

Πράξη: 1/13.01.2011

Εμπροστί: Καθηγητής Δ.

Βεργάκης  
Καβαλιός

ΑΡΧΕΙΟ

Η  
59

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ



ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ  
Α.Μ. 22827

ΘΕΜΑ:  
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ  
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ  
ΣΕ ΣΚΑΦΗ & ΟΧΗΜΑΤΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΚΑΠΟΓΙΑΝΝΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- Εισαγωγή
- Κεφάλαιο 1 : Η Διαδρομή και η Εξέλιξη των Φωτοβολταϊκών Κυψελίδων

1.1 Τα Πρώτα Βήματα : 19ος Αιώνας

1.2 Η εξέλιξη και η εδραίωση των φωτοβολταϊκών κυψελίδων.

1.3 Το μέλλον των φωτοβολταϊκών κυψελίδων.

- Κεφάλαιο 2 : Είδη και Τρόποι Κατασκευής Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

2.1 Τα Είδη και τα Συστατικά μίας Φωτοβολταϊκής Κυψελίδας

2.2 Οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες λεπτών ταινιών

2.3 Λειτουργία των Φωτοβολταϊκών Κυψελίδων

2.4 Κατασκευή Φωτοβολταϊκών Κυψελίδων.

2.5 Φωτοβολταϊκές Κυψελίδες, Συστοιχίες & διατάξεις

2.6 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

2.6.1 Η Λειτουργία ενός Φωτοβολταϊκού Συστήματος.

2.6.2 Τύποι Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.

2.6.2.1 Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

2.7 Η Αγορά των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.

- Κεφάλαιο 3 : ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

3.1 Οι Εφαρμογές στα Οχήματα

3.1.1 Το Πρώτο Ηλιακά Τροφοδοτούμενο Αυτοκίνητο

3.1.2 Ηλιακά ποδήλατα και μοτοσυκλέτες

3.1.3 Ηλιακό θερμικό σύστημα για ηλεκτρικά λεωφορεία

### 3.1.4 Αναλύοντας Ένα Ηλιακά Τροφοδοτούμενο Αυτοκίνητο

#### 3.1.4.1 Τα Χειριστήρια του Οδηγού

#### 3.1.4.2 Ηλεκτρικά Συστήματα

#### 3.1.4.3 Σύστημα Μετάδοσης

#### 3.1.4.4 Μηχανικά Συστήματα

#### 3.1.4.5 Ηλιακή Διάταξη

#### 3.1.4.6 Αμαξώματα και Σασί

#### 3.1.4.7 Αγώνες Ηλιακών Αυτοκινήτων.

### 3.1.5 Πρακτικές εφαρμογές

### 3.1.6 Χρήση Φωτοβολταϊκών σε Επιβατικά Αυτοκίνητα

## 3.2 Οι Εφαρμογές στα Σκάφη

### 3.2.1 Η Ιστορία των Ηλεκτρικών Βαρκών

### 3.2.2 Χρήση Φωτοβολταϊκών σε Σκάφος

### 3.2.3 Εφαρμογές

#### 3.2.3.1 Ηλιακά τροφοδοτούμενο αυτόνομο υποβρύχιο

#### 3.2.3.2 Το Ηλιακά Τροφοδοτούμενο Πλοίο «RA 82».

#### 3.2.3.3 Το Καταμαράν « Sun21».

#### 3.2.3.4 Εφαρμογές Ηλιακών Βαρκών στον Τουρισμό.

#### 3.2.3.5 Προϊόντα για εφαρμογές των φωτοβολταϊκών στα οχήματα και τα σκάφη.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αν διατρέξουμε όλη την διαδρομή του ανθρώπινου γένους μέσα στους αιώνες, από την αρχαιότητα ως σήμερα, θα παρατηρήσουμε ότι η εξέλιξη και η πρόοδος του πολιτισμού όπως και της οικονομίας είναι συνυφασμένη με την εκμετάλλευση και την διαχείριση από τον άνθρωπο κάθε μορφής ενέργειας, όπως της δύναμης του αέρα ή της πτώση του νερού σ' έναν καταρράκτη.

Στην σύγχρονη ιστορία και ειδικότερα από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης, τα ορυκτά καύσιμα και κυρίως το πετρέλαιο και ο λιγνίτης ήταν οι πηγές ενέργειας οι οποίες επικράτησαν. Βέβαια, εκτός από τα αναμφισβήτητα πλεονεκτήματα που έχουν, υπάρχουν και κάποια σοβαρά μειονεκτήματα, όπως η ρύπανση που προκαλούν τόσο στον αέρα όσο στη γη και στον υδροφόρο ορίζοντα. Ένα ακόμα σημαντικό μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι τα αποθέματα των καυσίμων αυτών δεν είναι ανεξάντλητα και δεδομένου ότι υπάρχουν αποθέματα μόνο σε μερικές περιοχές του κόσμου, έχει δημιουργήσει μία κατάσταση στην παγκόσμια οικονομία με πολλές και σοβαρές γεωπολιτικές συνέπειες.

Η πετρελαιοϊκή κρίση κατά την διάρκεια της δεκαετίας το 1970, αλλά και η ρύπανση της ατμόσφαιρας από αυτές τις πηγές ενέργειας οδήγησε τους ανθρώπους να στραφούν προς την ανάπτυξη νέων, εναλλακτικών πηγών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Στις εναλλακτικές πηγές ενέργειας περιλαμβάνονται η αιολική ενέργεια, η γεωθερμία, η καύση φυτικών προϊόντων (βιομάζα), αλλά και η ενέργεια που παράγεται από την ηλιακή ακτινοβολία.

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας - που αποτελεί και πεδίο έρευνας αυτής της εργασίας φαίνεται να έχει πολλά και σημαντικά οφέλη τόσο για τον ίδιο τον άνθρωπο όσο και για την προστασία του περιβάλλοντος που τα τελευταία χρόνια αποτελεί μείζον θέμα για πολλές χώρες.

Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια μεγάλωσε όταν διαπιστώθηκε μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου η ευκολία με την οποία μετατρέπεται η

ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Με την εξέλιξη και την εξοικείωση των νέων τεχνολογιών έγινε δυνατή η μείωση του κόστους αυτής της μετατροπής, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων και την χρήση αυτών σε πολλούς τομείς της ζωής του ανθρώπου στην σύγχρονη εποχή.

Η φωτοβολταϊκή μέθοδος μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως η πρακτικά απεριόριστη διάρκεια ζωής των ηλιακών στοιχείων και η ανεξαρτησία που προσφέρουν από τα κεντρικά δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

## Η Διαδρομή και η Εξέλιξη των Φωτοβολταϊκών Κυψελίδων

### 1.1 Τα Πρώτα Βήματα : 19ος Αιώνας

Ο Alessandro Volta ανακάλυψε την πρώτη πρακτική μέθοδο δημιουργίας ηλεκτρικής ενέργειας. Το 1800, Ο Alessandro Volta από την Ιταλία έχτισε το βολταϊκό στύλο και ανακάλυψε την πρώτη πρακτική μέθοδο δημιουργίας ηλεκτρικής ενέργειας. Κατασκευασμένος από εναλλασσόμενους δίσκους ψευδάργυρου και χαλκού, με κομμάτια χαρτονιού που ενυδατώνεται στην άλμη μεταξύ των μετάλλων, ο βολταϊκός στύλος παρήγαγε ηλεκτρικό ρεύμα. Το μεταλλικό τόξο αγωγιμότητας χρησιμοποιήθηκε για να μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια σε μεγαλύτερη απόσταση. Ο βολταϊκός στύλος του Alessandro Volta ήταν η πρώτη μπαταρία που παρήγαγε ένα αξιόπιστο, σταθερό ρεύμα ηλεκτρικής ενέργειας.

Ένας σύγχρονος του Alessandro Volta ήταν ο Luigi Galvani, στην πραγματικότητα, ήταν η διαφωνία του Volta με τη θεωρία του Galvani περί γαλβανικών αποκρίσεων (ότι ο ζωικός ιστός περιείχε μια μορφή ηλεκτρικής ενέργειας) οδήγησαν τον Volta να χτίσει τον βολταϊκό σωρό για να αποδείξει ότι η ηλεκτρική ενέργεια δεν προήλθε από το ζωικό ιστό αλλά παρήχθη από την επαφή των διαφορετικών μετάλλων, ορείχαλκου και σίδηρου, σε ένα υγρό περιβάλλον. Ειρωνικά, και οι δύο επιστήμονες είχαν δίκιο.

Κάποια στοιχεία τα οποία προέκυψαν από τα πειράματά του και τις πολυετείς έρευνες και δοκιμές του ονομάστηκαν προς τιμήν του Alessandro Volta , όπως:

1. Βολτ (Volt) : Η μονάδα της ηλεκτρεγερτικής δύναμης, ή η διαφορά της δυναμικού, και η οποία θα προκαλέσει ρεύμα της τάξης του ενός αμπέρ (1 Amber) και θα διατρέξει μια αντίσταση ενός Ωμ (1 Ohm).
2. Φωτοβολταϊκό : Φωτοβολταϊκά είναι τα συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια.

Ο Alessandro Volta γεννήθηκε στο Como της Ιταλίας το 1745. Το 1774, διορίστηκε ως καθηγητής φυσικής στο βασιλικό σχολείο του Como. Ενώ ήταν

στο βασιλικό σχολείο, ο Alessandro Volta σχεδίασε την πρώτη εφεύρεσή του το electrophorus το 1774, μια συσκευή που παρήγαγε στατική ηλεκτρική ενέργεια. Για χρόνια στο Como, μελετούσε και πειραματιζόνταν για την ατμοσφαιρική ηλεκτρική ενέργεια με την ανάφλεξη των στατικών σπινθήρων. Το 1779, ο Alessandro Volta διορίστηκε ως καθηγητής φυσικής στο πανεπιστήμιο της Παβία και ήταν εκεί ενώ εφηύρε τη πιο διάσημη εφεύρεσή του, τον βολταϊκό στύλο.

Ένα ηλιακό κύτταρο είναι οποιαδήποτε συσκευή που μετατρέπει άμεσα την ενέργεια του φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω της διαδικασίας των φωτοβολταϊκών. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας φωτοβολταϊκών κυψελίδων αρχίζει με την έρευνα του γαλλικού φυσικού Antoine-César Becquerel το 1839. Ο Becquerel παρατήρησε τη φωτοβολταϊκή επίδραση πειραματιζόμενος με ένα στερεό ηλεκτρόδιο σε διάλυμα ηλεκτρολυτών όταν είδε να αναπτύσσεται τάση όταν το φως πέφτει πάνω στο ηλεκτρόδιο. Αυτή η φωτοηλεκτρική επίδραση χρησιμοποιήθηκε στις πρώτες προσπάθειες για δημιουργία φωτοβολταϊκών κυψελίδων, τα οποία ήταν φτιαγμένα από σελήνιο προς το τέλος του 19ου αιώνα.

Η επίδραση μελετήθηκε αρχικά σε στερεά, όπως το σελήνιο, από το Heinrich Hertz στη δεκαετία του 1870. Αμέσως μετά, οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες σεληνίου μετέτρεπαν το φως στην ηλεκτρική ενέργεια με αποδοτικότητα της τάξεως του ένα με δύο τοις εκατό. Κατά συνέπεια, το σελήνιο υιοθετήθηκε γρήγορα στον αναπτυσσόμενο τομέα της φωτογραφίας για χρήση του στις συσκευές φωτομέτρησης.

Σύμφωνα με την εγκυκλοπαίδεια Britannica, η πρώτη γνήσια φωτοβολταϊκή κυψελίδα κατασκευάστηκε περίπου το 1883 από τον Charles Fritts, ο οποίος χρησιμοποίησε τις ενώσεις που δημιουργήθηκαν με επικάλυψη του σεληνίου (ένας ημιαγωγός) από ένα εξαιρετικά λεπτό στρώμα χρυσού. Οι πρώιμες φωτοβολταϊκές κυψελίδες, εντούτοις, είχαν αποδοτικότητα ενεργειακής μετατροπής κάτω από ένα τοις εκατό.

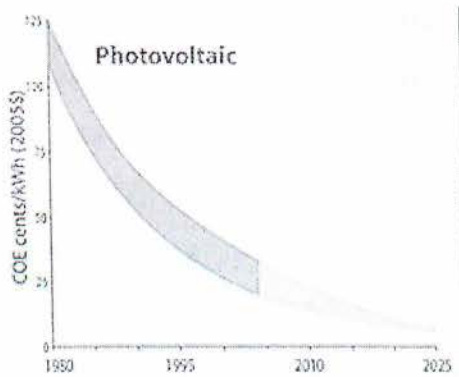
## 1.2 Η εξέλιξη και η εδραίωση των φωτοβολταϊκών κυψελίδων.

Το 1941, η φωτοβολταϊκή κυψελίδα πυριτίου εφευρέθηκε από το Russell Ohl. Σημαντικά βήματα προς την εμπορευματοποίηση των φωτοβολταϊκών κυψελίδων άρχισαν στη δεκαετία του '40 και στις αρχές της δεκαετίας του '50, όταν η διαδικασία Czochralski αναπτύχθηκε για την παραγωγή του ιδιαίτερα καθαρού κρυστάλλινου πυριτίου.

Ενώ το 1954, τρεις αμερικανοί ερευνητές οι Gerald Pearson, Calvin Fuller και Daryl Chapin – οι οποίοι βασίστηκαν στη διαδικασία Czochralski για να αναπτύξουν μια κρυστάλλινη φωτοβολταϊκή κυψελίδα πυριτίου - σχεδίασαν μία φωτοβολταϊκή κυψελίδα πυριτίου ικανό για απόδοση ενεργειακής μετατροπής έξι τοις εκατό. Οι τρεις εφευρέτες δημιούργησαν μια σειρά διάφορων λωρίδων από πυρίτιο ( το κάθε ένα στο μέγεθος μιας λάμιας ξυραφιού), τοποθετώντας τις στον ήλιο, συνέλαβαν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και τα μετέτρεψαν σε ηλεκτρικό ρεύμα. Δημιούργησαν τα πρώτα ηλιακά panel. Τα "Bell Laboratories" στη Νέα Υόρκη ανήγγειλαν την κατασκευή πρωτότυπων ηλιακών μπαταριών. Ο Bell είχε χρηματοδοτήσει την έρευνα. Η πρώτη δοκιμή δημόσιων υπηρεσιών της Bell στην ηλιακή μπαταρία άρχισε με ένα σύστημα τηλεφωνικών μεταφορέων (Americus , Georgia) στις 4 Οκτωβρίου του 1955. Μέσα σε μερικά έτη, αυτές φωτοβολταϊκές κυψελίδες (PV) τροφοδοτούσαν τα διαστημικά σκάφη και τους δορυφόρους.

Οι πρώτες συμβατικές φωτοβολταϊκές κυψελίδες παρήχθησαν προς το τέλος της δεκαετίας του '50, και καθ' όλη τη διάρκεια της δεκαετίας του '60. Χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για να τροφοδοτήσουν με ηλεκτρική ενέργεια τους δορυφόρους που είναι σε τροχιά γύρω από την Γη. Στη δεκαετία του '70, βελτιώσεις στην κατασκευή, την απόδοση και την ποιότητα των συστοιχιών φωτοβολταϊκών (PV) βοήθησαν ώστε να μειώσουν τις δαπάνες και να δημιουργήσουν ευκαιρίες για την χρησιμοποίησή τους σε απομακρυσμένες **επίγειες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της φόρτισης μπαταριών για βοηθήματα πλοήγησης, σήματα, εξοπλισμό τηλεπικοινωνιών και άλλων κρίσιμων, χαμηλής ισχύος ανάγκες.** Στην ακόλουθη γραφική παράσταση παρουσιάζεται η μείωση αυτή μέσα στον χρόνο.





**Εικόνα 1.1** : Απεικόνιση της πορείας της μείωσης του κόστους των φωτοβολταϊκών κυψελίδων. <sup>[51]</sup>

Μια προσέγγιση στη μείωση του κόστους της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική είναι να αυξηθεί η αποδοτικότητα των κυψελίδων, δηλαδή η παραγωγή περισσότερης ενέργειας ανά δολάριο. Η αντίθετη προσέγγιση είναι να μειωθεί το κόστος παραγωγής, δηλαδή η παραγωγή ίδιου ποσού ενέργειας ανά κυψελίδα με λιγότερα όμως χρήματα. Μια τρίτη προσέγγιση μειώνει το κόστος των υπόλοιπων στοιχείων του συστήματος. Οι καινοτόμες διαδικασίες και τα σχέδια φθάνουν συνεχώς στην αγορά και βοηθούν στην μείωση του κόστους, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής κυψελίδων τύπου film, και χρησιμοποίησής τους στα κεραμίδια των στεγών, και σε παράθυρα με διαφανή film από άμορφο πυρίτιο (a-Si). Οι οικονομίες κλίμακας που εφαρμόζονται στην παγκόσμια αγορά των φωτοβολταϊκών κυψελίδων βοηθούν επίσης στην ελαχιστοποίηση του κόστους.

Στη δεκαετία του '80, τα φωτοβολταϊκά έγιναν δημοφιλής πηγή ενέργειας για τις ηλεκτρονικές συσκευές, συμπεριλαμβανομένων των υπολογιστών χειρός, ρολόγια, ραδιόφωνα, φανάρια και άλλες εφαρμογές μικρής ανάγκης σε κατανάλωση ισχύος. Μετά από τις ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του '70, σημαντικές προσπάθειες άρχισαν προς την ανάπτυξη συστημάτων φωτοβολταϊκών για οικιακές και εμπορικές χρήσεις για **αυτόνομη, απομακρυσμένη ενέργεια. Κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου, διεθνείς εφαρμογές για να τροφοδοτήσουν τις αγροτικές κλινικές υγείας, ψύξη, άντληση ύδατος, τηλεπικοινωνίες, και σπίτια εκτός δικτύου μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων - αυξήθηκαν εντυπωσιακά, και παρέμειναν μια**

σημαντική μερίδα της παρούσας παγκόσμιας αγοράς για φωτοβολταϊκά προϊόντα. Σήμερα, η παραγωγή της βιομηχανίας των φωτοβολταϊκών αυξάνεται με ρυθμό 25 τοις εκατό ετησίως, και σημαντικά προγράμματα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (ΗΠΑ), Ιαπωνία και Ευρώπη συνεχώς αυξάνουν την εφαρμογή των συστημάτων φωτοβολταϊκών στα κτήρια και τη διασύνδεση στα δίκτυα κοινής ωφέλειας.

Ιστορικά, οι περισσότερες εφαρμογές των φωτοβολταϊκών κυψελίδων είναι για την τροφοδοσία των σπιτιών σε απομακρυσμένες περιοχές – μία τέτοια εφαρμογή φαίνεται στην εικόνα 2 - σε κυψελοειδείς τηλεφωνικές συσκευές αποστολής σημάτων, στην οδική σήμανση, υδραντλίες, και εκατομμύρια των ηλιακών ρολογιών και των υπολογιστών. Τα αναπτυσσόμενα έθνη βλέπουνε την χρήση φωτοβολταϊκών κυψελίδων (PV) ως τρόπο να αποφύγουν τα ακριβά ηλεκτροφόρα καλώδια στις απομακρυσμένες περιοχές.



Εικόνα 1.2 : Συστοιχίες φωτοβολταϊκών panel (PV) για την τροφοδοσία ενός σπιτιού σε απομακρυσμένη περιοχή.<sup>177</sup>

Πιο πρόσφατα, χάρη στο χαμηλότερο κόστος, στα ισχυρά κίνητρα, και της πολιτικής για καθαρότερες μορφές ενέργειας, η βιομηχανία φωτοβολταϊκών κυψελίδων (PV) έχει εστιάσει περισσότερο στα σπίτια, καθώς και στις επιχειρήσεις. Σε μερικές περιοχές, είναι πιο συμφέρον να εγκατασταθούν οι ηλιακοί συλλέκτες από να αναβαθμιστεί το σύστημα μετάδοσης και διανομής για να ικανοποιήσει τη νέα απαίτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Η αγορά φωτοβολταϊκών κυψελίδων (PV) συνεχίζει να επεκτείνεται και η τάση προς την κάλυψη εκτάσεων γης με φωτοβολταϊκές κυψελίδες (PV) αυξάνεται.

Αυτή η προσέγγιση διανομής - παραγωγής παρέχει ένα νέο πρότυπο για τις χρήσεις του μέλλοντος. Μικρές γεννήτριες, σε όλη την πόλη και ελεγχόμενες από υπολογιστές, θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν τον άνθρακα και τις πυρηνικές εγκαταστάσεις που έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό στην αγορά ενέργειας .

Σ' αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε τους κυριότερους σταθμούς στην εξέλιξη της φωτοβολταϊκής μετατροπής. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα γεγονότα που άλλαξαν την οπτική γύρω από τα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία.

1839	Παρατήρηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου σε μεταλλικά ηλεκτρόδια (Pt , Ag) βυθισμένα σε ηλεκτρολύτες (Becquerel) .
1937	Κατασκευή ηλιακής φωτοβολταϊκής κυψελίδας από Pb S (Fischer & Godden).
1939	Κατασκευή ηλιακής φωτοβολταϊκής κυψελίδας από Se με απόδοση 1% (Ohl).
1941	Κατασκευή της πρώτης φωτοβολταϊκής κυψελίδας από Si (Ohl).
1952	Ανακάλυψη της μεθόδου της τηγμένης ζώνης για την κατασκευή στερεών πολύ μεγάλης καθαρότητας (Pfann).
1953	Ανακάλυψη της μεθόδου σχηματισμού ενώσεων p-n με διάχυση προσμίξεων (Fuller).
1954	Κατασκευή φωτοβολταϊκής κυψελίδας από Si με σχηματισμό ένωσης p-n με διάχυση προσμίξεων και απόδοση 6% (Fuller,Pearson,Chapin).
1956	Εμπορική παραγωγή φωτοβολταϊκών κυψελίδων (Εταιρεία Hoffmann).
1958	Εκτόξευση του αμερικανικού τεχνητού δορυφόρου Vanguard 1, εξοπλισμένου με 6 μικρές κυψελίδες Si, ισχύος 5 mW , ως βοηθητική ενεργειακή πηγή.
1958	Εκτόξευση σοβιετικού τεχνητού δορυφόρου με αποκλειστική τροφοδότηση από φωτοβολταϊκές κυψελίδες.
1959	Κατασκευή φωτοβολταϊκής κυψελίδας από CdS , με απόδοση 5% (Hammond).

1972	Κατασκευή του "ιώδους" φωτοβολταϊκής κυψελίδας Si , με απόδοση 14% (Lindmayer & Allison).
1976	Κατασκευή φωτοβολταϊκής κυψελίδας από άμορφο πυρίτιο 0.01 % (Carlson & Wronski ).
1977	Κατασκευή φωτοβολταϊκής κυψελίδας από GaAs, με απόδοση 16% (Kameth).
1981	Πτήση πάνω από την Μάγχι του αεροπλάνου Solar Challenger, εξοπλισμένου με 16128 φωτοβολταϊκής κυψελίδας Si , ισχύος 2.7 kW.
1983	Έναρξη εμπορικής λειτουργίας του φωτοβολταϊκού σταθμού της Βικτροβίλ, ισχύος 1MW.
1984	Έναρξη βιομηχανικής παραγωγής φωτοβολταϊκών κυψελίδων στην Ιαπωνία από άμορφο πυρίτιο με απόδοση 5%.

**Πίνακας 1 :** Οι κυριότεροι σταθμοί στην εξέλιξη της φωτοβολταϊκής μετατροπής.<sup>161</sup>

### 1.3 Το μέλλον των φωτοβολταϊκών κυψελίδων.

Στο μέλλον προβλέπεται μία σημαντική αύξηση στην χρήση της ηλιακής ενέργειας οποία ήδη έχει ξεκινήσει από τις αρχές του 21ου αιώνα. Όλο και περισσότερο οι αρχιτέκτονες και οι κατασκευαστές αναγνωρίζουν την αξία των φωτοβολταϊκών κυψελίδων και μαθαίνουν πώς να τα ενσωματώσουν αποτελεσματικά στην οικοδόμηση των κτιρίων. Οι θερμοσίφωνες μπορούν να ανταγωνιστούν τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης νερού σε μερικές περιοχές. Και δεδομένου ότι το κόστος της φωτοβολταϊκής κυψελίδας ( PV) συνεχίζει να μειώνεται, αυτά τα συστήματα θα εδραιωθούν σε όλες τις μεγάλες αγορές.

