

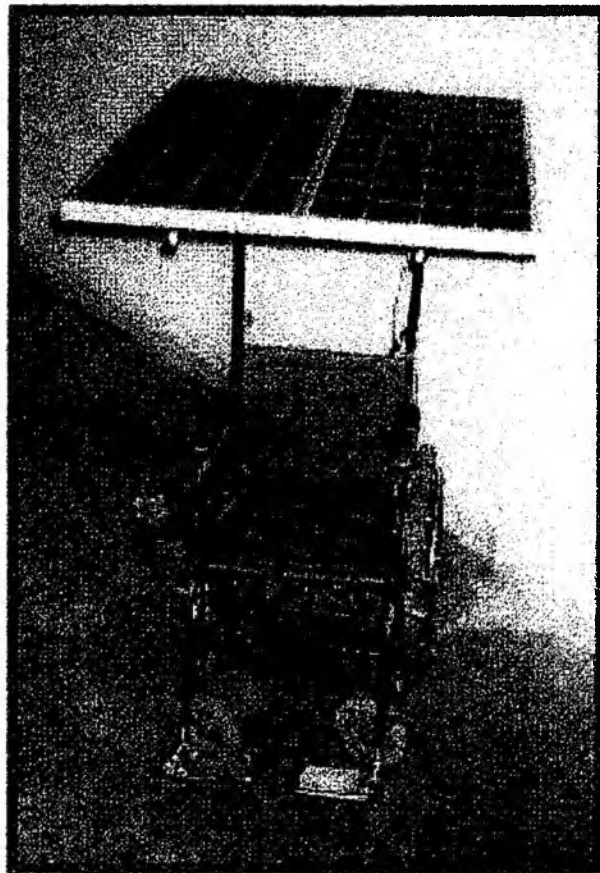
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΤΕΦ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τίτλος : Μελέτη και προσαρμογή ηλεκτροκίνητου αναπηρικού αμαξιδίου υποστηριζόμενου από φωτοβολταϊκά στοιχεία.



ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΕΡΙΚΛΗΣ Σ. ΚΟΡΩΝΑΚΗΣ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΙ ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΜΠΟΥΛΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

ΑΘΗΝΑ 1995

SUMMARY

This project is made under the studying course of the department of mechanical engineering of Technological Educational Institution of Piraeus . It 's main studying is the conversion of a simple wheelchair to an electric one and supplied by Photovoltaic Array (PV).

The whole project consists by seven chapters . Each of theese chapters covers every single part that the wheelchair is consisted . In the last chapter the results of the tests are classified and resolutions are extracted.

The first chapter covers the PV array . This includes the technical characteristics of the PV array that is used . Finally is presented the way that the PV array is choosen in accordance to the power required. The choosen PV array is the Japanese KYOCERA LA K51S . Is a polycrystallic Si PV array with the below characteristics

TYPE LA K51S	
Max. Power	51.0 Watt
Voltage at max. power	16.9 Volt
Current at max. power	3.02 A
open circuit Voltage	21.2 Volt
Shortcircuit current	3.25 A
Length	988 mm
Width	448 mm
Thick	36 mm
Weight	5.9 kG

The second chapter covers the batteries and their primary function as electric storage . Most specific the Pb batteries and the way of their charge is presented , also their capacity , their durability and their cost . Finally the standart they confront (DIN 41772) is presented . Some additional calculation methods are included. The selection is two 12 V batteries that they connect in serious , so the have output voltage 24 Volt , and their capacity is 55 Ah . This batteries are give to the wheelchair a 2.2 hour autonomy with max. power (240 W).

In the third chapter a general presentation of electric motors takes place beginning with their function under load , and continuing with other issues such as rotation speed and methods of adjusting them . Finally advantages and disadvantages of the various types of motors covered and presented. The two selected motors are DC 24 V and their max power is 240 Watt each . The output rotate speed is 32 rpm without load ,because of the speed reducer that plug with the motors .

In the fourth chapter electrical and electronical layouts incluting the speed control covered . Also , other issues as the protection systems and the control panel are covered.

In fifth chapter the technical specifications of the various enhanchments that took place are covered . This include the transmtion of the batteries conpartunents , the maintaining of the PV array and the physical dimensions . Also drawings are attached and a theoretical way of calculating the efficiency factor. The main dimensions of the wheelchair are:

Length = 1020 mm

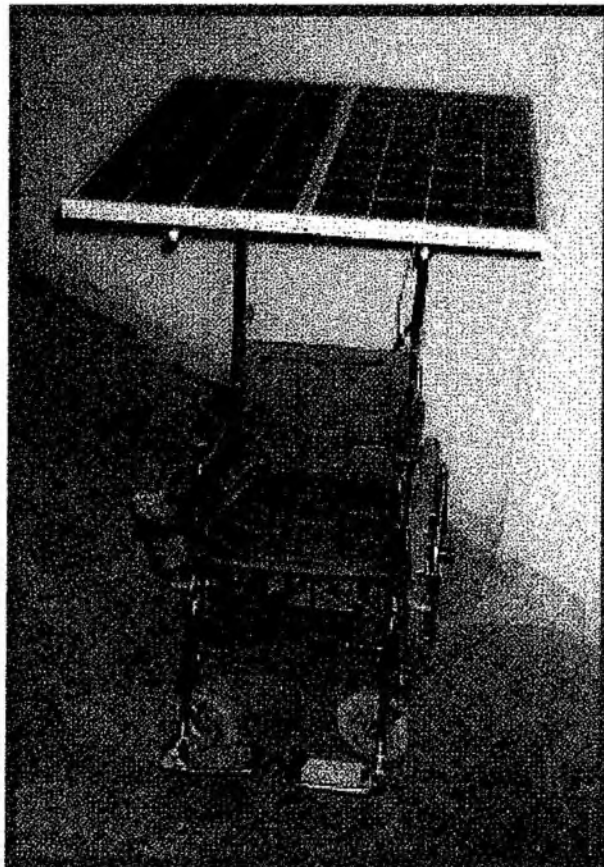
Heigh = 1400 mm

With = 650 mm

Net weight = 72 kg

The sixth chapter describes the various tests that took place . Speed mesurings on horizontal and inclined place are regislaved and also performance issues are covered. This is accompanied by performance graphs . The max speed of the wheelchair on horizontal place is 2.8 Km/h and the max climbing capability on inclined place is 4 degrees with a 95 Kg (net) weigh .

In last chapter conclusions deriving from the tests are classified and compared with our theoretical . Also a few photos of the wheelchair are given.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει πραγματοποιηθεί στα πλαίσια του αναλυτικού προγράμματος σπουδών του τμήματος μηχανολογίας του ΤΕΙ Πειραιά . Αντικείμενο της είναι η μελέτη και η μετατροπή ενός κοινού αναπηρικού αμαξιδίου , από χειροκίνητο σε ηλεκτροκίνητο και υποστηριζόμενο από φωτοβολταϊκά στοιχεία . Η εργασία αυτή αποτελεί την πραγματοποίηση της πρωτότυπης , για τα Ελληνικά δεδομένα , ιδέας που έδωσε ο καθηγητής του τμήματος μηχανολογίας κ. Περικλής Σ. Κορωνάκης . Η ιδέα αυτή αρχικά φαινόταν κάπως εξωπραγματική αφού τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι σχεδόν άγνωστα στον απλό πολίτη και το σχετικά υψηλό , ακόμα , κόστος τους τα θέτει εκτός ανταγωνισμού σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας . Τα προηγούμενα όμως έρχεται να διαψεύσει η εργασία αυτή μιάς και τα φωτοβολταϊκά που έχουν χρησιμοποιηθεί στην παρούσα κατασκευή ανταποκρίνονται πλήρως στις ενεργειακές ανάγκες του αναπηρικού αμαξιδίου τουλάχιστον για τους περισσότερους μήνες του χρόνου που έχουμε μεγάλα διαστήματα ηλιοφάνειας , αξιοσημείωτο επίσης είναι το ότι το υψηλό τους κόστος αντισταθμίζεται από την εικοσιπενταετή εγγύηση που έχουν από τον κατασκευαστή τους .

Γιά λόγους άνετης ανάγνωσης της εργασίας αυτής στην αρχή της μετά από τον πίνακα περιεχομένων υπάρχει και ένας κατάλογος με όλους τους χρησιμοποιούμενους συμβολισμούς . Επίσης στο τέλος υπάρχει και η σχετική βιβλιογραφία .

Στο παράρτημα , το οποίο βρίσκεται στο τέλος , υπάρχουν φωτογραφίες της κατασκευής καθώς και πίνακες με τις τιμές της μέσης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας στην Αθήνα , όπως αυτές έχουν μετρηθεί από τον ακτινομετρικό σταθμό του ΤΕΙ Πειραιά .

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά όλους όσους συνέβαλαν στην πραγματοποίηση της εργασίας αυτής και ιδιαίτερα τον κ. Κορωνάκη για την άριστη συνεργασία του , τις εύστοχες υποδείξεις του και την εμπιστοσύνη που μας έδειξε , καθώς και τον καθηγητή εφαρμογών κ Ν. Πολίτη για την πολύτιμη του βοήθεια σε όλη την διάρκεια της κατασκευής του αμαξιδίου .

Θερμά επίσης ευχαριστούμε το προσωπικό του μηχανολογικού εργαστηρίου 1 για τα υλικά και τις υποδείξεις που μας πρόσφεραν καθώς και για την αμέριστη βοήθεια και συμπαράσταση τους .

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	1
---------------	---

Κεφάλαιο 1

Φωτοβολταϊκά στοιχεία	3
1.1 Τα φωτοβολταϊκά γενικά	3
1.2 Βασικές αρχές λειτουργίας	7
1.3 Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο.....	10
1.4 Φωτοβολταϊκά στοιχεία της παρούσας εφαρμογής	11
1.5 Ροή και ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας	16
1.6 Η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας	19
1.7 Η συγκρότηση ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος	22
1.8 Υπολογισμός Φ/Β πλαισίων	25

Κεφάλαιο 2

Συσσωρευτές	28
2.1 Η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας	28
2.2 Οι συσσωρευτές μολύβδου	29
2.3 Η χωρητικότητα των συσσωρευτών	31
2.4 Δομή , διάρκεια ζωής και κόστος	33
2.5 Γενικά για τον χώρο εγκατάστασης τους [προδιαγραφές].....	34
2.6 Ειδικά για οχήματα ξηράς (όπως και το αναπηρικό καρότσι).36	
2.7 Κατασκευή βάθρων , δοχείων , κιβωτίων και ερμαριών συσσωρευτών	37
2.8 Φόρτιση	37
2.9 Λειτουργία γενικά	38
2.10 Υπολογισμός μπαταρίας	38
2.10.1 Γενικά χαρακτηριστικά	38
2.10.2 Επιλογή μπαταρίας	38
2.10.3 Ρεύμα εκφόρτισης	39

Κεφάλαιο 3

Ηλεκτροκινητήρες	40
3.1 Λειτουργία κινητήρων με φορτίο	40
3.2 Ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων	42
3.3 Μεθόδοι ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής κινητήρων συνεχούς ρεύματος	43
3.4 Είδη κινητήρων συνεχούς ρεύματος	45

Κεφάλαιο 4

Ηλεκτρικές - ηλεκτρονικές διατάξεις	47
4.1 Ροή ενέργειας από τα Φ/Β στους κινητήρες	47

Κεφάλαιο 5

Τεχνική περιγραφή	52
5.1 Σύστημα μετάδοσης της κίνησης	52
5.2 Βάσεις μπαταριών	56
5.3 Στήριξη Φ/Β	60
5.4 Διαστάσεις αμαξιδίου	64
5.5 Θεωρητικός υπολογισμός του βαθμού απόδοσης του όλου συστήματος	65

Κεφάλαιο 6

Δοκιμές , μετρήσεις , αποτελέσματα.....	67
6.1 Μετρήσεις ταχύτητας	67
6.1.1 Μέτρηση μεγίστης ταχύτητας στο οριζόντιο επίπεδο.....	67
6.1.2 Μέτρηση της μέσης ταχύτητας μετακίνησης	68
6.1.3 Μέτρηση ταχύτητας υπό κλίση.....	68
6.2 Κινητική συμπεριφορά	68
6.2.1 Εκκίνηση σε οριζόντιο επίπεδο	69
6.2.2 Πέδηση με την χρήση των ηλεκτροκινητήρων	69
6.2.3 Ικανότητας ανάβασης	69
6.3 Δοκιμή αυτονομίας	70
6.4 Επιτρεπόμενη εκφόρτιση συστοιχείας συσσωρευτών	71

6.5 Μετρήσεις κινητήρων	73
6.6 Μέτρηση συνδυασμού Φ/Β μπαταρίας.....	76

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα	83
Βιβλιογραφία	87
Παράρτημα	88

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

Ag	Αργίλιο
AM	Οπτική μάζα της ατμόσφαιρας
Ah	Αμπερώρια
α	Συντελεστής απόδοσης συσσωρευτών
β_{σ}	Κλίση συλλέκτη
β	Επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης
C	Βαθμός κελσίου - θερμοκρασία
Cds	Χημικός συμβολισμός θειούχου καδμίου
CaAs	Χημικός συμβολισμός του Αρσενιούχου γαλλίου
Ca	Χημικός συμβολισμός του καδμίου
C	Χωρητικότητα του συσσωρευτή
Cn	Ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή
Du	Βύθιση τάσεως
Εκ	Καταναλισκόμενη ενέργεια
Εκω	Ωριαία καταναλισκόμενη ενέργεια αμαξιδίου
E	Ενέργεια που παράγει το Φ/Β
Εφ	Ενέργεια φορτιστή
H₂O	Χημικός συμβολισμός του νερού
HI	Ολική ηλιακή ακτινοβολία
Φ	Μαγνητική ροή στους πόλους του ηλεκτροκινητήρα
Φ/Β	Φωτοβολταϊκό
n	Ταχύτητα περιστροφής
$\eta_{ολ}$	Ολικός βαθμός απόδοσης συστήματος
I_δ	Ρεύμα διεγέρσεως ηλεκτροκινητήρα

I_T Ρεύμα τυμπάνου ηλεκτροκινητήρα

I=f(HI) constr. Χαρακτηριστική καμπύλη παρεχόμενη από τον κατασκευαστή των Φ/Β

K Κατασκευαστικός συντελεστής ηλεκτροκινητήρα

K₁ Κατασκευαστικός συντελεστής ηλεκτροκινητήρα

L.E.D. Δίοδος εκπομπής ακτινοβολίας

MJ 10⁶ Joule , μονάδα μέτρησης ενέργειας

mW 10⁻³ Watt , μονάδα μέτρησης ισχύος

MW 10⁶ Watt , μονάδα μέτρησης ισχύος

Pt Χημικός συμβολισμός της πλατίνας

Pa Απαιτούμενη ισχύς

P Μέση ισχύς καταναλώσεων

PbSO₄ Χημικός συμβολισμός του θειικού μολύβδου

Pb Χημικός συμβολισμός του μολύβδου

Π Πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας

R_T Αντίσταση τύμπανου του ηλεκτροκινητήρα

Se Χημικός συμβολισμός του σελήνιου

Si Χημικός συμβολισμός του πυριτίου

T Ροπή στρέψης του ηλεκτροκινητήρα

T Αυτονομία του αμαξιδίου

U Ηλεκτρική τάση - διαφορά δυναμικού

W Βάττ , μονάδα μέτρησης ισχύος

Wh Βαττώρα , μονάδα μέτρησης ενέργειας

W_p Ισχύς αιχμής

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία αυτή αποτελείται από 7 κεφάλαια . Κάθε ένα από αυτά εξετάζει κάθε επιμέρους κατασκευή που απαρτίζει το αμαξίδιο και στο τελευταίο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις δοκιμές που έχουν γίνει καθώς επίσης και κάποια συμπεράσματα.

Το πρώτο κεφάλαιο εξετάζει τα φωτοβολταϊκά . Αρχικά γίνεται μια ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των φωτοβολταϊκών στοιχείων και στην συνέχεια παρουσιάζονται γενικά τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα τους . Ακολούθως γίνεται μια σύντομη παρουσίαση του φωτοβολταϊκού φαινομένου και μία αναφορά στον βαθμό απόδοσης τους καθώς επίσης και στον τρόπο κατασκευής τους . Επίσης στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών που έχουν χρησιμοποιηθεί , γίνεται μία ανάλυση της ηλιακής ακτινοβολίας και δίνονται κάποιες γενικές πληροφορίες γύρω από την συγκρότηση και το κόστος ενός φωτοβολταϊκού συστήματος . Τέλος γίνεται ο υπολογισμός της απαιτούμενης ισχύς των Φ/Β και η εκλογή αυτών .

Στο δεύτερο κεφάλαιο εξετάζονται οι συσσωρευτές ξεκινώντας από την εξήγηση των λόγων για την ανάγκη αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας . Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι συσσωρευτές μολύβδου και ο τρόπος αποθήκευσης , σε αυτούς , της ηλεκτρικής ενέργειας . Ακολούθως γίνεται αναφορά στην χωρητικότητα αυτών και στην διάρκεια αυτών και στο κόστος τους . Τέλος παρουσιάζονται οι προδιαγραφές που πρέπει να τηρούν τόσο αυτοί όσο και ο χώρος εγκατάστασης τους , όπως αυτά προκύπτουν από το DIN 41772 , καθώς και ο τρόπος υπολογισμού αυτών .

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μία γενική παρουσίαση των κινητήρων με διέγερση σειράς, , ξεκινώντας από την λειτουργία αυτών με φορτίο ,

την ταχύτητα περιστροφής τους καθώς και τις μεθόδους ρυθμίσεως των στροφών τους . Τέλος παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα του κινητήρα με διέγερση σειράς σε σύγκριση με τους άλλους κινητήρες .

Στό τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι ηλεκτρικές και οι ηλεκτρονικές διατάξεις που έχουν χρησιμοποιηθεί συμπεριλαμβανομένου του ελεγκτή ταχύτητας , της προστατευτικής διάταξης για τους συσσωρευτές και των ενδεικτικών λυχνιών L.E.D. της κατάστασης φόρτισης των συσσωρευτών . Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού βρίσκεται το ηλεκτρικό κύκλωμα του αμαξιδίου υπο μορφή διαγράμματος .

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η τεχνική περιγραφή των διαφόρων μετατροπών που έχει υποστεί το αναπηρικό καρότσι . Η περιγραφή αυτή περιλαμβάνει το σύστημα μετάδοσης της κίνησης , τις βάσεις των μπαταριών , την στήριξη των Φ/Β και τις διαστάσεις του αμαξιδίου . Στο κεφάλαιο αυτό μαζί με κάθε περιγραφή υπάρχει και το αντίστοιχο κατασκευαστικό σχέδιο . Τέλος δίνεται ένας θεωρητικός τρόπος υπολογισμού του βαθμού απόδοσης του συστήματος .

Στό έκτο κεφάλαιο βρίσκονται τα αποτελέσματα των δοκιμών που έγιναν στο αναπηρικό καρότσι . Στό κεφάλαιο αυτό συμπεριλαμβάνονται οι μετρήσεις ταχύτητας σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο , η κινητική συμπεριφορά του , οι χρόνοι εκκίνησης και η ικανότητα ανάβασης του , η αυτονομία του και η μέγιστη επιτρεπόμενη εκφόρτιση των συσσωρευτών του . Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού γίνεται η παρουσίαση των μετρήσεων αυτών υπο μορφή γραφημάτων .

Στό έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από τις δοκιμές και οι συγκρίσεις θεωρητικών και πειραματικών δεδομένων .

Στό παράρτημα δίνονται μερικές φωτογραφίες του αναπηρικού αμαξιδίου στις διάφορες μορφές που αυτό μπορεί να λάβει . Επίσης στο παράρτημα δίνονται και μερικοί πίνακες μέσης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και κάποιες οδηγίες χρήσεως και συντήρησης του αμαξιδίου .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1 Τα φωτοβολταϊκά γενικά

Η προσπάθεια του ανθρώπου για εκμετάλλευση της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας οδήγησε στην ανάπτυξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας , μίας νέας τεχνολογίας που μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία απευθείας σε ηλεκτρισμό . Η τεχνολογία αυτή αρχικά χρησιμοποιήθηκε για την αντιμετώπιση των ενεργειακών αναγκών σε διαστημικές εφαρμογές ενώ από τις αρχές της δεκαετίας του 70 έρχεται να καλύψει τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια με επίγειες διατάξεις ιδιαίτερα σε απομονωμένες περιοχές . Η βασική τεχνολογία των φωτοβολταϊκών έχει αποδειχτεί ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε πολλές εφαρμογές όπου απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια .

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι κυριότεροι σταθμοί στην εξέλιξη της φωτοβολταϊκής μετατροπής

1839	Παρατήρηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου σε μεταλλικά ηλεκτρόδια (Pt , Ag) βυθισμένα σε ηλεκτρολύτες από τον Becquerel .
1937	Οι Fischer και Godden κατασκευάζουν ηλιακό φωτοβολταϊκό στοιχείο.
1939	Ο Ohl κατασκευάζει ηλιακό στοιχείο με απόδοση 1% από Se.
1941	Κατασκευάζεται το πρώτο ηλιακό στοιχείο από Si από τον Ohl
1952	Ο Pfann ανακαλύπτει τη μέθοδο της τηγμένης ζώνης για την κατασκευή στερεών πολύ μεγάλης καθαρότητας
1953	Ο Fuller ανακαλύπτει τη μέθοδο σχηματισμού ενώσεων p - n με διάχυση προσμίξεων .
1954	Οι Fuller , Pearson και Chapin με σχηματισμό ένωσης p - n με διάχυση προσμίξεων κατασκευάζουν ηλιακό στοιχείο από πυρίτιο με απόδοση 6%.
1956	Η εταιρία Hoffman ξεκινά εμπορική παραγωγή ηλιακών στοιχείων .
1958	Εκτοξεύεται ο Αμερικανικός τεχνητός δορυφόρος Vanguard 1 εξοπλισμένος με έξη μικρά στοιχεία πυριτίου ισχύος 5 mW ως βοηθητική ενεργειακή πηγή .
1958	Εκτοξεύεται Σοβιετικός τεχνητός δορυφόρος που τροφοδοτείται μόνο από ηλιακή στοιχεία .
1959	Ο Hammond κατασκευάζει ηλιακό στοιχείο από CdS με απόδοση 5% .

1972	Οι Lindmayer και Alison κατασκευάζουν 'ιώδες' ηλιακό στοιχείο Si με απόδοση 14 % .
1976	Κατασκευάζεται ηλιακό στοιχείο από άμορφο Si από τους Carson και Wronski με απόδοση 0.01 % .
1977	Κατασκευάζεται από τον Kameth ηλιακό στοιχείο από GaAs με απόδοση 16 %.
1981	Πετάει πάνω από τη Μάγχη το αεροπλάνο Solar Challenger με 16128 στοιχεία Si ισχύος 2.7 KW.
1983	Έναρξη εμπορικής λειτουργίας του φωτοβολταϊκού σταθμού της Βίκτροβιλ ισχύος 1 MW.
1984	Αρχίζει η βιομηχανική παραγωγή ηλιακών στοιχείων στην Ιαπωνία από άμορφο πυρίτιο με απόδοση 5%.

Μετά την ανακάλυψη του φωτοβολταϊκού φαινομένου , σχήμα 1.1, και τη διαπίστωση ότι η ηλιακή ενέργεια μπορεί να μετατραπεί άμεσα και εύκολα σε ηλεκτρική ενέργεια με πρακτικές εφαρμογές αυτής της μετατροπής αυξήθηκε το ενδιαφέρον για την κατασκευή φωτοβολταϊκών γεννητριών . Η μετατροπή αυτή γίνεται με τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια και προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα διάφορα μειονεκτήματα αυτής έχει γίνει μία διαβάθμιση ως προς το βαθμό πολυπλοκότητας τόσο στην κατασκευή τόσο και στην λειτουργία . Έτσι οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες κατατάσσονται σε τρεις κύριες κατηγορίες .

1. Τις απλές διατάξεις όπου τα ηλιακά στοιχεία τοποθετούνται σε σταθερά επίπεδα πλαίσια και δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία με τη φυσική της πυκνότητα και διακύμανση κατά τη διάρκεια της ημέρας .

2. Τις διατάξεις όπου τα πλαίσια είναι κινητά και περιστρέφονται αυτόματα παρακολουθώντας συνεχώς την πορεία του ηλίου στον ουρανό έτσι ώστε να έχουμε κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας όλη την ημέρα επί των ηλιακών στοιχείων. Αυτό επιφέρει αύξηση της

παραγωγής την ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει ένα στοιχείο μέχρι 50 % περίπου αφού δέχεται πυκνότερη ακτινοβολία ανά μονάδα επιφάνειας του .

3. Τις διατάξεις που χρησιμοποιούνται φακοί ή κάτοπτρα συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας την οποία στέλνουν με αυξημένη πυκνότητα ενέργειας πάνω στα ηλιακά στοιχεία . Για να αποφευχθεί η θέρμανση σε αυτές τις διατάξεις απαιτείται συνήθως να ψύχονται τα στοιχεία με κυκλοφορία ψυχρού αέρα ή ψυκτικών υγρών . Η θερμότητα που παραλαμβάνεται από το στοιχείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες καταναλώσεις αυξάνοντας τελικά τον ολικό βαθμό απόδοσης του συστήματος . Ένα τέτοιο σύστημα ονομάζεται φωτοβολταϊκό - Θερμικό σύστημα ή ολικό ενεργειακό σύστημα.

Παρόλη όμως την αύξηση του βαθμού πολυπλοκότητας των φωτοβολταϊκών γεννητριών τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της φωτοβολταϊκής μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια παραμένουν κοινά και παρατίθενται στον επόμενο πίνακα.

Πλεονεκτήματα

1. Ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή .
2. Ικανοποιητική απόδοση μετατροπής .
3. Σχετικά εύκολη μέθοδος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων από πρώτες ύλες που αφθονούν .
4. Πρακτικά απεριόριστη διάρκεια ζωής των ηλιακών στοιχείων τουλάχιστον 20 ή 30 χρόνια .
5. Μειωμένη απαίτηση συντήρησης .
6. Μη ρυπογόνος και χωρίς άχρηστα παραπροϊόντα παραγωγή ενέργειας.
7. Δίνει τη δυνατότητα ανεξαρτησίας από κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής .

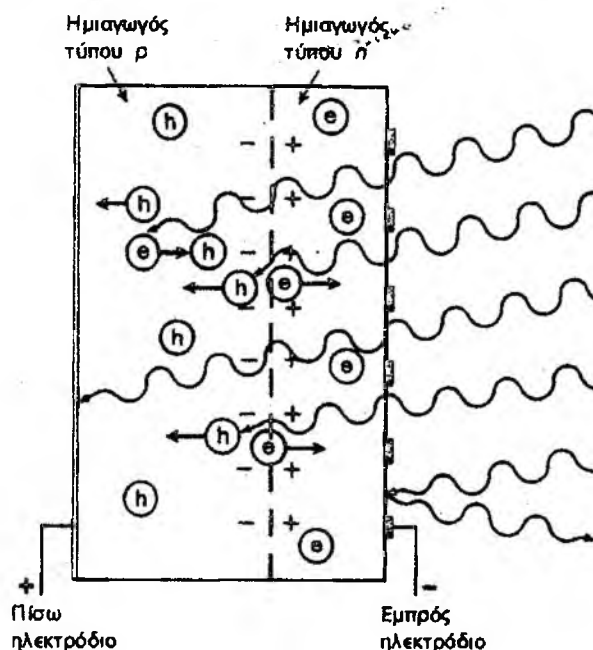
8. Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί μπορούν να λειτουργήσουν με όσο μικρή ισχύ ζητηθεί .

Μειονεκτήματα

1. Υψηλό κόστος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων
2. Ανάγκη αποθήκευσης παραγόμενης ενέργειας η οποία είναι δαπανηρή .
3. Απαιτείται η χρησιμοποίηση σχετικά μεγάλων επιφανειών λόγω της μικρής πυκνότητας της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.

1.2 Βασικές αρχές λειτουργίας

Η φωτοβολταϊκή διαδικασία έχει σαν αίτιο την ηλιακή ακτινοβολία και σαν αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας . Η σύσταση της ηλιακής ακτινοβολίας αποτελείται από φωτόνια διαφόρων ενεργειακών καταστάσεων . Η ενέργεια ενός φωτονίου είναι ίση με το γινόμενο της μάζας επί την ταχύτητα του . Άν και τα φωτόνια παρουσιάζονται με ιδιότητες σωματιδίου μία ακτίνα φωτός δηλαδή μία δέσμη από φωτόνια παρουσιάζει κυματική συμπεριφορά . Από τη σύγκρουση ενός φωτονίου με ένα άτομο ενδέχεται να συσχετιστεί το φωτόνιο με τα ηλεκτρόνια του ατόμου προκαλώντας τη διέγερση του κάνοντας δυνατό να απελευθερωθεί ένα ηλεκτρόνιο της εξωτερικής του στοιβάδας που πλέον είναι ελεύθερο να κινηθεί και να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα , (σχήμα 1.1 .1)



Σχήμα 1.1.1 [3]

Ο μηχανισμός της εκδήλωσης του φωτοβολταϊκού φαινομένου σε ένα ηλιακό στοιχείο. Τα φωτόνια της ακτινοβολίας, που δέχεται το στοιχείο στην εμπρός του όψη, τύπου n στο παράδειγμα του σχήματος, παράγουν ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές). Ένα μέρος από τους φορείς αυτούς διαχωρίζεται με την επίδραση του ενσωματωμένου πεδίου της διόδου και εκτρέπεται προς τα εμπρός (τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, e^-) ή προς τα πίσω (οι οπές, h^+), δημιουργώντας μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου. Οι υπόλοιποι φορείς επανασυνδέονται και εξαφανίζονται. Επίσης ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται στην επιφάνεια του στοιχείου, ενώ ένα άλλο μέρος της διέρχεται από το στοιχείο χωρίς να απορροφηθεί, μέχρι να συναντήσει το πίσω ηλεκτρόδιο.

Σε μία φωτοβολταϊκή εφαρμογή μας ενδιαφέρει να ξέρουμε πόσα φωτόνια φθάνουν σε ένα συγκεκριμένο σημείο στην επιφάνεια της γης καθώς και την ποσότητα της ενέργειας που μεταφέρουν. Αν και η ταχύτητα των φωτονίων είναι η ίδια διαφέρει το μέγεθος τους και ως εκτούτου η ενεργειακή τους κατάσταση. Στα όρια της ατμόσφαιρας η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας είναι 1367 W/m^2 για να φτάσει στην επιφάνεια της γης στα 930 W/m^2 λόγω της ύπαρξης της ατμόσφαιρας. Το υλικό που συνήθως χρησιμοποιείται για την κατασκευή φωτοβολταϊκών είναι το πυρίτιο (Si). Όσα φωτόνια έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από 1.08 eV θα απορροφηθούν και θα ενεργοποιήσουν ηλεκτρόνια. Δυστυχώς όμως ένα φωτόνιο ενεργοποιεί ένα και μόνο ηλεκτρόνιο αποδίδοντας την περίσσεια ενέργειας που μπορεί να έχει υπό μορφή θερμότητας μέσα στο υλικό. Τελικά όλες αυτές οι απώλειες επιτρέπουν μόνο το 25 % της ολικής ηλιακής ενέργειας να μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρισμό. Αυτό είναι ένα θεωρητικό όριο για ένα ιδανικό φωτοβολταϊκό. Το ότι η παρούσα τεχνολογία χρησιμοποιεί το πυρίτιο σαν υλικό κατασκευής των φωτοβολταϊκών συνοδεύει τη φωτοβολταϊκή μετατροπή με απώλειες

ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ενέργειας που οφείλονται στους παρακάτω λόγους . Πρώτον ένα μέρος της ακτινοβολίας αντανακλάτε πάνω στην επιφάνεια του υλικού . Αυτή η απώλεια μπορεί να μειωθεί αν καλύψουμε την επιφάνεια με μη αντανακλαστική επιφάνεια . Δεύτερον εσωτερικές απώλειες που οφείλονται στην μη καθαρότητα του υλικού και στην στρέβλωση των κρυσταλλικών πλεγμάτων . Τρίτον η διαθέσιμη επιφάνεια για συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας δεν καλύπτεται πλήρως από φωτοβολταϊκά στοιχεία. Αυτό αντιμετωπίζεται με την κατασκευή εξαγωνικού σχήματος ή παραλληλόγραμμου σχήματος αντί για κυκλικού , ελαττώνοντας το αχρησιμοποίητο μέρος της επιφάνειας .

*Παράγοντες που επηρεάζουν
τις απώλειες ενέργειας
ηλεκτρισμό*

*Ποσοστό ακτινοβολίας που
δεν μετατρέπεται σε*

Υπέρ ενεργητικά φωτόνια	. 32 %
Υπό ενεργητικά φωτόνια	24 %
Άλλες εσωτερικές απώλειες της κυψέλης	21 %
Αντανακλάσεις στην επιφάνεια	3 %
Σχήμα κυψελών	2 %
	=====
Σύνολο απωλειών	82 %

Τα σημερινά φωτοβολταϊκά στοιχεία φθάνουν σε βαθμό απόδοσης το 20% ενώ έχει ανακοινωθεί η κατασκευή στοιχείου με βαθμό απόδοσης 27.5 %

Η κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου γίνεται με την τοποθέτηση μίας λεπτής επίστρωσης πυριτίου ενισχυμένης με φώσφορο σε επαφή με ένα στρώμα από πυρίτιο ενισχυμένο με βόριο. Κατά την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στο στοιχείο τα φωτόνια απορροφούνται και ελευθερώνονται ηλεκτρόνια. Επίσης στο κομμάτι πυριτίου φωσφόρου δημιουργούνται πρόσθετα ηλεκτρόνια τα οποία έχουν αρνητικό φορτίο και έτσι το πυρίτιο ονομάζεται **N-πυρίτιο** (negative). Συνδέοντας ηλεκτρικά τα δύο στρώματα τότε έχουμε ροή ηλεκτρονίων από το πάνω στρώμα προς το κάτω όπου και θα απορροφηθούν από το πυρίτιο βόριο που ονομάζεται **P-πυρίτιο** μιας και το φορτίο του είναι θετικό (positive).

Έτσι λοιπόν είναι ευνόητο ότι η παραγόμενη ποσότητα ρεύματος από το φωτοβολταϊκό είναι ανάλογη της προσπίπτουσας σε αυτό ηλιακής ακτινοβολίας. Το ρεύμα αυξάνεται με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και με την επιφάνεια του στοιχείου σε αντίθεση με την τάση που είναι εξαρτώμενη από το υλικό του στοιχείου. Όλα τα στοιχεία πυριτίου παράγουν περίπου 0.5 Volt ανεξαρτήτου επιφάνειας.

Τα φωτοβολταϊκά σε σχέση με άλλους τρόπους παραγωγής ενέργειας είναι μοναδικά αφού δεν καταναλώνουν κατά τη διάρκεια της παραγωγής ρεύματος κανένα υλικό αλλά ούτε και απελευθερώνουν. Γι αυτό ακριβώς το λόγο μπορούν να είναι μονάδες απομονωμένες και ανεξάρτητες και θεωρητικά έχουν χρόνο ζωής όσο και αυτός των υλικών τους.

