμηση λόγω της ελαχιστοποιημένης χρήσης του εναλλάκτη εξαιτίας της προσφοράς ενέργειας της φ/β γεννήτριας

Με τη χρήση της φ/β γεννήτριας, η οποία καταφέρνει να τροφοδοτεί επαρκώς τους συσσωρευτές με την απαραίτητη ενέργεια για την εύρυθμη λειτουργία των ηλεκτρικών συστημάτων του λεωφορείου σχεδόν όλες τις ημέρες του χρόνου, επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση του χρόνου χρήσης του εναλλάκτη, ο οποίος όπως έχει αναφερθεί είναι ένας τελείως ασύμφορος, από άποψη κατανάλωσης καυσίμου, τρόπος φόρτισης των συσσωρευτών. Εκτός δηλαδή από την εξοικονόμηση λόγω ολικής αποσύνδεσης του εναλλάκτη, η οποία βρέθηκε μόλις πριν, υπάρχει και η εξοικονόμηση λόγω της τροφοδοσίας του ηλεκτρικού συστήματος μέσω της φ/β γεννήτριας, αντί μέσω του εναλλάκτη. Η συγκεκριμένη εξοικονόμηση θα υπολογιστεί με χρήση των πινάκων 5 έως 16 όπου αναγράφονται οι συνολικές καταναλώσεις για κάθε ημέρα του εκάστοτε μήνα και των πινάκων 22 έως 33 όπου αναγράφεται η ημερήσια προσφερόμενη από τον εναλλάκτη ενέργεια για κάθε μήνα. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν παρουσιάζονται στον πίνακα 38.

Μήνας	Ημερήσια κατανάλωση	Αποδιδόμενη ενέργεια από τον εναλλάκτη	Διαφορά
Ιανουάριος	24,702 kWh	12,716 kWh	11,986 kWh
Φεβρουάριος	24,001 kWh	4,312 kWh	19,689 kWh
Μάρτιος	4,739 kWh	0	4,739 kWh
Απρίλιος	4,094 kWh	0	4,094 kWh
Μάιος	28,480 kWh	0	28,480 kWh
Ιούνιος	28,480 kWh	0	28,480 kWh
Ιούλιος	28,340 kWh	0	28,340 kWh
Αύγουστος	28,880 kWh	0	28,880 kWh
Σεπτέμβριος	4,361 kWh	0	4,361 kWh
Οκτώβριος	5,030 kWh	0	5,030 kWh
Νοέμβριος	5,738 kWh	0	5,738 kWh
Δεκέμβριος	24,702 kWh	12,012 kWh	12,690 kWh

Πίνακας 38: Η διαφορά μεταξύ αποδιδόμενης ενέργειας από τον εναλλάκτη και ημερήσιας κατανάλωσης

Όπως είναι προφανές και έχει ήδη αποδειχθεί, οι ενεργειακές διαφορές που προκύπτουν στον πίνακα 38, καλύπτονται είτε μέσω της φ/β γεννήτριας, δηλαδή απολύτως δωρεάν, είτε με τη χρήση μετασχηματιστή στο αμαξοστάσιο, δηλαδή με το μικρότερο δυνατό κόστος. Αν δεν γινόταν χρήση αυτών των δύο τρόπων τροφοδοσίας των συσσωρευτών, ο εναλλάκτης θα καλούνταν να αποδώσει το ολικό ποσό ενέργειας που απαιτείται για την ημερήσια κατανάλωση κάθε μηνός, καθώς οι συσσωρευτές εκκίνησης είναι φτιαγμένοι να είναι συνεχώς φορτισμένοι σε ποσοστό άνω του 90%, με αποτέλεσμα να εξαναγκάζουν τον εναλλάκτη σε συνεχή λειτουργία.