Επιθετικά οικονομικά κίνητρα στη Γερμανία και την Ιαπωνία έχουν κάνει αυτές τις χώρες , παγκόσμιους ηγέτες στην εξάπλωση της χρήσης της ηλιακής ενέργειας . Αλλά οι Ηνωμένες Πολιτείες μπαίνουν δυναμικά στην αγορά της ηλιακής ενέργειας , γεγονός το οποίο είναι ευχάριστο. Οι

επαναλαμβανόμενες διακοπές ρεύματος οι οποίες έγιναν στην Καλιφόρνια το 2000 και 2001 και η κατακόρυφη αύξηση στην τιμή του πετρελαίου έχουν παρακινήσει τους ηγέτες της για να δημιουργήσουν νέα κίνητρα για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Και άλλες πολιτείες ακολουθούν το ίδιο σχέδιο . Η Αριζόνα, το Κολοράντο, το Νιου Τζέρσεϋ και η Πενσυλβανία έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις για την ηλιακή ενέργεια ως τμήμα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας . Οι περισσότερες πολιτείες προσφέρουν εκπτώσεις, κίνητρα παραγωγής, και φορολογικά κίνητρα, όπως και προγράμματα δανείου και επιχορήγησης. Ακόμη και η ομοσπονδιακή κυβέρνηση προσφέρει μια φορολογική πίστωση 30 τοις εκατό (μέχρι \$2.000) για την αγορά και την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων (PV) σε κατοικίες και χρήση ηλιακών θερμοσιφόνων.

Δεδομένου ότι η βιομηχανία των φωτοβολταϊκών συστημάτων συνεχίζει να επεκτείνεται, θα υπάρξουν περιστασιακές συγκρούσεις συμφερόντων. Παραδείγματος χάριν, η απαίτηση για κατασκευή τυριτίου υψηλής ποιότητας από τις βιομηχανίες ηλιακής ενέργειας και ημιαγωγών έχει οδηγήσει στις ελλείψεις που έχουν ως αποτέλεσμα την προσωρινή αύξηση της τιμής των φωτοβολταϊκών συστημάτων (PV). Επιπλέον, υπάρχουν και μερικά εμπόδια στην εξάπλωση της χρήσης γης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα. Αλλά αυτά τα προβλήματα θα υπερνικηθούν, και η ηλιακή ενέργεια θα διαδραματίσει έναν σημαντικό ρόλο στην απαλλαγή από την εξάρτηση μας από τα ορυκτά καύσιμα όπως και στην καταπολέμηση της απειλής της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, εξασφαλίζοντας ένα μέλλον βασισμένο στην καθαρή και ανανεώσιμη ενέργεια.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### Είδη και Τρόποι Κατασκευής Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

#### 2.1 Τα Είδη και τα Συστατικά μίας Φωτοβολταϊκής Κυψελίδας

Τα σημαντικότερα συστατικά μίας φωτοβολταϊκής κυψελίδας (PV) είναι δύο στρώματα του υλικού ημιαγωγών που αποτελούνται συνήθως από κρυστάλλους πυριτίου. Οι κρύσταλλοι πυριτίου δεν είναι πολύ καλοί αγωγοί της ηλεκτρικής ενέργειας, το κατώτατο στρώμα της φωτοβολταϊκής κυψελίδας (PV) στρώνεται συνήθως με βόριο, το οποίο συνδέεται με το πυρίτιο για να διευκολύνει μια θετική ένωση(p). Το ανώτερο στρώμα στρώνεται με φώσφορο, το οποίο συνδέεται με το πυρίτιο για να διευκολύνει μια αρνητική ένωση (n). Η επιφάνεια μεταξύ των «n-type» και «p-type» ενώσεων καλείται σύνδεση PN. Η μετακίνηση ηλεκτρονίων σε αυτήν την επιφάνεια παράγει ένα ηλεκτρικό πεδίο που επιτρέπει μόνο στα ηλεκτρόνια να περάσουν από το στρώμα p-type στο στρώμα n-type.

Οι τρεις βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών κυψελίδων που παράγονται από το πυρίτιο είναι : α) οι μονοκρυσταλλικές , β) οι πολυκρυσταλλικές και γ) οι άμορφες .

Οι μονοκρυσταλλικές κυψελίδες γίνονται σε μακριούς κυλίνδρους και τεμαχίζονται σε στρογγυλές ή εξαγωνικές γκοφρέτες. Ενώ αυτή η διαδικασία παράγει υψηλή απόδοση, όπως εικοσιπέντε τοις εκατό (25%) σε μερικές εργαστηριακές δοκιμές. Οι συσσωρευτές μπορούν να ωθήσουν την απόδοση στο τριάντα τοις εκατό (30%) . Τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα αποτελούν το είκοσι εννιά τοις εκατό (29 %) της παγκόσμιας αγοράς των φωτοβολταϊκών κυττάρων.

Οι πολυκρυσταλλικές κυψελίδες αποτελούνται από λειωμένο πυρίτιο. Ενώ οι απαιτήσεις της παραγωγής είναι χαμηλότερες, η απόδοση των κυψελίδων είναι χαμηλότερη γύρω στο δεκαπέντε τοις εκατό (15%) . Επειδή οι κυψελίδες είναι τετραγωνικές, μπορούν να συσκευαστούν μαζικά .

Οι πολυκρυσταλλικές κυψελίδες αποτελούν το εξήντα δύο τοις εκατό (62 %) της παγκόσμιας αγοράς φωτοβολταϊκών κυψελίδων (PV).

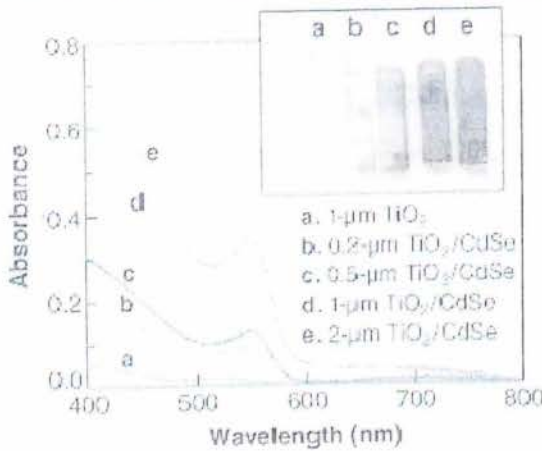
Το άμορφο πυρίτιο (a-Si) είναι μια ριζικά διαφορετική προσέγγιση. Το πυρίτιο ψεκάζεται ουσιαστικά επάνω σε μια επιφάνεια γυαλιού ή μετάλλου στις λεπτές ταινίες . Αυτή η προσέγγιση είναι ελάχιστα πιο ακριβή, αλλά οδηγεί σε πολύ χαμηλή απόδοση, μόνο πέντε τοις εκατό (5 %).

Διάφορα εξωτικά υλικά εκτός από το πυρίτιο είναι υπό ανάπτυξη, όπως το αρσενίδιο γαλλίου (Ga-As). Αυτά τα υλικά προσφέρουν υψηλότερες αποδόσεις και άλλες ενδιαφέρουσες ιδιότητες. Με τη συσσώρευση των κυψελίδων στα πολλαπλά στρώματα, μπορεί να απορροφηθεί περισσότερη ηλιακή ενέργεια. Αν και το αρσενίδιο γαλλίου (Ga-As) αποτελεί μόνο το πέντε τοις εκατό (5%) της παγκόσμιας αγοράς, εμφανίζεται να είναι το συστατικό για τις μελλοντικές μειώσεις δαπανών και την ανάπτυξη.

Οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες είναι ένα εργαλείο που υπόσχεται την γρήγορη, ασφαλή και μεγάλη διάδοση της χρήσης της ηλιακής ενέργειας και αυτό θα επιτευχθεί με την ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας. Με την χρήση της θα υπάρξει βελτίωση στην απόδοση της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Το 2001, αναφέρθηκε απόδοση της τάξεως του έντεκα τοις εκατό (11%) για τα φωτο-ηλεκτροχημικά (photo-electrochemical) στοιχεία τα οποία ήταν κατασκευασμένα από νανοκρυστάλλους( nanocrystalline) .Τώρα, ερευνητές στο πανεπιστήμιο του Notre Dam (Νότρ Νταμ) έχουν αναπτύξει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα που κατασκευάζεται από τα κβαντικά σημεία σεληνιδίου καδμίου (CdSe) που συγκεντρώνονται επάνω στο διοξείδιο τιτανίου (TiO<sub>2</sub>).

Η χρήση των κβαντικών σημείων (QDs) στην επεξεργασία των φωτοβολταϊκών κυψελίδων υπόσχεται όχι μόνο υψηλές αποδόσεις στην μετατροπή της ενέργειας, αλλά και μεγάλο εύρος βελτίωσης . Επειδή οι ιδιότητες απορρόφησης των κβαντικών σημείων ημιαγωγών είναι εξαρτώμενο μέγεθος, τα μόρια του σεληνιδίου καδμίου (CdSe) μπορούν να συντονιστούν από την από τα 650 NM έως τα 400 NM με τη μείωση της διαμέτρου των μορίων. Με τη συγκέντρωση των μορίων σε μια τακτική διαμόρφωση, η

απόκριση της φωτοβολταϊκής κυψελίδας μπορεί να μετατραπεί βελτιώνοντας την φασματική απόκριση όπως η λειτουργία του μήκους κύματος.



**Εικόνα 2.1:** Απεικόνιση της σχέσης απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και του μήκους κύματος των μορίων του σεληνιδίου καδμίου (CdSe).<sup>152]</sup>

Αντίθετα από τους κοινούς ημιαγωγούς, το κβαντικό σημείο κατέχει επίσης μια μοναδική δυνατότητα. Μπορούν να παραχθούν πολλαπλά ζευγάρια ενεργειακών μεταφορέων με ένα ενιαίο υψηλής ενέργειας φωτόνιο. Στους συμβατικούς ημιαγωγούς, παράγεται ένα ενιαίο ζευγάρι ανά απορροφημένο φωτόνιο. Αυτό σημαίνει ότι και τα υψηλής και τα χαμηλής ενέργειας φωτόνια δημιουργούν μόνο ένα ενιαίο ζευγάρι των ενεργειακών μεταφορέων. Απλούστερα, η πρόσθετη ενέργεια των κοντινών στη ακτινοβολία UV φωτονίων δεν χρησιμοποιείται πλήρως κατά την χρήση κοινών ημιαγωγών. Σε κβαντικά σημεία, εντούτοις, τα υψηλής ενέργειας φωτόνια μπορούν να παραγάγουν πολλαπλάσια ενέργεια με μια διαδικασία γνωστή ως ιονισμός impact, θέτοντας το όριο για την επίτευξη απόδοσης μεγαλύτερης από 100% στην μετατροπή του φωτονίου. Τα κβαντικά σημεία σεληνιδίου καδμίου (CdSe) συνδέονται με τις ταινίες διοξειδίου τιτανίου (TiO<sub>2</sub>) από ένα μόριο σύνδεσης με σκοπό τη μετατροπή των φωτονίων που απορροφώνται από τα κβαντικά σημεία στα ηλεκτρόνια. Όταν το πάχος των φωτο-ηλεκτροχημικών (photo- electrochemical) φωτοβολταϊκών ταινιών αυξάνεται, η απορροφητικότητα των κβαντικών σημείων αυξάνεται, όπως παρατηρείται με το μαύρισμα του χρώματος (παρεμβολή).



Όταν το πάχος του συνδεδεμένου κβαντικού σημείου του σεληνιδίου καδμίου (CdSe QDs) και διοξειδίου τιτανίου (TiO<sub>2</sub>) αυξάνεται, αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ταινίες του διοξειδίου τιτανίου (TiO<sub>2</sub>) να αυξάνονται, τότε η απορροφητικότητα σεληνιδίου καδμίου (CdSe) αυξάνεται και η ταινία εμφανίζεται σκοτεινότερη. Η αυξανόμενη απορροφητικότητα οφείλεται στο μεγαλύτερο αριθμό περιοχών συνδέσεων που είναι διαθέσιμες μέσα στις παχύτερες ταινίες του διοξειδίου τιτανίου (TiO<sub>2</sub>), πράγμα που επιτρέπει την αυξανόμενη απόδοση της απορρόφησης για τα φωτόνια.

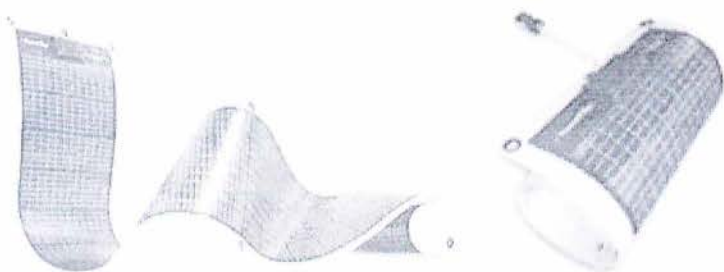
Αν και οι ερευνητές είναι ακόμα μακριά από το στόχο για αποδόσεις μεγαλύτερες από 100%, η εργασία τους καταδεικνύει τη δυνατότητα των σειρών κβαντικού σημείου του σεληνιδίου καδμίου (QD CdSe) να συγκεντρωθούν τα φωτόνια και να παραχθεί φορτίο σε μια φωτο - ηλεκτροχημική (photo - electrochemical) κυψελίδα. Όπως αναφέρει ο καθηγητής κ. Prashant Kamat: «Το μέγεθος και οι εξαρτώμενες ιδιότητες των κβαντικών σημείων (QDs) παρέχουν μια μοναδική ευκαιρία να προσαρμοστούν οι ιδιότητες των φωτο - ηλεκτροχημικών (photo - electrochemical) ή φωτοβολταϊκών κυψελίδων. Αυτό είναι το πρώτο βήμα στην προσπάθειά μας στα κβαντικά σημεία καλωδίων με τους μοριακούς συνδετικούς κρίκους για την παραγωγή φορτίου. Είναι ο στόχος μας για να εδραιωθεί περαιτέρω σε μερικές από αυτές τις μοναδικές ιδιότητες των κβαντικών σημείων (QDs) και να προετοιμάσει το έδαφος για τις φωτοβολταϊκές κυψελίδες της επόμενης γενιάς.»

## **2.2 Οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες λεπτών ταινιών (Thin - Film Photovoltaic)**

Αντιπροσωπεύουν την πιο ελπιδοφόρα τεχνολογία για σημαντική μείωση του κόστους των ηλιακών ηλεκτρικών συστημάτων. Αυτή η τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει την χρήση της ηλιακής ενέργειας με χαμηλότερο κόστος με τη χρησιμοποίηση των φωτοβολταϊκών κυψελίδων χωρίς πυρίτιο, πλαστικά υποστρώματα χαμηλότερου κόστους που είναι διαθέσιμα σήμερα σε μεγάλη ποσότητα και ανέξοδες τεχνικές κατασκευής.

Οι παραδοσιακοί κατασκευαστές κυψελίδων πυριτίου έχουν περιοριστεί από την έλλειψη του πυριτίου, τις υψηλές τιμές του πυριτίου και την δυσκολία στην επεξεργασία του.

Τα λεπτά film φωτοβολταϊκών συστοιχιών κατασκευάζονται από εναπόθεση πολύ λεπτών στρωμάτων υλικού ημιαγωγών σε ένα γυαλί ή σε ένα λεπτό στρώμα ανοξειδωτού χάλυβα σε αεροστεγές κελί. Ένα χαρακτηριστικό λέιζερ χρησιμοποιείται για να χωρίσει και να ενώσει τις ηλεκτρικές συνδέσεις μεταξύ των μεμονωμένων κυττάρων σε μια συστοιχία. Τα φωτοβολταϊκά που αποτελούνται από λεπτά film προσφέρονται για τη μείωση των απαιτήσεων σε υλικά και φθηνότερη κατασκευή για τις συστοιχίες και κατ' επέκταση σε πιο προσιτά φωτοβολταϊκά συστήματα.



Εικόνα 2.2 : Λεπτά film φωτοβολταϊκών<sup>[53]</sup>

Υπάρχουν στο εμπόριο κυψελίδες diSelenide γαλλίου ίνδιου από χαλκό τα οποία είναι λεπτές ταινίες χωρίς πυρίτιο (CIGS) που κατατίθενται σε ένα ανοξειδωτο φύλλο αλουμινίου.



Εικόνα 2.3: Thin - film φωτοβολταϊκή κυψελίδα κατασκευασμένη από άμορφο πυρίτιο.<sup>[17]</sup>

Οι λεπτές κυψελίδες επόμενης γενιάς είναι βασισμένες στους ημιαγωγούς χωρίς πυρίτιο, οι οποίοι μπορούν να απορροφήσουν το ίδιο ποσό

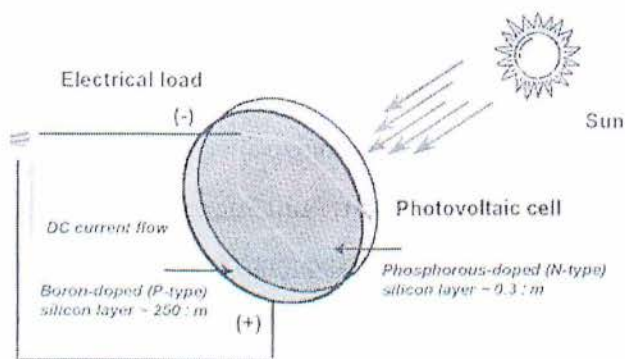
φωτός του ήλιου με τους κρυστάλλους πυριτίου. Αυτές οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες λεπτών film αποτελούνται από τα στρώματα ενός υλικού ημιαγωγών όπως film χωρίς πυρίτιο (CIGS), diSelenide ίνδιου χαλκού (ΚΑΚ) ή Telluride καδμίου (Cd Te), και εφαρμόζονται σε ένα χαμηλού κόστους υπόστρωμα, όπως το πλαστικό. Το οικονομικό όφελος των κυψελίδων λεπτών film είναι ότι χρησιμοποιούν πολύ λιγότερο υλικό ημιαγωγών σε σχέση με τις κυψελίδες από κρυστάλλους πυριτίου και μπορεί να χρησιμοποιήσει τις λιγότερο δαπανηρές μεθόδους κατασκευής.

Οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες έχουν κατασκευαστεί παραδοσιακά χρησιμοποιώντας κρυστάλλους πυριτίου, το οποίο απαιτεί ακριβή επεξεργασία και οδηγεί σε ογκώδη, άκαμπτα ηλιακά πλαίσια. Η δυνατότητα «να τυπωθούν» τα ακριβότερα στρώματα ενός ηλιακού κυττάρου επάνω σε ένα χαμηλού κόστους, εύκαμπτο πλαστικό υπόστρωμα πιθανό να μειώσει το κόστος παραγωγής. Οι διαδικασίες εκτύπωσης είναι απλές σε σύγκριση με άλλες λεπτές τεχνικές απόθεσης. Η διαδικασία το καθιστά πιθανό να παράγει τα ηλιακά κύτταρα που μπορούν να παραδώσουν μεγάλο ποσό ενέργειας και διάρκεια ζωής όσο και τα συμβατικά κύτταρα πυριτίου και να επιτύχουν πρωτοφανή πλεονεκτήματα μείωσης του όγκου δαπανών και της παραγωγής.

Αυτό οδηγεί πολύ στον ανταγωνισμό τιμών των φωτοβολταϊκών κυψελίδων ακόμα κι αν η απόδοση των κυψελίδων λεπτών film μπορεί να είναι λιγότερο απ' ό, τι για τις κυψελίδες από κρυστάλλους πυριτίου. Οι κατασκευαστές κυψελίδων λεπτών film δεν μιλούν για την τιμή των προϊόντων τους δεδομένου ότι τα προϊόντα δεν είναι γενικά διαθέσιμα στην αγορά, εκτός από μερικές εξειδικευμένες εφαρμογές.

## 2.3 Λειτουργία των Φωτοβολταϊκών Κυψελίδων.

Μία χαρακτηριστική φωτοβολταϊκή κυψελίδα (PV) πυριτίου απαρτίζεται από μια λεπτή γκοφρέτα που αποτελείται από ένα πολύ λεπτό στρώμα εμποτισμένου φωσφόρου πυριτίου (N-type) πάνω από ένα παχύτερο στρώμα εμποτισμένου βορίου πυριτίου (P-type). Ένα ηλεκτρικά φορτισμένο πεδίο δημιουργείται κοντά στην ανώτερη επιφάνεια της κυψελίδας όπου αυτά τα δύο υλικά είναι σε επαφή, που καλείται σύνδεση PN. Όταν το φως του ήλιου χτυπά την επιφάνεια μιας φωτοβολταϊκής κυψελίδας, αυτό το ηλεκτρικό πεδίο παρέχει ορμή και κατεύθυνση στα φωτοδιεγερόμενα ηλεκτρόνια, με συνέπεια μια ροή ρεύματος όταν συνδέεται η φωτοβολταϊκή κυψελίδα με ένα ηλεκτρικό φορτίο.



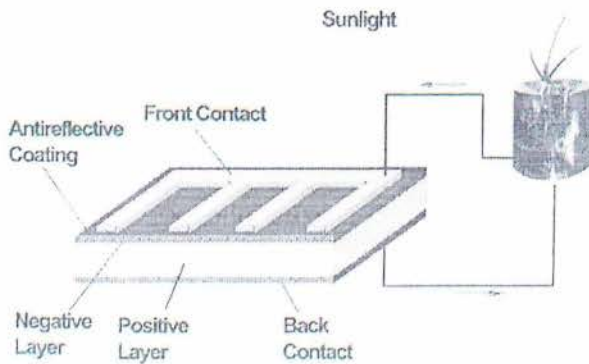
Εικόνα 2.4 : Τρόπος λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου. <sup>[33]</sup>

Ανεξάρτητα από το μέγεθος, μία φωτοβολταϊκή κυψελίδα πυριτίου παράγει περίπου 0.5 - 0.6 volt σε ανοιχτό κύκλωμα. Το ρεύμα που παράγει μία φωτοβολταϊκή κυψελίδα εξαρτάται από την αποδοτικότητα και το μέγεθος του (περιοχή επιφάνειας), και είναι ανάλογο με την ένταση του φωτός του ήλιου που χτυπά την επιφάνεια του κυττάρου. Παραδείγματος χάριν, υπό την μέγιστη ηλιοφάνεια μία τυπική φωτοβολταϊκή κυψελίδα με μια περιοχή επιφάνειας 160 τετραγωνικών εκατοστών ( $\text{cm}^2$ ) θα παραγάγει περίπου μέγιστη ισχύ 2 Watt. Εάν η ένταση φωτός του ήλιου ήταν 40 τοις εκατό (40 %) της μέγιστης ηλιοφάνειας, αυτή η κυψελίδα θα παρήγαγε περίπου 0.8 Watt.

## 2.4 Κατασκευή Φωτοβολταϊκών Κυψελίδων.

Η διαδικασία κατασκευής των συμβατικών ενιαίων και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελίδων πυριτίου αρχίζει με το πολύ καθαρό ημιαγωγό πολυπυριτίου, ένα υλικό που παράγεται από την επεξεργασία του χαλαζία και που χρησιμοποιείται εκτενώς σε όλη τη βιομηχανία της ηλεκτρονικής. Το πολυπυρίτιο έπειτα θερμαίνεται σε θερμοκρασία τήξης, και μικρά ποσά βορίου προστίθενται στο λειωμένο πολυπυρίτιο για να δημιουργηθεί το P-type ημιαγωγίμο υλικό. Έπειτα, ένα πλινθώμα, ή καλούπι του πυριτίου διαμορφώνεται, συνήθως χρησιμοποιώντας τη μια από τις δύο ακόλουθες μεθόδους: 1) με την ανάπτυξη ενός καθαρού κρυσταλλικού πλινθώματος πυριτίου που προέρχεται από το λειωμένο πολυπυρίτιο ή 2) με τη ρίψη του λειωμένου πολυπυριτίου σε έναν καλούπι, δημιουργώντας ένα πολυκρυσταλλικό πυρίτιο. Οι ανεξάρτητες γκοφρέτες τεμαχίζονται έπειτα από τα πλινθώματα χρησιμοποιώντας πριόνια καλωδίων και υποβάλλονται σε μια διαδικασία χαρακτηριστικής της επιφάνειάς τους. Αφότου καθαρίζονται οι γκοφρέτες, τοποθετούνται σε έναν φούρνο διάχυσης φωσφόρου, δημιουργώντας έτσι ένα λεπτό στρώμα ημιαγωγών N-type γύρω από ολόκληρη την εξωτερική επιφάνεια της κυψελίδας. Κατόπιν, ένα αντί-αντανακλαστικό επίστρωμα εφαρμόζεται στην επιφάνεια της κυψελίδας, και οι ηλεκτρικές επαφές αποτυπώνονται στην μπροστινή αρνητική επιφάνεια της κυψελίδας. Ένα επαργυλωμένο αγωγίμο υλικό κατατίθεται στην θετική πίσω επιφάνεια κάθε κυψελίδας, αποκαθιστώντας τις ιδιότητες του P-type της πίσω επιφάνειας με τη μετατόπιση του διασκορπισμένου στρώματος φωσφόρου.

