



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

## Φωτοβολταϊκά σε οχήματα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Γ. Δηξουργιώτης

Επιβλέπων : Κ.Γ. Καραγιαννόπουλος  
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2011





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

## Φωτοβολταϊκά σε οχήματα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Γ. Ληξουργιώτης

Επιβλέπων : Κ.Γ. Καραγιαννόπουλος  
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 8η Νοεμβρίου 2011

Κ.Γ.Καραγιαννόπουλος

Ν.Ι.Θεοδώρου

Μ.Ιωαννίδου

Καθηγητής ΕΜΠ

Καθηγητής ΕΜΠ

Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2011

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

Copyright © Γιάννης Ληξουργιώτης, 2011.

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.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Κωνσταντίνου Καραγιαννόπουλου τον οποίο ευχαριστώ θερμά. Επίσης ευχαριστώ πολύ τον καθηγητή κ. Νικόλαο Θεοδώρου και την καθηγήτρια κ. Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Αικατερίνη Πολυκράτη για το ενδιαφέρον και την πολύτιμη βοήθειά της στην αποπεράτωση της εργασίας.

Αθήνα, Νοέμβριος 2011

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη .....	100
Abstract .....	111
1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....	122
1.1. Γενικά .....	122
1.2. Ηλιακή ακτινοβολία .....	122
1.3. Αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών .....	144
1.4. Ημιαγωγός .....	15
1.5. Είδη φωτοβολταϊκών .....	17
1.5.1. Φωτοβολταϊκά pn κρυσταλλικού πυριτίου .....	19
1.5.2. Φωτοβολταϊκά pn λεπτών μεμβρανών (thin film pn).....	19
1.6. Ιστορική αναδρομή .....	199
1.7. Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα.....	211
1.8. Κατηγορίες εφαρμογών φωτοβολταϊκών συστημάτων .....	222
1.8.1. Καταναλωτικά προϊόντα (0,001 - 100Wp).....	222
1.8.2. Αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα (100Wp – 200KWp).....	233
1.8.3. Συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο ( 200KWp - αρκετά MWp).....	233
1.9. Κυριότερες εφαρμογές φωτοβολταϊκών .....	244
Σκοπός της εργασίας.....	25
2. ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (Φ/Β) ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΑ (ΕΡΓΟ FIVE) 26	
2.1. Εισαγωγή.....	26
2.2. Κατανάλωση ενέργειας σε ασθενοφόρα.....	27
2.3. Φ/Β Σύστημα.....	311
2.4. Διαμόρφωση Συστήματος.....	333
2.5. Τεστ αξιολόγησης του πρωτότυπου FIVE .....	36

2.6.	Άλλα Θέματα.....	422
2.6.1.	Υψηλή θερμοκρασία στοιχείων.....	422
2.6.2.	Υψηλή εσωτερική θερμοκρασία του οχήματος .....	444
2.6.3.	Σκίαση .....	45
2.7.	Συμπεράσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή.....	46
3.	ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ.....	48
3.1.	Εισαγωγή.....	48
3.2.	Αναλυτική περιγραφή λειτουργίας των συστημάτων .....	49
3.3.	Υποδειγματικό σύστημα ψύξης μεταφορών.....	50
3.3.1.	Συσκευή ελέγχου ισχύος για ένα σύστημα ψύξης μεταφορών .....	52
3.3.2.	Υποδειγματική ενσωμάτωση ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας σε ένα σύστημα ψύξης μεταφορών .....	53
3.3.3.	Εναλλακτική υποδειγματική ενσωμάτωση ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας σε ένα σύστημα ψύξης μεταφορών.....	55
3.3.4.	Εναλλακτική υποδειγματική ενσωμάτωση ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας σε ένα σύστημα ψύξης μεταφορών.....	57
3.4.	Συμπεράσματα από την ενσωμάτωση των τριών εφαρμογών .....	59
3.5.	Εμπορική εφαρμογή .....	65
4.	ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΝΩ ΣΕ TRENA.....	67
4.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	67
4.2.	Στόχοι του έργου.....	69
4.2.1.	Λειτουργικότητα .....	69
4.2.2.	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	71
4.2.3.	Περιβαλλοντική ισορροπία .....	71
4.3.	Τεχνικά χαρακτηριστικά του Φ/Β Συστήματος για τα επιβατικά βαγόνια.....	72
4.4.	Τεχνικά χαρακτηριστικά του Φ/Β συστήματος για τα εμπορευματικά βαγόνια και μηχανές .....	76
4.4.1.	Εφαρμογή σε εμπορευματικό βαγόνι .....	77

4.4.2.	Εφαρμογή σε μηχανή .....	77
4.5.	Δοκιμές και πειραματικές μετρήσεις.....	78
5.	ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΜΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΤΡΕΝΩΝ .....	84
6.	ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΛΕΩΦΟΡΕΙΑ .....	87
6.1.	Εισαγωγή.....	87
6.2.	Κατασκευή .....	88
6.3.	Σύστημα Διαχείρισης Οχήματος .....	89
6.4.	Χαρακτηριστικά οχήματος.....	90
6.4.1.	Απόδοση .....	90
6.4.2.	Αξιοπιστία .....	90
6.4.3.	Ασφάλεια .....	91
6.4.4.	Συντήρηση .....	91
6.4.5.	Κόστος κύκλου ζωής .....	91
6.4.6.	Τεχνικές προδιαγραφές.....	91
6.4.7.	Απόδοση .....	92
6.4.8.	Σύστημα μπαταρίας.....	92
6.4.9.	Fast Booster φορτιστής (που βρίσκεται στην οδό Franklin, έξω από τον Κεντρικό Σταθμό Λεωφορείων της Αδελαΐδας) .....	92
7.	ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ .....	93
7.1.	Εισαγωγή.....	93
7.2.	Μοντέλο ηλιακών κυττάρων .....	97
7.3.	Προσομοίωση των ηλιακών κυττάρων.....	98
7.4.	Ηλιακά πάνελ και MPPT.....	1000
7.5.	Αποτελέσματα δοκιμών .....	102
7.6.	Περιβαλλοντικές συνθήκες.....	105
7.7.	Συμβολή της ηλιακής ενέργειας σε μικρά EV .....	106
7.7.1.	Γενικές παράμετροι του οχήματος .....	106



7.7.2.	Συμβολή της ηλιακής ενέργειας σε ένα μικρού μεγέθους EV .....	108
7.8.	Δυναμική της ηλιακής ενέργειας .....	109
7.9.	Συμπεράσματα εφαρμογής του πρωτοτύπου .....	110
7.10.	Εμπορική εφαρμογή .....	111
8.	ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΜΟΤΟΣΥΚΛΕΤΕΣ .....	113
9.	ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ .....	114
10.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	120
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	122
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	123

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παραθέσει, μέσω επιλεγμένων δημοσιεύσεων από έγκριτα περιοδικά του χώρου, διάφορες εφαρμογές φωτοβολταϊκών σε οχήματα που έχουν ήδη εφαρμοστεί, καθώς και κάποιες πειραματικές μελέτες για μελλοντικές εφαρμογές.

Στην εισαγωγή παρατίθενται κάποιες βασικές έννοιες σχετικά με την αρχή λειτουργίας των ημιαγωγών και των φωτοβολταϊκών. Γίνεται επίσης αναφορά στα πλεονεκτήματα της χρήσης Φ/Β για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και μια σύντομη ιστορική αναδρομή.

Ενδιάμεσα παρατίθεται ο σκοπός της εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται το έργο FIVE, το οποίο περιλαμβάνει την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε ένα ασθενοφόρο στην Ανδαλουσία της Ισπανίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε συστήματα ψύξης μεταφορών καθώς και μια ολοκληρωμένη εμπορική εφαρμογή.

Το τέταρτο κεφάλαιο πραγματεύεται την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε τρένα που έχει επιτευχθεί από την Trenitalia.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε σιδηροδρομικές γραμμές με σκοπό την παροχή ενέργειας σε τμήματα αυτών.

Στο έκτο κεφάλαιο παρατίθεται η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών στο ηλεκτρικό λεωφορείο Tindo στη Νέα Ζηλανδία.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε αυτοκίνητα.

Στο όγδοο κεφάλαιο παρουσιάζεται μία εφαρμογή φωτοβολταϊκών σε μοτοσυκλέτα που πραγματοποιήθηκε από φοιτητές του Πανεπιστημίου Purdue.

Το ένατο κεφάλαιο παρουσιάζει την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε σταθμούς φόρτωσης ηλεκτρικών οχημάτων.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται σχόλια και συμπεράσματα.

## **Abstract**

The aim of present study is to mention, via selected publications from approved scientific magazines, various photovoltaics applications in vehicles that have already been applied and also some experimental studies for future applications.

Introduction presents some of the basic concepts regarding operating principle of semiconductors and photovoltaics. In addition, advantages regarding use of photovoltaics in electricity generation are being mentioned and also a brief historical background.

Afterwards, the aim of this study is being set.

In the second chapter, project “FIVE” is being analyzed. This project deals with integration of photovoltaics into an ambulance in Andalusia of Spain.

In the third chapter, it is presented the integration of photovoltaics into transport refrigeration systems as well as an integrated commercial application.

The fourth chapter explains the integration of photovoltaics into trains that has been accomplished by Trenitalia.

Fifth chapter presents the use of photovoltaic systems in railway lines in order to produce energy.

In the sixth chapter, the integration of photovoltaics into the electric bus “Tindo” in New Zealand is being discussed.

Chapter seven deals with integration of photovoltaics into cars.

In chapter eight, it is being presented a photovoltaic application in motorcycle that was accomplished by students of Purdue University.

Chapter nine presents the integration of photovoltaics into charging stations for electric vehicles.

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

# **1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

## **1.1. Γενικά**

Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον της επιστήμης έχει στραφεί στις εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Αυτό συμβαίνει λόγω της διαρκώς αυξανόμενης ζήτησης ενέργειας σε συνδυασμό με τα συνεχώς μειούμενα αποθέματα των ως τώρα ευρέως διαδεδομένων πηγών ενέργειας. Επίσης λόγω του ότι δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση (π.χ. άντληση ή καύση) θεωρούνται καθαρές μορφές ενέργειας και για αυτό το λόγο αντιμετωπίζονται ως η αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η γη. Μια από τις σημαντικότερες εναλλακτικές πηγές είναι η ηλιακή ενέργεια η οποία στο σύνολό της θεωρείται ανεξάντλητη.

Ο ήλιος λοιπόν είναι η βασική πηγή ενέργειας του πλανήτη μας και αξιοποιείται με την παραγωγή ηλεκτρισμού είτε με θερμικές είτε με φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Όσον αφορά τις θερμικές εφαρμογές περιλαμβάνουν τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση νερού και τη μετατροπή του σε ατμό, με σκοπό την κίνηση αμοστρόβιλων. Στις φωτοβολταϊκές εφαρμογές, η έκθεση των φωτοβολταϊκών στοιχείων έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την παραγωγή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος.

## **1.2. Ηλιακή ακτινοβολία**

Ο ήλιος είναι ο αστέρας του ηλιακού μας συστήματος και το λαμπρότερο σώμα του ουρανού. Είναι σχεδόν μια τέλεια σφαίρα με διάμετρο 1,4 εκατομμύρια χιλιόμετρα (109 φορές περισσότερο από τη Γη), και η μάζα του ( $2 \times 10^{30}$  κιλά) αποτελεί το 99,86% της μάζας του ηλιακού συστήματος.

Ο ήλιος παρέχει ενέργεια με τη μορφή της ακτινοβολίας, χωρίς την οποία η ζωή δε θα μπορούσε να υπάρχει. Ενεργεί σχεδόν, ως μια τέλεια πηγή ακτινοβολίας σε μια θερμοκρασία κοντά στους 5.800 °K. Η προσπίπτουσα (κατά μέσο όρο) ροή ενέργειας πάνω σε μια μονάδα επιφάνειας κάθετη προς τη διεύθυνση της δέσμης έξω

από τη γήινη ατμόσφαιρα είναι γνωστή ως η ηλιακή σταθερά και ισούται με  $1370 \text{ W/m}^2$ .

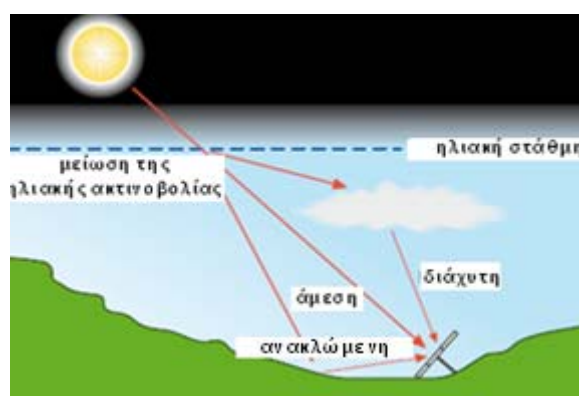
Η ενέργεια παράγεται στον πυρήνα του ήλιου μέσα από τη σύντηξη των ατόμων του υδρογόνου σε ήλιο. Ένα μέρος της μάζας του υδρογόνου μετατρέπεται σε ενέργεια. Με άλλα λόγια, ο ήλιος είναι ένας τεράστιος πυρηνικός αντιδραστήρας.

Λόγω της τεράστιας απόστασης του ήλιου από τη γη, μόνο ένα μικρό ποσοστό (περίπου δύο εκατομμυριοστά) της ηλιακής ακτινοβολίας φθάνει στην επιφάνεια της γης. Το ποσό της ενέργειας του ηλιακού φωτός που φθάνει στην επιφάνεια της γης είναι ισοδύναμο με περίπου 10.000 φορές τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες. Κατά συνέπεια, αρκεί να αξιοποιηθεί μόνον το 0,01% της ενέργειας του ήλιου ώστε να καλυφθεί το σύνολο των ενεργειακών αναγκών της ανθρωπότητας.

Η ηλιακή ακτινοβολία κατά την είσοδό της στην ατμόσφαιρα υπόκειται απορρόφηση και σκέδαση, όπως φαίνεται στην εικόνα 1. Οι κυριότεροι απορροφητές είναι τα νέφη, οι υδρατμοί, το όζον ( $\text{O}_3$ ) και το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ).

Η ακτινοβολία που σκεδάζεται είναι η διάχυτη και ένα μέρος της επιστρέφει στο διάστημα. Εξαρτάται από το ηλιακό ύψος, το υψόμετρο του τόπου, τη λευκαύγεια του εδάφους, το ποσό και το είδος των νεφών, καθώς και από την παρουσία διαφόρων κέντρων σκεδάσεως (αερολυμάτων, υδροσταγόνων κ.α.) που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα.

Η ακτινοβολία που φθάνει στο έδαφος χωρίς σκέδαση και μόνο με απορρόφηση είναι η άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Εξαρτάται από την απόσταση Ήλιου-Γης, την ηλιακή απόκλιση, το ηλιακό ύψος, το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, το υψόμετρο του τόπου, την κλίση της επιφάνειας επί της οποίας προσπίπτει, καθώς και από την απορρόφηση και διάχυση την οποία υφίσταται μέσα στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 1: Συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η απόσταση που διανύει μέσα στην ατμόσφαιρα και η γωνία πρόσπτωσης στην επιφάνεια της Γης. Έτσι, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση που διανύει η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα, τόσο μικρότερο είναι το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης. Για αυτό το λόγο η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ μεγαλύτερη κατά τη θερινή περίοδο σε σχέση με τη χειμερινή. Επίσης, όσο πιο κάθετα προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε μια επιφάνεια στη γη τόσο μεγαλύτερη είναι η έντασή της.

### **1.3. Αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών**

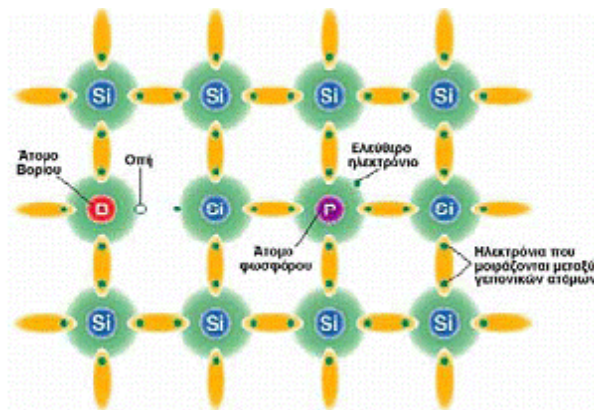
Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο (pn Solar cell) αφορά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο που αφορά τα φωτοβολταϊκά (photovoltaic) στοιχεία ανακαλύφθηκε το 1839 από τον **Edmund Becquerel** και χρησιμοποιήθηκε για πρακτικούς σκοπούς στα τέλη της δεκαετίας του '50 σε διαστημικές εφαρμογές. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο αφορά περιληπτικά την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων των φωτοβολταϊκών στοιχείων και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος.

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο ή ηλιακή γεννήτρια ρεύματος και τα ηλεκτρονικά συστήματα που διαχειρίζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία. Για αυτόνομα συστήματα υπάρχει επίσης το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες.

Μία τυπική φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελείται από ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Όταν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ποσοστό από 8% έως 21% περίπου της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας, σε ηλεκτρική. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται αθόρυβα, αξιόπιστα και χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

## 1.4. Ημιαγωγός

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται κυρίως από ημιαγωγούς που είναι στοιχεία τετρασθενή με τετραεδρική κρυσταλλική δομή, όπως το πυρίτιο (Si). Στα στοιχεία αυτά δεν υπάρχουν ελεύθεροι φορείς ηλεκτρικού ρεύματος και δε διαθέτουν ηλεκτρική αγωγιμότητα στην υποθετική περίπτωση που ο ημιαγωγός βρίσκεται στη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση, δηλαδή είναι εντελώς υποβαθμισμένος ενεργειακά. Όταν όμως απορροφήσουν κάποια αξιόλογη ενέργεια, π.χ. με τη μορφή θερμότητας ή ακτινοβολίας, πραγματοποιείται μια ριζική μεταβολή.



Εικόνα 2: Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με άτομα πρόσμιξης

Η ενέργεια που παρέχεται στο σώμα και κατανέμεται στα άτομά του, προκαλεί την ελευθέρωση πολλών ηλεκτρονίων από τους δεσμούς. Τα ηλεκτρόνια αυτά απομακρύνονται από την περιοχή του δεσμού τους στο κρυσταλλικό πλέγμα, χάρη στην κινητική ενέργεια που απέκτησαν και γίνονται ευκίνητοι φορείς του ηλεκτρισμού, δίνοντας στον ημιαγωγό μια αξιόλογη ηλεκτρική αγωγιμότητα. Είναι φανερό ότι το ενεργειακό διάκενο ανάμεσα στη ζώνη σθένους και στη ζώνη αγωγιμότητας εκφράζει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για τη διέγερση ενός ηλεκτρονίου σθένους, ώστε να μετατραπεί σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο, με ταυτόχρονη δημιουργία μιας οπής.

Αν στα ηλεκτρόνια των δεσμών του κρυστάλλου προσφερθεί μια ποσότητα ενέργειας π.χ. αν δεχθούν μια δέσμη ακτινοβολίας που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια  $h\nu$  μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο ( $E_g > h\nu$ ), δε μπορούν να την απορροφήσουν και μένουν στη ζώνη σθένους. Αν όμως τα ενεργειακά κβάντα που

προσφέρονται είναι ίσα ή μεγαλύτερα από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού ( $E_g < h\nu$ ), τότε κάθε κβάντο μπορεί να απορροφηθεί από ένα ηλεκτρόνιο σθένους και να διεγερθεί προς τη ζώνη αγωγιμότητας, αφήνοντας στη ζώνη σθένους μία οπή. Ο παραπάνω μηχανισμός διέγερσης εξαρτάται και από το αν ο ημιαγωγός είναι άμεσος ή έμμεσος.

Αν ο τετρασθενής ημιαγωγός Si, νοθευτεί με κάποιο πεντασθενές στοιχείο (φώσφορος, P) ή με κάποιο τρισθενές στοιχείο (βόριο, B), τότε παράγεται ημιαγωγός προσμίξεως τύπου-n και τύπου-p, αντίστοιχα, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.

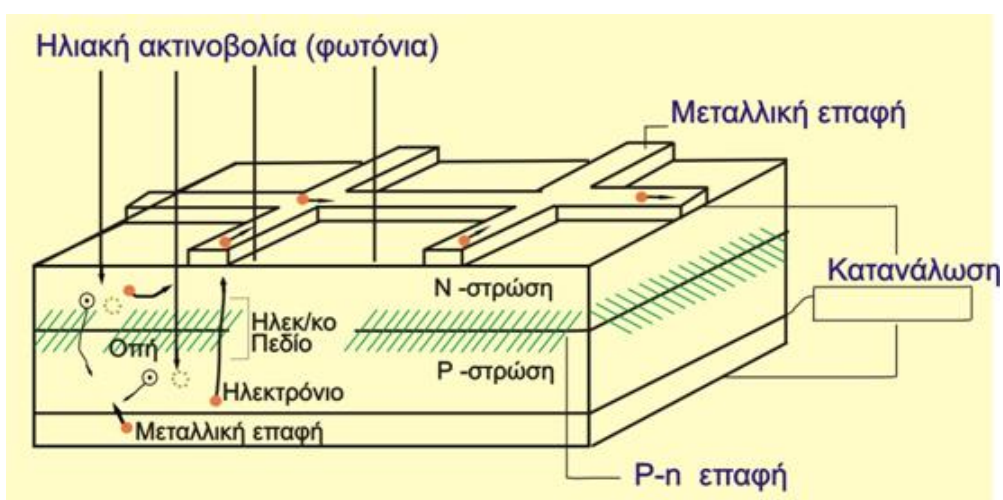
Τέσσερα από τα πέντε ηλεκτρόνια σθένους κάθε ατόμου P θα ενωθούν με ηλεκτρόνια σθένους των γειτονικών ατόμων Si και θα σχηματίσουν ομοιοπολικούς δεσμούς. Το πέμπτο ηλεκτρόνιο (φορέας πλειονότητας) θα συγκρατείται πολύ χαλαρά από το θετικό πυρηνικό φορτίο του P και με λίγη ενέργεια μπορεί να αποσπασθεί και να κινηθεί σαν ελεύθερο ηλεκτρόνιο, αφήνοντας ένα ανιόν ( $P^+$ ) που μένει ακίνητο στο πλέγμα. Δηλαδή το πεντασθενές άτομο συμπεριφέρεται στο πλέγμα σαν δότης ηλεκτρονίων (τύπος-n ημιαγωγός). Αντίστοιχα, με την πρόσμιξη τρισθενών ατόμων B σε πλεγματικές θέσεις του Si, δημιουργούνται κενές θέσεις ηλεκτρονίων στους δεσμούς. Με την απορρόφηση ενός μικρού ποσού ενέργειας, ένα ηλεκτρόνιο από ένα γειτονικό πλήρη δεσμό μπορεί να καλύψει την κενή θέση, αφήνοντας παράλληλα στην προηγούμενη θέση του μια οπή και μετατρέποντας το άτομο B σε κατιόν ( $B^-$ ). Δηλαδή το τρισθενές άτομο συμπεριφέρεται σαν αποδέκτης ηλεκτρονίων (φορείς μειονότητας) ή δότης οπών (τύπος-p ημιαγωγός).

Όταν σε μια περιοχή του ημιαγωγού υπάρχει δημιουργία ή έκχυση φορέων σε περίσσεια, αυτοί διαχέονται προς τις άλλες περιοχές του ημιαγωγού όπου η συγκέντρωση των αντίστοιχων φορέων είναι μικρότερη. Επίσης όταν ένα τεμάχιο ημιαγωγού τύπου p έλθει σε στενή επαφή με ένα τεμάχιο ημιαγωγού τύπου n, δηλαδή σχηματιστεί μια ένωση p-n (διάταξη διόδου ημιαγωγού), τότε ένα μέρος από τις οπές του τεμαχίου τύπου p διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου n όπου οι οπές είναι λιγότερες και συγχρόνως ένα μέρος από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του τεμαχίου τύπου n διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου p όπου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι πολύ λιγότερα. Η ανάμιξη αυτή των φορέων και η αύξηση της συγκέντρωσης των φορέων μειονότητας στις περιοχές κοντά στη διαχωριστική επιφάνεια (περιοχή αραίωσης) των τεμαχίων τύπου p και n, ανατρέπουν την ισορροπία που υπήρχε πριν. Η αποκατάσταση των συνθηκών ισορροπίας γίνεται με επανασυνδέσεις των φορέων,



μέχρι οι συγκεντρώσεις τους να πάρουν τιμές που να ικανοποιούν τον νόμο δράσης των μαζών.

Η συγκέντρωση των κατιόντων, τα οποία μετατράπηκαν σε αποδέκτες στο τμήμα τύπου p και n, παραμένει αμετάβλητη αφού τα ιόντα, όπως συνήθως όλα τα άτομα στα στερεά, μένουν ακίνητα στο σώμα. Έτσι το υλικό χάνει τοπικά την ηλεκτρική ουδετερότητα και οι δύο πλευρές της ένωσης p-n φορτίζονται με αντίθετα ηλεκτρικά φορτία. Δημιουργείται λοιπόν μια διαφορά δυναμικού, που η τιμή της είναι σχετικά μικρή, αλλά το ενσωματωμένο αυτό ηλεκτροστατικό πεδίο εμποδίζει την παραπέρα διάχυση των φορέων πλειονότητας προς το απέναντι τμήμα της ένωσης. Το αποτέλεσμα είναι ότι η διόδος που περιέχει την ένωση p-n, παρουσιάζει εντελώς διαφορετική συμπεριφορά στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, ανάλογα με την φορά της. Στην εικόνα 3 φαίνεται η υλοποίηση διόδου σε ένα κρυσταλλικό ηλιακό κύτταρο πυριτίου.



Εικόνα 3: Σχηματική διάταξη ενός Φ/Β στοιχείου

### 1.5. *Είδη φωτοβολταϊκών*

Το ηλιακό φως, η ηλιακή ενέργεια είναι ουσιαστικά μικρά πακέτα ενέργειας που ονομάζονται φωτόνια. Τα φωτόνια του ηλιακού φωτός-ενέργειας περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού ενεργειακού φάσματος. Το γαλάζιο χρώμα ή το υπεριώδες π.χ. έχουν περισσότερη ενέργεια από το κόκκινο ή το υπέρυθρο. Όταν λοιπόν τα φωτόνια προσκρούσουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο (που είναι ουσιαστικά ένας ημιαγωγός), άλλα ανακλώνται,

άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται από το φωτοβολταϊκό. Αυτά τα τελευταία φωτόνια είναι που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα (ενέργεια). Τα φωτόνια αυτά αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού ή των φωτοβολταϊκών, στοιχείων να μετακινηθούν σε άλλη θέση. Η βασική θεωρία του ηλεκτρισμού είναι η κίνηση των ηλεκτρονίων από το θετικό προς το αρνητικό. Σε αυτή την απλή αρχή της φυσικής λοιπόν βασίζεται μια από τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού στις μέρες μας.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια - φωτοβολταϊκά pn πάνελ έχουν ως βασικό μέρος το ηλιακό στοιχείο (solar cell) που είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός λεπτού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και συγκροτούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ή ηλιογεννήτριες (pn module), τυπικής ισχύος από 10W έως 300W. Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες (pn-arrays).

Το πυρίτιο (Si) είναι η βάση για το 90% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής Φωτοβολταϊκών. Το πυρίτιο, ανάλογα με την επεξεργασία του, δίνει μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά ή άμορφα υλικά, από τα οποία παράγονται τα φωτοβολταϊκά (photovoltaic) στοιχεία. Τα λεπτά υλικά είναι ένας τρόπος να μειωθεί το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων και να αυξηθεί η απόδοσή τους. Η τεχνολογία φωτοβολταϊκών πλαισίων thin film βρίσκεται σε αναπτυσσόμενο στάδιο αφού με διάφορες μεθόδους επεξεργασίας και χρήση διαφορετικών υλικών αναμένεται αύξηση της απόδοσης, σταθεροποίηση των χαρακτηριστικών τους και αύξηση της διείσδυσης στην αγορά. Σήμερα πάντως αποτελούν την πιο φθηνή επιλογή φωτοβολταϊκών πλαισίων.

### 1.5.1. Φωτοβολταϊκά pn κρυσταλλικού πυριτίου

Τα Φ/Β κρυσταλλικού πυριτίου χωρίζονται στις εξής κατηγορίες.

- α. φωτοβολταϊκά (photovoltaic) μονοκρυσταλλικού πυριτίου με αποδόσεις πλαισίων 14,5% έως 21%
- β. φωτοβολταϊκά (photovoltaic) πολυκρυσταλλικού πυριτίου με αποδόσεις πλαισίων 13% έως 14,5%.

### 1.5.2. Φωτοβολταϊκά pn λεπτών μεμβρανών (thin film pv)

Τα Φ/Β λεπτών μεμβρανών χωρίζονται στις εξής κατηγορίες.

- α. φωτοβολταϊκά (photovoltaic) από άμορφο Πυρίτιο a Si, ονομαστική απόδοση ~7%.
- β. φωτοβολταϊκά (photovoltaic) από Χαλκοπυρίτες CIS / CIGS, ονομαστική απόδοση από 7% έως 11%.

## 1.6. *Ιστορική αναδρομή*

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο δηλαδή το φαινόμενο της άμεσης μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια, ιστορικά διαπιστώθηκε για πρώτη φορά από το Γάλλο φυσικό επιστήμονα **Edmund Becquerel** (1839) όταν παρατήρησε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα ηλεκτρόδιο πλατίνας αυξάνεται, υπό την παρουσία φωτός, όταν αυτό είναι βυθισμένο σε ηλεκτρολύτη.

Η πρώτη σημαντική προσπάθεια παραγωγής φωτοβολταϊκού στοιχείου γίνεται το 1883 από τον **Charles Edgar Fritts** από τη Νέα Υόρκη που κατασκεύασε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο χρησιμοποιώντας κρύσταλλο από Σελήνιο παρόμοιο με τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου με απόδοση μικρότερη του 1%. Ωστόσο η ουσιαστική κατανόηση των παραπάνω φαινομένων έπρεπε να περιμένει την πρόοδο της επιστήμης προς την κβαντική θεωρία στις αρχές του εικοστού αιώνα, όπου το 1900 ο **Planck** διατυπώνει το αξίωμα της κβαντικής φύσης του φωτός. Και το 1904 ο **Albert Einstein** γράφει την πληρέστερη θεωρία γύρω από το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

Η κατανόηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου και η ανάπτυξη της τεχνολογίας των ημιαγωγίων τρανζίστορ, συνέβαλε σημαντικά στην ανάπτυξη των Φ/Β στοιχείων. Τα τρανζίστορ και τα Φ/Β στοιχεία κατασκευάζονται από συναφή υλικά και η λειτουργία τους διέπεται από αρχές παρόμοιων φυσικών μηχανισμών. Πριν την ανακάλυψη του τρανζίστορ το 1930 προτείνεται η κβαντική θεωρία των στερεών από το **Wilson**. Το 1940 οι **Mot** και **Schottky** διατυπώνουν την θεωρία του ανορθωτού στερεάς κατάστασης (διόδου). Το 1949 οι **Bardeen, Brattain** και **Schockley** εφευρίσκουν το τρανζίστορ διευκρινίζοντας τη φυσική των **p** και **n** ενόσεων των ημιαγωγών υλικών. Το 1954 οι **Chapin, Fuller** και **Pearson** αναγγέλλουν 6% απόδοση για το ηλιακό στοιχείο πυριτίου - το πρώτο χρησιμοποιήσιμο ηλιακό στοιχείο.

**Το 1962** τίθεται σε τροχιά από την εταιρεία Bell Telephone Laboratories ο πρώτος τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος (Telstar) με φωτοβολταϊκά στοιχεία ισχύος 14 W, ενώ το **1963** ξεκίνησε μαζική παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου από την Ιαπωνική εταιρεία Sharp Corporation.

Το 1976 ξεκινούν οι πρώτες εφαρμογές φωτοβολταϊκών για την τροφοδότηση ψυγείων, τηλεπικοινωνιακού & ιατρικού εξοπλισμού, άντλησης νερού και φωτισμού, ενώ το 1983 η παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών ξεπερνά τα 21,3 MW και το 2002 η συνολική παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ σε φωτοβολταϊκά φτάνει τα 2000MW.

Σήμερα ένα πολύ μεγάλο μέρος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο παράγεται με τη χρήση ηλιακών κυττάρων, ενώ παρατηρείται συνεχώς αυξανόμενη διείσδυση των συγκεκριμένων στοιχείων στο μερίδιο της παραγωγής. Παράλληλα σε πολλούς ερευνητικούς χώρους ανά τον κόσμο πραγματοποιείται εκτεταμένη έρευνα που αφορά την ανακάλυψη νέων τεχνολογιών (οργανικά υλικά) καθώς και την βελτίωση των ιδιοτήτων των ήδη υπάρχουσών τεχνολογιών. Μελλοντικός στόχος πλέον, θεωρείται το 40% της συνολικής παραγωγής ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές.

## **1.7. Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα**

Τα φωτοβολταϊκά συνεπάγονται 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:

- Διαθέτουν τεχνολογία φιλική προς στο περιβάλλον αφού δεν προκαλούνται ρύποι από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, διατίθεται παντού και δε στοιχίζει απολύτως τίποτα
- Πολύ μικρές απαιτήσεις συντήρησης
- Η λειτουργία του συστήματος είναι ολοσχερώς αθόρυβη και δεν προκαλείται οπτική όχληση
- Με την κατάλληλη γεωγραφική κατανομή, κοντά στους αντίστοιχους καταναλωτές ενέργειας, μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του δικτύου διανομής
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (20-30 χρόνια)
- Έχουν υψηλό λόγο επιστροφής επένδυσης και μεγάλο λόγο κέρδους ανά εγκατεστημένο Watt
- Υπάρχει πάντα η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης, ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών
- Μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως είναι π.χ. 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 πουλήσει τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου, όπως ήδη γίνεται στο Φράιμπουργκ της Γερμανίας.

Ως βασικό μειονέκτημα των φωτοβολταϊκών συστημάτων θα μπορούσε να θεωρηθεί το αρχικό κόστος αγοράς τους, το οποίο, παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις παραμένει ακόμη αρκετά υψηλό. Μια γενική ενδεικτική τιμή είναι 4000 ευρώ ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (kW) ηλεκτρικής ισχύος. Το ποσό αυτό, ωστόσο, μπορεί να αποσβεστεί σε περίπου 5-6 χρόνια και το Φ/Β σύστημα θα συνεχίσει να παράγει δωρεάν ενέργεια για τουλάχιστον άλλα 25 χρόνια.

Τα φωτοβολταϊκά άλλωστε 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. Τέλος, τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι πολλά και το ευρύ κοινό έχει αρχίσει να στρέφεται όλο και πιο πολύ στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ειδικότερα, στα φωτοβολταϊκά, για την κάλυψη ή την συμπλήρωση των ενεργειακών του αναγκών.

## **1.8. Κατηγορίες εφαρμογών φωτοβολταϊκών συστημάτων**

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα απευθύνονται σε περιοχές εφαρμογών, όπου το σχετικά υψηλό κόστος τους δεν αποτελεί σημαντικό εμπόδιο. Οι εφαρμογές αυτές συνήθως χαρακτηρίζονται από:

- Χαμηλές ενεργειακές ανάγκες
- Έλλειψη εναλλακτικών τρόπων παροχής ενέργειας ή, όπου αυτοί υπάρχουν, είναι πολύ ακριβοί (π.χ. σύνδεση με ένα απομακρυσμένο δίκτυο)
- Απαιτήσεις υψηλής αξιοπιστίας ή και χαμηλές ανάγκες συντήρησης

### **1.8.1. Καταναλωτικά προϊόντα (0,001 - 100Wp)**

Τα συστήματα της κατηγορίας των καταναλωτικών προϊόντων χρησιμοποιούνται σε περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο ή σε τροχόσπιτα, σκάφη αναψυχής, κλπ., για την εξυπηρέτηση αναγκών φωτισμού και ψύξης και για προϊόντα όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φακοί κ.ά.

### **1.8.2. Αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα (100Wp – 200KWp)**

Στην αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα συγκαταλέγονται συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για κατοικίες και μικρούς οικισμούς που δεν είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Ακόμη χρησιμοποιούνται για:

- Αφαλάτωση / άντληση / καθαρισμό νερού
- Φωτισμό (δρόμων , πάρκων , αεροδρομίων)
- Συστήματα τηλεπικοινωνιών , τηλεμετρήσεων και συναγερμού
- Συστήματα σηματοδότησης (οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας)
- Ψύξη (αγροτικών προϊόντων , φαρμάκων κ.λπ.)

### **1.8.3. Συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο ( 200KWp - αρκετά MWp)**

Η τρίτη κατηγορία είναι τα συνδεδεμένα συστήματα με το δίκτυο, που σύμφωνα με τις συμβατικές θεωρήσεις δεν θεωρούνται, προς το παρόν, οικονομικά βιώσιμη λύση. Αυτά 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 τροφοδοτείται (πωλείται) προς το δίκτυο
- Φ/Β σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο.

Για τα Φ/Β συστήματα που αναρτώνται σε κτίρια (σε προσόψεις, οροφές, κλπ.), σε σύνδεση με το δίκτυο, τελευταία έχει εκδηλωθεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Τα οφέλη που προκύπτουν είναι:

- Συγχρονισμός Ψυκτικών φορτίων κτιρίων με μέγιστη παραγόμενη ισχύ από Φ/Β
- Αποφυγή χρήσης γης
- Αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Επίσης, γίνεται προσπάθεια για χρήση των Φ/Β και ως δομικών στοιχείων στα κτίρια, αυξάνοντας έτσι τα οικονομικά οφέλη πέραν αυτών που ήδη αναφέρθηκαν.

## **1.9. Κυριότερες εφαρμογές φωτοβολταϊκών**

Η επιστήμη έχει κάνει μεγάλα άλματα στον τομέα των φωτοβολταϊκών από την εμφάνισή τους. Φωτοβολταϊκές διατάξεις έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς σε πάρα πολλούς τομείς.

Στον τομέα των τηλεπικοινωνιών η εφαρμογή των φωτοβολταϊκών καθιστά τεματικούς 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. Αυτόνομα συστήματα φωτοβολταϊκών χρησιμοποιούνται ακόμη σε περιοχές ανά τον κόσμο, όπου δεν φτάνει το εκάστοτε ηλεκτρικό δίκτυο. Σημαντική βοήθεια προσφέρουν επίσης στο ηλεκτρικό δίκτυο τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά πάρκα μιας και παρουσιάζουν μεγάλη απόδοση τις μεσημεριανές ώρες όπου η ζήτηση φορτίου είναι ιδιαιτέρως 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. 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.



## **Σκοπός της εργασίας**

Στη σύγχρονη εποχή, όπου οι ενεργειακές ανάγκες αυξάνονται ραγδαία και τα αποθέματα των μέχρι σήμερα διαδεδομένων πηγών ενέργειας συρρικνώνονται, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη στροφής σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Μεγάλος μέρος της συνολικά παραγόμενης ενέργειας δαπανάται στον τομέα των μεταφορών. Τα φωτοβολταϊκά έχουν κινήσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας ως ενδεδειγμένη λύση σε αυτόν τον τομέα.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παραθέσει, μέσω επιλεγμένων δημοσιεύσεων από έγκριτα περιοδικά του χώρου, διάφορες εφαρμογές φωτοβολταϊκών σε οχήματα που έχουν ήδη εφαρμοστεί, καθώς και κάποιες πειραματικές μελέτες για μελλοντικές εφαρμογές.

## **2. ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (Φ/Β) ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΑ (ΕΡΓΟ FIVE)**

### **2.1. Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται το έργο FIVE, το οποίο έλαβε χώρα στην Ανδαλουσία της Ισπανίας. Το συγκεκριμένο έργο, με επικεφαλής το Πανεπιστήμιο του Jaen, περιλαμβάνει μια δημόσια υπηρεσία υγείας έκτακτης ανάγκης στην Ανδαλουσία (EPES), έναν κατασκευαστή Φ/Β μονάδων (ISOFOTON) και μια εταιρεία που ειδικεύεται στο αμάξωμα και τον εξοπλισμό των ασθενοφόρων (Emergencia2000). Έχει χρηματοδοτηθεί από το σχέδιο Nacional de Desarrollo Investigaciony Tecnologico στην Ισπανία.