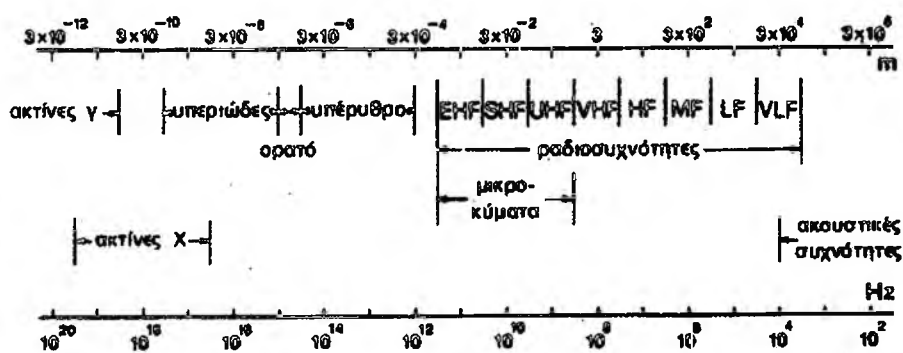
1.3 Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

Άλλες μορφές πυριτίου που είναι πιο φθηνές να παραχθούν από τους μεγάλους μεγέθους μονοκρυστάλλους είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν σε φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η στερεοποίηση υπό κανονικές συνθήκες πυριτίου που έχει υποστεί τήξη έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία μικροσκοπικών κρυστάλλων. Εάν ο χρόνος στερεοποίησης είναι μεγάλος τότε οι κρύσταλλοι που δημιουργούνται θα έχουν μεγαλύτερο μέγεθος. Το τελικό προϊόν ονομάζεται πολυκρυσταλλικό πυρίτιο που είναι κοκοειδές στην μορφή του. Το μέγεθος των κρυστάλλων είναι φυσικό επακόλουθο των συνθηκών στερεοποίησης του τηγμένου πυριτίου. Το προϊόν παράγεται σαν στερεό κομμάτι ή σε σχήμα κορδέλας η οποία απάγεται από την τηγμένη πρώτη ύλη. Επίσης το προϊόν μπορεί να παραχθεί με το βρασμό του πυριτίου και τη συγκέντρωση των ατμών πάνω σε μία επίπεδη επιφάνεια. Η τελευταία μέθοδος είναι και η οικονομικότερη. Τα στοιχεία που δημιουργούνται από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο έχουν μικρότερη απόδοση στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό λόγω των μικροβραχυκυκλωμάτων που παρατηρούνται στα όρια των κρυστάλλων. Συνεπώς όσο μεγαλύτεροι είναι οι κρύσταλλοι τόσο μικρότερες είναι οι συνοριακές τους γραμμές και συνεπώς τόσο λιγότερες απώλειες έχουμε λόγω μικροβραχυκυκλωμάτων, συμπεριφέρεται δηλαδή το υλικό σαν μονοκρυσταλλικό.

1.4 Φωτοβολταϊκά στοιχεία της παρούσας εφαρμογής

Για την υποστήριξη του ηλεκτροκίνητου αναπηρικού αμαξιδίου έχουν χρησιμοποιηθεί τα φωτοβολταϊκά **LA361 K51S** της Ιαπωνικής εταιρίας **KYOCERA**. Πρόκειται για πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια που η απόδοση των στοιχείων που τα απαρτίζουν ξεπερνά το 14 %. Τα στοιχεία είναι κατασκευασμένα από ορθογωνικής διατομής πολυκρυσταλλικό πυρίτιο και έχουν διαμορφωθεί σε μορφή φύλλου, ενθυλακωμένα μεταξύ ενισχυμένου γυαλιού διαύγειας ύδατος και στρώσης EVA με PVF. Στην οπίσθια όψη έχει προστεθεί λεπτό έλασμα αλουμινίου το οποίο εξασφαλίζει προστασία ακόμα και στις δυσμενέστερες καιρικές συνθήκες σε συνδυασμό με το μικρό σχετικά βάρος. Τα φύλλα επίσης περιβάλλονται με πλαίσιο ανοδιωμένου αλουμινίου, παρέχοντας έτσι δομική αντοχή και ευχρηστία.

Τα στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου που απαρτίζουν το φωτοβολταϊκά πλαίσια διεγείρονται σε όλο το εύρος του ηλιακού φάσματος μεταξύ υπεριώδους και υπέρυθρου ακτινοβολίας, (σχήμα 1.4.1), έχοντας τη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της προδιαγεγραμμένης τάσης ακόμα και σε εξαιρετικά νεφосκεπείς ημέρες.



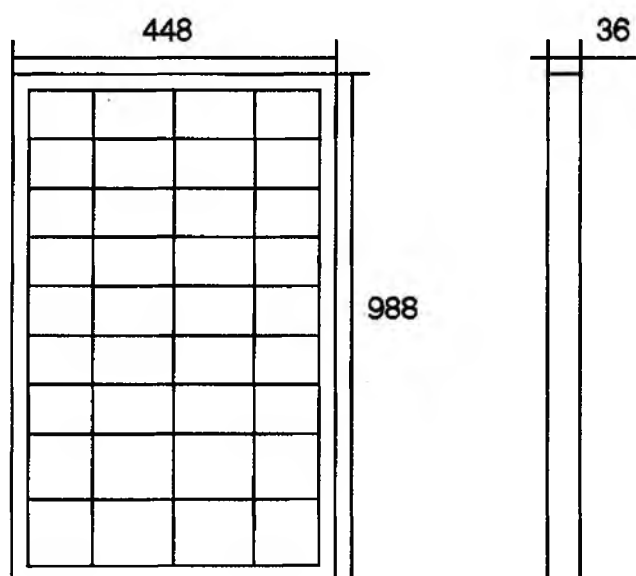
Σχήμα 1.4.1 [3] Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και τα περίπου όρια μήκους κύματος (πάνω κλίμακα) ή συχνότητας (κάτω κλίμακα) των διαφόρων περιοχών του.

Το πλαίσιο συντίθεται από δύο συστοιχίες των δεκαοκτώ (18) στοιχείων η καθεμία, συνδεδεμένες παράλληλα. Οι συνδέσεις της εμπρόσθιας πλευράς του πλαισίου έχουν τη μορφή αγωγίμου πλέγματος προστατευμένου από μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις,

περιορίζοντας στο ελάχιστο τις ενεργειακές απώλειες εξαιτίας αποσυνδέσεων επαφών ή ασυνεχειών στους αγωγούς . Η όλη κατασκευή του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι ειδικά σχεδιασμένη για υψηλή αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις και εγκατάσταση σε περιβάλλον δυσμενών κλιματολογικών συνθηκών , αποτελούμενο από στρώματα διαφορετικών στρώσεων υλικών , καθένα από τα οποία λειτουργεί προστατευτικά . Τα στοιχεία που συγκροτούν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο ενθυλακώνονται σε λεπτό διαφανές στρώμα EVA . Η εμπρόσθια επιφάνεια καλύπτεται από ενισχυμένο λευκό γυαλί διαύγειας νερού και η οπίσθια με ειδικό PVF. Το μεταλλικό πλαίσιο είναι κατασκευασμένο από ανοδιωμένο κράμα αλουμινίου και περιβάλλει το φωτοβολταϊκό φύλλο . Μεταξύ των δύο παρεμβάλλεται ελαστικό παρέμβισμα βουτιλίου , προσδίδοντας ελευθερία μικροκινήσεων και προστασία από θερμικές συστολοδιαστολές .

Η όλη κατασκευή είναι στιβαρή και ιδιαιτέρως ανθεκτική στην υγρασία , ατμόσφαιρα υψηλής περιεκτικότητας σε άλμη , δυνατές κρούσης χαλαζόπτωσης , θερμικές καταπονήσεις , βροχή , χιόνια και παγετό , θαλασσινό αμμόδη άνεμο , ραμφίσματα και πατήματα πουλιών και δεν παρουσιάζει σκιάσεις , διατηρώντας έτσι την απόδοση της για πολλά χρόνια .

Ένα σκαρίφημα των πλαισίων αυτών φαίνεται παρακάτω.

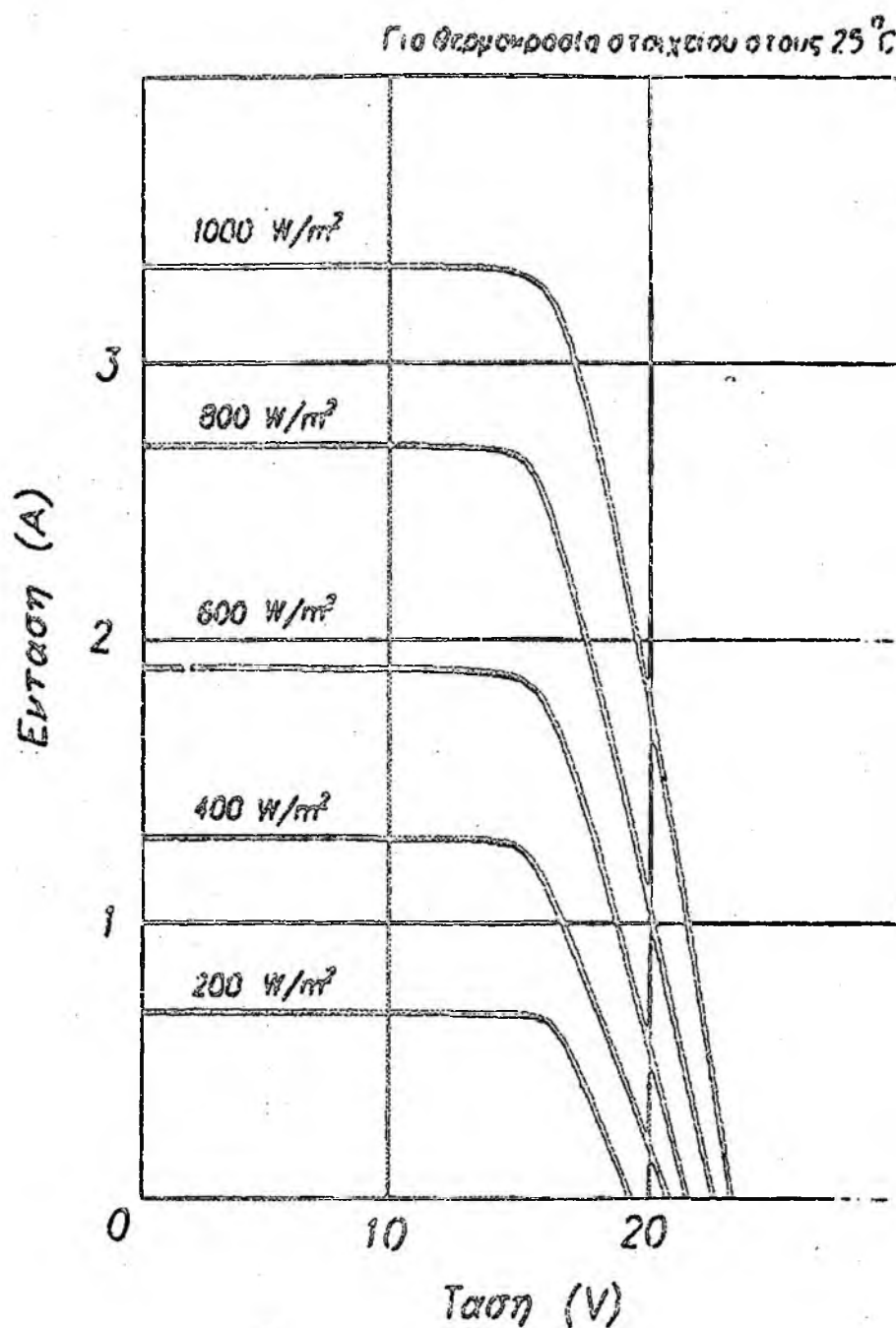


ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

Τα ηλεκτρικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών όπως αυτά προσδιορίζονται για συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας **1000 W/m²** , οπτική μάζα (AM) **1.5** και θερμοκρασία στοιχείου **25 C** , δίνονται από τον κατασκευαστή και φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί

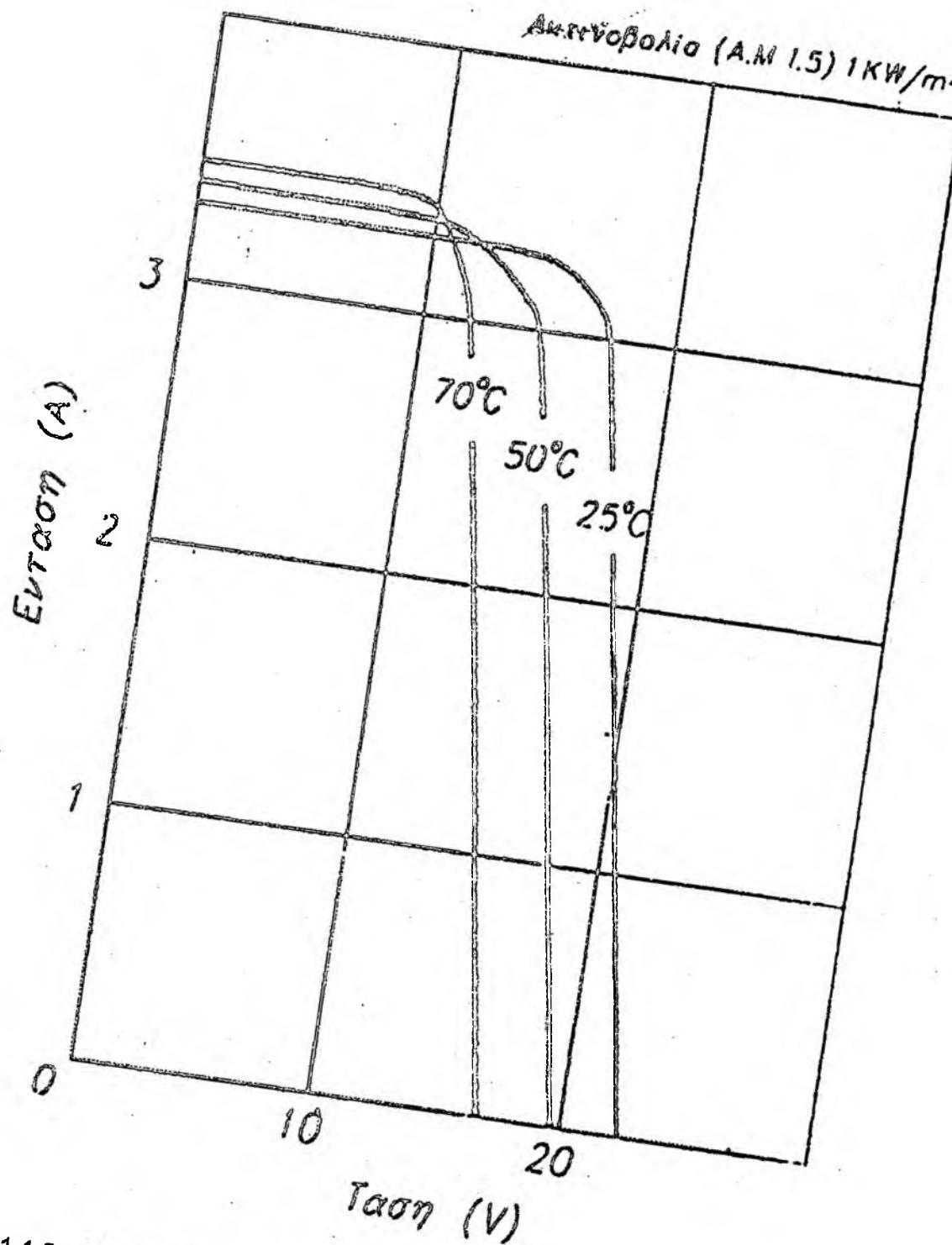
ΤΥΠΟΣ	LA361 K51 S
Μέγιστη ισχύς	51.0 Watt
Τάση μέγιστης ισχύος	16.9 Volt
Ένταση μέγιστης ισχύος	3.02 A
Τάση ανοικτού κυκλώματος	21.2 Volt
Ένταση βραχυκυκλώματος	3.25 A
Μήκος	988 mm
Πλάτος	448 mm
Πάχος	36 mm
Βάρος	5.9 Kg

Ακολουθούν οι χαρακτηριστικές καμπύλες των φωτοβολταϊκών όπως αυτές δίνονται από τον κατασκευαστή (σχήμα 1.4.2 και 1.4.3)



Σχήμα 1.4.2 [7] Χαρακτηριστική τάσης έντασης φωτοβολταϊκών ως προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία .

Ακτινοβολία (Α.Μ 1.5) 1 kW/m^2



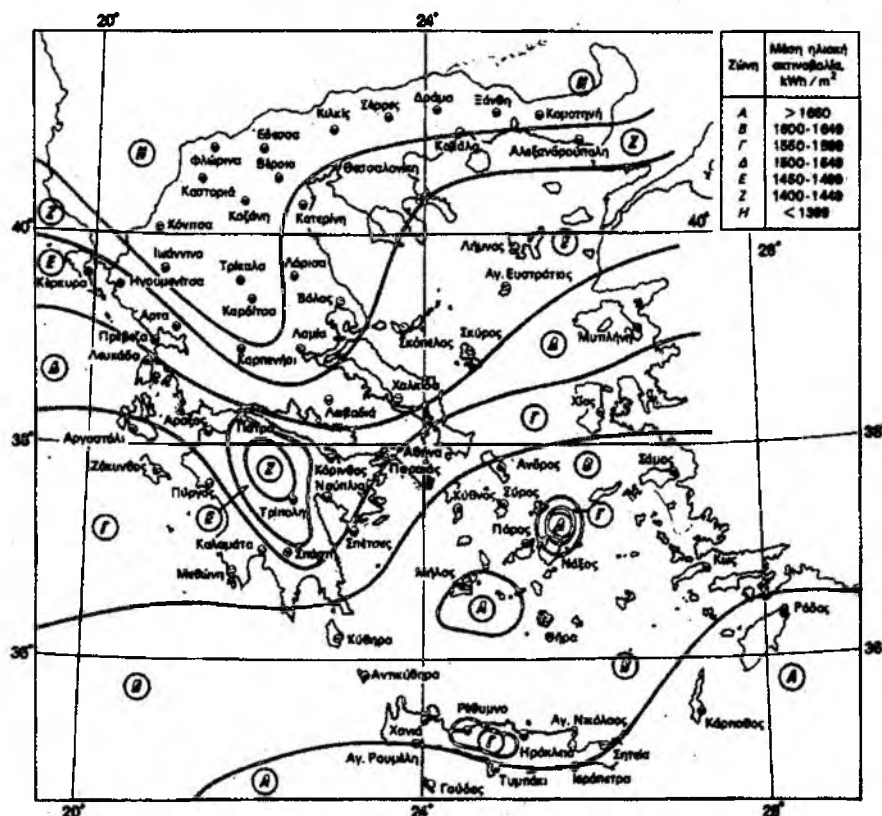
Σχήμα 1.4.3 [7] Χαρακτηριστική τάσης έντασης των φωτοβολταϊκών
ως προς την θερμοκρασία στοιχείου.

1.5 Ροή και ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας

Κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα τροφοδοτείται με ηλιακή ενέργεια και παράγει ηλεκτρική ενέργεια . Ένα βασικό όμως μειονέκτημα του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ότι , σε αντίθεση με πολλά άλλα συστήματα μετατροπής , η τροφοδοσία του δεν είναι καθόλου σταθερή αλλά αυξομειώνεται μεταξύ μίας μέγιστης και της μηδενικής τιμής , ακολουθώντας συχνά απρόβλεπτες και απότομες διακυμάνσεις . Είναι λοιπόν χρήσιμο να εξετάσουμε με περισσότερες λεπτομέρειες πως μεταβάλλεται χρονικά η ενέργεια που δέχεται ένας ηλιακός συλλέκτης .

Αρχικά , πρέπει να γίνει μία διευκρίνιση ως προς την ορολογία . Το ποσό της ενέργειας που περιέχεται στο φως του ηλίου , ονομάζεται συνήθως ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας , χωρίς να συγκεκριμενοποιείται η έννοια της λέξης .

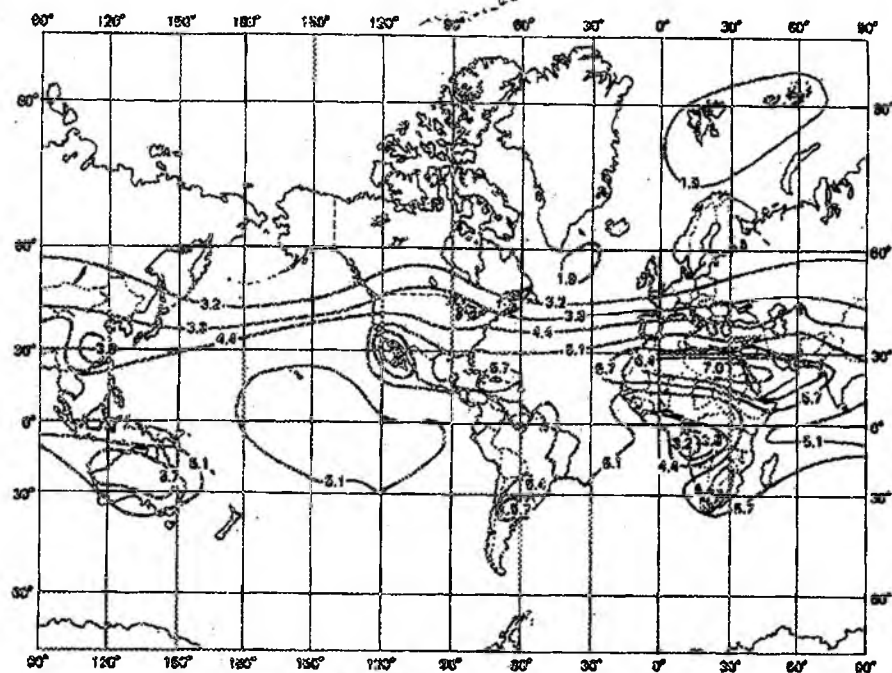
Η << ένταση >> είναι ένας πολύ γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το μέγεθος ή την αποτελεσματικότητα διαφόρων φαινομένων . Π.χ. μιλάμε για ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος , του ηλεκτροστατικού πεδίου , τού ήχου , του ανέμου , της βροχής κ.λ.π. Σε αυστηρότερη ορολογία , το μέγεθος που χαρακτηρίζει την ποσότητα της ενέργειας , την οποία μεταφέρει σε έναν τόπο μία ακτινοβολία που μεταδίδεται σε μία κατεύθυνση στο χώρο , ονομάζεται ροή ακτινοβολίας . Ορίζεται , συγκεκριμένα , ως το ποσό της ενέργειας της ακτινοβολίας που περνά στη μονάδα του χρόνου από την μονάδα του εμβαδού μίας επιφάνειας , τοποθετημένης κάθετα στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας . Η ροή της ηλιακής ακτινοβολίας εκφράζεται συνήθως σε KW/m^2 , (σχήμα 1.5.1).



Σχήμα 1.5.1 [3] Κατανομή της μέσης συνολικής ετήσιας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, σε οριζόντιο επίπεδο, στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Όπως δείχνεται στον ένθετο πίνακα η ζώνη Α δέχεται πάνω από 1850 kWh/m², η ζώνη Β από 1800 μέχρι 1849 kWh/m² κλπ.

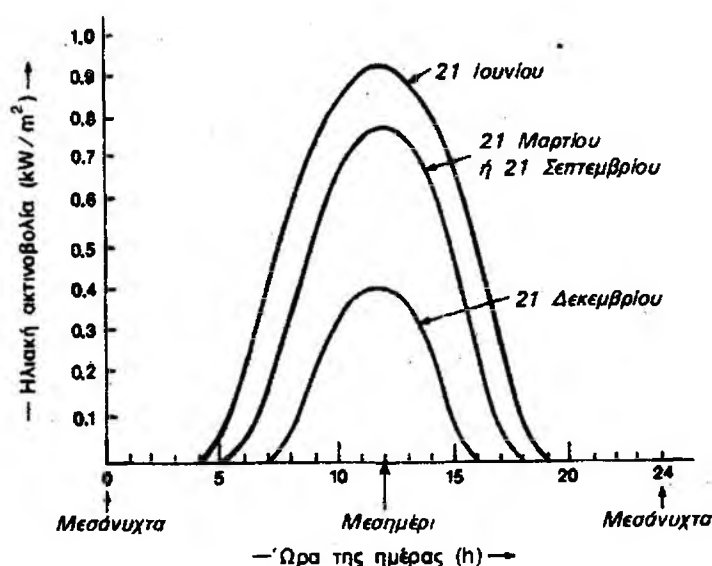
Ακριβολογώντας παραπέρα, βλέπουμε ότι ο όρος "ροή ακτινοβολίας" έχει έννοια όταν πρόκειται μόνο για ακτινοβολία που αποτελείται από δέσμη παραλλήλων ακτίνων. Όταν όμως η ακτινοβολία είναι διάχυτη και διαδίδεται προς διάφορες κατευθύνσεις, όπως συμβαίνει συχνά με ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, τότε ως μέτρο του ποσού της ενέργειας που περνά στην μονάδα του χρόνου από τη μονάδα μίας επιφάνειας, χρησιμοποιείται περισσότερο ο γενικότερος όρος ένταση ακτινοβολίας. Συνώνυμη, για οποιαδήποτε χρήση, είναι η πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας.

Με τον ίδιο όρο, "ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας", χαρακτηρίζεται και η πυκνότητα της ηλιακής ενέργειας που δέχεται μία επιφάνεια σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Π.χ. στον σχεδιασμό των Φ/Β συστημάτων χρησιμοποιείται συχνά ως μετεωρολογικό δεδομένο η μέση ηλιακή ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειας και ανά ημέρα, και εκφράζεται συνήθως σε kWh/m² ημέρα, (σχήμα 1.5.2).



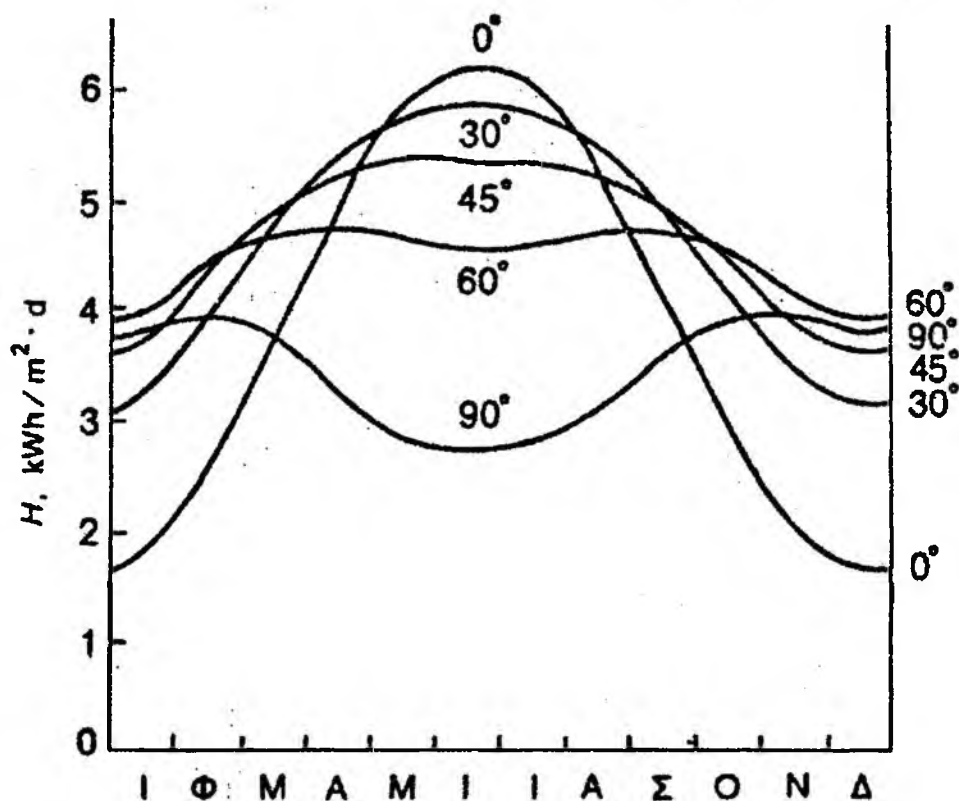
1.6 Η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας

Όπως έχει προαναφερθεί, η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Στο (σχήμα 1.6.1) δείχνονται παραδείγματα της ομαλής μεταβολής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας για 3 ενδεικτικές ημερομηνίες, (καλοκαίρι, άνοιξη και φθινόπωρο, χειμώνα), σε συνθήκες ιδανικά καθαρού ουρανού. Χαρακτηριστικό μέγεθος είναι η τιμή της μέγιστης έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, ένταση αιχμής, που μετράτε στο ηλιακό μεσημέρι, δηλαδή όταν ο ήλιος βρίσκεται στο μεγαλύτερο ύψος του ορίζοντα, το οποίο δεν είναι αναγκαστικό να συμπίπτει με το ωρολογιακό μεσημέρι. Π.χ. στην Αθήνα έχουμε ηλιακό μεσημέρι όταν το ρολόι δείχνει 12.25' τον χειμώνα και 13.35' το καλοκαίρι, όταν ισχύει η θερινή ώρα.



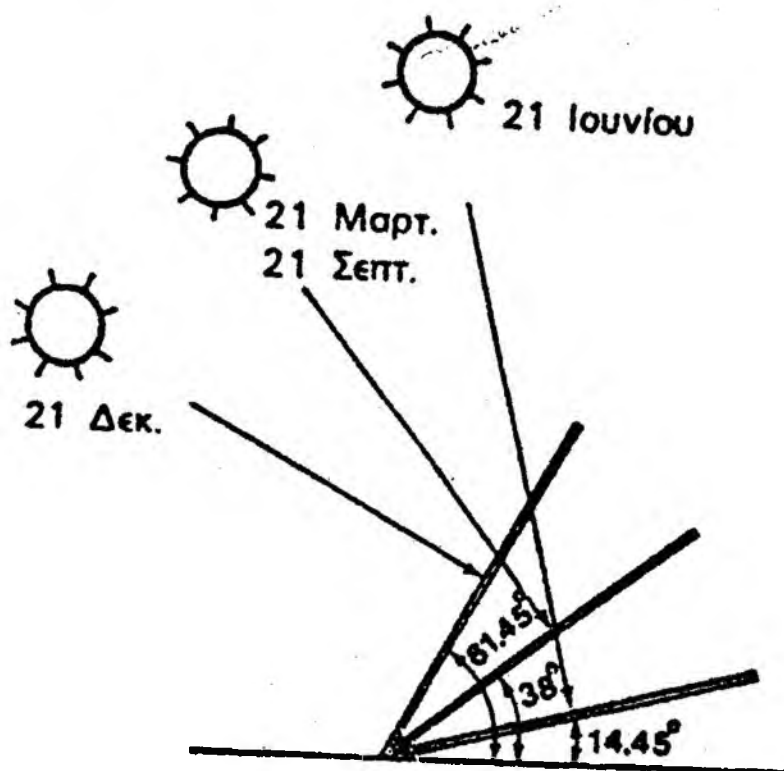
Σχήμα 1.6.1 [3] Παράδειγμα της διακύμανσης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια στη διάρκεια των φωτεινών ωρών τριών χαρακτηριστικών ημερομηνιών, με εντελώς καθαρό ουρανό. Οι ώρες είναι σε ηλιακές τιμές.

Έχουμε ήδη τονίσει ότι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μία επίπεδη επιφάνεια γίνεται σημαντικά μεγαλύτερη όταν βρίσκεται σε κατάλληλη κλίση, ώστε η πρόσπτωση των ακτινών να γίνεται περισσότερο κάθετα, (σχήμα 1.6.2). Στην περίπτωση αυτή, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η μέγιστη ισχύς της ακτινοβολίας το ηλιακό μεσημέρι στις ευνοϊκότερες ημέρες του έτους, δεν διαφέρει πάρα πολύ από τόπο σε τόπο και η τιμή 1 kW/m^2 αποτελεί μία πολύ χονδρική, αλλά πάντως γενικά αποδεκτή προσέγγιση.



Σχήμα 1.6.2 [3] Παράδειγμα της εξάρτησης της μέσης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας H , που δέχεται μια επίπεδη επιφάνεια κατά τη διάρκεια των διαφόρων μηνών του έτους, σε συνάρτηση με την κλίση της. Το παράδειγμα είναι για τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος 45° και αφορά σε κλίσεις του ηλιακού συλλέκτη (β_a) ίσες, με 0° (οριζόντιο επίπεδο), 30° , 45° , 60° , και 90° (κατακόρυφο επίπεδο).

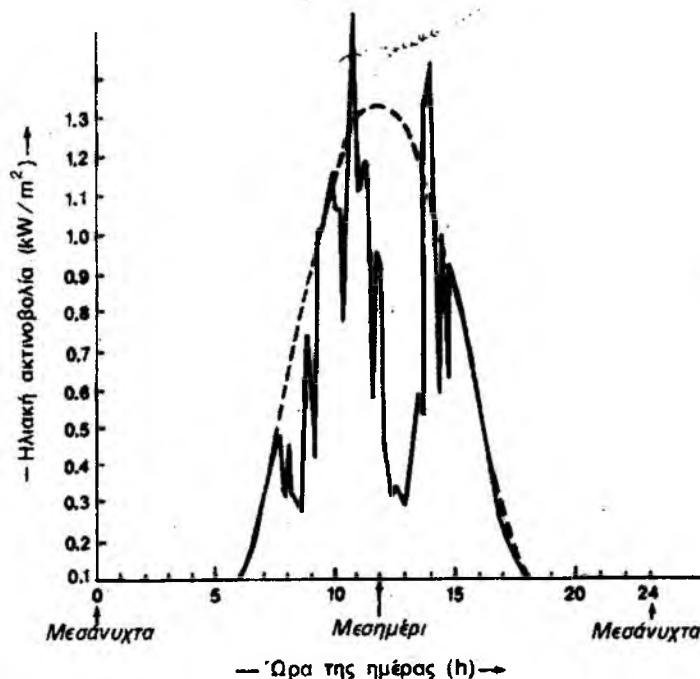
Γιά την περιοχή των Αθηνών οι βέλτιστες κλίσεις κατά την διάρκεια του χρόνου φαίνονται στο (σχήμα 1.6.2.α)



Σχήμα 1.6.2 α [3]

Όταν ο ουρανός έχει σύννεφα , η μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης γίνεται ανώμαλη , όπως δείχνεται στο (σχήμα 1.6.3) . Οι παρατηρούμενες απότομες πτώσεις της έντασης οφείλονται στην παρεμβολή ενός νέφους που μετακινεί ο άνεμος. Επίσης , το γρήγορο πέρασμα ενός σμήνους πουλιών ή ενός αεροπλάνου μέσα από τη δέσμη του ηλιακού φωτός που δέχεται ο συλλέκτης , καταγράφεται σαν μία πολύ οξεία στιγμιαία πτώση της έντασης της ακτινοβολίας . Παρατηρούμε , ακόμη , εξάρσεις που ξεπερνούν τις κανονικές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας σε συνθήκες καθαρού ουρανού.

Προφανώς στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα θα συμβαίνει αθροιστική επίδραση της άμεσης ακτινοβολίας από τον ήλιο μέσα από ένα άνοιγμα των νεφών , και της ανακλώμενης από τα σύννεφα.



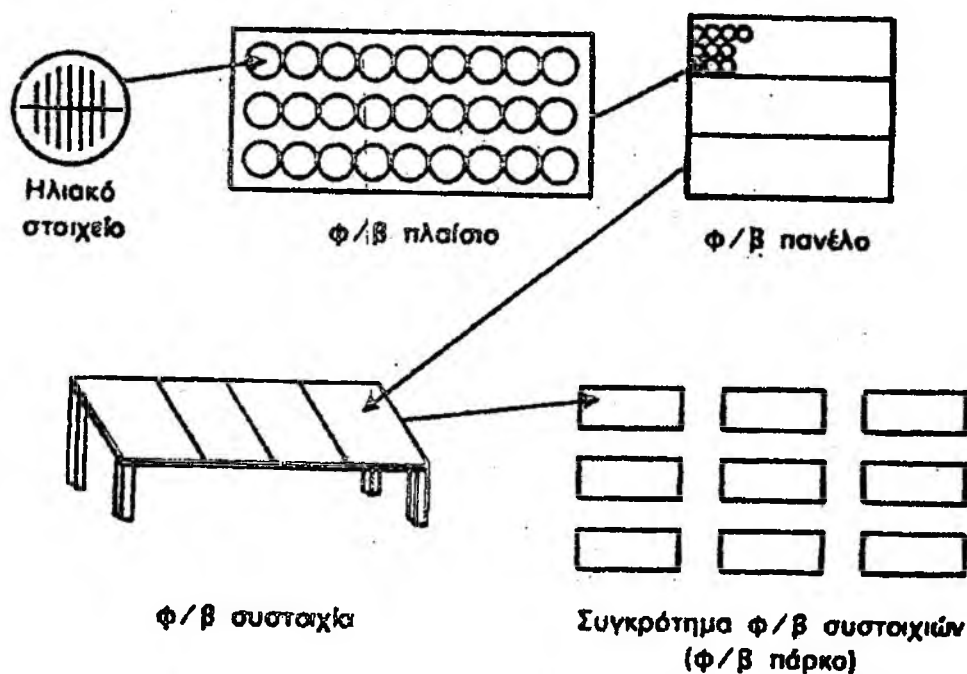
Σχήμα 1.6.3 [3] Παράδειγμα της διακύμανσης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια των φωτεινών ωρών μιας ημέρας με μερική νέφωση. Η ασυνεχής καμπύλη δείχνει την αντίστοιχη διακύμανση με εντελώς καθαρό ουρανό.