Κάθε κυψελίδα έπειτα εξετάζεται ηλεκτρικά, ταξινομείται ανάλογα με την παραγωγή ρεύματος, και συνδέεται ηλεκτρικά με τις άλλες κυψελίδες για τον σχηματισμό κυκλωμάτων για τη συναρμολόγηση των φωτοβολταϊκών συστοιχιών.

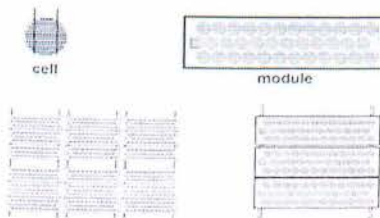


Εικόνα 2.5: Απεικόνιση των μερών που αποτελούν μία φωτοβολταϊκή κυψελίδα. <sup>[53]</sup>

## 2.5 Φωτοβολταϊκές Κυψελίδες, Συστοιχίες & διατάξεις

Οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες συνδέονται ηλεκτρικά σε σειρά ή παράλληλα σε κυκλώματα για να παραγάγουν τα υψηλότερα επίπεδα τάσης, ρεύματος και ισχύς. Οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες αποτελούνται από κυκλώματα φωτοβολταϊκών κυψελίδων που σφραγίζονται σε ένα περιβαλλοντικά προστατευτικό φύλλο πλαστικού, και είναι η θεμελιώδης δομική μονάδα των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Οι φωτοβολταϊκοί πίνακες περιλαμβάνουν μια ή περισσότερες ενότητες φωτοβολταϊκών κυψελίδων που συναρμολογούνται ως προκαλωδισμένες, έτοιμες προς εγκατάσταση μονάδες.

Μια φωτοβολταϊκή διάταξη είναι η πλήρης μονάδα κατασκευής ενέργειας, που αποτελείται από οποιοδήποτε αριθμό φωτοβολταϊκών συστοιχιών και πινάκων.



Εικόνα 2.6: Φαίνεται η σχέση ανάμεσα στις φωτοβολταϊκές κυψελίδες και την διάταξη ή συστοιχία αυτών. <sup>[53]</sup>

Η απόδοση των φωτοβολταϊκών διατάξεων εκτιμάται σύμφωνα με τη μέγιστη παραγωγή DC ισχύς τους (Watt) υπό τους τυποποιημένους όρους δοκιμής (STC). Οι τυποποιημένοι όροι δοκιμής καθορίζονται από μια θερμοκρασία λειτουργίας συστοιχίας 250 βαθμούς Κελσίου (77 βαθμούς Φαρενάιτ) και από το ηλιακό επίπεδο ακτινοβολίας 1000 Watt/m<sup>2</sup>. Δεδομένου ότι αυτές οι συνθήκες δεν είναι πάντα οι συνηθισμένες που λειτουργούν οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες και οι διατάξεις στο χωράφι, η πραγματική απόδοση είναι συνήθως 85 έως 90 τοις εκατό (85 % - 90 %) της εκτίμησης STC.

Οι σημερινές φωτοβολταϊκές συστοιχίες είναι εξαιρετικά ασφαλή και αξιόπιστα προϊόντα, με τα ελάχιστα ποσοστά βλάβης και προβλεπόμενη διάρκεια ζωής της τάξεως των 20 έως 30 ετών. Οι περισσότεροι σημαντικοί κατασκευαστές προσφέρουν εγγύηση είκοσι ή περισσότερων ετών για τη διατήρηση ενός υψηλού ποσοστού της αρχικής εκτιμώμενης παραγωγής ισχύος.

## **2.6 Φωτοβολταϊκά Συστήματα**

### **2.6.1 Η Λειτουργία ενός Φωτοβολταϊκού Συστήματος.**

Τα ηλιακά panel είναι συσκευές που μετατρέπουν το φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες PV στηρίζονται στη φωτοβολταϊκή επίδραση να απορροφήσουν την ενέργεια του ήλιου και να δημιουργήσουν τάση μεταξύ δύο αντίθετα φορτισμένων στρωμάτων.

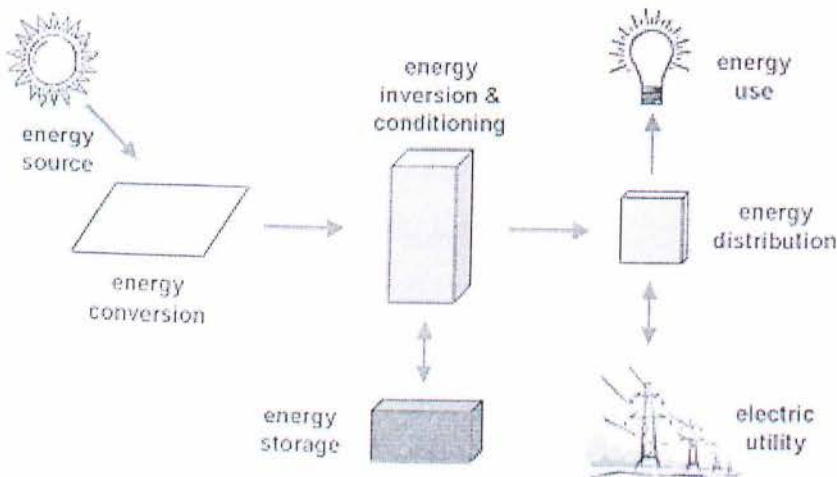
Με απλά λόγια, τα συστήματα είναι όπως οποιοδήποτε σύστημα που παράγει ηλεκτρική ενέργεια, αλλά ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός είναι διαφορετικός από αυτόν που χρησιμοποιείται για τα συμβατικά ηλεκτρομηχανικά παραγωγικά συστήματα. Εντούτοις, οι αρχές της λειτουργίας και της διασύνδεσης παραμένουν οι ίδιες, και καθοδηγούνται από ένα καθιερωμένο σύνολο ηλεκτρικών μεθόδων και προτύπων.

Παρόλα αυτά όμως μια φωτοβολταϊκή διάταξη παράγει ενέργεια όταν εκτίθεται στο φως του ήλιου, έτσι κάποια άλλα υποσυστήματα χρειάζονται για

να διευθύνουν, ελέγξουν, μετατρέψουν, διανείμουν και αποθηκεύσουν την ενέργεια που παράγεται από τη συστοιχία.

Ανάλογα με τις πρακτικές και λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος, τα συγκεκριμένα υποσυστήματα που χρειάζονται, και μπορεί να περιλαμβάνουν σημαντικά υποσυστήματα όπως έναν αναστροφέα ρεύματος DC-AC, συστοιχία μπαταριών, ελεγκτή συστημάτων και μπαταριών, βοηθητικές πηγές ενέργειας. Επιπλέον, μια ποικιλία υλικού ισορροπίας των συστημάτων (BOS), συμπεριλαμβανομένης της καλωδίωσης, υπερτροφοδότηση, η προστασία κύματος και αποσύνδεση συσκευών, και άλλος εξοπλισμός επεξεργασίας ενέργειας.

Οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται συχνά στα φωτοβολταϊκά συστήματα με σκοπό την αποθήκευση της ενέργειας που παράγεται από τη φωτοβολταϊκή διάταξη κατά τη διάρκεια της ημέρας, και για να τη παρέχει στα ηλεκτρικά φορτία όποτε χρειάζεται (κατά τη διάρκεια της νύχτας και των περιόδων νεφελώδους καιρού). Άλλοι λόγοι που οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι για να βοηθήσουν την φωτοβολταϊκή συστοιχία να λειτουργήσει κοντά στο μέγιστο της απόδοσης της, για να τροφοδοτήσει τα ηλεκτρικά φορτία με σταθερές τάσεις, και για να παρέχουν ρεύμα στα ηλεκτρικά φορτία και τους αναστροφείς. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένας ελεγκτής φόρτισης μπαταριών χρησιμοποιείται σε αυτά τα συστήματα για να προστατεύσει την μπαταρία από υπερφόρτωση ή από πολύ χαμηλά επίπεδα φόρτωσης.





**Εικόνα 2.7 :** Παρουσιάζεται το βασικό διάγραμμα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος και της σχέσης των επιμέρους συστατικών. <sup>[53]</sup>

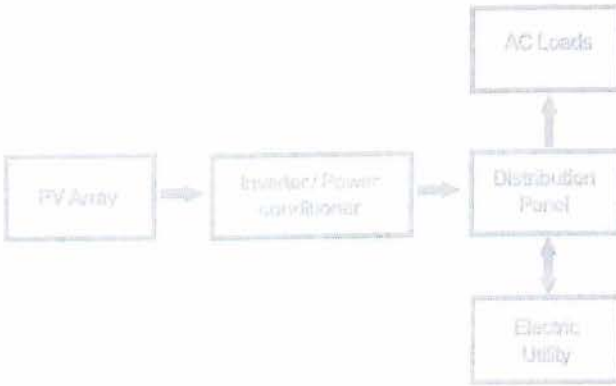
### 2.6.2 Τύποι Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι γενικά ταξινομημένα σύμφωνα με τις πρακτικές και λειτουργικές απαιτήσεις τους, τις ρυθμίσεις των υποσυστημάτων, και το πώς ο εξοπλισμός συνδέεται με άλλες πηγές ενέργειας και ηλεκτρικά φορτία. Οι δύο βασικές ταξινομήσεις είναι τα συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα και τα αυτόνομα συστήματα. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν για να παρέχουν το συνεχές DC ρεύμα και/ή ενέργεια εναλλασσόμενου AC ρεύματος, μπορούν να λειτουργήσουν διασυνδεδεμένα με ή ανεξάρτητα του κοινόχρηστου δικτύου, και μπορούν να συνδεθούν με άλλες πηγές ενέργειας και ενεργειακές αποθήκες.

Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα σχεδιάζονται για να λειτουργήσουν παράλληλα με το δημόσιο δίκτυο. Το αρχικό συστατικό στα συνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα είναι ο αναστροφέας, ή ενεργειακή ρυθμιστική μονάδα (PCU). Το PCU μετατρέπει τη συνεχή ενέργεια που παράγεται από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία σε εναλλασσόμενη ενέργεια σύμφωνα με τις ποιοτικές απαιτήσεις τάσης και ισχύος του δημόσιου δικτύου, και σταματά αυτόματα την παρεχόμενη ενέργεια στο δίκτυο όταν αυτό δεν είναι ενεργοποιημένο.

Μια αμφίδρομη επαφή γίνεται μεταξύ των κυκλωμάτων παραγωγής εναλλασσόμενου ρεύματος των φωτοβολταϊκών συστημάτων και του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, συνήθως σε έναν πίνακα διανομής, κοντά στο σύστημα. Αυτό επιτρέπει τη δύναμη εναλλασσόμενου ρεύματος που παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα, να τροφοδοτεί τα τοπικά ηλεκτρικά φορτία ή να τροφοδοτεί το δίκτυο όταν η παραγωγή των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι μεγαλύτερη από την απαίτηση των τοπικών φορτίων. Τη νύχτα και κατά τη διάρκεια άλλων περιόδων όταν τα ηλεκτρικά φορτία που απαιτούνται είναι μεγαλύτερα από την παραγωγή των φωτοβολταϊκών συστημάτων, η ενέργεια που απαιτείται από τα φορτία παραλαμβάνεται από το ηλεκτρικό δίκτυο. Γι'

αυτό η ρυθμιστική μονάδα ασφάλειας απαιτείται σε όλα τα συνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα, αφού εξασφαλίζει ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα δεν θα συνεχίσει να λειτουργεί και να τροφοδοτεί το ηλεκτρικό δίκτυο όταν αυτό είναι εκτός λειτουργίας για συντήρηση και επισκευή.



Εικόνα 2.8 : Διάγραμμα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων Συνδεδεμένων με το Ηλεκτρικό Δίκτυο. <sup>153</sup> |

### 2.6.2.1 Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

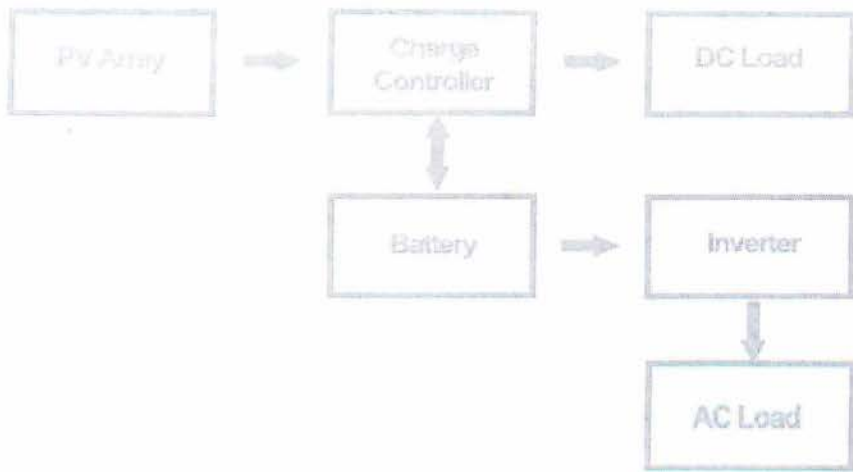
Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα σχεδιάζονται για να λειτουργήσουν ανεξάρτητα του δημόσιου δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, και γενικά δημιουργούνται για να τροφοδοτούν συγκεκριμένες συσκευές συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος. Αυτοί οι τύποι συστημάτων μπορούν να τροφοδοτηθούν από μόνο μια φωτοβολταϊκή διάταξη, ή μπορεί να χρησιμοποιήσει και τον αέρα με μια μηχανή-γεννήτρια ή εξωτερική ηλεκτρική ενέργεια ως πηγή βοηθητικής ενέργειας και καλείται φωτοβολταϊκό -υβριδικό σύστημα. Ο απλούστερος τύπος αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ένα άμεσα-συνδεδεμένο σύστημα, όπου η συνεχής τάση (DC) που παράγεται από μία φωτοβολταϊκή διάταξη ή μια φωτοβολταϊκή συστοιχία συνδέεται άμεσα με ένα DC φορτίο (εικόνα 11). Λεγόμενου ότι δεν υπάρχει καμιά

ηλεκτρική ενεργειακή αποθήκευση (μπαταρίες) στα αυτόνομα συστήματα, το φορτίο λειτουργεί μόνο κατά τη διάρκεια των ωρών φωτός του ήλιου, καθιστώντας αυτές τις κατασκευές κατάλληλες για κοινές εφαρμογές όπως οι ανεμιστήρες εξαερισμού, υδραντλίες, και μικρές αντλίες κυκλοφορίας για τα ηλιακά θερμικά συστήματα θέρμανσης ύδατος. Το ταίριασμα της σύνθετης αντίστασης του ηλεκτρικού φορτίου με τη μέγιστη παραγωγή ενέργειας της φωτοβολταϊκής διάταξης είναι ένα κρίσιμο μέρος της σχεδίασης ενός αποδοτικού αυτόνομου συστήματος. Για ορισμένα φορτία όπως οι θετικών μετατοπίσεων υδραντλίες, ένας τύπος ηλεκτρονικού DC-DC μετατροπέα, καλούμενος και ως maximum power point tracker (MPPT) χρησιμοποιείται μεταξύ της διάταξης και του φορτίου για να βοηθήσει στην καλύτερη χρησιμοποίηση της μέγιστης διαθέσιμης ενεργειακής παραγωγής της διάταξης.

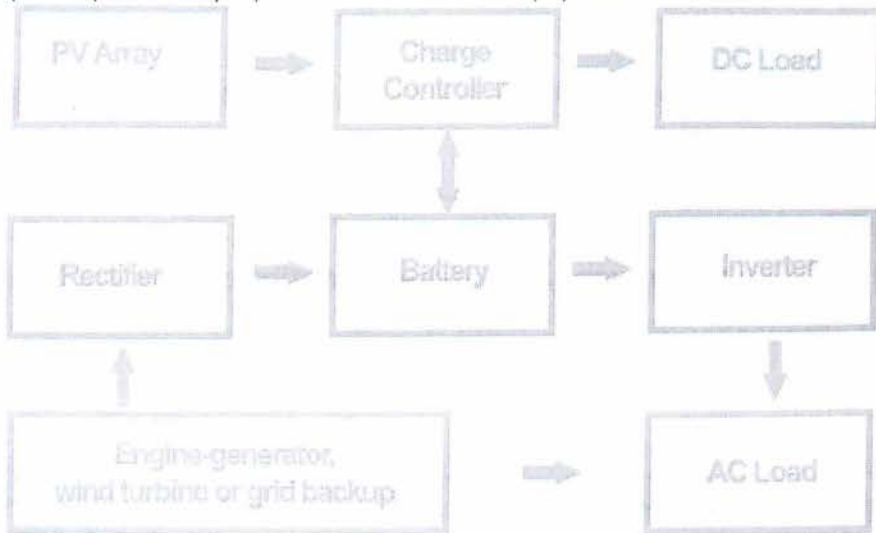


**Εικόνα 2.9 :** Η φωτοβολταϊκή συστοιχία συνδέεται άμεσα με ένα DC φορτίο. [53]

Σε πολλά αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ενέργειας. Στην εικόνα 12 παρουσιάζει ένα διάγραμμα ενός τυπικού αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος που τροφοδοτεί AC και DC φορτία. Επίσης στην εικόνα 13 απεικονίζεται ένα τυπικό υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα.



Εικόνα 2.10 : Διάγραμμα ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος με μπαταρία που τροφοδοτεί AC και DC φορτία. <sup>[53]</sup>

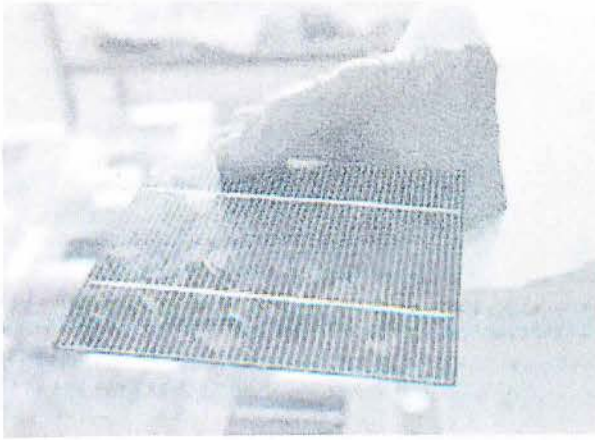


Εικόνα 2.11 : Διάγραμμα ενός φωτοβολταϊκού υβριδικού συστήματος. <sup>[53]</sup>

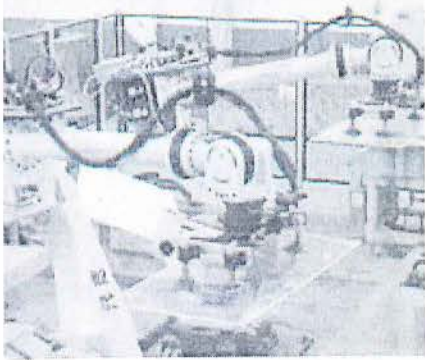
## 2.7 Η Αγορά των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.

Η αύξηση της κατασκευής φωτοβολταϊκών κυψελίδων αυξάνεται εντυπωσιακά. Το 2002, αυξήθηκε κατά 56% στην Ευρώπη, και περισσότερο από 46% στην Ιαπωνία. Αρκετές πλήρως αυτοματοποιημένες εγκαταστάσεις κατασκευής έχουν τεθεί σε λειτουργία όπως φαίνεται και στις παρακάτω

εικόνες - και οι αναμενόμενες μειώσεις τιμών μέσω της οικονομίας κλίμακας ήδη γίνονται .



**Εικόνα 2.12:** Δείγμα Φωτοβολταϊκής Κυψελίδας <sup>[54]</sup>



**Εικόνα 2.13:** Ρομπότ στην γραμμή κατασκευής φωτοβολταϊκών κυψελίδων στις εγκαταστάσεις στο Φοίνη της Λούιζιαν στις ΗΠΑ. <sup>[53]</sup>



**Εικόνα 2.14:** Παραγωγή φωτοβολταϊκών κυψελίδων (PV) στις εγκαταστάσεις Photowatt στη Bourgoin Jallieu, κοντά στη Λυών της Γαλλίας. <sup>[53]</sup>



**Εικόνα 2.15:** Δημιουργία σειράς φωτοβολταϊκών (PV) κυψελίδων 150mm, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή φωτοβολταϊκών συστοιχιών. <sup>[55]</sup>

Πολλά γεγονότα επηρέασαν την ανάπτυξη αυτού του κλάδου. Ένα από τα σημαντικότερα είναι η επιτυχία του ιαπωνικού προγράμματος φωτοβολταϊκών κυψελίδων το οποίο έχει επιτύχει να υπερβεί τους στόχους του. Η ιαπωνική παραγωγή φωτοβολταϊκών κυψελίδων φτάνει τα 250 MW που είναι σχεδόν το 50% της παγκόσμιας παραγωγής.

Η συνεχής μείωση του κόστους παραγωγής (που μειώνεται από 3 ως 5% ετησίως τα τελευταία χρόνια) επεκτείνει τη σειρά των οικονομικώς αποδοτικών χρήσεων συμπεριλαμβανομένου της οδικής σήμανσης και της εγχώριας ηλεκτρικής παραγωγής.

Μεγάλης κλίμακας προγράμματα που προσφέρουν οικονομικά κίνητρα όπως τη δυνατότητα να πωληθεί ηλεκτρική ενέργεια στο δημόσιο δίκτυο ηλεκτρισμού, έχει επιταχύνει πολύ το ρυθμό των ηλιακών εγκαταστάσεων φωτοβολταϊκών (PV) στην Ισπανία, στην Γερμανία, στην Ιαπωνία, στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, στην Αυστραλία, στην Νότια Κορέα, στην Ιταλία, στην Ελλάδα, στην Γαλλία, στην Κίνα και άλλες χώρες.



**Εικόνα 2.16** : Εναέρια άποψη της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών κυψελίδων (PV) στο κέντρο του Μονάχου στη Γερμανία. Αποτελείται από 7000 φωτοβολταϊκά πάνελ και καλύπτει επιφάνεια 63.000 τετραγωνικών μέτρων ( $m^2$ ).<sup>[54]</sup>

Πολλές εταιρείες και οργανισμοί αναπτύσσουν αυτήν την περίοδο τους τρόπους να αυξήσουν την πρακτικότητα της ηλιακής ενέργειας. Ενώ οι ιδιωτικές επιχειρήσεις πραγματοποιούν ένα μεγάλο μέρος της έρευνας και της ανάπτυξης στην ηλιακή ενέργεια, τα κολλέγια και τα πανεπιστήμια ερευνούν τις ηλιακά - τροφοδοτούμενες συσκευές. Το σημαντικότερο ζήτημα με τους ηλιακούς συλλέκτες είναι το κόστος. Λόγω της μεγάλης και αυξανόμενης ζήτησης, η τιμή του πυριτίου που χρησιμοποιείται για τις περισσότερες φωτοβολταϊκές κυψελίδες δέχεται μεγάλη πίεση. Αυτό έχει αναγκάσει τους υπεύθυνους για την ανάπτυξη νέων υλικών καθώς είναι επιβεβλημένη η χρήση λεπτότερου πυριτίου για να κρατηθεί το κόστος χαμηλά.