Προκειμένου να ανταποκριθεί πλήρως στις ανάγκες των ασθενοφόρων το έργο FIVE παρουσιάζει πρωτότυπο ασθενοφόρο με Φ/Β διάταξη ενσωματωμένη στην οροφή του, όπως φαίνεται στην εικόνα 4. Αυτό το έργο επίδειξης προσπαθεί να διευρύνει το φάσμα των διαθέσιμων προϊόντων που μπορούν να προσφερθούν από την αγορά Φ/Β ως μια νέα χρήση ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος. Πρέπει να πούμε ότι το συγκεκριμένο όχημα είναι κάτι περισσότερο από ένα απλό ασθενοφόρο. Περιέχει τεράστια ποικιλία ηλεκτρικού ιατρικού εξοπλισμού που μπορεί να παρέχει στον ασθενή μια γρήγορη υπηρεσία υγείας έκτακτης ανάγκης χωρίς να χρειάζεται να περιμένει για τη μεταφορά του στο πλησιέστερο νοσοκομείο.

Το έργο FIVE στοχεύει στην επίλυση ορισμένων σημαντικών δυσκολιών που η EPES αντιμετώπισε κατά τη διάρκεια της καθημερινής λειτουργίας των ασθενοφόρων: όταν ο κινητήρας δε βρίσκεται σε λειτουργία, ο ιατρικός εξοπλισμός καταναλώνει ένα υψηλό ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας (κυρίως το ψυγείο το οποίο κρατά τα φάρμακα δροσερά και ένα θερμός που κρατά τον ορό ζεστό). Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από τις μπαταρίες του οχήματος, ειδικά από τη μπαταρία υπηρεσιών, και συμβάλλει στην πρόωρη φθορά τους. Μια συνέπεια ενός τέτοιου προβλήματος είναι το υψηλό κόστος συντήρησης λόγω της συχνής αλλαγής των μπαταριών (τόσο της γνήσιας μπαταρίας και της μπαταρίας υπηρεσιών) και, το πιο σημαντικό, οι δυσκολίες, σε ορισμένες περιπτώσεις, στην έναρξη του οχήματος σε κρίσιμες στιγμές. Επιπλέον, η μπαταρία υπηρεσιών του ασθενοφόρου θα πρέπει να

φορτίζεται κάθε μέρα από ένα φορτιστή συνδεδεμένο με το δίκτυο. Κατά συνέπεια, τα οχήματα αυτά έχουν πολύ χαμηλό επίπεδο αυτονομίας (στη συγκεκριμένη περίπτωση, η αυτονομία του οχήματος μπορεί να οριστεί ως τη στιγμή που το ασθενοφόρο παραμένει σταθμευμένο περιμένοντας για ένα περιστατικό έκτακτης ανάγκης, χωρίς τη χρήση φορτιστή μπαταρίας ή του εναλλάκτη του οχήματος). Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών το πρωτότυπο ασθενοφόρου έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί με ολοκληρωμένη Φ/Β γεννήτρια που θα παρέχει μια αξιόπιστη και οικονομική λύση για τη βελτίωση της απόδοσης αυτών των οχημάτων.

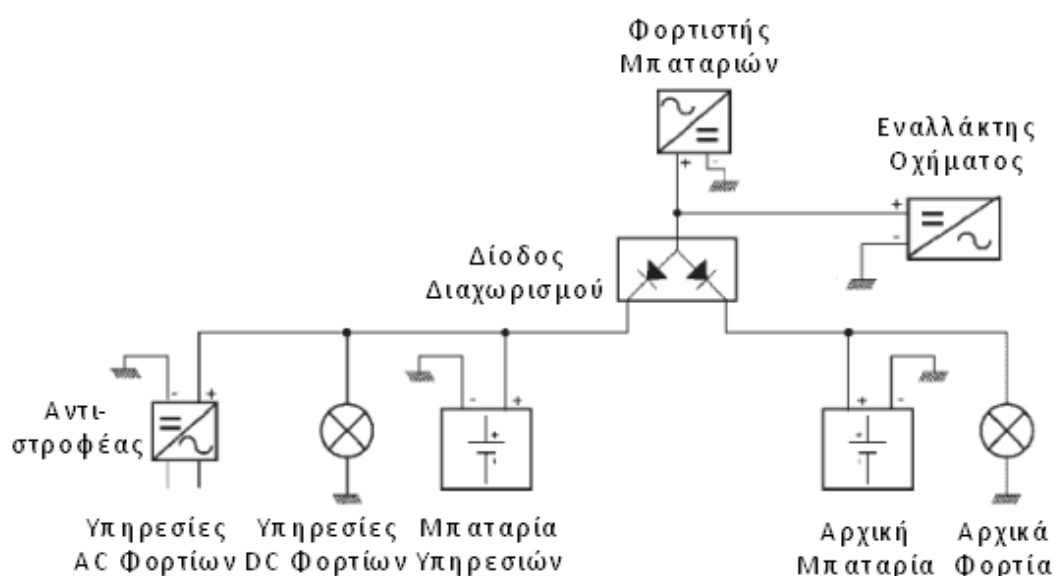


Εικόνα 4: Πρωτότυπο ασθενοφόρου με Φ/Β διάταξη ενσωματωμένη στην οροφή του

## 2.2. Κατανάλωση ενέργειας σε ασθενοφόρα

Σήμερα, τα ασθενοφόρα παρουσιάζουν ένα ηλεκτρικό σύστημα, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί πρότυπο στις περισσότερες περιπτώσεις. Αυτό το πρότυπο ηλεκτρικό σύστημα, που παρουσιάζεται στην εικόνα 5, περιλαμβάνει δύο μπαταρίες μολυβδουοξέος SLI 12V (εκκίνηση, φωτισμός και ανάφλεξη), ενισχυμένες από τον εναλλάκτη του οχήματος με έναν απομονωτή, ως εξής: (1) την αρχική μπαταρία του οχήματος

(μία 90Ah μπαταρία αυτοκινήτου), η οποία παρέχει τις αρχικές υπηρεσίες (προβολείς, πίσω φώτα, φλας), (2) την μπαταρία υπηρεσίας (μία 180Ah μπαταρία φορτηγού) που τροφοδοτεί το ασθενοφόρο με συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα για υπηρεσίες, όπως ο ιατρικός εξοπλισμός, τα εσωτερικά φώτα και ένα μεγάλο αριθμό των φώτων σηματοδότησης, με το σκοπό να δείχνουν ότι το όχημα βρίσκεται εν υπηρεσία.

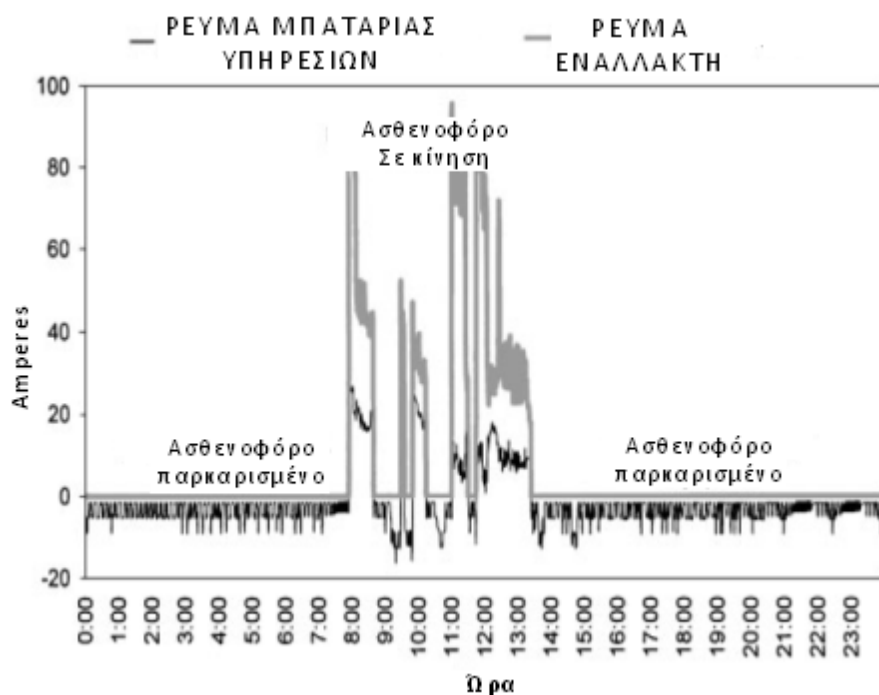


**Εικόνα 5: Πρότυπο ηλεκτρικό σύστημα ασθενοφόρων**

Για την αξιολόγηση της απόδοσης των ασθενοφόρων, έχει μελετηθεί η καθημερινή λειτουργία αυτών των οχημάτων με τη χρήση μιας βάσης δεδομένων που παρέχονται από την EPES. Επιπλέον, ένας καταγραφέας δεδομένων εγκαταστάθηκε σε ένα ασθενοφόρο που ήταν σε υπηρεσία εκείνη την εποχή. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από αυτό το όχημα κατά τη διάρκεια χρονικής περιόδου πέντε μηνών (Δεκέμβριος 2001 - Απρίλιος 2002) έχουν προσφέρει μια πιο αντικειμενική και βελτιωμένη εικόνα σε σχέση με αυτή που αρχικά υπήρχε. Εκτός από την κατανάλωση ενέργειας μελετήθηκε, επίσης, ο ημερήσιος μέσος όρος του χρόνου που το ασθενοφόρο ήταν σε υπηρεσία, σε σύγκριση με το χρόνο που έμεινε παρκαρισμένο στο κέντρο υγείας. Τον περισσότερο χρόνο, τα ασθενοφόρα μένουν σταθμευμένα στα κέντρα υγείας, περιμένοντας να παρουσιαστεί μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης (21,4 ώρες/ημέρα). Κατά τη διάρκεια αυτών των μακρών περιόδων αδράνειας μερικά φορτία υπηρεσίας στο όχημα χρειάζονται μια μόνιμη παροχή ενέργειας ~3,5A, η οποία παρέχεται από τη μπαταρία υπηρεσίας. Συχνές περίοδοι συνεχούς αδράνειας,

μέχρι σχεδόν 20 ώρες, έχουν καταγραφεί, δείχνοντας ότι η μπαταρία υποφέρει μια συνεχή και βαθιά εκφόρτιση. Αν και η ενέργεια που έχασε η μπαταρία μπορεί να ανακτηθεί αργότερα, χάρη σε ένα φορτιστή μπαταρίας και τον εναλλάκτη του οχήματος, μπορεί να δει κανείς ότι αυτή η κατάσταση, η οποία επαναλαμβάνεται κάθε μέρα, μπορεί να προκαλέσει πρόωρη φθορά των μπαταριών.

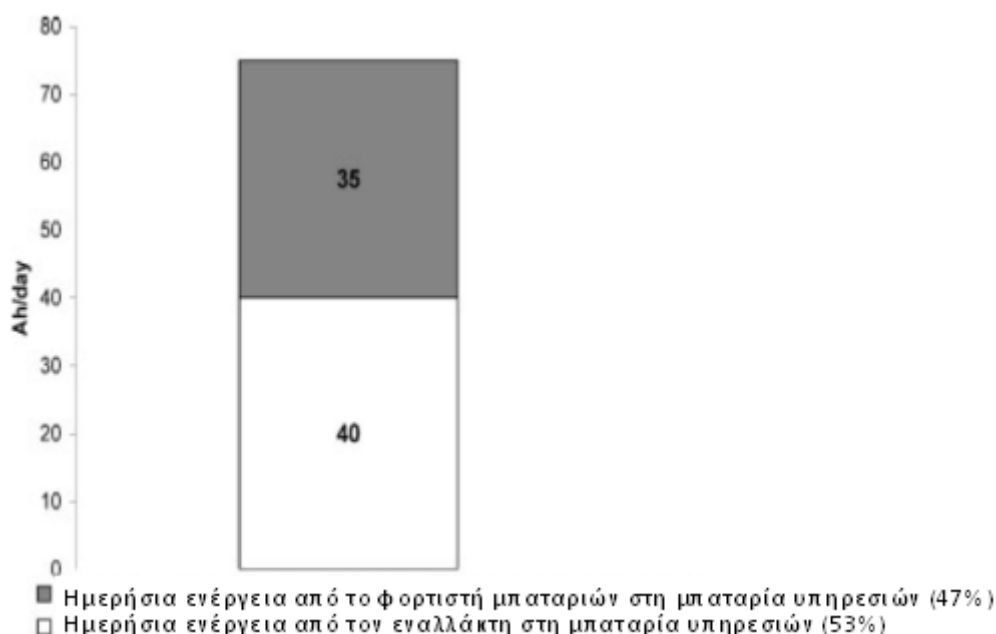
Επιπλέον, όταν το όχημα είναι ενεργοποιημένο, η κατανάλωση ισχύος είναι τόσο υψηλή (μπορεί να φτάσει εύκολα 70A) ώστε η σωστή επιλογή εναλλάκτη του οχήματος γίνεται πολύ σημαντική. Προς το παρόν, τα ασθενοφόρα της EPES χρησιμοποιούν εναλλάκτες 100A, οι οποίοι καλύπτουν την ενεργειακή ζήτηση, όταν το όχημα βρίσκεται σε λειτουργία. Η γεννήτρια παράγει τόσο υψηλό ρεύμα που επιτρέπει τη φόρτιση ακόμα και των δύο μπαταριών.



**Διάγραμμα 1:** Ένταση του εναλλάκτη συναρτήσει της λειτουργίας της μπαταρίας υπηρεσίας για ένα ασθενοφόρο κατά την τυπική καθημερινή χρήση

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από το διάγραμμα 1, όταν το όχημα είναι σε λειτουργία, η γεννήτρια μπορεί να αντέξει όχι μόνο τη ζήτηση ισχύος, αλλά μπορεί να επιτρέψει ακόμα και τη φόρτιση της μπαταρίας υπηρεσίας. Από την άλλη πλευρά, όταν το όχημα παραμένει σταθευμένο στο κέντρο, υπάρχει σταθερή ζήτηση ισχύος που παρέχεται μόνο από τη μπαταρία υπηρεσίας.

Η μέση ημερήσια ισχύς που απαιτείται από τα φορτία υπηρεσιών, ενώ το όχημα παραμένει σταθμευμένο αναμένοντας για περίπτωση έκτακτης ανάγκης είναι περίπου 75A.h./ημέρα κατά τη διάρκεια μιας τυπικής ημέρας. Από την άλλη πλευρά, όταν το όχημα είναι σε λειτουργία, ο εναλλάκτης, αφού εξυπηρετήσει όλα τα αρχικά φορτία, μπορεί να δώσει στη μπαταρία υπηρεσίας 40A.h./ημέρα. Έτσι, το ημερήσιο υπόλοιπο φορτίο της μπαταρίας υπηρεσίας είναι -35A.h./ημέρα, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2. Μπορεί λοιπόν κανείς να αντιληφθεί, ότι αυτά τα οχήματα είναι πλήρως εξαρτημένα από το δίκτυο για να ανακτήσουν τη χαμένη ισχύ. Ένας άλλος τρόπος, για να ανακτηθεί αυτή η χαμένη ισχύς, είναι να κρατήσουν τον κινητήρα σε λειτουργία, έτσι ώστε να καταστεί δυνατό η γεννήτρια να φορτίσει τις μπαταρίες. Ωστόσο, αυτή η λύση θα αυξήσει σημαντικά την κατανάλωση του καυσίμου ντίζελ και θα μειώσει τη λειτουργικότητα του αυτοκινήτου. Εκτός αυτού, και στις δύο λύσεις, η χρήση ενός φορτιστή μπαταρίας ή του κινητήρα για ορισμένες χρονικές περιόδους, δε θα αποτρέψουν τη φθορά της μπαταρίας από καθημερινές βαθιές εκφορτίσεις, δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται συνήθως κατά σύντομες και περιορισμένες χρονικές περιόδους.



**Διάγραμμα 2: Αναλογία ημερήσιας ενεργειακής ισχύος που παρέχεται από τον εναλλάκτη του οχήματος και το φορτιστή μπαταριών**

Η ενσωμάτωση μιας νέας και πιο μόνιμης πηγής ενέργειας θα μείωνε αυτό το αρνητικό ισοζύγιο ενέργειας της μπαταρίας υπηρεσιών και θα μείωνε το βάθος εκφόρτισης που υπέστη η μπαταρία υπηρεσιών. Επιπλέον, η αυτονομία του οχήματος θα αυξανόταν επίσης, καθώς οι μπαταρίες υπηρεσιών του ασθενοφόρου φορτίζονται από το δίκτυο. Αν και αυτό μπορεί να επιτευχθεί εύκολα στις αναπτυγμένες χώρες ως επί το πλείστον, υπάρχουν ειδικές περιπτώσεις, όπου απαιτείται μεγαλύτερη αυτονομία από τα σημεία του δικτύου. Τέτοιες περιπτώσεις είναι: αθλητικές εκδηλώσεις εκτός των αστικών περιοχών, προσκυνήματα, χώροι στάθμευσης σε αυτοκινητοδρόμους, δρόμοι που απαιτείται γρήγορη ανταπόκριση σε περίπτωση οδικών ατυχημάτων, κλπ. Η ενσωμάτωση της Φ/Β γεννήτριας στον τομέα των ασθενοφόρων, θα παρείχε ένα μεγάλο βαθμό ανεξαρτησίας, ο οποίος θα επέτρεπε να αντιμετωπιστούν καταστάσεις, όπως αυτές που περιγράφονται παραπάνω, με ένα υψηλό επίπεδο αυτονομίας και χωρίς να χρειάζεται να παραμένει ο κινητήρας σε λειτουργία.

### **2.3. Φ/Β Σύστημα**

Καθώς η Φ/Β διάταξη θα αγκιστρωθεί στην οροφή του οχήματος, θα είναι αδύνατο να ελεγχθεί ο προσανατολισμός της όταν το όχημα είναι σε υπηρεσία. Για το λόγο αυτό, μια μηδενική κλίση των πάνελ θα μεγιστοποιήσει τη συλλογή ενέργειας. Επιπλέον, ένας κατάλληλος αριθμός και μέγεθος στοιχείων επιλέχθηκαν για να κάνουν καλή χρήση της διαθέσιμης επιφάνειας της στέγης. Στην περίπτωση αυτή, η συστοιχία Φ/Β καλύπτει μια έκταση 3,46m<sup>2</sup> και αποτελείται από οκτώ παράλληλα μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου I-50, όλα παρεχόμενα από την ISOFOTON. Η συνολική ονομαστική ισχύς εξόδου της συστοιχίας κάτω από κανονικές συνθήκες δοκιμής (STC) είναι 400Wp. Τα κύρια χαρακτηριστικά της Φ/Β συστοιχίας φαίνονται στον πίνακα 1.

Αριθμός I-50 στοιχείων	8
Επιφάνεια συστοιχίας Φ/Β	3,46m <sup>2</sup>
IPVG, M, STC	22,96A
PPVG, M, STC	400Wp

**Πίνακας 1: Κύρια χαρακτηριστικά της συστοιχίας Φ/Β του πρωτότυπου FIVE**

Με αυτά τα δεδομένα και τα χαρακτηριστικά της συστοιχίας Φ/Β, η θεωρητική ισχύς (αγνοώντας όλα τα είδη των απωλειών) που μπορεί να παρέχεται από τη συστοιχία Φ/Β, μπορεί να ληφθεί ως:

$$Q(\text{A.h./ημέρα}) = I_{12V} / (G_{\text{STC.H}})$$

όπου Η εκφράζει την ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία ( $\text{kWh.m}^{-2}/\text{ημέρα}$ ),  $I_{12V}$  αντιστοιχεί στην τιμή που έδωσε η Φ/Β γεννήτρια σε 12V ονομαστική τάση του συστήματος και ένταση ακτινοβολίας  $1\text{kW.m}^{-2}$  ( $G_{\text{STC}}$ ). Μπορεί να υποθεθεί ότι  $I_{12V} \sim I_{\text{PVG, M}}$  (μέγιστη τιμή ηλεκτρικού ρεύματος γεννήτριας), αν και η πρώτη μεταβλητή συχνά θα είναι ελαφρώς υψηλότερη από τη δεύτερη καθώς η  $V_{\text{PVG, M}}$  είναι πάνω από την τάση φόρτισης της μπαταρίας, ακόμη και σε υψηλές θερμοκρασίες στοιχείων (τα στοιχεία I-50 σχηματίζονται κατά 36 μονοκρυσταλλικές κυψέλες πυριτίου σε σειρά). Αυτή η υπόθεση περιλαμβάνει ένα περιθώριο σφάλματος μικρότερο από 2%.

Μήνας	$\text{kWh.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$ Γεωγραφικό πλάτος $37^{\circ}45'N$	$Q_{\text{TGD}} (\text{A.h.day}^{-1})$
Ιανουάριος	2,6	59,70
Φεβρουάριος	3,3	75,77
Μάρτιος	4,7	107,91
Απρίλιος	5,4	123,98
Μάιος	6,7	153,83
Ιούνιος	7,4	169,90
Ιούλιος	7,6	174,50
Αύγουστος	7,0	160,72
Σεπτέμβριος	5,7	130,87
Οκτώβριος	4,0	91,84
Νοέμβριος	2,9	66,58
Δεκέμβριος	2,1	48,22
Ετήσιο	4,95	113,65

**Πίνακας 2: Μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία  $\text{kWh.m}^{-2}/\text{ημέρα}$  στη Jaen (Ισπανία) σε πάνελ κλίσης  $0^{\circ}$  σε συνάρτηση με την αντίστοιχη ισχύ που παράγεται από τη συστοιχία Φ/Β**

Στον πίνακα 2 παρουσιάζεται αναλυτικά η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία στη Jaen της Ισπανίας σε πάνελ μηδενικής κλίσης. Η μέση ημερήσια ισχύς που παράγεται από τη Φ/Β γεννήτρια όλο το χρόνο είναι 114A.h./ημέρα. Η τιμή αυτή είναι υψηλότερη από την ημερήσια ισχύ που το όχημα χρειάζεται από το δίκτυο, δηλαδή, 35 A.h./ημέρα. Ωστόσο, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι αυτές είναι μέσες



ετήσιες τιμές. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να εξεταστεί αν ο Δεκέμβριος είναι ένας μήνας, στον οποίο η ισχύς που παρέχεται από την Φ/Β γεννήτρια (48A.h./ημέρα), είναι ελάχιστα πάνω από τη ζήτηση φορτίου, το οποίο ο εναλλάκτης του οχήματος από μόνος του δεν μπορεί να παρέχει πλήρως στην κανονική καθημερινή του λειτουργία.

## **2.4. Διαμόρφωση Συστήματος**

Εκτός από την περίπτωση των τροχόσπιτων, υπάρχει μικρή βιβλιογραφία σχετικά με την ενσωμάτωση των Φ/Β συστοιχιών σε οχήματα που τροφοδοτούνται από καύσιμα. Λόγω αυτής της έλλειψης πληροφοριών σχετικά με την αμοιβαία σχέση ανάμεσα σε μια Φ/Β γεννήτρια και το ηλεκτρικό σύστημα του ασθενοφόρου, ένα έτοιμο σχέδιο υλοποίησης του πρωτοτύπου δεν φαίνεται να είναι η καλύτερη λύση.

Για το λόγο αυτό, ένας πίνακας σύνδεσης εγκαταστάθηκε μέσα στο πρωτότυπο, ο οποίος επέτρεψε τη δημιουργία διαφόρων συνθέσεων μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του συστήματος Φ/Β (συστοιχία Φ/Β και ρυθμιστής ισχύος) και του ηλεκτρικού συστήματος του οχήματος (φορτία βασικών λειτουργιών και υπηρεσιών, εναλλάκτης, φορτιστής μπαταρίας και μπαταρίες βασικών λειτουργιών και υπηρεσιών). Αυτός ο πίνακας προσφέρει στο πρωτότυπο υψηλή ευελιξία, που επιτρέπει την αξιολόγηση διαφορετικών συστημάτων σε ένα μόνο όχημα. Με τον τρόπο αυτό, ο ρυθμιστής ισχύος μπορεί να είναι σε συνδυασμό είτε με πολυδύναμο απομονωτή, είτε με τις μπαταρίες βασικών λειτουργιών και υπηρεσιών, είτε με τη μπαταρία υπηρεσιών μόνο. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη περισσότερων περιπτώσεων και να επιλεγεί αυτή που προσφέρει καλύτερη απόδοση. Επιπλέον, το Φ/Β σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αυτόνομο σύστημα (συστοιχία Φ/Β, ρυθμιστής ισχύος, μπαταρία υπηρεσιών), ή ως ένα Φ/Β-ντίζελ αυτόνομο υβριδικό σύστημα, εάν γίνουν οι κατάλληλες συνδέσεις μεταξύ εναλλάκτη του οχήματος και μπαταριών.

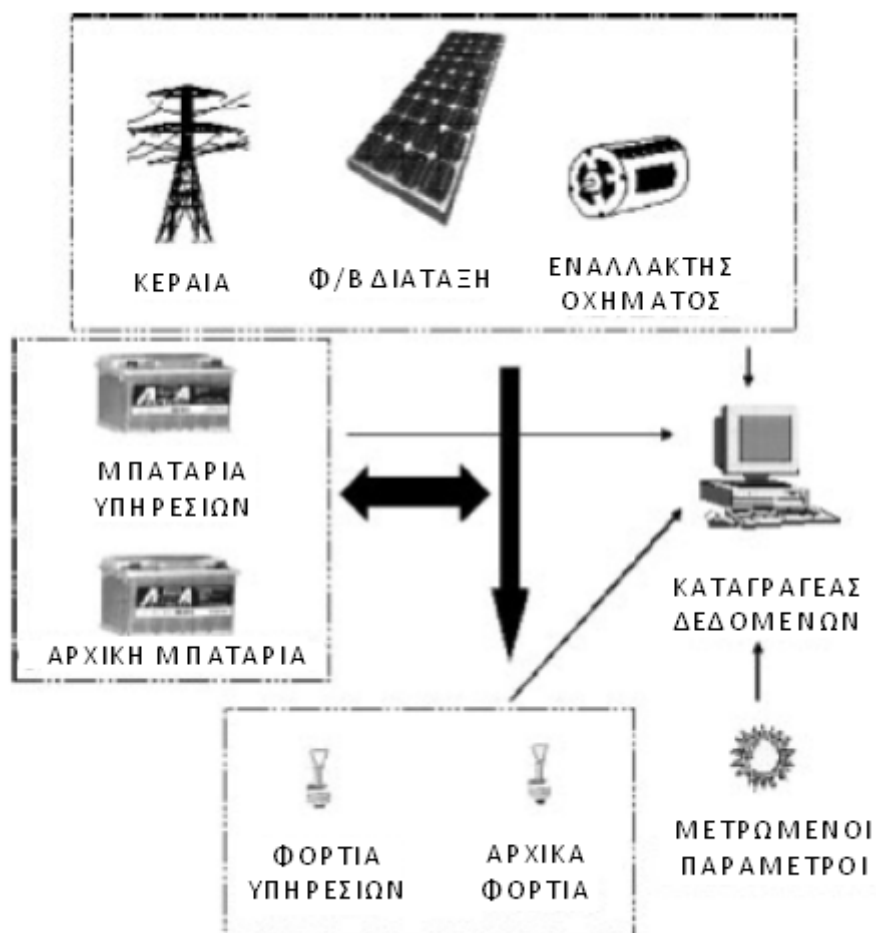


**Εικόνα 6: Πίνακας σύνδεσης εγκατεστημένος μέσα στο πρωτότυπο**

Ο εν λόγω πίνακας σύνδεσης της εικόνας 6, όχι μόνο επιτρέπει να εκτιμηθούν διαφορετικά συστήματα με ένα μόνο όχημα, αλλά συμβάλλει επίσης στην εύκολη εγκατάσταση νέων στοιχείων στο πρωτότυπο. Επιπλέον, ο πίνακας χρησιμοποιείται επίσης για τη συλλογή διαφορετικών λειτουργικών παραμέτρων του συστήματος:

- α) τάση εξόδου της συστοιχίας Φ/Β και ρεύμα της συστοιχίας Φ/Β
- β) τάση της μπαταρίας υπηρεσιών
- γ) ρεύμα εισόδου της μπαταρίας υπηρεσιών και ρεύμα εξόδου της μπαταρίας υπηρεσιών
- δ) αρχική τάση της μπαταρίας
- ε) ρεύμα εισόδου της βασικής μπαταρίας και ρεύμα εξόδου της βασικής μπαταρίας
- στ) τάση εξόδου εναλλάκτη και ρεύμα εξόδου εναλλάκτη
- ζ) τρέχον/όλα φορτία βασικών λειτουργιών
- η) τρέχον/όλα φορτία υπηρεσιών.

Τα τρέχοντα εντατικά στοιχεία μετρώνται με αναστομώσεις διαφορετικών τιμών στον πίνακα. Με τη σειρά της, η ακτινοβολία ( $W/m^2$ ) είναι μετρούμενη με διακριβωμένο κύτταρο, τοποθετημένο στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο, όπως η διάταξη. Μετρήσεις ακτινοβολίας κάτω των  $45 W/m^2$  δε λαμβάνονται υπόψη. Όπως και σε άλλες πειραματικές αναλύσεις των Φ/Β συστημάτων, η χρήση των κυττάρων της ίδιας τεχνολογίας, όπως αισθητήρες για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να κρύψει την εξάρτηση της απόδοσης του συστήματος από τις κλιματικές μεταβολές. Ωστόσο, το γεγονός αυτό μπορεί να παραμεληθεί, καθώς το περιθώριο σφάλματος που εισήχθη σε αυτή την περίπτωση είναι πολύ χαμηλό. Από τις τιμές που συλλέγονται κατά την περίοδο της ημέρας από το βαθμονομημένο κύτταρο, μπορεί να αποκτηθεί η θεωρητική ημερήσια χρέωση  $Q_{TDG}$  σε A.h./ημέρα που το Φ/Β σύστημα παράγει.



Εικόνα 7: Μπλοκ διάγραμμα του συστήματος

Χάρη στον πίνακα σύνδεσης, υπάρχουν διαφορετικές διαμορφώσεις που μπορούν να ελεγχθούν και να αξιολογηθούν, προκειμένου να βρεθεί εκείνη που προσφέρει μια καλύτερη απόδοση. Η θερμοκρασία των στοιχείων μετρείται από ένα PT100 τοποθετημένο στην πίσω επιφάνεια ενός στοιχείου της διάταξης. Μια άλλη παράμετρος καιρικών συνθηκών, όπως η ατμοσφαιρική θερμοκρασία παρακολουθείται επίσης από μία NTC αντίσταση. Επιπλέον, προκειμένου να αξιολογηθεί η κατάσταση φόρτισης (SOC) της μπαταρίας, ένα άλλο PT100 χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας της μπαταρίας και της εσωτερικής θερμοκρασίας του οχήματος. Όλες οι παράμετροι που περιγράφονται παρακολουθούνται και αποθηκεύονται για περαιτέρω ανάλυση σε ένα καταγραφέα δεδομένων που είναι εγκατεστημένος κάτω από τον πίνακα σύνδεσης. Τα δεδομένα είναι περιοδικά και συγκεντρώνονται μέσω ενός φορητού υπολογιστή. Το διάγραμμα του συστήματος φαίνεται σχηματικά στην εικόνα 7.

## **2.5. Τεστ αξιολόγησης του πρωτότυπου FIVE**

Είναι ανεπαρκής η αξιολόγηση αυτόνομων υβριδικών συστημάτων λαμβάνοντας υπόψη μόνο την Αναλογία Απόδοσης (Performance Ratio - PR). Η PR από μόνη της δεν αντικατοπτρίζει την καλή τεχνική λειτουργία των συστημάτων αυτών, όπως κάνει για διασυνδεδεμένα συστήματα. Για το λόγο αυτό, ένα νέο μέγεθος για την αξιολόγηση του αυτόνομου υβριδικού συστήματος που ονομάζεται Παράγοντας Συσχέτισης (Matching factor - MF) έχει εισαχθεί. Ο MF δείχνει πόσο καλά το Φ/Β υβριδικό σύστημα συνδυάζεται με την ηλεκτρική κατανάλωση. Ωστόσο, στην περίπτωση που παρουσιάζεται εδώ, αυτή η παράμετρος δεν παρέχει πλήρεις πληροφορίες σχετικά με τις επιδόσεις της Φ/Β γεννήτριας, καθώς η εκκίνηση του κινητήρα δεν εξαρτάται από την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας υπηρεσιών, αλλά από μια κλήση έκτακτης ανάγκης που μπορεί να προκύψει οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας. Για το λόγο αυτό, η Φ/Β γεννήτρια δε χρειάζεται να περιορίζει την παροχή ενέργειας από τον εναλλάκτη, αλλά να προσθέτει την καθημερινή ημερήσια ισχύ της, στην ισχύ που δίνεται από τον εναλλάκτη, καλύπτοντας έτσι την καθημερινή ζήτηση ισχύος.

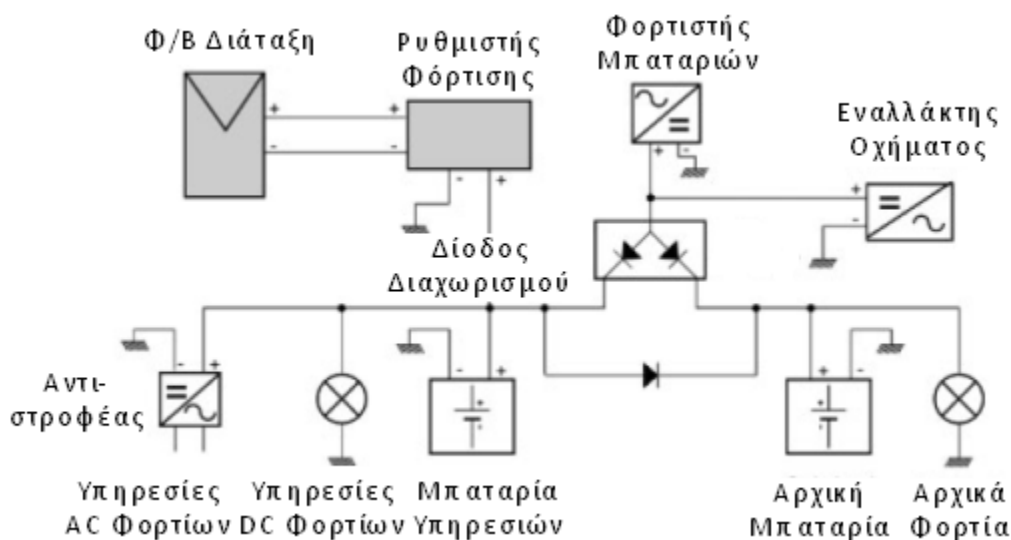
Στη συνέχεια, ήταν αναγκαίο να καθοριστούν διαφορετικές δοκιμές για την αξιολόγηση της λειτουργίας του πρωτότυπου FIVE. Τα τεστ αξιολόγησης του πρωτότυπου μπορούν να χωριστούν σε δύο τύπους. Δοκιμές υπηρεσίας πραγματοποιήθηκαν για την προσομοίωση της τυπικής καθημερινής λειτουργίας ενός ασθενοφόρου. Αυτές οι δοκιμές προσπαθούν να καθορίσουν τόσο την αμοιβαία σχέση μεταξύ εναλλάκτη και Φ/Β συστοιχίας, όσο και εάν λειτουργούν σωστά μαζί. Επιπλέον, μπορεί επίσης να μελετηθεί το κατά πόσο ο εναλλάκτης, σε συνδυασμό με το Φ/Β σύστημα, μπορεί να καλύψει τις ανάγκες των φορτίων του οχήματος. Δοκιμές στάθμευσης πραγματοποιήθηκαν επίσης. Ο σκοπός τους ήταν να αξιολογήσουν σε ποιες τοπολογίες επιτρέπεται η βέλτιστη φόρτιση των μπαταριών από τη συστοιχία Φ/Β. Σε αυτές τις τελευταίες δοκιμές, το όχημα αναγκάστηκε να μείνει σταθμευμένο όλη την ημέρα με τη Φ/Β γεννήτρια ως τη μόνη πηγή ενέργειας.

Μερικές τοπολογίες δοκιμάστηκαν ώστε να αποτελέσει η συστοιχία Φ/Β βοηθητική πηγή φόρτισης της μπαταρίας υπηρεσιών, δεδομένου ότι πάσχει από βαθύτερες εκφορτίσεις της βασικής μπαταρίας, κατά τη διάρκεια της καθημερινής λειτουργίας του οχήματος. Επιπλέον, δεδομένου ότι η αρχική φόρτιση είναι σχεδόν αμελητέα όταν το όχημα παραμένει σταθμευμένο για μεγάλο χρονικό διάστημα, η βασική μπαταρία θα μπορούσε να είναι πλήρως φορτισμένη όταν ο κινητήρας ήταν σε λειτουργία. Αυτό συμβαίνει κάθε μέρα, όταν το όχημα απαιτείται να χρησιμοποιηθεί σε κάποιο επείγον περιστατικό.

Ωστόσο, παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια των δοκιμών στάθμευσης ότι, εάν το όχημα παρέμεινε σταθμευμένο για αρκετές ημέρες, η συσσωρευτική επίδραση της ζήτησης της αρχικής φόρτισης, μαζί με την αυτοεκφόρτιση της μπαταρίας θα μπορούσε να κάνει τη μπαταρία να υποφέρει μια σημαντική εκφόρτιση. Αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει ένα πρόβλημα στην εκκίνηση της μηχανής του οχήματος, το οποίο θα μπορούσε να καθυστερήσει σοβαρά τις παρεχόμενες υπηρεσίες. Για να ξεπεραστεί αυτό το μειονέκτημα, ήταν αναγκαίο να κατασκευαστεί το Φ/Β, έτσι ώστε να φορτίζει και τη βασική μπαταρία.

Για να φορτιστούν και οι δύο μπαταρίες, (λαμβάνοντας πάντα υπόψη ότι η προτεραιότητα φόρτισης δίνεται στη μπαταρία υπηρεσιών), ελέγχθηκε η τοπολογία που φαίνεται στην Εικόνα 8. Αυτή η τοπολογία είναι παρόμοια με το βασικό ηλεκτρικό σχεδιασμό που υπάρχει στα περισσότερα ασθενοφόρα, καθώς επίσης, έχει μία διαχωριστή δίοδο που συνδέει τον εναλλάκτη με τις δύο μπαταρίες. Ωστόσο,

προστίθεται μια άλλη διάδος, η οποία συνδέει τη συστοιχία Φ/Β με τη βασική μπαταρία. Ο ρυθμιστής φόρτισης της μπαταρίας τοποθετείται μεταξύ της συστοιχίας Φ/Β και της μπαταρίας υπηρεσιών, όπως φαίνεται στην εικόνα 8. Επιπλέον, καθώς ο ιατρικός και σημαντικός εξοπλισμός στο εσωτερικό του οχήματος πρέπει να προστατεύονται ενάντια στην αυτόματη διακοπή φορτίων, τα φορτία συνδέονται απευθείας με τις μπαταρίες.

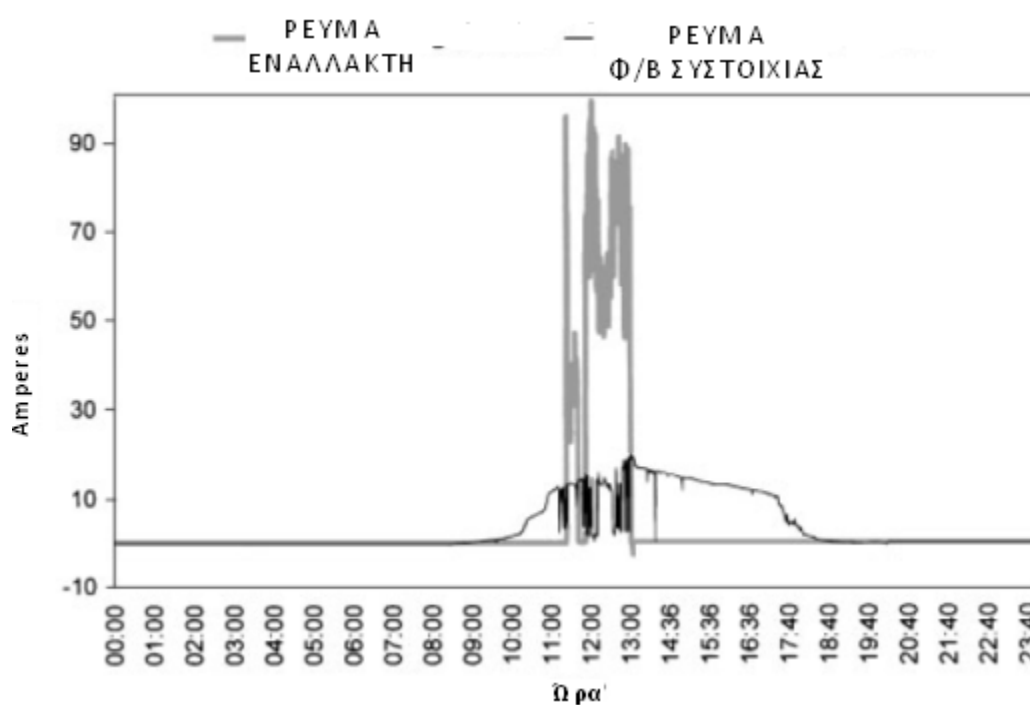


Εικόνα 8: Τοπολογία του πρωτότυπου FIVE

Με στόχο τη μείωση των απωλειών ενέργειας της Φ/Β γεννήτριας και αυξάνοντας έτσι την αξιοπιστία της παρεχόμενης ενέργειας, διαφορετικές διαδικασίες βελτιστοποίησης ελέγχου για αυτόνομα Φ/Β υβριδικά συστήματα μπορούν να μελετηθούν. Παρ' όλα αυτά, σε αυτή την περίπτωση, οι στρατηγικές αυτές έχουν φτωχή εφαρμογή, καθώς είναι αδύνατος ο έλεγχος της εκκίνησης του εναλλάκτη πετρελαίου, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια της ημέρας για να βοηθήσει σε ένα επείγον περιστατικό. Με τον τρόπο αυτό, το υβριδικό σύστημα θεωρείται ότι δεν έχει σχεδιαστεί ως τέτοιο, αλλά μάλλον ως συνδυασμός από δύο πηγές ενέργειας (ηλιακή Φ/Β και συμβατικός εναλλάκτης οχήματος).