Στη διάρκεια του έτους, στο βόρειο ημισφαίριο, ο αριθμός των φωτεινών ωρών της ημέρας, η μέγιστη ισχύς καθώς και η συνολική ημερήσια ενέργεια που δέχεται μία οριζόντια επιφάνεια, φτάνουν στις μέγιστες τιμές τους στις 21 Ιουνίου (Θερινό ηλιοστάσιο) και πέφτουν στις αντίστοιχες ελάχιστες τιμές τους στις 21 Δεκεμβρίου (Χειμερινό ηλιοστάσιο). Στις επιφάνειες, όμως π.χ. που βρίσκονται σε κλίση ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου, η μέγιστη τιμή της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι στα ηλιακά μεσημέρια των ισημεριών (21 Μαρτίου και 21 Σεπτεμβρίου), διότι τότε δέχονται κάθετα τις ακτίνες του ηλίου.

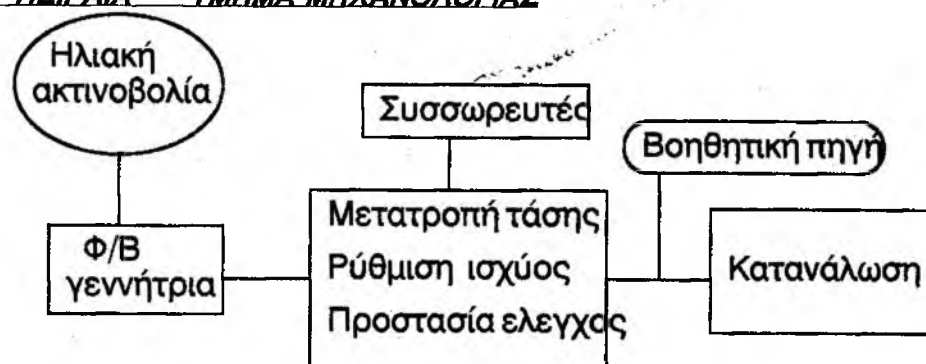
1.7 Η συγκρότηση ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος

Η συνηθέστερη, αλλά και ίσως η πληρέστερη, εφαρμογή της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας είναι η κατασκευή αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων. Δηλαδή εγκαταστάσεων που λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση καθορισμένων καταναλώσεων, χωρίς να συνδέονται με μεγάλα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, από τα οποία θα μπορούσαν να αντλούν συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια ή να στέλνουν την ενδεχόμενη περίσσεια της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το βασικό συστατικό ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος , όπως άλλωστε κάθε Φ/Β εγκατάστασης , είναι η Φ/Β γεννήτρια , (σχήμα 1.7.1), στους ηλιακούς συλλέκτες της οποίας γίνεται η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια . Συνήθως , όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα , (σχήμα 1.7.2) , το σύστημα περιλαμβάνει επίσης , ανάλογα με το είδος της κατανάλωσης και τον βαθμό της απαιτούμενης αξιοπιστίας , συσσωρευτές για την αποθήκευση της περίσσειας της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας , ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ανεπαρκής ή ανύπαρκτη , διατάξεις για τη ρύθμιση και τη μετατροπή της τάσης και τη ρύθμιση της ισχύος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας , ώστε να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος , άλλες διατάξεις προστασίας και ελέγχου και , συχνά μία βοηθητική ενεργειακή πηγή , για την αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών .



Σχήμα 1.7.1 [3] Δομικά στοιχεία φωτοβολταϊκής γεννήτριας .



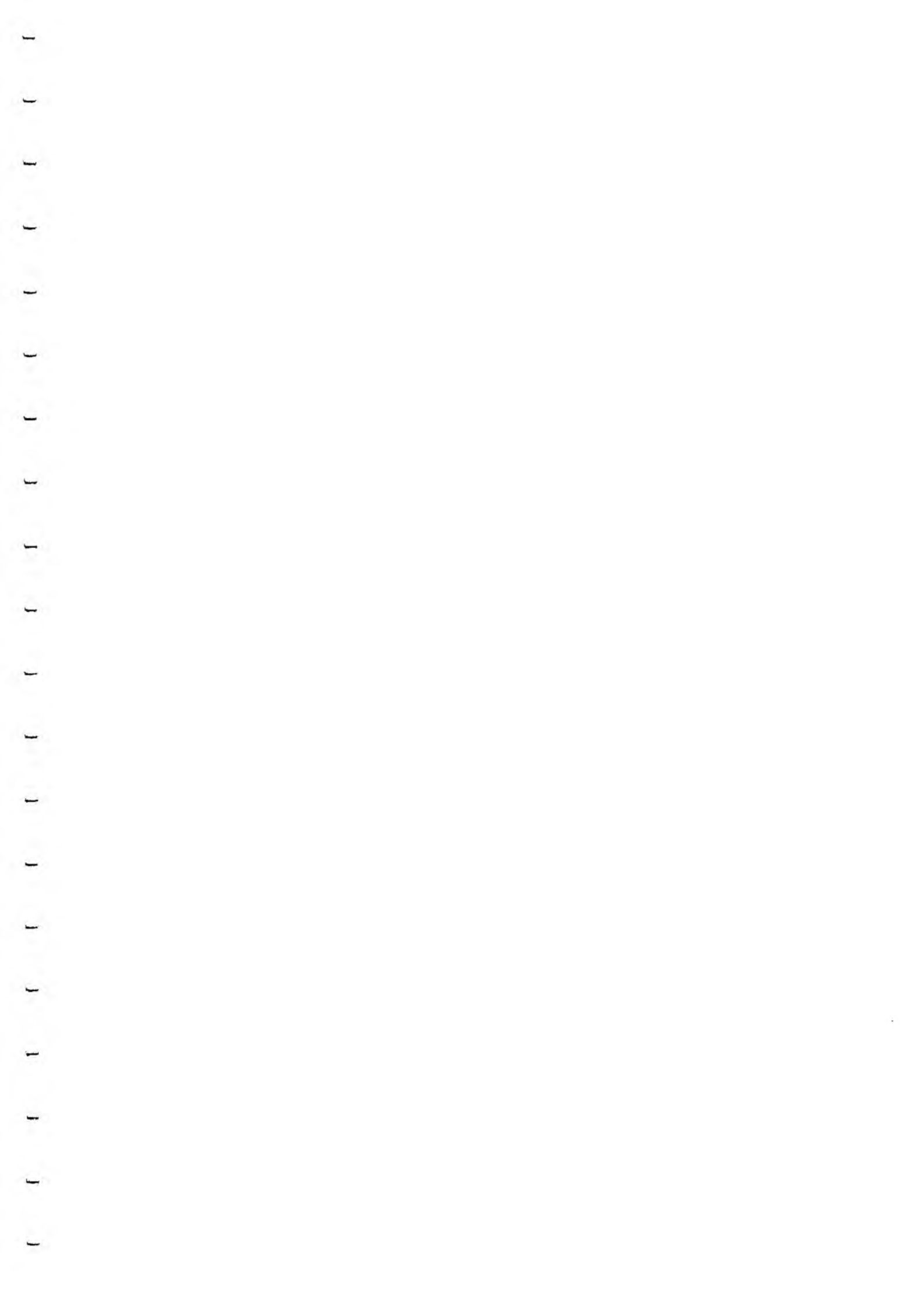
Σχήμα 1.7.2 Δομικά στοιχεία αυτόνομου Φ/Β συστήματος

Ο συμπληρωματικός εξοπλισμός των Φ/Β συστημάτων , πέρα από τη Φ/Β γεννήτρια , ονομάζεται συνήθως BOS , από τα αρχικά της αγγλικής έκφρασης balance of system (υπόλοιπα του συστήματος) . Στον πίνακα που ακολουθεί, (πίνακας 1.7.1), δείχνεται πως περίπου συμβάλλουν τα διάφορα μέρη που συγκροτούν ένα αυτόνομο Φ/Β σύστημα , στη συνολική διαμόρφωση του κόστους του .

Παράγοντας κόστους	Συμβολή στο συνολικό κόστος
Φ/Β πλαίσια ή πανέλα : για τη Φ/Β γεννήτρια	65 %
Στηρίγματα των Φ/Β συλλεκτών και ηλεκτρικές καλωδιώσεις των Φ/Β στοιχείων	5 %
Συσσωρευτές για αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας	15 %
Διατάξεις ρυθμίσεως της τάσης και ισχύος , μετατροπής τάσης , προστασίας , ελέγχου κλπ.	12 %
Βοηθητική ενεργειακή πηγή	3 %

Πίνακας 1.7.1

Η μελέτη και ο σχεδιασμός ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος στοχεύει στον βέλτιστο συσχετισμό των προβλέψεων για τα μεγέθη της ηλεκτρικής ζήτησης από το σύστημα και της ηλιακής ακτινοβολίας που θα δέχονται οι συλλέκτες του . Δηλαδή , επιδιώκεται η αποφυγή των υπερβολικών δαπανών που θα συνεπάγονταν ο υπερσχεδιασμός του συστήματος , π.χ. με συλλέκτες και συσσωρευτές μεγαλύτερου μεγέθους από το απολύτως απαραίτητο.



Για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος απαιτείται , και συνήθως επαρκεί , η ύπαρξη μίας καλής εκτίμησης της ζήτησης που πρέπει να ικανοποιήσει , π.χ . η μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση τους διαφόρους μήνες του έτους , και μίας αξιόπιστης πληροφόρησης σχετικά με την ένταση και τη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή . Ένα παράδειγμα οδηγός του προκαταρκτικού σχεδιασμού φαίνεται παρακάτω.

1. Επιλογή της κρίσιμης χρονικής περιόδου για την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος
2. Εκτίμηση της μέσης ηλεκτρικής κατανάλωσης που ζητείται να ικανοποιεί το σύστημα
3. Υπολογισμός της μέσης διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας στην υπόψη τοποθεσία , στην επιλεγμένη χρονική περίοδο και για την βέλτιστη κλίση των συλλεκτών .
4. Υπολογισμός της απαιτούμενης συνολικής επιφάνειας ή της συνολικής ισχύος αιχμής των Φ/Β συλλεκτών και εύρεση του αντιστοίχου πλήθους και της κατάλληλης συνδεσμολογίας των τυποποιημένων Φ/Β πλαισίων ή πανελλών .
5. Καθορισμός των επιθυμητών ημερών αυτοδυναμίας του συστήματος και εύρεση της αντίστοιχης χωρητικότητας των συσσωρευτών αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας για την αντιμετώπιση της ζήτησης στο διάστημα των πιθανών ημερών συνεχούς συννεφιάς .
6. Υπόδειξη των διαφόρων αναγκαίων διατάξεων ρύθμισης και ελέγχου , και της ισχύος της βοηθητικής ενεργειακής πηγής.

1.8 Υπολογισμός Φωτοβολταϊκών πλαισίων

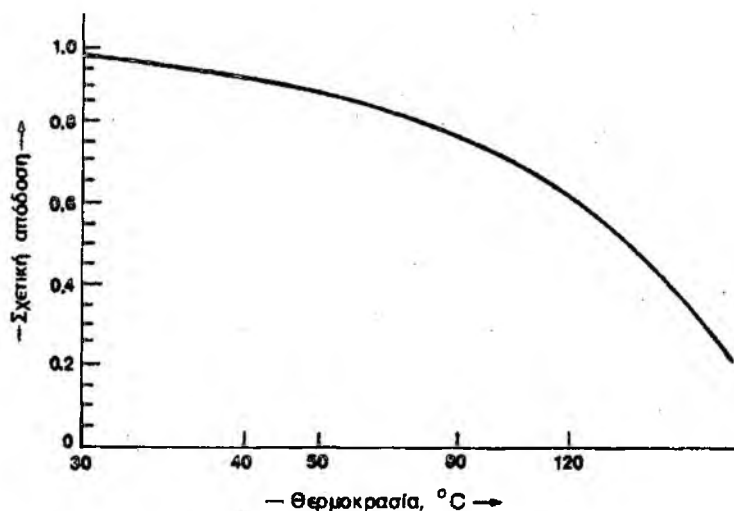
Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας των Φ/Β πλαισίων κάνουμε τις ακόλουθες παραδοχές :

- α. Το αμαξίδιο θα κινείται στην Αθήνα
- β. Ο μέσος χρόνος κίνησης του θα είναι 3 ώρες με συνολική κατανάλωση ενέργειας 700 Wh .

Κατασκευαστικοί λόγοι μας αναγκάζουν να έχουμε τον ηλιακό συλλέκτη σε οριζόντια θέση, ο οποίος βρίσκεται πάνω από το αμαξίδιο. Από τους πίνακες της ηλιακής ακτινοβολίας παίρνουμε την ελάχιστη και μέγιστη τιμή μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας Kwh/m^2 στην Αθήνα σε οριζόντιο επίπεδο.

Ο Δεκέμβρης παρουσιάζεται με την ελάχιστη τιμή ηλιακής ακτινοβολίας ίση με $54 KWh/m^2$ ή $1,74 Kwh/m^2$ μέση ημερήσια τιμή.

Αντίθετα ο Ιούλιος παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές με 219 και $7,06 Kwh/m^2$ αντίστοιχα. Ο συντελεστής καθαρότητας λαμβάνεται ίσος με 1 , θεωρώντας ότι το αμαξίδιο θα καθαρίζεται σε καθημερινή βάση. Για τον συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης, (σχήμα 1.8.1), έχουμε ότι η θερμοκρασία είναι $12,5 C$ για τον Δεκέμβρη και $29,3 C$ για τον Ιούλιο. Δεχόμενοι ότι η θερμοκρασία λειτουργίας των φωτοβολταϊκών είναι 30 βαθμοί μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος, η αντίστοιχοι συντελεστές θερμοκρασιακής διόρθωσης είναι $0,93$ και $0,83$ αντίστοιχα.



Σχήμα 1.8.1 [3] Τυπική καμπύλη της μεταβολής της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους. Η κλίμακα του άξονα των τεταγμένων δίνει το ποσοστό της απόδοσης του στοιχείου σε σχέση με την απόδοσή του στη συμβατική θερμοκρασία $20^{\circ}C$. Η κλίμακα της θερμοκρασίας στον άξονα των τεταγμένων είναι λογαριθμική.

Στην συνέχεια υπολογίζουμε την ιδανικά απαιτούμενη ισχύ αιχμής από την ακόλουθη σχέση :

$$P_a(KW_p) = E(KWh/d) * 1(KW/m^2) / [\Gamma(KWh/m^2d) * \sigma_{\theta} * \sigma_p] \quad (1.8.1)$$

η οποία δίδει για μεν τον **Δεκέμβρη 430 W_p** ενώ για τον **Ιούλιο 119 W_p**

Εκλέγονται από το εμπόριο δύο πανέλλα συνολικής ισχύος **102 W_p** .

Παράλληλα για να καλυφθούνε οι ανάγκες κατά τους χειμερινούς μήνες χρησιμοποιούμε φορτιστεί με χαρακτηριστική καμπύλης σταθερής τάσεως και ταχείας φόρτισης με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

Το ρεύμα πέφτει σταθερά , όσο αυξάνει η τάση , μέχρι μία τιμή αδρανείας , που είναι και το ρεύμα πέρατος φορτίσεως , και διακόπτεται με το χέρι ή αυτόματα . Στην δική μας περίπτωση η διακοπή γίνεται αυτόματα από τον (ίδιο τον φορτιστή [Wa] ή κατεπιλογή από τον χειριστή [W] κατά **DIN 41 772** .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

2.1 Η ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ο καθορισμός του εμβαδού της επιφάνειας των Φ/Β συλλεκτών στηρίζεται στη μέση ηλεκτρική κατανάλωση του συστήματος και στη μέση ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται οι συλλέκτες στην επιλεγμένη κρίσιμη περίοδο λειτουργίας τους. Όμως οι μέσες τιμές είναι στατιστικά μεγέθη που μπορεί να αποκλίνουν σημαντικά από ενδεχόμενες πραγματικές συνθήκες . Επίσης , ένα αξιόπιστο σύστημα πρέπει να παρέχει επαρκή ηλεκτρική ενέργεια για την ικανοποίηση της ζήτησης και στα χρονικά διαστήματα που δεν υπάρχει αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία . Προφανές εννοούμε τις νυχτερινές ώρες , τις συνεφιασμένες ημέρες και τις χρονικές αιχμές της κατανάλωσης .

Τα Φ/Β συστήματα που είναι συνδεδεμένα με κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής , αντλούν από αυτά την απαιτούμενη συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια . Επίσης διοχετεύουν προς τα δίκτυα αυτά την ενδεχόμενη περίσσεια της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας , όταν υπερβαίνει την κατανάλωση του συστήματος . Όμως τα απομονωμένα αυτόνομα Φ/Β συστήματα δεν έχουν τη δυνατότητα ενεργειακής ανταλλαγής . Επομένως χρειάζεται να αποθηκεύουν μία ποσότητα από την περίσσεια της ηλεκτρικής τους παραγωγής , ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή της Φ/Β γεννήτριας . Ως προς την άλλη απαίτηση , δηλαδή την απαλλαγή του

συστήματος από την περίσσεια της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας , πέρα από τη ζήτηση της κατανάλωσης και τη δυνατότητα της αποθήκευσης , αυτή αναγκαστικά αντιμετωπίζεται με τη διοχέτευση της στη γη ή σε ηλεκτρικές αντιστάσεις.

Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να προνοείτε να αποθηκεύεται , εξαρτάται από τις απαιτήσεις του συστήματος και κυρίως από τη αυτονομία και αξιοπιστία του συστήματος σε συνδυασμό με την ύπαρξη ή όχι βοηθητικών ενεργειακών πηγών.

2.2 Οι συσσωρευτές μολύβδου

Υπάρχουν διάφορων τύπων ηλεκτρικοί συσσωρευτές , ανάλογα με το υλικό των ηλεκτροδίων τους . Π.χ. συσσωρευτές νικελίου - καδμίου ή αργύρου - ψευδαργύρου . Έχει όμως διαπιστωθεί ότι οι οικονομικότεροι για χρησιμοποίηση σε Φ/Β συστήματα είναι οι συσσωρευτές μολύβδου . Τα ηλεκτρόδια τους είναι πλάκες από κράματα μολύβδου , π.χ. Pb - Sb ή Pb - Ca , βυθισμένες σε διάλυμα θεικού οξέος . Είναι δηλαδή όμοιοι με τους συνηθισμένους συσσωρευτές των αυτοκινήτων , αν και εκείνοι κατασκευάζονται από φτηνότερο κράμα μολύβδου και αυτοεκφορτίζονται σε σχετικά γρήγορο ρυθμό .

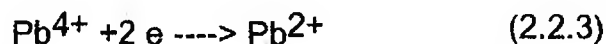
Υπενθυμίζεται ότι η λειτουργία των συσσωρευτών μολύβδου στηρίζεται σε μία αντιστρεπτή ηλεκτροχημική διαδικασία , που περιγράφεται από την αμφίδρομη αντίδραση :



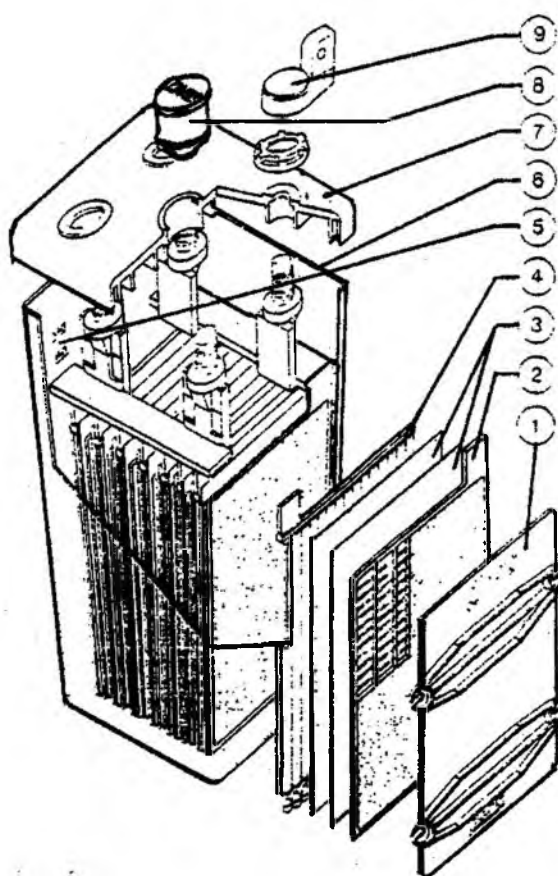
Συγκεκριμένα , οι συσσωρευτές αποτελούνται από κυψελίδες , δηλαδή ζεύγη μονωμένων μεταξύ τους πλακών βυθισμένων στο ίδιο διάλυμα θεικού οξέος . Οι πλάκες του αφόρτιστου συσσωρευτή καλύπτονται από θεικό μόλυβδο . Κατά το στάδιο της φόρτισης , διασπάτε ο θεικός μόλυβδος και σχηματίζεται οξείδιο του μολύβδου στις πλάκες των θετικών ηλεκτροδίων και μεταλλικός Pb στις πλάκες των αρνητικών . Αντίστροφα κατά την εκφόρτιση του συσσωρευτή και την τροφοδότηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων , ο Pb οξειδώνεται στις πλάκες των αρνητικών ηλεκτροδίων προς ιόντα Pb^{2+} και δίνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα :



ενώ στις πλάκες των θετικών ηλεκτροδίων, ο Pb^{4+} ανάγεται σε Pb^{2+} παίρνοντας ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα :



Τα προϊόντα των δύο αντιδράσεων , δηλαδή τα ιόντα Pb^{2+} , ενώνονται με θειικά ιόντα από το διάλυμα και ξανασχηματίζουν το θεικό μόλυβδο πάνω στις πλάκες των κυψελίδων . Έτσι , καταναλώνεται θεικό οξύ και αραιώνεται το διάλυμα στις κυψελίδες . Με τη φόρτιση όμως που επακολουθεί , τα θειικά ιόντα επιστρέφουν στο διάλυμα , όπως δείχνει η αμφίδρομη αντίδραση , και η περιεκτικότητα του αποκαθίσταται στην κανονική τιμή .



- 1) Polystyrene buffer plates
- 2) Negative plates, pasted
- 3) Separators - microporous material between each positive and negative plate
- 4) Positive plates - pressure cast from low antimony alloy
- 5) Electrolyte - Diluted sulphuric acid having a specific gravity of 1.25 at 25°C
- 6) Cell containers - Injection moulded transparent styrene acrylonitrile (SAN)
- 7) Cover - moulded plastic material
- 8) Vent plugs - Allow venting of internal gas during charging
- 9) Terminal, lead alloy (+ and -)

Σχήμα 2.2.1 [1]

Κάθε φορτισμένη κυψελίδα των συσσωρευτών μολύβδου , δηλαδή κάθε ζεύγος ηλεκτροδίων, δίνει τάση περίπου 2,0 V . Για την πλήρη , όμως φόρτιση κάθε κυψελίδας χρειάζεται να γίνει τροφοδότηση με τάση περίπου 2,4 V . Στη συνέχεια , η τροφοδότηση του συσσωρευτή πρέπει να διακοπεί , διότι η υπερφόρτιση των κυψελίδων προκαλεί τη θέρμανση του διαλύματος του θεικού οξέος , την εξάτμιση του νερού του και τελικά

την επιτάχυνση της φθοράς του συσσωρευτή . Επίσης προκαλεί την ηλεκτρόλυση του διαλύματος με έκλυση υδρογόνου και οξυγόνου . Αυτό , εκτός άπω την απώλεια του υγρού , δημιουργεί κινδύνους και για την ασφάλεια της εγκατάστασης . Αν ο χώρος που βρίσκεται ο συσσωρευτής δεν έχει καλό αερισμό , το υδρογόνο μπορεί να σχηματίσει εκρηκτικό μίγμα με τον αέρα , που με έναν τυχαίο σπινθήρα θα προξενήσει ατύχημα.

Συνήθως , οι συσσωρευτές περιέχουν πολλές κυψελίδες στη σειρά και δίνουν ανάλογα αυξημένη τάση . Π.χ. ένας συσσωρευτής μολύβδου με 6 κυψελίδες δίνει τάση περίπου 12 V και για τη φόρτιση του χρειάζεται τάση $6 \times 2,4 \text{ V}$ και επί πλέον 0,75 V για την πτώση τάσης στην προστατευτική δίοδο που υπάρχει συνήθως μεταξύ συσσωρευτού και Φ/Β γεννήτριας , ώστε να μη διοχετεύεται ρεύμα από το συσσωρευτή προς τα ηλιακά στοιχεία . Δηλαδή απαιτείται συνολική τάση φόρτισης 15,15 V. Πάντως συχνά στα Φ/Β συστήματα χρησιμοποιούνται συσσωρευτές με πολλές δεκάδες κυψελίδες στη σειρά , ώστε να δίνουν αρκετά υψηλή τάση εφ' όσον αυτό απαιτείται .

2.3 Η χωρητικότητα των συσσωρευτών.

Το φορτίο που αποθηκεύει , δηλαδή η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή , μετράται συνήθως σε αμπερώρια [Ah] , που είναι σε ιδανικές συνθήκες , το γινόμενο της μέσης έντασης του ρεύματος I , που δίνει ο συσσωρευτής , ανεξάρτητα από την τάση του , επί το πλήθος των ωρών μέχρι να εκφορτιστεί , ξεκινώντας από πλήρη φόρτιση . Προφανώς , πιο χρήσιμο μέγεθος είναι ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα συσσωρευτή , η οποία όμως εξαρτάται από την τάση που δίνει ο συσσωρευτής . Έτσι , ένας συσσωρευτής χωρητικότητας π.χ. $C = 100 \text{ Ah}$, που δίνει μέση τάση π.χ. $U = 12 \text{ V}$ έχει ονομαστική ικανότητα αποθήκευσης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας ίσης με :

$$100 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} = 1200 \text{ Wh} = 1,2 \text{ KW} \quad (2.3.1)$$

Με τη χρήση , η χωρητικότητα των συσσωρευτών μειώνεται λόγω διάβρωσης των πλακών , σχηματισμού επικαθήσεων κ.λ.π. . Συνήθως , ένας συσσωρευτής θεωρείται άχρηστος όταν η χωρητικότητά του πέσει κάτω από το 80 % περίπου της αρχικής του τιμής . Επίσης , δεν πρέπει να παραβλέπεται ότι οι φορτισμένοι συσσωρευτές αυτοεκφορτίζονται με ρυθμό 2 έως 5 % της χωρητικότητας του το μήνα . Ο ρυθμός της αυτοεκφόρτισης αυξάνει με την ηλικία του συσσωρευτή .

Η χωρητικότητα των συσσωρευτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ισχύ με την οποία γίνεται η εκφόρτιση τους , δηλαδή από την ένταση του ρεύματος που δίνουν προς την κατανάλωση . Ένας συσσωρευτής ονομαστικής χωρητικότητας 100 Ah θα εξαντληθεί σε 10 ώρες αν η ένταση του ρεύματος εκφόρτισης είναι 10 A ενώ αν η ένταση είναι π.χ. 18 A ο ίδιος συσσωρευτής θα εξαντληθεί σε 5 ώρες και η χωρητικότητα του θα πέσει στα 90 Ah . Αντίθετα , με μικρότερους ρυθμούς εκφόρτισης , βλέπουμε ότι η χωρητικότητα του συσσωρευτή αυξάνει σημαντικά . Επίσης , η χωρητικότητα αυξάνει με τη θερμοκρασία του συσσωρευτή . Συγχρόνως , όμως , επιταχύνονται οι μηχανισμοί διάβρωσης και μειώνεται η διάρκεια της ζωής του .

Εκτός από τη θερμοκρασία , η διάρκεια της χρήσιμης ζωής των συσσωρευτών εξαρτάται κυρίως από το πλήθος των διαδοχικών κύκλων φόρτισης - εκφόρτισης και από το Βάθος κάθε εκφόρτισης . Ανάλογα με τον τύπο τους οι συσσωρευτές μολύβδου αντέχουν συνήθως μέχρι 500 έως 1500 κύκλους φορτίσεων - εκφορτίσεων . Στους φτηνότερους τύπους,

το βάθος εκφόρτισης δεν επιτρέπεται να ξεπερνά το 10 % . Δηλαδή με την εκφόρτιση προσφέρεται μόνο το 10 % της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας , ενώ για το υπόλοιπο 90 % δεν επιδιώκεται η ανάκτηση , ώστε να αποφευχθεί η πρόωρη καταστροφή του συσσωρευτή . Σε ειδικούς στεγανούς τύπους με ηλεκτρόδια από κράματα Pb - Ca , το βάθος εκφόρτισης μπορεί να φτάσει μέχρι το 80 % . Πάντως , στις μικρότερες και λιγότερο απαιτητικές από τις Φ/Β εγκαταστάσεις , χρησιμοποιούνται συχνά κοινοί συσσωρευτές αυτοκινήτων , με επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης μέχρι 10 %.

Επομένως , σε ένα συσσωρευτή ονομαστικής χωρητικότητας C_n η ενεργός , αξιοποιήσιμη χωρητικότητα C είναι :

$$C = \beta \times C_n \quad (2.3.2)$$

και η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να αποταμιευτεί και να ανακτηθεί , σε ιδανικές συνθήκες , σε κάθε κύκλο φόρτισης - εκφόρτισης είναι :

$$E = C \times V = \beta \times C_n \times V \quad (2.3.3)$$

όπου β είναι το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή σε δεκαδική μορφή .

Ο συντελεστής απόδοσης των συσσωρευτών μολύβδου α , δηλαδή ο λόγος της μέγιστης ποσότητας της ενέργειας που ανακτάται προς την ενέργεια που είχε απορροφηθεί από την Φ/Β γεννήτρια σε κάθε κύκλο φόρτισης - εκφόρτισης , είναι περίπου 85 % . Επομένως , αν η ηλεκτρική ενέργεια που ζητάμε να δίνει ο συσσωρευτής είναι E , η ενεργός χωρητικότητα του C θα πρέπει να αντιστοιχεί σε ενέργεια φόρτισης E_{ϕ} ίση με :

$$E_{\phi} = E/\alpha \quad (2.3.4)$$

Ως προς την παρεχόμενη ισχύ , βρίσκουμε εύκολα ότι αν ένας συσσωρευτής απαιτείται να τροφοδοτεί την κατανάλωση με μέση ισχύ P επί μ συνεχείς ημέρες , η ενεργός του χωρητικότητα θα πρέπει να είναι

$$C = [24 \mu \times P] / [\alpha \times V] \quad (2.3.5)$$

2.4 Δομή , διάρκεια ζωής και κόστος

Στις σχετικά μεγάλες Φ/Β εγκαταστάσεις , οι διατάξεις αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας χρειάζεται να έχουν αρκετά σημαντική χωρητικότητα και σχηματίζονται από ομάδες μεγάλου πλήθους συσσωρευτών . Δηλαδή η δομή τους είναι σπονδυλωτή , αφού οι ομάδες αυτές αποτελούνται συνήθως από ανεξάρτητους συσσωρευτές . Έτσι , η συνολική χωρητικότητα της διάταξης μπορεί αργότερα να προσαρμοστεί εύκολα στις μεταβαλλόμενες συνθήκες , με την πάροδο του χρόνου και την ενδεχόμενη εξέλιξη της κατανάλωσης , αυξάνοντας ή μειώνοντας το πλήθος των συσσωρευτών . Από σπονδυλωτή επίσης συγκρότηση χαρακτηρίζονται και οι Φ/Β γεννήτριες , με αντίστοιχη ελαστικότητα προσαρμογής στις μεταβαλλόμενες ανάγκες , αυξάνοντας ή μειώνοντας το πλήθος των Φ/Β πλαισίων . Με τον τρόπο αυτό , μπορεί επίσης να γίνει σχετικά εύκολα η διόρθωση σφαλμάτων σχεδιασμού , που θα οφείλονταν σε λανθασμένες εκτιμήσεις της ηλεκτρικής κατανάλωσης ή της ηλιακής ακτινοβολίας .

Όπως έχει προαναφερθεί , οι συσσωρευτές μολύβδου δεν ξεπερνούν συνήθως τους 500 ως 1500 κύκλους φόρτισης - εκφόρτισης . Βλέπουμε λοιπόν ότι αν υποθέσουμε ότι καθημερινά γίνεται ένας τουλάχιστον κύκλος φόρτισης - εκφόρτισης για την αντιμετώπιση των νυκτερινών καταναλώσεων ενός Φ/Β συστήματος , θα πρέπει να γίνεται

αντικατάσταση των συσσωρευτών αρκετά συχνά , περίπου κάθε 2 ως 5 χρόνια . Αντίθετα , η διάρκεια ζωής των Φ/Β πλαισίων και των άλλων μερών του συστήματος είναι πολύ μεγαλύτερη , πάνω από 20 - 30 χρόνια

Λόγω της κατασκευής τους , οι συσσωρευτές χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλο βάρος και κόστος . Ανάλογα με τον τύπο τους , η χωρητικότητα ενέργειας των συσσωρευτών μολύβδου είναι περίπου 20 Wh ανά Kg , και το κόστος για ένα κοινό συσσωρευτή μολύβδου χωρητικότητας 55 Ah και τάσης 12 V είναι περίπου 18000 δρχ . Γι 'αυτό άλλωστε , είναι συχνά οικονομικότερο να μην επιδιώκεται η πλήρης ικανοποίηση των καταναλώσεων του συστήματος με αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας της Φ/Β γεννήτριας , αλλά να προτιμάτε η τοποθέτηση μίας βοηθητικής ενεργειακής πηγής , για την περίπτωση μας προβλέπεται ένας κοινός φορτιστής . Έτσι , γίνεται σημαντική μείωση της απαιτούμενης χωρητικότητας των συσσωρευτών , της ισχύος της Φ/Β γεννήτριας του συστήματος αλλά και μία σημαντική μείωση του βάρους του όλου συστήματος που για την περίπτωση μας είναι πρωταρχικής σημασίας .

2.5 Γενικά για το χώρο εγκατάστασης τους **[Προδιαγραφές]**

Οι συσσωρευτές πρέπει να στεγάζονται κατά τέτοιο τρόπο , ώστε το μείγμα αερίων που δημιουργείται κατά τη φόρτιση και εκφόρτιση ή σε κατάσταση ηρεμίας , να αραιώνεται με φυσικό ή τεχνητό αερισμό σε τέτοιο βαθμό , που να εξασφαλίζεται ότι έχει χάσει την εκρηκτικότητα του. Σημειώνεται ότι η μέγιστη ανάπτυξη αερίων εμφανίζεται κατά τη φόρτιση πέρα από την τάση έκλυσης αερίων . Μπορεί δε να θεωρηθεί ότι εκμηδενίστηκε , μία ώρα μετά τη διακοπή του ρεύματος φόρτισης .

Πρέπει να επιδιώκεται μία τέτοια διαμόρφωση του χώρου εγκατάστασης τους ώστε ο φυσικός αερισμός να είναι επαρκές . Σε συσσωρευτές μέσα σε κιβώτια και ερμάρια επιτρέπεται φυσικός αερισμός μόνο μέχρι ισχύ φόρτισης 2 KW. Η ισχύς φόρτισης υπολογίζεται από τη μέγιστη ένταση ρεύματος φόρτισης της εγκατάστασης φόρτισης και την ονομαστική τάση του συσσωρευτή .

Σε συσσωρευτές με ισχύ φόρτισης κάτω των 2 KW και ελεύθερο όγκο αέρα του χώρου τουλάχιστο 2,5 η απαιτούμενη ποσότητα αέρα που υπολογίζεται με βάση τη σχέση (2.5.1) , η είσοδος του και η έξοδος του

αέρα επιτρέπεται να βρίσκονται στην ίδια πλευρά . Σε περίπτωση που κατά τη φόρτιση συσσωρευτών μολύβδου πέρα από την τάση έκλυσης αερίων δημιουργείται ισχυρότερη ομίχλη οξέων , αυτή πρέπει να απομακρύνεται από το κάτω μέρος κατά το δυνατόν.