Όπως έχει υπολογιστεί στο κεφάλαιο 3.4, η απόδοση του υπάρχοντος εναλλάκτη ανέρχεται σε $n = 0,18865$ και με 1 λίτρο καυσίμου παράγει ηλεκτρική ενέργεια 1,91 kW. Συνεπώς, μπορεί εύκολα να υπολογιστεί πόσα λίτρα καυσίμου χρειάζεται ο εναλλάκτης για να αποδώσει την απαιτούμενη ενέργεια των διαφορών που υπολογίστηκαν στον πίνακα 38, στην περίπτωση του συμβατικού Urbino 18. Τα δεδομένα που προκύπτουν παρουσιάζονται στον πίνακα 39.

Μήνας	Διαφορά	Απαιτούμενα λίτρα καυσίμου ανά ημέρα
Ιανουάριος	11,986 kWh	6,275
Φεβρουάριος	19,689 kWh	10,308
Μάρτιος	4,739 kWh	2,481
Απρίλιος	4,094 kWh	2,144
Μάιος	28,480 kWh	14,911
Ιούνιος	28,480 kWh	14,911
Ιούλιος	28,340 kWh	14,838
Αύγουστος	28,880 kWh	15,120
Σεπτέμβριος	4,361 kWh	2,283
Οκτώβριος	5,030 kWh	2,634
Νοέμβριος	5,738 kWh	3,004
Δεκέμβριος	12,690 kWh	6,644

Πίνακας 39: Τα λίτρα καυσίμου που εξοικονομούνται ανά ημέρα του μήνα

Όπως είναι προφανές, στην περίπτωση του Urbino 18 με ενσωματωμένη φ/β γεννήτρια, όλα τα απαιτούμενα λίτρα καυσίμου ανά ημέρα που υπολογίστηκαν στον πίνακα 39, εξοικονομούνται. Η εξοικονόμηση αυτή ανάγεται σε ετήσια εξοικονόμηση ως εξής:

$$31 \times 6,725 + 28 \times 10,308 + 31 \times 2,481 + 30 \times 2,144 + 31 \times 14,911 + 30 \times 14,911 + 31 \times 14,838 + 31 \times 15,120 + 30 \times 2,283 + 31 \times 2,634 + 30 \times 3,004 + 31 \times 6,644 = \mathbf{2.922,827}$$

λίτρα

Συνεπώς προκύπτει ποσοστό ετήσιας εξοικονόμησης καυσίμου $\frac{2.922,827}{43.073,02} = \mathbf{6,79\%}$

Άρα, το ολικό ποσοστό εξοικονόμησης καυσίμου είναι $4,08\% + 6,79\% = \mathbf{10,87\%}$, δηλαδή $0,1087 \times 43.073,02 = \mathbf{4.682,037}$ λίτρα πετρελαίου diesel ετησίως ανα όχημα.

4.4. Κέρδος και χρόνος απόσβεσης της εγκατάστασης

4.4.1. Το μέσο ετήσιο κέρδος

Με το κόστος του πετρελαίου diesel τη δεδομένη στιγμή να λαμβάνεται στα 1,35 € ανά λίτρο, το ετήσιο κόστος καυσίμου για το συμβατικό Urbino 18 είναι: $43.073,02 \times 1,35 = 58.148,58$ €. Το αντίστοιχο κόστος για το τροποποιημένο Urbino 18 με την ενσωματωμένη φ/β γεννήτρια, είναι: $43.073,02 \times 0,8913 \times 1,35 = 51.827,83$ €. Για το τροποποιημένο όμως Urbino 18, θα πρέπει να προστεθεί και το ολικό ετήσιο επιπρόσθετο κόστος που έχει υπολογιστεί νωρίτερα. Έτσι λαμβάνεται $51.827,83 \text{ €} + C_{\text{επιπ}} = 51.827,83 + 295,4 = 52.123,23$ €. Προκύπτει δηλαδή ετήσιο κέρδος $58.148,58 - 52.123,23 = 6.025,35$ € από κάθε όχημα, άρα συνολικό κέρδος από όλα τα Urbino του στόλου $100 \times 6.025,35 = 602.535$ € ετησίως.