Λόγω των οικονομικών κλίμακας οι ηλιακοί συλλέκτες γίνονται πιο προσιτοί εξαιτίας της μεγάλης ζήτησης από την αγορά καθώς και της αύξησης της παραγωγής από τους κατασκευαστές, το κόστος αναμένεται να συνεχίσει να μειώνεται τα επόμενα χρόνια.



**Εικόνα 2.17 :** Χάρτης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην Γη. <sup>[56]</sup>

Τα Grid-tied συστήματα έχουν την μεγαλύτερη αύξηση. Στις ΗΠΑ, με τα κίνητρα από τις κυβερνήσεις, επιχειρήσεις ενέργειας (το 2006 και το 2007) και από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση, η αύξηση έχει κορυφωθεί. Ένα ακόμα κίνητρο είναι η δυνατότητα πίστωσης που δίνεται στους πελάτες ηλεκτρικής ενέργειας για οποιαδήποτε πρόσθετη ενέργεια που στέλνουν πίσω στο δίκτυο. Αυτό προκαλεί μια ενδιαφέρουσα αντιστροφή ρόλου, δεδομένου ότι η επιχείρηση που το χρησιμοποιεί γίνεται ο αγοραστής, και ο ιδιοκτήτης του συστήματος γίνεται ο πωλητής της ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχει εντατικό ερευνητικό ενδιαφέρον για τα ηλιακά -τροφοδοτημένα οχήματα και η τεχνολογία αναπτύσσεται γρήγορα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

### ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

#### 3.1 Οι Εφαρμογές στα Οχήματα

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '90, οι εξελίξεις στο περιβάλλον απαιτούν μια προσέγγιση σε «μηδενικές εκπομπές» από τα οχήματα, κάτι που αύξησε το ενδιαφέρον για μια νέα τεχνολογία μπαταριών. Τα συστήματα μπαταριών που προσφέρουν την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα έγιναν το θέμα της από κοινού έρευνας από επιστήμονες της αυτοκινητοβιομηχανίας.

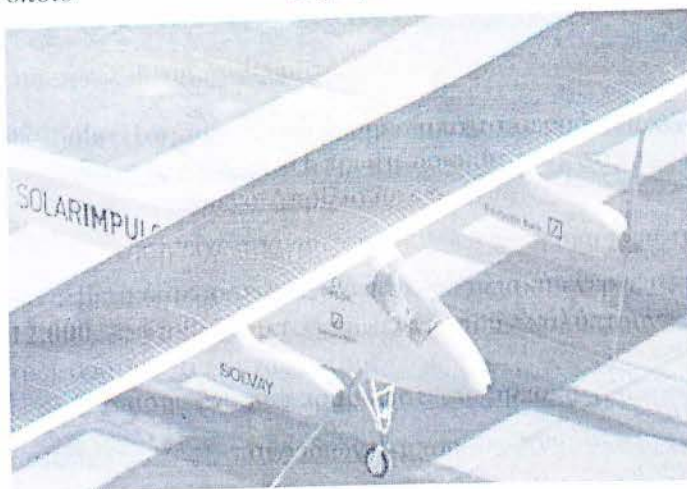
Τα ηλιακά αυτοκίνητα χτίστηκαν αρχικά από πανεπιστήμια. Το μέγεθος των ηλιακών ενεργειακών συλλεκτών αποδείχθηκαν πάρα πολύ μεγάλο για τα σημερινά ενεργοβόρα αυτοκίνητα, εντούτοις αυτό αλλάζει. Η ανάπτυξη τεχνολογίας συνεχίζεται πάνω στις ηλιακές ενεργειακές κυψέλες και στις συσκευές υψηλών απαιτήσεων παροχής ηλεκτρικού ρεύματος όπως οι ανεμιστήρες θερμαστών ή ο κλιματισμός.



**Εικόνα 3.1** : Οι υψηλής απόδοσης φωτοβολταϊκές (PV) κυψελίδες που τοποθετήθηκαν πάνω από το Sojourner παρήγαγαν 16 Watt. <sup>[25]</sup>

Τα ηλιακά-τροφοδοτούμενα αυτοκίνητα χρησιμοποιούν την ηλιακή παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια για να τροφοδοτήσουν τις ηλεκτρικές μηχανές τους. Όταν εκτός ηλεκτρικού δικτύου η απόδοση ενός ηλιακά τροφοδοτημένου αυτοκινήτου εξαρτάται από τις μπαταρίες και τις διάφορες μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας (ελαφριά κατασκευή, αεροδυναμική).

Πρέπει επίσης να παρέχουν αρκετή ελεύθερη επιφάνεια για τις φωτοβολταϊκές κυψελίδες. Τυπικά πειραματικά αυτοκίνητα είναι τα ηλιακά αγωνιστικά οχήματα, γνωστά και από τον αγώνα αυτοκινήτων «Solar World Challenge» που πραγματοποιείται στην Αυστραλία. Παράγοντας μιας μέγιστης έξοδο της τάξεως των 3.6 κιλοβάτ (kWatts), το Icaré ανεμόπτερο από το πανεπιστήμιο της Στουτγάρδης στη Γερμανία είναι ένα αεροπλάνο με μεγάλη έκταση φτερών και μια αφθονία στο μέγεθος επιφάνειας για τις φωτοβολταϊκές κυψελίδες, σαν το αεροσκάφος σε σχήμα δέλτα από τη NASA γνωστό ως pathfinder, το οποίο παράγει 12.5 κιλοβάτ,



Το ηλιακό αεροπλάνο

**Solar Impulse** απογειώθηκε για την πρώτη του δοκιμαστική 24ωρη πτήση, σύμφωνα με δημοσίευματα

Το **Solar Impulse** απογειώθηκε από το αεροδρόμιο Payerne της Ελβετίας το πρωί 7 Ιουλίου 2010. Η πρώτη δοκιμαστική πτήση του ηλιακού αεροπλάνου έγινε τον περασμένο Απρίλιο με επιτυχία.

Τότε η πτήση είχε πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Το ελβετικό αεροσκάφος κινείται με ηλιακή ενέργεια, η οποία συλλέγεται στις **12,000** φωτοβολταϊκές κυψέλες που καλύπτουν τα πτερύγια του και τροφοδοτούν τις μηχανές του.

Επίσης έχουν πειραματιστεί με ηλιακά τροφοδοτημένα αεροσκάφη. Οι κατασκευαστές παιχνιδιών μπορούν να κατασκευάσουν τα ηλιακά τροφοδοτημένα αυτοκίνητα με ένα έτοιμο δομικό σύστημα, το Kosmos.



**Εικόνα 3.2 :** Ηλιακά Τροφοδοτούμενο Αυτοκίνητο, το οποίο πήρε έλαβε μέρος σε αγώνες του «Solar World Challenge» .<sup>[56]</sup>

### 3.1.1 Το Πρώτο Ηλιακά Τροφοδοτούμενο Αυτοκίνητο

Τον Ιούλιο του 2004 ήταν η 20ή επέτειος από όταν ο Greg Johanson και Joel Davidson κατέκτησαν το πρώτο παγκόσμιο βραβείο Guinness για ένα 100% ηλιακά τροφοδοτούμενο αυτοκίνητο. Το 1986, το ηλιακό ηλεκτρικό όχημα σαν ιδέα αποσύρθηκε, αλλά η ηλιακή διάταξη χρησιμοποιείται για την παροχή ενέργειας σε ένα σπίτι εκτός ηλεκτρικού δικτύου.

Για να δείξει τις αρχές ενός ηλιακού ηλεκτρικού αυτοκινήτου, σε μια υπαίθρια έκθεση, ο Greg Johanson σύνδεσε με καλώδιο μερικές φωτοβολταϊκές (PV) κυψελίδες επάνω σε ένα ηλεκτρικό τραίνο παιχνίδι. Βλέποντας την προσοχή που απέσπασε αυτό το ηλιακό τραίνο καθώς συνέχιζε να κινείται γύρω από τη διαδρομή του, σκέφτηκε ότι ένα ηλιακό όχημα θα προσέλκυε πολύ περισσότερο ενδιαφέρον για τα φωτοβολταϊκά (PV).

Το πρώτο όχημά τους ήταν ένα ελαφρύ τρίτροχο με ιπποδύναμη 1/2HP, 60V, DC μηχανή. Πέντε μικρές, 20 amp-hour, 12V μπαταρίες συνδέθηκαν με καλώδιο στη σειρά χρησιμοποιήθηκαν για κινητήρια δύναμη. Πέντε φωτοβολταϊκές κυψελίδες των 35W, τοποθετημένες σαν ένας θόλο, φόρτιζαν τις μπαταρίες. Το όχημα μπορούσε να πιάσει πάνω από 40 mph (64 km/h) και ήταν πραγματικά διασκεδαστικό στην οδήγησή του μέχρι τα 30 mph (48 km/h). Σε ηλιακή έκθεση σε ηλιόλουστη μέρα, το όχημα είχε ακτίνα δράσης τα 6 mph (9.6 km/h).

Μετά από έρευνα και διάφορες συζητήσεις με ειδικούς πάνω στα ποδήλατα και μηχανικούς, έφτιαξαν σχέδια που στηρίχτηκαν στις

κατασκευαστικές ιδέες που αναπτύχθηκαν από το International Human Powered Vehicle Association, όμως έπρεπε βέβαια να γίνουν συμβιβασμοί για να προσαρμοστεί η ηλιακή διάταξη. Το αυτοκίνητο ηλιακής ενέργειας Sunrunner, σχεδιάστηκε με σκοπό την ταχύτητα, αλλά θέλησαν η διάταξη να διπλασιάζεται σαν φορητό εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας για τις πιο πρακτικές επιδείξεις.

Η κατασκευή προχώρησε αργά δεδομένου ότι πλήρωναν οι ίδιοι για την κατασκευή και δεν είχαν κάποιο χορηγό ή κάποιου είδους επιχορήγηση. Χρησιμοποίησαν τον ελαφρύ chrome-molly χάλυβα για το σασί του Sunrunner. Η κατασκευή παρείχε αρκετή ελαστικότητα εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη για την ανάρτηση. Χρησιμοποίησαν τροχούς που ήταν σχεδιασμένοι για αγωνιστικά ποδήλατα και για ελαφριές αναπηρικές καρέκλες. Δεν χρησιμοποιήθηκαν μπαταρίες στο Sunrunner η ηλιακή διάταξη ήταν η μόνη πηγή ενέργειας.

Δεδομένου ότι την μέγιστη ταχύτητα θα την έπιανε σε μια ευθεία διαδρομή, υψηλής ταχύτητας ελιγμοί ήταν περιττοί, το Sunrunner σχεδιάστηκε με μια μεγαλύτερη ακτίνα τροχού, απλουστεύοντας τα μηχανικά μέρη. Η εμπειρία τους με τα ηλιακά ηλεκτρικά αυτοκίνητα τους δίδαξε να σχεδιάζουν με βάση τους ανοικτούς, ήρεμους δρόμους στην έρημο και όχι για χρήση μέσα στην πόλη. Δεν υπάρχει κανένας περιορισμός για τα πειραματικά οχήματα, αλλά η οδήγηση τους εντός πόλης είναι επικίνδυνος. Ο κίνδυνος πρόκλησης ενός ατυχήματος από περίεργους οδηγούς και θεατές είναι πάρα πολύ μεγάλος. Κάθε φορά που έβγαζαν το Sunrunner στον δρόμο, η κυκλοφορία σταματούσε και οι άνθρωποι το κοίταζαν επίμονα.

Τα πρώτα φρένα ήταν αγωνιστικά δισκόφρενα ποδηλάτων που λειτουργούσαν πάρα πολύ καλά. Σταματούσαν τους τροχούς στο ελαφρύ όχημα, προκαλώντας το μπλοκάρισμα των τροχών. Συμβιβάστηκαν χρησιμοποιώντας κανονικά φρένα ποδηλάτων.

Η μετάδοση της δύναμης γινόταν από μία απλή αλυσίδα από τον άξονα της μηχανής μέχρι τον κινητήριο άξονα. Χρησιμοποίησαν την ίδια μηχανή

ιπποδύναμης 1/2 HP όπως και στο πρώτο τους όχημα επειδή ήταν πολύ αποδοτική.

Για την μετατροπή της ηλιακής ενέργεια σε ηλεκτρική, χρησιμοποίησαν συστοιχίες με διαστάσεις 305 x 1219 χιλιοστά, χωρίς μεταλλικά πλαίσια ή κουτιά διασύνδεσης για να ελαχιστοποιηθεί το βάρος. Η διάταξη συνδέθηκε σε παράλληλες σειρές των 60 Volt. Η πρώτη δοκιμή στους δημόσιους δρόμους ήταν προβληματική δεδομένου ότι η μηχανή δεν είχε την απαραίτητη ροπή για να κινηθεί στην κυκλοφορία.

Επιπλέον, η τελική ταχύτητα δεν θα επιτυγχανόταν νωρίτερα από τα 5/8 του μιλίου (1 km). Έκαναν ένα κατασκευαστικό συμβιβασμό, άλλαξαν σε μια λιγότερο αποδοτική μηχανή ιπποδύναμης 1HP. Ένας DC-DC μετατροπέας χρησιμοποιήθηκε για την αλλαγή του ρεύματος/τάσης της διάταξης παρέχοντας το υψηλό ρεύμα και την χαμηλή τάση που χρειαζόταν για την εκκίνηση του ο κινητήρα. Αφού είχε ξεκινήσει το όχημα, ο μετατροπέας θα μετατοπιζόταν σε υψηλότερες τάσεις.

Για το χαμηλότερο συντελεστή τριβής, ο οδηγός έπρεπε να είναι ξαπλωμένος μπρούμυτα, με το πρόσωπο προς τα εμπρός. Επέλεξαν μια συμβατική ξαπλωτή θέση, δίνοντας στον οδηγό καλύτερη ορατότητα, περισσότερη άνεση, και κάπως καλύτερη ασφάλεια.

Το ηλιακό ηλεκτρικό όχημα αντιδρούσε προβλεπόμενα. Η αντίσταση του αέρα ήταν ελάχιστη, δεδομένου ότι η μετωπική περιοχή ήταν πάρα πολύ μικρή. Η αεροδυναμική τριβή που δημιουργούνταν πάνω και κάτω από την επιφάνεια της ηλιακής συστοιχίας είχε επιπτώσεις στην ταχύτητα, αλλά τίποτα δεν θα μπορούσε να γίνει για αυτό.

Τα ελαστικά φουσκώνονταν στις 120 λίβρες ανά τετραγωνική ίντσα (PSI) έτσι το ηλιακό τροφοδοτημένο αυτοκίνητο είχε μόνο 4 τετραγωνικές ίντσες (25.8 τετράγωνα εκατ.) ελαστικά στον δρόμο, μειώνοντας έτσι την αντίσταση σημαντικά.

Το μέλλον των ηλιακών ηλεκτρικών οχημάτων διαγράφεται φωτεινό. Με την αύξηση των τιμών του πετρελαίου να έχει προοπτικές να ξεπεράσει τα 100 δολάρια το βαρέλι. Με την εμφάνιση των υβριδικών οχημάτων

εμφανίζεται η ευκαιρία για τη είσοδο άλλων ενεργειακών πηγών ενέργειας όπως η ηλιακή. Μπορεί να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως η μόνη πηγή ενέργειας αλλά σήμερα μπορεί να καλύψει το 10-20%, αύριο 20-40% και καθώς πετρέλαιο και τα καύσιμα γίνονται δυσκολότερα στην ανάκτηση τους και ακριβότερα για τους χρήστες οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας πρέπει να βρεθούν.

### 3.1.2 Ηλιακά ποδήλατα και μοτοσυκλές

Τα πρώτα ηλιακά «αυτοκίνητα» στην πραγματικότητα ήταν τρίκυκλα τα οποία κατασκευάστηκαν με την τεχνολογία ποδηλάτων. Αυτά ονομάστηκαν solar mobiles στον πρώτο ηλιακό αγώνα, το Tour de Sol στην Ελβετία το 1985 με περίπου 60 συμμετέχοντες, τα 30 να χρησιμοποιούν αποκλειστικά ηλιακή ενέργεια και τα άλλα 30 ήταν υβριδικά ηλιακής και ανθρώπινης ενέργειας. Μόνο λίγα αληθινά ηλιακά ποδήλατα κατασκευάστηκαν, μερικά με μια μεγάλη ηλιακή στέγη από πάνω, άλλα με μία μικρή συστοιχία στο πίσω μέρος, ή με ένα ρυμουλκό ηλιακών πάνελ. Αργότερα, πρακτικότερα ηλιακά ποδήλατα κατασκευαστήκαν με πτυσσόμενες διατάξεις που μπορούσαν να ρυθμιστούν μόνο κατά τη διάρκεια της στάθμευσης. Ακόμη πιο μετά οι ηλιακοί πίνακες έμειναν στο σπίτι, τροφοδοτώντας μπαταρίες, και τα ποδήλατα επαναφορτίζονταν από αυτές τις μπαταρίες.

Σήμερα τεχνολογικά αναπτυγμένα ηλεκτρικά ποδήλατα είναι διαθέσιμα και καταναλώνουν τόσο λίγη δύναμη που είναι αρκετά συμφέρον να αγοράσει κάποιος το ισοδύναμο ποσό ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας.

### 3.1.3 Ηλιακό θερμικό σύστημα για ηλεκτρικά λεωφορεία

Προκειμένου να κρατηθούν μηδενικές οι εκπομπές ρύπων στα οχήματα που λειτουργούν στα κρύα κλίματα, θα πρέπει να επιστρατευθούν εναλλακτικά συστήματα θέρμανσης που δεν τροφοδοτούνται από ορυκτά καύσιμα. Η θέρμανση των ηλεκτρικών οχημάτων παρουσιάζει μια ιδιαίτερη πρόκληση εάν οι μπαταρίες δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας

προκειμένου να κρατηθεί το όχημα ζεστό. Διαφαινεται ότι οι θερμάστρες κηροζίνης χρησιμοποιούνται προς το παρόν σε πολλά ηλεκτρικά οχήματα στα κρύα κλίματα είναι μία καλή λύση.

Τα ηλιακά ηλεκτρικά συστήματα μπορούν να παρέχουν ενέργεια για να φορτίσουν τις μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων έτσι ώστε τα οχήματα να έχουν πραγματικά μηδενικές εκπομπές ρύπων.

Εντούτοις, η χρησιμοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας για τη θέρμανση χώρου δεν είναι η αποδοτικότερη στρατηγική από θερμοδυναμική άποψη. Σε αυτήν την μελέτη ένα ηλιακό θερμικό σύστημα σχεδιάστηκε λεπτομερώς για να παρέχει τη θερμότητα χώρου σε ένα ηλεκτρικό λεωφορείο. Το σύστημα θα μπορούσε να φτιαχτεί υπό κλίμακα κατάλληλα για ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο ή για στόλους οχημάτων.

Το σύστημα δημιουργήθηκε για να παρέχει τη θερμότητα και να κρατήσει το διαμέρισμα του οδηγού στους 270 C σε ένα υπάρχον ηλεκτρικό λεωφορείο στο Lowell, κατά τη διάρκεια πέντε ίδιων ωρών κάθε ημέρα κάτω από 180 C στο περιβάλλον. Άλλη ανάλυση έχει δείξει ότι το συνολικό φορτίο, σε εποχής θέρμανσης, κατά τη διάρκεια δέκα ωρών ημερησίως κάθε σχολική ημέρα, λαμβάνοντας υπόψη τα παθητικά ηλιακά κέρδη, είναι ισοδύναμος με 1300 KWH ανά έτος.

Με βάση τις προδιαγραφές και τις αναλύσεις του συστήματος, μια συστηματική έρευνα πραγματοποιήθηκε για να καθορίσει το καλύτερο σχέδιο από τα διάφορα εναλλακτικά σχέδια. Ένα λεπτομερές διαφορικά πεπερασμένο μοντέλο αναπτύχθηκε με το πρόγραμμα MATLAB για να εξομοιώσει τη θερμική απόδοση. Ένας ηλιακός συλλέκτης με μια έκταση 31 τετραγωνικών μέτρων στη στέγη του γκαράζ και μια υπόγεια δεξαμενή ύδατος 6 κυβικών μέτρων είχαν ως σκοπό να παρέχουν το 90% της αναγκαίας ενέργειας. Ένα σύστημα θερμικής αντλίας σχεδιάστηκε για να μεταφέρει τη θερμότητα από την δεξαμενή στην αποθήκευση θερμότητας στο λεωφορείο. Η ηλεκτρική ενέργεια για την θερμική αντλία παρείχε το άλλο 10%. Το σύστημα αποθήκευσης θερμότητας στο λεωφορείο (που σχεδιάζεται και που χτίζεται από Chien, Duff, και Reinhardt) είναι βασισμένο στο υλικό  $\text{CaCl}_2$ .

Με μια - κατ' εκτίμηση - αποταμίευση είκοσι ετών ηλεκτρικής ενέργειας (7 cents/Kwh σε ένα ποσοστό απώλειας 3% και ένα ποσοστό έκπτωσης 5%) κατά προσέγγιση \$2300 για τη θέρμανση λεωφορείων και ενός άλλων \$5300 για άλλες χρήσεις, είναι δύσκολο να δικαιολογηθεί το κόστος ενός τέτοιου συστήματος με τις σημερινές τιμές ενέργειας. Εντούτοις, παρουσιάζει ενδιαφέρον, τουλάχιστον στη φάση του σχεδιασμού και δείχνει να είναι ένα ουσιαστικό σύστημα με μηδενικές εκπομπές ρύπων και δεν πρέπει να παραμεληθεί.

### 3.1.4 Αναλύοντας Ένα Ηλιακό Τροφοδοτούμενο Αυτοκίνητο

Τα ηλιακά αυτοκίνητα συνδυάζουν την τεχνολογία που χρησιμοποιείται συνήθως από τις βιομηχανίες των ποδηλάτων, της εναλλακτικής ενέργειας, τις αυτοκινητοβιομηχανίες και της αεροναυπηγικής. Αντίθετα από τα συνηθισμένα αγωνιστικά αυτοκίνητα, τα ηλιακά αυτοκίνητα σχεδιάζονται με αυστηρούς ενεργειακούς περιορισμούς που επιβάλλονται από τους κανονισμούς των αγώνων. Αυτοί οι κανόνες περιορίζουν την χρησιμοποιούμενη ενέργεια μόνο σε αυτή που συλλέγεται από την ηλιακή ακτινοβολία και κατά συνέπεια τους μόνους τρόπους βελτιστοποίησης του οχήματος να αποτελέσουν η αεροδυναμική έλξη, το βάρος των οχημάτων, η αντίσταση κύλισης και η ηλεκτρική απόδοση. Χρειάζεται επίσης χρήση μη συμβατικών λύσεων, παραδείγματος χάριν, αντί για ένα συμβατικό κάθισμα αυτοκινήτου που θα ζύγιζε δεκάδες κιλά, ένα ηλιακό αυτοκίνητο που σχεδιάστηκε από το πανεπιστήμιο του Μίσιγκαν χρησιμοποίησε ένα νάιλον πλέγμα για την κατασκευή του καθίσματος που συνδυάστηκε με ένα λουρί πέντε σημείων που ζύγισε λιγότερο από 1,36 κιλά.

Το σχέδιο ενός ηλιακού αυτοκινήτου εξαρτάται από την παρακάτω εξίσωση δύναμης:

$$\eta \left\{ \eta_m E + \frac{P_x}{v} \right\} = \left\{ WC_{rr} + NC_{rr}v + \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \right\} x + Wh + \frac{N_a W v^2}{2g}$$

Εν συντομία, η αριστερή πλευρά αντιπροσωπεύει την ενεργειακή τροφοδοσία στο αυτοκίνητο (μπαταρίες και τη ισχύ από τον ήλιο) και η δεξιά πλευρά είναι η ενέργεια που απαιτείται για να ολοκληρώσει το αυτοκίνητο το



μήκος της αγωνιστικής διαδρομής (υπερνικώντας την αντίσταση κύλισης, την αεροδυναμική έλξη και την επιτάχυνση για να διασχίσει ανηφορικά κομμάτια της διαδρομής). Όλα σε αυτήν την εξίσωση μπορούν να υπολογιστούν εκτός από το  $v$ .