Χώροι , κιβώτια ή ερμάρια , για την στέγαση , φόρτιση ή εκφόρτιση των συσσωρευτών , θεωρούνται ότι αερίζονται επαρκώς , όταν η παροχή του αέρα ανανέωσης δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$Q = u q s n I \text{ σε l/h} \quad (2.5.1)$$

όπου :

u συντελεστής αραίωσης $u = [100\%/3,8\%]* 25$

ο συντελεστής αυτός δείχνει τη σχέση της ποσότητας αέρα προς την ποσότητα υδρογόνου με την οποία δεν παραβιάζεται το όριο της εκρηκτικότητας του μείγματος υδρογόνου - αέρα . Το μείγμα υδρογόνου αέρα μπορεί να εκραγεί όταν το ποσοστό υδρογόνου στο μείγμα αυτό είναι ίσο ή μεγαλύτερο του 3.8 %.

q όγκος υδρογόνου σε λίτρα (l) για 0 C και για 1,013 bar που εκλύεται ανά στοιχείο , αμπέρ (A) και ώρα , $q = 0,42 \text{ l}$.

s συντελεστής ασφαλείας : για εγκαταστάσεις ξηράς και οχήματα ξηράς $s = 5$, για πλωτά μεταφορικά μέσα $s = 10$.

n αριθμός στοιχείων

I ρεύμα σε A , που προκαλεί την έκλυση του υδρογόνου . Ανάλογα με το είδος του συσσωρευτή , την εφαρμογή και τη χρήση του συσσωρευτή που φορτίζεται και ανάλογα με τη μέθοδο φόρτισης .

Συγχωνεύοντας τους συντελεστές $u q s$ απλουστεύεται η σχέση (2.5.1)

- για εγκαταστάσεις ξηράς και οχήματα ξηράς σε

$$Q = 55 n I \text{ σε l/h}$$

- για πλωτά μεταφορικά μέσα σε $Q = 110 n I \text{ σε l/h}$.

Σαν γενικό συμπέρασμα από τα παραπάνω βγαίνει το εξής : Για φόρτιση με φωτοβολταϊκά στοιχεία , που αφορά τη δική μας περίπτωση,

και εφ'όσον το αμαξίδιο , άρα και οι μπαταρίες μολύβδου , θα βρίσκεται στο ύπαιθρο όπου θα έχουμε ηλιοφάνεια και συνεπώς φόρτιση , δεν υπάρχει περιορισμός όσον αφορά τον αερισμό .

Έτσι οι συσσωρευτές πρέπει να στεγάζονται κατά τέτοιο τρόπο , ώστε να είναι προσιτοί , να μπορούν να ελέγχονται και να συντηρούνται εύκολα . Επίσης πρέπει να προστατεύονται από πτώση αντικειμένων , από τη διείσδυση ξένων σωμάτων , π.χ. νερού, καθώς και από τη ρύπανση .

Επιβλαβή αέρια όπως αμμωνία πρέπει να απομακρύνονται από τους συσσωρευτές . Προστασία πρέπει να έχουν ακόμα οι συσσωρευτές από τις πολύ υψηλές και τις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες εξωτερικά αλλά και από τις μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ των στοιχείων του συσσωρευτή . Πρέπει επίσης οι συσσωρευτές να τοποθετούνται και να αερίζονται κατά τέτοιο τρόπο , ώστε ομίχλη ηλεκτρολύτη ή ηλεκτρολύτης που διαρρέει ή εκτινάσσεται να μην είναι σε θέση να προκαλέσει ζημιές .

2.6 Ειδικά για οχήματα ξηράς (όπως και το αναπηρικό καρότσι)

Επιτρέπεται η τοποθέτηση συσσωρευτών σε χώρους επιβατών π.χ. κάτω από καθίσματα εφόσον πληρούνται οι απαιτήσεις αερισμού και ασφαλείας που έχουν προαναφερθεί .

2.7 Κατασκευή βάθρων , δοχείων, κιβωτίων και ερμαριών συσσωρευτών

Βάθρα ,δοχεία και κιβώτια συσσωρευτών πρέπει να είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε οποιοδήποτε υγρό διεισδύσει , να μπορεί να αφαιρεθεί ή να αποχετευθεί . Επίσης πρέπει η κατασκευή να πληροί τις απαιτήσεις αερισμού και η διαμόρφωση τους να είναι τέτοια που οι συσσωρευτές να μην υφίστανται ζημιές από επιδράσεις της θερμοκρασίας και των καιρικών συνθηκών και εξερχόμενα αέρια και ομίχλη ηλεκτρολύτη να μην μπορούν να προκαλέσουν ζημιές . Οι ακροδέκτες σύνδεσης των συσσωρευτών που τοποθετούνται σε μεταλλικά ή ξύλινα βάθρα , δοχεία και κιβώτια πρέπει να είναι μονωμένοι.

Τα στοιχεία των συσσωρευτών δεν επιτρέπεται να μπορούν να μετατοπίζονται μέσα στα κιβώτια ή γενικά από τη θέση όπου

ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

τοποθετήθηκαν , δηλαδή από τις βάσεις τους . Κατά την εγκατάσταση καινούργιων συστοιχιών σε καινούργιους φορείς ή βάσεις δεν επιτρέπεται να έχουν αντιστάσεις μόνωσης προς τη γη μικρότερες του 1 ΜΩ . Ακόμα οι ακροδέκτες , σύνδεσμοι και έξοδοι πρέπει να αντέχουν στις επιδράσεις του ηλεκτρολύτη.

Σε περίπτωση που η ονομαστική τάση ολόκληρης της συστοιχίας είναι μεγαλύτερη από 24 V , οι φορείς , τα δοχεία ή τα κιβώτια πρέπει να μονώνονται προς τη γη ή τη βάση για αποφυγή ρευμάτων ερπυσμού . Το διάκενο μεταξύ των μονάδων πρέπει να είναι τουλάχιστο 10 mm . Στην ανάγκη πρέπει να παρεμβάλλονται μεταξύ των μονάδων μονωτήρες .

2.8 Φόρτιση

Σε συσκευές φόρτισης η έξοδος , τμήμα συνεχούς ρεύματος , πρέπει να είναι γαλβανικά απομονωμένη από το δίκτυο εναλλασσομένου ρεύματος όταν στο κύκλωμα συνεχούς ρεύματος δεν μπορεί να εφαρμοστεί μέτρο προστασίας σύμφωνα με τα σχετικά διεθνή πρότυπα . Όταν οι συσκευές δεν είναι γαλβανικά απομονωμένες , τότε επιτρέπεται να πραγματοποιούνται εργασίες συντήρησης μόνο αφού αποσυνδεθούν οι συσσωρευτές .

Για τη μέτρηση του ρεύματος φόρτισης πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο αμπερόμετρα που δείχνουν την αριθμητική μέση τιμή . Κατά τη φόρτιση οι οπές εξόδου αερίων των συσσωρευτών πρέπει να βρίσκονται μακριά από συσκευές που δημιουργούν σπινθήρες π.χ. ρευματοδότες , ρευματολήπτες , διακόπτες , μηχανήματα κ.λ.π. , και μάλιστα σε απόσταση 1 m τουλάχιστον.

2.9 Λειτουργία γενικά

Πρέπει να δίνεται προσοχή στις οδηγίες λειτουργίας του κατασκευαστή , εάν αυτές υπάρχουν , και να είναι προσιτές στον χειριστή.

Οι συσσωρευτές δεν πρέπει να συνδέονται ή να αποσυνδέονται όταν βρίσκονται υπό τάση . Προσοχή πρέπει να δίνεται , ώστε τα υγρά συμπλήρωσης τους να ανταποκρίνονται στην απαιτούμενη καθαρότητα .

Τέλος πρέπει να ελέγχονται τακτικά και συστηματικά από άτομο που είναι γνώστης του θέματος ως προς την καλή τους λειτουργία και την καλή τους κατάσταση . Δεν πρέπει το βάθος εκφόρτισης τους να ξεπερνά , για κοινές μπαταρίες μολύβδου , το 90% γιατί διαφορετικά θα έχουμε σταδιακή μείωση της αρχικής τους χωρητικότητας και τελικά την καταστροφή τους αφού μια μπαταρία που έχει χωρητικότητα το 80% της αρχικής της θεωρείται πρακτικά άχρηστη .

2.10 Υπολογισμός μπαταρίας αμαξιδίου.

2.10.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Μέγιστη τάση : 24 V

Ελάχιστη τάση : 22 V

Θερμοκρασία : 20 C

Μέγιστος αριθμός κυψελίδων : $24 \text{ V} / 2,27 \text{ V} = 10,57 \Rightarrow$ επιλογή 12 κυψελίδες .

Ελάχιστη τάση ανά κυψελίδα : $22 \text{ V} / 12 \text{ κυψελίδες} = 1,83 \text{ V}$

2.10.2 Επιλογή μπαταρίας

Συνήθως ο παρακάτω υπολογισμός είναι αυτός που δίνει το τελικό μέγεθος και τον τύπο της μπαταρίας .

Μέγιστη ισχύς : 240 W

Αυτονομία : 3 ώρες (μέσος όρος μετακίνησης ενός ατόμου με ειδικές ανάγκες την ημέρα με αναπηρικό αμαξίδιο)

2.10.3 Ρεύμα εκφόρτισης

Με μέγιστη ισχύ : $240 \text{ W} / 24 \text{ V} = 10 \text{ A}$

Με μέση ισχύ : $140 \text{ W} / 24 \text{ V} = 5.83 \text{ A}$

Αριθμός καταναλισωμένων Ah σε 3 ώρες με μέση ισχύ :

$$5.83 \text{ A} * 3 \text{ ώρες} = 17.5 \text{ Ah}$$

Αριθμός καταναλισωμένων Ah σε 3 ώρες με μέγιστη ισχύ :

$$10 \text{ A} * 3 \text{ ώρες} = 30 \text{ Ah}$$

Άρα επιλέγουμε μπαταρίες με χωρητικότητα 55 Ah για να είμαστε καλυμμενοι αφού το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισεως , για τους δικούς μας συσσωρευτές , είναι το πολύ 40 % και αυτό σε μεμονωμένες περιπτώσεις .

Έτσι ο ισοδύναμος χρόνος εκφόρτισης των 22 Ah , που αποτελεί το 40 % των 55 Ah , με μέγιστη ισχύ είναι :

$$22 \text{ Ah} / 10 \text{ A} = 2.2 \text{ ώρες} .$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

3.1 Λειτουργία κινητήρων με φορτίο

Όταν ένας κινητήρας εργάζεται με φορτίο , η ηλεκτρική ισχύς που απορροφά από το δίκτυο εξαρτάται από το φορτίο και μεταβάλλεται αυτόματα ανάλογα με τις μεταβολές του φορτίου . Δηλαδή όταν το φορτίο μεγαλώνει , μεγαλώνει και η ηλεκτρική ισχύς που απορροφά και όταν το φορτίο μικραίνει , μικραίνει και η ηλεκτρική ισχύς .

Το πώς συμβαίνει αυτό είναι εύκολο να εξηγηθεί , αν δεχτούμε ότι έχουμε ένα κινητήρα με παράλληλη διέγερση που τροφοδοτείται από δίκτυο με σταθερή τάση U . Άρα είναι σταθερή και η ένταση διεγέρσεως I_f , με συνέπεια η μαγνητική ροή Φ κάθε πόλου του κινητήρα να είναι σταθερή . Ξέρουμε ότι η ένταση που απορροφά το επαγωγικό τύμπανο του κινητήρα δίνεται από την σχέση :

$$I_T = \frac{U - E_a}{R_T} \quad (3.1.1)$$

Όταν ο κινητήρας εργάζεται χωρίς φορτίο η αντιηλεκτρεγερτική του δύναμη E_a πολύ λίγο διαφέρει από την τάση της πηγής U . Άρα η

ένταση I_T που απορροφά ο κινητήρας είναι μικρή . Η κινητήρια ροπή που αναπτύσσεται είναι μικρή και καλύπτει μόνο τις απώλειες του κινητήρα .

Όταν ο κινητήρας φορτιστεί , δηλαδή όταν αρχίσει να παρέχει μηχανική ισχύ σε κάποιο μηχανήμα , η ταχύτητα περιστροφής του θα ελαττωθεί λιγάκι . Όταν ελαττωθεί η ταχύτητα , θα ελαττωθεί και η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη του κινητήρα , όπως φαίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$E_a = K * \Phi * n \quad (3.1.2)$$

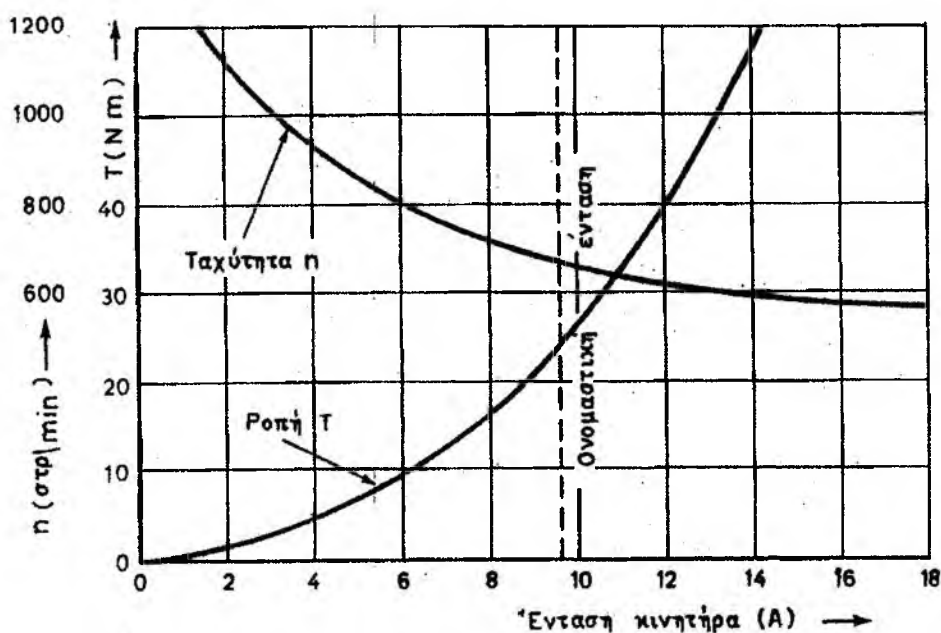
Ελάττωση όμως της E_a σημαίνει αύξηση της εντάσεως I_T , όπως προκύπτει από τη σχέση που δίνει την ένταση που απορροφά το επαγωγικό τύμπανο του κινητήρα , Όταν αυξηθεί η ένταση , η ροπή T του κινητήρα αυξάνεται , αφού :

$$T = K_1 * \Phi * I_T \quad (3.1.3)$$

Δηλαδή με την μικρή ελάττωση της ταχύτητας έχουμε αύξηση της κινητήριας ροπής T .

Η ελάττωση της ταχύτητας θα σταματήσει , μόλις η ροπή T γίνει ίση με τη ροπή του φορτίου και τις απώλειες του κινητήρα . Από την στιγμή αυτή ο κινητήρας θα λειτουργεί με τη λίγο ελαττωμένη αυτή ταχύτητα και θα κινεί το μηχανικό του φορτίο .

Κάθε μεταβολή του μηχανικού φορτίου θα συνεπάγεται, σύμφωνα με τους παραπάνω συλλογισμούς , αντίστοιχη αυτόματη μεταβολή στην ένταση I_T και συνεπώς και στην ισχύ που ο κινητήρας απορροφά από το δίκτυο . Αν το μηχανικό φορτίο του κινητήρα αυξηθεί πάρα πολύ , δηλαδή αν ξεπεράσει την ικανότητα του κινητήρα , τότε η ταχύτητα του θα πέσει πολύ , ίσως και να σταματήσει τελείως ο κινητήρας . Η ένταση που ο κινητήρας θα απορροφήσει τότε από το δίκτυο θα είναι θέρμανση , αν δεν λειτουργήσει η προστασία από υπερεντάσεις που προβλέπεται για κάθε κινητήρα .



Σχήμα 3.1.1 Τυπικές χαρακτηριστικές καμπύλες κινητήρων συνεχούς ρεύματος με σύνδεση σειράς

3.2 Ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων

Η ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής των κινητήρων συνεχούς ρεύματος γίνεται σχετικά εύκολα, με απλά μέσα και με μεγάλη ακρίβεια. Σε αυτό πλεονεκτούν απέναντι στους κινητήρες του εναλλασσόμενου ρεύματος.

Για τους εν λόγω κινητήρες έχουμε τις δύο ακόλουθες σχέσεις για την αντιηλεκτρεγερτική τους δύναμη:

$$E_a = U - I_T \cdot R_T \quad \text{και} \quad E_a = K \cdot \Phi \cdot n \quad (3.2.1) \text{ και } (3.2.2)$$

από τις δύο αυτές σχέσεις προκύπτει για την ταχύτητα περιστροφής n του κινητήρα η σχέση:

$$n = [U - I_T \cdot R_T] / [K \cdot \Phi] \quad (3.2.3)$$

Από την μελέτη της σχέσεως αυτής βγαίνουν τα ακόλουθα συμπεράσματα για την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα :

α. Αν η τάση U που εφαρμόζεται στους ακροδέκτες του τύμπανου του κινητήρα είναι σταθερή και μειωθεί η μαγνητική ροή Φ , δηλαδή αν μειωθεί η ένταση διεγέρσεως, θα αυξηθεί η ταχύτητα του κινητήρα. Αντίθετα, η αύξηση της εντάσεως διεγέρσεως προκαλεί μείωση της ταχύτητας του κινητήρα. Μεγάλη μείωση της εντάσεως διεγέρσεως έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλη αύξηση των στροφών του κινητήρα, οπότε υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του τυλίγματος από τις φυγόκεντρες δυνάμεις που αναπτύσσονται.

β. Αν η μαγνητική ροή Φ είναι σταθερή, δηλαδή αν η ένταση διεγέρσεως είναι σταθερή και αυξήσουμε ή ελαττώσουμε την τάση U που εφαρμόζεται στο επαγωγικό τύμπανο, θα αυξηθεί ή θα μειωθεί αντίστοιχα και η ταχύτητα του κινητήρα.

Σημειώνεται ότι αν U και Φ είναι σταθερά και αυξηθεί η ένταση I_T του κινητήρα λόγω αυξήσεως του φορτίου θα έχουμε μικρή μείωση της ταχύτητας του κινητήρα και αντίστροφα. Αυτό συμβαίνει γιατί το γινόμενο $I_T \cdot R_T$ είναι μικρό ποσοστό της U και συνεπώς οι μεταβολές του λίγο επηρεάζουν την ταχύτητα n .

3.3 Μέθοδοι ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής κινητήρων συνεχούς ρεύματος

Όπως είναι γνωστό, οι δύο παράγοντες που προσδιορίζουν την ταχύτητα περιστροφής ενός κινητήρα που λειτουργεί είναι η τάση U που εφαρμόζεται στα άκρα του τυλίγματος του επαγωγικού του τυμπάνου

και η μαγνητική ροή Φ των πόλων , που εξαρτάται από την ένταση διεγέρσεως. Ανάλογα με τον τρόπο που χρησιμοποιούμε τους παράγοντες αυτούς , έχουμε στην πράξη τρεις κυρίως μεθόδους για την ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής των κινητήρων συνεχούς ρεύματος . Δηλαδή έχουμε ρύθμιση με :

- α. Ρυθμιστική αντίσταση στο παράλληλο τύλιγμα διεγέρσεως .
- β. Ρυθμιστική αντίσταση στο επαγωγικό τύμπανο .
- γ. Μεταβολή της τάσεως τροφοδοτήσεως του επαγωγικού τυμπάνου .

Οι μέθοδοι α και β , λόγω του ότι έχουν να κάνουν με την πτώση τάσεως που δημιουργείται με την παρεμβολή μίας ηλεκτρικής αντίστασης, έχουν σαν φυσικό επακόλουθο να έχουμε μεγάλες απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας στην αντίσταση , που η ενέργεια αυτή διαχέεται στο περιβάλλον υπό μορφή θερμότητας , και συνεπώς να έχουμε μη συμφέρουσα , τουλάχιστο για την παρούσα εφαρμογή , κατανάλωση ενέργειας . Γι ' αυτό έχει επιλεγεί η μέθοδος γ η οποία ρυθμίζει την τάση τροφοδοσίας του επαγωγικού τυμπάνου . Η ρύθμιση της τάσεως αυτής επιτυγχάνεται με ειδικά για τον σκοπό ποτενσιόμετρα και ηλεκτρονικά ισχύος που έχουν σχεδόν μηδενικές απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας , έχουν βαθμό απόδοσης 99 % . Η μέθοδος αυτή δίνει μεταβολή της ταχύτητας του κινητήρα σε μεγάλα όρια . Έχει επίσης το πλεονέκτημα , με την προοδευτική αύξηση της τάσεως της πηγής που τροφοδοτεί τον κινητήρα , ότι ξεκινώντας από το μηδέν πετυχαίνουμε άριστες συνθήκες εκκινήσεως του κινητήρα . Αυτός είναι ακόμα ένας επιπλέον λόγος που έχει επιλεγεί αυτή η μέθοδος ρυθμίσεως των στροφών και μας εξασφαλίζει ομαλή εκκίνηση και ομαλό σταμάτημα του αμαξιδίου , πράγμα πρωτεύουσας σημασίας για ένα άτομο με ειδικές ανάγκες .

3.4 Είδη κινητήρων συνεχούς ρεύματος

Ανάλογα με τον τρόπο που είναι συνδεδεμένο το τύλιγμα διεγέρσεως των κινητήρων συνεχούς ρεύματος τους διακρίνουμε σε :

- α. Κινητήρες με ξένη διέγερση
- β. Κινητήρες με παράλληλη διέγερση
- γ. **Κινητήρες με διέγερση σειράς**
- δ. Κινητήρες με σύνθετη διέγερση

Για την δική μας εφαρμογή έχουν επιλεγεί κινητήρες με διέγερση σειράς για τους ακόλουθους λόγους:

Ο κινητήρας σειράς πλεονεκτεί σε σχέση με τους 3 άλλους κινητήρες από άποψη ροπής ,γιατί έχει σαν ιδιότητα του να μας παρέχει μεγάλη ροπή στρέψεως σε χαμηλές στροφές και συνεπώς είναι ο καταλληλότερος κινητήρας για την δική μας εφαρμογή μιας και χρειαζόμαστε μεγάλη ροπή κατά την εκκίνηση αφού στον άξονα του κινητήρα είναι μόνιμα συνδεδεμένο ένα μηχανικό φορτίο . Άρα για μικρές στροφές έχουμε μεγάλη ροπή στρέψεως ενώ για μεγάλες στροφές έχουμε μικρή ροπή στρέψεως .

Το γεγονός αυτό μας θυμίζει την γνωστή ιδιότητα που έχουν τα κιβώτια ταχυτήτων των διαφόρων μηχανών . Επομένως καταλήγουμε στο ότι ο ίδιος ο κινητήρας σειράς από μόνος του συμπεριφέρεται σαν ένα κιβώτιο ταχυτήτων και μπορεί μάλιστα να αντικατασταθεί , άρα αποκλείεται η χρήση αυτού μεταξύ του κινητήρα και των κινητήριων τροχών του αμαξιδίου .

Το μόνο μειονέκτημα που έχουν οι κινητήρες σειράς σε σχέση πάντα με τους υπόλοιπους είναι ότι αυξάνουν πολύ οι στροφές του όταν λειτουργεί εν κενό ή υπό μικρά μηχανικά φορτία , με κίνδυνο την

αυτοκαταστροφή του από τις φυγόκεντρες δυνάμεις που αναπτύσσονται στα τυλίγματα του . Αυτό όμως είναι για την εδώ εφαρμογή πρακτικά αδύνατο αφού όπως έχει προαναφερτεί οι κινητήρες θα έχουν σε μόνιμη βάση συνδεδεμένο στον άξονα τους κάποιο μηχανικό φορτίο έστω και μικρό .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ - ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

4.1 Ροή ενέργειας από τα Φ/Β στους κινητήρες

Στην παρούσα εφαρμογή έχουν χρησιμοποιηθεί δύο φωτοβολταϊκά πανέλλα ισχύος **51 W_p**, το κάθε ένα . Κάθε ένα από αυτά περιέχει ένα κιβώτιο ακροδεκτών με θετικό και αρνητικό πόλο . Σε κάθε κιβώτιο γίνεται γεφύρωση μεταξύ αρνητικού και θετικού πόλου με μία κρυσταλλοδίοδο , που έχει σαν σκοπό την αποφυγή εκφόρτισης των μπαταριών προς τα Φ/Β σε περιόδους μειωμένης έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας . Τα δύο πανέλλα συνδέονται ηλεκτρικά σε σειρά μεταξύ τους , δηλαδή ο θετικός πόλος του ενός συνδέεται με τον αρνητικό πόλο του άλλου και η έξοδος έρχεται από τους δύο εναπομείναντες ελεύθερους πόλους . Με την συνδεσμολογία αυτή επιτυγχάνουμε **102 W_p** με **33,8 V** και **3,02 A** , σε συνθήκες **1000 W/m²** οπτική μάζα **AM = 1,5** και θερμοκρασία στοιχείου **25 C** , τα οποία είναι κατάλληλα για την φόρτιση των δύο **12 V** σε σειρά μπαταριών .

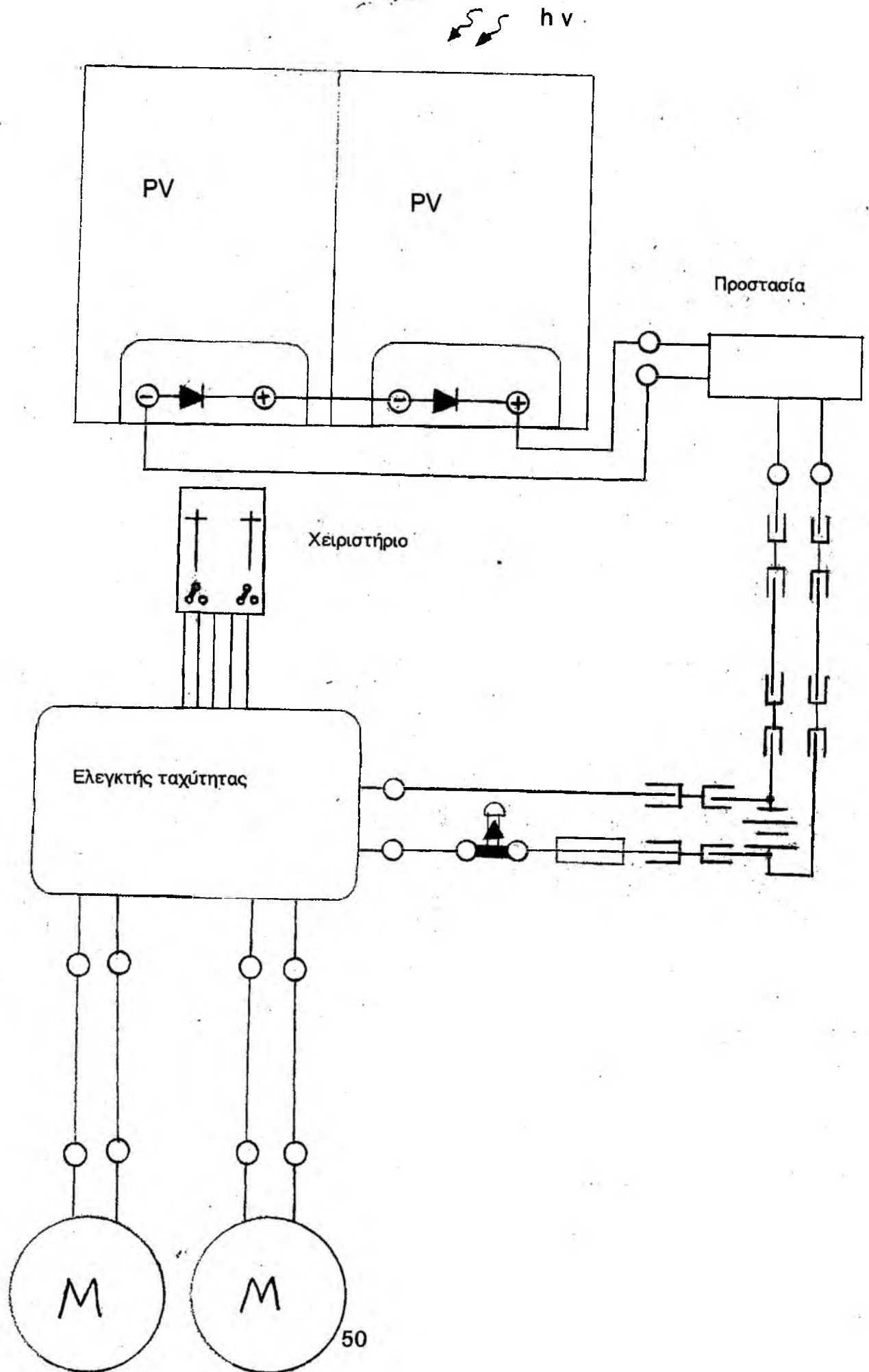
Ακολουθεί η είσοδος της τάσης εντός ηλεκτρονικής διάταξης η οποία ελέγχει την ροή του ρεύματος από τα φ/β στις μπαταρίες . Κριτήριο ροής του ρεύματος προς τις μπαταρίες είναι ο βαθμός φόρτισης αυτών . Έτσι εάν οι μπαταρίες είναι φορτισμένες και η περαιτέρω φόρτιση τους οδηγεί σε έκλυση ατμών του ηλεκτρολύτη , με αποτέλεσμα την δημιουργία εκρηκτικού μίγματος , η διάταξη στέλνει το ρεύμα που παράγουν τα φ/β σε ωμικές αντιστάσεις που μετατρέπουν το ρεύμα σε θερμότητα η οποία διαχύεται στο περιβάλλον . Το προκαλούμενο ηλεκτρικό σοκ από την αλλαγή της κατανάλωσης απορροφάται από λαμπάκι αερίου (**L.E.D.**) για αυτοπροστασία της διάταξης . Η διάταξη αυτή έχει στερεωθεί στο κάτω μέρος των φ/β . Η έξοδος της ισχύος παραλαμβάνεται από τους ακροδέκτες αυτής της διάταξης .

Με την τάση που λαμβάνεται από τους ακροδέκτες της προηγούμενης διάταξης φορτίζονται οι μπαταρίες . Μεταξύ της διάταξης προστασίας των μπαταριών και των πόλων των μπαταριών μεσολαβούν δύο ηλεκτρικοί σύνδεσμοι , φίς , που εξυπηρετούν την εύκολη και γρήγορη απόσπαση των φ/β και των συσσωρευτών από το αμαξίδιο .

Στο σημείο που εισέρχεται η τάση φόρτισης από τα φ/β έχουμε και τάση προς τους κινητήρες . Υπάρχει και εκεί ένας λυόμενος σύνδεσμος , φίς , για τον ίδιο λόγο που υπάρχουν και οι προηγούμενοι . Το καλώδιο που φεύγει από τον θετικό πόλο εισέρχεται στον ελεγκτή ταχύτητας ενώ αυτό που φεύγει από τον αρνητικό συνδέεται στο σασί του . Επάνω σε αυτό έχει τοποθετηθεί μία ασφάλεια **15 A** και ένας διακόπτης **ON - OFF** οι οποίοι συνδέονται σε σειρά με το θετικό ακροδέκτη και εξασφαλίζουν προστασία και έλεγχο της ροής αντίστοιχα . Στην συνέχεια ο θετικός ακροδέκτης από τον διακόπτη συνδέεται με τον ελεγκτή της ταχύτητας ο οποίος ρυθμίζει την τάση λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων άρα και τις στροφές τους μια και πρόκειται για κινητήρες συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς , καθώς και την πολικότητα τους , ελέγχοντας έτσι την φορά περιστροφή τους . Επιπλέον παρέχεται και προστασία για υπερεντάσεις που μπορούν να καταστρέψουν τους κινητήρες . Από τον ελεγκτή ταχύτητας φεύγουν

τέσσερις αγωγοί , δύο σε κάθε κινητήρα . Οι τάσεις λειτουργίας ελέγχονται από τον χρήστη με την βοήθεια δύο συρόμενων ποτενσιομέτρων τα οποία ρυθμίζουν τις τάσεις των ηλεκτρονικών ισχύος , που υπάρχουν στον ελεγκτή ταχύτητας . Επίσης ο χρήστης έχει την ευχέρεια να επιλέξει την φορά περιστροφής των ηλεκτροκινητήρων με την βοήθεια δύο ηλεκτρονόμων , ένα για κάθε κινητήρα , που αλλάζουν την πολικότητα τους . Με τις ρυθμίσεις αυτές ο χρήστης δύναται να ελέγξει πλήρως τις κινήσεις του αμαξιδίου , ακόμα και το άμεσο σταμάτημα του , διότι ο άξονας εξόδου των ηλεκτρομειωτήρων ταυτίζεται με τον άξονα περιστροφής των κινητήριων τροχών . Η σχετική θέση των ποτενσιομέτρων δίνει και την διαφορά ταχύτητας περιστροφής των τροχών που δημιουργεί την ροπή στρέψεως άξονα του αμαξιδίου .

Στο σχήμα που ακολουθεί βλέπουμε το σχηματικό διάγραμμα σύνδεσης ϕ/β - κινητήρων .



Επιπλέον έχει κατασκευαστεί ένα ηλεκτρικό κύκλωμα ενδεικτικό της κατάστασης φορτίσεως της μπαταρίας . Το κύκλωμα αυτό συνδέεται σε σειρά με μία από τις δύο μπαταρίες , ενεργοποιείται από ένα μπουτόν και δείχνει την κατάσταση της μπαταρίας . Το κύκλωμα αυτό χρησιμοποιεί τρία L.E.D. , ένα κόκκινο , ένα πράσινο και ένα πορτοκαλί . Όταν ανάβει το κόκκινο μας δείχνει ότι η μπαταρία χρειάζεται φόρτιση και η τάση της είναι κάτω των 11,5 Volt , συνδέεται μόνο με την μία μπαταρία . Όταν ανάβει το πράσινο η μπαταρία βρίσκεται σε ικανοποιητικό επίπεδο , από 12 έως 13,5 Volt , ενώ όταν ανάβει το πορτοκαλί μας δείχνει ότι η τάση είναι πάνω από 13,5 Volt. Για λόγους απλότητας το ηλεκτρονικό αυτό κύκλωμα έχει παραλειφθεί από το προηγούμενο σχήμα .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

5.1 Σύστημα μετάδοσης της κίνησης

Η κίνηση του αμαξιδίου επιτυγχάνεται με την ακόλουθη διάταξη , της οποίας η περιγραφή είναι για ένα ηλεκτροκινητήρα .

Πάνω σε κάθε ένα από τους πίσω τροχούς του αμαξιδίου προσαρμόζεται και ένας ηλεκτροκινητήρας του οποίου η στήριξη γίνεται πάνω στην φέρουσα κατασκευή με τη βοήθεια λάμας 90X40X3 mm που προηγουμένως έχει διαμορφωθεί κατάλληλα ώστε να εφαρμόζει ο λαιμός του κιβωτίου του ηλεκτροκινητήρα , η λάμα αυτή αποτελεί και τη βάση στήριξης του ηλεκτροκινητήρα πάνω στο αμαξίδιο .

Η προσαρμογή του ηλεκτροκινητήρα πάνω στην βάση γίνεται με δύο κοχλίες τύπου Allen M8 X 20 . Αυτοί είναι περαστοί στη βάση και κοχλιώνονται στο κέλυφος του μειωτήρα . Επιπλέον έχει ληφθεί πρόνοια έναντι περιστροφής του κοχλία με την βοήθεια δύο ροδέλων τύπου

Groover . Η κατασκευή της βάσης , συγκόλληση της , έγινε με τους κινητήρες πάνω στον άξονα τους ο οποίος είχε συζευχθεί με τον τροχό . Με τον τρόπο αυτό πετύχαμε αυτόματο κεντράρισμα του κινητήρα όταν αυτός βρίσκεται κοχλιωμένος . Η εκλογή του υλικού του κοχλία έγινε κατά τέτοιο τρόπο ώστε μαζί με τη λάμα να έχουμε αντοχή στο διατμητικό φορτίο που στο σημείο αυτό αναπτύσσεται.