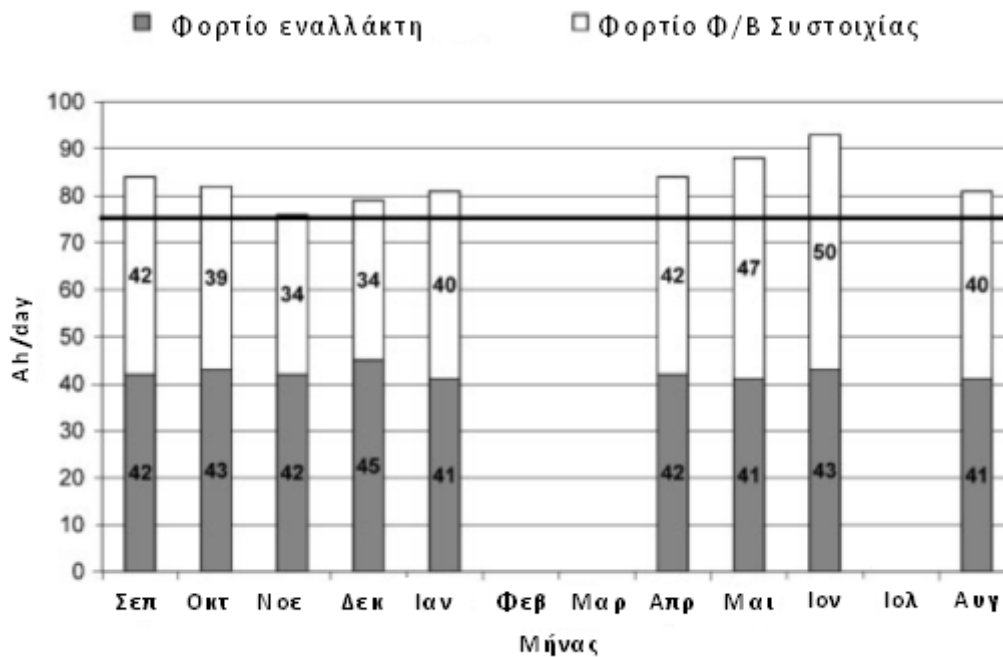
Η λύση που παρουσιάζεται εδώ είναι πολύ απλή, όχι μόνο για το ηλεκτρικό σύστημα που παρέχεται, αλλά και για τα στοιχεία που προστίθενται στο αρχικό ασθενοφόρο: μια συστοιχία Φ/Β, ένας ρυθμιστής φόρτισης και μια διάδος ρεύματος.

Χάρη σε αυτή την τοπολογία, το σύστημα λειτουργεί καλά χωρίς καμία διαφορά κατά την κανονική και καθημερινή λειτουργία του οχήματος, αλλά με την προστιθέμενη παρουσία μιας νέας πηγής ενέργειας. Οι δοκιμές υπηρεσιών δεν έδειξαν κανένα πρόβλημα κατά την ταυτόχρονη λειτουργία της συστοιχίας Φ/Β και του εναλλάκτη.



**Διάγραμμα 3: Συνολικό ρεύμα που παρέχεται από τη συστοιχία Φ/Β σε σχέση με το συνολικό ρεύμα που παρέχεται από το πρωτότυπο εναλλάκτη**

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο διάγραμμα 3, το ρεύμα του εναλλάκτη είναι πολύ υψηλότερο από αυτό της Φ/Β γεννήτριας. Ωστόσο, ο εναλλάκτης λειτουργεί μόνο όταν το όχημα είναι σε λειτουργία, σε σύντομο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Με τον τρόπο αυτό, το ρεύμα της Φ/Β γεννήτριας επιτυγχάνει τη βελτίωση της φόρτισης της μπαταρίας και αποτρέπει και τις δύο μπαταρίες από βαθύτερη εκφόρτιση και ταχύτερο κορεσμό τους. Αυτό συμβαίνει επειδή παράγει ρεύμα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, εφόσον υπάρχει αρκετή ακτινοβολία. Αυτό σημαίνει ότι η διάρκεια ζωής των μπαταριών παρατείνεται.

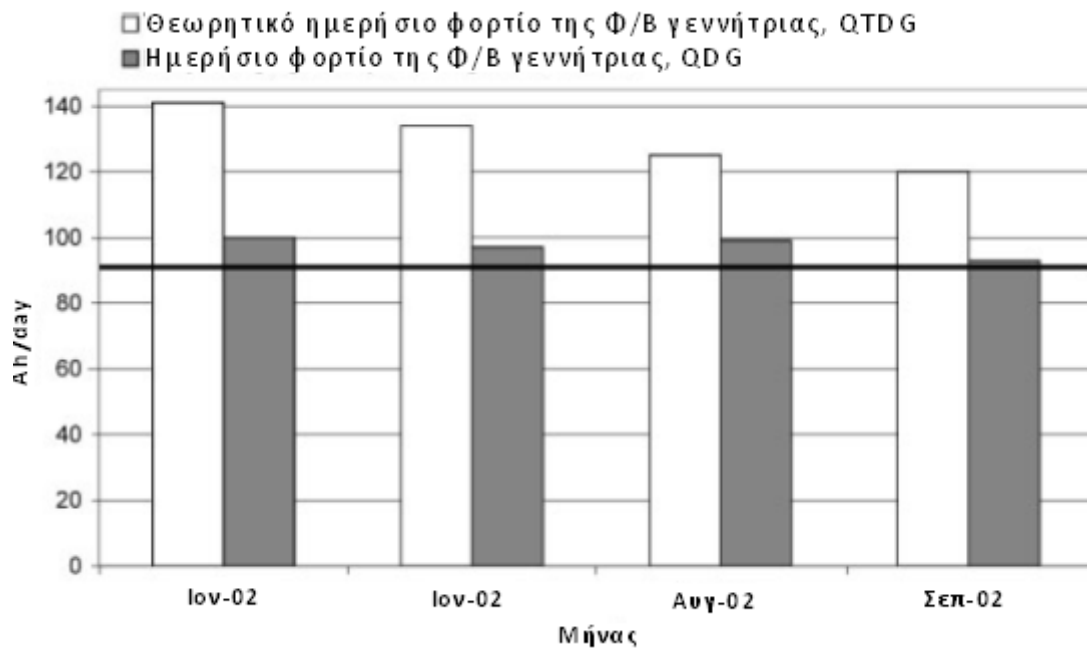


Διάγραμμα 4: Απόδοση του πρωτότυπου FIVE (Φ/Β και ντίζελ)

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο διάγραμμα 4, και οι δύο πηγές ενέργειας καλύπτουν το ημερήσιο φορτίο (75A.h./ημέρα, σημειώνεται με μια μαύρη γραμμή) που παρέχεται από τη μπαταρία υπηρεσιών, κατά τη διάρκεια του χρόνου που το όχημα περιμένει να προκύψει επείγον περιστατικό. Η ημερήσια ισχύς που έδωσε η γεννήτρια είναι πάντα σχεδόν η ίδια. Η ημερήσια ισχύς από τη Φ/Β γεννήτρια ποικίλλει (από 34A.h./ημέρα, κατά τη διάρκεια του Δεκεμβρίου έως 50A.h./ημέρα, κατά τη διάρκεια του Ιουνίου). Αυτές οι δοκιμές επικυρώνουν την πλήρη αυτονομία του οχήματος από το δίκτυο κατά τη συνήθη καθημερινή λειτουργία του.

Οι δοκιμές στάθμευσης αποκάλυψαν ότι το πρωτότυπο είναι εφοδιασμένο με πλήρη βαθμό αυτονομίας κατά τη διάρκεια των μηνών που υπάρχει αρκετή ακτινοβολία καθημερινά, για να καλύψει τις ημερήσιες ανάγκες ζήτησης φορτίου, δηλαδή από τον Απρίλιο έως το Σεπτέμβριο, ακόμη και αν το όχημα πρέπει να μείνει σταθμευμένο για αρκετές ημέρες. Μια καθημερινή ζήτηση φορτίου κατά τη διάρκεια αυτής της κατάστασης αδράνειας των 84A.h έχει καθιερωθεί (η τιμή αυτή είναι ελαφρώς διαφορετική από αυτή που αναφέρθηκε προηγουμένως, 75A.h./ημέρα, καθώς το όχημα παρέμεινε σταθμευμένο όλη την ημέρα, και η συστοιχία Φ/Β μαζί με μπαταρία έπρεπε να αντέξει μόνη της μια ζήτηση φορτίου των 3,5A, που είναι μια καθημερινή επιβάρυνση φορτίου 3,5Ax24 ώρες).





**Διάγραμμα 5: Ημερήσιο φορτίο για διάρκεια τεσσάρων μηνών. Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ημερήσια ζήτηση φορτίου**

Το διάγραμμα 5 παρουσιάζει την καθημερινή φόρτιση που παρέχεται από την πρωτότυπη Φ/Β διάταξη συναρτήσει της θεωρητικής ημερήσιας φόρτισης κατά τη διάρκεια Ιούνιος 2002 - Σεπτέμβριος 2002. Όπως μπορεί κανείς να αντιληφθεί, οι τιμές των ημερήσιων θεωρητικών φορτίσεων είναι χαμηλότερες από τις τιμές που περιλαμβάνονται στον πίνακα 2. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι το όχημα έπρεπε να μείνει σταθμευμένο σε μια θέση που δεν ήταν απαλλαγμένη από σκιές. Οι τιμές της ημερήσιας ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια αυτών των μηνών ήταν: τον Ιούνιο 141A.h/ημέρα, τον Ιούλιο 134A.h/ημέρα, τον Αύγουστο 125A.h/ημέρα και το Σεπτέμβριο 120A.h/ημέρα.



**Διάγραμμα 6:** Ρεύμα της αρχικής μπαταρίας και της μπαταρίας υπηρεσιών κατά τη διάρκεια μιας τυπικής καλοκαιρινής ημέρας, στην οποία το πρωτότυπο έμεινε σταθμευμένο όλη την ημέρα

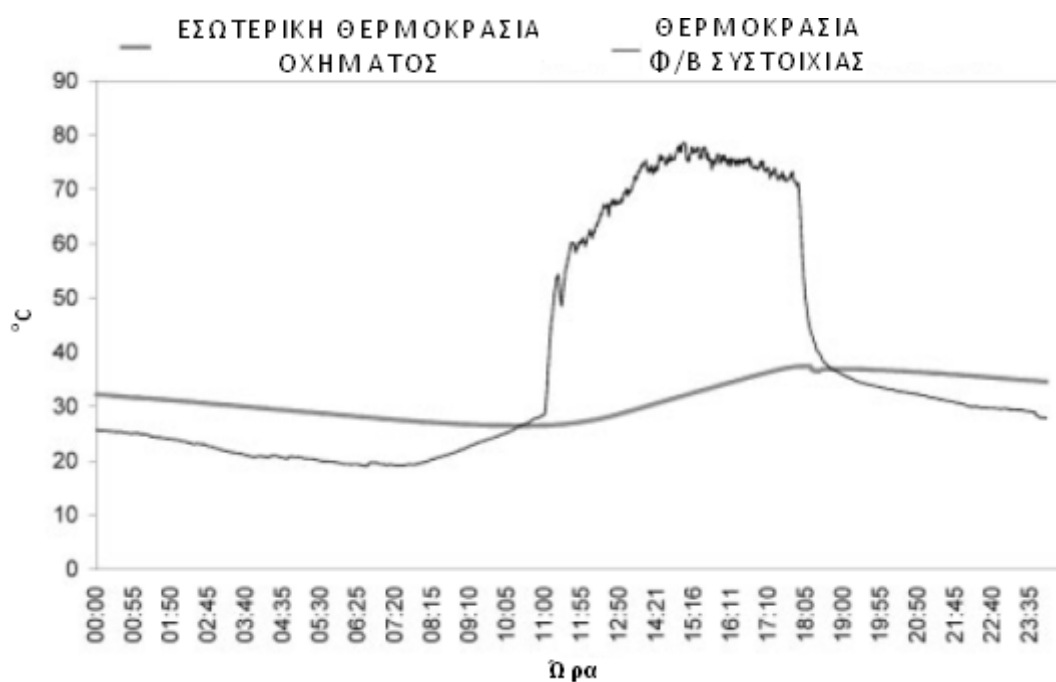
Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο διάγραμμα 6, η συστοιχία Φ/Β μπορεί να ασχοληθεί με την κατανάλωση φορτίου, ακόμη και να φορτίσει τη βασική και τη μπαταρία υπηρεσιών. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, και όταν υπάρχει αρκετή ακτινοβολία, η συστοιχία Φ/Β μπορεί να αντιμετωπίζει την κατανάλωση φορτίου και να φορτίζει την μπαταρία υπηρεσιών πρώτη. Επιπλέον, όταν η τελευταία έχει φτάσει σε υψηλό επίπεδο φόρτισης, η βασική μπαταρία θα αρχίσει να φορτίζεται επίσης.

## 2.6. Άλλα Θέματα

### 2.6.1. Υψηλή θερμοκρασία στοιχείων

Μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν την απόδοση των Φ/Β, η θερμοκρασία είναι ένα από τα πιο σημαντικά. Το διάγραμμα 7 δείχνει την υψηλή θερμοκρασία του στοιχείου της Φ/Β διάταξης που έχει εγκατασταθεί στο πρωτότυπο κατά τη διάρκεια μιας τυπικής καλοκαιρινής ημέρας. Κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης των δεδομένων, καταγράφηκε θερμοκρασία στο πάνελ μέχρι

και 83<sup>0</sup>C, η οποία είναι σημαντικά υψηλότερη από την ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κυψελών (Nomimal Operation Cell Temperature - NOCT). Αυτό οφείλεται κυρίως στις υψηλές θερμοκρασίες που μπορούν να επιτευχθούν στη Jaen και του ελάχιστου εξαερισμού στο πίσω μέρος των στοιχείων που είναι συνδεδεμένα με μια αλουμινένια κατασκευή αγκυστρωμένη στην οροφή του οχήματος. Η κατασκευή είναι μόνο 5 cm πάνω από την οροφή. Σε αυτές τις συνθήκες, η κυκλοφορία του αέρα είναι περιορισμένη, γεγονός που επιδεινώνει την κατάσταση αυτή. Με τόσο υψηλές θερμοκρασίες των στοιχείων είναι αναμενόμενη η μείωση της ηλεκτρικής απόδοσης της Φ/Β διάταξης. Ωστόσο, αν και η ισχύς εξόδου θα είναι μειωμένη ως συνέπεια της μείωσης της ανοιχτής τάσεως της διάταξης, το ρεύμα εξόδου των Φ/Β θα είναι δύσκολο να μειωθεί, καθώς χρησιμοποιούνται κυτταρικά στοιχεία της σειράς 36.



**Διάγραμμα 7: Θερμοκρασία μονάδων συστοιχιών Φ/Β και εσωτερική θερμοκρασία του οχήματος μια καλοκαιρινή ημέρα , στην οποία το πρωτότυπο έμεινε σταθμευμένο όλη την ημέρα**

Για να αξιολογηθεί η επίδραση της θερμοκρασίας των πάνελ στα Φ/Β σημερινής γενιάς, η Φ/Β γεννήτρια αναγκάστηκε να δίνει το μέγιστο ρεύμα της στην ονομαστική της τάση (11-15V) κάτω από διαφορετικές συνθήκες εργασίας (ένταση ακτινοβολίας και θερμοκρασία πάνελ), ενώ ένα πολύ σταθερό μοτίβο φορτίου καθορίστηκε. Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3, όπου

$Q_{TG}$  είναι η θεωρητική ισχύς που παρέχεται από τη Φ/Β γεννήτρια και λαμβάνεται μέσω της εξίσωσης (1) κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος, που η ακτινοβολία παρέμεινε σχεδόν σταθερή, ενώ το  $Q_G$  αντιπροσωπεύει την πραγματική μετρούμενη ισχύ. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, η μεταξύ τους σχέση εξαρτάται λίγο από τη θερμοκρασία του πίνακα καθώς το  $Q_G / Q_{TG}$  μπορεί να κυμαίνεται από 0,87 ως 1,05, λαμβάνοντας υπόψη θερμοκρασίες στοιχείων που κυμαίνονται από 76 ως 38<sup>0</sup>C. Σημειώστε ότι προέκυψε  $Q_G / Q_{TG}$  ίσο με 1,05, για 38<sup>0</sup>C θερμοκρασία πάνελ. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι το ρεύμα του στοιχείου αναφοράς αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος της συστοιχίας Φ/Β,  $I_{PVG, M}$ , έτσι ώστε με επαρκή φωτισμό και μια σχετικά χαμηλή θερμοκρασία πάνελ, η τιμή του ρεύματος θα είναι ελαφρώς υψηλότερη από την προηγούμενη. Αυτή η χαμηλή θερμοκρασία πάνελ επετεύχθη όταν το όχημα ήταν σε κίνηση, καθώς η διάχυση του αέρα δρόσιζε τα Φ/Β στοιχεία. Άλλωστε, αυτές οι υψηλές τιμές των  $Q_G / Q_{TG}$  επισημαίνουν τις χαμηλές απώλειες του συστήματος.

Θερμοκρασία πάνελ ( <sup>0</sup> C)	G (W/m <sup>2</sup> )	$Q_{TG}$ (Ah)	$Q_G$ (Ah)	$Q_G / Q_{TG}$
76	975	8,80	7,68	0,87
74	890	8,21	7,76	0,94
60	885	8,92	8,75	0,98
50	650	8,61	8,49	0,99
38	550	7,80	7,43	1,05

**Πίνακας 3: Επίδραση της θερμοκρασίας του στοιχείου στο  $Q_G / Q_{TG}$  της Φ/Β γεννήτριας του πρωτότυπου του έργου FIVE. Οι δοκιμές έγιναν σε διαυγείς ηλιόλουστες ημέρες και κάθε μία διήρκεσε 15-20 λεπτά για να διατηρήσει τις τιμές ακτινοβολίας**

### 2.6.2. Υψηλή εσωτερική θερμοκρασία του οχήματος

Για την απόκτηση της μέγιστης ισχύος από τη Φ/Β γεννήτρια, πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι η Φ/Β διάταξη πρέπει να εκτεθεί απευθείας στον ήλιο, ειδικά όταν το όχημα παραμένει σταθμευμένο περιμένοντας να παρουσιαστεί ένα επείγον περιστατικό. Αυτό μπορεί να αποτελέσει ένα μεγάλο μειονέκτημα, καθώς η εσωτερική θερμοκρασία των οχημάτων μπορεί να αυξηθεί σημαντικά, ειδικά το καλοκαίρι. Για να μαθευτεί πώς αυτή η άμεση έκθεση επηρεάζει το όχημα, η εσωτερική του θερμοκρασία παρακολούθηθηκε για ένα ολόκληρο χρόνο.

Παρατηρήθηκε ότι, κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, η εσωτερική θερμοκρασία φτάνει σε τόσο υψηλό επίπεδο που κατέστησε αδύνατο το όχημα να είναι εκτεθειμένο απευθείας στον ήλιο για ολόκληρη την ημέρα. Παρ' όλα αυτά, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το ασθενοφόρο χρειάζεται μόνο 35A.h/ημέρα, για να επαναφορτίσει τις μπαταρίες του κατά τη διάρκεια λειτουργίας σε μια κανονική ημέρα. Αυτή η τιμή είναι πολύ χαμηλότερη από εκείνη που λαμβάνεται από το Φ/Β σύστημα σε αυτούς τους καλοκαιρινούς μήνες (Πίνακας 2). Κατά συνέπεια, όταν δεν είναι σε υπηρεσία, το όχημα μπορεί να σταθμεύει σε έναν τόπο που έχει διαμορφωθεί κατάλληλα ώστε να επιβάλλει την ανακλαστικότητα και τη διάχυτη ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια του υπόλοιπου έτους, το όχημα μπορεί να εκτεθεί απευθείας στον ήλιο, καθώς η μέγιστη θερμοκρασία που μπορεί να επιτευχθεί, δεν είναι τόσο υψηλή. Εκτός αυτού, στις πιο κρύες εποχές, αυτό μπορεί να κάνει το όχημα να μένει θερμότερο.

### **2.6.3. Σκίαση**

Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης των επιδόσεων του πρωτότυπου, η Φ/Β διάταξη υποβλήθηκε σε σκίαση από κοντινά δέντρα και κτίρια δεδομένου ότι δε μπορούσε να σταθμεύει σε έναν τόπο χωρίς σκιές όπου θα μπορούσε επίσης να προστατευτεί από βανδαλισμό. Εντούτοις, αυτή η κατάσταση μπορεί να αντιστοιχεί σε καθημερινή λειτουργία ενός ασθενοφόρου όπου το όχημα μπορεί να σταθμεύει οπουδήποτε. Η επίδραση της σκίασης μπορεί να προσδιοριστεί ποσοτικά σε απώλεια της συνολικής ισχύος εξόδου της Φ/Β διάταξης που έχει μικρή σημασία όταν το όχημα είναι σε λειτουργία, καθώς το ρεύμα που παρέχεται από τον εναλλάκτη καλύπτει όχι μόνο το υψηλό φορτίο ζήτησης, αλλά επίσης φορτίζει και τις δύο μπαταρίες. Ωστόσο, όταν το όχημα παραμένει σταθμευμένο στο κέντρο, και ιδιαίτερα το χειμώνα, θα πρέπει να σταθμεύει σε ένα χώρο χωρίς σκιές για να καταστεί δυνατό η Φ/Β γεννήτρια να έχει καλύτερες επιδόσεις.

## **2.7. Συμπεράσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή**

Η δυσκολία της αξιολόγησης της απόδοσης των Φ/Β υβριδικών συστημάτων που έχουν σχεδιαστεί ως διαφορετικές πηγές ισχύος, χωρίς συσχέτιση μεταξύ τους είναι η περίπτωση του ασθενοφόρου που παρουσιάζεται εδώ. Ωστόσο, μια μέθοδος αξιολόγησης έχει διενεργηθεί για να δείξει πώς το πρωτότυπο αποδίδει με τη Φ/Β γεννήτρια και τον εναλλάκτη να λειτουργούν από κοινού.

Από τα αποτελέσματα που αναφέρονται εδώ, έχει αποδειχθεί ότι είναι δυνατό να εφαρμοστεί και να ενσωματωθεί ένα Φ/Β σύστημα σε ασθενοφόρο. Έχει επιβεβαιωθεί ότι το πρωτότυπο έχει επαρκή ικανότητα για πρακτική χρήση καθώς το Φ/Β σύστημα λειτουργεί σωστά όχι μόνο με το βασικό ηλεκτρικό σύστημα του οχήματος, αλλά και ολόκληρο το ημερήσιο απαιτούμενο φορτίο μπορεί να παρέχεται από τον εναλλάκτη του οχήματος και το 400Wp Φ/Β σύστημα. Με τον τρόπο αυτό, η αυτονομία και η λειτουργικότητα των ασθενοφόρων μπορεί να βελτιωθεί. Επιπλέον, δε θα υπάρχει πρόβλημα με το όχημα κατά την εκκίνηση.

Είναι σημαντικό να έχουμε κατά νου δύο πτυχές που θα μπορούσαν να ευνοήσουν τη χρήση και την ανάπτυξη αυτής της νέας Φ/Β εφαρμογής.

(Α) Το κόστος της Φ/Β εγκατάστασης είναι λιγότερο από το 3% του συνολικού κόστους του ασθενοφόρου (€2.500 σε σύγκριση με €70.000-100.000). Εκτός αυτού, το κόστος αυτό μπορεί εύκολα να ανακτηθεί, λόγω της παρατεταμένης διάρκειας ζωής των μπαταριών. Επιπλέον, οι πρόσφατες τάσεις δείχνουν μια σταθερή μείωση του κόστους της Φ/Β τεχνολογίας, ιδίως για τα στοιχεία και επιλεγμένα συστατικά που συνδέονται με Φ/Β συστήματα, ενώ το κόστος των ασθενοφόρων θα αυξάνεται, καθώς θα περιλαμβάνουν περισσότερα ηλεκτρο-ιατρικά μηχανήματα ώστε να παρέχουν καλύτερες υπηρεσίες υγείας. Ως εκ τούτου το ποσοστό που αναφέρεται παραπάνω θα είναι ακόμα χαμηλότερο.

(Β) Το ασθενοφόρο δε θα χρειαστεί υποστήριξη από ειδικό τεχνικό, καθώς οι χρήστες μπορούν να πραγματοποιούν λειτουργίες συντήρησης και μπορούν να εκπαιδευτούν για να εξασφαλιστεί η καλή απόδοση του συστήματος για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Όπως είναι γνωστό, η αγορά για εφαρμογές υπηρεσιών οδηγείται περισσότερο από τη συμβατική βιομηχανία παρά από την ίδια τη Φ/Β βιομηχανία. Σε αναζήτηση

νέων προϊόντων και ανεξαρτησίας από το ηλεκτρικό δίκτυο, καινοτόμες βιομηχανίες παίρνουν την πρωτοβουλία για την ενσωμάτωση Φ/Β συστημάτων σε προϊόντα και υπηρεσίες τους. Η ενσωμάτωση αυτή επιτυγχάνεται συνήθως σε μια κοινή προσπάθεια από τη Φ/Β και τη συμβατική βιομηχανία. Αυτό το έργο επίδειξης ήταν μια προσπάθεια να ενθαρρυνθεί η ανταλλαγή γνώσεων μεταξύ του τομέα των Φ/Β και των συμβατικών της βιομηχανίας, όσον αφορά τα αντίστοιχα προϊόντα τους, τις υπηρεσίες και τις απαιτήσεις. Επιπλέον, όπως έχει αποδειχθεί, όταν αυτή η δραστική μεταφορά γνώσης λαμβάνει χώρα, οι συμβατικές βιομηχανίες πείθονται για την αξιόπιστία των Φ/Β συστημάτων. Στην περίπτωση αυτή, η EPES έχει παραδεχτεί την αξιόπιστη απόδοση των συστημάτων αυτών και έχει αποδειχθεί ότι η τεχνολογία των Φ/Β είναι σχετικά απλή από τεχνική άποψη και απαιτεί μόνο την ελάχιστη συντήρηση.

### **3. ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ**

#### **3.1. Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε συστήματα ψύξης μεταφορών. Τα συστήματα ψύξης μεταφορών όπως των κοντέινερ, των φορτηγών και των ρυμουλκών εξαρτώνται αποκλειστικά από ντίζελ κινητήρες, οι οποίοι παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται ώστε να λειτουργήσουν τα εξαρτήματα του συστήματος ψύξης. Αυτή η κατανάλωση καυσίμου είναι επιπρόσθετη της απαιτούμενης για τη λειτουργία του οχήματος και αποτελεί ένα σημαντικό κόστος που επιβαρύνει τη λειτουργία του. Έχουν χρησιμοποιηθεί Φ/Β συστήματα και στο παρελθόν για την υποστήριξη του συστήματος ψύξης. Ωστόσο αυτά τα υπάρχοντα συστήματα χρησιμοποιούν χειροκίνητη εναλλαγή ανάμεσα στο ντίζελ κινητήρα και το Φ/Β σύστημα ώστε να παρέχουν χωριστά την ενέργεια που απαιτεί το σύστημα ψύξης και απαιτούν έξτρα διαμόρφωση του κοντέινερ και περιορισμό του αρχικού εξοπλισμού, ο οποίος κάνει χρήση της ηλιακής ενέργειας. Το γεγονός αυτό οδηγεί είτε σε μειωμένη απόδοση, είτε σε αρχικό κόστος υψηλότερο λόγω του ανασχεδιασμού ή και τα δύο.

Τα φθαρτά αντικείμενα πρέπει να διατηρούνται σε ένα εύρος θερμοκρασιών, το οποίο να μειώνει ή να αποτρέπει, ανάλογα με το είδος του αντικειμένου, τη φθορά ή τη ζημιά από την ψύξη κατά τη διάρκεια της μεταφοράς. Η μεταφορική μονάδα ψύξης μπορεί να πραγματοποιεί τη μεταφορά ψυχόμενου αέρα από τη μεταφορική μονάδα ψύξης σε ένα κοντέινερ ή στο χώρο του φορτίου. Η μεταφορική μονάδα ψύξης μπορεί να είναι κάτω από τις εντολές ενός ελεγκτή ο οποίος λειτουργεί το σύστημα ψύξης συμπεριλαμβανομένης της ικανότητας διαχείρισης ενέργειας.

Ένα σύστημα ψύξης μεταφορών περιλαμβάνει:

- Ένα συμπιεστή
- Ένα ηλεκτρικό κινητήρα που παρέχει κινητήρια δύναμη για τον συμπιεστή
- Τουλάχιστον έναν ανεμιστήρα
- Ένα δεύτερο ηλεκτρικό μοτέρ ανεμιστήρα που παρέχει κινητήρια δύναμη για τον ανεμιστήρα



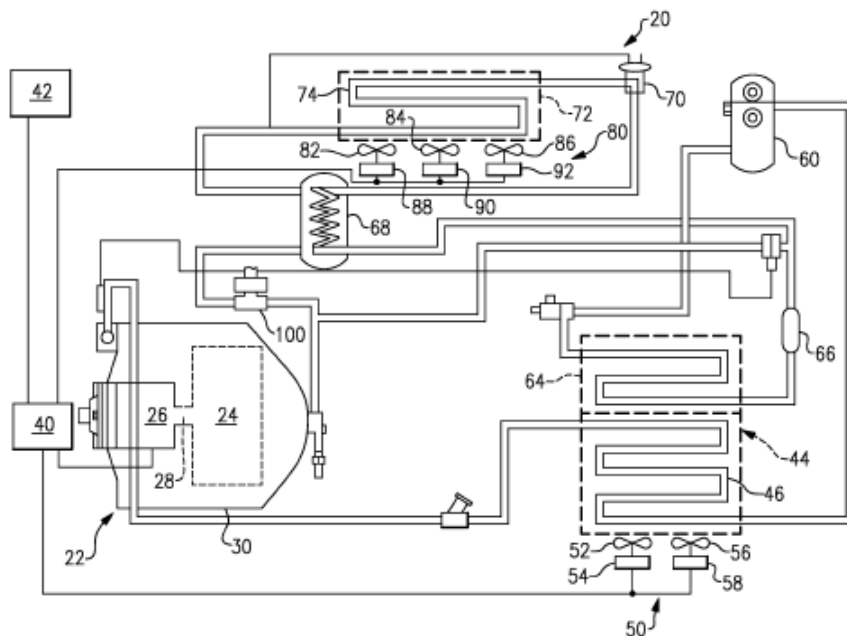
- Μια Φ/Β πηγή ενέργειας
- Μια μπαταρία ηλεκτρικής ενέργειας
- Μια μηχανή που λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια
- Και ένα ελεγκτή διαχείρισης ενέργειας που επιλέγει ταυτόχρονα και από τις δύο πηγές ενέργειας ώστε να παρέχει ηλεκτρική ισχύ στον πρώτο και το δεύτερο κινητήρα.

### **3.2. Αναλυτική περιγραφή λειτουργίας των συστημάτων**

Τα συστήματα ψύξης μεταφορών μπορούν να προσφέρονται σε διάφορες αρχιτεκτονικές, για παράδειγμα, για χρήση σε φορτηγά οχήματα και κοντέινερ. Τα ψυκτικά συστήματα συμπίεσης ατμού που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τα συστήματα ψύξης μεταφορών εν γένει υπόκεινται σε πιο αυστηρές συνθήκες λειτουργίας σε σχέση με τον κλιματισμό ή τις εμπορικές εφαρμογές ψύξης, λόγω του ευρέως φάσματος των συνθηκών λειτουργίας του φορτίου και το μεγάλο εύρος από υπαίθριες συνθήκες περιβάλλοντος πάνω από το οποίο το ψυκτικό σύστημα συμπίεσης ατμών πρέπει να λειτουργεί για τη διατήρηση των προϊόντων εντός του χώρου φορτίου σε επιθυμητή θερμοκρασία. Η επιθυμητή θερμοκρασία στην οποία το φορτίο πρέπει να διατηρείται μπορεί επίσης να ποικίλλει σε μεγάλο εύρος ανάλογα με τη φύση του φορτίου που πρέπει να διατηρηθεί. Το ψυκτικό σύστημα συμπίεσης ατμών δεν πρέπει μόνο να έχει επαρκή ικανότητα για την ταχεία μείωση της θερμοκρασίας του προϊόντος που έχει τοποθετηθεί στον χώρο φόρτωσης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, αλλά και να λειτουργεί αποτελεσματικά όταν απαιτείται η διατήρηση μιας σταθερής θερμοκρασίας του προϊόντος κατά τη μεταφορά.

### 3.3. Υποδειγματικό σύστημα ψύξης μεταφορών

Σε αυτήν την ενότητα παρατίθεται ένα υποδειγματικό σύστημα ψύξης μεταφορών και η σχηματική του αναπαράσταση στην εικόνα 9. Το σύστημα ψύξης ρυμουλκού 20 απεικονίζεται σχηματικά με το συμπιεστή 22. Ο μηχανισμός συμπίεσης 24, ο ηλεκτρικός συμπιεστής κινητήρα 26 και ο άξονας κίνησης διασύνδεσης 28 είναι όλα σφραγισμένα μέσα σε ένα κοινό περίβλημα του συμπιεστή 22. Ο συμπιεστής 22 είναι μια παραλλαγή ενός 06D συμπιεστή που κατασκευάζεται από την Carrier Corporation.



**Εικόνα 9: Σχηματική απεικόνιση υποδειγματικού συστήματος ψύξης μεταφορών με συμπιεστή με ενσωματωμένο ηλεκτρικό κινητήρα στο όχημα που τροφοδοτείται από μία ηλεκτρική πηγή ενέργειας**

Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας 40, το οποίο είναι ικανό να τροφοδοτεί πλήρως τον εσωτερικό ηλεκτροκινητήρα 26 του συμπιεστή κατά προτίμηση, μπορεί επίσης να παρέχει ενέργεια για να ικανοποιήσει τις ηλεκτρολογικές ανάγκες των άλλων τμημάτων του συστήματος. Για παράδειγμα, το σύστημα διαχείρισης ενέργειας 40 μπορεί να ενσωματώνει μια πληθώρα διαφορετικών πηγών ενέργειας στο σύστημα 20. Σε μια εφαρμογή, οι πηγές ενέργειας μπορούν να περιλαμβάνουν

ένα ηλιακό Φ/Β σύστημα, μπαταρίες κινητήρων καυσίμων (π.χ. κινητήρες ντίζελ). Ο ελεγκτής 42, ο οποίος είναι εμπορικά διαθέσιμος μικροεπεξεργαστής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της χρήσης ενέργειας του συστήματος 20 ή να ενσωματωθεί στο σύστημα διαχείρισης ενέργειας 40.

Οι λειτουργίες του συστήματος ψύξης 20 μπορούν να περιγραφούν ξεκινώντας από το συμπιεστή 22, όπου το ψυκτικό υγρό εισέρχεται στο συμπιεστή και συμπιέζεται σε υψηλότερη θερμοκρασία και πίεση. Το ψυκτικό αέριο κινείται στη συνέχεια στον αερόψυκτο συμπυκνωτή 44. Ο αέρας που ρέει ανάμεσα στα περύγια του πηνίου του συμπυκνωτή και των σωλήνων 46 μπορεί να ψύξει το αέριο στη θερμοκρασία κορεσμού του. Η ροή του αέρα σε ολόκληρο το συμπυκνωτή πραγματοποιείται από το συγκρότημα ανεμιστήρα συμπυκνωτή 50 με δύο ανεμιστήρες. Το παράδειγμα που παρουσιάζεται περιλαμβάνει ανεμιστήρα 52, ηλεκτρικό κινητήρα ανεμιστήρα συμπυκνωτή 54 και ανεμιστήρα 56 που έχει ηλεκτρικό κινητήρα 58. Ο ελεγκτής 42 μπορεί να ρυθμίζει την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στους κινητήρες των ανεμιστήρων 54, 58.

Με την αφαίρεση της λανθάνουσας θερμότητας το αέριο μπορεί να συμπυκνωθεί σε μια υψηλή πίεση / υψηλή θερμοκρασία υγρού, στη συνέχεια ρέει σε έναν δέκτη 60 που παρέχει αποθήκευση για επιπλέον ψυκτικό υγρό κατά τη διάρκεια της λειτουργίας σε χαμηλές θερμοκρασίες. Από το δέκτη 60, το ψυκτικό υγρό περνάει μέσω του υποψυκτικού εναλλάκτη θερμότητας 64, στο φίλτρο στεγνωτήρα 66 που μπορεί να κρατήσει το ψυκτικό δροσερό και ξηρό, στη συνέχεια στον εναλλάκτη θερμότητας 68 που μπορεί να αυξήσει το ψυκτικό υπόψυξης και στη συνέχεια περνάει σε μια θερμοστατική βαλβίδα εκτόνωσης 70.

Όπως το ψυκτικό υγρό περνά μέσα από την βαλβίδα εκτόνωσης 70, ορισμένο εξ' αυτού εξατμίζεται σε αέριο. Η επιστροφή αέρα από τον ψυχόμενο χώρο πραγματοποιείται στην επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας του εξατμιστή 72. Καθώς το ψυκτικό μέσο ρέει μέσα από τους σωλήνες 74 στον εξατμιστή 72, απορροφά τη θερμότητα από τον αέρα επιστροφής, και έτσι εξατμίζεται. Η ροή αέρα σε όλο τον εξατμιστή μπορεί να ενεργοποιηθεί από το εξατμιστικό συγκρότημα 80. Το παράδειγμα που παρουσιάζεται περιλαμβάνει τρεις ανεμιστήρες 82, 84 και 86, αντίστοιχα, που κινούνται από τους ηλεκτρικούς κινητήρες 88, 90, και 92. Οι κινητήρες 88, 90 και 92 λαμβάνουν την ηλεκτρική ενέργειά τους από το σύστημα

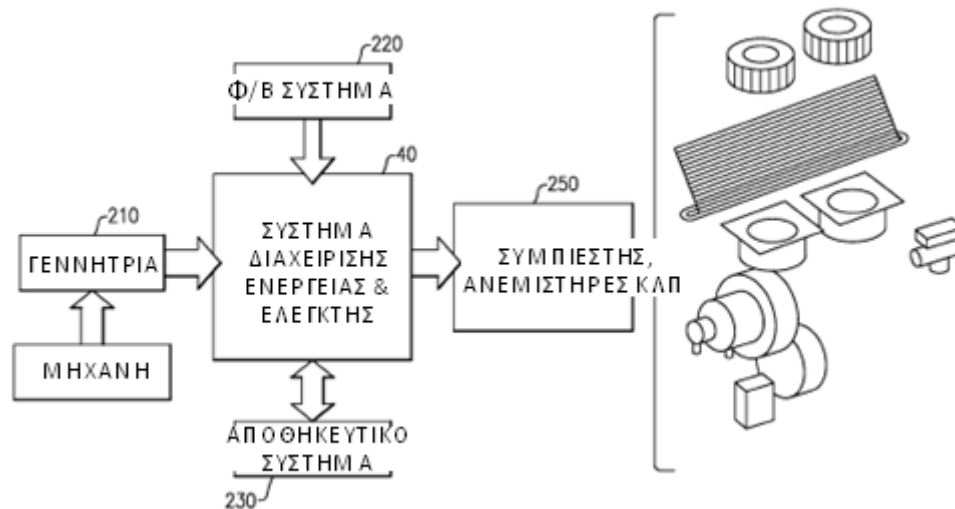
διαχείρισης ενέργειας 40. Ο ελεγκτής 42 ελέγχει την κατανάλωση ενέργειας και τη λειτουργία των κινητήρων 88, 90, 92 του εξατμιστικού συγκροτήματος.