4.4.2. Ο χρόνος απόσβεσης της εγκατάστασης

Έχοντας υπολογίσει όλα τα απαραίτητα στοιχεία σε ετήσια βάση, μπορεί τώρα να βρεθεί ο εκτιμώμενος χρόνος απόσβεσης του κόστους της συγκεκριμένης φ/β εγκατάστασης (break even point). Ο ζητούμενος χρόνος εξάγεται από τον παρακάτω τύπο:

$$C_{\text{εγκ}} = 6.025,35 \times t \leftrightarrow 4788 = 6.025,35 \times t \leftrightarrow t = 0,795 \text{ χρόνια}$$

Όπως είναι εμφανές, η συγκεκριμένη επένδυση είναι εξαιρετικά επικερδής, αφού η απόσβεσή της γίνεται σε λιγότερο από ένα χρόνο. Πέραν του σημείου $t = 0,795$ χρόνια, το σύστημα παράγει συνεχώς κέρδος, καθ'όλη τη διάρκεια ζωής του.

4.4.3. Εκτιμώμενο μακροπρόθεσμο κέρδος

Υποθέτοντας σταθερή τιμή πετρελαίου diesel 1,35 € ανά λίτρο και εκτιμώμενο χρόνο ζωής των Urbino 18 τα 23 χρόνια, όπως προέκυψε από τα λεγόμενα του διευθυντή του τεχνικού τμήματος της ΟΣΥ, το μακροπρόθεσμο κέρδος ορίζοντα 23-ετίας από κάθε όχημα θα είναι:

$$R = (23 - 0,795) \times 6.025,35 = \mathbf{133.792,90 \text{ €}}$$

Συνεπώς, το μακροπρόθεσμο κέρδος σε ορίζοντα 23-ετίας από όλο το στόλο των Urbino 18 προκύπτει:

$$R_{100} = 100 \times 133.792,90 = \mathbf{13.379.290 \text{ €}}$$

Θα πρέπει να αναφερθεί εδώ ότι η τιμή του πετρελαίου diesel τα επόμενα χρόνια αναμένεται να αυξηθεί σταδιακά, αλλά με τη χρήση μίας σταθερής τιμής στους υπολογισμούς που παρουσιάστηκαν, μπορεί να δημιουργηθεί επιτυχώς μία επαρκής εικόνα για την τάξη μεγέθους του εκτιμώμενου μακροπρόθεσμου κέρδους. Μάλιστα, επειδή δεν προβλέπεται σε καμία περίπτωση πτώση της τιμής του πετρελαίου, το μακροπρόθεσμο κέρδος θα μπορούσε να ήταν μόνο μεγαλύτερο από αυτό που βρέθηκε. Συνεπώς, θα μπορούσε να θεωρηθεί ακόμα και σχετικά απαισιόδοξη εκτίμηση.

5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό συνοψίζονται τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Αρχικά περιγράφονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εξαγωγή του αποτελέσματος. Στη συνέχεια σχολιάζεται η συμπεριφορά του τροποποιημένου Urbino 18 και τα αποτελέσματα εξοικονόμησης και κέρδους που επιτεύχθηκαν. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται μερικές προτάσεις για μελλοντικές επεκτάσεις της παρούσας τροποποίησης και τα διάφορα οφέλη που θα προκύψουν με την εξέλιξη της τεχνολογίας.

5.1. Σύνοψη

Η παρούσα εργασία έχει ως θέμα την εξέταση του ερωτήματος κατά πόσον θα ήταν επικερδής και βιώσιμη η τροποποίηση των υπάρχοντων Urbino 18, προσθέτοντας στην οροφή τους φωτοβολταϊκά πάνελ για την τροφοδοσία των ηλεκτρικών τους αναγκών.

Αρχικά, αναλύθηκαν τα επιμέρους μέρη του λεωφορείου και βρέθηκαν όλες οι προκύπτουσες ηλεκτρικές καταναλώσεις που αφορούν στον φωτισμό, την ψύξη, τη θέρμανση και τις λοιπές απαραίτητες λειτουργίες του λεωφορείου.