Ο άξονας του ηλεκτροκινητήρα που βρίσκεται στο τμήμα εντός του ενσωματωμένου στον ηλεκτροκινητήρα μειωτήρα είναι διαμορφωμένος σε ατέρμονα . Το υλικό κατασκευής του είναι κραματούχος επιχρωμιωμένος χάλυβας ο οποίος έχει υποστεί λείανση . Αυτός συνεργάζεται με κορώνα από ορείχαλκο . Η χρήση αυτού του συστήματος μετάδοσης της κίνησης μας δίνει γωνιακή έξοδο από τον ηλεκτροκινητήρα , και το σύστημα ατέρμονα κορώνας κλείνεται μέσα σε κέλυφος από κράμα αλουμινίου . Το λιπαντικό που χρησιμοποιείται είναι κοινό γράσο , λόγω του χαμηλού αριθμού στροφών . Ο άξονας εξόδου του ηλεκτρομειωτήρα αντικαταστάθηκε από κοχλία M12 X 150 τύπου Allen υψηλής αντοχής , X S. Αρχικά η κορώνα στηριζόταν στον άξονα με ροζέτα η οποία τώρα έχει αντικατασταθεί από οδηγό σφήνα 5 X 5 X 8 mm .

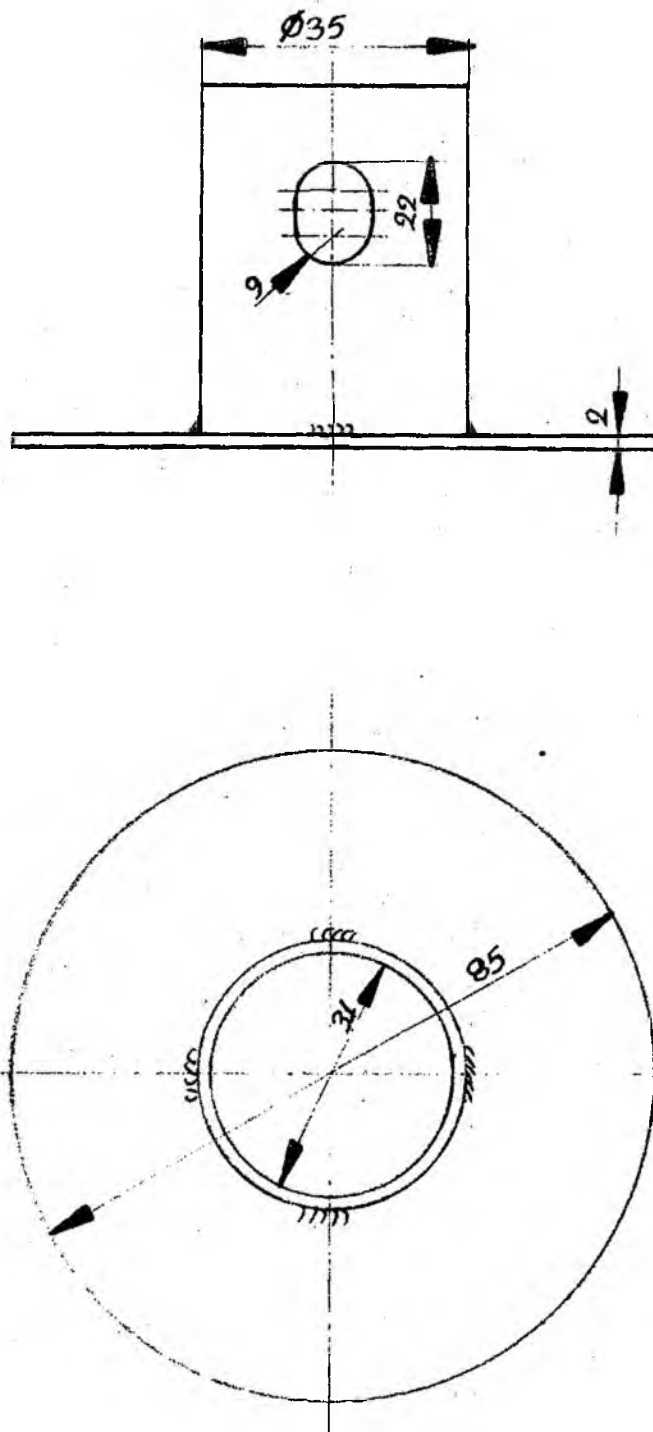
Η σύνδεση κινητήρα και τροχού γίνεται ως ακολούθως :

Η άτρακτος φωλιάζει μέσα στους δύο ένσφαιρους τριβής του τροχού . Εν συνεχεία μεταξύ των τριβών του τροχού και των τριβών του αμαξιδίου τοποθετούνται 4 ροδέλες που χρησιμεύουν σαν αποστατικοί δακτύλιοι . Στην συνέχεια ο άξονας φωλιάζει μέσα στους δύο ένσφαιρους τρίβεις του αμαξιδίου και στην εξωτερική πλευρά των τριβών τοποθετείται έλασμα που χρησιμεύει σαν ροδέλα . Το έλασμα αυτό σταθεροποιείται αξονικά πάνω στην φέρουσα κατασκευή του αμαξιδίου και σκοπό του έχει να παραλαμβάνει τα αξονικά φορτία . Εν συνεχεία ο άξονας εισέρχεται εντός του κελύφους του μειωτήρα όπου εδράζεται σε δύο κουζινέτα . Έπειτα τοποθετείται στον άξονα μία ροδέλα "θρώς " που χρησιμεύει για να ελαττώσει τις τριβές μεταξύ κορώνας και του κελύφους του μειωτήρα . Ακολουθεί η κορώνα που σταθεροποιείται πάνω στον άξονα με σφήνα . Η αξονική σταθεροποίηση της κορώνας γίνεται με τη βοήθεια ενός περικοχλίου ασφαλείας το οποίο επιπλέον φέρει εγκάρσιο ασφαλιστικό κοχλία , σκουληκάκι , τύπου Allen σαν ασφάλεια έναντι περιστροφής .

Εν συνεχεία η αξονική μετατόπιση του άξονα και το κεντράρισμα του γίνεται με τη βοήθεια μίας σφαίρας η οποία εδράζεται σε κεντρότρυπα της ατράκτου και σε κατάλληλα διαμορφωμένο κοχλία που βρίσκεται πάνω στο καπάκι του μειωτήρα . Εντός της κεντρότρυπας του άξονα τοποθετείται γράσο . Η όλη κατασκευή δένει αφού σφίξουμε το περικόχλιο ασφαλείας και στην συνέχεια βιδώσουμε και το καπάκι του μειωτήρα στην θέση του .

Με την προηγουμένως αναφερθείσα διαδικασία έγινε η σύζευξη του ηλεκτροκινητήρα με την άτρακτο , όμως η κινηματική αλυσσος μεταξύ του τροχού και του κινητήρα δεν κλείνει διότι ως έχει αναφερθεί η άτρακτος εδράζεται εντός των τριβέων του τροχού . Για να μεταφερθεί η στρεπτική ροπή από την άτρακτο στον τροχό έχει συγκολληθεί κύλινδρος μήκους 40 mm και διαμέτρου 15 mm το οποίο μετά από τόννευση αποτελεί κομμάτι της ατράκτου . Επάνω του έχει διανοιχτεί οπή διαμέτρου 8 mm . Εξωτερικά του τροχού βιδώνεται φλάντζα με τέσσερις βίδες περαστές στον κεντρικό κύλινδρο του τροχού . Μεταξύ φλάντζας και κυλίνδρου του τροχού τοποθετείται ελαστικό παρέμβισμα . Επάνω στη φλάντζα έχει συγκολληθεί σωλήνα διαμέτρου 31 mm και πάνω σε αυτή έχει διανοιχτεί ελλειψοειδής οπή με άξονες 14 και 9 mm , η έλλειψη είναι συγκεντρική με την οπή του άξονα (σχήμα 5.1.1). Εντός των δύο συγκεντρικών οπών διέρχεται ασφαλιστικός πείρος , ίδιας διαμέτρου , που εξασφαλίζει το πέρασμα της στρεπτικής ροπής από την άτρακτο στην σωλήνα και διαμέσου της φλάντζας και του ελαστικού παρεμβίσματος διά τριβής στην ρόδα . Το ελαστικό παρέμβισμα χρησιμοποιείται και για να απορροφά τις στρεπτικές ταλαντώσεις σε συνδυασμό με την ελαστική μετάδοση της στρεπτικής ροπής που επιτυγχάνεται με τη χρήση του ζεύγους ατέρμονα - κορώνας .

Ο πείρος παίζει και το ρόλο του συμπλέκτη μίας και αν αφαιρεθεί διακόπτεται η ροή του φορτίου από τον τροχό προς την άτρακτο . Για να γίνει αυτή η αποσύμπλεξη θεωρείται ως προϋπόθεση ο τροχός να είναι ακίνητος . Αποσυμπλέκοντας τον πείρο τότε το αμαξίδιο μπορεί να λειτουργεί χωρίς κανένα πρόβλημα και σάν χειροκίνητο .



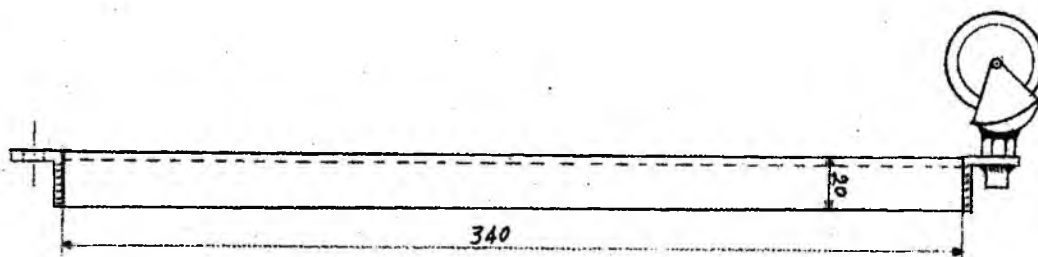
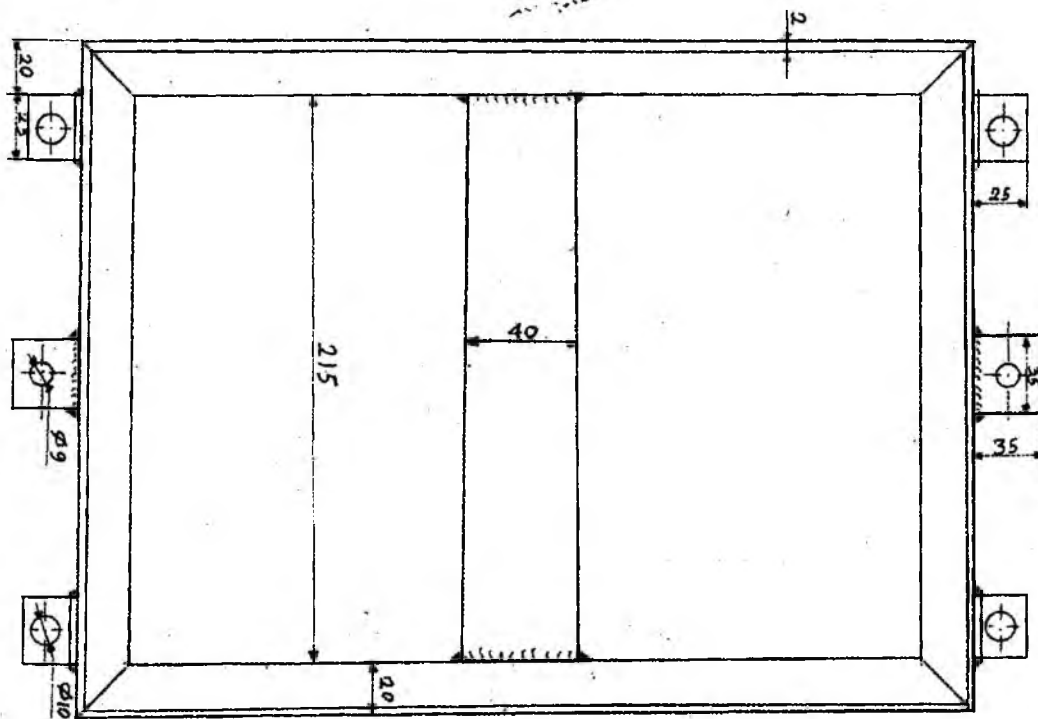
Σχήμα 5.1.1 Φλάντζα σύνδεσης άξονα κινητήρα - ρόδας

5.2 Βάσεις μπαταριών

Σαν ενεργειακή πηγή για την τροφοδότηση του αμαξιδίου έχουν επιλεγεί δύο 12 V μπαταρίες μολύβδου χωρητικότητας 55 Ah η κάθε μία . Οι μπαταρίες αυτές είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους σε σειρά και συνεπώς έχουμε τάση εξόδου από την συστοιχία των δύο μπαταριών 24 V , τόση δηλαδή όση και η απαιτούμενη τάση λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων . Οι μπαταρίες αυτές έχουν τοποθετηθεί σε μία ειδικά , για τις εδώ απαιτήσεις , διαμορφωμένη βάση που η περιγραφή της είναι η παρακάτω :

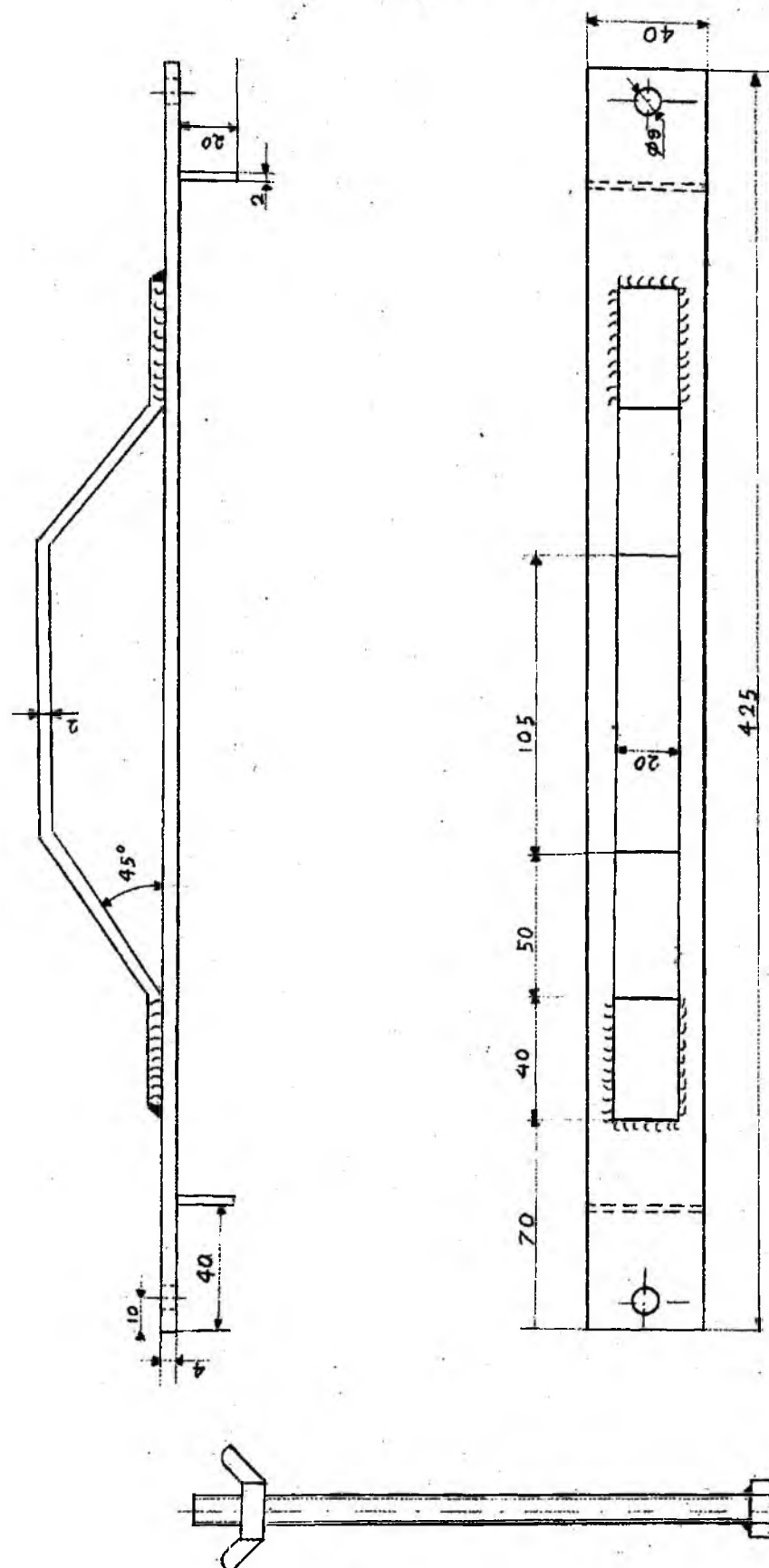
Αρχικά έχει κατασκευαστεί ένα ορθογωνικό πλαίσιο από σιδηρογωνιά 20 X 20 mm με τέτοιες διαστάσεις , βλέπε (σχήμα 5.2.1) , που να μπορούν να φωλιάζουν απάνω του οι δύο μπαταρίες . Στο μέσο ακριβώς αυτού του πλαισίου , κατά το πλάτος του , έχει τοποθετηθεί συγκολλητά μία λάμα 40 X 2 mm , έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η καλή σταθεροποίηση των μπαταριών αλλά και η αυξημένη μηχανική αντοχή του πλαισίου .

Στης εξωτερικές πλευρές του πλαισίου , στο μέσο της κατά πλάτος διάστασης του έχει συγκολληθεί λάμα 35 X 35 X 2 mm , υπό μορφή αυτιών , η οποία στο κεντρικό της σημείο φέρει οπή Φ 9 mm . Η οπή αυτή χρησιμεύει για να περάσουν από εκεί οι ντίζες οι οποίες θα συσφίξουν και θα σταθεροποιήσουν τις μπαταρίες πάνω στο πλαίσιο . Επίσης στις τέσσερις γωνίες έχουν συγκολληθεί σε απόσταση 20 mm από την άκρη του πλαισίου τέσσερα τεμάχια , ένα σε κάθε γωνιά , σιδηρογωνιάς 25 X25 X25 mm στις οποίες έχουν ανοιχτεί στα κεντρικά τους σημεία οπές Φ 12 mm . Στις οπές αυτές θα τοποθετηθούν ροδάκια . Τα ροδάκια αυτά έχουν σαν σκοπό την εύκολη μετακίνηση των μπαταριών κατά την περίπτωση που κάποιος θέλει να τις μεταφέρει .



Σχήμα 5.2.1 Βάση μπαταριών

Στο πάνω μέρος των μπαταριών έχει τοποθετηθεί μία λάμα 25 X 40 X 2 mm η οποία στις δύο άκρες της φέρει οπές Φ 9 mm έτσι να είναι ομόκεντρες με τις ίδιες οπές που υπάρχουν στα αυτιά του πλαισίου (σχήμα 5.2.2). Διαμέσου των οπών αυτών θα περάσουν οι δύο ντίζες που θα αποτελούν τον συνδετικό κρίκο μεταξύ πλαισίου και λάμας, έτσι ώστε πλαίσιο, μπαταρίες και λάμα να γίνουν ένα σώμα. Οι ντίζες είναι κοχλίας M 8 και έχουν μήκος 190 mm. Στο κάτω μέρος τους έχει συγκολληθεί το περικόχλιο τους υπό μορφή κεφαλής έτσι ώστε να μην επιτρέπεται το πέρασμα της ντίζας διαμέσου του αυτιού του πλαισίου. Η σύσφιγξη του πλαισίου με τις μπαταρίες και την επάνω λάμα εξασφαλίζεται με την βοήθεια δύο περικοχλίων που έχουν μορφή πεταλούδας, ώστε να είναι εύκολη η άρμωση και εξάρμωση των μπαταριών. Η καλή σταθεροποίηση της επάνω λάμας έχει επιτευχθεί με την συγκόλληση δύο λαμών 40 X 20 X 2 mm σε τέτοιο σημείο ούτως ώστε να ακουμπάνε πάνω στις πλευρές των μπαταριών. Πάνω στην λάμα έχει συγκολληθεί μία διαμορφωμένη υπό μορφή χερουλιού λάμα 20 X 2 X 280 mm για την άρση της βάσης με τις μπαταρίες. Η όλη κατασκευή στηρίζεται πάνω στο αναπηρικό αμαξίδιο με την ακόλουθη διάταξη. Στην χαμηλότερη σωλήνα του αμαξιδίου, εκεί δηλαδή που στηρίζεται το ψαλίδι του καροτσιού, έχουν συγκολληθεί στραντζαριστά 20 X 20 mm τα οποία βλέπουν προς τα μέσα. Στις άκρες των στραντζαριστών αυτών έχει συγκολληθεί σιδηρογωνιά 20 X 20 X 520 mm. Η διάταξη αυτή λειτουργεί σαν συρτάρι ούτως ώστε το πλαίσιο με τις μπαταρίες να ολισθαίνει μέσα σε αυτές τις δύο οδηγούς σιδηρογωνιές για εύκολη αφαίρεση και επανατοποθέτηση των μπαταριών με την βάση τους.



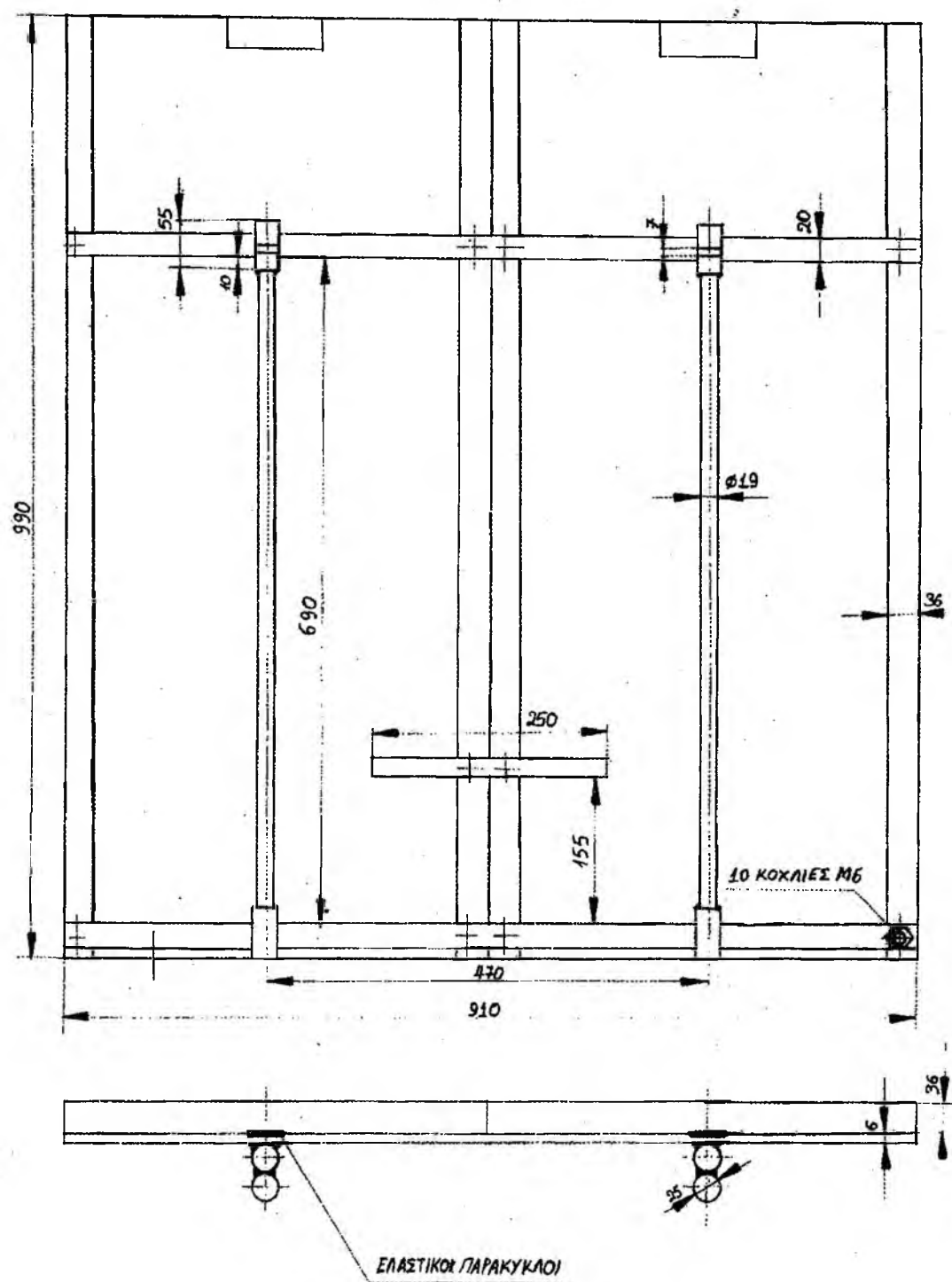
MBX190

Σχήμα 5.2.2 Λάμα συγκράτησης μπαταριών

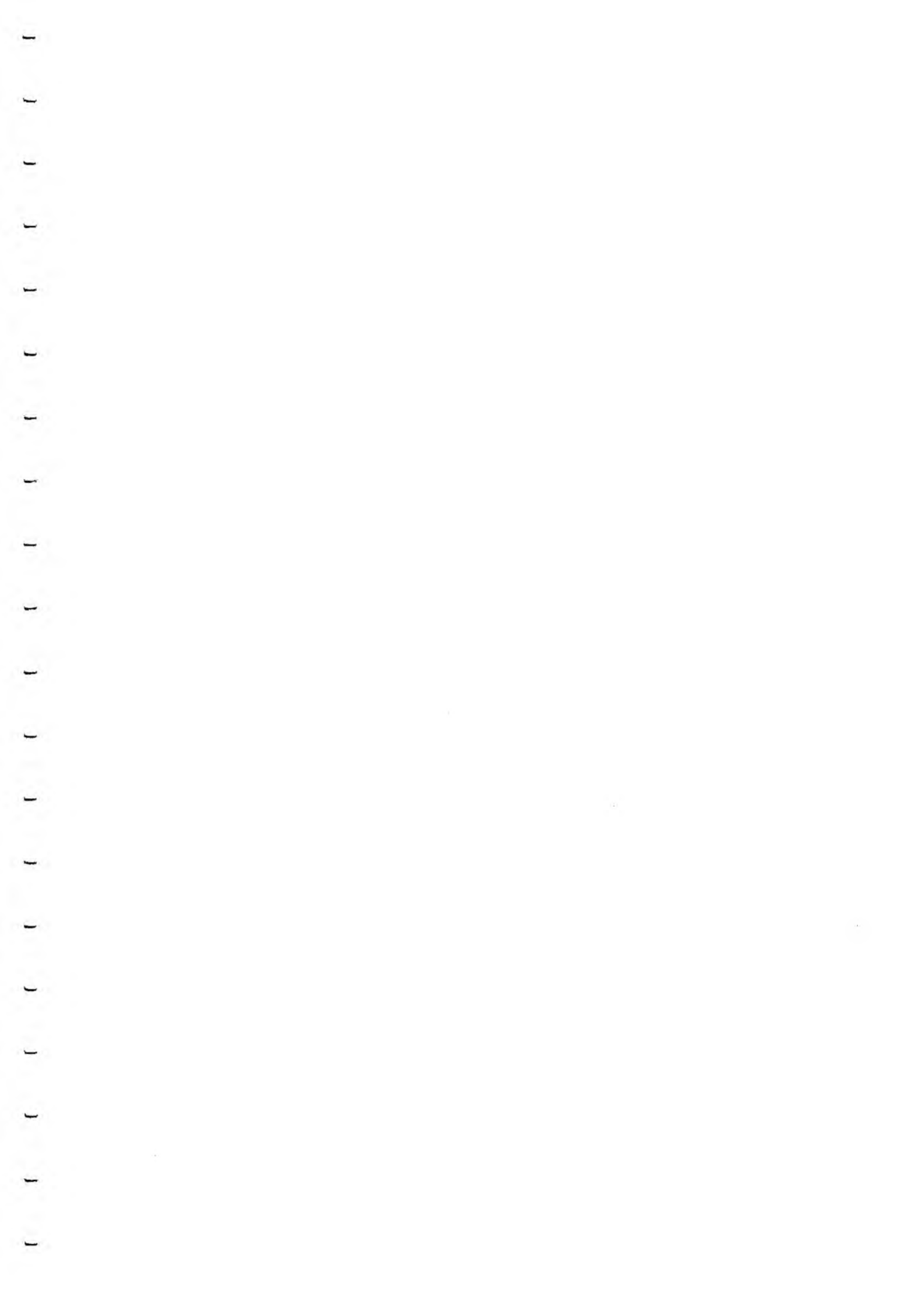
5.3 Στήριξη φωτοβολταϊκών

Το αμαξίδιο εφοδιάζεται με ένα φωτοβολταϊκό πανέλο το οποίο αποτελείται από δύο πλαίσια. Αυτό το συγκρότημα των φωτοβολταϊκών τοποθετείται πάνω από το κάθισμα του χειριστή του αμαξιδίου και λειτουργεί σαν ηλιακή οροφή. Η στήριξη αυτής της οροφής γίνεται στην προέκταση των δύο ραχιαίων στυλίσκων που συγκρατούν την ράχη του καθίσματος. Για λόγους εύκολης πρόσβασης στο κάθισμα του εξυπηρετούμενου από το αμαξίδιο, θα πρέπει η ηλιακή οροφή να σύρεται ώστε να μένει κενός ο χώρος πάνω από το κάθισμα και στην συνέχεια αφού έχει πάρει ο χειριστής τη θέση χρήσης να καταλαμβάνει και πάλι την θέση της επάνω από το αμαξίδιο.

Δύο εγκάρσιες λάμες 20X890X6 mm που συγκροτούν τα δύο φωτοβολταϊκά πλαίσια σε ένα φωτοβολταϊκό πανέλο (σχήμα 5.3.1). Οι λάμες αυτές συνδέονται με τα πλαίσια με τη χρήση περαστών κοχλιών M6. Μεταξύ των λαμών και του ανοδιωμένου αλουμινίου του πλαισίου τοποθετείται ελαστικό παρέμβισμα για προστασία του αλουμινίου από τους κραδασμούς και την ηλεκτροδιάβρωση.

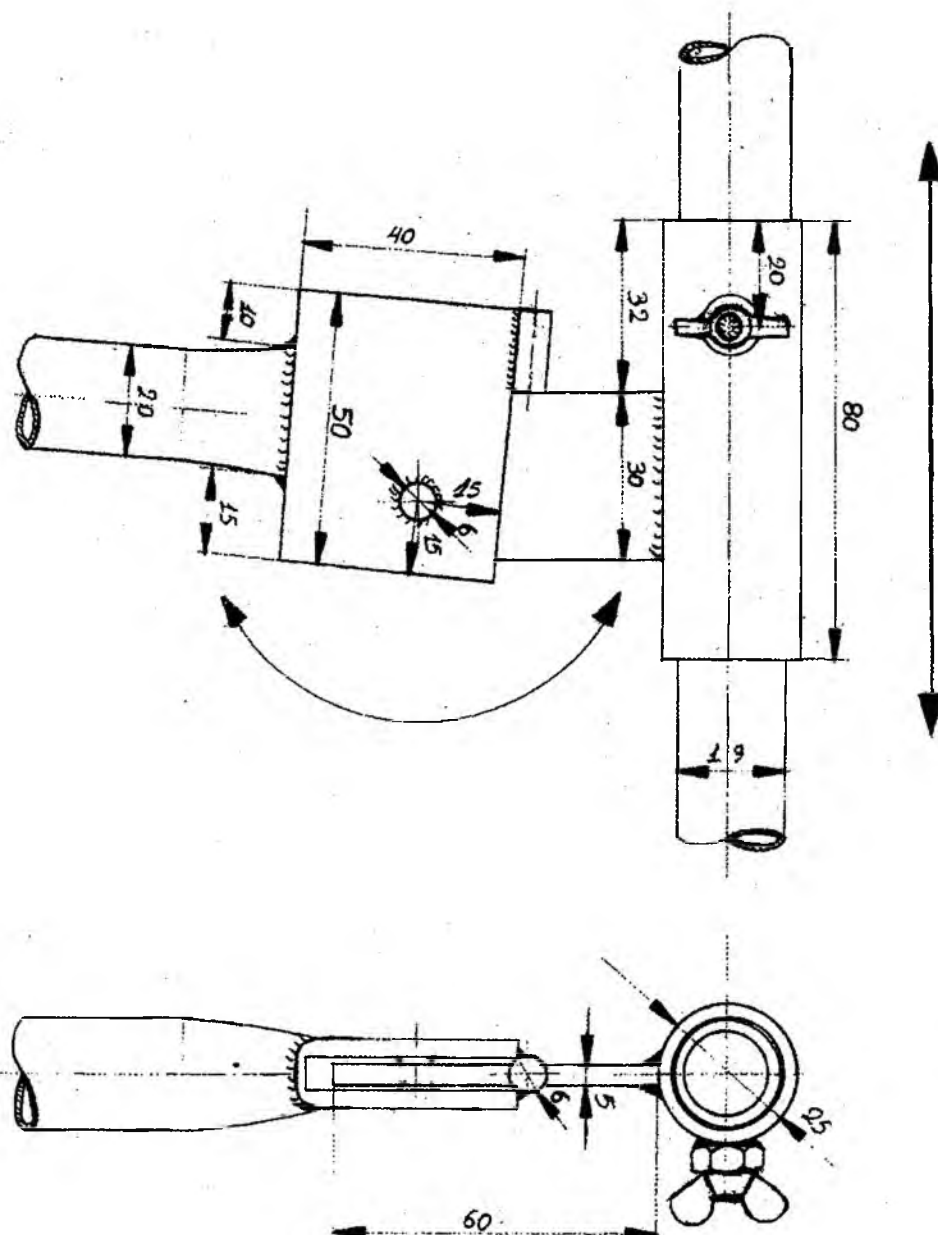


Σχήμα 5.3.1 Βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκού πλαισίου



Κάθετα σε κάθε λάμα συγκολλείται σωλήνας Φ 3/4" mm σε μήκος σε δύο συμμετρικά ως προς την κοινή πλευρά των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε απόσταση mm . Αυτοί οι τέσσερις σωλήνες (δύο σε κάθε λάμα) σχηματίζουν ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο. Εντός των σωλήνων των Φ 3/4" διέρχεται αξονικά σωλήνας Φ 1/2" μήκους 700 mm και ο οποίος συγκολλάτε "πρόσωπο" με τους άλλους σωλήνες εντός των οποίων φωλιάζει. Πριν να γίνει η συγκόλληση περνιέται σωλήνας ελεύθερος να ολισθαίνει επί του διαμήκους σωλήνα. Αυτός ο σωλήνας είναι όμοιος με αυτούς που έχουν συγκολληθεί στις λάμες και έχει μήκος 80 mm . Επάνω σε αυτόν τον σωλήνα έχει συγκολληθεί το σύστημα της άρθρωσης (σχήμα 5.3.2). Το τελευταίο αποτελείται από στραντζαρισμένο έλασμα σε μορφή U. Στις δύο παρειές έχουν ανοιχτεί οπές μέσα από τις οποίες διέρχεται πείρος γύρω από τον οποίο μπορεί και περιστρέφεται έλασμα ελεύθερα. Αυτό αποτελεί και την άρθρωση. Η προς τα εμπρός κίνηση της άρθρωσης εμποδίζεται από ένα στοπ που έχει συγκολληθεί επάνω στο έλασμα μορφής U. Η κάτω πλευρά του ελάσματος συγκολλείται με τα προεκτάματα της ράχης του αμαξιδίου και τα οποία είναι αποσπώμενα από αυτή. Με την όλη αυτή κατασκευή μπορεί και ολισθαίνει η ηλιακή οροφή επί του αρθρωτού στηρίγματος και μπορεί να σταθεροποιείται σε μία θέση με συγκρατικούς κοχλίες με πεταλούδα.

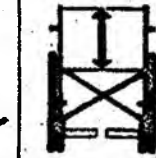
Η δε άρθρωση εξασφαλίζει την περιστροφή της οροφής και τοποθέτηση της πίσω από το αμαξίδιο όπου και συγκρατείται από τα λάστιχα των πίσω τροχών. Για να είναι δε η οροφή εύχρηστη έχει τοποθετηθεί λαβή λίγο περισσότερο προς τα εμπρός και κάτω από την οροφή η οποία είναι καλυμμένη από σπογγώδες υλικό. Εάν δε η οροφή δεν χρειάζεται τότε μπορεί να αποσπαστεί από το αμαξίδιο και τα προεκτάματα της ράχης να αναδιπλωθούν συγκρατούμενα από υποδοχές που έχουν τοποθετηθεί στην πίσω λάμα της οροφής.