Ο ψυχόμενος ατμός ρέει μέσα από τη βαλβίδα αναρρόφησης 100 πίσω στον συμπιεστή 22 και στο μοτέρ κίνησης 26. Ένας αισθητήρας θερμοστατικής βαλβίδας εκτόνωσης μπορεί να βρίσκεται στο σωλήνα εξόδου του εξατμιστή. Ο κινητήρας μπορεί να ελέγξει τη θερμοστατική βαλβίδα εκτόνωσης 70, για την αποφυγή τυχόν υπερθέρμανσης στο σωλήνα εξόδου του εξατμιστή.

Στα συστήματα ψύξης μεταφορών μπορούν να ενσωματωθούν τρία συστήματα ενέργειας: η γεννήτρια (για κατάσταση μη λειτουργίας και λειτουργίας χωρίς ήλιο), το Φ/Β σύστημα, και η μπαταρία του συστήματος. Κάθε μία από αυτές τις πηγές ενέργειας έχει μια σειρά δυναμικών χαρακτηριστικών. Η γεννήτρια βγάζει τριφασικό AC, ενώ το Φ/Β σύστημα και η μπαταρία παράγουν DC. Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας 40 μπορεί να διαχειριστεί ενεργά αυτές τις πηγές ενέργειας για να εξασφαλίσει την απόδοση, την αξιοπιστία, τη διαθεσιμότητα ή / και την ενεργειακή απόδοση. Σε μια εφαρμογή, η ένταξη ενός συστήματος αποθήκευσης, το οποίο έχει τη δυνατότητα να επιλεγεί με συμψηφισμό μεταξύ του βάρους, του κόστους και του μεγέθους του, μπορεί να παρέχει διπλή λειτουργικότητα της παραγόμενης ηλιακής ενέργειας: για την ψύξη του φορτίου καθώς και ως πηγή εκκίνησης της μηχανής του κινητήρα.

### **3.3.1. Συσκευή ελέγχου ισχύος για ένα σύστημα ψύξης μεταφορών**

Σε αυτήν την ενότητα παρατίθεται μια συσκευή ελέγχου για ένα σύστημα ψύξης μεταφορών. Η σχηματική της αναπαράσταση φαίνεται στην εικόνα 10. Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας 40 μπορεί να μεταφέρει και να δέχεται ενέργεια από τη γεννήτρια 210, να δέχεται ενέργεια από το Φ/Β σύστημα 220, να μεταφέρει και να δέχεται ενέργεια από το αποθηκευτικό σύστημα 230 (π.χ. μπαταρία). Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας 40 μπορεί να μεταδίδει και να λαμβάνει σήματα ελέγχου από και προς τη γεννήτρια 210, το Φ/Β σύστημα 220, και το αποθηκευτικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας 230.

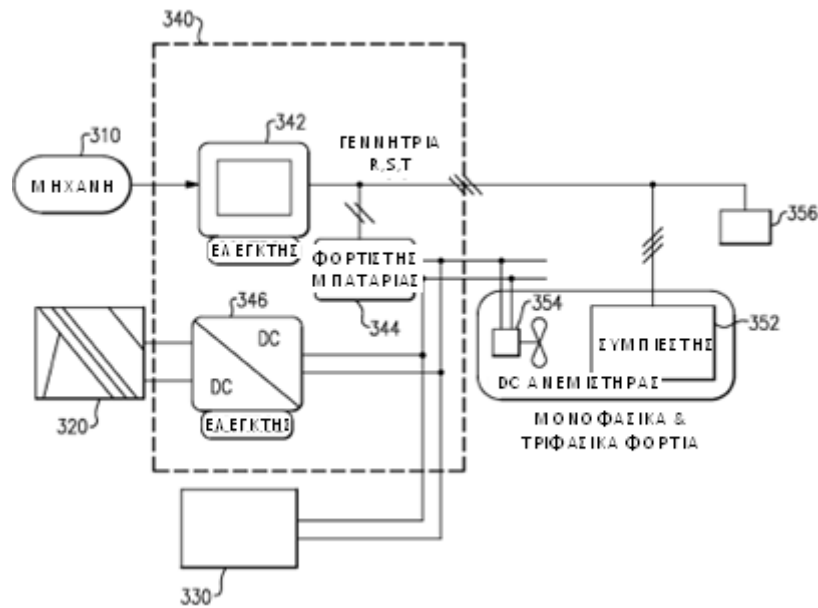


**Εικόνα 10: Σχηματική απεικόνιση μιας συσκευής ελέγχου ισχύος για ένα σύστημα ψύξης μεταφορών**

Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας 40 μπορεί να παρέχει ελεγχόμενη ηλεκτρική ενέργεια για το δυναμικό φορτίο 250 της μονάδας ψύξης μεταφοράς. Το φορτίο 250 μπορεί να περιλαμβάνει AC και DC εξαρτήματα. Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας 40 μπορεί επίσης να παρέχει την ισχύ που απαιτείται για τους ηλεκτρικούς κινητήρες που συνδέονται με το συμπιεστή 22, τον ανεμιστήρα του συμπυκνωτή συναρμολόγησης 50, και τον ανεμιστήρα του εξατμιστικού συγκροτήματος 80.

### **3.3.2. Υποδειγματική ενσωμάτωση ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας σε ένα σύστημα ψύξης μεταφορών**

Αυτή η ενότητα αναλύει την ενσωμάτωση ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας σε ένα σύστημα ψύξης. Το σύστημα διαχείρισης ισχύος και ελέγχου 340 είναι ηλεκτρικά συζευγμένο με τη γεννήτρια 310, το Φ/Β σύστημα 320 και την ηλεκτρική πηγή ενέργειας 330 (π.χ. επαναφορτιζόμενη μπαταρία, πυκνωτής, υπερπυκνωτής), όπως φαίνεται στην εικόνα 11.

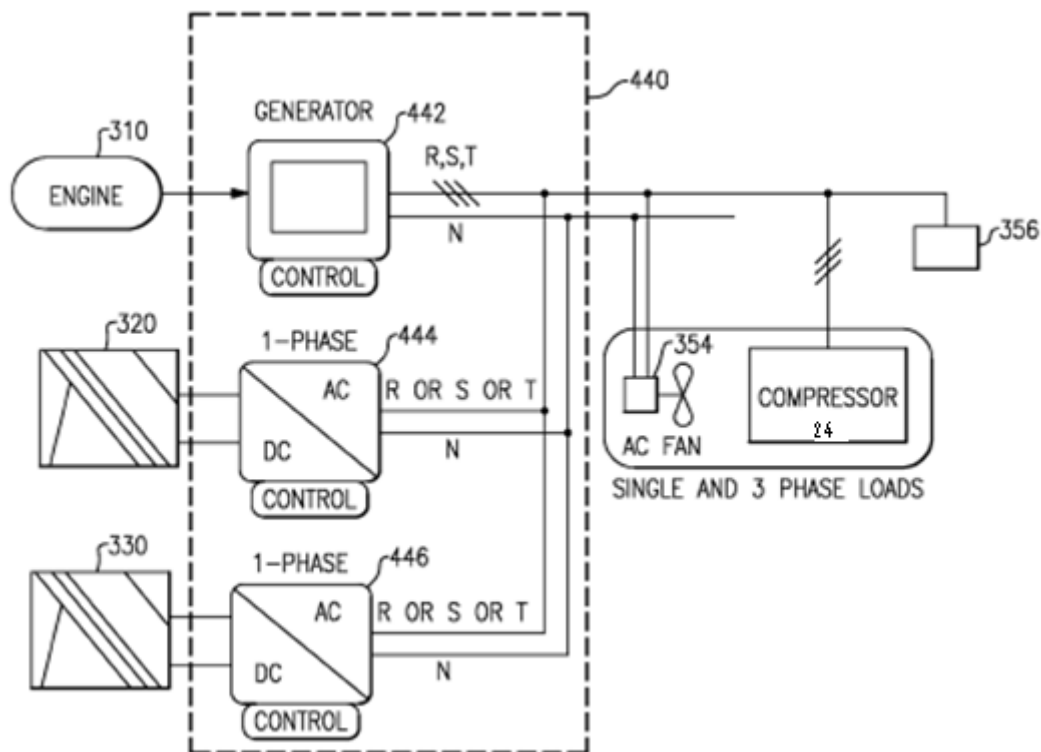


**Εικόνα 11: Σχηματική απεικόνιση μιας υποδειγματικής ενσωμάτωσης ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας σε ένα σύστημα ψύξης μεταφορών**

Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας και ελέγχου 340 μπορεί να συνδεθεί με τη γεννήτρια 310 ώστε να παρέχει ισχύ στα συστατικά της μονάδας ψύξης μεταφοράς. Η γεννήτρια 310, ο συμπιεστής 352 (π.χ. μοτέρ κίνησης), ο φορτιστής μπαταρίας 344, καθώς επίσης και τα προαιρετικά επιπλέον ηλεκτρικά εξαρτήματα 356 είναι συνδεδεμένα με ένα δίαυλο ηλεκτρικής ισχύος AC. Τα υποδειγματικά πρόσθετα στοιχεία 356 μπορεί να περιλαμβάνουν αισθητήρες (π.χ. αισθητήρες θερμοκρασίας), βαλβίδες (π.χ. βαλβίδα επέκτασης, ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες), και άλλα παρόμοια εξαρτήματα. Καθοδηγούμενη από τον ελεγκτή 342, η γεννήτρια 310 μπορεί να παρέχει AC ρεύμα στο φορτιστή μπαταρίας 344 και ηλεκτρική ενέργεια στο συμπιεστή. Ο ελεγκτής 346 μπορεί να συνδεθεί με ένα δίαυλο ηλεκτρικής ενέργειας DC μεταξύ του Φ/Β συστήματος 320 και των DC τροφοδοτούμενων ανεμιστήρων 354 και μεταξύ της ηλεκτρικής πηγής ενέργειας 330 και των DC τροφοδοτούμενων ανεμιστήρων 354. Σε μια εφαρμογή, ο δίαυλος ηλεκτρικής ενέργειας DC μπορεί να λειτουργήσει μεταξύ 24 volts DC και 48 volts DC. Ο DC / DC μετατροπέας μπορεί να διαχειριστεί τις ροές ενέργειας από τις πηγές ηλιακής και ηλεκτρικής ενέργειας στους ανεμιστήρες DC 354. Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας και ελέγχου 340 έχει χαμηλό κόστος υλοποίησης και μπορεί να ενσωματώσει την ηλιακή ενέργεια σε επιλεγμένα στοιχεία μονάδας ψύξης μεταφοράς (π.χ. οι ανεμιστήρες DC 354) μέσω ενός διαύλου DC.

### 3.3.3. Εναλλακτική υποδειγματική ενσωμάτωση ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας σε ένα σύστημα ψύξης μεταφορών

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται μια εναλλακτική ενσωμάτωση ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας σε ένα σύστημα ψύξης μεταφορών, όπως φαίνεται στην εικόνα 12. Το σύστημα διαχείρισης ισχύος και ελέγχου 440 είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένο με τη γεννήτρια 310, το Φ/Β σύστημα 320 και την ηλεκτρική πηγή ενέργειας 330 (π.χ. επαναφορτιζόμενη μπαταρία).



Εικόνα 12: Σχηματική απεικόνιση μιας εναλλακτικής υποδειγματικής ενσωμάτωσης ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας για ένα σύστημα ψύξης μεταφορών

Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας και ελέγχου 440 συνδέει τη γεννήτρια 310, το Φ/Β σύστημα 320, και την ηλεκτρική πηγή ενέργειας 330 με το δίαυλο ηλεκτρικής ενέργειας AC, με στοιχεία της μονάδας ψύξης μεταφορών. Η γεννήτρια 310 είναι συνδεδεμένη με το συμπιεστή 24, AC ανεμιστήρες και προαιρετικά με επιπλέον

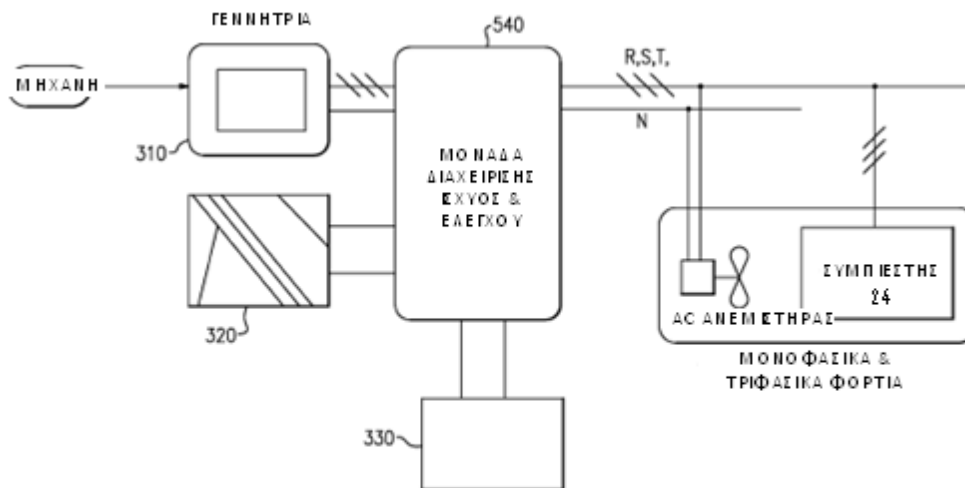
ηλεκτρικά εξαρτήματα 356. Καθοδηγούμενη από τον ελεγκτή 442, η γεννήτρια 310 μπορεί να παρέχει ρεύμα σε μονοφασικά φορτία (π.χ. ανεμιστήρες), και τριφασικά φορτία (π.χ. το συμπιεστή 24). Ο ελεγκτής 444 είναι συνδεδεμένος μεταξύ του Φ/Β συστήματος 320 και φορτίου (μονοφασικό φορτίο) που αντιπροσωπεύει τη μονάδα ψύξης μεταφορών. Ο ελεγκτής 446 είναι συνδεδεμένος μεταξύ της ηλεκτρικής πηγής ενέργειας 330 και του μονοφασικού φορτίου. Οι ελεγκτές 444, 446 μπορεί να περιλαμβάνουν DC / AC μετατροπείς για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ώστε να επιτρέπουν τη λειτουργία των ανεμιστήρων AC και να συγχρονίζεται η δύναμη και τα επίπεδα μεταξύ των τριών πηγών. Για παράδειγμα, στα επιπλέον ηλεκτρικά εξαρτήματα 356 μπορεί να περιλαμβάνεται μονοφασικό φορτίο εναλλασσόμενου ρεύματος, τριφασικό AC φορτίο, ή οποιοδήποτε φορτίο συνεχούς ρεύματος (π.χ. επιπλέον ανεμιστήρες / συμπιεστής, πρόσθετο σύστημα θέρμανσης).

Το σύστημα διαχείρισης ισχύος και ελέγχου 440 απαιτεί ελάχιστη αλλαγή στο υλικό του φορτίου. Ακόμα, έχει τη δυνατότητα να τροφοδοτεί τους AC κινητήρες για τους ανεμιστήρες και να παρέχει μονοφασικά και τριφασικά φορτία ανάλογα με τις ανάγκες. Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας και ελέγχου 440 μπορεί να εκτελέσει αντιστοίχιση πεδίου και ισχύος της παραγόμενης ενέργειας από τις διαφορετικές πηγές, για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μονάδα ψύξης. Τέτοιες διαδικασίες μπορούν και εκτελούνται από το υλικό (π.χ. αναστροφείς) ή / και λογισμικό (π.χ. χρήση ενός επεξεργαστή). Ωστόσο, το σύστημα διαχείρισης ισχύος και ελέγχου 440 παρέχει εναλλασσόμενο ρεύμα μόνο από την πλευρά της ψύξης της μονάδα μεταφοράς.



### 3.3.4. Εναλλακτική υποδειγματική ενσωμάτωση ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας σε ένα σύστημα ψύξης μεταφορών

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται μια δεύτερη εναλλακτική ενσωμάτωση ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας σε ένα σύστημα ψύξης μεταφορών, όπως φαίνεται στην εικόνα 13. Το σύστημα διαχείρισης ισχύος και ελέγχου 540 είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένο με τη γεννήτρια 310, το Φ/Β σύστημα 320 και την ηλεκτρική πηγή ενέργειας 330 (π.χ. μπαταρία).



Εικόνα 13: Σχηματική απεικόνιση μιας εναλλακτικής υποδειγματικής ενσωμάτωσης ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας σε ένα σύστημα ψύξης μεταφορών

Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας και ελέγχου 540 μπορεί να συνδεθεί επιλεκτικά ανάμεσα στη γεννήτρια 310, το Φ/Β σύστημα 320, και την ηλεκτρική πηγή ενέργειας 330 και μπορεί να παρέχει μια σύνδεση στο φορτίο που αντιπροσωπεύεται από το σύστημα ψύξης μεταφορών (π.χ. το μονοφασικό φορτίο και το τριφασικό φορτίο). Καθοδηγούμενες από τον ελεγκτή 540, οι τρεις πηγές ενέργειας μπορούν να παρέχουν ρεύμα σε μονοφασικά φορτία (π.χ. ανεμιστήρες), και τριφασικά φορτία (π.χ. το συμπιεστή 24). Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας και ελέγχου 540 μπορεί να έχει ένα ολοκληρωμένο σύστημα ισχύος με βελτιωμένα

συστήματα ελέγχου για πρόσθετη λειτουργικότητα. Το σύστημα διαχείρισης ισχύος και ελέγχου 540 ελέγχει τον κινητήρα-γεννήτρια εκκίνησης και μπορεί να ελέγξει συμπιεστές μεταβλητής ταχύτητας και ανεμιστήρες.

Σε μια εφαρμογή, το σύστημα διαχείρισης ισχύος και ελέγχου 540 μπορεί να περιλαμβάνει μια ειδική μονάδα ισχύος για να συμπεριλάβει ένα μετατροπέα που θα ελέγχει τις διαφορετικές πηγές ενέργειας ώστε να μπορούν να διαχειρίζονται κατάλληλα. Ο μετατροπέας μπορεί να επικοινωνεί απευθείας με τη γεννήτρια 310, το Φ/Β σύστημα 320, και την ηλεκτρική πηγή ενέργειας 330 έχοντας ως έξοδο μόνο τριφασικό AC ρεύμα. Σε αυτή την εφαρμογή, το σύστημα διαχείρισης ισχύος και ελέγχου 540 μπορεί να αντικαταστήσει την πολλαπλότητα των μετατροπέων (π.χ. DC / DC, DC / AC μετατροπείς) που απαιτούνταν σε προηγούμενες εφαρμογές. Η αντικατάσταση αυτή είναι αποδοτικότερη και μειώνει την πολυπλοκότητα του ελέγχου που απαιτείται για πολλαπλούς μετατροπείς. Επιπρόσθετα, η ειδική μονάδα ισχύος μπορεί να εξασφαλίσει ότι η φάση R, S, T έχει σταθερή τάση και σταθερή συχνότητα στην έξοδο, ανεξάρτητα από τη διακύμανση της τάσης και της συχνότητας στην γεννήτρια. Κατά συνέπεια, ο έλεγχος της γεννήτριας μπορεί να μειωθεί ή / και μεγαλύτερη διακύμανση του κινητήρα μπορεί να γίνει αποδεκτή για τη μείωση της συνολικής κατανάλωσης. Επίσης, ο κινητήρας θα μπορούσε να οδηγηθεί σε υψηλότερα επίπεδα απόδοσης λιγότερο εξαρτημένης από τις διακυμάνσεις του φορτίου.

Σε μια εφαρμογή, το σύστημα διαχείρισης ισχύος και ελέγχου 540 μπορεί να περιλαμβάνει ένα πίνακα μεταφοράς ισχύος για τη μεταφορά φορτίων (π.χ. αυτομάτως) μεταξύ των πρόσθετων πηγών ενέργειας (320 και 330) και της γεννήτριας 310 (κινητήρας). Ο πίνακας μεταφοράς για το σύστημα διαχείρισης ισχύος και ελέγχου 540 μπορεί να παρακολουθεί την ηλιακή ενέργεια των Φ/Β ή / και την ηλεκτρική ενέργεια της πηγής / μπαταρίας για τη διαθέσιμη ενέργεια. Όταν η ηλιακή ενέργεια των Φ/Β ή / και της μπαταρίας δεν είναι ικανοποιητική (π.χ. τιμή κάτω από την ελάχιστη απαιτούμενη τάση παρακολούθησης για κάθε πηγή ενέργειας, κατάσταση χαμηλής μπαταρίας, αστοχία της πηγής ενέργειας), το σύστημα διαχείρισης ισχύος και ελέγχου 540 μπορεί να αλλάξει ή να μεταφέρει το φορτίο στη γεννήτρια (π.χ. μπορεί να προκαλέσει την εκκίνηση του κινητήρα-γεννήτρια). Ο πίνακας μεταφοράς για το σύστημα διαχείρισης ισχύος και ελέγχου 540 μπορεί άμεσα να αντιληφθεί τότε η ηλιακή ενέργεια των Φ/Β και / ή της πηγής ηλεκτρικής

ενέργειας / ισχύος της μπαταρίας έχει αποκατασταθεί ώστε να αλλάξει ή να μεταφέρει το φορτίο ή μέρος αυτού στη γεννήτρια. Η μεταφορά φορτίου μπορεί να περιλαμβάνει μόνο επιλεγμένα συστατικά (π.χ. ανεμιστήρες) ή μόνο τη μεταφορά μονοφασικού φορτίου.

### **3.4. Συμπεράσματα από την ενσωμάτωση των τριών εφαρμογών**

Στην ενότητα αυτή διεξάγονται κάποια συμπεράσματα, που προέκυψαν από την ενσωμάτωση των τριών παραπάνω εναλλακτικών συστημάτων διαχείρισης ενέργειας σε συστήματα ψύξης μεταφορών και υποδεικνύονται κάποιες βασικές διαφορές τους στον πίνακα 4.

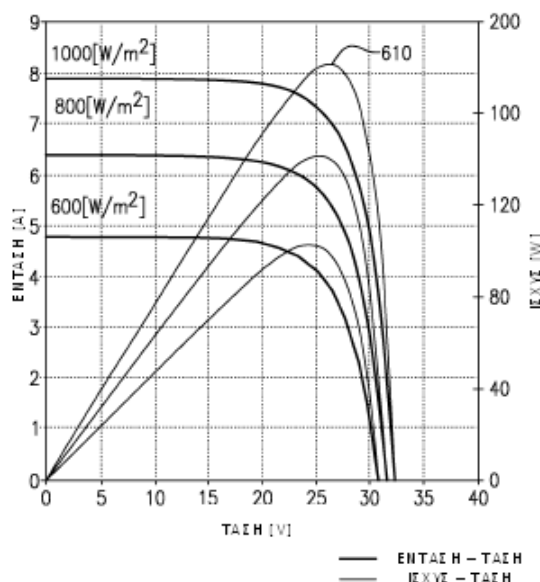
Εφαρμογή	Συμπιεστής		Ανεμιστήρες	Επιπρόσθετα εξαρτήματα
	Ισχύς	Φ/Β		
Εικόνα 11	AC	ΝΑΙ	DC	ΝΑΙ
Εικόνα 12	AC	ΝΑΙ	AC	ΝΑΙ
Εικόνα 13	AC	ΟΧΙ	AC	ΟΧΙ

**Πίνακας 4: Σύγκριση των τριών εφαρμογών για το σύστημα διαχείρισης ισχύος και ελέγχου 340, 440, 540**

Υποδειγματικοί κινητήρες που χρησιμοποιούνται για γεννήτριες μπορούν να κριθούν αναποτελεσματικοί, επειδή η επιθυμητή ισχύς αλλάζει συνεχώς ανάλογα με τις ανάγκες της μονάδας ψύξης μεταφορών (π.χ. για τη διατήρηση μιας σταθερής θερμοκρασίας). Σε μια εφαρμογή, το σύστημα διαχείρισης ενέργειας μπορεί να καθορίσει το μέγεθος του συστήματος αποθήκευσης όπως ένα σετ μπαταρίας έτσι ώστε ο κινητήρας να μπορεί να λειτουργεί (π.χ. πάντα) σε σταθερή κατάσταση ή τουλάχιστον σε μια πολύ πιο προβλέψιμη κατάσταση και / ή να μειώνει το μέγεθος των ταλαντώσεων γύρω από την αλλαγή ταχυτήτων / επίπεδο ισχύος. Κατά συνέπεια, το σύστημα διαχείρισης ενέργειας μπορεί να ελέγχει τυχόν περίσσεια ενέργεια ώστε όταν υπάρχει πλεόνασμα να την αποθηκεύει, για παράδειγμα σε μια μπαταρία ή όταν δεν υπάρχει επαρκής ενέργεια, το έλλειμμα αντλείται από την αποθηκευμένη ενέργεια ή τη Φ/Β εγκατάσταση. Σε μια εφαρμογή, ο κινητήρας μπορεί να λειτουργεί

με βάση τη σταθερή ταχύτητα ή το σημείο αιχμής της αποτελεσματικότητας ή τις στροφές ανά λεπτό (RPM).

Εφαρμογές των συστημάτων ψύξης μεταφορών και των μεθόδων για την ίδια μπορούν να ενσωματώνουν και να παρέχουν την ταυτόχρονη χρήση της ηλιακής ενέργειας και / ή το Φ/Β σύστημα 220. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των ηλιακών Φ/Β ταινιών έχουν απόδοση ισχύος που αυξάνεται γραμμικά με την τάση μέχρι ένα μέγιστο 610 όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 8. Πέρα από την κορυφή 610, η παραγωγή μειώνεται με ταχείς ρυθμούς. Για να αυξηθεί η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, και ως εκ τούτου να υπάρξει αύξηση ή μεγιστοποίηση της εξοικονόμησης καυσίμων στα συστήματα ψύξης μεταφορών, ο ελεγκτής διαχείρισης ενέργειας πρέπει να λειτουργεί το Φ/Β σύστημα 220 στο (ή κοντά και κατά προτίμηση πριν) κορυφαίο σημείο ισχύος. Κατά συνέπεια, σε μια εφαρμογή, το σύστημα διαχείρισης ενέργειας 40 (π.χ. 540) μπορεί να εφαρμόσει ένα ανώτατο όριο εντοπισμού (π.χ. παρακολούθηση μέγιστης ηλιακής ισχύος) για το Φ/Β σύστημα ώστε να ρυθμιστεί η ένταση του ρεύματος ή / και ηλεκτρική ενέργεια που διέρχεται από το ηλιακό φιλμ για να προκαλέσει το Φ/Β σύστημα 220 να ακολουθήσει μέγιστη απόδοση κάτω από ποικίλες συνθήκες ακτινοβολίας και φορτίου.



**Διάγραμμα 8: Υποδειγματικές χαρακτηριστικές ισχύος εξόδου των Φ/Β φιλμ**

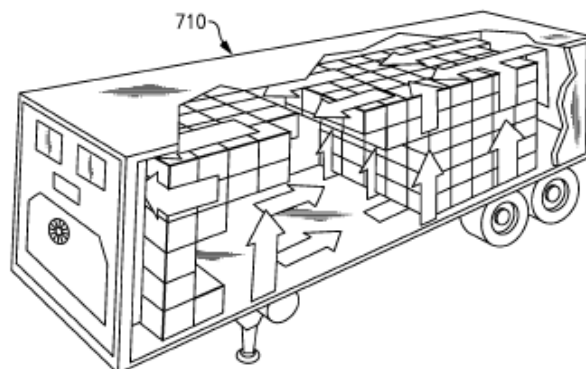
Σε περιπτώσεις, όταν μέρη του ηλιακού φιλμ είναι κρυμμένα (για παράδειγμα, κάτω από τα σύννεφα) ή ακόμα και κατεστραμμένα, η ηλιακή κατανάλωση ενέργειας

μπορεί ακόμα να αυξηθεί ή να μεγιστοποιηθεί με την ενσωμάτωση ενός συστήματος παρακολούθησης κατάστασης στον ελεγκτή διαχείρισης ενέργειας. Για παράδειγμα, το σύστημα διαχείρισης ισχύος 40 μπορεί να σχεδιαστεί για την παρακολούθηση της κατάστασης και της εξόδου των ηλιακών φιλμ, και δυναμικά να ρυθμίσει την ενέργεια που λαμβάνεται από τα πιο υγιή και / ή υψηλότερα τμήματα εξόδου του ηλιακού φιλμ να είναι διαφορετική από την ενέργεια που λαμβάνεται από κατεστραμμένα (μόνιμη τροποποίηση) ή κρυμμένα (προσωρινή τροποποίηση) τμήματα του ηλιακού φιλμ. Σε μια εφαρμογή, η ηλιακή ταινία μπορεί να έχει αρθρωτή κατασκευή ώστε να αφαιρεί (π.χ. ηλεκτρική απομόνωση) κατεστραμμένα τμήματα από το Φ/B σύστημα.

Σε άλλη εφαρμογή, το σύστημα διαχείρισης ενέργειας και ελέγχου μπορεί να χρησιμοποιεί τη μπαταρία κυρίως για τον έλεγχο της προτεραιότητας του ελέγχου. Για παράδειγμα, το σύστημα διαχείρισης ισχύος και ελέγχου 540 μπορεί να δίνει προτεραιότητα στις πηγές ηλεκτρικής ενέργειας ή την αποθήκευση (π.χ. τη χρήση της μπαταρίας ή / και τη διάρκεια της ζωής της), για τον έλεγχο της Φ/B εγκατάστασης ή της γεννήτριας. Σε διαφορετική εφαρμογή, οι ενέργειες για τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και τη συνολική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας μπορούν να ικανοποιούν τις απαιτήσεις ελέγχου για το σύστημα διαχείρισης ισχύος και ελέγχου. Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας μπορεί να αυξάνεται διαφορετικά ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας, αλλά για μια υποδειγματική μπαταρία μπορεί να αυξηθεί από μέγιστη διάρκεια ζωής σε επίπεδα μεταξύ 40-60% ή 25-75% (π.χ. NiMH), τα οποία μπορούν να παρέχουν δευτεροβάθμιο έλεγχο για τη γεννήτρια και Φ/B εγκατάσταση που μπορεί να υλοποιηθεί με τη χρήση υποδειγματικών μετατροπών. Ένας υποδειγματικός ελεγκτής διαχείρισης ενέργειας μπορεί να διατηρεί πάντα επιλεγμένες συνθήκες ελέγχου της μπαταρίας (π.χ. όταν χρειάζεται να φορτιστεί ή να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια), στη συνέχεια να λαμβάνει Φ/B ισχύ κατά το ελεγχόμενο ή μέγιστο ποσό που δεν έρχεται σε σύγκρουση με την κατάσταση της μπαταρίας. Το αυτοκίνητο, στη συνέχεια να ελέγχει τον κινητήρα για να επιτευχθεί μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά τη διάρκεια μιας επιλεγμένης χρονικής περιόδου.

Σε μια εφαρμογή, το σύστημα διαχείρισης ενέργειας και ελέγχου μπορεί να καθορίσει την επιλεγμένη ενέργεια που ρέει από και προς το σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας, από τον κινητήρα ή / και από το Φ/B σύστημα βασιζόμενο σε

αντίστοιχες προβλέψεις και εκτιμήσεις για τη Φ/Β ισχύ και την κατανάλωση για την ψύξη . Τα set-points για κάθε ένα από τα στοιχεία θα βασίζονται στην ενέργεια και τις στρατηγικές διαχείρισης ισχύος που ακολουθούνται ή θα δίνουν προτεραιότητα στη διάρκεια ζωής του ξεχωριστού εξοπλισμού ή του πλήρους συστήματος, θα δίνουν προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση, και / ή θα δίνουν προτεραιότητα σε περιβαλλοντικούς περιορισμούς. Για παράδειγμα, η απαίτηση φορτίου για μια μονάδα ψύξης μεταφορών μπορεί να προβλεφθεί (π.χ. επ' αόριστον), χρησιμοποιώντας συνθήκες περιβάλλοντος, το φορτίο το ίδιο, και τα συστατικά της μεταφορικής μονάδας ψύξης. Οι ικανότητες του Φ/Β συστήματος μπορούν να προβλεφθούν για ένα σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα (π.χ. 6 ώρες, 12 ώρες, 24 ώρες), ωστόσο με λιγότερες πιθανότητες όσο αυξάνεται το διάστημα αυτό. Εφαρμογές για τον έλεγχο διαχείρισης της ενέργειας που χρησιμοποιεί το σύστημα διαχείρισης ισχύος και ελέγχου μπορούν να ελέγχουν επιλεκτικά το ποσό της ενέργειας από κάθε ένα από τα αποθηκευτικά μέσα (π.χ. μπαταρία), το Φ/Β σύστημα, ή τη γεννήτρια χρησιμοποιώντας τις προβλεπόμενες πληροφορίες. Περαιτέρω, ο έλεγχος της διαχείρισης της ενέργειας μπορεί να δώσει προτεραιότητα στη συνολική κατανάλωση ενέργειας με διαφορετικούς τρόπους χρήσης, όπως, ενδεικτικά, φιλικές προς το περιβάλλον (π.χ. προτεραιότητα σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας), τη συνολική κατανάλωση ενέργειας (π.χ. η γεννήτρια λειτουργεί στη μέγιστη αποδοτικότητα), τις συνθήκες (π.χ. αξιοποίηση του Φ/Β συστήματος ή της μπαταρία για τη μείωση του θορύβου κοντά σε μια επικίνδυνη περιοχή), την ευκολία λειτουργίας.



**Εικόνα 14: Υποδειγματική εφαρμογή στήριξης σε πλατφόρμα ενός ηλιακού φίλμ που έχει τοποθετηθεί σε κοντέινερ**

Μηχανική ολοκλήρωση του Φ/Β συστήματος 320 μπορεί να επιτευχθεί χωρίς σημαντική τροποποίηση στο ρυμουλκούμενο. Το προφίλ του ρυμουλκούμενου πρέπει να διατηρηθεί χαμηλό για να αποφευχθούν ζημιές από τη ροή του αέρα όταν το όχημα βρίσκεται σε κίνηση. Ορισμένα ρυμουλκούμενα έχουν σχεδιαστεί για χειρισμό από γερανούς, και μπορεί να στοιβάζονται, για παράδειγμα, σε αυλές των σιδηροδρόμων. Συχνά, το προσωπικό συντήρησης πρέπει να περπατήσει στις στέγες, ως μέρος του κρεμάσματος και της αποσύνδεσης του ρυμουλκούμενου με γερανούς. Εφαρμογές ενσωματώνουν αφαιρούμενα και εκ νέου εγκαταστημένα Φ/Β συστήματα χωρίς απώλεια λειτουργικότητας του κοντέινερ κατά τη διάρκεια της αποστολής, τους χειρισμούς ή / και της συντήρησης. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 14, ένα πλαίσιο 710 σε μια εφαρμογή μπορεί να επιτρέψει την εγκατάσταση ενός ηλιακού φιλμ που θα θωρακίσει το κοντέινερ από την ηλιακή ακτινοβολία (ένα φυσικό εμπόδιο), και θα επιτρέψει την αφαίρεση για παράδοση και χειρισμό, την πρόσβαση για συντήρηση, επιτυγχάνοντας παράλληλα ένα χαμηλό προφίλ. Για παράδειγμα, το πλαίσιο 710 μπορεί να είναι στερεωμένο με μηχανικό τρόπο στις γωνίες του κοντέινερ χρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα χαρακτηριστικά του. Εναλλακτικά, το Φ/Β φιλμ μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα φύλλο υποστήριξης για την τοποθέτηση ή την απομάκρυνση από το κοντέινερ χωρίς τροποποίηση στο κοντέινερ. Σε μια εφαρμογή, η Φ/Β εγκατάσταση μπορεί να τοποθετηθεί επιπλέον επιλεκτικά σε μία πρόσθετη πλευρά του κοντέινερ ή του ρυμούλκου.

Εφαρμογές των συστημάτων μεθόδων ψύξης μεταφορών μπορούν να αυξήσουν ή να μεγιστοποιήσουν τη χρήση της ηλιακής ενέργειας κατά τις ώρες που είναι διαθέσιμη. Σε μια εφαρμογή που το Φ/Β σύστημα είναι ένα υψηλής απόδοσης Φ/Β σύστημα, η ισχύς του συστήματος διαχείρισης 40 συνεχώς παρακολουθεί και δυναμικά αντλεί την ισχύ από το Φ/Β σύστημα για να επιτευχθεί αποτελεσματική λειτουργία του Φ/Β συστήματος (π.χ. πάνω από ένα επιχειρησιακό διάστημα ή στιγμιαία). Για να διατηρηθούν οι κρίσιμες λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος ψύξης, το σύστημα διαχείρισης ενέργειας 40 πρέπει επίσης να χειρίζεται την παροχή και ζήτηση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο.

Σε μια εφαρμογή, όπου ένα σύστημα ψύξης υποστηρίζεται από Φ/Β εγκατάσταση, η ηλιακή διαθεσιμότητα (π.χ. όπως η διαθεσιμότητα της ενέργειας από

μια πτώση ανελκυστήρα) είναι μια τυχαία μεταβλητή που πρέπει να προσαρμόζεται δυναμικά από τον ελεγκτή διαχείρισης ενέργειας.

Εφαρμογή ενός τελείως ηλεκτρικού συστήματος ψύξης μεταφορών μπορεί να μειώσει το μηχανικό εξοπλισμό, όπως το stand-by κινητήρα, συμπλέκτες, ζώνες, και τροχαλίες, τα οποία μπορούν να αντικατασταθούν από φθηνότερο, αποτελεσματικό και πιο ισχυρό ηλεκτρικό υλικό. Το τελείως ηλεκτρικό σύστημα μπορεί να έχει βελτιωμένη απόδοση, επιτρέποντας καλύτερους αλγορίθμους ελέγχου με δυνατότητα απρόσκοπτης μετάβασης μεταξύ των διαθέσιμων πηγών ενέργειας που διατίθενται. Δεδομένου ότι η ηλιακή διαθεσιμότητα παρουσιάζει διακυμάνσεις, είναι σημαντικό να υπάρχει ένα σύστημα ελέγχου που να επιτρέπει απρόσκοπτα τη μετάβαση μεταξύ της ηλιακής ενέργειας, των αποθηκευτικών πηγών ενέργειας και της γεννήτριας για να διασφαλιστεί ότι οι ενεργειακές ανάγκες ψύξης του συστήματος καλύπτονται πάντα.

Οι εφαρμογές Φ/Β στα συστήματα ψύξης μεταφορών έχουν διάφορα πλεονεκτήματα. Η χρήση του λεπτού Φ/Β φιλμ επιτρέπει να αυξηθεί ή να μεγιστοποιηθεί η κάλυψη πάνω από τις επιφάνειες του ρυμουλκού. Το Φ/Β φιλμ είναι αφαιρούμενο και εκ νέου τοποθετούμενο στο ρυμουλκούμενο χωρίς καμία, για παράδειγμα, απώλεια λειτουργικότητας του ρυμουλκούμενου. Η ηλιακή ενέργεια αυξάνεται ή μεγιστοποιείται από τον εντοπισμό του σημείου κορύφωσης από τον ελεγκτή. Η συνολική δυνατότητα ελέγχου του συστήματος βελτιώνεται σε σχέση με το συμβατικό σύστημα άμεσης κίνησης καθώς οι μηχανικοί κινητήρες αντικαθίστανται από ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα. Η εξοικονόμηση καυσίμου αυξάνεται ή μεγιστοποιείται μέσω του συστήματος διαχείρισης ενέργειας που απρόσκοπτα εναλλάσσει τις διαθέσιμες πηγές ενέργειας, όπως απαιτείται από το φορτίο. Επιτυγχάνεται μείωση του υλικού με την εξάλειψη του stand-by κινητήρα και των μηχανικών εξαρτημάτων κίνησης, και αύξηση της αξιοπιστίας με την εξάλειψη των δύο τρίτων των επισκευαζόμενων μηχανικών εξαρτημάτων που βρίσκονται σε συμβατικά συστήματα, όπως είναι οι τροχαλίες, περισσότερες ζώνες, αξονικοί ανεμιστήρες.