Στη συνέχεια, παρουσιάστηκε μία τρισδιάστατη άποψη της εγκατάστασης και καταρτίστηκαν οι πίνακες ηλεκτρικής κατανάλωσης που προκύπτουν για κάθε μήνα του χρόνου. Δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην προσπάθεια να αποτυπωθούν σωστά οι ιδιαίτερες ηλεκτρικές ανάγκες που έχει το λεωφορείο κάθε μήνα, καθώς λόγω των καιρικών συνθηκών, της θερμοκρασίας και της διαφορετικής ηλιοφάνειας από μήνα σε μήνα, αυτές διαφέρουν χαρακτηριστικά.

Προχωρώντας, έγινε αναλυτικός σχεδιασμός και υπολογισμός της Φ/Β εγκατάστασης που θα εγκατασταθεί στο Urbino 18. Υπολογίστηκε η προσφερόμενη επιφάνεια, τα χαρακτηριστικά των ηλιακών πάνελ που συνθέθηκαν, καθώς και τα χαρακτηριστικά των ρυθμιστών φόρτισης και των νέων συσσωρευτών βαθιάς εκφόρτισης που θα εγκατασταθούν.

Μελετήθηκε στη συνέχεια η επίδοση του Φ/Β συστήματος κατά τη διάρκεια του έτους και η ενέργεια που αυτό αποδίδει για κάθε μήνα του χρόνου ξεχωριστά. Με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν, καταρτίστηκαν οι μηνιαίοι πίνακες που περιγράφουν το ενεργειακό ισοζύγιο που δημιουργείται κατά τη διάρκεια μίας τυπικής ημέρας και επιτρέπουν τον υπολογισμό του χρόνου χρήσης του εναλλάκτη και της ενέργειας που αυτός αποδίδει προς τους συσσωρευτές.

Τέλος, υπολογίστηκε το αρχικό κόστος της εγκατάστασης και ο χρόνος απόσβεσης της, το επιπρόσθετο ετήσιο κόστος που προκύπτει λόγω της αντικατάστασης των συσσωρευτών εκκίνησης με βαθιάς εκφόρτισης, καθώς και η εξοικονόμηση καυσίμου και το κέρδος σε ετήσιο και μακροχρόνιο ορίζοντα που η εξοικονόμηση αυτή απέφερε.

5.2. Συμπεράσματα

Η εφαρμογή των Φ/Β συστημάτων σε λεωφορεία παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες καθώς υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί. Η μικρή διαθέσιμη επιφάνεια, η σκίαση των ηλιακών πάνελ καθώς το λεωφορείο κινείται στην πόλη και η μη βέλτιστη γωνία υπό την οποία «αντικρίζουν» τον ήλιο, μειώνουν σημαντικά την ενέργεια που αποδίδεται τελικώς στους συσσωρευτές.

Παρ'όλα αυτά, η επιλογή του Urbino 18 για τη συγκεκριμένη μελέτη αποδείχτηκε τελικώς το στοιχείο που έκανε τη διαφορά. Το Urbino 18 λόγω της αρθρωτής του μορφής, έχει διπλάσια διαθέσιμη επιφάνεια για εγκατάσταση ηλιακών πάνελ, η οποία αποδίδει διπλάσια ηλεκτρική ενέργεια και επιτυγχάνει να καλύψει τις ηλεκτρικές ανάγκες του λεωφορείου κατά τη διάρκεια όλου σχεδόν του έτους. Επιπρόσθετα, η εκτιμώμενη υψηλή χρονική διάρκεια υπηρεσίας του (23 έτη), συνδυάζεται άριστα με τον εκτιμώμενο χρόνο ζωής των Φ/Β πάνελ που είναι τα 25 έτη. Με τη χρήση μάλιστα περισσότερων και διαφορετικού είδους συσσωρευτών, επιτεύχθηκε σε ικανοποιητικό βαθμό η ανεξαρτησία του λεωφορείου από τον εναλλάκτη και για τις νυχτερινές ώρες, γεγονός που οδήγησε σε ακόμα μεγαλύτερη εξοικονόμηση καυσίμου.