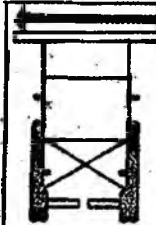
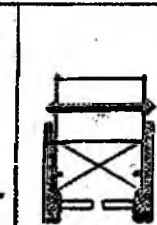
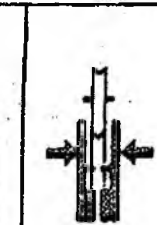


Σχήμα 5.3.2 Άρθρωση βάσης φωτοβολταϊκών

5.4 Διαστάσεις αμαξιδίου

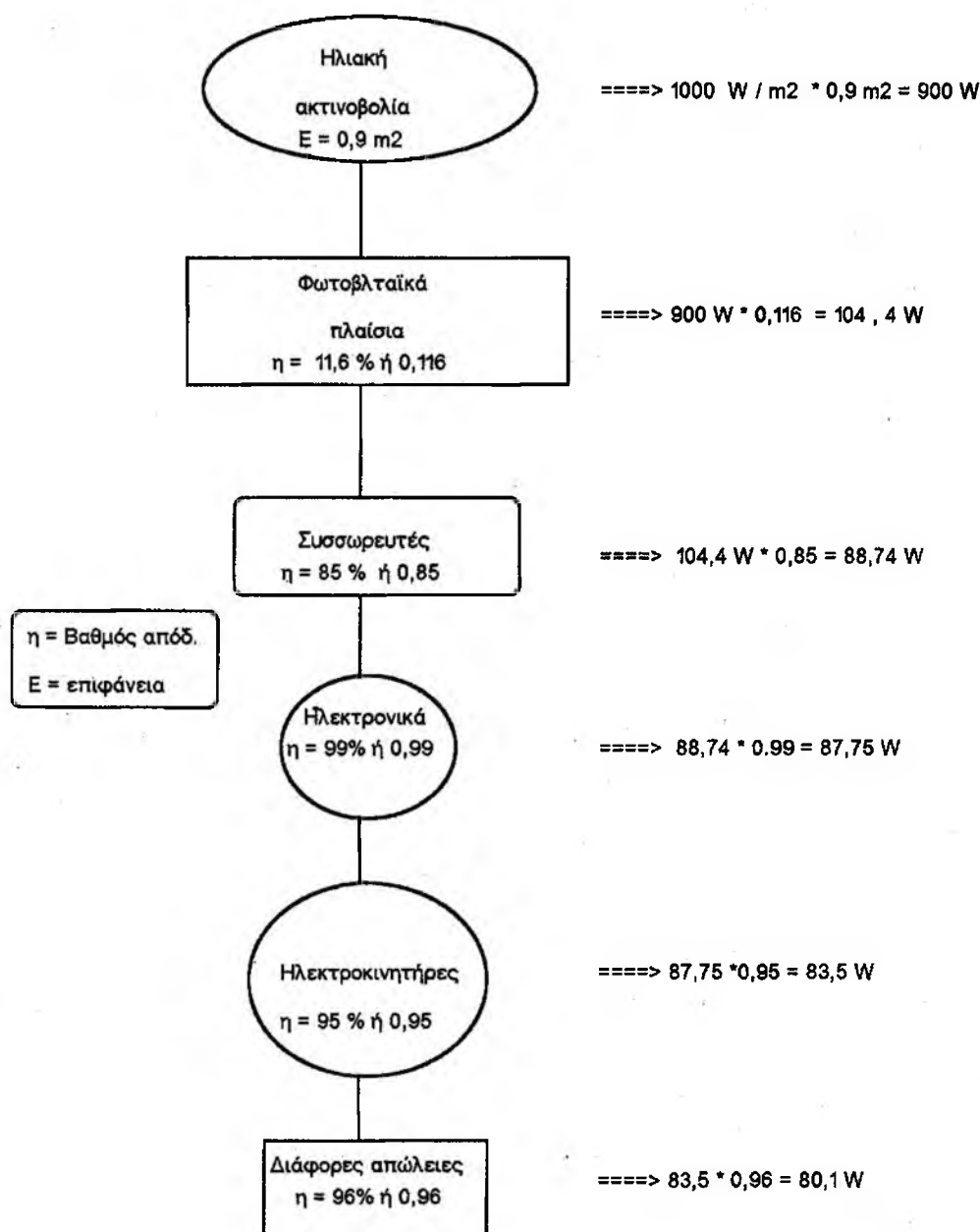
Οι διαστάσεις του αμαξιδίου , οι οποίες φαίνονται στο (σχήμα 5.4.1) είναι τυποποιημένες κατά ISO καθώς και οι διάφορες καμπυλότητες που απαντούνται στην κατασκευή .

					
cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	kg.
50	91	102	44	44	72

					
cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.
91	140	65	48	44	29.5

5.5 Θεωρητικός υπολογισμός του βαθμού απόδοσης του όλου συστήματος

Το ενεργειακό διάγραμμα ροής του αμαξιδίου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Άρα από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο ολικός βαθμός απόδοσης του αμαξιδίου $\eta_{ολ}$ είναι :

$$\eta_{ολ} = \frac{H}{P} = \frac{80,1W}{1000W} = 0,08 \text{ ή } 8\%$$

ή ακόμα ο ολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος μπορεί να υπολογιστεί και ως ακολούθως :

$$\eta_{ολ} = 0,116 * 0,85 * 0,99 * 0,95 * 0,96 = 0,08$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΔΟΚΙΜΕΣ , ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1 Μετρήσεις ταχύτητας

Μετά την κατασκευή του αμαξιδίου έπρεπε αυτό να δοκιμασθεί για να ελεγχθεί η συμπεριφορά που αυτό θα παρουσιάζει κάτω από διάφορες συνθήκες λειτουργίας .

Ένας πρώτος έλεγχος που έγινε αφορούσε την ταχύτητα που θά μπορούσε να αναπτύξει το αμαξίδιο . Οι μετρήσεις έγιναν στο χώρο του ΤΕΙ Πειραιά την 28η Μαΐου 1995 .

Συγκεκριμένα έγιναν οι ακόλουθες μετρήσεις :

6.1.1. Μέτρηση μέγιστης ταχύτητας στο οριζόντιο επίπεδο

Ο χειριστής του αμαξιδίου ζύγιζε 85 Kg και σε οριζόντιο και ομαλό έδαφος , μεταξύ του Γ και του Β κτιρίου , ανέπτυξε ταχύτητα 3 Km/h .

6.1.2 Μέτρηση μιάς μέσης ταχύτητας μετακίνησης

Το αμαξίδιο με άτομο βάρους 85 Kg έκανε ένα πλήρες κύκλο , γύρω από τις κτηριακές εγκαταστάσεις του ΤΕΙ . Η διαδρομή που καλύφθηκε ήταν μήκους 830 m περίπου και ξεκίνησε έξω από το κτίριο της Τεχνικής υπηρεσίας για να καταλήξει και πάλι στο σημείο εκκίνησης , με κατεύθυνση κατ 'αρχάς προς Δυσμάς . Ο χρόνος διδρομής ήταν ίσος πρὸς 18 min με μέση ωριαία ταχύτητα 2,7 Km/h . Σε αυτό το χρόνο περιέχεται και η χρονική καθυστέρηση που επροκαλείτο από τις τεχνικές ανωμαλίες του δρόμου , π.χ. τα σαμαράκια . Για να ξεπεραστούν αυτές ο χειριστής υποχρεούταν σε ελάττωση ταχύτητας με αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου μετακίνησης , σημειώνεται ότι το αμαξίδιο προσπέλασε όλα τα σαμαράκια που συνάντησε κατά την διάρκεια της διαδρομής χωρίς καμία εξωτερική βοήθεια .

6.1.3 Μέτρηση ταχύτητας υπό κλίση

Ο ίδιος χειριστής , βάρους 85 Kg , ανέβηκε και κατέβηκε την υπό 4 μοίρες κλίση του δρόμου μεταξύ του Μηχανολογικού II και του γηπέδου καλαθόσφαιρας που βρίσκεται ανατολικά του εργαστηρίου . Ο χρόνος ανόδου ήταν 38 sec με μέση ταχύτητα 750 m/h ενώ ο χρόνος καθόδου ήταν 23 sec και η μέση ταχύτητα 1100 m/h .

6.2 Κινητική συμπεριφορά

Κατά την διάρκεια των δοκιμών έγιναν κάποιες μετρήσεις κινητικής συμπεριφοράς του αμαξιδίου. Αυτές έγιναν χωρίς να είναι προσαρμοσμένα τα φωτοβολταϊκά στο αμαξίδιο και με χειριστή βάρους 93 Kg , δηλαδή συνολικό βάρος αμαξιδίου και χειριστή ίσο με 150 Kg .

6.2.1 Εκκίνηση σε οριζόντιο επίπεδο

Οι μετρήσεις έγιναν στον εσωτερικό διάδρομο του Γ κτηρίου . Είχαμε προς τα εμπρός ξεκίνημα με 7 sec χρόνο ανάπτυξης μέγιστης ταχύτητας και 3 m αντίστοιχη απόσταση .

Προς τα πίσω ξεκίνημα είχαμε χρόνο ανάπτυξης μέγιστης ταχύτητας 5 sec και 2 m απόσταση .

Από στάση μιά πλήρης στροφή , ο ένας τροχός μπλοκαρισμένος , κράτησε 6 sec ενώ μιά πλήρης στροφή , και οι δύο τροχοί κινούνταν αντίθετα ο ένας από τον άλλο , κράτησε 4.3 sec .

6.2.2 Πέδηση με την χρήση ηλεκτροκινητήρων

Η πέδηση του αμαξιδίου γίνεται με την βοήθεια του χειριστηρίου , βγάζοντας εκτός τάσης τους δύο κινητήρες . Καλό είναι να γίνεται όσο πιο ομαλά μπορεί το σταμάτημα του αμαξιδίου . Ένα ομαλό σταμάτημα από την μέγιστη ταχύτητα έδωσε χρόνο πέδησης 2,5 sec σε απόσταση 1 m ενώ ένα απότομο σταμάτημα γίνεται σχεδόν ακαριαία 1 sec σε απόσταση 0.5 m . Το αμαξίδιο έκανε πέδηση , ηλεκτρικό φρενάρισμα , και σε κατηφόρα κλίσης 11 μοιρών όπου είχαμε σε απόσταση 2 m μπλοκάρισμα των τροχών .

6.3 Ικανότητα ανάβασης

Το αμαξίδιο δοκιμάσθηκε σε κίνηση υπό διάφορες κλίσεις και έγινε μέτρηση του φορτίου που αυτό μπορεί να μεταφέρει ώστε να κινείται , με τα φωτοβολταϊκά προσαρμοσμένα σε αυτό . Τα αποτελέσματα της δοκιμής αυτής φαίνονται στον (πίνακα 6.3.1) .

Σημειώνεται ότι η μέγιστη ικανότητα υπερπήδησης εμποδίου , σκαλοπατιού , είναι τα 6 cm .

Κλίση (μοίρες)	Φορτίο (Kg)
0	120
4	95
6.25	45
11	5 (μόνο το ίδιο βάρος του)

Πίνακας 6.3.1

6.3 Δοκιμή αυτονομίας

Κατά την διάρκεια των δοκιμών έγινε δοκιμή αυτονομίας του αναπηρικού αμαξιδίου χωρίς τα φωτοβολταϊκά να είναι προσαρμοσμένα , αυτό έγινε για να δούμε κατά πόσο μπορεί να αντέξει το αμαξίδιο χωρίς να έχουμε φόρτιση των συσσωρευτών του . Στόχος της δοκιμής αυτής ήταν να γίνει εκφόρτιση των συσσωρευτών προς τους κινητήρες όταν οι τελευταίοι εργάζονταν υπό πλήρες φορτίο με αυξημένη θερμοκρασία περιβάλλοντος . Η δοκιμή αυτή πραγματοποιήθηκε στις 28 Μαΐου 1995 με θερμοκρασία περιβάλλοντος 35 C και περιλάμβανε κίνηση του αμαξιδίου γύρω από τις κτηριακές εγκαταστάσεις του ΤΕΙ με ανάβαση δρόμων υπό κλίση , μπλοκάρισμα τροχών , υπερπήδηση εμποδίων ύψους μέχρι και 6 cm , αλλαγές φοράς περιστροφής κινητήρων , αυξημένο μεταφερόμενο φορτίο και πέδηση τροχών . Η όλη δοκιμή διάρκεσε 100 min και ανά τακτά χρονικά διαστήματα των 5 min γινόταν μέτρηση της τάσης των συσσωρευτών .

Κατά το ξεκίνημα της δοκιμής η τάση ήταν 25.2 Volt ενώ μετά 30 min λειτουργίας έπεσε στα 24,9 Volt μένωντας σταθερή καθ'όλη την διάρκεια της δοκιμής . Στην συνέχεια η συστοιχεία συνδέθηκε με τον φορτιστή για φόρτιση . Ο χρόνος φόρτισης ήταν 32 min με τάση φόρτισης 25.9 Volt και με μέσο ρεύμα 9 A.

Συνεπώς η καταναλισκόμενη ενέργεια που αναπληρώθηκε από τον φορτιστή ήταν ίση με :

$$E_k = 25.9 \text{ V} \cdot 9 \text{ A} \cdot (32/60) = 125 \text{ Wh} = 0.45 \text{ MJ} \quad (6.3.1)$$

Η ανά ώρα κατανάλωση του αμαξιδίου είναι :

$$E_{κω} = (60/100) * 0.45 = 0.27 \text{ MJ} \quad (6.3.2)$$

Η ενέργεια που μπορεί να αποδώσει ο συσσωρευτής είναι ίση με :

$$E = C * V = 55 \text{ Ah} * 12 \text{ V} = 660 \text{ Wh} = 2.376 \text{ MJ} \quad (6.3.3)$$

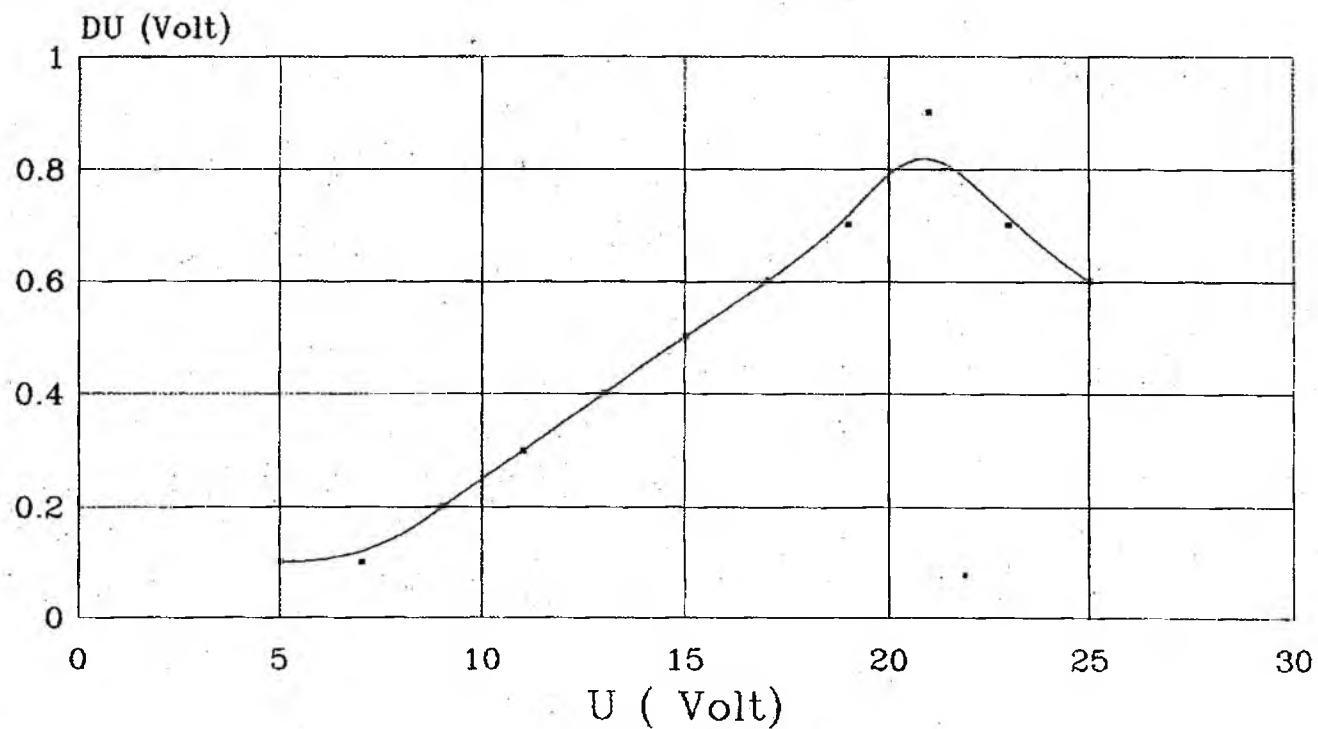
Άρα με αυτές τις σκληρές συνθήκες λειτουργίας η αυτονομία του αμαξιδίου θα είναι:

$$T = E/E_{κω} = 2,376/0,27 = 8,8 \text{ h} \quad (6.3.4)$$

6.4 Επιτρεπόμενη εκφόρτιση συστοιχείας συσσωρευτών

Η επιτρεπόμενη εκφόρτιση της συστοιχείας ανέρχεται σε 10 % . Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να σταματά η εκφόρτιση όταν η τάση ανά στοιχείο φθάσει τα 1.8 Volt ή η τάση της συστοιχείας φθάσει τα 21,6 Volt . Λόγω όμως ενός φαινομένου βύθισης της τάσης που παρατηρείται κατά το μπλοκάρισμα του τροχού από υψηλό φορτίο (σχήμα 6.4.1) καλό θα είναι να έχουμε τάση 22.5 Volt ελάχιστη . Έτσι μόλις φθάσουμε σε αυτή την τιμή της τάσης θα πρέπει να φορτίσουμε τον συσσωρευτή με τον φορτιστή .

$$DU=f(U)$$



— $DU=f(U)$

Σχήμα 6.4.1

6.5 Μετρήσεις κινητήρων

Μετά την προσαρμογή των κινητήρων στους τροχούς ήταν επιτακτική η ανάγκη μέτρησης των διαφόρων μεγεθών των κινητήρων όταν αυτοί πλέον θα έπρεπε να ανταποκριθούν στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας τους .

Δίνοντας το μέγιστο της τάσης στους κινητήρες μετρήσαμε την ένταση του ρεύματος λειτουργίας για κάθε ένα (πίνακας 6.5.1) :

Λειτουργία αμαξιδίου	Ένταση κινητήρα (A)
Εκκίνηση	5.37
Κανονική λειτουργία	1.13
Στροφή	3.5 - 4
Εκκίνηση όπισθεν	4.22
Κανονική λειτουργία όπισθεν	0.48
Μέγιστο ρεύμα (υπό φορτίο, ανηφόρες)	6.22
Περιστροφή	2,23

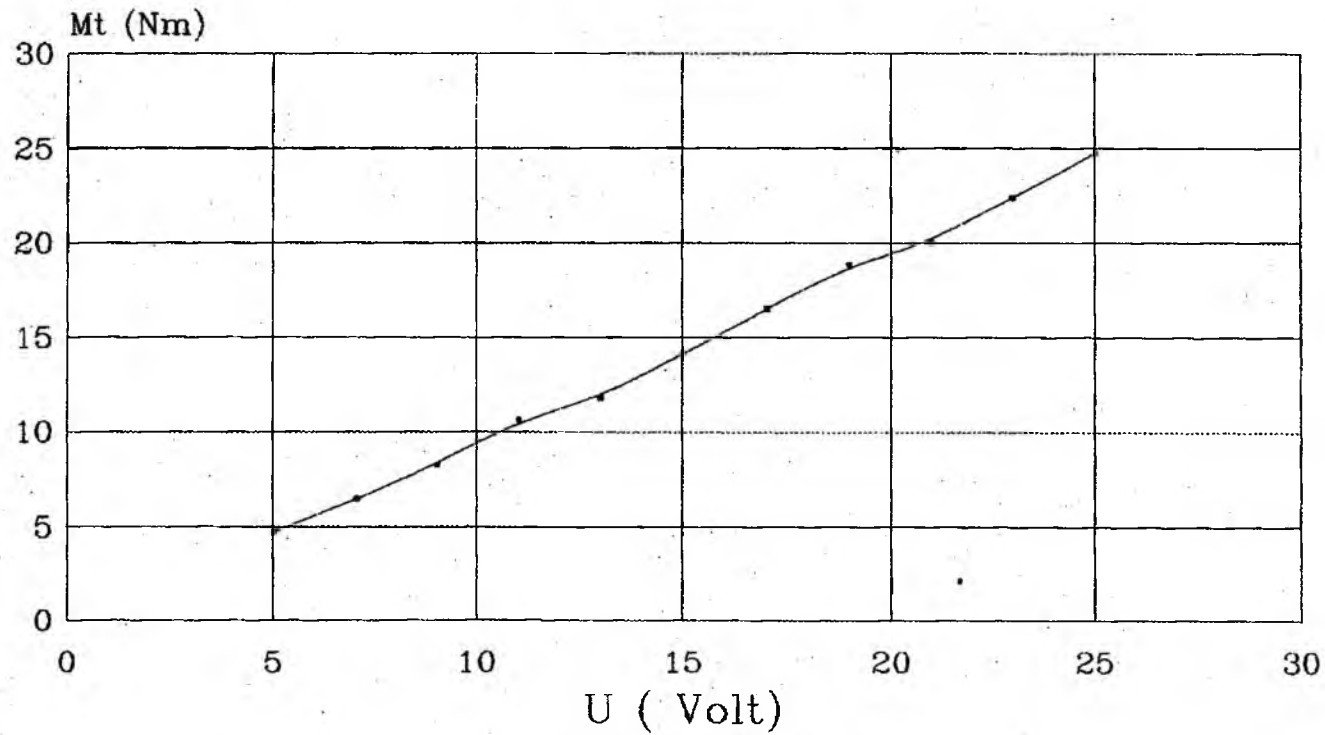
Πίνακας 6.5.1

Ακολουθώντας μετρήσαμε την δύναμη μπλοκαρίσματος του τροχού σε απόσταση 24 cm από τον άξονα περιστροφής του τροχού , για μέτρηση της ροπής , (σχήμα 6.5.1) , που δίνει ο κινητήρας . Αυτό έγινε για διάφορες τάσεις λειτουργίας του κινητήρα , (πίνακας 6.5.2).

H I (W)	I (A)	U (Volt)	P=U*I (W)	P/H I
117	0.31	25.5	7.905	6.74
154	0.53	25.5	13.515	8.77
471	1.72	25.4	43.688	9.27
522	1.96	25.5	49.988	9.57
656	2.42	25.7	62.194	9.48
792	2.76	25.7	70.932	8.96
911	3.02	25.8	77.916	8.47

Πίνακας 6.5.2

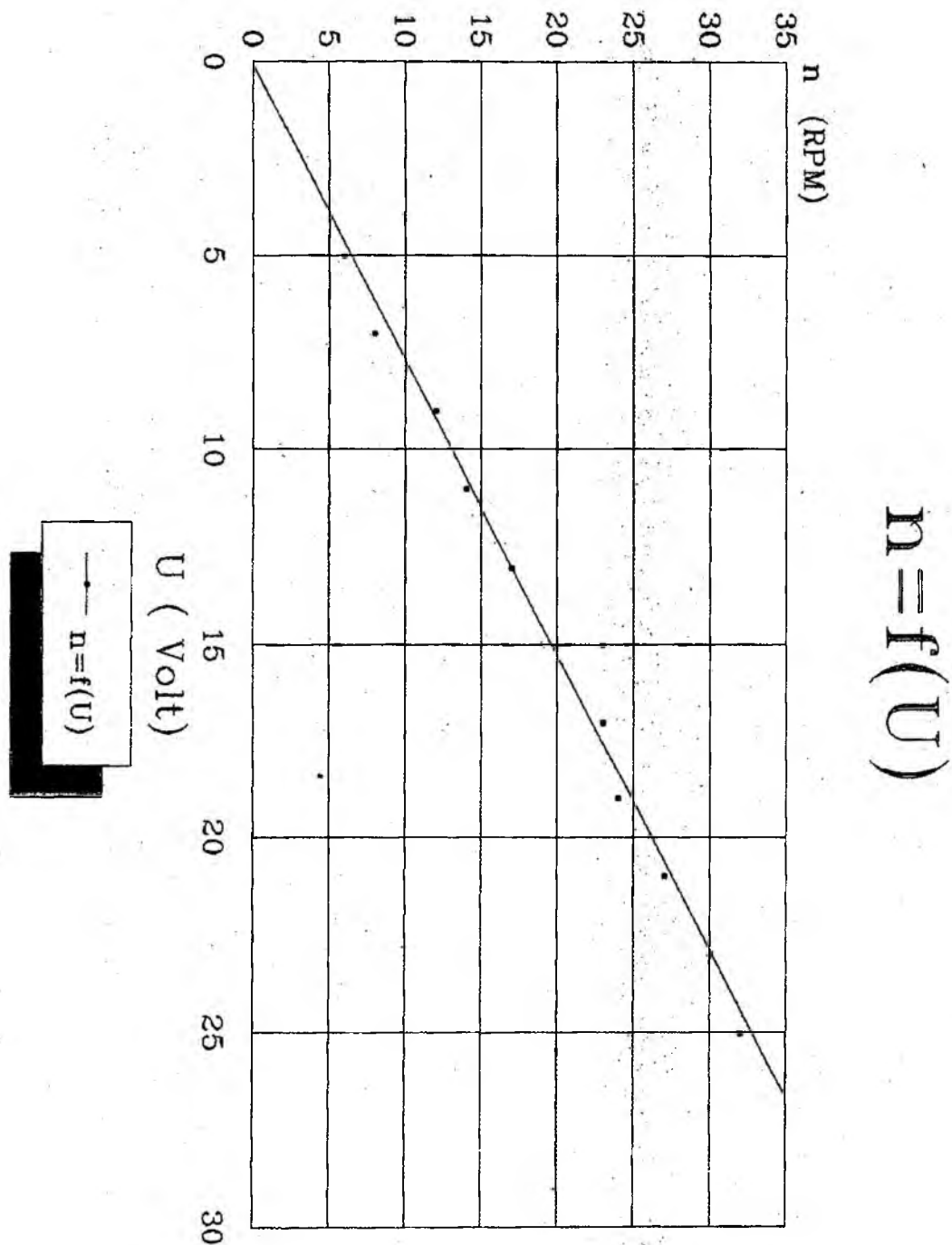
$$M=f(U)$$



$n=f(U)$

Σχήμα 6.5.1

Οι δύο κινητήρες είναι όμοιοι . Ταυτόχρονα μετρήθηκαν οι στροφές που δίδει ο τροχός σε άφορτη λειτουργία , (σχήμα 6.5.2) και (πίνακας 6.5.2)



Σχήμα 6.5.2

U (Volt)	n (RPM)	M (Nm)	ΔU (Volt)
5	6	4.70	0.1
7	8	6.17	0.1
9	12	8.24	0.2
11	14	10.59	0.3
13	17	11.57	0.4
15	23	14.12	0.5
17	23	16.48	0.6
19	24	18.83	0.7
21	27	20.01	0.9
23	30	22.36	0.7
25	32	24.72	0.6

Πίνακας 6.5.2

Αμέσως μετά μετρήθηκε η βύθιση τάσεως που προκαλούν οι κινητήρες στους ακροδέκτες του συσσωρευτή όταν μπλοκάρεται ο τροχός . Τα αποτελέσματα φαίνονται στον (πίνακα 6.5.2) και στο (σχήμα 6.4.1).

6.6 Μέτρηση συνδυασμού φωτοβολταϊκών μπαταρίας

Στο αμαξίδιο γίνεται η σύνδεση φωτοβολταϊκών πανέλων με τους συσσωρευτές . Μεταξύ φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών παρεμβάλλεται ηλεκτρονική διάταξη που δεν επιτρέπει τη διέλευση του ρεύματος εάν η τάση της συστοιχίας είναι μεγαλύτερη από 24 V για λόγους προστασίας από υπερφόρτιση .

Για να ελεγχθεί η συνεισφορά των φωτοβολταϊκών στη φόρτιση της συστοιχίας έγιναν μετρήσεις που έχουν στόχο τον υπολογισμό της προσδιόμενης ενέργειας από τα Φ/Β στη συστοιχία .

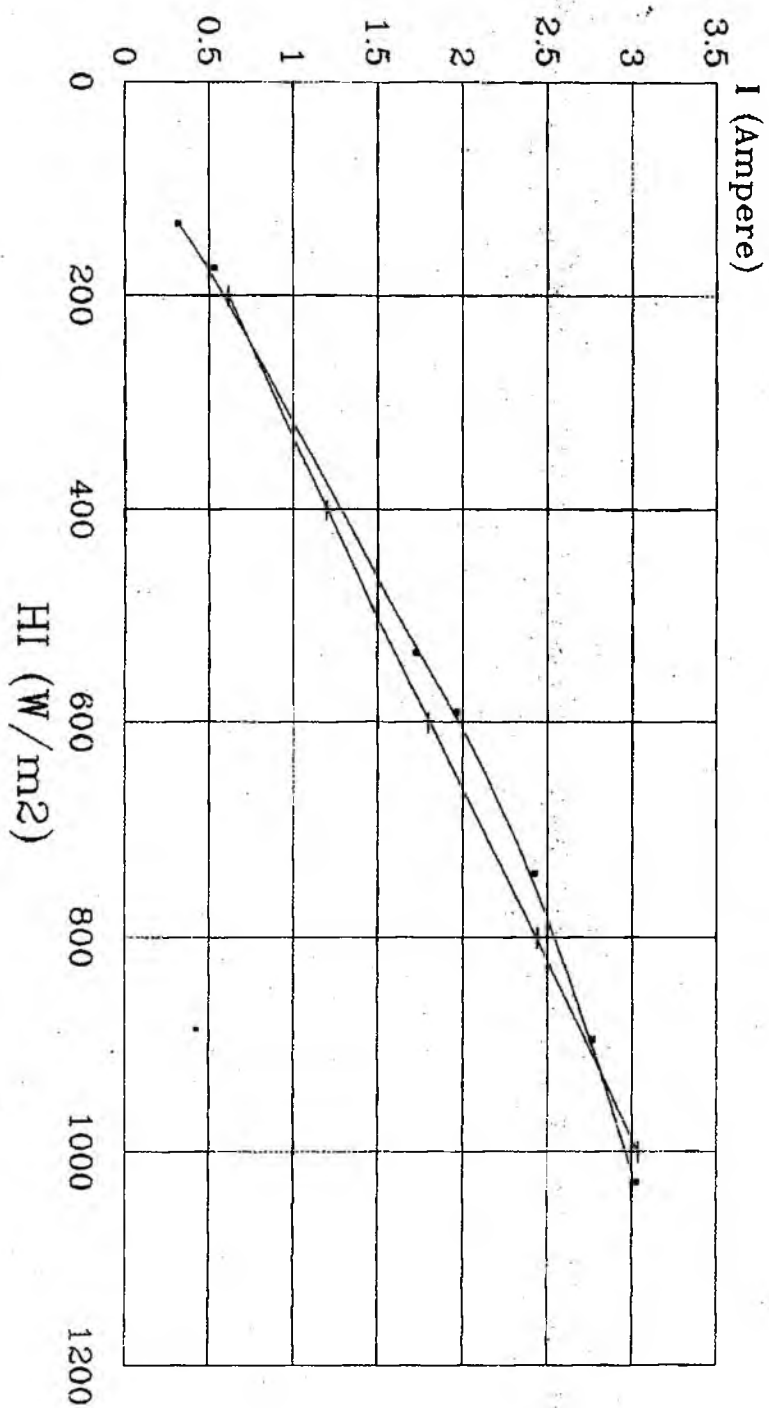
Επειδή οι συσσωρευτές κατά τις μετρήσεις που ήταν πλήρως φορτισμένοι ο βαθμός απόδοσης του συστήματος που υπολογίζεται από

το λόγο της ενέργειας που φορτίζει τους συσσωρευτές προς την ενέργεια που δέχεται το Φ/Β είναι ο δυσμενέστερος για το σύστημα .

Οι μετρήσεις έγιναν την 29 Μαΐου 1995 . Πρίν από τις μετρήσεις πάρθηκε μιά μέτρηση με αφαιρεμένη την κρυσταλλοδίοδο του Φ/Β . Αυτή η μέτρηση αφορούσε το ρεύμα εκφόρτισης της συστοιχίας προς τα Φ/Β και για ακτινοβολία 937 W/m^2 η ένταση του ρεύματος εκφόρτισης έλαβε την τιμή 6.9 A

Στην συνέχεια το αμαξίδιο οδηγήθηκε σε διάφορα σημεία όπου είχαμε διαφορετικές εντάσεις της ηλιακής ακτινοβολίας και μετρήθηκε η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας , το ρεύμα φόρτισης και η τάση στους ακροδέκτες της συστοιχίας . Ακολούθως υπολογίσθηκαν η ισχύς φόρτισης , ο βαθμός απόδοσης του συστήματος Φ/Β συσσωρευτές και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων του κατασκευαστή με την απαραίτητη διόρθωση λόγω θερμοκρασίας . Αυτά τα δεδομένα φαίνονται στον (πίνακα 6.5.2) και τα (σχήματα 6.6.1 , 6.6.2 , 6.6.3 , 6.6.4).

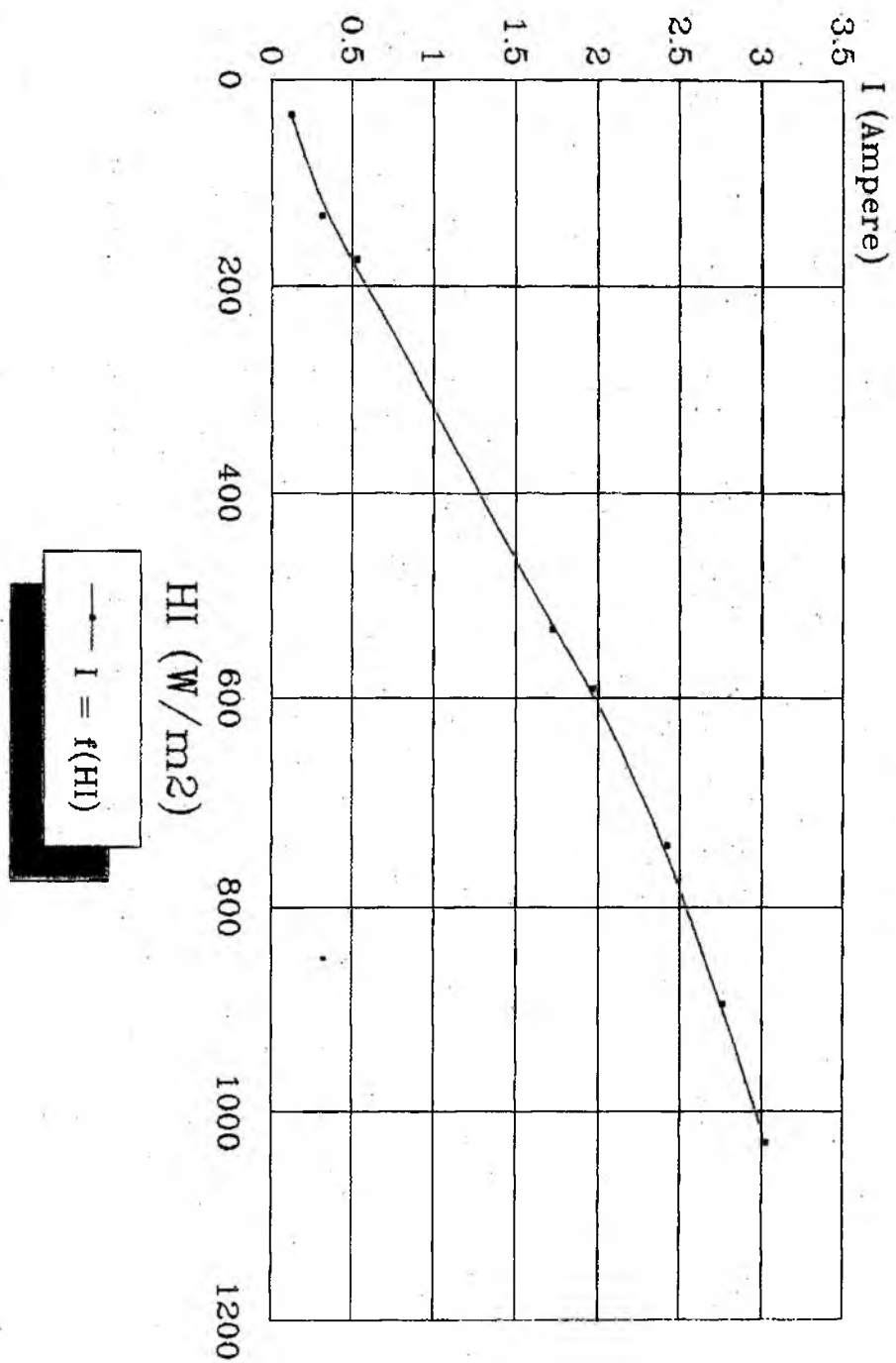
$$I = f(HI)$$



—•— $I = f(HI)$ -+ - $I = f(HI)$ constr.