Εφαρμογές του συστήματος ψύξης μεταφορών (υβριδικά-ηλεκτρικά) έχουν τη δυνατότητα να διαθέτουν ισχύ από τον κινητήρα και τα Φ/Β κύτταρα για χρήση σε διάφορα μέρη της μονάδας ψύξης σε κάθε δεδομένη στιγμή. Επιπλέον, ο ελεγκτής μπορεί να διαχειριστεί με έξυπνο τρόπο το σύστημα αποθήκευσης το οποίο μπορεί να



χρησιμοποιηθεί για την εκκίνηση του ντίζελ κινητήρα όταν χρειάζεται. Εφαρμογές του συστήματος ψύξης μεταφορών μπορεί να ενσωματώσουν τα εν λόγω αλγοριθμικά χαρακτηριστικά για να χρησιμοποιηθεί η διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια.

Πρέπει να γίνει κατανοητό ότι, παρόλο που η παρούσα εφαρμογή έχει περιγραφεί ως χρήσιμη στον τομέα των συστημάτων ψύξης μεταφορών, μπορεί επίσης να είναι χρήσιμη, και να παρέχει πολλά οφέλη, σε άλλους τύπους ψυκτικών συστημάτων.

Τα υποδειγματικά κοντέινερ και συστήματα ψύξης μεταφορών που περιγράφονται στο παρόν ενδέχεται να έλκονται από ημιφορτηγό για οδικές μεταφορές. Ωστόσο οι εφαρμογές του παρόντος δεν περιορίζονται μόνο σε τέτοια ρυμουλκούμενα και μπορούν να περιλαμβάνουν, ως παράδειγμα, συστήματα ψύξης μεταφορών για διατροφική χρήση, διαμορφωμένα ρυμούλκα για riggy-back χρήση, αυτοκίνητα, και σώματα κοντέινερ για χερσαίες και θαλάσσιες μεταφορές.

Τα στοιχεία της μονάδας ψύξης μεταφορών (π.χ. κινητήρες, ανεμιστήρες, αισθητήρες), μπορούν να επικοινωνούν με έναν ελεγκτή μέσω καλωδίων ή ασύρματων επικοινωνιών. Για παράδειγμα, οι ασύρματες επικοινωνίες μπορεί να περιλαμβάνουν έναν ή περισσότερους πομποδέκτες ραδιοφώνου, Bluetooth πομποδέκτες ραδιοφώνου, GSM / GPS πομποδέκτες ραδιοφώνου ή WiMAX (802.16) πομποδέκτες ραδιοφώνου. Οι πληροφορίες που συλλέγονται από τους διάφορους αισθητήρες και εξαρτήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως παράμετροι εισόδου σε έναν ελεγκτή για τον έλεγχο διαφόρων συνιστωσών. Σε μια εφαρμογή, αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να παρακολουθούν πρόσθετα κριτήρια, όπως η υγρασία, η συγκέντρωση των ειδών ή παρόμοια κριτήρια μέσα στο κοντέινερ.

### **3.5. Εμπορική εφαρμογή**

Προσφέροντας μια εναλλακτική λύση για τη δημιουργία ολοκληρωμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων (BIPV), η Fahrzeugwerk Bernard Krone GmbH παρουσίασε ένα ρυμουλκούμενο ψυγείο (εικόνα 15) εφοδιασμένο με ευλύγιστους φωτοβολταϊκούς συλλέκτες, που παρέχονται από τη Γερμανική Solarion AG, στην 63η IAA εμπορική έκθεση οχημάτων, που πραγματοποιήθηκε στο Ανόβερο της Γερμανίας.



**Εικόνα 15: Solarion AG. Χρησιμοποιήθηκαν 30 ηλιακοί συλλέκτες CIGS**

Οι 30 CIGS ηλιακοί συλλέκτες (ηλιακοί συλλέκτες λεπτού φιλμ Copper-Indium-Gallium-Diselenide) που χρησιμοποιούνται έχουν απόδοση 10% και μπορούν να προσφέρουν μέγιστη ισχύ 3 kW, εξήγησε η εταιρεία. Πρόσθεσε ότι με τη χρήση τους περίπου 1.000 λίτρα καυσίμου ντίζελ μπορούν να σωθούν κάθε χρόνο, που ισοδυναμεί με μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 2,5 μετρικούς τόνους.

Για τη μελέτη αυτή το σύνολο της οροφής ενός τρέιλερ ήταν καλυμμένο με ευέλικτους ηλιακούς συλλέκτες. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη λειτουργίας της μεταφορικής ψυκτικής μονάδας Vector 1550. Αυτό εξοικονομεί το κόστος των καυσίμων, μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και μειώνει το επίπεδο θορύβου του συστήματος ψύξης.

Η ιδέα αναπτύχθηκε σε στενή συνεργασία μεταξύ Krone, Carrier και Solarion. Ο στόχος μέσα στα επόμενα δύο χρόνια, είπαν οι εταιρείες, είναι να αναπτυχθεί ένα σύστημα που θα πληρώνει τον πελάτη.

## **4. ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΝΩ ΣΕ ΤΡΕΝΑ**

### **4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Το κεφάλαιο αυτό πραγματεύεται την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε τρένα. Παρόλο που η φωτοβολταϊκή τεχνολογία δεν έχει εφαρμοστεί ευρέως σε σιδηροδρομικά βαγόνια, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές μειώσεις των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Για κάθε kWh ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά, επιτυγχάνεται μία μείωση 750g CO<sub>2</sub> σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μονάδες παραγωγής ενέργειας. Η εφαρμογή φωτοβολταϊκών στοιχείων σε τροχαίο υλικό έχει επίσης τη δυνατότητα μείωσης των επικίνδυνων αποβλήτων από την παράταση του χρόνου ζωής των συσσωρευτών. Η διαδεδομένη πρακτική είναι να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα buffer που τροφοδοτείται από συνεχές ρεύμα. Η αναστολή του ενεργειακού εφοδιασμού θέτει εκτός λειτουργίας τους συσσωρευτές που συνεχώς επαναφορτίζονται όταν αδειάζουν. Σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, ωστόσο, οι συσσωρευτές συνεχώς φορτίζονται με ηλιακή ενέργεια και, ως εκ τούτου, υπόκεινται σε λιγότερη ζημία.

Το αναφερόμενο έργο είχε ως στόχο να δοκιμαστεί η δυνατότητα χρήσης καινοτόμων φωτοβολταϊκών κυττάρων σε σιδηροδρόμους, λεωφορεία, φορτηγά οχήματα και μηχανές. Με αυτή την τεχνολογία αναμενόταν να μειωθεί η ρύπανση και να υπάρξει εξοικονόμηση πόρων. Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων σε βαγόνια τρένων θα οδηγήσει επίσης σε μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, όπως επίσης θα συμβάλει στη μείωση της φόρτισης των συσσωρευτών και των βοηθητικών συσκευών των τρένων κατά τις στάσεις, συγκριτικά με τις κλασικές πηγές ενέργειας. Το έργο αποσκοπεί επίσης στο να δημιουργήσει μια τράπεζα δεδομένων για τη μέτρηση των επιδόσεων που λαμβάνονται στο πλαίσιο των δοκιμών.

Ο δικαιούχος του έργου έχει εγκαταστήσει φωτοβολταϊκά πάνελ, άμορφου πυριτίου, σε 5 βαγόνια μεταφοράς επιβατών και US 116 πάνελ σε 2 μηχανές και 3 συρμούς εμπορευμάτων. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τοποθετήθηκαν στις καμπύλες επιφάνειες των τρέιλερ, των μηχανών και των βαγονιών για να αποτρέψουν τους επί του τρένου συσσωρευτές να φορτίζονται κατά τις στάσεις. Εκτός από την εξοικονόμηση κόστους ενέργειας, η φωτοβολταϊκή τεχνολογία προσφέρει δύο

σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα έναντι των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας:

- Λιγότερη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα. Τα ηλιακά πάνελ αναλαμβάνουν τη φόρτιση των συσσωρευτών και των βοηθητικών συσκευών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση 750 gr. CO<sub>2</sub> ανά kWh ενέργειας που παράγεται, σε σύγκριση με τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας.

- Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των συσσωρευτών: Αυτοί υπόκεινται σε μικρότερη φθορά λόγω του ότι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τους παρέχουν ανελλιπώς ενέργεια. Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σημαίνει λιγότερο επικίνδυνα απόβλητα. Η ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορεί να έχει διάφορες χρήσεις. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα τρέιλερ και τις μηχανές, για τη φόρτιση των συσσωρευτών, για φωτισμό και κλιματισμό, ενώ μπορεί επίσης, να συνδεθεί με τους εμπορευματικούς συρμούς για την επαναφόρτιση των συσσωρευτών, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε ηλεκτρικές κλειδαριές που χρησιμοποιούνται για την προστασία των μεταφερόμενων εμπορευμάτων.

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε ολόκληρο το σύστημα για την αξιολόγηση της ισχύος του. Αυτές οι δοκιμές έδειξαν ότι η ενεργειακή απόδοση είχε βελτιωθεί κατά την περίοδο της δοκιμής (Ιούνιος - Σεπτέμβριος 2004) σε σχέση με την ίδια περίοδο του προηγούμενου έτους. Ο μετατροπέας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά σε ηλεκτρική ενέργεια κατάλληλη για την επαναφόρτιση των μπαταριών. Για την παρατηρούμενη περίοδο Ιούλιος 2003 - Οκτώβριος 2005, η ενέργεια που παράχθηκε από τα βαγόνια επιβατών του πρωτότυπου ήταν 1.378,42 kWh, με αποτέλεσμα τη μείωση 1.033,82 kg εκπομπών CO<sub>2</sub>. Μεταξύ Αυγούστου 2004 και Οκτωβρίου 2005, η ενέργεια που παράχθηκε από τις μηχανές του πρωτότυπου ήταν 159,3 kWh (επαρκής για να φορτίσει τους συσσωρευτές), με μείωση 119,95 kg εκπομπών CO<sub>2</sub>. Η ενέργεια που παράχθηκε από τους εμπορευματικούς συρμούς του πρωτότυπου ήταν 540 kWh (επαρκεί για τις ηλεκτρικές κλειδαριές), με αποτέλεσμα τη μείωση 405,51 kg εκπομπών CO<sub>2</sub>. Αυτά τα αποτελέσματα διαδόθηκαν σε διάφορες ομάδες συμφερόντων και μια βάση δεδομένων χτίστηκε. Το έργο έχει βραβευτεί με τον τίτλο του "Best of the Best" από έναν περιορισμένο κατάλογο 22 "Best" έργων LIFE-Περιβάλλοντος κατά την περίοδο 2006-2007. Στην εικόνα 16 παρουσιάζεται η κάτοψη του πρωτοτύπου.

-Διάρκεια του έργου: 24μήνες, 1 Νοεμβρίου 2002 - 31 Οκτωβρίου 2004

-Συνολικό κόστος προγράμματος: 1.252.972,00 €

-Κοινοτική συνεισφορά: 616.111,00 €

Το έργο αποτελείται από την υλοποίηση 10 πρωτοτύπων: 5 βαγόνια επιβατών, 3 εμπορευματικούς συρμούς και 2 μηχανές.



Εικόνα 16: Κάτοψη πρωτοτύπου

## **4.2. Στόχοι του έργου**

### **4.2.1. Λειτουργικότητα**

Η ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορεί να έχει διαφορετικές χρήσεις ανάλογα με τον τύπο του οχήματος στο οποίο είναι εγκατεστημένα.

Στα επιβατικά βαγόνια (εικόνα 17), η ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επαναφόρτιση των συσσωρευτών, σαν υποκατάσταση της κύριας παροχής

ηλεκτρικού ρεύματος (3kV) τόσο κατά τη στασιμότητα όσο και κατά την κίνηση των βαγονιών.



**Εικόνα 17: Επιβατικό βαγόνι**

Στις μηχανές (εικόνα 18), η ενέργεια αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση, κατά τη διάρκεια του χειμώνα και λόγω των γραμμών μεταφοράς ενέργειας πεπιεσμένου αέρα, για την άνοδο του παντογράφου.



**Εικόνα 18: Μηχανή**

Στα εμπορευματικά βαγόνια (εικόνα 19), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επαναφόρτιση των συσσωρευτών (όπου υπάρχουν), προκειμένου να εξασφαλιστεί η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για τον GPS εξοπλισμό, για τις ηλεκτρομηχανικές συσκευές που είναι υπεύθυνες για τον έλεγχο των επικίνδυνων εμπορευμάτων και για τις ηλεκτρικές κλειδαριές των πολύτιμων εμπορευμάτων.



Εικόνα 19: Εμπορευματικό βαγόνι

#### 4.2.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις του έργου είναι αφενός η λιγότερη παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου και αφετέρου η επιμήκυνση της ζωής των συσσωρευτών. Όσον αφορά στις εκπομπές αερίων, αυτές μειώνονται κατά 750 gr CO<sub>2</sub> ανά kWh ενέργειας που παράγεται, σε σύγκριση με τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας. Αυτό συμβαίνει επειδή τα φωτοβολταϊκά στοιχεία διατηρούν τους συσσωρευτές και τις βοηθητικές συσκευές του τρένου φορτισμένες κατά τις στάσεις. Όσον αφορά στην επιμήκυνση της ζωής των συσσωρευτών, η ζωή τους αυξάνεται 10-20%, με επακόλουθο τη μείωση των αποβλήτων και των μπαταριών / συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται.

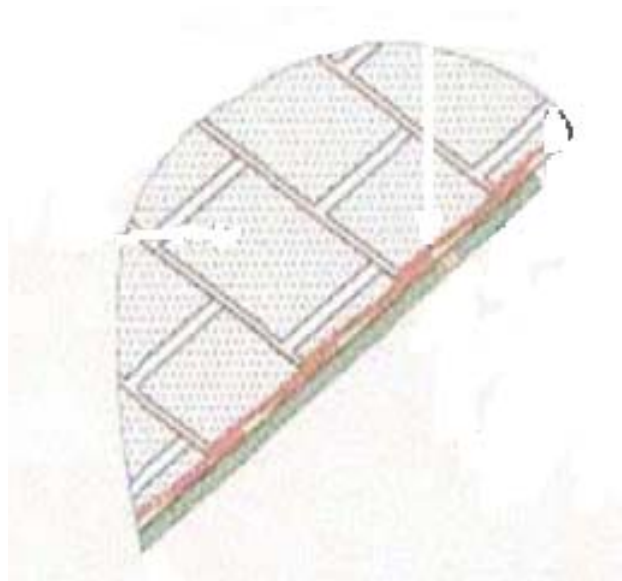
#### 4.2.3. Περιβαλλοντική ισορροπία

Εφόσον επιτυγχάνεται μείωση 750 gr CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα, για κάθε kWh που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, για κάθε συρμό η μείωση της

πρόσληψης στην ατμόσφαιρα CO<sub>2</sub> είναι 1.971 kg για ένα έτος. Η επέκταση του σχεδίου αυτού σε ολόκληρο το στόλο συρόμενων (10.000 περίπου συρμοί), με εκτίμηση της ζωής του φωτοβολταϊκού συστήματος περίπου 20 χρόνια, θα μπορούσε να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε περίπου 40.000 τόνους.

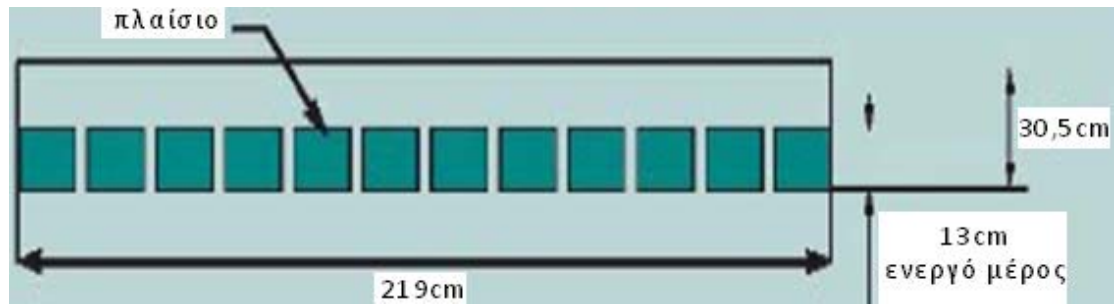
#### **4.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά του Φ/Β Συστήματος για τα επιβατικά βαγόνια**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Φ/Β συστήματος για τα επιβατικά βαγόνια. Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από εύκαμπτες ταινίες και από 12 προκαλωδιωμένα φωτοβολταϊκά πλαίσια, όπως φαίνεται στις εικόνες 20 και 21. Οι διαστάσεις του πλαισίου είναι: 2194,6 mm x 304,8 mm. Στον πίνακα 5 φαίνονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ανά δίοδο.



**Εικόνα 20: Τριπλή διασταύρωση φωτοβολταϊκών πάνελ άμορφου πυριτίου, λεπτών και ευλύγιστων**





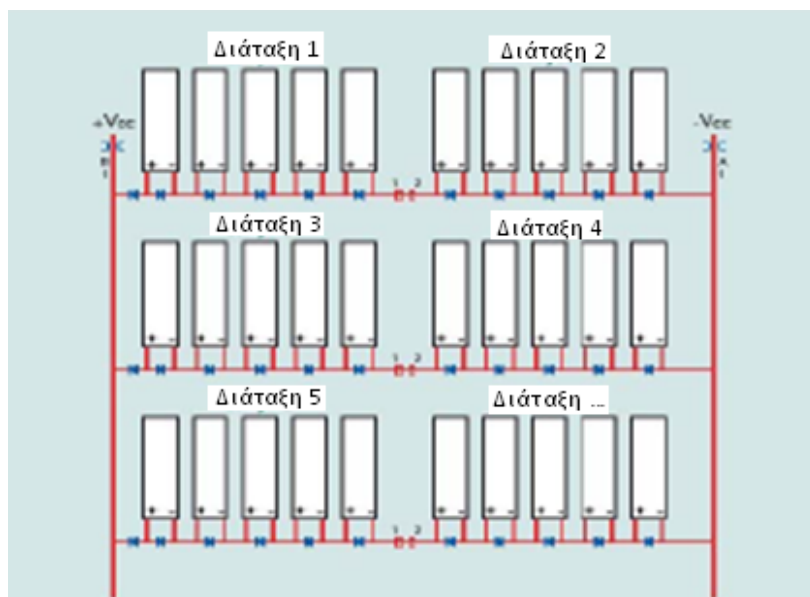
Εικόνα 21: 12 διασυνδεδεμένα κύτταρα ανά πλαίσιο

Μοντέλο	Ισχύς εξόδου (Wp)	Τάση (V)	Ένταση (A)	Τάση ανοιχτού κυκλώματος Voc (V)
SHR-17	17	8,6	2,0	12

Πίνακας 5: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ανά δίοδο

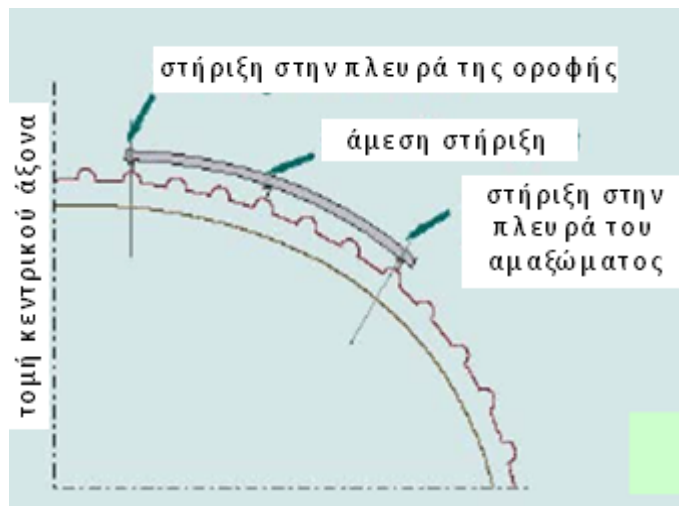
Η ανάγκη να υπάρχει ενέργεια και ονομαστική τάση επαρκής για τις απαιτήσεις των εφαρμογών καθορίζει την επιλογή να δημιουργηθούν μήτρες από 5 ταινίες των πλαισίων που συνδέονται μαζί σε σειρά που ονομάζεται "διάταξη".

Πάνω σε κάθε οροφή έχουν τοποθετηθεί 16 διατάξεις, όπως φαίνεται στην εικόνα 22, τοποθετημένες σε 2 σειρές, από 8 διατάξεις η καθεμία, συνδεδεμένες σε σειρές των 2 και, στη συνέχεια, παράλληλα, έτσι ώστε να αποκτηθούν 1360 Wp στα 80 V.



Εικόνα 22: Διάταξη πλαισίων

Οι 16 διατάξεις εφαρμόστηκαν στα βαγόνια στερεώνοντας τις πάνω σε πλαίσια που έχουν προηγουμένως κολληθεί στο επάνω μέρος του βαγονιού.

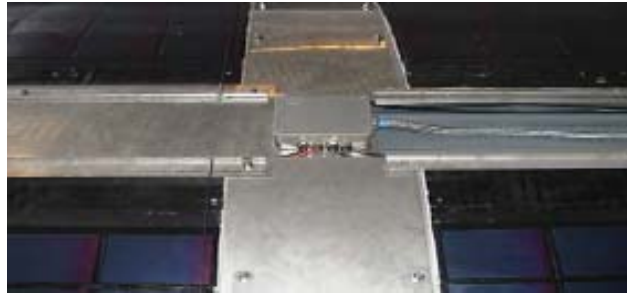


**Εικόνα 23: Στερέωση πλαισίων**

Για τη διασφάλιση της στερέωσης κάτω από τις διατάξεις, ακόμη και σε υψηλές ταχύτητες ή αγχωτικές συνθήκες, εφαρμόστηκε σταυρός στους δεσμούς, που κατασκευάζεται από ανοξείδωτο χάλυβα. Στην εικόνα 23 φαίνεται η στερέωση των πλαισίων που εφαρμόστηκε. Στις εικόνες 24, 25 και 26 φαίνονται λεπτομέρειες από την κατασκευή του προτοτύπου.



**Εικόνα 24: Εγκατάσταση διατάξεων στο πρώτο βαγόνι**

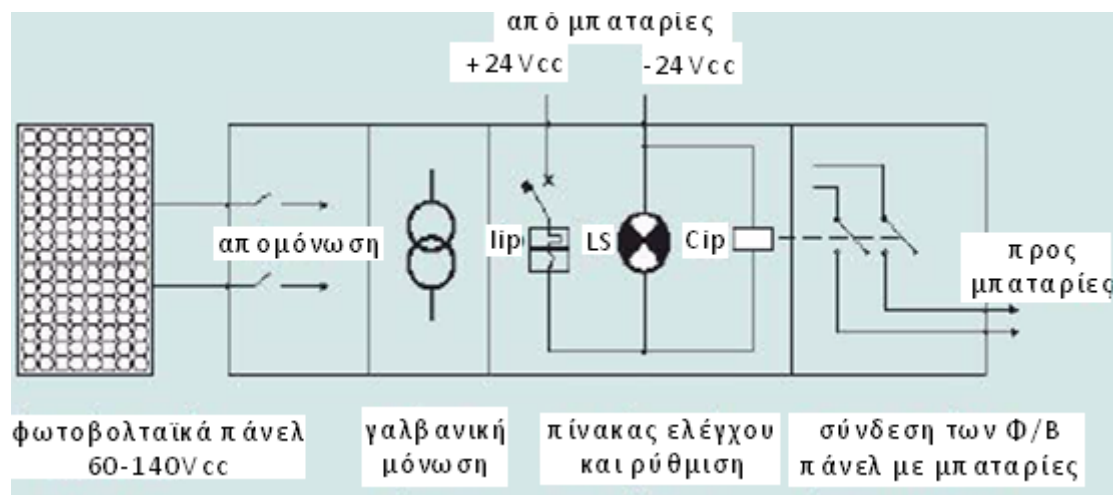


Εικόνα 25: Λεπτομέρεια από την καλωδίωση των 16 διατάξεων



Εικόνα 26: Λεπτομέρεια από τη στερέωση

Όσον αφορά τα ηλεκτρικά, ο μετατροπέας που χρησιμοποιήθηκε είχε ειδικά σχεδιαστεί ως διαπαφή μεταξύ των υφιστάμενων κυκλωμάτων του βαγονιού και του φωτοβολταϊκού κυκλώματος. Ο μετατροπέας αυτός εξασφαλίζει τη γαλβανική απομόνωση από τη γραμμή τροφοδοσίας (3 kV στο συνεχές ρεύμα) σε περίπτωση τυχαίων επαφών, όπως φαίνεται στην εικόνα 27. Η εικόνα 28 δείχνει τον κεντρικό πίνακα του πρωτοτύπου.



Εικόνα 27: Μπλοκ διάγραμμα ηλεκτρικής συνδεσμολογίας



Εικόνα 28: Κεντρικός πίνακας

#### 4.4. Τεχνικά χαρακτηριστικά του Φ/Β συστήματος για τα εμπορευματικά βαγόνια και μηχανές

Όσον αφορά στα εμπορευματικά βαγόνια και τις μηχανές, χρησιμοποιήθηκαν US-116 πάνελ, τα οποία είναι σκληρά και χωρίς γυάλινο περίβλημα. Είναι έγκλειστα σε UV σταθεροποιημένο, πολυμερές και πλαισιωμένο με ανοδιωμένο αλουμίνιο. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ανά δίοδο παρουσιάζονται στον πίνακα 6.

Μοντέλο	Ισχύς εξόδου (Wp)	Τάση (V)	Ένταση (A)	Τάση ανοιχτού κυκλώματος Voc (V)
US-116	116	30	3,9	43,2

Πίνακας 6: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ανά δίοδο

#### 4.4.1. Εφαρμογή σε εμπορευματικό βαγόνι

Όσον αφορά την εφαρμογή στο εμπορευματικό βαγόνι, τρία πάνελ εγκαταστάθηκαν στην οροφή του βαγονιού, όπως φαίνεται στην εικόνα 29, οι διαστάσεις των οποίων είναι 766,2 x 2.437,3 mm (σύνολο 766,2 x 7302,9 mm).



Εικόνα 29: Εγκατάσταση πλαισίων

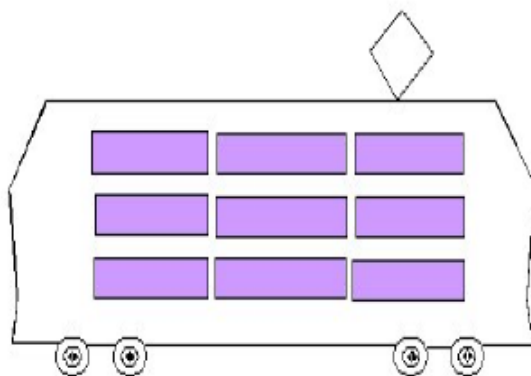
Στον πίνακα 7 φαίνονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των πάνελ που χρησιμοποιήθηκαν στο πρωτότυπο εμπορευματικό βαγόνι.

Αριθμός πλαισίων	Ισχύς εξόδου (Wp)	Τάση (V)	Ένταση (A)	Διακύμανση τάσης (V) (-20÷60°C)
3	348	90	3,9	55÷165

Πίνακας 7: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

#### 4.4.2. Εφαρμογή σε μηχανή

Αυτή η ενότητα είναι αφιερωμένη στην εφαρμογή Φ/Β συστήματος σε μηχανή τρένου. Σε αυτήν την εφαρμογή τοποθετήθηκαν εννιά πλαίσια σε διάταξη 3x3, όπως φαίνεται στην εικόνα 30, σε σειρά και παράλληλα. Η εγκατάσταση των πλαισίων έλαβε χώρα στην πλευρά και όχι στην οροφή.



**Εικόνα 30: Εγκατάσταση πλαισίων**

Στον πίνακα 8 παρουσιάζονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των πλαισίων που χρησιμοποιήθηκαν.

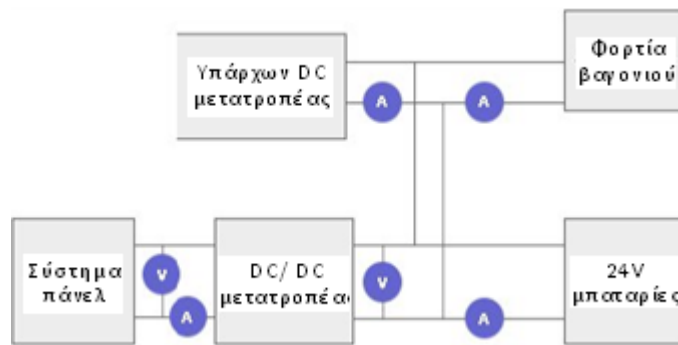
Αριθμός πλαισίων	Ισχύς εξόδου (Wp)	Τάση (V)	Ένταση (A)	Διακύμανση τάσης (V) (-20÷60°C)
3 x 3	1044	90	14,4	55÷165

**Πίνακας 8: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά**

#### **4.5. Δοκιμές και πειραματικές μετρήσεις**

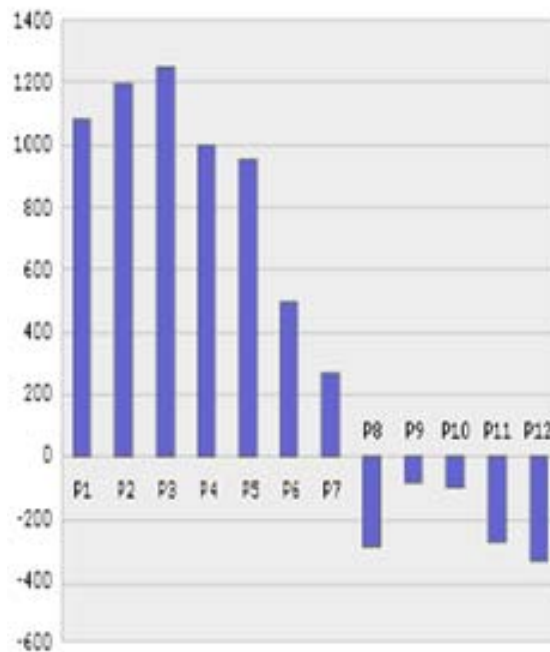
Προκειμένου να διεξαχθούν δοκιμές και πειραματικές μετρήσεις, το πρώτο πρωτότυπο ήταν εφοδιασμένο με τις ακόλουθες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις:

- καθετήρες τάσης και έντασης
- ένα σύστημα συλλογής δεδομένων με ελέγχους και μετρήσεις
- λογισμικό που χαρακτηρίζεται από auto start / auto stop και ασύρματο έλεγχο GPS
- GPS που παρέχει γεωγραφικό πλάτος / μήκος, χρόνο σε ώρες / λεπτά / δευτερόλεπτα και ταχύτητα.



**Εικόνα 31: Πειραματική διάταξη**

Έγιναν εργαστηριακές δοκιμές, σε αεροδυναμική σήραγγα, για την αξιολόγηση της μηχανικής διαστασιολόγησης, της αγκύρωσης και της υποστήριξης των πάνελ (διατάξεων). Στην εικόνα 31 φαίνεται η πειραματική διάταξη. Το διάγραμμα 9 παρουσιάζει τα αποτελέσματα από τις δοκιμές πεδίου των Φ/Β πάνελ (μέγιστη ταχύτητα 140χλμ/ώρα). Οι δοκιμές κατέδειξαν την αποτελεσματική σφράγιση των πάνελ και του συστήματος αγκύρωσης.

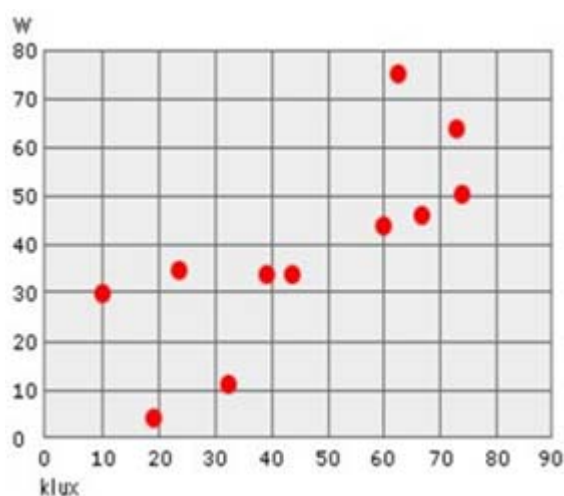


**Διάγραμμα 9: Αποτελέσματα αγκύρωσης των πλαισίων**

Επίσης διεξήχθησαν δοκιμές χαρακτηριστικών για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των φωτοβολταϊκών (πίνακας 9, διάγραμμα 10 και 11).

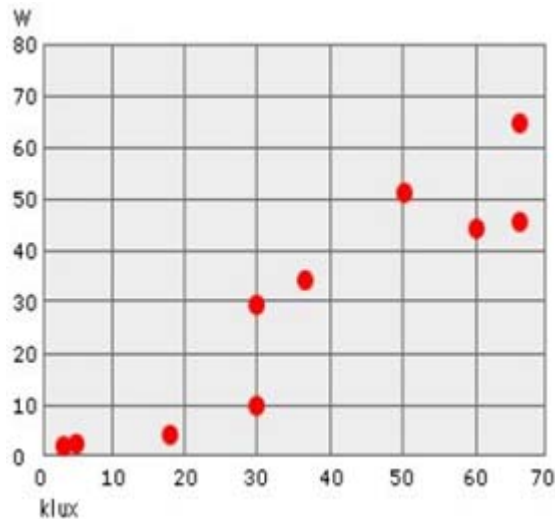
ΗΛΙΟΣ		ΔΙΑΤΑΞΗ				
Ύψος (°)	Αζιμούθιο (°)	Γωνία (°)	Εμφανής γωνία (°)	Φωτισμός (Klux)	Χωρίς τάση (V)	Χωρητικότητα (W)
60	124	Οριζόντια	60	59,8	57	43,8
		90 Ανατολικά	21	35,9	56	34,9
		30 Ανατολικά	73	65,8	57	60,8
		90 Δυτικά	-	2,9	48	0,8
		30 Δυτικά	32	29,9	54	10,4
67	150	Οριζόντια	67	65,8	63	15,3
		90 Ανατολικά	10	29,9	63	29,2
		30 Ανατολικά	62	nr	63	75,0
		90 Δυτικά	-	3,7	nr	1,1
		30 Δυτικά	44	nr	nr	33,3
		90 Νότια	19	18	nr	3,7
		30 Νότια	74	50	54	50,7
		90 Βόρεια	-	nr	47	2,1
		30 Βόρεια	39	-	53	33,3

**Πίνακας 9: Ισχύς που παράγεται από τη διάταξη για φορτίο αντίστασης όταν τοποθετούνται σε διαφορετικές γωνίες στην ηλιακή ακτινοβολία**



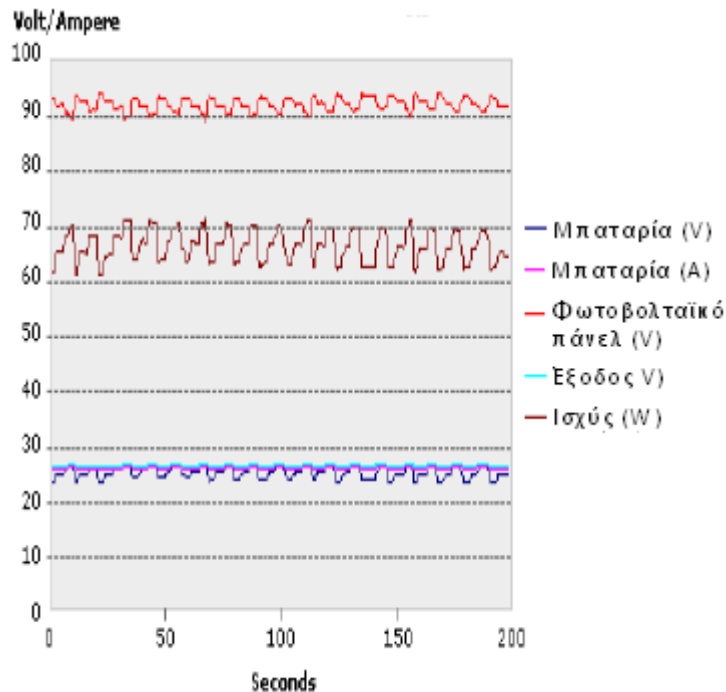
**Διάγραμμα 10: Ισχύς εξόδου ως συνάρτηση της εμφανούς γωνίας πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών**





**Διάγραμμα 11: Ισχύς εξόδου ως συνάρτηση φωτισμού της διάταξης**

Ακόμη διεξήχθησαν δοκιμές προσαρμογής του μετατροπέα για την αξιολόγηση της τροφοδοσίας της μπαταρίας, ενώ το τρένο ήταν σταθμευμένο. Η κόκκινη γραμμή στο διάγραμμα 12 αντιπροσωπεύει την τάση του φωτοβολταϊκού πεδίου και η καφέ γραμμή είναι η ισχύς εκπομπής σε watt. Μέγιστη ισχύς παράγεται από την αύξηση της τάσης εξόδου του μετατροπέα κατά 50 mV κάθε 4 δευτερόλεπτα, και διασφαλίζοντας ότι η φωτοβολταϊκή τάση πεδίου δεν πέφτει πάνω από 1 volt.

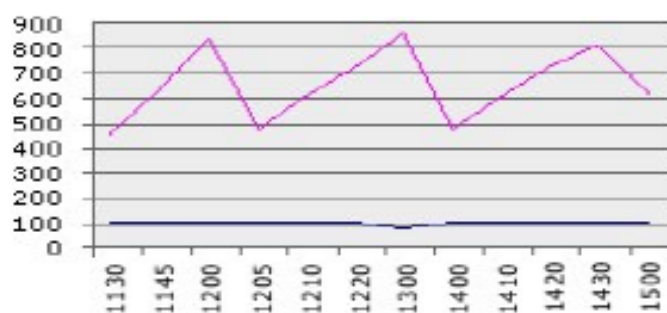


**Διάγραμμα 12: Αξιολόγηση τροφοδοσίας της μπαταρίας**

Τέλος, έλαβαν χώρα δοκιμές καθ'όλη τη διάρκεια μιας ηλιόλουστης μέρας με επιφανειακή θερμοκρασία πάνελ 63,5° C. Αυτή η δοκιμασία εξήγαγε τις τιμές του πίνακα 10, που δείχνουν την τάση των πάνελ, την ισχύ εξόδου και την ισχύ εισόδου των συσσωρευτών, σε συνάρτηση με διαφορετικές ώρες της ημέρας. Στο διάγραμμα 13 φαίνεται σχηματικά ο παραπάνω πίνακας.

Ωρα	Φ/Β τάση (V)	Ισχύς εξόδου (W)	Ισχύς εισόδου συσσωρευτών (W)
11.30	105,94	450	369
11.45	101,23	625	512,5
12.00	94,90	832	682,24
12.05	12,50	475	389,5
12.10	91,99	600	492
12.20	96,34	725	594,5
13.00	80,34	850	697
14.00	101,85	475	389,5
14.10	99,85	600	492
14.20	96,15	725	594,5
14.30	95,09	800	656
15.00	101,15	615	504,3

**Πίνακας 10: Τάση των πάνελ, ισχύς εξόδου και ισχύς εισόδου των συσσωρευτών, σε συνάρτηση με διαφορετικές ώρες της ημέρας**



**Διάγραμμα 13: Τάση των πάνελ, ισχύς εξόδου και ισχύς εισόδου των συσσωρευτών, σε συνάρτηση με διαφορετικές ώρες της ημέρας**

Στην εικόνα 32 φαίνεται η τελική μορφή του πρωτοτύπου.



**Εικόνα 32: Τελική μορφή επιβατικού βαγονιού**

## 5. ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΜΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΤΡΕΝΩΝ

Το Παρίσι είναι τώρα το σπίτι της πρώτης γραμμής διεθνούς τρένου υψηλών ταχυτήτων στην Ευρώπη που χρησιμοποιεί ηλιακά πάνελ παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η υψηλής ταχύτητας σιδηροδρομική γραμμή που συνδέει το Παρίσι με το Άμστερνταμ έχει λάβει πράσινη αναβάθμιση με τη μορφή 16.000 ηλιακών συλλεκτών που έχουν εγκατασταθεί κατά μήκος της οροφής μίας σήραγγας σιδηροδρομικής γραμμής (εικόνα 32). Οι νέες προσθήκες θα χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν ενέργεια σε τμήματα της σιδηροδρομικής γραμμής υψηλής ταχύτητας, καθώς και στον κεντρικό σιδηροδρομικό σταθμό της περιοχής.



Εικόνα 33: Κάτοψη σήραγγας

Οι ηλιακοί συλλέκτες έχουν εγκατασταθεί σε μήκος 3,6 χιλιομέτρων της σιδηροδρομικής σήραγγας που εκτείνεται κατά μήκος της εθνικής οδού E19 μεταξύ του Άμστερνταμ και της Αμβέρσας στο Βέλγιο. Συνολικά οι φωτοβολταϊκές ηλιακές συστοιχίες καλύπτουν μια περιοχή περίπου 50.000 τετραγωνικών μέτρων (12 στρέμματα) γης.