Οι παράμετροι περιλαμβάνουν:

$\eta$  = μηχανή, (δεκαδική τιμή)

$\eta_b$  = απόδοση των μπαταριών  $W/H$  (δεκαδική τιμή)

$E$  = ενέργεια διαθέσιμη στις μπαταρίες (joule)

$P$  = κατ' εκτίμηση μέση ενέργεια από τις συστοιχίες (Watt)

$x$  = καθημερινή απόσταση αγωνιστικής διαδρομής (μέτρα)

$W$  = βάρος του οχήματος (newtons)

$C_{rr1}$  = πρώτος συντελεστής της αντίστασης κύλισης (non-dimensionall)

$C_{rr2}$  = δεύτερος συντελεστής της αντίστασης κύλισης (Newton- δευτερόλεπτα ανά μέτρο)

$N$  = πλήθος τροχών στο όχημα (ακέραιος αριθμός)

$\rho$  = πυκνότητα αέρα (χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο)

$C_d$  = ο συντελεστής οπισθέλκουσας (non-dimensionall)

$A$  = μετωπική περιοχή (τετραγωνικά μέτρα)

$h$  = συνολικό ύψος που το όχημα θα αναρριχηθεί (μέτρα)

$N_a$  = αριθμός των φορών που το όχημα θα επιταχύνει σε μια ημέρα αγώνα (ακέραιος αριθμός)

$g$  = σταθερά βαρύτητας (μέτρα ανά τετραγωνικό δευτερόλεπτο)

$v$  = μέση ταχύτητα κατά τη διαδρομή (μέτρα ανά δευτερόλεπτο)

Η επίλυση της εξίσωσης για την ταχύτητα οδηγεί σε μια μεγάλη εξίσωση (περίπου 100 όροι). Από το αποτέλεσμα της εξίσωσης, οι σχεδιαστές οχημάτων μπορούν να συγκρίνουν τα διάφορα σχέδια αυτοκινήτων και να αξιολογήσουν τη συγκριτική απόδοση σε μια δεδομένη διαδρομή.

Σε συνδυασμό με το CAD και τα συστήματα αναπαραγωγής, η εξίσωση δύναμης είναι ένα χρήσιμο εργαλείο στο σχεδιασμό ηλιακών αυτοκινήτων.

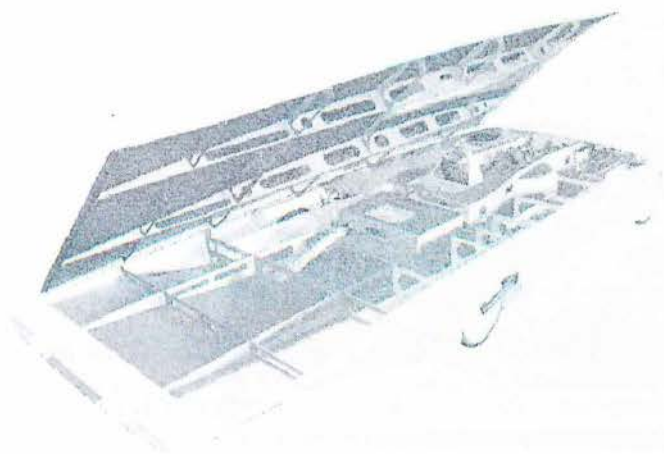
Ένα ηλιακό αυτοκίνητο είναι ένα ελαφρύ, χαμηλής ισχύος όχημα που σχεδιάζεται και που κατασκευάζεται με σκοπό – να αγωνίζεται. Παρόμοια με τα αυτοκίνητα αγώνων του Indy ή της Φόρμουλα 1, τα ηλιακά αυτοκίνητα δεν αντιπροσωπεύουν πρακτικά μέσα της μεταφοράς. Έχουν περιορίσει τον διαθέσιμο χώρο για θέσεις(συνήθως μια, μερικές φορές δύο), έχουν πολύ μικρό αποθηκευτικό χώρο και τέλος μπορούν να οδηγηθούν μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Εντούτοις, στην προκειμένη περίπτωση προσφέρεται μια άριστη ευκαιρία να αναπτυχθούν μελλοντικές τεχνολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν σε πρακτικές εφαρμογές.

Χρειάζεται αρκετός χρόνος και μεγάλο κεφάλαιο για την ανάπτυξη ενός υψηλού επιπέδου ηλιακού αυτοκινήτου. Η έννοια πίσω από ένα ηλιακό όχημα είναι αρκετά απλή και απεικονίζεται στο διάγραμμα ενεργειακής ροής(εικόνα 22). Προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η περιορισμένη ενέργεια που προσφέρεται από τον ήλιο, οι ομάδες χρησιμοποιούν μια διαδικασία σχεδιασμού για να αναπτύξουν ένα ασφαλές, αξιόπιστο, και αποδοτικό όχημα.

Ένα ηλιακό αυτοκίνητο αποτελείται από πολλά εξαρτήματα που έχουν ενσωματωθεί μαζί έτσι ώστε να λειτουργούν ως ενιαίο σύστημα. Έχουμε χωρίσει αυτά τα συστατικά σε έξι αρχικά συστήματα:

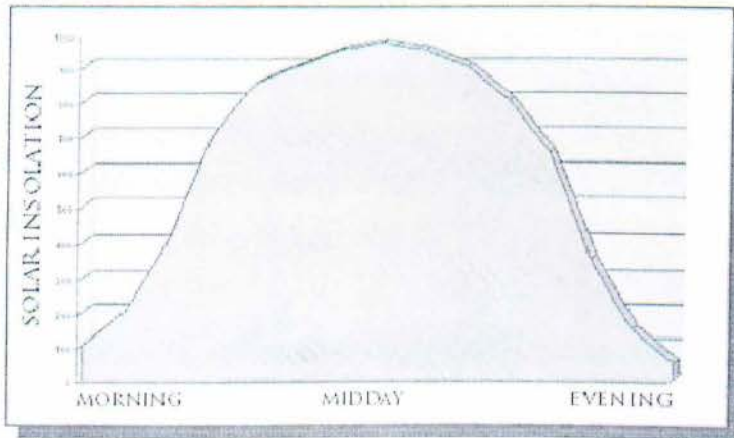
- Χειριστήρια οδηγού.
- Ηλεκτρικό σύστημα.
- Σύστημα Μετάδοσης.
- Μηχανικά συστήματα.
- Ηλιακή διάταξη.
- Το αμάξιωμα και το σασί.

Η παρακάτω εικόνα ενός ολοκληρωμένου ηλιακού αυτοκινήτου που περιλαμβάνει όλα τα συστήματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

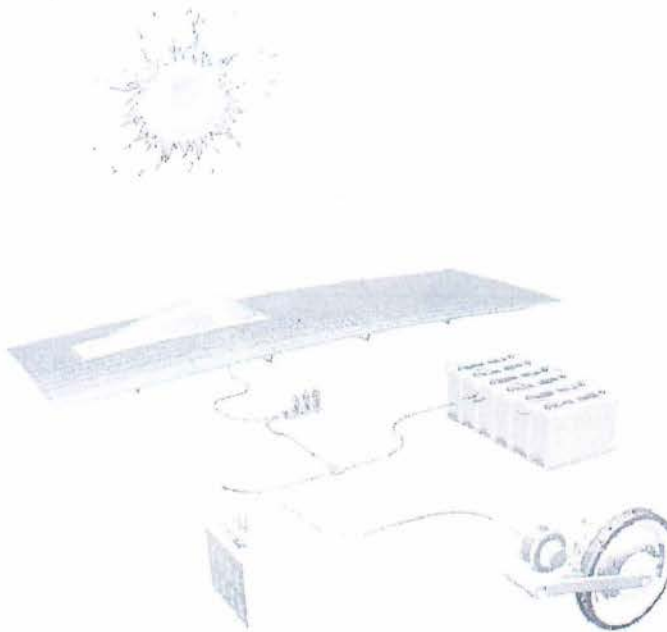


**Εικόνα 3.3 :** Τομή ενός ηλιακού αυτοκινήτου .<sup>[56]</sup>

Η ενέργεια από τον ήλιο μεταφέρεται στη γη καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Εντούτοις, το ενεργειακό αυτό ποσό αλλάζει κατά την διάρκεια της ημέρας και επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες, και την γεωγραφική θέση. Το ποσό διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας είναι γνωστό ως ηλιακή έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία και συνήθως μετριέται σε Watt ανά τετραγωνικό μέτρο ( $W/m^2$ ). Στη Βόρεια Αμερική, μια ηλιόλουστη ημέρα χωρίς σύννεφα στις αρχές του απογεύματος η ηλιακή έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία θα είναι κατά προσέγγιση περίπου  $1000W/m^2$ , αλλά τα πρωινά, τα βράδια, ή όταν οι ουρανοί είναι συννεφιασμένοι, η ηλιακή έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία θα μειωθεί μέχρι και  $0 W/m^2$  (δείτε την εικόνα 3.4 ). Οι ομάδες πρέπει να συνειδητοποιήσουν πώς η διαθέσιμη έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία αλλάζει προκειμένου να συλληφθεί όσο το δυνατόν περισσότερο της διαθέσιμης ενέργειας.



Εικόνα 3.4 : Ηλιακή έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία κατά την διάρκεια της ημέρας. <sup>[56]</sup>



Εικόνα 3.5: Διάγραμμα ενεργειακής ροής ενός ηλιακού αυτοκινήτου. <sup>[56]</sup>

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται μια γενική ιδέα πώς η ενέργεια ρέει σε ένα ηλιακό αυτοκίνητο. Το φως του ήλιου χτυπά τις κυψελίδες της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, η οποία παράγει ηλεκτρικό ρεύμα. Η ενέργεια

(ρεύμα) μπορεί να διανεμηθεί στις μπαταρίες για αποθήκευση, ή άμεσα στον ελεγκτή της μηχανής, ή σε έναν συνδυασμό και των δύο.

Η ενέργεια που στέλνεται στον ελεγκτή χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει τη μηχανή που γυρίζει τη ρόδα και κάνει το αυτοκίνητο να κινηθεί.

Γενικά, εάν το αυτοκίνητο είναι σε κίνηση, η ενέργεια από το φως του ήλιου παραδίδεται άμεσα στον ελεγκτή της μηχανής, αλλά υπάρχουν στιγμές που η ενέργεια που προέρχεται από την φωτοβολταϊκή (PV) διάταξη υπερκαλύπτει τις ανάγκες του ελεγκτή της μηχανής. Όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο, η περίσσεια ενέργεια αποθηκεύεται στις μπαταρίες για μεταγενέστερη χρήση.

Όταν η διάταξη δεν μπορεί να παραγάγει αρκετή ενέργεια για να τροφοδοτήσει την μηχανή με την επιθυμητή ταχύτητα, η ενέργεια της σειράς συμπληρώνεται με την αποθηκευμένη ενέργεια από τις μπαταρίες. Φυσικά, όταν το αυτοκίνητο δεν είναι σε κίνηση, όλη η ενέργεια από την ηλιακή διάταξη αποθηκεύεται στις μπαταρίες.

Υπάρχει επίσης ένας τρόπος να επανακτηθεί μερική από την ενέργεια που χρησιμοποιείται για να ωθήσει το αυτοκίνητο. Όταν το αυτοκίνητο επιβραδύνεται, αντί για την χρησιμοποίηση κανονικών μηχανικών φρένων, η μηχανή μετατρέπεται σε γεννήτρια και επιστρέφει μέρος της ενέργειας προς τα πίσω μέσω του ελεγκτή μηχανών στις μπαταρίες για αποθήκευση. Αυτό είναι γνωστό ως αναπαραγωγικό φρενάρισμα. Το ποσό ενέργειας που επιστρέφεται στις μπαταρίες είναι μικρό, αλλά μπορεί να κάνει την διαφορά.

### **3.1.4.1 Τα Χειριστήρια του Οδηγού**

Τα περισσότερα ηλιακά αυτοκίνητα είναι αυτοκίνητα που έχουν ενιαία αγωνιστικά καθίσματα με πολύ λίγες ανέσεις για τους οδηγούς. Πολύ λίγα είναι τα αυτοκίνητα που μπορούν να μεταφέρουν συνεπιβάτη. Οι οδηγοί και οι

συνεπιβάτες έχουν να αντιμετωπίσουν άβολα καθίσματα, ανεπάρκεια χώρου θέσης, και υψηλές θερμοκρασίες πιλοτηρίων, αλλά στον αντίποδα παίρνουν τη δόξα της οδήγησης ενός φουτουριστικού αυτοκινήτου.

Τα ηλιακά αυτοκίνητα έχουν μερικά από τα συνηθισμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που βρίσκονται και στα συμβατικά αυτοκίνητα, όπως τα φλας (εμπρός & πίσω), φώτα φρένων, καθρέφτες, εξαερισμό, και συνήθως cruise control.



Εικόνα 3.6 : Άποψη του Πιλοτηρίου <sup>[56]</sup>

Οι οδηγοί και οι επιβάτες προστατεύονται με ζώνες ασφαλείας πέντε σημείων και κράνη. Εκτός από την οδήγηση του αυτοκινήτου, η σημαντικότερη έννοια του οδηγού είναι να ελέγχει τα συστήματα του αυτοκινήτου και να παρακολουθεί για τυχόν προβλήματα. (Σε κάποια οχήματα, ο συνεπιβάτης βοηθά με τον έλεγχο των συστημάτων του οχήματος.) Στα ηλιακά αυτοκίνητα εγκαθίστανται μετρητές που βλέπουμε και στα συμβατικά αυτοκίνητα που επιδεικνύουν πληροφορίες που παραλαμβάνονται από τα συστήματα του οχήματος.

Ο οδηγός συνοδεύεται από μια ομάδα πλήρους υποστήριξης παρόμοια με τα πλήρωμα υποστήριξης σε ένα αγώνα Indy Car ή NASCAR.

Το πλήρωμα υποστήριξης εργάζεται σε δύο οχήματα υποστήριξης που οδηγούν και ακολουθούν το ηλιακό αυτοκίνητο. Η ομάδα υποστήριξης είναι αρμόδια για την καλή διατήρηση του αυτοκινήτου, διαμορφώνει στρατηγική, και παρέχει τις κατάλληλες πληροφορίες σχετικά με την διαδρομή στον οδηγό.

#### 3.1.4.2 Ηλεκτρικά Συστήματα

Η καρδιά ενός ηλιακού αυτοκινήτου είναι το ηλεκτρικό του σύστημα που αποτελείται από το πακέτο μπαταριών και την ηλεκτρονική διαχείριση της

ισχύος. Το ηλεκτρικό σύστημα ελέγχει και διαχειρίζεται όλη τη ενέργεια που εισάγεται και καταναλώνει το σύστημα.



**Εικόνα 3.7** : Το ηλεκτρικό σύστημα ενός ηλιακού αυτοκινήτου. <sup>[56]</sup>



**Εικόνα 3.8** : Συστοιχία μπαταριών που χρησιμοποιείται σε ηλιακό όχημα <sup>[56]</sup>

Το πακέτο των μπαταριών είναι ισοδύναμο με μια δεξαμενή αερίου που τοποθετείτε σε ένα συμβατικό αυτοκίνητο. Ένα ηλιακό αυτοκίνητο χρησιμοποιεί τις μπαταρίες για να αποθηκεύσει την ενέργεια που θα χρησιμοποιηθεί αργότερα. Τα ηλιακά αυτοκίνητα αρχίζουν τον αγώνα με πλήρως φορτισμένες τις μπαταρίες, αλλά μετά την έναρξη, μόνο η παραγομένη ενέργεια από την ηλιακή διάταξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τις επαναφορτίσει.

Το μέγιστο ποσό μπαταριών που μια ομάδα μπορεί να χρησιμοποιήσει περιορίζεται από ένα βάρος που ορίζεται για κάθε τύπο μπαταριών.

Οι τύποι μπαταριών που χρησιμοποιούνται από τις ομάδες του American Solar Challenge είναι:

- Lead-Acid
- Nickel-Metal Hydrid (NiMH)
- Nickel-Cadmium (NiCad)
- Lithium Ion
- Lithium Polymer

Το NiCad, NiMH, και οι μπαταρίες Lithium προσφέρονται για την βελτιστοποίηση της αναλογία ενέργειας/βάρους από τις κοινές Lead-Acid

μπαταρίες, αλλά είναι λιγότερο αξιόπιστες και απαιτούν προσεκτικότερη συντήρηση όντας και πιο ακριβές.

Το πακέτο των μπαταριών αποτελείται από διάφορες μεμονωμένες ενότητες που συνδέονται μεταξύ τους με καλώδιο για να παράγουν την απαιτούμενη από τα συστήματα τάση. Συνήθως, οι τάσεις των χρησιμοποιούμενων συστημάτων από τις ομάδες είναι μεταξύ 84 και 108 volt, ανάλογα από το ηλεκτρικό τους σύστημα. Μερικές ομάδες χρησιμοποιούν συστήματα χαμηλότερης τάσης.

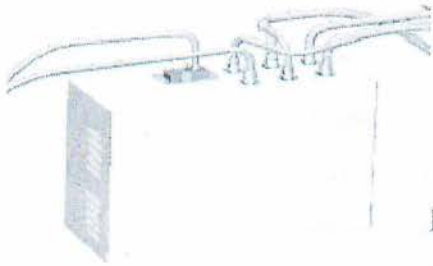
Μερικά από τα περιπλοκότερα εξαρτήματα σε ένα ηλιακό αυτοκίνητο είναι η ηλεκτρονική διαχείριση του συστήματος. Περιλαμβάνουν τους αισθητήρες μέγιστης ενέργειας, τον ελεγκτή της μηχανής, και το σύστημα απόκτησης στοιχείων. Η βασική λειτουργία του εγκεφάλου είναι να επιτηρεί και να ελέγχει την ηλεκτρική ενέργεια μέσα στο σύστημα. Οι περισσότερες ομάδες αγοράζουν τα εξαρτήματα αυτά από το εμπόριο, αν και μερικές ομάδες είτε αγοράζουν κατά παραγγελία εξαρτήματα ή τα κατασκευάζουν οι ίδιοι για τα αυτοκίνητά τους.

Οι αισθητήρες μέγιστης ενέργειας διαχειρίζονται τη ισχύ που προέρχεται από την φωτοβολταϊκή συστοιχία για την μεγιστοποίηση της ισχύος και να την παράδοση της για αποθήκευση ή στη μηχανή. Προστατεύουν επίσης τις μπαταρίες από υπερφόρτωση. Ο αριθμός αισθητήρων μέγιστης ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε ένα ηλιακό αυτοκίνητο ποικίλλει από το σχεδιασμό τις κάθε ομάδας. Οι αισθητήρες μέγιστης ενέργειας μπορούν να έχουν πολύ μικρό βάρος και φθάνουν συνήθως αποδόσεις πάνω από 90 τοις εκατό (90%).

Ο ελεγκτής της μηχανής διαχειρίζεται την ηλεκτρική ενέργεια που στέλνεται στη μηχανή βασισμένος στα σήματα που έρχονται από το πεντάλ του γκαζιού. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι ελεγκτών μηχανής που συνεργάζονται με διαφορετικούς τύπους μηχανών. Οι ομάδες που αγοράζουν τις μηχανές τους, συνήθως αγοράζουν και τον ελεγκτή που έχει σχεδιάζεται για να συνεργαστεί με την εκάστοτε μηχανή. Όλες οι ομάδες χρησιμοποιούν



συγκεκριμένο τύπο ελεγκτή μηχανών και οι καλύτεροι από αυτούς είναι περισσότερο από 90% αποδοτικοί.



**Εικόνα 3.9** : Ελεγκτής του ηλεκτρικού συστήματος.<sup>[56]</sup>

Πολλά ηλιακά αυτοκίνητα χρησιμοποιούν πολύπλοκα συστήματα απόκτησης στοιχείων που επιβλέπουν ολόκληρο το ηλεκτρικό σύστημα συμπεριλαμβανομένης και της ηλιακής διάταξης, των μπαταριών, τον ελεγκτή της μηχανής και τη μηχανή. Το λιγότερο, μια ομάδα πρέπει να ελέγξει την τάση και το ρεύμα μπαταριών. Τα στοιχεία που παραλαμβάνεται από το σύστημα απόκτησεως χρησιμοποιούνται έπειτα για να προγραμματίσει τη στρατηγική του αγώνα και να βοηθήσει στην επίλυση των προβλημάτων που θα εμφανιστούν. Τα στοιχεία ελέγχονται από τον οδηγό και σε μερικές περιπτώσεις ελέγχεται σε ένα από τα οχήματα υποστήριξης χρησιμοποιώντας τηλεμετρία (ασύρματη μετάδοση στοιχείων).

### 3.1.4.3 Σύστημα Μετάδοσης

Το σύστημα μετάδοσης (drive train) σε ένα ηλιακό αυτοκίνητο είναι πολύ διαφορετικό από αυτό ενός συμβατικού αυτοκινήτου. Για αυτήν την παρουσίαση, το σύστημα μετάδοσης θα αποτελείται από την ηλεκτρική μηχανή και από τους τρόπους με τους οποίους η κίνηση της μηχανής διαβιβάζεται στον τροχό αναγκάζοντας το όχημα να κινηθεί. Λόγω του χαμηλού ποσού δύναμης που παράγεται (λιγότερο από 5 HP) συνήθως μόνο σε έναν τροχό στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου δίνει κίνηση η ηλεκτρική μηχανή.

Δεν υπάρχει κανένας περιορισμός στον τύπο μηχανής που χρησιμοποιείται σε ένα ηλιακό αυτοκίνητο. Εκτιμώνται γενικά μεταξύ 2 και 5 HP. Ο πιο συνηθισμένος τύπος μηχανής που χρησιμοποιείται στα ηλιακά αυτοκίνητα είναι ο DC διπλού-τυλίγματος brushless. Η DC brushless μηχανή

είναι αρκετά ελαφριά και μπορεί να φθάσει απόδοση της τάξεως του 98%, παρόλα αυτά είναι αρκετά ακριβότερη από της συνηθισμένες DC μηχανή τύπου brush.

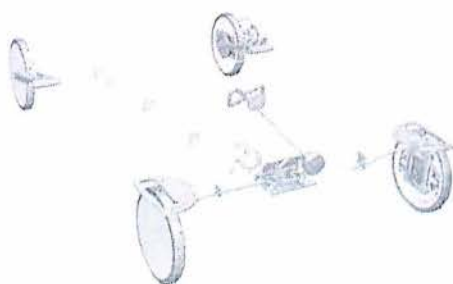
Επειδή κιβώτια μετάδοσης με πολλές σχέσεις χρησιμοποιούνται σπάνια στα ηλιακά αυτοκίνητα, η μηχανή διπλού-περιέλιξης χρησιμοποιείται μερικές φορές ως ηλεκτρονική μετάδοση. Αλλάζοντας μεταξύ των δύο τυλιγμάτων αλλάζει και η αναλογία ταχύτητας στη μηχανή. Το αργόστροφο τύλιγμα δίνει την υψηλή ροπή που χρειάζεται για την εκκίνηση και το προσπέρασμα, ενώ το τύλιγμα υψηλής ταχύτητας έχει υψηλότερες αποδόσεις και είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται κατά την διάρκεια του ταξιδιού (κανονική οδήγηση).

Οι περισσότερες ομάδες αγοράζουν μηχανές από το εμπόριο, αλλά υπάρχουν ηλιακά αυτοκίνητα με τις κατασκευασμένες επί παραγγελία ή τις ιδιοκατασκευασμένες μηχανές.

Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές τριών βασικών τύπων μεταδόσεων που χρησιμοποιούνται στα ηλιακά αυτοκίνητα.

1. Μονής μείωσης άμεσης κίνησης
2. Μεταβλητής αναλογίας κίνησης μιάντα
3. Μηχανή πλημνών

Στο παρελθόν, ο πιο κοινός τύπος μετάδοσης ήταν η μονής μείωσης άμεσης κίνησης όπου η μηχανή συνδέεται με τη ρόδα μέσω μιας αλυσίδας ή ενός μιάντα με μια μόνο ταχύτητα μείωσης. Αυτή είναι μια αξιόπιστη και εύκολης συντήρησης μετάδοση εάν δοθεί η κατάλληλη προσοχή κατά τον ευθυγράμμιση των εξαρτημάτων. Αποδόσεις της τάξεως του 75% και πάνω μπορούν να επιτευχθούν όταν σχεδιαστεί κατάλληλα.