Για τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο, Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Νοέμβριο, τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης διερεύνησης ήταν άριστα, καθώς επιτεύχθηκε πλήρης ηλεκτρική ανεξαρτησία για το Urbino 18, με μηδαμινή χρήση τόσο του εναλλάκτη, όσο και άλλων εξωτερικών πηγών φόρτισης. Όσον αφορά τους καλοκαιρινούς μήνες Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο, η έντονη ηλιοφάνεια τροφοδότησε επαρκώς τις ηλεκτρικές ανάγκες του Urbino 18 κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλά η χρήση του ενεργοβόρου κλιματισμού ακόμα και μετά τη δύση του ηλίου οδήγησε στην ανάγκη εξωτερικής φόρτισης στο αμαξοστάσιο κατά τη διάρκεια της νύχτας, για πλήρωση των συσσωρευτών. Παρ'όλ'αυτά, αποφεύχθηκε ξανά η χρήση του εναλλάκτη, αποφέροντας εξαιρετικά σημαντικό όφελος σε καύσιμα. Τέλος, κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου, για τη φόρτιση των συσσωρευτών ήταν αναγκαία τόσο η χρήση του εναλλάκτη όσο και των μετασχηματιστών στο αμαξοστάσιο, καθώς η χαμηλή ηλιοφάνεια και η συνεχής χρήση της θέρμανσης, δημιουργούσαν πολύ μεγάλο έλλειμμα στο ισοζύγιο ενέργειας.

Το ποσοστό ετήσιας εξοικονόμησης καυσίμου υπολογίστηκε στο 10,87%, το οποίο λόγω του ότι εξετάζεται ένα πολύ ενεργοβόρο λεωφορείο με υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου, είναι εξαιρετικά ελπιδοφόρο καθώς αντιστοιχεί σε έναν πολύ μεγάλο αριθμό λίτρων που εξοικονομούνται ετησίως. Με το κόστος της αρχικής εγκατάστασης να είναι χαμηλότερο των 5.000 € και το χρόνο απόσβεσης χαμηλότερο του ενός έτους, η συγκεκριμένη επένδυση κρίνεται εξαιρετικά συμφέρουσα και ασφαλής. Η υιοθέτηση της συγκεκριμένης πρότασης από την ΟΣΥ, για όλο τον στόλο των Urbino 18, οδηγεί σε κέρδος εκατοντάδων χιλιάδων ευρώ ετησίως και εκατομμυρίων ευρώ μακροπρόθεσμα, μειώνοντας μάλιστα εξαιρετικά και την εκπομπή καυσαερίων από τα λεωφορεία της, βελτιώνοντας δηλαδή και το περιβαλλοντικό της προφίλ.

Η συγκεκριμένη τροποποίηση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς τόσο σε μικρότερα λεωφορεία όσο και σε αυτοκίνητα, αν και λόγω της μικρότερης επιφάνειας τους, της μικρότερης κατανάλωσής τους και, ειδικά για τα αυτοκίνητα, του μικρότερου (το πολύ 15 έτη) εκτιμώμενου χρόνου ζωής, το ποσοστό εξοικονόμησης καυσίμου θα ήταν πολύ χαμηλότερο, άρα και το μακροχρόνιο κέρδος σημαντικά μειωμένο. Παρ'όλ'αυτά εξακολουθεί να είναι μία εύκολη λύση για πιο «πράσινη» και οικονομική μεταφορά.