Η σήραγγα χτίστηκε αρχικά για την προστασία της σιδηροδρομικής γραμμής από την πτώση δέντρων. Η υψηλής ταχύτητας σιδηροδρομική γραμμή περνά από ένα αρχαίο δάσος, κοντά στην Αμβέρσα, όπου τα πεσμένα δέντρα αποτελούν μια σοβαρή απειλή για τα τρένα που ταξιδεύουν εκατοντάδες χιλιόμετρα ανά ώρα.

Το έργο της ηλιακής σήραγγας, όπως λέγεται, ήταν μια συνεργασία των δήμων Brasschaat και Schoten του Βελγίου, της εταιρίας εγκατάστασης φωτοβολταϊκών "Solar Power Systems" και της εταιρίας κατασκευής φωτοβολταϊκών "Enfinity", η οποία και εγκατέστησε το πλέγμα πάνελ φωτοβολταϊκών. Το 3,6 χιλιομέτρων κομμάτι των ηλιακών συλλεκτών θα δημιουργήσει το αντίστοιχο ποσό

της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για να τροφοδοτήσει κάθε αμαξοστοιχία στο Βέλγιο, για μια ημέρα το χρόνο. Το ηλιακό έργο κόστισε περίπου 15,7 εκατομμύρια Ευρώ, μια υψηλή τιμή για να πληρωθεί εκ των προτέρων, αλλά που θα αποσβεσθεί μακροπρόθεσμα σε μια από τις πιο πολυσύχναστες σιδηροδρομικές γραμμές του κόσμου. Η εγκατάσταση αναμένεται να παράγει περίπου 3.300 μεγαβάτ ηλεκτρικής ενέργειας ανά ώρα, που κατά προσέγγιση είναι η ετήσια κατανάλωση 1.000 μέσων οικογενειών στη Γαλλία. Η εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών διήρκησε 9 μήνες. Απαιτήθηκε επιπλέον εργασία 3-4 μηνών για την οριστικοποίηση του έργου, ενώ χρησιμοποιήθηκαν 4 χιλιόμετρα καλωδίων. Η εικόνα 34 απεικονίζει στάδιο κατασκευής.



**Εικόνα 34: Στάδιο κατασκευής**

Τα πάνελ δε θα τροφοδοτούν μόνο τις υψηλής ταχύτητας αμαξοστοιχίες της σιδηροδρομικής γραμμής. Θα χρησιμοποιηθούν επίσης για την υποστήριξη των *intercity* τρένων και θα παρέχουν αρκετή ηλεκτρική ενέργεια για να καλύψει το ήμισυ των ενεργειακών αναγκών του κοντινού σιδηροδρομικού σταθμού της Αμβέρσας, ένα σημαντικό συγκοινωνιακό κόμβο της περιοχής. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται τροφοδοτεί απευθείας την υποδομή της σιδηροδρομικής γραμμής και θα χρησιμοποιηθεί για σήματα, σήμανση, καθώς και για άλλες ενεργοβόρες λειτουργίες της αμαξοστοιχίας. Η ηλιακή σήραγγα θα αντισταθμίσει περίπου 473 εκατομμύρια κιλά εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που θα έχουν παραχθεί κατά τη διάρκεια των επόμενων 20 ετών με συμβατικά μέσα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Δεδομένου ότι η ηλιακή σήραγγα είναι ένας από τους πρώτους για την παροχή ενέργειας απευθείας σε τρένα, η απόδοση της ηλιακής εγκατάστασης θα αποτελέσει σημείο παρατήρησης και θα μπορούσε να έχει επίπτωση στο κατά πόσον άλλα έργα στο στάδιο της πρότασης θα προωθηθούν.

Η γραμμή Παρίσι Άμστερνταμ είναι η αρχή μια αναδυόμενης τάσης στην Ευρώπη, καθώς όλο και περισσότερες σιδηροδρομικές γραμμές υψηλής ταχύτητας και σιδηροδρομικοί σταθμοί προχωρούν στην εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών για να τροφοδοτήσουν τις δραστηριότητές τους. Το κόστος των ηλιακών συλλεκτών έχει μειωθεί κατά το ήμισυ τα τελευταία τρία χρόνια λόγω των οικονομιών κλίμακας στη Γαλλία, το Βέλγιο και τη Γερμανία.

## 6. ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΛΕΩΦΟΡΕΙΑ

### 6.1. Εισαγωγή

Το Tindo δημιουργήθηκε από την "Designline International", μια εταιρεία της Νέας Ζηλανδίας. Δεν είναι ένα υβριδικό, αλλά ένα πλήρως ηλεκτρικό όχημα (εικόνα 35).



Εικόνα 35: Tindo

Το Δημοτικό Συμβούλιο της Αδελαΐδα υποστηρίζει ότι το ηλιακό ηλεκτρικό λεωφορείο και η επαναφόρτιση του συστήματος στον Κεντρικό Σταθμό Λεωφορειών της Αδελαΐδα αντιπροσωπεύουν μια σημαντική επένδυση από το Δημοτικό Συμβούλιο σε ένα βιώσιμο μέλλον για την πόλη της Αδελαΐδα, ενώ αποτελεί πρωτοπορία στη βιωσιμότητα των δημόσιων μέσων μεταφοράς, για τις πόλεις σε όλη την Αυστραλία.

Το ηλιακό ηλεκτρικό λεωφορείο της Αδελαΐδα είναι το πρώτο στον κόσμο που μπορεί να επαναφορτιστεί 100% με την ηλιακή ενέργεια, και θα χρησιμοποιείται καθημερινά από τους κατοίκους της, μέσω της δωρεάν υπηρεσίας 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 ως προς 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.

## **6.2. Κατασκευή**

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 αξιόπιστες και σχεδιασμένες για μεγάλη διάρκεια ζωής
- Δεν επηρεάζονται από εξωτερικές θερμοκρασίες
- Μπορεί 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 σχεδόν σε οποιοσδήποτε συνθήκες, χωρίς μείωση του προσδόκιμου ζωής ή της απόδοσής τους.

Εκτός από τους συμβατικούς ελέγχους και τα όργανα, παρέχεται μια οθόνη οδηγού, από την οποία η επιχείρηση λεωφορείων και το προσωπικό συντήρησης μπορεί να ελέγξει την κατάσταση του Tindo και τη φόρτισή του.

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

Μεγάλο μέρος της χρηματοδότησης, για αυτό το 550.000 δολαρίων σύστημα φωτοβολταϊκής ενέργειας, παρέχει η Κυβέρνηση της Αυστραλίας μέσω του προγράμματος «Αδελαΐδα Ηλιακή Πόλη», με το Δημοτικό Συμβούλιο της πόλης να προσφέρει εξίσου σημαντική χρηματοδότηση.

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.

### **6.3. Σύστημα Διαχείρισης Οχήματος**

Το σύστημα διαχείρισης οχημάτων (Vehicle Management System - VMS) είναι κρίσιμο για την επίτευξη της πλήρους δυναμικής του Tindo. Είναι ο κύριος υπεύθυνος για το σύνολο των ηλεκτρικώς σχετιζόμενων αντικειμένων στο λεωφορείο και εξασφαλίζει ότι οι λειτουργικές αιτήσεις του οδηγού επεξεργάζονται και παράλληλα, ότι ο εξοπλισμός λειτουργεί για να ανταποκριθεί στα αιτήματα αυτά.

Το VMS παρακολουθεί το σύνολο του εξοπλισμού του λεωφορείου και φροντίζει να είναι όλα όσα λειτουργούν εντός των επιθυμητών ορίων και σωστών παραμέτρων. Σε περίπτωση που κάποιο στοιχείο δε λειτουργεί σωστά, το σύστημα διαχείρισης οχημάτων προσαρμόζει άλλο εξοπλισμό για την παράκαμψη και αναπλήρωσή του. Το VMS είναι επίσης υπεύθυνο για τον έλεγχο του κύριου συστήματος κίνησης του Tindo και των βοηθητικών φόρτισης και διαχείρισης της μπαταρίας. Καταγράφει όλες τις συνθήκες βλάβης και τις προειδοποιήσεις σχετικά με το σύστημα κίνησης και μια οθόνη στην κονσόλα του οδηγού παρέχει πληροφορίες από το σύστημα διαχείρισης οχημάτων για τη λειτουργία του λεωφορείου.

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.

## **6.4. Χαρακτηριστικά οχήματος**

### **6.4.1. Απόδοση**

- 200 χιλιόμετρα μεταξύ των φορτίσεων σε τυπικές αστικές συνθήκες
- Η "γρήγορη φόρτιση" προσφέρει 1 χλμ. επιπλέον εύρος ανά 1 λεπτό φόρτισης
- Επιτάχυνση και ανάβαση λόφου ισοδύναμη με λεωφορείο ντίζελ
- Η μπαταρία και τα συστήματα κίνησης παρέχουν πλήρη απόδοση κάτω από σχεδόν όλες τις συνθήκες

### **6.4.2. Αξιοπιστία**

- Στιβαρά, δοκιμασμένα εξαρτήματα
- Τα εξαρτήματα του συστήματος κίνησης έχουν ονομαστική διάρκεια ζωής 130.000 ώρες ή μεγαλύτερη
- Ποιότητα στο σχεδιασμό του σασί και τη συναρμολόγηση
- Ανοχή στην κατάχρηση των μπαταριών
- Ενσωματωμένο σύστημα φόρτισης
- Μετρητής ακριβείας της φόρτισης μπαταρίας (δείκτης καυσίμου) για τον οδηγό

### **6.4.3. Ασφάλεια**

- Μονάδες μπαταρίας ηλεκτρικά απομονωμένες
- Ασφαλιστικές δικλείδες για όλα τα υψηλής τάσης στοιχεία
- Ερμητικά σφραγισμένες μπαταρίες - δεν παράγονται αέρια
- Τα ηλεκτρικά τερματικά δεν εκτίθενται
- Ελάχιστη συντήρηση των μπαταριών

### **6.4.4. Συντήρηση**

- Ενσωματωμένα διαγνωστικά μέσω του συστήματος διαχείρισης των οχημάτων (VMS)
- Σύστημα πρόωσης με σχεδόν δωρεάν συντήρηση
- Καμία διάβρωση του ορθοστάτη, διότι δε δημιουργούνται αέρια στη μπαταρία

### **6.4.5. Κόστος κύκλου ζωής**

- Μπαταρίες μακράς διάρκειας
- Στοιχεία χαμηλής συντήρησης
- Περονοφόρα, ανυψωτικά μηχανήματα για τις μπαταρίες δεν απαιτούνται
- Ελάχιστη κατάρτιση για τους μηχανικούς
- Κόστος των καυσίμων κατά 50% χαμηλότερο από ότι για ένα λεωφορείο ντίζελ
- Χρήση ενσωματωμένων ηλεκτρονικών για τις λειτουργίες φόρτισης

### **6.4.6. Τεχνικές προδιαγραφές**

- Μήκος - 10.42m
- Πλάτος - 2,48 m
- Ύψος - 3.06m
- Βάρος - 11.480 κιλά
- Επιβάτες καθιστοί – 25

-Αναπηρικές καρέκλες – 2

-Επιβάτες σύνολο – 27

#### **6.4.7. Απόδοση**

-Ισχύς κινητήρα ονομαστική - 36 kW

-Ισχύς κινητήρα αιχμής - 160 kW

-Ισχύς φόρτισης - 36 kW

-Ταχύτητα - 76 χλμ/ώρα

-Δυνατότητα διαβάθμισης - 12,5%

#### **6.4.8. Σύστημα μπαταρίας**

-Τύπος 11 στοιχεία Zebra Z36-371-ML3C-64

-Ονομαστική ενέργεια 261,8 kWh

-Προσβάσιμη ενέργεια 235,6 kWh

- Φ/Β οροφής Uni-Solar PVL-68 W (μέγιστη)

#### **6.4.9. Fast Booster φορτιστής (που βρίσκεται στην οδό Franklin, έξω από τον Κεντρικό Σταθμό Λεωφορείων της Αδελαΐδας)**

Όσον αφορά στο σύστημα ταχείας φόρτισης, αυτό χαρακτηρίζεται από τα εξής:

-Ισχύς 70 KW

-Είσοδος - 400V 3-φάσεις AC 100 A

-Έξοδος - 386V DC 200A 70 kW

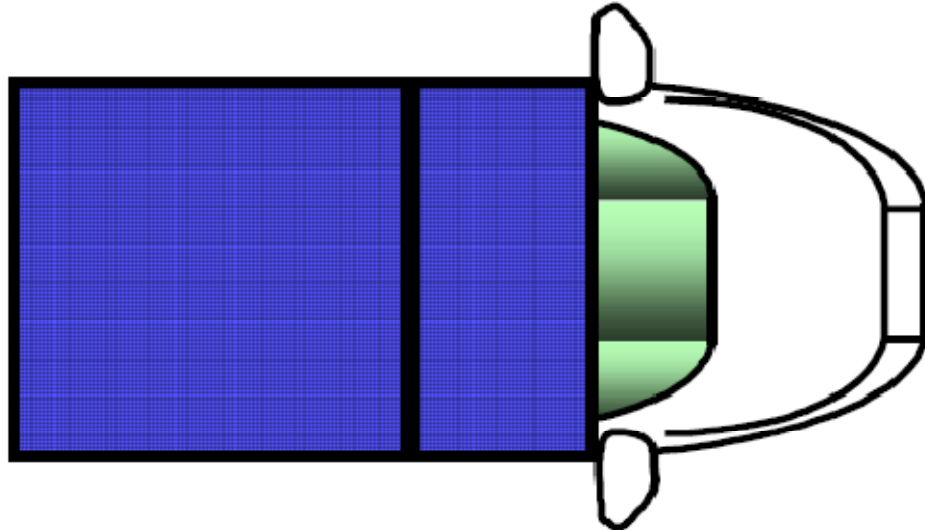
-1 λεπτό φόρτιση = 1 χιλιόμετρο

## **7. ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ**

### **7.1. Εισαγωγή**

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 αποτελεί 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 μπορεί να αποτελέσει σημαντικό μέρος της συνολικής ενέργειας που απαιτείται από το όχημα κατά τη μετακίνηση ή τη φόρτιση των μπαταριών του.



**Εικόνα 36: Κάτοψη οχήματος**

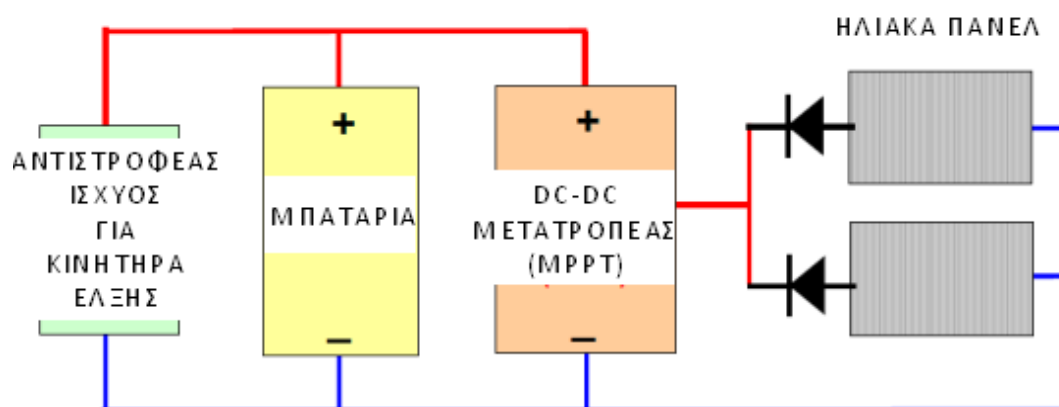
Καθώς η προσέγγιση αυτή δεν απαιτεί επιπλέον δαπανηρές υποδομές, όπως ένα ηλιακό δίκτυο ή ηλιακές γεννήτριες στάσης, μπορεί να είναι χρήσιμη υπό συγκεκριμένες, ελεγχόμενες συνθήκες, και αυτές οι προϋποθέσεις πρέπει να καθοριστούν, προκειμένου να αξιολογηθεί κατά πόσο αυτή η λύση φέρνει ουσιαστικές βελτιώσεις στην απόδοση των συνθηκών λειτουργίας του οχήματος. Σε πρώτη φάση, εκτίθενται κάποιες βασικές αρχές λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά του σχεδιασμού ενός μικρού EV. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ένα μαθηματικό μοντέλο για την αξιολόγηση των επιδόσεων των κυττάρων, ακολουθούμενο από ανάλυση των πρακτικών δεδομένων που αποκτήθηκαν από φωτοβολταϊκά υποβοηθούμενα EV. Τέλος, μελετάται η επίδραση που έχει στις περιβαλλοντικές συνθήκες ένα φωτοβολταϊκό σύστημα και η εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας σε EV.

Ένας από τους στόχους είναι να αξιολογηθεί ένα χαμηλού κόστους, φιλικό προς το περιβάλλον μέσο μεταφοράς. Και τα δύο χαρακτηριστικά μπορούν να επιτευχθούν αν χρησιμοποιηθούν μπαταρίες μολύβδου-οξέος, επειδή είναι σχετικά φθηνές και σχεδόν πλήρως ανακυκλώσιμες. Για το λόγο αυτό θα χρησιμοποιηθούν σφραγισμένες μπαταρίες μολύβδου-οξέος βαθιάς απαλλαγής. Οι μπαταρίες αυτές παρουσιάζουν μια συγκεκριμένη ενέργεια των 35 Wh/kg για ένα 3-ωρο ρυθμό εκφόρτισης (σχήμα κατάλληλο για EV υπολογισμούς). Αν το όχημα μεταφέρει μπαταρίες 100 kg, η συνολική ενέργεια είναι 3,5 kWh. Ωστόσο, προκειμένου να αποφευχθεί η μόνιμη βλάβη, οι μπαταρίες δεν αποφορτίζονται πλήρως. Λαμβάνοντας

υπόψη, λοιπόν, 80% βάθος εκφόρτισης (deep of discharge - DOD), η συνολική διαθέσιμη ενέργεια των μπαταριών είναι περίπου 2,8 kWh.

Το EV περιφερειακών μεταφορών αποτελεί μια ειδική περίπτωση του τυπικού EV. Αν και το EV περιφερειακών μεταφορών είναι πιο περιορισμένο από ό, τι το τυπικό EV, σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση μπορούν να επιτευχθούν εφόσον υπάρχουν ορισμένες προϋποθέσεις. Προκειμένου να μεγιστοποιηθούν οι επιδόσεις του οχήματος, οι όροι αυτοί πρέπει να είναι οι ιδανικοί. Για αυτό το σκοπό επιλέγεται ένα ηλιόλουστο, προβλέψιμο περιβάλλον με υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του έτους. Για το σκοπό αυτό, η περιοχή πρέπει να είναι κατά προτίμηση μια έρημος κοντά στον ισημερινό με μικρές πιθανότητες συννεφιάς. Βρισκόμενο στη Χιλή, το ξενοδοχείο Atacama Desert είναι το πιο άνυδρο μέρος στον κόσμο. Δε βρέχει σχεδόν ποτέ και οι ουρανοί είναι καθαροί κατά το 98% του έτους. Η θέση του (γεωγραφικό μήκος 22ο – γεωγραφικό πλάτος 24ο) εξασφαλίζει μεγάλες ημέρες κατά τη διάρκεια όλου του έτους. Αν και οι υψηλές θερμοκρασίες μειώνουν την απόδοση των ηλιακών κύτταρων, τα υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας αντισταθμίζουν αυτό το αρνητικό αποτέλεσμα.

Επίσης σημαντική για την επιτυχία των μικρών ηλιακών EV είναι η χρησιμοποίηση των άκρως αποτελεσματικών συστημάτων μεταφοράς ενέργειας. Η ακόλουθη εικόνα 37 δείχνει την εφαρμογή του συστήματος, το οποίο είναι σε θέση να μεταφέρει την ενέργεια από τους ηλιακούς συλλέκτες στη μπαταρία με απόδοση μεταξύ 95% και 99%.



Εικόνα 37: Σύστημα μεταφοράς ηλιακής ενέργειας

Για να μετρηθεί η βελτίωση των επιδόσεων ενός EV, έξι ηλιακοί συλλέκτες του ενός τετραγωνικού μέτρου ο κάθε ένας, τοποθετούνται στην οροφή ενός συμβατικού ηλεκτρικού οχήματος (εικόνα 38). Οι ηλιακοί συλλέκτες κατασκευάστηκαν στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, Pontificia Universidad Católica de Chile, με τη χρήση ηλιακών κυττάρων MAIN1530 RWE Schott ( $10 \times 15 \text{cm}^2$  με απόδοση μετατροπής 15,5%). Η κάτοψη του οχήματος φαίνεται στην εικόνα 36.



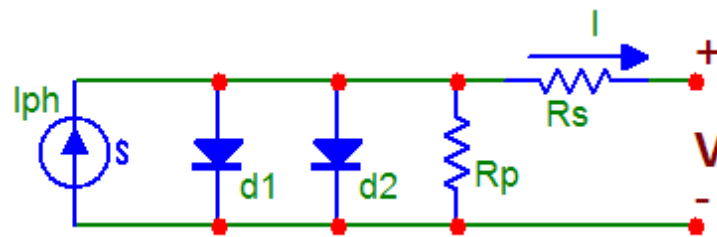
**Εικόνα 38: EV με 6 φωτοβολταϊκά πάνελ εγκαταστημένα στην οροφή**

Επειδή αυτό το όχημα είναι πολύ μεγάλο και βαρύ για τους κύριους σκοπούς της παρούσας εργασίας, η αύξηση της αυτονομίας του οχήματος θα μετρηθεί προσεκτικά. Αυτή η αύξηση της αυτονομίας θα λάβει υπόψη το κλίμα της κάθε συγκεκριμένης ημέρας για να παρατηρηθεί η βελτίωση της αποτελεσματικότητας που σχετίζεται με τις καθημερινές καιρικές συνθήκες.



## 7.2. Μοντέλο ηλιακών κυττάρων

Για την περιγραφή της ηλεκτρικής συμπεριφοράς ενός ηλιακού κυττάρου παραγωγής κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, χρησιμοποιείται ευρέως το μοντέλο των δύο διόδων της εικόνας 39. Αυτό το μοντέλο αποτελείται από δύο διόδους και μία αντίσταση παράλληλα με την πηγή φωτορεύματος μαζί με μια αντίσταση σε σειρά.



Εικόνα 39: Ισοδύναμο κύκλωμα των ηλιακών κυττάρων

Αυτό το κύκλωμα μπορεί να αναπαρασταθεί με μαθηματικούς όρους χρησιμοποιώντας την εκθετική εξίσωση διόδων και το Νόμο του Kirchhoff.

$$I = I_{ph} - I_{S1} \left( e^{\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n_1 \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - I_{S2} \left( e^{\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n_2 \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (1)$$

Η εξίσωση δείχνει την εξάρτηση του ρεύματος με τη θερμοκρασία. Ωστόσο, η αποδοτικότητα των ηλιακών κυττάρων περιλαμβάνει επίσης την ακτινοβολία. Οι ακόλουθες εξισώσεις επεκτείνουν την εξάρτηση των ηλιακών κυψελών από τη θερμοκρασία και δείχνουν πως η ακτινοβολία ( $S$  σε %) επηρεάζει την απόδοσή του.

$$I_{ph} = S \cdot I_{ph\_Max} \quad (2)$$

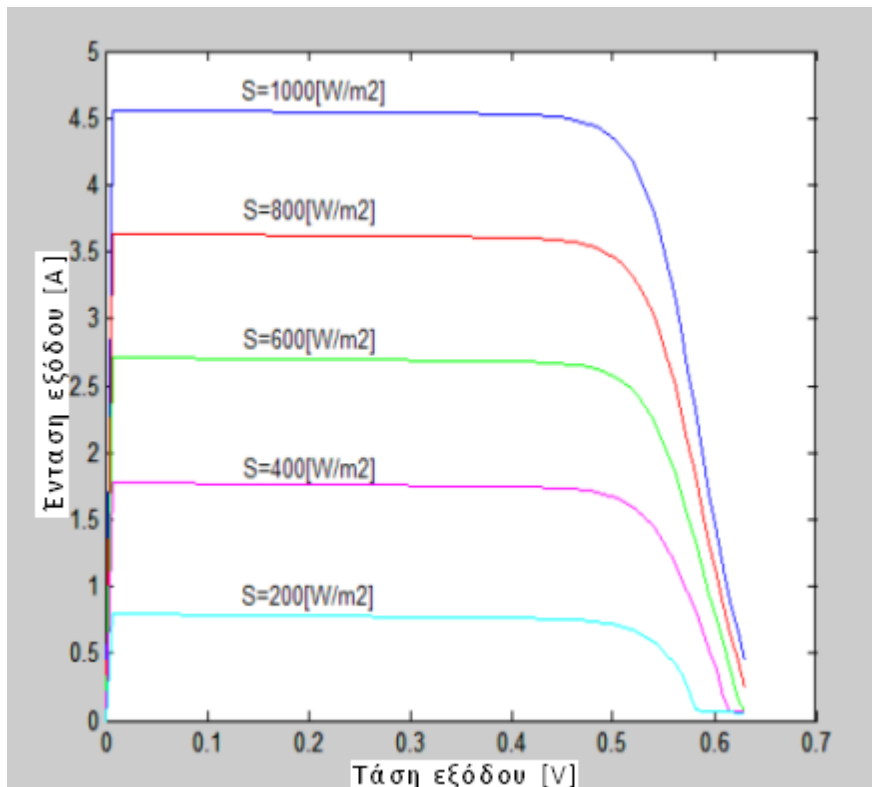
$$I_{ph}(T) = I_{ph}|_{T=298^{\circ}K} \cdot (1 + (T - 298) \cdot (5 \cdot 10^{-4})) \quad (3)$$

$$I_{S2} = K_2 \cdot T^{\frac{5}{2}} e^{-\frac{Eg}{k \cdot T}} \quad (4)$$

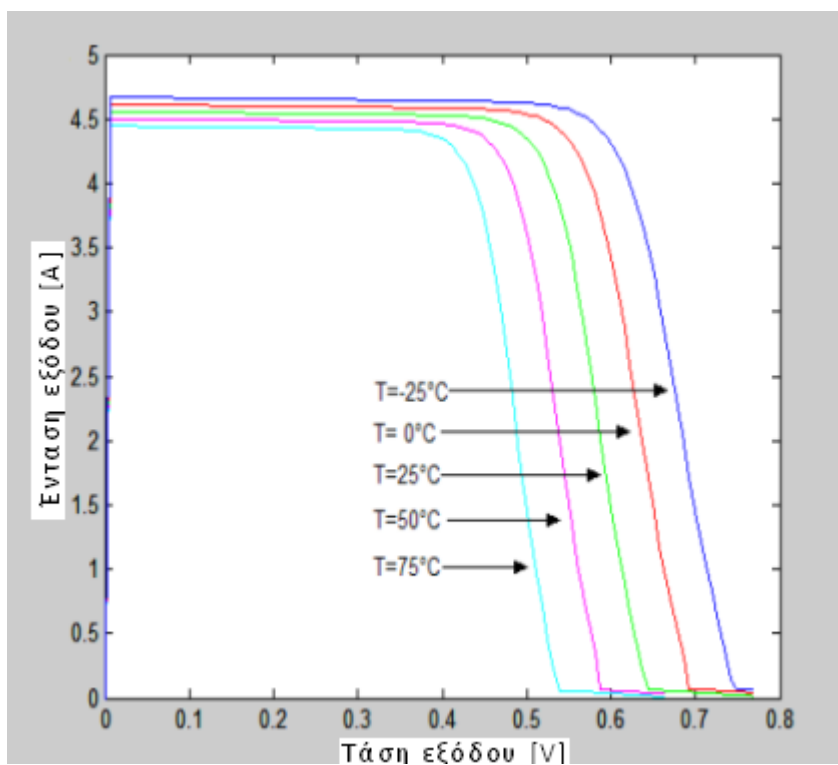
$$I_{S1} = K_1 \cdot T^3 e^{-\frac{Eg}{k \cdot T}} \quad (5)$$

### 7.3. Προσομοίωση των ηλιακών κυττάρων

Για την απόκτηση των χαρακτηριστικών καμπυλών των ηλιακών κυττάρων από αυτό το μοντέλο, κάθε τιμή του ρεύματος I για δεδομένη τάση V πρέπει να υπολογίζεται ξεχωριστά. Όπως είναι αυτονόητο από την εξίσωση (1), πρέπει να χρησιμοποιηθούν αριθμητικές μέθοδοι για την επίλυσή του. Λόγω της απλότητάς της και του γρήγορου ρυθμού σύγκλισης επιλέχθηκε η μέθοδος Newton-Raphson. Χρησιμοποιώντας το MATLAB για την επίλυση της εξίσωσης, ήταν δυνατό να δημιουργήσει ένα ευρύ φάσμα καμπυλών που προσομοιώνουν διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και ακτινοβολίας, όπως φαίνεται στα διαγράμματα 14 και 15.



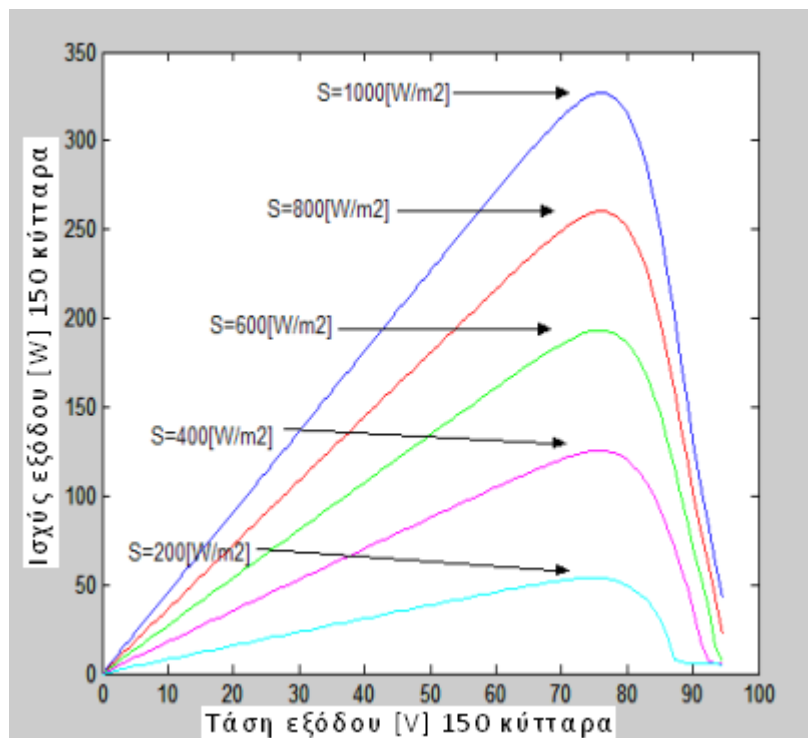
Διάγραμμα 14: Καμπύλες ακτινοβολίας για  $T = 25^{\circ}\text{C}$



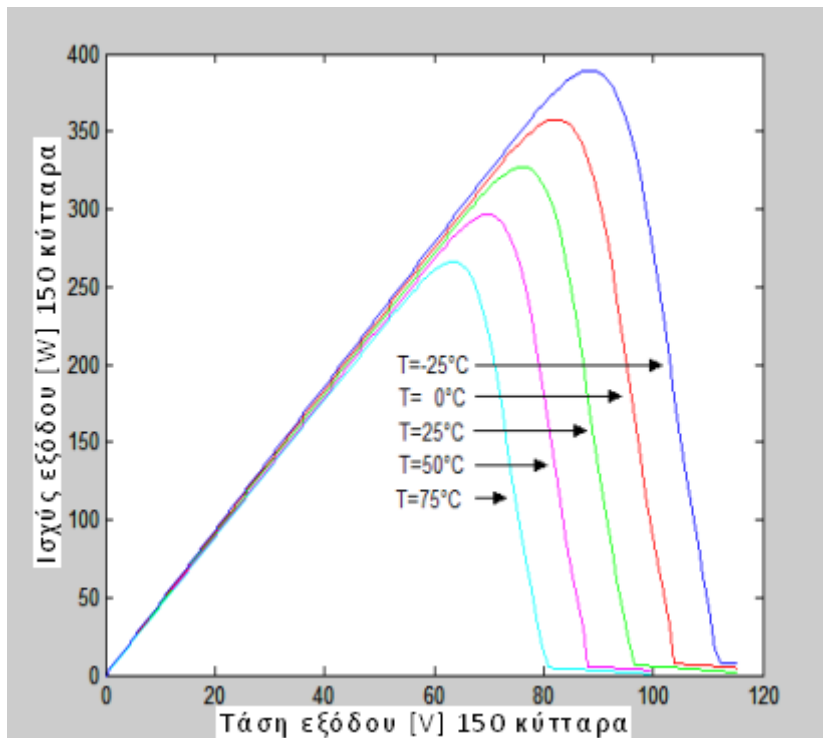
Διάγραμμα 15: Καμπύλες θερμοκρασίας για  $S = 1000 \text{ W/m}^2$

#### 7.4. Ηλιακά πάνελ και MPPT

Χρησιμοποιώντας τα κύτταρα που προσομοιώθηκαν παραπάνω, κατασκευάστηκαν 6 ηλιακοί συλλέκτες, που αποτελούνται από 50 κύτταρα σε σειρά ο καθένας, με συνολική επιφάνεια 4,5 m<sup>2</sup>. Όλοι οι συλλέκτες όταν λειτουργούν από κοινού μπορούν να δημιουργήσουν σε ιδανικές συνθήκες (AM 1,5 G) συνολική ισχύ των 678 W. Σύμφωνα με τους περιορισμούς του σχεδιασμού δύο στήλες από τρεις συλλέκτες σε σειρά συνδέονται παράλληλα. Η διαμόρφωση αυτή παρέχει ένα μέσο εξόδου ρεύμα 9 A με ονομαστική τάση 75 V. Χρησιμοποιώντας το σύστημα που αναφέρθηκε και το μαθηματικό μοντέλο, είναι δυνατό να λάβει την χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος για κάθε στήλη σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και ακτινοβολίας, όπως φαίνεται στα διαγράμματα 16 και 17.



Διάγραμμα 16: Καμπύλη ισχύος ακτινοβολίας για T = 25°C



Διάγραμμα 17: Καμπύλη Ισχύος θερμοκρασίας για  $S = 1000 \text{ W/m}^2$

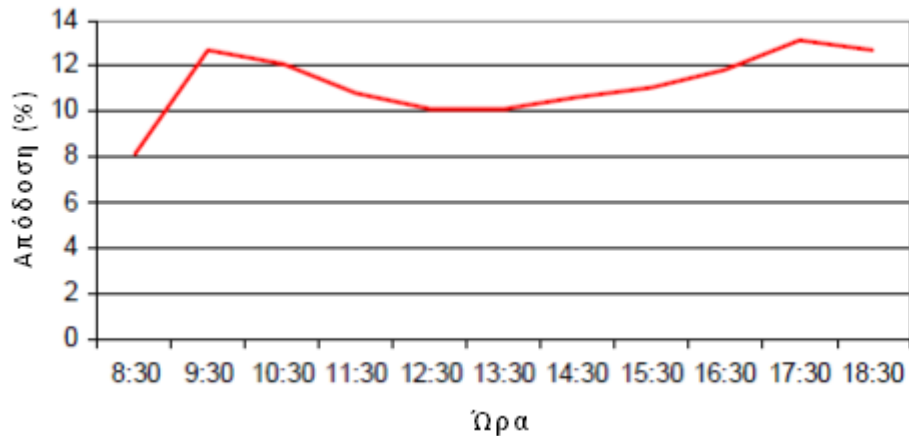
Οι καμπύλες δείχνουν τη μεγάλη απήχηση που έχουν και οι δύο μεταβλητές (T & S) στην απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Μειώσεις της ακτινοβολίας της τάξεως του 20% μειώνουν την ισχύ εξόδου περίπου 30%. Ωστόσο η θερμοκρασία δεν έχει τέτοιες επιπτώσεις, επειδή αύξηση κατά  $25^\circ\text{C}$  συνεπάγεται μόλις 10% απώλεια ενέργειας. Μέγιστη ισχύς προέρχεται από το πάνελ χρησιμοποιώντας ένα MPPT. Ένα MPPT (Maximum Power Point Tracker - Tracker Σημείου Μέγιστης Ισχύος) είναι ένας DC-DC μετατροπέας που αναγκάζει το φωτοβολταϊκό σύστημα να λειτουργεί με την ακριβή τάση στην οποία λαμβάνεται η μέγιστη τιμή της ισχύος. Όταν αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται για να φορτιστούν οι μπαταρίες μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση φόρτισης περισσότερο από 20%. Για το λόγο αυτό ένα MPPT υψηλής απόδοσης έχει εγκατασταθεί μεταξύ των ηλιακών πάνελ και των μπαταριών.

## 7.5. Αποτελέσματα δοκιμών

Το όχημα έχει δοκιμαστεί σε τρία διαφορετικά σενάρια για την αξιολόγηση των επιδόσεων του κάτω από διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Το πρώτο περιείχε μετρήσεις με το όχημα σταθμευμένο σε παρκινγκ κατά τη διάρκεια 90 λεπτών, ο οποίος είναι ο τυπικός χρόνος για ψώνια. Το δεύτερο ήταν παρόμοιο διότι οι μετρήσεις λαμβάνονται με το αυτοκίνητο παρκαρισμένο στο ίδιο σημείο, αλλά για 8 συνεχείς ώρες. Με αυτόν τον τρόπο προσομοιώνεται μια κανονική εργάσιμη ημέρα και το όχημα εκτίθεται σε μεταβλητή ακτινοβολία. Το τρίτο τεστ προσομοίωσε μια τυπική διαδρομή προς την εργασία, όπου η αύξηση της αυτονομίας ήταν προσεκτικά μετρημένη.

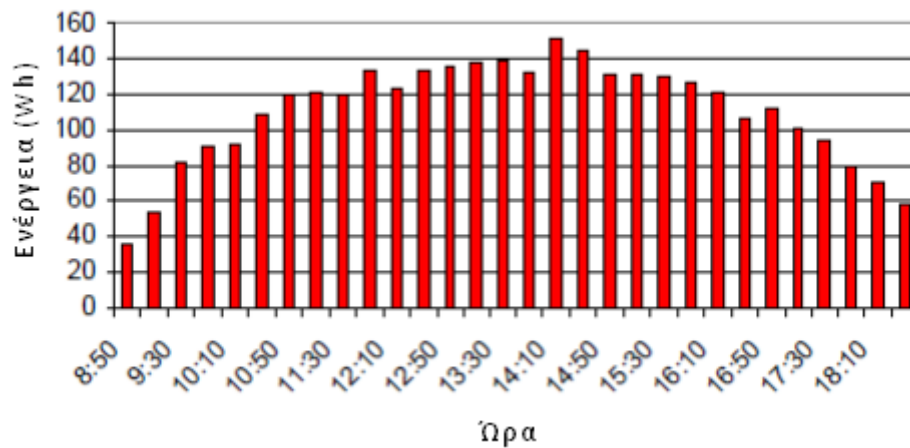
Στο πρώτο σενάριο, το ηλιακό πάνελ έδειξε υπερβολική θερμοκρασία λειτουργίας, όπου κάποια κύτταρα υπερέβησαν τους  $58^{\circ}\text{C}$ , γεγονός που συνεπάγεται τη μείωση της ισχύος εξόδου. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής, η μέση ισχύς εξόδου ήταν κοντά στα 400 W, με μέση ηλιακή ακτινοβολία  $990\text{ W/m}^2$ , πράγμα που σημαίνει ότι η αποδοτικότητα του συλλέκτη μειώθηκε κατά 9%, κυρίως λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και της μείωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Σε αυτό το χρονικό διάστημα οι μπαταρίες έλαβαν συνολική ενέργεια 0,61 kWh, η οποία είναι αρκετή για να κινήσει το όχημα περίπου 2,5 χιλιόμετρα. Σύμφωνα με στατιστικές των ΗΠΑ η μέση απόσταση είναι περίπου 15 χιλιόμετρα (30 χιλιόμετρα και για τις δύο κατευθύνσεις), που σημαίνει ότι οι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να αυξήσουν την αυτονομία τουλάχιστον κατά 8,5%. Αν οι συλλέκτες είχαν δώσει πλήρη ισχύ, η συνολική συσσωρευμένη ενέργεια θα μπορούσε να φτάσει τις 0,93 kWh, ώστε να κινηθεί το όχημα 3,8 χιλιόμετρα (12,9% αύξηση σε αυτονομία).