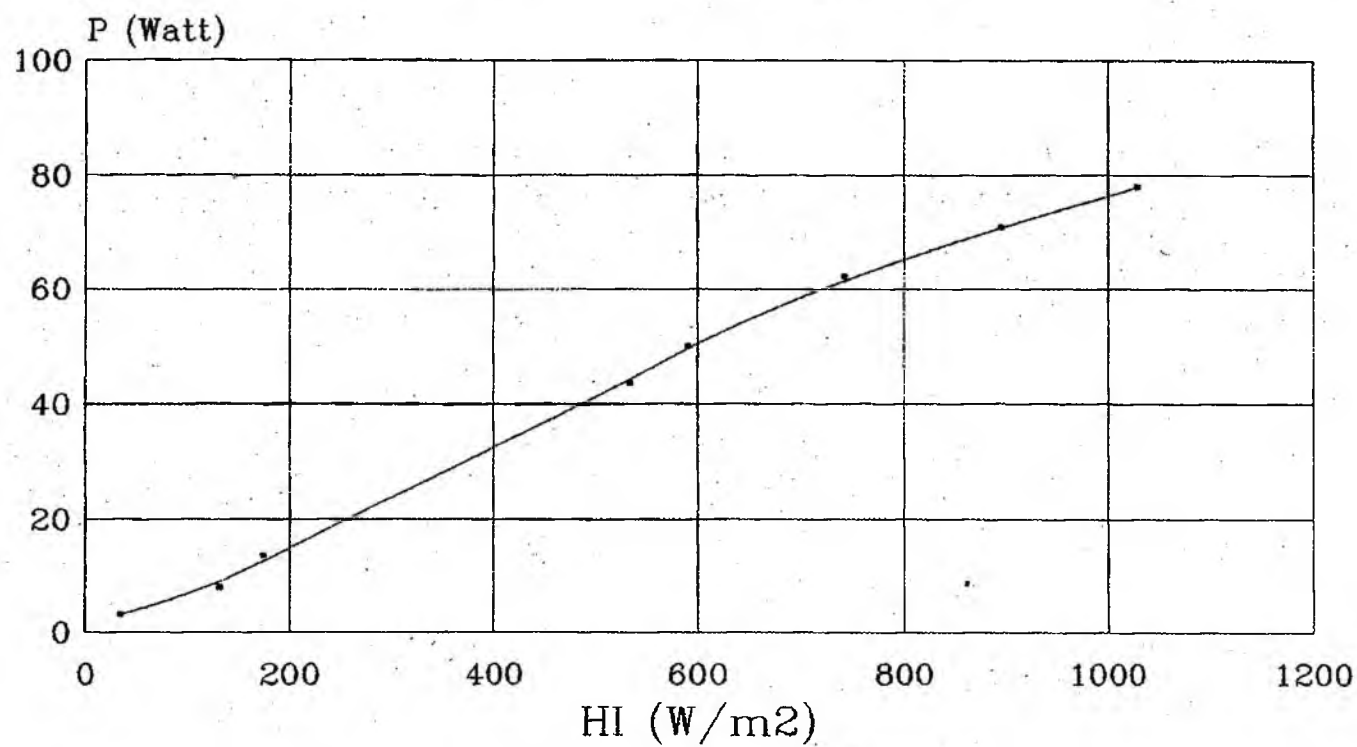
Σχήμα 6.6.1

$$I = f(HI)$$



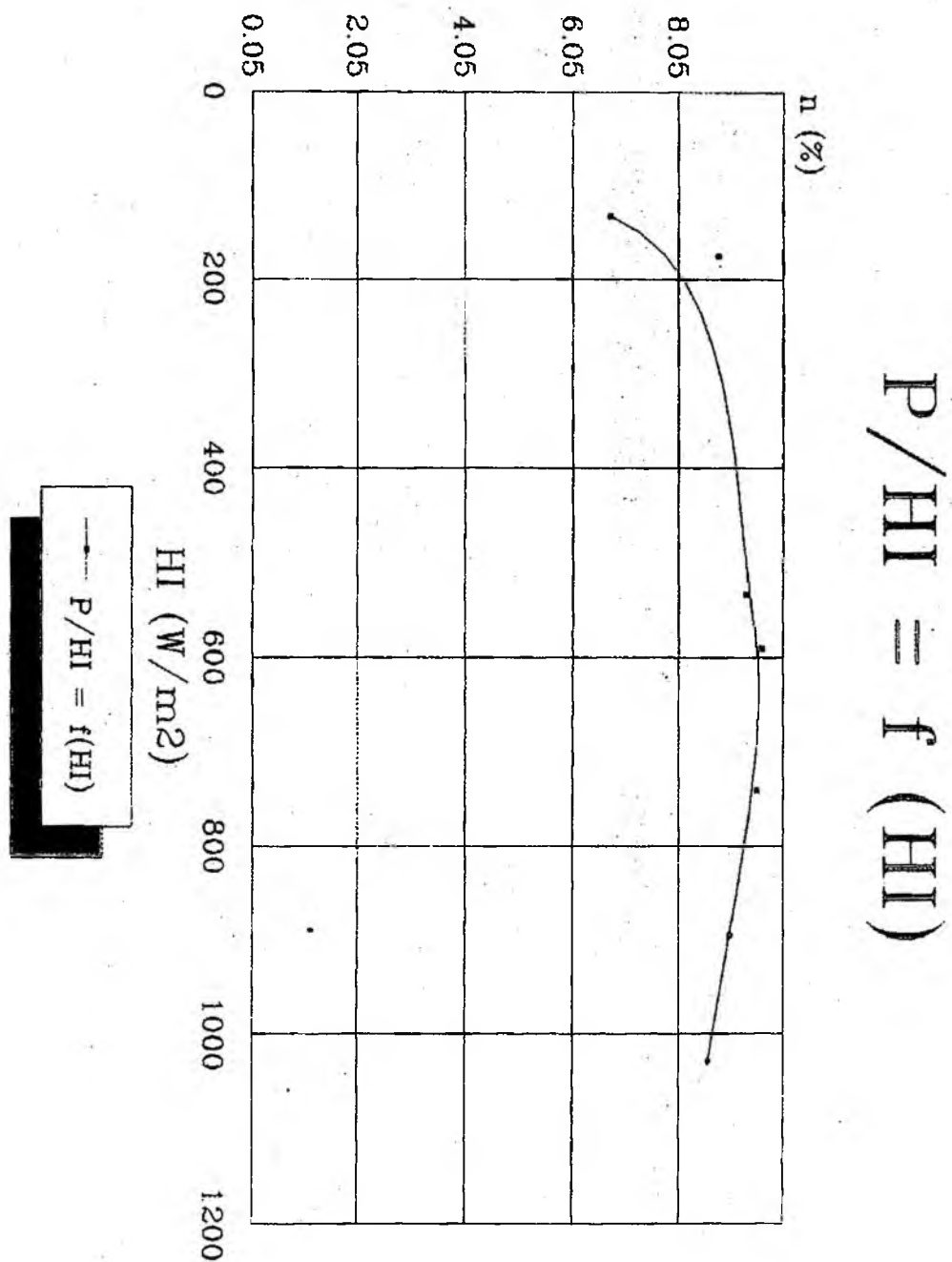
Σχήμα 6.6.2

$$P = f(HI)$$



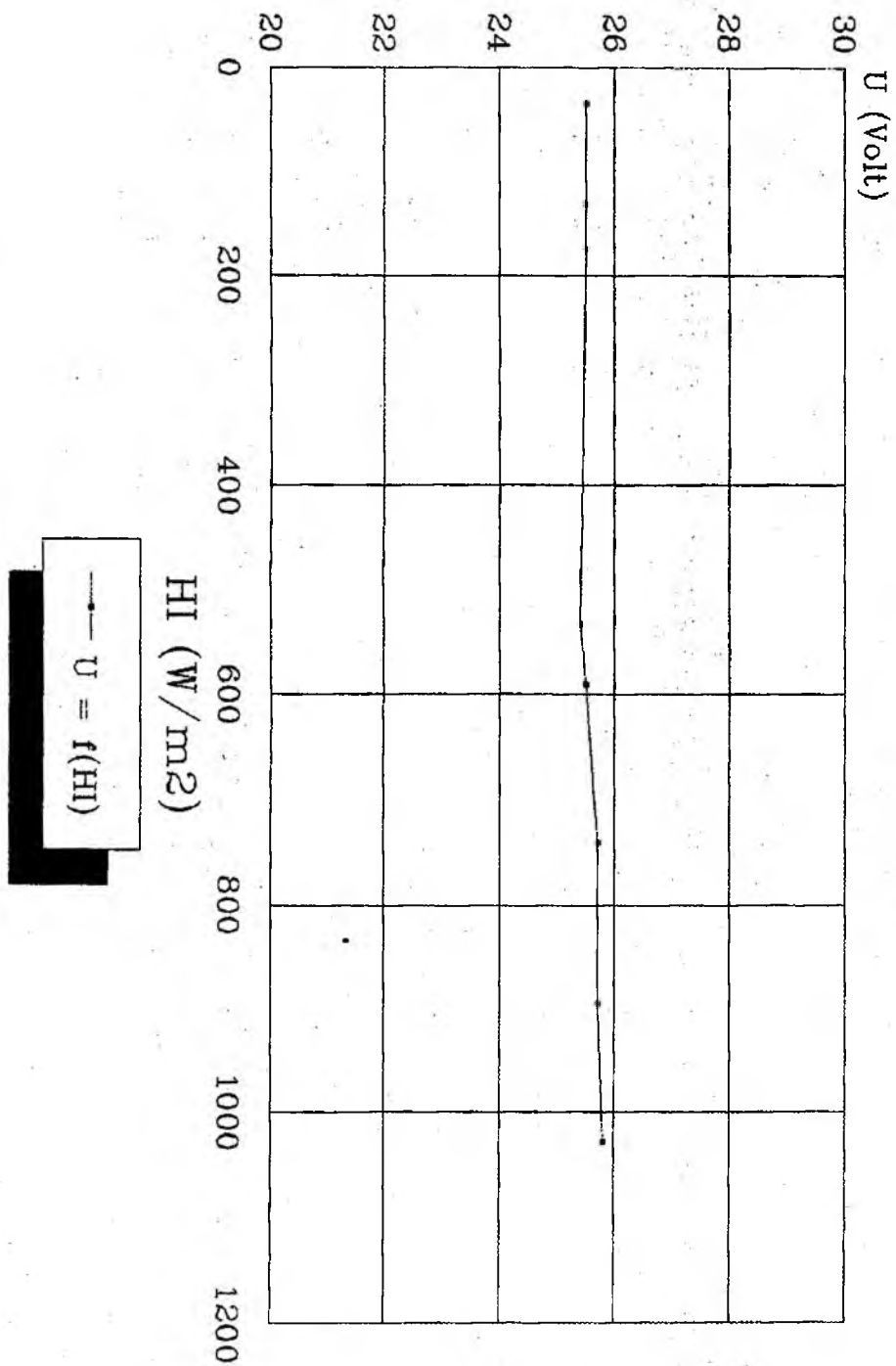
—•— $P = f(HI)$

Σχήμα 6.6.3



Σχήμα 6.6.4

$$U = f(HI)$$



Σχήμα 6.6.5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Συμπεράσματα

Μετά την περάτωση της εργασίας ακολουθεί η γενική εκτίμηση του έργου και η καταγραφή των συμπερασμάτων . Τα συμπεράσματα χωρίζονται σε τεχνικά και οικονομικά .

Ξεκινώντας από τα τεχνικά συμπεράσματα που έχουν να κάνουν με την συνεισφορά των φωτοβολταϊκών στην αυτονομία του αμαξιδίου δίνεται ο πίνακας 7.1 όπου υπολογίζεται για κάθε μήνα με τα στοιχεία από τους πίνακες μέσης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας [6] το ποσοστό συνεισφοράς σε ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά για την κίνηση του αμαξιδίου υπό τρεις διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας .

Από την παράγραφο 6.3.2 προκύπτει ότι η ολική κατανάλωση ενέργειας είναι $0,27 \text{ MJ/h}$ κάτω από δύσκολες συνθήκες λειτουργίας . Συνεπώς για 2h , 3h και 5h εργασίας , που αντιστοιχούν , σε μικρή , μέση και μεγάλη ημερήσια κατανάλωση ενέργειας έχουμε αντίστοιχες ολικές καταναλώσεις $0,54 \text{ MJ/d}$, $0,81 \text{ MJ/d}$ και $1,35 \text{ MJ/d}$ σε ενέργεια .

Η δεύτερη στήλη του πίνακα δίνει την ημερήσια απολαβή ενέργειας των συσσωρευτών από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ενώ οι τρεις

τελευταίες στήλες δίδουν το ποσοστό συνεισφοράς των φωτοβολταϊκών στις γενικές ανάγκες ενέργειας του αμαξιδίου , εάν αυτά βρίσκονται στο εξωτερικό περιβάλλον και επί του αμαξιδίου σε οριζόντια θέση .

Πίνακας 7.1

Μήνας	Καταναλώσεις				
	ΗΙ (MJ/m ² d)	Ε (MJ/d)	E _κ =0,54 (MJ/d)	E _κ =0,81 (MJ/d)	E _κ =1,35 (MJ/d)
Ιαν.	7,94	0,75	100 %	93	56
Φεβ.	9,73	0,92	100 %	100	68
Μαρ.	14,09	1,34	100 %	100	99
Απρ.	19,08	1,81	100 %	100	100
Μάιος	20,80	1,98	100 %	100	100
Ιούν.	25,29	2,40	100 %	100	100
Ιούλ.	24,47	2,32	100 %	100	100
Αυγ.	22,90	2,18	100 %	100	100
Σέπτ.	18,78	1,78	100 %	100	100
Όκτ.	11,75	1,12	100 %	100	83
Νοέμ.	8,35	0,79	100 %	98	59
Δέκ.	5,88	0,56	100 %	69	41

Βλέπουμε ότι το αμαξίδιο είναι πλήρως αυτόνομο για την περίοδο Απριλίου έως και Σεπτεμβρίου ενώ συνάγεται και το συμπέρασμα ότι ξεκινώντας με φορτισμένους τους συσσωρευτές δίνεται για όλη την διάρκεια της ημέρας δυνατότητα κίνησης .

Πίνακας 7.2

Περιγραφή	Ποσοστό συνολικού κόστους (%)
Κινητήρες	7
Καρότσι	13
Συσσωρευτές	8
Φωτοβολταϊκά	45
Προστατευτικό υπερφόρτισης συσσωρευτών	2
Ελεγκτής ταχύτητας	10
Φορτιστής	6
Φις	1
Καλύμματα	2

Το συνολικό κόστος του αμαξιδίου ανήλθε στις 470,000 δρχ με το Φ.Π.Α. . Εξ αυτών οι 250,000 δρχ αφορούν το συνηθισμένο ηλεκτροκίνητο αμαξίδιο ενώ οι 220,000 δρχ τα φωτοβολταϊκά στοιχεία .

Στον παραπάνω πίνακα , (πίνακας 7.2) , φαίνεται το ποσοστό συμμετοχής στο συνολικό κόστος των διαφόρων τμημάτων του αμαξιδίου. Βλέπουμε ότι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυξάνουν κατά πολύ το κόστος του αμαξιδίου , σε τέτοιο βαθμό που είναι προτιμότερη η χρήση ηλεκτρικού ρεύματος για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του αμαξιδίου . Αυτό συνάγεται εξετάζοντας το θέμα με αυστηρά οικονομικά κριτήρια . Εάν όμως ειδωθεί το θέμα από την σκοπιά του χρήστη , δηλ του ανθρώπου που έχει μία σοβαρή κινητική αναπηρία και που το αναπηρικό αμαξίδιο είναι το μοναδικό μέσο μετακίνησης του τότε η αύξηση της ακτίνας δράσης του που επιφέρουν τα Φ/Β είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας ο οποίος στην πραγματικότητα μεταφράζεται στην επιλογή ανεξαρτησίας και αυτονομίας που δίνεται πλέον στον χρήστη.

Σε σημερινές τιμές τα ηλεκτροκίνητα αναπηρικά αμαξίδια ξεκινούν από τις 1,200,000 δρχ και φθάνουν σε πολύ υψηλότερες τιμές . Εάν τώρα

σε αυτά προστεθεί μια οροφή από Φ/Β τότε με μία αύξηση του κόστους κατά 25 % περίπου επιτυγχάνεται μία μεγαλύτερη αυτονομία και ανεξαρτησία κινήσεων που για ορισμένους ανθρώπους κρίνεται απαραίτητη.

Στην παρούσα εργασία το ηλεκτροκίνητο μέρος του αμαξιδίου ανήλθε στις 250,000 δρχ , δηλ περίπου το 20 % του κόστους ενός αναπηρικού αμαξιδίου του εμπορίου το οποίο εισάγεται απο το εξωτερικό , κυρίως την Ιταλία . Το χαμηλό κόστος κατασκευής του αμαξιδίου δίνει την δυνατότητα δημιουργίας μίας βιοτεχνίας που θα παράγει ηλεκτροκίνητα αναπηρικά αμαξίδια . Το κόστος μιας βιοτεχνίας ανέρχεται γύρω στα 25,000,000 δρχ υπό την προϋπόθεση ότι θα κάνει αγορά των κινητήρων των οποίων το κόστος θα ανέρχεται στις 200,000 δρχ . Συνεπώς ένα τέτοιο αμαξίδιο θα έχει κόστος κατασκευής 400,000 δρχ .

Έτσι το τελικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι θα μπορούσε να γίνει κατασκευή ηλεκτροκίνητων αναπηρικών αμαξιδίων εάν γίνονταν οι κατάλληλες επενδύσεις κερδίζοντας έτσι η χώρα κατά πολύ λόγω μη διαφυγής πολύτιμου συναλλάγματος .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **PHOTOVOLTAIC SYSTEM TECHNOLOGY**
A European HandBook
M.S. IMAMURA , P. HELM , W. PALZ
Commission of the European Communities 1992
2. **ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ**
ΣΠΥΡΟΥ Ν. ΒΑΣΙΛΑΚΟΠΟΥΛΟΥ
Ευγενίδιο Ίδρυμα 1991
3. **ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ**
Κ. ΚΑΓΚΑΡΑΚΗ
Συμμετρία 1987
4. **ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**
Κ. ΜΠΑΛΑΡΑ
ΤΕΙ Πειραιά 1992
5. **ΣΧΕΔΙΟ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ (ΕΛ.Ο.Τ.)**
DIN 41772
6. **ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ : Μετρήσεις έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας** στο κατακόρυφο και οριζόντιο επίπεδο για την περιοχή των Αθηνών
Π. Σ. ΚΟΡΩΝΑΚΗΣ
Εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας ΙΟΥΛΙΟΣ 1994
7. **ΦΥΛΛΑΔΙΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ Φ/Β KYOCERA**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΟΔΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΕΩΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

1. Χρήση

Έχοντας το αμαξίδιο σε θέση χρήσης , ανοικτό με τους συσσωρευτές συνδεδεμένους , μπλοκάρουνται με τα μηχανικά φρένα οι ρόδες . Ο γενικός διακόπτης τίθεται σε θέση OFF καθώς και οι δύο μοχλοί διεύθυνσης . Εάν τα φωτοβολταϊκά είναι προσαρμοσμένα επάνω στο αμαξίδιο τοποθετούνται σε όρθια θέση πίσω στην πλάτη .

Ακολουθώντας ο χειριστής λαμβάνει τη θέση χρήσης . Εάν τα φωτοβολταϊκά είναι επάνω στο αμαξίδιο τα τοποθετούμαι στην θέση λειτουργίας τους , επάνω από το κεφάλι του χειριστή δηλαδή σαν σκεπή . Ακολουθώντας ελευθερώνονται τα μηχανικά φρένα . Το αμαξίδιο είναι έτοιμο για χρήση.

Πρίν από όλα τίθεται ο γενικός διακόπτης σε θέση ON . Ο διακόπτης αυτός είναι παράλληλα και δικλείδα ασφαλείας μιάς και σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης πιέζεται και το αμαξίδιο ακινητοποιείται . Η διεύθυνση κίνησης ορίζεται από τους δύο κόκκινους διακόπτες που βρίσκονται επάνω στο χειριστήριο . Η ταχύτητα κίνησης ορίζεται από την θέση των δύο μαύρων λεβιέδων , συρώμενα ποτενσιόμετρα. Η σχετική θέση αυτών των τεσσάρων στοιχείων ορίζει και την κίνηση του αμαξιδίου . Για να αλλάξει η θέση των διακοπών θα πρέπει οι λεβιέδες να βρίσκονται

σε θέση min . Επίσης καλό θα είναι οι μεταβολές στη θέση των λεβιέδων να γίνονται με ήρεμο και ομαλό τρόπο , π.χ. να έχουμε ομαλή εναλλαγή φοράς περιστροφή των κινητήρων . Μετά την χρήση ο γενικός διακόπτης τίθεται σε θέση OFF.

Το αμαξίδιο μπορεί να μετατραπεί κατά βούληση σε χειροκίνητο . Αυτό γίνεται με την απόσπαση των πείρων ασφαλείας από τους κινητηρίους τροχούς . Χωρίς τους πείρους το αμαξίδιο στερείται ηλεκτρομηχανικής πέδησης οπότε μπορεί να φρενάρει μόνον με την χρήση των μηχανικών , χειροκίνητων , φρένων .

2 Προετοιμασία αμαξιδίου προς μεταφορά αποθήκευση

Το αμαξίδιο έχει σχεδιασθεί έτσι ώστε να είναι δυνατή η μεταφορά του με αυτοκίνητο . Προς τούτο έχει κατασκευαστεί σπαστό ώστε να καταλαμβάνει όσο το δυνατόν λιγότερο όγκο . Τα επί μέρους στοιχεία αποσπώνται από την φέρουσα κατασκευή .

2.1 Διαδικασία απόσπασης φωτοβολταϊκών

Μπλοκάρονται οι τροχοί με τα μηχανικά φρένα . Λύνεται η ηλεκτρική σύνδεση τραβώντας το βύσμα που βρίσκεται στη ράχη του αμαξιδίου . Ξεβιδώνεται οι πεταλούδες τόσο ώστε να είναι εύκολη η μετακίνηση του φωτοβολταϊκού επάνω στην βάση του . Ακολούθως τοποθετούνται με μία κίνηση τα φωτοβολταϊκά πίσω από την ράχη του αμαξιδίου . Σφίγγουμε τους κοχλίες και με μία προς τα επάνω κίνηση αφαιρούμε τα φωτοβολταϊκά από το αμαξίδιο . Οι σωλήνες που στηρίζουν τη βάση τοποθετούνται στις θήκες τους για να μην ταλαντεύονται . Τα φωτοβολταϊκά είναι έτοιμα προς μεταφορά ή αποθήκευση με την δέουσα προσοχή που θα πρέπει να δοθεί σε μία τέτοια διαδικασία .

2.2 Διαδικασία απόσπασης συσσωρευτών

Αφαιρούνται οι ημιδακτύλιοι που συγκρατούν το κάλυμμα των συσσωρευτών στο αμαξίδιο . Προσεγγίζονται οι ηλεκτρικές συνδέσεις οι οποίες λύνονται . Αφαιρούνται οι πείροι που συγκρατούν του συσσωρευτές και οι συσσωρευτές τραβιούνται από την λαβή προς τα έξω. Η βάση μετακινείται επάνω στις ρόδες της ενώ οι πείροι και οι ημιδακτύλιοι καλό είναι να φυλάσσονται .

Μετά από τις προηγούμενες ενέργειες το αμαξίδιο κλείνεται τραβώντας το κάθισμα προς τα πάνω και πιέζοντας τους βραχίονες προς τα μέσα . Είναι δυνατή πλέον η μεταφορά του ή η αποθήκευση του .

3. Συντήρηση

Η όλη συντήρηση του αμαξιδίου έχει να κάνει με τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και με τους συσσωρευτές . Γιά τα μεν φωτοβολταϊκά η συντήρηση έγκειται μόνον στον καθαρισμό της επιφάνειας τους από την σκόνη . Γιά τους συσσωρευτές θα πρέπει να γίνονται οι ακόλουθες ενέργειες :

Εάν σβήσει το πράσινο λαμπάκι στο χειριστήριο εντελώς και ανάβει μόνον το κόκκινο τότε οι συσσωρευτές χρειάζονται φόρτιση . Γιά να φορτιστούν οι συσσωρευτές συνδέεται το κόκκινο καλώδιο του συσσωρευτή με το θετικό πόλο της συστοιχείας και το μαύρο με τον αρνητικό . Επιλέγεται από τα αντίστοιχα κομβία του φορτιστή η θέση 2 και τροπος φόρτισης αυτό . Αφήνεται ο φορτιστής να φορτίζει τους συσσωρευτές και όταν αυτοί φορτιστούν τότε ο φορτιστής θα διακόψει την φόρτιση από μόνος του .

Εάν το αμαξίδιο μείνει αποθηκευμένο για αρκετό χρονικό διάστημα τότε κάθε 40 έως 50 ημέρες καλό είναι να λειτουργούν οι κινητήρες του έστω και χωρίς φορτίο , δηλαδή χωρίς τους πείρους , για μισή με μιά

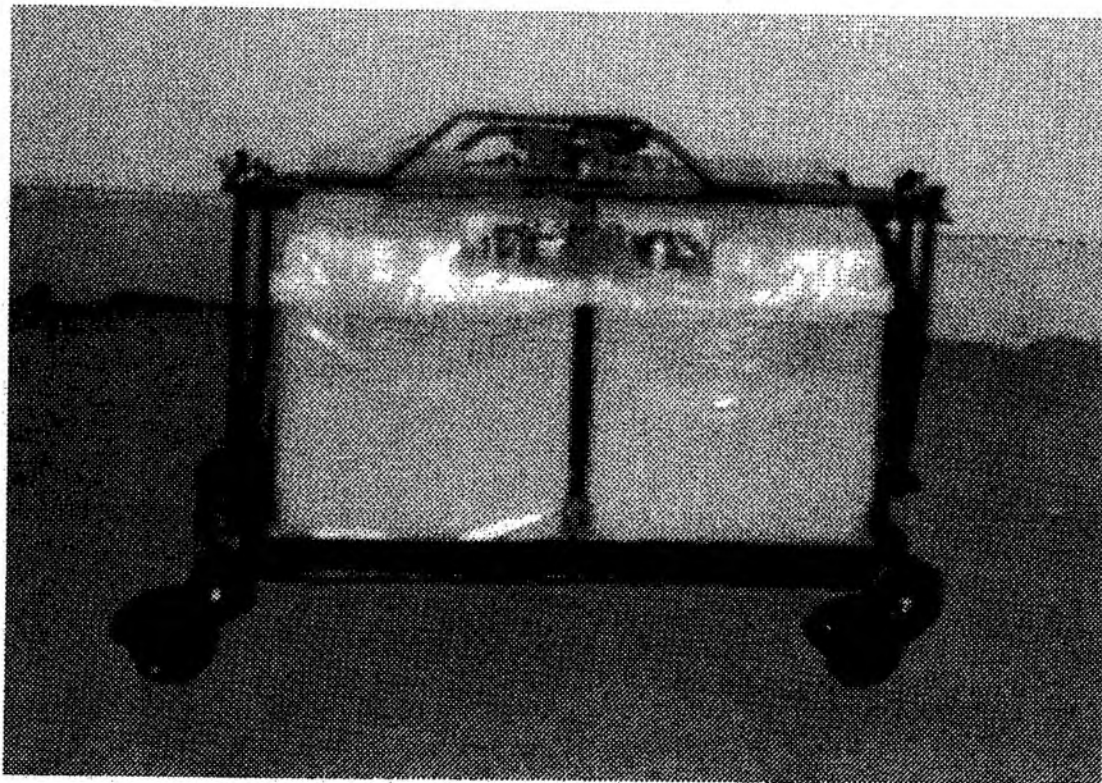
ώρα. Στην συνέχεια θα πρέπει να επακολουθήσει φόρτιση των συσσωρευτών με τον φρτιστή , εάν αυτό απαιτείται .

Όταν θα συμπληρώνεται ένας μήνας λειτουργίας θα πρέπει να ελέγχεται η στάθμη των υγρών των συσσωρευτών και αν χρειάζεται να συμπληρώνονται υγρά .

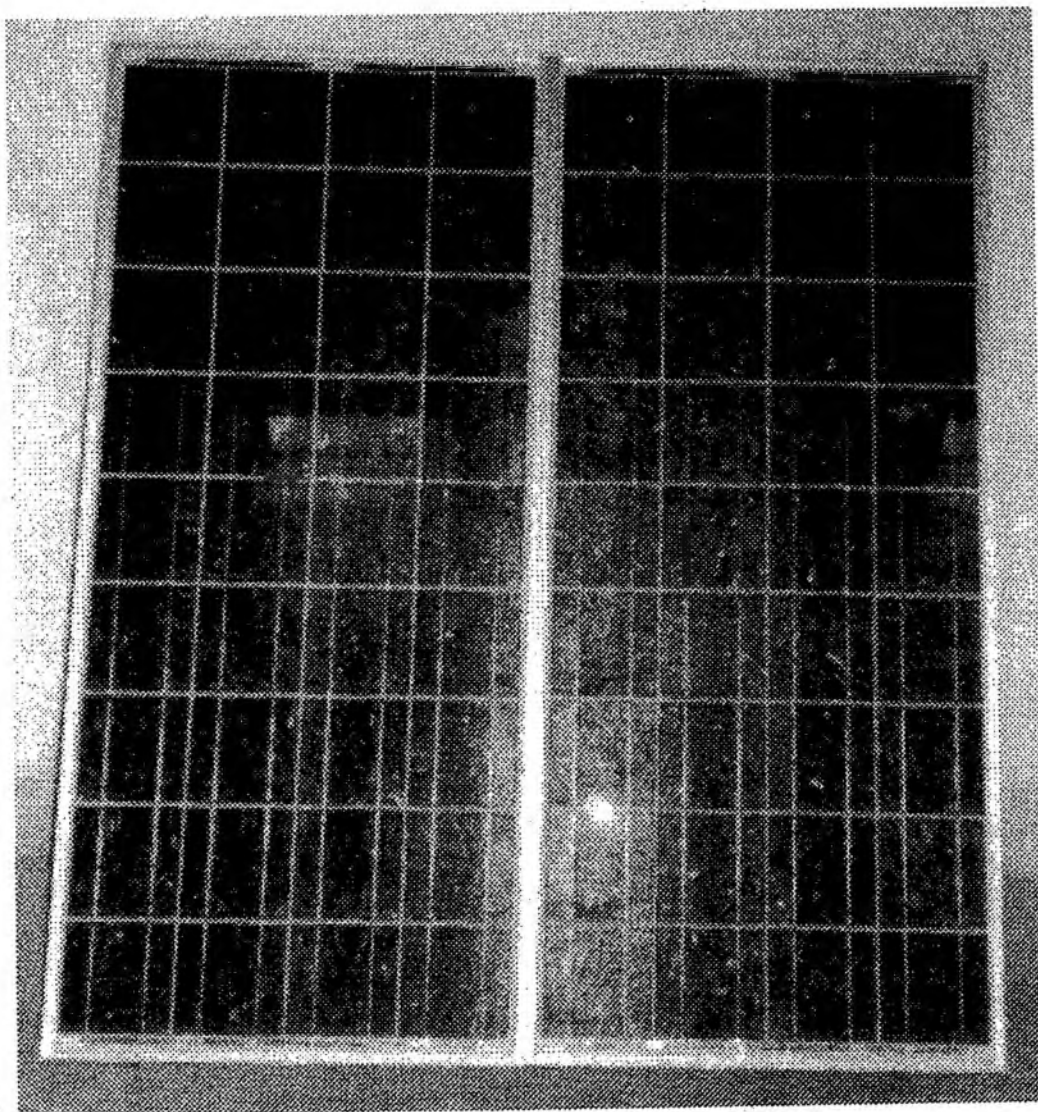
Κάθε δύο έως τρεις μήνες λειτουργίας του αμαξιδίου θα πρέπει να γίνεται πυκνομέτρηση των υγρών των συσσωρευτών και εάν η πυκνότητα βρεθεί μικρότερη των $1,23 \text{ gr/cm}^3$ τότε θα πρέπει να μπαίνουν καινούργια υγρά .

Κατά την διάρκεια που θα γίνονται οι ως άνω ελέγχοι θα πρέπει να γίνεται οπτικός έλεγχος των μονώσεων στους κινητήρες και στους ακροδέκτες των συσσωρευτών .