5.3. Το μέλλον

Οι μελλοντικές τεχνολογικές εξελίξεις τόσο στον χώρο των φωτοβολταϊκών όσο και στον χώρο των συσσωρευτών, προβλέπεται να καταστήσουν τις εφαρμογές των Φ/Β σε λεωφορεία στο μέλλον ακόμα πιο ελκυστικές και αποδοτικές. Με τις τιμές των φωτοβολταϊκών να έχουν υποστεί πτώση[27] της τάξης του 80% από το 2008 και την απόδοση των ηλιακών κελιών να αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου ολοένα και περισσότερο, διαφαίνεται πολύ έντονα ότι μελλοντικά θα είναι δυνατή η εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων μεγαλύτερης ισχύος και απόδοσης στις οροφές των λεωφορείων.

Όσον αφορά τους συσσωρευτές, οι νέοι συσσωρευτές τεχνολογίας gel, υπόσχονται απόδοση 99% σε αντίθεση με το 90% που έχουν οι απλοί συσσωρευτές μολύβδου-οξέος που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Λόγω όμως του υψηλότερου κόστους, της ελαφρώς χαμηλότερης διάρκειας ζωής και της υπερευαισθησίας τους στην υψηλή θερμοκρασία και τις μη σταθερές συνθήκες φόρτισης, κρίνονται τη δεδομένη στιγμή ακατάλληλοι προς επιλογή. Σε περίπτωση που οι συγκεκριμένοι αποτρεπτικοί παράγοντες αντιμετωπιστούν με την εξέλιξη της τεχνολογίας τα επόμενα χρόνια, οι συγκεκριμένοι συσσωρευτές θα μπορέσουν να αποθηκεύουν επιτυχώς ένα περαιτέρω 9% της αποδιδόμενης ενέργειας από τα Φ/Β πάνελ, καθιστώντας το Φ/Β σύστημα που εξετάστηκε ακόμα πιο αποδοτικό.

Τέλος, το κόστος του πετρελαίου diesel έχοντας αυξηθεί σταδιακά τα τελευταία χρόνια, έχει αρχίσει να γίνεται απαγορευτικό για μαζική κατανάλωσή του, όπως αυτή που απαιτεί το Urbino 18. Οι τιμές του πετρελαίου αναμένεται τα επόμενα χρόνια να αυξηθούν κι'άλλο, κάτι που θα έχει ως αποτέλεσμα το ποσοστό εξοικονόμησης καυσίμου που υπολογίστηκε να έχει μελλοντικά ακόμα μεγαλύτερο αντίκρουσμα σε επίπεδο χρημάτων.

Παράρτημα

Η ηλεκτρική γεννήτρια

Το κύριο μέσο για τη συνεχή μετατροπή ενέργειας από ηλεκτρική σε μηχανική μορφή, είναι η στρεφόμενη ηλεκτρική μηχανή[28]. Οποιαδήποτε στρεφόμενη ηλεκτρική μηχανή μπορεί να λειτουργήσει είτε σαν γεννήτρια είτε σαν κινητήρας, κι' αυτό γιατί σε κάθε περιστρεφόμενη μηχανή αναπτύσσεται ταυτόχρονα τόσο ηλεκτρεγερτική δύναμη, όσο και ροπή.

Οι στρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές έχουν δύο μέρη, ένα σταθερό μέρος που λέγεται στάτης (stator) και ένα στρεφόμενο μέρος που λέγεται δρομέας (rotor). Στο σταθερό μέρος υπάρχουν πηνία, ενώ στο κινητό μέρος υπάρχουν μαγνήτες (μόνιμοι ή ηλεκτρομαγνήτες). Ο δρομέας και ο στάτης χωρίζονται από ένα μικρό διάκενο αέρα ώστε να επιτρέπεται η κίνηση του δρομέα.

Κατά τη λειτουργία γεννήτριας παρέχεται μηχανική ενέργεια στην άτρακτο της ηλεκτρικής μηχανής από μία κινητήρια μηχανή (prime mover) και εξέρχεται ηλεκτρική ενέργεια από τους ακροδέκτες του τυλίγματος τυμπάνου. Αυτό συμβαίνει λόγω του νόμου του Faraday, κατά τον οποίο αν ένα πηνίο περιστραφεί μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, τότε στις άκρες του πηνίου παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.