Εικόνα 3.10 : Απεικόνιση του συστήματος

μετάδοσης.<sup>156]</sup>

Μερικές μόνο ομάδες έχουν χρησιμοποιήσει μεταβλητής αναλογίας κίνηση με ιμάντα για να διαβιβάσουν τη δύναμη στη ρόδα. Η αναλογία των ταχυτήτων αλλάζει ανάλογα με την αύξηση της ταχύτητα. Αυτό δίνει περισσότερη ροπή κατά την εκκίνηση και κατά διάρκεια χαμηλότερων ταχυτήτων, αλλά επιτρέπει επίσης στο αυτοκίνητο να οδηγηθεί ικανοποιητικά στις υψηλότερες ταχύτητες. Οι μεταδόσεις μεταβλητής αναλογίας της ταχύτητας με ιμάντα απαιτούν ακριβή ευθυγράμμιση και προσεκτική εγκατάσταση για να λειτουργήσει αποτελεσματικά.

Από το 1995 όταν μερικές ομάδες εφάρμοσαν στον σχεδιασμό τους μηχανές πλημνών για τα ηλιακά αυτοκίνητά τους, η δημοτικότητα της άνευ μετάδοσης κίνησης έφτασε στα ύψη. Η μηχανή πλημνών εξαλείφει την ανάγκη για οποιαδήποτε εξωτερική μετάδοση επειδή ο άξονας της μηχανής συνδέεται άμεσα με τον άξονα των τροχών. Αυτό αυξάνει κατά πολύ την απόδοση της μετάδοσης και μειώνει τον αριθμό των κινούμενων μερών που χρειάζονται για να κινήσουν τη ρόδα. Μια μηχανή πλημνών χρησιμοποιεί χαμηλές στροφές για να ισοσταθμίσει την έλλειψη κιβωτίου ταχυτήτων, το οποίο τείνει να ρίξει την απόδοση της ελαφρώς, αλλά μπορεί να επιτύχει αποδόσεις της τάξεως του 95% και πάνω.

#### **3.1.4.4 Μηχανικά Συστήματα**

Τα μηχανικά συστήματα ενός ηλιακού αυτοκινήτου είναι γενικά απλά στην κατανόηση, και έχουν ως σκοπό την ελαχιστοποίηση της τριβής και του βάρους διατηρώντας τη στιβαρότητα που απαιτείται για να οδηγηθεί το αυτοκίνητο με ασφάλεια στις διάφορες απαιτητικές διαδρομές. Ελαφριά μέταλλα, όπως το τιτάνιο και τα διάφορα σύνθετα χρησιμοποιούνται συνήθως για να μεγιστοποιήσουν την αναλογία μεταξύ στιβαρότητας και βάρους που απαιτείται για την κατασκευή αξιόπιστων εξαρτημάτων. Τα μηχανικά συστήματα περιλαμβάνουν την ανάρτηση, τα φρένα, το σύστημα εναλλαγής κατεύθυνσης, τους τροχούς και τα ελαστικά. Οι κανονισμοί του American Solar Challenge καθορίζουν τα κατώτατα επίπεδα στα οποία πρέπει τα

μηχανικά εξαρτήματα να ανταποκρίνονται, αλλά δεν υπάρχουν τυποποιημένα σχεδιαστικά πρότυπα για τα ηλιακά αυτοκίνητα.

Τα ηλιακά αυτοκίνητα έχουν συνήθως τρεις ή τέσσερις ρόδες (οι κανονισμοί του ASC απαιτούν τουλάχιστον τρεις). Η τρίτροχη παραλλαγή είναι συνήθως δύο μπροστινές ρόδες και μια οπίσθια(η οποία συνήθως είναι και ο κινητήριος τροχός). Τα τετράτροχα οχήματα συνήθως διαμορφώνονται όπως τα συμβατικά οχήματα (με το οπίσθιο ζεύγος τροχών να είναι το κινητήριο). Άλλα τετράτροχα οχήματα έχουν τις δύο οπίσθιες ρόδες να βρίσκονται κοντά η μια στην άλλη προς το κέντρο (παρόμοια με την τρίτροχη παραλλαγή).

Ένα είδος αναρτήσεων εφαρμόζεται στα ηλιακά αυτοκίνητα. Αυτό οφείλεται εν μέρει στο γεγονός ότι τα αμαξώματα είναι διαφορετικά από αυτοκίνητο σε αυτοκίνητο. Ο πιο κοινή λύση μπροστινής ανάρτησης είναι η double A-arm ανάρτηση, παρόμοια με εκείνη που χρησιμοποιείται στα συμβατικά οχήματα. Οι συνήθειες πίσω αναρτήσεις είναι ίδιες με εκείνες που χρησιμοποιούνται στο πίσω μέρος των μοτοσικλετών. Οι ομάδες σχεδιάζουν τις αναρτήσεις του οχήματος έτσι ώστε να κινούνται ελεύθερα και ομαλά για την μέγιστη απόδοση.

Οι αναρτήσεις πρέπει να είναι ρυθμιζόμενες, ώστε να μπορούν να αποκτούν τις κατάλληλες ρυθμίσεις για την σωστή ευθυγράμμιση και την λειτουργία.

Η ασφάλεια είναι πρώτη προτεραιότητα στους αγώνες . Για τον λόγο αυτόν, τα ηλιακά αυτοκίνητα πρέπει να ανταποκρίνονται στα αυστηρά πρότυπα απόδοσης φρεναρίσματος και κάθε ηλιακό αυτοκίνητο απαιτείται να έχει δύο ανεξάρτητα συστήματα φρεναρίσματος. Τα δισκόφρενα είναι τα συνηθέστερα φρένα που χρησιμοποιούνται στα ηλιακά αυτοκίνητα λόγω της μεγάλης δυνατότητας ρύθμισης που έχουν και λόγω της καλής απόδοσης φρεναρίσματός τους. Κάποιες ομάδες χρησιμοποιούν μηχανικά τα φρένα ενώ άλλες χρησιμοποιούν υδραυλικά. Τα μηχανικά φρένα συνήθως είναι μικρότερα και ελαφρύτερα από τα υδραυλικά, αλλά δεν προσφέρουν καλή απόδοση φρεναρίσματος και απαιτούν συχνά ρύθμιση . Για να μεγιστοποιηθεί η

απόδοση, τα φρένα σχεδιάζονται έτσι ώστε να κινούνται ελεύθερα εξαλείφοντας την τριβή των φρένων, η οποία δημιουργείται από την τριβή των δισκόπλακων πάνω στα τακάκια.



**Εικόνα 3.11** : Το σύστημα των φρένων και της ανάρτησης. <sup>[56]</sup>

Το σύστημα εναλλαγής κατεύθυνσης σε ένα ηλιακό αυτοκίνητο ποικίλει, όπως στις αναρτήσεις. Οι ομάδες πρέπει να ισοσταθμίσουν τις ανάγκες ανάμεσα στον κύκλο στροφής και το κράτημα, αλλά είναι ελεύθερες να χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε σύστημα. Οι σημαντικότεροι σχεδιαστικοί παράγοντες για το σύστημα εναλλαγής κατεύθυνσης είναι η αξιοπιστία και η απόδοση. Το σύστημα εναλλαγής κατεύθυνσης σχεδιάζεται με ακριβή ευθυγράμμιση των τροχών γιατί και η παραμικρή απόκλιση μπορεί να προκαλέσει σημαντικές απώλειες και να αυξήσει την φθορά των ελαστικών.

Σε άλλους αγώνες στο παρελθόν, οι τροχοί και τα ελαστικά που χρησιμοποιούνταν ήταν συνήθως από ποδήλατα λόγω της ελαφριάς κατασκευής τους και της χαμηλής αντίστασης κύλισης που έχουν (ελάχιστη τριβή). Ευτυχώς, η δημοτικότητα των ηλιακών αυτοκινήτων έχει προτρέψει κάποιους κατασκευαστές ελαστικών στην δημιουργία ελαστικών σχεδιασμένα αποκλειστικά για τα ηλιακά αυτοκίνητα. Οι ομάδες χρησιμοποιούν αυτούς τους τροχούς και ελαστικά χαμηλής αντίστασης κύλισης που είναι επίσης ανθεκτικά και ελαφριά αυξάνοντας την ασφάλεια και την απόδοση.

#### 3.1.4.5 Ηλιακή Διάταξη

Η ηλιακή διάταξη είναι η μόνη πηγή ενέργειας του οχήματος κατά τη διάρκεια του αγώνα. Η διάταξη αποτελείται από πολλές (αρκετές εκατοντάδες)

φωτοβολταϊκές κυψελίδες που μετατρέπουν την ενέργεια του ήλιου σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι ομάδες χρησιμοποιούν ποικίλες τεχνολογίες ηλιακών κυττάρων για να κατασκευάσουν τις διατάξεις τους. Οι τύποι κυττάρων και οι διαστάσεις της διάταξης περιορίζονται από τους κανονισμούς, ανάλογα με το μέγεθος και την κατηγορία του οχήματος.



**Εικόνα 3.12** : Φωτοβολταϊκή διάταξη στο κέλυφος του ηλιακού αυτοκινήτου. <sup>[56]</sup>

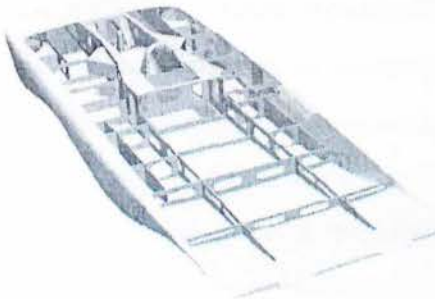
Οι κυψελίδες συνδέονται μεταξύ τους με καλώδιο διαμορφώνοντας σειρές. Πολλές σειρές επίσης συνδέονται μεταξύ τους με καλώδιο για την δημιουργία ενός τμήματος ή ενός πίνακα που έχει συνολική τάση κοντά στην ονομαστική τάση των μπαταριών. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν τις κυψελίδες μεταξύ τους σε σειρές, αλλά βασικός στόχος είναι να εγκατασταθούν όσον το δυνατόν περισσότερα ηλιακά κύτταρα στον μικρότερο χώρο. Οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες κύτταρα είναι εύθραυστες και μπορούν να καταστραφούν εύκολα.

Οι ομάδες προστατεύουν τις κυψελίδες και από τον καιρό και από τη θραύση βάζοντας τα σε κάψουλες. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση τους σε κάψουλες και ο στόχος είναι να προστατευθούν οι κυψελίδες προσθέτοντας όσο το δυνατόν λιγότερο βάρος. Η ενέργεια που παράγεται από την ηλιακή διάταξη ποικίλλει ανάλογα με τον καιρό, την θέση του ήλιου στον ουρανό, και την ίδια την ηλιακή διάταξη. Σε μια καθαρή και ηλιόλουστη ημέρα, το μεσημέρι μια καλή ηλιακή διάταξη αυτοκινήτου μπορεί να παραγάγει αρκετά πάνω από 1000 Watt (1.3 HP) ενέργειας. Η ενέργεια που παράγεται χρησιμοποιείται είτε για την άμεση τροφοδότηση της ηλεκτρικής μηχανής είτε για την αποθήκευση της στις μπαταρίες για μεταγενέστερη χρήση.

#### **3.1.4.6 Αμαξώματα και Σασί**

Το πιο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των ηλιακών αυτοκινήτων είναι τα αμαξώματα τους. Οι λείες επιφάνειες και τα εξωτικά σχήματα τους είναι χαρακτηριστικά. Τα ηλιακά αυτοκίνητα ομαδοποιούνται σε διάφορες κατηγορίες αμαξωμάτων, αλλά κάθε αυτοκίνητο είναι μοναδικό επειδή δεν υπάρχουν καθιερωμένα πρότυπα, με εξαίρεση κάποιους περιορισμούς. Οι κύριοι στόχοι, κατά το σχεδιασμό του αμαξώματος, είναι η ελαχιστοποίηση της αεροδυναμικής τριβής και του βάρους, μεγιστοποιώντας την εκτιθέμενη στον ήλιο επιφάνεια και την παρεχόμενη ασφάλεια του. Υπάρχουν πολλές θεωρίες για το ποια μορφή, ποιο αμάξωμα και μέγεθος, είναι αποδοτικότερη και οι ομάδες περνούν αμέτρητες ώρες τρέχοντας προσομοιώσεις και δοκιμές προσπαθώντας να βρουν αυτή την βέλτιστη μορφή.

Μια καλή μορφή αμαξώματος μπορεί να σώσει εκατοντάδες Watt ενέργειας και είναι ουσιαστική στην οικοδόμηση ενός κορυφαίου ηλιακού αυτοκινήτου.



ενός

**Εικόνα 3.13 :** Τομή του αμαξώματος ηλιακού αυτοκινήτου. <sup>[56]</sup>

Η αρχική δυσκολία στην δημιουργία ενός αποτελεσματικού ηλιακού σασί είναι η μεγιστοποίηση της στιβαρότητας και της ασφάλειας, αλλά με το όσο δυνατόν ελάχιστο βάρος. Κάθε πρόσθετο γραμμάριο απαιτεί την κατανάλωση περισσότερης ενέργειας για την κίνηση του αυτοκινήτου. Αυτό σημαίνει ότι οι ομάδες πρέπει να προσπαθήσουν να ελαχιστοποιήσουν το βάρος, η βασική περιοχή για κάτι τέτοιο είναι το σασί. Εντούτοις, η ασφάλεια είναι πρωταρχικής σημασίας και τα σασί πρέπει να καλύπτουν αυστηρές απαιτήσεις στιβαρότητας και ασφάλειας.

Γενικά, υπάρχουν τρεις τύποι πλαισίων που χρησιμοποιούνται στα ηλιακά αυτοκίνητα:

1. Space frame

## 2. Semi-monocoque ή carbon stream

### 3. Monocoque

Το space frame αποτελείται από μια ελαφριά στενά ενωμένη δομή σωληνώσεων που συνδέονται απευθείας και υποστηρίζουν το αμάξωμα. Το Semi-monocoque ή carbon stream σασί χρησιμοποιεί σύνθετες ακτίνες και διαφράγματα για να υποστηρίξει το βάρος και είναι ενσωματωμένο στο εσωτερικό του αυτοκινήτου. Τα κορυφαία τμήματα του συνδέονται συχνά με το αμάξωμα.

Η monocoque δομή χρησιμοποιεί το αμάξωμα του αυτοκινήτου ως μια ενσωματωμένη κατασκευή που μεταφέρει το φορτίο. Πολλά ηλιακά αυτοκίνητα χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό αυτών των προαναφερθεισών κατηγοριών σασί.

Εδώ όμως είναι απαραίτητο να καθοριστούν και τα συνθετικά υλικά δεδομένου ότι η χρήση τους είναι εκτενής στα ηλιακά αυτοκίνητα. Ένα σύνθετο υλικό είναι ο συνδυασμός ενός υλικού πληρώσεως που τοποθετείται μεταξύ των στρωμάτων των δομικών υλικών και σχηματίζουν ένα τύπο σάντουιτς. Οι ίνες άνθρακα, το Kevlar και το fiberglass είναι τα συνηθέστερα δομικά υλικά ενώ ο αφρός είναι συνηθέστερο υλικό πληρώσεως των σύνθετων υλικών. Αυτά τα υλικά συνδέονται μαζί χρησιμοποιώντας εποξική κόλλα και στις περιπτώσεις των ινών άνθρακα και του Kevlar, μπορούν να φτάσουν σε ανθεκτικότητα τον χάλυβα όντας πάρα πολύ ελαφριά.

#### 3.1.4.7 Αγώνες Ηλιακών Αυτοκινήτων.

Οι Hans Tholstrup και Larry Perkins ήταν οι πρώτοι οδηγοί αγωνιστικών ηλιακών αυτοκινήτων που ολοκλήρωσαν τον αγώνα από το Περθ στο Σύδνεϋ, στην Αυστραλία το 1983. Στον αγώνα του 1987, το Sunracer της GM ολοκλήρωσε το ταξίδι των 3010 χιλιομέτρων., με μια μέση ταχύτητα της



τάξεως των 67 χιλιομέτρων την ώρα (Km/H), ανανεώνοντας τους στόχους για ένα εκτενές ερευνητικό και αναπτυξιακό πρόγραμμα μεταξύ των ομάδων.



**Εικόνα 3.14 :** Το Sunraycer της GM που κατασκευάστηκε το 1987 και πέτυχε παγκόσμιο ρεκόρ ταχύτητας με 77.9 χιλιόμετρα ανά ώρα κινούμενο μόνο από ηλιακή ενέργεια. <sup>[4]</sup>

Μέχρι το 2005, το Nuna 3 ολοκληρώνοντας το ταξίδι με μέση ταχύτητα πάνω από 100 χιλιομέτρων την ώρα (Km/H) .

Η βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης είναι πρωταρχικής σημασίας σε έναν ηλιακό αγώνα αυτοκινήτων. Επομένως είναι πολύ σημαντικό να είσαι σε θέση να ελέγχεις την ταχύτητα, την κατανάλωση ενέργειας και την λήψη ενέργειας από την ηλιακές διατάξεις σε πραγματικό χρόνο.

Μερικές ομάδες υιοθετούν περίπλοκη τηλεμετρία που χρησιμοποιείται για να αναμεταδίδει τα διάφορα στοιχεία απόδοσης του οχήματος στον υπολογιστή του οχήματος υποστήριξης που ακολουθεί.

Η στρατηγική που υιοθετείται εξαρτάται από τους κανονισμούς των εκάστοτε αγώνων. Στους περισσότερους ηλιακούς αγώνες αυτοκινήτων έχουν τεθεί σημεία εκκίνησης σημεία στάσεων όπου στόχος είναι να επιτευχθεί το κάθε σημείο στάσης στο λιγότερο δυνατόν χρόνο. Δεδομένου ότι η αεροδυναμική τριβή αυξάνεται εκθετικά με την ταχύτητα, η ενέργεια που καταναλώνει το αυτοκίνητο αυξάνεται εκθετικά επίσης. Αυτό το απλό γεγονός σηματοδοτεί ότι η βέλτιστη στρατηγική είναι να κρατηθεί μια ενιαία σταθερή ταχύτητα κατά τη διάρκεια όλων των φάσεων του αγώνα. Λαμβάνοντας υπόψη τις διάφορες συνθήκες σε όλες τους αγώνες και τον περιορισμένο (και συνεχώς

μεταβαλλόμενο) ανεφοδιασμό ενέργειας, οι περισσότερες ομάδες έχουν προγράμματα βελτιστοποίησης ταχύτητας αγώνων που διαμορφώνουν συνεχώς το κατά πόσο γρήγορα το όχημα πρέπει να ταξιδεύει ανάλογα με τα δεδομένα.

Οι δύο πιο ξεχωριστοί αγώνες ηλιακών αυτοκινήτων είναι το World Solar Challenge και το North American Solar Challenge. Σε αυτούς παίρνουν μέρος διάφορες πανεπιστημιακές και εταιρικές ομάδες. Οι εταιρικές λαμβάνουν μέρος στον αγώνα για να αποκτήσουν οι σχεδιαστές εμπειρία πάνω στις εναλλακτικές πηγές ενέργειας και την χρήση προηγμένων υλικών (αν και μερικοί βλέπουν τη συμμετοχή τους σαν δημόσιες σχέσεις). Η GM και η Honda είναι κάποιες από τις εταιρείες που έχουν υποστηρίξει ηλιακές ομάδες. Οι πανεπιστημιακές ομάδες παίρνουν μέρος επειδή αποκτούν εμπειρία οι σπουδαστές τους πάνω στον σχεδιασμό αυτοκινήτων υψηλής τεχνολογίας.

Αυτοί οι αγώνες έχουν σαν χορηγούς διάφορες αντιπροσωπείες όπως το US Department of Energy που συνηθίζει να προωθήσει τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.



**Εικόνα 3.15 :** Στιγμιότυπο από έναν αγώνα του World Solar Challenge. <sup>[22]</sup>

Τα αυτοκίνητα απαιτούν διεξοδικές ομάδες υποστήριξης παρόμοιες στο μέγεθος με τις επαγγελματικές ομάδες παραδοσιακών αγώνων αυτοκινήτου. Αυτό ειδικά απαιτείται στην περίπτωση του World Solar Challenge όπου τα τμήματα του αγώνα διαδραματίζονται απομακρυσμένες περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής.

Υπάρχουν άλλοι αγώνες, όπως το Suzuka, το Phaethon, και το World Solar Rally. Το Suzuka είναι ένας ετήσιος αγώνας στην Ιαπωνία και το Phaethon ήταν μέρος της πολιτιστικής ολυμπιάδας της Ελλάδος πριν από τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2004.

Το American Solar Challenge έγινε το 2001 και το 2003 από το Σικάγο στην Καλιφόρνια κατά μήκος της παλαιάς διαδρομής 66.

Το North American Solar Challenge του 2005 είχε δύο κατηγορίες:

- Open: όπου οι ομάδες έχουν την ευχέρεια να χρησιμοποιήσουν διαστημικά ηλιακά κύτταρα, την οποία κέρδισε το πανεπιστήμιο του Μίσιγκαν.
- Stock: όπου υπήρχαν όρια στον χρησιμοποιούμενος τύπος κυττάρων, την οποία κέρδισε το πανεπιστήμιο του Στάνφορντ.

### 3.1.5 Πρακτικές εφαρμογές

Τα ηλιακά αυτοκίνητα επιτυγχάνουν τις αποδόσεις τους από την πολύ ελαφριά κατασκευή τους, και την πολύ αποδοτική αεροδυναμική που επιβάλλει συμβιβασμούς που δεν θα ήταν αποδεκτή σε μια καθημερινή χρήση. Οποιοδήποτε όχημα που κατασκευάζεται έχοντας σαν βάση την άνεση των επιβατών και τα σύγχρονα πρότυπα ασφάλειας θα ήταν λιγότερο αεροδυναμικό και κατά πολύ βαρύτερο, κατά συνέπεια απαιτώντας πολύ περισσότερη δύναμη να επιτευχθούν υψηλές ταχύτητες. Επομένως, με τις τρέχουσες τεχνολογίες στο εγγύς μέλλον είναι απίθανο ένα καθαρά ηλιακό αυτοκίνητο να γίνει διαθέσιμο στο εμπόριο. Εντούτοις, τα ηλιακά αυτοκίνητα είναι ουσιαστικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα με ενσωματωμένη ικανότητα επαναφόρτισης.

Η τεχνολογία και η εμπειρία πάνω στην εφαρμοσμένη μηχανική που αναπτύχθηκαν στους αγώνες ηλιακών αυτοκινήτων μπορούν να βοηθήσουν στην ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων με μπαταρίες ίσως ακόμη και των υβριδικών οχημάτων. Το AstroLab το 2006 αναγνωρίστηκε ως το πρώτο παγκόσμιο ήλεκτρο-ηλιακό υβριδικό αυτοκίνητο που θα βγει στο εμπόριο τον Ιανουαρίου του 2008.

Τα ερώτημα που προκύπτει τώρα είναι, εάν τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρίες γίνουν δημοφιλή, θα είναι σημαντική η τοποθέτηση σε αυτά, φωτοβολταϊκών κυψελίδων, για να μπορούν να επεκτείνουν την εμβέλεια τους και να τους δίνεται η δυνατότητα επαναφόρτισης τους ενώ σταθμεύουν οπουδήποτε και όταν είναι εκτεθειμένα στον ήλιο. Εντούτοις, με τις παρούσες και βραχυπρόθεσμες εκτιμήσεις εφαρμοσμένης μηχανικής, διαφαίνεται ότι η

καλύτερη θέση για τα ηλιακά κύτταρα είναι στις στέγες των κτηρίων, όπου εκτίθενται πάντα στον ουρανό και το βάρος, εκτός λίγων περιπτώσεων, είναι άνευ σημασίας παρά στις οροφές οχημάτων.

Μια πρακτική εφαρμογή για τα ηλιακά τροφοδοτούμενα οχήματα είναι ενδεχομένως τα αυτοκινητάκια του γκολφ, τα οποία χρησιμοποιούνται λίγο αλλά περνάνε τον μεγαλύτερο μέρος του χρόνου τους σταθμευμένα κάτω από τον ήλιο.