Το όχημα έχει δοκιμαστεί στην πόλη του Σαντιάγκο της Χιλής, όπου η ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια των μηνών Νοεμβρίου και Δεκεμβρίου μεταξύ 9:30-17:30 είναι περίπου  $6,7\text{ kWh/m}^2$ . Κατά τη διάρκεια των δοκιμών στο δεύτερο σενάριο, το φωτοβολταϊκό σύστημα ήταν σε θέση να παράγει 2,9 kWh από τις 30 kWh που ήταν διαθέσιμες, πράγμα που σημαίνει ότι τα πάνελ λειτουργούν με απόδοση περίπου 10% (κατά τη διάρκεια της 8ωρης έκθεσης). Ωστόσο, αυτή η τιμή είναι μόνο ένας ημερήσιος μέσος όρος, επειδή η απόδοση κυμαίνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας όπως προκύπτει από το διάγραμμα 18.



**Διάγραμμα 18: Στιγμαία απόδοση κυττάρων**

Σε ψυχρότερες ώρες της ημέρας η απόδοση είναι καλύτερη από ό, τι στις θερμότερες ώρες, δείχνοντας τις αρνητικές επιπτώσεις που έχουν οι υψηλές θερμοκρασίες στην απόδοση των ηλιακών κυψελών. Ωστόσο, η ενέργεια που παράγεται από τις ηλιακές συστοιχίες δεν μπορεί να παραμεληθεί, γιατί είναι αρκετή για να κινηθεί το όχημα για περισσότερα από 12 χιλιόμετρα. Αυτή η απόσταση είναι σχεδόν η μισή των 30 χιλιομέτρων που απαιτούνται για τη μετακίνηση στην εργασία (και προς τις δύο κατευθύνσεις) που απαιτούνται για τις ΗΠΑ, πράγμα που σημαίνει ότι περίπου το 40% της συνολικής ενέργειας μπορεί να αυτοπαράγεται, μειώνοντας το κόστος της ενέργειας κατά το ίδιο ποσοστό. Οι ημέρες που επιλέχθηκαν για τις δοκιμές αυτές ήταν πολύ παρόμοιες και οι καμπύλες φόρτισης που προέκυψαν είχαν παρόμοιες γωνίες και ελάχιστες διαφορές μεταξύ μιας ημέρας και μιας άλλης. Όλα αυτά δείχνουν ότι η χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας είναι προβλέψιμη και εξαρτάται μόνο από τις καιρικές συνθήκες. Ωστόσο, χρησιμοποιώντας το μοντέλο των δύο διόδων υπάρχει προβλεψιμότητα για οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες. Κατά τη διάρκεια μιας συνηθισμένης ημέρας το σημείο αιχμής της ηλιακής ακτινοβολίας είναι κοντά στο ηλιακό ζενίθ που συμβαίνει γύρω στις 13:00. Σε αυτό το σημείο η ενέργεια που ρέει από τα πάνελ προς τις μπαταρίες βρίσκεται στο αποκορύφωμά της, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Από τις 11:00 μέχρι 16:00 η ροή ενέργειας τείνει να μένει κοντά στις 130 Wh κάθε 20 λεπτά, δείχνοντας ότι αυτή η ροή παραμένει κοντά στο σημείο κορεσμού του κύτταρου ανεξάρτητα από το επίπεδο ακτινοβολίας που ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των αναφερόμενων ωρών, όπως προκύπτει από το διάγραμμα 19.



**Διάγραμμα 19: Ωριαία ροή της ενέργειας**

Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν κατά το τρίτο σενάριο προσομοίωναν τη λειτουργία του οχήματος μέσω των οδών προς την εργασία σε μια διαδρομή 20 χιλιομέτρων. Σε αυτή την περίπτωση, ο αέρας που ρέει γύρω από τα φωτοβολταϊκά πάνελ βελτιώνει την απαγωγή της θερμότητας, με αποτέλεσμα να αναμένεται μια αύξηση στην ενέργεια. Κάθε δοκιμή διήρκησε μία ώρα και κατά τη διάρκεια αυτής της ώρας η ισχύς εξόδου ήταν κοντά στο 555 W, πράγμα που σημαίνει ότι η καλύτερη απαγωγή της θερμότητας αύξησε την ισχύ και τη συσσώρευση ενέργειας κατά 39%. Κατά την αξιολόγηση της απόδοσης μετρήθηκε επίσης η παραγόμενη ενέργεια με τις μπαταρίες πλήρως και κατά το ήμισυ φορτισμένες. Όταν οι δοκιμές ξεκίνησαν με τις μπαταρίες φορτισμένες κατά το ήμισυ, το επίπεδο συσσώρευσης ενέργειας αυξήθηκε 3,2%, το οποίο σημαίνει ότι σε σύγκριση με τις στατικές δοκιμές ήταν μεγαλύτερο κατά 43%. Όταν οι μπαταρίες είναι πλήρως φορτισμένες η αντίστασή του είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι όταν είναι κατά το ήμισυ φορτισμένες. Τότε υπάρχουν λιγότερες απώλειες κατά τη διάρκεια της διαδικασίας φόρτισης που εξηγεί γιατί το επίπεδο συσσώρευσης ενέργειας είναι μεγαλύτερο με αποφορτισμένες μπαταρίες. Η βελτίωση στην απόδοση αυξάνει σημαντικά την αυτονομία, η οποία δίνει 2,6 χιλιόμετρα στην περίπτωση πλήρως φορτισμένων μπαταριών και 2,8 χιλιόμετρα με τις μπαταρίες φορτισμένες κατά το ήμισυ. Κατά τη διάρκεια αυτών των δοκιμών τα ηλιακά κύτταρα λειτουργούσαν με απόδοση κοντά στο 12,5%, το οποίο είναι πολύ καλό, λαμβάνοντας υπόψη το φτωχό επίπεδο απαγωγής της θερμότητας



από τους ηλιακούς συλλέκτες και την ηλιακή αντανάκλαση που προκαλείται από το προστατευτικό ακρυλικό (6 -10%).

Το φωτοβολταϊκό σύστημα συνδέεται με τις μπαταρίες μέσω του MPPT για να βελτιώσει τη ροή της ενέργειας. Κατά τη διάρκεια όλων των δοκιμών ελέγχου, η αποδοτικότητα του MPPT επίσης μετρήθηκε. Αυτή η συσκευή σήκωσε τη φωτοβολταϊκή τάση (75 V έως και 150 V) των μπαταριών με μία σχεδόν 99% (πρακτικά) μετατροπή της ενέργειας. Επίσης προστατεύει τα κύτταρα από τα ανάστροφα ρεύματα από τις μπαταρίες προς τους ηλιακούς συλλέκτες σε σκιασμένες περιόδους (νύχτα και υπόγειοι χώροι στάθμευσης) που θα κατέστρεφαν τους ηλιακούς συλλέκτες άμεσα. Επίσης, επιβάλλει στους ηλιακούς συλλέκτες να δουλεύουν στο κορυφαίο σημείο ισχύος τους (σύμφωνα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες), το οποία αυξάνει την απόδοση των φωτοβολταϊκών. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών στο τρίτο σενάριο θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι η ισχύς από τα ηλιακά πάνελ ήταν ελαφρώς λιγότερη με τις μπαταρίες μισοφορτισμένες απ' ότι όταν ήταν πλήρως φορτισμένες. Ωστόσο, η συσσωρευμένη ενέργεια ήταν μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια των μισοφορτισμένων μπαταριών, αποδεικνύοντας ότι το MPPT εντόπισε αυτή την κατάσταση και ανάγκασε τα ηλιακά πάνελ να δώσουν περισσότερο ρεύμα χαμηλώνοντας τη τάση (που συνεπάγεται λιγότερη ισχύ) και αυξάνοντας έτσι την Ah χωρητικότητα. Λαμβάνοντας αυτά υπόψη, αυτού του είδους οι διατάξεις συνίστανται ιδιαίτερα για τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

## **7.6. Περιβαλλοντικές συνθήκες**

Η απαγωγή θερμότητας έχει ειπωθεί ότι είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για τη χαμηλή απόδοση των ηλιακών κυψελών. Ο άνεμος περνώντας γύρω από τους ηλιακούς συλλέκτες κατά τη διάρκεια των δοκιμών που διεξάγονται στο τρίτο σενάριο έδειξε ότι η καλή απαγωγή της θερμότητας μπορεί να βελτιώσει την απόδοση των κυττάρων σε ποσοστό περίπου 40%. Οι θερμοκρασίες που παρατίθενται παραπάνω είναι μέσοι όροι των ατομικών θερμοκρασιών των κυττάρων, όπου κάποια φτάσανε τιμές πάνω από 58 ° C. Όταν τα κύτταρα υπερθερμαίνονται έχουν την τάση να αυξάνουν την εσωτερική αντίστασή τους μέχρι να είναι πλήρως κορεσμένα και να μη διέρχεται ρεύμα μέσω αυτών. Αυτό συμβαίνει,

λόγω του μεγάλου αριθμού των κυττάρων που συνδέονται σε σειρά, όταν ένας από αυτά υπερθερμαίνεται (κοντά στο σημείο κορεσμού) το συνολικό ρεύμα του συστήματος περιορίζεται στο ρεύμα, που το κελί είναι σε θέση να διατηρεί, μειώνοντας την ισχύ εξόδου των συστημάτων. Εν μέρει το φαινόμενο αυτό εξηγεί τη χαμηλή ισχύ εξόδου που λαμβάνεται. Βέβαια δεν μπορεί να αρνηθεί κανείς ότι μία καλύτερη απαγωγή της θερμότητας θα είχε βοηθήσει. Ωστόσο ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες αυξάνουν την απαγωγή της θερμότητας και την απόδοση των κυττάρων. Από τα αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών, θα μπορούσαμε να εκτιμήσουμε ότι η απόδοση αυξήθηκε από 4% έως 10% με την παρουσία ευνοϊκών καιρικών συνθηκών, ηλιοφάνεια, χαμηλές θερμοκρασίες, χαμηλό άνεμο και υψηλή υγρασία.

## **7.7. Συμβολή της ηλιακής ενέργειας σε μικρά EV**

### **7.7.1. Γενικές παράμετροι του οχήματος**

Λόγω της περιορισμένης ενέργειας που παρέχεται κατά την ημέρα από την ηλιακή ακτινοβολία, είναι απαραίτητο να μεγιστοποιηθεί η απόδοση του οχήματος. Για να γίνει αυτό, το όχημα θεωρείται ότι πρέπει να είναι μικρό, αεροδυναμικό, ελαφρύ, με σχετικά χαμηλή επιτάχυνση και μέγιστη ταχύτητα. Για το σκοπό αυτό, θα χρησιμοποιηθεί όχημα δύο ατόμων με μικρό κορμό.

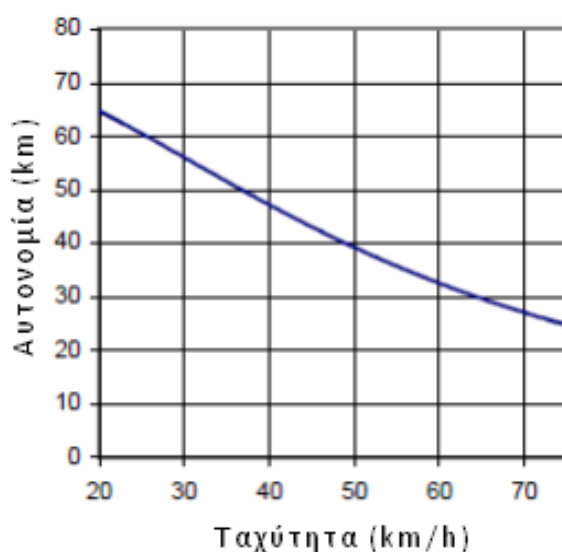
Τα περισσότερα μικρού μεγέθους, υψηλής απόδοσης ηλεκτρικά οχήματα είναι πολύ ελαφριά. Για παράδειγμα, το Twike έχει μάζα 220-250 κιλά, μαζί με τις μπαταρίες. Δεδομένου ότι είναι δύσκολο, επικίνδυνο και δαπανηρό να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί ένα πρακτικό αυτοκίνητο με μικρότερο βάρος, θα θεωρηθεί όχημα 330 κιλών, χωρίς μπαταρίες. Στην πράξη, στα ηλεκτρικά οχήματα οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος έχουν μάζα τουλάχιστον 30% του συνόλου της μάζας του οχήματος. Αυτός ο κανόνας μπορεί να εφαρμοστεί σε μικρού μεγέθους οχήματα. Στην περίπτωση αυτή, θεωρώντας 100 κιλά μπαταριών, η συνολική μάζα του οχήματος πρέπει να είναι περίπου 430 κιλά. Αν δύο άτομα 75 κιλών ήταν επίσης στο όχημα, η συνολική μάζα θα είναι περίπου 580 κιλά. Το όχημα πρέπει να είναι σε θέση να ανέβει σε μια πλαγιά κλίσης 20% με ταχύτητα 9 km/h μεταφέροντας δύο άτομα και

να φτάσει μέγιστη ταχύτητα 70 km/h σε πεδιάδες. Λαμβάνοντας υπόψη 92% απόδοση του μηχανισμού μηχανικής μετάδοσης, την κύλιση και την αντίσταση κύλισης, η ισχύς που απαιτείται για να μετακινηθεί το αυτοκίνητο με τα αναφερθέντα κριτήρια είναι περίπου 7 kW (ονομαστική).

Χρησιμοποιώντας τα προηγούμενα στοιχεία, είναι δυνατό να καθοριστεί μια εξίσωση για την αναμενόμενη αυτονομία σε απόσταση R του οχήματος σε έναν επίπεδο, ασφαλτοστρωμένο αυτοκινητόδρομο ως συνάρτηση της ταχύτητας, της αεροδυναμικής αντίστασης ( $F_d$ ), της αντίστασης κύλισης ( $F_r$ ) και της χωρητικότητας της μπαταρίας. Η ακόλουθη εξίσωση δε θεωρεί τη συμβολή των ηλιακών συσσωρευτών στην ενέργεια του οχήματος:

$$R = \eta \cdot \frac{E_{\text{batt}}}{F_r + F_d} \quad (6)$$

Η τιμή της μπορεί να υπολογιστεί ως το γινόμενο της απόδοσης του κάθε συστατικού των μπαταριών, των μετατροπέων, του κινητήρα και του συστήματος μετάδοσης. Αν και η απόδοση εξαρτάται από τις συνθήκες χρήσης, είναι δυνατό να καθοριστεί αυτή η τιμή γύρω στο 75%. Το ακόλουθο διάγραμμα 20 δείχνει την απόσταση που μπορεί να διανύσει το EV ως συνάρτηση της ταχύτητας, λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους που καθορίστηκαν.



Διάγραμμα 20: Απόσταση ως συνάρτηση της ταχύτητας σε ένα μικρό EV

Όπως φαίνεται στο προηγούμενο διάγραμμα, η θεωρητική απόσταση είναι αρκετά υψηλή για ένα περιφερειακών μεταφορών προσανατολισμένο όχημα, αν θεωρήσουμε ότι περιέχονται στη διαδρομή του σύντομα ταξίδια και μεγάλες χρονικές περίοδοι για επαναφόρτιση.

### 7.7.2. Συμβολή της ηλιακής ενέργειας σε ένα μικρού μεγέθους EV

Η ενέργεια που απαιτείται από το EV για τη λειτουργία εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητά του. Για χαμηλές ή μεσαίες ταχύτητες, το EV θα μπορούσε να είναι σε θέση να λειτουργεί σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις με χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις, λόγω του μεγέθους του και του αποτελεσματικού σχεδιασμού. Αυτό καθιστά δυνατή την ηλιακή ενέργεια να έχει σημαντική συμβολή στη διαθέσιμη ενέργεια του οχήματος, τη βελτίωση της αυτονομίας και τη μείωση του κόστους λειτουργίας.

Για καλύτερη απόδοση, το όχημα πρέπει να έχει ένα κύριο ηλιακό πάνελ στην οροφή και ένα δευτερεύον, τηλεσκοπικό πάνελ κάτω από το κύριο πάνελ. Όταν το όχημα είναι σε κίνηση, μόνο το κύριο ηλιακό πάνελ θα παράγει ενέργεια. Όταν είναι σταθμευμένο, το τηλεσκοπικό πάνελ θα πρέπει να αναπτυχθεί πάνω στο παρμπρίζ χρησιμοποιώντας ένα σιδηροδρομικό σύστημα, συλλέγοντας έτσι περισσότερη ηλιακή ενέργεια. Αν ο μηχανικός σχεδιασμός είναι επαρκής και το πάνελ είναι τοποθετημένο σε μια πλατφόρμα πάνω από την οροφή, η επιφάνειά του θα μπορούσε να είναι  $1,82 \text{ m}^2$  (1,3 m πλάτος και 1,4 m μήκος), αφήνοντας αρκετό χώρο για ένα σημαντικό παρμπρίζ. Το τηλεσκοπικό πάνελ θα μπορούσε να έχει το μισό μήκος του κύριου πάνελ και το ίδιο πλάτος, οπότε η επιφάνειά του θα είναι  $0,91 \text{ m}^2$ . Και τα δύο πάνελ ανεπτυγμένα έχουν συνολική επιφάνεια  $2,73 \text{ m}^2$ .

Χρησιμοποιώντας τα πρακτικά στοιχεία που συλλέχθηκαν στο δεύτερο σενάριο, είναι δυνατόν να υπολογιστεί το ποσό της ενέργειας που συλλέγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα σε μία ημέρα με χαμηλή ηλιοφάνεια στην Calama, βόρεια της Χιλής ( $I_H = 4 \text{ kWh/m}^2$ ). Αγνοώντας τις απώλειες φόρτισης (υποθέτοντας αργή φόρτιση), η συνολική ενέργεια που συλλέγεται (WR), από το πάνελ της οροφής είναι:

$$W_R = \eta \cdot I_H \cdot A = 0.10 \cdot 4 \cdot 2.73 = 1.1 \text{ kWh} \quad (7)$$

Το ποσό αυτό της ενέργειας είναι μόνο λίγο περισσότερο από το ένα τρίτο της διαθέσιμης χωρητικότητας της μπαταρίας. Αν το EV είναι σταθμευμένο με το τηλεσκοπικό πίνακα αναπτυγμένο κατά  $\frac{3}{4}$  των ωρών ηλιοφάνειας, η συνολική ενέργεια που συλλέγεται από τα πάνελ σε μια μέρα με χαμηλή ηλιοφάνεια θα είναι περίπου 0,825 kWh, η οποία μόλις και μετά βίας αντιπροσωπεύει το 29% της διαθέσιμης χωρητικότητας της μπαταρίας. Σε ημέρα με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία (7,8 kWh/m<sup>2</sup>/day), αυτός ο αριθμός μπορεί να διπλασιαστεί. Στις καλύτερες συνθήκες, για ένα EV που φεύγει από το σπίτι νωρίς το πρωί και φτάνει αργά το βράδυ, η συνολική αυτονομία μπορεί να αυξηθεί τουλάχιστον 70% θεωρώντας ότι οι ηλιακοί συλλέκτες λειτουργούν πιο αποτελεσματικά με το όχημα σε κίνηση. Παρά το γεγονός ότι η μείωση του κόστους είναι ελάχιστη, το πιο σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι το όχημα ταξιδεύει με δική του φορητή ηλιακή γεννήτρια, η οποία είναι σε θέση να παρέχει στο EV ένα σημαντικό ποσό ενέργειας όπου και όποτε απαιτείται.

Τα παραπάνω στοιχεία μπορεί να αυξηθούν σημαντικά, εάν ένα καλό σύστημα μεταφοράς θερμότητας περιλαμβάνεται στα φωτοβολταϊκά πάνελ, οπότε μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση μέχρι και 40%. Ωστόσο, με το σύστημα ως έχει, η αυτονομία ενός μικρού EV μπορεί να αυξηθεί σε σχεδόν 60%, το οποίο είναι αρκετό για να δικαιολογήσει τη χρήση αυτού του είδους της τεχνολογίας.

## **7.8. Δυναμική της ηλιακής ενέργειας**

Για να μεγιστοποιηθεί η απόδοση του οχήματος επιλέγεται ένα ηλιόλουστο, προβλέψιμο περιβάλλον με υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του έτους. Για το σκοπό αυτό, η περιοχή πρέπει να είναι κατά προτίμηση μια έρημος κοντά στον ισημερινό με μικρές πιθανότητες συννεφιάς. Βρισκόμενο στη Χιλή, το ξενοδοχείο Atacama Desert είναι το πιο άνυδρο μέρος στον κόσμο. Δε βρέχει σχεδόν ποτέ εκεί, και οι ουρανοί είναι χωρίς σύννεφα κατά το 98% του έτους. Η πόλη Calama η οποία είναι κατάλληλη για τη λειτουργία των φωτοβολταϊκά βοηθούμενων οχημάτων, λόγω των μικρών κτιρίων και της έλλειψης δέντρων, που εμποδίζουν τις σκιάσεις. Ο ακόλουθος πίνακας 11 παρουσιάζει το επίπεδο της ηλιακής ακτινοβολίας

στην Calama και το Santiago κατά τη διάρκεια ενός μέσου όρου 10 χρόνων (kWh/m<sup>2</sup>/day):

10ετής μέσος όρος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιον	Ιολ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεν	Ετήσιος μέσος όρος
Calama	6,54	5,66	4,99	3,71	2,63	2,19	2,46	3,35	4,24	5,19	5,92	6,70	4,46
Santiago	7,23	6,41	5,85	5,00	4,24	3,76	3,98	4,69	5,73	6,57	6,95	7,32	5,64

**Πίνακας 11: Μηνιαίο επίπεδο ηλιακής ακτινοβολίας**

Από τον πίνακα φαίνεται ότι στην Calama η ηλιακή ακτινοβολία είναι 26% μεγαλύτερη από ότι στο Santiago, όπου το όχημα έχει δοκιμαστεί. Έτσι, τα στοιχεία που έχουν προηγουμένως ληφθεί μπορούν να αυξηθούν με παρόμοιο αναλογία, αν το όχημα επρόκειτο να δοκιμαστεί στην Calama. Ο πίνακας δείχνει επίσης ότι το επίπεδο ακτινοβολίας είναι πιο σταθερό σε αυτή την πόλη από ότι στο Santiago, οπότε αναμένεται καλύτερη απόδοση από το φωτοβολταϊκό σύστημα. Όπως προαναφέρθηκε, ο πίνακας δείχνει ένα 10ετή μέσο ετήσιο όρο για το επίπεδο ακτινοβολίας. Ωστόσο σήμερα μετρήσεις δείχνουν ότι οι αριθμοί αυτοί έχουν αυξηθεί 18%, λόγω της αύξησης της τρύπας του όζοντος.

## **7.9. Συμπεράσματα εφαρμογής του πρωτοτύπου**

Παρουσιάστηκε ότι η φωτοβολταϊκή τεχνολογία μπορεί να εφαρμοστεί για να βοηθήσει τα συμβατικά και μικρού μεγέθους EV. Η αύξηση της αυτονομίας των οχημάτων είναι αρκετά καλή για να δικαιολογήσει τη χρήση της. Σε πολύ στατικές συνθήκες φόρτισης η ενέργεια που παράγεται από τα ηλιακά κύτταρα δεν μπορεί να αγνοηθεί και είναι εξαιρετικά χρήσιμη να αυξηθεί η αυτονομία ή να μειωθεί το ενεργειακό κόστος. Ωστόσο, σε αυτές τις περιπτώσεις ειδική προσοχή πρέπει να ληφθεί για την απαγωγή της θερμότητας από τα κύτταρα, επειδή τείνει να περιορίσει τις επιδόσεις σημαντικά. Η αύξηση στην αυτονομία εξαρτάται από την ενεργειακή χρήση του οχήματος. Σε μικρά, ελαφριά EV η αυτονομία αυξάνεται σημαντικά, όμως στα βαρέα φορτηγά οχήματα θα παρατηρηθούν μικρές ως καθόλου βελτιώσεις. Εκτός από την ηλιακή ακτινοβολία (την οποία δεν ελέγχουμε), η συσσώρευση θερμότητας είναι η πιο επιβλαβής μεταβλητή στην ηλιακή απόδοση των πάνελ, και μειώνει την τελευταία περισσότερο από 40%, όταν ένα και μόνο κύτταρο υπερβαίνει τους 60°C.

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες παίζουν σημαντικό ρόλο στη μεταφορά θερμότητας. Οι καλές συνθήκες συμβάλουν στην απαγωγή της θερμότητας, ενώ ελλιπείς συνθήκες μειώνουν την απόδοση. Όπως η θερμότητα, έτσι και η διαύγεια είναι πολύ σημαντική για τη βελτίωση των λειτουργιών των κυττάρων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, χρησιμοποιήθηκε ένα 95% διαφανές ακρυλικό για να προστατεύσει τα κύτταρα από τη σκόνη και άλλους παράγοντες. Το πρόβλημα ήταν ότι το σύστημα μείωσε τη μέγιστη απόδοση από 15% σε 14,2%. Για μοντέλο συμπεριφοράς των κυττάρων σε διαφορετικές θερμοκρασίες και συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας, το μοντέλο των δύο δίοδων είναι εξαιρετικά χρήσιμο και άξιο εμπιστοσύνης.

### **7.10. Εμπορική εφαρμογή**

Η Solar Electrical Vehicles (SEV) Ιδρύθηκε από τον Greg Johanson, που έχει πάνω από 20 χρόνια εμπειρίας στον τομέα της ηλιακής βιομηχανίας ηλεκτρικών οχημάτων και είναι η αδελφή εταιρεία για το παλαιότερο και μεγαλύτερο ολοκληρωτή συστημάτων ηλιακής ενέργειας στη Νότια Καλιφόρνια, Solar Electrical Systems. Το σύστημα «Ηλιακό Ηλεκτρικό Όχημα» (Solar Electric Vehicle – SEV) έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ως ένα εύκολο στην εγκατάσταση (2 έως 3 ώρες) ολοκληρωμένο σύστημα με μία διαμορφωμένη χαμηλού προφίλ ηλιακή μονάδα, το συμπληρωματικό πακέτο μπαταριών και το σύστημα ελέγχου. Το σύστημα SEV παράγει ενέργεια από τον ήλιο και μετατρέπει αυτή την ενέργεια στην υψηλή τάση, η οποία χρησιμοποιείται για τη φόρτιση της συμπληρωματικής μπαταρίας και της μπαταρίας του υβριδικού οχήματος (Hybrid Vehicle – HV). Αυτό επιτρέπει στο υβριδικό όχημα να λειτουργεί με εκτεταμένη αυτονομία στην ηλεκτρική λειτουργία.



**Εικόνα 40: Toyota Prius**

Η εταιρεία ειδικεύεται στην προσθήκη μιας κυρτής ηλιακής στέγης σε υβριδικά αυτοκίνητα όπως το Toyota Prius (εικόνα 40), Highlander Hybrid και το υβριδικό Ford Escape. Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι ισχύος 200 έως 300 watt, και αυτή η δύναμη χρησιμοποιείται για να φορτιστεί μια συμπληρωματική μπαταρία. Με την ηλιακή οροφή, το Toyota Prius μπορεί να λειτουργήσει μέχρι και 20 μίλια ανά ημέρα σε ηλεκτρική λειτουργία, βελτιώνοντας έτσι την οικονομία καυσίμου έως και κατά 29% (ανάλογα με τις οδηγικές συνήθειες και τις συνθήκες). Το σύστημα κοστίζει 1500 - 3000 € και ο χρόνος απόσβεσης είναι 2-3 χρόνια.

Οι υψηλότερης χωρητικότητας μπαταρίες θα προσθέσουν άλλα 15 χιλιόμετρα οδήγησης χωρίς καύσιμο, λέει ο Greg Johanson, πρόεδρος της Solar Electrical Systems, προσθέτοντας ότι η εταιρεία εξετάζει επίσης τρόπους για να προσθέσει την τεχνολογία στα Toyota Highlanders και ηλεκτρικά Teslas. Η εταιρεία επίσης πειραματίζεται με την αύξηση της 212-watt μονάδα της σε μια μονάδα 320-watt.



## 8. ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΜΟΤΟΣΥΚΛΕΤΕΣ

Το κεφάλαιο αυτό είναι αφιερωμένο στην εφαρμογή Φ/Β σε μοτοσυκλέτες. Τα ηλιακά πάνελ της εικονιζόμενης μοτοσυκλέτας (εικόνα 41) εφευρέθηκαν από τον Tony Coiro. Μια 1978 Suzuki GS550E, αγοράστηκε για \$50, και έχει μεταμορφωθεί σε ηλιακή μοτοσυκλέτα. Η νέα ηλιακή μοτοσυκλέτα, που εφευρέθηκε από το φοιτητή του πανεπιστημίου Purdue, Tony Coiro, είναι κατάλληλη για χρήση στο δρόμο και λειτουργεί με 100% ηλιακή ενέργεια (ή εναλλακτικά με ηλεκτρική ενέργεια).



**Εικόνα 41: Ηλιακή μοτοσυκλέτα**

Με μόλις 2.500 δολάρια, εκ των υστέρων, τοποθετήθηκαν ηλιακοί συλλέκτες σε κάθε πλευρά της μοτοσυκλέτας. Οι συλλέκτες απορροφούν το φως του ήλιου και το μετατρέπουν σε ενέργεια που φορτίζει τις μπαταρίες οξέος της μηχανής. Όταν ο ήλιος δεν λάμπει, οι μπαταρίες μπορούν επίσης να επαναφορτιστούν με plug-in ηλεκτρικό ρεύμα.

Η ηλιακή μοτοσυκλέτα καλύπτει περίπου 40 χιλιόμετρα με μία μόνο φόρτιση. Μπορεί να ταξιδέψει με ταχύτητες μέχρι 70 χιλιόμετρα την ώρα. Προφανώς, αυτό την καθιστά ένα όχημα περιφερειακών μεταφορών, αντί για μία μεγάλης εμβέλειας μοτοσυκλέτα.

## 9. ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Το κεφάλαιο αυτό είναι αφιερωμένο στο πρόγραμμα «Καθαρές πόλεις», το οποίο είναι μια πρωτοβουλία για την ενθάρρυνση της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων στις υποδομές και τα οχήματα και προωθείται από την τοπική αυτοδιοίκηση και διάφορες επιχειρήσεις των Η.Π.Α.. Πρόκειται για μια συντονισμένη προσπάθεια για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις και την προώθηση της εφαρμογής της τεχνολογίας. Τα κύρια χαρακτηριστικά του προγράμματος είναι τα εξής :

- Αυξάνει την ευαισθητοποίηση του κοινού
- Παρέχει περισσότερες επιλογές καυσίμου
- Αναπτύσσει καθαρούς δρόμους
- Επεκτείνει τις υποδομές ανεφοδιασμού
- Προωθεί την οικονομία καυσίμου
- Διατηρεί τις Μαζικές Μεταφορές
- Προωθεί τα υβριδικά / ηλεκτρικά οχήματα

Click on Map to:  Recenter  Recenter and Zoom In  Recenter and Zoom Out

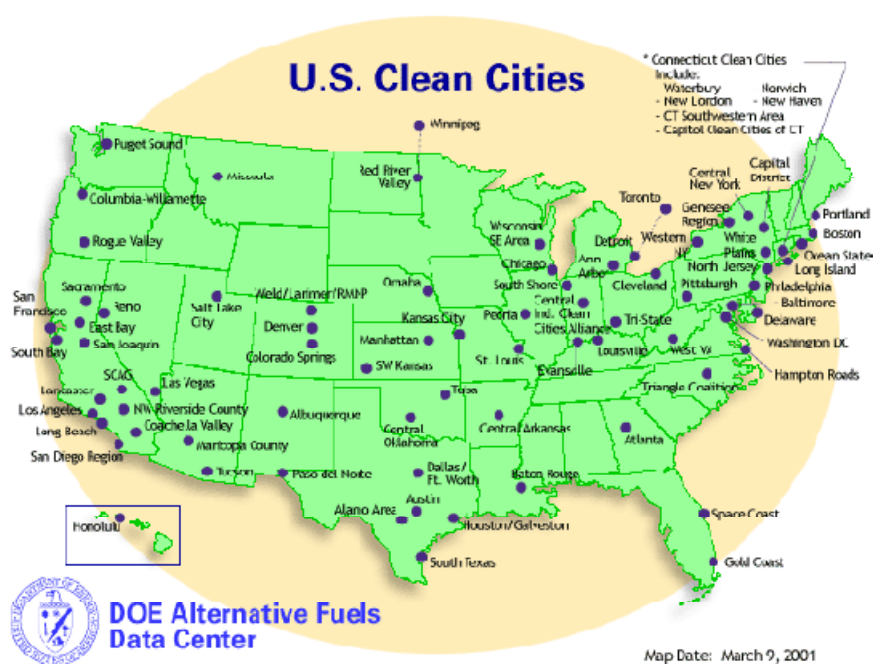
[Start a new map](#)  
[HELP \(pdf-617K\)](#)

Cities are represented by purple dots.  
 Stations are shown as red triangles with a number next to them.

Index	Distance	FUEL TYPE	STATION NAME	STREET ADDRESS	CITY	STATE	ZIP	STATION PHONE	TYPE OF ACCESS
<a href="#">1</a>	1.785	CNG	Natural Fields Corp./Stapleton Maintenance	4500 Wash St.	Denver	CO	80216	No Data	<a href="#">N</a>
<a href="#">?</a>									

Εικόνα 42: Εντοπιστής θέσεων σταθμών καυσίμου (φόρτισης)

Το SC3 Υποστηρίζει EVs, HEVs και Plug-in HEVs που τροφοδοτούνται από καθαρή ενέργεια. Το πρόγραμμα «Καθαρές πόλεις» περιλαμβάνει μέρη από μία περιοχή 9 κομητειών (εικόνα 43): Brevard, Indian River, Lake, Osceola, Okeechobee, Orange, Seminole, St Lucie and Volusia ([www.clean-cities.org](http://www.clean-cities.org)).



**Εικόνα 43: Περιοχές των Η.Π.Α. που συμμετέχουν στο πρόγραμμα «Καθαρές πόλεις»**

Στη συνέχεια παρατίθενται κάποιες εικόνες από τις σημαντικότερες προσπάθειες εφαρμογής του προαναφερθέντος προγράμματος.



**Εικόνα 44:** Ένα από τα φωτοβολταϊκά κτίρια που συμμετέχουν στο Πρόγραμμα «Million Solar Roofs» φορτίζει ένα ηλεκτρικό όχημα στην παραλία της Νέας Σμύρνης



**Εικόνα 45:** CityCar EV που φορτίζεται από φωτοβολταϊκή συστοιχία



**Εικόνα 46: ARPA DOD φορτιστής υβριδικού CNG ηλεκτρικού οχήματος**



**Εικόνα 47: Golf kart εγκατάσταση φωτοβολταϊκών για φόρτιση ηλεκτρικών καρτ στη Χαβάη**





**Εικόνα 48: Miles OR70 ηλεκτρικό όχημα σε δίκτυο συνδεδεμένων φωτοβολταϊκών φόρτισης σε υπόστεγο στάθμευσης στο MCB Camp Pendleton**



**Εικόνα 49: Υπόστεγο στάθμευσης αυτοκινήτων EV με 18 kW από πλέγμα Φ/Β για τη φόρτιση EV που βρίσκεται στο Κυβερνητικό Κέντρο του Ταλαχάσι (1996)**



**Εικόνα 50: Υπόστεγο στάθμευσης αυτοκινήτων EV με 20 kW από πλέγμα Φ/Β για τη φόρτιση EV που βρίσκεται στο Πανεπιστήμιο της Νότιας Florida (1991)**

## 10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή των Φ/Β συστημάτων σε οχήματα παρουσιάζει ιδιομορφίες λόγω της διαρκούς κίνησής τους και της περιορισμένης επιφάνειας που διαθέτουν με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατόν οι ηλιακοί συλλέκτες να αποδώσουν τη μέγιστη ενέργεια που υπό άλλες συνθήκες θα απέδιδαν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αντέχουν ένα μέρος του συνολικού φορτίου που απαιτείται για τη λειτουργία του οχήματος. Συνολικά όμως τα οφέλη που προκύπτουν είναι πολλαπλάσια και αποτελούν πλέον μία ιδανική λύση για τη μείωση του λειτουργικού κόστους του οχήματος, κόστος που διαρκώς θα μειώνεται όσο η τεχνολογία των Φ/Β εξελίσσεται και η ευρεία χρήση τους οδηγεί σε μείωση του κόστους κατασκευής.

Στην περίπτωση του ασθενοφόρου το Φ/Β σύστημα λειτουργεί σωστά, όχι μόνο με το βασικό ηλεκτρικό σύστημα του οχήματος, αλλά μπορεί και ολόκληρο το ημερήσιο απαιτούμενο φορτίο να παρέχεται από τον εναλλάκτη του οχήματος και το Φ/Β σύστημα. Με τον τρόπο αυτό, η αυτονομία και η λειτουργικότητα των ασθενοφόρων μπορεί να βελτιωθεί. Επιπλέον, εξαλείφεται το πρόβλημα εκκίνησης του οχήματος.

Η εφαρμογή σε σύστημα ψύξης μεταφορών έχει διάφορα πλεονεκτήματα. Η χρήση του λεπτού Φ/Β φιλμ επιτρέπει την αύξηση ή τη μεγιστοποίηση της κάλυψης πάνω από τις επιφάνειες του ρυμουλκού. Το Φ/Β φιλμ είναι αφαιρούμενο και εκ νέου τοποθετούμενο στο ρυμουλκούμενο χωρίς καμία απώλεια λειτουργικότητας του ρυμουλκούμενου. Η συνολική δυνατότητα ελέγχου του συστήματος βελτιώνεται σε σχέση με το συμβατικό σύστημα άμεσης κίνησης, καθώς οι μηχανικοί κινητήρες αντικαθίστανται από ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα.

Η τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών πάνω στην επιφάνεια των τρένων οδηγεί σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των συσσωρευτών. Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σημαίνει λιγότερο επικίνδυνα απόβλητα. Η ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορεί να έχει διάφορες χρήσεις. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα τρέιλερ και τις μηχανές, για τη φόρτιση των συσσωρευτών, για φωτισμό και κλιματισμό και μπορεί επίσης να συνδεθεί με τους εμπορευματικούς συρμούς για την επαναφόρτιση των συσσωρευτών, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για ηλεκτρικές κλειδαριές που χρησιμοποιούνται στην προστασία των μεταφερόμενων εμπορευμάτων.



Όταν οι συλλέκτες δεν τοποθετούνται μόνο πάνω στο τρένο αλλά και κατά μήκος της σιδηροδρομικής γραμμής υπάρχουν επιπρόσθετα πλεονεκτήματα καθώς η μεγαλύτερη επιφάνεια κάλυψης οδηγεί σε μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας. Στην περίπτωση της γραμμής Παρισιού-Άμστερνταμ οι συλλέκτες δε θα τροφοδοτούν μόνο τις υψηλής ταχύτητας αμαξοστοιχίες της σιδηροδρομικής γραμμής. Θα χρησιμοποιηθούν επίσης για την υποστήριξη των intercity τρένων και θα παρέχουν αρκετή ηλεκτρική ενέργεια για να καλύψει το ήμισυ των ενεργειακών αναγκών του κοντινού σιδηροδρομικού σταθμού της Αμβέρσας, ένα σημαντικό συγκοινωνιακό κόμβο της περιοχής. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται τροφοδοτεί απευθείας την υποδομή της σιδηροδρομικής γραμμής και θα χρησιμοποιηθεί για σήματα, σήμανση, καθώς και για άλλες ενεργοβόρες λειτουργίες της αμαξοστοιχίας.

Το ηλεκτρικό λεωφορείο που επαναφορτίζεται από 100% ηλιακή ενέργεια παρουσιάζει πλεονεκτήματα όπως είναι οι μπαταρίες μακράς διάρκειας, στοιχεία χαμηλής συντήρησης, ελάχιστη απαιτούμενη κατάρτιση για τους μηχανικούς, χρήση ενσωματωμένων ηλεκτρονικών για τις λειτουργίες φόρτισης, κόστος καυσίμων κατά 50% χαμηλότερο από ότι για ένα λεωφορείο ντίζελ.

Η Φ/Β τεχνολογία μπορεί να εφαρμοστεί για να βοηθήσει τα συμβατικά και μικρού μεγέθους EV. Σε πολύ στατικές συνθήκες φόρτισης η ενέργεια που παράγεται από τα ηλιακά κύτταρα δε μπορεί να αγνοηθεί και είναι εξαιρετικά χρήσιμη για την αύξηση της αυτονομίας και τη μείωση του ενεργειακού κόστους. Η αύξηση στην αυτονομία εξαρτάται από την ενεργειακή χρήση του οχήματος. Σε μικρά, ελαφριά EV η αυτονομία αυξάνεται σημαντικά, όμως στα βαρέα φορτηγά οχήματα θα παρατηρηθούν μικρές ως καθόλου βελτιώσεις.