Στην περίπτωση του εναλλάκτη του αυτοκινήτου, η μηχανική ενέργεια παρέχεται από την μηχανή του αυτοκινήτου μέσω του ιμάντα μετάδοσης. Ο δρομέας ξεκινά να περιστρέφεται μέσα στον στάτη, με αποτέλεσμα να έχουμε συνεχώς μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί σε ανάπτυξη ηλεκτρεγερτικής δύναμης και κατά συνέπεια έξοδο συνεχούς ρεύματος που οδηγείται μέσω του ενσωματωμένου ρυθμιστή φόρτισης στον συσσωρευτή.

Βιβλιογραφία - Αναφορές

- [1] <http://cleantechnica.com/2011/05/29/ge-solar-power-cheaper-than-fossil-fuels-in-5-years/>
- [2] "Effect of Light on Selenium During the Passage of an Electric Current". Nature 7 (173): 303. 1873
- [3] 'The action of light on selenium,' in "Proceedings of the Royal Society, A25, 113. 1877
- [4] http://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_solar_cells
- [6] Y.Tsividis , Operation and Modeling of the MOS Transistor, 2^η έκδοση, Boston: McGraw-Hill, 1999.
- [7] Neil H. E. Weste – David M. Harris , CMOS VLSI Design, 4^η έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2011.
- [8] Κ.Θ. Δέρβος, Εισαγωγή στα ημιαγώγιμα υλικά και στις φωτοβολταϊκές διατάξεις, Εκδόσεις ΕΜΠ, 2010
- [9] <http://el.wikipedia.org/wiki/Ηλιος>
- [10] <http://www.physics.uoi.gr/seci/clim2.pdf>
- [11] <http://en.wikipedia.org/wiki/Pyranometer>
- [12] Κ.Παγώνης, Επίδραση των ηλεκτρικών οχημάτων στα μεγέθη ενός μικροδικτύου με αυξημένη διείσδυση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Νοέμβριος 2011
- [13] Κ.Ληξουργιώτης, Φωτοβολταϊκά σε οχήματα , διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Νοέμβριος 2011
- [14] Seth Leitman – Bob Brant, Build your own electric vehicle, 2^η έκδοση, McGraw-Hill, 2008
- [15] <http://www.webasto.com/products-and-markets/bus/en/html/9802.html>
- [16] http://www.engineeringtoolbox.com/fans-efficiency-power-consumption-d_197.html
- [17] Εγχειρίδιο-παρουσίαση του Solaris Urbino 18, ΟΣΥ
- [18] <http://hikingexperience.blogspot.gr/2011/02/blog-post.html>

- [19] Ryan Mayfield, Photovoltaic Design & Installation, 1η έκδοση, Wiley Publishing, 2011
- [20] <http://www.metrompg.com/posts/alternator-optional.htm>
- [21] <http://www.delcoremy.com/Documents/High-Efficiency-White-Paper.aspx>
- [22] http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density
- [23] <http://www.solar-electric.com/deep-cycle-battery-faq.html>
- [24] Υ.Π.Ε.Κ.Α. – ΤΕΕ , Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών, 1^η έκδοση, Αθήνα 2010
- [25] http://www.outbackpower.com/products/charge_controllers/flexmax/
- [26] <http://www.dei.gr/Documents2/%CE%A4%CE%99%CE%9C%CE%9F%CE%9B%2010%202012/%CE%93%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CF%84%CE%B9%CE%BC%CE%BF%CE%BB%CF%8C%CE%B3%CE%B9%CE%BF%20%CE%9C%CE%A4%20%20%CE%95%CE%BC%CF%80%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C%202012.pdf>
- [27] <http://cleantechnica.com/2013/05/06/solar-pv-module-prices-have-fallen-80-since-2008-wind-turbines-29/>
- [28] Κ.Βουρνάς – Γ.Κονταξής, Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, 2^η έκδοση, Εκδόσεις Συμμετρία, 2010