### 3.1.6 Χρήση Φωτοβολταϊκών σε Επιβατικά Αυτοκίνητα

Ένα ποσοστό της μόλυνσης του περιβάλλοντος οφείλεται και στα καυσαέρια που εκλύονται στην ατμόσφαιρα από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων. Τα τελευταία χρόνια η όλο και αυστηρότερη νομοθεσία για τα όρια αυτά, έχει οδηγήσει τις περισσότερες αυτοκινητοβιομηχανίες σε αναζήτηση νέων μορφών ενέργειας, η χρήση των οποίων θα μπορούσε σταδιακά να αντικαταστήσει την βενζίνη και το πετρέλαιο και να μειώσει, ακόμα και να εξαλείψει τις επιβλαβείς ουσίες από την ατμόσφαιρα. Για να το πετύχουν αυτό προσπαθούν να συνδυάσουν κινητήρες εσωτερικής καύσης με ηλεκτροκινητήρες – τα λεγόμενα υβριδικά αυτοκίνητα. Τέτοια παραδείγματα είναι το Toyota Prius, το Lexus RX400h και το Honda Civic Hybrid. Βέβαια πολλές εταιρείες δοκιμάζουν και βελτιώνουν συστήματα τροφοδοσίας με υδρογόνο.

Όμως, μία πραγματικά επαναστατική κίνηση έκανε η Volkswagen, η οποία παρουσίασε ένα πρωτότυπο με ονομασία Space Up! Blue.



Εικόνα 3.16: Το Volkswagen Space Up! Blue. <sup>1501</sup>

Το σχέδιό του είναι εμπνευσμένο από το λεωφορείο Samba της δεκαετίας του '50. Έχει τέσσερις πόρτες και η κίνησή του προέρχεται από μία διάταξη φωτοβολταϊκών κυψελίδων, η οποία βρίσκεται στην οροφή του και μπορεί να τροφοδοτήσει μέχρι 150 Watt τις μπαταρίες ιονίου - λιθίου. Επιπροσθέτως υπάρχει η δυνατότητα να φορτιστούν οι μπαταρίες και από μία απλή πρίζα. Μπορεί να αναπτύξει μέγιστη ταχύτητα 65 μίλια ανά ώρα και η αυτονομία του αγγίζει περίπου τα 350 χιλιόμετρα.



**Εικόνα 3.17:** Η φωτοβολταϊκή διάταξη του Volkswagen Space Up! Blue <sup>1501</sup>

Αυτή η κίνηση της Volkswagen φανερώνει την υπευθυνότητα και την ετοιμότητα στην οποία βρίσκονται τα τμήματα έρευνας και εξέλιξης (R&D) των αυτοκινητοβιομηχανιών. Στα επόμενα χρόνια είναι σίγουρο ότι όλες οι εταιρείες θα στραφούν στη εξέλιξη τέτοιων οχημάτων δεδομένης της ραγδαίας επιδείνωσης του κλίματος στον πλανήτη.

## 3.2 Οι Εφαρμογές στα Σκάφη

### 3.2.1 Η Ιστορία των Ηλεκτρικών Βαρκών

Οι ηλιακές βάρκες είναι ηλεκτρικές βάρκες, με ανεξάρτητες, αθόρυβες μηχανές, οι μπαταρίες των οποίων αποθηκεύουν την ενέργεια από τον ήλιο.

Οι ηλιακές διατάξεις σε ένα σκάφος μπορούν να φορτίσουν τις μπαταρίες επί τόπου - καθαρά και αποτελεσματικά με την ενέργεια από τον ήλιο.

Οι ηλιακές εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας είναι αξιόπιστες και ανθεκτικές. Υπάρχουν πάντα περισσότεροι τομείς της εφαρμογής για την ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια, λόγω της μείωσης των τιμών και της βελτίωσης της τεχνολογίας. Εξαιτίας των παραπάνω έχουμε τις φωτοβολταϊκές ενότητες που τίθενται στην οροφή του σκάφους.



Εικόνα 3.18 : Το Aquabus 1050 είναι ένα θαλάσσιο ταξί, το οποίο έχει την ικανότητα να μεταφέρει 20 άτομα στη Λοζάννη. Οι ηλεκτρικές μηχανές λειτουργούν ξεχωριστά από τις μηχανές καύσεως. Οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες βρίσκονται στην οροφή του σκάφους ,όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. <sup>[27]</sup>



Εικόνα 3. 19 : Ένα πιο εξελιγμένο μοντέλο είναι το Aquabus 2050 ,το οποίο μπορεί να μεταφέρει 60 επιβάτες και χρησιμοποιεί ένα ηλεκτρική υβριδική μηχανή. <sup>[27]</sup>

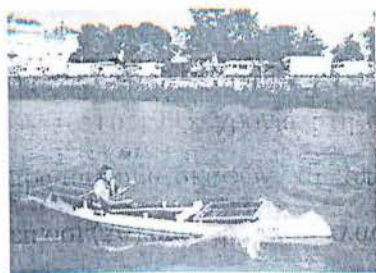
Σ' αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι πολλά κρουαζιερόπλοια, υποβρύχια χρησιμοποιούν τις ηλεκτρικές μηχανές για την προώθηση. Οι λόγοι για αυτό είναι η έλλειψη θορύβου και ταλάντωσης, αλλά και η μεγαλύτερη αξιοπιστία. Μεγάλα σκάφη της γραμμής για παροχή καλύτερης άνεσης , δεν αποθηκεύουν την ενέργειά τους στις μπαταρίες, αλλά την παράγουν το μέσω της χρήσης πολλών μικρών γεννητριών diesel. Η ιστορία δείχνει ότι οι ηλεκτρικές βάρκες δεν είναι τίποτα νέο, αλλά τα ηλιακά συστήματα κίνησης είναι μια ενδιαφέρουσα ανάπτυξη.

Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις αποτελούν μια ασφαλή, ανεξάρτητη πηγή ενέργειας. Οι βάρκες οι οποίες κινούνται εκμεταλλευόμενες την ηλιακή ενέργεια, όχι μόνο προστατεύουν το περιβάλλον, αλλά αυξάνουν την ποιότητα της εμπειρίας της κωπηλασίας - παραδείγματος χάριν, στις προστατευόμενες ζώνες είναι δυνατό να προσεγγιστούν τα σπάνια είδη ζώων.

Άλλο ένα πλεονέκτημα των ηλιακών βαρκών είναι ότι η ροπή υπάρχει σε μεγάλο εύρος της λειτουργίας της μηχανής, έτσι ώστε οι μεγάλες σε μέγεθος προπέλες μπορούν να οδηγηθούν αργά. Κατά συνέπεια, οι κραδασιμοί, ο θόρυβος του κινητήρα και η δυσωδία των καυσίμων αποβάλλονται, έτσι ώστε κάποιος μπορεί, να απολαύσει την διαδρομή.

Το 1993, χρονιά στη οποία διοργανώνεται για πρώτη φορά γερμανικό πρωτάθλημα σκαφών τα οποία κινούνται με ηλιακή ενέργεια. Ενώ το 1994, είκοσι (20) διαφορετικά «κλασικά» πρωτότυπα εμφανίζονται στη Γερμανία.

Εν έτη 1995, διεξάγεται το πρώτο ευρωπαϊκό πρωτάθλημα ηλιακά κινούμενων βαρκών. Πραγματοποιείται στο Λα Ροσέλ, στον Ατλαντικό, σε τρεις λίμνες της Ελβετίας, όπως και στο Βερολίνο και το Αμβούργο. Το κανό «Carl» κερδίζει φορώντας μία ηλεκτρική μηχανή ισχύος 1.5 KW.



**Εικόνα 3.20** : Ο Thomas Meyer οδηγεί το κανό "Carl" το 1995 στο Λα Ροσέλ. Αυτή η βάρκα κέρδιζε έως το 1997 με την απλούστερη τεχνολογία, δηλ. με 5 ετών βαριές μπαταρίες αυτοκινήτων μολύβδου και μια ηλεκτρική μηχανή 30 ετών. <sup>[27]</sup>

Το ηλιακό κανό στην παρακάτω εικόνα ανήκει στον Cedric Lynch. Καταχωρήθηκε στο βιβλίο Guinness για το ρεκόρ ταχύτητας στην κατηγορία ηλιακών βαρκών.



Εικόνα 3.21: Το ηλιακό κανό που κατέχει το ρεκόρ ταχύτητας <sup>[27]</sup>

### 3.2.2 Χρήση Φωτοβολταϊκών σε Σκάφος

Παρά το υψηλό σχετικά κόστος και τα μειονεκτήματα για τις φωτοβολταϊκές κυψελίδες, αυτές δίνουν την πιο εύχρηστη λύση για παροχή ρεύματος σε σκάφη είτε ιστιοπλοϊκά είτε ταχύπλοα. Μία φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελείται από κυψελίδες που είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους ηλεκτρικά σε σειρά ή παράλληλα και κυρίως σε συνδυασμό των δύο (εικόνα 3.24). Αν επιθυμούμε να αυξηθεί η τάση εξόδου της συστοιχίας τα συνδέουμε σε σειρά, ενώ αν επιθυμούμε την αύξηση του ρεύματος εξόδου τα συνδέουμε παράλληλα (όπως γίνεται και με τις μπαταρίες).

Οι κυψελίδες είναι ένα είδος ημιαγωγού όπως και μια κοινή δίοδος, που μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα. Αποτελείται από δύο κρυσταλλικές επιφάνειες μία θετική και μία αρνητική. Οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες που προσφέρονται στο εμπόριο έχουν πάχος 0,2 έως 0,5 mm. Οι συνήθεις διαστάσεις για κάθε ένα απ' αυτά είναι 150 X 150 mm αλλά υπάρχουν και 100 X 100 mm. Συνδεδεμένα σε ηλεκτρικές συστοιχίες σε σειρά ή παράλληλα όπως προαναφέραμε, μπορούν να παράγουν ποικίλες τάσεις και ισχύεις (ονομαστικές). Όταν φωτιστεί μία κυψελίδα, δημιουργείται μεταξύ της θετικής και της αρνητικής κρυστάλλινης επιφάνειας μία ηλεκτρική τάση. Αν



συνδέσουμε στους πόλους του στοιχείου (όπως συμβαίνει και στις μπαταρίες) μία ηλεκτρική κατανάλωση, θα διαπιστώσουμε ότι το κύκλωμα αυτό διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό το ρεύμα γίνεται τόσο περισσότερα όσο ο φωτισμός που δέχεται το στοιχείο είναι πιο έντονος και το αντίστροφο. Αναφέρουμε πιο κάτω τους τρεις βασικούς τύπους κυψελίδων, που κυριαρχούν στην αγορά ανάλογα με τη δομή των κρυστάλλων τους, δίνοντας και τους αντίστοιχους μέσους βαθμούς απόδοσης σύμφωνα με τη βιβλιογραφία:

1) Μονοκρυσταλλική με απόδοση 13,5 – 17 %

2) Πολυκρυσταλλική με απόδοση 3 - 8 %

3) Άμορφη με απόδοση 3 – 8 %.

Στο ερευνητικό στάδιο έχουν επιτευχθεί και βαθμοί απόδοσης πάνω από 23 %, αλλά αυτά είναι άγνωστα πότε θα ωριμάσουν για το ευρύ εμπόριο και πόσο θα είναι προσιτές οι τιμές τους. Εξ άλλου οι διαφορές βαθμών απόδοσης μεταξύ μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών, έχουν τέτοιο εύρος διακύμανσης και ανοχών που σε πολλές περιπτώσεις τα πολυκρυσταλλικά υπερέχουν των μονοκρυσταλλικών. Η επιλογή επομένως δεν μπορεί να είναι ασφαλής μεταξύ αυτών των δύο τύπων και είναι σκόπιμο να δίνουμε βάρος στην υπόλοιπη ποιότητα και στον κατασκευαστή του φωτοβολταϊκού. Η τιμή των μονοκρυσταλλικών είναι συνήθως ψηλότερη από αυτή των πολυκρυσταλλικών.

Εδώ θα πρέπει να τονιστεί ότι στο εμπόριο προσφέρονται και σημαντικά φθηνά προϊόντα που προέρχονται συνήθως από υπόλοιπα που έχουν προκύψει μετά από διαλογή στα εργοστάσια παραγωγής φωτοβολταϊκών κυψελίδων. Αυτά τα υπόλοιπα πωλούνται συχνά «με το κιλό» σε διάφορους κατασκευαστές ολοκληρωμένων φωτοβολταϊκών (συνήθως Ασιάτες) οι οποίοι το προωθούν στις αγορές με διάφορα ονόματα και σε ελκυστικές τιμές. Η αξιοπιστία στα τελευταία αυτά προϊόντα δεν κρίνεται μόνο στην ποιότητα του πλαισίου τοποθέτησης αλλά και στον υποσχόμενο βαθμό απόδοσης αφού για

λόγους ανομοιομορφίας των υλικών, όπως θα δούμε, δεν μπορούν να τον προσδιορίσουν ούτε οι ίδιοι.

Το συμπέρασμα είναι, ότι για τους δύο πρώτους τύπους το μόνο σίγουρο κριτήριο επιλογής είναι η σοβαρότητα του κατασκευαστή και η καταλληλότητα του πλαισίου τους ανάλογα με το πού πρόκειται να τοποθετηθεί αυτό (το σκάφος, θαλάσσιο περιβάλλον, εξοχικό ή τροχόσπιτο κλπ.). Αντιλαμβάνεται κανείς ότι η επιλογή ενός φωτοβολταϊκού δεν είναι ούτε απλή ούτε μονοσήμαντη.

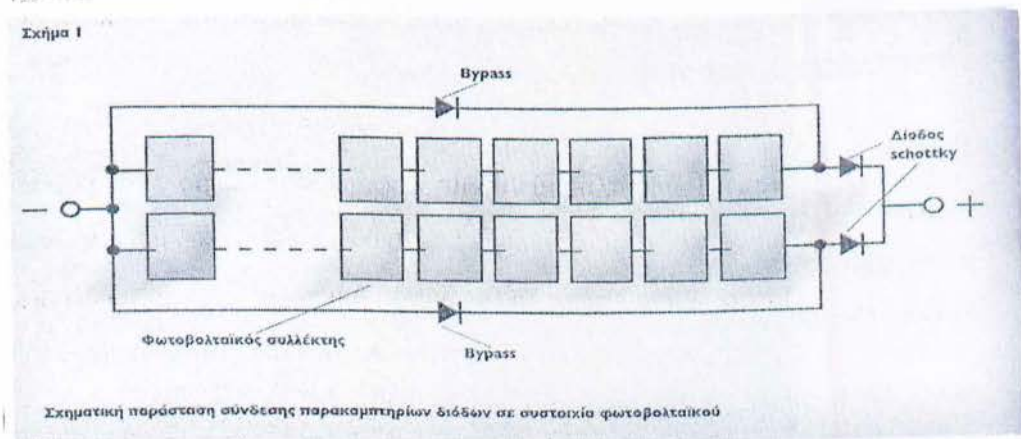
Για τον τρίτο τύπο (άμορφα κρυσταλλικά), εκτός του σαφώς χαμηλότερου βαθμού απόδοσης αλλά συγχρόνως και της χαμηλής τιμής, υπάρχει και θέμα ορίου ζωής. Ο όμορφος τύπος προέρχεται από κρυστάλλους που βασίζονται σε ενώσεις υδρογόνου και πυριτίου που με το χρόνο αλλοιώνεται. Αν δεν υπάρχει πληροφόρηση για την κρυσταλλική μορφή, θα προσπαθήσουμε να το διαγνώσουμε με την όψη αν και γι' αυτό χρειάζεται έμπειρο μάτι.

Τα μονοκρυσταλλικά, στο λίγο φωτισμό παρουσιάζουν ένα ενιαίο μπλε σκούρο χρώμα ενώ με πολύ φωτισμό ανοιχτόχρωμο μπλε. Τα πολυκρυσταλλικά παρουσιάζουν συνήθως μια μπλε επιφάνεια με αργυρόχρωμες (ιριδίζουσες) κρυσταλλικές αναλαμπές ανάλογα με την οπτική γωνία παρατήρησης.

Τα άμορφα έχουν διαφορετικές αποχρώσεις απ' αυτές που αναφέραμε και συνήθως έχουν αποχρώσεις του καφέ. Οι συνηθισμένες συνθήκες που μετριέται μία συστοιχία φωτοστοιχείων, είναι για κάθετη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας με ένταση  $1000 \text{ W/m}^2$  και θερμοκρασία φωτοστοιχείου  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Όπως αντιλαμβάνεται κανείς, εκτός ειδικού εργαστηρίου ο βαθμός απόδοσης δεν είναι δυνατόν να διαπιστωθεί. Εκείνο που έχει σημασία για την καλύτερη απόδοση είναι να μπορεί να ψύχεται η πλάκα του φωτοβολταϊκού.

Ειδικά όταν έχουμε έντονη ηλιοφάνεια αυξάνεται το παραγόμενο ρεύμα και ακριβώς τότε συμβαίνει να αυξάνεται η θερμοκρασία των στοιχείων και μαζί η

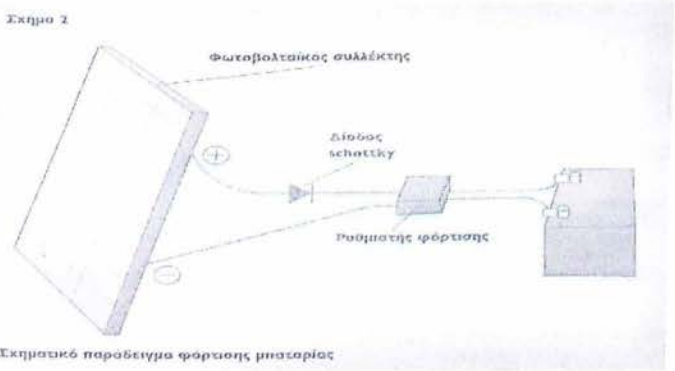
αντίσταση τους με αποτέλεσμα να φρενάρουν την απόδοση. Στο σημείο αυτό παίζει ρόλο η κατασκευή της μεταλλικής πλάκας και αν μιλάμε για θάλασσα-πρέπει να είναι ανοξειδωτή ώστε να υποστηρίζει την ψύξη και να αυξάνει έτσι την απόδοση Ένα άλλο σημείο που έχει σημασία είναι η επιλογή στοιχείων με ίδια απόδοση κατά τη δημιουργία των συστοιχιών. Αντιλαμβάνεται κανείς ότι οι διαλογές κοστίζουν διότι έχουν απώλεια ελαττωματικού υλικού και αυτό μόνο όσοι κατασκευαστές φροντίζουν για «όνομα» το τολμούν. Εξάλλου μια συστοιχία «εν σειρά» συμπεριφέρεται σαν μια αλυσίδα. Είναι τόσο ικανή όσο ο πιο αδύναμος κρίκος της. Το ρεύμα επομένως που θα περάσει είναι αυτό που επιτρέπει η πιο ελαττωματική κυψελίδα. Αυτό έχει δημιουργήσει σε πολλούς μια διάχυτη άποψη ότι όταν σκιαστεί ένα μέρος της πλάκας αχρηστεύεται όλη. Στην πραγματικότητα όμως αυτό αντιμετωπίζεται (αλλά στοιχίζει) με την ενσωμάτωση παρακαμπτήριων διόδων (bypass) (εικόνα 3.22).



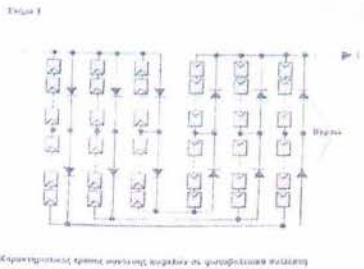
**Εικόνα 3.22 :** Σχηματική αναπαράσταση σύνδεσης παρακαμπτηρίων διόδων σε συστοιχία φωτοβολταϊκού. <sup>[7]</sup>

Με τον τρόπο αυτό όταν σκιαστεί μια σειρά κυψελίδων το ρεύμα παρακάμπτει την αντίσταση της μέσα από τη δίοδο. Οι δίοδοι που χρησιμοποιούνται στα καλά φωτοβολταϊκά είναι τύπου "Schottky". Ο τύπος αυτός (ακριβότερος) παρουσιάζει κλάσμα της αντίστασης μιας καινής διόδου και έτσι μειώνονται οι απώλειες στην απόδοση.

Είναι προφανές ότι κατασκευαστές σεβόμενοι το όνομα τους προσπαθούν να γλυτώσουν κάθε «σταγόνα» απώλειας σε απόδοση. Δίοδο και μάλιστα Schottky χρησιμοποιούν επίσης και στους ρυθμιστές φόρτισης μπαταριών με φωτοβολταϊκά, για τον ίδιο λόγο. Έτσι, δεν θα επιστραφεί το ρεύμα από την μπαταρία όταν η τάση είναι ψηλότερη εκείνης του φωτοβολταϊκού (π.χ. μειωμένη ή καθόλου ηλιοφάνεια), αλλά συγχρόνως θα πετυχαίνει και καλύτερη απόδοση κατά την φόρτιση. Η εικόνα 3.23 δείχνει συμβολικά τη σύνδεση αυτή.



**Εικόνα 3.23 :** Σχηματικό Παράδειγμα Φόρτισης Μπαταρίας  
 Στην εικόνα 3.24 παρίσταται η συνδεσμολογία μιας συστοιχίας κυψελίδων με μικτή σύνδεση (παράλληλη και σειρά) με τις αντίστοιχες παρακαμπτήριες διόδους (Schottky), που συγκροτούν έτσι μία φωτοβολταϊκή μονάδα.<sup>[7]</sup>



**Εικόνα 3.24 :** Χαρακτηριστικός τρόπος σύνδεσης κυψελών σε φωτοβολταϊκό συλλέκτη.<sup>[7]</sup>

Όλα όσα αναφέραμε είχαν σαν στόχο να γίνει πιο κατανοητή η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε σκάφη και ποιες είναι οι δυνατότητες τους καθώς και την ασφάλεια που παρέχει η χρήση τους.

### 3.2.3 Εφαρμογές

#### 3.2.3.1 Ηλιακά τροφοδοτούμενο αυτόνομο υποβρύχιο

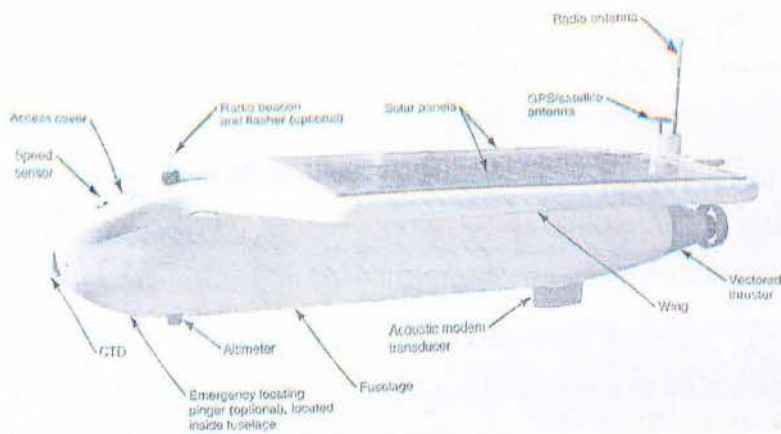
Το ηλιακά τροφοδοτούμενο αυτόνομο υποβρύχιο όχημα (SAUV) σχεδιάστηκε για δύσκολες αποστολές, όπως ο έλεγχος, η επιτήρηση, ή διατήρηση της θέσης, στις περιπτώσεις που οι αμφίδρομες επικοινωνίες σε πραγματικό χρόνο είναι δύσκολες.



Εικόνα 3.25 : SAUV I <sup>[57]</sup>

Το SAUV II είναι βασισμένο σε μία αυτόνομη υποβρύχια τεχνολογία οχημάτων δοκιμής (AUV) η οποία έχει εξελιχθεί κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 10 ετών.

Το SAUV II είναι ικανό να λειτουργεί σε εικοσιτετράωρη βάση λόγω της ηλιακής ενέργειας που χρησιμοποιεί για να επαναφορτίσει τις ιονικές μπαταρίες λιθίου του κατά τη διάρκεια της μέρας και την νύχτα μπορεί να πάρει μέρος σε κάποια αποστολή .