Η μικρή ελεύθερη επιφάνεια σε μια μοτοσυκλέτα περιορίζει τα οφέλη της Φ/Β τεχνολογίας. Μία μοτοσυκλέτα με ενσωματωμένους ηλιακούς συλλέκτες καλύπτει περίπου 40 χιλιόμετρα με μία μόνο φόρτιση. Μπορεί να ταξιδέψει με ταχύτητες μέχρι 70 χιλιόμετρα την ώρα. Προφανώς, αυτό την καθιστά ένα όχημα περιφερειακών μεταφορών, αντί για μία μεγάλης εμβέλειας μοτοσυκλέτα.

Η ενσωμάτωση Φ/Β συστημάτων σε σταθμούς επαναφόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων έχει πολλαπλά οφέλη, καθώς παρέχονται περισσότερες επιλογές καυσίμου, διατηρούνται καθαροί οι δρόμοι, διατηρούνται οι μαζικές μεταφορές και προωθείται η οικονομία καυσίμου και τα υβριδικά / ηλεκτρικά οχήματα.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- *G. Almonacid, F. J. Munoz, J. de la Casa and J. D. Aguilar (2004):  
Integration of PV Systems on Health Emergency Vehicles. The FIVE Project*
- CARRIER CORPORATION, (2010). *SOLAR POWER ASSISTED REFRIGERATION SYSTEMS, TRANSPORT REFRIGETION SYSTEMS AND METHODS FOR SAME*
- *Battery Powered Electric Car, Using Photovoltaic Cells Assistance (2003):  
Juan Dixon, Alberto Zúñiga, Angel Abusleme and Daniel Soto*

### **ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ**

- TRENITALIA: <http://www.trenitalia.com>
- Enfinity: <http://www.enfinitycorp.com>
- Adelaide City Council: <http://www.adelaidecitycouncil.com/tindo>
- Solar Electrical Systems: <http://www.solarelectricalsystems.com>
- Clean Cities: <http://www.clean-cities.org>
- Tony Coiro: <http://solarpanelspower.net/solar-power/solar-bike-invented-by-purdue-university-student>
- [www.covertec.gr](http://www.covertec.gr)
- [www.greenenergia.gr](http://www.greenenergia.gr)
- [www.netrino.gr](http://www.netrino.gr)
- [www.solar-systems.gr](http://www.solar-systems.gr)
- [www.stegiorama.gr](http://www.stegiorama.gr)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

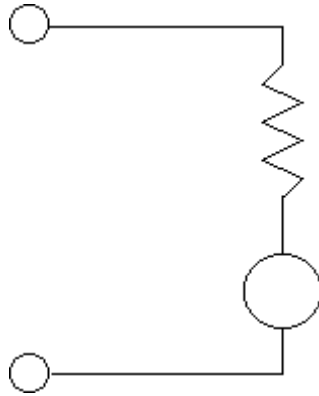
### *Συνδυάζοντας τον κινητήρα με το Φ/Β πάνελ*

#### *Μόνιμος Μαγνητικός Κινητήρας*

Ένας κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια. Ο Solar Sprint κινητήρας είναι αυτός που είναι γνωστός ως κινητήρας μόνιμου μαγνήτη συνεχούς ρεύματος (Permanent Magnet Direct Current – PMDC μmotor). Η λειτουργία του PMDC κινητήρα είναι πλήρως κατανοητή, και λαμβάνοντας υπόψη μερικές βασικές παραμέτρους σχετικά με το συγκεκριμένο κινητήρα, είναι δυνατόν να προβλεφθούν τα λειτουργικά του χαρακτηριστικά με αρκετή ακρίβεια. Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος δεν είναι υψηλής ποιότητας, με υψηλή μηχανική τριβή και πιθανότατα δε θα αντέξουν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επίσης, δεν υπάρχουν στοιχεία επιδόσεων διαθέσιμα γι' αυτούς. Το πρώτο πρόβλημα μπορεί να λυθεί μόνο με την αγορά ενός καλύτερου κινητήρα. Ωστόσο, τα στοιχεία απόδοσης μπορεί να ληφθούν από κάποιες αρκετά απλές μετρήσεις.

#### *Ο ιδανικός κινητήρας*

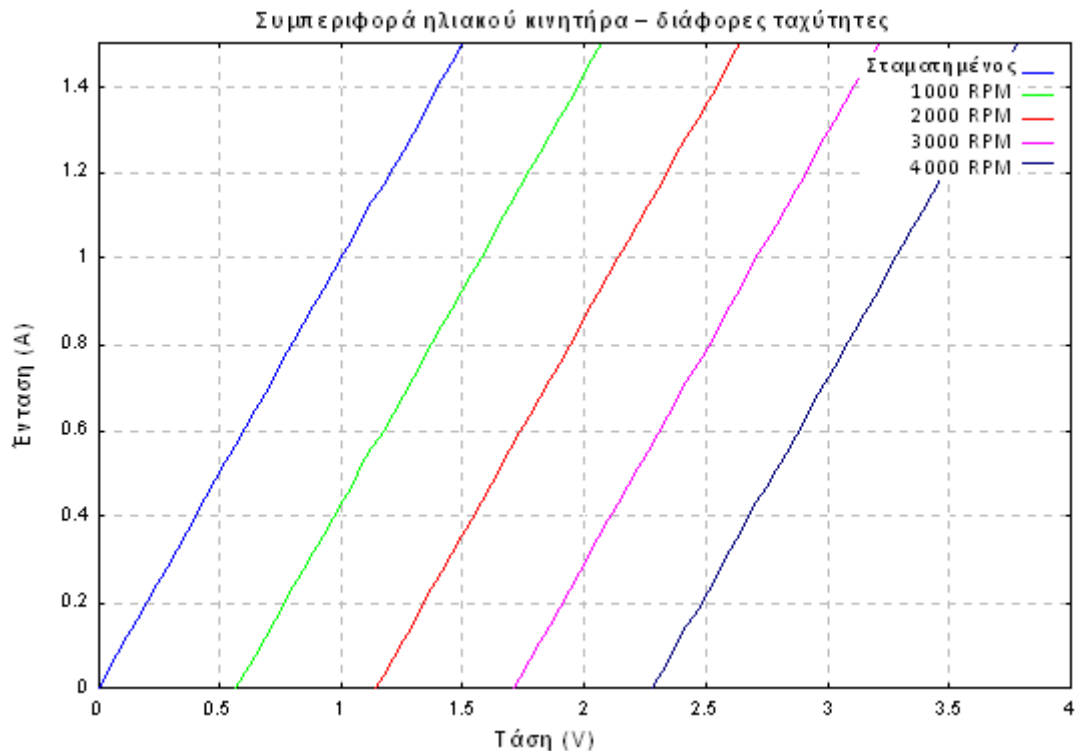
Ηλεκτρικά, ο ιδανικός κινητήρας μοιάζει με μια αντίσταση, σε σειρά με μια πηγή τάσης. Η αντίσταση αντιπροσωπεύει την αντίσταση των περιελίξεων του κινητήρα. Οι PMDC κινητήρες λειτουργούν ως γεννήτριες όποτε περιστρέφονται, είτε περιστρέφονται από μόνοι τους είτε όχι. Παράγουν μια τάση που είναι ανάλογη προς την ταχύτητά τους. Η πηγή τάσης αντιπροσωπεύει αυτήν την παραγόμενη τάση, η οποία είναι ανάλογη με την ταχύτητα του κινητήρα και ξεκινούν τη ροή του ρεύματος στον κινητήρα. Η τάση της γεννήτριας είναι ίση με τη σταθερά της γεννήτριας,  $K_g$  (σε βολτ ανά RPM), φορές την ταχύτητα του κινητήρα. Η τάση της γεννήτριας μέσα σε ένα κινητήρα είναι επίσης αυτό που ονομάζεται "back EMF".



Όταν το ρεύμα ρέει μέσω του κινητήρα PMDC, παράγεται ροπή στον άξονα του κινητήρα. Αυτή η ροπή είναι ίση με τη σταθερά ροπής,  $K_t$  (σε  $\text{Nm/A}$ ), φορές το ρεύμα κινητήρα. Με την αύξηση της ταχύτητας, το back EMF προκαλεί μειωμένη ροή ρεύματος (και επομένως μειώνει τη ροπή στρέψης).

Ένα όχι τόσο εκτιμώμενο γεγονός, είναι ότι η σταθερά γεννήτριας  $K_g$  και η σταθερά ροπής  $K_t$  είναι όντως το ίδιο. Αν και συχνά εκφράζονται σε διαφορετικές μονάδες και προσδιορίζονται χωριστά, εάν μετατραπούν σε συμβατές μονάδες, γίνεται ορατό ότι είναι το ίδιο. Έτσι, αν κάποιος μπορεί να μετρήσει τη μία, μία απλή μετατροπή μονάδων θα αποφέρει την άλλη.

Ένα ισοδύναμο κύκλωμα για τον κινητήρα ήταν το παραπάνω. Ακριβώς όπως σχεδιάσαμε μια καμπύλη  $I-V$  για το πάνελ φωτοβολταϊκών, μπορούμε να βγάλουμε μια για τον κινητήρα (που σχεδιάσες παραπάνω την  $I-V$ ??). Αυτό θα είναι ενδιαφέρον όταν συνδέουμε τον κινητήρα στο πάνελ φωτοβολταϊκών. Ο κινητήρας θα έχει μια μοναδική καμπύλη για κάθε αριθμό στροφών λειτουργίας. Αρκετά από αυτά εμφανίζονται στο παρακάτω γράφημα:



**Διάγραμμα 21: Συμπεριφορά ηλιακού κινητήρα-διάφορες ταχύτητες**

### Απώλειες ισχύος

Σε έναν ιδανικό κινητήρα, όλη η εφαρμοζόμενη ισχύς θα αποδοθεί στο φορτίο. Σε ένα πραγματικό κινητήρα, υπάρχουν πολλά μέρη που η ισχύς χάνεται. Μια σημαντική απώλεια είναι η ηλεκτρική αντίσταση των περιελίξεων του κινητήρα. Μπορεί να υπολογιστεί ως  $I^2 R$ . Επειδή το ρεύμα του κινητήρα είναι ανάλογο με τη ροπή που παράγεται από τον κινητήρα, οι απώλειες της αντίστασης είναι επίσης ανάλογες προς τη ροπή του κινητήρα.

Η δεύτερη μεγάλη απώλεια είναι η τριβή. Όπως και με τις απώλειες των περιελίξεων του κινητήρα, η τριβή μετατρέπει την ενέργεια σε θερμότητα. Η τριβή μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από πολλά συστατικά. Η «μόνιμη τριβή» πρέπει να ξεπεραστεί πριν ο κινητήρας ξεκινήσει. Η "τριβή λειτουργίας" είναι συνήθως λιγότερη και θεωρείται ως μια ροπή αντίστασης του στρεφόμενου κινητήρα. Είναι η ίδια σε όλες τις ταχύτητες κινητήρα. Θα αγνοήσουμε την τριβή έναρξης, καθώς συνήθως εφαρμόζεται αρκετά υψηλή τάση ώστε να ξεπεραστεί πολύ γρήγορα. Επειδή η ροπή έχει σχέση με το ρεύμα του κινητήρα από τη σταθερά ροπής, η ροπή τριβής θα εμφανίζεται ως ένα σταθερό ρεύμα λειτουργίας κατά την εκφόρτιση του κινητήρα.

Υπάρχουν άλλες πιθανές αιτίες για την απώλεια ισχύος στον κινητήρα. Σε ένα κινητήρα πυρήνα σιδήρου, αλλάζοντας τα μαγνητικά πεδία προκαλείται πραγματική τρέχουσα ροή στον πυρήνα σιδήρου (δίνη ρευμάτων). Αυτά τα ρεύματα οδηγούν στην απώλεια ενέργειας που αυξάνει με ταχύτητα κινητήρα.

Μια άλλη απώλεια πηγάζει από το γεγονός ότι η περιέλιξη έχει αυτεπαγωγή. Όταν το ρεύμα ρέει μέσα από ένα πηνίο, ενέργεια αποθηκεύεται στο μαγνητικό πεδίο. Όταν το ρεύμα διακόπτεται, αυτή η ενέργεια πρέπει να πάει κάπου, και δεν πάει πουθενά όπου να είναι ωφέλιμη! (Αυτή είναι η πηγή των σπινθήρων, για παράδειγμα). Αυτή η απώλεια ενέργειας αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας του κινητήρα. Υπάρχουν, τέλος, δυνάμεις τριβής που οφείλονται σε αεροδυναμικά φαινόμενα. Και αυτές οι απώλειες αυξάνονται με την αύξηση της ταχύτητας κινητήρα.

#### *Αποδοτικότητα*

Μας ενδιαφέρει η επίτευξη του μέγιστου ποσού της ισχύος στο φορτίο και θέλουμε να ελαχιστοποιηθεί η ισχύς που διαχέεται ως θερμότητα. Μπορούμε να εκφράσουμε την αποδοτικότητα ενός κινητήρα, ως την ισχύ εξόδου διαιρούμενη με την ισχύ εισόδου. Αν είμαστε σε θέση να μετρήσουμε τη ροπή εξόδου και την ταχύτητα λειτουργίας ενός κινητήρα, μπορούμε να υπολογίσουμε την ισχύ εξόδου του ως απλά  $T * S$ . Η ισχύς εισόδου είναι μόνο η εφαρμοζόμενη τάση επί την ένταση του ρεύματος.

Υπάρχει ένας ευκολότερος τρόπος εκτίμησης απόδοσης του κινητήρα από τη μέτρηση της ροπής εξόδου και της ταχύτητας. Αυτό μπορεί να γίνει με την εξέταση του ηλεκτρικού ρεύματος που δεν έχει χαθεί στην τριβή ή την αντίσταση στις περιελίξεις. Μας ενδιαφέρει το τμήμα του ρεύματος που αντιστοιχεί στη ροπή εξόδου, καθώς και το τμήμα της τάσης που δε χάνεται από την αντίσταση του κινητήρα.

Μετρώντας τον σε λειτουργία, αλλά εκφορτισμένο, κινητήρα θα αποκαλυφθεί ότι αντλεί ένα ρεύμα που είναι σχετικά ανεξάρτητο από την ταχύτητα. Αυτό το ρεύμα,  $I_f$ , αντιστοιχεί στην απώλεια τριβής του κινητήρα. Συνεπώς, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το ρεύμα που στην πραγματικότητα χρησιμοποιείται για να μετατρέψει το φορτίο είναι απλά

I - I<sub>f</sub>

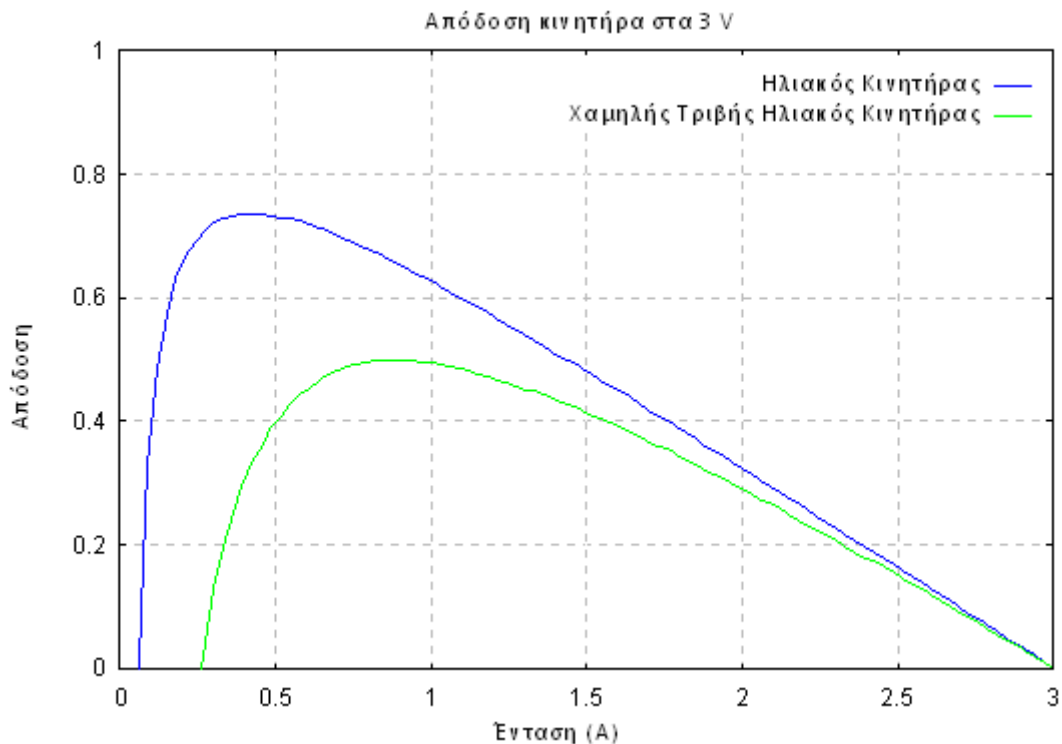
Η τάση που πράγματι εφαρμόζεται με τη σειρά της στο φορτίο είναι απλά

V - IR

Ως εκ τούτου, η απόδοση του κινητήρα μπορεί να υπολογιστεί ως

$$(I - I_f) * (V - IR) / IV$$

Η απόδοση του κινητήρα είναι η ισχύς εξόδου προς την ισχύ εισόδου. Το ακόλουθο γράφημα δείχνει την απόδοση ως συνάρτηση της ροπής για το Solar Sprint κινητήρα, αλλά και για ένα κινητήρα με παρόμοιο σχεδιασμό, αλλά με πολύ μικρότερη τριβή.



Διάγραμμα 22: Απόδοση κινητήρα στα 3 V

Το γράφημα δείχνει ότι ο κινητήρας έχει μέγιστη απόδοση μικρότερη από 50%. Η καμπύλη για την περίπτωση χαμηλής τριβής παρουσιάζει πολύ υψηλότερη απόδοση, δείχνοντας ότι οι τριβές του κινητήρα είναι ένα σημαντικό πρόβλημα. Ο οριζόντιος άξονας του σχήματος είναι η ένταση του ρεύματος. Σημειώστε ότι αυτό το ρεύμα έχει σχέση με ροπή, οπότε αυτό είναι επίσης μια γραφική παράσταση της απόδοσης σε σχέση με ροπή.

Ένα άλλο πράγμα είναι ότι, για μια συγκεκριμένη εφαρμοζόμενη τάση, η ταχύτητα και η ροπή είναι αλληλένδετες. Γράφοντας την εξίσωση τάσης για τον κινητήρα, παίρνουμε

$$V = KS + IR$$

Αναδιάταξη:

$$S = V / K - IR / K$$

Γνωρίζοντας ότι η ροπή είναι KI:

$$S = V / K - E & E / K ** 2$$

Έτσι, η ταχύτητα του κινητήρα είναι μέγιστη όταν η ροπή είναι ίση με τη ροπή τριβής. Αυτή είναι το "άνευ στροφών φορτίο". Η ταχύτητα μειώνεται γραμμικά με την αύξηση της ροπής μέχρι να φτάσει η κατάσταση σταθεροποίησης.

*Μέτρηση χαρακτηριστικών κινητήρα*

Η ευκολότερος παράμετρος του Solar Sprint κινητήρα για τη μέτρησή της είναι η ηλεκτρική αντίσταση. Αυτή μπορεί να μετρηθεί με ένα ωμόμετρο. Επειδή αυτός ο κινητήρας έχει μάλλον κακές περιελίξεις, είναι λίγο δύσκολο να προκύψουν αμέσως σαφή συμπεράσματα. Βοηθά αν τεθεί ο ηλεκτροκινητήρας σε λειτουργία για ένα διάστημα πριν τη μέτρηση των χαρακτηριστικών του. Με τα δείγματα που έχουσε δοκιμαστεί, μια αντίσταση κινητήρα περίπου 1 ohm μετρήθηκε.

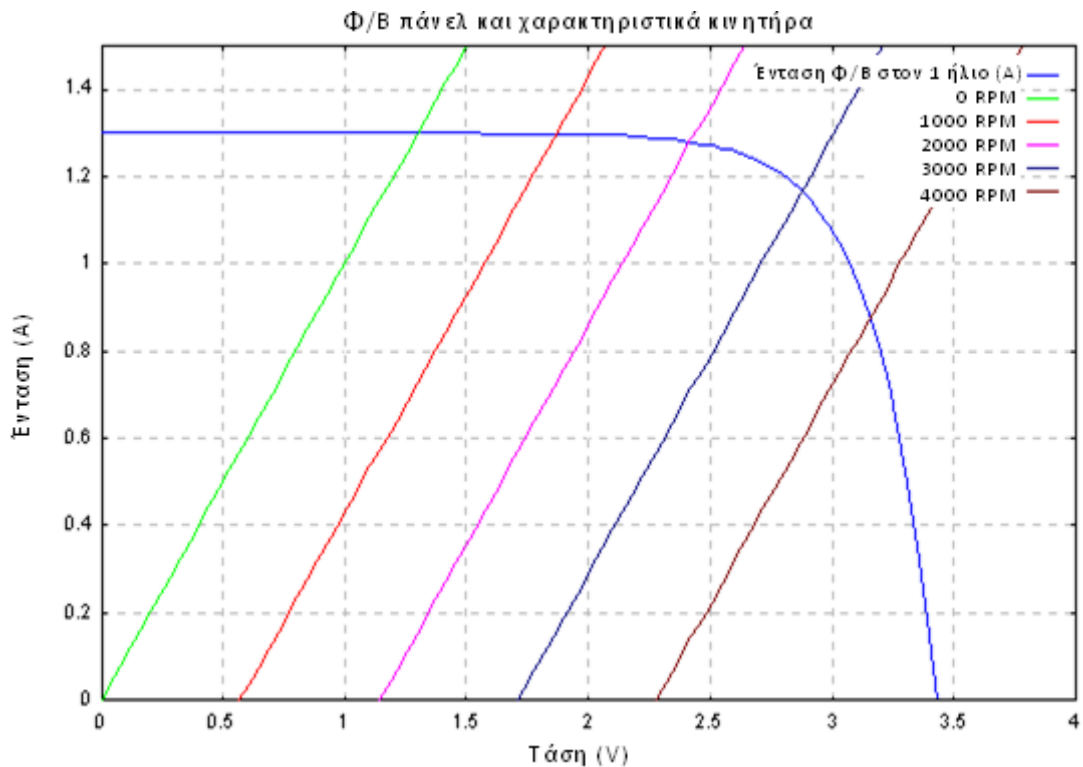


Δεύτερον, θέλουμε να γνωρίζουμε ποια είναι η σταθερά γεννήτριας (ή η σταθερά ροπής). Αυτό είναι λίγο πιο δύσκολο. Υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι προσέγγισης. Ο τρόπος που επιλέξαμε ήταν να δίνουμε στον κινητήρα διαφορετικές ταχύτητες και να μετρούμε την τάση που δημιουργήθηκε. Έτσι έχουμε ένα δεύτερο DC κινητήρα με ένα ενσωματωμένο ταχύμετρο, ο οποίος παράγει συχνότητα ανάλογη προς την ταχύτητά του. Η λειτουργία του Solar Sprint κινητήρα με διαφορετική ταχύτητα και η καταγραφή της τάσης που δημιουργείται, καθόρισε μία σταθερά κινητήρα 0,0054 volt-sec (ή περίπου 0,57 volts/1000RPM). Έτσι, συμπεραίνεται ότι η σταθερά ροπής είναι 0,0054 nt-m/amp.

Η τρίτη σημαντική σταθερά που πρέπει να μετρηθεί είναι η ροπή τριβής. Μπορούμε να μετρήσουμε τον τρέχων κινητήρα (όταν λειτουργεί), και όπως ήταν αναμενόμενο, προκύπτει ένα αρκετά σταθερό ρεύμα. Στο παράδειγμα με τον Solar Sprint κινητήρα, είναι περίπου 0,26 αμπέρ. Πολλαπλασιάζοντας με τη σταθερά ροπής καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η ροπή τριβής είναι 0,0014 nt-m.

#### *Ο Συνδυασμός*

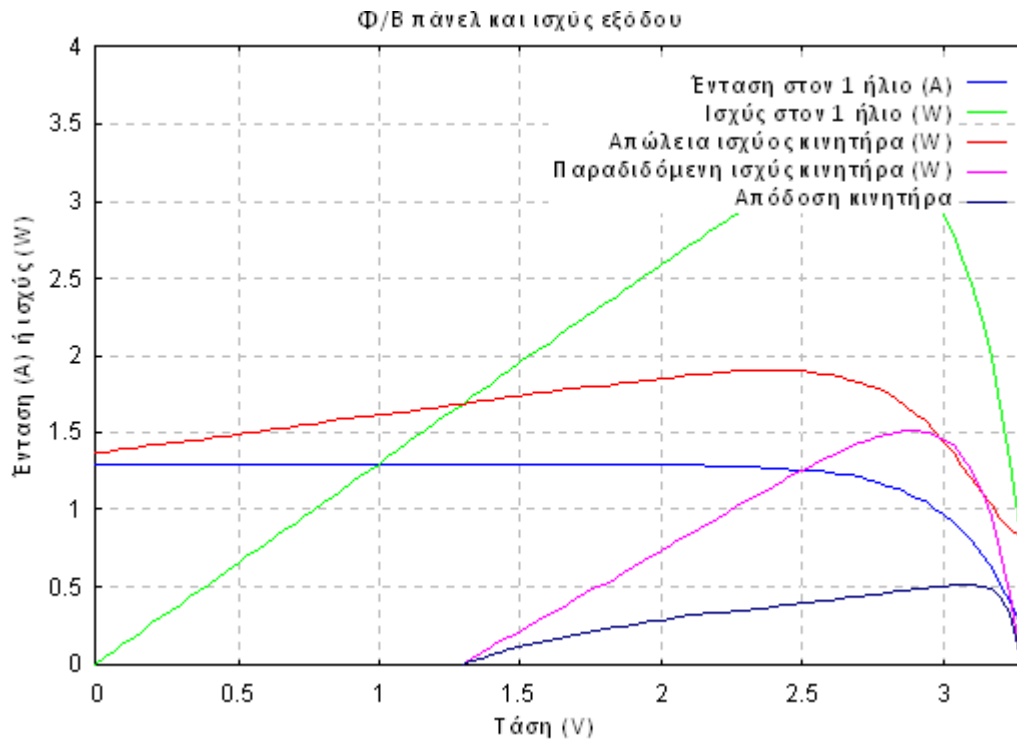
Επειδή ο κινητήρας είναι συνδεδεμένος απευθείας με το πάνελ φωτοβολταϊκών, ο κινητήρας θα λειτουργεί με ρεύμα και τάση που είναι ίδια για την καμπύλη I-V για την ηλιακών κυττάρων και την καμπύλη I-V του κινητήρα.



**Διάγραμμα 23: Φ/B και χαρακτηριστικά κινητήρα**

Κατά την εκκίνηση, το σύστημα λειτουργεί στη διασταύρωση της πιο αριστερής καμπύλης κινητήρα και της καμπύλης PV. Όταν αυξάνεται η ταχύτητα του κινητήρα, το σημείο λειτουργίας μετακινείται προς τα δεξιά κατά μήκος της καμπύλης PV. Το παραπάνω σχετίζεται με την απόδοση του Φ/B αυτοκινήτου. Δεδομένου ότι ο κύριος σκοπός αυτού του αυτοκινήτου είναι η μεγάλη επιτάχυνση, θα πρέπει να εστιάσουμε στην ισχύ εξόδου. Σε κάθε δεδομένη στιγμή, παρέχοντας περισσότερη ενέργεια θα παράγει καλύτερη επιτάχυνση. Έχουμε ήδη δει ότι το Φ/B πάνελ έχει ένα βέλτιστο σημείο λειτουργίας. Θα πρέπει να διερευνηθεί τώρα το βέλτιστο σημείο λειτουργίας του συνδυασμού κινητήρα / πάνελ.

Γνωρίζοντας τις βασικές παραμέτρους του κινητήρα, μπορούμε να υπολογίσουμε την αποτελεσματικότητά του σε οποιοδήποτε σημείο λειτουργίας. Γνωρίζοντας ότι ο κινητήρας / πάνελ έχει ένα συγκεκριμένο σύνολο λειτουργικών σημείων, μπορούμε να υπολογίσουμε την αποτελεσματικότητα του συνδυασμού σε αυτά τα σημεία. Το ακόλουθο γράφημα το δείχνει.



**Διάγραμμα 24: Φ/B και ισχύς εξόδου**

Αυτή η μηχανική ενέργεια πηγαίνει μερικώς στην τριβή με κινητήρα (η οποία στο Ηλιακό Sprint μοτέρ φαίνεται να είναι μεγάλη), την πέδιση του αυτοκίνητο, και την επιτάχυνση του αυτοκινήτου.

Η καμπύλη ισχύος κινητήρα έχει μια κορυφή. Αυτή η κορυφή είναι μικρότερη από εκείνη των φωτοβολταϊκών πάνελ, έτσι μπορούμε να δούμε ότι ένα μεγάλο μέρος της φωτοβολταϊκή ισχύς μας θα πάει χαμένη. Η κορυφή δεν συμπίπτει με το MPP των φωτοβολταϊκών πάνελ. Επειδή η μέγιστη απόδοση ισχύος έχει μικρό εύρος, το αυτοκίνητό μας είναι πιθανό να περνά το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου λειτουργίας του σε άλλο σημείο από αυτό της μέγιστης απόδοσης ισχύος.

Στον απλούστερο σχεδιασμό των αυτοκινήτων, θα υπάρχουν λίγες επιλογές στο βασικό σχεδιασμό. Ο κινητήρας θα συνδέεται απευθείας με το Φ/B πίνακα. Η κύρια επιλογή του σχεδιασμού θα είναι η επιλογή του συντελεστή μόχλευσης.

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας.....	13
Εικόνα 2: Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με άτομα πρόσμιξης.....	15
Εικόνα 3: Σχηματική διάταξη ενός Φ/Β στοιχείου .....	17
Εικόνα 4: Πρωτότυπο ασθενοφόρου με Φ/Β διάταξη ενσωματωμένη στην οροφή του .....	27
Εικόνα 5: Πρότυπο ηλεκτρικό σύστημα ασθενοφόρων .....	28
Εικόνα 6: Πίνακας σύνδεσης εγκατεστημένος μέσα στο πρωτότυπο .....	34
Εικόνα 7: Μπλοκ διάγραμμα του συστήματος .....	35
Εικόνα 8: Τοπολογία του πρωτότυπου FIVE .....	38
Εικόνα 9: Σχηματική απεικόνιση υποδειγματικού συστήματος ψύξης μεταφορών με συμπιεστή με ενσωματωμένο ηλεκτρικό κινητήρα στο όχημα που τροφοδοτείται από μία ηλεκτρική πηγή ενέργειας.....	50
Εικόνα 10: Σχηματική απεικόνιση μιας συσκευής ελέγχου ισχύος για ένα σύστημα ψύξης μεταφορών.....	53
Εικόνα 11: Σχηματική απεικόνιση μιας υποδειγματικής ενσωμάτωσης ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας σε ένα σύστημα ψύξης μεταφορών.....	54
Εικόνα 12: Σχηματική απεικόνιση μιας εναλλακτικής υποδειγματικής ενσωμάτωσης ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας για ένα σύστημα ψύξης μεταφορών.....	55
Εικόνα 13: Σχηματική απεικόνιση μιας εναλλακτικής υποδειγματικής ενσωμάτωσης ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας για ένα σύστημα ψύξης μεταφορών.....	57
Εικόνα 14: Υποδειγματική εφαρμογή στήριξης σε πλατφόρμα ενός ηλιακού φιλμ που έχει τοποθετηθεί σε κοντέινερ.....	62
Εικόνα 15: Solarion AG. Χρησιμοποιήθηκαν 30 ηλιακοί συλλέκτες CIGS.....	66
Εικόνα 16: Κάτοψη πρωτοτύπου .....	69
Εικόνα 17: Επιβατικό βαγόνι.....	70
Εικόνα 18: Μηχανή.....	70
Εικόνα 19: Εμπορευματικό βαγόνι.....	71

Εικόνα 20: Τριπλή διασταύρωση φωτοβολταϊκών πάνελ άμορφου πυριτίου, λεπτών και ευλύγιστων.....	72
Εικόνα 21: 12 διασυνδεδεμένα κύτταρα ανά πλαίσιο .....	73
Εικόνα 22: Διάταξη πλαισίων.....	73
Εικόνα 23: Στερέωση πλαισίων.....	74
Εικόνα 24: Εγκατάσταση διατάξεων στο πρώτο βαγόνι.....	74
Εικόνα 25: Λεπτομέρεια από την καλωδίωση των 16 διατάξεων .....	75
Εικόνα 26: Λεπτομέρεια από τη στερέωση.....	75
Εικόνα 27: Μπλοκ διάγραμμα ηλεκτρικής συνδεσμολογίας.....	75
Εικόνα 28: Κεντρικός πίνακας .....	76
Εικόνα 29: Εγκατάσταση πλαισίων .....	77
Εικόνα 30: Εγκατάσταση πλαισίων .....	78
Εικόνα 31: Πειραματική διάταξη .....	79
Εικόνα 32: Τελική μορφή επιβατικού βαγονιού .....	83
Εικόνα 33: Κάτοψη σήραγγας .....	84
Εικόνα 34: Στάδιο κατασκευής.....	85
Εικόνα 35: Tindo.....	87
Εικόνα 36: Κάτοψη οχήματος .....	94
Εικόνα 37: Σύστημα μεταφοράς ηλιακής ενέργειας.....	95
Εικόνα 38: EV με 6 φωτοβολταϊκά πάνελ εγκατεστημένα στην οροφή .....	96
Εικόνα 39: Ισοδύναμο κύκλωμα των ηλιακών κυττάρων.....	97
Εικόνα 40: Toyota Prius.....	111
Εικόνα 41: Ηλιακή μοτοσυκλέτα.....	113
Εικόνα 42: Εντοπιστής θέσεων σταθμών καυσίμου (φόρτισης) .....	114
Εικόνα 43: Περιοχές των Η.Π.Α. που συμμετέχουν στο πρόγραμμα «Καθαρές πόλεις» .....	115
Εικόνα 44: Ένα από τα φωτοβολταϊκά κτίρια που συμμετέχουν στο Πρόγραμμα «Million Solar Roofs» φορτίζει ένα ηλεκτρικό όχημα στην παραλία της Νέας Σμύρνης.....	116
Εικόνα 45: CityCar EV που φορτίζεται από φωτοβολταϊκή συστοιχία .....	116

Εικόνα 46: ARPA DOD φορτιστής υβριδικού CNG ηλεκτρικού οχήματος.....	117
Εικόνα 47: Golf kart εγκατάσταση φωτοβολταϊκών για φόρτιση ηλεκτρικών καρτ στη Χαβάη .....	117
Εικόνα 48: Miles OR70 ηλεκτρικό όχημα σε δίκτυο συνδεδεμένων φωτοβολταϊκών φόρτισης σε υπόστεγο στάθμευσης στο MCB Camp Pendleton .....	118
Εικόνα 49: Υπόστεγο στάθμευσης αυτοκινήτων EV με 18 kW από πλέγμα Φ/Β για τη φόρτιση EV που βρίσκεται στο Κυβερνητικό Κέντρο του Ταλαχάσι (1996) .....	118
Εικόνα 50: Υπόστεγο στάθμευσης αυτοκινήτων EV με 20 kW από πλέγμα Φ/Β για τη φόρτιση EV που βρίσκεται στο Πανεπιστήμιο της Νότιας Florida (1991) .....	119

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Κύρια χαρακτηριστικά της συστοιχίας Φ/Β του πρωτότυπου FIVE.....	31
Πίνακας 2: Μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία kWh.m <sup>2</sup> /ημέρα στη Jaen (Ισπανία) σε πάνελ κλίσης 0 <sup>0</sup> σε συνάρτηση με την αντίστοιχη ισχύ που παράγεται από τη συστοιχία Φ/Β .....	32
Πίνακας 3: Επίδραση της θερμοκρασίας του στοιχείου στο Q <sub>G</sub> / Q <sub>TG</sub> της Φ/Β γεννήτριας του πρωτότυπου του έργου FIVE. Οι δοκιμές έγιναν σε διαυγείς ηλιόλουστες ημέρες και κάθε μία διήρκεσε 15-20 λεπτά για να διατηρήσει τις τιμές ακτινοβολίας .....	44
Πίνακας 4: Σύγκριση των τριών εφαρμογών για το σύστημα διαχείρισης ισχύος και ελέγχου 340, 440, 540 .....	59
Πίνακας 5: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ανά δίοδο .....	73
Πίνακας 6: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ανά δίοδο .....	76
Πίνακας 7: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά .....	77
Πίνακας 8: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά .....	78
Πίνακας 9: Ισχύς που παράγεται από τη διάταξη για φορτίο αντίστασης όταν τοποθετούνται σε διαφορετικές γωνίες στην ηλιακή ακτινοβολία .....	80
Πίνακας 10: Τάση των πάνελ, ισχύς εξόδου και ισχύς εισόδου των συσσωρευτών, σε συνάρτηση με διαφορετικές ώρες της ημέρας.....	82
Πίνακας 11: Μηνιαίο επίπεδο ηλιακής ακτινοβολίας .....	110

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Ένταση του εναλλάκτη συναρτήσει της λειτουργίας της μπαταρίας υπηρεσίας για ένα ασθενοφόρο κατά την τυπική καθημερινή χρήση .....	29
Διάγραμμα 2: Αναλογία ημερήσιας ενεργειακής ισχύος που παρέχεται από τον εναλλάκτη του οχήματος και το φορτιστή μπαταριών .....	30
Διάγραμμα 3: Συνολικό ρεύμα που παρέχεται από τη συστοιχία Φ/Β σε σχέση με το συνολικό ρεύμα που παρέχεται από το πρωτότυπο εναλλάκτη .....	39
Διάγραμμα 4: Απόδοση του πρωτότυπου FIVE (Φ/Β και ντίζελ) .....	40
Διάγραμμα 5: Ημερήσιο φορτίο για διάρκεια τεσσάρων μηνών. Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ημερήσια ζήτηση φορτίου .....	41
Διάγραμμα 6: Ρεύμα της αρχικής μπαταρίας και της μπαταρίας υπηρεσιών κατά τη διάρκεια μιας καλοκαιρινής μέρας στην οποία το πρωτότυπο έμεινε σταθμευμένο όλη την ημέρα...42	
Διάγραμμα 7: Θερμοκρασία μονάδων συστοιχιών Φ/Β και εσωτερική θερμοκρασία του οχήματος μια καλοκαιρινή ημέρα , στην οποία το πρωτότυπο έμεινε σταθμευμένο όλη την ημέρα .....	43
Διάγραμμα 8: Υποδειγματικές χαρακτηριστικές ισχύος εξόδου των Φ/Β φιλμ .....	60
Διάγραμμα 9: Αποτελέσματα αγκύρωσης των πλαισίων .....	79
Διάγραμμα 10: Ισχύς εξόδου ως συνάρτηση της εμφανούς γωνίας πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών .....	80
Διάγραμμα 11: Ισχύς εξόδου ως συνάρτηση φωτισμού της διάταξης.....	81
Διάγραμμα 12: Αξιολόγηση τροφοδοσίας της μπαταρίας .....	81
Διάγραμμα 13: Τάση των πάνελ, ισχύς εξόδου και ισχύς εισόδου των συσσωρευτών, σε συνάρτηση με διαφορετικές ώρες της ημέρας.....	82
Διάγραμμα 14: Καμπύλες ακτινοβολίας για $T = 25^{\circ}\text{C}$ .....	99
Διάγραμμα 15: Καμπύλες θερμοκρασίας για $S = 1000 \text{ W/m}^2$ .....	99
Διάγραμμα 16: Καμπύλη ισχύος ακτινοβολίας για $T = 25^{\circ}\text{C}$ .....	100
Διάγραμμα 17: Καμπύλη Ισχύος θερμοκρασίας για $S = 1000 \text{ W/m}^2$ .....	101
Διάγραμμα 18: Στιγμιαία απόδοση κυττάρων.....	103
Διάγραμμα 19: Ωριαία ροή της ενέργειας. ....	104
Διάγραμμα 20: Απόσταση ως συνάρτηση της ταχύτητας σε ένα μικρό EV.....	107



Διάγραμμα 21: Συμπεριφορά ηλιακού κινητήρα-διάφορες ταχύτητες.....	125
Διάγραμμα 22: Απόδοση κινητήρα στα 3 V.....	127
Διάγραμμα 23: Φ/B και χαρακτηριστικά κινητήρα.....	130
Διάγραμμα 24: Φ/B και ισχύς εξόδου.....	131