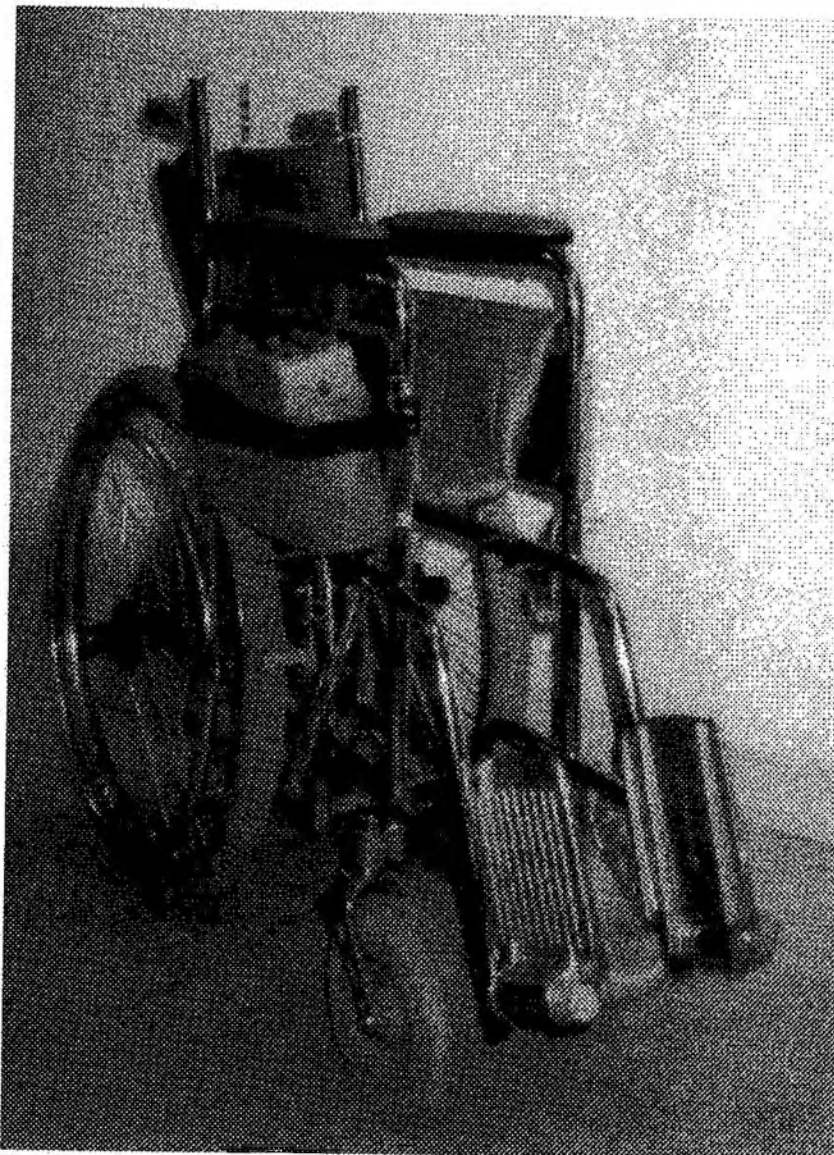
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ



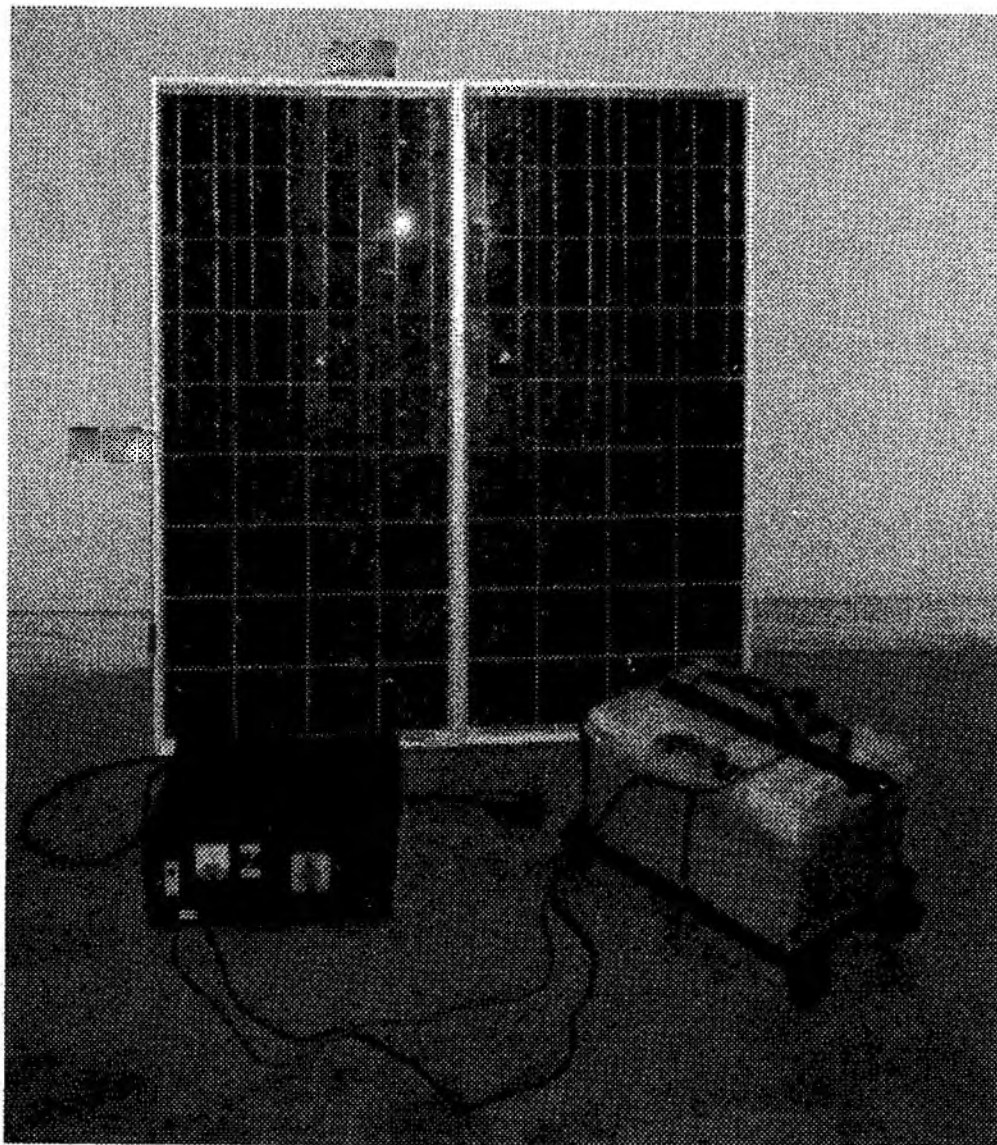
Οι συσσωρευτές του αμαξιδίου με την βάση τους



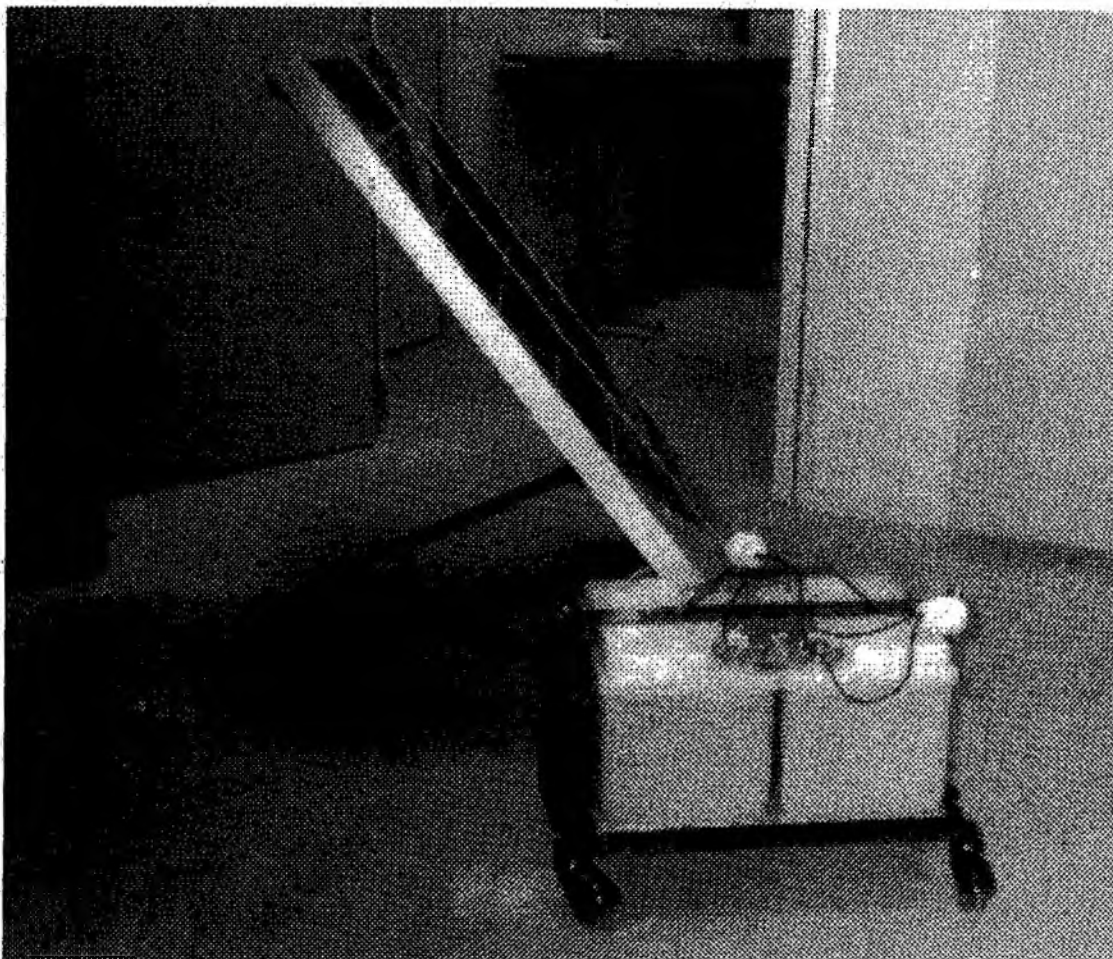
Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του αναπηρικού αμαξιδίου τα οποία αποτελούν και την οροφή του



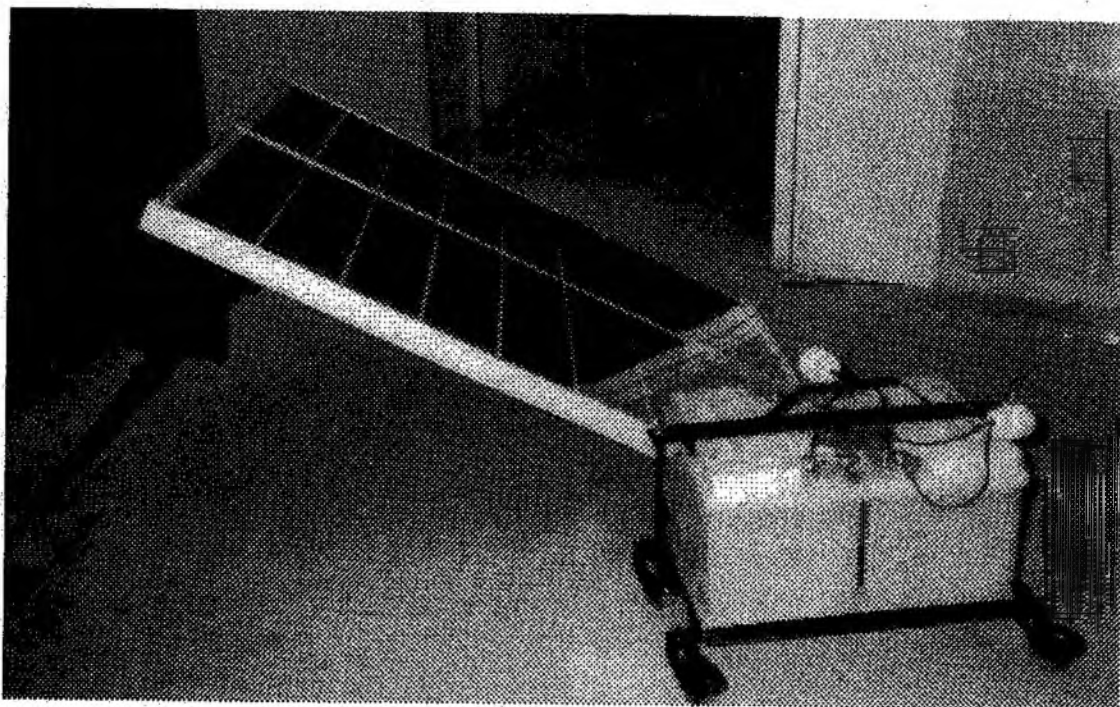
Το αναπηρικό αμαξίδιο σε κλειστή θέση



Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία , οι συσσωρευτές και ο φορτιστής



Τα Φ/Β στοιχεία σε κλίση 50 μοιρών , τα οποία μπορούν να φορτίσουν τις μπαταρίες



Τα Φ/Β στοιχεία σε κλίση 15 μοιρών , τα οποία μπορούν να φορτίσουν τις μπαταρίες



Το αναπηρικό αμαξίδιο πλήρως συναρμολογημένο



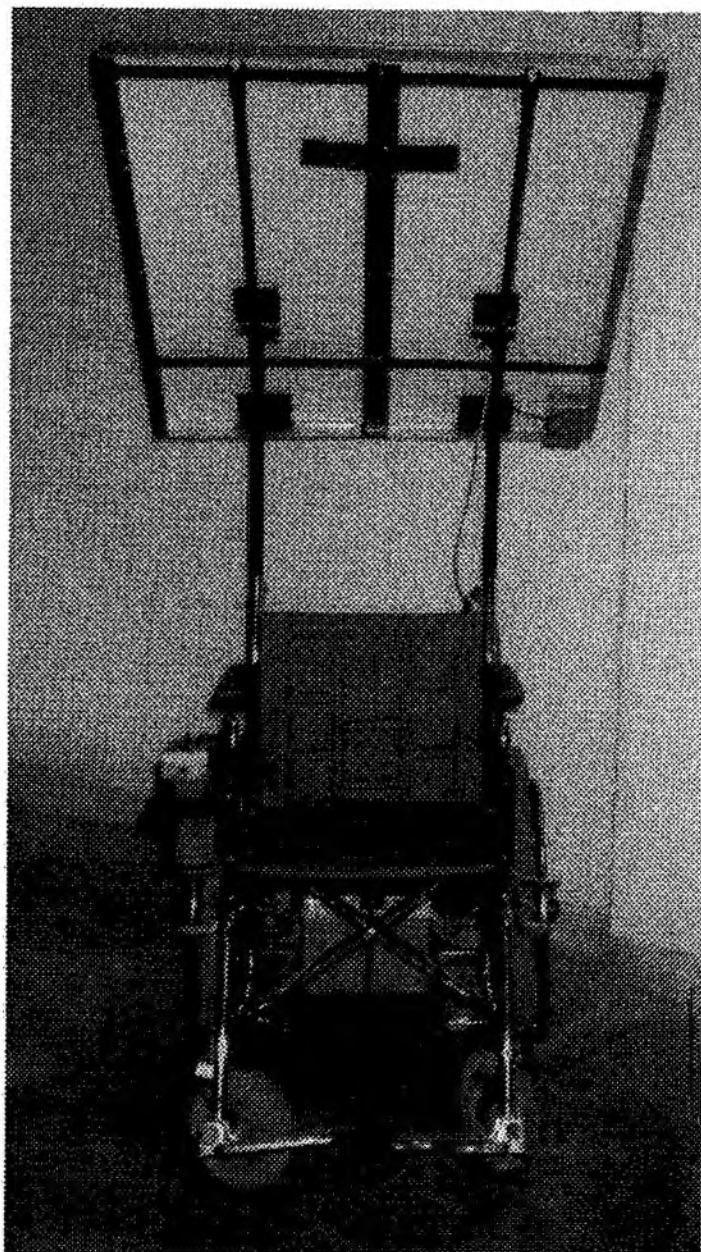
Οπίσθια όψη του αναπηρικού αμαξιδίου



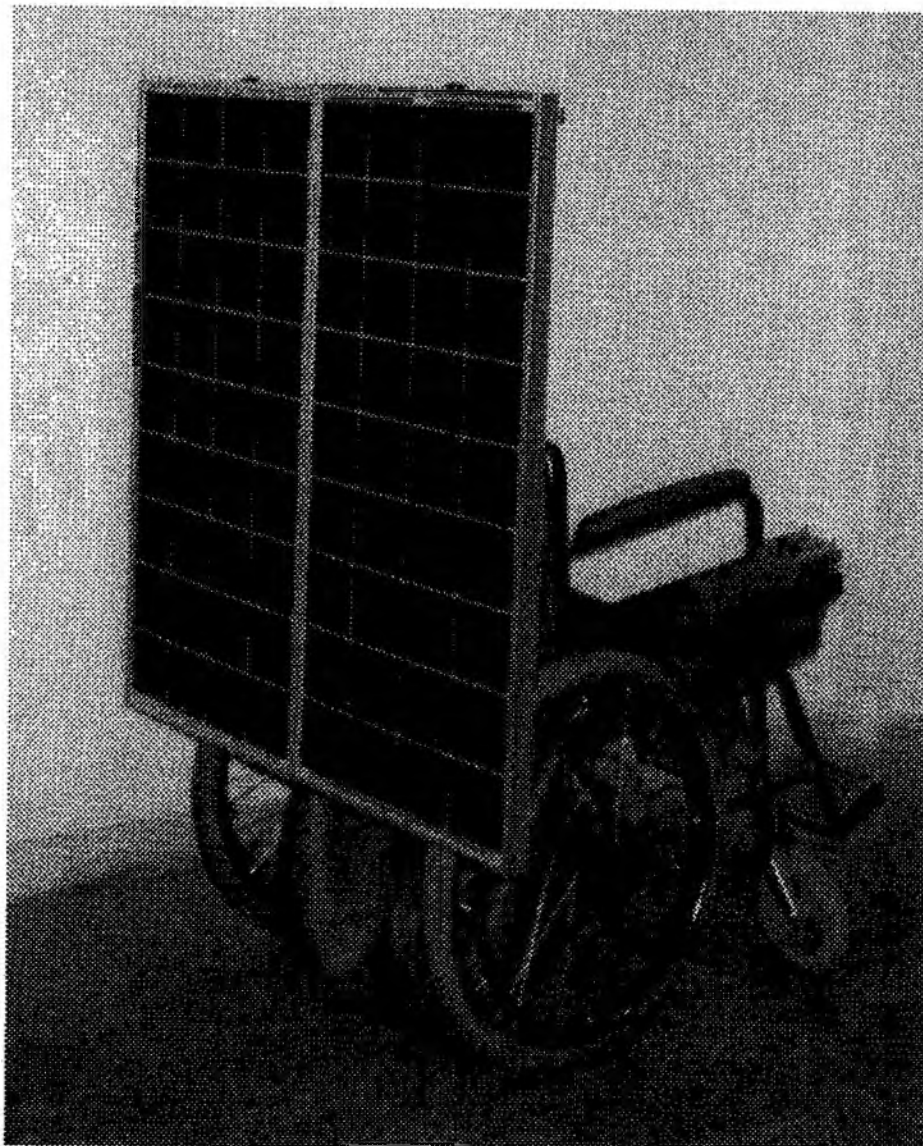
Πλάγια όψη του αναπηρικού αμαξιδίου



Πλάγια όψη του αναπηρικού αμαξιδίου με ανασηκωμένη την ηλιακή του οροφή



Εμπρόσθια όψη του αναπηρικού αμαξιδίου με ανασηκωμένη την
ηλιακή του οροφή



Το αναπηρικό αμαξίδιο με κατεβασμένη την ηλιακή του οροφή

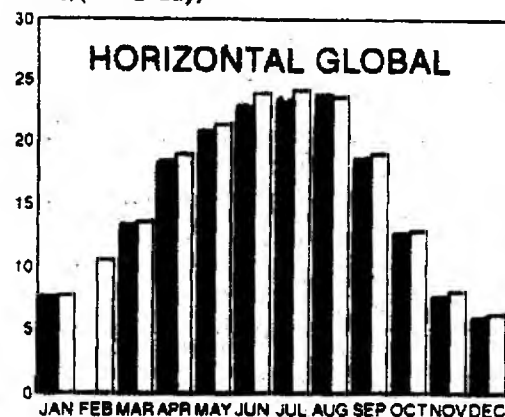
	ΟΛΙΚΗ			ΔΙΑΧΥΤΗ		
	MBE	RMSE	T-ST	MBE	RMSE	T-ST
ΙΑΝ	0.00	0.09	0.160	0.02	0.05	1.470
ΦΕΒ						
ΜΑΡ	-0.01	0.15	0.380	0.03	0.07	2.080
ΑΠΡ	-0.03	0.06	2.470	0.01	0.11	0.280
ΜΑΙΟΣ	-0.03	0.13	0.990	0.00	0.04	0.170
ΙΟΥΝ	-0.07	0.17	1.640	-0.01	0.05	0.540
ΙΟΥΛ	-0.06	0.10	3.640	-0.01	0.05	1.160
ΑΥΓ	0.01	0.24	0.140	-0.02	0.04	2.470
ΣΕΠ	-0.02	0.15	0.580	0.01	0.04	1.150
ΟΚΤ	-0.01	0.08	0.580	0.01	0.03	1.770
ΝΟΕΜ	-0.02	0.04	2.740	-0.03	0.04	4.140
ΔΕΚ	-0.02	0.07	1.060	0.00	0.03	0.770

Πίνακας 4. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης για ολική και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο από μετρήσεις που έγιναν το 1992 στο ΤΕΙ και στο Εθν. Αστερ. Αθηνών
Table 4. Statistical results for global and diffuse solar irradiance on the horizontal plane between measurements taken at TEI and at the National Observatory of Athens in 1992

Σχήμα 1. Μέσες ημερήσιες τιμές ολικής και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο από μετρήσεις στο ΤΕΙ και στο Εθν. Αστερ. Αθηνών για το 1992

Figure 1. Average day values of global and diffuse irradiation on the horizontal from measurements taken at TEI and the National Obs. of Athens in 1992

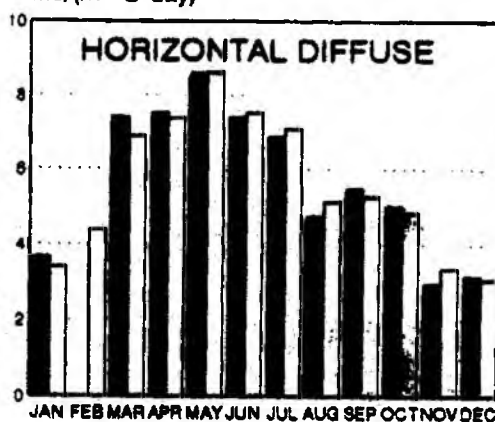
MJ/(m²*day)



■ ASTEROSKOPEIO

□ TEI PEIRAI

MJ/(m²*day)



		ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ																		
		4-5	5-8	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	SUM		
Ο Λ Ι Κ Η	ΙΑΝ	0,00	0,00	0,00	0,08	0,54	1,15	1,83	1,89	1,98	1,83	1,42	0,94	0,38	0,01	0,00	0,00	11,81		
	ΦΕΒ	0,00	0,00	0,00	0,24	0,87	1,53	2,07	2,35	2,43	2,32	1,97	1,49	0,82	0,23	0,00	0,00	16,32		
	ΜΑΡ	0,00	0,00	0,12	0,87	1,40	2,08	2,58	2,90	3,08	2,92	2,54	1,97	1,25	0,42	0,08	0,00	21,99		
	ΑΠΡ	0,00	0,01	0,38	1,03	1,72	2,37	2,97	3,27	3,30	3,13	2,77	2,18	1,47	0,75	0,18	0,00	25,51		
	ΜΑΙΟΣ	0,00	0,13	0,59	1,24	1,90	2,54	3,02	3,33	3,41	3,28	2,93	2,41	1,77	1,05	0,40	0,04	28,02		
	ΙΟΥΝ	0,00	0,13	0,83	1,31	1,99	2,59	3,09	3,38	3,49	3,40	3,08	2,48	1,82	1,18	0,53	0,07	29,13		
	ΙΟΥΛ	0,00	0,19	0,75	1,43	2,12	2,70	3,18	3,43	3,42	3,22	2,78	2,27	1,87	0,99	0,38	0,01	28,50		
	ΑΥΓ	0,00	0,03	0,42	1,10	1,81	2,47	2,98	3,29	3,42	3,33	3,01	2,52	1,90	1,18	0,48	0,03	27,97		
	ΣΕΠ	0,00	0,00	0,18	0,78	1,49	2,13	2,84	2,97	3,05	2,95	2,64	2,12	1,40	0,84	0,11	0,00	23,10		
	ΟΚΤ	0,00	0,00	0,09	0,59	1,36	1,95	2,35	2,58	2,57	2,33	1,91	1,40	0,85	0,08	0,00	0,00	17,88		
Δ Ι Α Χ Υ Τ Η	ΝΟΕΜ	0,00	0,00	0,01	0,24	0,97	1,53	1,94	1,71	1,98	1,84	1,35	0,87	0,28	0,00	0,00	0,00	12,72		
	ΔΕΚ	0,00	0,00	0,00	0,08	0,49	1,00	1,38	1,53	1,82	1,38	1,01	0,56	0,10	0,00	0,00	0,00	9,15		
	AVG.	0,00	0,04	0,28	0,73	1,39	2,00	2,49	2,72	2,81	2,86	2,28	1,77	1,12	0,54	0,18	0,01	21,01		
	ΙΑΝ	0,00	0,00	0,00	0,05	0,18	0,26	0,30	0,32	0,33	0,32	0,30	0,25	0,14	0,01	0,00	0,00	2,48		
	ΦΕΒ	0,00	0,00	0,00	0,13	0,29	0,37	0,41	0,46	0,49	0,47	0,44	0,38	0,28	0,12	0,00	0,00	3,84		
	ΜΑΡ	0,00	0,00	0,08	0,27	0,39	0,45	0,52	0,52	0,52	0,49	0,47	0,48	0,38	0,28	0,05	0,00	4,90		
	ΑΠΡ	0,00	0,01	0,19	0,37	0,45	0,50	0,53	0,57	0,59	0,58	0,56	0,53	0,46	0,32	0,12	0,00	5,78		
	ΜΑΙΟΣ	0,00	0,09	0,27	0,38	0,48	0,51	0,55	0,56	0,58	0,56	0,54	0,52	0,46	0,37	0,25	0,03	6,10		
	ΙΟΥΝ	0,00	0,08	0,28	0,38	0,45	0,48	0,48	0,50	0,49	0,44	0,40	0,43	0,39	0,34	0,23	0,04	5,39		
	ΙΟΥΛ	0,00	0,13	0,33	0,48	0,60	0,68	0,70	0,89	0,87	0,88	0,87	0,54	0,40	0,30	0,18	0,01	7,06		
Α Σ Τ Ε Ρ Ο Σ Κ Ο Π Ε Ι Ο	ΑΥΓ	0,00	0,02	0,18	0,25	0,31	0,34	0,38	0,38	0,38	0,37	0,34	0,30	0,25	0,15	0,02	0,00	4,01		
	ΣΕΠ	0,00	0,00	0,08	0,23	0,32	0,38	0,39	0,39	0,39	0,38	0,35	0,31	0,28	0,18	0,05	0,00	3,71		
	ΟΚΤ	0,00	0,00	0,07	0,22	0,31	0,38	0,43	0,44	0,43	0,41	0,39	0,42	0,34	0,08	0,00	0,00	3,88		
	ΝΟΕΜ	0,00	0,00	0,00	0,13	0,28	0,35	0,49	0,83	0,87	0,44	0,44	0,57	0,23	0,00	0,00	0,00	4,11		
	ΔΕΚ	0,00	0,00	0,00	0,04	0,18	0,27	0,29	0,33	0,31	0,29	0,24	0,17	0,04	0,00	0,00	0,00	2,16		
	AVG.	0,00	0,03	0,12	0,24	0,35	0,41	0,45	0,48	0,48	0,45	0,43	0,41	0,31	0,19	0,09	0,01	4,45		

Πίνακας 1. Μέγιστες τιμές ανά ώρα ολικής και διάχυτης ακτινοβολίας στο οριζόντιο σε MJ/(m²*h)

Table 1. Hourly values of maximum global and diffuse solar irradiance on the horizontal in MJ/(m²*h)

		ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ																		
		4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	SUM		
Ο Λ Ι Κ Η	ΙΑΝ	0,00	0,00	0,00	0,03	0,32	0,73	1,10	1,31	1,35	1,28	0,99	0,80	0,21	0,01	0,00	0,00	7,94		
	ΦΕΒ	0,00	0,00	0,00	0,10	0,47	0,88	1,23	1,47	1,56	1,43	1,17	0,88	0,45	0,09	0,00	0,00	9,73		
	ΜΑΡ	0,00	0,00	0,05	0,36	0,90	1,38	1,81	2,00	2,03	1,86	1,80	1,19	0,68	0,23	0,01	0,00	14,09		
	ΑΠΡ	0,00	0,01	0,24	0,71	1,27	1,83	2,23	2,46	2,55	2,40	2,11	1,63	1,06	0,49	0,09	0,00	19,08		
	ΜΑΙΟΣ	0,00	0,08	0,44	0,96	1,49	1,96	2,35	2,55	2,65	2,44	2,16	1,68	1,16	0,64	0,23	0,01	20,80		
	ΙΟΥΝ	0,00	0,18	0,85	1,12	1,87	2,40	2,80	3,04	3,06	2,81	2,52	2,08	1,51	0,88	0,33	0,04	25,29		
	ΙΟΥΛ	0,00	0,07	0,46	1,04	1,66	2,25	2,70	2,91	2,92	2,80	2,54	2,12	1,60	0,96	0,40	0,04	24,47		
	ΑΥΓ	0,00	0,03	0,34	0,94	1,61	2,19	2,67	2,89	2,93	2,72	2,40	1,95	1,34	0,70	0,19	0,00	22,90		
	ΣΕΠ	0,00	0,00	0,16	0,68	1,30	1,86	2,29	2,54	2,60	2,44	2,07	1,54	0,92	0,34	0,03	0,00	18,78		
	ΟΚΤ	0,00	0,00	0,03	0,32	0,78	1,22	1,59	1,77	1,86	1,63	1,28	0,84	0,40	0,06	0,00	0,00	11,75		
	ΝΟΕΜ	0,00	0,00	0,00	0,12	0,49	0,85	1,16	1,33	1,40	1,25	0,98	0,58	0,18	0,00	0,00	0,00	8,35		
	ΔΕΚ	0,00	0,00	0,00	0,02	0,23	0,54	0,87	1,00	1,04	0,84	0,72	0,40	0,11	0,00	0,00	0,00	5,88		
AVG.		0,00	0,03	0,20	0,53	1,03	1,51	1,90	2,11	2,16	2,00	1,71	1,29	0,80	0,37	0,11	0,01	16,75		
Δ Ι Α Χ Υ Τ Η	ΙΑΝ	0,00	0,00	0,00	0,02	0,18	0,36	0,50	0,57	0,57	0,52	0,43	0,30	0,13	0,00	0,00	0,00	3,58		
	ΦΕΒ	0,00	0,00	0,00	0,07	0,24	0,38	0,47	0,55	0,62	0,58	0,51	0,43	0,26	0,07	0,00	0,00	4,18		
	ΜΑΡ	0,00	0,00	0,04	0,24	0,47	0,64	0,78	0,86	0,92	0,82	0,70	0,62	0,41	0,18	0,01	0,00	6,68		
	ΑΠΡ	0,00	0,01	0,16	0,34	0,50	0,64	0,73	0,81	0,90	0,85	0,75	0,69	0,52	0,30	0,07	0,00	7,29		
	ΜΑΙΟΣ	0,00	0,07	0,27	0,44	0,58	0,71	0,79	0,88	0,96	0,90	0,84	0,78	0,59	0,36	0,17	0,01	8,34		
	ΙΟΥΝ	0,00	0,12	0,31	0,45	0,57	0,64	0,76	0,82	0,82	0,81	0,75	0,65	0,55	0,42	0,23	0,03	7,93		
	ΙΟΥΛ	0,00	0,06	0,23	0,36	0,47	0,56	0,67	0,73	0,76	0,71	0,68	0,64	0,52	0,40	0,23	0,03	7,04		
	ΑΥΓ	0,00	0,02	0,17	0,33	0,45	0,54	0,61	0,66	0,70	0,68	0,61	0,51	0,40	0,27	0,10	0,00	6,65		
	ΣΕΠ	0,00	0,00	0,10	0,28	0,42	0,52	0,61	0,66	0,67	0,63	0,56	0,47	0,32	0,16	0,02	0,00	5,40		
	ΟΚΤ	0,00	0,00	0,02	0,20	0,38	0,52	0,60	0,63	0,66	0,63	0,51	0,36	0,23	0,04	0,00	0,00	4,79		
	ΝΟΕΜ	0,00	0,00	0,00	0,09	0,26	0,39	0,48	0,53	0,57	0,53	0,46	0,33	0,12	0,00	0,00	0,00	3,78		
	ΔΕΚ	0,00	0,00	0,00	0,02	0,15	0,29	0,42	0,48	0,49	0,46	0,37	0,23	0,08	0,00	0,00	0,00	2,98		
AVG.		0,00	0,02	0,11	0,24	0,39	0,52	0,62	0,66	0,72	0,67	0,60	0,50	0,34	0,19	0,07	0,01	5,67		

Πίνακας 2. Μέσες τιμές ανά ώρα ολικής και διάχυτης ακτινοβολίας στο οριζόντιο σε $Mj/(m^2 \cdot h)$

Table 2. Hourly values of average global and diffuse solar irradiance on the horizontal in $Mj/(m^2 \cdot h)$

		ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ																	
		4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	SUM	
Ο Λ Ι Κ Η	ΙΑΝ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	0,15	0,34	0,21	0,27	0,27	0,12	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	1,52	
	ΦΕΒ	0,00	0,00	0,00	0,07	0,12	0,15	0,15	0,20	0,22	0,21	0,15	0,09	0,04	0,01	0,00	0,00	1,41	
	ΜΑΡ	0,00	0,00	0,07	0,43	0,80	1,10	0,85	0,67	0,51	0,26	0,15	0,18	0,04	0,02	0,00	0,00	4,88	
	ΑΠΡ	0,00	0,00	0,04	0,14	0,13	0,41	0,39	0,57	0,81	0,77	0,26	0,39	0,35	0,07	0,00	0,00	4,33	
	ΜΑΙΟΣ	0,00	0,00	0,04	0,14	0,28	0,27	0,17	0,31	0,31	0,20	0,20	0,13	0,09	0,06	0,03	0,00	2,21	
	ΙΟΥΝ	0,00	0,09	0,35	0,74	0,95	0,90	1,73	2,34	0,77	0,82	0,73	0,73	0,50	0,38	0,21	0,08	11,30	
	ΙΟΥΛ	0,00	0,21	0,81	1,03	2,27	2,67	3,02	1,61	1,03	0,58	0,60	0,30	0,49	0,30	0,11	0,02	14,85	
	ΑΥΓ	0,00	0,05	0,47	1,10	1,77	2,00	1,92	2,32	0,74	0,34	0,22	0,32	0,07	0,01	0,00	0,00	11,33	
	ΣΕΠ	0,00	0,00	0,06	0,29	0,49	0,56	0,82	1,32	0,99	0,71	0,50	0,43	0,27	0,09	0,00	0,00	6,53	
	ΟΚΤ	0,00	0,00	0,02	0,17	0,43	0,51	0,53	0,35	0,22	0,18	0,22	0,14	0,03	0,00	0,00	0,00	2,80	
	ΝΟΕΜ	0,00	0,00	0,00	0,02	0,14	0,09	0,09	0,12	0,16	0,16	0,17	0,23	0,21	0,01	0,00	0,00	1,40	
	ΔΕΚ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,06	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,37	
AVG		0,00	0,03	0,14	0,34	0,62	0,74	0,82	0,84	0,50	0,36	0,28	0,26	0,18	0,08	0,03	0,01	5,24	
Δ Ι Α Χ Υ Τ Η	ΙΑΝ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,14	0,33	0,20	0,26	0,27	0,11	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	1,45	
	ΦΕΒ	0,00	0,00	0,00	0,06	0,12	0,12	0,12	0,15	0,18	0,17	0,13	0,10	0,04	0,00	0,00	0,00	1,21	
	ΜΑΡ	0,00	0,00	0,06	0,35	0,64	0,86	0,57	0,60	0,45	0,23	0,13	0,16	0,04	0,02	0,00	0,00	4,11	
	ΑΠΡ	0,00	0,00	0,04	0,16	0,18	0,32	0,29	0,48	0,64	0,68	0,25	0,26	0,32	0,06	0,00	0,00	3,68	
	ΜΑΙΟΣ	0,00	0,00	0,03	0,11	0,21	0,22	0,13	0,25	0,25	0,16	0,16	0,11	0,07	0,05	0,03	0,00	1,78	
	ΙΟΥΝ	0,00	0,07	0,26	0,54	0,66	0,83	1,19	1,31	0,59	0,62	0,55	0,55	0,38	0,29	0,16	0,04	7,86	
	ΙΟΥΛ	0,00	0,13	0,31	0,80	0,63	0,59	0,84	0,90	0,82	0,50	0,51	0,26	0,42	0,26	0,10	0,02	6,89	
	ΑΥΓ	0,00	0,04	0,22	0,35	0,47	0,70	0,89	0,99	0,58	0,30	0,19	0,27	0,06	0,01	0,00	0,00	5,07	
	ΣΕΠ	0,00	0,00	0,05	0,24	0,42	0,50	0,72	1,13	0,87	0,62	0,44	0,38	0,24	0,06	0,00	0,00	5,69	
	ΟΚΤ	0,00	0,00	0,01	0,15	0,39	0,47	0,48	0,32	0,20	0,16	0,20	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00	2,54	
	ΝΟΕΜ	0,00	0,00	0,00	0,02	0,13	0,09	0,09	0,11	0,16	0,15	0,16	0,22	0,16	0,01	0,00	0,00	1,32	
	ΔΕΚ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,06	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,35	
AVG		0,00	0,02	0,08	0,22	0,33	0,39	0,47	0,54	0,42	0,33	0,24	0,21	0,15	0,07	0,02	0,01	3,50	

Πίνακας 3. Ελάχιστες τιμές ανά ώρα ολικής και διάχυτης ακτινοβολίας στο οριζόντιο σε $Mj/(m^2 \cdot h)$

Table 3. Hourly values of minimum global and diffuse solar irradiance on the horizontal in $Mj/(m^2 \cdot h)$

Όργανα μετρήσεων

Οι διάφορες μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί με τα ακόλουθα όργανα :

1. CR 21 Micrologger , Campbell scientific inc..
2. Πυρανόμετρο CM 11 KIPP & ZONEN , με σταθερά οργάνου $K = 0,34 \mu V/W /m^2$
3. Πολύμετρο DM - 205 , Hung Chang CO LTD.