**Εικόνα 3.26** : SAUV II .<sup>[57]</sup>

Το SAUV II έχει μήκος 2.3 μέτρα , πλάτος 1.1 μέτρα και ύψος 0.5 μέτρα. Οι φωτοβολταϊκή κυψελίδα έχει εμβαδό 1 τετραγωνικό μέτρο και το βάρος του είναι 200 κιλά. Λόγω του σχετικά μικρού μεγέθους , το SAUV II είναι εύκολο να μεταφερθεί πάνω σε μία ράμπα βαρκών στην ακτή και μπορεί ανεξάρτητα να πλεύσει σε έναν προκαθορισμένο τομέα ενδιαφέροντος. Το SAUV II μπορεί να προγραμματιστεί πριν από την αποστολή ή και κατά την διάρκεια της αποστολής μέσω της επικοινωνίας ραδιοσυχνότητας (RF) ή του δορυφορικού τηλεφώνου . Ο αρμόδιος για το σχεδιασμό αποστολής είναι μια βασισμένη στα WINDOWS διεπαφή Graphical use - (GUI) που δίνει τον προγραμματισμό της αποστολής. Ο ελεγκτής αποστολής είναι βασισμένος σε έναν PC-104 ενσωματωμένο επεξεργαστή που είναι σε θέση να διαχειριστεί τις υψηλού επιπέδου εντολές για να κατευθύνει τη συμπεριφορά του οχήματος κατά τη διάρκεια της αποστολής.

Το SAUV II αποτελείται από ένα σύνθετο υλικό - το fiberglass ,το οποίο αντέχει σε βάρη άνω των 500 μέτρων. Μία προπέλα παρέχει τον έλεγχο της κατεύθυνσης από 1 έως 3 κόμβους ανάλογα με την αποστολή. Η θέση του σκάφους και τα στοιχεία της έρευνας αναμεταδίδονται στο χειριστή από έναν ακουστικό αποδιαμορφωτή όπου καταγράφονται και επιδεικνύονται στον αρμόδιο για το σχεδιασμό της αποστολής στον υπολογιστή. Τα στοιχεία που συγκεντρώνονται από την αποστολή διαβιβάζονται στην ακτή μέσω της επικοινωνίας RF.

Το SAUV II είναι εξοπλισμένο με ένα ενεργειακό σύστημα που παράγει τάση 32 Volt και ισχύ 2 KWH. Αυτό το σύστημα αποτελείται από 288 ιονικές μπαταρίες λιθίου τα οποία είναι διαθέσιμα στο εμπόριο, και τα οποία τακτοποιούνται σε δύο δίσκους που βρίσκονται κάτω από το πλαίσιο. Κάθε δίσκος περιέχει έξι πακέτα με 24 κύτταρα.

### 3.2.3.2 Το Ηλιακό Τροφοδοτούμενο Πλοίο «RA 82».

Το ηλιακό όχημα «RA 82» - το μεγαλύτερο ηλιακό σκάφος στον κόσμο. Κατασκευασμένο από την Kopf Solar design στο Αμβούργο .



Εικόνα 3.27 : Άποψη του «RA 82» . <sup>1581</sup>

Η μεγαλύτερη ηλιακή βάρκα στον κόσμο διέσχισε για πρώτη φορά τον ποταμό Alster στο Αμβούργο στις 23 Μαΐου 2000. Το μήκος του είναι σχεδόν 27 μέτρα και ζυγίζει 34 τόνους και μπορεί να διασχίζει τον ποταμό χωρίς οποιοδήποτε θόρυβο με μέγιστη ταχύτητα 15 χιλιόμετρα ανά ώρα. Ταξιδεύοντας μπροστά από τα αξιοθέατα του Αμβούργου, έχει γίνει σήμα κατατεθέν της πόλης. Οι 40 τόνοι του ανοξείδωτου χάλυβα και της οροφής των ηλιακών κυττάρων που εγκλωβίζουν την ενέργεια από τον ήλιο είναι πόλος έλξης για μικρούς και μεγάλους.

Η βάρκα μπορεί να μεταφέρει 120 επιβάτες. Το «RA 82» μπορεί να ανάπτυξη μια ταχύτητα 5 χιλιομέτρων ανά ώρα μόνο από την ηλιακή ακτινοβολία. Εάν πρέπει να πάει γρηγορότερα, το υπόλοιπο της ενέργειας προέρχεται από τις μπαταρίες. Η αποθηκευμένη ενέργεια των 80 μπαταριών (2340 ampere/ώρα με τάση 80 volt) για τουλάχιστον 12 ώρες ή για μία απόσταση 120-160 χιλιομέτρων.

Η βάρκα φαίνεται αρκετά εντυπωσιακή όταν κάποιος την παρατηρεί εξωτερικά: το ασημένιο μέταλλο το οποίο λάμπει και η αψίδα η οποία λειτουργεί ως ηλιακή γεννήτρια υπογραμμίζουν το φουτουριστικό χαρακτήρα της βάρκας. Η κατασκευή φαίνεται ιδιαίτερα κομψή και όμορφη από τις όχθες του ποταμού καθώς προσφέρονται πολλές υπηρεσίες στους επιβάτες.



**Εικόνα 3.28 :** Το εσωτερικό μέρος του «Alster Sun». <sup>[58]</sup>

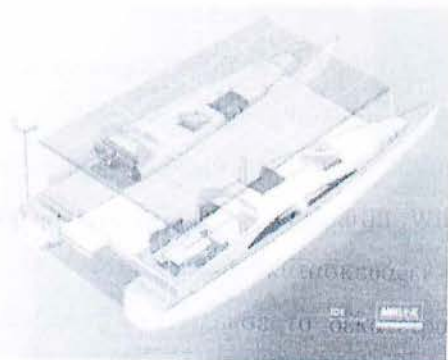
Οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες δημιουργούν ένα συναρπαστικό παιχνίδι με το φως και τη σκιά. Προστατεύουν επίσης τους επιβάτες από τις καιρικές συνθήκες, ο χώρος των επιβατών μπορεί να σκεπαστεί όταν βρέχει. Όταν ο καιρός είναι κακός χρησιμοποιείται η ηλεκτρική ενέργεια από τις 80 μπαταρίες. Ένα πλήρες σύνολο καρεκλών και πινάκες ανήκουν στον εξοπλισμό άνεσης καθώς υπάρχουν υγειονομικές εγκαταστάσεις και κουζίνα για να προετοιμάσουν τα φαγητά για τους φιλοξενούμενους. Το σχέδιο της βάρκας έχει κερδίσει πολλά βραβεία.

Οι λεπτομέρειες της βάρκας σχεδιάζονται σύμφωνα με τις επιθυμίες του αγοραστή. Ο κορυφαίος στόχος των σχεδιαστών ήταν να δημιουργήσουν έναν συνδυασμό της τεχνολογίας, της οικολογίας και του σχεδίου. Υπάρχουν πλεονεκτήματα εκτός από την ήρεμη προώθηση, όπως η μη διαρροή πετρελαίου ή βενζίνης στο νερό.

### 3.2.3.3 Το Καταμαράν « Sun21».

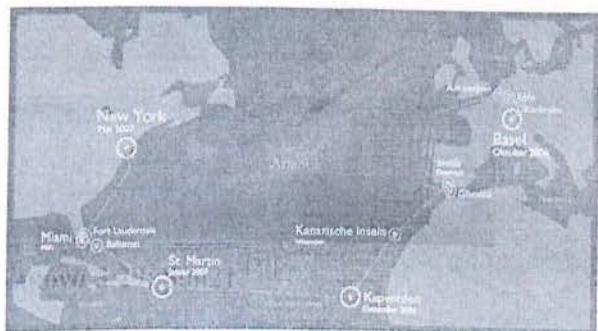


Ύστερα από την διάσχιση του Ινδικού Ωκεανού, αλλά το Sun21 προσπάθησε να διασχίσει τον Ατλαντικό. Το σχέδιο του φαίνεται στην ακόλουθη φωτογραφία . Ο Martin Wüst, ο ιδρυτής της κατασκευαστικής εταιρείας Yverdon-που κατασκευάζει ηλιακά-τροφοδοτούμενες βάρκες, προετοίμασε και έπλευσε το δεκατετράμετρο καταμαράν του, το οποίο τροφοδοτείται αποκλειστικά από ένα μεγάλο πάνελ φωτοβολταϊκών κυψελίδων, και κατάφερε να διασχίσει τον Ατλαντικό Ωκεανό, χωρίς να χρησιμοποιήσει καθόλου βενζίνη.



**Εικόνα 3.29:** Sun21 <sup>[27]</sup>

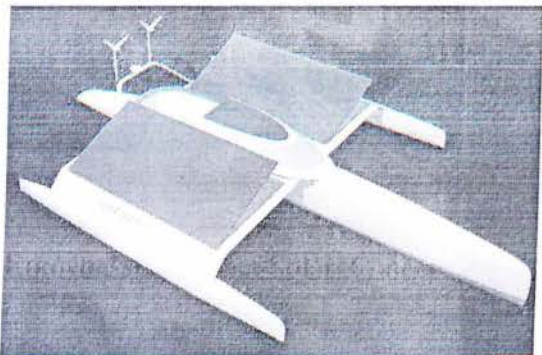
Το ιδιωτικά χρηματοδοτημένο πρόγραμμα καλείται Transatlantic2. Τον Οκτώβριο του 2006, το σκάφος ξεκίνησε το ταξίδι του από την Ελβετία, μέσω του Ρήνου στις Κάτω Χώρες, και από την Σεβίλλη για να αρχίσει πέρασμα από τον Ατλαντικό.



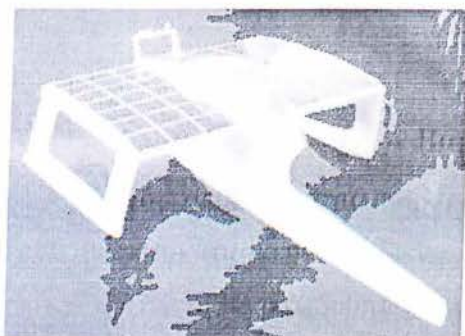
**Εικόνα 3.30 :** Φαίνεται η διαδρομή του « Sun21». <sup>[27]</sup>

Το ηλιακά τροφοδοτούμενο καταμαράν έπλευσε προς τις Δυτικές Ινδίες και έπειτα προς τα λιμάνια της Φλόριδας και της Νέα Υόρκης, όπου και έφθασε την άνοιξη του 2007.

Η ίδια εταιρεία έχει σχεδιάσει και κάποια πρωτότυπα σκάφη τα οποία εάν πραγματοποιηθεί η κατασκευή τους θα αποτελέσουν την βάση για την ανάπτυξη και την χρήση των ηλιακά τροφοδοτούμενων καταμαράν στην ναυσιπλοΐα μεταφέροντας επιβάτες. Δύο από αυτά απεικονίζονται στις ακόλουθες φωτογραφίες.



Εικόνα 3.31 : Solar Yacht Concept <sup>[27]</sup>



Εικόνα 3.32 : Planet Solar Concept <sup>[27]</sup>

#### 3.2.3.4 Εφαρμογές Ηλιακών Βαρκών στον Τουρισμό.

Εκτός από τις μεγάλες βάρκες για την μεταφορά επιβατών , έχουν εξελιχθεί και κατασκευαστεί μικρού μεγέθους ηλιακά τροφοδοτημένες βάρκες όπως αυτή της ακόλουθης εικόνας, οι οποίες χρησιμοποιούνται για διασκέδαση.

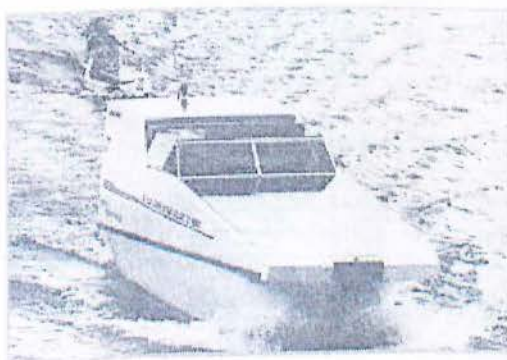


**Εικόνα 3.33 :** Προσωπική ηλιακή βάρκα. <sup>[30]</sup>

Αυτή η ηλιακή τροφοδοτημένη βάρκα από το Hammacher είναι ίσως η ασφαλέστερη βάρκα παγκοσμίως. Μπορεί να φιλοξενήσει τέσσερα άτομα. Μια ηλεκτρική μηχανή 700 Watt που τροφοδοτείται από τέσσερις μπαταρίες που επαναφορτίζονται συνεχώς από τον ήλιο κατά τη διάρκεια της ημέρας ακόμα και αν επικρατεί συννεφιά. Η βάρκα είναι κατασκευασμένη από fiberglass και τα στηρίγματα της φωτοβολταϊκής διάταξης είναι από αλουμίνιο.



**Εικόνα 3.34:** Ηλιακά Τροφοδοτούμενη βάρκα που κατασκευάστηκε το 1995 και έχει ισχύ 2.5 KW. <sup>[27]</sup>



**Εικόνα 3.35 :** Yacht το οποίο κινείται με φωτοβολταϊκές κυψελίδες και η ισχύς του είναι πάνω από 5 KW. <sup>[27]</sup>



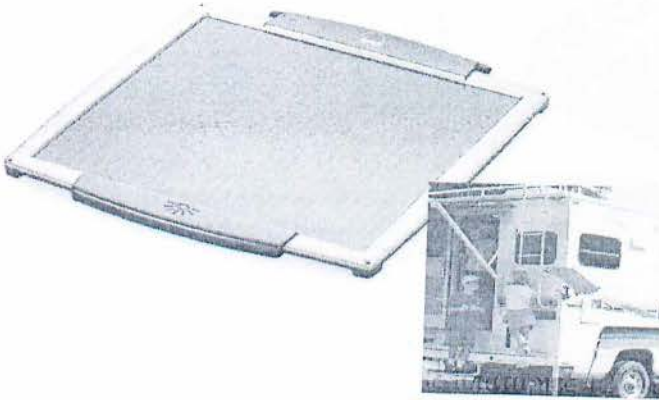
**Εικόνα 3.36 :** Διακρίνεται η τομή ακόμα ενός yacht που κινείται χρησιμοποιώντας ηλιακή ενέργεια. Το συγκεκριμένο έχει μήκος 10 μέτρα και πλάτος 2.5 μέτρα. Χρησιμοποιεί μία ηλεκτρική μηχανή που παράγει ισχύ μεταξύ 5-8 KW και μπορεί να μεταφέρει μέχρι 8 επιβάτες. Να σημειωθεί ότι το σχέδιο είναι του January Petzold και η κατασκευή ανήκει στον Thomas Meyer. <sup>[27]</sup>

### **3.2.3.5 Προϊόντα για εφαρμογές των φωτοβολταϊκών στα οχήματα και τα σκάφη.**

Με την μεγάλη ανάπτυξη της τεχνολογίας και την μείωση των τιμών των φωτοβολταϊκών κυψελίδων, παράγονται και κυκλοφορούν στην αγορά αρκετά προϊόντα, τα οποία με μικρό κόστος και πολύ εύκολη συναρμολόγηση και τοποθέτηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τροφοδοσία με ηλιακή ενέργεια το αυτοκίνητο, το σκάφος ή ακόμα και το ποδήλατο. Κάποια από αυτά παρουσιάζονται παρακάτω.

Τα μεγαλύτερα οχήματα όπως τα pick-up, φορτηγά ή οι μικρές βάρκες έχουν τις μεγαλύτερες μπαταρίες και τους μεγαλύτερους αγωγούς μπαταριών απλά επειδή έχουν περισσότερη ανάγκη για ενέργεια. Ο συγκεκριμένος ηλιακός φορτιστής μπαταριών φορτίζει αργά τις μεγαλύτερες μπαταρίες των 12 Volt. Επίσης μειώνει την απώλεια μπαταριών που προκαλείται από τις απώλειες τάσης, είναι αδιάβροχος και σχεδιασμένος για υπαίθρια χρήση. Η μέγιστη δύναμη που παράγει είναι 6 W, ενώ το ρεύμα ανέρχεται στα 400 mA με τάση 15V στην περίπτωση που έχουμε ηλιοφάνεια.

Είναι κατάλληλος για όλες τις μπαταρίες 12V. Τέλος το μήκος του είναι 375 χιλιοστά, το πλάτος είναι 360 χιλιοστά και το ύψος του μόλις 26 χιλιοστά, ενώ το βάρος του δεν ξεπερνάει το 1.5 κιλό.



**Εικόνα 3.37 :** Ηλιακός Φορτιστής Μπαταριών για τροχόσπιτα και φορτηγά ή μικρές βάρκες. <sup>[42]</sup>

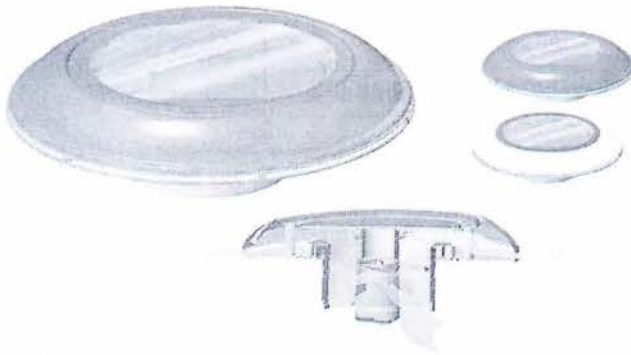
Σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο η χρήση του ποδηλάτου ακόμα και τη νύχτα είναι πολύ διαδεδομένη. Το ακόλουθο ηλιακά τροφοδοτούμενο φανάρι πρέπει να αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του εξοπλισμού του ποδηλάτου. Γι' αυτό το μέγεθος του είναι βολικό, έχει μήκος μόλις 115 χιλιοστά. Χρειάζεται 12 ώρες για την πλήρη φόρτισή του, ακόμα και αν το φως του ήλιου δεν είναι αρκετά έντονο. Επίσης είναι αδιάβροχο και τοποθετείται πάνω στο ποδήλατο. Είναι φορητό και η εμβέλεια του είναι 20 μέτρα. Τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνεχώς για 48 ώρες και η διάρκεια ζωής του είναι περίπου 10000 ώρες.



**Εικόνα 3.38 :** Ηλιακά τροφοδοτούμενο μπροστινό φανάρι για ποδήλατο. <sup>[40]</sup>

Η συσκευή της παρακάτω εικόνας παρέχει αθόρυβο και αξιόπιστο εξαιρεισμό, διατηρώντας τον χώρο άνετο, βελτιώνοντας την ποιότητα του

αέρα. Είναι ιδανικός για τις βάρκες, τα motorhomes, τα τροχόσπιτα, τα θερμοκήπια και τα υπόστεγα.



**Εικόνα 3.39:** Ηλιακός Εξαεριστήρας. <sup>[42]</sup>

Αυτός ο μοντέρνος αεροδυναμικός ηλιακός εξαεριστήρας μειώνει τη συμπύκνωση και τη συγκέντρωση θερμότητας στους κλειστούς χώρους 24 ώρες την ημέρα.

Δεν χρειάζεται καλωδίωση και οι δύο μπαταρίες NiMh εγγυώνται την λειτουργία του για 48 ώρες χωρίς το φως του ήλιου. Η εξωτερική διάμετρος είναι 265 χιλιοστά (mm) , ενώ το συνολικό ύψος 125 χιλιοστά (mm) ενώ η εσωτερική διάμετρος είναι 100 χιλιοστά (mm) διεξόδων και το βάρος του μόλις 0.8 κιλά (kg). Αναμφίβολα είναι μία πολύ χρήσιμη συσκευή για όποιον θέλει να έχει στο σκάφος του ή ακόμα και στο σπίτι του καλή ποιότητα στον αέρα που εισπνέει.

## **Βιβλιογραφία**

1. A photovoltaic solar sensor for use in spacecraft orientation systems,  
By Antony Fontana  
Publisher NASA
2. Photovoltaic Solar Energy Best Practice Stories,  
By The European Commission
3. Best Practices for Photovoltaic Household Electrification Programs,  
By Anil Cabraal, Mac Cosgrove-Davies and Loretta Schaeffer  
Publisher European Commission
4. The leading edge: aerodynamic design of ultra-streamlined land vehicles,  
By Goro Tamai  
Publisher Cambridge, MA: Robert Bentley, 1999
5. Αυτόνομες εφαρμογές ηλιακής ενέργειας μικρού και μεσαίου μεγέθους,  
By Βασίλης Μαλάμης  
Εκδόσεις ΙΩΝ
6. Φωτοβολταϊκή τεχνολογία,  
By Κ.Καραγκάκη  
Εκδόσεις Συμμετρία(1987)
7. Περιοδικό: Greek Boating Market

### **Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία (Ιστοσελίδες)**

8. <http://www.physics4u.gr/>
9. <http://www.raztec.co.nz/default.aspx>
10. <http://nmp.nasa.gov/ds1/index.html>
11. <http://www.enersol.gr>
12. <http://www.npt.gr/gr/index.html>
13. <http://www.solarmobil.net>
14. <http://www.pluggingintothesun.org.uk/index.htm>
15. <http://www.a-lab.gr/products.asp?id=89>
16. <http://www.photovoltaic.gr/>

17. <http://www1.eere.energy.gov/solar/photovoltaics.html>
18. <http://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaics>
19. <http://www.greenenergy.org.uk/pvuk2/technology/index.html>
20. [http://www.solarnavigator.net/solar\\_boats.htm](http://www.solarnavigator.net/solar_boats.htm)
21. [http://www.sunwindsolar.com/a\\_solar/solar\\_cars\\_boats.html](http://www.sunwindsolar.com/a_solar/solar_cars_boats.html)
22. <http://www.solarchallenge.com.au/>
23. <http://www.solarboats.net/index.html>
24. <http://www.sunboat.com/history/history.html>
25. <http://www.nasa.gov/>
26. <http://thefraserdomain.typepad.com/energy/>
27. [http://www.solarnavigator.net/solar\\_boats.htm](http://www.solarnavigator.net/solar_boats.htm)
28. [http://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_boat](http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_boat)
29. <http://www.solarschiff.de>
30. <http://www.bornrich.org/entry/solar-powered-personal-boat/>
31. <http://www.solarserver.de/solarmagazin/anlageaugust2000-e.html>
32. [http://www.bkvibro.com/PDF/Documentation/Sensors/AS/ASA02xgr\\_atex%20mit%2EU%20Hinweis.pdf](http://www.bkvibro.com/PDF/Documentation/Sensors/AS/ASA02xgr_atex%20mit%2EU%20Hinweis.pdf)
33. <http://www.pspb.org>
34. <http://www.solarboats.net/>
35. [http://www.riverquest.org/pdf/RQExplorer\\_HybridPropulsion07.pdf](http://www.riverquest.org/pdf/RQExplorer_HybridPropulsion07.pdf)
36. <http://www.base10.ws:8080/magsandj/rew/index.html>



37. <http://www.energyenv.co.uk/>
38. <http://www.solarlectrix.com>
39. <http://www.r2d-automation.com/index.html>
40. <http://www.duxlite.com>
41. <http://www.transatlantic21.org/>
42. <http://www.electronichealing.co.uk/index.htm>
43. <http://www.unisa.edu.au/solarcar/>
44. <http://www.engin.umich.edu/solarcar/>
45. <http://www.wsc.org.au/>
46. <http://pvlab.ioffe.ru/about.html>
47. <http://library.thinkquest.org/03oct/02144/text/faq.htm>
48. <http://mdl.csa.com/partners/viewrecord.php?requester=gs&collection=TRD&recordid=20021214021563MT&recid=A7941208AH&q=photovoltaic+in+spacecrafts&uid=791863883&setcookie=yes>
49. [http://scholar.Google.com/scholar?q=photovoltaic+in+spacecrafts&hl=el&lr=&scoring=r&as\\_ylo=2002&start=30&sa=N](http://scholar.Google.com/scholar?q=photovoltaic+in+spacecrafts&hl=el&lr=&scoring=r&as_ylo=2002&start=30&sa=N)
50. [http://www.news.com/8301-10784\\_3-9817577-7.html](http://www.news.com/8301-10784_3-9817577-7.html)
51. [www.ucsusa.org](http://www.ucsusa.org)
52. [www.laserfocusworld.com/index.html](http://www.laserfocusworld.com/index.html)
53. [www.fvgenenergy.com](http://www.fvgenenergy.com)
54. [www.renewable-energy-world.com](http://www.renewable-energy-world.com)
55. <http://inventors.about.com/od/pstartinventions/a/Photovoltaics.htm>

56. <http://cn.wikipedia.org/wiki>

57. SAUV\_30DayTest.pdf

58. <http://www.solarserver.de/solarmagazin/anlageaugust2000-e.html>

59. <http://www.sierrasolar.com/articles/whatpv.htm>